

第一章 化学基本知识

第一节 物质及其变化

一、物质的组成和分类

1. 物质的组成

世界是由物质构成的,而物质可由分子、原子或离子构成。

(1) 分子 组成物质的微粒有多种,其中一种微粒叫分子。保持物质化学性质的一种微粒叫做分子。例如,水分子、二氧化碳分子等。同种物质的分子,化学性质相同,不同种物质的分子,化学性质不同。

分子有大分子和小分子,大分子是由大量较小的分子组成的。例如,淀粉、纤维素和塑料等,水分子、二氧化碳分子等都是小分子。

分子很小,用肉眼是看不见的。例如,一滴水里大约就有十五万亿亿个分子。分子有质量,总是不停地运动着。分子之间有间隔,且相互作用,在不同条件下,物质有气态、液态和固态三态的变化,也主要是由于物质分子间间隔大小发生变化等缘故。

(2) 原子 在化学反应里,分子可分成原子,而原子却不能再分。在化学反应中不能再分的最小微粒,叫做原子。但在物理变化中是可分的,如核裂变。

物质一般都是由分子组成,分子则由原子组成。但有些物质是由原子直接组成的。例如,镁分子由许多镁原子组成,碳由许多碳原子组成。

原子比分子更小,有一定质量并不停地运动着。

原子内,中心部分带有正电荷的原子核,原子核由质子和中子组成,核的外围有带负电荷的电子(见原子结构部分)。

(3) 离子 在一定条件下,原子将失去或得到电子,成为带有电荷的原子。这种带有电荷的原子或原子团叫离子。

原子团是由几个原子结合而成的带有电荷的集团,常被称为“根”,如 NH_4^+ 、 OH^- 、 CO_3^{2-} 等。

离子有阴阳离子之分,带负电荷的原子或原子团叫阴离子,如 Cl^- 、 OH^- ;带正电荷的原子或原子团叫阳离子,如 Na^+ 、 NH_4^+ 等。

(4) 元素 具有相同核电荷数(相同质子数)的同一类原子(含简单离子)总称为元素。现已发现 109 种元素。自然界里,多达 1000 万种物质,都是由为数不多的元素组成的。

核电荷数或质子数是划分元素的标准。核电荷数即质子数相同的原子、离子都属同种元素。如 Cl 、 Cl^0 、 Cl^{-1} 、 Cl^{+5} 、 Cl^{+7} 都是氯元素。

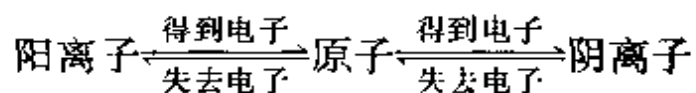
(5) 分子与原子的比较 见表 1-1。

表 1-1 分子与原子的比较

名称	不 同 点			相同点
	化学反应中的情况	构 成	种 类 数	
分子	不是最小微粒,可分成原子	由原子构成	有 1000 万种	都是很小的肉眼看不见的构成物质的微粒,都在不停地运动着
原子	是最小微粒	由质子、中子和电子构成	109 种元素的 1600 多种原子	

(6) 原子与离子的比较

① 相互转变;



② 结构与电性的不同, 见表 1-2;

表 1-2 原子与离子的结构、电性的比较

		结 构	电 性
原 子		核外电子数 = 核电荷数	呈 中 性
离子	阳离子	核外电子数 < 核电荷数	带正电荷
	阴离子	核外电子数 > 核电荷数	带负电荷

③ 化学性质不同。如 Na 比 Na^+ 活泼, Cl 比 Cl^- 活泼, Fe^{3+} 具有较强的氧化性, 而 Fe 具有还原性。

(7) 元素与原子的比较 元素和原子这两个概念, 既有联系, 又有区别, 见表 1-3。

表 1-3 元素与原子概念的比较

	元 素	原 子
区 别	1) 是具有相同核电荷数的同一类原子总称; 2) 是宏观名称, 有“种类”之分, 没有“数量”、“大小”、“质量”的含义; 3) 是组成物质的基本成分	1) 是化学反应中最小微粒; 2) 是微观粒子, 有“种类”之分, 有“数量”、“大小”、“质量”的含义; 3) 是体现元素性质的最小微粒
联 系	具有相同核电荷数的一类原子总称为一种元素。原子是体现元素性质的最小单位	
描 述	元素(物质)-宏观-组成	原子-微观-构成
例 举	二氧化碳由氧元素和碳元素组成	二氧化碳分子是由二个氧原子和一个碳原子构成

2. 物质的分类

物质可以从不同的角度分成各种不同的类别。

(1) 纯净物与混合物

① 纯净物 由同一种分子组成的物质叫纯净物。纯净物有一定的化学组成和一定的性质。例如氧气,它是由许多氧分子构成的,又如氯化钠,是由许多 Na^+ 离子和 Cl^- 离子构成的。

② 混合物 由不同种分子组成的物质叫混合物。混合物没有固定的化学组成和固定的性质。在混合物中,各种成分保持各自的性质,相互间不发生化学反应。例如空气、石油、泥土等。

③ 纯净物与混合物的比较 见表 1-4。

表 1-4 纯净物与混合物的比较

纯 净 物	混 合 物
1) 只含一种成分(由同种分子组成); 2) 有固定不变的组成; 3) 有一定的物理、化学性质	1) 含多种成分(由不同种分子组成); 2) 没有一定的组成; 3) 没有固定的性质(各成分保持各自的性质)

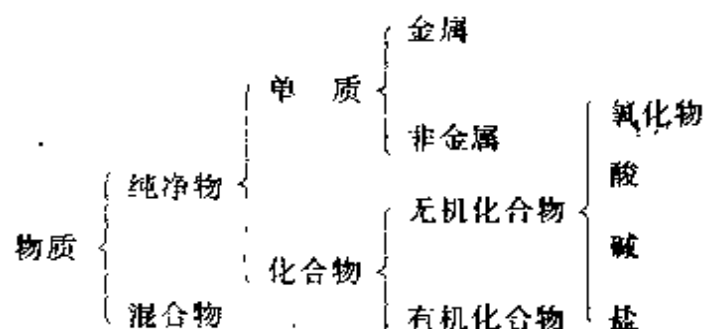
(2) 单质与化合物

① 单质 由同种元素组成的纯净物叫单质。有的单质由分子构成,如氧气、氮气等;有的单质由原子构成,如铁、金刚石等。根据性质的不同,单质可分为金属和非金属两大类。惰性气体是由单原子分子构成的,也属于单质。

② 化合物 由不同元素组成的纯净物叫化合物。例如,二氧化碳是由氧和碳两种元素组成的;小苏打是由钠、氢、碳和氧四种不同元素组成的。

化合物可分为无机化合物和有机化合物。根据组成和性质的不同,又可将无机物分为氧化物、酸、碱、盐等类别。

根据上述,物质分类可归纳如下:



③ 单质与化合物的比较见表 1-5。

表 1-5 单质与化合物的比较

单 质	化 合 物
1) 元素处于游离态; 2) 由同种元素组成(单质分子由同种元素的原子组成)	1) 元素处于化合态; 2) 由两种或两种以上元素组成(化合物分子由不同种元素的原子组成)

二、物理变化与化学变化

1. 物理变化

我们周围的物质世界,总是以一定的聚集状态——气态、液态和固态等形式存在,如气态氧、 CO_2 ;液态 H_2O 、油;固态煤、金属等。这三种聚集状态的存在,是由于物质中质点运动的形式不同,固态物质中质点之间不作相对运动,液态物质中质点作滑动,即相对滑移,而气态物质中质点作自由运动。

物质的各种状态都有其特征,且一定条件下可以互相转化。例如,水在常压下(大气压), 0°C 以下为固态冰,在 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 为液态水,而在 100°C 以上则为水蒸气。当冰转变为水时,必须供给能量——熔化热;水转变为水汽时,供给蒸发热。反之,由气态转变为液态或液态转变为固态,要释放出一定的能量。

物质的聚集状态是由它的内能决定的, 而内能的大小取决于温度和压力的变化。物质聚集状态的改变, 即没有新物质生成的变化, 叫做物理变化。在物理变化中, 分子的组成和结构都没有发生改变。

2. 相

一个体系^①中物理性质和化学性质完全均匀的部分称为相。相与相之间有明显的界面, 并具有不同的物理性质。

物质的三种聚集状态可看为不同的相, 即气相、液相和固相。对于气体组成的体系, 由于任何气体均能无限混合, 所以体系内不论多少种气体, 只能是一个气相。对于液体体系, 由于不同液体的互溶程度不同, 可以是一相(如水和乙醇互溶为一相)、两相(如水和苯互溶为两相)或三相, 对于固体体系, 如果固体之间不形成固溶体, 不论多少种固体相互参合, 分散得多么细, 则有一种固体物质就算一个相。例如, 面粉与白糖参合一起, 尽管表面上看很细、很均匀, 但仍为两个相。

3. 化学变化

物质的另一种变化, 不仅是外形有了改变, 而且本身的组成也发生了变化, 产生了新物质。例如, 对水提供 20 倍于蒸发所需的能量, 则水以及水蒸气的特性就会失去, 而会生成两种性质完全不同的新物质, 即氢和氧。如果继续对这两种组分之一供给能量, 则它们不可能再分解成其它新物质。当能量超过了它们的电离能时, 则显示出带电粒子的特性。

有新物质生成的变化叫化学变化。在化学变化中, 除了有能量的转换外, 还有新物质生成, 分子的组成和结构发生了变化。

物理变化与化学变化的比较见表 1-6。

① 一个固定容积范围内的物质或多种物质的混合物, 在化学上称为体系。

表 1-6 物理变化与化学变化的比较

名称	物 理 变 化	化 学 变 化
特 征	没有新物质生成	生成了新物质
实 质	分子本身未发生变化	分子变成了别的分子
现 象	形状、状态发生了变化	变色、发光、发热、产生气体、生成沉淀
关 系	发生物理变化时不一定发生化学变化	发生化学变化时,一定伴有物理变化
实 例	水结冰、汽油挥发	铁生锈、木材燃烧

4. 质量守恒定律

在化学反应中,参加反应的各物质的质量总和,等于反应后生成的各物质的质量总和,这个规律叫做质量守恒定律。

所有化学反应都遵循质量守恒定律。这是在化学反应过程中,参加反应的各原子种类和原子数目与反应后的原子种类和数目没有增减,只是原子的重新组合,生成新的物质,所以化学反应前后各物质的质量总和必然相等。

三、物质及其变化的表示方法

物质及其变化,一般用化学用语来表示。常用的化学用语有:元素符号、分子式、化学方程式等。

1. 元素符号

在化学上,用来表示各元素的不同符号叫元素符号。元素符号是国际通用的化学用语,是由一个或两个拉丁文字母组成,如H、Na等。

元素符号不仅表示某种元素,还表示该种元素的一个原子和原子量。一些常见元素的名称、符号和原子量(近似值)见表1-7。

2. 分子式

用元素符号来表示物质分子组成的式子叫分子式。

表 1-7 常见元素名称、符号和原子量(近似值)

元素名称	元素符号	原子量	元素名称	元素符号	原子量	元素名称	元素符号	原子量
氢	H	1	碘	I	127	锰	Mn	55
氮	N	14	钠	Na	23	铜	Cu	63.5
氧	O	16	镁	Mg	24	锌	Zn	65
氯	Cl	35.5	铝	Al	27	银	Ag	108
溴	Br	80	钾	K	39	金	Au	197
碳	C	12	钙	Ca	40	汞	Hg	201
硫	S	32	铁	Fe	56	铅	Pb	207

一个物质只有一个分子式。各分子式是通过实验来确定的,书写时一定要注意规范。

(1) 单质分子式的书写法 双原子分子的分子式,是在元素符号右下角注上数字“2”,如 H_2 、 N_2 、 Cl_2 等;单原子的分子式就是该元素符号,如 He、Ne、Ar 等;结构较复杂的单质分子,也常用元素符号表示其分子式,如 Fe、Al、C 等。

(2) 化合物分子式的书写法 书写化合物的分子式,必须知道化合物中各元素的化合价。

一种元素一定数目的原子跟其他元素一定数目的原子相化合的性质,叫化合价。它反映了形成某化合物时各元素的原子之间的个数关系。

化合价有正价和负价,一般规律是:

- ① 氢元素常为+1价,氧元素常为-2价;
- ② 金属元素显正价;
- ③ 非金属元素与氢化合时显负价,与氧化合时显正价。如在 H_2S 中,S显-2价;在 SO_3 里,S显+6价;
- ④ 在离子或共价化合物里,正、负化合价的代数和为零;

⑤ 有些元素在不同的化合物中表现出不同的化合价。如氯元素在 HCl 里显 -1 价, 在 KClO_3 里显 $+5$ 价;

⑥ 原子团也有化合价, 其数值一般是不变的。

在离子化合物里, 元素化合价的数值为:

正价数 = 1 个原子失电子的数目

负价数 = 1 个原子得电子的数目

书写化合物分子式时, 一般是正价的原子或原子团写在前, 负价的原子或原子团写在后 (NH_3 、 CH_4 例外); 正价与负价的代数和等于零。

一些常见元素和原子团的主要化合价, 见表 1-8, 1-9。

表 1-8 常见元素化合价

元素名称	元素符号	常见化合价	元素名称	元素符号	常见化合价	元素名称	元素符号	常见化合价
钾	K	+1	铜	Cu	+1, +2	碘	I	-1
钠	Na	+1	铁	Fe	+2, +3	氧	O	-2
银	Ag	+1	铝	Al	+3	硫	S	-2, +4, +6
钙	Ca	+2	氢	H	+1	碳	C	+2, +4
镁	Mg	+2	氟	F	-1	硅	Si	+4
钡	Ba	+2	氯	Cl	-1, +1, +5, +7	氮	N	-3, +2, +4, +5
锌	Zn	+2	溴	Br	-1	磷	P	-3, +3, +5

表 1-9 常见原子团的化合价

名称	符号	化合价	名称	符号	化合价
铵根	NH_4^+	+1	亚硫酸根	SO_3^{2-}	-2
氢氧根	OH^-	-1	氢硫酸根	S^{2-}	-2
硝酸根	NO_3^-	-1	磷酸根	PO_4^{3-}	-3
氯根	Cl^-	-1	硅酸根	SiO_3^{2-}	-2
硫酸根	SO_4^{2-}	-2	高锰酸根	MnO_4^-	-1
碳酸根	CO_3^{2-}	-2	醋酸根	CH_3COO^-	-1

3. 化学方程式

用元素符号、分子式或化学式来表示化学反应的式子,叫做化学方程式。它不仅表示参加反应的物质(反应物)和反应结果生成物各是什么,而且还表示反应物和生成物之间的分子数比、物质的量比、质量比,气体反应物和生成物之间的体积比。

书写化学方程式时,要符合化学反应的事实,不能随意臆造不存在的化学反应或物质,同时要符合质量守恒定律,生成号两边各元素的原子或离子个数必须相等。

书写化学方程式的步骤是:

- ① 写出反应物和生成物的分子式或化学式;
- ② 有几种反应物和生成物时,用“+”号联,读作“和”或“与”;
- ③ 反应物与生成物之间用短线“——”联接;
- ④ 在短线上注明反应条件(如温度、压力、催化剂等);
- ⑤ 配平。配平后将短线改成等号“=”,读作“生成”。

4. 热化学方程式

表明反应所放出或吸收热量的化学方程式,叫做热化学方程式。

反应过程中放出或吸收的热量都叫做反应热;通常用 ΔH (Δ 读作德耳塔)表示。放出热量 ΔH 为负值,吸收热量 ΔH 为正值。放出热量的化学反应叫做放热反应,吸收热量的化学反应叫做吸热反应。

书写热化学方程式时应注意:

- ① 要指明反应的温度与压力。反应温度写在 ΔH 的下标,如 ΔH_{298} 就表示在 298K 时的反应热。若反应在标准状况下 (298K, $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$) 进行,则可省去下标,直接写成 ΔH° 。
- ② 要注明反应物、生成物的聚集状态,一般规定,物质为气

态,以“g”表示,物质为液态,则以“l”表示,物质为固态则以“s”表示。同一物质若聚集状态不同,反应热的数值是不同的。

③ 反应热的符号是体系放热为负值,吸热为正值,单位为“焦耳”(J)或“千焦耳”(kJ)。

④ 反应物和生成物前面的系数,仅表示计量系数,不代表分子系数。因此,它可以是整数,也可以是分数。

例如, $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H^\circ = -571.5 \text{ kJ}$

$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H^\circ = -483.7 \text{ kJ}$

$\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H^\circ = -241.8 \text{ kJ}$

四、化学中常用的量

1. 原子量

原子虽小,但也有一定的质量。一个原子有多重? 回答这个问题,必须知道原子的基本粒子(质子、中子和电子)的质量。

由实验测得,质子和中子质量很接近,为 $1.67 \times 10^{-24} \text{ g}$,而电子质量为 $9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$,仅为质子或中子的 $1/1836$ 。假如一个电子的质量为 1 g ,那么,质子的质量为 1.836 kg 。所以,原子质量主要集中在原子核上,由核内质子和中子的质量决定,而核外电子质量可忽略不计。

每一个原子,原子量都由中子和质子的质量构成,原子核中结合的中子和质子数愈多,元素的原子量就愈大。

原子的质量很小,用那么小的数字进行书写、运算和记忆都很不方便,为此,国际上是以一种原子核内有 6 个质子和 6 个中子所组成的碳原子的 $1/12$ 作为标准,其他原子的质量与它相比较所得的数值,就是该种原子的原子量。原子量是不同原子的相对质量,是没有单位的。

用这种方法测出最轻的氢原子量为 1.0079,氧原子量为

15.9994, 铁原子量为 55.847 等。化学计算中一般采用原子量的近似值。

2. 分子量

分子量是构成分子各元素原子量的总和。可见, 分子量是分子的相对质量, 也没有单位。例如, 二氧化碳的分子计量如下:

分子式: CO_2

元素及原子量: C 12, O 16

分子量: $12 + 16 \times 2 = 44$

根据分子式可以计算组成化合物的各元素的质量比, 还可以计算化合物中某元素的百分含量(见第四章化工基本计算)。

3. 物质的量和摩尔质量

物质的量是国际上 7 个重要的物理量之一, 是衡量某微观物质含有多少个某种微粒(分子、原子、离子、质子、中子、电子等)量的名称, 以便直接计算参加化学反应的物质数量。

表示物质的量的单位是摩尔, 符号是 mol。1mol 物质含有 6.022×10^{23} (阿佛加德罗常数) 个最小微粒, 6.022×10^{23} 个微粒的物质的量就是 1mol。使用时, 必须指明微粒的种类或某种微粒的特定组合(如原子团、共用电子对等)。例如, 1mol 的氧分子含有 6.022×10^{23} 个氧分子; 1mol 的氢离子含有 6.022×10^{23} 个氢离子等。同理, 1mol 氧气的质量为 32g, 即 6.022×10^{23} 个氧分子质量为 32g, 1mol 氢离子质量为 1g, 即 6.022×10^{23} 个氢离子质量为 1g。

因为不同物质的相等“量”含有相等数目的最小微粒, 所以摩尔质量(即每 6.022×10^{23} 个微粒的质量)一定与相对原子量或相对分子量有关。摩尔质量就是物质的质量除以物质的量, 即 1 摩尔物质的质量。单位为 g/mol 或 kg/mol。例如, 碳的摩尔质量是 12g/mol, NH_4^+ 的摩尔质量是 18g/mol。

如果以 m 代表物质的质量, M 为该物质的摩尔质量, n 为物质的量, 它们之间的关系为:

$$n(\text{物质的量}) = \frac{\text{物质的质量(g)}}{\text{物质的摩尔质量(g/mol)}} = \frac{m}{M} (\text{mol})$$

例如, 计算 16g 硫的物质的量。

$$\text{硫的物质的量} = \frac{16\text{g}}{32\text{g/mol}} = 0.5\text{mol}$$

4. 气体摩尔体积

气体的体积与外界的温度、压力有关。要测量气体的体积或比较各种气体的体积大小时, 必须在同温、同压下进行, 通常为标准状况 (273K 和 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$) 下进行。

在标准状况下, 1mol 的任何气体所占的体积都约为 22.4L, 这个体积叫做气体摩尔体积。例如, 氢气的摩尔质量 2.016g/mol, 它的密度为 0.0899g/L, 氢气的摩尔体积为:

$$\frac{2.016\text{g/mol}}{0.0899\text{g/L}} = 22.4\text{L/mol}$$

即氢气的摩尔体积(标) = 22.4L/mol

在标准状况下, 如果气体的体积为 $V(\text{L})$, 质量为 $m(\text{g})$, 摩尔质量为 $M(\text{g/mol})$, 它们之间的关系为:

$$V_{\text{标}}(\text{L}) = \frac{m(\text{g})}{M(\text{g/mol})} \times 22.4(\text{L/mol})$$

例如, 计算在标准状况下 1.5mol 氧气的体积。

$$V_{\text{标}}(\text{L}) = 1.5\text{mol} \times 22.4\text{L/mol} = 32.6\text{L}$$

5. 理想气体状态方程式

在实际工作中, 温度与压力同时影响着气体的体积。从实践可知, 一定质量的气体, 当温度不变时, 它的体积随压力的增加而减小; 当压力不变时, 它的体积随温度升高而增大。因此, 气体体积(V)、压力(p)与温度(T)之间的关系, 可用下式表示:

$$pV=nRT \text{ 或 } pV=\frac{m}{M}RT$$

这就是理想气体状态方程式, 计算方法见第四章化工基本计算。

第二节 化学反应速度和化学平衡

一、化学反应速度

1. 化学反应速度的含义

各种化学反应进行的快慢相差很大, 有的进行得快, 几乎瞬间就能完成, 有的进行得很慢, 甚至长年累月也看不出什么变化。因此, 化学反应进行快慢的程度, 叫做化学反应速度, 它是用单位时间内反应物浓度的减少或生成物浓度的增加来表示, 其单位为 $\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$ 或 $\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})$ 。

在化学反应中, 反应物的减少与生成物的增加是按反应方程式的定量关系表示的。当各物质的系数不同时, 用不同的反应物或生成物表示的反应速度量值是不同的(但所反映的速度快慢是一样的)。例如, 假设在合成氨的反应中:

	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$		
开始时浓度(mol/L)	2	2	0
2秒后的浓度(mol/L)	1.6	0.8	0.8

则:

用 N_2 的浓度减少量表示反应速度为:

$$v_{\text{N}_2} = \frac{2-1.6}{2} = 0.2 [\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})]$$

用 H_2 的浓度减少量表示反应速度为:

$$v_{\text{H}_2} = \frac{2-0.8}{2} = 0.6 [\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})]$$

用 NH_3 的浓度增加量表示反应速度为:

$$v_{\text{NH}_3} = \frac{0.8-0}{2} = 0.4 [\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})]$$

以上表示的反应速度是在这段时间内的平均速度。各物质反应速度的比恰好就是化学方程式中的系数比。

2. 影响化学反应速度的因素

影响化学反应速度的因素很多,其中以反应物质本身的性质最为主要。但对于同一反应,当外界条件(温度、压力、催化剂等)不同时,反应速度也会发生改变。

(1) 浓度 在其他条件不变的情况下,增加反应物浓度,可以增大反应速度。例如,硫在纯氧中燃烧要比在空气中燃烧剧烈得多,这是因为纯氧中氧分子浓度比空气中氧分子浓度大。当反应物浓度增加时,单位体积内的活化分子的数目增多,使在单位时间内发生的有效碰撞次数增多,从而反应速度加快。

在化学反应中,增加反应物浓度,有利于各物质分子之间的相互接触乃至增加发生碰撞的次数。但发生碰撞仅是提供化学反应的机会,不是每次碰撞都能发生化学反应。能引起化学反应的碰撞叫有效碰撞,能产生有效碰撞的分子叫活化分子。活化分子比一般分子具有较高的能量。活化分子具有的最低能量与普通分子具有能量的平均值之差就是活化能。

(2) 温度 温度对反应速度的影响非常大,例如,在常温下,氧气与氢气几乎不能发生反应,当温度升至 600°C 时,反应立刻迅速发生并产生爆炸。

通过大量实践证明,在其他条件相同时,温度每升高 10°C ,反应速度大约加快 2~4 倍。这是由于温度的升高,使分子的热运动速度加快,同时,使某些分子获得能量而变为活化分子,增加了活化分子的百分数,即分子之间的有效碰撞次数增加,致使

反应速度加快。

(3) 催化剂 对于化学反应,凡能改变反应速度,而本身的组成与质量在反应前后保持不变的物质称为催化剂。催化剂能改变反应速度的作用,叫做催化作用,有催化剂参加的反应叫做催化反应。使用适量催化剂可以加速或减慢反应速度。能加快反应速度的催化剂叫正催化剂,能延缓反应速度的催化剂叫负催化剂。例如,在橡胶和塑料制品中,为了防止老化而加入的防老剂就是一种负催化剂。对于一个可逆反应,使用正催化剂不仅可以加快正反应速度,而且也以同等速度加快逆反应速度。

催化剂之所以能增加反应速度,是由于催化剂能改变特定反应的历程和降低活化能。

(4) 压力 对于有气体参加的反应,当其他条件不变时,增大压力会使反应速度增大。这是因为对气体加压后,就会使一定量气体的体积减小,相当于增大气体的反应浓度,所以增大压力,反应速度也必然加快。

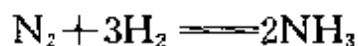
对于只有液体或固体参加的化学反应来说,压力的改变对它们的体积影响极小,可以认为,对反应速度没有影响。

此外,其他因素如光、超声波、放射线以及反应物颗粒的大小、扩散速度、溶剂等,对反应速度都存在程度不同的影响。

二、化学平衡

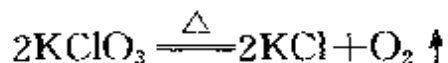
1. 可逆反应与化学平衡

在一定条件下,既能向正反应方向(从左到右),同时也能向逆反应方向(从右到左)进行的反应,叫做可逆反应。例如:



通常用“ \rightleftharpoons ”表示可逆反应。对于化学反应,可逆性是比较普遍的,但其程度会因化学反应的不同而有差别,有的化学反应的可逆性特别小,几乎只是正反应,像这类反应称为非可逆反

应。如:



在可逆反应中,正反应和逆反应是同时进行的,随着反应的进行,正反应速度逐渐变小,同时,逆反应速度也逐渐从零变大,在此变化过程中,最后会达到正反应速度等于逆反应速度。这时,反应物和生成物的浓度不再变化,达到了所谓的化学平衡状态。

在一定条件下的可逆反应里,正、逆反应速度相等,反应物和生成物的浓度不再随时间改变的状态,叫做化学平衡。

有气体参加的反应,只有在密闭容器中进行的反应,才有可能达到化学平衡。

化学平衡的特点,可以用以下四个字来概括:

①动 化学平衡是动态平衡,正、逆反应速度相等,但正逆反应仍在进行,反应没有停止,速度并非为零;

②等 正反应速度等于逆反应速度;

③定 一定条件下,可逆反应达平衡时,反应物和生成物的浓度不随时间改变而保持一定;

④变 改变外界条件(浓度、温度、压力),原来的化学平衡被破坏,平衡发生移动,并在新的条件下建立新的平衡。

2. 化学平衡的移动

可逆反应从一种条件下的平衡状态,改变为另一种条件下的平衡状态的过程,叫做化学平衡的移动。

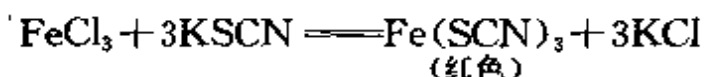
浓度、压力、温度和催化剂等的改变,可以使化学平衡发生移动。

(1) 浓度对化学平衡的影响 浓度对化学平衡的影响如表 1-10 所列。

表 1-10 浓度对化学平衡的影响

反应物浓度	生成物浓度	平衡移动方向
增大	减小	向正反应方向移动
减小	增大	向逆反应方向移动

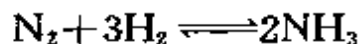
例如, 在 FeCl_3 溶液中加入 KSCN 溶液, 可生成红色 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 和 KCl 。反应式如下:



当达到平衡后, 再加入 FeCl_3 溶液或 KSCN 溶液, 可以看到溶液的颜色加深, 说明反应物浓度增大, 平衡向生成 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 的方向移动。反应物若是固体或很稀的溶液, 就不考虑浓度对平衡移动所产生的影响。

若一反应涉及多种反应物或生成物时, 只要改变任一种反应物或生成物的浓度, 就会对平衡移动产生影响。若同时改变几种反应物或生成物的浓度, 则对平衡移动的影响就更大了。所以, 工业生产上往往采用增大容易取得或价廉的原料的投料量, 而使其他原料得到充分利用。

(2) 压力对化学平衡的影响 对于有气体参加的可逆反应, 改变压力能使气体反应分子数有变化的反应发生化学平衡移动。实验证明, 增大反应压力, 平衡向着分子数减小(即体积减小)的方向移动; 减小压力, 则平衡向着分子数增多(即体积增大)的方向移动。例如合成氨反应:

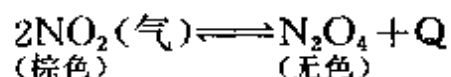


从反应式看, 反应前分子总数为 4, 反应后分子总数为 2, 是分子总数减少的反应, 因此, 增大反应压力, 有利于合成氨的生成。

对于反应物和生成物都没有气体的反应, 或反应前后气体

体积不变的反应, 改变压力都不会引起平衡移动。

(3) 温度 升高温度, 对正、逆反应速度都会发生程度不同的变化, 所以化学平衡发生移动。实验证明, 升高温度, 可使平衡向吸热反应方向移动, 降低温度, 则平衡向放热反应方向移动。例如:



从反应式可知, 生成 N_2O_4 的反应是放热 (+Q) 反应, 若降低温度, 反应向生成 N_2O_4 的方向移动, 因此, 混合气体的颜色(棕色)逐渐变浅。

(4) 催化剂 由于催化剂能改变化学反应历程, 降低活化能, 因此, 催化剂仅能加快反应速度, 缩短达到平衡的时间, 而不能影响化学平衡的移动。

(5) 化学平衡移动原理——吕·查德里原理 根据以上关于浓度、温度、压力对平衡移动的影响, 可以概括为较普遍的规律, 就是吕·查德里原理: 如果改变影响平衡的一个条件如温度、压力、浓度等, 平衡就向能减弱这个改变的方向移动。这就是说, 处在平衡状态下的反应, 增加反应物浓度, 平衡向能减弱反应物浓度的方向移动; 升高温度, 平衡就向能降低温度的吸热方向移动; 增加压力(对气体反应), 平衡就向能减小压力的气体分子数减少的方向移动。

在实际生产中, 运用平衡移动原理时, 不仅要从理论上分析, 而且要考虑反应速度、设备条件以及技术措施等实际问题。一般考虑下列几项原则:

① 增加反应物的浓度, 可以提高反应速度和反应物的转化率, 在生产中应选择廉价的原料过量, 以提高另一原料的转化率。

② 对反应后分子数减少的气体反应, 增加压力使平衡向生

成物方向移动。但要注意考虑设备的安全。

③ 对放热反应, 升高温度能提高反应速度, 但转化率降低, 最好选用催化剂和分段控制温度结合起来, 力争达到较高的转化率。

④ 对同时存在几个副反应的可逆反应, 必须选择合适的催化剂, 保证主反应进行, 控制副反应。

第三节 溶液和电解质溶液

一、分散系

物质除了以三种聚集状态的形式存在外, 还常以一种(或几种)物质分散于另一种物质中, 形成均匀分散系的形式存在。溶液就是一种分散系。

当一种(或几种)物质的微粒均匀分散在另一物质中所形成的体系叫做分散系。其中被分散的物质叫做分散质, 起分散作用的物质, 即分散质周围的介质叫做分散剂。分散系由分散质和分散剂构成。按此规定, 悬浊液、乳浊液和溶液同属分散系。

根据分散系中分散质的粒子的大小不同, 把分散系分为分子分散系(溶液)、粗分散系和胶体分散系三种。

(1) 分子分散系(溶液) 分散质(溶质)以分子、离子的状态, 均匀地分散在分散剂(溶剂)中所形成的分散系, 它的粒子大小在 $0.1 \sim 1\text{nm}$ (纳米), 这种溶液叫分子溶液或真溶液(包括高分子物质溶液)。这类溶液具有高度稳定性, 在条件不变(如温度不变, 溶剂不蒸发等), 久置, 溶质都不会析出。

(2) 粗分散系 粗分散系包括悬浊液和乳浊液。悬浊液是固体分散质以微小的颗粒分散在分散剂中而形成的体系。如泥浆水。乳浊液是液体分散质以微小的珠滴分散在分散剂中而形成的体系。粗分散系中的粒子在 100nm 以上。

(3) 胶体分散系 胶体分散系是分散质的粒子为 $0.1 \sim 100\text{nm}$ 的一种分散系。但也有分散质粒子在 500nm 以上的分散系仍表现为胶体的性质。

某些重要的分散系见表 1-11。

表 1-11 重要的分散系

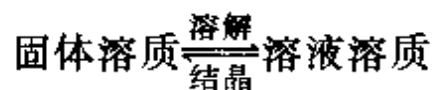
分散系名称	分散剂	分散质	分散系名称	分散剂	分散质
烟、气溶胶	气态	固态	乳浊液	液态	液态
雾气溶胶	气态	液态	胶体分散系	液态	固态
泡沫	液态	气态	固态泡沫	固态	气、液、固态

分散系的制备叫分散化。在化工生产中, 为了促进分散质在分散剂中的分散, 通常还添加特殊效能的添加物——助分散剂。

二、饱和溶液和非饱和溶液

1. 溶解与结晶

在一定温度下, 当一个可溶性固体投入水中, 固体表面的粒子(分子、离子), 在水分子的作用下而离开固体表面进入溶剂中, 通过扩散作用, 均匀地分散在溶剂中而形成溶液的过程, 叫做溶解。与此同时, 溶液中的溶质粒子, 由于热运动, 使某些粒子又碰撞到没有溶解的固体表面, 在粒子与固体表面的相互作用下面重新析出。这个从溶液中析出固体溶质的过程叫做结晶。溶解与结晶是两个相反的过程。其关系为:



2. 饱和溶液与非饱和溶液

在一定条件下, 溶解与结晶是可逆的。当溶解刚开始时, 溶液中的溶质粒子较少, 随着溶解的进行, 溶液中溶质粒子不断增多, 重新回到固体表面的粒子也增加, 但整个过程表现为溶质的不断溶解, 即溶解速度大于结晶速度。当溶解速度等于结晶速度

时, 固体溶质的质量不再减少, 溶液的浓度不再增加, (但两个过程仍继续进行) 处于动态平衡。此时溶液的浓度已达到最大值。

在一定温度下, 溶解和结晶达到动态平衡时的溶液叫做饱和溶液。反之, 在一定温度下, 溶解速度大于结晶速度的非平衡状态时的溶液, 叫做非饱和溶液。

饱和溶液和非饱和溶液在条件改变时, 可以互相改变, 如增加溶剂量或改变温度, 可使饱和溶液变成非饱和溶液。

3. 饱和蒸气压

在一定温度下, 任何液体的表面分子都有飞到空间的倾向, 即汽化。同时, 飞到空间去的分子, 由于不停地运动, 也有飞回液面形成液体的倾向, 即液化。当飞到空间去的分子数与飞回液面形成液体的分子数相等时, 即汽化和液化的相对量不再变化而建立了动态平衡。此时, 液体上方的蒸气压即为该液体在该温度下的饱和蒸气压, 简称蒸气压。

同一液体在不同的温度下, 或同一温度的不同液体, 它们的饱和蒸气压是不同的; 不同液体在不同温度时的饱和蒸气压, 可查阅有关手册。

三、溶解度

1. 固体溶解度

一种物质溶解在另一种物质里的能力叫做溶解性。溶解性大小用溶解度表示。

在一定温度下, 某种物质在 100g 溶剂中, 达到饱和时所溶解的克数, 叫做这种溶质在这种溶剂里的溶解度。如果不指明溶剂, 则溶解度都是指物质在水中的溶解度。例如, 在 20℃ 时 NaCl 的溶解度为 36g, 即在该温度下 100g 水中能溶解 36g NaCl, 如果超过 36g, 溶液中就会结晶析出 NaCl, 因此, 达到溶解度的溶液

必是饱和溶液。

根据溶解度的大小, 把物质分为四类: 在室温(20℃)下, 溶解度大于 10g 的物质叫易溶物; 在 1~10g 的叫可溶物; 在 0.01~1g 的叫微溶物; 在 0.01g 以下的叫难溶物。由此可见, 难溶物质绝非不溶, 绝对不溶的物质是不存在的, 习惯上把“难溶”称为“不溶”。

2. 气体溶解度

气体的溶解度通常是指该气体($1.01 \times 10^5 \text{Pa}$)在一定温度下溶解在 1 体积水里达到饱和状态时所能溶解的体积(若为非标准状况下的气体体积, 则应换算为标准状况下的体积)。例如, 在 0℃ 时, 1 体积水里能溶解 0.049 体积的氧气, 则氧气在 0℃ 时溶解度为 0.049。

3. 影响溶解度的因素

(1) 温度 大多数固体物质的溶解度随温度的升高而增大; 少数固体物质的溶解度受温度影响较小; 极少数固体物质的溶解度随温度的升高而减小。见图 1-1。

气体的溶解度随温度的升高而减小。如给冷水加热时, 随着温度的升高, 溶解在水中的空气就在沸腾前形成气泡冒出。

(2) 压力 压力对固体物质的溶解度没有显著的影响。但对气体的溶解度, 一般

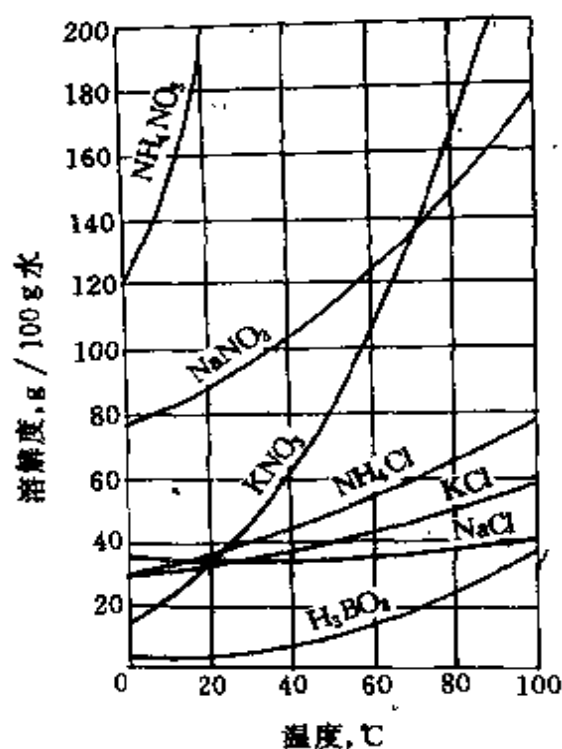


图 1-1 固体物质的溶解度曲线

是随压力的增大而增大。如汽水里加压溶解 CO_2 , 当打开汽水瓶盖时, 由于压力减小, 大量 CO_2 冲出泡沫。

4. 物质的结晶

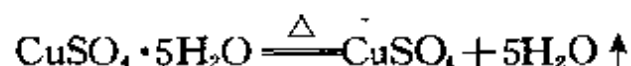
(1) 结晶 溶质从溶液中析出形成晶体的过程叫做结晶。结晶是溶解的逆过程。

物质的结晶方法: ①蒸发溶剂, 使溶液中溶质量超过溶解度, 超过量便能形成晶体析出; 例如, 海水经日光和风力使水分蒸发而得到 NaCl 晶体。②冷却溶液。把高温的饱和溶液冷却, 由于溶解度随温度降低而减小, 溶质量超过该温度下的溶解度, 于是超过量便形成晶体析出。例如, 把热的 CuSO_4 饱和溶液冷却, 可以得到 CuSO_4 晶体。

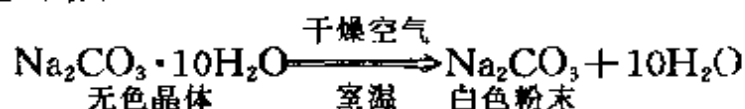
(2) 结晶水合物 有些物质从水溶液中析出晶体时, 常常结合一定数目的水分子, 这样的水分子叫结晶水。含有结晶水的晶体叫做结晶水合物。

常见的结晶水合物有: 胆矾 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 绿矾 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 苏打 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; 明矾 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 等。有些晶体里不含结晶水, 如 NaCl 、 KNO_3 等晶体。

结晶水合物受热容易失去结晶水。例如



在常温和干燥空气里失去一部分或全部的结晶水, 这种现象叫做风化。例如:



晶体能吸收空气中水分, 在晶体表面逐渐形成溶液, 这种现象叫做潮解。例如, NaCl 、 MgCl_2 等晶体都很容易潮解。

四、电解质溶液

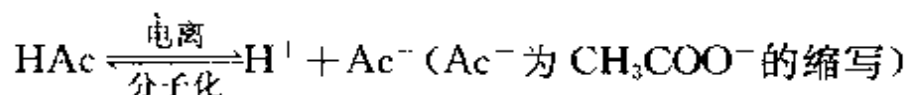
1. 电解质的电离

(1) 电解质 凡是在水溶液中或熔化状态下能够导电的化合物,叫做电解质,而在水溶液中或熔化状态下不能导电的化合物,叫做非电解质。酸、碱、盐都是电解质,大多数的有机化合物,如蔗糖等属于非电解质。

电解质溶液能够导电,是由于电解质在溶于水或受热熔化时,电解质内部的离子键或极性键,在水分子或热能作用下,离解成能自由移动的阴、阳离子。这些离子在外电场的作用下,各按一定方向移动,并在电极上发生电子的得失而形成电流,因而电解质溶液能够导电。

电解质溶解于水或受热熔化时,离解成自由移动的离子的过程叫做电离。实验可知,各种电解质溶液在相同条件下,电离的程度是不同的。因此,把能完全电离的电解质称为强电解质,如强酸、强碱及大部分盐类;仅能部分电离的电解质称为弱电解质,如弱酸、弱碱。

(2) 弱电解质的电离平衡 弱电解质在水溶液中仅能部分电离成离子。例如醋酸在水溶液中的电离,可表示如下:



从 HAc 电离关系式可以看出, HAc 的电离同时存在两个过程,一个是 HAc 分子解离成 H^+ 离子和 Ac^- 离子的正过程,另一个是 H^+ 离子与 Ac^- 离子相互碰撞结合成 HAc 分子的逆过程。当正、逆过程速度相等时,溶液中未电离的分子与电离生成的离子的相对比例不再改变,此时电离达到了动态平衡。这种平衡叫做电离平衡。

电离平衡和化学平衡一样,当外界条件改变时,电离平衡就要发生移动,直至在新的条件下建立新的平衡。温度、压力等因素对电离平衡移动一般影响不大,主要是离子的浓度对弱电解

质的电离平衡移动有明显的影响。例如醋酸溶液中加入少量固体醋酸钠时, 则电离平衡向左(生成 HAc 分子)方向移动; 若醋酸溶液中加入少量的 NaOH, 则电离平衡向右(电离)方向移动。

强电解质在水溶液中的电离过程几乎是不可逆的, 因此, 强电解质不存在电离平衡。

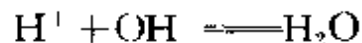
(3) 电离度 在动态平衡下弱电解质的电离程度叫电离度。以符号 α 表示。当弱电解质在溶液中达到电离平衡时, 已电离的电解质的分子数与电离前溶液中电解质分子总数(包括已电离和未电离的)的百分比叫做电离度。

$$\alpha = \frac{\text{已电离的电解质分子数}}{\text{溶液中电解质总分子数}} \times 100\%$$

例如, 18℃ 时, 0.1 mol/L 的 HAc 溶液, $\alpha = 1.33\%$ 。这说明 10^4 个分子中有 133 个分子已电离为 H^+ 离子和 Ac^- 离子。

电离度的大小与温度和溶液的浓度有关。在相同的温度下, 同一电解质的浓度越稀, 正、负离子相碰撞形成分子的机会越少, 形成分子的速度明显下降, 于是电离度也就越大。电离一般为吸热, 故升高温度电离度增大。

(4) 离子方程式 由于电解质在水溶液中全部或部分电离成离子, 因此, 电解质在水溶液中的反应, 实质是离子之间的反应, 用实际参加反应的离子符号来表示离子反应的式子, 叫做离子方程式。离子方程式与一般方程式有所不同, 它不但表示出反应的实质, 而且表示所有同一类的离子反应。例如, 酸碱中和反应都可以用同一离子方程式表示:



从离子方程式可以看出, 中和反应特征是生成 H_2O , 其实质是 H^+ 与 OH^- 的反应。

书写离子方程式方法如下:

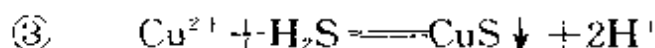
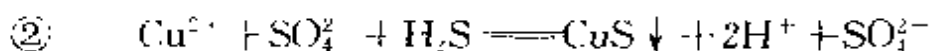
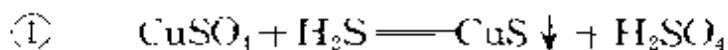
① 先写出分子反应方程式;

② 无论是反应物还是生成物, 凡属易溶的强电解质写成相对应的离子, 凡属难溶物质、水、弱电解质或气体, 都用分子式表示;

③ 消去反应两边不参加反应的相同数目离子, 剩下的就是该反应的离子方程式;

④ 配平后式子两边各种元素的原子总数应相等, 反应物与生成物的电荷总数也应相等。

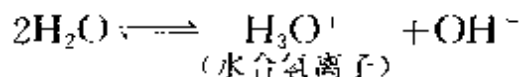
例如: 用离子反应方程式表示 CuSO_4 和 H_2S 溶液的反应



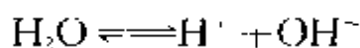
不是在溶液中进行的反应, 不宜写离子方程式。

2. 溶液的 pH 值

(1) 水的电离 纯水是很弱的电解质, 电离时, 只有极小部分解离成 H^+ 和 OH^- , 而且是按以下方程电离:



简化为:



水的电离作用是很小的, 在 22°C 时, 根据实验测定, 在电离平衡时, 1L 纯水中仅有 10^{-7}mol 水分子被电离为离子, 水中的 H^+ 和 OH^- 都为 10^{-7}mol/L 。表示为:

$$c_{\text{H}^+} = c_{\text{OH}^-} = 10^{-7}\text{mol/L}$$

(2) pH 值 在纯水溶液中, 由于 H^+ 和 OH^- 离子总是同时存在的, 且浓度相等, 所以显中性。若某溶液显酸性, 则溶液中

H^+ 离子浓度超过了 OH^- 离子浓度, 即 $[H^+] > [OH^-]$ 。同理, 若为碱性溶液, 则 OH^- 离子浓度超过 H^+ 离子浓度, 即 $[OH^-] > [H^+]$ 。溶液的酸碱性, 习惯上用 $[H^+]$ 表示:

$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ mol/L}$ 时, 水溶液呈中性;

$[H^+] > 10^{-7} \text{ mol/L}$ 时, 水溶液呈酸性;

$[H^+] < 10^{-7} \text{ mol/L}$ 时, 水溶液呈碱性。

如果对 $[H^+] = 10^{-7}$ 取对数, 则得

$$\lg[H^+] = \lg 10^{-7} = -7$$

$$-\lg[H^+] = 7$$

用符号 pH 来表示上式, 则

$$\text{pH} = -\lg[H^+] = 7$$

那么, pH 值是氢离子浓度的负对数。

由此可以得出: 中性溶液 $\text{pH} = 7$; 酸性溶液 $\text{pH} < 7$; 碱性溶液 $\text{pH} > 7$, 见图1-2。

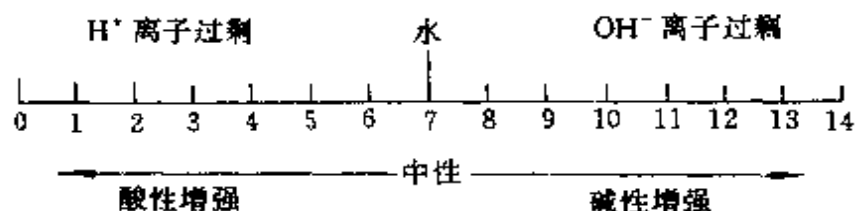


图1-2 pH 值标度

(3) pH 值的测定 在生产、科研中, 控制和测定溶液的 pH 值是非常重要的。溶液 pH 值的测定可以用 pH 计或是借助指示剂来实现。指示剂是一种植物颜料或某种颜色的有机化合物, 当溶液中 $[H^+]$ 改变时其颜色也发生改变。这种颜色突变是很鲜明、敏捷的, 而且随氢离子浓度的变化而逆向变色。

常见酸碱指示剂的变色范围见表1-12。

表1-12 常见酸碱指示剂的变色范围

指示剂	变色范围 pH	颜 色		
		酸 色	中间色	碱 色
甲 基 橙	3.1~4.4	红	橙	黄
石 蕊	5~8	红	紫	蓝
酚 酞	8~10	无	粉红	玫瑰红

从表中指示剂的变色范围可以看出,指示剂一般只能粗略地表示溶液的酸碱性,要比较精确地知道溶液酸碱性,可用 pH 试纸。pH 试纸是由多种指示剂的混合液浸透的试纸,因此,它能在不同 pH 值的溶液显示不同的颜色。用 pH 试纸测定溶液的 pH 值,方法简单,首先从 pH 试纸本上撕下一条试纸,滴上一滴被测溶液,然后把试纸呈现的颜色与标准比色板对照,就可以比较准确地知道被测溶液的 pH 值。这种方法广泛地应用在生产 and 科学实验中。

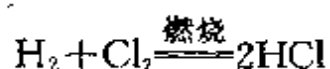
第四节 化学反应的基本类型和氧化-还原反应

一、化学反应的基本类型

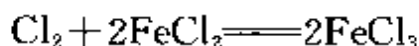
根据反应的形式(分子中原子重新组合的方式),无机化学反应可分为化合反应、分解反应、置换反应和复分解反应四种基本类型。

(1) 化合反应 由两种或两种以上的物质生成另一种新物质的反应,叫做化合反应。在化合反应中又有三种情况。

① 单质与单质的反应:



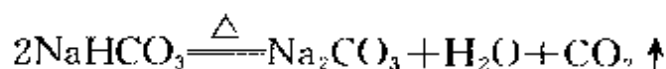
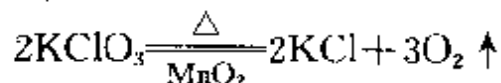
② 单质与化合物的反应:



③ 化合物与化合物的反应:



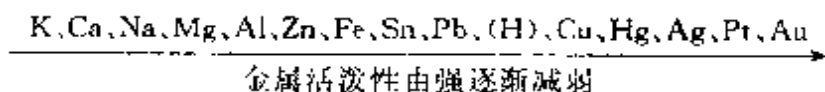
(2) 分解反应 由一种物质生成两种或两种以上新物质的反应, 叫做分解反应。例如:



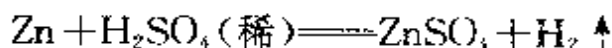
分解反应通常是在光、热或电的作用下进行。

(3) 置换反应 由一种单质和一种化合物反应, 生成另一种新的单质和另一种新的化合物的反应叫做置换反应。大部分置换反应有两种置换情况。

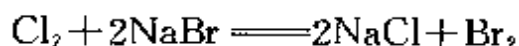
① 金属单质与化合物中的阳离子的置换。这类反应能否发生, 可按下列的“金属活动顺序表”来判断。



在金属活动顺序表中, 金属的位置越靠前, 金属原子越易失去电子, 其活动性越强。一般说, 排在氢前面的金属, 能置换酸中或水里的氢; 排在前面的金属, 能把排在后面的金属从它的盐溶液里置换出来。例如:



② 非金属单质与化合物中的阴离子的置换。这类反应按不同非金属活动顺序来判断。如: $\text{F} > \text{Cl} > \text{Br} > \text{I} > \text{S}$ 等。例如:



(4) 复分解反应 由两种化合物互相交换成分, 生成另外

两种新的化合物的反应。常见复分解反应有以下四种情况:

① 酸+碱 \rightleftharpoons 盐+水

例如: $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

② 酸₍₁₎ + 盐₍₁₎ \rightleftharpoons 酸₍₂₎ + 盐₍₂₎

例如: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{BaCl}_2 \rightleftharpoons 2\text{HCl} + \text{BaSO}_4 \downarrow$

③ 碱₍₁₎ + 盐₍₁₎ \rightleftharpoons 碱₍₂₎ + 盐₍₂₎

例如: $2\text{NaOH} + \text{CuCl}_2 \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaCl}$

④ 盐₍₁₎ + 盐₍₂₎ \rightleftharpoons 盐₍₃₎ + 盐₍₄₎

例如: $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightleftharpoons \text{AgCl} \downarrow + \text{NaNO}_3$

复分解反应, 不是任意两种化合物互相混合就能发生反应, 而必须是生成物之中有难溶物质析出或有气体放出或有水之类的物质生成, 否则, 不能发生复分解反应。

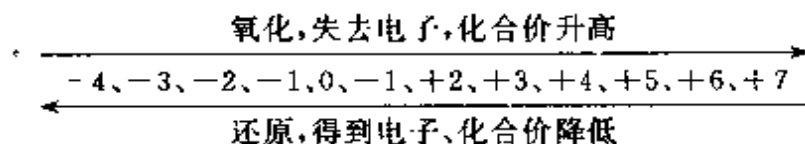
二、氧化-还原反应

从反应实质, 可把化学反应分为两种类型, 即氧化-还原反应和非氧化-还原反应。氧化-还原反应是无机化学中广泛存在的一类重要反应, 无论是无机物中硫酸、硝酸的制造, 还是在各类金属的冶炼中都要应用氧化-还原反应。因此, 掌握它的实质和规律, 对于学好化学以及指导生产或从事科研, 都有着极其重要的实际意义。

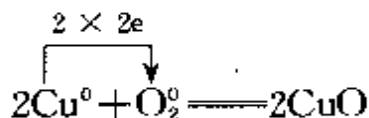
1. 氧化-还原反应的实质

人们最早把物质与氧化合的反应叫做氧化(或被氧化), 而把氧化物的氧去掉的反应叫做还原(或被还原)。随着科学的发展, 发现氧化-还原反应的实质是: 在化学反应中, 有些元素的原子之间有电子的转移。凡在化学反应中, 原子失去电子(使元素的化合价升高)的变化, 叫做氧化, 这类反应叫做氧化反应; 若是原子得到电子(使元素化合价降低)的变化, 叫做还原, 这类反应叫做还原反应。在这一反应中, 氧化与还原必然同时发生, 即有

一物质失去电子(被氧化), 必然有另一物质得到电子(被还原), 且得、失电子的总数相等。同时, 必然伴随着反应前后某些元素的化合价的升高或降低。电子转移和正负化合价升降的关系可以表示为:



凡是物质之间有电子得失的反应叫做氧化-还原反应。例如:



反应过程中, 铜失去2个电子, 由0价变为+2价, 化合价升高, 铜被氧化; 氧得到2个电子, 由0价变为-2价, 化合价降低, 氧被还原。

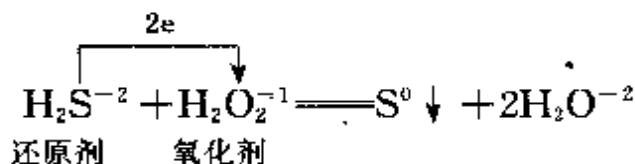
2. 氧化剂与还原剂

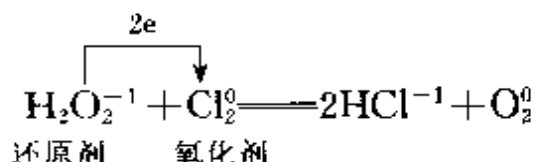
在氧化-还原反应中得到电子的物质叫氧化剂; 失去电子的物质叫做还原剂。

一般常用的氧化剂都是一些易获得电子的非金属, 如 O_2 、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 等, 以及高价态元素的化合物, 如 KMnO_4^{+7} 、 KClO_3^{+5} 、 $\text{H}_2\text{SO}_4^{+6}$ 等。

一般常用的还原剂都是一些易失去电子的金属, 如 Zn 、 Mg 、 Na 、 Al 、 Fe 等, 以及含有低价态元素的化合物, 如 H_2 、 KI^{-1} 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3^{+4}$ 、 H_2S^{-2} 等。

例如:





氧化剂和还原剂是指参加反应的物质,氧化剂氧化了还原剂而本身被还原;还原剂还原氧化剂而本身被氧化。氧化剂和还原剂是相对的,有些物质如 H_2O_2 在不同条件下可以做氧化剂也可以做还原剂。

3. 氧化性和还原性

指某物质可作为氧化剂而氧化别的元素的性质叫做氧化性。如 $\text{Cl}^0 \xrightarrow{+e} \text{Cl}^{-1}$, Cl 能被还原,因而 Cl 具有氧化性。指某物质可作为还原剂而还原别的元素的性质叫做还原性。如 $\text{Al}^0 \xrightarrow{-3e} \text{Al}^{+3}$, Al 能被氧化,因而 Al 具有还原性。

得电子能力强的物质,其氧化性强;失电子能力强的物质,其还原性强。氧化性、还原性的强弱决定于得失电子的难易,而不决定于得、失电子的多少。

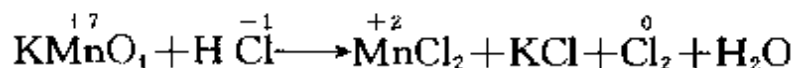
4. 氧化-还原反应方程式的配平

由于氧化-还原反应比较复杂,反应式中物质较多,配平方程式需要有一定的方法。

配平方法的依据是:氧化剂得电子总数=还原剂失电子总数,或氧化剂降价总数=还原剂升价总数。

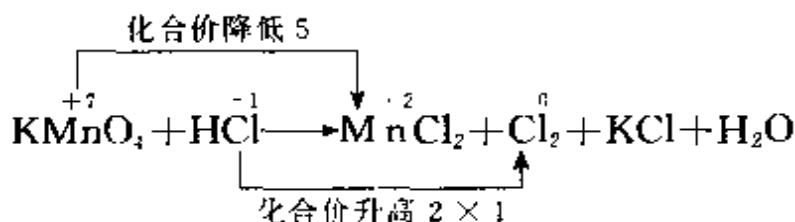
配平的过程,一般可按如下步骤进行:以配平 $\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \longrightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ 为例。

① 写出未配平的反应方程式,并标出发生氧化和还原的变价元素在反应前后的化合价:



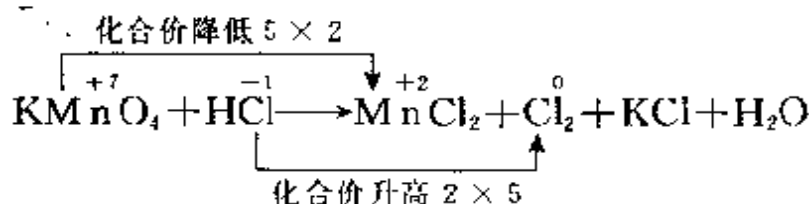
② 标出氧化剂、还原剂每一分子中变价元素的降价数和升

价数(或得、失电子数);

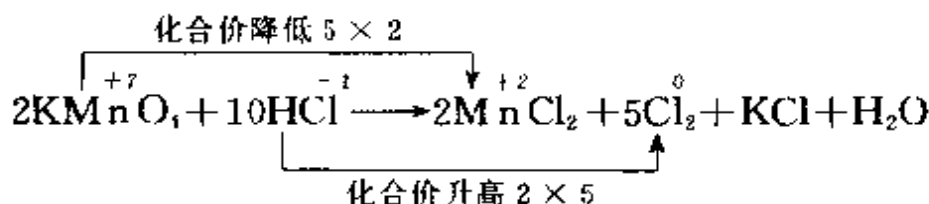


注意: 在这里由于生成 Cl_2 , 氯的化合价变化应计算2个氯原子的化合价。

③ 使正负化合价的升高和降低的总数相等;



④ 用所乘的倍数作为对应的氧化剂和还原剂的系数, 并配平相应的氧化产物和还原产物;



⑤ 根据反应前后原子数相等的原则, 调整分子式前面的系数, 使反应式两边的原子数相等。一般先调整其他原子, 后调整 H、O 原子数。在达到反应式两边所有的原子数相等时, 把箭头改成等号, 表明此方程式已配平。



三、电解

1. 电解原理

电解是在直流电的作用下, 使电解质溶液或熔融电解质在阴阳两极上发生氧化-还原反应的过程。在此过程中, 电能不断地转化为化学能。

借助于电流而引起氧化-还原反应的装置,叫做电解池或电解槽。在电解槽中,与直流电源正极相联接的电极是阳极;与直流电源负极相联接的电极是阴极。

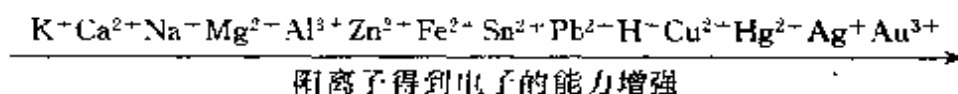
如图1-3所示。

电子的流动方向是从电源的负极,沿导线流向电解池中的阴极,然后再由电解池中阳极回到电源的正极。

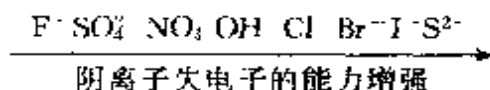
在电解过程中,电解质溶液中的阴阳离子在电场的作用下,分别产生定向移动,阴离子向阳极移动,并在阳极上失去电子而被氧化;

阳离子向阴极移动,并在阴极上得到电子而被还原。阴、阳离子在电极上失、得电子而消失电荷的过程,一律称为离子放电。

若溶液中含有多种离子,则电解时,所有阴离子都向阳极移动,所有阳离子都向阴极移动。那么,在阴、阳极上首先发生放电的是哪一种离子,取决于它们得失电子的能力。在石墨或铂电极上,某些阳离子放电(获电子)的难易顺序和金属活动顺序一致。即



某些阴离子放电(失电子)的顺序是:



根据离子的放电顺序,可以判断一般条件下电解的产物。例如以石墨为电极,电解 CuCl_2 溶液时,其电离过程为:

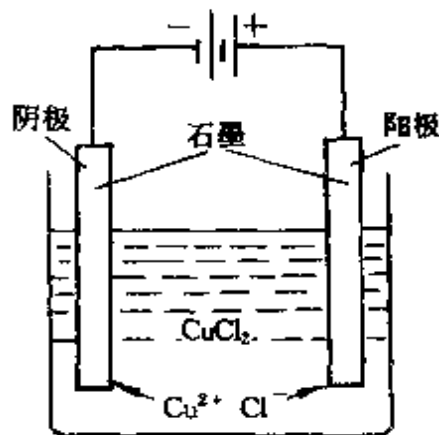
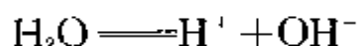
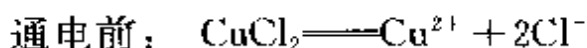
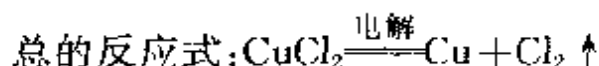
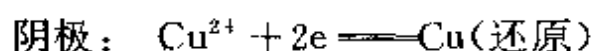
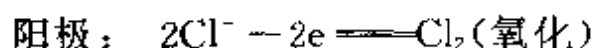


图1-3 电解池示意图

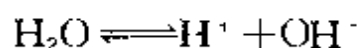
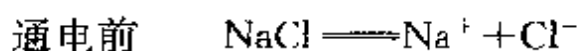


通电时, Cu^{2+} 、 H^+ 向阴极移动, Cl^- 、 OH^- 向阳极移动, 因放电顺序 $\text{Cu}^{2+} > \text{H}^+$, $\text{Cl}^- > \text{OH}^-$, 所以在两极上的反应为:

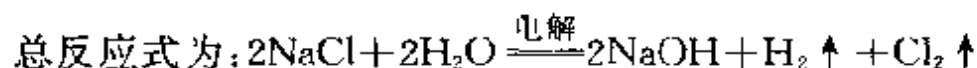
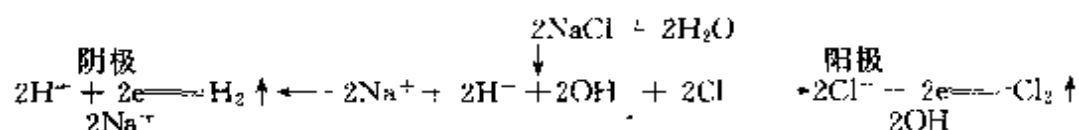


2. 电解的应用

(1) 电解食盐(氯碱工业) 电解食盐水溶液, 可以制取氯气、氢气和烧碱。其化学原理为:



通电时, 在两电极上由于得电子能力 $\text{H}^+ > \text{Na}^+$; 失电子能力 $\text{Cl}^- > \text{OH}^-$, 所以:



工业上电解食盐是采用隔膜法电解。如图1-4所示。隔膜法电解槽是以石墨为阳极, 铁网为阴极, 以石棉隔膜将电解槽分隔成阴极室和阳极室, 精制食盐水从阳极室加入, 然后通过紧贴在铁网阴极上的石棉隔膜微孔而流入阴极室。在此过程中, 阳极室产生氯气, 阴极室产生氢气和氢氧化钠。

(2) 电镀 应用电解原理, 在金属或非金属表面, 镀上一层其他金属的过程, 叫做电镀。

电镀时把镀件金属作阴极, 欲镀金属作阳极, 用含有欲镀金属离子的溶液作电解液(常叫电镀液)。电镀后, 镀件表面就会覆

盖上欲镀的金属。例如, 在铁件上镀锌时, 铁件为阴极, 锌片为阳极, 电镀液为氯化锌 (还需加有其他添加剂)。电镀结果为: 阳极锌片被溶解成 Zn^{2+} 进入溶液, 阴极铁件表面覆盖一层锌, 而且阳极溶解的锌量, 等于铁件上覆盖的锌量, 电镀液中 ZnCl_2 的量保持不变。

四、原电池

1. 原电池产生电流的原理

利用氧化-还原反应产生电流的装置, 叫做原电池。

构成原电池的条件一般为: ①有两种活泼性不同的电极 (通常为金属, 也可为非金属); ②两电极同时浸入电解质溶液中; ③两电极间用导线联接。例如, 用串有电流计的导线联接铜片和锌片,

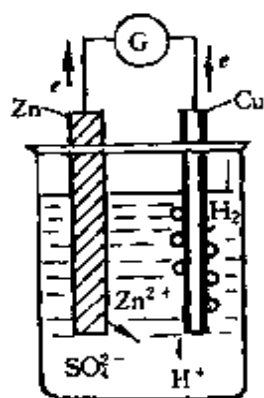


图1-5 原电池示意图

并一同浸入稀硫酸中。可以看到铜片上有气体放出, 锌片上没有气体放出, 电流计指针发生偏转, 有电流产生。装置如图1-5所示。

实验表明, 当铜片与锌片同时浸入稀 H_2SO_4 时, 由于锌比铜活泼, 容易失去电子而被氧化成 Zn^{2+} 进入溶液, 电子沿导线流向铜片, 溶液中的 H^+ 从铜片获得电子, 被还原成氢原

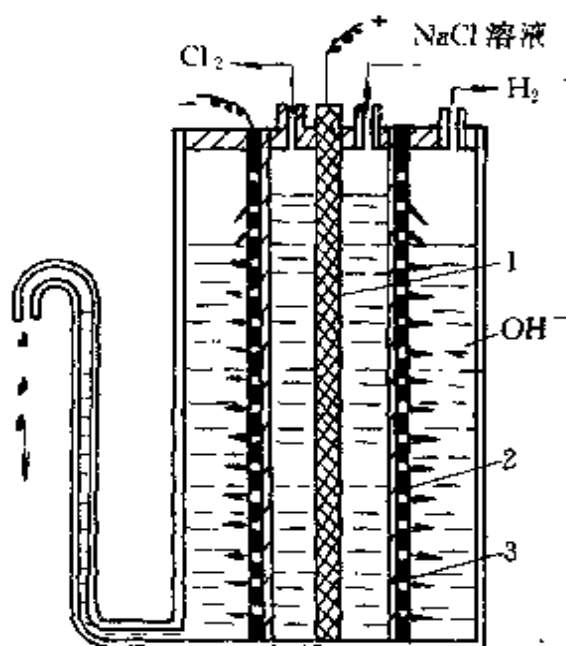
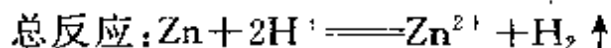
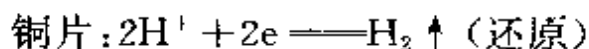
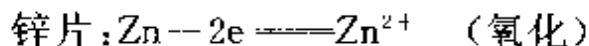


图1-4 隔膜法电解食盐

1—石墨阳极; 2—石棉隔膜;
3—铁网阴极

子, 氢原子结合成 H_2 在铜片上放出。电子的定向流动便形成电流。变化过程如下:



在原电池中, 电子流出的一极(较活泼金属如锌片), 叫负极, 电极被氧化; 电子流入的一极(较不活泼金属如铜片), 叫正极, H^+ 在电极上被还原。

原电池中的氧化-还原反应所以能够产生电流, 是电子由还原剂(如 Zn) 流出, 通过导线, 转入氧化剂(如 H^+)。氧化和还原分别在两个电极上进行, 这与通常的氧化-还原反应不同。

利用原电池原理, 可以制做多种电池, 如干电池、蓄电池、高能电池等。

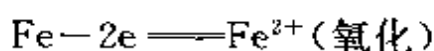
2. 金属的腐蚀与防护

金属或合金跟周围的气体或液体发生化学反应而被耗损的过程, 叫做金属的腐蚀。根据金属腐蚀的原因不同, 可分为化学腐蚀和电化学腐蚀两种。化学腐蚀主要由化学物质, 如 O_2 、 H_2S 、 SO_2 、 Cl_2 等, 通过发生化学反应而造成的腐蚀; 电化学腐蚀主要是由于金属构成的组分之间发生了电化学作用(即产生了微型的原电池作用)而引起的腐蚀。这两种腐蚀往往同时发生, 但电化学腐蚀更为普遍。

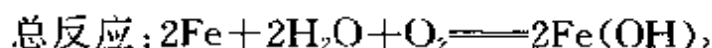
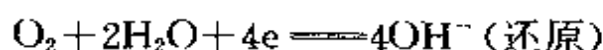
(1) 电化学腐蚀 通过原电池的反应原理可知, 只要是两种相互接通的金属与其对应的盐溶液接触, 便形成原电池。易失电子的物质为原电池负极而被溶解, 另一较难失电子的物质为正极。

例如, 钢铁在潮湿的空气中被腐蚀, 是由于钢铁表面覆盖着一层极薄的水膜, 水膜里溶解了一些 CO_2 、 O_2 等气体, 形成电解

质溶液。钢铁中由于含有其他组分及其杂质,故与铁组成了很多微型原电池。在这些微电池里,铁是负极,另一组分是正极,如图1-6所示。作为负极的铁失去电子而被氧化。



正极上主要是溶解于水膜里的氧气得到电子而被还原。



反应的结果是铁被腐蚀,这种电化腐蚀叫做吸氧腐蚀。

金属的腐蚀现象很普遍,造成的危害非常严重。因此,必须设法防止或减缓金属的腐蚀。

(2) 金属的防腐 常用的金属防腐方法有以下几种:

① 改变金属的内部组织结构。制成合金,例如,在钢铁中加入适量的铬、镍等元素而制成不锈钢。

② 涂保护层法。在金属表面覆盖保护层,例如电镀(金属保护层)、涂漆或搪瓷(非金属保护层)、氧化处理(氧化膜保护层)等。

③ 缓蚀剂法。在能产生腐蚀性的介质中,加入一种能减缓腐蚀速度的物质来防止金属腐蚀的办法,叫做缓蚀法。例如,铁在硬水中能耐腐蚀,因为硬水中所含的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$,能起到缓蚀剂的作用。琼脂、动物胶等都能减弱金属在酸性介质中的腐蚀。

④ 电化学保护法。此法是将被保护的金属联接在更活泼金属上,形成一个原电池,这样,被保护金属为原电池正极而不被腐蚀,更活泼金属为原电池负极被腐蚀。这种方法广泛用于海底

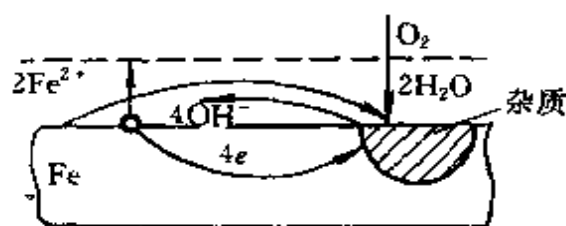


图1-6 钢铁电化腐蚀示意图

设备、锅炉和轮船外壳的防腐。

此外,保持金属表面的干净,也是简便的防腐蚀方法。

第五节 常见元素及其重要化合物

目前已发现107种元素,按其性质差别可分为三类:金属、非金属和惰性气体元素。

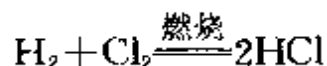
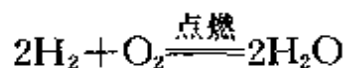
一、非金属元素及其重要化合物

1. 氢和水

氢有三种同位素: ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ (重氢)和 ${}^3_1\text{H}$ (超重氢)。氢原子外层只有一个电子,这个电子不象金属那样容易失去,所以把它划为非金属元素。氢与其他非金属以共价键形成化合物,表现+1价。

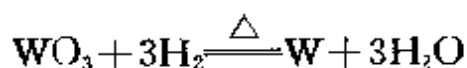
(1) 氢气的性质 氢气是无色、无味、无臭的气体,密度最小(0.08987g/L),难溶于水,可以液化。它的主要化学性质是:

可燃性 氢气不仅可以在纯氧、空气中燃烧,而且可以在氯气中燃烧,并放出大量的热。



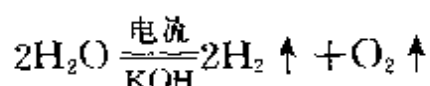
氢气与氧气(或空气)在一定比例范围内混合,点燃时会发生猛烈爆炸。所以点燃氢气前必须检验其纯度。

还原性 在加热的条件下,氢气能使许多金属氧化物还原。例如:

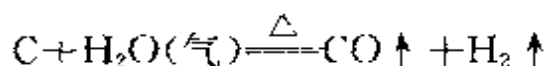
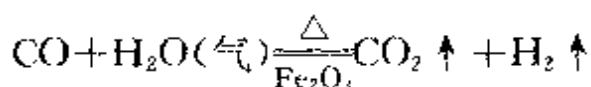


(2) 氢气的制法 氢气的工业制法主要有:

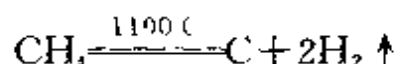
电解水法:



水煤气法:



甲烷分解法:



天然气、石油炼厂气和焦炉气的净化分离。

氢气可用于制造氨、盐酸、甲醇、氢化油脂, 氢氧焰焊接等。液态氢可作火箭燃料。在制取许多贵重金属(如钨)时, 常用氢作还原剂。

(3) 水的性质 纯水是无色、无味、无臭的透明液体, 在标准压力下(0.1MPa), 它在0℃时凝固为冰, 100℃时沸腾为汽, 4℃时具有最大的密度(1g/cm³)。水凝结成冰后体积膨胀, 所以水和冰混合时, 冰会浮在水上。

水是由质量分数为0.889(88.9%)的氧和质量分数为0.111(11.1%)的氢所组成的化合物。是由两个氢原子和一个氧原子共用两对电子, 以两个极性共价键结合构成的。水可以由氢或含氢化合物在纯氧或在空气中燃烧时生成; 在中和反应和其他化学反应过程中同样也会生成水。但都不是水的重要来源, 自然界里存在足够数量的水, 并可通过处理成为可应用的状态。

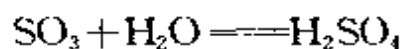
天然水可包括为: 雨水、泉水和河水、以及海水。若按使用目的处理天然水, 则有饮用水、蒸馏水、无离子水等。水的化学性质主要有两个:

与活泼金属、活泼非金属反应:





水与氧化物作用, 生成酸或碱。



2. 卤族元素

卤族元素包括氟(F)、氯(Cl)、溴(Br)、碘(I)、砹(At)5种元素, 常称为卤族即卤素。它们是非常活泼的典型非金属, 能跟大多数元素化合。氯是卤素的代表元素。

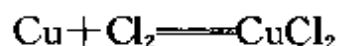
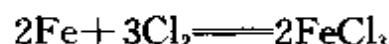
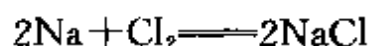
氯是很活泼的非金属元素, 它与金属或氢化合时显-1价, 与氧化合时显正价, 通常有+1、+3、+5、+7价多种价态。

(1) 氯气

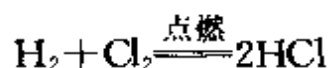
① 氯气的性质和用途 氯气是一种黄绿色的气体, 有强烈的刺激性气味, 有毒。比空气重, 能溶于水。氯气易液化, 在标准压力下, 冷却到 -34.6°C , 就变成液氯。

氯气的主要化学性质:

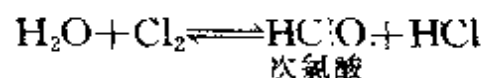
与金属的反应 它几乎能与所有的金属化合。在加热条件下, 许多金属都能在氯气里燃烧。



与氢气反应 工业上利用此反应合成氯化氢气体或制成盐酸。

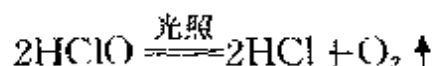


与水反应



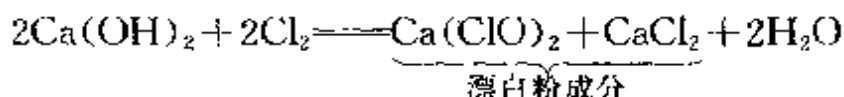
氯气的水溶液叫氯水, 新制的氯水是单质氯、盐酸、次氯酸

的混和物,其中单质氯含量最多。次氯酸是很不稳定的弱酸,易分解出氧,见光分解更快。

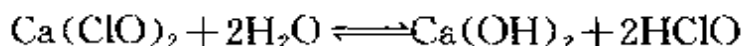


次氯酸是很强的氧化剂,它能将有机色素氧化褪色。这是氯水有漂白作用的原因。

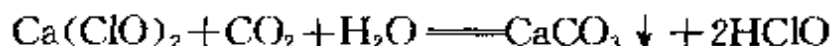
与碱反应 在常温下氯气与碱反应,生成次氯酸盐、金属氯化物和水。



工业上就是将氯气通入石灰乳中来制取漂白粉。它是一种混合物,有效成分是次氯酸钙,遇水反应生成次氯酸,因而有漂白、杀菌作用。

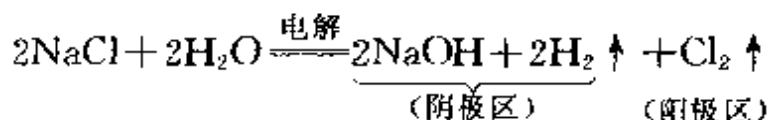


空气中的 CO_2 也能促使漂白粉水解。在空气中长期久置暴露,会变质失效:



氯气主要用于合成盐酸、制漂白粉,用于饮水消毒,还可制造杀虫剂(敌百虫、毒杀酚等)、合成塑料、合成纤维、合成橡胶等。液氯可用做高能燃料的氧化剂。

② 氯气的制法 工业上用电解食盐水的方法制取氯气,同时获得烧碱和氢气。



(2) 氯的几种重要化合物

① 氯化氢的性质 氯化氢是无色有刺激性气味的气体,易溶于水,在标准状况下,1体积水可溶解500体积的氯化氢气体。溶于水后即得盐酸。

盐酸是三大强酸之一, 纯盐酸是无色液体, 可和水以任何比例混和。易挥发, 在空气中冒白雾。由于盐酸中 Cl^- 离子处于该元素的最低价态, 所以没有氧化性。在金属活动性顺序中, 位于 H 之前的金属都能跟盐酸反应, 具有酸的一切通性。氯化氢与盐酸虽用同一化学式 HCl 表示, 但两者的区别见表1-13。

表1-13 氯化氢与盐酸的比较

	氯化氢	盐 酸
类别	纯净物	混和物(水溶液)
物态	气体	液体
性质	1) 无色, 有刺激性气味 2) 不电离, 以分子状态存在 3) 液态不导电 4) 不能使干燥石蕊试纸变红	1) 无色液体, 有 HCl 气味(较浓时) 2) 电离出 H^+ 和 Cl^- 离子 3) 导电性强 4) 能使石蕊试纸变红, 有酸的通性

② 氯的含氧酸 氯有多种含氧酸, 在这些含氧酸中氯的价态不同。

酸性增强, 稳定性增强			
+1	+3	+5	+7
HClO	HClO_2	HClO_3	HClO_4
次氯酸	亚氯酸	氯酸	高氯酸

在氯的含氧酸中, 酸性是按次氯酸、亚氯酸、氯酸与高氯酸的顺序逐渐增强。

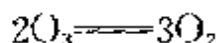
3. 氧族元素

氧族元素包括氧(O)、硫(S)、硒(Se)、碲(Te)、钋(Po)5种元素。

氧族元素(除碲、钋外)都能与氢化合生成相应的气态氢化物, 如 H_2O 、 H_2S 、 H_2Se 等, 这些氢化物(除水)溶于水后都成酸。

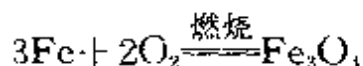
(1) 氧 是氧族中非金属性最强的一个。它的非金属性仅次于氟。

氧有两种同素异形体, 即氧气(O_2)与臭氧(O_3)。臭氧很不稳定, 易分解为氧气。

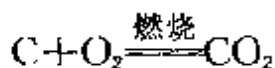
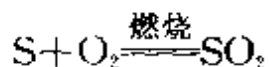


氧是地壳中含量最丰富的元素, 空气中氧约占21%(体积)。氧气是无色、无味、无臭的气体, 比空气重, 难溶于水, 沸点 $-183^\circ C$ 。液态氧为淡蓝色。它的主要化学性质是强氧化性, 能与金属(金、铂除外)、非金属发生反应, 形成一大类氧化物。

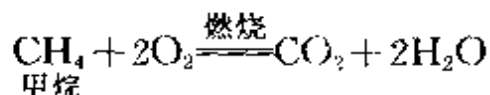
与金属反应 氧与金属燃烧生成碱性氧化物, 但在常温下氧也能与金属缓慢地反应。



与非金属反应 氧与非金属反应, 生成的非金属氧化物一般是酸性氧化物。如:



与有机化合物反应 氧与有机化合物燃烧生成 CO_2 和 H_2O



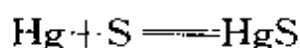
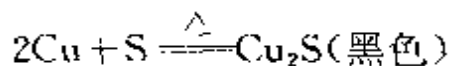
氧气除供呼吸用外, 工业上用于炼钢、切割或焊接金属(氧炔焰), 航天工业火箭的高能燃料等。

工业上制造氧气的方法是空气液化分馏, 得到氧和氮。

(2) 硫 硫的非金属性比氧弱, 在跟金属或氢形成的化合物中, 硫显 -2 价, 跟氧化合时显正价。硫的正价态有 $+4$ 、 $+6$ 等。

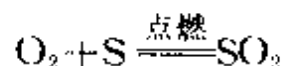
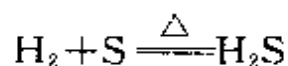
单质硫通称为硫磺, 是淡黄色晶体, 质脆, 有一种特殊的气味, 不溶于水而溶于二硫化碳(CS_2)和四氯化碳(CCl_4)。常温下化学性质不活泼, 加热则能跟金属、氢、氧等化合。

跟金属作用 例如:



硫与汞在常温下即能化合, 所以当有汞撒到地面时, 可把硫粉撒在汞滴上消除汞毒。

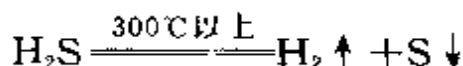
与氢、氧作用 例如:



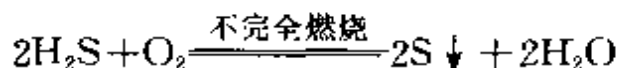
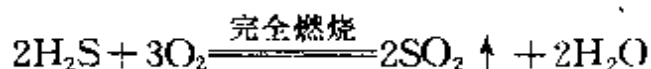
(3) 硫的重要化合物

① 硫化氢 硫化氢是无色、有臭蛋气味的有毒气体, 比空气重, 稍溶于水, 其水溶液呈弱酸性, 叫氢硫酸。氢硫酸具有酸的通性, 但不稳定, 受热时硫化氢从水里逸出。

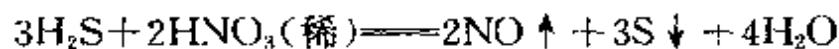
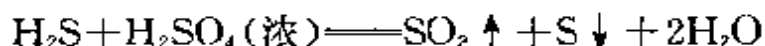
硫化氢被加热到300℃以上就能被分解为氢气和硫。



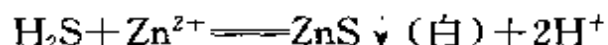
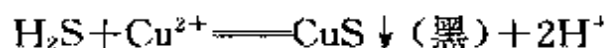
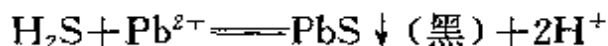
硫化氢是一种可燃气体, 在氧气充足的情况下, 完全燃烧成 SO_2 和 H_2O , 如空气不足, 则不完全燃烧而生成单质硫和水。



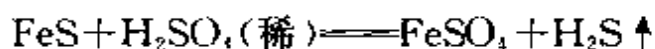
硫化氢里的硫为-2价, 它能失去电子变成单质硫或高价硫的化合物, 所以硫化氢具有还原性, 能被卤素、浓硫酸、硝酸等氧化。



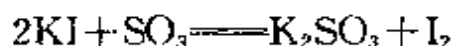
硫化氢与许多金属离子生成难溶的有色沉淀。例如:



通常用硫化亚铁与盐酸或稀硫酸反应, 制得 H_2S 。



② 三氧化硫 纯三氧化硫是白色丝状晶体, 易升华, 是强氧化剂, 可将碘化物氧化成碘。例如:

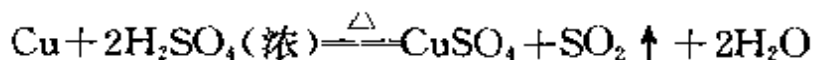


三氧化硫遇水强烈反应生成硫酸, 并放出大量的热, 故三氧化硫又叫硫酸酐,



③ 硫酸 纯硫酸是无色油状液体, 沸点高(98%硫酸的沸点为338℃)不易挥发, 能与水以任意比例混和, 溶于水时放出大量的热。浓硫酸特性:

强氧化性 它能氧化活泼金属、不活泼金属(金、铂等贵重金属外)以及一些非金属和有还原性的化合物。

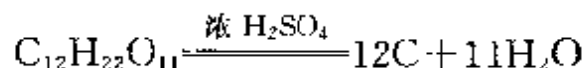


由于浓硫酸的强氧化性, 它和金属反应不产生氢气而产生 SO_2 。冷的浓硫酸能使铁、铝表面生成一层致密的极薄的氧化物保护膜, 它阻碍了金属内部继续与硫酸作用, 这种现象叫钝化。

所以浓硫酸可以装在铁制或铝制的容器内。

吸水性 浓硫酸强烈地吸收空气中或其他物质中的水,而形成水合物。这一性质使浓硫酸可作气体干燥剂,但不能用于干燥具有碱性或强还原性的气体。在稀释浓硫酸时,一定要将浓硫酸慢慢倒入水中,并不断搅拌,切记水不能倒入浓硫酸中。

脱水性 浓硫酸可以把某些有机物(如蔗糖、木材、淀粉)成分里的氢、氧两元素按水的组成比(2:1)夺取,而使碳游离出来。例如蔗糖被炭化。

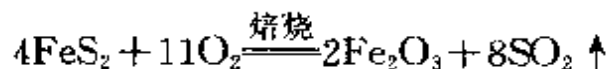


因此,浓硫酸落在皮肤上、衣服上,必须立即用大量水冲洗,否则会造成严重的烧伤和腐蚀。

由于浓硫酸具有脱水性,常用它作为有机反应中的脱水剂。

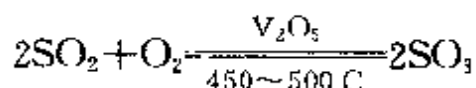
硫酸的工业制法,一般用黄铁矿(FeS_2)、空气和水为主要原料,用接触法制取,其过程可分为四个阶段。

黄铁矿在沸腾炉中进行焙烧,生成 SO_2 ;

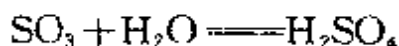


炉气的净化。用除尘、水洗和酸洗等方法,把从沸腾炉出来炉气进行除尘净化;

SO_2 接触氧转为 SO_3 (以 V_2O_5 为催化剂);



SO_3 的吸收和硫酸的生成。



生产不用水而是用浓硫酸吸收 SO_3 形成发烟硫酸,发烟硫酸经稀释即得各种纯度的硫酸。

① 硫酸盐 除 BaSO_4 、 PbSO_4 等少数硫酸盐不溶于水外,绝

大多数都易溶于水。许多硫酸盐是重要的化学试剂,有的在工业生产上有重要应用。如 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 用作肥料, CuSO_4 、 ZnSO_4 用来配制镀铜、镀锌的电镀液。在晶体状态时,许多硫酸盐含结晶水,如 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (胆矾)、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (绿矾)、 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (明矾)等。

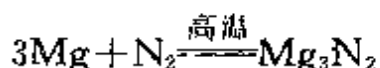
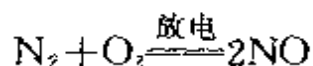
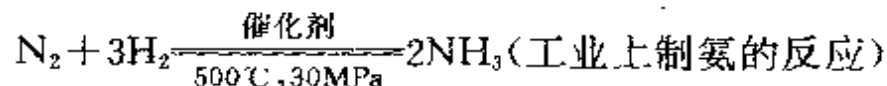
4. 氮族元素

氮族包括氮(N)、磷(P)、砷(As)、锑(Sb)、铋(Bi)五种元素。在进行化学反应时,显+3价或+5价。

(1) 氮气 氮气是一种无色、无味的气体,难溶于水,它是空气的主要组成部分,约占空气体积78%。在0.1MPa下, -196℃时可成为没有颜色的液体, -210℃变成雪状固体。

常温下氮气稳定,化学性质不活泼。因氮气分子是以共价叁键结合而成的双原子分子,分子中两个原子结合得很牢固。

在高温下氮气才表现出活泼性,能与氢、氧及一些非金属发生反应。例如:



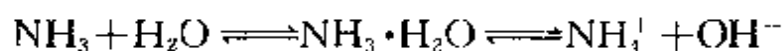
氮气主要用于合成氨、制造硝酸。由于它的不活泼性,也常被用作保护气体。

(2) 氮和铵盐

① 氨的性质 氨(NH_3)是无色、有刺激性臭味的气体,比空气轻,极易溶于水。氨的水溶液叫氨水,浓氨水含 NH_3 约27%,相对密度0.90(氨水越浓,相对密度越小)。氨极易液化,在常温下加压到0.7~0.8MPa就凝聚为无色液体,而当气化时,

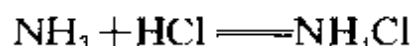
吸收大量的热,致使周围介质温度降低,因此,氨常作为致冷剂。氨的主要化学性质是:

氨溶于水,水溶液呈碱性。氨能够跟水形成水合氨($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),水合氨部分离解出 OH^- 离子,这是氨水呈碱性的原因。在氨水中存在着如下平衡关系:



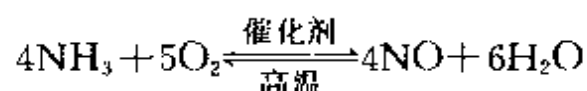
由于氨水电离时有 OH^- 离子生成,所以氨水显弱碱性,能使红色石蕊试纸变蓝色。

与酸反应生成铵盐。例如:



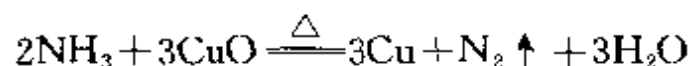
工业上就是利用这些反应生产铵肥的。

与氧气作用,生成不同的产物,这需要在高温和催化剂(铂-铑)作用下进行。



这个反应是工业制造硝酸的基础。

氨分子中的氮为负三价,能失去电子,具有一定的还原性,能夺取某些氧化物中的氧而使本身氧化。例如:



② 氨的制法 工业上用 N_2 和 H_2 在高温、加压和催化剂作用下合成氨(反应方程式见前)。

氨主要用于制造硝酸和化肥,也用于冷冻机的致冷剂。

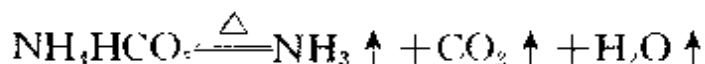
③ 铵盐的性质 铵离子(NH_4^+)与酸根结合而成的盐叫铵盐。铵盐都是溶于水的无色晶体。铵离子具有+1价金属离子的性质。铵盐的主要化学性质是:

铵盐与碱混合加热反应放出氨气。

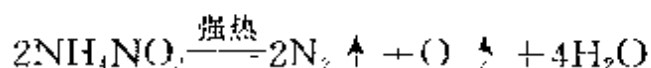


上述反应常用于鉴定铵盐。

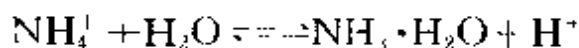
固体铵盐加热易于分解,生成氨气和相应的酸。



NH_4NO_3 受热同样也分解,但由于硝酸具有强氧化性,分解反应较复杂,其反应如下:



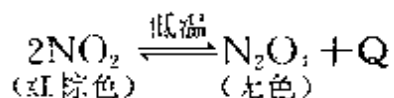
铵盐会发生水解,使溶液呈酸性。



弱酸的铵盐,如 NH_4HCO_3 水解程度更大。

(3) 二氧化氮和硝酸

① 二氧化氮的性质 二氧化氮(NO_2)是红棕色气体,具有特殊臭味并有毒。二氧化氮在低温时能聚合成无色的四氧化二氮,同时放出热量。

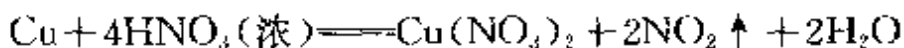


二氧化氮易溶于水,并与水作用生成硝酸和一氧化氮。



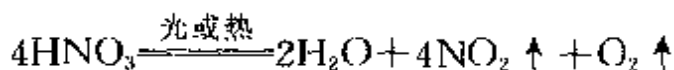
② 硝酸的性质 纯硝酸(HNO_3)是无色、有刺激性气味的液体。硝酸易挥发(沸点 83°C),有腐蚀性,能与水按任何比例混合。常用的市售浓硝酸浓度约为69%,浓度为96~98%的硝酸叫发烟硝酸。硝酸是强酸,除有酸的通性外,还有以下特性:

强氧化性 浓硝酸和稀硝酸都具有氧化性,除金、铂以外,所有的金属(活泼金属与不活泼金属)都能被硝酸氧化,生成相应的硝酸盐、氮的氧化物和水。



要特别注意: 硝酸与金属反应, 不会放出氢气。这是它与硫酸、盐酸等跟金属反应的重要区别, 硝酸的浓度越大, 其氧化性越强。稀硝酸作为氧化剂时, 反应中它被还原为 NO , 而浓硝酸作为氧化剂时, 它被还原为 NO_2 ; 常温下浓硝酸能使铁、铝发生钝化; 浓硝酸与浓盐酸按 1:3 的物质的量(摩)之比进行混和, 便是“王水”, 能把不溶于硝酸的金、铂等贵金属溶解。

不稳定性 硝酸见光、受热都会分解。

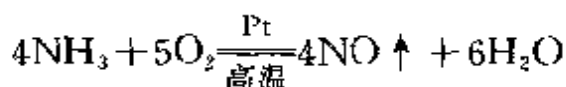


硝酸越浓越易分解。为防止硝酸分解, 应把硝酸装在棕色瓶中避光保存, 并置于阴凉处。

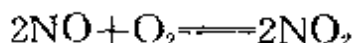
一些有机化合物(如松节油、木屑等)跟浓硝酸作用, 会发生燃烧现象。有色物质、纺织品如滴上浓硝酸, 也会被氧化而褪色和破坏。

(4) 硝酸的工业制法 工业生产硝酸采用氨的催化氧化法。以氨、空气、水为主要原料, 经以下三个阶段:

氨接触氧化:



一氧化氮的自然氧化:

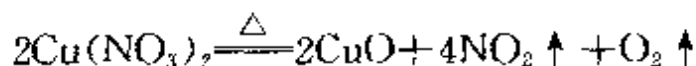
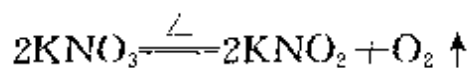


二氧化氮用水吸收:



在实际生产中, 一氧化氮可循环使用, 以提高原料利用率。

(5) 硝酸盐 所有硝酸盐都是易溶于水的晶体。硝酸盐受热易分解。例如:



硝酸盐受热分解时都有氧气放出, 都属于氧化-还原反应。在加热的条件下, 它们都是强氧化剂。

5. 碳族元素

碳族包括碳(C)、硅(Si)、锗(Ge)、锡(Sn)、铅(Pb)五种元素。称为碳族元素。在与其他元素化合时, 主要形成共价型化合物。在化合价里一般显+4价, 如 CO_2 、 SiO_2 等, 也有+2价化合物。其中碳、硅、锗、锡以+4价化合物为稳定, 而铅以+2价化合物为稳定。在碳族元素中, 由于原子半径从碳到铅逐渐增大, 所以碳、硅是非金属元素, 锗的金属性比非金属性强(两性元素), 而锡、铅则为金属元素。

(1) 碳 在化学反应中与其他原子一般不形成离子化合物而是以共价键结合。常见的价态是+4价和-4价, 还有不大稳定的+2价。

① 碳的同素异形体 碳有多种同素异形体, 其中金刚石、石墨常称为结晶形碳, 而焦炭、木炭、炭黑和活性炭常划为无定形碳。金刚石、石墨的某些性质见表1-14。

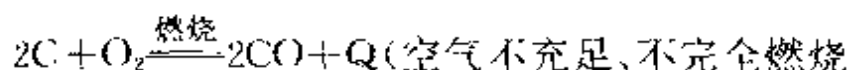
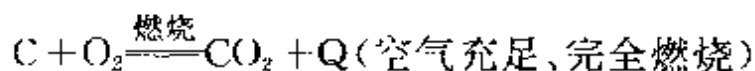
表1-14 金刚石与石墨的比较

名 称	晶 体 结 构	特 性
金刚石	正四面体型的空间网状结构, 晶体内原子以共价键结合, 属于原子晶体	硬度大, 不导电, 无色透明, 折光力强
石墨	六角形的层状结构, 同层原子间以共价键结合, 层与层之间以范德华力结合, 同层原子间有自由电子	质软, 导电、传热性能好, 是良导体, 具有润滑性

无定形碳是黑色、不透明固体,它们的性质和用途各不相同。其中活性炭是黑色多孔、质粗松、粒状固体,有较强的吸附能力,能吸附某些毒气,常用作脱色剂、除臭剂等。

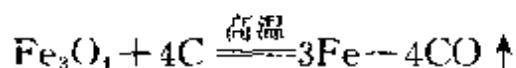
② 碳的化学性质 常温下稳定,不发生化学反应,高温下表现可燃性和还原性。

可燃性 燃烧时放出大量热,生成二氧化碳或一氧化碳。

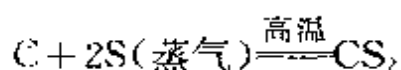
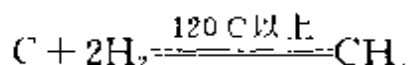


所以木炭、焦炭都是重要的燃料。

还原性 碳不但能与氧化合,而且能从许多氧化物中夺取氧而使氧化物还原。例如:



与非金属反应:高温时碳能与氢气化合生成甲烷,也能与其他非金属发生反应。



(2) 碳的氧化物 碳有两种氧化物——CO 和 CO₂。在这两种氧化物中碳分别是+2价和+4价。CO 和 CO₂的性质及制法比较,见表1-15。

表1-15 CO₂和CO性质与制法的比较

	一氧化碳(CO)	二氧化碳(CO ₂)
制法	1) 碳在空气中不完全燃烧 $2C + O_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} 2CO$ 2) 水蒸气与赤热的碳反应 $C + H_2O \xrightarrow{\text{高温}} CO + H_2$	1) 碳酸钙与盐酸反应 $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2 \uparrow$ 2) 碳酸钙加热分解 $CaCO_3 \xrightarrow{\text{高温}} CaO + CO_2 \uparrow$
物理性质	1) 无色、无臭气体, 比空气略轻 2) 不溶于水 3) 有剧毒	1) 无色、无臭气体, 比空气重 2) 微溶于水(一般以1:1体积溶解) 3) 无毒
化学性质	1) 不与碱反应, 是不成盐氧化物, 不能使澄清石灰水变浊 2) 有可燃性, 火焰呈蓝色 $2CO + O_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} 2CO_2$ 3) 有还原性, 可作还原剂 $Fe_2O_3 + 3CO \xrightarrow{\Delta} 2Fe + 3CO_2 \uparrow$	1) 是酸性氧化物, 是碳酸的酸酐 $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$ 能使澄清石灰水变浊, 为检验 CO ₂ 的方法 $CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 \downarrow + H_2O$ 2) 不可燃, 可用于灭火, 作灭火剂 3) 没有还原性, 高温下显氧化性(不强) $CO_2 + 2Mg \xrightarrow{\text{燃烧}} 2MgO + C$
用途	气体燃料和还原剂	制纯碱、尿素、干冰、灭火剂等

(3) 硅 硅的原子半径比碳大, 它的非金属性也较碳弱, 单质硅具有一定的金属性, 例如, 晶体硅是典型的半导体。

① 单质 硅的单质可分为晶体硅和无定形硅。晶体硅与金刚石的结构相似, 也是原子晶体, 但不如金刚石硬, 具有良好的半导体性能。

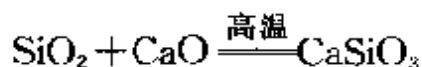
硅的化学性质不活泼, 高温下具有还原性。它是重要的半导体材料, 炼钢的脱氧剂, 也用于制造合金。

② 二氧化硅 Si 和 C 虽是同族元素, 但 SiO₂ 和 CO₂ 的性质和状态很不相似。常温下 CO₂ 为气体, SiO₂ 却是坚硬的晶体; CO₂

稍溶于水并生成碳酸, SiO_2 不溶于水, 不能与水反应生成硅酸。这些差异是由于 SiO_2 属于原子晶体, CO_2 (干冰) 属于分子晶体。

SiO_2 又称硅石, 可分为结晶二氧化硅, 如石英 (又叫水晶) 与无定形二氧化硅 (又叫硅藻土) 两种。

SiO_2 是酸性氧化物, 能与碱或碱性氧化物反应, 生成硅酸盐。



玻璃中含有 SiO_2 , 所以强碱能腐蚀玻璃。实验室中不准用磨口塞的试剂瓶盛装烧碱, 不准往酸式滴定管中装碱液就是这一原因。

SiO_2 能与氢氟酸反应生成挥发性物质 SiF_4 。



所以氢氟酸能腐蚀玻璃, 利用这一性质在玻璃上刻划。

③ 硅酸和硅酸盐 硅酸一般是由可溶性硅酸盐 (如硅酸钠) 与强碱反应来制得。



硅酸是一种极弱的酸, 又不溶于水, 而易于形成胶状沉淀, 将其干燥脱水, 可得硅酸干胶, 即“硅胶”。硅胶是一种透明的乳白色颗粒, 具有吸湿性能, 吸湿性可达40%左右。

硅酸盐绝大多数不溶于水, 它是生产水泥、玻璃、陶瓷等的重要原料。所以这些以硅酸盐为原料的工业统称为硅酸盐工业。碱金属硅酸盐, 如硅酸钠 (Na_2SiO_3) 是可溶性的, 它的水溶液称为水玻璃。由于水解, 水玻璃呈碱性, 遇酸析出硅酸。它可作为耐火材料、粘结剂、肥皂等的填充材料。

二、几种重要的金属及其化合物

1. 钠及其重要化合物

(1) 钠 钠在化学反应中易成为+1价离子。因此,碱金属化学性活泼,都是强还原剂。

钠是银白色金属,质软可用刀切割,很轻(相对密度为0.97,可浮于水面),熔点低而导电性强。主要化学性质是:

与氧反应 钠很容易跟氧反应。常温下反应生成氧化钠:

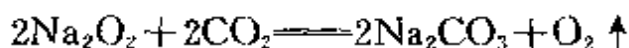


燃烧反应则生成过氧化钠:

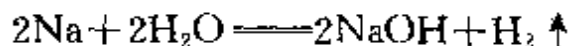


氧在一般化合物里显-2价,但在过氧化钠和过氧化氢里则显-1价。

Na_2O_2 还跟 CO 作用放出 O_2 ,常用作呼吸缺氧时的给氧剂。

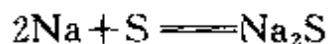
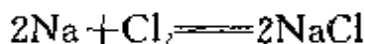


与水反应 钠遇水剧烈反应,并放出氢气。

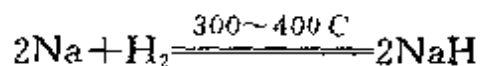


由于金属钠极易与水、氧发生反应,所以通常把它保存在煤油里。

与其他非金属反应 例如跟氯、硫反应均能生成卤化物或硫化物。



钠在高温下与氢直接化合生成金属氢化物。



(2) 钠的主要化合物

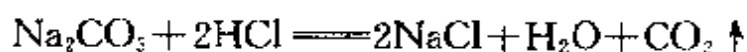
① 氢氧化钠 氢氧化钠又叫苛性钠,烧碱或火碱。是白色

固体,易溶于水并放出大量热,在空气中易吸湿而潮解,它有很强的腐蚀性,皮肤、织物、纸都能被腐蚀,如果衣服或手沾上以后,必须立即用水冲洗。

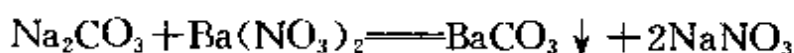
氢氧化钠是强碱之一,具有碱的一切通性。

工业上用电解食盐水的方法制取烧碱。

② 碳酸钠和碳酸氢钠 碳酸钠俗名纯碱或苏打,白色固体,通常含有十个结晶水($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$),为无色晶体。易溶于水,水溶液呈碱性。碳酸钠较稳定,受热不易分解,遇酸放出 CO_2 。

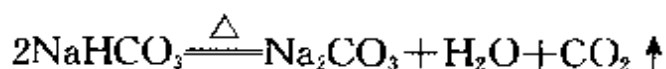


碳酸钠能与某些酸性氧化物、石灰水及其某些盐的水溶液反应生成沉淀。

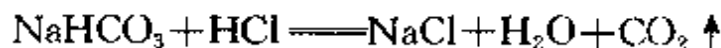


碳酸钠广泛应用于玻璃、制皂、纺织、工业用水的软化等工业生产,也用来制取其他钠盐,日常生活中也常用它。

碳酸氢钠俗称小苏打,是细小的白色晶体。碳酸氢钠很不稳定,受热易分解放出 CO_2 。



碳酸氢钠遇酸也放出 CO_2 。



碳酸氢钠溶于水后呈弱碱性,是治疗胃酸过多的常用药剂,也是发酵粉的主要成分。

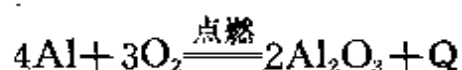
2. 铝和镁及其重要化合物

镁和铝都是比较活泼的金属元素,在化学反应中易失去电

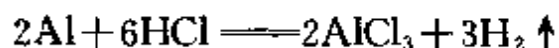
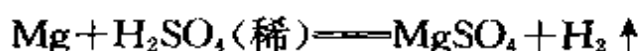
子变成阴离子。

(1) 镁和铝的性质 镁和铝都是银白色金属, 密度小, 熔点较低。铝富有延展性(可拉成细丝, 可压成铝箔), 是电和热的良导体。它们的主要化学性质是:

与氧反应 常温下 Mg 和 Al 都能跟空气中氧反应。由于所生成的氧化物致密覆盖在金属表面形成保护膜, 阻止继续氧化, 所以 Mg 和 Al 在空气中具有抗腐蚀性。Mg 和 Al 在空气中燃烧都能发出强烈的白光。

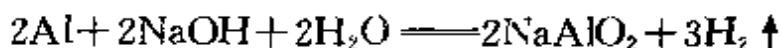


与酸反应 Mg 和 Al 与稀硫酸、盐酸反应放出氢气。



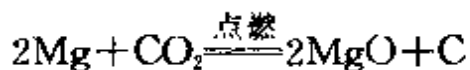
跟浓热的硫酸、硝酸反应不放出氢气。铝在冷的浓硝酸、浓硫酸中发生“钝化”, 因此, 可用铝制容器贮存浓硝酸和浓硫酸。

与碱液反应 铝能与碱液反应放出氢气, 而镁一般不与碱液反应。



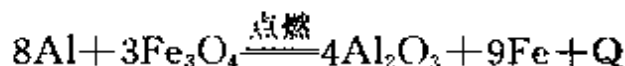
所以金属是会被碱腐蚀的。

与某些氧化物反应 铝在高温下能夺取比它不活泼的金属氧化物中的氧, 使金属还原, 同时放出大量热。工业上用此反应来冶炼金属, 叫铝热法。镁能在 CO_2 中燃烧。



铝粉和氧化铁(Fe_2O_3)粉末的混和物叫做铝热剂。铝热剂经点燃

后生成的铁被反应产生的高热熔化,故可用来焊接钢轨及冶炼高熔点的金属。



铝具有良好的导热、导电性能,因此在工业上有着广泛的应用,在电力工业上可以部分地代替铜用做导线。镁和铝又是制造各种合金的原料。

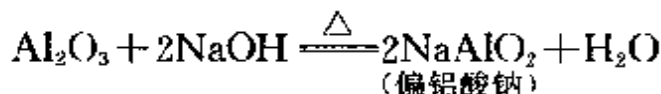
(2) 镁和铝的重要化合物

① 氧化物—— MgO 和 Al_2O_3 MgO 和 Al_2O_3 都是白色固体(MgO 是粉状物),熔点很高,可用作耐火材料。

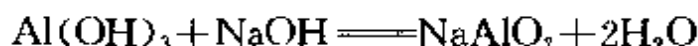
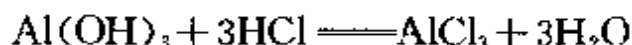
MgO 和 Al_2O_3 都不溶于水。但 MgO 能与水缓慢反应,生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, MgO 是碱性氧化物,跟酸反应生成镁盐。



Al_2O_3 是典型的两性氧化物,跟酸和跟碱都能作用生成盐和水:



② 氢氧化铝 氢氧化铝是白色胶状,难溶于水的两性氢氧化物,既跟酸反应又跟碱反应:



它跟酸、碱反应的产物,与氧化铝的情况一样。

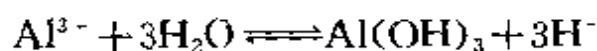
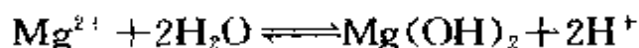
$\text{Al}(\text{OH})_3$ 呈两性,是由于它微溶于水的那部分进行两种方式的电离:



向左的电离方式叫酸式电离,向右的电离方式叫做碱式电离。

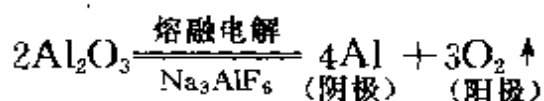
③ 镁盐和铝盐 镁和铝的强酸盐都溶于水。由于 $\text{Mg}(\text{OH})_2$

和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 都表现弱碱性, 所以溶于水的镁盐、铝盐都在水中发生水解。



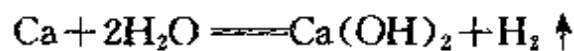
重要的镁盐是 MgCl_2 , 它易溶于水, 在空气中易潮解(粗食盐中常含 MgCl_2 杂质, 故也易潮解), 是制取金属镁的重要原料。

(3) 铝的制取 工业上采用电解熔融氧化铝的方法, 将氧化铝熔化在熔融的冰晶石(助熔剂)中, 在 $940 \sim 960^\circ\text{C}$ 下进行电解,



3. 钙及其重要化合物

钙是一种银白色的轻金属, 化学性质与镁相似, 活泼性比镁强。钙在冷水里能起剧烈反应, 生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 并放出氢气。



(1) 钙的主要化合物

① 氧化钙 氧化钙俗名叫生石灰或石灰, 是一种白色固体, 极易与水反应生成氢氧化钙。它有较强的吸湿性, 可作干燥剂。

② 氢氧化钙 氢氧化钙又叫消石灰或熟石灰, 是一种白色粉末状固体, 在水中溶解度不大。氢氧化钙是中等强度的碱, 具有可溶性碱的通性。它易与 CO_2 反应生成碳酸钙沉淀。



③ 碳化钙 碳化钙俗称电石, 纯电石应为无色透明的固体, 工业上用的“电石”因含杂质, 一般是暗灰色的粗松坚硬的物质。碳化钙与水反应生成乙炔气和氢氧化钙。

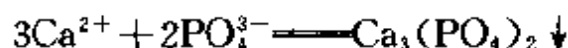
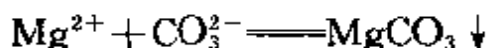
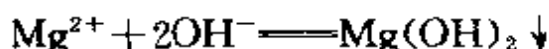


(2) 硬水及其软化 溶有较多 Ca^{2+} 或 Mg^{2+} 盐的水叫硬水。含酸式碳酸钙(镁)的硬水叫暂时硬水。暂时硬水经煮沸可除去酸式碳酸盐。含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的强酸盐的硬水叫永久硬水。不含或含微量的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的水叫软水。

硬水不适宜用于工业用水。例如锅炉用硬水,在烧煮过程中易形成锅垢,不但会浪费燃料,而且还可能引起锅炉爆炸。如用硬水洗衣服,则肥皂遇到水中钙盐、镁盐之后,生成一种不溶于水的化合物,会降低肥皂的去垢能力。

除去硬水中钙盐、镁盐的方法叫做硬水的软化。常用软化方法有:药剂软化法和离子交换法。

① 药剂软化法 往硬水中加入一定量的化学试剂,使水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子形成沉淀而除去。常用的药剂有石灰、 Na_2CO_3 和 Na_3PO_4 。这些药剂在水中提供 OH^- 、 CO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 离子,使 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 生成难溶的沉淀物。



② 离子交换法 目前工业上广泛采用离子交换剂来软化硬水。能交换阳离子的离子交换剂叫阳离子交换剂,能交换阴离子的离子交换剂叫阴离子交换剂。

目前大量使用的一种阳离子交换剂是钠型磺化煤(NaR),它不溶于水,含有钠离子和一种复杂的阴离子,当硬水通过时,硬水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子与磺化煤中的 Na^+ 离子进行交换,使硬水软化。



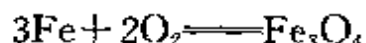
当磺化煤大部分变成 CaR_2 或 MgR_2 后, 就失去了软化硬水的能力。此时用 8~10% 食盐溶液浸泡, 又可恢复磺化煤软化硬水的能力, 这个过程叫做再生。

4. 铁及其重要化合物

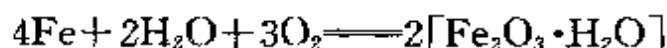
铁最外两电子层都没有达到稳定结构, 所以铁在化学反应中, 根据条件的不同, 可以只失去最外层 2 个电子而显 +2 价, 也可再失去次外层 1 个电子而显 +3 价。

(1) 铁的性质 纯铁是银白色、质硬、相对密度大(7.86)的金属, 有可塑性, 导电性较好, 能被磁铁吸引。

铁是中等活泼金属, 常温下, 在干燥空气中不与氧发生作用, 灼热至 500°C 能与氧化合生成黑褐色的四氧化三铁。

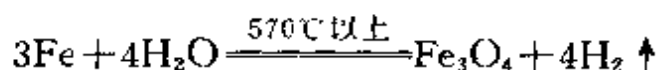


含有杂质的铁在潮湿空气中极易生锈。生锈过程可表示为:

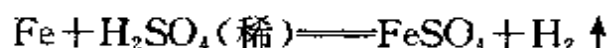
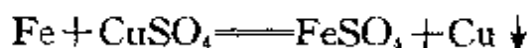


铁锈是一层松脆多孔的物质, 可以透过水蒸气和其他气体, 因此, 铁锈不能保护里面的铁不再受腐蚀。

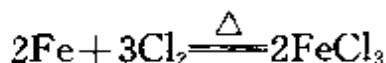
铁在常温下不与水作用, 高温时能与水蒸气作用生成 Fe_3O_4 , 并放出氢气。



铁能置换盐酸、稀硫酸中的氢, 也能置换盐中比它不活泼的金属。



铁在高温下能与硫、氯等非金属化合, 生成硫化亚铁和氯化铁。



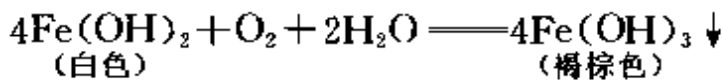
(2) 铁的重要化合物

① 氧化物 铁有三种氧化物: 氧化亚铁(FeO 黑色末)、氧化铁(Fe_2O_3 红色粉末)、四氧化三铁(Fe_3O_4 黑色晶体, 有磁性, 故又叫磁性氧化铁)。它们都不溶于水, 但都能溶于酸(显碱性氧化物的性质)。例如:

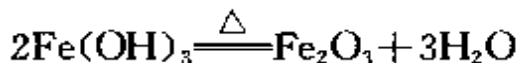


② 氢氧化物 氢氧化铁和氢氧化亚铁都是不溶于水的弱碱, 前者呈褐棕色, 后者呈白色。

$\text{Fe}(\text{OH})_2$ 易被空气氧化而转变成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。在氧化过程中, 白色的 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 逐渐变成灰绿色, 再过渡为褐棕色。



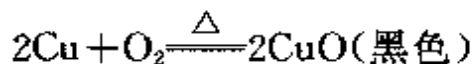
$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 受热会脱水而析出 Fe_2O_3



5. 铜

铜是紫红色金属, 相对密度 8.9, 熔点 1083°C , 具有良好的热导性, 质较软, 具有延展性。

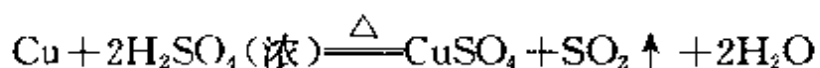
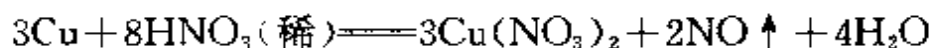
铜是一种不活泼金属, 常温下不与干燥空气中的氧化合, 但在加热时与氧化合成黑色氧化铜。



在潮湿空气中, 铜会慢慢生成一层绿色的锈, 俗称铜绿。



铜在金属活动顺序表中位于氢之后,故不能置换水及稀酸中的氢,但能与硝酸和热硫酸反应,生成相应的铜盐。例如:



大量的铜用于电气工业。铜还可以制造合金,如青铜(铜、锡合金),黄铜(铜、锌合金)等,广泛用作各种机械及仪表的零件。

第六节 有机化合物概述

一、有机化合物的特点

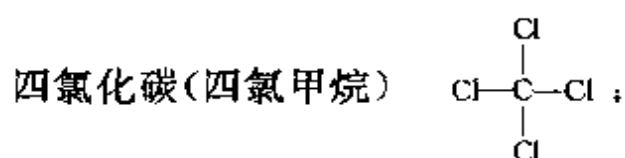
有机化合物简称有机物,是指含碳元素的一类化合物,而碳的氧化物、碳酸、碳酸盐、金属碳化物等,它们虽也含有碳元素,但在性质上与无机化合物相似,划为无机物。实际上,组成有机化合物的主要元素是碳和氢,此外,还含有氧、氮、硫、磷和卤素等。所以也常把有机化合物称为碳氢化合物及其衍生物。典型的有机化合物与典型的无机化合物在组成、结构、性质上都有很大的差异,见表1-16。

表1-16 有机化合物与无机化合物的比较

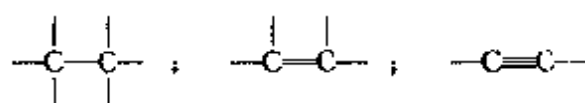
有 机 化 合 物	无 机 化 合 物
1) 结构复杂,种类达1500多万种;	1) 结构一般较简单,种类达80000种;
2) 大多数以共价键形成化合物,分子晶体,熔点、沸点低,大多数不导电;	2) 键型较复杂、不少无机物以离子键结合,熔点、沸点较高,多是电解质;
3) 一般不溶于水,易溶于有机溶剂;	3) 一般易溶于水、难溶于有机溶剂;
4) 多数对热不稳定,受热分解、易燃烧;	4) 大多数不易燃烧;
5) 反应速度慢,常伴有副反应	5) 反应速度较快、副反应很少

二、有机化合物的结构

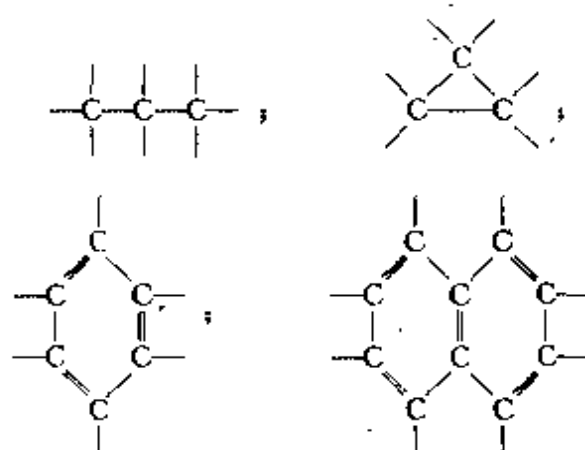
通过对有机化合物成分的分析研究, 表明了有机化合物中除了主要元素碳以外, 还含有少数几种其他元素, 如 H、O、N、S、P 和卤素等。它们之间的结合、排列和相互影响, 就在于碳的特殊性质。碳元素在形成化合物时, 它既不易失去电子而形成正离子, 又不易获得电子而形成负离子, 而是以共价键与其他原子相结合。即碳原子以四根键同其他非金属元素或金属元素结合形成分子。例如:



碳原子不仅能与其他原子形成共价键, 碳原子与碳原子之间也能以共价键相结合。它们可以共用一个、两个或三个电子对, 形成单键、双键或三键。



碳原子之间还可以互相结合成链状、环状、网状的有机化合物的基本骨架。



三、有机化合物的分类

为了便于系统学习有机化学,对数目庞大的有机化合物进行分类是很有必要的。有机化合物的分类可以从不同的角度去进行。可以按分子中组成元素的不同,分为烃(含 C、H 的化合物)和烃的衍生物(含 C、H、O、N 和卤素等元素的化合物);也可以根据分子的结构和官能团的差别,或按碳原子结合的方式不同,进行分类。

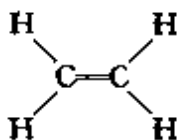
按分子结构和官能团分类,见图1-7。

四、有机化学中的术语和一些基本概念

1. 有机化学中的几个化学用语

(1) 最简式 用元素符号表示化合物分子中元素的种类和各元素的原子数最简单整数比的式子,称为最简式或实验式。不同的有机化合物会有相同的最简式。例如乙炔 C_2H_2 和苯 C_6H_6 的最简式都是 CH 。分子式是最简式的整数倍。

(2) 结构式 用一条短线连接有机化合物中各原子之间排列顺序的式子称为结构式。一条短线代表一对共用电子对。例如乙烯的结构式可写作



(3) 结构简式 简化了的结构式叫结构简式。它省略了表示单键的短线,保持分子中的主要结构和官能团,能反映出各类有机化合物的主要特性,故也叫“示性式”。如乙烷和二甲醚的结构简式为:



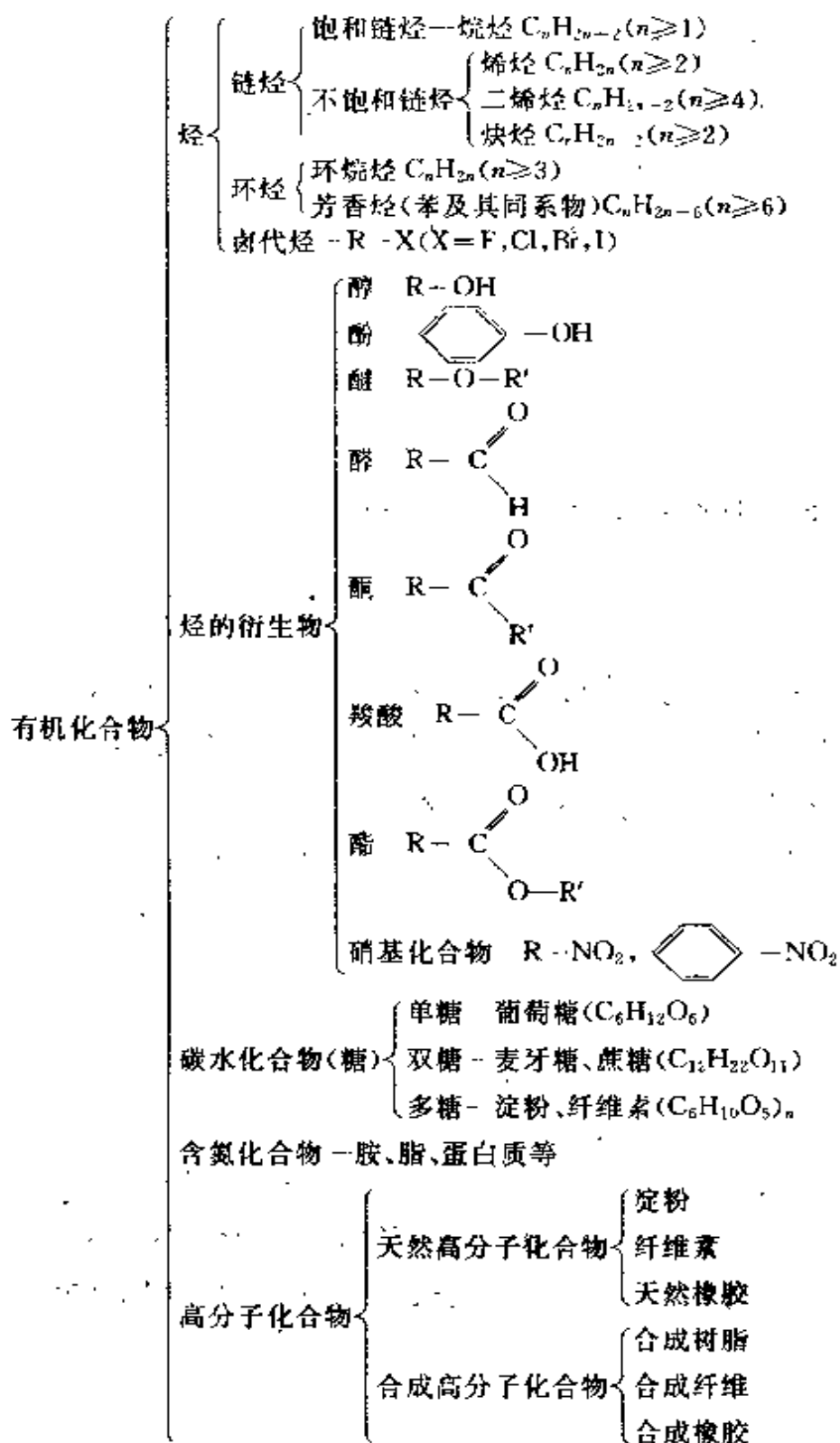


图1-7 有机化合物的分类举例

(4) 有机反应化学方程式 它与无机物反应的化学方程式稍有不同,反应物和生成物是有机物的用结构简式写出,而不写分子式(因常有同分异构现象);反应物与生成物之间常用单箭号,而不用等号;在单箭号上要注明反应条件(因条件不同,产物可能不一样)。

2. 有机化学中一些基本概念

(1) 烃 含有碳和氢两种元素的有机化合物统称为碳氢化合物,简称烃。例如,甲烷、乙烯、乙炔、苯等。

① 饱和烃 烃分子中如果碳原子与碳原子之间都以单键相连,其余价键都为氢原子所饱和,这类烃叫做饱和烃。饱和烃中碳原子间结合的碳链如不闭合,则叫烷烃,或称链烷烃,若碳链闭合成环,则叫环烷烃。如丙烷,环丙烷。

② 不饱和烃 在链状烃中,碳原子之间存在双键或三键,氢原子数目比相应的烷烃少的烃称为不饱和烃。分子中有一个双键的链状烃叫烯烃,有两个双键的链状烃叫二烯烃。有一个三键的链状烃叫炔烃。如乙烯,丁二烯,乙炔。

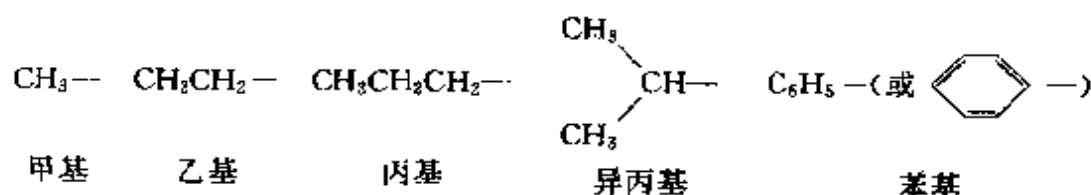
③ 脂环烃 在烃分子中,有一个或多个由碳原子组成的环,性质与脂肪族烃相似,这类化合物称为脂环烃。

脂环烃分子中,组成环的碳原子最少是三个。根据环上碳原子的数目,分别叫做三元(节)环、四元(节)环、五元(节)环……等。根据碳环内有无不饱和键,可分为饱和脂环烃(又称环烷烃)和不饱和脂环烃。饱和脂环烃如环丙烷、环丁烷等,不饱和脂环烃如环己烯,环辛炔等。

④ 芳香烃 分子中有一个或多个苯环的烃称为芳香烃,简称芳烃,如苯,萘。

(2) 烃基和官能团 烃分子失去一个或几个氢原子后剩余的部分叫做烃基,常用“R—”表示,有时为书写方便,烃基可用

简写如乙基 CH_3CH_2- 可写为 C_2H_5- 。常见的烃基有:



分子中比较活泼、容易发生反应且决定化合物特性的原子或原子团, 称为官能团。重要的官能团名称和结构, 见表1-17。

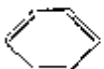
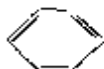
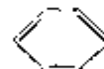
表1-17 重要官能团的名称和结构

化合物类别	官能团结构	官能团名称	实 例
烯 烃	$\text{C}=\text{C}$	双 键	乙 烯 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$
炔 烃	$\text{C}\equiv\text{C}$	三 键	乙 炔 $\text{CH}\equiv\text{CH}$
卤代烃	$-\text{X}(\text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I})$	卤 素	氯乙烷 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{Cl}$
醇、酚	$-\text{OH}$	羟 基	乙 醇 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 苯 酚 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
醚	$-\text{O}-$	醚 键	乙 醚 $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_3$
醛、酮	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}- \end{array}$	羰 基	乙 醛 CH_3CHO 丙 酮 $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$
羧 酸	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array}$	羧 基	乙 酸 $\text{CH}_3-\text{C}-\text{OH}$
硝基化合物	$-\text{NO}_2$	硝 基	硝基苯 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{NO}_2$
胺	$-\text{NH}_2$	氨 基	苯 胺 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{NH}_2$
偶氮化合物	$-\text{N}=\text{N}-$	偶氮基	偶氮苯 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{N}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_5$
磺 酸	$-\text{SO}_3\text{H}$	磺 酸基	苯磺酸 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{SO}_3\text{H}$

(3) 同系物和同系列 结构相似(有相同官能团, 化学性质相似, 物理性质发生规律性变化)、通式相同、在分子的组成上相差一个或若干个 CH_2 原子团的物质, 互称为同系物。由同系物组成的一系列物质群, 称为同系列。例如饱和链烃的通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ 。下列物质互为同系物:

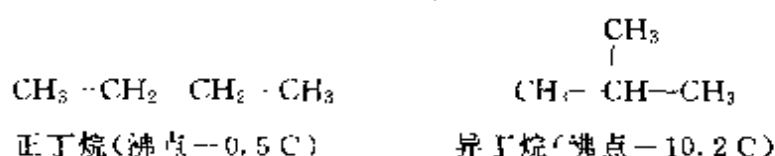
甲烷 CH_4 ; 乙烷 CH_3CH_3 ; 丙烷 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$

又如

苯 ; 甲苯  $-\text{CH}_3$; 乙苯  $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ 都互称为同系物。

同系列中的各同系物的化学性质相似, 物理性质(如熔点、沸点等)随着分子中碳原子数的递增呈规律性变化。

(4) 同分异构体和同分异构现象 分子式相同而结构不同的化合物, 互称为同分异构体, 简称异构体。例如, 分子式为 C_4H_{10} 的丁烷有两个同分异构体:

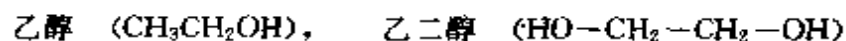



化合物具有相同的分子式, 但具有不同的结构的现象, 叫做同分异构现象。

(5) 衍生物 一种化合物分子里的某一原子或原子团直接和间接被其他原子或原子团取代而形成的新化合物, 叫做衍生物。例如卤代烃、醇、羧酸等都是烃的衍生物。重要的烃衍生物有:

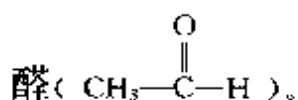
① 卤代烃 烃分子中氢原子被卤素原子取代后的生成物, 叫做卤代烃(一卤代烃、多卤代烃)。例如一氯甲烷, 二氯甲烷。

② 醇 链烃基与羟基相结合而构成的有机物叫做醇。但可以看醇是烃分子中的氢原子(与芳香环碳原子直接连的氢原子除外)被羟基取代后的产物(一元醇或多元醇)。例如



③ 酚 羟基与苯环直接相连而构成的化合物叫做酚。但可以看酚是苯分子中一个氢原子被羟基取代后的产物。例如苯酚( $-\text{OH}$)。

④ 醛 由烃基和醛基相连而构成的化合物叫做醛。例如乙



⑤ 羧酸 由烃基和羧基相连而构成的化合物叫羧酸。例如乙酸 (CH_3COOH)。

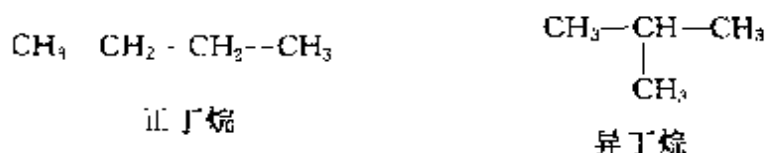
⑥ 酯 由羧酸与醇作用脱水而成的产物叫羧酸酯。例如乙酸乙酯 ($\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_3$)。

⑦ 硝基化合物 烃分子中的氢原子被硝基取代而生成的化合物叫做硝基化合物。例如硝基苯 ($\text{C}_6\text{H}_5-\text{NO}_2$)。

五、有机化合物的命名

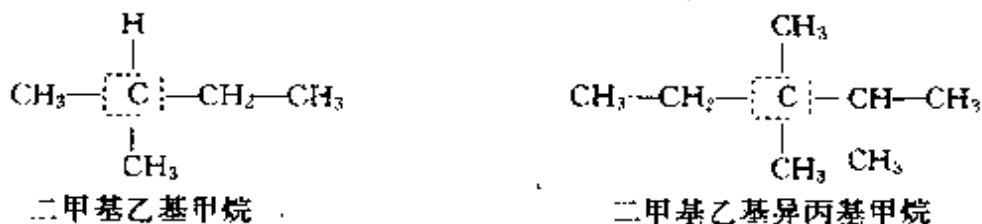
1. 链烷烃的命名

(1) 习惯命名 按照分子中碳原子数, 把直链烷烃称为“正”某烷, 带支链的烷烃称为“异”某烷。例如:



此法简单方便, 但只适用于少数低级烷烃, 且不能反映化合物的结构特征。

(2) 衍生物命名 选择连有烷基最多的碳原子作为“母体”——甲烷, 然后把它所连接的烷基, 依分子量从大到小的顺序排列, 分别写在母体名称“甲烷”之前。例如:



此法能表示出化合物的结构, 但不能命名结构复杂的烷烃。

(3) 系统命名 根据国际纯化学和应用化学联合会 (IUPAC) 公布的命名原则, 结合我国文字特点, 其要点如下:

直链烷烃的命名 按烃分子中所含碳原子数称为“某烷”。碳原子数十以内的, 冠以甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸的序号; 碳原子数在十以上的用十一烷、十二烷……来命名。

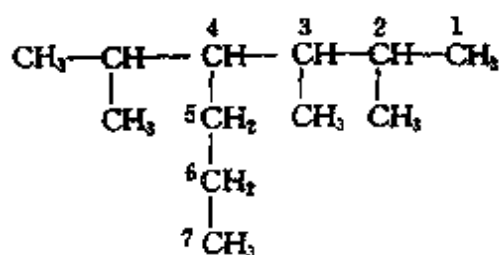
带支链的烷烃命名 可以把这种烷烃看成是直链烷烃的烷基衍生物, 再按下列规定给予命名。

① 选择主链。从结构式中选择最长的碳链为主链; 如果含有两个相等的最长碳链, 则应选择带支链多的为主链, 根据主链所含碳原子的数目而称为“某烷”, 把支链看作取代基, 称“某基”。

② 给主链上的碳原子编号。从最靠近支链的一端开始, 将主链上碳原子用阿拉伯数字依次编号。取代基的位置以它所连接的主链上碳原子的号数表示。

③ 命名。把取代基位次和名称写在母体名称之前, 取代基名称前面注明它的位置(用阿拉伯数字表示), 位置数字与取代基名称之间加一短线“-”。如果有几个不同的取代基, 把简单的写在前面, 复杂的写在后面, 基和基之间用短线“-”隔开。如果含有几个相同的取代基, 则用二、三、四等表明相同取代基的数目, 冠在取代基名称前面。表示取代基位置的阿拉伯数字之间加逗号。

命名的顺序为: 取代基位置(1、2、3……)-取代基数目(二、三……)与取代基名称-母体名称。例如:



2,3-二甲基-4-异丙基庚烷

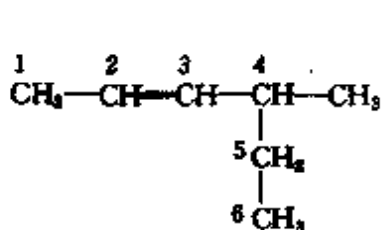
(不叫2,3,5-三甲基-4-丙基己烷)

2. 烯烃的命名

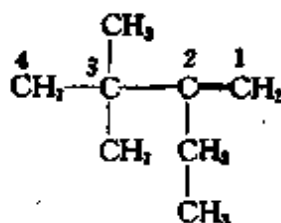
烯烃的命名法与烷烃相似, 不同点就是要表明双键的位置。命名要点如下:

- ① 选择含有双键的最长碳链作为主链, 按主链上碳原子数目称为“某烯”;
- ② 主链中碳原子的编号顺序要从最靠近双键的一端开始, 用阿拉伯数字表示;
- ③ 双键的位次用阿拉伯数字标在“某烯”的前面;
- ④ 支链作为取代基。取代基的位次、数目和名称, 写在双键的位次之前。

命名顺序: 取代基位置-取代基数目、取代基名称-双键位置-某烯。例如:



4-甲基-2-己烯

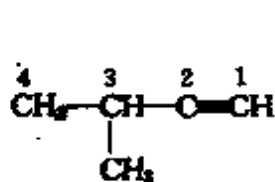


3,3-二甲基-2-乙基-1-丁烯

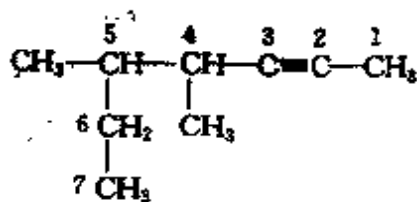
3. 炔烃的命名

炔烃的命名方法和烯烃相似, 一般采用系统命名法。

用系统命名法命名时, 选择含有三键的最长碳链为主链, 由靠近三键一端开始编号, 含有四个碳原子以上的炔烃, 必须把三键位置标明于名称之前。例如:



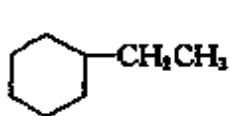
3-甲基-1-丁炔



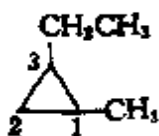
4,5-二甲基-2-庚炔

4. 环烷烃的命名

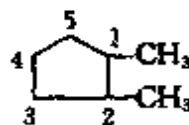
环烷烃的命名与烷烃相似, 在相应的烷烃名称前加上“环”字。即根据组成环的碳原子数, 而称为“环某烷”。例如, 环丙烷、环己烷等; 当环上连有支链时, 一般把支链当作取代基, 取代基的名称放在环烷烃名称之前; 当取代基不止一个时, 则将母体环编号, 使取代基所在的碳原子的位置越小越好; 当取代基不同时, 一般以含碳原子最少的取代基作为1位。例如:



乙基环己烷



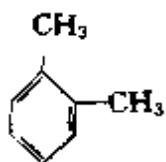
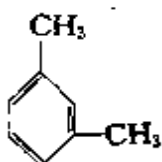
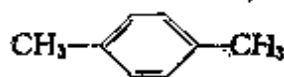
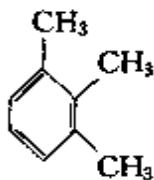
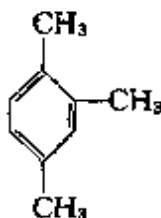
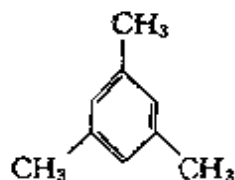
1-甲基-3-乙基环丙烷

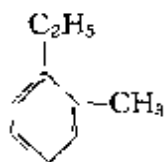


1,2-二甲基环戊烷

5. 苯的同系物的命名

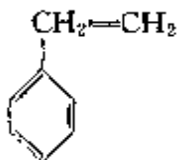
一般是以苯环为母体, 把烷基作为取代基, 称为“某烷基苯”, 但“基”字常略去不写; 当苯环上连有两个或两个以上的取代基时, 则可用阿拉伯数字表明取代基的相对位置。但二元取代物可用“邻”、“间”、“对”, 三元取代物用“连”、“偏”、“均”等字头来表明取代基的相对位置; 苯环上的碳原子编号是从连有最简单的取代基的碳原子算起, 并尽量使取代基的位置数字最小。例如:

1,2-二甲苯
(邻二甲苯)1,3-二甲苯
(间二甲苯)1,4-二甲苯
(对二甲苯)1,2,3-三甲苯
(连三甲苯)1,2,4-三甲苯
(偏三甲苯)1,3,5-三甲苯
(均三甲苯)



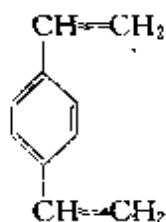
1-甲基-2-乙基苯

当苯环上连有不饱和烃基时,常以不饱和烃作母体,而苯作为取代基来命名。例如:



苯乙烯

但也有例外情况,如:



对二乙烯苯

6. 烃的衍生物的命名

(1) 卤代烃的命名

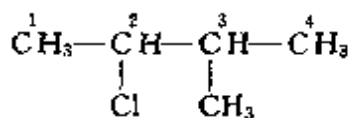
卤代烃一般是以相应的烃作母体,卤原子作取代基,按系统命名法命名。但不同的卤代烃,命名方法又有所不同。

① 卤烷的命名 卤烷的命名原则是:

a. 选择连有卤原子的最长碳链作主链,根据主链上所含碳原子的数目而称为某烷;

b. 从最靠近卤原子的一端开始,将主链上的碳原子依次编号;

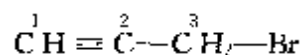
c. 把卤原子和支链当作取代基,将它们的位置、数目和名称,写在烷烃之前。例如:



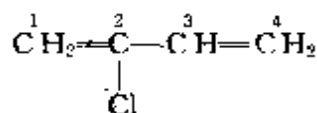
2-氯-3-甲基丁烷

1-氯-3,3-二甲基-2-乙基丁烷

② 不饱和卤烃的命名 不饱和卤烃的命名方法, 是选择含有不饱和键及卤原子的最长碳链作主链, 从靠近双键或三键一端开始, 将主链上碳原子依次编号, 然后按不饱和烃系统命名法命名。例如:



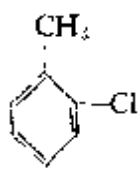
3-溴-1-丙炔



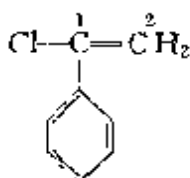
2-氯-1,3-丁二烯

③ 卤芳烃的命名 当卤原子连在苯环时, 以芳烃作母体, 卤素当作取代基来命名; 当卤素连在芳烃的侧链上时, 则以脂肪烃作母体, 把芳基和卤素当作取代基来命名。

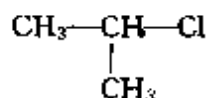
某些结构比较简单的卤烃, 除按上述系统命名外, 还用与卤原子连接的烃基名称来命名。例如:



邻氯甲苯
(2-氯甲苯)

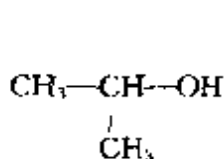


1-氯-1-苯基乙烯

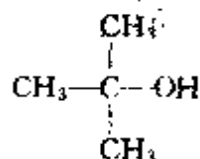


异丙基氯

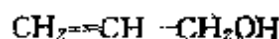
(2) 醇的命名 醇类一般用习惯命名和系统命名法命名。习惯命名是在“醇”字前面加上与羟基相连的烃基名称, 但“基”字不写。这种命名只适用于低级醇类。例如:



异丙醇



叔丁醇



丙烯醇

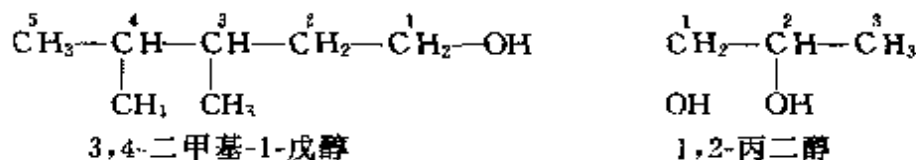
比较复杂的醇则采用系统命名法命名, 命名原则与烯烃的系统命名相似。

① 选择连有羟基的最长碳链为主链, 其他烷基作为取代基;

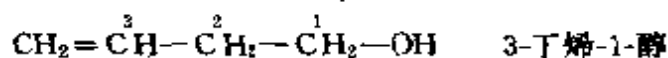
② 从最靠近羟基的一端开始编号, 按主链上碳原子的数目

称为“某醇”(碳原子数在十以内按甲、乙、丙……癸名之, 碳原子数达十一以后, 则以“十一醇”……名之);

③ 取代基的位置用阿拉伯数字, 写在取代基名称前面, 而羟基的位置亦用阿拉伯数字标在“某醇”的前面, 例如:



如果与羟基相连的烃基是不饱和的, 则需将不饱和键的位置同时表示出来。例如:



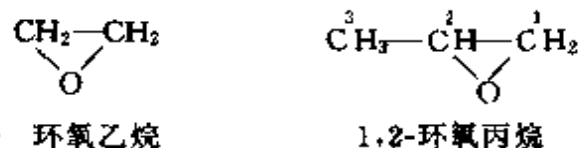
(3) 醚的命名 结构比较简单的醚, 一般采用习惯命名。其方法是在“醚”字前面加上两个烃基的名称(将较小的烃基放在前, 如果是芳醚, 则将芳基名称放在前面), 并常省略“基”字。例如:



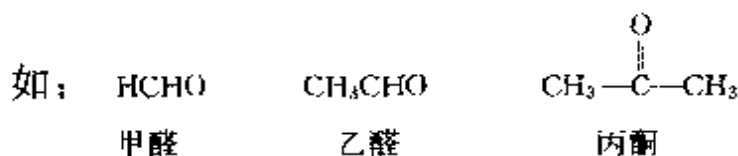
单醚可在相同的烃基名称前加上“二”字, 饱和醚“二”字可以省去, 不饱和醚和芳香醚不能省去。例如:



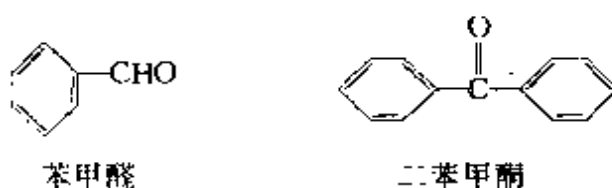
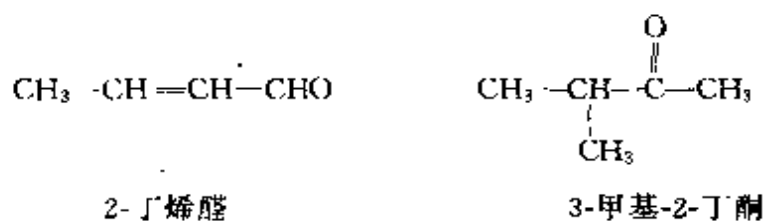
环醚一般以烃作母体, 命名时把“环氧”二字加在母体烃的名称之前。例如:



(4) 醛和酮的命名 醛和酮的系统命名法则与醇相似。由于醛分子中醛基总是位于链端, 故醛的系统命名无须标明醛基的位次。

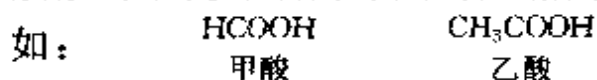


芳香族醛、酮的命名方法, 一般是以脂肪醛、酮作母体, 芳香基作为取代基。例如:

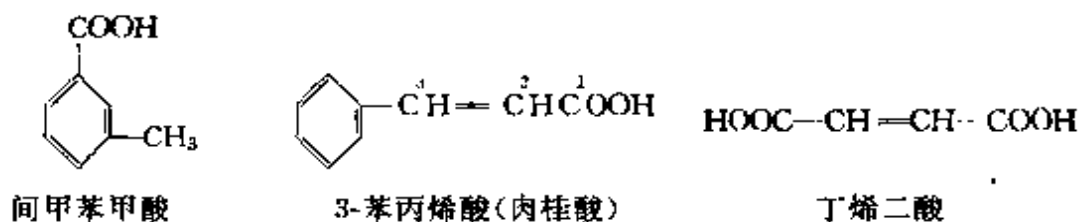


(5) 羧酸的命名 常见的一些羧酸是根据它们的来源命名的, 即俗名。例如甲酸俗名叫蚁酸, 最初得自蚂蚁; 乙酸俗称醋酸, 最初得自食醋。

羧酸的系统命名的原则与醛相同。



芳香酸的命名有两种情况, 一种是羧基与苯环直接相连, 则以苯甲酸作母体来命名; 另一种是羧酸与支链相连, 则以脂肪酸为母体, 芳基看成是取代基来命名。例如:

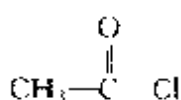


7. 羧酸衍生物的命名

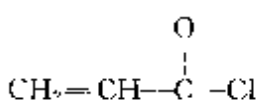
羧酸的羟基被其他原子或原子团取代后的生成物, 叫做羧酸的衍生物。羧酸衍生物分子中都含有酰基, 即羧酸去掉羟基后

的剩余部分, 其结构可用 $R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-$ 表示, 名称按原来的羧酸而定。例如乙酸对应酰基叫乙酰基, 丙烯酸对应酰基为丙烯酰基等。重要的羧酸衍生物有酰卤、酸酐、酯和酰胺等。

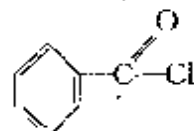
(1) 酰卤的命名 酰卤的命名方法是在酰基的名称之后加上卤素的名称, 同时省去“基”字。例如:



乙酰氯



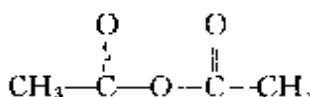
丙烯酰氯



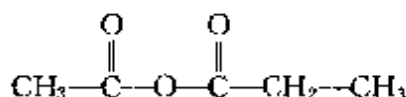
苯甲酰氯

(2) 酸酐的命名 两个一元羧酸分子间脱水, 或二元羧酸的两个羧基脱去一分子水, 生成的化合物叫做酸酐。

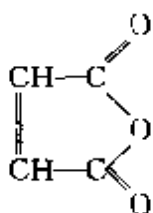
酸酐通常按照它的酸根来命名。例如:



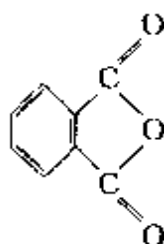
乙酸酐(乙酐)



乙丙酸酐

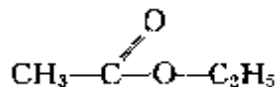


顺丁烯二酸酐(顺酐)

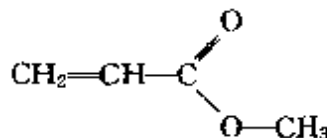


邻苯二甲酸酐(苯酐)

(3) 酯的命名 羧酸酯的命名, 系根据相应的醇和酸而称为“某酸某酯”。例如:

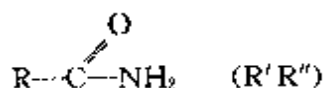


乙酸乙酯

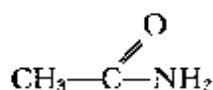


丙烯酸甲酯

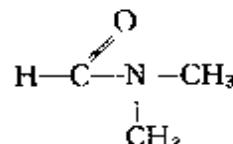
(4) 酰胺的命名 羧酸分子中的羟基被氨基取代后生成的化合物称为酰胺, 其结构为:



酰胺的命名方法与酰卤相似, 系根据酰基的名称而叫做“某酰胺”。例如:



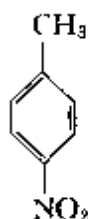
乙酰胺



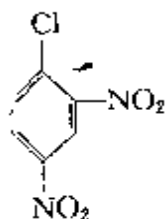
N,N-二甲基甲酰胺
(简称二甲基甲酰胺)

8. 硝基化合物的命名

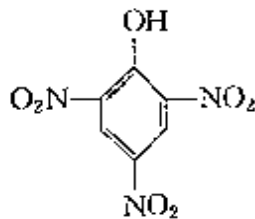
硝基化合物的命名方法与卤烃相似, 一般是以烃作母体, 硝基当作取代基来命名。例如:



对硝基甲苯
(4-硝基甲苯)



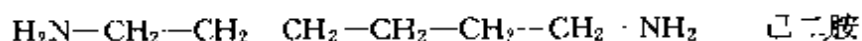
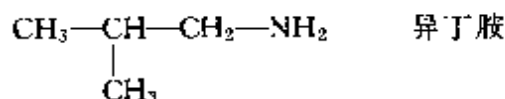
2,4-二硝基氯苯



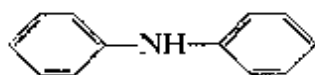
2,4,6-三硝基苯酚
(俗名苦味酸)

9. 胺的命名

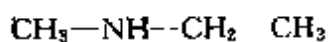
胺类通常按习惯命名法命名。对于伯胺, 命名时只需在氮原子所连接的烃基名称之后加上“胺”字。例如:



对于仲胺或叔胺, 烃基相同, 则以二、三表明相同烃基的数目; 烃基不同, 把简单的烃基写在前, 复杂的烃基放在后。例如:



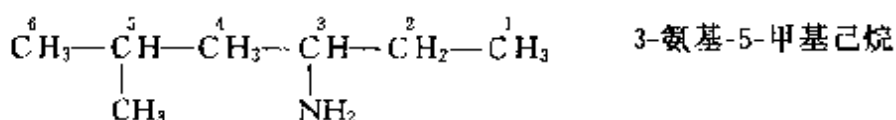
二苯胺



甲乙胺

结构复杂的胺, 则用系统命名法命名。其原则是以烃作为母体, 氨基当作取代基, 选择连有氨基的最长碳链为主链, 主链上

碳原子从靠近氨基一端开始用阿拉伯数字编号。例如：



第七节 重要的有机化合物

一、烃

烃是有机物的母体。按其结构不同分为烷烃、烯烃、炔烃、脂环烃和芳香烃等。

1. 烷烃

分子中碳原子间都以单键相连,其余价键都为氢原子所饱和,这类烃叫做饱和烃或烷烃。烷烃的组成通式 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}; n \geq 1$ 。

烷烃分子中 C—C 和 C—H 键都比较牢固,因此,它的化学性质稳定,在一般情况下,不与强酸、强碱、强氧化剂和还原剂发生反应。

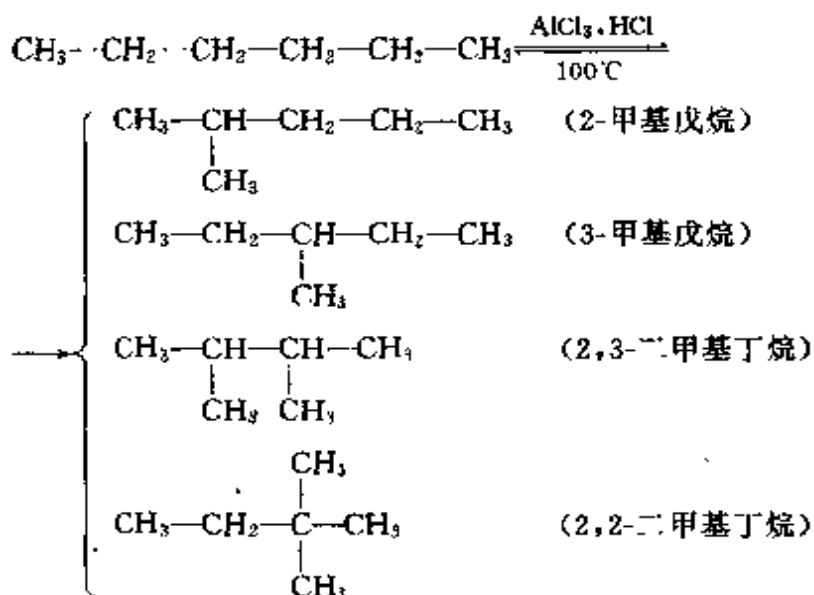
烷烃的代表物是甲烷。

(1) 甲烷的主要性质 甲烷是无色、无味的气体,不溶于水,比空气轻,易燃烧。甲烷的主要反应有取代、氧化、异构化和热裂等反应。

取代反应是有机化合物分子中的原子或原子团,被其他原子或原子团代替而生成另一种化合物的反应,取代反应是烷烃的典型反应。

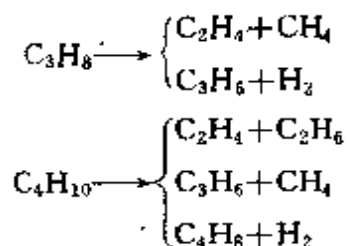
异构化反应是由一种异构体变为另一种异构体的反应。直链烷烃和支链较少的烷烃,在适当温度和催化剂的存在下,可以异构化为带支链的或支链更多的烷烃。例如,正丁烷可以异构化为异丁烷,含碳原子较多的烷烃,异构化后的产物是多种异构体的混合物。碳原子数目增多,异构体数目也增多。例如,己烷在 100℃ 有催化剂 AlCl_3 的存在下,可以得到 2-甲基戊烷、3-甲基戊

烷、2,3-二甲基丁烷和2,2-二甲基丁烷的混合物。



在炼油工业上,利用异构化反应,把直链转变为带支链的烷烃,可以提高汽油的辛烷值(即降低汽油燃烧时爆震的程度),从而提高汽油产品的质量。

烷烃的热裂是一个复杂的过程,它是在高温下使烷烃分子中除碳碳键断裂生成较小的分子外,同时还有脱氢(碳氢键断裂)、碳化和环化等反应过程,其产物是多种混合物。烷烃中碳原子数愈多,热裂的产物也就愈多、愈复杂。例如:



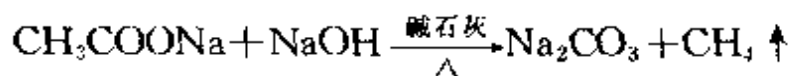
烷烃在不同温度下热裂,得到的产物是不同的。

①裂化 有机化合物受热分解成分子量不同的产物的过程。根据是否采用催化剂,有热裂化和催化裂化两种,一般采用催化裂化。裂化一般指石油产品和其他烃类。石油产品的裂化是在500℃左右的温度下,把重油、石蜡等分子量大、沸点高的烷烃

断裂为分子量小, 沸点低的烷烃的过程。

② 裂解 在石油化工生产过程中, 常以石油分馏产品(包括石油气)作原料, 采用比裂化更高的温度(一般720~850℃), 使具有长链分子的烷烃断裂为短链不饱和烃, 以提供有机化工原料。工业上把这种方法称为石油的裂解。石油裂解是深度裂化。裂解气中主要含有乙烯、丙烯、丁烯和丁二烯、苯、甲苯、二甲苯等不饱和烃, 此外还含有甲烷、乙烷、氢气等气体。

(2) 甲烷的实验室制法 用无水醋酸钠与碱石灰(氢氧化钠与生石灰的混合物)混合共热而得:



甲烷主要用于燃料、化工原料、制取炭黑的原料等方面。

2. 烯烃

含有一个碳碳双键($\text{C}=\text{C}$)的链状不饱和烃称为烯烃。其组成通式是 C_nH_{2n} , $n \geq 2$ 。乙烯是烯烃的重要代表物。结构简式为 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ 。

(1) 烯烃的主要性质 由于烯烃分子中的碳碳双键活泼, 其中一个键(π 键)易于断裂而发生加成反应、氧化反应和聚合反应。这些反应都发生在双键两端的碳原子上。

① 加成反应 有机化合物分子中的不饱和碳原子与其他原子或原子团直接结合生成新的有机物的反应叫加成反应。氢气、卤素、卤化氢、次卤酸、硫酸和水等, 在通常条件下能与烯烃发生加成反应。

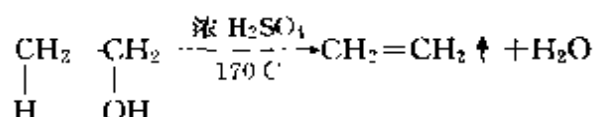
② 氧化反应 烯烃不仅可以燃烧生成二氧化碳与水蒸汽, 而且可被氧化剂(高锰酸钾)氧化。

③ 聚合反应 在一定条件下, 许多相同或不相同的带有不饱和键的单体, 通过互相加成的方式, 生成分子量较高的化合物

的反应。烯烃可以发生聚合反应。

(2) 重要的烯烃 乙烯、丙烯、丁烯等低级烯烃, 是石油热裂的产物, 来源十分丰富。

① 乙烯 乙烯是无色稍带甜味的气体, 略比空气轻, 不溶于水, 燃烧时火焰较明亮, 并稍有黑烟。与空气能形成爆炸性的混合物, 爆炸极限为3~29%(体积)。工业上从石油裂解副产品中提取乙烯。实验室用乙醇脱水方法制取乙烯:



目前, 乙烯在工业上主要产品见图1-8。

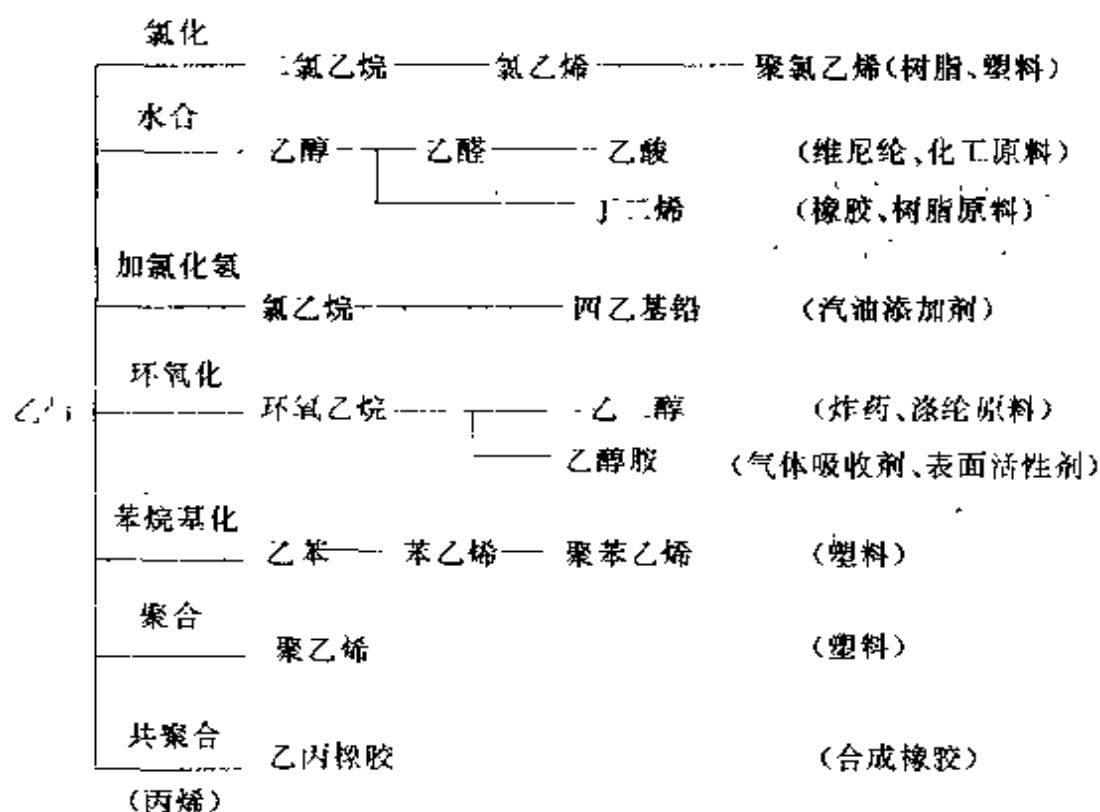


图 1-8 乙烯利用概况

② 丙烯 丙烯是无色带有甜味的易燃气体, 气体的相对密度为1.46, 与空气形成爆炸性混合物, 爆炸极限2.0~11.0%(体

积)。目前, 丙烯在工业上得到广泛应用, 主要产品见图1-9。

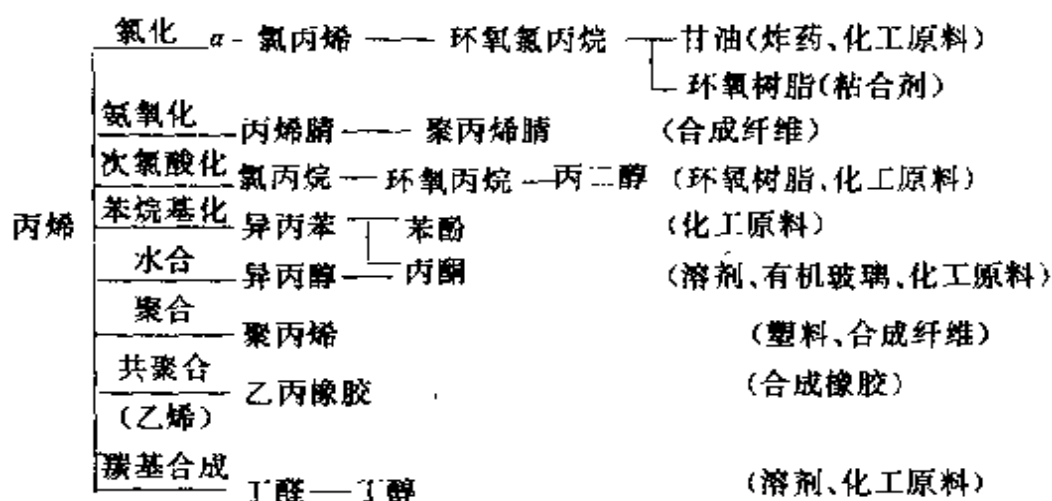


图 1-9 丙烯利用概况

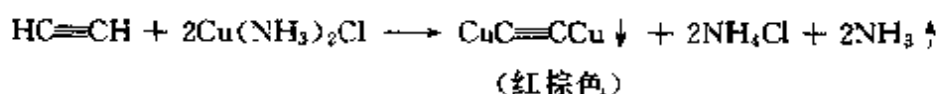
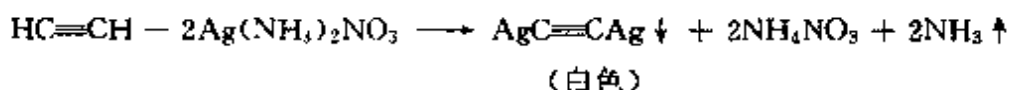
③ 丁烯 丁烯有三种异构体, 即1-丁烯、2-丁烯和2-甲基-1-丙烯(俗称异丁烯)。1-丁烯和2-丁烯经催化脱氢得到1,3-丁二烯。也可经水合分别得到正丁醇和仲丁醇。异丁烯加水, 则可生成叔丁醇; 氧化生成甲基丙烯醛和甲基丙烯酸; 氨化可得甲基丙烯腈。聚异丁烯可用作粘性添加剂, 以提高矿物润滑油的粘度。异丁烯与异丁烷经烃化和氧化后, 可得异辛烷, 与异戊二烯聚合, 可生成丁基橡胶。

3. 炔烃

炔烃分子的结构特点是含有 $\text{—C}\equiv\text{C—}$ 叁键的碳链, 其组成通式是 $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}, n \geq 2$ 。乙炔是炔烃的主要代表物, 结构简式为 $\text{CH}\equiv\text{CH}$ 。

(1) 乙炔的主要性质 乙炔俗称电石气, 是无色、无臭的气体, 比空气稍轻, 微溶于水, 而易溶于丙酮中。与空气形成爆炸性混合物, 当压力超过0.15MPa时, 很容易发生爆炸。爆炸极限为2.55~80.0%(体积)。由于乙炔的三键和乙烯的双键同属不饱和键, 所以它的许多化学性质和乙烯相似, 能发生加成反应、聚合反应和氧化反应。但三键和双键在结构上有所不同, 因此, 乙

炔表现出能与两分子的试剂加成和活泼氢原子被某些金属取代等特性。例如, 金属炔化物的生成。乙炔和具有 $R-C\equiv CH$ 结构的炔烃分子, 由于连接在三键碳原子上的氢(活泼氢)比较活泼, 因此可被某些金属原子取代, 生成金属炔化物。如果把乙炔通入硝酸银的氨水溶液或氯化亚铜的氨水溶液中, 乙炔的活泼氢分别被银或铜取代, 生成白色或棕红色的乙炔银或乙炔亚铜的沉淀。

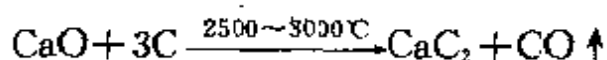


上述反应非常灵敏, 常用来检验乙炔和具有 $R-C\equiv CH$ 型结构的炔烃(注意: $R-C\equiv C-R'$ 型结构的炔烃, 不能生成金属炔化物)。

乙炔银和乙炔铜干燥时容易爆炸。利用此法鉴别乙炔时, 不能加热, 所生成的金属炔化物要及时处理, 以免发生事故。

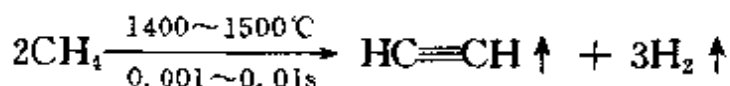
(2) 乙炔的制法和利用 工业上可用煤、石油或天然气作原料来生产乙炔, 目前, 多采用电石法和甲烷裂解法生产乙炔。

① 电石法 先将生石灰和焦炭按一定比例投入高温电弧炉熔融, 生成碳化钙(CaC_2), 碳化钙再与水作用, 便获得乙炔气。



这是目前制取乙炔的最常用方法。

② 甲烷裂解 甲烷在 $1400\sim1500^\circ C$ 的高温下进行瞬时裂解而获得乙炔。



此法通常以天然气或油田气作原料, 裂解过程中所需高温, 系由燃烧部分原料供给, 所以称为甲烷部分燃烧法或甲烷部分氧化法。

乙炔在氧气中燃烧, 火焰温度高达3000~4000℃, 一般称为氧炔焰, 广泛用于焊接和切割金属材料。

乙炔又是三大合成材料工业重要的基本原料之一, 其主要产品见图1-10。

乙炔	加氯化氢	氯乙烯	——	聚氯乙烯	(树脂、塑料)
	加水	乙醛			(醋酸、医药、农药原料)
	加氢氰酸	丙烯腈	——	聚丙烯腈	(合成纤维)
	加甲醇	甲基乙烯基醚			(涂料、增塑剂原料)
	加醋酸	乙酸乙烯酯			(合成纤维)
	二聚	乙烯基乙炔	——	2- 氢- 1, 3- 丁二烯	(合成橡胶原料)

图 1-10 乙炔利用概况

4. 脂环烃

在各类脂环烃中, 比较重要的是环烷烃。故只讨论环烷烃。环烷烃可以看成是烷烃分子中两端碳原子各去掉一个氢后, 彼此连接而成。单环烷烃比相应的烷烃少两个氢原子, 它们的组成通式为 $C_nH_{2n}, n \geq 3$ 。

环烷烃结构式分别简化为:

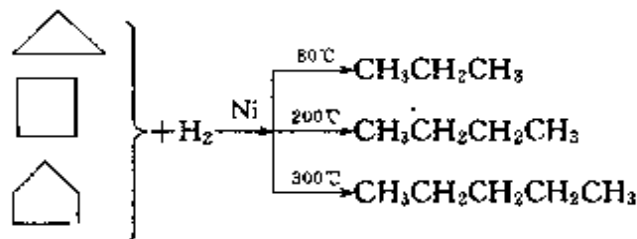


(1) 环烷烃的主要性质 环丙烷和环丁烷常温下为气体, 从环戊烷开始为液体, 高级环烷烃为固体。环烷烃的沸点、熔点

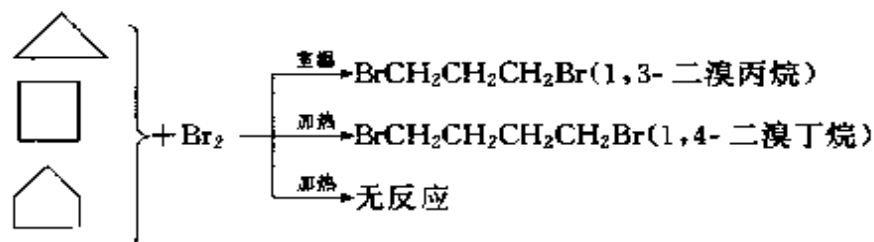
和相对密度都比相应的烷烃高, 相对密度都小于1。

环烷烃的化学性质与烷烃相似, 能发生取代反应和氧化反应等。但三元和四元环烷烃较不稳定, 它们的环容易破裂而和一些试剂发生加成反应, 生成链状化合物。

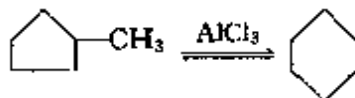
① 催化加氢 环丙烷、环丁烷与氢反应, 在催化剂作用下, 环破裂, 加入两个氢原子, 生成烷烃; 环戊烷、环己烷需在较强的条件下才能与氢作用, 生成烷烃。



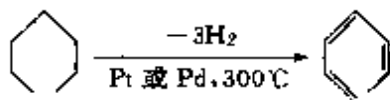
② 与溴作用 环丙烷于室温下就能与溴加成, 环丁烷需在加热的条件下才能与溴作用, 而五元、六元环烷烃则与溴不发生加成反应, 在光照下, 才能进行取代反应。



③ 环的异构化 在一定条件下, 小环与大环可以互相转变, 但这种转变, 只差一个碳原子。例如, 在三氯化铝的催化下, 甲基环戊烷可以异构化, 转变为环己烷。

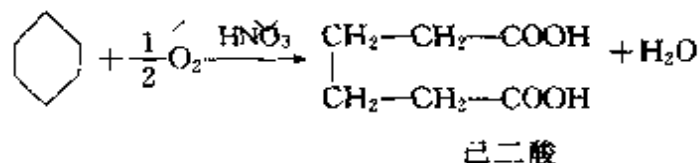


④ 芳构化反应 环己烷及其烷基衍生物, 在一定条件, 环上的六个氢原子脱去而生成苯及苯的同系物。例如:

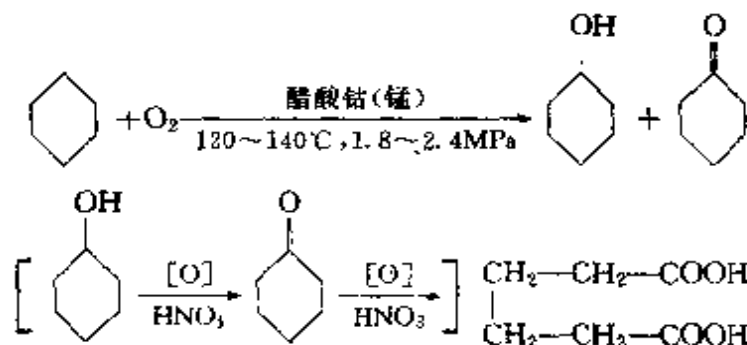


芳构化反应与环的异构化反应一样, 是石油原料制取芳烃时所发生的反应之一。

⑤ 氧化反应 环烷烃与一般氧化剂(高锰酸钾水溶液)不起反应, 但在加热的情况下, 用强氧化剂或有催化剂存在时, 环烷烃也能发生氧化反应。



己二酸是合成尼龙66的重要原料。但用这种方法生产己二酸产物复杂, 纯度不高。目前采用两步氧化法, 即先用空气氧化, 生成的产物(混合物)再用硝酸氧化, 即可得到产物己二酸。



(2) 环己烷的来源和利用 石油是环烷烃的主要来源之一, 其中主要是环戊烷、环己烷及它们的烷基衍生物。原油中一般含有0.5~1%环己烷, 粗汽油中约含环己烷5~15%。

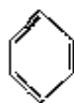
环己烷是最重要的环烷烃, 为无色带汽油味的气体, 相对密度为0.799, 易挥发、易燃烧, 不溶于水而溶于有机溶剂。主要用于制造己二酸、己二胺和己内酰胺, 以及用作溶剂等。

5. 芳香烃——苯及苯的同系物

芳香族的碳氢化合物, 叫做芳香烃, 简称芳烃。最简单的芳香烃是苯及其同系物。

(1) 苯分子的结构特点 苯的分子式是 C_6H_6 , 分子中六个

碳原子构成平面正六边形结构,所有碳原子和氢原子都在同一平面上。苯分子的结构简式如下。



(2) 苯的重要性质 苯是无色而有特殊气味的液体,易挥发,比水轻,不溶于水,易溶于有机溶剂,燃烧时发生光亮面带烟的火焰,蒸气与空气形成爆炸性混合物,爆炸极限1.5~8.0% (体积)。主要化学性质是:

① 取代反应 苯环中不存在典型的碳碳双键,因此,苯分子中不具备不饱和烃的典型性质。它不易被氧化,也不易进行加成,而容易发生氢原子被取代的反应。苯环上的取代反应有卤代、硝化反应、磺化反应、烷基化反应和酰基化反应等。

② 加成反应 苯较难进行加成反应,在特殊的条件下才能进行。苯不与溴水加成,不能使溴水褪色。苯在加压、加热和 Ni 催化剂作用下加氢生成环己烷;在紫外线照射下,加氯可以得“六六六”。

③ 氧化反应 苯只可燃烧,不与高锰酸钾反应,不能使酸化的 KMnO_4 溶液褪色。



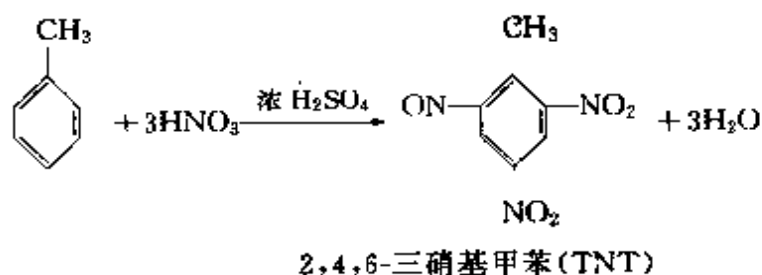
苯的化学性质表明,苯既具有饱和烃的某些性质,又具有不饱和烃的某些性质。

苯是很重要的有机化工原料,广泛用于制造合成纤维、塑料、合成橡胶、染料、医药、农药等方面。

(3) 苯的同系物 苯环上氢原子被烷基取代所得到的一系列物质,都属于苯的同系物。其组成通式是 $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$, $n \geq 6$ 。甲苯是苯的重要同系物。

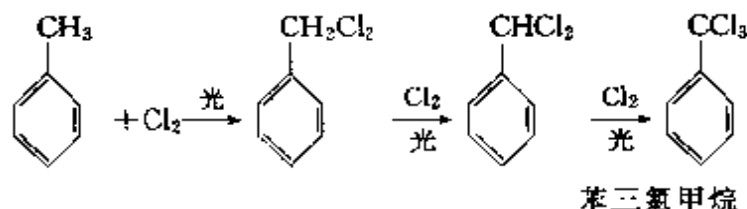
甲苯及其他苯的同系物的性质,与苯相似,可以发生硝化、

磺化等取代反应:

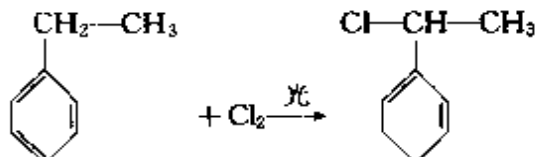


在苯的同系物分子中,与苯环直接相连的碳原子叫 α 碳原子,与 α 碳原子相连的氢原子叫 α 氢原子。苯同系物的 α 氢原子是比较活泼的,所以苯环侧链上的反应主要发生在 α 碳原子上。

① 氯化 在光的作用下,甲苯与氯反应,氯原子逐步取代甲基上的氢原子,最后获得苯三氯甲烷。



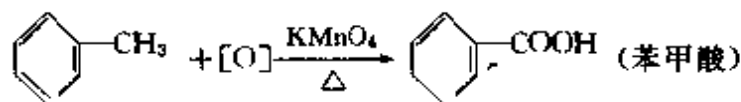
乙苯在光的作用下与氯作用,则得到 α 氯代乙苯。

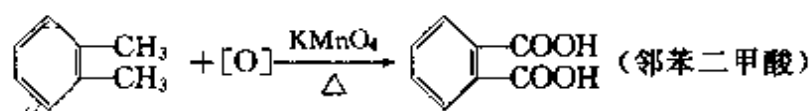


由于卤原子可以转变成 $-\text{OH}$ 、 $-\text{CN}$ 、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{CHO}$ 等基团,所以芳烃侧链的卤化反应,是由指定原料合成某些产品的途径之一。

② 氧化 苯同系物侧链比苯环容易被氧化,故能使酸化高锰酸钾溶液褪色。这是鉴别苯与苯的同系物的重要方法。

一般情况下,无论苯的同系物侧链烃基长短,均被氧化成羧基,有几个侧链,就被氯化生成几个羧基。例如:





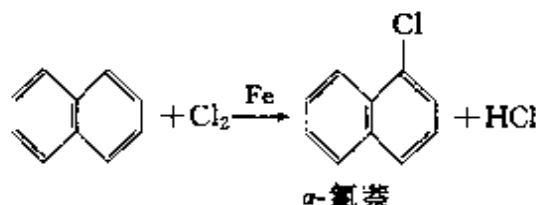
6. 稠芳烃

分子中含有两个或两个以上的苯环, 相邻的两个苯环之间有两个共用碳原子的芳烃叫稠环芳烃。萘是最简单和最重要的稠环芳烃, 是由两个苯环稠合而成的, 分子式 C_{10}H_8 , 结构式简写为:

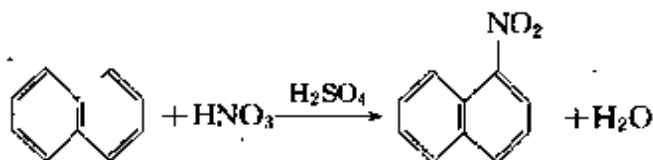


(1) 萘的主要性质 萘具有特殊气味的光亮片状晶体, 易挥发, 并易升华。不溶于水, 溶于乙醇和乙醚等。能点燃, 光弱烟多。能防蛀。萘的化学性质与苯大体相似, 也容易发生取代反应, 一般发生在 α 碳原子上。

① 卤化 萘环上的氢原子被卤素取代, 生成萘的卤素衍生物, 有 α 和 β 两种异构体, 一般以 α 异构体为主。例如, 将氯气通入萘的溶液中, 在铁或三氯化铁的作用下, 主要得到 α -氯萘。

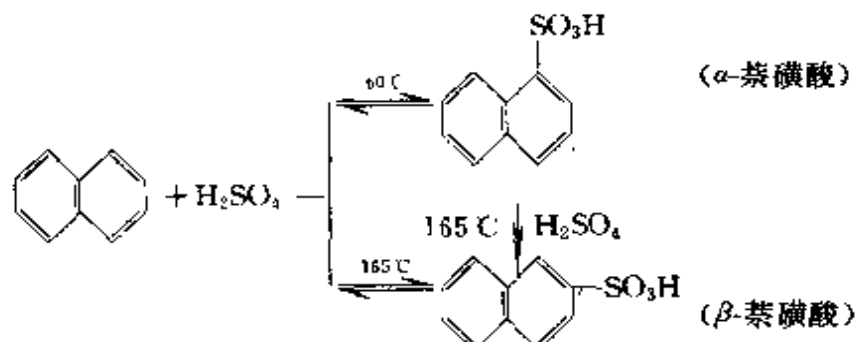


② 硝化 萘的硝化反应比苯容易进行。用混酸在常温下使萘硝化得到 α -硝基萘。

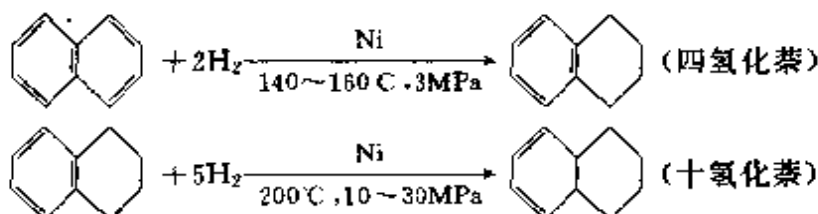


③ 磺化 萘的磺化反应, 在不同的温度下, 所得产品是不同的。在 60°C 左右进行磺化, 主要为 α -萘磺酸; 在 165°C 进行磺化, 主要得到 β -萘磺酸。 α -萘磺酸与硫酸共热至 165°C 时, 则转变

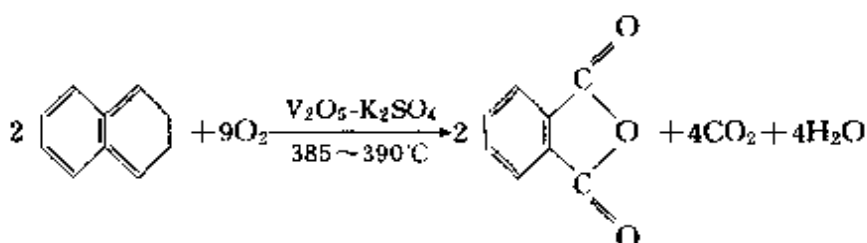
为 β -萘磺酸。



④ 加氢 萘在催化剂作用下,在不同条件下加氢,得到不同的产物。例如:



⑤ 氧化 萘比苯容易氧化。在不同条件下,萘氧化的产物也不同。如果用五氧化二钒和硫酸钾作催化剂,以空气氧化,则一个环破裂,生成邻苯二甲酸酐。



这是目前工业上生产邻苯二甲酸酐的方法之一。

(2) 芳烃的来源及重要的芳烃 芳烃主要来自煤、天然气和石油。煤的主要成分除碳外,还有芳烃、酚、杂环化合物等,是由有机物和无机物组成的复杂混合物。将煤置于炼焦炉中,隔绝空气加热,使它发生分解,得到焦炭,以及粗氨水、粗苯、煤焦油和焦炉气等副产物的过程,叫煤的干馏,工业上叫炼焦。煤经干馏主要产物如图1-11所示。

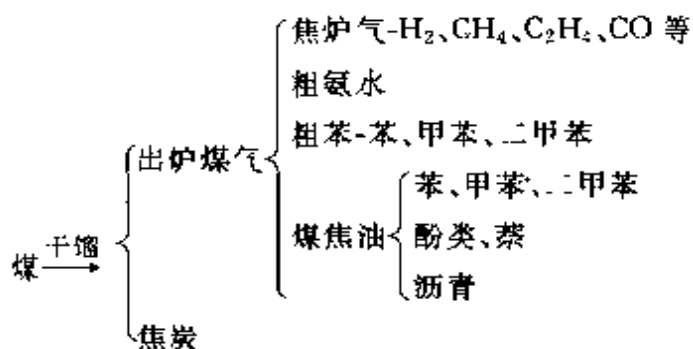


图 1-11 煤干馏的主要产物

石油的基本成分是多种烃(主要为烷烃、环烷烃和芳烃)的混合物。其中含有少量非烃类,主要是烃的含氧、氮、硫等衍生物。

石油中含有一定量的芳烃,但更多的芳烃是经催化重整来制取的。石油在一定温度、压力下及催化剂(铂、或铂-铈等)作用下,使石油分子中化合物分子结构发生变化的化学过程,叫做石油催化重整,或叫铂重整。例如,粗汽油在氢气存在下,以附着在氧化铝上的金属铂为催化剂,在1.5~2.5MPa和430~510℃时,则得到重整油。其中芳烃含量约50~55%(质量),主要是苯和二甲苯。

苯是无色易挥发和易燃的液体,有芳香气味,沸点80.1℃,密度为0.879g/cm³,不溶于水,溶于乙醇、乙醚等有机溶剂。

苯主要来源于炼焦副产、石油铂重整、裂解制乙烯的副产和甲苯脱甲基等方面。它是有机合成工业重要的基础原料之一,用于生成苯酚、己内酰胺、己二胺等,还广泛制造农药、染料、医药及合成洗涤剂。

甲苯是无色液体,具有与苯相似的气味,沸点110.6℃,密度0.867g/cm³,不溶于水,溶于乙醇、乙醚等有机溶剂。蒸气与空气形成爆炸性混合物,爆炸极限1.2~7.0%(体积)。

甲苯也是有机合成工业的基础原料之一。主要用于生产苯、

二甲苯, 制造 TNT 炸药和直接作为汽油的组分, 用作溶剂等。

二甲苯是三种异构体(邻、间、对)的混合物, 叫混合二甲苯。它们都是无色液体, 有芳香气味, 不溶于水, 溶于乙醇、乙醚等。

二甲苯也是有机合成工业的基础原料之一。邻二甲苯主要用来生产邻苯二甲酸酐; 间二甲苯用于染料工业; 对二甲苯主要用于制备涤纶原料对苯二甲酸。混合二甲苯也可以直接作为溶剂。

萘是无色片状结晶, 熔点 80.2°C 、沸点 218°C , 有特殊气味, 易挥发和升华, 不溶于水而易溶于有机溶剂。

萘是有机合成工业的基础原料之一。主要用于生产萘酚和邻苯二甲酸酐等, 在染料、医药、农药和合成树脂等工业方面, 应用很广。

工业萘主要由煤焦油分馏而制得。

二、烃的衍生物

1. 卤代烃

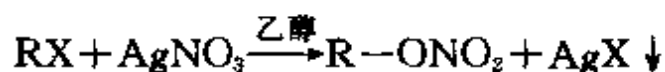
饱和一元卤代烃的通式是 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{X}$ 。也常用 $\text{R}-\text{X}$ 表示 ($\text{X}=\text{F}、\text{Cl}、\text{Br}、\text{I}$)。卤原子是官能团。一般说来, 卤代烃的化学性质比烃活泼得多, 能发生多种反应而转变成其他各种类型的化合物。所以, 烃分子中引入卤原子, 在有机合成中起着桥梁作用。

(1) 卤烃的主要性质 在常温下, 氯甲烷、氯乙烷、溴甲烷、氯乙烯、溴乙烯等为气体, 其余卤烃为液体或固体。它们的蒸气一般都有毒性。所有卤烃都不溶于水, 而溶于醇和醚等有机溶剂中, 能以任何比例与烃类混合, 并能溶解多种有机物。一元卤烷的沸点随着碳原子数的增加而升高, 相对密度则随碳原子数的增加而减小。纯净的卤烷均无色。但碘烷不稳定, 见光易分解。卤

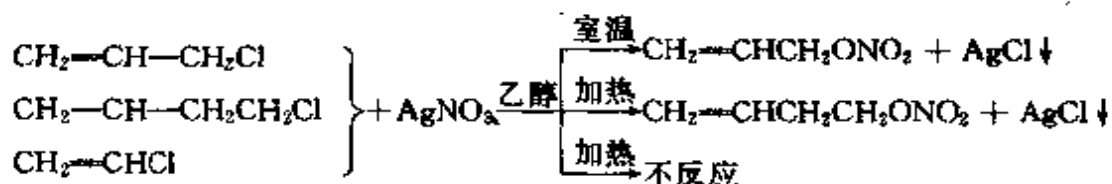
烷在铜丝上燃烧能产生绿色火焰,这是鉴别有机化合物中含有卤素的简便方法。

卤烃分子中,由于 C—X 键有极性,卤原子的活动性大,所以化学性质主要发生在卤原子上。

① 取代反应 卤烷分子中卤原子能被羟基(—OH)、氰基(—CN)、氨基(—NH₂)和烷氧基(—OR)取代,分别生成醇、腈、胺和醚。卤烷与硝酸银的醇溶液作用,生成硝酸酯及卤化银沉淀。



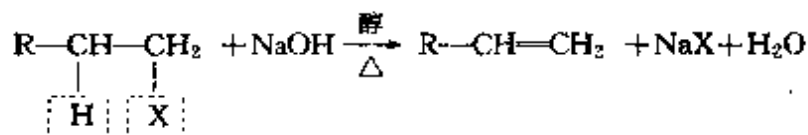
不同结构的卤烃,如烯丙型卤烃($CH_2=CH-CH_2Cl$)、卤烷型卤烃($CH_2=CH-CH_2CH_2Cl$)和乙烯型卤烃($CH_2=CHCl$)由于卤原子的活泼性的不同,因此,在与硝酸银醇溶液发生作用时,生成卤化银的速度也就不一样。烯丙型卤烃在室温下就能产生卤化物沉淀,卤烷型卤烃需在加热的情况下才能反应,而乙烯型卤烃即使在加热情况下,也不发生作用。



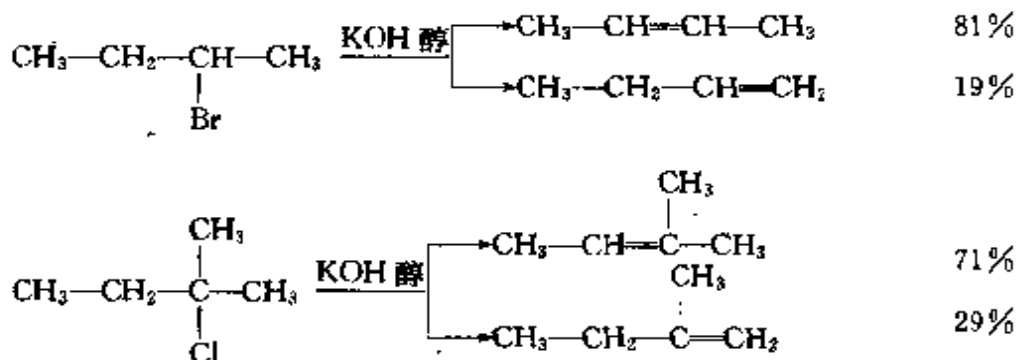
在有机定性分析上,常利用卤化银的沉淀速度,来鉴别不同类型的卤烃。

② 消去反应(又叫消除反应) 有机化合物在适当条件下,从一个分子里的相邻两个原子上脱去一个小分子(水、卤化氢等),而生成具有不饱和键的反应,叫做消去反应。

卤代烷与强碱的醇溶液共热时,分子内脱去卤化氢,生成烯烃。

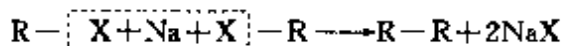


如果卤原子不连接在分子的链端, 而是连接在碳链的中间, 则出现两种不同的产物。例如:



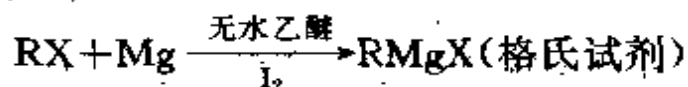
从上述反应可以看出, 仲卤烷和叔卤烷在脱卤化氢时, 两种产物的比例是不同的。实践总结出一条规律: 卤烷在脱卤化氢时, 含氢较少的那个相邻碳原子, 比较容易脱去氢原子。这个规律称为查依采夫规律。

③ 与金属的作用 一卤代烷能与某些金属原子(Na 原子)作用, 生成烷烃

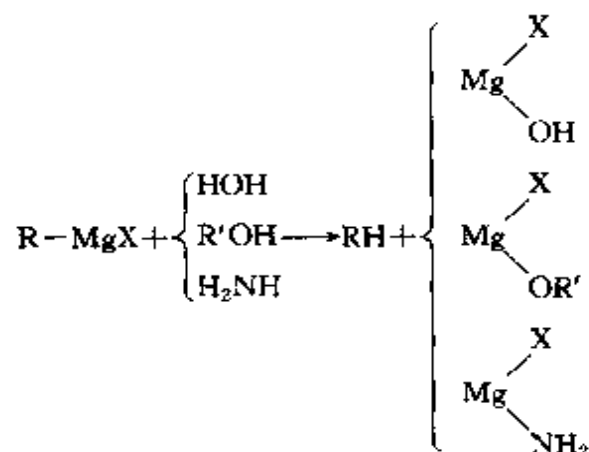


这个反应叫伍尔兹反应。利用这个反应可以用低烷烃合成高级烷烃。

一卤代烷在无水电解质中与金属镁作用, 生成烷基卤化镁。



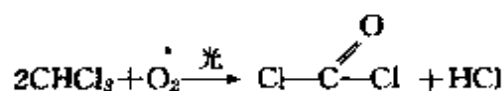
烷基卤化镁通称格利雅试剂, 简称格氏试剂。格氏试剂的 C—Mg 键性质很活泼, 能与许多含活泼氢的化合物(如水、醇、氨、酸等)作用, 生成相应的烃。



在科研和实验室,利用格氏试剂可以合成多种有机化合物。

(2) 重要的卤烃 重要的多卤代烷有:

① 三氯甲烷($CHCl_3$)又叫氯仿,为无色带有甜味的液体,相对密度1.489,沸点 $61.2^\circ C$,易挥发,不易燃烧,可作有机溶剂,医药上作麻醉剂。在日光下,与空气作用,易氧化生成极毒的光气($COCl_2$),故应避光,保存在棕色瓶中。



② 四氯化碳(CCl_4)为无色液体,密度1.595,沸点 $76.8^\circ C$,是常用的溶剂。易挥发,蒸气比空气重。且不能燃烧,故常作为灭火剂,用于扑灭油类着火。

③ 二氟二氯甲烷(CCl_2F_2)又叫氟里昂,为无色、无臭、无毒、不燃烧和无腐蚀性气体,沸点为 $-29.8^\circ C$ 。易压缩成液体,在压力解除时,又立即气化,同时吸收大量热,所以是一种很好的冷冻剂。

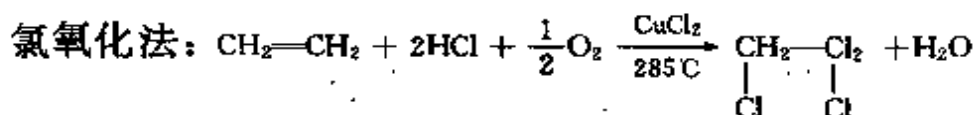
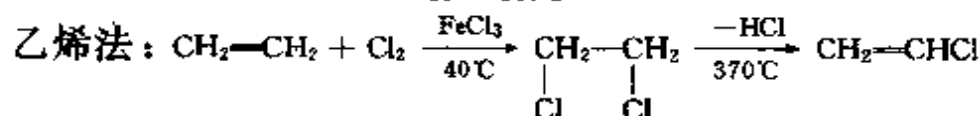
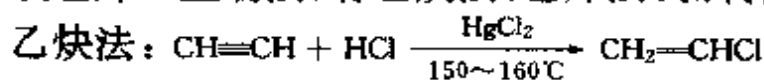
不同的氟氯烷,一般用不同的数字加以区别,其中个位数代表氟原子数,十位数是氢原子数加1,百位数是碳原子数减1。例如:

名 称	商品名	简称
二氟二氯甲烷	氟里昂-12	F-12
1,1,2,2-四氟-1,2-二氯乙烷	氟里昂-114	F-114

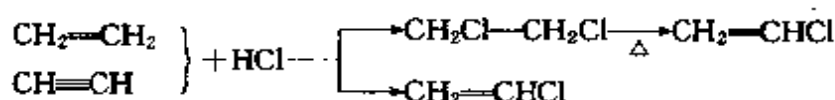
重要的不饱和卤代烃有:

① 氯乙烯 ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) 为无色易燃烧易液化的气体, 沸点 -13.9°C , 难溶于水, 溶于乙醇、乙醚等。与空气能形成爆炸性混合物, 爆炸极限 $4\sim 22\%$ (体积)。是生产聚氯乙烯的重要单体。

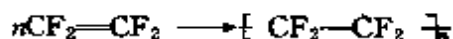
氯乙烯工业制法, 有乙炔法、乙烯法、氯氧化法和烯炔法。



烯炔法是将乙烯法和乙炔法合并起来的方法。



② 四氟乙烯 ($\text{CF}_2=\text{CF}_2$) 是无色气体, 沸点 -76.3°C , 不溶于水, 溶于有机溶剂。是生产聚四氟乙烯的单体。



聚四氟乙烯是一种性能优异的工程塑料, 不溶于任何有机溶剂, 有特殊的化学稳定性, “王水”也不能与它作用。耐热性和绝缘性很好, 有“塑料王”之称。

工业上采用 F-22 热解法制取四氟乙烯。



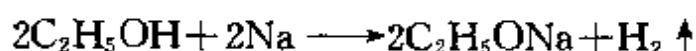
2. 醇

羟基是醇类的官能团。醇分子中只含一个羟基的称为一元醇, 含有多个羟基的称为多元醇。饱和一元醇的通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$, 也常用 R-OH 表示。

(1) 饱和一元醇的性质 含有1~11个碳原子的直链饱和醇为无色液体,12个碳原子以上的醇是蜡状固体。直链饱和一元醇的沸点随分子量的增加而有规律的升高,在碳原子数相同的异构体中,直链伯醇的沸点高,带有支链的则沸点下降,支链越多,沸点越低。饱和一元醇相对密度都小于1。低级醇如甲醇、乙醇、丙醇、能以任何比例与水混溶。高级醇不溶于水,而溶于有机溶剂中。

醇的化学反应,主要发生在羟基和与羟基相连的碳原子上, O—H 键和 C—O 键都有极性,但 O—H 键极性较大,所以, O—H 上的氢原子较活泼,受羟基影响, α 氢原子也表现一定的活泼性。主要化学性质有:

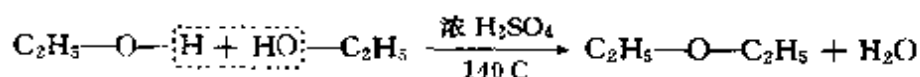
① 与活泼金属(Na、K 等)发生置换反应醇羟基上氢原子比较活泼,称为活泼氢。它被钠、镁等活泼金属置换,生成醇金属。例如,



醇钠是白色固体,碱性比氢氧化钠强,能溶于醇中,遇水分解,在有机合成中用作碱性试剂和烷氧基化剂。

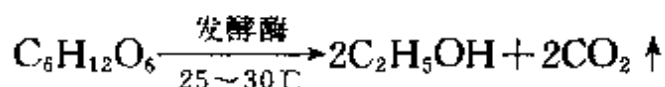
② 氧化反应 乙醇(伯醇)在催化剂(Cu)作用下,被空气氧化生成乙醛。仲醇氧化生成酮,叔醇不能氧化。

③ 酯化反应与脱水反应 酯化反应见羧酸部分。醇的脱水反应根据反应条件的不同,有两种可能,分子内脱水成烯;分子间脱水成醚。例如,乙醇与浓硫酸共热至140℃,则乙醇分子间脱水生成乙醚。

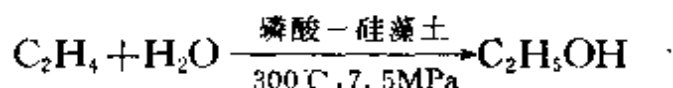


应当明确,醇的两种脱水反应是同时发生的,只是在特定条件下,主要产物不同罢了。

(2) 饱和一元醇的工业制法 有两种制法,一种是发酵法:糖类物质(淀粉,葡萄糖)在发酵酶作用下,经过复杂的反应得到酒精稀溶液,再经蒸馏,即可得95.6%的乙醇。



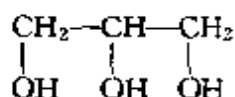
另一种方法就是乙烯的水合法。利用乙烯和水在高温、高压和催化剂作用下,直接水合成醇。



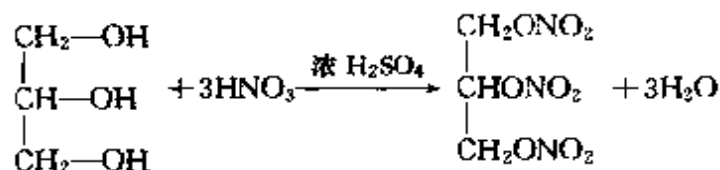
(3) 重要的多元醇

① 乙二醇($\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$) 乙二醇为无色有甜味的液体,沸点 $197.4\text{ }^\circ\text{C}$,熔点 $-12.6\text{ }^\circ\text{C}$,能以任何比例与水 and 醇混溶。在工业上可作溶剂和冷冻剂,它的60%水溶液的凝固点为 $-40\text{ }^\circ\text{C}$,也是制造塑料,合成纤维的重要原料。

② 丙三醇 又叫甘油,是含有三个羟基的多元醇。其结构式为:



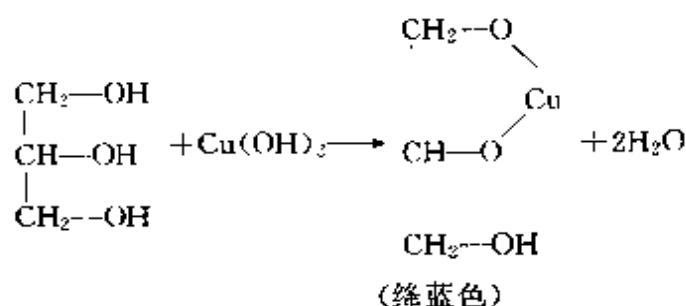
丙三醇有甜味,它是粘稠液体,吸水性强,易溶于水。丙三醇的化学性质与乙醇相似,能与活泼金属发生置换反应,也能发生酯化反应,它与浓硝酸和硫酸混合作用时,生成三硝酸甘油酯,是一种烈性炸药。



三硝酸甘油酯

在丙三醇分子中,由于多个羟基的相互影响,使羟基上的氢原子显一定程度的酸性,能与新制得的氢氧化铜浊液作用而呈

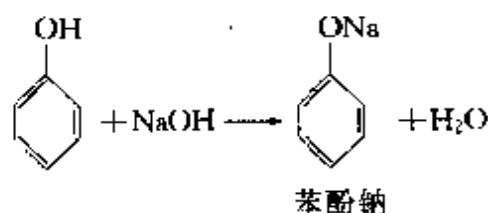
绛蓝色。利用这一反应,可以区别多元醇和一元醇。



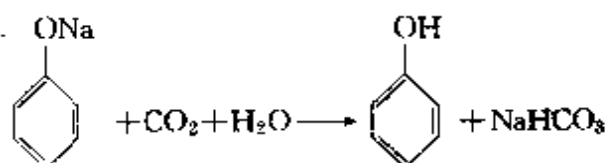
3. 苯酚(石炭酸)

因羟基与苯环的相互影响,使羟基上的氢原子比醇类有更大的活性,能发生电离而显一定的酸性。苯环上的邻,对位上的氢原子也较活泼,能被溴水的溴取代。苯酚的主要化学性质是:

(1) 弱酸性 酚显弱酸性,能与氢氧化钠水溶液作用,生成酚钠,例如:



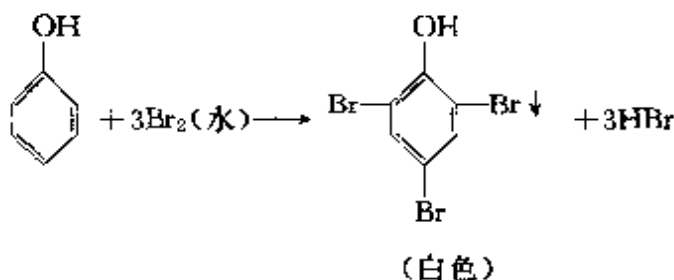
苯酚的酸性比碳酸还弱,故易溶于水的酚钠,其水溶液与 CO_2 反应会析出苯酚而变浑浊:



焦化工业上,利用这一性质,从煤焦油中分离出苯酚。

苯酚也不能使蓝色石蕊试液变红。

(2) 与浓溴水反应 苯酚与浓溴水反应产生白色沉淀。此反应常用来检验苯酚的存在和定量的测定含量。



(3) 与 FeCl_3 溶液作用 苯酚与 FeCl_3 溶液作用显紫色。这一性质也是鉴别酚的存在。

(4) 与甲醛作用 苯酚与甲醛发生缩聚反应, 得酚醛树脂。

苯酚主要用作消毒剂、防腐剂, 还可作为合成酚醛树脂、纤维、医药、炸药等工业的原料。

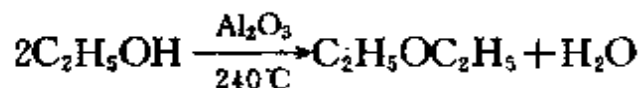
4. 醚

醇分子中羟基的氢原子被烷基取代后的生成物叫醚, 通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$, 常用 $\text{R}-\text{O}-\text{R}'$ 表示。式中 R 和 R' 为烷基。 R 和 R' 相同时叫单醚, 不相同叫混醚。

(1) 醚的性质 除甲醚和甲乙醚为气体外, 其他大多数为无色液体, 有一种使人愉快的气味, 难溶于水, 易溶于有机溶剂, 密度比水小, 易挥发, 易燃, 蒸气与空气能形成爆炸性混合物, 爆炸极限 1.85~36.5% (体积), 使用应注意安全。

乙醚的化学性质比较稳定, 是不活泼的有机化合物。乙醚是常用的有机溶剂, 在医药上可作麻醉剂。

(2) 醚的制法 工业上采用乙醇脱水(分子间)制得乙醚。



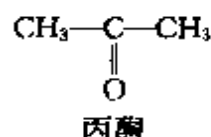
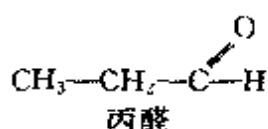
5. 醛和酮

醛和酮在分子中都含有一个羰基 (>C=O)。在醛分子中, 羰基连接一个氢原子和一个烷基(甲醛除外), 通式为 $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}$ 。

酮分子是羰基连接二个烷基(相同或不相同), 它的通式为

$\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{R}'$ 。由于醛、酮有共同的官能团(羰基), 所以醛和酮又称为羰基化合物。

醛和酮是不同类的同分异构体, 通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}$, 如丙醛和丙酮的分子式都是 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, 但结构式不同。



(1) 醛和酮的物理性质 甲醛为气体, 乙醛至十五醛都是液体, 十六醛以上是固体。醛在水中的溶解度随分子量的增加而降低。低级醛有臭味, 中级醛有香味, 高级醛则无味。甲醛沸点 -19.2°C , 乙醛沸点 20.8°C 。

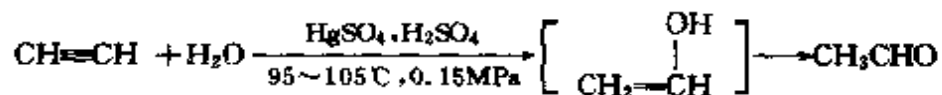
低级酮是液体, 溶于水。高级酮是固体, 不溶于水。丙酮为易挥发, 易燃的无色液体, 略有香味, 是一种良好的有机溶剂。

(2) 醛和酮的化学性质 醛和酮含有相同的官能团羰基, 因此, 它们具有许多相似的化学性质:

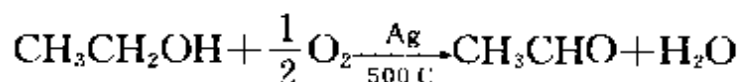
① 羰基的加成反应; ② α 氢原子的卤代与羟醛缩合; ③ 氧化反应与还原加氢等。

(3) 醛和酮的制法 工业上用乙炔水合法、乙醇氧化法和乙烯直接氧化法生产乙醛。

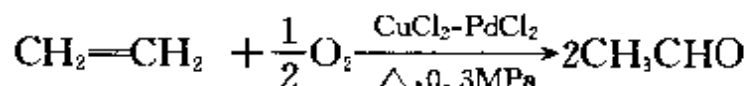
① 乙炔水合法 乙炔在催化剂 HgSO_4 的作用下与水化合制得乙醛。



② 乙醇氧化法 将乙醇蒸气与空气混合, 在 500°C 下通过催化剂 Ag , 则乙醇被空气氧化得到乙醛。

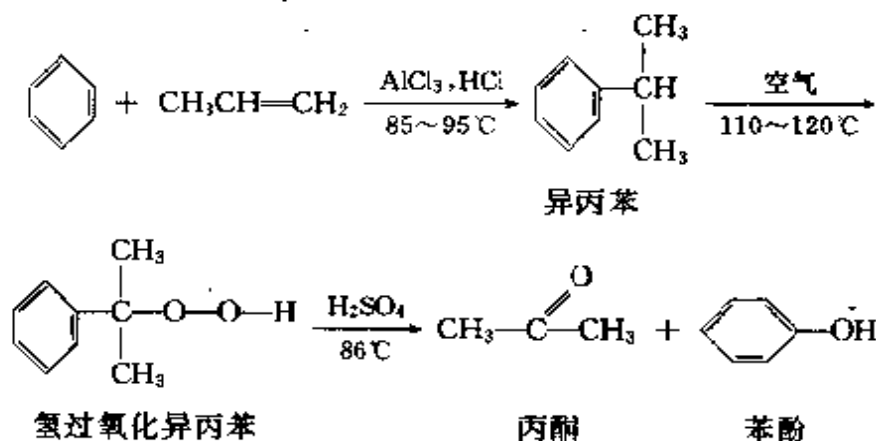


③ 乙烯氧化法 乙烯与氧(空气)通过氯化铜和氯化钾水溶液,在加温加压下,乙烯被氧化为乙醛。

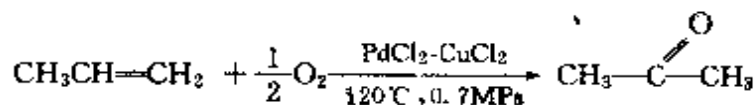


工业上丙酮可由异丙苯氧化,丙烯直接氧化等方法制备。

① 异丙苯氧化法 以苯和丙烯为原料,在三氯化铝的催化下进行烷基化,生成异丙苯,再以空气将其氧化为氢过氧化异丙苯。氢过氧化异丙苯在酸性条件下分解,得到丙酮与苯酚。此法可以同时得到两种产品,是我国目前生产丙酮的主要方法之一。



② 丙烯直接氧化法 丙烯在 $\text{PdCl}_2\text{-CuCl}_2$ 的催化下,直接氧化生成丙酮。



6. 羧酸

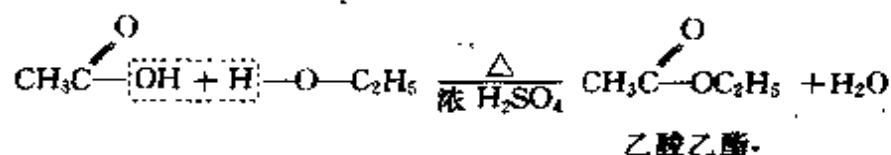
羧酸的通式为 $\text{R}-\text{C}(\text{O})\text{OH}$, 官能团为 $-\text{C}(\text{O})\text{OH}$ 。羧酸最初由脂肪水解而得到,所以又叫脂肪酸。按羧酸分子中羟基数目,又可分为一元羧酸和二元羧酸等。

(1) 羧酸的性质 低级羧酸是有刺激性臭味的液体, 易溶于水, 中级羧酸为油状液体, 微溶于水; 高级羧酸为无味固体, 不溶于水。它们的沸点随分子量增加而升高。甲酸沸点 100.5°C , 熔点 8.4°C 。乙酸又叫醋酸, 沸点 118°C , 熔点 16.5°C , 当温度低于 16.5°C 时, 乙酸就凝结成像冰一样的晶体, 所以无水乙酸又叫冰醋酸。主要化学性质是:

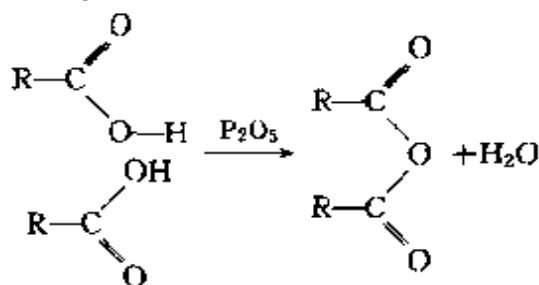
① 弱酸性 羧酸分子中羟基受羰基影响, 极性大, 在水溶液中能电离出氢离子呈弱酸性(比碳酸强)。



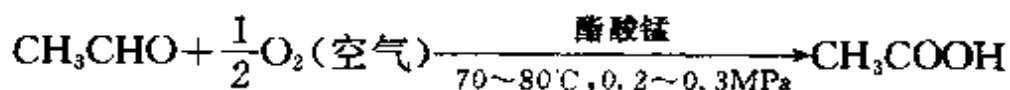
② 与醇发生酯化反应 乙酸与乙醇作用, 生成乙酸乙酯和水。



③ 酸酐的生成 两分子羧酸在 P_2O_5 作用下, 脱去一分子水生成酸酐。

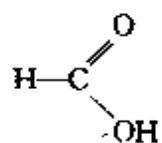


(2) 羧酸的制法 目前工业上主要采用乙醛氧化法生产乙酸。



(3) 重要的羧酸

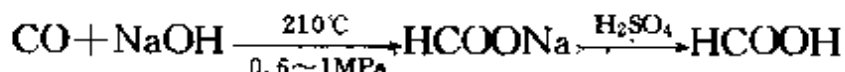
① 甲酸 甲酸最初由蒸馏蚂蚁得到, 故又叫蚁酸。结构式



。由于甲酸分子中同时含有酸基和醛基, 所以它兼具

有醛和酸的性质。例如, 能与托伦试剂发生银镜反应, 也能与费林试剂作用, 产生氧化亚铜红色沉淀, 甲酸则被氧化成二氧化碳和水。

甲酸可由一氧化碳与氢氧化钠作用制备。



甲酸在工业上用作还原剂, 橡胶的凝聚剂、缩合剂、甲酰化剂, 也用作消毒剂和防腐剂。

② 乙二酸 ($\text{HOOC}-\text{COOH}$) 乙二酸又叫草酸, 通常以钾盐或钠盐的形式存在于植物的细胞中。草酸是无色晶体, 易溶于水, 在二元酸中酸性最强, 是一个较强的还原剂, 可以使得高锰酸钾还原成二价锰, 使 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} , 因而可以作去铁锈及墨水痕迹的药品。在印染工业上, 可用作媒染剂和漂白剂。

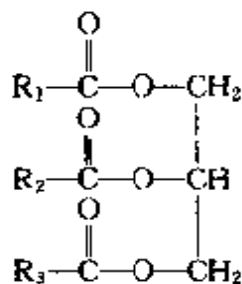
7. 酯

酯的通式是 $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OR}'$, 简化为 RCOOR' (R 和 R' 代表烷基, 可以相同也可不同), 是羧酸的衍生物。

酯的性质 低级酯为无色液体, 比水轻, 易挥发的高级酯为蜡状固体。酯都难溶于水, 易溶于有机溶剂中, 低级及中级酯都有水果香味。酯为良好的溶剂, 并是制造香料的重要原料。

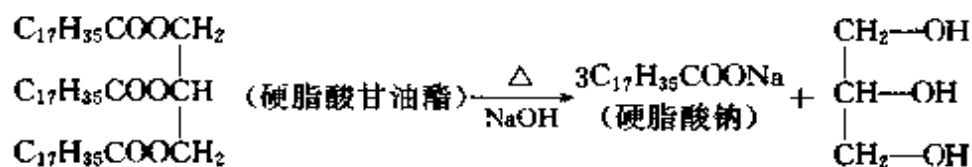
酯的重要性质是水解反应, 生成醇和酸。酯的水解反应是酯化反应的逆反应。

油脂为高级脂肪酸与丙三醇的混合物, 其中包括饱和的与不饱和的高级脂肪酸。其结构如下:

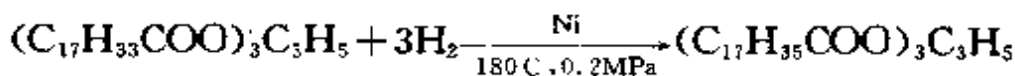


R_1 、 R_2 、 R_3 代表饱和烃基或不饱和烃基,它们可以相同或不相同。不饱和烃基组成的油脂熔点低,常温为液态,俗称“油”。不饱和油脂可以加氢使其成为饱和油脂而固化。

油脂属于酯类。油脂在碱性条件下水解叫皂化反应。例如,硬脂酸甘油酯皂化得到硬脂酸钠(肥皂)和甘油:



液态植物油加氢硬化变成固体硬化油,可作工业原料。



三、糖类和蛋白质

1. 糖类

(1) 糖类的元素组成及结构特点 葡萄糖、蔗糖、淀粉、纤维素等都属于糖类。这类有机物含C、H、O三种元素,而其中氢原子和氧原子之比为2:1。它们的元素组成都符合通式 $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ (符合 $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ 通式的某些化合物并不都属于糖),故称为碳水化合物。从结构看,糖类一般是多羟基醛或多羟基酮,以及能水解生成多羟基醛或多羟基酮的物质。

(2) 糖的分类 糖可分为单糖,低聚糖和多糖。

① 单糖 最简单的糖,如葡萄糖,果糖。两者分子式都为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 。但前者是多羟基醛,后者是多羟基酮,互为同分异构

体。

② 低聚糖 低聚糖水解能生成几个分子单糖。如蔗糖、麦芽糖水解都能生成两分子的单糖, 故称为双糖或二糖。两者分子式都是 $C_{12}H_{22}O_{11}$, 互为同分异构体。

③ 多糖 多糖是由多个单糖分子按一定方式通过脱水而结合成的高分子化合物。彻底水解时生成单糖分子。淀粉、纤维素属于多糖。两者的分子式都用 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 表示。但它们不是同分异构体, 因为两者分子式中的 n 值并不相等。即分子量不相等。

(3) 糖类重要代表物的分子结构和性质的比较, 见表1-18。

2. 蛋白质

(1) 蛋白质的组成 蛋白质是由多种 α -氨基酸缩聚而成的天然高分子化合物。除含有 C、H、O 元素外, 还含有 N 和少量 S。

(2) 氨基酸 羟基上结合有氨基 ($-NH_2$) 的羧酸叫氨基酸。可以理解为羧酸分子里羟基上的氢原子被氨基取代的产物。

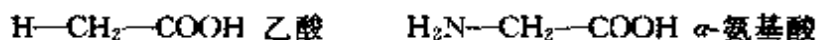


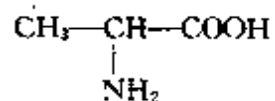
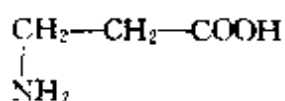
表1-18 糖类分子结构与性质比较

糖 类	结构特点	主要化学性质
单 糖	分子式 $C_6H_{12}O_6$ 结构式 $CH_2OH-(CHOH)_4-CHO$ 分子中含有5个羟基一个醛基即多羟基醛	1) 有醛基的性质反应, 发生银镜反应; 与新制的氢氧化铜反应, 被氧化剂氧化; 加氢还原成六元醇; 2) 有醇羟基, 能发生酯化反应; 3) 在酶的作用下发酵转为乙醇; 4) 在人体内被氧化放出 CO_2 、 H_2O 及热量
糖	分子式 $C_6H_{12}O_6$ 结 构 式 $CH_2OH-(CHOH)_5-COCH_2OH$ 分子内有五个羟基一个酮基即多羟基酮	1) 虽无醛基, 但酮基受羟基影响, 故也有还原性, 发生银镜反应, 与新制的氢氧化铜反应, 析出红色 Cu_2O ; 2) 能发生酯化反应

续表

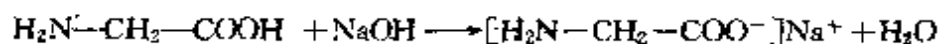
糖 类		结构特点	主要化学性质
双 糖	蔗糖	分子式 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 分子中没有醛基	1) 能水解为葡萄糖和果糖; 2) 无还原性, 不发生银镜反应
	麦芽糖	分子式 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 分子中没有醛基	1) 能水解成葡萄糖; 2) 能发生银镜反应, 能与新制 $Cu(OH)_2$ 反应, 析出红色 Cu_2O
多 糖	淀粉	分子式 $(C_6H_{10}O_5)_n$, n 值为几百到几千, 是由 n 个葡萄糖单元构成的直链和支链高分子	1) 在稀酸作用下水解成葡萄糖; 2) 遇碘显蓝色(用于鉴定淀粉)
	纤维素	分子式 $(C_6H_{10}O_5)_n$, n 值与淀粉不同, n 为几千, 是由几千个葡萄糖单元构成的直链高分子	1) 水解比淀粉难(高温、高压, 长时间), 水解后产物为葡萄糖; 2) 能与硝酸发生酯化反应, 生成硝化纤维(纤维素硝酸酯)

氨基酸的命名: 氨基的位置一般以最接近羧基的碳原子数起, 依次为 α 、 β 、 γ ……标出。例如

 α -氨基丙酸 β -氨基丙酸

α -氨基酸是最重要的氨基酸。它是蛋白质的组成单元。

氨基酸分子中含有显碱性的氨基和显酸性的羧基, 因此, 它既是有碱性又有酸性的两性化合物。



(3) 蛋白质的性质

① 两性 由于蛋白质分子中存在氨基和羧基, 故具有两性。

② 盐析 在蛋白质溶液中加入浓的无机盐如 Na_2SO_4 、

(NH_4) $_2\text{SO}_4$ 等,可使其溶解度降低而从溶液中析出,这种作用叫盐析。盐析是可逆的过程,可用多次盐析的方法提纯蛋白质。

③ 变性 在热、酸、碱、重金属盐、紫外线等作用下,蛋白质会改变性质凝结,不能再恢复到原来的性质,故蛋白质可作重金属的解毒剂。

④ 显色反应 蛋白质能跟许多试剂发生显色反应,例如,有些蛋白质与浓硝酸作用后呈黄色。

四、合成有机高分子化合物

1. 基本概念

有机高分子化合物是指分子量很大的一类有机物,又称高聚物。以人工方法用单体经加聚或缩聚反应而得到的高聚物,叫合成有机高分子化合物,以区别于天然存在的高分子化合物。例

如:聚氯乙烯 $\left[\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$,酚醛树脂 $\left[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})-\text{CH}_2 \right]_n$ 等。

单体 能起加聚或缩聚反应形成某种高分子化合物的简单化合物,称为该高分子化合物的单体。例如聚氯乙烯的单体是氯乙烯,酚醛树脂的单体是苯酚和甲醛。

链节 高分子化合物分子里重复出现的结构单元叫做链节。例如聚氯乙烯 $\left[\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$ 式中的 $\left[\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]$ 就是聚氯乙烯的链节。

聚合度 高分子化合物分子中链节的数目叫做聚合度。例如上式中的 n 值就是聚氯乙烯的聚合度。高分子化合物的分子量与聚合度有关。由于合成高分子化合物聚合度是平均聚合度,所以线型高分子化合物的分子量也就是平均分子量。

高分子化合物平均分子量=聚合度×链节“分子量”

2. 高分子化合物的命名

高分子化合物至今尚未有统一的命名方法。天然高分子化合物, 一般使用俗名, 如纤维素、淀粉、蛋白质、虫胶等, 合成高分子化合物的命名, 由加聚反应制得的高聚物, 通常是在单体的名称前加上“聚”字。例如聚乙烯(结构式: $\{ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \}_n$, 单体: $\text{CH}_2=\text{CH}_2$); 聚丙烯(结构式: $\{ \text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \}_n$, 单体: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$); 由缩

聚反应制得的高聚物, 一般在单体名称后加上“树脂”两字。例如

酚醛树脂(结构式: $\{ \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})-\text{CH}_2 \}_n$, 单体: $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})$ 与 HCHO),

但也有在链节名称之前加上“聚”字。例如: 聚己二酰己二

胺(结构式: $\text{HO}[\text{C}(=\text{O})-(\text{CH}_2)_4-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}]_n\text{H}$,

单体: $\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ 和 $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$)。

另外, 合成高分子化合物也常用商品名称。例如, 聚丙烯腈纤维商品名叫腈纶; 聚对苯二甲酸乙二酯纤维的商品名叫涤纶, 聚乙烯醇缩甲醛纤维商品名叫维尼纶等。

3. 高分子化合物的分类

高分子化合物的种类很多, 性能和用途各不相同, 为了便于利用和了解, 可以从不同的角度予以分类。

(1) 按结构分类, 可分为线型高聚物, 即由千百个链节彼此以共价键相互连接成一条链状, 没有或很少有长短不同的支链的高聚物和体型高聚物, 即大分子链间通过化学键彼此交联, 形成网状(体型)结构的高聚物。

(2) 按热加工性能也可分为热塑性高聚物和热固性高聚物两类。热塑性高聚物一般为线型结构高聚物, 受热时塑性增大, 先软化以致熔化。这一类高聚物可以被反复塑制成型。热

固性高聚物一般是体型结构高聚物。这类高聚物受热软化后在一定温度下硬化, 再受热则不再软化也不熔化, 只能可塑制一次。

(3) 按使用分类, 可分为塑料、合成纤维和合成橡胶。这三类常称为三大合成材料。

4. 高分子化合物的特性

(1) 不挥发性 高分子化合物分子量很大 (可高达几万、几十万甚至几百万), 一般不挥发, 因而不能用蒸馏方法来提纯。

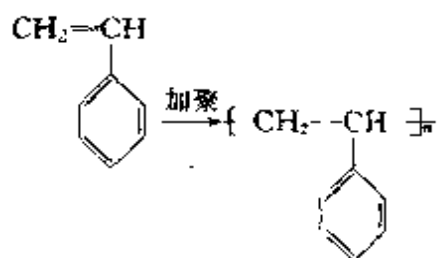
(2) 有一定的机械强度 高分子化合物的分子链很长, 分子之间的引力较大, 在常温下绝大多数以固态存在, 并具有一定的机械强度。某些高聚物, 如聚甲醛, 由于强度高, 可以代替某些金属, 制造机械零件。

(3) 良好的电绝缘性和耐腐蚀性 高分子化合物分子中, 原子之间通过共价键相结合, 键的极性一般不大, 不易发生电离, 其性质比较稳定。所以大部分高聚物具有良好的电绝缘性和耐化学腐蚀性。

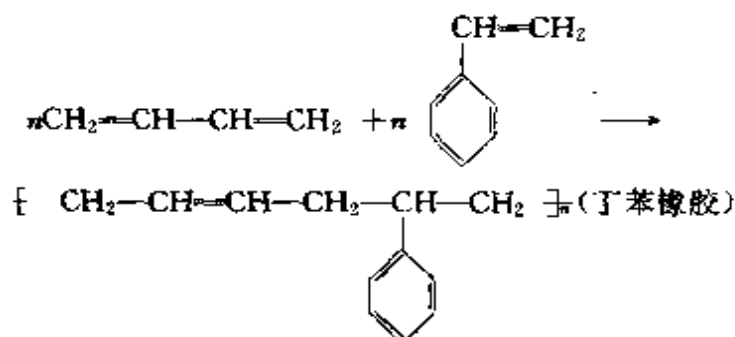
此外, 高分子化合物还有质轻、弹性好、耐磨、耐高温和低温, 耐辐射等优良性能。一种高分子化合物往往有几种优良性能, 因此, 人们可以根据不同需要, 来选用高分子材料。

5. 高分子化合物的合成反应

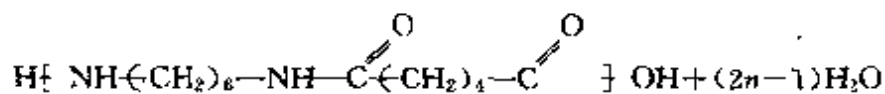
(1) 加成聚合反应 由许多相同或不不同的不饱和低分子化合物相互加成, 或由环状化合物开环相互连接成高聚物的反应, 叫做加成聚合反应, 简称加聚反应或聚合反应。加聚反应得到的聚合物叫做加聚物。例如, 由苯乙烯合成聚苯乙烯的反应就属于加聚反应, 产物聚苯乙烯为加聚物。



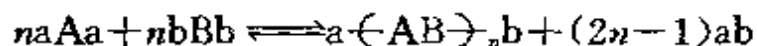
加聚反应按单体种类的多少,可分为均聚合反应和共聚合反应。只由一种单体参加聚合的反应,叫做均聚合,又叫均聚。其产物叫均聚物。如聚乙烯、聚氯乙烯等。由两种或两种以上单体进行的聚合反应,叫做共聚合,又叫共聚,其产物叫共聚物。如丁苯橡胶、ABS 程塑料等。



(2) 缩聚反应 由两个或两个以上官能团的单体合成高分子化合物的反应叫缩聚反应。缩聚反应的特点是在反应过程中有低分子化合物,如 H_2O 、 HCl 或 NH_3 等生成。由缩聚反应生成的产物叫缩聚物。例如,由己二胺和己二酸合成锦纶66的反应,



缩聚反应可用通式表示如下:



式中 aAa , bBb 分别表示两种单体, a 和 b 是不同的官能团, ab 为低分子化合物。

6. 重要的合成高分子材料

(1) 塑料 以合成高分子化合物(合成树脂)为主要原料, 添加适当的辅助材料(增塑剂、添加剂), 在一定条件下制成新型的合成材料。如聚乙烯塑料, 聚氯乙烯塑料, 聚丙烯塑料, 酚醛塑料等。

(2) 合成纤维 经一定合成反应和加工生产工序而制成具有纤维物理状的一类高分子合成材料。常见的合成纤维有涤纶(聚对苯二甲酸乙二醇酯)、锦纶(聚己丙酰胺)、腈纶(聚丙烯腈)、维尼纶(聚乙烯缩甲醛)、氯纶(聚氯乙烯)等。合成纤维具有许多天然纤维所没有的优点, 如弹性大、强度大、耐酸、耐碱、耐磨、不怕虫蛀和霉烂等。

(3) 合成橡胶 由二烯烃或烯烃为单体, 经聚合而成的具有橡胶性能的一类高分子合成材料。重要的合成橡胶有丁苯橡胶、顺丁橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶、硅橡胶、异戊二烯橡胶等。

塑料、合成纤维、合成橡胶称为三大合成材料。它们具有密度小、强度大、弹性强、可塑性好、高绝缘、耐磨、耐腐蚀等一系列优良性能, 它在工业、农业、国防、交通运输、建筑、医疗卫生、尖端技术以及人们日常生活等方面, 都有极其广泛的应用。

第二章 化工机械基础知识

第一节 识 图

一、看零件图

1. 零件图的内容

零件图是指导制造和检验零件的图样,因此,图样中必须包括制造和检验该零件时所需的全部内容。一张完整的零件图应包括:

(1) 图形 用一组图形,准确而完整地表达零件的结构形状。

(2) 尺寸 用一组尺寸,准确合理地标出零件结构形状大小及相互位置的关系。

(3) 技术要求 用规定的符号、数字、字母和文字注解,准确地给零件制造检验和使用时的技术要求。

(4) 标题栏 应准确地填写零件名称、编号、材料、数量、比例、制图人与校核人的姓名以及日期等。

2. 看零件图的方法

看零件图就是把零件图中的内容全部看懂,用以指导生产实践的过程。下面以图2-1泵体为例,说明看零件图的具体方法和步骤。

(1) 看标题栏 通过看标题栏,了解零件的名称为泵体;选用的材料为铸铁;比例1:1。

(2) 分析图形 了解各图形的作用与相互之间的投影关

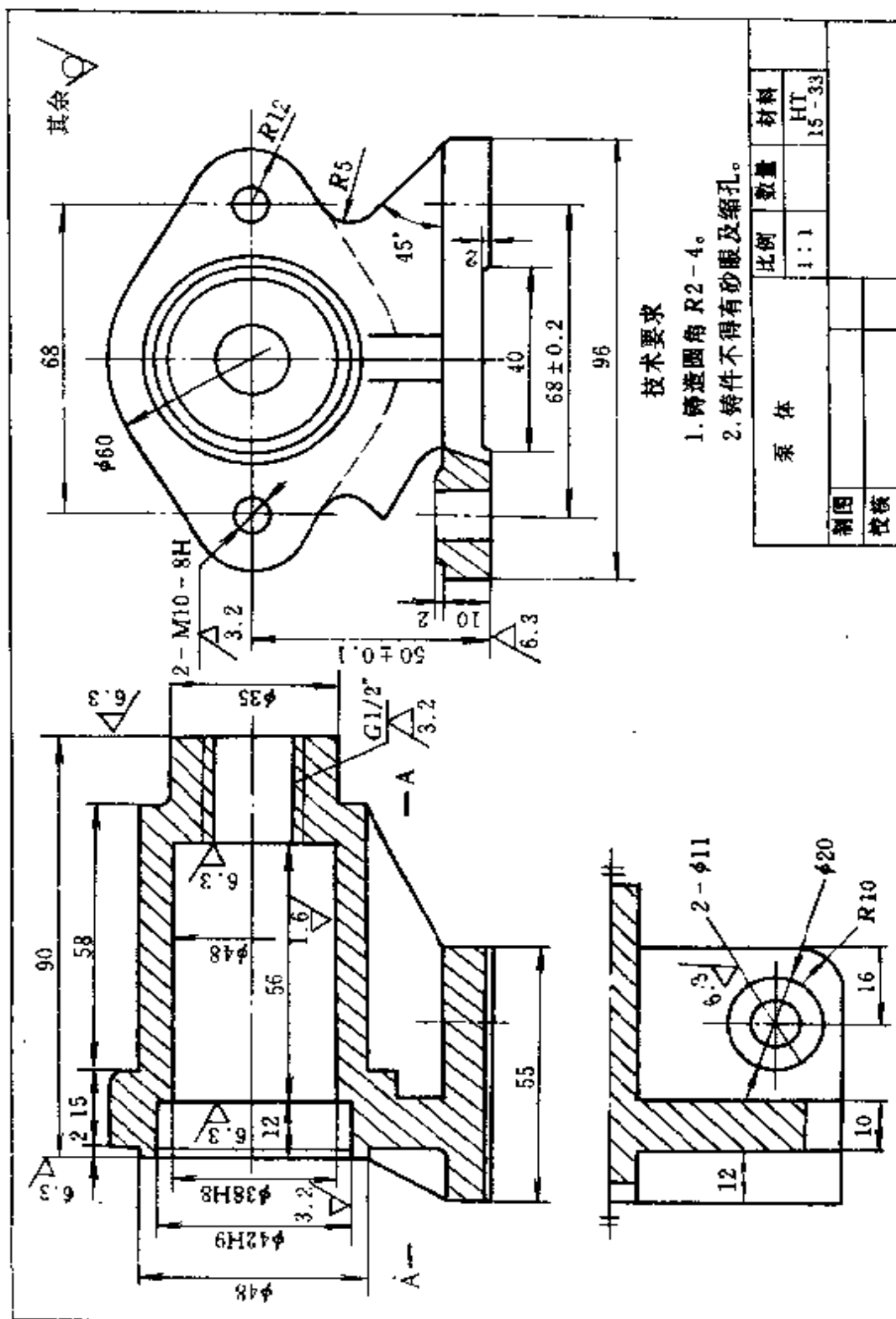


图 2-1 泵体零件图

系。根据图形配置关系可知,图2-1是由全剖视的主视图、全剖视简化法的俯视图以及局部剖的左视图组成。

(3) 分析投影 根据投影关系,用形体分析法想象零件形状。看图的顺序,一般是先整体,后细节;先主要部分,后次要部分;先易后难。

用形体分析法把图2-1中的三个视图联系起来,可以看出泵体形状分圆筒、底板、肋板和连接法兰四部分。然后对照图形分析每一部分的结构特点及其相对位置。从全剖视的主视图可以看到泵体主要部分——泵腔的结构特点及各组成部分的相对位置;从 A-A 剖视图可以看肋板的结构及其安装孔的位置;从左视图看到连接法兰的形状及两个供连接用的螺孔。

通过上述分析,可以想象出泵体的完整形状如图2-2所示。

看图时,有时需要查阅有关技术资料,如部件装配图和说明书等。

(4) 分析尺寸和技术要求 零件图上有很多的尺寸,但按尺寸的作用可分为定形尺寸、定位尺寸和总体尺寸,因此,在分析图中尺寸时,应把各类尺寸分别出来。



图 2-2 泵体

定形尺寸是确定零件某部位形状大小的尺寸,如图2-2中, $\phi 35$ 、 $\phi 48$ 为泵体圆筒两端的外径, $\phi 60$ 为联接法兰孔的外径, $\phi 20$ 为底板孔的外径等。

定位尺寸是确定零件中各部位相对位置的尺寸,如图2-2中尺寸68以确定联接法兰螺栓孔的位置等。

总体尺寸是确定部件总高、总长、总宽的尺寸,多用于装配图中。

看尺寸的方法是先找出长、宽、高三个方面的尺寸基准, 然后从主要结构部分开始, 逐一进行分析, 找出主要尺寸, 从图2-2中可见, 长度方面的尺寸基准是泵体左端面; 宽度方向的尺寸基准是泵体的前后对称面; 高度方向的尺寸基准是泵体的底面。

有公差配合要求的尺寸在看尺寸时也要注意。

技术要求是看图的重要内容之一, 零件图上的技术要求一般包括表面粗糙度、尺寸公差、热处理要求等。下面主要介绍表面粗糙度和公差配合的有关知识。

① 表面粗糙度 零件不管以哪种方法加工, 其表面不会是绝对光滑的, 若放在放大镜下观察, 就可以看到表面高低不平(有峰有谷)的情况。因此, 零件表面的光滑程度用粗糙度来表示。

表面粗糙度是检验零件表面质量的重要技术指标之一, 它对零件的耐磨性、配合性质和使用寿命等都有很大的影响。所以, 零件图中必须标注零件各表面粗糙度的要求。

零件表面粗糙度常用粗糙度符号和表面粗糙度高度参数 R_a 表示。 R_a 为轮廓偏距绝对值的算术平均值, 是评定零件表面质量的主要参数。

表面粗糙度符号与表面粗糙度高度参数的标注分别见表2-1和表2-2。

表 2-1 表面粗糙度符号

符号	意 义
	基本符号, 单独使用无意义
	基本符号上加一短横, 表示表面粗糙度是用去除材料的方法获得, 如用车、铣、刨、磨、抛光、腐蚀等加工方法
	基本符号上加一小圆表示表面粗糙度用不去除材料的方法获得。如铸、锻、冷扎、热扎等, 或是用于保持原供应状态的表面

表 2-2 表面粗糙度高度参数标准

代号	意 义	说 明
$\sqrt{3.2}$	用任何方法获得的表面, R_a 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$	轮廓偏距绝对值的算术平均值 R_a 在代号中只用数值表示
$\sqrt[3]{3.2}$	用去除材料方法获得的表面, R_a 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$	
$\sqrt[3]{3.2}$	用不去除材料方法获得的表面, R_a 的最大允许值为 $3.2\mu\text{m}$	

例如图2-1中底板圆孔螺纹粗糙度为 $\sqrt[3]{3.2}$, 联接法兰螺纹粗糙度为 $\sqrt[3]{3.2}$, 零件圆筒两端面粗糙度为 $\sqrt[3]{3.2}$ 等。粗糙度符号的尖端要指在加工零件的表面上, 对零件中使用最多的粗糙度, 可统一注在图样的右上角, 并加“其余”二字, 如图2-1所示的“其余 $\sqrt[3]{3.2}$ ”。

② 公差配合知识简介

a. 公差 在加工零件时, 不管采用哪种加工方法, 都不可能把零件的尺寸制造得与实际要求尺寸那样吻合, 为了保证加工零件的制造方便与使用, 允许零件在加工时其尺寸与实际尺寸有一个很小的变动范围, 其变动量称为尺寸公差。表示方法是在基本尺寸+尺寸允许变动范围。例如, 某零件圆柱尺寸为 $\phi 25^{+0.015}_{-0.05}$, $\phi 25$ 为基本尺寸, 尺寸允许变动范围为 $0.015 - (-0.05) = 0.065$ 即尺寸公差为 0.065 ; 上偏差为 0.015 , 下偏差为 -0.05 , 最大极限尺寸为 $\phi 25.015$, 最小极限尺寸为 $\phi 24.95$ 。

同一个基本尺寸, 其公差值可以不同。公差越小, 尺寸精度越高; 公差越大, 尺寸精度越低, 加工越容易。为满足不同机器设备的精度要求, 国际中规定了20个公差等级, 称为标准公差, 用阿拉伯数字表示, 数字越大, 精度等级越低。

b. 配合 基本尺寸相同的两个零件装配在一起称为配合。

最常见的是孔与轴的配合。根据孔、轴配合的松紧程度,可以把配合分为间隙配合——孔的直径大于轴的直径;过盈配合——孔的直径小于轴的直径;过渡配合——孔的直径大于或小于轴的直径。

依照基准件的不同,配合有两种制度。如果在同一精度和基本尺寸下,保持孔的极限尺寸不变,通过改变轴直径的上、下偏差来得到各种不同性质的配合,称为基孔制,其代号为H;如果在同一精度和基本尺寸下,保持轴的极限尺寸不变,通过改变孔的直径上、下偏差来得到各种不同性质的配合,称为基轴制,以代号h表示。

在装配图上,孔与轴的配合性质,以基本尺寸后加上配合代号来表示。例如,某孔与轴的配合为 $\phi 45 \frac{H8}{h7}$,其中 $\phi 45$ 为基本尺寸,H为基孔制代号,孔的公差精度为8级,分母h为基轴制代号,数字7表示公差精度为7级。公差的具体数值可从有关手册中查得。

二、读化工设备图

1. 化工设备及常用零部件简介

(1) 化工设备简介 化工生产所需的设备虽多,但典型设备有容器、塔器、换热器和反应器等。

容器主要用来贮存物料的,常见的形状有立式或卧式的圆柱形与球形等。

塔器主要用于吸收、精馏等化工单元操作。常见的形状是立式多段圆柱体,塔高与塔径之比相差较大。

换热器主要用于进行两种不同温度物料(液体或气体)的换热,使其达到加热、冷凝或冷却的目的。常见的有列管式换热器等。

反应器是用来使物料在其中进行化学反应或使物料进行搅拌等单元操作的设备,这类设备通常带有搅拌装置。

(2) 化工设备结构的基本特点 化工设备的结构、形状、大小虽各有不同,但从典型设备的分析中,可归纳为以下特点:

① 立体结构和零部件的形状,多为圆柱、圆锥、圆球等回转体;

② 薄壁结构较多,设备总体尺寸与壳体壁厚或某些细部结构尺寸相比,往往相差很大;

③ 壳体在不同的轴向位置和同向方位上开孔和接管较多;

④ 广泛采用标准化、通用化的零部件和焊接结构;

⑤ 为适应化工生产的耐化学腐蚀、耐高温、高压等条件,设备往往采用特殊材料制做。

(3) 化工设备中常用的标准零部件 化工设备中的通用零部件有容器上筒体、封头、手孔、管法兰、支座、液面计等。这些零部件基本已标准化了,标准中分别规定了在各种条件下(温度、压力)的结构形状和各部分的尺寸,应用时可查标准。部分零部件有关内容介绍如下:

① 筒体 筒体是设备的主体部分,以圆柱形筒体应用最广。圆柱形筒体一般由钢板卷制而成,其尺寸有直径、高(长)和壁厚三项,其中公称直径相当于筒内直径,若采用无缝钢管作筒体时,容器的公称直径相当于钢管外径。

② 法兰 法兰是联接在筒体、封头或管子一端的一个圆盘。盘上均布若干个螺栓孔,两节筒体(或管子)或筒体与封头通过一对法兰用螺栓联接在一起,这种联接方法叫做法兰联接。

化工设备用的标准法兰有:用于管道联接的管法兰和用于筒体联接的压力容器法兰。它们的主要参数是公称直径(D_n)和公称压力(P_n)。管法兰的公称直径通常与所连管子的外径一致,

压力容器法兰的公称直径与所连接的筒体或封头相一致。

③ 人孔与手孔 为了便于检修或清洗设备内部,在设备上开设一个孔,称为人孔或手孔。人、手孔的基本结构相同,通常是在所开设的孔上,焊上一个带有法兰的短筒节,再盖上有把手的孔盖。

2. 化工设备图的表达方法

(1) 化工设备图的基本内容 一张化工设备图应包括如下基本内容。

① 绘有表达该设备的结构形状和零部件之间的装配联接关系的一组图形;

② 标有表达设备的总体大小、规格、装配和安装时必要尺寸;

③ 设备上所有管口均用字母编号,并列出“管口表”,以说明各管口的尺寸、连接尺寸标准、用途等;

④ 列出设备的主要工艺特性的“技术特性表”。用文字说明设备在制做、安装等方面的技术要求;

⑤ 零部件的编号、明细表和标题栏。

(2) 视图的表达方法 化工设备在结构和性能方面具有它本身的特点,因此,在表达方法上与机械制图有所不同。例如,化工设备多用钢板卷制焊接而成,一般说体积较大,需用缩小比例来绘制图样;面壁厚用编小的比例,难以在图纸上画出,故采用夸大画法;局部细节难以看清,而采用局部放大的画法;设备中的重复件、标准件,如螺钉、螺母、液位计、手孔等,多采用示意图形或符号来表示;管束等重复件,只画一根,其余用细实线或点划线来表示,而不全部画出;设备上各方位的接管口,凡不能在主视图上表示出来的,需设想旋转一个角度,使之画在主视图上,而其真实方位则画在俯视图或左视图中等。如果掌握了这些

特点,阅读化工设备图时就能一步步地看懂。

3. 看化工设备图的方法和步骤

看化工设备图的目的与看零件图的目的—样,都是为了解设备的结构、工作原理、材料及技术要求等,从而达到指导安装、操作和维护化工设备的目的。看化工设备图,首先是阅读标题栏,然后分析视图、分析尺寸及技术要求,其方法与步骤和阅读零件图—样。

三、化工工艺图

化工工艺图包括工艺流程图、设备布置图和管路布置图。这些图是化工工艺安装和指导生产的主要技术资料。

1. 工艺流程图

工艺流程图分为工艺方案流程图和带控制点工艺流程图。前者简单,后者详尽。

(1) 工艺方案流程图 工艺方案流程图又称流程示意图或流程简图。它是用图表和表格相结合的形式,按工艺流程顺序,示意性地表达一个工厂、车间或某个工段的生产过程,定性地描述物料运行程序的图样。

工艺方案流程图,如图2-3所示,一般画法步骤如下:

① 用细实线画出厂房的地平线;

② 根据流程,从左至右用细实线按设备大致的高低位置和近似的外形尺寸,画出设备的大致轮廓,并依次编号。各设备间应留有一定距离,以便布置流程线;

③ 按实际管道的大致高低位置,用粗实线画出主要物料的流程线;用中实线画出其它介质流程线(如水、蒸汽等),均画上流向箭头,并在流程线的起始与终了处用文字注明物料名称。对于主要物料还应注明物料的来源去向;

④ 两流程线在图上相交(实际不相交)时,相交处应将其中

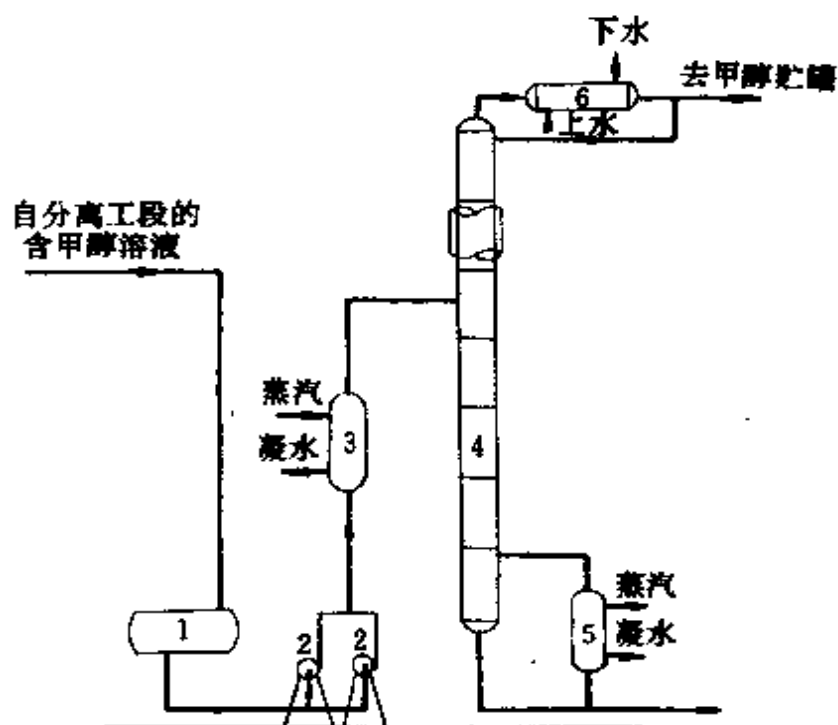


图 2-3 甲醇回收方案流程图

1—原料贮槽; 2—进料泵; 3—预热器;

4—脱甲醇塔; 5—再沸器; 6—冷凝器

一线断开画出;

⑤ 在图的下方列出各设备的编号与名称。

(2) 工艺施工流程图 工艺施工流程图又称工艺安装流程图或称带控制点工艺流程图, 它是在工艺方案流程图的基础上, 画出全部生产设备简图和全部管线(包括辅助管线), 并在适应位置配出管件、阀门、自控仪表等件的符号, 是一种内容详尽的工艺流程图。

工艺施工流程图的画法步骤, 如图2-4所示。

① 选画幅定比例。由于图样采用展开形式, 图形多是长方形, 因而图幅常采用一号或二号图幅面加长的规格。图中的设备图形及其高低位置, 可大致按1:100或1:50的比例, 在图上注明

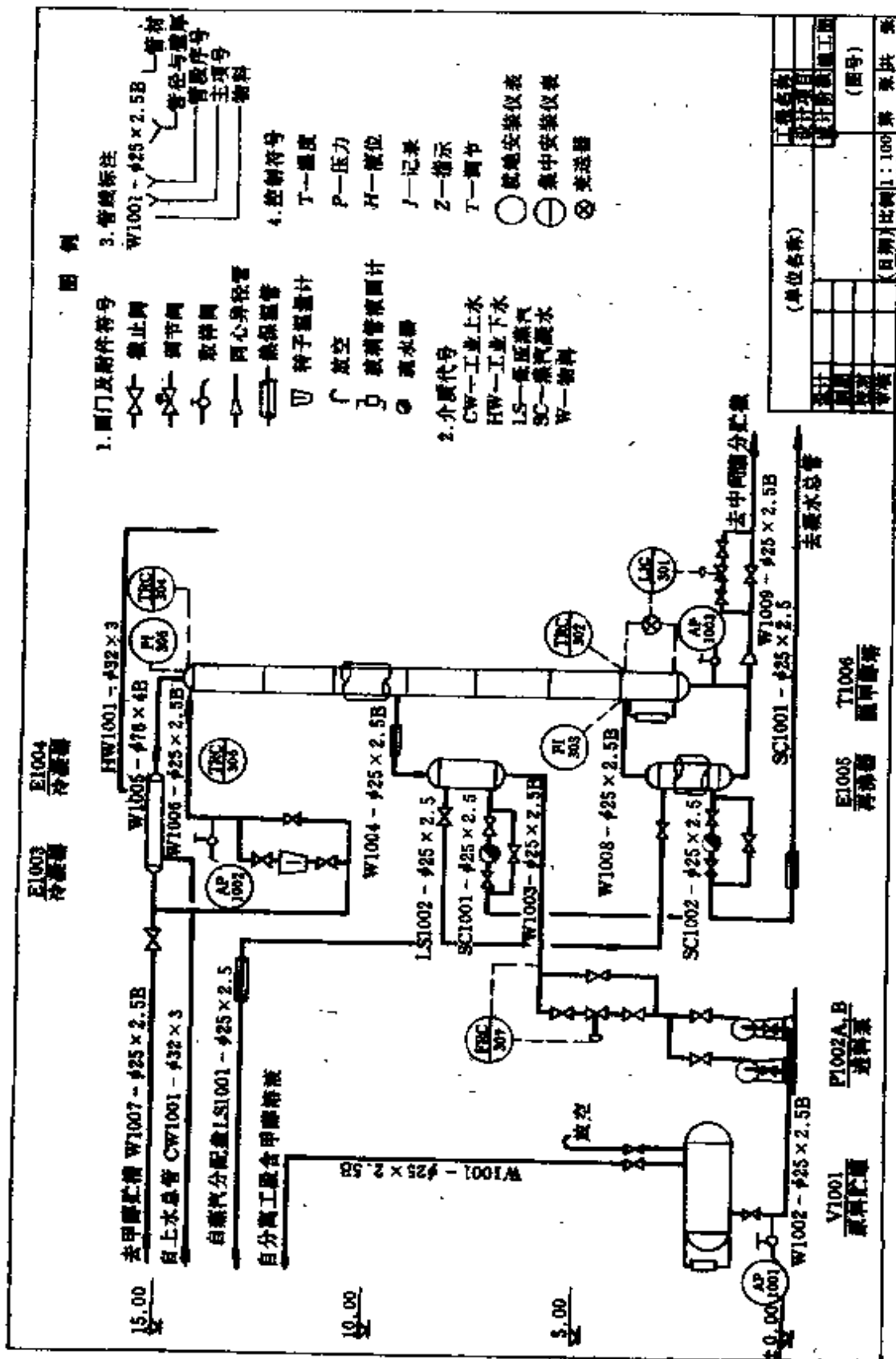


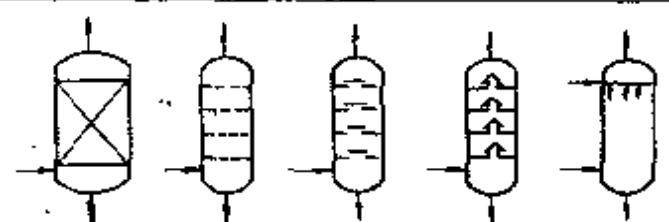

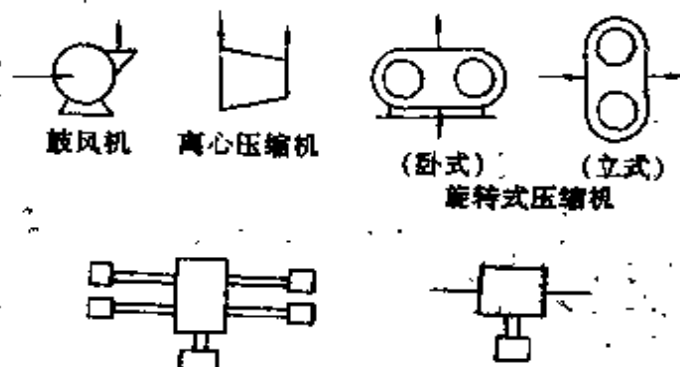
图 2-4 甲醇回收工艺施工(带控点工艺)流程图

比例:











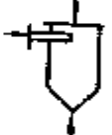
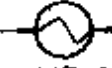

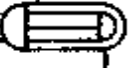
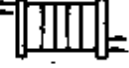
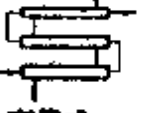

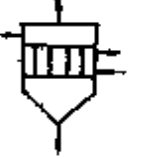



② 用细实线画出厂房地平线;

③ 用细实线根据流程由左向右依次画出设备的简略外形和内部特征(如塔的填充物和塔板,容器的搅拌器等),设备管口不予画出。对于过大、过小的设备可适当缩小、放大,如表2-3所示。各设备间应留有一定距离,以便布置管道流程线;

表 2-3 工艺流程图的设备代号与图例

设备名称	代号	图 例
塔	T	 <p>填料塔 筛板塔 浮阀塔 泡罩塔 喷洒塔</p>
泵	P	 <p>离心泵 旋转泵 水环真空泵 柱塞泵 喷射泵</p> <p>齿轮泵</p>
压缩机 鼓风机	C	 <p>鼓风机 离心压缩机 (卧式) 旋转式压缩机 (立式) 旋转式压缩机</p> <p>四级往复式压缩机 单级往复式压缩机</p>

续表

设备名称	代号	图 例
反应器	R	 固定床反应器  管式反应器  聚合釜
容器 (槽、罐) 分离器	V	 卧式槽  立式槽   浮顶罐  湿式气柜  球罐  除沫分离器  旋风分离器
换热器 蒸发器	E	 列管式  套管式  浮头式   冷却器  喷淋式  蒸发器  板框压滤机  回转过滤器  离心机

④ 标注设备位号和名称, 一般写在相应设备的图形下方或上方, 其位置横向排成一行。对于同一位号的相同设备, 用英文大写字母 A、B、C……尾号表示。设备分类代号, 如塔用 T 表示; 容器用 V 表示; 泵用 P 表示; 换热器用 E 表示等。主项代号采用两位数字, 由工艺总负责人给定。设备顺序号用两位数 01、02、03 等表示。设备位号的组成如图 2-5;

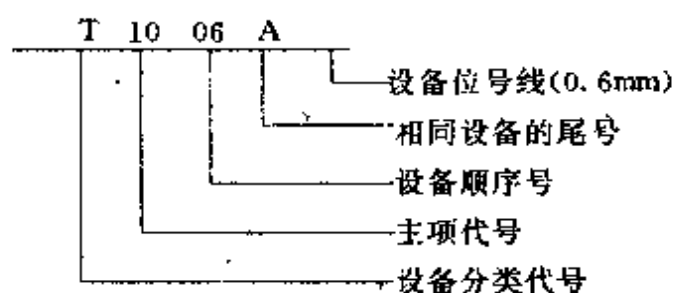


图 2-5 设备位号的组成

⑤ 用粗实线画主要物料流程线; 用中实线画辅助物料流程线; 管线的高低位置应近似反映管线的实际安装位置; 图中两线相交 (实际不相交) 时, 相交处应有一线断开画出。常见管线的画法如图 2-6 所示。在流程线的适当位置画出流向箭头;

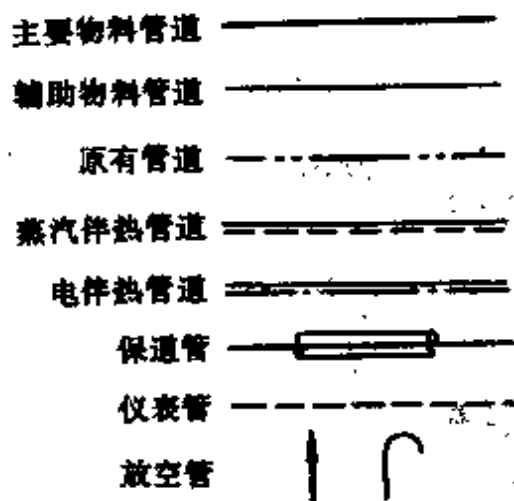


图 2-6 常见管线画法

⑥ 标注管道号、管径和管道等级三部分。前两部分为一组, 其间用短线隔开, 一般均标在管道上方。管道的标注方法如图 2-7;

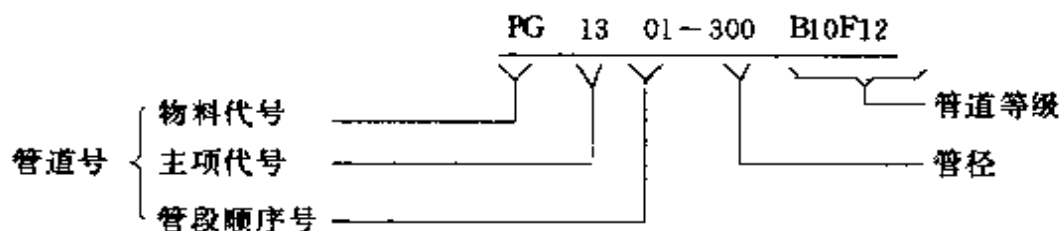


图 2-7 管道标注法

物料代号, 见表2-4所示; 主项代号, 与设备位号规定相同; 管段顺序号, 按生产流向依次编号, 用两位数字01、02、03等表示; 管径, 一律标公称直径, 公制管按外径×壁厚标注; 管道等级一般可以不标, 但对高温、高压、易燃易爆的管线一定要标注;

表 2-4 化工工艺图上的物料代号(摘自 CD41A2—81)

物料代号	物料名称	物料代号	物料名称	物料代号	物料名称
A	空气	BR	盐水	DR	排液、排水
AM	氨	CS	化学污水	DW	饮用水
BD	排污	CW	循环冷却水上水	F	火炬排放气
BF	锅炉给水	DM	脱盐水	FG	燃料气
F \bar{O}	燃料油	L \bar{O}	润滑油	PL	工艺液体
E s	熔盐	LS	低压蒸汽	PW	工艺水
G \bar{O}	填料油	MS	中压蒸汽	R	冷冻剂
H	氢	NG	天然气	R \bar{O}	原料油
HM	载热体	N	氮	S \bar{C}	蒸汽冷凝水
HS	高压蒸汽	O	氧	SW	软水
HW	循环冷却水回水	PA	工艺空气	TS	伴热蒸汽
IA	仪表空气	PG	工艺气体	VE	真空排放气
				VT	放空气

⑦ 在流程线上画出管件、阀门和仪表控制点等符号与代号; 流程线的起始和终止处应注明物料的来向与去向, 如图2-4中粗实线, 画出来自分离工段去1001贮槽的物料流程线(管线), 管线上装有阀门, 流程线上标有 W1001- $\phi 25 \times 2.5$ B;

⑧ 标出工艺流程图中仪表的符号。仪表符号包括图形符号和字母代号, 这两部分合起来, 表达仪表所处理被测变量的功能, 或表示仪表的名称; 字母代号和数字编号组合起来组成仪表位号。图形符号见表2-5, 字母代号见表2-6;

表 2-5 仪表安装位置的图形符号






内 容	图形符号	内 容	图形符号
就地安装仪表		集中仪表盘后安装仪表	
集中仪表盘面安装仪表			
就地仪表盘面安装仪表		就地仪表盘后安装仪表	

表 2-6 字母代号

字母	第一位字母		后继字母
	被测变量或初始变量	修饰词	功 能
A	分析		报警
B	喷嘴火焰		控制(调节)
C	导电率		
D	密度和相对密度	差	
E	电压(电动势)		检测元件
F	流量	比(分数)	
G	长度(尺寸)		玻璃
H	手动		
I	电流		指示
J	功率	扫描	
K	时间或时间程序		自动-手动操作器
L	物位		指示灯
M	水份或湿度		
N	供选用		供选用
O	供选用		节流孔
P	压力或真空		试验点(接头)
Q	数量或件数	积分、累计	积分、累计
R	放射性		记录或打印

续表

字母	第一位字母		后继字母
	被测变量或初始变量	修饰词	功能
S	速度或频率	安全	开关, 联锁
T	温度		传送
U	多变量		多功能
V	粘度		阀、挡板、百叶窗
W	重量或力		套管
X	未分类		未分类
Y	供选用		继电器或计算器
Z	位置		驱动, 执行或未分类的终端执行机构

如 $\frac{TRC}{131}$, 从图形符号表示为集中仪表盘安装的仪表, 字母代号 T 表示被测变量(温度), RC 表示功能代号(记录、调节)。数字编号 131 中的前一位数字“1”表示工段号, 后两位数字“31”表示回路序号。又如 $\frac{AP}{1301}$, 字母代号 AP 为取样点, 取样点编号 1301 中, 13 为主项编号, 01 为取样点序号;

⑨ 编制图例, 填写标题栏。

工艺施工流程图中所用管件和阀门的常用画法、参量代号、功能代号及仪表控制点的符号, 均有国标规定。但每张图中所用的符号和代号, 必须在图幅内显著位置编列图例, 说明符号和代号含义, 以便读图时对照。

在读工艺施工流程图时, 首先了解标题栏和图例说明, 从中掌握所读图样的名称、各种图形符号、代号的意義及管路标注等; 然后在掌握设备的名称和代号、数量的基础上, 了解主要物料流程线, 按箭头方向逐一找其所通过的设备、控制点和经每台设备后的生成物和最后物料的排放处; 最后了解其他流程线, 如蒸汽线、冷凝水线及上、下水管线等。

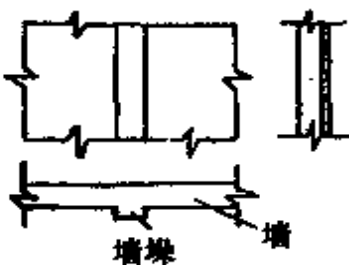
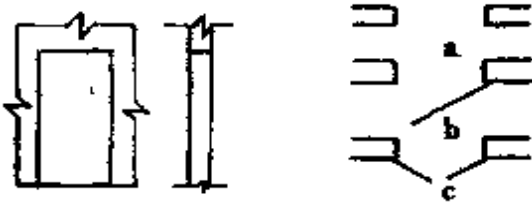
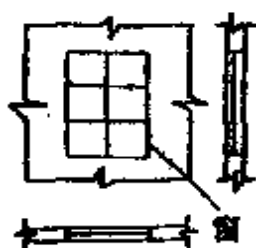
2. 设备布置图

工艺施工流程图中所确定的设备、管路和控制点必须按工艺要求, 合理地进行布置和安装。用以表达一个车间或一个工段的设备, 在厂房内外布置安装情况的图样, 称为设备布置图。

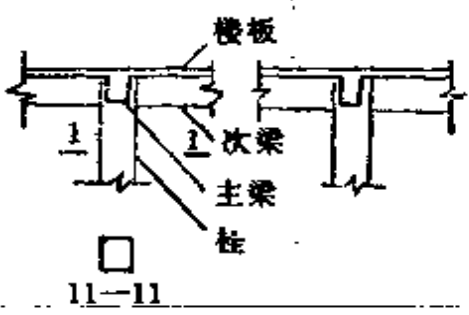

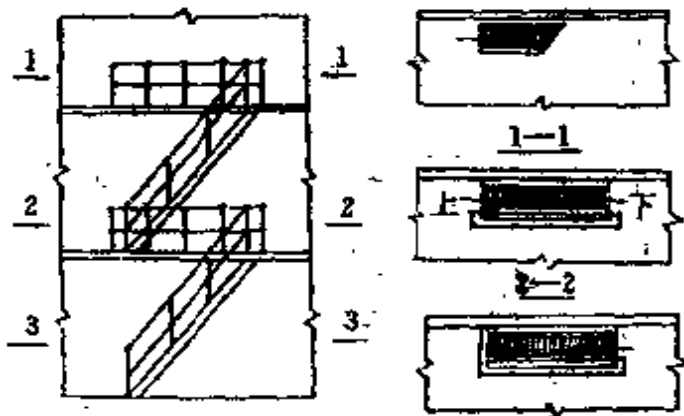
在设备布置图中, 要解决设备布置与厂房结构的关系问题, 必然遇到厂房建筑图的内容。

(1) 厂房建筑图的基本表达方法 建筑图也是按正投影原理绘制视图的, 它包括立面图、剖面图和平面图等, 常用的建筑图多为厂房的平面图和剖面图。厂房常见构件的规定画法见表 2-7。

表 2-7 厂房常见构件的规定画法

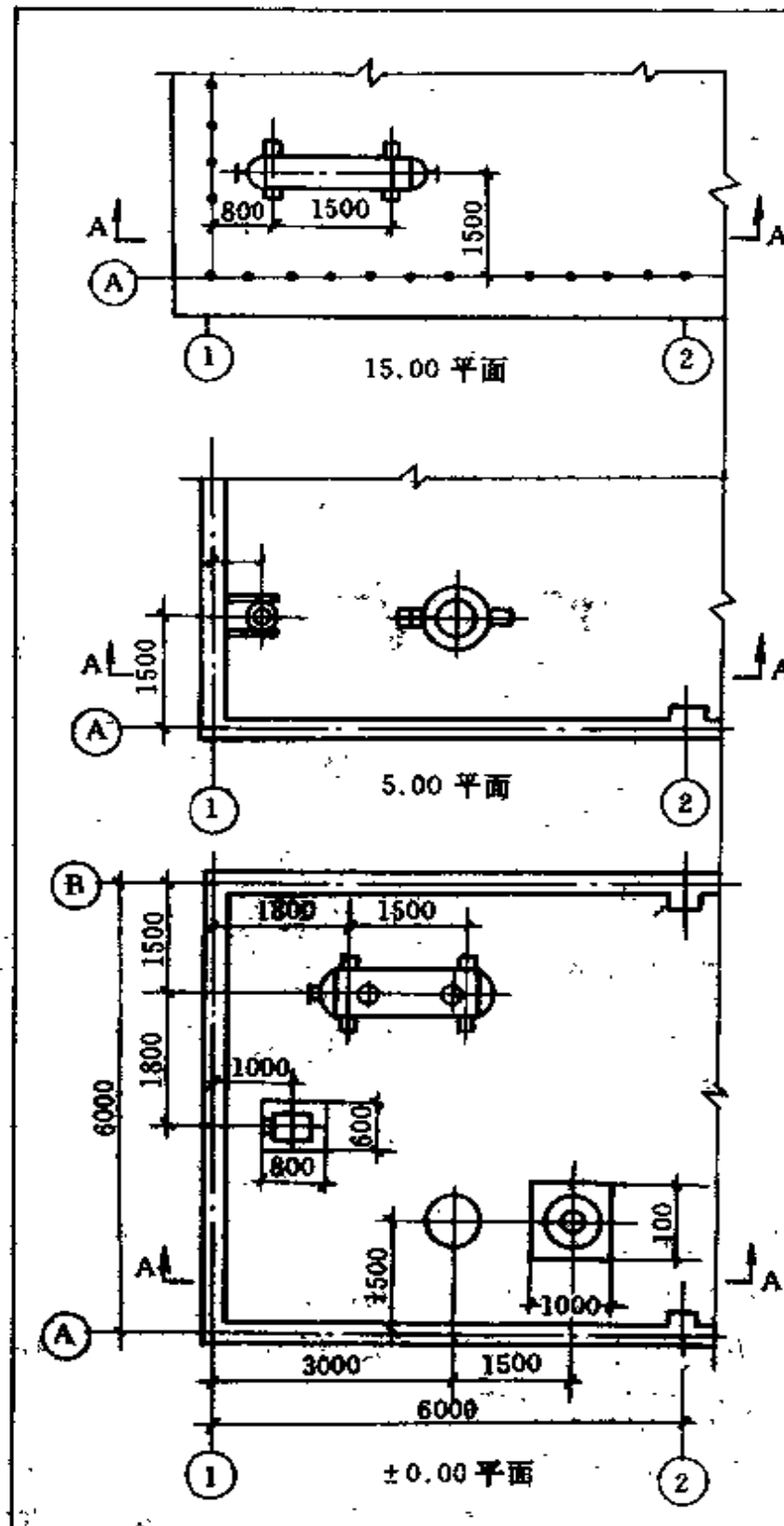
名称	图 例	说 明
墙		
门		a 图为门洞的平面图 b 图为单扇门的平面图 c 图为双扇门的平面图
窗		

续表

名称	图 例	说 明
柱梁 楼板		
孔洞		a 图为方孔 洞的平面图 b 图为圆孔 洞的平面图
楼梯		1-1为三层楼 梯平面图 2-2为二层楼 梯平面图 3-3为一层楼 梯平面图

建筑制图标准中规定: 厂房建筑图中的承重墙、柱、墙垛, 用点划线画出它们的定位轴线并编号。平面图上纵向定位轴线, 应按水平方向从左至右顺次用阿拉伯数字编号; 横向定位的轴线, 则按垂直方向由下而上顺次用大写拉丁字母编号。在立面图和剖面图上, 可只画出最外侧的墙或柱的定位轴线并编号。

厂房某一部分的相对高度尺寸, 称为“标高”。标高数值以米为单位, 一般注至小数点后第三位。标高一般以首层地面为零点



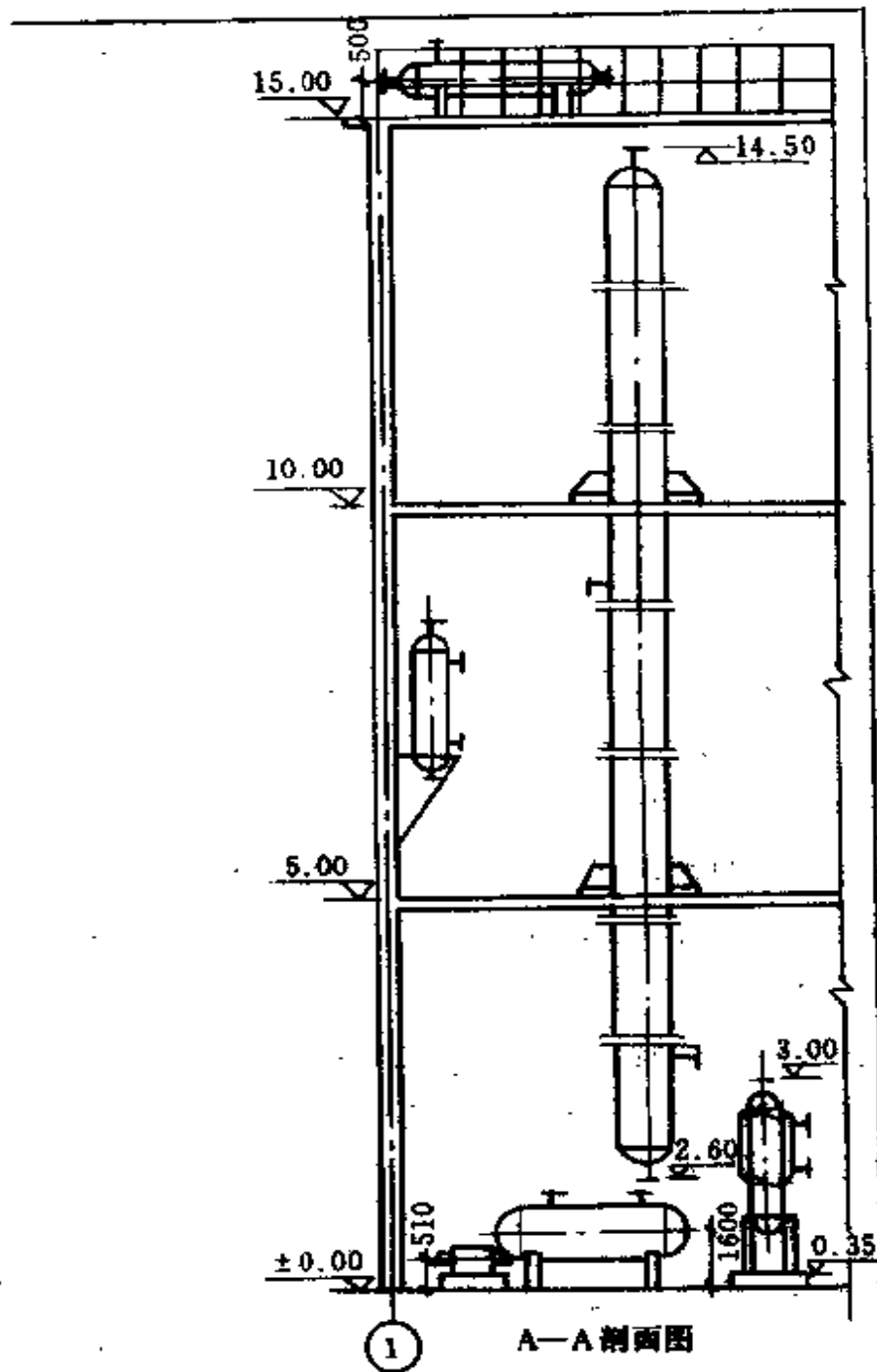


图 2-9 甲醇回收设备布置图

(单位名称)				工程名称	
设计 制图 校对 审核				设计项目	
				设计阶段 施工图	
甲醇回收 设备布置图				(图号)	
(日期)				比例	第 张 共 张

甲醇回收
设备布置图

标高,注成 ± 0.000 ;零点标高以上为正数标高,正数标高数值前不加正号,如5.400;零点标高以下为负数标高,负数标高值前加写负号,如 -0.045 。标高注法与符号见图2-8。

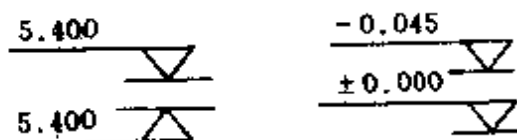


图 2-8 标高注法

(2) 设备布置图的内容及画法 设备布置图包括各层的设备布置平面图和设备布置剖面图。如图2-9所示的甲醇回收设备布置图。平面图表示各设备平面布置情况;剖面图表示室内设备在立面上的位置关系,其剖切位置可以从平面图上找到,现以图2-9为例,介绍设备布置图的内容与画法。

① 设备布置平面图的内容为:厂房平面图;设备的平面布置和位号、名称;厂房定位轴线尺寸;各设备的定位尺寸、设备基础的平面尺寸和定位尺寸等;

② 设备布置剖面图的内容为:厂房剖面图;设备的立面布置尺寸和位号、名称、设备基础的标高尺寸;厂房定位轴线尺寸和标高尺寸;

③ 设备布置图的画法:为了突出设备的图形,图中的厂房部分用细实线绘制,如图中的墙、安装孔及设备底座等与设备安装定位有关的结构。对于与设备安装关系不大的门、窗等,在剖面图中则可不画。

④ 设备布置图的画法:为了突出设备的图形,图中的厂房部分用细实线绘制,如图中的墙、安装孔及设备底座等与设备安装定位有关的结构。对于与设备安装关系不大的门、窗等,在剖面图中则可不画。

图中的设备,按各自外形轮廓用粗实线画出带管口方位的平面图和立面图。设备的位号、名称应与工艺流程图一致。

设备在平面图上的定位尺寸,一般以建筑定位轴线为基准,标出设备的中心距离,或用设备中心线为基准标注尺寸。设备的高度方向尺寸,一般以标注设备的基准面或设备中心线的标高来定。

3. 管道布置图

管道布置图又叫配管图或管路安装图。是用来表达厂房内外各种机器及设备间管路的空间走向和管件、控制点安装位置的图样。下面分别介绍管道布置图的画法、内容及识读。

(1) 管道及常用管道配件的画法 管道布置图是按正投影法绘制, 图中的管线多用粗实线的单线图表示, 对于公称直径 $\geq 250\text{mm}$ 的管道, 用中实线的双线图表示; 若只画一段管道, 应在管子中断画出管子折断符号($\int-\int$); 对于管道连接形式, 一般不表示, 如需表明, 则参照表2-8; 管子的向上或向下 90° 角和 45° 角的转折画法见图2-10; 当管子交叉而致投影重迭时, 可把下(后)

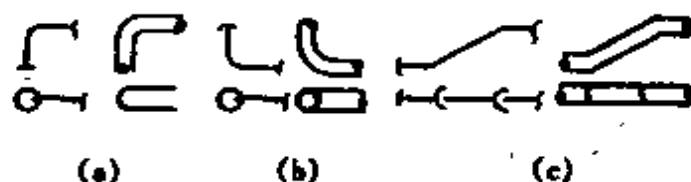


图 2-10 管子的转弯画法

而遮盖部分投影断开表示, 也可将上(前)而管子投影断开表示, 如图2-11所示; 当管道投影出现重迭时, 要假想断掉上

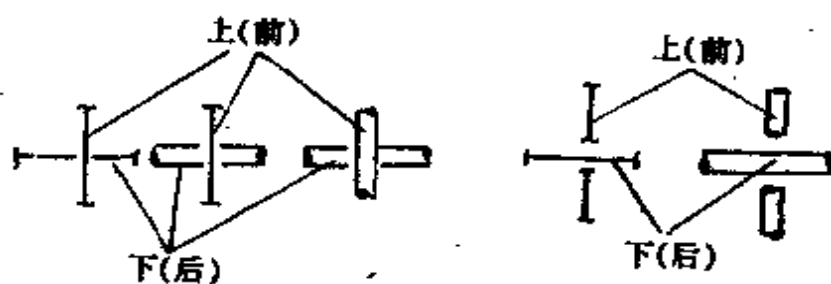
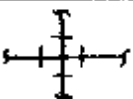
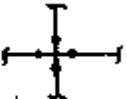

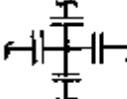



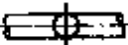


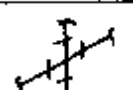
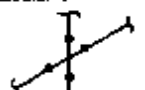


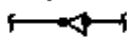
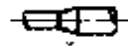

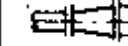


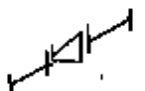
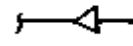

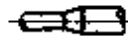
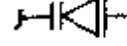
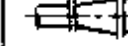
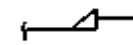


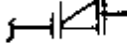



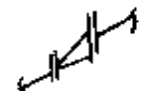
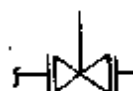
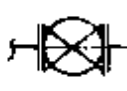


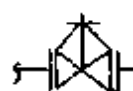
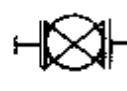


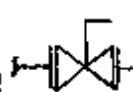
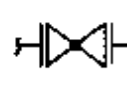

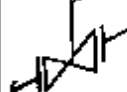




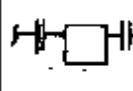
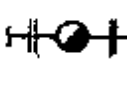




图 2-11 管子的交叉画法

表2-8 常用管件的画法

名 称		螺纹法兰	对焊法兰		平焊和承插焊法	
管 子	单 线					
	双 线					
	轴测图					
法 兰 盘	单 线					
	双 线					
连接形式		螺纹与承插焊	对 焊		法 兰	
名称			单 线	双 线	单 线	双 线
90° 弯 头	主 视					
	俯 视					
	轴测图					
45° 弯 头	主 视					
	俯 视					
	轴测图					
三 通	主 视					
	俯 视					
	轴测图					

续表

名称		连接形式 螺纹与承插焊	对 焊		法 兰	
			单 线	双 线	单 线	双 线
四通	主 视					
	俯 视					
	轴测图					
同心异径管	主俯视图					
	轴测图					
插心异径管	主 视					
	俯 视					
	轴测图					
名 称		主 视	俯 视	侧 视	轴测图	
截止阀						
闸 阀						
旋 塞						
止回阀						
疏水器						

(前)面一段管子,显露出下(后)面一根管子的折断显露方法表示。其画法是将上(前)面管子的投影用断裂表示,下(后)面管子的投影画至重影处稍留间隙断开表示。多根管投影重迭时,用双重断裂符号表示被断的每根管,或不用双重断裂符号,而分别注出管段号,以示辨认,如图2-12所示;对于管道转折处发生重迭时,可采用被遮盖部分断开画法,或用折断显露法表示,如图2-13所示。

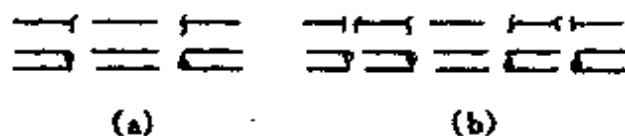


图 2-12 多根管投影重迭的画法

(a) 两根管重迭;(b) 多根管重迭

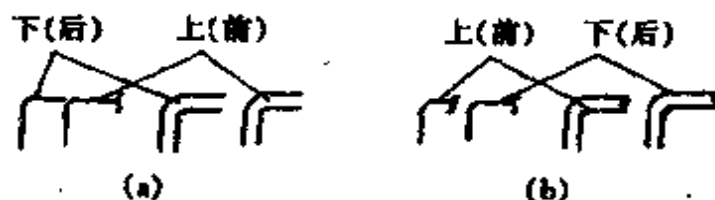


图 2-13 管道转折处重迭画法

(a) 遮盖断开画法;(b) 折断显露法

为了清楚地反映管线的真实形状,管道布置图中常采用剖面图的形式表示。剖面图的剖切位置可以在管线之间,也可以在管断面上,图2-14 (a) 为三路管线的平面图,其中1号管线的标高为2.8m,2号管的标高为2.6m,3号管标高为2.8m。可以想出,由于1号管与3号管的标高相同,它们的立面图必定很难辨认,如

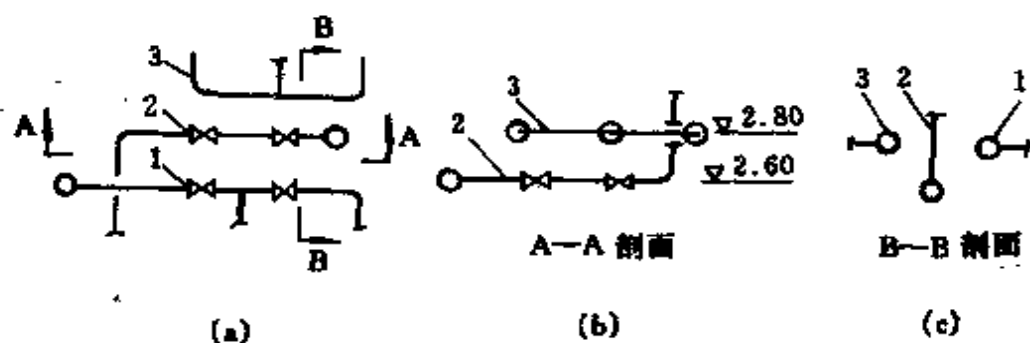


图 2-14 管道剖面图

(a) 平面图; (b) 剖面图; (c) 剖面图

果在1号管和2号管之间剖切作 A-A 剖面图或横向截断管线作 B-B 剖面图, 就可以清楚地反映出2、3号管或1、2号管以及1、2、3号管线高度方向的位置, 如图2-14中 (b)、(c) 所示。

在管道布置图中, 有关管子、管件的画法, 见表2-8。

(2) 管道布置图的内容 管道布置图包括平面图和剖面图, 如图2-15所示。

管道平面图是管道安装施工中应用最多, 最关键的一种图样, 其内容包括: 厂房平面图; 设备的平面布置、位号和名称; 管道的平面布置, 介质流向箭头和在管道上方标出的管道号和管径; 管件和阀件等平面布置情况; 厂房、设备定位轴线尺寸和管道定位的平面尺寸等。

管道布置在平面图上表达不清楚的部位, 可用剖面图来补充表示。从图2-15中 I-I、II-II 剖面图可以看出其内容应包括: 厂房剖面图; 设备的立面布置、位号和名称; 管道的立面布置、介质流向箭头和管道号、管径尺寸; 阀门的立面布置和标高尺寸等。

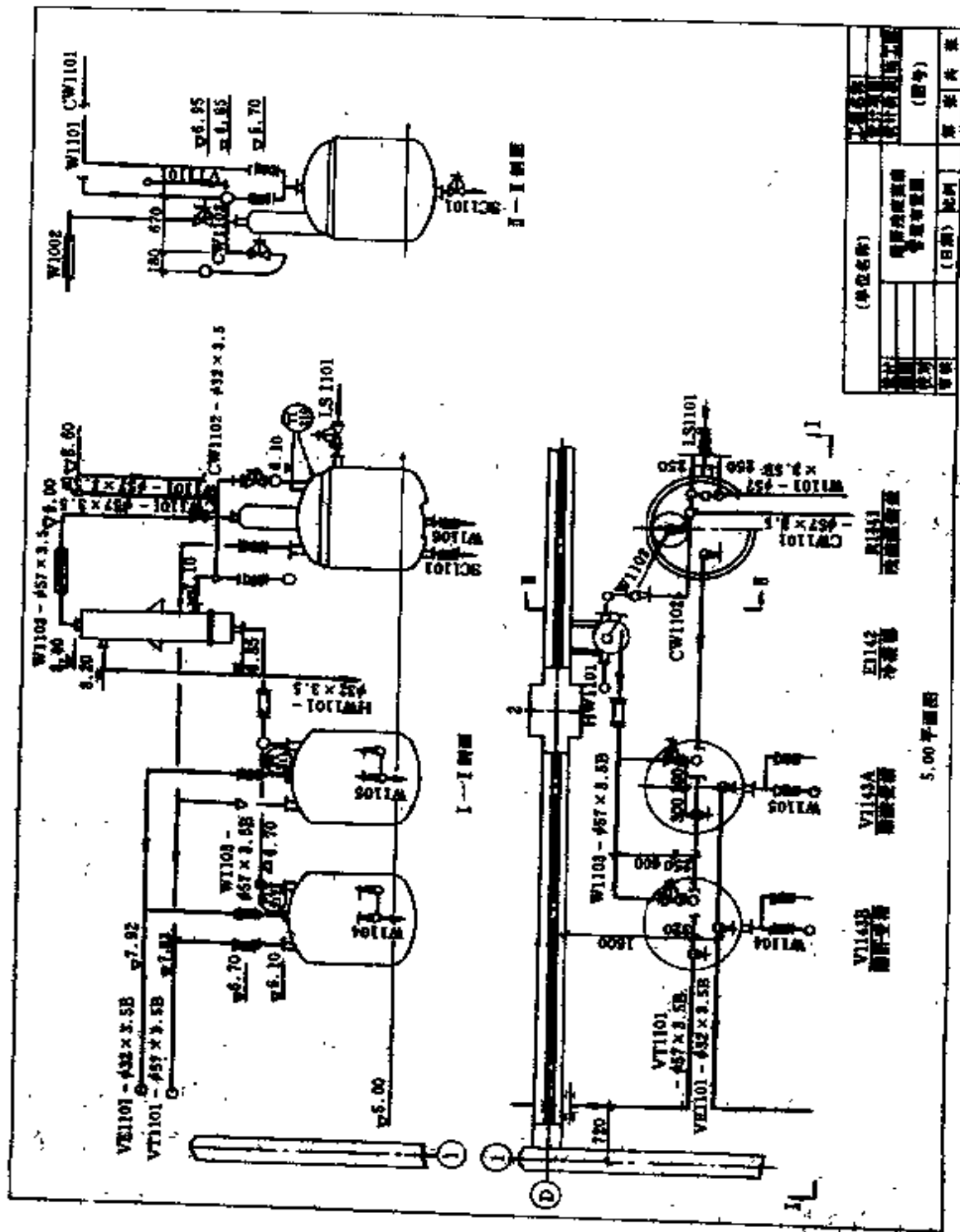


图 2-15 醋酐残液蒸馏管道布置图

为了突出管线,便于看图,图中的厂房和设备均用细实线绘制。

(3) 管道布置图的识读 阅读管道布置图时,一般以管道布置平面图为主,同时对照立面图。由于管道布置图是根据工艺施工流程图、设备布置图绘制的,因此,在读阅管道布置图之前,必须看懂这些图样。下面以识读图2-15醋酐残液蒸馏管道布置图来介绍识读管道布置图的方法和步骤。

① 醋酐残液蒸馏设备布置图(见图2-16)和识读醋酐残液蒸馏工艺施工流程图(见图2-17);

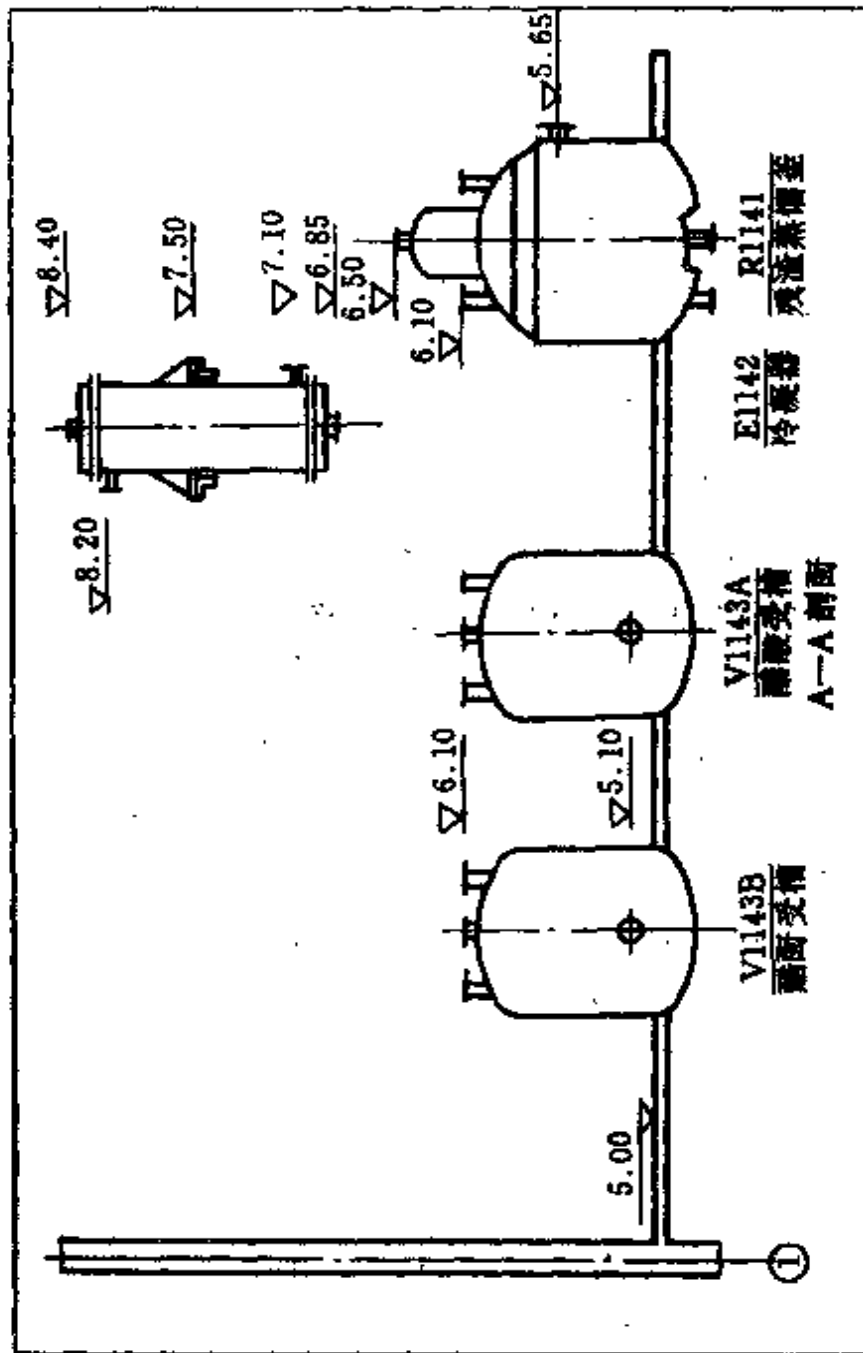
② 概括了解图示内容。从图2-15可知,该图有一个平面图和两个剖面图。在平面图和Ⅰ-Ⅰ剖面图上,画出了厂房、设备和管路的平、立面布置情况;从平面图中Ⅰ-Ⅰ的剖切位置看出,Ⅰ-Ⅰ是表示蒸馏釜上以及蒸馏釜与冷凝器之间的管道走向;

③ 了解厂房及设备布置情况;

④ 按照流程顺序、管段号,对照管道布置平、立面图的投影关系,并进行分析,搞清图中各路管线规格、走向及管件、阀件等。

设备上的其它管线情况,也可按上述方法进行分析,直至全部识读清楚。

通过对图2-15管路布置图的识读,使我们初步建立起一个完整、正确的空间概念。由于初学管路布置图,这里给出它的轴测图(图2-18)供学习参考。



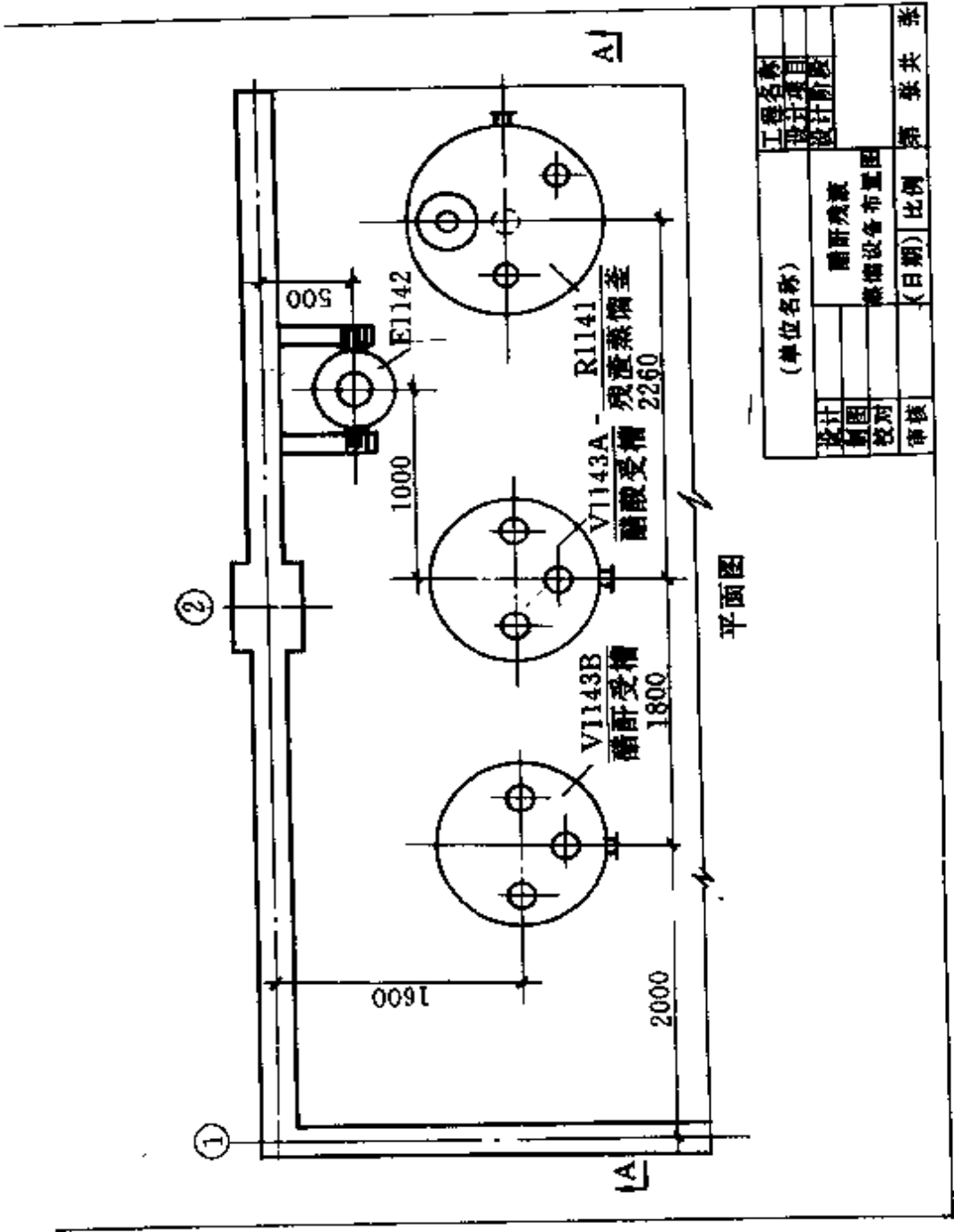


图 2-16 酞酐残渣蒸馏设备布置图

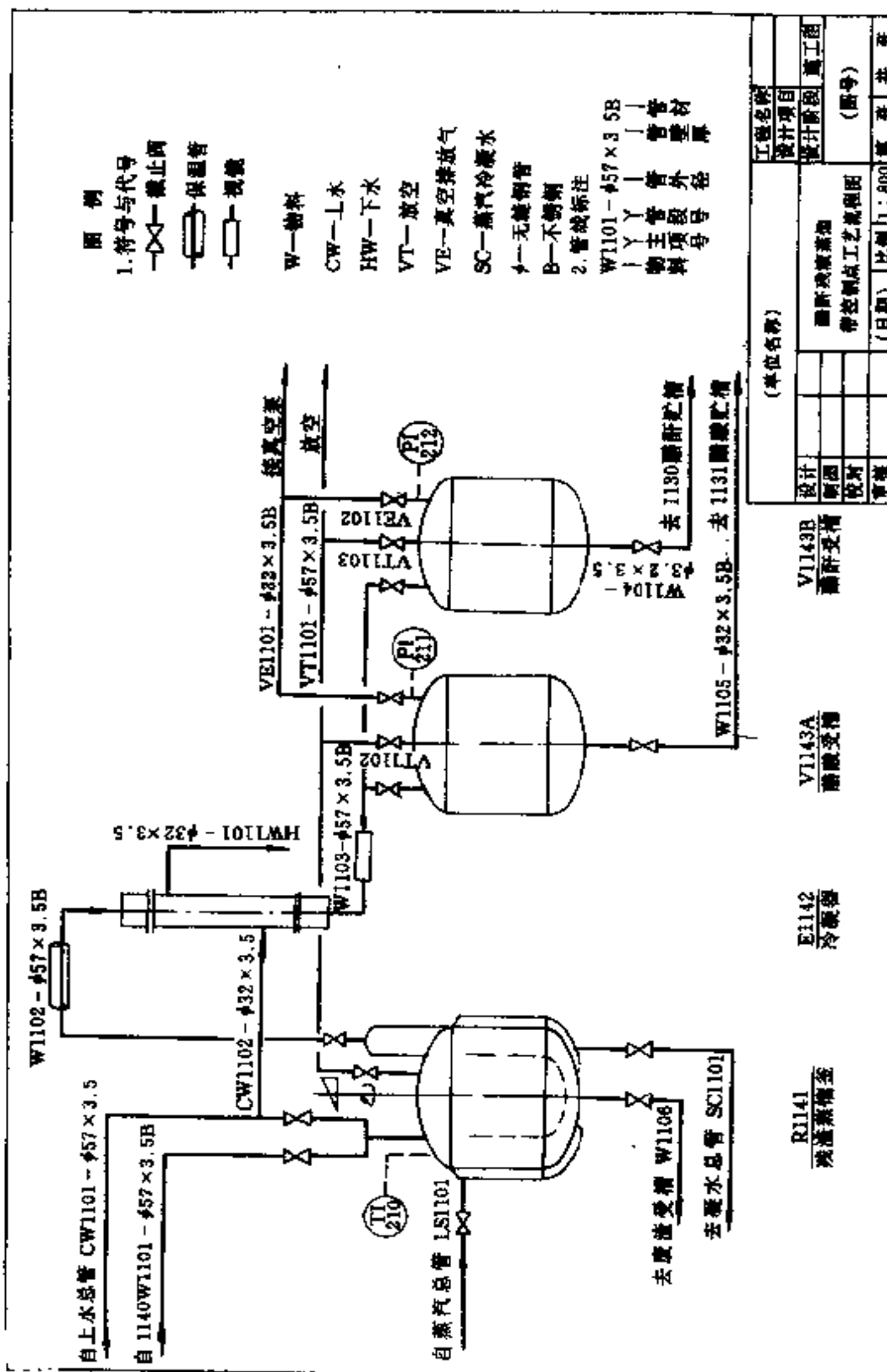


图 2-17 醋酸残液蒸馏带控制点工艺流程图

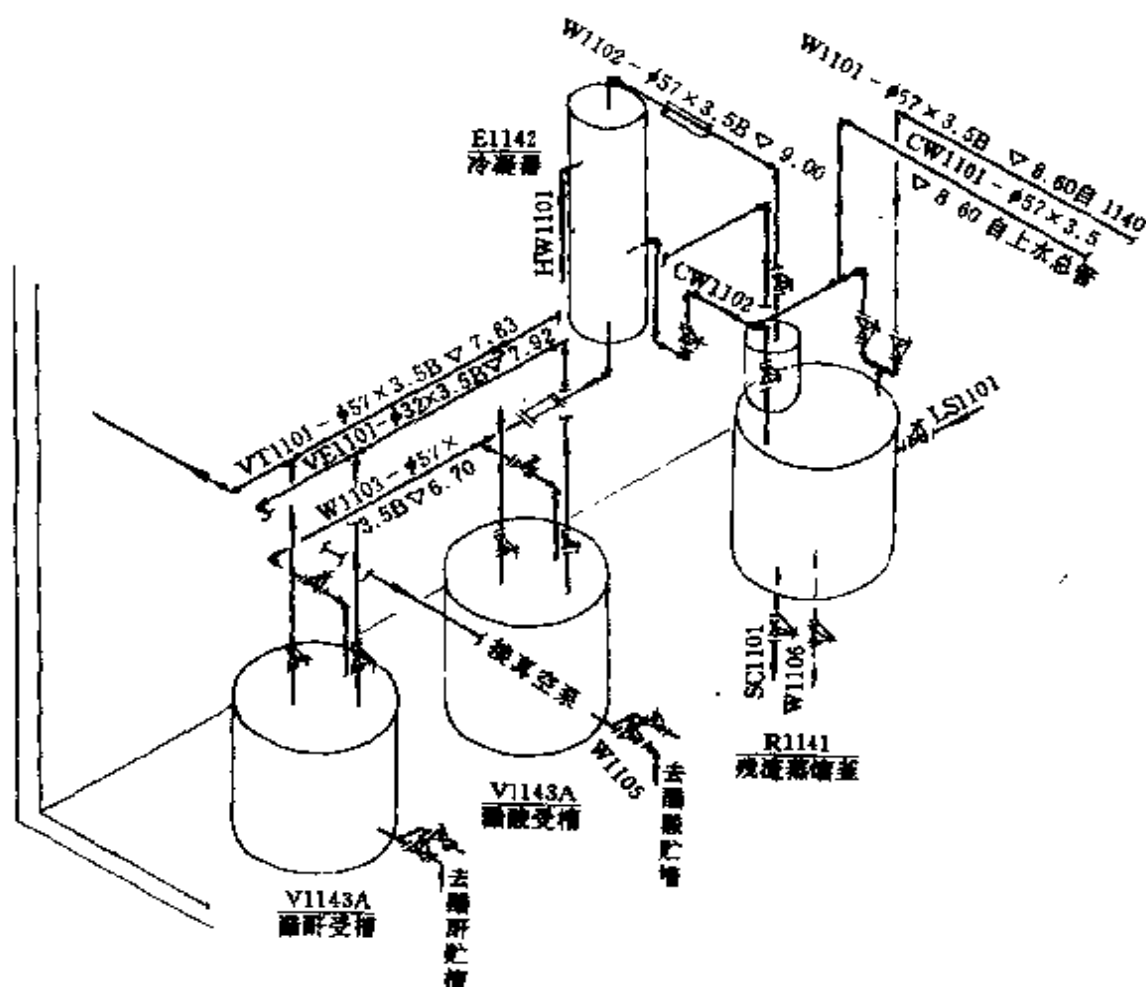


图 2-18 醋酐残液蒸馏系统管道布置轴测图

第二节 化工常用材料

一、材料的性能

在化工生产中所使用的各种机器设备,都是由金属或非金属材料制成的。为了正确、合理地使用和加工各种材料,应充分了解和掌握材料的各种性能。

1. 物理性能

(1) 密度 某种物质单位体积的质量叫该物质的密度, 它的单位是 kg/m^3 或 g/cm^3 。

密度是物体的特性之一, 不同材料的密度是不同的, 如钢的密度为 $7.8\text{g}/\text{cm}^3$; 铜的密度为 $8.9\text{g}/\text{cm}^3$; 石墨的密度为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$; 混凝土的密度为 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 等。利用密度可以鉴别物体; 有些形状比较复杂的物体, 可以由它的质量和密度计算它的体积; 许多不能直接称量的物体, 可以由它的体积和密度计算它的质量。

(2) 熔点 金属和合金从固体状态向液体状态转变时的熔化温度称为熔点。金属都有固定的熔点, 如银的熔点为 1233.8K , 铁的熔点为 1811K , 铝的熔点为 933K 等。熔点对于冶炼、铸造、焊接和配制合金等方面都很重要。

(3) 导热性 金属材料能传导热的性能称为导热性。一般情况下, 金属材料的导热性比非金属材料好。导热性好的材料散热性也好。

(4) 导电性 金属材料能够传导电流的性能称为导电性。所有金属材料都具有导电性, 其中以银的导电能力为最好, 铜、铝次之。

(5) 热膨胀性 材料加热时体积胀大, 冷却时则收缩的性能称为热膨胀性。各种材料的热膨胀性能是不同的, 它可用其线胀系数和体胀系数表示。

(6) 磁性 金属能导磁的性能称为磁性。具有导磁能力的金属都能被磁铁所吸引。根据金属材料在磁场中受到磁化程度的不同, 可分为铁磁性材料, 如铁、钴等; 顺磁性材料, 如锰、铬等; 抗磁性材料, 如铜、锌等。

2. 化学性能、

(1) 耐腐蚀性 材料在常温或高温条件下, 抗氧、水蒸气及

其他化学介质侵蚀的能力称为耐腐蚀性。

同一材料在不同情况下其耐腐蚀性能是不同的,如钢在空气中不易被腐蚀,而在氨中则不耐腐蚀。因此,提高或选择材料的耐腐蚀性能,对于节约材料的消耗,延长材料的使用寿命具有现实的经济意义。

(2) 抗氧化性 材料在加热时,抵抗氧气氧化作用的能力称为抗氧化性。

(3) 化学稳定性 化学稳定性是材料的耐腐蚀性和抗氧化性的总称。材料在高温下的化学稳定性叫做热稳定性。化工生产中所用的加热设备、机泵等,都需要有良好的热稳定性。

3. 机械性能

机械性能又叫力学性能,是指材料在外力作用下所表现的抵抗能力。它包括强度、硬度、塑性、脆性、韧性、疲劳和蠕变等。

材料在加工或使用过程中所受的外力叫载荷(或负载、负荷)。按其作用性质的不同,可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷三种。

静载荷是指大小不变或变化很慢的外力;冲击载荷是指突然增加的外力;交变载荷是指大小、方向或大小和方向随时间发生周期性变化的外力。

材料受载荷作用而发生尺寸和形状的变化叫做变形。变形形式有拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲五种。

材料在外力作用下,将发生变形,同时,材料内部原子间将产生阻止变形的抗力,称为内力,其值与外力相等。单位面积上的抗力称为应力,以符号 σ 表示。

(1) 强度 材料在静载荷作用下,抵抗变形和被破坏的能力。按外力作用的方式不同,可分为抗拉、抗压、抗剪、抗扭和抗弯等五种。衡量材料强度的指标有弹性极限、屈服极限和强度极限。

弹性极限是指材料在外力作用下,产生弹性变形时所能承受的最大应力;屈服极限是材料产生屈服现象时的最小应力;强度极限又叫抗拉强度,是指材料拉断前所能承受的最大应力。

(2) 硬度 材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力叫硬度。它表示材料的坚硬程度,化工机械零件所用的材料,都要求有一定的硬度,以保证足够的强度、耐磨性和使用寿命。

根据测定硬度方法的不同,硬度有布氏硬度(HBS)、洛氏硬度(HRC)和维氏硬度(HV)。

(3) 塑性 材料在载荷作用下,产生变形而不破坏的性能叫塑性。塑性表示了材料塑性变形能力的大小。衡量材料塑性好坏的指标是延伸率和断面收缩率。

材料延伸率就是材料拉伸断面的伸长量与原材料长度之比值的百分率,以符号 δ 表示。

断面收缩率是材料拉断后,拉断处截面积的缩减值与原横截面积之比值的百分率,以符号 ψ 表示。

材料的延伸率和断面收缩率数值越大,表示材料的塑性越好。用塑性好的材料制做机器设备,使用时是比较安全的。

(4) 脆性 材料受冲击载荷作用而无变形就发生断裂的现象叫脆性。铸铁、高碳钢等材料的脆性较大。

(5) 冲击韧性 材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力叫

冲击韧性。以符 α_k 表示。冲击韧性值越大, 表示材料的韧性越好。

(6) 疲劳与疲劳强度 许多机械零件都是在交变应力作用下工作的, 其工作应力最大值, 即使低于材料的屈服强度, 若经过较长时间的工作而发生突然断裂的现象称为疲劳。机械零件之所以产生疲劳断裂, 是由于材料表面或内部有夹杂、划痕或尖角等缺陷。

材料在长期的交变载荷作用下, 而不致断裂的最大应力称为疲劳强度或疲劳极限。

(7) 蠕变 材料于高温下受许多应力作用而发生缓慢而连续的变形现象叫蠕变。材料的蠕变性能用蠕变极限来衡量, 即材料在一定的高温下, 经过一定时间 (10^5h) 产生一定量变形 (1%) 时的应力。

4. 工艺性能

工艺性能是指材料进行冷热加工时表现出的适应能力。主要有铸造性、可锻性、可焊性及切削加工性等。

二、化工常用材料

化工常用材料可分为两大类, 一是金属材料, 二是非金属材料, 其分类情况见图2-19。

1. 碳素钢

凡含碳量小于2.11%的铁碳合金叫碳素钢, 简称碳钢。根据碳钢中含杂质元素 S、P 量的多少, 可分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。若按钢的用途分类, 则可分为碳素结构钢和碳素工具钢。

(1) 普通碳素结构钢 普通碳素结构钢含有较多的 S、P 元素及非金属杂物, 由于价格便宜, 产量较大, 故广泛用于制做金属结构和不重要的机械零件。

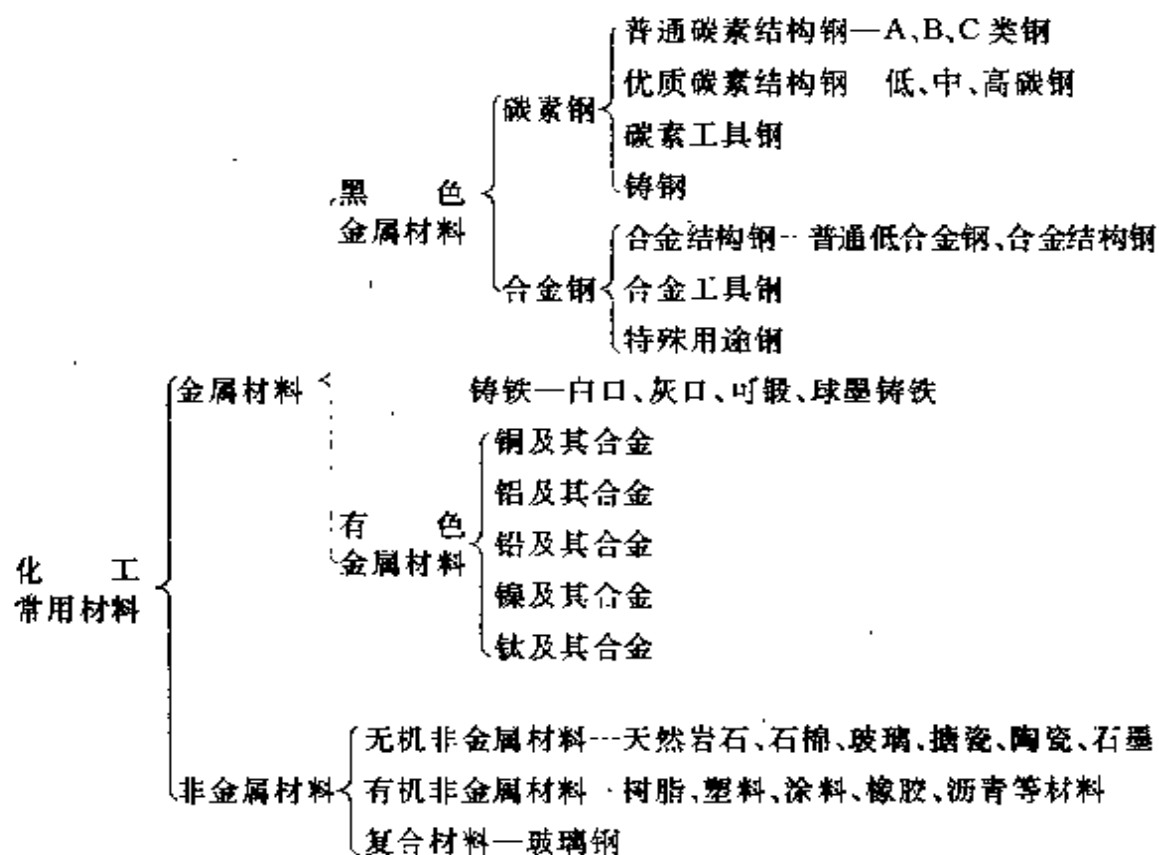


图 2-19 化工常用材料分类

普通碳素钢按厂保证的技术条件,可分为甲类钢、乙类钢和特类钢,分别用汉语字母“A”、“B”、“C”表示。为表明其性能及含碳量的多少,在代号的右下角加有1~7的数字,如 $C_1 \cdots \cdots C_7$,“1”表示含碳量少,“7”表示含碳量最多,含碳量越高,机械强度也越高。

甲类钢多用来制做钢板、钢管、型钢等;乙类钢制做需要经过锻造和热处理的零件;特类钢可代替甲类钢和乙类钢。

(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢的 S、P 含量较少,一般 $P \leq 0.04\%$, $S \leq 0.045\%$,其牌号用两位数字表示(数字为平均含碳量的万分之几),例如25号钢,则表示含碳量为0.25%。若某号钢为沸腾钢或锅炉钢,则在钢号后赘上字母“F”或“g”字样。例如10F 与20g,则表示为平均含碳量0.1%的沸腾钢与平均

含碳量0.20%的锅炉钢。

优质碳素结构钢按含碳量的多少,可分为低碳钢(含碳为0.5~0.25%),中碳钢(含碳量0.3~0.55%),和高碳钢(含碳量大于0.6%)。

常用优质碳素结构钢的应用范围见表2-9。

表 2-9 常用优质碳素结构钢的应用范围

钢号	使用温度范围,K	应 用 范 围
0.8	233~748	可焊性好,一般用做端盖、无缝钢管及各种外壳等冲压件
10	233~748	
15	233~748	可焊性好,用于锅炉、换热器、塔器
20	233~748	可焊性好,用于塔器、换热器及其他中、低容器
25	233~748	焊前预热,焊后热处理,用于管板、法兰、螺母
35	233~748	用于紧固件、管板、轴

(3) 碳素工具钢 碳素工具钢的含碳量大于0.7%,具有高硬度和高耐磨性,可做刀具、模具、量具及工具。

碳素工具钢牌号是用汉语拼音字母“T”或汉字“碳”后面赘上数字表示,数字表示钢中含碳量的千分之几。例如 T7或碳7钢;表示含碳量为0.7%的碳素工具钢。若是高级优质钢,则在数字后面再加上字母“A”或汉字“高”。如 T13A,表示平均含碳量为1.3%的高级优质碳素工具钢。

碳素工具钢主要用于制做模具、量具和手工工具等。

(4) 铸钢 铸钢用符号 ZG 后面赘上两位数字表示。数字表示含碳量的万分之几,在数字后面还需用罗马数 I、II、III 表示铸钢的质量级别,但 III 级不标注。例如铸钢 ZG45 I,表示平均含碳量为0.45%的 I 级铸钢

铸钢一般用于制做形状复杂、难于锻造而要求强度较高的

零件,在重型机械、冶金设备、运输机械设备中的某些零件也用铸钢制做。

2. 合金钢

(1) 合金钢的分类与牌号 所谓合金钢,就是在碳钢的基础上,冶炼时适量加入一种或数种合金元素(Cr、Ni、W、Mo、Co、V、Ti、B 或 R 等),使其具有较好机械性能和耐腐蚀性能的钢。按它的用途分类,可分为结构合金钢、合金工具钢和特殊用途钢。

合金结构钢牌号采用“二位数字+化学元素符号或汉字+数字”的表示方法。前两位数字表示钢中平均含碳量的万分之几,化学元素符号即钢中所含的主要合金元素,元素符号后的数字表示该元素的平均百分含量。凡合金元素平均含量小于1.5%时,元素符号后的数字就不标,若大于1.5%、2.5%、3.5%……时,则在元素符号后分别标出2、3、4……。例如,09Mn2(或09锰2),表示钢中平均含碳量为0.09%,锰含量约为2%;又如,60Si2Mn,表示钢的平均含碳量为0.6%,含硅量2%,锰的含量小于1.5%。

合金工具钢的牌号与合金结构钢牌号的区别,在于用一位数字表示平均含碳量的千分之几,当含碳量大于1%时,则不予标出。例如,9SiCr,表示平均含碳量为0.9%,Si、Cr含量都小于1.5%;又如Cr12MoV,因平均含碳量大于1%,故不标明,Cr的含量为12%,Mo、V的含量都小于1.5%。

特殊性能钢的牌号与合金工具钢的牌号表示方法基本相同,但对一些特殊专用钢,为了表示用途,在钢号前冠以汉语字母,而不标出含碳量,例如,GCr15SiMn,此钢号表示含Cr1.5%,含Si、Mn均小于1.5%的滚动轴承钢。“G”是“滚”字汉语拼音字首。

在合金结构钢中,除普通低合金结构钢外,其他合金结构钢

都是优质钢和高级优质钢,因此,这类钢号都标以“A”。如38CrMoAlA。

(2) 合金结构钢 合金结构钢是在普通碳素结构钢的基础上加入一定量的合金元素冶炼而成。根据加入合金元素量的多少,可分为普通低合金钢(含碳量为0.1~0.25%,并含有少量合金元素)和合金结构钢两种。

普通低合金钢中所含元素的不同其性能是不同的。如含有Si、Mn等元素,则可提高钢的强度;如加入V、Ti、Nb等元素,除可提高强度外,还可提高塑性;若加入适量的Cu,则可增加钢的耐蚀性。在强度级别较高的普低钢中,常加入Cr、Mn、B等元素,其目的是提高钢的淬透性。

合金结构钢经热处理后,可以获得良好的综合机械性能,常用来做重要的机械零件。

(3) 合金工具钢 合金工具钢是在碳素工具钢的基础上,加入3~5%的Cr、Mn、Si等合金元素冶炼而成。主要制做尺寸大、精度高和形状复杂的模具、量具及切削速度较高的刀具等。

(4) 特殊用途钢 特殊用途钢是指具有特殊物理、化学性能的高合金钢。常用的有不锈钢、耐热钢和耐磨钢。

不锈钢是指在腐蚀介质中具有高抗蚀能力的钢。常用不锈钢有铬不锈钢和铬镍不锈钢,表示方法的顺序与普通低合金钢相同,但含碳量的数字以千分之几表示。铬不锈钢的含碳量为0.1~0.4%,含铬量为13%。由于合金中含有大量的铬,因而使其钝化,在许多介质中有很高的耐蚀性。铬镍不锈钢含铬量17~19%,含镍8~11%,故称18~8型不锈钢。这类钢含碳量低,含镍量高,因而比铬钢更耐蚀,在HNO₃、H₃PO₄、有机酸及苛性碱中是稳定的,H₂S、CO、室温下干燥氯,以及573K以下的SO₂等,对它均有破坏性。因此,用它来制做生产硝酸的设备,如吸收塔、换

热器、反应器、管道、泵、阀门和贮槽等。

耐热钢具有很高的抗氧化性能和热强性能,因而可分为抗氧化钢和热强钢。在高温下能抵抗气体介质腐蚀的钢叫抗氧化钢。这是因为在钢中加入合金元素 Cr、Ni、Si、Al 等后,就能与钢形成致密的高熔点的氧化膜,如 Cr_2O_3 、 SiO_2 和 Al_2O_3 等,这些氧化膜严密地覆盖在钢的表面,使钢与高温氧化性气体隔离,从而避免钢的进一步氧化。如 4Cr9Si2 能抗氧化到 1073K,它可用于换热器的部件。热强钢具有在高温下抗氧化能力,并还有较高的高温强度。为了提高钢的强度,加入难熔金属元素 W、Mo 等,为了形成稳定的碳化物、氮化物,也可加入 Ti、V 等合金元素。常用热强钢有 15CrMo 和 4Cr14Ni14W2Mo,前者是典型的锅炉用钢,可做 573~773K 下长期工作的零件,后者可做 873K 以下工作零件,如汽轮机叶片,大型发动机排气阀等。

3. 铸铁

铸铁的含碳量在 2.5~4%,杂质(Si、Mn、S、P)含量比钢多的铁碳合金。根据铸铁中碳的存在形式,可分为灰口铸铁、白口铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁等。

(1) 灰口铸铁 这类铸铁中的碳大部分以片状石墨形式存在,断口处呈暗灰色,所以叫灰口铸铁。它的牌号由“灰铁”两字的汉语拼音字首“HT”与一组数字组成,数字表示其最低的抗拉强度。如 HT150,表示抗拉强度不小于 150N/mm^2 的灰口铸铁。

灰口铸铁具有易熔、铸造性能好、耐磨性好,易于切削加工与材料成本低等优点,但性脆、韧性差,一般不宜受拉。它主要用来铸造零件、化工塔器、阀门、管路等设备。

(2) 白口铸铁 不含石墨的铸铁。几乎全部的碳都与铁形成碳化三铁。断口处呈暗白色,硬度极高,性脆,不能进行切削加工。但可利用硬度高、耐磨的特点,常把铸件的表面制成白口铸

铁,如制造车轮和轧滚的表面,以延长使用寿命。

(3) 可锻铸铁 可锻铸铁俗称“马口铁”,它是由白口铸铁坯件经高温长时间的石墨化退火,使渗碳体在固态下分解,而获得具有团絮状石墨的铸铁。

可锻铸铁的牌号由三个汉语拼音字母及两组数字组成,在三个字母中,前两个字母是“KT”表示“可锻”,第三个字母表示可锻铸铁的不同类别。两组数字分别表示最低的抗拉强度和延伸率。例如 KTH300—06,表示为最低抗拉强度不小于300N/mm²,延伸率不小于6%的黑心可锻铸铁。

可锻铸铁一般用于截面较薄,形状比较复杂,强度和韧性要求较高的零件,如汽车的后桥外壳以及管接头等。

(4) 球墨铸铁 所谓球墨铸铁是指铸铁中的石墨以球状形状存在的铸铁。它的牌号是由“球铁”二汉字拼音的第一个字母“QT”及两组数字组成。两组数字分别表示最低抗拉强度和延伸率。

由于球墨铸铁中存在石墨,因而具有良好的切削加工性、耐磨性、减震性和铸造性能,同时,由于铸铁的石墨呈球状,它的机械性能都比其他铸铁高,因此,广泛地应用于机械制造、交通、冶金、化工等工业部门。

4. 有色金属及其合金

通常把以铁碳合金为主的金属称为黑色金属,而把其他金属及其合金叫做有色金属。目前使用较为广泛的有铜、铝、铅、镍、钛及其合金等。

(1) 铜及其合金 铜(紫铜或纯铜)及其合金(青铜、黄铜)具有很好的物理、机械性能和化学稳定性,并且还有良好的低温性能,故在化学工业一些特殊场合,如深冷换热、耐磨设备等应用较多。

① 铜 铜的代号有 T2、T3、T4(号越大含杂质越多)和 TUP(无氧铜)。

铜的化学稳定性比较好,在没有氧化剂存在时,在酸性或中性介质中具有较好的耐蚀性。如在稀 H_2SO_4 、醋酸中都比较稳定,即使在盐酸中也不易腐蚀。铜在碱性介质中具有很好的稳定性,但在氨或铵盐溶液中,由于铜氨络离子的生成而使铜溶解。

铜是制做深冷设备的好材料。

② 黄铜 铜与锌的合金称为黄铜。它的代号是 H62、H80, H 后面的数字表示铜含量的百分数。

黄铜具有优良的铸造性,流动性能好,铸造组织细密,不易产生偏析,但收缩性大。黄铜也具有很大韧性和塑性,不易于切削加工,若加入1~2%的铅,便可改善其加工性能。黄铜常用于制造深冷设备的筒体、管板、法兰及衬套等。

③ 青铜 铜与锌、镍以外的元素组成的合金称为青铜。它可分为普通青铜(锡青铜)和特殊青铜(铅青铜、硅青铜、铝青铜等)两类。

青铜代号为“Q”,在后面缀有合金元素符号及含量百分数,如 QAl7,表示含铝量为7%;其余为铜的铝青铜。若为铸造青铜,则在代号前加“Z”字,如 ZQSn10-1,表示含锡量为10%,其他合金元素含量为1%,其余为铜的铸造锡青铜。

铝青铜是铜与铝的合金。当含铝量达10%以上时,可进行热压力加工。它的铸造性、机械性能和耐蚀性能都比铜和锡青铜高,多用于制备化工设备的耐蚀零件、弹簧、轴承等。

锡青铜是铜与锡的合金。合金中含锡量对其机械性能影响较大,工业用锡青铜含锡量在3~14%。它的耐蚀性能好,在稀硫酸和某些有机酸及盐类溶液中,其化学稳定性比铜高。故可制做耐磨、耐蚀的零件,如泵壳、阀门、齿轮、轴承等。

(2) 铝及其合金 纯铝是灰色轻金属, 相对密度为2.7, 它的导电、导热性良好, 仅次于铜、银、金而居于第四位。它的塑性好, 压力加工和可焊性好, 但强度较低。其代号为L, 后面以数字表示纯度, 如L₁……L₄等, 数字越高纯度越低。

纯铝具有很高的耐蚀性能, 如在磷酸、醋酸和浓硝酸(80%以上)中均耐蚀。但在盐酸、硫酸和碱中, 均能被腐蚀。铝的耐蚀性能随其纯度的下降而降低, 用铝制做化工设备时, 必须考虑其纯度。

铝合金是铝与硅、镍、锰、铜、锌的合金, 它可分为形变铝合金和铸造铝合金两类。形变铝合金按其性能特点, 可分为防锈铝(代号LF)、硬铝(LY)和锻铝(LD)等。铸铝合金的代号用ZL及三位数字表示, 第一位数表示合金类别(1为铝-硅系, 2为铝-铜系, 3为铝-镁系, 4为铝-锌系); 第二、第三位数字为合金顺序号, 序号不同其化学成份不同, 如ZL105, 表示5号铝-硅系铸造铝合金。

在石油化工中, 防锈铝和铸造铝用得较多, 如用来制造泵、阀及深冷设备中的过滤器、分馏塔等。

(3) 铅及其合金 铅是一种化学稳定性相当高的重金属, 对于稀硫酸介质尤为稳定, 在防腐施工技术中应用很广。

铅在化学工业中主要用于硫酸生产或处理介质, 如制做酸贮槽、反应器、换热器和电雾器以及管路等。由于铅的性软, 机械强度低, 故多用于设备衬里。

在铅中加入4~8%的锑, 则可提高其机械性能, 这种铅锑合金叫做硬铅。硬铅的化学稳定性随锑含量的增加而稍有下降, 但由于硬度的提高, 可单独制做料管、加热蛇管、耐酸泵和阀门等。

铅和硬铅的代号都以化学符号表示。如Pb4, 表示4号铅, 号越大纯度越低。又如PbSb6, 表示含锑量为6%的硬铅。

(4) 镍及其合金 纯镍为银白色, 它的物理、机械性能良好, 在大气、海水、碱和有机酸中有较强的耐蚀能力。镍是重要的合金元素, 其镍铬不锈钢耐蚀性能强, 且没有磁性, 在化工生产中获得了广泛的应用。

5. 非金属材料

非金属材料分为无机非金属材料(天然岩石、石棉、玻璃、搪瓷、陶瓷、石墨等)和有机非金属材料(树脂、塑料、橡胶、涂料、玻璃钢等)两大类。

无机非金属材料 and 有机非金属材料名称、性能、主要成分及用途见表2-10和表2-11。

表 2-10 无机非金属材料

名 称	主 要 成 分	性 能	用 途
花岗石	石英、长石和少量云母	耐磨性好, 耐酸性能高; 坚固、美观	制做生产酸的塔器、离心泵、以及耐磨设备
温石棉 (蛇纹石石棉)	镁的硅酸盐	具有纤维强度, 挠性较大	长纤维纺织石棉布、石棉绳、石棉带和滤布; 短纤维或粉用于石棉水泥制品、石棉保温材料 and 绝缘材料
玻璃	石英砂、长石、石灰石、碳酸钠(钾)硫酸盐及碱金属、碱土金属	具有良好的耐蚀性和耐磨性; 对流体的阻力小, 热稳定性较差, 不耐冲击和振动	制做反应设备、塔器、冷却器、泵、视镜、管件和管路等

续表

名称	主要成分	性能	用途
搪瓷 (珐琅)	玻璃状物 釉搪在金属 坯上,经高温 烧结而成	有钢的结构强度和 玻璃的化学稳定性;有 较好的传热性能;表面 光滑;有优良的电绝缘 性能;性脆,不耐冲击	多用于制造设备衬 里,例如,塔器、阀门、 反应罐等设备衬里;瓷 粉可做胶泥中的耐酸 填料
不透性石墨	以各种树 脂浸渍消除 其孔隙的石 墨	具有良好的化学稳 定性、优良的导热性; 热胀系数小,耐温度剧 变;具有润滑性;强度 低,性脆	用于制造腐蚀性强的 介质的换热器;制造 泵、管道和机械密封设 备中的密封环;防腐设 备内衬里用的石墨砖 和板等

表 2-11 有机非金属材料

类别	名称	主要成分	性能	用途
树 脂	酚醛树脂	苯酚与甲醛 的缩聚产物	固化后受热不 熔,有很好的机械 强度;对各种酸 类、有机溶剂有优 良的化学稳定性; 不耐碱	制造压塑粉(电 木粉)及压制塑 料、层压塑料、涂 料、胶合剂及防腐 用胶泥等
	环氧树脂	环氧氯丙烷 与4,4'-二羟基 丙烷缩聚	具有粘结性能, 称“万能胶”;变定 收缩率小;固化后 有很好硬度良好 的柔韧性、介电 性;对稀酸、稀碱 及大部分有机溶 剂稳定	可做粘结剂、胶 泥和涂料;制造浇 铸塑料、压塑塑料 及层压塑料等

续表

类别	名称	主要成分	性能	用途
塑料	聚氯乙烯	聚氯乙烯树脂、增塑剂、稳定剂等	有很好的机械强度和耐磨性;电性能优良;对酸、碱有良好的化学稳定性;耐温性较差	制做反应器、贮罐、槽车、化工管路、管件、泵、鼓风机、捕集器、排风筒等
	耐酸酚醛塑料	酚醛树脂等	具有良好的防蚀和耐热性能	制做管道、阀门、泵、塔器、容器、贮槽和搅拌器等
	聚四氟乙烯(塑料王)	氟石、三氟甲烷经裂解、聚合	具有优良的化学稳定性、热稳定性和电性能	制做耐蚀、耐高温的密封元件和无油润滑活塞、高温管道、小型反应器、伸缩接头、垫圈等
	玻璃钢	树脂、辅助材料和玻璃纤维等组成	强度高;具有良好的防腐性能及工艺性能	制做容器、贮槽、塔器、鼓风机、管道、阀门等
橡胶	天然橡胶合成橡胶	具有烯烃结构的单体,经聚合而得的高分子聚合物	具有较好的物理、机械性能和耐腐蚀性能	制做反应器、贮车、离心泵、搅拌器、过滤器以及短管等,胶板可做设备衬里
涂料	防锈漆 生漆 酚醛树脂漆 环氧树脂漆 塑料涂料	是一种高分子胶体混合物溶液	涂在物体表面,固化后形成薄涂层,用以保护物件免遭化工介质和大气的腐蚀	用于涂刷设备、管道外表面,也可用于设备内壁的防腐蚀涂层

第三节 化工管路

化工生产中所用的各种管路,总称为化工管路。它是化工生产装置中不可缺少的一部分,也是化工机器及设备的重要组成部分。工厂里流体(气体或液体)的输送,全靠管路形成通道,所以有人把管路称做化工厂的“血管”。

化工管路主要由管子、管件和阀件三部分组成,另外,还有附属于管路的管架、管卡、管撑等管件组成。由于化工管路工作压力不同,对管子、管件和阀件的要求也不一样,因而它们的构造种类、制造尺寸也就繁多。为了减少杂乱,必须把工作压力和口径的种类,根据生产的需要给予合并归类,并使之标准化。

一、化工管路的标准化

化工管路标准化的内容,是规定管子和管路附件(管件、阀件、法兰和垫等)的直径、连接尺寸和结构尺寸的标准,以及压力标准等。其中压力标准和直径标准是其他标准的依据,可以根据这两个标准来选定管子和管路附件的规格。

1. 压力标准

管子、管件和阀件的压力标准有公称压力(p_n)、试验压力(p_t)和工作压力(p)。

公称压力通称压力,一般大于或等于实际工作最大压力。它是为了设计、制造和使用方便而规定的一种标准压力,在数值上它正好等于第一级工作温度下的最大工作压力,用符号 p_n 表示,并在此符号后附加压力数值。例如,公称压力为2.45MPa,则以 $p_n 25$ 表示。按目前习惯, $p_n 2.5 \sim 16$ 为低压, $p_n 25 \sim 64$ 为中压, $p_n 100 \sim 1000$ 为高压, $p_n 1000$ 以上为超高压。

公称压力的数值,一般是指管内工作介质的温度在273~393K范围内的最高允许工作压力。

试验压力是为了对管路附件进行水压强度试验和紧密性试验而规定的一种压力,以 p_s 表示,并在此符号后附加一个压力数值,如 p_{s150} 表示试验压力为15.0MPa。

在一般情况下,试验压力为公称压力的1.5倍,对于特殊情况下的试验压力,则以公式 $p_s = np$ 进行计算, n 值与温度有关,温度越高, n 值越大,其值可在1.9~4.4。对于阀件的紧密度试验,又叫气密性试验,则以公式 $p_s = 1.25p$ 进行计算。对于管路的气密试验,一般用水银柱压力计,要求相当于0.1~0.15MPa。

工作压力是为了保证管路附件工作时的安全,而根据介质的各级最高工作温度所规定的一种最大压力。最高工作压力是随介质的工作温度升高而降低,这是因为制件材料的机械强度随着温度的升高而降低的缘故。为了表明在某一温度(摄氏温度)下的工作压力,则在符号 p 的右下角附加介质的最高工作温度除以10所得的整数。如工作介质最高温度为250℃,则工作压力记为 p_{25} 。

2. 口径标准

表示管路直径的尺寸,称为口径。制件接合处的内径称为公称直径,它是为了设计、制造、安装和修理方便而规定的一种标准直径。一般情况下,公称直径的数值,既不是管子的内径,又不是管子的外径,而是与管子的内径相接近的整数。如水、煤气钢管和无缝钢管,其外径是固定的系列数值,而内径则随壁厚的增加而减少。在一般情况下,管子的实际内径等于公称直径。如铸铁管和阀件等。根据公称直径,可以确定管子、管件、阀件、法兰和垫片等的结构尺寸和连接尺寸。

公称直径用符号 D_g 表示,其后附加的数值为公称直径的尺寸。例如: D_g1000 表示公称直径为1000mm。我国公称直径系列从1~4000mm分为53级,其中1~1000mm的级分得较细,以

后每增加200有一种公称直径,直至4000mm。

二、管子及管件

1. 管子的种类

管子的规格一般用“ ϕ 外径 \times 壁厚”来表示,例如 $\phi 32 \times 2.5$,即此管的外径为32mm,管壁的厚度为2.5mm。工厂常用的管子一般有金属管和非金属管两大类,前者有铸铁管、钢管和有色金属管三种,后者有陶瓷管、水泥管、玻璃管、塑料管和衬里管。

(1) 铸铁管 常用的铸铁管有普通铸铁管和硅铁管。

① 普通铸铁管 普通铸铁管是用上等灰铸铁铸成。常用作埋在地下的供水总管线、煤气管和污水管或料液管等。它的优点是价廉、耐碱液、浓硫酸等,但拉伸强度、弯曲强度和紧密性差,不能用于输送有压力的有害或爆炸性的气体,也不宜输送高温液体,如水蒸气等。因它性脆,故不适于焊接和弯曲加工。

铸铁管的内径以符号 ϕ 表示,如内径1000mm 的铸铁管,可写作 $\phi 1000\text{mm}$,因每一种直径下规定只有一种壁厚,故在规格写法中,无须再表示壁厚。

② 硅铁管 硅铁管可分为高硅铁管和抗氯硅铁管两种。含硅14%以上的合金硅铁管,称为高硅铁管,它能抗硫酸、硝酸和温度低于573K 的盐酸等强酸的腐蚀。含有硅和钼的铸铁管,称为抗氯硅铸铁管。它能抗各种浓度和不同温度的盐酸的腐蚀。这两种管的硬度很高,只能用金钢砂轮修磨或用硬质合金刀具来加工;性很脆,受到敲击或局部加热剧冷时,极易破裂;机械强度低于铸铁,只能用于0.25MPa[表压]以下的管路。

(2) 钢管 钢管分为无缝和有缝钢管两种。

① 无缝钢管,用棒料钢材经穿孔热轧(称为热轧管)或冷拉(称冷拉管)制成,因它没有接缝,故称无缝钢管。

无缝钢管的特点是质地均匀,强度高,壁厚较薄。但也有特

殊用途的厚壁无缝钢管、锅炉无缝管以及石油工业专用的各种无缝管。

制造无缝钢管的材料有普通碳钢、优质钢和低合金钢,以及不锈钢和耐热铬钢等。它的尺寸是用外径来表示的,每一种外径按用途、压力、温度的不同各有多种壁厚。碳钢普通无缝钢管规格见表2-12。

表 2-12 无缝钢管规格

类 别	外径,mm	壁厚,mm	类 别	外径,mm	壁厚,mm
冷 拉 管	25	25,3	热 轧 管	89	3.5,4,4.5,6,8~24
	38			102	4,4.5,6,8~24
	42	3,3.5		108	4,4.5,6,8~24
	50	3.5,4,4.5,5		114	4,4.5,6,8~28
	51	3.5,4,4.5,5		127	4,4.5,6,8~30
热 轧 管	57	3.5,4,4.5,6,8~13		146	6,8,10,12~36
	60	4,4.5,6,8~14		159	6,8,10,12~36
	63.5	4,4.5,6,8~14		168	6,8,10,12~45
	73	3.5,4,4.5,6,8~19		194	6,8,10,12~45
	76	3.5,4,4.5,6,8~19		219	6,8,10,12~45

高压管子的公称直径从6~200mm,壁厚从4~50mm,特点是直径小,耐压力越高,壁越厚。它的习惯表示法:如无缝钢管外径为40mm,壁厚为3.5mm,长度4m,用20号钢制造,则可写为 $\phi 40 \times 3.5 \times 4/20$,如不表示长度和钢号,可写为 $\phi 40 \times 3.5\text{mm}$ 。

无缝钢管在生产中可用于高压蒸汽和过热蒸汽的管路,高压水和过热水的管路,高压气体和液体的管路,以及输送易燃、易爆、有毒的物料管路等。各种换热器内的管子大都采用无缝钢管,输送强烈腐蚀性或高温的介质时,采用不锈钢、耐酸钢或热钢制的无缝钢管。

② 有缝钢管,有缝钢管是用低碳钢焊接的钢管,故又称焊

接管。它可分为水、煤气管和钢板卷管。

水、煤气管是用含碳量0.1%以下的软钢(10号钢)制成的。因这种管子是用来输送水和煤气,它比无缝管容易制造,价廉,但由于接缝的不可靠性(特别是经弯曲加工后),故只广泛用于0.8MPa(表压)以下的水、暖气、煤气、压缩空气和真空管路。

水、煤气管可分为镀锌管(白铁管)和不镀锌管(黑铁管),普通管和加厚管,带螺纹管和不带螺纹管等几种类型。水、煤气管在规格写法中只表示内径,不表示壁厚,其规格和重量见表2-13。

表 2-13 水、煤气钢管的规格和重量表

公称直径		外径 mm	钢管的种类					
			普通钢管			加厚钢管		
mm	英寸		壁厚 mm	内径 mm	理论重 kg/m	壁厚 mm	内径 mm	理论重 kg/m
6	1/8"	10	2.00	6.00	0.39	2.50	5.00	0.46
8	1/4"	13.5	2.25	9.00	0.62	2.75	8.00	0.73
10	3/8"	17	2.25	12.50	0.82	2.75	11.50	0.97
15	1/2"	21.25	2.75	15.75	1.25	3.25	14.75	1.44
20	3/4"	26.75	2.75	21.25	1.63	3.50	19.75	2.01
25	1"	33.5	3.25	27.00	2.42	4.00	25.50	2.91
32	1 1/4"	42.25	3.25	35.75	3.13	4.00	34.25	3.77
40	1 1/2"	48	3.50	41.00	3.84	4.25	39.50	4.58
50	2"	60	3.50	53.00	4.88	4.50	51.00	6.16
65	2 1/2"	75.5	3.75	38.00	6.64	4.50	66.50	7.88
80	3"	88.5	4.00	80.50	8.34	4.75	79.00	9.81
100	4"	114	4.00	106.00	10.85	5.00	140.00	13.44
125	5"	140	4.50	131.00	15.04	5.50	129.00	18.24
150	6"	165	4.50	156.00	17.81	5.50	154.00	21.63

钢板卷管是由软钢板条卷成管形后电焊而成的钢管,又称电焊钢管。这种管只适用于直径大、管壁薄的管子,因此它的用途主要是补充无缝钢管规格的不足。

(3) 有色金属管 化工厂在某些特殊情况下,需要用有色金属管——铜管与黄铜管,铅管和铝管。

① 铜管与黄铜管 铜管(或称紫铜管)质轻,导热性好,低温强度高,适用于低温管路和低温换热器的列管,细的铜管常用于传递有压力的液体(如润滑系统、油压系统)。当工作温度高于523K时,不宜在高压下使用。黄铜管多用于海水管路。

② 铅管 铅管的抗蚀性良好,能抗硫酸及10%以下的盐酸,但不能作浓盐酸、硝酸和醋酸等的输送管路。铅管的最高允许温度为413K,因而易于辗压锻制成焊接,但机械强度差,导热率低,且性软,因此,目前为各种合金钢与塑料所代替。

铅管的习惯表示法为 ϕ 内径 \times 壁厚。

③ 铝管 铝管的耐蚀性能由铝的纯度决定。广泛用于输送浓硝酸、蚁酸、醋酸等物料的管路,但不耐碱,还可用以制造换热器。小直径的铝管可代替铜管,传送有压力的流体,当工作温度高于433K时,不宜在高压下使用。

(4) 陶瓷管 陶瓷管能耐酸碱(除氢氟酸外),但性脆,强度低,耐压性差,可用来输送工作压力为0.2MPa及温度在423K以下的腐蚀性介质。

(5) 水泥管 水泥管多用作下水道污水管。目前有在压力下输送液体或气体的预应力混凝土管,用以代替铸铁管和钢管。

(6) 玻璃管 玻璃管具有耐蚀透明、易清洗、阻力小、价格低廉等优点,但又有性脆、热稳定性差、耐压力低等缺点。

玻璃管的化学耐蚀性很好,除氢氟酸、含氟磷酸、热浓磷酸和热浓碱外,对大多数酸类、稀碱液及有机溶剂等均耐蚀。用于制造化工管路的玻璃管是硼玻璃和石英玻璃。

(7) 塑料管 常用塑料管有硬聚氯乙烯塑料管、酚醛塑料管和玻璃钢管。

硬聚氯乙烯塑料管具有抵抗任何浓度的酸类和碱类的特点,但不能抵抗强氧化剂,如浓硝酸、发烟硫酸等,以及芳香族碳氢化合物和卤代碳氢化合物的作用。它可用作输送 $0.5\sim 0.6\text{MPa}$ (表压)和 $263\sim 313\text{K}$ 的腐蚀介质,其最高温度为 333K ,若用钢管铠装后,则可输送 $363\sim 473\text{K}$ 的介质。由于塑料的传热性差、热容量小,故可不用保温层。

酚醛塑料管可分为石棉酚醛塑料管(通称“法奥利特”管)和夹布酚醛塑料管两种。石棉酚醛塑料管主要用于输送酸性介质,最高工作温度为 393K ;夹布酚醛塑料管宜于在压力低于 0.3MPa 及温度低于 353K 时使用,最高工作温度为 373K 。

玻璃钢管又叫玻璃纤维增强塑料管。它是以玻璃纤维及其制品(玻璃布、玻璃带、玻璃毡)为增强材料,以合成树脂(如环氧树脂、酚醛树脂、呋喃树脂、聚酯树脂等)为粘结剂,经成型加工而成。玻璃钢管质轻、高强度,耐腐蚀(除不耐 HF 、 HNO_3 和浓 H_2SO_4 外,其他酸类、盐类,甚至碱都可耐)、耐温、电绝缘、隔音、绝热等性能都很优异。为化工厂广泛采用。

(8) 橡胶管 橡胶管能耐酸碱,但不耐硝酸、有机酸和石油产品。橡胶管按结构的不同可分为纯胶小径胶管,如实验室用的胶管;橡胶帆布挠性管和橡胶螺旋钢丝挠性管等。若按用途的不同可分为抽吸管、压力管和蒸汽管等。

橡胶管只能做临时性管路及某种管路的挠性连接,如接煤气、抽水等,但不得作永久性的管路。橡胶管在很多方面被塑料管(如聚氯乙烯软管)所代替。

(9) 衬里管 凡是具有耐腐蚀材料衬里的管子统称为衬里管。工厂里一般常在碳钢管内衬有铅、铝和不锈钢等,还可衬些非金属材料,如搪瓷、玻璃、塑料和橡胶等。衬里管可用于输送各种不同的腐蚀性介质,从而节省不锈钢材料。所以衬里管逐渐获


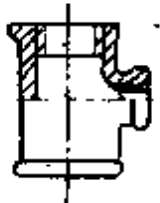
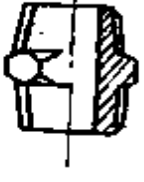
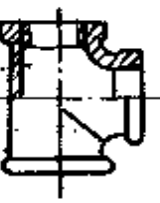
得广泛应用。

2. 管件及管路的联接

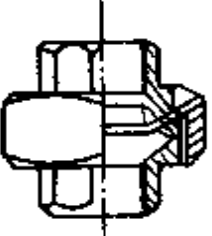
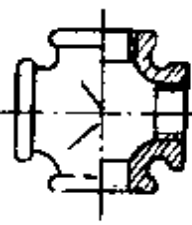

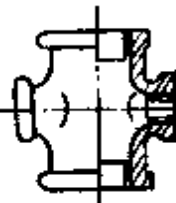



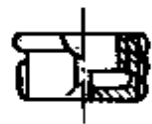

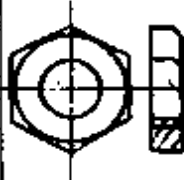
(1) 管件 管件是管路的重要零件,它起着联接管子、变更方向、接出支路、缩小和扩大管路管径,以及封闭管路等作用,有时,同一管件能起到几种作用。目前,工厂所用的管件有下列5种。

① 水、煤气钢管的管件,水、煤气钢管的管件通常采用锻铸铁(白口铁经可锻化热处理)制造而成,要求较高时,可用钢制的管件。这类管件有内螺纹管与外螺纹管接头、活管接、异径管、内外螺纹管接头、等径与异径三通管、等径与异径四通、外方堵头、等径与异径弯头、管帽、锁紧螺母等。其用途见表2-14。

表 2-14 水、煤气钢管的管件种类及用途

种 类	用 途	种 类	用 途
<p>内螺纹管接头</p> 	<p>俗称“内牙管、管箍、束节、管接头、死接头”等。用以联接两段公称直径相同的管子</p>	<p>等径三通</p> 	<p>俗称“T形管”。用于接出支管,改变管路方向和联接三段公称直径相同的管子</p>
<p>外螺纹管接头</p> 	<p>俗称“外牙管、外螺纹短接、外丝扣、外接头、双头丝对管”等。用于联接两个公称直径相同的具有内螺纹的管件</p>	<p>异径三通</p> 	<p>俗称“中小天”。可以由管中接出支管,改变管路方向和联接三段公称直径相同的管子</p>

续表

种 类	用 途	种 类	用 途
活管接头 	俗称“活接头”、“由壬”等。用以联接两段公称直径相同的管子	等径四通 	俗称“十字管”。可以联接四段公称直径相同的管子
异径管 	俗称“大小头”。可以联接两段公称直径不相同的管子	异径四通 	俗称“大小十字管”。用以联接四段具有两种公称直径的管子
内外螺纹管接头 	俗称“内外牙管、补心”等。用以联接一个公称直径较大的内螺纹的管件和一段公称直径较小的管子	外方堵头 	俗称“管塞、丝堵、堵头”等。用以封闭管路
等径弯头 	俗称“弯头、肘管”等。用以改变管路方向和联接两段公称直径相同的管子,它可分40°和90°两种	盲帽 	俗称“闷头”。用以封闭管路
异径弯头 	俗称“大小弯头”。用以改变管路方向和联接两段公称直径不同的管子	锁紧螺母 	俗称“背帽、根母”等。它与内牙管联用,可以看得到的可拆接头

② 铸铁管的管件, 铸铁管的管件已标准化。普通灰铸铁管的管件有弯头(90°、60°、45°、30°及10°)、三通、四通和异径管等。如图2-20所示。管件常采用承插和法兰联接, 以及混合联接。

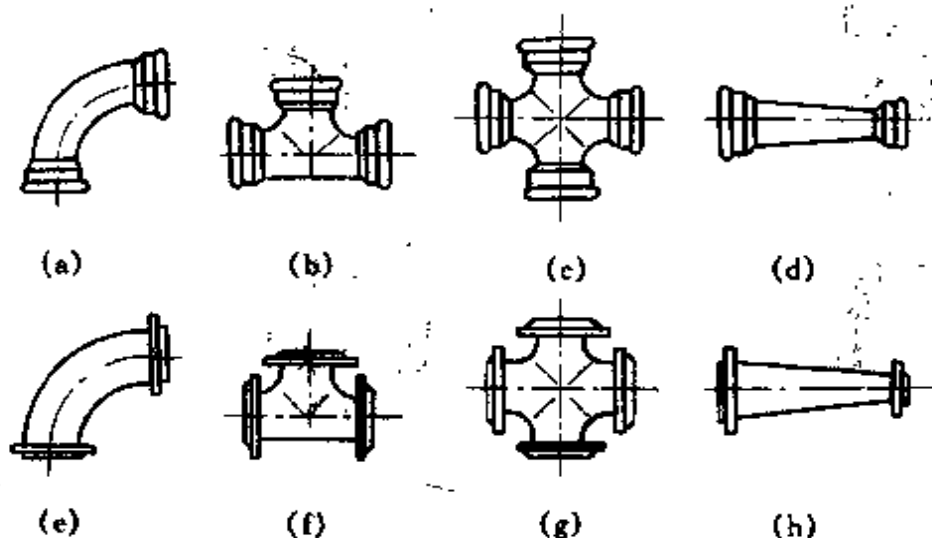


图 2-20 普通铸铁管件

(a) 二承90°弯头; (b) 三承三通; (c) 四承四通; (d) 二承异径管;
(e) 二盘90°弯头; (f) 三盘三通; (g) 四盘四通; (h) 二盘异径管

高硅铸铁和抗氯硅铁管的管件有弯头、三通、四通、异径管、管帽、中继管和嵌环等。如图2-21所示。管件上铸有凸肩, 用于对开式松套法兰联接。

③ 塑料管的管件, 硬聚氯乙烯塑料管的管件可用短段的管子弯曲焊制而成。弯曲时应将所需弯制的管加热至423K。若管径在65mm以下, 而弯曲半径又不小于管径四倍, 则在弯曲时管内不需灌沙。用于0.2~0.3MPa(表压)下输送热液(353~363K)的硬聚氯乙烯管件, 必须进行装铠加强, 以减小硬聚氯乙烯管所受的张力。用钢管装铠的硬聚氯乙烯90°弯头和斜三通

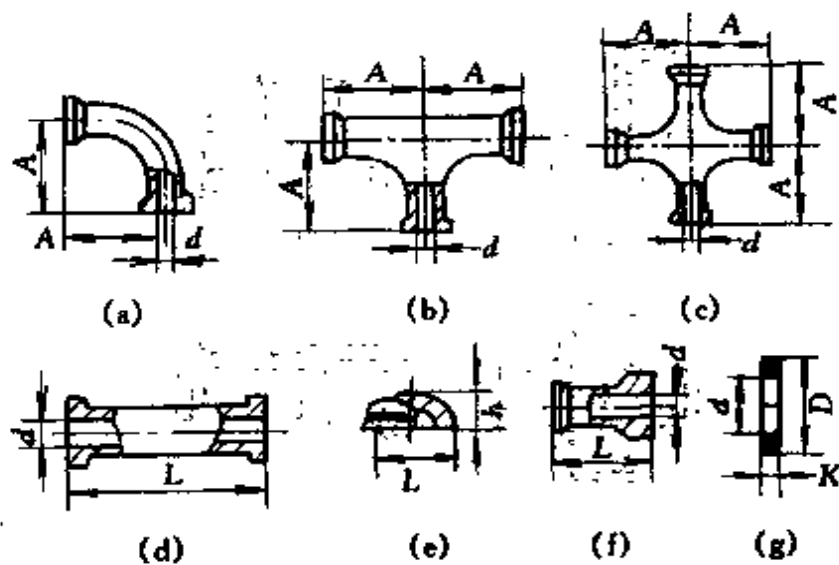


图 2-21 高硅铁管件

(a) 90°弯头; (b) 三通; (c) 四通; (d) 异径管;
(e) 管帽; (f) 中继管; (g) 嵌环

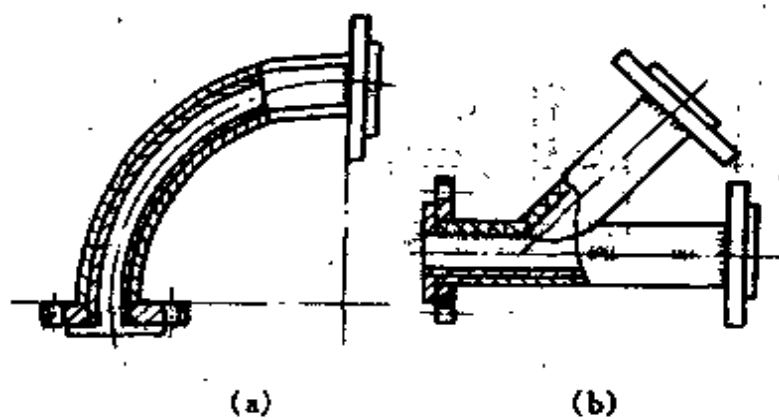


图 2-22 装铠的硬聚氯乙烯管件

(a) 90°弯头; (b) 斜三通

如图2-22所示。

酚醛塑料管的管件已标准化, 图2-23为石棉酚醛塑料管管件, 图2-24为夹布酚醛塑料管的管件。

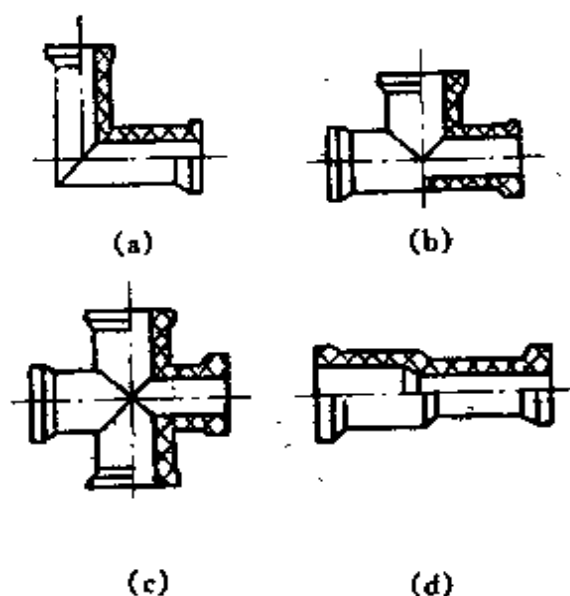


图 2-23 石棉酚醛塑料管件

(a) 90°弯头; (b) 三通;
(c) 四通; (d) 异径管

① 耐酸陶瓷管件, 这类管件已标准化, 常采用的有90°和45°

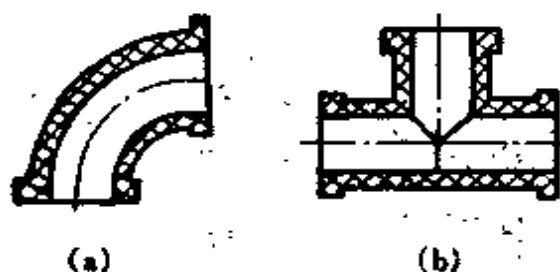


图 2-24 夹布酚醛塑料管件

(a) 90°弯头; (b) 三通

弯头、三通、四通和异径管等, 其形状与铸铁管的管件相似, 它们用法兰联接和承插联接。

⑤ 电焊钢管、无缝钢管的管件, 这类管件尚未标准化, 它们多半采用管子和钢板进行弯曲焊接而成。

对于 $D_g \leq 125\text{mm}$ 以下的钢管, 在工作压力小于0.6MPa(表压), 而又不需拆卸时, 大都不用独立的管件, 而用短管弯曲后直接焊在管路上, 倘若压力较高或需经常拆卸清理时, 则应制成独立的管件, 再用法兰联接在管路上。常见钢管

弯制的管件有90°弯头(肘管)、鸭颈管(S型弯管)、四折管(U形弯管)、和弓形管(Ω 形弯管)。

为了管路安装施工方便,钢管的管件已逐步标准化,并由专门厂家生产。高温高压下工作的钢质管路,多采用锻制管件,一般不在现场制做。

(2) 管路的联接 在化工管路上,管子与管子、管子与阀门,以及管子与管件之间的联接方法,通常有螺纹联接、法兰联接、承插式联接和焊接。

① 螺纹联接,螺纹联接一般用于水煤气管、小直径水管、压缩空气管及低压蒸汽管路。在管端刻出螺纹,即可与各种螺纹管件或阀门相联接。用此法联接,在安装时为了保证密封,需在螺纹上涂上胶合剂。对蒸汽管路可用厚白漆或涂上铅丹的石棉线;对于冷水及空气管路,可用白漆加麻丝,近来用聚四氟乙烯薄膜。联接前先在管端的外螺纹上涂缠填料,其方向与螺纹一致,线头要压紧,否则,在拧上内螺纹的管接头时填料被推掉。

螺纹联接的方式有内牙管、长外牙管和活管联接等。

② 法兰联接又称突缘联接或接盘联接,这是最常用的接管方法,因为它装卸方便,密封可靠,适用的温度、压力与管径范围大,其缺点是费用较高。

法兰的种类很多,且已标准化。法兰在管端固定可分为活动式和固定式两种。固定的方法可锻铸、平焊、螺纹、胀管及铆接等。

在使用时,应根据管子的公称直径和公称压力来选择,如中低压管路上的法兰,多采用焊接式法兰,法兰端面与管子中心线垂直,两个对接的法兰端面互相平行,法兰的密封表面应加工光滑,不允许有辐射方向的沟槽及砂眼。高压管路上的法兰,多为用钢制的螺纹联接法兰,其联接螺纹表面粗糙度为1.6,不应有

伤痕,毛刺和裂纹。

为了使法兰联接处密封,应在两法兰之间加适当的垫(巴金垫),并用螺丝将两法兰拧紧。

③ 承插式联接,承插式联接又称钟栓式联接,是将一管插入另一管端的插套内,再在管端与插套所形成的环状空间内,填入填料,以达到密封的目的。给水管的密封通常是先填入麻绳,再以水泥封固。如果要求严密时,则灌以熔铅后敲实。承插式联接安装较方便,允许各管段的中心线有少许偏差,管路稍有扭曲时,仍能维持不漏。其缺点是难于拆卸,不能耐高压。

④ 焊接联接,焊接法较其他各法方便、便宜、不漏。无论是钢管、有色金属管及聚氯乙烯管均可焊接。特别适用于高压管路和长管路。但经常需拆卸的管段则不能用焊接方法联接。

三、阀门

阀门是用来开启、关闭和控制化工设备和管路中介质流动的机械装置。在生产过程中,或开停车时,操作人员必须按工艺条件,对管路中的流体进行适当调节,以控制其压力和流量,并使流体进入管路或切断流体流动或改变流动方向,在遇到超压状态时,还可以用它排泄压力,确保生产的安全。

1. 阀门的一般知识

(1) 阀门的基本参数 阀门的基本参数为公称压力,公称口径,工作温度和介质的性能。

① 公称压力,阀门的公称压力是指阀门在基准温度下的最大工作压力,以符号 p_g 表示,单位为 MPa。通常选用阀门的公称压力数值,见表2-15。

② 公称口径,阀门进出口通道的直径尺寸称为公称口径,以符号 D_g 表示,单位为 mm。一般情况下,公称口径的数值等于阀门的实际进出口口径,但也有一些阀门,由于结构特点而使实

表 2-15 阀门的公称压力系列表

公称压力, MPa	0.1	0.25	0.4	0.59	1.0	1.6	2.5	3.9	6.3
	10.0	15.7	19.5	24.5	31.4	39.2	49.0	62.7	78.4

际进出口通径不等于公称通径,在选用时应选规定系列中的近似值。常用阀门公称通径见表2-16。

表 2-16 阀门的公称通径系列表

公称通径, mm	3	6	10	15	20	25	32	40
	50	65	80	100	125	150	175	200
	225	250	300	350	400	450	500	600

③ 工作温度,由于制做所用的材料不同,耐温强度也有差异。为了保证安全生产,管路中所用阀门不致在规定的工艺条件下发生变形或破裂,必须规定各种材质阀门的使用温度。灰铸铁阀门的最高使用温度为573K;碳钢阀门的最高使用温度为723K;不锈钢阀门的最高使用温度为873K。

① 适用介质,在化工生产过程中,通过阀门的介质都具有一定的腐蚀性。为了保证生产安全和阀门的使用寿命,所用阀门必须对所接触介质有足够的化学稳定性,因此,选用阀门时必须考虑其材质的耐腐蚀性能,适用于所接触的介质。

(2) 阀门型号 阀门的种类和规格繁多,为了便于选用和识别,对工业管路的阀门进行了统一编号。阀门型号由七个代号组成,其顺序如下。

① 阀门类别代号,阀门类别代号是用阀门名称的第一个汉字的拼音字首表示,如“闸阀”的代号,则用“闸”字的汉语拼音字首“Z”表示。其他阀门代号按表2-17规定;

② 阀门传动方式代号, 阀门传动方式代号用阿拉伯数字表示, 按表2-18规定;

表 2-17 阀门类型代号

阀门类型	代号	阀门类型	代号	阀门类型	代号
闸 阀	Z	蝶 阀	D	安 全 阀	A
截 止 阀	J	隔 膜 阀	G	减 压 阀	Y
节 流 阀	L	旋 塞 阀	X	疏 水 阀	S
球 阀	Q	止 逆 阀	H		

表 2-18 阀门传动方式代号

传动方式	代号	传动方式	代号	传动方式	代号
电 磁 动	0	正 齿 轮	4	气-液 动	8
电磁-液 动	1	伞 齿 轮	5	电 动	9
电-液 动	2	气 动	6		
蜗 轮	3	液 动	7		

③ 连接形式代号, 连接形式代号用阿拉伯数字表示。按表2-19规定;

表 2-19 阀门连接形式代号

连接形式	代号	连接形式	代号	连接形式	代号
内 螺 纹	1	焊 接	6	卡 套	9
外 螺 纹	2	对 夹	7		
法 兰	4	卡 箍	8		

④ 结构形式代号, 结构形式代号用阿拉伯数字表示, 按表2-20规定;

⑤ 阀座密封面或衬里材料代号, 阀座密封面或衬里材料的代号用汉语拼音字母表示, 按表2-21规定;

⑥ 公称压力数值, 公称压力数值按表2-15的规定选取;

⑦ 阀体材料代号, 阀体材料代号用汉语拼音字母表示, 按表2-22规定。

表 2-20 各类型阀门结构形式代号

类型	结构型式			代号	类型	结构型式			代号		
截止 阀与 节流 阀	直 通 式			1	旋 塞 阀	填 料	直 通 式		3		
	角 式			4			T 形三通式		4		
	直 流 式			5			四 通 式		5		
	平 衡	直 流 式		6		油 封	直 通 式		7		
		角 式		7			T 形三通式		3		
闸 阀	明杆	楔式	弹性闸板		0	安 全 阀	封 弹 簧 不 封 闭	带散热片	全启式	0	
			刚性	单闸板	微启式				1		
				双闸板	全启式				2		
		平行式		单闸板	带板手			全启式	3		
		双闸板		双联弹簧							
		单闸板		微启式							
	暗杆	楔式		双闸板			不 封 闭		微启式	7	
		单闸板		全启式					8		
		球 阀		浮动	直通式		1	带控制 机构	微启式	5	
					L 形		三 通		4	全启式	6
T 形	5										
固定	直 通 式		7	脉 冲 式		9					
	蝶 阀	杠 杆 式			0	减 压 阀	薄 膜 式			1	
垂 直 板 式			1	弹 簧 薄 膜 式			2				
斜 板 式			3	活 塞 式			3				
隔 膜 阀	屋 脊 式			1	波 纹 管 式			4			
	截 止 式			3	杠 杆 式			5			
	闸 板 式			7	疏 水 阀	浮 球 式			1		
止 逆 阀 与 底 阀	升 降	直 通 式		1		钟 帽 浮 子 式			5		
		立 式		2		双 金 属 片 式			7		
		旋 启	单 双 多	瓣 瓣 瓣		4	脉 冲 式			8	
	5					热 动 力 式			9		
	6										

表 2-21 阀座密封面或衬里材料代号

密封面或衬里材料	代号	密封面或衬里材料	代号	密封面或衬里材料	代号
铜合金	T	氟塑料	F	衬胶	J
橡胶	X	合金钢	H	衬铅	Q
尼龙橡胶	N	渗氮钢	D	搪瓷	C
锡基轴承合金	B	硬质合金	Y	渗硼钢	P

表 2-22 阀体材料代号

阀体材料	代号	阀体材料	代号	阀体材料	代号
灰铸铁	Z	铸铜	T	1Cr18Ni9Ti 钢	P
可锻铸铁	K	碳钢	C	Cr18Ni12Mo2Ti 钢	R
球墨铸铁	Q	Cr5Mo 钢	I	12Cr1MoV 钢	V

根据上述7个代号, 则阀门型号的编制方法可见图2-25。

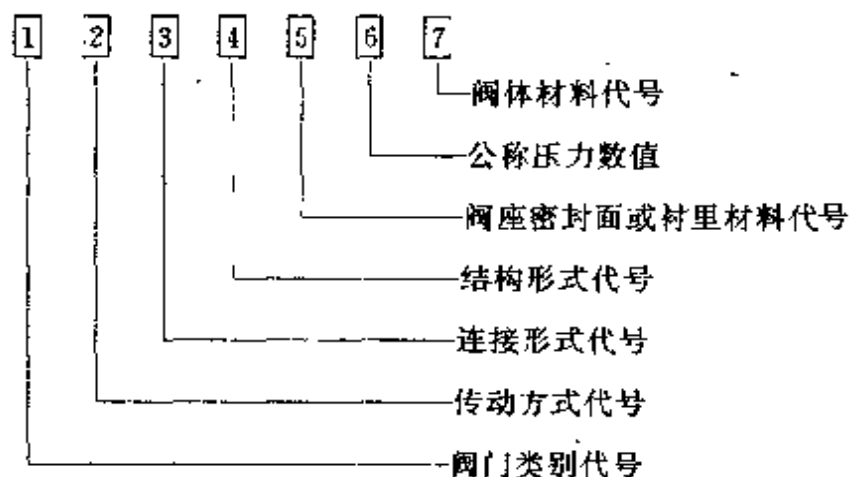


图 2-25 阀门型号的编制方法

例如: 某一阀门的铭牌上写着 Z941T-1.0K, 根据阀门型号编写方法可知: 此阀门为电动机传动, 法兰连接, 明杆楔式单闸

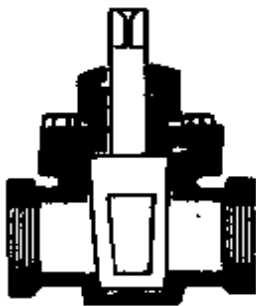

板, 阀座密封面材料为铜合金, 公称压力为1.0MPa, 阀体材料为可锻铸铁的闸阀。

2. 阀门的分类

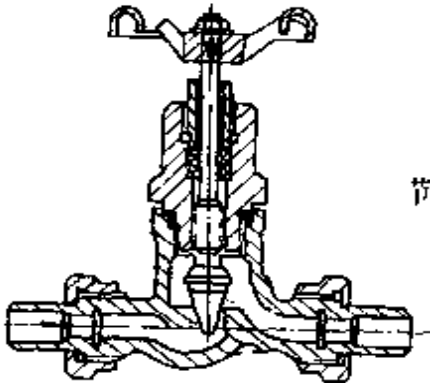
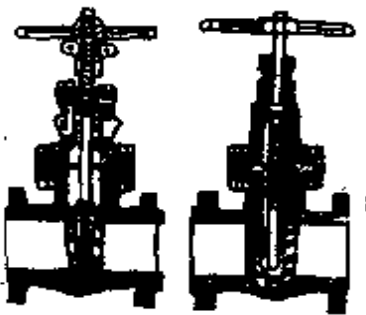
阀门可分为他动启闭阀和自动作用阀两大类型, 在选用时, 其结构与制造材料必须与介质的性质、操作温度与压力, 以及阀门的通径等条件相适应。

(1) 他动启闭阀 他动启闭阀的启动是通过外部作用力来完成的, 作用力可为手动、气动或电动等。他动启闭阀按其结构的不同, 可分为旋塞、截止阀、节流阀、闸阀和气动调节阀等。其用途见表2-23。

表 2-23 他动启闭阀的种类及用途

种 类	用 途
 <p>旋塞, 又叫扣克</p>	<p>用于输送含有沉淀和结晶, 以及粘度较大的物料。适用于直径不大于80mm 及温度不超过273K 的低温管路和设备上, 允许工作压力在1MPa(表压)以下</p>
 <p>截止阀, 又叫球形阀</p>	<p>用于蒸汽压缩空气和真空管路, 也可用于各种物料管路中, 但不能用于沉淀物, 易于析出结晶或粘度较大、易结焦的料液管路中。此阀尺寸较小, 耐压不高, 在工厂中有特殊的应用</p>

续表

种 类	用 途
 <p style="text-align: right;">节流阀</p>	<p>此阀启动时流通截面变化较缓慢, 有较好的调节性能; 不宜做隔断阀; 适用于温度较低、压力较高的介质和需要调节流量和压力的管路上</p>
 <p style="text-align: right;">闸阀, 又叫 闸板阀</p> <p style="text-align: center;">明杆式 暗杆式</p>	<p>用于大直径的给水管路上, 也可用于压缩空气、真空管路和温度在 393K 以下的低压气体管路, 但不能用于介质中含沉淀物质的管路, 很少用于蒸汽管路</p>

(2) 自动作用阀 自动作用阀是由系统中某些参数的变化而自动启闭的阀件。它包括止回阀、安全阀、减压阀和疏水阀等。

止回阀又称止逆阀或单向阀, 是一种依据阀前阀后介质的压力差而自动启闭的阀门。它的作用是使介质只能作一定方向的流动, 阻止流体反向流动。多安装在泵的入口、出口管路上, 蒸汽锅炉的给水管路上, 以及其它不允许流体反向流动的管路上。

安全阀是一种安全保险的截断装置。是根据介质工作压力而自动启闭的阀门。多用于蒸汽锅炉和高压设备。

减压阀的作用是降低设备和管道内介质的压力,使之成为生产所需的压力,并能依靠介质本身的能量,使出口压力自动保持稳定。

疏水阀的作用是能自动地间歇地排除蒸汽管道、加热器、散热器等蒸汽设备系统中的冷凝水,又能防止蒸汽泄出,故又称凝液排除器、阻汽排水阀或疏水阀。

3. 阀门的维护

对阀门的正确使用与维护,是关系到生产平稳和安全操作的问题。

(1) 阀门的维护

① 经常擦拭阀门的螺纹部位,保持清洁和润滑良好,使传动零件动作灵活,无卡涩现象;

② 经常检查填料处有无渗漏。如有渗漏,应适当拧紧压盖螺母,或增添填料,如填料硬化变质,应更换新填料。换填料时要采取安全措施,以防介质喷(溢)出伤人;

③ 对于减压阀要经常观察减压效能,减压值变动大时,应解体检修;

④ 对于安全阀要经常检查是否渗漏和挂污垢。发现后及时解决。并定期校验其灵敏度;

⑤ 当阀门全开后,应将手轮倒转少许,使螺纹之间严紧,以免松动损伤;

⑥ 保持电动装置的清洁和电器接点的严紧。防止汽、水和油污的沾染;

⑦ 露天阀门的传动装置要有防护罩,以防雨、雪和大气的侵蚀;

⑧ 对于逆止阀应经常测听阀瓣或阀芯的跳动情况,以防掉落失效;

⑨ 冬季要检查保温层是否完好。停用阀门要将内部积存介质排净,以防冻坏;

⑩ 阀门的所有零部件应完好无缺。

(2) 阀门的异常现象及处理方法,见表2-24。

表 2-24 阀门异常现象的原因及处理方法

异常现象	发生原因	处理方法
填料函泄漏	1) 压盖松 2) 填料装的不严 3) 阀杆磨损或腐蚀 4) 填料老化失效或填料规格不对	1) 均匀压紧填料,拧紧螺母 2) 采用单圈、错口顺序填装 3) 更换新阀杆 4) 更换新填料
密封面泄漏	1) 密封面之间有脏物粘贴 2) 密封面锈蚀磨伤 3) 阀杆弯曲使密封面错开	1) 反复微开、微闭冲走或冲洗干净 2) 研磨锈蚀处或更新 3) 调直后调整
阀杆转动不灵活	1) 填料压的过紧 2) 阀杆螺纹部分太脏 3) 阀体内部积存结疤 4) 阀杆弯曲或螺纹损坏	1) 适当放松压盖 2) 清洗擦净脏物 3) 清理积存物 4) 调直修理
安全阀灵敏度不高	1) 弹簧疲劳 2) 弹簧级别不对 3) 阀体内水垢结疤严重	1) 更换新弹簧 2) 按压力等级选用弹簧 3) 彻底清理
减压阀压力自调失灵	1) 调节弹簧或膜片失效 2) 控制通路堵塞 3) 活塞或阀芯被锈斑卡住	1) 更换新件 2) 清理干净 3) 清洗干净,打磨光滑

续表

异常现象	发生原因	处理方法
机电机构动作不协调	1) 行程控制器失灵 2) 行程开关触点接触不良 3) 离合器未啮合	1) 检查调节控制装置 2) 修理接触片 3) 拆卸修理

(3) 阀门的修理

① 阀门壳体的损坏原因主要是介质的腐蚀和冲刷。当壳体腐蚀、冲刷部位影响到阀体强度和阀门关闭件的安装时,则必须更换新壳体。如果壳体上的密封面(指阀座)有轻度损坏时,可用光刀和研磨方法修理;若损坏较为严重,则可将密封面堆焊后光刀、研磨。如密封面镶嵌或用螺纹固定在壳体上时,则可更换密封圈或单配密封圈后研磨修复;

② 阀芯是阀门的重要关闭件,由于受到介质的腐蚀和冲刷且启闭频繁,故其密封面容易损坏。常见的是密封平面被腐蚀或冲刷损坏。修理时用堆焊密封面法,而后光刀、研磨修复。对于软密封材料的阀芯,则采用更换的修理办法;

③ 阀杆是伸入介质受腐蚀和冲刷,且又在填料盒内移动受填料摩擦的阀门操纵和控制机构之一,它比较容易损坏。损坏后,一般采用更换办法,对于较大口径阀门的阀杆磨损,可用局部更换、补焊等方法修复。

(4) 阀门的检查试验 修理后的阀门质量,可以用强度试验和密封性试验来检查。强度试验压力为公称压力的1.5倍,阀门强度试验压力可采用1.5倍的实际操作压力。密封性试验压力为公称压力或工作压力。

试验方法:将试验阀门的阀体内灌满水或油,排尽空气后加压至试验压力,在5min内压力不变为之合格。

四、化工管路的保温与涂色

1. 保温材料的种类

化工管路保温;不仅可以减少设备、管路表面的散热或吸热,以维持生产所需的高温或低温,而且可以改善操作条件,维持一定的室温。这对优质稳产、节省能源和维护劳动环境起到积极的作用。

目前,化工管路的保温材料多采用石棉纤维及其混合材料,硅藻土及其混合材料,碳酸镁、蛭石、矿渣棉、酚醛玻璃纤维、聚苯乙烯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料、软木砖和木屑等。对于低温管路,则采用软木(用沥青做粘合剂)和羊毛毡等作保冷材料。

2. 化工管路的涂色

在化工厂及化工生产车间,管路交错,密如蛛网,为了使操作者便于区别各种类型的管路,必须在管路的保护层或保温层表面涂上不同的颜色。工厂里管路上的涂色方法有两种:一是单色,另一种是在底色上添加色圈(通常每隔2m有一个色圈,其宽度为50~100mm)。

常用化工管路涂色如表2-25所示。管路的涂色亦可根据各厂的具体情况自行调整或补充。

表 2-25 常用化工管路的涂色

管 路 类 型	底 色	色 圈	管 路 类 型	底 色	色 圈
过热蒸汽管	红	黄	酸液管	红	红 白 蓝
饱和蒸汽管	红		碱液管	粉红	
蒸汽管(不分类)	白		油类管	棕	
压缩空气管	深蓝		给水管	绿	
氧气管	天蓝		排水管	绿	
氨气管	黄		纯水管	绿	
氮气管	黑		凝结水管	绿	
燃料气管	紫		消防水管	橙黄	

涂色用的颜料有两种,即油漆与硅酸盐颜料。前者涂于包扎类保护层上,后者涂于石棉水泥类保护层上。

第三章 化工生产基本操作技术

第一节 化工生产基本概念

一、化工生产的基本任务及生产特点

1. 化工生产的基本任务

化学工业是我国国民经济的重要基础工业,它与农业、机械、冶金、电子、轻工、医药、运输和国防等工业部门以及人们的吃、穿、用等,都有着密切的关系。化工产品数以万计,有生产资料,也有生活资料,发展化工生产,对发展国民经济和改善人民生活,实现我国“四化”建设起到十分重要的作用。

化工生产的最原始原料是煤、石油、天然气、矿石、空气和水等天然资源及农、林副产品等,这些原料经一系列的化学变化或物理、化学处理,改变其性质、状态和组成,利用有效成分,制得所需的化工原料或化工产品,并获得最大经济效益。因此,化工生产的基本任务:

- ① 研究生产化工原料、化工产品的基本原理和操作过程;
- ② 研究化工生产的工艺流程和最佳的工艺参数;
- ③ 研究生产中所用设备的结构、工作原理及强化生产的方法等。

2. 化工生产的特点

化学工业发展迅猛,产品成千上万且涉及到国民经济的各部门,其原因是与它的生产特点分不开的。

- (1) 原料来源丰富,生产路线多 我国有着丰富的煤、石油

和天然气资源。煤产量已进入世界先进行列,石油遍及祖国各地,以煤、石油和天然气作为化工原料,潜力是很大的。

生产路线多,就是可以用不同原料以不同的生产方法获得同一产品。例如,丁二烯的生产,可以用六种原料(乙醇、乙烯、丙烯、丁烷、丁烯和石油裂解气),采用九种不同的生产方法制得。当然,各地区应根据资料情况、生产技术水平、设备条件,采用不同的生产技术路线,并尽量采用最新的工艺,最新的技术和最简化的流程来生产。

(2) 有联产和副产品产生,综合利用率高 在粗汽油裂解制乙烯的同时,还可以回收大量的有用副产品丙烯、丁二烯和芳烃等,并可以进行全面综合利用。

(3) 技术水平高,集中采用了近代的许多科学技术 在化工生产中,由于化学反应复杂、速度快,并且连续化程度高。许多化工操作是在高温或低温,高压或负压下进行;很多原料、产品是有毒、易燃、易爆、有腐蚀性的。为了确保生产安全、确保产品的产量和质量,必须借助仪表并实现自动化,同时,必须采用新的工艺新技术。

二、化工单元操作及分类

1. 化工单元操作

化工生产的门类很多,有酸、碱、化肥、农药、制药、染料、橡胶等行业。这些行业不仅所用的原料广泛,产品种类繁多,而且生产过程也各不相同。但是,在复杂多样的生产过程中,经过长期的实践,人们发现,每一种化工产品的生产过程,都是运用若干个化工单元操作技术,来处理某些化学反应的原料、产品的过程的总和。化工产品虽成千上万,但化工单元操作只有十几种。它好像拼音文字的字母一样,几十个字母可以组合成无数个字、词和文章,十几种化工单元操作与一些化学反应过程结合,构成

了整个多行业、多品种的化学工业。

在各种化工产品的化工生产过程中,被普遍采用的,且遵循的物理学定律相同,所用设备相似,具有相同作用的基本操作,叫作化工单元操作。例如,制糖工业中糖水浓缩与制碱工业中苛性钠溶液的浓缩,都是通过蒸发这一化工单元操作实现的,操作中共同遵循传热原理,使用相似的蒸发器设备,达到浓缩的目的。又如,液体的输送,在石油化工厂中需要,在染料工业中和其他化工产品的生产中也需,它们都遵循着流体力学的规律,使用泵进行工作,把流体从一个地方送到另一个地方,所以,流体输送是化工厂应用最广泛的化工单元操作之一。但是,不同的化工产品的生产过程中的单元操作有其各自的独特条件和要求。

2. 化工单元操作的分类

目前化工生产中应用较为广泛的化工单元操作,有流体的输送与压缩,非均一相的分离(沉降、过滤)、传热、蒸发、结晶、蒸馏、吸收、萃取、干燥、冷冻和粉碎等。各个化工单元操作之间并不是没有联系,若按各化工单元操作所遵循的基本规律,则可归纳为以下几类。

(1) 动量传递过程的单元操作 包括遵循流体力学原理的一些单元操作,如流体输送、气体压缩,过滤,离心沉降,固体流态化等。

(2) 热量传递过程(简称传热过程)的单元操作 符合物质间热量交换的基本规律的过程,如传热、蒸发、冷却等。

(3) 物质传递过程(简称传质过程)的单元操作 这类过程是符合某种物质的质量从一个相转移到另一个相并遵循传质理论的单元操作,如蒸馏、吸收、萃取和干燥等。

(4) 热力过程的单元操作 遵循热力学原理的一些操作,如冷冻、冷凝等。

(5) 机械过程的单元操作 符合机械力学原理一些操作, 如固体的输送与粉碎、筛选、物料的搅拌等。

三、化工过程的基本规律

对于千变万化的各种化工生产过程, 都可归纳在上述的几个化工基本过程中, 并遵循各自的基本规律, 但这些基本过程又同时遵循着某些共同的规律, 掌握和运用这些过程的共同规律, 是了解和指导生产实践的方法和手段。

1. 物料衡算

根据物质守恒定律, 在一个稳定的生产过程中, 向系统或设备所投入的物料量必等于所得产品量及过程的物料损失量之和。即

$$\sum W_{\text{原}} = \sum W_{\text{产}} + \sum W_{\text{损}}$$

式中 $\sum W_{\text{原}}$ ——投入设备的物料量总和, kg;

$\sum W_{\text{产}}$ ——所得产品量总和, kg;

$\sum W_{\text{损}}$ ——物料损失量总和, kg。

按照这一规律, 对总物料或其中某一组分进行计算, 称为物料衡算。

通过物料衡算, 可以核算化工生产的原料量、产量与损耗量; 确定设备生产能力及其主要尺寸; 判断操作过程进行的好坏和经济效益的评价等。

2. 热量衡算

在化工生产中, 除发生物质变化外, 还伴有能量的变化。在化工设备中所涉及的能量主要表现为热量的变化。根据能量守恒定律, 对于一个稳定的生产过程, 向系统或设备输入的热量等于输出的热量与损失热量之和。即

$$\sum Q_{\text{入}} = \sum Q_{\text{出}} + \sum Q_{\text{损}}$$

式中 $\sum Q_{\text{入}}$ ——输入的热量总和, kJ;

$\sum Q_{\text{出}}$ ——输出的热量总和, kJ;

$\sum Q_{\text{损}}$ ——损失的热量总和, kJ。

按照这一规律对系统或设备进行的计算, 称为热量衡算。

通过热量衡算, 可以核算热量消耗的程度, 确定经济合理的热量消耗方案, 热能综合利用途径及选择最适宜的生产资料等。

3. 过程平衡关系

在化工生产过程中, 固体的溶解, 气体的吸收, 溶液的蒸发等基本操作过程, 都是在一定条件下由不平衡向平衡状态转化, 以达到过程进行的最大限度。例如, 固体的溶解与结晶过程, 在一定条件下, 当某固体的溶解速度与结晶析出速度相等时, 过程达到了平衡, 溶液的浓度不再发生变化。溶解与结晶从表面看似乎停止, 但实质并没有停止, 只是这两个过程处于动平衡状态。当条件发生变化, 则平衡就被破坏, 将会在新的条件下建立起新的平衡关系。

在许多化工生产过程中, 建立过程的平衡关系具有重要的实际意义。一个过程在一定条件下能否进行, 将会进行到什么程度等, 都可以由平衡关系推测。同时, 还可为生产操作条件的选择和改进提供依据。

4. 过程的速率

过程的平衡关系只表明一个过程变化的可能性与极限, 但不能说明过程进行的快慢, 而过程进行的快慢却是工程上更为重要的问题。

单位时间过程进行的变化量, 称为过程速率。它与过程的推动力成正比, 与过程的阻力成反比。例如, 在传热过程中, 单位时间里传递热量的快慢, 则与冷热体的温度差(推动力)成正比, 过程的阻力, 则与过程的性质、操作条件、物性等因素有关。提高过

程的推动力是提高过程速率的基本方法,从而可以能动地掌握过程的进行。

2. 生产中的部分基本概念

1. 成品、半成品、副产品

成品 在生产过程中,原料经过多个工序的处理,最后一个工序所得到的产品叫作成品。

半成品 当原料在经过多个工序的处理过程中,其任意一个中间工序所得到的产品,均可称为半成品或中间产品。

副产品 是指生产过程中附带生产出来的非主要产品,称为副产品。副产品与产品是相对的。主要是根据企业的需要来决定。

2. 转化率、产率、收率和消耗定额

转化率 参加反应的原料量与投入反应器的原料量的百分比叫转化率。它表示原料被转化的程度,转化率的大小,说明参加反应的原料量的多少。转化率越大,参加反应的原料越多,反之则越少。一般投入反应器的原料不可能完全参加反应,因此,转化率就不会为100%。

参加反应的原料量 = 投入反应器的原料量 - 未反应的原料量

转化率可按下式计算:

$$\text{转化率} = \frac{\text{参加反应的原料量}}{\text{投入反应器的原料量}} \times 100\% \quad (3-1)$$

以一次投入反应器的原料量计的转化率,称为单程转化率。原料量的单位为 kg(千克)或 kmol(千摩)。

产率 在规定的生产条件下,会同时发生不同的反应,即主反应和副反应,除得到目的产物外,还有副产物。为了表明反应的实际效果,衡量参加主副反应的原料量之间的关系,通常用产率来表示。

$$\text{产率} = \frac{\text{生成目的产物所消耗的原料量}}{\text{参加化学反应的原料量}} \times 100\% \quad (3-2)$$

原料量的单位为 kg(千克)或 kmol(千摩)。

收率 转化率和产率是从不同角度来表示某一反应的进行情况。转化率仅表示投入的原料量在反应过程中的转化程度,它不表明这些生成物是目的产物,还是副产物。产率只说明被转化的原料中生成目的产物的程度,但不说明有多少原料参加了反应。但在实际生产中,总希望在获得高转化率的同时,也要获得较高的产率。为了描述这两方面的关系,常采用收率这个概念。

$$\text{某产物的收率} = \text{原料转化率} \times \text{目的产物的产率} \times 100\% \quad (3-3)$$

$$\begin{aligned} \text{或 某产物的收率} &= \frac{\text{参加反应的原料量}}{\text{投入反应器的原料量}} \times \frac{\text{生成目的产物所耗原料量}}{\text{参加反应的原料量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{生成目的产物所耗原料量}}{\text{投入反应器的原料量}} \times 100\% \quad (3-4) \end{aligned}$$

在生产过程中,要想获得一种产品,往往要经过几个阶段的操作过程,如反应、分离、精制等。为了说明生产中不同阶段的生产操作情况,常以阶段收率衡量。阶段收率就是生产中各阶段操作程序的收率。而各阶段收率的乘积就是该产品的总收率,简称收率。

消耗定额 所谓消耗定额,就是生产单位产品所消耗的原料量,即每生产1t100%的产品所需要的原料量。

$$\text{消耗定额} = \frac{\text{原料量}}{\text{产品量}} \quad (3-5)$$

工厂中消耗定额包括原料、辅助材料及动力等。消耗定额的高低,说明生产工艺水平的高低及操作技术水平的好坏。高产低耗,才能降低成本。

3. 催化剂及其活性、选择性和使用寿命

在化学反应系统中,如果加入某种物质,改变了反应速度而其本身在反应前后的量和化学性质均不发生变化,则该物质称为催化剂(或触媒),而这种作用称为催化作用。凡催化作用加快反应速度的,称正催化作用;降低反应速度的,称负催化作用(或阻化作用)。

在化工生产中,有80~90%的产品是在不同类型的催化剂作用下生产的。使用催化剂,可以使反应定向进行,并能加速反应,减少副反应,还能使反应条件变得缓和,降低对设备的要求,从而使生产成本降低。可见,在化工生产中使用和选择合适的催化剂具有十分重要的意义。

工业上使用的优良固体催化剂,一般具有活性好、稳定性强、选择性高、寿命长、耐热、耐毒、机械强度高、有合理的流体流动性,并且原料易得,制造方便,无毒性等特点。几个表示催化剂性能的概念如下。

活性 催化剂活性是指催化剂改变反应速度的能力。为什么催化剂能使反应速度增大呢?简单地说,催化剂可以降低反应的活化能,改变反应机理,使它按活化能较小的反应历程进行。

催化剂活性的大小,通常用原料的转化率来间接表示。转化率高,表示催化剂活性好,反之,则活性差。在生产中,有时也用空时得率(或定时得率)来衡量催化剂的生产能力。空时得率是指单位时间内,在单位催化剂(单位容积或单位质量)上所得的产品量。常表示为目的产物千克数/米³催化剂·时 kg/m³·h。

$$\text{空时得率} = \frac{\text{目的产品量}}{\text{催化剂容积(或质量)} \times \text{时间}}$$

选择性 在化学反应中,同一催化剂对不同的化学反应往往表现出不同的活性,同样的反应物在不同的催化剂作用下,结

果也会得到不同的产物。这说明催化剂对化学反应具有选择性, 所表现出的选择性就是催化剂促进化学反应向目的产物方向进行的能力。因此, 常用它来表示催化剂的选择性。

$$\text{催化剂选择性} = \frac{\text{生成目的产物所耗原料量}}{\text{转化的原料量}} \times 100\%$$

使用寿命 催化剂的使用期限, 就是它的寿命。它指的是催化剂从开始使用, 直到经过再生也不能恢复其活性, 达不到生产规定的转化率和产率的指标时为止的这段时间。

催化剂都有它自己的“寿命”, 寿命的长短与生产运转时间及生产操作条件等因素有关。

4. 生产能力和生产强度

生产能力 在采用先进的技术定额和完善的劳动组织等情况下, 设备在单位时间内生产产品的最大可能性。一般以设备的设计能力计算。例如, 泵的生产能力以 m^3/h 表示。

生产强度 生产强度是指设备的单位容积或单位面积(或底面积), 在单位时间内得到的产物量, 常表示为产物 $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。提高生产强度, 可以在同一设备中取得更多的产品。

第二节 化工生产基本操作技术

一、泵的操作技术

在化工生产中, 常用泵把液体从一个设备送至另一个设备, 因此, 输送液体是化工生产中常遇到的操作。

1. 液体输送的基本原理

流体的主要物理量

① **密度** 单位体积流体的质量称为密度。用符号 ρ 表示, 单位为 kg/m^3 , 表达式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3-6)$$

式中 m ——流体的总质量, kg;

V ——流体的总体积, m^3 。

a. 液体密度 液体的密度都与温度、压强有关。但是, 由于液体具有不可压缩性, 压强对液体的密度影响很小, 可忽略不计, 唯有温度影响较大。如 277K 时, 纯水密度为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$, 373K 时为 $958.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。因此, 在选用密度时, 一定要注明温度。

在一定温度下, 被测液体的密度与 277K 时纯水的密度之比, 称为该液体的相对密度。以符号 d_{277}^1 表示, 表达式为:

$$d_{277}^1 = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} \quad (3-7)$$

式中 ρ ——被测液体在 T_K 时的密度, kg/m^3 ;

$\rho_{\text{水}}$ ——纯水在 277K 时的密度, kg/m^3 。

对于液体混合物的密度, 则可用近似公式计算其平均密度。

$$\frac{1}{\rho_{\text{混}}} = \frac{X_{w1}}{\rho_1} + \frac{X_{w2}}{\rho_2} + \dots + \frac{X_{wn}}{\rho_n}$$

式中 $\rho_{\text{混}}$ ——液体混合物的密度, kg/m^3 ;

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ ——液体混合物中各组分单独存在时的密度;
 kg/m^3 ;

$X_{w1}, X_{w2}, \dots, X_{wn}$ ——液体混合物中各组分的质量分率。

b. 气体密度 由于气体具有可压缩性和热膨胀性, 因此, 气体密度随温度和压强的变化而变化。在一般温度和压力下, 可近似地用理想气体状态方程式计算其密度。

由理想气体状态方程式

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT$$

整理

$$p = \frac{mRT}{VM} = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{M} = \rho \frac{RT}{M}$$

则得气体密度为:

$$\rho = \frac{pM}{RT} \quad (3-8)$$

式中 p —— 气体的压力, kPa;

T —— 气体的温度, K;

R —— 通用气体常数, 8.314 kJ/kmol·K;

M —— 气体分子量或千摩尔质量, kg/kmol。

对于混合气体的密度计算, 仍可用(3-8)式, 但应以混合气体的平均分子量或千摩尔质量 $M_{\text{均}}$ 代替 M 。混合气体的平均分子量 $M_{\text{均}}$ 可按下式求得, 即

$$M_{\text{均}} = M_1 X_1 + M_2 X_2 + \cdots M_n X_n \quad (3-9)$$

式中 $M_1, M_2, \cdots M_n$ —— 混合气体中各组分的千摩尔质量, kg/kmol;

$X_1, X_2, \cdots X_n$ —— 混合气体中各组分的摩尔分率(即体积分率)。

② 压强 液体垂直作用于单位面积上的力, 称为流体压力强度, 简称压强。表达式为:

$$p = \frac{F}{A} \quad (3-10)$$

式中 p —— 压强, Pa;

F —— 流体的作用力, N;

A —— 流体的作用面积, m²。

在化工生产中, 由于操作压强变化很大, 为了表示方便, 在压强单位选用时, 常用 MPa(读兆帕)、kPa(读千帕)、mPa(读毫帕)。它们之间的关系为:

$$1\text{MPa} = 10^3\text{kPa} = 10^6\text{Pa} = 10^9\text{mPa}$$

在化工生产操作中, 有的反应需在加压下进行, 有的则需在

负压(真空)下操作。为了能准确测得流体的压强,通常在设备、管路上装有气压表。从气压表上测得的压强数值,并不是设备内流体的真实压强,而是流体的真实压强与外界大气压强之差。流体真实的压强叫绝对压强,简称绝压。从气压表上读得的压强叫表压强,简称表压。它们之间的关系为:

$$\text{绝对压强} = \text{大气压强} + \text{表压强}$$

若操作压力低于大气压时,则采用真空表进行测量,表上的读数称为真空度。如将真空度刻在气压表上,零点两侧分别为表压和真空度,所以真空度又称负表压,简称负压。所测流体绝对压强与真空度之间的关系为:

$$\text{绝对压强} = \text{大气压强} - \text{真空度}$$

应该注意,大气压强是随温度、湿度等条件的变化而变化的,所示大气压强应为当时、当地气压表上的读数。另外,在表示压强值时,必须在单位后注明表压或真空度,若不注明,就表示绝对压。例如5kPa(表压)、95kPa(真空度)等。

③ 流量 单位时间内流体流过某管道任一截面的流体量称为流量。一般以体积流量和质量流量表示。

体积流量是指单位时间内流体流过某管道任一截面的流体体积称为体积流量,即流量。以符号 Q 表示,单位为 m^3/s 。表达式为

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3-11)$$

式中 V —— 单位时间内流体流过某管道截面的流体总体积, m^3 ;

t —— 时间, s 或 h。

质量流量是指单位时间内流体流过管道任一截面的流体质量称为质量流量。以符号 W 表示,单位为 kg/s 。质量流量与体

积流量之间的关系为:

$$W = Q\rho \quad (3-12)$$

① 流速 单位时间内流体在流动方向上所流过的距离称为流速。由于流体在管路截面上各点的流速不一样, 管中心流速快, 靠管壁流速为零。因此, 所指流速为流体在整个管截面上的平均流速。以 u 表示, 单位为 m/s 。表达式:

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{W}{\rho A} \quad (3-13)$$

式中 A ——管道的截面积, m^2 。

对于圆形管道, 若内径以 d 表示, 则管的横截面积 $A = \frac{\pi}{4} d^2$, 代入式(3-7)中, 则得

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi u}} \quad (3-14)$$

由式(3-14)可知, 当流体流量一定时, 流速大, 所需管径小, 可以节省管材, 减少设备费用, 但流体的摩擦损失增加, 动力消耗增大, 操作费用增加。因此, 选择最适宜的流速尤为重要。根据生产经验, 某些流体的常用流速范围如表3-1所示。

表 3-1 某些流体在管路中常用流速

流体种类	流速范围 m/s	流体种类	流速范围 m/s
水及一般液体	1~3	饱和水蒸汽:	
粘性液体(浓 H_2SO_4 油类)	0.5~1	0.3kPa(表)	20~40
常压下一般气体	10~20	0.8kPa(表)	40~60
压强较高的气体	15~20	过热蒸汽	30~50

⑤ 位能 流体质量中心距某一基准面而具有的能量称为位能。通常把基标面以上的位能为正值, 基标面以下的为负值。

表达式为:

$$E_{\text{位}} = mgH \quad (3-15)$$

式中 $E_{\text{位}}$ —— 位能, $\text{N} \cdot \text{m}$ 或 J ;

m —— 流体质量, kg ;

H —— 距离基准面的高度, m 。

1 牛顿流体的位能称为位压头。

$$\text{位压头} = \frac{mgH}{mg} = H(\text{m})$$

⑥ 动能 流体以一定的流速而具有的能量称为动能。表达式为:

$$E_{\text{动}} = \frac{1}{2}mu^2 \quad (3-16)$$

1 牛顿流体的动能称为动压头。

$$\text{动压头} = \frac{\frac{1}{2}mu^2}{mg} = \frac{u^2}{2g}(\text{m})$$

⑦ 静压能 由于流体具有一定的静压强而具有的能量称为静压能。表达式为:

$$E_{\text{静}} = m \frac{p}{\rho} \quad (3-17)$$

1 牛顿流体的静压能称为静压头。

$$\text{静压头} = \frac{\frac{mp}{\rho}}{mg} = \frac{p}{\rho g}(\text{m})$$

⑧ 损失能量 流体在流动时, 由于分子间存在内摩擦和流体与管壁间的摩擦, 因而要消耗一部分能量, 这部分能量转化为热能并通过管壁而散失。这部分能量作为流体向外界输出的能

量统称为系统损失能量。1牛顿流体在流动中因摩擦阻力而损失的热能称为损失压头,以符号 $h_{\text{损}}$ 表示,单位为 m。

⑨ 外加能量(功) 在流体输送系统中,流体从泵获得的外加能量称为外加能量或外加功。单位质量流体所获得的外加能量称为外加压头,以符号 H_e 表示,单位为 m。

⑩ 稳定流动的连续性方程 单位时间的流体流进管子的质量(m_1),一定等于单位时间内流出管子的流体质量(m_2),即 $m_1 = m_2$ 或

$$A_1 u_1 \rho_1 = A_2 u_2 \rho_2 \quad (3-18)$$

若在总管线分出若干个支管线,则总管内流体流量为各支管内流体流量之和,即

$$m_{\text{总}} = m_1 + m_2 + \cdots m_n \quad (3-19)$$

式(3-18)和(3-19)均为稳定流动的连续性方程式,是研究流体流动时的重要方程式之一。

当流体为同一流体时, $\rho_1 = \rho_2$, 则式(3-18)可改写为:

$$A_1 u_1 = A_2 u_2 \quad (3-20)$$

对于圆形管子, $A = \frac{\pi}{4} d^2$, 则式(3-20)又可改写为:

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \quad (3-21)$$

从式(3-21)可知,流体在圆形管内作稳定流动时,流速与导管直径的平方成反比。当管径缩小一倍,其流速增加4倍。

⑪ 流体静力学基本方程式 流体处于静止状态时,内部各点所受到的压强是不一样的,其变化规律是符合以下方程:

$$p_2 = p_0 + \rho g h \quad (3-22)$$

式中 p_2 ——流体内部任意点处的压强, kPa 或 MPa;

p_0 ——作用在液面上的压强, kPa 或 MPa;

ρ —— 液体的密度, kg/m^3 ;

h —— 液面距液体内部作用点的距离, m ;

g —— 常数, $9.81\text{m}/\text{s}^2$ 。

式(3-17)称为流体静力学基本方程式, 它表明了静止流体内部压强的变化规律为:

a. 静止液体中任意一点的压强与液体的密度、深度有关, 流体的密度越大, 深度越深, 则该点的压强越大。

b. 静止液体内, 从各个方向作用于某一点的力都相等; 同一水平面上各点所受流体静压强也相等。这个压强相等的水平面称为等压面。

c. 当液体内部任一点的压强或液体上方的压强发生变化时, 则液体内部其他各点的压强也将发生同样大小的变化。即作用于液体任一点处的压强, 能以大小不变地传递到流体内各质点。

在化工生产中的某些生产装置和测量仪表的制做, 都是根据流体静力学方程式而确定的, 如玻璃管液位计、液柱压差计和U形管液柱压强计等。

⑫ 实际流体的能量守恒原则——实际流体的柏努利方程式 根据能量守恒原则可知, 进入某段管路的机械能等于离开该段管路的机械能。即

$$\text{输入总能量} = \text{输出总能量}$$

或 输入能量 + 外加能量 = 输出能量 + 能量损失

若在流体输送系统中, 如流体在1-1和2-2截面间装有泵。其中心离基标面水平高度分别为 H_1 和 H_2 。流体在1-1和2-2处的流速和压强分别为 u_1, u_2 和 p_1, p_2 , 流体密度为 ρ , 1牛顿流体在1-1截面处流入时带入的能量为 E_1 , 外加能量为 E_L , 从2-2截面带出的能量为 E_2 , 流动中损失的能量 $h_{\text{损}}$, 则根据能量守恒原则得

到:

$$E_1 + E_c = E_2 + h_{\text{损}}$$

$$\text{或} \quad H_1 + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = H_2 + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{损}} \quad (3-23)$$

式(3-23)称为流动的实际流体机械能衡算式,习惯上称为柏努利方程式。它表明流动流体能量间的关系和流动规律。

在化工生产中,利用柏努利方程式来测定流体流速和流量,测量泵的安装高度和泵的扬程等。

2. 离心泵的安装技术

(1) 离心泵安装高度的确定 离心泵的吸入口中心与吸入贮槽液面间允许的最大垂直距离,称为允许安装高度或吸入高度。

离心泵的安装高度是有限的。泵之所以能吸入液体,是靠贮槽液面及吸入口处的压强差,即吸入压差。差值越大,泵的安装高度就越大,反之,则越小,当贮槽液面压强一定时,若要提高泵的安装高度,就得降低泵入口处的压强。如果泵的安装高度提至某一限度,泵入口处的压强降到恰等于该泵吸送液体温度下的饱和蒸气压,这时,泵将发生“汽蚀”现象。于是,引起泵体震动,并发出噪音,使流量和扬程都降低,严重时影响正常操作。为了防止这种情况,泵入口处的压强必须大于吸送液体温度下的饱和蒸气压。

泵的安装高度(即不产生“汽蚀”现象时的吸入压差,即泵的允许吸上真空度,以符号 $H_{\text{允}}$ 表示,单位为 m)。由泵制造厂试验确定,可从泵样本中查到。若考虑流体在吸水管路中的压头损失($h_{\text{损}}$),则泵的最大安装高度 $H_{\text{大}}$ 为:

$$H_{\text{大}} = H_{\text{允}} - h_{\text{损}} \quad (3-24)$$

为了保证泵的安全运转,不发生汽蚀现象,泵的实际安装高度,往往要比计算得到的安装高度低 0.5~1m。

必须知道, 泵样本所给的 $H_{\text{允}}$ 值, 是指吸送293K的清水, 液面压强为98.07kPa时的数值。若输送其他液体, 液面压强有变化, 则允许吸上真空高度 $H_{\text{允}}$ 需按下式进行校正:

$$H'_{\text{允}} = H_{\text{允}} - 10 + 0.24 + \left(\frac{P - p_{\text{饱}}}{\rho g} \right) \quad (3-25)$$

式中 $H'_{\text{允}}$ ——按使用条件校正后的允许吸上真空高度, m;

$H_{\text{允}}$ ——从泵样本查得的允许吸上真空高度, m;

P ——在使用条件下贮槽液面的压强, Pa;

$p_{\text{饱}}$ ——在使用条件下吸送液体的饱和蒸汽压, Pa;

ρ ——在使用温度下吸送液体的密度, kg/m³;

g ——重力加速度, 9.81m/s²。

(2) 离心泵的安装 离心泵泵体的安装步骤如下:

① 离心泵泵体的吊装 对于小型泵, 可用2~4人将泵抬放到机座上; 对于中型泵, 可利用拖运架和滚杠, 将泵在斜向上进行滚动; 对于大型泵, 可利用人字木起重架进行吊装, 亦可用单木起重杆和其他滑轮组配合进行起吊, 还可用起重机械直接吊装。在吊装泵时, 应将吊索捆绑在泵的下部, 不得捆绑在轴或轴承上。

② 离心泵泵体的测量和调整 泵体的测量与调整, 包括找正、找平及找标高。

a. 找正。找正就是找正泵体的纵横中心。泵体的纵向中心线是以泵轴中心线为准; 横向中心线以出口管的中心线为准。在找正时, 要按照已装好的设备中心线(基础中心线)来进行测量和调整, 使泵体的纵横中心线符合图纸尺寸的要求, 允许偏差在±5mm, 并与其他设备很好地联接。

b. 找平。调整泵体的水平是用精度为0.05mm/m的方水平仪, 在泵体前后两端的轴颈上进行测量。调整水平时, 是在泵体

支脚与机座之间加薄铁片,以达到水平(允许偏差为 $0.5\sim 0.3\text{mm/m}$)。

c. 找标高。标高是以泵轴的中心线为准。找标高一般用水准仪来测量。

调整标高时,也是用薄铁片在泵体支脚与机座之间来调整。泵轴中心标高的允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

泵体的中心线位置、水平度和标高找好后,便可拧紧泵体与机座的连接螺栓,而后再用水平仪检查其水平度,如无变化,便可进行电动机的安装。

(3) 电动机的安装 安装电动机的主要工作,就是把电动机轴的中心线调整到与泵轴的中心线在一条直线上。

离心泵轴与电动机的轴用半联轴器连接,连接时在两轴之间必须有轴向间隙,以防止离心泵轴或电动机轴相互窜动而影响转动。因此,轴向间隙一般要大于离心泵轴和电动机轴的窜动量之和。通常图纸上有规定,如图纸上无规定,可按下列数字调整。

小型离心泵: $2\sim 4\text{mm}$;

中型离心泵: $4\sim 5\text{mm}$;

大型离心泵: $4\sim 8\text{mm}$ 。

3. 离心泵的试车技术

(1) 试车前的检查及准备 为了保证离心泵在试车时的安全,试车前必须进行认真地检查与准备。

① 检查泵体及出、入口管线、阀门、法兰、地脚螺丝、电机与泵之间的连接螺丝和泵轴承螺钉是否拧紧。

② 检查离心泵与电动机联轴器是否接好,用手搬动联轴器几圈(称盘车),观察泵轴转动是否灵活,有无不正常响声。

③ 检查轴承内润滑油量,按操作规定加注润滑油。常用离

心泵轴承润滑油如表3-2所示。

④ 检查轴向密封填料(盘根)是否压紧, 通往轴封中水封环内的管路是否已连接好。

⑤ 检查轴承水冷却夹套是否连接好, 并通上冷却水, 检查其循环系统是否畅通。

⑥ 检查各测量仪表是否灵敏。

⑦ 准备必要的修理工具及备品, 如螺丝扳子、填料、垫料及管路、法兰间的垫圈等。

(2) 试车步骤

① 关闭排出管上的出口阀。

② 向泵内注水或其他被输送液体, 排除泵空气直至泵壳顶部的排气嘴有水冒出为止。对于小型离心泵, 水或被输送液体可直接从泵体上的漏斗注入, 而大型离心泵, 则需开动附设的真空泵, 把泵内空气抽出造成负压, 使液体由进口的单向阀(底阀)进入泵内。

③ 启动电动机, 当电动机达到正常转速后, 逐渐打开出口阀, 并调节流量。

(3) 试车可能出现的异常现象及处理方法 列于表3-3。

表 3-3 离心泵使用的异常现象

序号	异常现象	原 因	处 理 方 法
1	轴承温度过高	1) 轴承间隙不合适 2) 轴承研配不好或润滑不良	1) 调整轴承间隙 2) 更换轴承或换润滑油

续表

序号	异常现象	原因	处理方法
2	进口真空度下降	1) 管路法兰连接不严而吸入空气 2) 轴封不严密漏气	1) 拧紧螺栓或更换新垫圈 2) 拧紧螺栓
3	出口压力下降	叶轮与密封之间的径向间隙增加	更换密封环, 必要时拆泵检查

在试车时, 如果轴承温度、进口真空度和出口压力都符合要求, 且泵在运转时振动很小, 则认为整个泵的安装质量合格, 即可正式投入生产。

离心泵试车后, 应将安装记录文件及图纸存档。

4. 离心泵的启动及停车技术

(1) 离心泵的启动步骤

- ① 检查各个连接部分的螺栓是否松动。
- ② 检查泵的转动部分是否灵活, 有无摩擦和卡死现象。
- ③ 检查轴承的润滑油量是否够, 油是否干净。
- ④ 向泵内灌满被输送液体, 将泵及管道内的空气排净。
- ⑤ 检查轴封装置密封腔内是否充满液体, 防止泵在启动时轴封装置干磨而烧损。
- ⑥ 检查出入口管线、阀门、法兰及各测量仪表。
- ⑦ 关闭出口阀、压力表旋塞及真空表旋塞。
- ⑧ 启动电动机并打开压力表的旋塞, 待泵正常转速转动后, 打开吸入管上真空表的旋塞。
- ⑨ 当电动机运转正常后, 缓慢打开出口阀, 并根据需要调节流量。不得用入口阀调节流量, 否则易发生抽空。关闭出口阀连续运转不得超过3min, 否则, 因泵内液体温度升高而造成抽空。

⑩ 检查泵进出口压力表及电流表指示是否正常。

(2) 离心泵停车步骤

① 停泵时先关闭出口阀。

② 关闭真空表的旋塞。

③ 切断电动机电源。

④ 关闭压力表旋塞。

⑤ 关闭进口阀,排净泵内液体。

⑥ 如切换泵停车,应先启动备用泵,慢慢开大出口阀,慢慢关小被切换泵的出口,直至被切换泵出口阀完全关闭,尽量减少因切换而引起的流量波动。

⑦ 泵冷却后,停冷却水及密封液系统。若此泵长期停用,应拆开并将零件上的液体擦干,涂上防腐油,妥善保存。

5. 离心泵的流量调节操作技术

(1) 流量的手动调节

① 开大或关小出口阀,并记录在不同开度情况下的流量,然后计算出口阀手轮旋转一周流量的变化值,从而掌握出口阀的开度与流量的关系。在调节流量时,同时记录下真空表和压力表的读数,分析真空度或压力与流量的关系。

② 预先确定4~5个流量值,调节出口阀将流量调至规定值。

(2) 认识离心泵装置中自动调节系统所用的各种仪表和作用
离心泵装置中自动调节系统所用的仪表有电动差压变送器、电动调节器和气动薄膜调节阀。自动调节流量是变送器将孔板流量计测量的流量信号送给调节器,调节器将测量值与规定值相比较,给气动薄膜调节阀发出开大或开小的命令,从而达到调节流量的目的。

(3) 列举 DTL-121型调节器面板各仪表的作用及使用方法

DTL-121型调节器面板布置如图3-1所示。生产上需要的给定值,由内给定拨盘5预先放在给定位置。给定值与测量值的偏差由偏差指针4显示出来。在仪表投运时,操作过程如下:

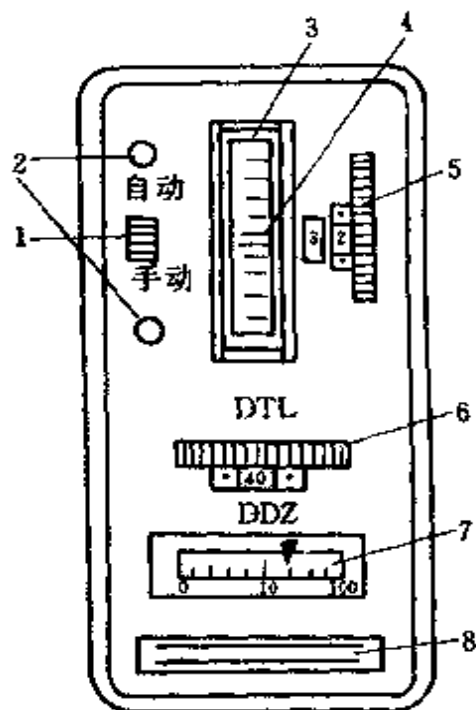


图 3-1 DTL-121型调节器面板布置图

1—手动-自动切换开关; 2—指示灯; 3—指示表; 4—偏差指针; 5—内给定拨盘; 6—手操拨盘; 7—输出指示表; 8—拉手

把手动-自动切换开关1置于手动位置,拨动手操拨盘6,可以直接控制调节阀,输出大小(即阀的开度)可由输出指示表7看出(给定值已放在给定位置)。当偏差指示针4指正中的位置时,表示调节正常。因此,手动操作就是依靠人工拨动手操作盘的办法,由调节器发出信号,来直接控制(开大或关小)调节阀。在手动操作过程完成后,就可投入自动操作。在投入自动操作前,先将给定值放在给定位置,同时偏差指针4指向正中位置,这时,可以把手动-自动切换开关1拨向自动,再把手操拨盘6的读数拨到零,即可实现自动调节。由于自动跟踪装置的作用,“自动”输出的电流能自动跟踪

“手动”输出电流的大小,所以在手动切换向自动时,便能实现无扰动一步切换。

在实现自动调节时,若测量值与给定值出现偏差,调节器可自动发出信号,开大或关小调节器。当需要从自动又切换到手动时,应首先调整拨盘6,使拨盘上的值与输出表上的值相等,再把

切换开关拨向手动,即完成切换过程。

(4) 流量的自动调节

① 将流量给定值放在给定位置上。

② 把手动-自动切换开关1置于手动位置,拨动手操盘6,将系统中调节阀关闭。

③ 启动离心泵。

④ 拨动手操盘6,将调节阀逐渐打开,并将流量调节到规定的范围。此时泵的流量可由输出压力表显示出来。当调节器面板上的偏差指示针4指向正中位置时,表示手动调节正常。

⑤ 将手动-自动切换开关1拨向自动位置,把手操盘6的读数拨到零,即实现流量自动调节。

⑥ 将系统装置中旁路调节阀逐渐打开(或关闭),观察自动调节系统的动作过程和流量变化情况。

⑦ 调整手操盘6,使拨盘上的数值与输出表上的值相等,再把切换开关1拨向手动,这样又从自动切换到手动。

⑧ 在手动操作条件下,拨动手操盘6,观察调节阀的动作过程和流量变化。

⑨ 拨动手操盘6,将调节阀关闭,切断电动机电源,停泵。

6. 离心泵运转时的维护

① 检查离心泵轴承温度,不超过348K。

② 检查电动机的温升,不能超过规定的温升值。

③ 检查填料是否滴漏,调整填料压盖的松紧程度,使液体呈滴状从填料函中滴漏出来。对于机械密封,应检查密封部位温升是否正常,若有轻微泄漏现象,待运转一段时间后,密封端面经研磨将贴合得更加紧密,泄漏量将逐渐减小,如果运转1~2h后,泄漏量仍不减少,则需停车检查。

④ 检查泵出口压力表和入口真空表指示是否正常。

⑤ 定期更换润滑油。稀油在运转500h 后更换1次, 黄油每运转2000h 更换1次。

⑥ 运转过程中定期检查有无振动、声响。

⑦ 离心泵运转2000h 后, 应进行定期检修, 更换磨损件。

7. 离心泵操作中异常现象及处理方法(见表3-4)

表 3-4 离心泵发生的故障及排除方法

异常现象	原 因	处 理 方 法
泵体振动 有杂音	1) 泵与电机轴中心不正 2) 地脚螺丝松动 3) 产生汽蚀现象 4) 轴承损坏 5) 泵轴弯曲 6) 叶轮磨损或阻塞, 造成叶轮不平衡	1) 停泵校正 2) 拧紧地脚螺丝 3) 降低吸液高度, 排除产生汽蚀原因 4) 停泵检修, 更换轴承 5) 停泵检修 6) 清洗叶轮并进行平衡找正
轴承发热	1) 泵轴与电机轴不同心 2) 润滑油不良或油量不足 3) 冷却水不足 4) 轴承损坏 5) 轴承弯曲或联轴器不正	1) 停泵校正 2) 更换或添加润滑油 3) 给足冷却水 4) 停泵更换轴承 5) 矫正或更换泵轴, 找正联轴器
机械密封 或填料密封 泄漏	1) 使用时间过长, 动环磨损或填料失效 2) 输送介质有杂质, 动环磨损	1) 停泵检修, 更换机械密封或填料 2) 停泵检修, 更换机械密封, 泵吸入管道加滤网
电机温度 过高	1) 绝缘不良 2) 超负荷, 电流过大 3) 电压太低, 电流过大 4) 电机转轴不正	1) 停泵检修 2) 停泵检修 3) 泵降运转 4) 停泵检修
电流过大	1) 超负荷, 泵流量过大 2) 电机潮湿, 绝缘不好	1) 降量, 换电机 2) 停泵检修

续表

异常现象	原 因	处 理 方 法
泵抽空, 不上量	1) 启动时泵未灌满液体 2) 泵轴反向转动 3) 泵内漏进气体 4) 吸入管路堵塞或仪表漏气 5) 吸入容器液面过低 6) 底阀漏水	1) 重新灌泵 2) 重新接电机导线, 改变旋转方向 3) 停车检修, 重新灌泵 4) 停车检查, 排除故障 5) 提高吸入液面 6) 修理或更换底阀
流量下降	1) 转速降低 2) 叶轮堵塞 3) 密封环磨损 4) 漏进气体 5) 排出管路阻力增大	1) 检查电压是否太低 2) 停泵检修, 清洗叶轮 3) 停泵检修, 更换密封环 4) 检查管路, 压紧或更换填料 5) 检查所有阀门及管路中可能堵塞之处
泵出口压力过高	1) 输出管路堵塞 2) 压力表失灵	1) 检查管路, 排除故障 2) 更换压力表

二、压缩机的操作技术

在化工生产中, 气体的输送和压缩是一种常见的操作。例如, 输送原料气; 压缩气体; 提高操作气体压力等。用来提高气体压力与输送气体的机械称为压缩机。按其工作原理和结构的不同, 则可分为往复式、离心式和轴流式等类型, 目前往复式压缩机广为采用, 离心式压缩机也越来越多地被应用于化工生产中。

1. 往复式压缩机操作技术

(1) 往复式压缩机实际工作循环 往复式压缩机主要由气缸、活塞、吸气阀、排出阀和联动机构(曲柄、连杆等)等部件组成, 如图3-2所示。

单级单动往复式压缩机的工作循环过程是经过吸气、压缩、排气和膨胀四个阶段。当活塞向右移动时, 气缸的工作容积逐渐

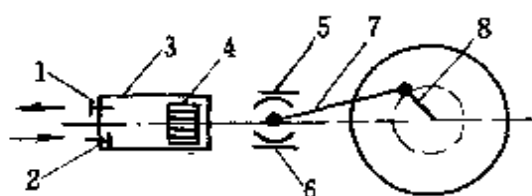


图 3-2 单动往复式
压缩机示意图

1—排气阀；2—吸气阀；3—气缸；
4—活塞；5—滑道；6—十字头；
7—连杆；8—曲柄

增大,缸内压强随之下降,当压力稍低于进气管中的气体压强时,则进气管中的气体顶开吸气阀,气体从缸外经吸气阀被吸入气缸。活塞不断移动,气体不断吸入,直到活塞移至右边末端(称右死点)为止。这一过程为吸气阶段。

当活塞由右死点向左移动时,缸内气体被压缩,随着活塞继续向左移,缸内气体体积不断缩小,气体压强不断升高,直到气缸内气体压强等于排气管内气体压强为止。此过程为压缩阶段。

当活塞再继续向左移动,气缸内的气体压强升高到稍大于排气管中的气体压强时,排气阀被顶开,缸内气体开始进入排气管中,活塞继续左移,缸内气体继续排出,体积减少,而压强保持不变,直到活塞达到左边末端(称左死点)为止。此过程为排气阶段。

当活塞达到左死点时,气缸内体积就是活塞气缸盖之间的余隙。余隙内残留高压气体,随活塞的向右移动而逐渐膨胀,同时压强也逐渐下降,直至等于进气管中的压强为止。这一过程称为气体膨胀阶段。在膨胀阶段里,吸气阀处于关闭状态。

由于活塞在气缸内不断地往复运动,气体便不断循环地被吸入与排出。活塞在气缸中往复1次,称为一个循环,每往返1次所移动的距离称冲程。

(2) 往复式压缩机的主要参数

① 排气量 压缩机的排气量就是在单位时间里气缸排出的气体量。压缩机的排气量就是它的生产能力或送气量,其单位

为 m^3/s 。

压缩机规定的吸入状态下的气体量,一般标在铭牌上,若实际操作时的气体吸入量不符合铭牌上标出量时,则需进行校正。理论吸气量可按下式计算。

$$Q_{\text{理}} = 0.785 D^2 \cdot s \cdot f \quad (3-26)$$

式中 $Q_{\text{理}}$ ——理论吸气量, m^3/s ;

D ——活塞直径, m ;

s ——活塞的冲程, m ;

f ——活塞往复运动的频率, Hz 或 $1/\text{s}$ 。

在实际生产中,压缩机的实际排气量要比理论排气量小,应为理论排量乘以小于1的系数,即

$$Q_{\text{实}} = \lambda Q_{\text{理}} \quad (3-27)$$

式中 $Q_{\text{实}}$ ——实际排气量, m^3/s ;

λ ——送气系数,一般为 $0.7 \sim 0.9$ 。对于新压缩机,终压 $< 981 \text{kPa}$ 时, $\lambda = 0.85 \sim 0.95$; 终压 $> 981 \text{kPa}$ 时, $\lambda = 0.8 \sim 0.9$ 。

② 压缩比 气体的出口压强(即排气压强)与进口压强(即吸气压强)之比叫压缩比,即

$$\epsilon = p_2 / p_1 \quad (3-28)$$

式中 ϵ ——压缩比;

p_2 ——气体出口压强, Pa ;

p_1 ——气体进口压强, Pa 。

压缩比的大小,表示气体受压缩程度的高低。压缩比越大,气缸出口压和排气温度也都相应升高。

③ 排气温度 气体经压缩后排出的绝对温度称为排气温度。它总是高于吸气温度,其升高的程度,不仅与压缩比有关,而且与过程的性质有关。

压缩机的排气温度不能过高, 否则会使润滑油粘度降低, 导致传动部件间的磨损加剧, 严重时, 会使润滑油因受热分解以至碳化, 迫使压缩机停止动转。

④ 功率 物体在单位时间内所做的功称为功率。气体被压缩时, 由于外力做功而使气体温度和压力都相应得到增高。气体的温度、压力升得越高, 压缩比越大, 所耗的功也越大, 反之, 压缩比越小, 消耗的功越小。

实际生产中, 为了降低功耗, 采用冷却压缩机的气缸和压缩气体, 冷却效果越好, 压缩机的功耗也就越少。

⑤ 多级压缩 所谓多级压缩, 就是由若干个气缸将气体分级逐渐压缩到所需的压力。每压缩1次, 称为1级, 在每台机器里连续压缩的次数, 就是级数。在每级气缸后设有中间冷却和油水分分离器, 以冷却每级压缩后的气体和分离气体夹带的润滑油和水, 从而降低压缩过程的动力消耗。

在生产中采用多级压缩, 可以降低压缩机所需的功率; 可以避免压缩后气体温度过高; 可以提高气缸的容积系数, 提高压缩机的生产能力; 可以节省设备部件的制造费用, 降低成本和制做上的困难。一般往复式压缩机为2~5级, 不超过7级。

(3) 往复式压缩机的装置操作技术 往复式压缩机装置流程(以 L2-10/8- I 型为例)如图3-3所示。

① 装置工作过程 L2-10/8-I 型空气压缩机为二级双缸复动式压缩机, 主要由机身、曲柄连杆机构、活塞和两气缸等部件组成。两个气缸互成直角, 一级气缸4垂直于地面, 二级气缸5与地面平行, 每个气缸内有两个吸入阀和排出阀, 活塞每往复1次, 有两次吸入和两次排出过程。两气缸中的活塞是靠十字头、连杆与曲轴连接, 当电动机旋转时, 联轴器带动曲轴, 使活塞作往复运动而压缩气体。

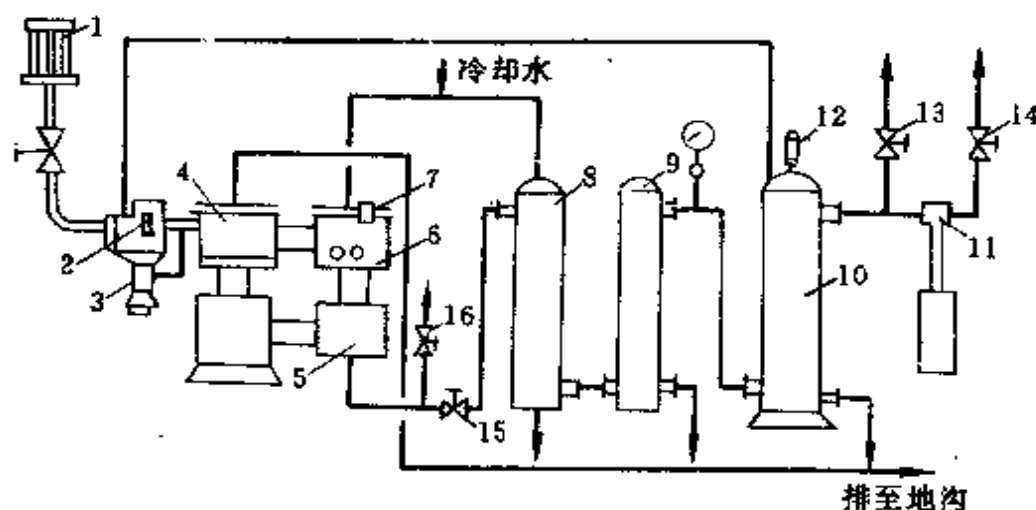


图 3-3 往复式压缩机装置流程图

1—空气滤清器;2—压力调节器;3—减荷阀;4—一级气缸;5—二级气缸;6—中间冷却器;7—一级安全阀;8—气体冷却器;9—油水分离器;10—贮气罐;11—锐孔流量计;12—二级安全阀;13—排气阀;14—放空阀;15—止逆阀;16—止逆阀前放空阀

空气经过空气滤清器1,除去灰尘后由吸入阀进一级气缸4,被压缩到 $182\sim 222\text{kPa}$ 的空气进入中间冷却器6,冷却后气体进入二级气缸5,继续压缩到额定压力 810kPa 。此时气温升到 $393\sim 423\text{K}$,经止逆阀15进入冷却器8,使之冷却到 313K 以下,而后再经油水分离器9,以除去气体中的油水,进入贮气罐10备用。当用气工序用气时,启开排气阀13,气体流量可用锐孔流量计11测定。

贮气罐的作用不仅可以贮存气体,而且起缓冲和分离气液的作用。止逆阀15的作用,是在压缩机临时停车时,防止后系统的气体返回压缩机。

为了确保压缩机安全进行,在每级压缩系统中都安装上安全阀。一级安全阀7安装在中间冷却器6上,启跳压力为 $233\sim$

304kPa, 关闭压力 $\geq 182\text{kPa}$, 二级安全阀12装在贮气罐10的上部, 它的启跳压力为851~932kPa, 关闭压力 $\geq 729\text{kPa}$ 。

② 排气量调节 L2-10/8-I型压缩机的排气量调节是靠气量调节机构自动调节的。气量调节机构是由压力调节器2和减荷阀3两部分组成。减荷阀3安装在一级气缸的进口处, 用来控制压缩机的进气量, 达到调节排气量的目的。气量调节机构的调节是靠贮气罐10中的气体压力变化实现的。贮气罐10与压力调节器2之间有管道相连, 当用气工序的用量减少时, 贮气罐10内的气体压力升高, 从而高压气体通过联通管进入压力调节器2而压开阀片进入减荷阀3的气缸, 推动减荷阀3的阀芯上移, 使之关闭, 压缩机停止吸气, 进入无负荷运转。当贮气罐10内气体压力降至规定值时, 压力调节的阀片在弹簧的作用下而关闭, 于是, 气体停止进入减荷阀, 减荷阀3受弹簧力的作用而打开, 空气进入一段气缸, 压缩机重新恢复正常工作。

当压缩机启动或用气工序发生故障时, 应旋转减荷阀3的手轮将阀关闭, 待故障排除后, 再打开减荷阀, 使压缩机进入正常工作状态。

此外, 还可采用放空阀调节与回流支路调节。当用气工序用量减少时, 打开放空阀14, 将部分气体放空, 达到减少排气量的目的。此法只适用于空气, 若是其他气体, 则采用回流支路调节, 即将末级气缸排出的气体, 部分或全部经回流支路引回一级气缸入口。

③ 压缩机的冷却与润滑 压缩机是用水进行冷却的, 冷却水先进入中间冷却器6, 而后分别进入一、二级气缸进行冷却, 最后从排水管排出。

压缩机运动机构的润滑, 是用齿轮油泵循环润滑。机身底部油池内的润滑油, 经粗滤后进入齿轮泵, 并加压到152~

304kPa,再经滤油器后,分别从曲轴中央的油孔进入曲柄,连杆中央的油孔送至大头瓦、小头瓦、十字头及滑道的摩擦面。

一、二级气缸的润滑,则由注油器供油,注油器由曲轴带动,油量用调节杆调节。

(4) 往复式压缩机的开车操作技术

① 开车前的准备工作

a. 检查。检查压缩机各部件(特别是运动部件)、附属设备及全部管道是否完好无误;检查排气管、气体冷却器、油水分离器和贮气罐有无堵塞现象,确保排气系统处于无压力状态。

b. 通水。接通冷却系统水源,并打开水路上的阀门,使冷却水畅通。

c. 加油。30号机油加入油池中,并保持油面在规定高度;19号压缩机油加入注油器中,并转动手动注油轮数10转,然后拧松油缸进油管接头处的螺母,待有油溢出时再拧紧螺母,将注油器再转几转。

d. 吹净。吹除压缩机进气管道内杂物。

e. 测量电机。先测量电机的绝缘情况,然后断开联轴器,启动电机,检查电机旋转方向是否正确,有无阻碍和异声,检查电流、电压和电机温度是否正常,最后装好联轴器,并盘车数转,检查有无阻碍、撞击、震动或杂声。

f. 调节减荷阀。转动减荷阀手轮,使螺杆上升,关闭减荷阀,以减轻启动负荷。

确认无问题后,方可进行试车。

② 空负荷试车 空负荷试车是指压缩系统在无负载情况下进行,检查、调节压缩机的运动部件、冷却系统、润滑油系统和电仪系统的运转和装配情况的操作。通过试车检查,可以及时发现压缩机的缺陷和各系统所存在的问题,为负荷试车创造条件。

空负荷试车步骤如下:

- a. 打开排气管路中的阀门, 并通向大气。
- b. 开冷却系统的阀门, 通冷却水。
- c. 瞬时启动压缩机数次, 并检查有无异常现象。

d. 启动压缩机作空负荷运转。在运转时要认真检查: 出口压力是否增高; 压缩机运行中音律是否规律, 有无杂音; 各轴承及轴瓦温度是否超过333K; 冷却水出口温度是否超过313K, 冷却水中断后, 排水温度是否超过433K; 电动机是否出现火花, 有无叩碰声, 温度是否超过338K; 电流是否波动, 且超过103A 等。若发现上述问题之一, 应立即停车检修, 检修后再次启动运行, 直至一切正常, 可进行连续运转。

e. 第二次连续空负荷运转20min, 停车后打开机身侧窗孔和后窗孔, 用手检查主轴承、活塞杆、连杆大小头、曲拐颈、滑道等部位是否发热, 若温度过高, 则检修发热部位, 若温度正常, 可继续运转。

f. 第三次连续空负荷运转4~8h, 停车后检查, 若一切正常, 则可进行负荷试车。

g. 在试车过程中, 若发现油压表指针震动剧烈, 则拧松管接头, 排出余气, 然后再拧紧螺母。

③ 负荷试车 压缩机的负荷试车是系统在受压情况下, 继续检查各连接部位的气密程度、排气量以及工作性能的操作过程。通过检查, 进一步消除系统中各种异常现象与缺陷, 为正式投产奠定基础。其步骤如下:

- a. 关闭排气管路中的阀门, 启动压缩机。
- b. 打开冷却系统的进水阀和出水阀。
- c. 压缩机运转平稳后调节排量(以手轮打开减荷阀, 同时调节排气阀), 使压缩机在203kPa 的压力下运行。在无异常现象

的情况下,逐渐调节出口压力,405kPa 运行20min,810kPa 运行8h。运行中若出现问题,应立即停车检修。

d. 压缩机装置的气密试验。

e. 认真检查各部件是否工作正常,各部件在运行中有无杂音等。

f. 认真记录各种操作条件及控制指标。指标要求:一级排气压力为182~232kPa;二级排气压力 \leq 810kPa;排气温度 \leq 433K;冷却水出口温度 \leq 313K;电机温度 \leq 338K;电机电流 \leq 103A;油泵油压152~304kPa。

g. 中间冷却器的油水,每8h 排放1次。负荷试车合格后,可投入正式使用。

(5) 往复式压缩机的停车操作技术

① 正常停车

a. 与有关工序和岗位取得联系。

b. 停止进气与供气。旋转减荷阀手轮,将阀逐渐关闭,使压缩机进入无负荷运转,随后,关闭排气阀,停止对用气工序的送气。

c. 放空。打开放空阀,分别卸去贮气罐内气体和二级排气系统的高压气体。

d. 排污。打开中间冷却器上的排污阀,进行排污。

e. 断电。切断压缩机电源,停止运转。

f. 停水。关闭冷却系统的进水阀,停止对系统的冷却。

g. 清理。打开气缸、中间冷却器、气体冷却器和油水分离器及贮气罐上的放水阀,放掉全部油水,以防设备锈蚀或冬季冻裂。若长期停车,压缩机各部件须涂油,以免锈蚀遭损。

停车操作时,必须注意顺序,阀门不能颠倒搞错,压缩机卸压时,必须从高级到低级缓慢进行,并密切注意各级压力变化情

况,以防各部件因受力不平衡而发生冲击或扭转事故。

② 紧急停车

- a. 停水、停电和断润滑油。
- b. 压缩机缸体、阀门、管路和各连接管口处严重漏气。
- c. 电机有“嗡嗡”声,并闻到烧焦气味;气缸内有异常摩擦声和撞击声。
- d. 机身、管路和基础发生强烈的振动,减振后仍无效。
- e. 轴承和填料函温度超过规定,并有烟冒出。

紧急停车应首先切断电源(停电例外),停止电机运转,并通知有关工序,然后打开放空阀,卸掉二段压力,随后按正常停车步骤进行操作。

(6) 往复式压缩机的正常操作及异常现象与处理方法

① 往复压缩机的正常操作技术

- a. 稳定各级压力。压缩机一级缸出口压力为182~233kPa,二级缸出口压力 \leq 810kPa。当生产条件发生变化或压缩机气阀、活塞环及附属设备发生故障时,各级压力便会发生波动或变化。此时,应查明情况,及时处理,将各级压力稳定在规定的范围或停车处理。若出口压力超过指标,可打开放空阀或关闭减荷阀;若压缩机出故障,则停车检修。

在正常情况下,对压缩机检测方法,除用压力表、温度计、电流测量仪表外,还可用观察、倾听及探检等方法,检查机器的运转情况,声响和温度,根据情况判断故障点,及时进行处理。

- b. 检查冷却水系统。在正常操作过程中,要保持冷却水系统的良好运行,经常注意调节各气缸水夹套和中间冷却器的冷却效率、排水量和排水温度。若进水量太少,必然导致各级气缸出入口的气温升高和排出水温的升高,用开大冷却水进水阀调节;若增大水量后,仍不能使温度下降,如果气缸部件无故障,则

必定是气缸水夹套和中间冷却器工作情况不好或积垢太厚, 必须进行停车检查修理。因此, 操作中必须经常调节冷却水的水量, 控制各级排气温度 $\leq 433\text{K}$, 冷却水排出温度在 $308\sim 313\text{K}$ 。

c. 检查转动部件。压缩机在正常运动的情况下, 各转动部件是不会发生任何杂音, 而只是有规律的音律, 当操作者听到有不正常的敲击或响声时, 则表明转动部件发生了故障, 应查找原因, 及时处理。检查方法除根据仪表测量结果判断外, 还可用看(看运转情况)、听(听有无杂音和响声)、摸(摸表面温度)等办法来确定故障点。如气阀漏气或阀片损坏, 有经验的操作者, 就根据听到的噪音和摸到的温度升高来判断气阀的故障。

d. 检查循环油泵系统。经常检查油泵出口处油压和油标内润滑油的位置, 油压应保持在 $152\sim 304\text{kPa}$, 但不能低于 101.3kPa ; 油池内油温 $\leq 333\text{K}$; 油标内润滑油高度应在规定的范围内。

在操作中如油压太低, 可调节泵体阀门。如果油标内油位逐渐下降, 可能是油路泄漏或挡油圈发生故障, 使润滑油被活塞杆带入气缸; 如果油位上升且混浊起泡, 则可能是油冷却器水管泄漏, 油中渗入水的缘故。发现上述现象, 应立即停车修理并换油。

e. 检查注油器。注油器内注入的是19号压缩机油, 切忌加错油品。操作中要经常检查注油器的贮油量和滴油孔的滴油量, 防止倒气和油管泄漏。若发现池管堵塞、滤油网太脏或油止逆阀损坏, 应及时停车清理或更换。

f. 检查电动机温度。每台电机都有额定的电流指标, 即有规定的温度指标, 操作过程中应控制电机的电流量, 注意电机温度, 防止超标现象, 若突然发现电流升高或超过指标, 应立即减少压缩负荷, 随后查明电流升高原因, 并及时处理。否则, 将会因电机温度升高而烧坏电机内线圈, 发生严重的电器事故。

g. 检查仪表和安全阀。仪表不仅是操作者的眼睛,而且是保证安全运行的重要措施。因此,要求操作者按时记录各仪表的指示数据,经常检查压力调节器和减荷阀的工作情况,并调节压缩机排气量在规定范围,同时检查安全阀是否因卡住而失灵或因锈蚀而漏气,如有异常,应立即通报仪表维修人员,及时修理或更换。为确保安全阀灵敏好用,要定期检修和校对。

h. 定期排放油水。每8h要排放1次中间冷却器、油水分离器和贮气罐中的油水。若油水不及时排放,就会影响各级压力的稳定,同时也会因油水被气体带入气缸,使气缸遭到损坏。在操作排放油水时,要缓慢启开油水阀门,绝不可突然开太,否则会有大量气体被夹带冲出,对于易燃易爆的气体,容易造成静电着火或爆炸事故。

② 压缩机排气量的调节操作技术 压缩机的排气量是根据生产用气工序确定的,因此,用气工序的用气量应低于压缩机的额定排气量,这样才能确保生产上的要求。在生产中,由于用气量的波动,致使贮气罐内压力不稳定,操作者应及时地进行在规定范围内的调节。

在生产中压缩机排气量的调节方法有回流支路法、余隙阀调节法、顶开吸入阀法、停止进气法、节流吸入法、改变转数法、减荷阀调节法和放空阀调节阀等。这些方法可根据被压缩介质的性质和经济适用性进行选择,目前应用比较广泛的是余隙阀调节法。

余隙阀调节法是在压缩机气缸中连通一个余隙调节阀(称变容器),利用余隙阀的开度大小,调节气缸的余隙容积。当余隙阀开大时,气缸内的余隙增大,吸入新鲜气体量减少,压缩机的排气量相应下降,反之,若余隙调节阀关小,余隙容积相应减小,吸入新鲜气体量增多,随之排气量增大。

③ 往复式压缩机操作中的异常现象及处理方法 见表 3-5。

① 维护保养方法

a. 操作者应经常以“听、看、摸、闻”的方法检查各级气缸的排气压力和温度、冷却水排出温度、轴承与填料函的温度、以及各连接管口和压盖有无渗漏现象, 气缸内有无异常摩擦声和撞击声等, 并定时(30min)做好各检测点的现场记录。

表 3-5 往复式压缩机操作中的异常现象及处理

异常现象	原 因	处 理 方 法
排气温度高	1) 吸入气体温度高 2) 冷却水中断或水量不足 3) 排气阀损坏 4) 压缩比增高 5) 排气阀门局部堵塞	1) 清理前段冷却 2) 检查冷却水系统 3) 检查修理 4) 查明原因后消除 5) 清理检修
排气量不够	1) 排气压力不稳定 2) 活塞环泄漏 3) 安全阀不严 4) 减荷阀开口不够大 5) 填料箱泄漏 6) 空气滤清器堵塞 7) 局部漏气	1) 修理排气阀 2) 检修活塞环 3) 修理安全阀 4) 修理减荷阀 5) 修理填料箱 6) 清理空气滤清器 7) 密封
冷却水系统漏水或其他故障	1) 气缸垫不严, 缸内有水 2) 中间冷却器水管破裂, 气缸内有水 3) 管路漏水 4) 冷却器内水垢过厚或水量不足	1) 更换气缸垫并拧紧气缸连接螺栓 2) 修理中间冷却器芯 3) 修理或更换漏水管路 4) 清理水垢, 调整水量
润滑油压力下降	1) 油管堵塞或破裂 2) 油泵发生故障, 打不上油 3) 润滑油温度低, 粘度大 4) 油过滤器堵塞	1) 清理或补焊油管 2) 检修油泵或换新泵 3) 加温或换润滑油 4) 清理油过滤器

续表

异常现象	原 因	处 理 方 法
润滑油温度过高	1) 润滑油不符合规定 2) 润滑油供应不足 3) 润滑油太脏 4) 运动机构发生故障	1) 更换新油 2) 检查油管, 添加润滑油 3) 清洗运动机构和油池, 并更换新油 4) 检修故障部位, 更换零件
气缸供油不足	1) 气缸注油孔堵塞 2) 注油器止逆阀失灵 3) 润滑油质量低劣 4) 注油器给油太少	1) 清洗气缸注油孔 2) 检修止逆阀 3) 更换润滑油 4) 拆下清洗
轴瓦发热	1) 供油不足或太脏 2) 轴瓦间隙量小 3) 轴瓦同心度较差 4) 轴瓦与瓦颈接触不良 5) 联轴器对中较差	1) 检查供油系统或换新油 2) 增大间隙 3) 调整曲轴瓦座的同轴度 4) 重新刮研 5) 重新找正
活塞杆和填料发热	1) 供油量不足或冷却水中断 2) 气体太脏, 填料进入脏物 3) 填料与活塞杆的间隙过小 4) 活塞杆摆动量大或表面拉毛	1) 检查供油、供水系统 2) 气体净化, 清理脏物 3) 调整间隙 4) 检查或更换
气缸发热	1) 气缸余隙太大 2) 注油量不足 3) 气缸夹套冷却水不足 4) 活塞环装配不当 5) 气缸与滑道不同轴	1) 调节余隙 2) 修理油道 3) 调整供水量 4) 重新装配 5) 调节不同轴度
机内有不正常的声音	1) 十字头销松动或连杆小头瓦间隙大 2) 活塞螺母或活塞碰到缸盖或缸座 3) 气阀松动 4) 活塞环磨损或断裂 5) 十字头与活塞杆连接松动 6) 气缸内有水 7) 吸排气阀阀片发出闷声, 弹簧损坏或阀片折断 8) 气缸磨损严重 9) 中间冷却器芯加强筋松脱	1) 紧固松动销或调节间隙 2) 上下止点间隙不够, 进行调节 3) 紧固气阀上的顶丝 4) 更换新的活塞环 5) 紧固并锁死 6) 排除后检查冷却系统 7) 清理碎片, 更换零件 8) 检修气缸 9) 拆下后焊牢

续表

异常现象	原因	处理方法
安全阀出故障	1) 开启不及时 2) 关闭不严 3) 未达到额定压力就放气 4) 阀芯升不到应有的高度	1) 重新调整 2) 清理污垢或重新研磨阀门 3) 重新调整 4) 清洗、除锈检修
活塞环不正常	1) 活塞环开口间隙小, 遇热形成咬死 2) 材料硬度不够 3) 润滑油质量不符合要求	1) 拆卸修理 2) 更换符合要求的活塞环 3) 换符合要求的润滑油
填料箱不严漏气	1) 安装不正确, 填料在隔圈中轴向间隙太小, 受热胀死 2) 填料零件间夹有杂物 3) 刮油圈磨损, 回油路堵塞 4) 密封圈磨损, 活塞杆磨损	1) 检修重新安装 2) 清除夹有的杂物 3) 修理或更换 4) 更换或修理
气阀部件工作不正常	1) 进气不清洁 2) 阀座、阀片变形或断裂 3) 气阀的弹簧力小或不均 4) 结炭或锈蚀严重, 影响开启 5) 弹簧磨损, 弹簧不平 6) 气阀阀片卡住	1) 清洗气阀和空气过滤器 2) 研磨或更换 3) 更换新弹簧 4) 清理、洗涤 5) 拆卸后更换新弹簧 6) 更换阀片
油压表指针震动严重	油路内有气体	拧开油压表接头, 排尽油路内余气

b. 经常保持零部件的完好, 保持设备、机身干净卫生; 经常检查和分析润滑油含水量, 如超过指标, 应及时换油。

c. 定时切换滤油器, 定期检查油水分离器、中间冷却器的效能, 如效能降低应停车清理。

d. 按时进行计划检修, 认真执行维护保养制度。对备用压缩机要每半月开空车1次, 运行约0.5h。

2. 离心式压缩机的操作技术

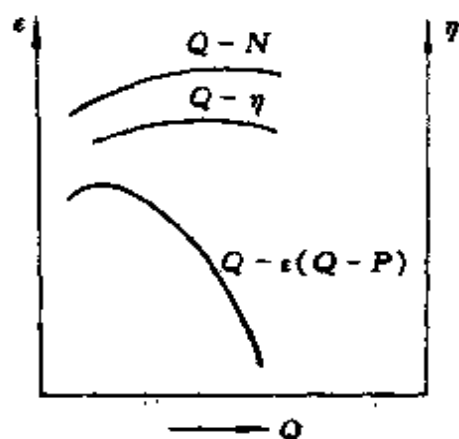


图 3-4 离心式压缩机特性曲线

离心式压缩机又称透平式压缩机。它的工作原理是气体在叶轮的带动下作高速旋转, 由于离心力的作用, 使气体经过连续压缩, 最后达到相当高的排气压强。目前离心式压缩机最大生产能力可达 $21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$, 最大出口压强可达 $7 \times 10^4 \text{ kPa}$ (表压)。

(1) 离心式压缩机操作的基本概念

① 离心式压缩机的性能曲线 离心式压缩机的性能曲线是通过实验测得的。图3-4为某压缩机在一定的转速下所测得的性能曲线, 表示该压缩机的压缩比 ϵ (或出口压强)、效率 η 和功率 N 与流量 (排气量) Q 之间的变化规律, 由性能曲线可知, $Q-\epsilon$ (或 $Q-P$) 曲线是一条在气量不为零处有最高点的驼峰曲线, 在最高点右侧, 压缩比随排气量的增大而减少, 而功率、效率则随排气量的增加而增大, 但增至一定限度后, 却随排气量的增大而下降。

② 工作点的确定 在生产中, 压缩机通过管路与后序设备相连形成一个系统, 称为管网系统。描述压缩气体通过管网所需的压强 P 与流量 Q 之间的关系曲线 ($P-Q$ 曲线), 称为管网曲线, 它是通过实验而测得的一条抛物线。如图3-5中的2线。该曲线与压缩机的特性曲线1相交 A 点, 就是该压缩机的工作点。压缩机在该点下工作, 就能满足外界管网系统所需的压强和流量, 使整个系统处于平衡状态。

③ 气量的调节方法 在操作中, 离心式压缩机的气量调节方法有以下几种。

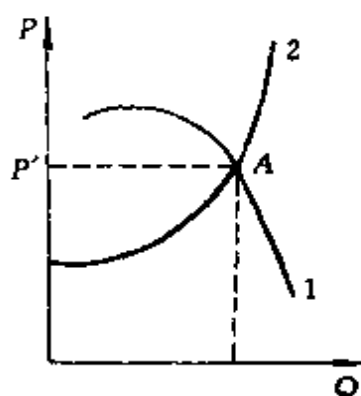


图 3-5 离心式压缩机的工作点

1—压缩机的特性曲线;

2—管网特性曲线;

A—工作点

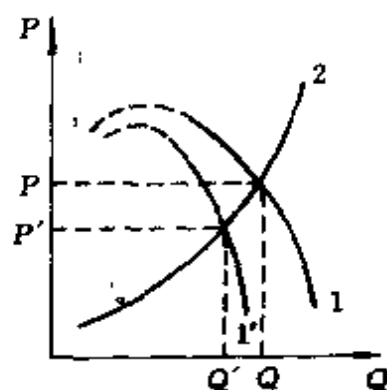


图 3-6 进口阀调节流量

a. 调节进口阀开度。此法是改变压缩机性能曲线 $Q-P$ 的方法,如图3-6所示。当进口阀关小时,压缩机的原性能曲线1将变为曲线1',工作点 A 变为 A' ,于是,相应的压强与流量也就发生改变。这种操作方法简便,消耗额外功率较少,工作范围大,是气量调节的常用方法。

b. 调节出口阀的开度。这是一种改变管网特性曲线的办法。通过出口阀开度的大小,来改变气体通过管道和设备的阻力损耗,达到调节气量的目的。这种方法操作简便,但压缩比增大,额外功率消耗较大,很不经济。

c. 改变叶轮的转速。对于已固定转速的压缩机是难以实现的。只有用蒸汽机为动力时,才能应用此法。

④ 喘振现象 在操作中,当实际流量小于性能曲线所表明的最小流量时,离心压缩机会出现一种不稳定的工作状态——喘振。

压缩机正常操作运转与喘振现象时运转情况比较见表3-6。

表 3-6 压缩机正常操作与喘振现象时运转比较

正 常 操 作	喘 振 现 象
压缩机噪音较低且连续 压缩机出口压强指示计的指针摆动幅度不大, 仅在平均值附近摆动 整个机器振动较小	压缩机噪音很大, 时高时低 压缩机出口压强指示计的指针摆动幅度很大 整个机器强烈振动

在生产中, 由于喘振现象常给生产带来危害, 为防止此现象发生, 在压缩机的管路上装有部分放空或部分放空并回流的防喘振的装置。

(2) 离心式压缩机的使用与维护

① 开车前准备工作

- a. 检查电气、仪表, 安全防爆装置, 确保灵敏、准确、可靠。
- b. 检查油路系统。油箱内无积水杂物; 油位为油箱高度的2/3; 阀门开关灵活; 油泵和过滤器运行正常。
- c. 检查水路系统。整个系统畅通无渗漏, 压力保持在规定的范围(一般在294.2kPa)。
- d. 检查进气系统。系统无堵塞现象和积水存液, 排气系统所有阀门动作灵活。
- e. 启动油泵。使各润滑部位充分有油, 检查油压油量并处于正常。
- f. 检查轴位计是否处于零位, 进出阀门是否打开。

② 正常操作

- a. 点车启动, 空车运行15min 以上, 无异常, 即可逐渐关闭放空阀使压力上升, 同时打开放气阀, 向用户送气。

b. 经常控制柜上的气体压力, 轴承温度, 电流大小或蒸汽压力, 气体流量以及主机转速等, 发现问题, 立即调整。

c. 经常察看和调节各级气缸的排气温度和压力, 防止过高或过低。

d. 经常用“摸、听”的方法, 检查压缩机的转动声音和振动情况。

e. 严防压缩机抽空或倒转现象发生, 否则会损坏设备。

③ 维护保养

a. 保持设备清洁卫生, 表盘干净清晰。

b. 定时巡回检查轴承温度、油压和压缩气体的进出口压力与温度。

c. 保持所有零件整洁, 油路系统、水系统无滴漏现象。

d. 经常检查和测听各转动部位的响声和振动情况。

e. 定期清洗油过滤器、滤尘器和冷却器, 保持油质合格。

④ 停车操作

a. 切断主机电源, 关闭进排气阀门。

b. 主机停稳后, 停油泵和冷却水。

c. 盘动转子。停车后气缸和转子温度都很高, 为防止转子弯曲, 故每隔15min 将盘动转子180°, 直至温度降到30°为止。

d. 遇到不列情况之一时, 应紧急停车:

突然停电、停油和停蒸汽;

轴位计超过指示, 大于0.4mm, 保安装置不动作;

油压急速下降且超过规定极限, 联锁装置不动作;

轴承温度超温报警, 且仍继续上升;

压缩机发生异常响声或发生剧烈振动;

电机冒烟和有火花。

⑤ 异常现象及处理方法 见表3-7。

表 3-7 压缩机操作时异常现象及处理

异常现象	原 因	处 理 方 法
剧烈振动	1) 发生喘振 2) 转子轴承弯曲变形或偏磨 3) 轴承间隙量太小 4) 轴承损坏 5) 轴承或地脚螺栓松动 6) 联轴器和机身转子找正误差大 7) 转子动平衡破坏	1) 增大吸入量或消振 2) 校正修理 3) 调整瓦垫或换瓦 4) 更换轴承 5) 紧固螺栓 6) 重新找正 7) 重新找正平衡
轴瓦温度高	1) 轴瓦间隙量小 2) 轴瓦来油温度高 3) 供油不足, 油内带水或太脏	1) 调整间隙 2) 清理冷却器 3) 检查油路系统和油质, 加大供油量
转子轴向位移大	1) 各级气体压力失去平衡值 2) 止推轴承磨损	1) 调整或检查 2) 检修
润滑油压力降低	1) 油路堵塞或泄漏 2) 过滤器堵塞 3) 油箱内油位过低 4) 油泵发生故障	1) 检查油路, 修理泄漏处 2) 清扫过滤器 3) 增添新油 4) 切换检修

三、传热装置的操作技术

在化工生产中, 为了使某些反应在一定的温度和压力下进行, 需要进行加热或冷却。对吸热反应, 需外界供热, 对放热反应, 则需及时移走反应热, 进行冷却。此外, 生产中的蒸馏、精馏、干燥等操作过程, 也都与传热有关, 因此, 掌握传热过程的基本规律和有关知识, 对合理地、有效地进行操作是十分重要的。

1. 传热的基本方式

自然界中, 热量总是从高温物体自发地传递给低温物体。热量的这种传递过程叫传热过程。根据热量传递的特点, 基本方式有: 传导、对流和辐射传热三种。

(1) 传导传热 热量从物体的一部分传到另一部分或一个物体传给与它接触的另一个物体的过程, 称为传导或导热。导热是因为物体内部或相接触的两个物体间存在着温度差, 温度较

高部分的分子,因受热振动加剧而与相邻的分子碰撞,将热量以动能的方式传递给相邻温度较低的分子,直至整个物体温度完全相等为止。固体和静止流体内的热量传递属于热传导。

各种物质的传热本领是不一样的,金属比非金属的导热性能好,因此,常把金属称为热的良导体,一些不易导热的物体称为热的不良导体。用来衡量传热性能好坏的物理量是传热系数,即导热面积为 1m^2 ,厚度为 1m ,两壁的温差为 1K ,在单位时间内以导热方式所传递的热量,称为该物质的导热系数。用符号 λ 表示,单位为 $\text{J/s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}$ 或 $\text{W/m}\cdot\text{K}$ 。可见,导热系数越大,导热性能越好,一般金属导热系数最大,固体非金属次之,液体较小,气体最小。常见物体的导热系数可从有关手册中查得。

在生产中要知道单位时间内的导热量(即导热速率),可用导热速率方程式来确定,即

$$q = \lambda \frac{A(t_1 - t_2)}{\delta} \quad (3-29)$$

式中 q —— 导热速率, J/s 或 W ;

A —— 导热面积, m^2 ;

δ —— 平壁厚度, m ;

t_1, t_2 —— 分别为平壁两面温度差, K ;

λ —— 导热系数, $\text{W/m}\cdot\text{K}$ 。

把式(3-29)改写成下面形式,即为热流强度:

$$\frac{q}{A} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}} = \frac{\text{导热推动力}}{\text{导热热阻}}$$

则表明单层平壁进行热传导时,其热阻为:

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad (3-30)$$

由式(3-30)表明,平壁材料的导热系数越少平壁厚度越厚,

则热传导阻力就越大。

在生产中常见的是多层平壁的导热, 多层平壁的传热速率为各层平壁导热速率之和。多层平壁导热的总热阻等于各层导热热阻之和。

圆筒壁的导热在化工生产中也很常见, 例如, 热量在管道和设备壁层上的传递及热力管道和设备的绝热保温等。则导热速率分别为:

单层圆筒壁导热速率:

$$q = \frac{2\pi l \lambda \Delta t}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3-31)$$

若 $\frac{r_2}{r_1} < 2$, 则导热速率又可按下式运算:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} A_m \Delta t \quad (3-32)$$

$$A_m = 2\pi r_m l = 2\pi l \frac{r_1 + r_2}{2}$$

式中 q ——圆筒壁导热速率, kJ/s 或 kW;

l ——圆筒长度, m;

Δt ——圆筒壁两面的温度差, K;

$\ln \frac{r_2}{r_1}$ ——筒壁的对数平均半径, m;

A_m ——筒壁的平均导热面积, m²;

δ ——筒壁的厚度, m;

λ ——导热系数, W/m·K。

多层圆筒壁导热速率为各单层圆筒壁导热速率之和。

(2) 对流传热 流体质点之间产生宏观的相对位移, 将热量由流体内的某一位置传至另一位置的传热过程, 叫作对流传热。根据流体产生运动的原因不同, 对流传热可分为自然对流和

强制对流。流体内质点之间的相对位移,如果是由于流体各部位温度不同造成密度的不同而引起的流动,称为自然对流,如果是由于受外界机械力(如泵、搅拌等)作用产生的流动,则称为强制对流。

对流传热只发生在流体内部或流体与固体壁之间的传热。

热量由固体壁传给周围对流着的流体,或者对流着的流体传给固体壁,这种传热方式称为对流给热,如换热器中的传热过程,是属于对流给热。

热流体对平壁面的给热速率为:

$$q = \alpha A (t - t_{\text{壁}}) \quad (3-33)$$

式中 q ——给热速率, J/s;

A ——传热面积, m^2 ;

α ——对流传热膜系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$;

t ——流体主体的平均温度, K;

$t_{\text{壁}}$ ——壁面温度, K。

对流传热膜系数(或给热系数)的物理意义是: 1m^2 的固体壁面,壁面和流体主体温差为 1K 时,单位时间以对流传热方式传递的热量。膜系数与流体的流动状态、传热面积形状及流体种类等因素有关,可从有关手册查得。

(3) 辐射传热 辐射传热是高温物体将热能转化为辐射能,以电磁波的形式发射和吸收后进行的热量传递,称为辐射传热。辐射传热不借任何媒介,其能力主要是发热体的温度,物体的温度愈高,以辐射形式传递热量愈多。在工业锅炉中的辐射传热量要比换热器中的辐射传热量大。

2. 换热器中的传热

(1) 换热器中的传热过程 在换热器中,热流体的热量是怎样通过固体壁传给冷流体的呢?设换热器内任一根管子的面

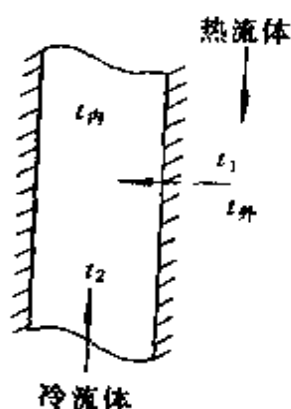


图 3-7 换热器中的传热过程

积为 A , 管子外侧热流体温度为 t_1 , 内侧冷流体的温度为 t_2 , 管子内壁、外壁的温度分别为 $t_{内}$ 和 $t_{外}$ 。

由于冷、热流体存在着温差, 所以热流体通过下面三个过程把热量不断传给冷流体:

首先, 热流体把热量传给管外壁, 传热形式主要是对流给热, 其给热速率 q_1 为:

$$q_1 = \alpha_1 A (t_1 - t_{外})$$

$$\Delta t = t_1 - t_{外} = \frac{q_1}{\alpha_1 A} \quad (3-34)$$

其次, 热量又以热传导的形式, 由管外壁传向管内壁, 其导热速率 q_2 为:

$$q_2 = \frac{\lambda}{\delta} A (t_{外} - t_{内})$$

$$\Delta t_2 = t_{外} - t_{内} = \frac{q_2 \delta}{\lambda A} \quad (3-35)$$

最后, 热量再以对流给热的形式, 由管内壁传给冷流体, 其给热速率 q_3 为:

$$q_3 = \alpha_2 A (t_{内} - t_2)$$

$$\Delta t_3 = t_{内} - t_2 = \frac{q_3}{\alpha_2 A} \quad (3-36)$$

在连续稳定的间壁式换热过程中, 在单位时间内热流体传给管外壁的热量, 等于相同时间内管外壁传给管内壁的热量, 也必等于同一时间内管内壁传给冷流体的热量。即过程传递的热量为:

$$Q = q_1 = q_2 = q_3 \quad (3-37)$$

冷热流体的温差, 等于各部分温差的总和。

$$\begin{aligned}\Delta t &= \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = (t_1 - t_f) + (t_f - t_{\text{外}}) + (t_{\text{内}} - t_2) \\ &= t_1 - t_2\end{aligned}$$

将式(3-34)、(3-35)和(3-36)相加, 并整理得传热过程的速率为:

$$Q = \frac{A \cdot \Delta t}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3-38)$$

设

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3-39)$$

则上式简化为:

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta t \quad (3-40)$$

式中 Q ——间壁式换热器的传热速率, W 或 J/s;

A ——间壁的传热面积, m^2 ;

Δt ——冷、热流体的温度差, K;

K ——总传热系数, $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 。

式(3-40)是传热过程的一个基本方程式, 称为传热速率方程式。从式中可以看出传热系数 K 的物理意义是: 当冷热流体的温差为 1K 时, 在单位时间内, 通过 1m^2 传热面积所传递的热量。可见, 传热系数 K 值越大, 所传递的热量越多, 换热器的传热效果越好, 因此, K 值的大小是衡量换热器传热性能的一个重要标志。

将式(3-40)改写成下式:

$$Q = KA\Delta t = \frac{\Delta t}{\frac{1}{KA}} = \frac{\Delta t}{R} \quad (3-41)$$

从式(3-41)可以看出, 间壁式换热器的传热速率与冷热流体的温差 Δt 成正比, 与传热阻力 R 成反比。所以, 提高换热器

的传热速率, 必须增大传热的推动力(冷热流体的温度差)和降低传热的阻力。

(2) 传热过程温度差 Δt 的计算 根据两种流体在换热器中温度变化情况, 可将其传热过程分为恒温传热和变温传热两种。它们在传热过程中温度差 Δt 的计算方法是不一样的。

① 恒温传热时 Δt 的计算 恒温传热是指两流体在换热过程中, 温度始终保持不变的传热。例如, 用饱和蒸汽加热某流体, 并使其沸腾蒸发, 而在换热器的两侧流体, 温度恒定不变。若热流体温度为 T , 冷流体温度为 t , 则冷热流体的温度差 Δt 为:

$$\Delta t = T - t \quad (3-42)$$

② 变温传热时 Δt 的计算 变温是指两流体在换热过程中, 冷热流体或其中一种流体的温度不断发生变化的传热。例如, 用冷却水冷却某高温原料气或用饱和蒸汽加热某原料, 在换热器内各处冷热流体的传热温度差是随流体的温度变化而变化的, 计算温度差必须取平均温度差 $\Delta t_{\text{均}}$ 。

在间壁式换热器中, 冷热流体的流向可为并流、逆流、错流和折流, 对于逆流或并流, 由于冷热流体在换热器进出口处温度差不同, 如图3-8所示, 因此, 冷热流体的平均温度差等于传热过程中的较大温度差 $\Delta t_{\text{大}}$ 和较小温度差 $\Delta t_{\text{小}}$ 的对数平均值。

$$\Delta t_{\text{均}} = \frac{\Delta t_{\text{大}} - \Delta t_{\text{小}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{大}}}{\Delta t_{\text{小}}}} \quad (3-43)$$

当冷热流体进出口两端温差不大时, 即 $\frac{\Delta t_{\text{大}}}{\Delta t_{\text{小}}} \leq 2$, 传热平均温差, 可采用进出口温差的算术平均值, 即:

$$\Delta t_{\text{均}} = \frac{\Delta t_{\text{大}} + \Delta t_{\text{小}}}{2} \quad (3-44)$$

(3) 换热器中热负荷的计算 在一台换热器内, 冷热流体

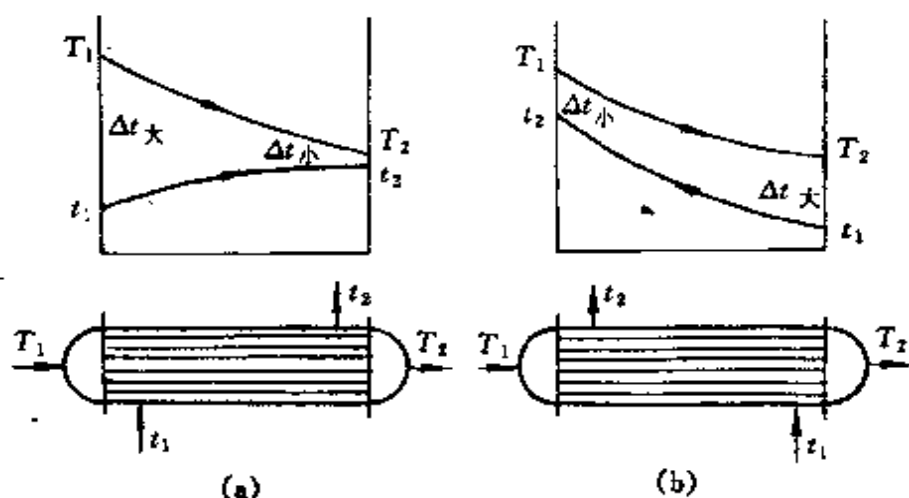


图 3-8 并流、逆流流动时 Δt_m 的计算

(a) 并流; (b) 逆流

单位时间里所交换的热量,称为换热器的热负荷,单位 J/s。一个能满足工艺要求的换热器,其传热速率必须等于或大于热负荷(这只是数值的相等,其含意不同)。

根据工艺条件的不同,热负荷的计算方法有下列几种。

① 有相变过程 当流体在换热过程中有相变发生,如蒸发和冷凝,其热负荷计算公式为:

$$q = W \cdot \gamma \quad (3-45)$$

式中 W ——冷流体或热流体的质量流量, kg/s;

γ ——冷流体或热流体的汽化潜热, J/kg。

② 无相变过程 当流体中无相变,其热负荷的计算公式为:

$$q = W \cdot C \cdot \Delta t \quad (3-46)$$

式中 C ——冷流体或热流体在定性温度下的定压比热, J/kg·K;

Δt ——冷流体或热流体在换热过程中的温差, K。

③ 不论有无相变过程 流体在换热过程中其热负荷可按式计算:

$$q = W \cdot \Delta i \quad (3-47)$$

式中 Δi ——冷流体或热流体在换热过程中的焓差, J/kg。

在化工生产中的许多物料是一些多组分的混合物, 它们在蒸发或冷凝时的热负荷可按式计算:

$$q = W \cdot \sum X_{wi} \gamma_i \quad (3-48)$$

式中 W ——混合物的质量流量, kg/s;

X_{wi} ——混合物中某一组分的质量分率;

γ_i ——混合物中某一组分的汽化潜热, J/kg;

$\sum X_{wi}$ ——混合物的平均汽化潜热, J/kg。

3. 影响传热速率的因素

从传热速率式(3-40) $Q = KA\Delta t$ 不难看出, 强化传热过程, 提高传热速率, 其途径是增大传热面积, 增大冷热流体的平均温度差和提高传热系数 K 值, 但究竟提高哪一项, 需作具体分析。

(1) 增大传热面积 增大传热面积可以提高传热速率, 但是, 对间壁式换热器而言, 增大传热面积, 意味着增加金属材料的耗用量, 增大设备体积和投资费用, 因此, 这不是强化办法。若从改进设备结构, 设法增加单位体积内的传热面积, 这样, 气体的膜系数可以提高, 传热效果也明显地提高, 且金属用量不多, 设备体积增加不大, 是提高传热速率的有效方法。

(2) 增大传热温度差 传热平均温度差是传热过程的推动力。在传热过程中, 当其他条件一定时, 平均温差越大, 传热速率越大, 因此, 可以采用此法来强化传热过程。例如, 用水蒸汽作加热剂时, 增强蒸汽压力, 可以提高蒸汽的温度等。此外, 在冷热流体进出口温度一定的情况下, 采用逆流操作, 也可以得到较大的

平均温度差值。

(3) 提高传热系数 K 值 提高传热速率最有效的办法就是提高传热系数 K 值。提高 K 值的途径主要是提高对流体传热膜系数和减少垢层热阻。

① 增大流体速度 增大流体速度可以增加流体的湍流程度, 减少层流内层厚度, 提高传热膜系数, 使传热速率增大。但是, 随着流体流速的增大, 阻力、动力消耗也都随之增加。列管式换热器内, 流体常用流速范围见表3-8。

表 3-8 列管式换热器内常用流速范围

流体种类	管 型	流速, m/s	
		管 内	管 外
液 体	直 管 蛇 管	0.5~8	0.2~1.5
		0.3~0.8	
气 体	直 管 蛇 管	5~30	2~15
		3~10	

② 减少垢层 换热器长期使用后, 换热面上往往形成一层污垢, 它的导热系数很小, 从而增大了传热阻力, 降低了传热效果。因此, 防止结垢和以简便的方法进行除垢, 也是强化传热的一个重要措施。

4. 列管式换热器的试压及系统的气密试验操作技术

(1) 列管式换热器的试压 列管式换热器在使用前必须进行液压试验, 检查其强度。试验压力一般为工作压力的1.25倍。试验方法是在壳程内灌满水后, 关闭出口阀, 然后用水压机对设备进行加压, 并检查设备焊缝、列管是否有泄漏处, 待加压到所需压力后, 要恒压2h左右, 如压力没有变化, 便减压、放水清除杂质。如发现有泄漏处, 卸压后进行处理, 然后再试压, 直至证明无泄漏为止。

(2) 系统的气密试验 为防止气体介质由法兰及焊缝处泄

漏出来,开车前必须对系统进行气密性试验,其方法和步骤如下:

- ① 启开换热器壳层入口阀,关闭出口阀。
- ② 把压缩空气逐渐送入换热器的壳层内,并提高压力至操作压力的1.05倍,关闭入口阀。
- ③ 用一定浓度的肥皂液涂沫在设备、管线的焊缝处与管件、阀件与法兰的联接处。
- ④ 检查所涂肥皂液处是否起泡,对起泡处进行记载或做好标记。
- ⑤ 检查无泄漏,则保压30min,压力不下降为合格;如有泄漏,则卸压后对漏处进行处置,然后重复进行试验。

5. 传热装置系统的开、停车操作及事故处理方法

(1) 开车步骤

- ① 检查装置上的仪表、阀件等是否完好、齐全。
- ② 打开冷凝水排放阀,排放积水。
- ③ 打开冷流体入口阀并通入流体,而后打开热流体进口阀,再缓慢地通入。若先通入热流体,容易发生管束与壳体因温差过大而引起换热器损坏。通入的流体应干净,以防结垢。
- ④ 根据工艺要求调节冷、热流体的流量,使之达到所需的温度。
- ⑤ 经常检查冷、热流体的进出口处的温度、压力变化情况,如有异常现象,应立即查明原因,并消除故障。
- ⑥ 在操作过程中,换热器的一侧若为蒸汽的冷凝过程,则应及时排冷凝液和不凝气体,以免影响传热效果。
- ⑦ 定期检查换热器以及管子与管板的连接处是否有损,如发现有漏损应及时修理。

(2) 停车步骤 在停止使用时,应先停热流体,后停冷流

体,并将壳程及管程内的液体排净,以防换热器锈蚀。

(3) 异常现象及处理方法 见表3-9。

表 3-9 传热装置开、停操作的异常现象及处理

异常现象	原因	处理方法
传热效率下降	1)列管结垢或堵塞 2)管道有堵塞 3)不凝气或冷凝液增多	1)清理列管,除垢 2)检查管路或阀门,并清理 3)排放不凝气或冷凝液
列管和胀口渗漏	1)列管腐蚀或胀接质量差 2)壳程与管程温差太大 3)列管被折流板磨损	1)更换新管或补胀 2)焊接或补胀 3)换管或用死堵堵死
振动	1)管路振动 2)流体流速太快 3)机座刚度较小	1)加固管路 2)调节流体流量 3)加固
管板与壳体连接处有裂纹	1)腐蚀严重 2)焊接质量不好 3)外壳歪斜	1)补修 2)清理后补焊 3)找正

四、泡罩塔精馏操作技术

液体混合物的蒸馏操作,是提纯物质和分离混合物的一种方法,它广泛应用于化工生产中。

1. 塔操作的基本概念

(1) 沸点、泡点、露点 任何液体受热,其饱和蒸气压等于外界大气压时的温度,叫该液体的沸点。外界压强越高,液体的沸点就越高;外界的压强越低,液体的沸点也越低。

在一定压力下,将某液体混合物加热至刚刚开始气化(即刚刚出现第一个微小气泡)时保持的平衡温度,称为该液体混合物的泡点温度或平衡、一次汽化(蒸发)0%时的温度,简称泡点。继续加热,直至全部汽化并将这种气体混合物在一定压力下,冷却至刚刚出现第一滴液珠所保持平衡时的温度,称为露点温度或

平衡、一次汽化(蒸发)100%时的温度,简称露点。显然,处于泡点状态和露点状态下的气体都是饱和的。对纯物质,在一定压力下,其泡点和露点相等,也就是它的沸点。但沸点不同的混合液体,其泡点温度要低于露点温度,因为混合物在沸腾过程中,沸点低的先汽化,使残留液体组分逐渐变高。

(2) 精馏基本原理 精馏是把液体混合物在传质设备(塔)中,进行多次部分汽化,同时把产生的蒸汽多次部分冷凝,达到完全分离混合物,获得所要求纯度的组分的操作。

精馏的操作过程,是在逆流作用的塔式设备中进行的。被塔釜加热的液体,所产生的蒸汽在塔内自下而上地流动,而送入塔顶的回流液体,则与上升蒸汽相迎,自上而下地流动。由于气液两相在塔中不断地相互接触,进行热和质的交换,使二相在热交换过程中,易挥发组分不断地从液相中向气相扩散,气相中易挥发组分增浓;液相中易挥发组分逐渐减少,难挥发组分逐渐增浓;二相处于不平衡情况下,则存在推动力,产生质的传递,直至二相达到平衡时,这种传质过程停止。

通过整个精馏过程,最终由塔顶得到纯度较高的易挥发组分(塔顶馏出物)的产品,由塔釜排出不易挥发的物质。

(3) 雾沫夹带、液泛、泄漏 在精馏操作过程中,塔内两相不断地相互接触,塔内上升蒸汽穿过塔板上的液层鼓泡而出,当上升蒸汽的动能大于被夹带液滴质量时,则液滴便被上升蒸汽带到上层塔板。这种液滴被上升蒸汽带至上层塔板的现象称为雾沫夹带。正常操作中允许夹带量不能超过10%。

当上升蒸气速度超过某一速度(液泛速度)时,塔内上升的蒸气将阻止液体沿塔下流,使下层塔板上的液体漏至上一层塔板(即物料上冲或冲料),导致操作破坏,这种现象称液泛。在精馏操作中,也会因塔板降液管被堵塞,使塔内回流液流不到下层

塔板,造成“淹塔”现象,它也是一种液泛。

在精馏操作中,当上升蒸气速度过慢时,穿过升气孔的动能低于塔板上液体静压能,即上升蒸气动能不足以阻止塔板上的液体时,塔板上的液体就会从升气孔往下流,这种现象称泄漏。它影响着气液在塔板上的充分接触,使塔板效率明显下降。

一般,筛板、浮阀板和斜孔板等板式塔,操作不慎就会产生泄漏现象,正常操作时,要求泄漏量不大于液体流量的10%。

(4) 湍动、脉冲、返混 在精馏操作中,当上升蒸气压力足以克服塔板上液体层的阻力时,气体连续不断地鼓泡上升,呈湍动状态。此时,气液两相接触面大,传质效率好,塔板效率高。但是,若蒸气压头过大,蒸气上升速度超过允许限度,湍动过于激烈时,便又会产生雾沫夹带现象。

液流量过大或蒸汽量过小,蒸气压头不足以克服塔板上液层的阻力而无法通过液层,仅当憋到一定压头后,蒸汽才能穿过液层而上升。此时,蒸气压头立刻下降,又要待片刻再建立起一定压头并鼓泡上升。这种蒸气间断地脉冲式的鼓泡上升现象称为脉冲。脉冲时气液接触很不激烈,塔板效率下降。

在有降液管的塔板上,液体横过塔板与蒸气呈错流,液体组成将沿着液体流通逐渐变化,塔液体由于液层中气体鼓泡的扰动而形成涡流,使液体沿流动方向的浓度梯度遭到破坏的现象称返混,它导致塔板效率下降。

返混现象的发生,受多种因素,如停留时间的分布、流道的长度、塔板水平度、水力梯度、气泡浓度和湍流等的影响。

(5) 塔的自由截面积和塔的操作弹性 在精馏塔内,流动着的物质是上升的蒸气和下流的液体同时通过每层塔板。蒸气通过塔板的通道称升气孔道。升气孔道的断面,称为自由截面积。

自由截面积是根据生产负荷的大小和许可蒸气速度确定的,通常所说的开孔率,就是选定的自由截面积和塔总断面之比。

塔的操作弹性是指最大允许负荷(负荷上限)至最小允许负荷(负荷下限)的范围。

精馏塔的负荷上限,是用雾沫夹带控制(允许夹带量不大于10%),以能引起“液泛”现象为止,两者界限下的最大负荷;负荷下限,是以漏液量接近10%为准的最小负荷。

一般,浮阀塔操作弹性较大,可达9左右;泡罩塔约为5;筛板塔较小;填料塔最小。

2. 影响精馏操作的因素

影响精馏操作的因素是多方面的,除了被分离组分的性质及其组成外,还表现在工艺条件。

(1) 塔釜温度 在操作压力不变的情况下,改变塔釜操作温度,对蒸气速度、气液相组成的变化,都有着一定的影响。

提高塔釜温度时,则使塔内液相中易挥发组分减少,同时,并使上升蒸气的速度增大,有利于提高传质效率。如果由塔顶得到产品,则塔釜排出难挥发物中,易挥发组分减少,减少损失;如果塔釜排出物为产品,则可提高产品质量,但塔顶排出的易挥发组分中夹带的难挥发组分增多,从而增大损失。因此,在提高温度的时候,既要考虑到产品的质量,又要考虑到工艺损失。一般,操作习惯于用温度来提高产品质量,降低工艺损失。

在平稳操作中,釜温突然升高,来不及调节相应的压力和塔釜温度时,必然导致塔釜液被蒸空,压力升高。这时,塔内气液相组成变化很大,重组分(难挥发组分)容易被蒸到塔顶,使塔顶产品不合格。

(2) 操作压力 在操作温度一定的情况下,改变操作压力,

对产品质量, 工艺损失都有影响。提高操作压力, 可以相应地提高塔的生产能力, 操作稳定。但在塔釜难挥发产品中, 易挥发组分含量增加。如果从塔顶得到产品, 则可提高产品的质量和易挥发组分的浓度。

操作压力的改变或调节, 应考虑产品的质量和工艺损失, 以及安全生产等问题。因此, 在精馏操作中, 常常规定了操作压力的调节范围。当受到外界的因素影响而使操作压力受到破坏时, 塔的正常操作就会完全破坏, 例如真空精馏, 当真空系统出故障时, 塔的操作压力(真空度)因发生变化而迫使操作完全停止。一般精馏也是如此, 塔顶冷却器的冷却剂突然停止时, 塔的操作压力也就无法维持。

(3) 加料温度 进料情况对精馏操作有着重要的意义。常见的进料情况有沸点进料、冷液进料、饱和蒸气进料、气液混合进料和过热蒸气进料。不同的进料情况, 都显著地直接影响提馏段的回流量和塔内的气液平衡。

如果是冷液进料, 且进料温度低于加料板上的温度, 那么, 加入的物料全部进入提馏段, 使提馏负荷增加, 塔釜消耗蒸汽量增加, 塔顶难挥发组分含量降低。若塔顶为产品, 则会提高产品质量。如果是饱和蒸气进料, 则进料温度高于加料板上的温度, 所进物料全部进入精馏段, 提馏段的负荷减少, 精馏段的负荷增加, 会使塔顶产品质量降低, 甚至不合格。精馏塔较为理想的进料情况是沸点进料, 它较为经济和最为常用。

(4) 加料量的变化 加料量的变化直接影响蒸气速度的改变。后者的增大, 会产生夹带, 甚至液泛。当然, 在允许负荷的范围内, 提高加料量, 对提高产量是有益的。如果超出允许负荷, 只有提高操作压力, 才可维持生产。但也有一定的局限性。

加料量过低, 塔的平衡操作不好维持, 特别是浮阀塔、筛板

塔、斜孔塔等,由于负荷减低,蒸气速度减小,塔板容易漏液,精馏效率降低。在低负荷操作时,可适当的增大回流比,使塔在负荷下限之上操作,以维持塔的操作正常稳定。

(5) 加料组分的改变 加料组分的改变,直接影响到产品质量。当加料中重组分增加,使精馏段负荷增加,在塔板数不变时,则分离效果不好,结果重组分被带到塔顶,造成塔顶产品质量不合格;若是从塔釜得到产品,则塔顶损失增加。如果加料组分中易挥发组分增加,使提馏段的负荷增加,可能因分离不好而造成塔釜产品质量不合格,其中夹带的易挥发组分增多。总之,由于加料组分的改变,直接影响着塔顶与塔釜产品的质量。加料中重组分增加时,加料口往下移,反之,则向上移。同时,操作温度、回流量和操作压力等都须相应地调整,才能保证精馏操作的稳定性。

(6) 回流 在精馏操作中,回流是维持全塔正常操作的必要条件。回流量(即回流比)的大小,对精馏效果、产品质量、塔板数和水、电、气的消耗都有直接影响。

一般,提高回流比,可以提高产品质量。但回流比过大,塔内的内循环量增加,使水、电和气的消耗量增加,操作费用相应提高。当塔顶采出量变大,回流比减小时,塔内气液接触不好使平衡受到破坏,因而传质效率下降。同时,操作压力下降,难挥发组分易被带到塔顶,导致精馏效果下降,塔顶产品质量不合格。

3. 精馏塔的操作技术

(1) 精馏塔操作装置 精馏装置流程如图3-9所示。

精馏塔1为具有8块直径为150mm的单泡罩塔板。其生产能力较小,所需的加热蒸汽量也不大。塔板上泡罩的数目根据塔径与泡罩的尺寸而定。

本装置加料口是在由上数的第五块塔板上,故在塔的上段

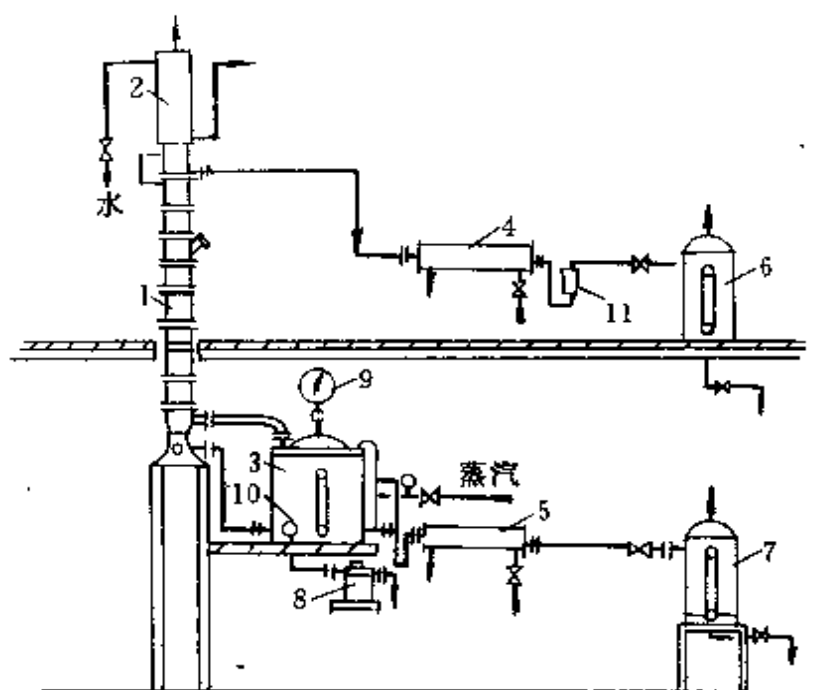


图 3-9 精馏装置流程图

1 精馏塔; 2 分凝-冷凝器; 3—蒸馏釜; 4, 5—冷却器;

6, 7—收集器; 8 疏水阀; 9 压力表; 10 温度计; 11 转子流量计

与塔的下段均具有四块塔板。

由塔内上升的蒸气, 在直立式分凝-冷凝器2中完全冷凝, 冷凝液在冷凝器的下部收集。冷凝液的一部作回流, 从分凝-冷凝器底部的小孔(喷嘴)喷淋至塔内。回流液的流量, 可根据冷凝器液面计中的液柱高度来判断。冷凝液的另一部分(即馏出液)进入蛇管式冷却器5, 冷却后通过转子流量计15, 流入馏出液收集器7中。馏出液收集器上装有液面计, 用以确定蒸出的量。

塔下段的产品, 由塔底流入装在塔外并用间接蒸汽加热的蒸馏釜3中。蒸馏釜上装有液面计和温度计套。釜中的压力用压力表测定。

在蒸馏釜的残液出口处装有水封, 使蒸馏釜中的液面不随

釜残液的取出而变化。釜残液通过冷却器6收集于收集器8中。

(2) 精馏塔原始开车操作技术 塔系统安装或大修结束后, 必须对其设备和管路进行检查、清洗、试压、试漏、置换以及设备的单机试车、联动试车和系统试车等准备工作, 这些准备工作和处理工作的好坏, 对生产的正常开车有直接影响, 因此, 原始开车在生产中占有重要地位。

原始开车一般按以下程序进行。

① 检查 按安装工艺流程图逐一进行核对检查。

② 吹除和清除 在新建或大修后的塔系统所属设备和管道内, 往往存有安装过程中的灰尘、焊条铁屑等杂物。为了避免这些杂物在开车时堵塞管路或卡坏阀门, 必须用压缩空气进行吹除或清扫。

吹除前应按气、液流程, 依次拆开与设备、阀门连接的法兰, 吹除物由此排放。吹洗时用高速压缩空气流分段进行吹净, 并用木锤轻击外壁。气流量时大时小, 反复多次, 直至吹出气体在白纱布上无黑点时为合格, 再继续往后部吹洗, 以至全系统都吹净。每吹净一段后, 立即装好法兰。吹洗流程应该是从设备的最高处往低处吹。设备放空管、排污管、分析取样管和仪表管线等, 都要吹洗。对于溶液贮槽等设备, 要进行人工清扫。

③ 系统水压试验和气密性试验 为了检查设备焊缝的致密性和机械强度, 在使用前要进行水压试验。水压试验一般按设计图上的要求进行, 如果设计无要求, 则按系统的操作压力要求进行, 若系统的操作压力在 $5 \times 101.3 \text{ kPa}$ 以下, 则试验压力为操作压力的1.5倍(铸铁设备除外); 操作压力在 $5 \times 101.3 \text{ kPa}$ 以上, 试验压力为操作压力的1.25倍; 操作压力不到 $2 \times 101.3 \text{ kPa}$ 时, 试验压力 $2 \times 101.3 \text{ kPa}$ 即可。

水压试验的步骤是, 关闭收集器7、8底的排放阀, 开启系统

上所有放空阀。向塔内加入清水,当放空管有水溢出时,就关闭放空阀。然后用水压机对系统打压,并使系统压力控制在操作压力的1.25倍。在此压力下对设备及管道进行全面检查,如发现泄漏,作下记号,卸压后处理,直至无泄漏。

水压试验时升压要慢,试验压力较高时,要逐渐加压,以便能及时发现漏处或其他缺陷。恒压工作不要反复进行,以免影响设备和管道的强度。试验结束后,将系统内的水排净。

在水压试验中应注意以下几点:

a. 不允许用铁器敲打设备。

b. 在1h内压力下降范围为:

容积在 1m^3 以下,允许下降值小于1%;

容积在 $1\sim 3\text{m}^3$ 范围内,允许下降值小于0.2%;

容积在 3m^3 以上时,允许下降值小于0.2%。

c. 水压试验要用常温下的清水,并要从设备的最低点注入,使设备内的气体由上边放净。

为了保证开车时气体不从法兰及焊缝处泄漏出来,使塔操作连续稳定,必须进行系统气密试压。

试压方法是用压缩机向系统内送入空气,并逐渐将压力提高到操作压力的1.05倍。然后对所有设备、管线上的焊缝和法兰逐个抹肥皂水进行查漏,发现漏处,做好标记或记录,卸压后进行处理。无泄漏后,保压30min,压力不下降为合格,最后将气体放空。

气密性试验中应注意如下几点:

a. 试验所用气体须是惰性气体,对检修后的设备更应如此。

b. 压力表刻度要小。一般用 $0.2\times 10^1.3\text{kPa}$ 以下刻度的压力表。

c. 试验的压力一般为操作压力的1.1倍,对操作压力在 $5 \times 10^1.3 \text{ kPa}$ 以上的设备试压压力,则为操作压力的1.05倍。

d. 系统试压,规定定压24h。单体试压,规定定压8h。

e. 在试压过程中,最好使用两个压力表和两支温度计进行对照。

f. 每小时气体平均泄漏量不大于0.25%。其计算公式为:

$$A = \left[1 - \frac{p_{\text{终}} \cdot T_{\text{初}}}{p_{\text{初}} \cdot T_{\text{终}}} \right] \times 100\% \div t \quad (3-49)$$

式中 A —— 单位时间泄漏量, %;

$p_{\text{初}}、p_{\text{终}}$ —— 试压最初和最终的绝对压力, kPa;

$T_{\text{初}}、T_{\text{终}}$ —— 试压最初和最终的绝对温度, K;

t —— 试压总时间, h。

定压24h,中间泄漏量较大,可加起来求平均值。如果用空气代替惰性气体时,则泄漏量换算公式为:

$$A_{\text{惰}} = A_{\text{空}} \times \frac{\rho_{\text{惰}}}{\rho_{\text{空}}} \quad (3-50)$$

式中 $\rho_{\text{惰}}、\rho_{\text{空}}$ —— 惰性气体与空气的密度, kg/m^3 。

④ 单机试车和联动试车 单机试车是为了确认转动和待转动设备(如空气压缩机和离心泵等)是否合格好用,是否符合有关技术规范。

单机试车是在不带物料和无载荷的情况下进行的。首先断开联轴节,单独开动电动机,运转48h,观察电机是否发热,振动,有无杂音,转动方向是否正确等。当电机试验合格后,再和水泵联接在一起进行试验,一般也运转48h(此项试验应以设备使用说明书或设计要求为依据),在运转过程中,经过细心观察和仪表检测,均达到设计要求时(如温度、压力、转速等)即为合格。如在试车中发现问题,应会同施工单位有关人员及时检修,修好

后重新试车,直到合格为止。试车时间不累计。

联动试车是用水或生产物料相类似的其他物料,代替生产物料所进行的一种模拟生产状态的试车。目的是为了检验生产装置连续通过物料的性能。联动试车时给水加热,观察仪表是否准确地指示通过的流量、温度和压力等数据,以及设备的运转是否正常等情况。

联动试车能暴露设计和安装中的一些问题,在这些问题解决后,再进行联动试车,直至流程畅通为止。联动试车后,把水放空并清洗干净。

⑤ 系统的置换 在工业生产中,被分离的物质绝大部分为有机物,它们具有易燃、易爆的性质;在设备投产前,如果不驱出设备内的空气,就很容易与有机物形成爆炸混合物。因此,在向系统送入混合物之前,应先用惰性气体(氮气)将其中的空气置换,置换气中含氧量不大于0.5%。惰性气体由压缩机供给,置换气体从系统的后部放空。

在置换时,塔系统的溶液管线用溶液充满,并使塔建立正常的液柱,以免形成死角。

⑥ 系统开车 系统置换合格后,即可进行系统开车。系统的开车方法和短期停车后的开车方法相同,这将在下一个操作技术中讲述。

(3) 精馏塔正常开、停车操作技术

① 正常开车 系统装置置换合格后,即可进行生产的正常开车。精馏操作的正常开车分为短期停车后开车和长期停车后开车。

a. 短期停车后的开车。在开车准备工作就绪后,确认可以开车时,待令开车。由于被分离的液体混合物性质不同,开车方法不尽相同。一般情况是:

检查原料库存情况,选定加料量,向塔釜加料。当塔釜看见液面后,缓慢升温,在此过程中,随着塔压的升高,塔内的惰性气体逐渐被排出,此时冷凝水相应将逐渐加大,并进行全回流操作。当塔釜液面控制在 $1/2 \sim 2/3$ 时,即可开始加料,当塔随升温过程已转为正常后,停止加料,让其塔自身循环,待回流液分析合格后,开始采出产品,并继续投料生产。

在自身循环过程中,是全回流操作,当达到连续加料,并连续采出时,即为开车成功。

在空塔投料刚升温时,升温速度要缓慢,因为这时没有液体回流,塔板上还没进行气液接触和物质交换,因而气体上升速度比正常操作速度快。随着温度的升高,塔顶蒸出的气体被冷凝后,回流到塔顶并沿塔板下流,在塔板上逐渐形成液体层,塔内便将进行传质和传热过程。如果不按此操作,难挥发组分就会带到塔顶,生产出的产品就会不合格。

b. 长期停车后的开车。长期停车后的开车,一般是指检修后的开车。首先检查各设备、管道、阀门、各取样点、电气及仪表等是否完好正常;然后对系统进行吹净、清洗、强度和气密性试验,以及对系统置换,一切正常合格后,按短期停车后的开车操作步骤进行。

② 停车 在化工生产中停车方法与停车前的状态有关,不同的状态,停车的方法及停车后的处理方法也就不同。一般有以下三种方式:

a. 正常停车。生产进行一段时间后,设备需要进行检查或检修而有计划的停车称正常停车,这种停车是逐步减少物料的加入,直到完全停止加入。待物料蒸完后,停止供汽加热、降温并卸掉系统压力,然后停止供水,将系统中的溶液排放(排到溶液贮槽)干净。打开系统放空阀,并对设备进行清洗。若原料气中含

有易燃、易爆气体,要用惰性气体对系统进行置换,当置换气中含氧量小于0.5%、易燃气总含量小于5%时为合格。最后用鼓风机向系统送入空气,置换气中氧含量大于20%即为合格。

停车后,对于某些需要进行检修的设备,必须要用盲板切断设备上的物料管线,以免可燃物漏出而造成事故。

b. 紧急停车。生产中一些想象不到的特殊情况下的停车称紧急停车。如某些设备损坏,某部分电气设备的电源发生故障,某一个或多个仪表失灵等,都会造成生产装置的紧急停车。

发生紧急停车时,首先停止加料,调节塔釜加热蒸汽和凝液采出量,使操作处于待生产的状态,此时,应积极抢修,排除故障,待停车原因消除后,应按开车的程序恢复生产。

c. 全面紧急停止。当生产过程中突然发生停电、停水、停汽或发生重大事故时,则要全面紧急停车。这种停车事前操作者是不知道的,要尽力保护好设备,防止事故的发生和事故的扩大。

对于自动程度较高的生产装置,在车间内备有急停车按钮,开和关键阀门联锁在一起,当发生紧急停车时,以最快的速度去按这个按钮。

为了防止全面紧急停车的发生,一般的化工厂均有备用电源,当第一电源断电时,第二电源应立即送电。

可知,化工生产中的开、停车是一个很复杂的操作过程,且随精馏方式不同面有所差异。

(4) 精馏塔工艺操作指标调节技术

① 塔压的调节 精馏塔的压力是工艺操作诸因素中最主要的因素之一,只有弄清楚塔压是由哪些因素引起的,才能找准控制和调节塔压的地方。

在正常操作中,如果加料量、釜温以及塔顶冷凝器的冷剂量等条件都不变化,则塔压将随采出量的多少而发生变化。采出量

太少,塔压升高。反之,采出量太大,塔压下降。可见,采出量的相对稳定可使塔压稳定。可用塔顶采出量来控制塔压的操作。

操作中有时釜温、加料量以及塔顶采出量都未变化,塔压却升高。可能是冷凝器的冷剂量不足或冷剂温度升高。抑或冷剂压力下降。这时应尽快联系供冷单位予以调节。如果一时冷剂不能恢复到正常操作情况,则应在允许的条件下,塔压可维持高一点或适当加大塔顶采出,并降低釜温,以保证不超压。

一定温度有相应的压力。在加料量和回流量及冷剂量不变情况下,塔顶或塔釜温度的波动,引起塔压的相应波动,这是正常的现象。如果塔釜温度突然升高,塔内上升蒸气量增加,必然导致塔压的升高。这时除调节塔顶冷凝器的冷剂和加大采出量之外,更重要的是恢复塔正常温度,如果处理不及时,重组分带到塔顶,将使塔顶产品不合格;如果单纯考虑调节压力,加大冷剂量,不去恢复釜温,则易产生液泛;如果单从采出量方面来调节压力,则会破坏塔内各板上的物料组成,严重影响塔顶产品质量。当釜温突然降低,情况恰恰与上述相反,其处理方法也对应地变化。至于塔顶温度的变化引起塔压的变化,可能性很小。

若是设备问题引起塔压变化,则应适当地改变其他操作因素,进行适当调节,严重时停车修理。

② 塔釜温度的调节 在一定的压力下,被分离的液体混合物,气化程度决定于温度,而温度由塔釜加热器(又称蒸发釜或再沸器)的蒸气用量来控制。在釜温波动时,除了分析加热器的蒸气量和蒸气压力的变动之外,还应考虑其他因素的影响。例如,塔压的升高或降低,也能引起釜温的变化,当塔压突然升高,虽然釜温随之升高,但上升蒸气量却下降,使塔釜轻组分变多,此时,要分析压力升高的原因并予以排除。如果塔压突然下降,此时釜温随之下降,上升蒸气量却增加,塔釜液可能被蒸空,重

组分就会带到塔顶。

在正常操作中,有时釜温会随着加料量或回流量的改变而改变。因此,在调节加料量或回流量时,要相应地调节塔釜温度和塔顶采出量,使塔釜温度和操作压力平稳。

③ 回流量的调节 回流量是直接影响产品质量和塔的分离效果的重要因素,在精馏操作中,回流的形式有强制回流和位差回流。

一般,回流量是根据塔顶产品量按一定的比例来调节的。位差回流就是冷凝器按其回流比将塔顶蒸出来的气体冷凝,冷凝液借冷凝器与回流入口之位差(静压头)返回塔顶的。因此,回流量的波动与冷凝的效果有直接的关系。冷凝效果不好,蒸出来的气体不能按其回流比冷凝,则回流量将会减少。另外,采出量不均,也会引起压差的波动而影响回流量的波动。强制回流是借泵把回流液输送到塔顶,它虽然能克服塔压差的波动,保证回流量平稳,但冷凝器的冷凝好坏及塔顶采出量的情况都会影响回流,甚至使得回流不能连续。

回流量的增加,塔压差明显增大,塔顶产品纯度会提高;回流量减少,塔压差变小,塔顶产品纯度变差(重组分含量增加)。在操作中,一般依据这两方面的因素来调节回流比。

④ 塔压差的调节 塔压差是判断精馏塔操作加料、取料是否均衡的重要标志之一。在加料、取料保持平衡和回流量保持稳定的情况下,塔压差基本不变。

如果塔压差增大,必然引起塔身各板温度的变化,这可能是因塔板堵塞,或是采出量太少,塔内回流量太大所致,此时应提高采出量来平衡操作,否则,塔压差逐渐增大,将引起液泛。当塔压差减小时,釜温不太好控制,这可能是塔内物料太少,精馏段处于干板操作,起不到分离作用,必然导致产品质量下降。此时

应及时减少塔顶采出量, 加大回流量, 使塔压差保持稳定。

⑤ 塔顶温度的调节 在精馏操作中, 塔顶温度由回流温度来控制, 但不是以回流量来控制。塔顶温度波动受多种因素的影响。

在正常操作中, 若加料量、回流量、釜温及操作压力都不变的情况下, 则塔顶温度处于稳定正常状态。当操作压力提高时, 塔顶温度就会下降, 反之, 塔顶温度就要上升。如遇到这种情况, 必须恢复正常操作压力, 方能使塔顶温度正常。另外, 在操作压力正常的情况下, 塔顶温度随塔釜温度的变化而变化。塔釜温度稍有下降, 塔顶温度随之下降, 塔釜温度稍有提高, 塔顶温度立即上升。遇到此情况, 若操作压力适当, 产品质量很好时, 可适当调节釜温, 恢复塔顶温度。否则, 会因塔顶温度的波动而影响塔顶或塔釜的产品质量。

在一般情况下, 尽量不以回流温度来调节塔顶温度, 如果由于塔顶冷凝器效果不好, 或冷剂条件较差, 使回流温度升高而导致塔顶温度上升, 进而塔压提高不易控制时, 则应尽快设法解决冷凝器的冷却效果, 否则, 会影响精馏的正常进行, 使塔釜排出物中易挥发组分增多。

⑥ 塔釜液面的调节 无论哪一种精馏操作, 严格控制塔釜液面都是很重要的。控制塔釜的液面至一定高度, 一方面起到塔釜液封的作用, 使被蒸发的轻组分蒸气, 不致从塔釜排料管跑掉; 另一方面, 使被蒸发的液体混合物在釜内有一定的液面高度和塔釜蒸发空间以及塔釜混合液体在蒸发器内的蒸发面与塔釜液面有一个位差高度, 保证液体因静压头作用而不断循环去蒸发器内进行蒸发。

塔釜的液面一般以塔釜排出量来控制, 在正常操作中, 当加料、产品、取出和回流量等条件一定时, 塔釜液的排出量也应该

是一定的。但是,它随塔内温度、压力、回流量等条件的变化而变化。如果这些条件发生变化,将引起塔釜排出物组成的改变,塔釜液面亦随之改变,若不及时调节塔釜排出量,就会影响正常操作。例如,当加料量不变时,塔釜温度下降,于是塔釜液中易挥发组分增多,促使塔釜液增加。如不增大釜液排出量,塔釜必然被充满,为了恢复正常,就得提高釜温,或增大釜液排出量来稳定塔釜的液面。又如加料组成中重组分增加,在其他操作条件都不变的情况下,必然导致釜液排出量增加,这时如不以增大釜液排出量来控制塔釜液面,而是用提高塔釜温度来保持塔釜液面,则重组分将被蒸到塔顶,使塔顶产品质量下降。

(5) 精馏塔操作中异常现象及处理方法

精馏操作中,常出现的一些异常现象及处理方法如表3-10。

表 3-10 精馏塔操作中的异常现象及处理

异常现象	原因	处理方法
釜温及压力不稳	1) 蒸气压力不稳 2) 疏水器不畅通 3) 加热器漏	1) 调整蒸气压力至稳定 2) 检查疏水器 3) 停车检查漏处
釜温突然下降 而提不起温度	开车升温 1) 疏水器失灵 2) 扬水站回水阀未开 3) 蒸发器内冷凝液未排除, 蒸汽加不进去 4) 蒸发器内水不溶物多	1) 检查疏水器 2) 打开回水阀 3) 吹凝液 4) 清理蒸发器

续表

异常现象	原因	处理方法
釜温突然下降而提不起温度	正常操作 1) 循环管堵, 蒸发釜内没有循环液 2) 蒸发器列管堵 3) 排水阻气阀失灵 4) 塔板堵, 液体回不到塔釜	1) 通循环管 2) 通列管 3) 检查阀 4) 停车检查情况
塔顶温度不稳定	1) 釜温太高 2) 回流液温度不稳 3) 回流管不畅通 4) 操作压力波动 5) 回流比小	1) 调节釜温至规定值 2) 检查制冷剂温度或冷剂量 3) 疏通回流管 4) 稳定操作压力 5) 调节回流比
系统压力增高	1) 制冷剂温度高或循环量小 2) 采出量太小 3) 塔釜温度突然上升 4) 设备有损或堵	1) 与供冷单位联系 2) 增大采出量 3) 调节加热蒸汽 4) 检查设备进行修理
淹塔	1) 釜温突然升高 2) 回流比大 3) 塔釜列管有漏	1) 调加料量, 降釜温, 停采出 2) 降回流, 增大采出量 3) 停车检修
塔釜液面不稳定	1) 塔釜排出量不稳 2) 塔釜温度不稳 3) 加料成分有变化	1) 稳定釜液排出量 2) 稳定釜温 3) 稳定加料成分

五、填料塔吸收操作技术

在工业生产中,常常需要把一些气体混合物分离或净制成纯净的原料气或气体产品,其有效方法就是吸收操作。因此,吸收操作是化工生产中很重要的单元操作。

1. 吸收的基本概念

在吸收过程中,根据操作过程中有无化学反应,可将吸收分为物理吸收和化学吸收。如用水吸收 CO_2 (水洗),为物理吸收;在吸收过程中伴有化学反应,如用醋酸吸收乙烯酮成为醋酐,为化学吸收。被选用具有吸收能力的液体,称为吸收剂或溶剂,被吸收剂吸收的气体组分,叫溶质或吸收质,不被吸收的气体组分称为惰性气体或载体,经吸收后得到含有吸收质的溶液称为吸收液。

化工生产中,吸收操作常常应用在几个方面。

① 分离气体混合物 例如在合成橡胶工业中,用酒精吸收反应气,以分离丁二烯及烃类气体。

② 制备溶液 如用98.3%的硫酸吸收 SO_3 ,以制备浓硫酸,用水来吸收 HCl 来制备盐酸等。

③ 除去混合气体中有害组分,达到净化的目的 如用碱或高压水来吸收合成氨原料气中的 CO_2 ,而 CO ,则用醋酸铜氨溶液吸收除去。

④ 回收废气中的有用组分 如用汽油吸收焦炉气中的苯,既回收了有用物质,又消除了“三废”,防治了环境的污染。

气体吸收过程与溶液的蒸馏过程一样,都属于传质过程。但它们之间又有区别:蒸馏是分离液体混合物,根据混合物中各组分挥发能力的不同进行分离。而吸收则是分离气体混合物,根据混合物中各组分在吸收剂中溶解度的不同进行分离;蒸馏传质过程是双相传质,即易挥发组分向气相中转移,难挥发组分向液

相中转移,而吸收传质是单相传质过程,是气相中易溶组分向液相中转移。

2. 吸收原理

吸收是选用适当的液体作为吸收剂,与气体混合物逆向接触,利用混合物中各组分在吸收剂中溶解度的不同,以除去其中一种或多种组分的过程,即气体中的可吸收组分(溶质)从气相转入液相(吸收剂)的传质过程。此过程依赖于分子扩散和对流扩散。当溶质从气相溶于液相的速率等于它从液相返回气相的速率,且组成不再改变时,气液两相达到平衡,此时,实际浓度与对应的平衡浓度之差为零,即吸收的推动力为零,吸收溶解过程停止。

平衡时,定量吸收剂所能溶解溶质的最大数量,即溶质在溶液中的浓度,称为平衡浓度,简称溶解度。

3. 影响吸收操作的因素

影响吸收过程的因素除塔结构外,主要还有吸收质的溶解性能,吸收性能和工艺操作条件。

(1) 吸收质的溶解性能 由于气体混合物中各组分在吸收剂中的溶解度不同,因而提高吸收速率的途径就不一样。对于易溶气体,溶质就很容易被吸收剂吸收,加大气体流速,提高吸收速率;对于难溶气体,溶质很难转入液相,于是,提高液体流速,可以提高吸收速率。

(2) 吸收剂性能 吸收剂性能好坏,将直接影响吸收操作的效果。因此,在选用吸收剂时,应符合:①要有较好的选择性;②具有较好的化学稳定性;③要求吸收剂粘度小;④具有较小的比热和密度;⑤无毒、无腐蚀性等性能。

(3) 工艺操作条件

① 温度 吸收温度对吸收率的影响很大。温度越低、气体

越容易溶解在液体中,吸收效率越高。

由于吸收过程是放热反应,为了降低吸收温度,通常设置中间冷却器,从吸收塔中部取出吸收过程放出的热量。

② 压力 提高操作压力,可以提高混合气体中被吸收组分的分压,增大吸收的推动力,有利于气体的吸收。但是,过高地增加压力,会加大操作难度和生产费用,因此,吸收操作一般在常压下进行,若吸收后气体需进行高压反应,则可采用高压下吸收操作,既有利于吸收,又增大吸收塔的生产能力。

③ 塔内气体流速 在吸收剂稳定的操作情况下,当气流速度不大,作滞流运动时,吸收速率低;当气流速度增大呈湍流状态时,吸收速率大大增加;当气流速度增大至某一值(液泛速度)时,液体便不能向下流动,造成夹带雾沫,气液接触不良,甚至造成液泛现象,无法进行操作。因此,稳定操作流速,以保证吸收操作高效率的平稳生产。

④ 吸收剂流量 吸收剂流量越大,塔内喷淋量越大,气液的接触面越大,吸收效率可以得到提高。但是,吸收剂用量不宜过大,否则吸收液的质量达不到要求;若用量过小,混合气体中被吸收组分不能完全被吸收,使吸收后的气体纯度降低。

4. 填料吸收塔操作技能

(1) 填料吸收塔操作装置 吸收塔操作装置一般为带部分吸收剂再循环的吸收流程,如图3-10所示。按此操作方法,是用泵2从吸收塔1抽出吸收剂,经过冷却器3再回入塔内;同时,抽出部分用过的吸收剂,补充对应量的新鲜吸收剂,其可在泵前或泵后,但应先抽出而后补充。

(2) 操作技能

① 装填料 吸收塔经检查吹扫后,即可向塔内装入用清水洗净的填料,对拉西环、鲍尔环等填料,均可采用不规则和规则

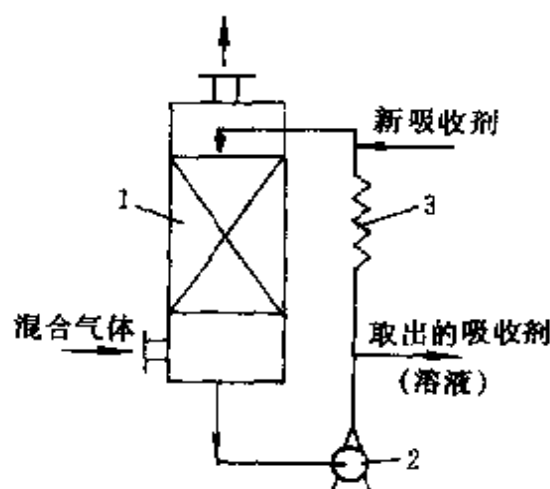


图 3-10 带部分吸收剂再循环的吸收流程

1-吸收塔; 2 泵; 3- 冷却器

排列法装填。若采用不规则排列法, 则先在塔内注满水, 然后从塔的人孔部位或塔顶将填料轻轻地倒入, 待填料装至规定高度后, 把漂浮在水面上的杂物捞出, 并放净塔内的水, 将填料表面扒平, 最后封闭入孔或顶盖。在装填瓷质填料时, 要注意轻拿轻倒, 以免碰碎而影响塔的操作。

矩鞍形和弧鞍形填料以及阶梯环填料均可采用乱堆法装填。若采用规则法排列, 则操作人员从入孔处进入塔内, 按排列规则将填料排至规定高度。木格填料的装填方法, 是从塔底分层地向上装填, 每两层木格之间的夹角为 45° , 装完后, 在木格上面还要用两根工字钢压牢, 以免开车时气流将木格吹翻。塔内填料装完后, 即可进行系统的气密性试验。

② 设备的清洗及填料的处理

a. 设备清洗。在运转设备进行联动试车的同时, 还要用清水清洗设备, 以除去固体杂质, 清洗中不断排放污水, 并不断向溶液槽内补加新水, 直至循环水中固体杂质含量小于50ppm为止。

在生产中, 有些设备经清水清洗后即可满足生产要求, 有些设备则要求清洗后, 还要用稀碱溶液洗去其中的油污和铁锈。方

法是向溶液槽内加入5%的碳酸钠溶液,启动溶液泵,使碱溶液在系统内连续循环18~24h,然后,放掉碱液,再用软水清洗,直至水中含碱量小于0.01%时为止。

b. 填料的处理。瓷质填料一般与设备清洗后即可使用,但木格和塑料填料,还须特殊处理后才能使用。

木格填料中通常含有树脂,在开车前必须用碱液对木格填料进行脱脂处理。其操作为:用清水洗除木格填料表面的污垢;用约10%的碳酸钠溶液于313~323K下循环洗涤,并不断往碱溶液中补加碳酸钠,以保证碱浓度稳定;当循环液中碱浓度不再下降时,停止补加碳酸钠,确认脱脂合格;放净系统内碱液和泡沫,并用清水洗到水中含碱量小于0.01%为止。

塑料填料在使用前也必须碱洗。其操作为:用温度为363~373K、浓度为5%的碳酸钾溶液清洗48h,随后放掉碱液;用软水清洗8h;按设备清洗过程清洗2~3次。

塑料填料的碱洗一般在塔外进行,洗净后再装入塔内。有时也可装入塔内进行碱洗。

③ 系统的开车 系统在开车前必须进行置换,合格后,即可进行开车,其操作步骤如下:

- a. 向填料塔内充压至操作压力;
 - b. 启动吸收剂循环泵,使循环液按生产流程运转;
 - c. 调节塔顶喷淋量至生产要求;
 - d. 启动填料塔的液面调节器,使塔底液面保持规定的高度;
 - e. 系统运转稳定后,即可连续导入原料混合气,并用放空阀调节系统压力;
 - f. 当塔内的原料气成分符合生产要求时,即可投入正常生产。
-

④ 系统的停车 填料塔的停车也包括短期停车、紧急停车和长期停车。

短期停车(临时停车),其操作为:

- a. 通告系统前后工序或岗位;
- b. 停止向系统送气,同时关闭系统的出口阀;
- c. 停止向系统送循环液,关闭泵的出口阀,停泵后,关闭其进口阀;
- d. 关闭其他设备的进出口阀门。

系统临时停车后仍处于正压状况。

紧急停车操作:

- a. 迅速关闭原料混合气阀门;
- b. 迅速关闭系统的出口阀;
- c. 按短期停车方法处理。

长期停车操作:

- a. 按短期停车操作停车,然后开启系统放空阀,卸掉系统压力;
- b. 将系统中的溶液排放到溶液贮槽或地沟,然后用清水洗净;
- c. 若原料气中含有易燃易爆物,则应用惰性气体对系统进行置换,当置换气中易燃物含量小于5%,含氧量小于0.5%时为合格;
- d. 用鼓风机向系统送入空气,进行空气置换,当置换气中含氧量大于20%为合格。

⑤ 正常操作要点及维护 吸收系统主要由冷却器、泵和填料吸收塔组成,如何才能使这些设备发挥很大的效能和延长使用寿命,应做到严格按操作规程操作,及时进行检查与维护。

正常操作要点:

- a. 进塔气体的压力和流速不宜过大, 否则会影响气、液两相的接触效率, 甚至使操作不稳定;
- b. 进塔吸收剂不能含有杂物, 避免杂物堵塞填料缝隙。在保证吸收率的前提下, 尽量减少吸收剂的用量;
- c. 控制进入温度, 将吸收温度控制在规定的范围;
- d. 控制塔底与塔顶压力, 防止塔内压差过大。压差过大, 说明塔内阻力大, 气、液接触不良, 致使吸收操作过程恶化;
- e. 经常调节排放阀, 保持吸收塔液面稳定;
- f. 经常检查泵的运转情况, 以保证原料气和吸收剂流量的稳定;
- g. 按时巡回检查各控制点的变化情况及系统设备与管道的泄漏情况, 并根据记录表要求作好记录。

正常维护要点:

- a. 定期检查、清理或更换喷淋装置或溢流管, 保持不堵、不斜、不坏;
- b. 定期检查箴板的腐蚀程度, 防止因腐蚀而塌落;
- c. 定期检查塔体有无渗漏现象, 发现后, 应及时补修;
- d. 定期排放塔底积存脏物和碎填料;
- e. 经常观察塔基是否下沉, 塔体是否倾斜;
- f. 经常检查运输设备的润滑系统及密封, 并定期检修;
- g. 经常保持系统设备的油漆完整, 注意清洁卫生。

③ 异常现象及处理方法 填料吸收塔系统在运行过程中, 由于工艺条件发生变化、操作不慎或设备发生故障等原因而造成不正常现象。一经发现, 就应及时处理, 以免造成事故。常见的异常现象及处理方法如表3-11。

表 3-11 常见的异常现象及处理方法

异常现象	原因	处理方法
尾气夹带液体量大	1) 原料气量过大 2) 吸收剂量过大 3) 吸收塔液面太高 4) 吸收剂太脏、粘度大 5) 填料堵塞	1) 减少进塔原料气量 2) 减少进塔喷淋量 3) 调节排液阀, 控制在范围 4) 过滤或更换吸收剂 5) 停车检查, 清洗或更换填料
吸收剂用量突然下降	1) 溶液槽液位低、泵抽空 2) 水压低或停水 3) 水泵损坏	1) 补充溶液 2) 使用备用水源或停车 3) 启动备用水泵或停车检修
尾气中氨含量高	1) 进塔原料气中氨含量高 2) 进塔吸收剂用量不够 3) 吸收温度过高或过低 4) 喷淋效果差 5) 填料堵塞	1) 降低进塔入口处的氨浓度 2) 加大进塔吸收剂用量 3) 调节吸收剂入塔温度 4) 清理、更换喷淋装置 5) 停车检修或更换填料
塔内压差太大	1) 进塔原料气量大 2) 进塔吸收剂量大 3) 吸收剂太脏、粘度大 4) 填料堵塞	1) 降低原料气进塔量 2) 降低吸收剂进塔量 3) 过滤或更换吸收剂 4) 停车检修或清洗、更换填料
塔液面波动	1) 原料气压力波动 2) 吸收剂用量波动 3) 液面调节器出故障	1) 稳定原料气压力 2) 稳定吸收剂用量 3) 修理或更换
鼓风机有响声	1) 杂物进入机内 2) 水带入机内 3) 轴承缺油或损坏 4) 油箱油位过低、油质差 5) 齿轮啮合不好、有活动 6) 转子间隙不当或轴向位转	1) 紧急停车处理 2) 排除机内积水 3) 停车加油或更换轴承 4) 加油或更换油 5) 停车检修或启动备用鼓风机 6) 停车检修或启动备用鼓风机

第三节 化工生产的原料及化工产品

一、化工生产原料的分类

化工原料按生产程序可分为起始原料、基本原料和中间原料。按物质来源分, 可有无机原料和有机原料。起始原料是人们经过开采、种植、收集等生产劳动获得的原料, 如空气、水和化学矿物就是起始的无机原料, 煤、石油和天然气, 以及农、林、牧、渔类产品为起始有机原料。基本原料是从起始原料经加工制得的

原料。如有机原料中的烃类(脂肪烃、脂环烃、芳香烃等)。中间原料是从基本原料再加工制得的原料。如烃类的含氧化合物, 甲醇、醋酸、丙酮、苯胺、氯乙烯等。

当然, 这样的区分不是绝对的, 而是相对的。比如, 从矿石开采出来的煤, 可用作燃料, 但它又可当作起始原料, 经炼焦后产物焦炭与生石灰在电炉中熔融制成电石, 这又是基本原料, 而后又由电石发生乙炔, 由乙炔生产乙醛、醋酸、醋酐等中间原料。

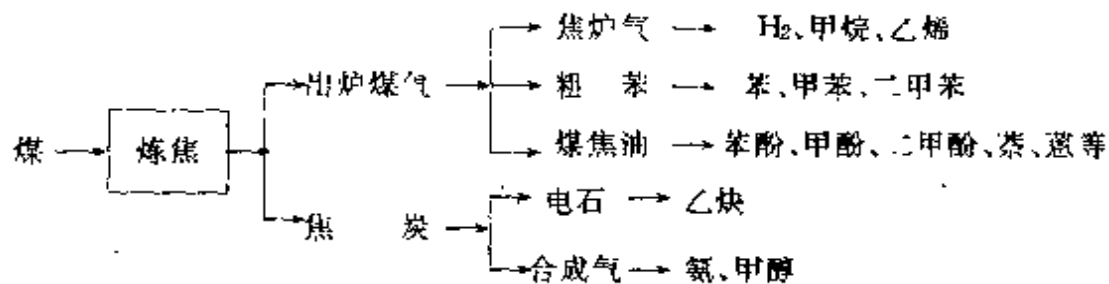
二、有机原料的化工利用

1. 煤的化工利用

煤可分为泥煤、褐煤、烟煤和无烟煤。煤的主要成分为碳、氢以及氧、氮、硫等化合物, 煤的化学加工途径很多, 主要有焦化、气化、液化和生产电石四个方面。

(1) 煤的焦化 将煤装入密闭的炼焦炉中, 隔绝空气加热, 进行高温干馏, 使煤发生许多复杂的化学变化的加工过程, 称为煤的焦化。煤经高温炼焦可得到多种有机原料, 可用表3-12所示。

表 3-12 煤高温炼焦制取化工原料表



(2) 煤的气化 煤的气化是利用空气(氧或含氧化合物, 如水蒸气、二氧化碳)吹过灼热的煤层, 在高温下, 将煤中的有机物转化为 CO 、 H_2 等气体过程。

工业上由煤生产合成气的方法有: 固定床气化法和沸腾床气化法。固定床气化法是将水蒸气通入灼热的煤层, 在高温下与

煤发生化学反应而得到氢和一氧化碳的混合气体(合成气)。由氢和一氧化碳作起始原料,可合成氨、甲醇、醛、酚、芳香烃等一系列重要化工产品(中间原料)。

(3) 煤的液化 煤在催化剂的作用下,与氢在高温下进行反应,生成液体产品——人造石油,后经过进一步加工,可获得基本原料。

(4) 电石 将煤炼焦产物焦炭与生石灰加入电炉中,在炉内电极弧光形成2273~2473K 高温下熔融就可反应制得电石。

电石是生产乙炔的重要原料,以电石为基本原料,可以合成许多重要的中间原料,如乙醛、乙酸、乙醚、氯乙烯、丙烯腈、丁醇和辛醇等,这些原料进一步加工,可生产合成橡胶、合成塑料、合成纤维。

2. 石油及其加工

从地下开采出来的未经加工处理的石油叫原油。原油是一种有气味、粘稠状的黑褐色液体,相对密度为0.75~1.0,不溶于水。它是由碳氢化合物所组成的混合物,其中主要有烷烃及芳烃,还有少量的含氧、含氮和含硫化合物,但没有烯烃和炔烃。

开采石油时,伴随石油从油井中采出的气体,称为“油田气”或“石油伴生气”。油田气与天然气的来源和性质都很相似,主要成分是低级饱和烃,其中含有甲烷、乙烷、丙烷和丁烷,以及少量轻汽油。此外,还含有杂质硫化氢、硫醇等。

石油在加工以前,先将石油中所含的水、盐类、泥砂等除去。将原油加工成各种石油产品的过程称为石油加工,或石油炼制,简称“炼制”。石油加工的过程主要有如下几种:

(1) 常减压蒸馏 将净化的原油先在常压蒸馏塔中进行加热蒸馏(直接蒸馏),根据原油中各组分的沸点不同,将其分割成各种不同沸点范围的馏分,得到汽油、煤油、柴油和重油。然后在

减压下再将重油蒸馏,得到催化裂化和制取润滑油和石蜡的原料,也是石油化工厂高温裂解制取低级烯烃的重要原料。

(2) 催化裂化 催化裂化是在催化剂存在下进行的裂化过程。由于催化剂的存在,可以使过程在较低的温度和压力下进行,同时可以促进异构化、芳异化、环烷化等反应进行,从而得到高辛烷值^①汽油(辛烷值可达80%以上)、柴油和副产催化裂化气。

催化裂化装置可分为固定床、移动床和流化床三种类型。目前多采用催化剂为硅酸铝的流化床反应器,反应操作温度为723~753K。

(3) 催化重整 重整是将汽油中烃分子的碳骨架重新调整而转化为新的分子的化学过程。其主要目的,一是把原来汽油中的烷烃、环烷烃变成芳烃;二是提高汽油辛烷值。目前炼油厂大多采用铂为催化剂,所以称为“铂重整”。为了强化重整过程,增加芳烃收率,近些年发展采用铂-铼、铂-铱等两种以上金属的多元重整。

重整的原料油选用333-413K的沸程的直馏汽油,操作压力为1.0~4.5MPa,温度在673~823K。经重整后所得到的油称为重整油,其中含芳烃量很高,达30~50%,所以催化重整已成为制取芳烃的一个主要方法。将重整油中的芳烃抽提后,余下的部分油称为抽余油(馏程为323~417K,主要组分是C₆~C₈烷烃),可作生产烯烃的裂解原料。

在石油加工过程中还可获得副产气体,即炼厂气。它主要包

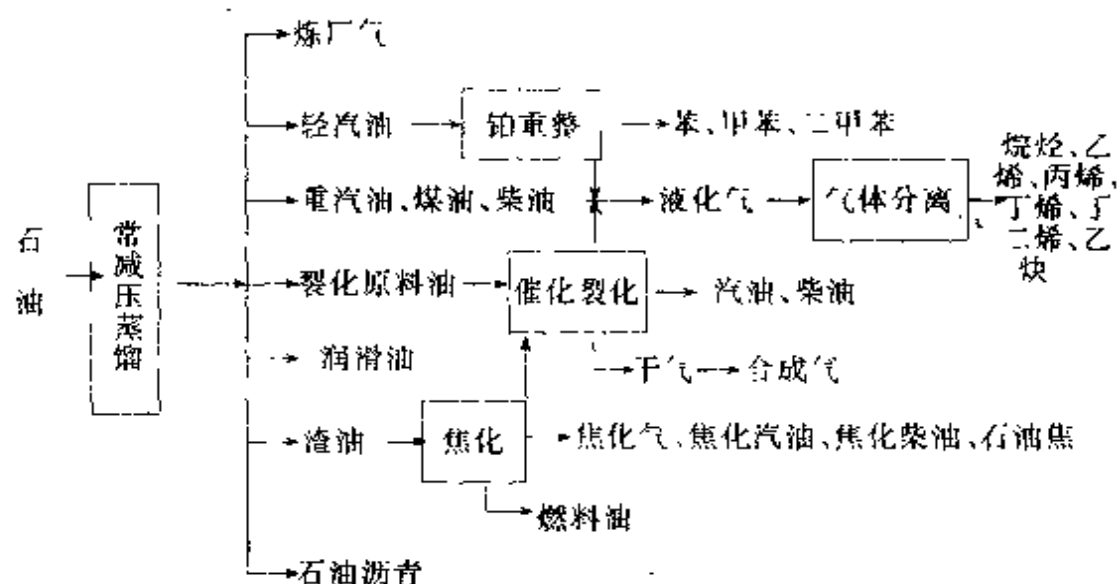
① 辛烷值 - 是一项衡量汽油作为动力燃料的抗爆震性能的指标。规定正庚烷的辛烷值为零,异辛烷的辛烷值为100。在正庚烷和异辛烷的混合物中,异辛烷所占的百分率,叫作该混合物的辛烷值。辛烷值越高,抗震性能越好,汽油的质量越好。

括常减压蒸馏的拔顶气、催化裂化气、热裂化气、焦化气和催化重整气等。它们都是生产烯烃的裂解原料。炼厂气可分为干气(气态烃)和液化气(液态烃)两种。干气主要含有 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 等不凝气体, 液化气主要组成是 C_3 、 C_4 以及 C_5 以上组分, 经压缩冷却后呈液态, 可存放在贮罐中。

炼厂气主要从裂化及重整过程中获得。

从石油加工获取化工原料的主要途径, 如表3-13所示。

表 3-13 石油加工获取化工原料的主要途径表



3. 天然气的化工利用

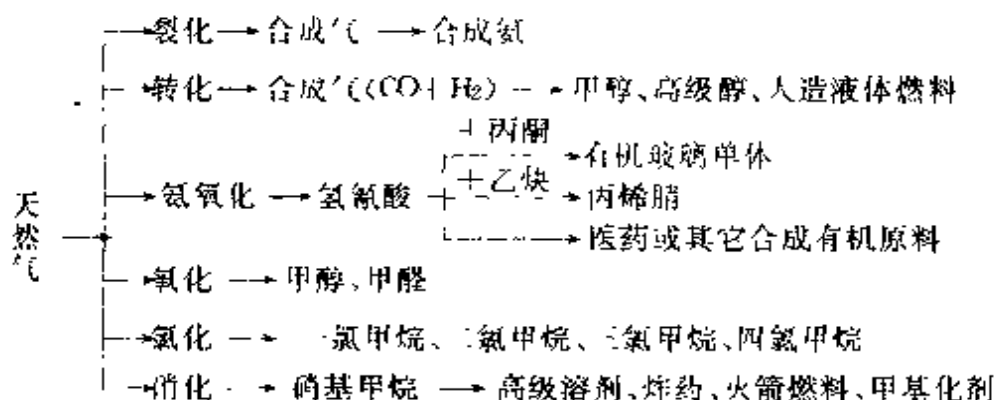
埋藏在地层内的可燃气体称为天然气。它主要含有甲烷, 还有乙烷、丙烷、丁烷等。此外, 还含有少量的硫化氢、氮、氨、一氧化碳、二氧化碳等气体。

天然气按其所含甲烷及其它烷烃含量的不同, 可分为干气和湿气两种。干气又称贫气, 通常含甲烷80~90%, 个别甚至高达99.8%。因它较难液化, 故叫干性天然气。湿气也称富气, 含有较多的乙烷、丙烷和丁烷等。因 $C_2 \sim C_6$ 的烷烃经压缩, 低温处理

后较易液化,故称湿性天然气。

天然气可作燃料,也可用作化工原料。在化工生产中,天然气经化学加工,可以制合成气($\text{CO} + \text{H}_2$);经部分氧化可生产乙炔;也可直接用以生产多种化工产品。尤其是湿气,经处理后分离,能获得乙烷、丙烷和丁烷等产品,它们又都是裂解制乙烯、丙烯的重要原料。天然气的化工加工方向如表3-14所示。

表 3-14 天然气(甲烷)的化学加工方向表



4. 农副产品的综合利用

我国农副产品及其下脚料、野生植物和非食用物料等,每年产量都非常大,它们可以用来生产各种化工原料。

可利用的农副产品大体上分为三类:一类是含淀粉物质,如粮食、薯类、野生植物种子等;另一类是含纤维素物质,如木屑、芦苇、稻草、麦杆、棉子壳、玉米芯、甘蔗渣等;还有一类是含非食用油脂的物质,例如,蓖麻油、蚕蛹和桐油等。无论是淀粉还是纤维素,它们都是由多个己糖或戊糖组成的高分子化合物,如果把它们放在酸溶液中进行水解,就会得到单一的己糖或戊糖。含淀粉物质只含己糖,含纤维素物质既含己糖又含戊糖。

在含有己糖的薯类或野生植物种子中加入酒麴(也称酵母),保持一定的湿度,己糖就会发酵变成乙醇,乙醇是一种有机

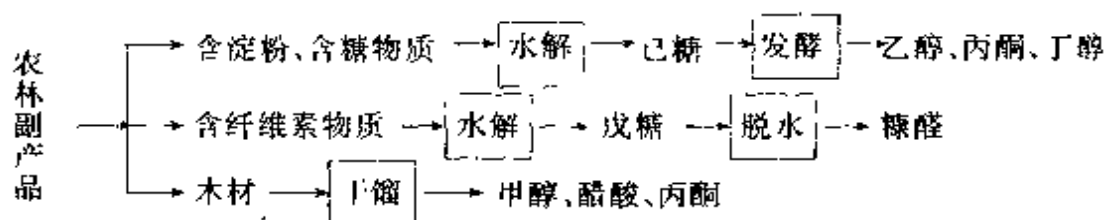
原料。

糠醛是化学工业中的重要原料,它可以用来生产糠醛树脂、顺丁烯二酸酐、丁二烯、合成纤维、医药等。糠醛存在于含有戊糖的棉子壳、玉米芯、花生皮和甘蔗渣等农副产品废渣中。戊糖虽不能用酵母来发酵,但可在酸性介质中加热脱水,使戊糖转化为糠醛。工业上生产糠醛是采用稀 H_2SO_4 加压水解农产品废渣,条件是: H_2SO_4 浓度6%左右,固液比1:0.45,温度453K,压力0.5~1MPa。

蓖麻在我国各地都有种植,蓖麻油经化学加工可制得癸二酸、甘油、仲辛醇等多种化工原料,其中癸二酸是生产尼龙1010的主要原料。

此外,将木柴进行高温干馏,除得到木炭外,还副产一部分乙酸、甲醇和丙酮。农林副产品综合利用见表3-15所示。

表 3-15 农、林副产品综合利用表



三、化工产品

1. 化肥

农作物不仅需要碳、氢、氧,而且还需要氮、磷、钾。

(1) 氮肥 氮肥能促进农作物茎叶繁茂,籽粒饱满,提高产量。例如,氨水、硫酸铵、碳酸氢铵、硝酸铵、氯化铵和尿素等。

(2) 磷肥 磷肥是促进农作物早熟,籽粒饱满,增强抗寒能力等。如过磷酸钙、磷酸铵、沉淀磷肥、钢渣磷肥、钙镁磷肥、磷矿粉和骨粉等。

(3) 钾肥 钾肥能使农作物茎秆坚实,防止倒伏,开花结

果,加强抗旱、抗寒、抗病虫害能力。如氯化钾和硫酸钾等。

2. 农药

农药是农业上用于防治病虫害、除草、调节植物生长等药剂。

(1) 杀虫剂 能毒杀昆虫等有害动物。如有机磷农药、敌百虫、乐果、杀螟松等。

(2) 杀菌剂 能对农作物的病菌或孢子有杀灭或抑制生长的作用。如硫酸铜、克菌丹等。

(3) 杀螨剂 能毒杀蛛形纲中的螨类(如棉红蜘蛛)药剂。如杀螨砒。

(4) 杀线虫剂 能消灭线虫的药剂。如氯化苦等。

(5) 杀鼠剂 能毒杀鼠类的药剂。如磷化锌、安妥等。

(6) 除草剂 能消除田间杂草的药剂。如敌稗、五氯酚钠等。

(7) 脱叶剂 除去植物叶子的药剂。如氰氨化钙、五氯酚钠等。

(8) 植物刺激素 能调节或刺激植物生长的药剂。如2,4-D等。

化肥多为无机化合物,养分含量高,肥效快,使用方便,便于运输。但长期使用易使土壤变质,最好能与农家有机肥配合使用。目前,农药发展方向为高效、低毒、低残毒的药剂和微生物农药。

3. 合成树脂及塑料

树脂是由多种有机物单体经过缩聚或加聚而成的高分子化合物。塑料是由合成树脂为主要成分,适当加一些填充料、增塑剂、稳定剂和染料等助剂,在一定条件下制成能保持形状不变的有机材料及其制品。

合成树脂是塑料的基本成分,常占总量的10~40%,并对塑料的各种性能起决定性作用,因此,人们常以塑料这词来代替合成树脂。

(1) 通用塑料 是指塑料中产量大、价格低、应用广的那些品种。如聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚丁烯、聚苯乙烯、ABS树脂、酚醛塑料和氨基塑料等。

(2) 工程塑料 是指机械强度高、耐腐蚀、耐磨、自润滑等性能好的一类塑料。如尼龙1010、双酚 A、聚甲醛、聚二甲基苯醚、聚氯醚、聚砒等。

(3) 耐高温塑料 是具有耐热性好、价格高、产量小的一类塑料。如聚四氟乙烯、硅树脂。在高温下具有很强粘结能力的聚二苯醚和聚苯硫醚。

(4) 环氧树脂 它具有优良的物理机械性能、电绝缘性能、耐化学腐蚀和对金属、非金属的优异粘结力。在各个工业部门得到广泛应用。

(5) 有机玻璃 它是一种高度透明性的塑料。具有很高的机械强度、质地轻,抗老化、易加工。广泛用于飞机、汽车挡风 and 电视仪器屏幕。

4. 合成橡胶

人们最早使用的橡胶是利用天然橡胶树流出的胶乳经加工炼制而得。随着化学工业的发展,便采用一些基本有机原料,进行合成,制得一些多性能、多品种的合成橡胶。

(1) 通用合成橡胶 是指产量大、应用广的一种合成橡胶。如丁苯橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶、顺丁橡胶、丁基橡胶、乙丙橡胶和异戊橡胶等。

(2) 特种合成橡胶 在特种条件下使用的橡胶。如具有独特的耐高温和低温性能的硅橡胶;既耐高、低温,又具有高介电

性能的氟橡胶,以及具有特殊的耐油和耐有机溶剂性能的聚硫橡胶等。

5. 合成纤维

合成纤维是经人工由低分子物合成高分子物,再经纺制而成纤维,它具有强度高、耐腐、质轻、易洗、快干、保暖性好、耐酸碱、不发霉、不虫蛀等特性。但也有透气性和染色性较差的缺点。

目前市场上常见的几种合成纤维有聚酰胺纤维、聚酯纤维、聚丙烯腈纤维、聚乙烯醇纤维、聚丙烯纤维和聚氯乙烯纤维等。

6. 染料

染料有天然染料和合成染料。从植物或动物获得的染料称为天然染料,如靛蓝、姜黄、茜红和胭脂红等。由苯、萘、蒽等作为原料,经合成而制得的染料称为合成染料。在合成染料中,从化学结构来看,可分为偶氮染料、靛系染料、蒽醌染料、硫化染料和硝基染料等。若从应用范围可分为直接染料、酸性染料、碱性染料、还原染料、氧化染料、分散染料和活性染料等。

7. 颜料

合成颜料有:白色(钛白)、黄色(镉黄)、红色(铁红)、蓝色(铁蓝)、绿色(铬绿)、黑色(炭黑)、金属颜料(铜粉和锌粉)。

8. 涂料(又叫漆)

(1) 天然漆 是天然漆树汁经加工而成的涂料。它的优点为漆膜坚韧光滑,耐酸碱,经久耐用。

(2) 人造漆 是由于油性油、树脂和颜料加工制成。通常油漆有:清漆、喷漆、调和漆、瓷漆等。

9. 试剂

根据试剂纯度可划分为:

- (1) 优级纯(GR),适用于精密分析及科学研究工作;
- (2) 分析纯(A、R),适用于重要分析及科学研究工作;

(3) 化学纯(C、P),适用于一般分析和工业试验工作;

(4) 实验试剂(L、R),仅供实验工作。

10. 化工其他产品

除上述化工产品外,还有各种药物、炸药、燃料、粘合剂、催化劑、助剂、添加剂、增添剂、发泡剂、乳化剂和老化剂等。

第四章 化工基本计算

化工计算是化学知识与数学运算的紧密结合,是从量的方面认识物质及其变化规律。通过化工计算,可以加深对所学知识的理解,达到理论运用于实践,提高分析问题和解决问题的能力。

第一节 化学基本计算

一、有关物质的量的计算

1. 摩尔和摩尔质量

在国际单位制中,选用摩尔为“物质的量”的单位,其符号为 mol。

包含有 6.022×10^{23} 个最小粒子的物质系统,则该系统的物质的量就是 1 摩尔。若某物质中所含有的最小粒子数是 6.022×10^{23} 的多少倍,则该物质的量就是多少摩尔。在使用摩尔时,必须指明最小粒子,它可以是分子、原子、离子、电子及其它粒子,或是它们的特定组合。

1 摩尔物质的质量,即物质的质量除以物质的量,叫做摩尔质量。其单位是千克/摩或克/摩,符号为 kg/mol 或 g/mol。

由于不同物质的最小粒子的质量不同,因此,它们的摩尔质量也不同。任何一种分子的摩尔质量,单位为 g/mol 时,其数值等于该分子的分子量。同理,任何一种原子或离子的摩尔质量,单位为 g/mol 时,在数值上等于该原子或离子的原子量或离子式量。于是,可以通过分子量、原子量直接确定该物质的摩尔质量,也可以通过摩尔质量,进行有关的“物质的量”的计算。

如果用 m 表示物质的质量, M 为该物质的摩尔质量, n 为

物质的量,它们之间的关系式为:

$$n(\text{mol}) = \frac{m(\text{g})}{M(\text{g/mol})} \quad (4-1)$$

例1 69gNO₂物质含有多少个NO₂分子?与1.6molNO相比,哪一个分子数较多?(NO₂的摩尔质量 $M=46\text{g/mol}$)。

解 已知: $m=69\text{g}$, $M=46\text{g/mol}$

$$\therefore n = \frac{69}{46} = 1.5(\text{mol})$$

69gNO₂的分子数 $= 1.5 \times 6.022 \times 10^{23} = 9.033 \times 10^{23}$

比较两物质分子数的多少,就等于比较其物质的量的多少。

$$\because 1.5\text{mol} < 1.6\text{mol}$$

\therefore 69gNO₂的分子数比1.6molNO的分子数少。

答: 69gNO₂物质含有 9.033×10^{23} 个NO₂分子,比1.6molNO的分子数少。

2. 气体的摩尔体积

在标准状况下,1mol的任何气体所占有的体积都约为22.4L,这个体积叫做气体的摩尔体积。

如果以 V_0 表示气体摩尔体积, V 表示气体的体积,则该气体的量 n 为:

$$n(\text{mol}) = \frac{V(\text{L})}{V_0(\text{L/mol})} \quad (4-2)$$

例2 试计算11.2L(标准状况)CO₂气体的质量为多少克?

解 已知: $V_0=22.4\text{g/mol}$, $V=11.2\text{L}$, $M=44\text{g}$, $n=\frac{V}{V_0}$ 根据式(4-2)求出 n , 由式(4-1)

$$\text{求 } m = 44 \times \frac{11.2}{22.4} = 22(\text{g})$$

答: 在标准状况下11.2LCO₂的质量为22g。

例3 在标准状况下,将32gCH₄与6gH₂混合,问混合气体的

体积为多少升?

解 设混合气体所占体积为 V

$$\because 32\text{gCH}_4 \text{ 的物质的量为 } n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{32}{16} = 2(\text{mol}),$$

$$6\text{gH}_2 \text{ 的物质的量为 } n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{6}{2} = 3(\text{mol})$$

$$\therefore \text{混合气体的体积 } V = (n_1 + n_2) \times V_0 \\ = (2 + 3) \times 22.4 = 112(\text{L})$$

答: 混合气体的体积为112L。

3. 理想气体状态方程式

在实际生产中,对温度、压力的要求,往往不是标准状况。因此,气体的体积及其物质的量与实际操作温度、压力有如下关系。

$$PV = nRT \quad (4-3)$$

或

$$PV = \frac{m}{M}RT$$

这就是理想气体状态方程式。

式中 P ——压力,Pa;

V ——体积, m^3 ;

T ——绝对温度^①,K;

R ——摩尔气体常数(8.314),J/(K·mol);

n ——物质(气体)的量,mol;

m ——气体的质量,g;

M ——气体的摩尔质量,g/mol。

例4 在 0.5m^3 容器中,能装入多少摩尔的 O_2 ?其质量为多少千克?(操作条件温度为 25°C 、压力为 $2.5 \times 10^5\text{Pa}$)。

① 绝对温度 $T = 273.15 + t$, t 为摄氏温度。

解 已知: $V = 0.5 \text{ m}^3$, $T = 273 + 25 = 298 \text{ K}$, $P = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$, $R = 8.314 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}$, $M = 32 \text{ g/mol} = 0.032 \text{ kg/mol}$, 由式 (4-3) 求:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{2.5 \times 10^5 \times 0.5}{8.314 \times 298} = 50.45 (\text{mol})$$

$$W = M \times n = 0.032 \times 50.45 = 1.6 (\text{kg})$$

答: 能装入 50.45 mol 的 O_2 , 其质量为 1.6 kg。

二、气态物质分子量的计算

1. 从气体密度计算其分子量

在标准状况下, 每升体积 (V) 中所含气体的质量 (M), 叫做气体的密度 (ρ)。即

$$\rho (\text{g/L}) = \frac{m (\text{g})}{V (\text{L})}$$

密度的单位为 g/L , 或 kg/m^3 。

若以气体的摩尔质量 M 表示气体的质量, 则气体的密度 ρ 应为:

$$\rho = \frac{M}{22.4} \quad (4-4)$$

$$M = 22.4 \rho$$

在标准状况下, 22.4 L 某气体 (或蒸气) 质量, 单位为 g/mol 时, 其数值就是它的分子量。

例1 在标准状况下, 2.5 L 某气体的质量为 8.93 g, 试求该气体的分子量。

解 设该气体的摩尔质量为 $M \text{ g/mol}$ 。

已知: $V = 2.5 \text{ 升}$, $m = 8.93 \text{ g}$

$$\because \rho = \frac{m}{V}$$

$$\therefore M = 22.4 \rho = 22.4 \times \frac{m}{V} = 22.4 \times \frac{8.93}{2.5} = 80 (\text{g/mol})$$

答: 由于该气体摩尔质量为 80g/mol , 所以该气体分子量为 80。

2. 从气体对氢或对空气的相对密度计算其分子量

同温同压下, 相同体积 (1L) 的气体质量 (m) 对另一气体质量 (m_1) 之比, 即两种气体密度之比, 叫做该气体对另一气体的相对密度 (d)。即

$$d = \frac{m}{m_1} \quad \text{或} \quad d = \frac{\rho}{\rho_1} \quad (4-5)$$

相对密度是两种气体密度的比值, 所以没有单位。用气体的摩尔质量表示气体的质量, 则气体的相对密度应为:

$$d = \frac{M}{M_1} \quad (4-6)$$

$$M = M_1 d$$

某气体分子量等于该气体对另一气体的相对密度乘上另一气体的分子量。

若另一气体是氢气, 则 $M = 2d$ 。例如, 空气对氢气的相对密度是 14.5, 因而空气的平均分子量为 $2 \times 14.5 = 29$ 。

若另一气体是空气, 则 $M = 29d_1$ 。例如, 一氧化碳对空气的相对密度为 0.97, 因而一氧化碳的分子量 $29 \times 0.97 = 28$ 。

3. 从任何状态下, 一定体积的气体 (或蒸气) 的质量计算其分子量

任何状态下气体分子量的计算方法为理想气体状态方程式。

例2 温度为 27°C 和压力为 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ 时, 0.4L 的某气体的质量为 0.455g , 计算其分子量。

解 已知: $T = 273 + 27 = 300\text{K}$, $p = 1.01 \times 10^5 \text{Pa}$, $R = 8.314\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, $V = 0.4 \times 10^{-3} \text{m}^3$, $M = 0.455\text{g}$, $M = \frac{mRT}{pV} =$

286

$$\frac{0.455 \times 8.314 \times 300}{1.01 \times 10^5 \times 0.4 \times 10^{-3}} = 28$$

答: 该气体分子量为28。

三、根据分子式计算

从化合物的分子式及其成分元素的原子量, 计算分子量以及质量百分含量。

按照某化合物的分子式, 将各成分元素的原子量或原子量的倍数加起来, 就得到该化合物的分子量。例如, 根据 KClO_3 , 可以计算氯酸钾的分子量为:

$$\text{KClO}_3 = 39 + 35.5 + 3 \times 16 = 122.5$$

从某化合物的分子式或最简式及其成分元素的原子量, 还可以计算该化合物与其成分元素之间的质量比。例如

$$\text{KClO}_3 : \text{K} : \text{Cl} : 3\text{O} = 122.5 : 39 : 35.5 : 3 \times 16$$

因此, 根据分子式, 可以计算在一定量的某化合物中所含各元素的质量。计算式为:

$$\begin{aligned} \text{某元素的质量} &= \text{化合物的质量} \\ &\times \frac{\text{分子中该元素的原子个数} \times \text{原子量}}{\text{化合物的分子量}} \end{aligned}$$

$$= \text{化合物的质量} \times \text{某元素的质量百分含量} \quad (4-7)$$

也可以计算在若干质量的某化合物中才会有一定量的各元素。计算式为:

$$\begin{aligned} \text{化合物的质量} &= \text{某元素的质量} \\ &\times \frac{\text{化合物的分子量}}{\text{分子中该元素的原子个数} \times \text{原子量}} \end{aligned}$$

化合物中各成分元素的质量百分数, 称为它的质量百分含量。某元素含量(%)的计算式为:

$$\begin{aligned} \text{某元素质量百分含量} &= \frac{\text{分子中该元素的原子个数} \times \text{原子量}}{\text{化合物的分子量}} \\ &\times 100\% \quad (4-8) \end{aligned}$$

例如, KClO_3 中 O 的质量百分含量的计算式是:

$$\text{O}\% = \frac{3\text{O}}{\text{KClO}_3} \times 100\%$$

这里, 元素符号代表该元素的原子量, 分子式代表化合物的分子量。

例1 24.5g 氯酸钾 (KClO_3) 含有多少克氧元素? 多少克氯酸钾含有氧 19.2g?

解 (1) 氧元素质量为:

$$24.5 \times \frac{3\text{O}}{\text{KClO}_3} = 24.5 \times \frac{3 \times 16}{122.5} = 9.6(\text{g})$$

(2) 氯酸钾质量为:

$$19.2 \times \frac{\text{KClO}_3}{3\text{O}} = 19.2 \times \frac{122.5}{3 \times 16} = 49(\text{g})$$

例2 某钾肥含 KCl 81%, 问该钾肥含钾百分之几?

解 先求纯 KCl 中 K 的百分含量, 然后再乘上钾肥中 KCl 的百分含量, 即得钾肥中钾的百分含量。

$$\begin{aligned} \text{KCl 中 K 的百分含量: } \text{K}\% &= \frac{\text{K}}{\text{KCl}} \times 100\% = \frac{39}{74.5} \times 100\% \\ &= 52.35\% \end{aligned}$$

含 KCl 81% 的钾肥中 K 的百分含量:

$$\text{K}\% = \frac{\text{K}}{\text{KCl}} \times 81\% \times 100\% = 52.35\% \times 81\% \times 100\% = 42.4\%$$

答: 含 KCl 81% 的钾肥中含 K 为 42.4%。

例3 从 9.50g 硫酸铵肥料中, 测得含氮 1.99g。试问该肥料的纯度(肥料中含硫酸铵的百分率)为多少?

解 这是从已知所含元素的质量求不纯物质的纯度。氮的质量是从纯硫酸铵的质量乘以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 中的 N% 而得; 而纯硫酸铵的质量又可从硫酸铵肥料的质量乘以其纯度而得。设该

肥料的纯度为 x , 则

$$9.50(\text{g}) \times x \times \frac{2\text{N}}{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 1.99(\text{g})$$

$$x = \frac{1.99}{9.50} \times \frac{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}{2\text{N}}$$

$$= \frac{1.99}{9.50} \times \frac{132}{28} = 0.9825 = 98.25\%$$

答: 该肥料纯度为 98.25%。

四、根据化学方程式的计算

用元素符号和分子式表示化学反应的等式, 叫做化学方程式。它不仅表示反应物转化为生成物的变化关系, 而且还表示反应物与生成物之间, 以及反应物、生成物彼此之间的量的比例关系, 若是气体物质, 还存在体积的比例关系。而且这些量都是按方程式中的系数以正比例的关系相互联系的。例如:

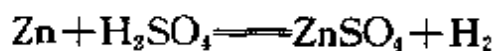
	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$		
系数比	2	1	2
质量比	2×2	32	2×18
物质的量比	2	1	2
体积比	2	1	2

因此, 可以根据化学方程式进行各种计算。

1. 从化学方程式以及有关元素的原子量, 计算反应物或生成物的质量

例1 10g 锌与100g30%的硫酸作用, 将生成氢气几克?

解 (1) 写出平衡的化学方程式



有关物质的质量比	65.4	98	2
已知数和未知数	10g	$100 \times 30\% \text{g}$	$x \text{g}$

(2) 求解反应物哪个不足, 哪个有余。设所需 H_2SO_4 量为 y , 则

$$65.4:98=10\text{g}:y\text{g}$$

$$y=15\text{g}$$

可见, 锌的用量不足, 而硫酸的用量有余。

(3) 根据不足的锌的量来计算生成氢气的量。

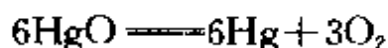
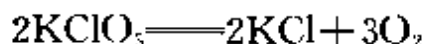
$$65.4:2=10\text{g}:x\text{g}$$

$$x=0.3\text{g}$$

答: 可生成 0.3g 氢气。

例2 从多少克氧化汞制得的氧气, 才恰好与从 $\frac{2}{5}\text{mol}$ 的氯酸钾所制得的氧一样多?

解 (1) 写出平衡的化学方程式



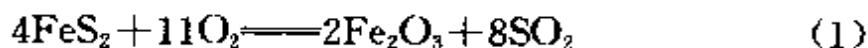
(2) 可以看出, 6HgO 和 2KClO_3 恰好生成一样多的氧气。设所需氧化汞为 $x\text{g}$, 则

$$6 \times 216\text{g}:x(\text{g}) = 2\text{mol}:\frac{2}{5}\text{mol}$$

$$x=259.2\text{g}$$

答: 259.2g 的氧化汞恰好和 $\frac{2}{5}\text{mol}$ 的氯酸钾生成一样多的氧。

例3 硫酸生产过程的化学反应式如下:

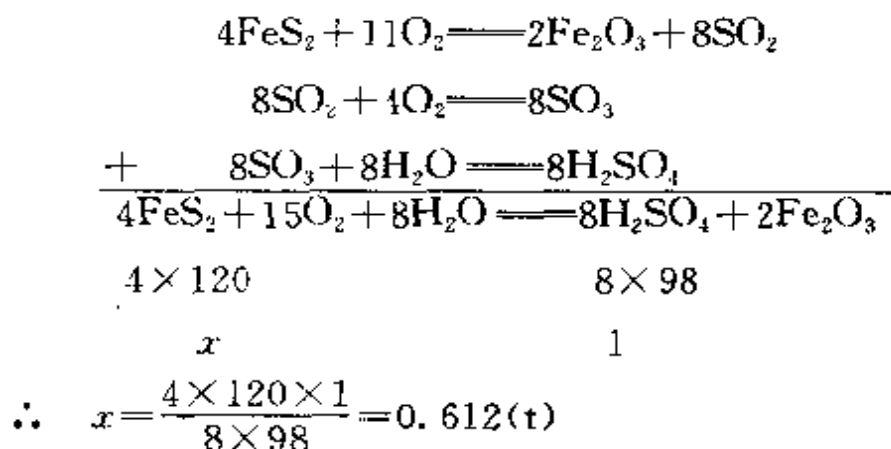


试问: 生产1t100%纯硫酸需多少吨 FeS_2 ?

这类题目的计算方法一般采用各步方程式等号两端相加, 然后按相加后方程式计算。相加后的化学方程式, 只表示反应物和生成物之间的定量关系, 而不表示转化关系。

解 (1) 设所需 FeS_2 量为 $x\text{t}$ 。

(2) 调整各步反应方程中分子前面的系数, 使其相同的分子式在等号两端能消掉。于是, 方程式(2) $\times 4$, 方程式(3) $\times 8$, 然后三个方程式相加得:



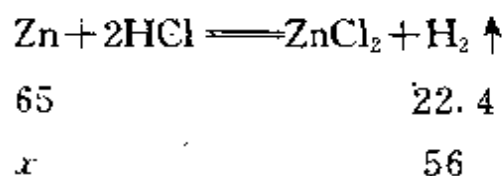
答: 需要 FeS_2 量为 0.612t。

2. 从化学方程式以及气体的摩尔体积计算气态反应物或生成物的体积

应用气体的摩尔体积, 也很容易从化学方程式来计算某气态反应物或生成物在标准状况下的体积。

例4 在标准状况下, 需多少克的锌与足够的盐酸反应, 才能制得56L 氢气?

解 设所需锌量为 $x\text{g}$



$$\therefore x = \frac{65 \times 56}{22.4} = 162.5(\text{g})$$

答: 需 162.5g 的锌与足够的盐酸反应。

五、根据热化学方程式的计算

在化学反应中, 不仅质量守恒, 而且能量也守恒, 即在化学反应过程中有能量的吸收或放出, 这种能量的转化表现于吸热或放热。化学反应中放出或吸收的热量叫做化学反应热效应。一般用 Q 表示, 放热为 $+Q$, 吸热为 $-Q$ 。必须指出, Q 值是反应方程式表示的反应物完全反应时所具有的。

能表示出热效应的化学方程式叫做热化学方程式。例如:



在书写热化学方程式时要注意以下三点:

- (1) 在分子式右侧, 必须写明物质的聚集状态——固、液、气;
- (2) 热效应为放热以“ $+Q$ ”表示, 吸热以“ $-Q$ ”表示;
- (3) 由于热化学方程式中的热效应值是以摩尔为计量单位, 因此, 分子式前的系数可以是分数。

例 已知 $\text{H}_2(\text{气}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{气}) = \text{H}_2\text{O}(\text{气}) + 241.8\text{kJ}$, 计算在相同条件下, 5g 氢气燃烧需放出多少千焦的热量?

解 燃烧时放出的热量为 $x\text{kJ}$ 。



$$2 \qquad \qquad \qquad 241.8$$

$$5 \qquad \qquad \qquad x$$

$$x = \frac{241.8 \times 5}{2} = 604.5(\text{kJ})$$

答: 燃烧5g 氢气放出热量为604.5kJ。

第二节 某些化工参数和经济指标的计算

一、溶液浓度的计算

1. 溶液浓度的一般表示方法

(1) 质量百分含量 溶质的质量占全部溶液质量的百分比, 叫做质量百分含量。

$$C_{\text{质}} = \frac{m_1}{m} \times 100\% \quad (4-9)$$

式中 m_1 ——溶质的质量, g;

m ——溶液的质量, g。

例1 欲配制25%的 NaOH 溶液160g, 问需要用 NaOH 和水各多少克?

解 已知: $C_{\text{质}} = 25\%$, $m = 160\text{g}$

$$m_1 = C_{\text{质}} \cdot m = 25\% \times 160 = 40(\text{g})$$

$$\text{水的量为 } 160 - 40 = 120(\text{g})$$

答: 需 NaOH 和水各为40g 和120g。

(2) 物质的量浓度 表示单位体积所含溶质 B 的物质的量, 以符号 c_B 表示。

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (4-10)$$

式中 n_B ——溶质 B 的物质的量, mol;

V ——体积, m^3 、mL;

c_B ——B 物质的量浓度, mol/L。

根据化学方程式计算物质的量浓度:



$$a \quad b$$

$$c_A V_A \quad c_B V_B$$

$$a:c_A V_A = b:c_B V_B$$

$$\therefore b c_A V_A = a c_B V_B \quad (4-11)$$

式中 c_A, V_A ——反应物质 A 物质的量浓度 (mol/L) 和溶液体积 (L 或 mL);

c_B, V_B ——反应物质 B 物质的量浓度 (mol/L) 和溶液体积 (L 或 mL);

a, b ——化学方程式中反应物 A 和反应物 B 的计量系数。

物质的量浓度与百分比含量有如下关系:

$$c_B = \frac{1000 \times \rho \times C_{\%}}{\text{溶质 B 的摩尔质量}} \quad (\text{mol/L}) \quad (4-12)$$

例2 有密度为 1.08g/mL 的 NaOH 溶液, 在 30mL 此溶液中含 NaOH 2.4g, 求此溶液的百分含量和物质的量浓度。

解 (1) 百分含量

$$C_{\%} = \frac{m_1}{m} = \frac{2.4}{30 \times 1.08} \times 100\% = 7.4\%$$

(2) 物质的量浓度

$$c_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V} = \frac{\frac{2.4}{40}}{\frac{30}{1000}} = 2 \quad (\text{mol/L})$$

$$\text{或 } c_{\text{NaOH}} = \frac{1000 \times \rho \times C_{\%}}{\text{NaOH 的摩尔质量}} = \frac{1000 \times 1.08\% \times 7.4\%}{40} = 2 \quad (\text{mol/L})$$

答: 此溶液的百分含量为 7.4%, 物质的量浓度为 2mol/L。

例3 滴定 25.00mL 氢氧化钠溶液, 用去 0.125mol/L 的硫酸溶液 52.40mL。问此溶液物质的量浓度为多少?

解 反应方程式 $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

$$\therefore a=1, b=2$$

$$bc_{\text{A}}V_{\text{A}}=ac_{\text{B}}V_{\text{B}}$$

$$\therefore c_{\text{NaOH}} = \frac{bc_{\text{H}_2\text{SO}_4} V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{aV_{\text{NaOH}}} = \frac{2 \times 0.125 \times 52.40}{1 \times 25.00} \\ = 0.524 (\text{mol/L})$$

答: 氢氧化钠溶液物质的量浓度为0.524mol/L。

2. 溶液的配制方法

在工农业生产和科学实验中,常常需要配制一定浓度的溶液。通常配制方法是直接配制法,但也有稀释法和混合配制法。

(1) 直接配制法 直接配制法是准确称取一定的溶质,溶解后在容量瓶中稀释至一定体积,由计算求出该溶液的准确浓度。

例4 如何配制0.1mol/L 的 NaOH 溶液250mL?

解 计算溶质 NaOH 的需要量

$$\therefore c_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V}$$

$$\therefore n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V = 0.1 \times \frac{250}{1000} = 0.025 (\text{mol})$$

$$m_{\text{NaOH}} = 40 \times 0.025 = 1.0 (\text{g})$$

溶液的配制: 首先以天平准确称取固体 NaOH 1.0g 置于烧杯中,用适量的纯水搅拌到 NaOH 全部溶解并倒入250mL 的容量瓶,然后加水至刻度250mL。

(2) 溶液的稀释或混合法 将某一浓度的溶液进行稀释或用两种不同浓度的溶液相混合进行配制某一浓度溶液的方法。

根据: 稀释前溶质的量 = 稀释后溶质的量

混合前溶质的量 = 混合后溶质的量

① 百分含量的稀释或混合:

稀释: $m_{\text{浓}} \cdot P_{\text{浓}} = m_{\text{稀}} \cdot P_{\text{稀}}$

(m 为溶液质量, $m_{\text{稀}} = m_{\text{浓}} + m_{\text{水}}$) (4-13)

$$\text{混合: } m_1 \cdot P_1 + m_2 \cdot P_2 = (m_1 + m_2) P_3 \quad (4-14)$$

② 物质的量浓度的稀释或混合:

$$\text{稀释: } c_{\text{浓}} \cdot V_{\text{浓}} = c_{\text{稀}} \cdot V_{\text{稀}} \quad (4-15)$$

$$\text{混合: } c_1 V_1 + c_2 V_2 = c_{\text{混}} \cdot V_{\text{混}} \quad (4-16)$$

$$V_{\text{混}} = \frac{V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2}{\rho_{\text{混}}}$$

若混合后溶液的体积变化可忽略不计时, $V_{\text{混}}$ 可按下式计算:

$$V_{\text{混}} = V_1 + V_2$$

例5 有98%的浓硫酸500kg, 欲配制20%的稀硫酸, 问需加水多少千克?

$$\text{解 } \because m_{\text{浓}} \cdot P_{\text{浓}} = (m_{\text{浓}} + m_{\text{水}}) \cdot P_{\text{稀}}$$

$$\begin{aligned} \therefore m_{\text{水}} &= \frac{m_{\text{浓}} \cdot P_{\text{浓}}}{P_{\text{稀}}} - m_{\text{浓}} \\ &= \frac{98\% \cdot 500}{20\%} - 500 = 1950(\text{kg}) \end{aligned}$$

答: 需加水1950kg。

例6 怎样用39.11%的浓盐酸(密度为1.20g/cm³)配制0.5mol/L的盐酸溶液500mL?

解 浓盐酸物质的量浓度为

$$c_{\text{浓}} = \frac{1000 \times \rho \cdot P}{\text{溶质摩尔质量}} = \frac{1000 \times 1.20 \times 39.11}{36.5} = 12.9(\text{mol/L})$$

设配制稀盐酸所需浓盐酸的体积为 $V_{\text{浓}}$

$$V_{\text{浓}} = \frac{c_{\text{稀}} \cdot V_{\text{稀}}}{c_{\text{浓}}} = \frac{0.5 \times 500}{12.9} = 19.4(\text{mL})$$

答: 取浓盐酸19.4mL, 注入500mL的烧杯中, 加纯水约400mL, 混合后移入500mL的容量瓶中, 用适量纯水洗烧杯2~

3次,洗液并入容量瓶,再用胶头滴管吸取纯水注入容量瓶至刻度,摇匀便得。

二、溶解度的计算

溶解度就是在一定温度下,某物质在100g 溶剂里(通常为水)达到饱和状态时所能溶解的克数。即

$$\text{溶解度(g)} = \frac{\text{饱和溶液中溶质的质量(g)}}{\text{溶剂的质量(g)}} \times 100(\text{g})$$

$$\frac{\text{溶解度(g)}}{100(\text{g})} = \frac{\text{溶质的质量(g)}}{\text{溶剂的质量(g)}} \quad (4-17)$$

饱和溶液就是在一定温度下,某种物质在溶液中的含量已达到溶解度的最大限度的溶液。一定量的饱和溶液中,溶剂、溶质的量也都存在一定的比例关系,即:

$$\frac{\text{溶解度(g)}}{100(\text{g}) + \text{溶解度(g)}} = \frac{\text{溶质的质量(g)}}{\text{饱和溶液的质量(g)}} \quad (4-18)$$

例1 某氯碱车间配制电解食盐饱和液100t,问需食盐和水各多少吨?已知90℃时食盐溶解度为38.5g。

解 根据公式:

$$\frac{\text{溶解度}}{100 + \text{溶解度}} = \frac{\text{溶质的质量}}{\text{溶液的质量}}$$

设溶质的质量为 x , 则

$$\frac{38.5}{100 + 38.5} = \frac{x}{100}$$

$$x = \frac{38.5 \times 100}{100 + 38.5} = 27.8(\text{t})$$

需水的量为: $100 - 27.8 = 72.2(\text{t})$

答: 需用食盐27.8t, 水72.2t。

例2 今有90℃的 NH_4Cl 饱和溶液350kg, 加热蒸发掉82kg

水,若再降温到 90°C ,问有多少千克 NH_4Cl 晶体析出?已知 NH_4Cl 在 90°C 时溶解度为 70g 。

解 设有 $x\text{kg}$ NH_4Cl 晶体析出,即 82kg 水溶解 $x\text{kg}$ NH_4Cl 晶体形成饱和溶液。

因饱和溶液中溶质的质量与溶剂的质量成正比;

所以: $100:82=70:x$

$$x=57.4(\text{kg})$$

答: 有 57.4kg NH_4Cl 晶体析出。

例3 将 20°C 时的食盐饱和溶液 360g ,加热蒸发去 69g 水,再经冷却到 0°C ,问有多少克 NaCl 晶体析出?已知食盐在 0°C 和 20°C 时的溶解度分别为 35.7g 和 35.9g 。

解 设原饱和溶液中含 NaCl 为 $x\text{g}$

$$x=\frac{35.9}{100+35.9}\times 360=95.1(\text{g})$$

原饱和溶液中含水量为:

$$360-95.1=264.9(\text{g})$$

蒸发掉 69g 水后,剩下水的质量为:

$$264.9-69=195.9(\text{g})$$

设冷却至 0°C 时,留在溶液中的 NaCl 为 $y\text{g}$ (即 195.9g 水在 0°C 时所能溶解 NaCl 的质量)。

$$y=\frac{35.7}{100}\times 195.9=69.9(\text{g})$$

所以,析出 NaCl 晶体的质量为:

$$x-y=95.1-69.9=25.2(\text{g})$$

答: 有 25.2g NaCl 晶体析出。

三、转化率、产率和收率的计算

转化率就是参加反应的原料量与投入反应器的原料量的百分比,按式(3-1)计算

参加反应的原料量=投入反应器的原料量-未反应的原料量。原料量的单位为 kg 或 kmol。

产率就是生成目的产物所消耗的原料量与参加化学反应的原料量的百分比,按式(3-2)、(3-3)、(3-4)计算。

例1 以乙烷为原料生产乙烯时,在一定的生产条件下,投入反应器的乙烷量为1500kg/h,参加反应的乙烷量为1125kg/h,求乙烷的转化率。

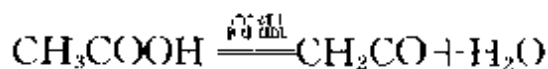
$$\begin{aligned}\text{解 乙烷的转化率} &= \frac{\text{参加反应的原料量}}{\text{投入反应器的原料量}} \times 100\% \\ &= \frac{1125}{1500} \times 100\% = 75\%\end{aligned}$$

答: 乙烷的转化率为75%。

例2 某醋酐车间,将450kg 含有2%水的醋酸投入反应器进行裂解。其反应式为: $\text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\text{高温}} \text{CH}_2=\text{C}=\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ 。反应产物 CH_2CO (乙烯酮) 经分离,剩余物主要含有未反应醋酸、反应生成物水和投入原料醋酸所含的2%水。经测得,该混合物中醋酸含量为35%。求反应过程中醋酸的转化率?

解

(1) 设参加反应的纯原料(CH_3COOH)量为 x kg。



摩尔质量 60 42 18

按溶质百分含量概念,则

$$\frac{450 \times (1 - 2\%) - x}{450 - x + \frac{18}{60}x} \times 100\% = 35\%$$

式中 $\frac{18}{60}x$ 为反应过程中转化 $x\text{kg}$ 醋酸生成的水量。

$$x = 375.5 (\text{kg})$$

(2) 醋酸的转化率为

$$\begin{aligned} \text{醋酸的转化率} &= \frac{\text{参加反应的原料量}}{\text{投入反应器的原料量}} \times 100\% \\ &= \frac{375.5}{150 \times (1 - 2\%)} \times 100\% = 85.1\% \end{aligned}$$

答: 醋酸裂解时的转化率为85.1%

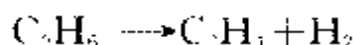
例3 由乙烷裂解制乙烯, 投入反应器的乙烷量为5000kg/h, 裂解气中含未反应的乙烷量为1000kg/h, 获得的乙烯量为3400kg/h。试求乙烷的转化率和乙烯的产率。

解 (1) 乙烷的转化率: 由题意知参加反应的乙烷量为

$$5000 - 1000 = 4000 (\text{kg/h})$$

$$\text{乙烷的转化率} = \frac{4000}{5000} \times 100\% = 80\%$$

(2) 乙烯的产率: 设获得3400kg/h 乙烯所需原料乙烷量为 $x\text{kg/h}$



摩尔质量

$$30 \qquad 28$$

$$x \qquad 3400$$

$$x = 3400 \times \frac{30}{28} = 3642.86 (\text{kg/h})$$

则

$$\text{乙烯产率} = \frac{\text{生成乙烯所耗乙烷量}}{\text{参加反应的乙烷量}} \times 100\%$$

$$= \frac{3642.86}{5000 - 1000} \times 100\% = 91.1\%$$

答: 乙烷的转化率为80%, 乙烯的产率为91.1%。

例4 由乙烯制取二氯乙烷。反应式为: $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$ 。已知通入反应器的乙烯量为600kg/h, 乙烯含量为92%(质量百分数)。反应后得到二氯乙烷量为1700kg/h, 并测得尾气中乙烯量为40kg/h。试求乙烯的转化率, 二氯乙烷的产率及收率。

解

(1) 乙烯的转化率: 由题意知参加反应的乙烯量为:

$$600 \times 92\% - 40 = 512 (\text{kg/h})$$

投入反应器的乙烯量

$$600 \times 92\% = 552 (\text{kg/h})$$

$$\text{乙烯的转化率} = \frac{512}{552} \times 100\% = 92.75\%$$

(2) 二氯乙烷的产率: 设生成1700kg/h 二氯乙烷所需乙烯量为 x kg/h。



摩尔质量	28	99
	x	1700

$$x = 1700 \times \frac{28}{99} = 480.81 (\text{kg/h})$$

则 $\text{二氯乙烷产率} = \frac{480.81}{512} \times 100\% = 93.91\%$

(3) 二氯乙烷的收率:

$$\begin{aligned} \text{二氯乙烷的收率} &= \text{乙烯的转化率} \times \text{二氯乙烷的产率} \times 100\% \\ &= 92.75\% \times 93.91\% \times 100\% \\ &= 87.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{或 二氯乙烷的收率} &= \frac{\text{生成二氯乙烷所耗乙烯量}}{\text{投入反应器的乙烯量}} \times 100\% \\ &= \frac{480.81}{552} \times 100\% = 87.1\%\end{aligned}$$

答: 乙烯的转化率为92.75%, 二氯乙烷的产率和收率分别为93.91%、87.1%。

四、生产技术经济指标的计算

衡量一个厂、车间, 以至一个生产装置的好与坏, 一般看完成经济指标的情况。技术经济指标主要包括以下内容:

(1) 生产规模 是指主、副产品的年生产量, 以 t/a 或 kg/a 表示。

(2) 原料消耗定额 是指生产单位产品所消耗的原料或辅材料量。即每生产一吨100%的产品所需要原料或辅助材料量。如以乙醛氧化生产乙酸为例, 消耗定额见表4-1。

表 4-1 生产乙酸消耗定额

原料名称	规格, %	消耗定额, t/t
乙 醛	含乙醛99.5	0.73
乙酸锰(接触液)	含乙酸锰3.5	0.017
工业氧	含 氧95	0.30

(3) 动力消耗定额 是指生产每吨产品所需要水、电、汽和燃料等的消耗量。水可分河水、地下水和净化水; 电可分为外购电与自发电; 蒸汽要注明压力; 燃料要注明品种与规格, 或把燃料消耗都折合成标准煤。如以化肥碳酸铵为例, 其消耗定额见表4-2。

表 4-2 生产碳酸铵消耗定额

动力名称	规格	消耗定额, t/t
河水	28~32℃	60
井水	18~20℃	40
净化水		0.5
电	外购电	130度/t
蒸汽	0.4MN/m ²	0.3

(4) 产品质量指标 是指产品质量的优劣程度。质量指标一般分为等级率、合格率、正品率等。

(5) 工业总产值 是以货币形式表现的工业产品总量。

$$\text{工业总产值} = \text{产品产量} \times \text{产品价格(元)} \quad (4-19)$$

如果有几个产品, 则工业总产值为各产品产值之和。

产品价格一般采用不变价格, 如没有不变价格时, 则采用市场价格。

(6) 全员劳动生产率 是指全体职工在生产中的劳动效率, 是反映工业企业生产效率高低和劳动力节约情况的重要指标。

$$\text{全员劳动生产率} = \frac{\text{工业总产值(或总产量)}}{\text{全体职工平均人数}} \quad (4-20)$$

(7) 产品成本 是工业企业在一定时期内生产和销售一定种类和数量的产品所支付的各种生产费用的总和。

产品成本是由原材料、辅助材料、动力费用和工资、附加费、废品损失、车间经费与企业管理费、销售费等费用组成。前五项费用为产品的车间成本, 加上第六项, 则为产品的企业成本, 若再加上第八项, 则构成产品的完全成本。

(8) 产品利税 利润是指产品的销售收入减去交纳的销售税金, 销售成本及销售费用后, 再加上销售利润和营业外收入的

净额,其结果为正值即盈利,若为负值,则为亏损。

实现利税是指利润总额加上各种税金的合计数。

上交利税是指通过银行向财政部门实际上的利税。因企业留利,归还贷款等也占有利润。所以利税大于上交利税。

第五章 化工安全生产知识

第一节 安全生产的基本原则及安全生产的措施

一、安全生产——专门的效益

安全是人们生产活动的保障,要实现安全生产,必须要有良好的专业知识,没有知识总是隐藏着危险。化工生产中制定的各项安全制度,是千百人鲜血换来的经验总结,了解和遵守各项规章制度,熟练地掌握生产操作规程和严格遵守生产控制点,事故就可以避免。

安全生产是专门的效益,它不仅会给人们带来平安幸福,减少创伤、疼痛和精神上的痛苦,而且也会给企业带来经济效益,促进了生产,减少设备损坏与生产停顿等事故。

违章作业绝对禁止。不管生产任务多么紧迫,也绝不允许忽视安全。轻率不是勇敢!无知必酿大祸。只有正确运用专业知识,才能防止事故发生。

二、安全生产的基本原则

1. 生产必须安全

实现安全生产,保护职工在生产劳动过程中的安全与健康,是企业管理的一项基本原则,是我国一切经济部门和生产企业的头等大事,是实现“四化”的客观需要,又是社会主义制度的要求。因此,在执行“生产必须安全,安全促进生产”这一方针时,必须树立“安全第一”的思想,贯彻“管生产必须同时管安全”的原则。

“安全第一”是指考虑生产时,必须考虑安全条件,落实安全生产的各项措施,保证职工的安全与健康,保证生产长期地、安全地进行;“安全第一”是各级领导干部的神圣职责,在工作中要处理好生产与安全关系,牢固保护职工的安全和健康;“安全第一”对广大职工来说,应严格地自觉地执行安全生产的各项规章制度,从事任何工作,都应首先考虑可能存在的危险因素,注意些什么,该采取哪些预防措施,防止事故发生,避免人身伤害或影响生产的正常进行。

贯彻“管生产必须同时管安全”的原则,就是要求企业各级领导把安全生产渗透到生产管理的各个环节,做到生产和安全的“五同时”,即在计划、布置、检查、总结、评比生产时,同时要计划、布置、检查、总结、评比安全工作;在编制企业年度计划与长远规划时,同时要把安全生产作为一项重要内容,结合企业的生产挖潜、技术革新、设备改造、工业改组,消除事故隐患,改善劳动条件。

2. 安全生产,人人有责

安全生产是一项综合性的工作,必须坚持走群众路线,专群结合,在充分发挥专职安全技术人员和安全管理干部的骨干作用的同时,应充分调动和发挥全体职工的安全生产积极性。在现代化工业生产中,企业各级各类人员,若在安全生产上稍有疏忽或不慎,必将酿成重大事故。要做到安全生产,必须依靠全体职工,人人重视安全生产,个个自觉遵守安全生产规章制度,提高警惕,互相监督,发现隐患,及时消除,确保生产安全,正常地进行。

为此,企业必须制订各级安全生产责任制,安全规章制度和各工种岗位的安全技术操作规程等。在贯彻执行各项安全规章制度时,除加强政治思想工作和经常的监督检查外,还应与各岗位、各类工作人员的经济效益相挂钩,对安全生产中的好人好事

好经验,给予表扬和奖励,对违章指挥、违章作业和玩忽职守而造成事故的责任者,应认真追究,严肃处理,做到奖罚严明。

3. 安全生产,重在预防

安全生产,重在预防,变被动为主动,变事后处理为事前预防,把事故消除在萌芽状态。为此,工厂企业在新建、改建、扩建企业或车间,以及计划实施革新、挖潜、改革项目时,必须认真贯彻“三同时”原则,即安全技术和“三废”治理措施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产,决不能让不符合安全、卫生要求的设备、装置、工艺投入运行。在开展安全生产的科研工作时,对运行中的生产装置、生产工艺存在的不安全问题,组织力量攻关,及时消除隐患;在日常生产工作中,狠抓安全生产的基础工作,开展各种形式的安全教育活动,进行定期的安全技术考核,组织定期与不定期的安全检查,分析各类事故发生的原因及其规律,以不断提高职工识别、判断、预防和处理事故的本领,及时发现和消除不安全因素,使生产处在安全控制状态。

三、实现安全生产的措施

安全生产是一门学科,必须认真学习,不断提高安全生产的自觉性和责任感,人人重视安全,时时注意安全,事事想到安全,把防范事故的措施落实在前面,做到居安思危,防患于未然,杜绝事故的发生,实现安全生产、文明生产。

1. 贯彻执行安全生产责任制

根据国家颁发的有关安全规定,结合本企业的生产特点,建立安全网络和安全生产责任制,做到安全工作有制度、有措施、有布置、有检查,各有职守,责任分明。

① 认真履行安全职责,严格遵守各项安全生产规章制度,积极参加各项安全生产活动;

② 坚守岗位,精心操作;服从调度,听从指挥;

③ 严格执行岗位责任制,巡回检查制和交接班制;

④ 加强设备维修保养,经常保持生产作业现场的清洁卫生,搞好文明生产;

⑤ 严格执行操作上岗证制度;

⑥ 正确使用,妥善保管各种劳动保护用品和器具。

2. 抓好安全教育

① 入厂教育:凡入厂的新职工、新工人、实习和培训人员,必须进行三级(厂、车间、班组)安全教育和安全考核;

② 日常教育:每次安全活动,都必须进行安全思想、安全技术和组织纪律性的教育,增强法制观念,提高安全意识,履行安全职责,确保安全生产;

③ 安全技术考核:新工人进入岗位独立操作前,须经安全技术考核。凡未参加考核或考核不及格者,均不准到岗位进行操作。

3. 开展安全检查活动

每年要进行2~4次群众性、专业性和季节性的检查。车间至少每月一次。要建立“安全活动日”和班前讲安全(开好班前事故预想会),班中查安全(巡回检查),班后总结安全(总结经验教训)的制度。

查检方法以自查为主,互查、抽查为辅。查检内容主要是查思想、查纪律、查制度、查隐患,发现问题,及时报告处理。

4. 搞好安全文明检查

经常注意设备的维修和保养,杜绝跑、冒、滴、漏现象,以提高设备的完好率。定期进行设备的检修与更换,在此过程中,应认真检查《安全生产四十一条禁令》的执行情况,杜绝一切事故的发生。

5. 加强防火防爆管理

对所有易燃、易爆物品及易引起火灾与爆炸危险的过程和设备,必须采用先进的防火、灭火技术,开展安全防火教育,加强防火检查和灭火器材的管理,防止火灾爆炸事故的发生。

6. 加强防尘防毒管理

① 限制有害有毒物质(物料)的生产和使用;

② 防止粉尘、毒物的泄漏和扩散,保持作业场所符合国家规定的卫生标准;

③ 配置相应的有效劳动保护和安全卫生设施和防护措施,定期进行监测和体检。

7. 加强危险物品的管理

对易燃易爆、腐蚀、有毒害的危险物品的管理,必须严格执行国家制定的管理、贮存、运输等规定。危险品生产或使用中的废气、废水、废渣的排放,必须符合国家《工业企业设计卫生标准》和《三废排放标准》的规定。

8. 配置安全装置和加强防护器具的管理

现代化工业生产中,必须配置有:温度、压力、液面超压的报警装置、安全联锁装置、事故停车装置、高压设备的防爆泄压装置、低压真空的密闭装置、防止火焰传播的隔绝装置、事故照明安全疏散装置、静电和避雷的防护装置、电气设备的过载保护装置以及机械运转部分的防护装置等,安全装置要加强维护,保证灵活好用。

对于保护人体的安全器具,如安全帽、安全带、安全网、防护面罩、过滤式防毒面具、氧气呼吸器、防护眼镜、耳塞、防毒防尘口罩、特种手套、防护工作服、防护手套、绝缘手套和绝缘胶靴等,都必须妥善保管并会正确使用。

9. 加强事故管理

① 事故分类:在工业生产中,按其事故性质可分为生产事

故、质量事故、设备事故、交通运输事故、火灾爆炸事故和人为伤亡事故等。

② 事故的等级: 事故一般分为重大事故、一般事故和微小事故。凡造成产品日计划产量损失25%以上, 或大型单系列机组按日计划产量损失50%以上, 或直接损失费达四千元以上的事故, 属重大事故; 造成产品日计划产量损失10%以上或直接损失费达八百元以上的事故, 属于一般事故; 造成产品日计划产量损失10%以下, 或直接损失费在二十元以上事故, 属于微小事故。

③ 事故损失计算: 事故损失费由事故直接损失费和产量损失费之和构成。

事故直接损失包括原料损失、成品、半成品损失和设备损失。事故产品损失, 是从事故发生时起至恢复正常生产时止, 按日计划产量核算总损失量。

④ 事故报告程序: 凡发生事故, 最先发现者应立即向领导和调度报告, 而后逐级上报。对重大事故, 应立即用快速方法向上级机关报告。

发生事故的基层组织, 应按规定填写事故报告, 报送企业主管部门。报告时间, 一般事故不超过3天, 重大事故不超过7天。对重大事故, 企业应写出调查报告书, 并于事故后20天内报送上级机关。

⑤ 事故调查处理: 对一般事故或性质恶劣的微小事故, 应在事故发生后两天内, 由车间和有关部门领导组织召开事故分析会, 查找原因, 吸取教训, 提出防范措施, 对事故责任者提出处理意见。对重大事故, 企业领导人应组织有关部门进行调查和分析, 必要时邀请上级主管部门或当地劳动、公安部门和工会组织等有关单位参加, 找出原因, 查出责任, 制定防范措施, 并对事故

责任者提出处理意见。

对严重违章指挥、违章作业又不听其劝阻的人员,或由于渎职造成重大事故的责任者,应给予纪律处分直至追究刑事责任。对蓄意制造事故,造成严重后果,需追究刑事责任的,应提交司法机关依法处理,对防止和抢救有功者,应给予表彰和奖励。

10. 严格执行《安全生产四十一条禁令》

化学工业部于1982年7月颁发的《安全生产四十一条禁令》,是化工行业搞好安全生产的重要规章制度,必须严格执行,做到令行禁止。其主要内容包括:

- ① 生产区内的“十四个不准”;
- ② 进入容器、设备的“八个必须”;
- ③ 防止违章动火的“六大禁令”;
- ④ 操作工的“六个严格”;
- ⑤ 机动车辆的“七大禁令”。

第二节 人身安全防护

根据有关规定和工作纪律,每一个职工或参观、实习人员,在进入车间工作场所前,有责任穿戴好所规定的个人防护用具。

一、个人防护器具

1. 头部防护

安全帽是预防下落物体(固体、液体)或其他物体碰撞头部而引起危险的人体头部保护用品。

以下情况必须使用安全帽:

- (1) 在车间和它们的露天区域;
- (2) 有天车、吊车作业的场所,或高空和地联合作业的场所;
- (3) 在1.5米以上空间有重物运动的工作场所;

- (4) 在建筑与安装岗位;
- (5) 女工在车床等岗位上操作。

2. 眼睛和面部防护

在工作区域内,如有飞出的物体、喷出的液体或危险光的照射,操作者眼睛和面部会受到伤害。为此,必须考虑配戴眼镜和面部防护用具。如从事钻、车、铣、刨、凿、磨、机械除锈、脆性材料加工,从事焊接或火焰切割;接触或开启有腐蚀性,有爆炸危险或火灾危险的物质或残留物的系统,进行化学实验工作;进行在带压设备上手工操作;开启或松开超压法兰,隔断装置和密封塞;使用液体喷射器等。在进行对眼睛或面部有较大危险工作区域内的工作人员也必须配戴正常视力的防护眼镜,或再戴一个合适的面罩。

3. 脚部防护

为了使操作者的脚部不受损伤,以下岗位必须穿安全鞋:

- (1) 在有酸、碱物质泄漏的岗位或酸碱车间,必须穿防酸、碱工作鞋;
- (2) 在有碰撞、挤压、下跌物体而使脚部受伤的岗位,应穿防砸鞋;
- (3) 在高温岗位操作应穿绝热安全鞋;
- (4) 在实验室、实习工厂及类似车间内的操作,也要穿牢面的和封闭的鞋。

4. 手部防护

在从事对手部有损伤的工作时,应戴上合适的防护手套。如手接触酸、碱等腐蚀性物质,或接触冷、热物质以及机械负荷。对于能引起生理变态反应或皮肤病危险的岗位,还要使用由工厂医疗部门提供的皮肤防护油脂。手的保养性清洗,可使用合适的清洗剂。

在转动轴旁工作人员,如在砂轮上磨削工件,或在钻床上打孔,绝不允许戴防护手套,以防手套被卷入而损伤手部或手指。

5. 听力防护

噪音超过国家规定的标准范围时,必须使用听力防护用具。在这种噪音区内的工作人员,应由工厂医疗部门进行适应性或预防性检查,同时,根据噪音的强度和频率,选定听力防护用具的种类,如听力防护软垫、塞、罩等。

6. 呼吸防护

工作区域内的空气中,有毒气体、蒸气、悬浮物的浓度超过标准所规定的范围时,会引起操作人员中毒或呼吸供氧不足而窒息,必须使用合适的呼吸防护用具。

职工在使用呼吸防护用具时,必须接受安全部门的教育和培训,掌握其使用方法和功能。

7. 防护服(工作服)

凡进入工作区的人员,在没有其它规定的条件下,必须穿上一般的工作服。在较高燃烧危险岗位及其区域工作,如电石车间,必须穿上不易燃烧抗高温的防护工作服,工作中接触酸、碱或其他有损皮肤的物质时,应穿上能耐酸、碱的防酸粗绒布服、聚氯乙烯防护服、检皮围裙等。在进行焊接工作的,可以穿电气焊防护工作服,从事微波作业人员,应穿上微波屏蔽大衣。

二、运转机器旁的安全防护

在生产操作中,各种泵、离心分离机,研磨机,皮带输送机,以及各种车床等运转机器上的所有运动部件都是危险的,操作者的某个部位一旦接触被卷入机器,就会遭到程度不同的伤害。为了防止与这些运动部件接触,必须在这些部件套上外罩,如铁栅、薄铁板套或其他类似的外罩。此外,还可安装安全连锁装置,如果有东西被卷入机器时,连锁装置就会中断电源,使机器停止

运转,从而避免事故的发生。安装机械开关元件或光线阻挡器,也可以起到安全防护作用。当接触或靠近运转机器时,机器就会自动停止运转。

在检修运转机器时,必须切断电源,停止机器运转,然后取下外罩进行修理,绝不允许机器运转时去拆取防护外罩。机器停止后,应避免错误地合上电闸的情况,为此,可通过拆开电动机的接线,或装设安全开关。安全开关会同时切断控制和动力电路,并通过一个或几个钥匙锁住电源开关,以免错误地合上电源开关。在运转机器旁的操作人员,必须穿紧身工作服,宽松的工作服会因飘动而被旋转的轴抓住发生事故。长头发也很危险,一旦被旋转轴抓住,会遭到头皮被撕裂的危险。有长发的操作人员,必须戴工作帽或头发网套。

对高速旋转的砂轮及切割盘,在高速旋转情况下使用必须十分小心,要遵守规定的转速。对于刀具(车刀、铣刀)、钻头、锤把等工具,也要特别当心维护,损坏的器具应及时更换或修理。

三、运输工作的安全防护

运输装卸工作是极易出现事故的领域。在进行运输操作时,头、手和脚很容易受到危害,因此,戴安全帽、防护手套和穿工作鞋尤为必要。

用人力搬运笨重的货物,如滚动圆铁桶包装的货物时,要特别小心,不能用手去抓桶边,以防挤手、砸脚。在操纵运输机械,如叉式装卸机、吊车及类似机械装卸货物时,更要注意安全。严禁无证驾驶、无证操作,严禁超负荷,超速度运行,只有受过专门训练的人员才允许操纵。悬吊重物运输时,悬吊物应缓慢行驶,经过的地区必须封闭,严禁闲人在悬吊物下停留。运输的货物必须码放整齐,合理分布,必要时用绳索系牢,防止货物下滑,倾倒伤人。

对易燃、易爆危险物品的装卸运输, 应注意标记, 轻拿轻放, 严禁撞击、摔砸。对于圆桶包装的货物, 应通过垫楔子、系牢等手段加以固定, 以防滚动而出事故。遇水燃烧爆炸的货物, 要用苫布盖好, 防止雨水浸入, 同时禁止雨天搬运。

四、货物存放和堆垛的安全事项

固体、液体和气体的存放和堆垛, 一定要遵守有关的安全规定。对于固体货物的存放, 一定要注意堆放的坡度角, 且不宜太陡, 以防塌滑。另外, 堆放的高度不宜超过1.8米, 垛与垛的间距不小于1米, 垛与墙距不小于0.5米。易引起自燃的固体, 如煤等, 堆放时不宜太高。存放在多层楼房内的固体货物, 要注意楼板的承载能力。

液体 最好存放在球形罐或两端带有半球的圆形罐中。可燃液体不允许在工作场所储存, 存放可燃液体的常压罐, 一定要安装回火安全装置。

气体的储存, 一般是贮藏在压力容器内。对于压力容器, 要遵照压力容器的有关规定。

货物堆垛, 不论是圆桶、木箱, 还是袋装或集装箱, 都要特别小心, 要在坚固平整的地面上堆垛, 垛的底面积要尽可能大, 堆放高度不宜太高, 以免有翻倒的危险。由垛上取货时, 应由上而下一层一层地均匀地进行, 绝对禁止从中间抽取, 否则就会有垛倒塌的危险。

第三节 防火防爆

对所有化工原料、化工产品或中间体, 大都是可燃或易燃的物质, 不可避免地存在燃烧和爆炸的危险, 一旦事故发生, 将会造成人身伤亡, 机械设备、建筑物毁坏, 甚至迫使生产停顿。可见, 做好防火防爆工作是非常重要的。

一、燃烧

1. 燃烧及其条件

燃烧是可燃物质(气体、液体或固体)与氧或氧化剂相互作用而发生光和热的反应。其特征是放热、发光、生成新物质。只有同时具备放热、发光和生成新物质的反应,才能称为燃烧。

燃烧必须同时具备三个条件:① 可燃物质。如木材、液化石油气等;② 助燃物质。如空气、氧和氧化剂;③ 能源。如明火、电火花、摩擦等。这三个条件缺一不可不能构成燃烧反应。在某些情况下,每一条件还必须具有一定的数量,并彼此相互作用,否则也不会发生燃烧。如空气中氧的浓度下降到14%,燃着的木材就会熄灭。对于已经进行的燃烧,若消除其中任何一个条件,燃烧就会终止,因此,一切防火和灭火的措施,都是根据物质的性质和生产条件,阻止燃烧的三个条件同时存在、相互结合和相互作用。

2. 燃烧的形式

根据燃烧的起因和剧烈程度的不同,可分为闪燃、着火和自燃。

(1) 闪燃和闪点 各种液体表面都有一定量的蒸气,蒸气的浓度决定于该液体的温度。在一定温度下,可燃液体表面或容器内的蒸气和空气的混合面形成的混合物可燃气体,遇火源即发生燃烧。在形成混合可燃气体的最低温度时,所发生的燃烧只出现瞬间火苗或闪光。这种现象,称为闪燃。引起闪燃时的最低温度称为闪点。如乙醇的闪点为286K,丙酮的闪点为255K 等。

可燃液体的闪点是随其浓度的变化而变化,浓度越高,闪点越低。如乙醇水溶液的闪点随浓度变化情况见表5-1。

两种可燃液体混合物的闪点,一般介于两液体闪点之间,但常常不等于按两组份的摩尔分数所求得平均值,通常要比平均值低1~11度。

表 5-1 乙醇水溶液的闪点

溶液中乙醇含量, %	闪点, K	溶液中乙醇含量, %	闪点, K
100	282	20	309.75
80	292	10	313
60	295.75	5	335
40	299.75	3	/

各种可燃液体闪点的高低,可确定出它们的火灾危险性的程度,闪点愈低,火灾危险性愈大,等级也就愈高,如表5-2所示。

表 5-2 液体火灾危险性等级

类别	等级	闪点, K	液体名称
易燃液体	1	<301	乙醇、苯、汽油
	2	301~318	煤油、松节油
可燃液体	3	319~393	乙二醇、苯胺
	4	>393	桐油、润滑油

在化工安全生产中,根据闪点的高低,确定易燃和可燃液体的生产、加工、储存和运输的火灾危险性,进而针对其火险的大小,采取相应的防火、防爆安全措施。如以油代煤,若所选的油料闪点较高,则在较高的预热温度下而无火险;反之,若燃油闪点较低,则预热温度就不能过高,否则加热至接近闪点,就会产生火灾危险。

(2) 着火与着火点 当温度超过闪点并继续升高时,若与火源接触,不仅会引起易燃物体与空气混合物的闪燃,而且会使可燃物燃烧。这种当外来火源或灼热物质与可燃物接近时,而开始持续燃烧的现象叫着火。使可燃物质开始持续燃烧所需的最低温度,称为该物质的着火点或燃点。物质燃点的高低,反映出该物质火灾危险性的大小,物质的燃点愈低,愈易着火,火灾的

危险性就愈大。

(3) 自燃与自燃点 可燃物质不需火源接近便能自行着火的现象称为自燃。可燃物发生自燃的最低温度称自燃点。自燃现象可分为受热自燃与本身自燃两种。

受热自燃是可燃物质虽不与明火接触,但在外部热源作用下,使温度达到自燃点而发生着火燃烧的现象称为受热自燃。例如,可燃物接近蒸汽管道加热或烘烤过程,均可导致可燃物自燃。某些可燃物的自燃点见表5-3。

表 5-3 某些气体及液体的自燃点

物质名称	自燃点, K		物质名称	自燃点, K	
	空气中	氧气中		空气中	氧气中
氧	845	833	丁 烯	716	
氧化碳	882	861	戊 烯	546	
氢	924		乙 炔	578	569
二硫化碳	393	380	苯	853	839
硫化氢	565	493	环丙烷	771	727
氢氰酸	811		环己烷		569
甲 烷	965	829	甲 醇	743	734
乙 烷	741		乙 醇	665	
丙 烷	766	741	乙 醛	548	432
丁 烷	681	556	乙 醚	465	455
庚 烷	503	487	丙 酮	834	758
乙 烯	760	758	醋 酸	823	763
丙 烯	731		二甲醚	623	625

本身自燃是某些物质在没有外来热源的作用下,由于物质内部所发生的化学、物理或生化的过程而产生热量,这些热量在适当的条件下,逐渐积聚,使物质温度上升,达到自燃点而燃烧。这种现象称为本身自燃或自热燃烧。能引起本身自燃的物质有植物类、油脂类、煤、硫化铁及其他化学物质。

不同的物质其自燃点是不同的。可燃物质的自燃点愈低,发生火灾的危险性则愈大。物质的自燃点不是固定不变的,而是随压力、组分、催化剂、可燃物的化学结构等条件的不同而变化。例如苯在101.3kPa 压力下,自燃点为953K,在1013kPa 压力下为863K,在2542kPa 压力下为763K,可见,压力愈高,自燃点愈低,发生火灾的危险性则愈大。可燃气体在被压缩时,容易发生爆炸事故,其原因之一就是自燃点降低。

催化剂对自燃点也有影响,活性催化剂能降低物质的自燃点,钝性催化剂能提高物质的自燃点。例如,汽油中加入的抗震剂四乙基铅,就是一种钝性催化剂。

可燃性混合气体的自燃点是随组成的变化而变化的。当混合物组成符合于反应的浓度时,其自燃点最低;混合气体中氧浓度增高,也将使自燃点降低。

饱和化合物的自燃点高于相应的不饱和化合物的自燃点。芳香族氢化化合物的自燃点高于含有同数碳原子的脂肪族碳氢化合物的自燃点。脂肪族同一有机化合物的同分异构物在多数情况下具有不同的自燃点。

掌握了可燃物的自燃点和受热自燃的原因,就可采取相应的防火措施。例如将可燃物与烟囱、取暖设备、电热器等热源隔离或留有间距,目的是防止可燃物受热自燃;烘烤、熬炼可燃物时,应注意控制温度,使加热温度不超过自燃点;经常润滑机器轴承和摩擦部分,也是以防摩擦发热,使可燃物受热自燃等等。

二、爆炸

1. 爆炸及其分类:

爆炸是指物质从一种状态迅速转变成另一种状态,并在瞬间放出大量的能量,同时产生巨大声响的现象。爆炸也可视为气体或蒸汽在瞬间剧烈膨胀的现象。

在爆炸过程中,由于物系具有高压或爆炸瞬间形成高温高压气体,或蒸气的骤然膨胀,体系内能转变为机械功、光和热辐射,使爆炸点周围介质中的压力发生急剧的突变,从而产生破坏作用。其破坏的主要形式有:

(1) 震荡作用 在遍及破坏作用的区域内,有一个能使物体震荡,使之松散的力量。

(2) 冲击波 随着爆炸的出现,冲击波最初出现正压力,而后又出现负压力。负压力是气压下降后空气振动产生局部真空而形成所谓吸收作用。由于正、负压力交替的波状气压向四周扩散,从而造成附近建筑物的破坏。建筑物破坏程度与冲击波的能量大小、建筑物的形状、大小及坚固性和建筑物与产生冲击波的中心距离等因素有关。

(3) 碎片冲击 机械设备、装置、容器等爆炸以后,变成碎片飞散出去会在相当广的范围内造成危害,在爆炸事故中,爆炸碎片造成的伤亡占有相当大的比例。碎片飞散一般可达100~500m。

(4) 造成火灾 通常爆炸气体扩散只发生在极其短促的瞬间,对一般可燃物质不足以造成起火燃烧,而且有时冲击波还能起灭火作用。但是,建筑物内遗留大量的热或残余火苗,还会把从破坏的设备内部不断流出的可燃气体或易燃、可燃液体的蒸气点燃,使厂房可燃物起火,加重爆炸的破坏力。

爆炸可按其不同形式进行分类,若按爆炸的传播速度,可分为轻爆、爆炸和爆轰。

轻爆,通常指传播速度为每秒数十厘米至数米的过程。

爆炸,是指传播速度为每秒十米至数百米的过程。

爆轰,指传播速度为每秒一千米至七千米的过程。

若按引起爆炸过程性质,爆炸可分为物理爆炸和化学爆炸。

物理爆炸是由物理变化而引起的,物质状态或压力发生突变而形成爆炸的现象。如蒸气锅炉和受压容器、高压气瓶超压引起的爆炸等。这种爆炸前后物质和成分均不改变,只是由于设备内部物质的压力超过了设备所可能承受的机械强度,内部物质急速冲击而引起的。

化学性爆炸是由于物质迅速发生化学反应,产生高温、高压而引起的爆炸。这种爆炸前后物质的性质和成分均发生根本性的变化。按其变化性质,则又可分为简单分解爆炸,复杂分解爆炸和爆炸性混合物的爆炸。

简单分解爆炸是爆炸物在爆炸时不发生燃烧的反应,爆炸所需的热量由爆炸物本身分解时产生。如乙炔银、碘化氮、氯化氮等物质的爆炸。这类物质非常危险,受轻微震动即可引起爆炸。

复杂分解爆炸伴有燃烧现象,燃烧所需的氧由本身分解时供给。所有炸药、各类氮及氯的氧化物、苦味酸等物质的爆炸均属于此类。

所有可燃气体、蒸气及粉尘与空气或氧的混合所形成的混合物的爆炸,称为爆炸性混合物的爆炸。这类物质的爆炸需要一定条件,如爆炸物的含量、氧气含量及激发能源等。这类物质的爆炸危险性虽较前二类为低,但工厂存在极为普遍,造成的危害性也较大。如物质从工艺装置、设备、管道内泄漏到厂房或空气进入可燃性气体的设备内,都可形成爆炸性混合物,如遇到火种,便造成爆炸事故。这类爆炸一般都伴有燃烧现象发生。

2. 爆炸极限

爆炸极限是指某种可燃气体、蒸气或粉尘和空气的混合物能发生爆炸的浓度范围。发生爆炸的基本条件,是爆炸混合物的浓度范围。发生爆炸的最低浓度和最高浓度分别称做爆炸下限

和上限。当混合物浓度低于爆炸下限时, 由于含有过量的空气, 起到冷却作用, 阻止了火焰的蔓延; 同样, 浓度高于爆炸上限时, 由于空气不足, 而使火焰不能传播。所以, 当浓度在爆炸范围以外时, 混合物不会爆炸。但是, 对于浓度在爆炸上限的混合物, 切勿误认为是安全的, 一旦有空气补充, 就又具有爆炸的危险性。

爆炸极限的表示方法, 一般用可燃气体或蒸气在混合物中的体积百分比来表示, 有时也用单位体积(立方米或升)混合物中所含可燃物质的质量来表示。即 g/m^3 , g/L 。

若以爆炸极限的上限与下限之差, 再除以下限值, 其结果即为危险度。表达式为

$$H = (x_2 - x_1) / x_1$$

式中 x_1 ——爆炸下限值;

x_2 ——爆炸上限值;

H ——危险程度。

H 值越大, 表示爆炸的危险性越大。爆炸下限越低, 爆炸极限的范围就越宽, 则爆炸的危险性就越大。所以, 知道爆炸极限, 就能正确地确定工艺过程的爆炸燃烧的危险程度, 就能对使用和制备可燃气体或易燃液体的工序拟订出各项防爆的措施。

一些常见气体、蒸气在常温常压下的爆炸极限如表5-4所示。

表 5-4 一些常见气体、蒸气的爆炸极限

物质名称	爆炸极限, V%		物质名称	爆炸极限, V%		物质名称	爆炸极限, V%	
	上限	下限		上限	下限		上限	下限
氢气	4.1	74.2	甲烷	5.3	15	水煤气	6.2	70.0
一氧化碳	12.5	74.2	硫化氢	4.3	45.5	焦炉气	4.4	34.0
氯气	15.7	27.4	发生炉煤气	20.7	73.7	天然气	4.0	16.0

续表

物质名称	爆炸极限, V%		物质名称	爆炸极限, V%		物质名称	爆炸极限, V%	
	上限	下限		上限	下限		上限	下限
甲 醇	6.7	36	甲 苯	1.27	7	乙 醚	1.85	36.5
甲 酮	7.0	73	乙 炔	1.5	82	硫化碳	1.3	50
苯	1.3	7.1	乙 烯	2.7	36	汽 油	0.4	7.6

三、防止火灾爆炸的安全措施

如何能制止引起的燃烧和爆炸呢?最重要的原则是阻止可燃性气体或蒸气从设备、容器中漏出,限制火灾爆炸危险物、助燃物与火源三者之间的相互直接作用。

1. 控制与消除火源

化工企业生产中遇到的着火源,除生产过程具有的燃烧炉火、反应热、电源外,还有维修用火、机械摩擦热、撞击火星以及吸烟用火等,这些火源是引起易燃易爆物质着火爆炸的原因,因此,严格控制火源,加强明火管理;不准穿带有钉子的鞋进入车间;对机器轴承要及时添油;在搬运盛有可燃气体或易燃液体的金属容器时,不要抛掷;厂房内严禁吸烟;不准在高温管道和设备上烘烤衣服及其它可燃物件等。

2. 化学危险物品的安全处理

在化工企业内,具有燃爆危险的物质主要是化学物品。因此,在生产过程中,必须了解各种化学物品的物理化学性质,根据不同性质,采取相应的防火防爆和防止火灾扩大蔓延的措施。

对于物质本身具有自燃能力的油脂,以及遇空气能自燃、遇水燃爆的物质等,应采取隔绝空气、防火、防潮或采取通风、散热、降温等措施,以防止物质的自燃和发生爆炸。

两种互相接触会引起燃爆的物质不能混放;遇酸碱有分解爆炸燃烧的物质,应防止与酸碱接触;对机械作用比较敏感的物质

质,应轻拿轻放。

易燃、可燃气体和液体蒸气,要根据它们的相对密度,采取相应的排污方法和防火防爆措施。根据物质的沸点、饱和蒸气压考虑容器的耐压强度,贮存、降温措施等。根据物质闪点、爆炸极限等,采取相应的防火防爆措施。

对于不稳定的物质,在贮存中应添加稳定剂或以惰性气体保护。对某些液体,如乙醚受到阳光作用时,会生成过氧化物,故必须存在金属桶内或暗色的玻璃瓶中。

物质的带电性能,直接关系到物质在生产、贮存、运输等过程中,有无产生静电的可能。对于易产生静电的物质,应采取接地等防静电措施。

为了防止易燃气体、蒸气和可燃性粉尘与空气构成爆炸性混合物,应该使设备密闭或负压操作。对于在负压下生产的设备,应防止空气吸入。为了保证设备的密闭性,对危险物系统应尽量少用法兰连接,但要保证安装检修的方便。输送危险气体、液体的管道应采用无缝管。

3. 厂房的通风置换

对生产车间空气中可燃物的完全消除,仅靠设备的密闭是不可能的,往往还借助于通风置换。对含有易燃易爆气体的厂房,所设置的排、送风设备应有独立分开的通风室,如通风机室设在厂房内,则应有隔绝措施。同时,应采用不产生火花的通风机和调节设备,排除有燃烧爆炸危险粉尘的排风系统,应先将粉尘空气净化后进入风机,同时应采用不产生火花的除尘器。如果粉尘与水接触能生成爆炸混合物时,则不能采用湿式除尘器。

通风管道不宜穿过防火墙或非燃烧体的楼板等防火隔绝物。对有爆炸危险的厂房,应设置轻质板制成的屋顶,外墙或泄压窗。

4. 可燃物大量泄漏的处理

工厂可燃物的大量泄漏,对生产必将造成重大的威胁。为了避免因大量泄漏而引起的燃烧爆炸,故必须进行恰当的处理。

当车间出现物料大量泄漏时,区域内的可燃气体检测仪会立即报警,此刻,操作人员除向有关部门报告外,应立即停车,打开灭火喷雾器,将气体冷凝或采用蒸气幕进行处理。同时要控制一切工艺参数的变化,若工艺参数达到临界温度、临界压力等危险值时,要按规程正确进行处理。

5. 工艺参数的安全控制

在生产中正确控制各种工艺参数,不仅可以防止操作中的超温、超压和物料跑损,而且是防止火灾爆炸的根本措施。

在生产中为了预防燃爆事故发生,对原料的纯度、投料量、投料速度、原料配比以及投料顺序等,必须按规定严格控制,同时要正确控制反应温度并在规定的范围内变化。

生产中的跑、冒、滴、漏现象,是导致火灾爆炸事故的原因之一,因此,要提高设备完好率,降低设备泄漏率;要对比较重要的各种管线,涂以不同颜色加以区别;对重要阀门采取挂牌加锁;对管道的震动或管道与管道间的摩擦等应尽力防止或设法消除。

在发生停电、停气或汽、停水、停油等紧急情况时,要准确、果断、及时地作出相应的停车处理。若处理不当,也可能造成事故或事故的扩大。

6. 实现自动控制与安全保险装置

化工生产实现自动控制,并安装必要的安全保险装置,可以将各种工艺参数自动准确地控制在规定的范围内,保证生产正常地进行。生产过程中,一旦发生不正常或危险情况,保险装置就能自动进行动作,消除隐患。

7. 限制火灾爆炸的扩散蔓延

在化工生产设计时,对某些危险性较大的设备和装置,应采取分区隔离、露天安装和远距离操纵;在有燃爆危险的设备、管道上应安装阻火器及安全装置;在生产现场配有消防灭火器材;在生产中,一旦发生火灾爆炸,应立即关闭燃烧部位与生产系统的阀门,切断可燃物料的来源,同时选用合适的消防灭火器材进行灭火。

四、灭火器材的种类及使用方法

1. 水或水蒸气灭火

水是最常用的灭火剂,具有很好的灭火效能。直流水和开花水可以扑救一般固体物质的火灾,还可扑救闪点在393K以上、常温下显半凝固状态的重油火灾。雾状水可用于扑救粉尘、纤维状物质及谷物堆囤等固体可燃的火灾和扑救带电设备的火灾。但以下着火不能用水扑救。

① 电石着火时千万不能用水扑救,要用干砂土扑救;

② 苯、甲苯、醚、汽油等非水溶性的相对密度小于水的可燃、易燃液体着火,原则上不能用水扑救。可用泡沫、干粉、1211等灭火剂扑救;

③ 重质油料、如原油、重油着火,原则不能用水扑救,而用雾状水扑救;

④ 贮存大量浓硫酸、浓硝酸的场所发生火灾,不能用直流水扑救,必要时宜用雾状水扑救;

⑤ 直流水不能扑救带电设备的火灾,也不能扑救可燃粉尘(面粉、铝粉、煤粉、锌粉等)聚集处的火灾。

2. 化学泡沫灭火器

化学泡沫灭火器主要由碳酸氢钠、硫酸铝和少量发泡剂(甘草粉)与稳定剂(三氯化铁)组成。使用时可通过颠倒灭火器或其

他方法,使两种化学溶剂混合而发生如下反应:

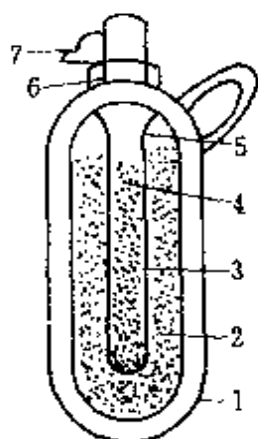
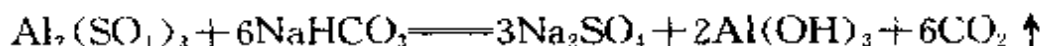


图 5-1 手提式
化学泡沫灭火器

1—筒体; 2— NaHCO_3 药剂;
3—玻璃瓶; 4— $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
药剂; 5—金属支架; 6—筒
盖; 7—喷嘴

反应式中生成的 CO_2 气体,一方面在发泡剂的作用下,形成以 CO_2 为核心的外包 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的大量微细泡沫,同时,使灭火器内压力很快上升,将生成的泡沫从喷嘴中压出。由于泡沫中含有胶状 $\text{Al}(\text{OH})_3$,易于粘附在燃烧物表面,并可增强泡沫的热稳定性。灭火器中稳定剂不参加化学反应,但它可分布于泡膜中可使泡沫稳定、持久、提高泡沫的封闭性能,起到隔绝氧气的作用,达到灭火的目的。

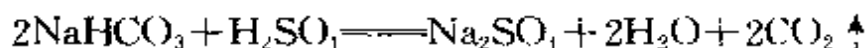
工厂常用的化学泡沫灭火器为手提式,如图5-1所示。它是用薄钢板卷焊而成的圆筒,筒内壁镀锡并涂有防腐漆,筒中央吊挂着盛有 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液的玻璃瓶,瓶子与筒壁之间充装 NaHCO_3 溶液,在 NaHCO_3 溶液中加入少量甘草精(发泡剂)和泡沫稳定剂,筒盖旋紧于筒口上,盖上有喷嘴。

标准手提式化学泡沫灭火器约8.3kg,容积为0.01m³,能产生45kg 泡沫,射程为8~10m,全部喷射时间在1分钟左右。

化学泡沫灭火器主要用于扑救闪点在318K 以下的易燃液体的着火,如汽油、香蕉水、松香水等非水溶液体的火灾,也能扑救固体物料的火灾。但对水溶性可燃、易燃液体,如醇、醚、酮、有机酸等,带电设备、轻金属、碱金属及遇水可发生燃烧爆炸的物质的火灾,切忌使用。

3. 酸碱灭火器

手提式酸碱灭火器的构造与手提式化学泡沫灭火器相同。内装 NaHCO_3 溶液和另一小瓶 H_2SO_4 , 使用时将筒身颠倒, 硫酸与 NaHCO_3 发生如下反应:



筒内生成的 CO_2 气体产生压力, 使 CO_2 和溶液从喷嘴喷出, 笼罩在燃烧物上, 将燃烧物与空气隔离而起到灭火作用。

手提式酸碱灭火器适用于扑救竹、木、棉、毛、草等一般可燃固体物质的初起火灾, 但不宜用于油类、忌水、忌酸物质及电气设备的火灾。

4. 二氧化碳灭火器

手提式二氧化碳灭火器是由无缝钢管制成的圆筒形钢瓶, 如图 5-2 所示。钢瓶内充有压力为 8.83MPa 的液体 CO_2 (灭火剂), 容量为 5kg 。钢瓶上有喷嘴、喷管、启闭阀等部件。使用时先取下铅封和门棍, 一手拿着喇叭筒对准火源, 一手按下压把, CO_2 即从喷嘴喷出。射程 $2\sim 3\text{m}$, 喷射时间为 45 秒。

二氧化碳灭火剂是无色无嗅的气体, 相对密度为 1.509 , 不助燃, 不导电, 可呈液体装入钢瓶内贮存和运输, 是一种较好的灭火剂。它

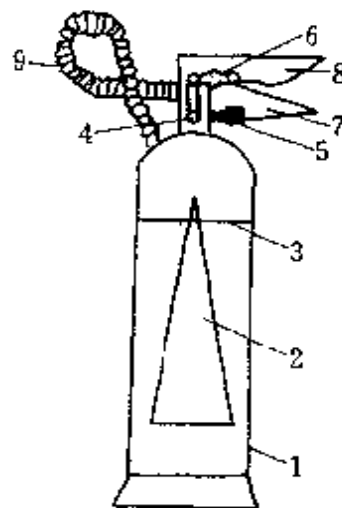


图 5-2 手提式 CO_2 灭火器

- 1—钢瓶; 2—喷筒; 3—卡带;
4—启闭阀组; 5—安全堵;
6—门棍; 7—提把; 8—压把; 9—喷管

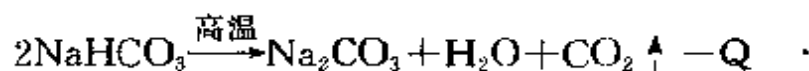
的灭火作用,主要是冷却与稀释空气的作用。当 CO_2 从灭火器喷嘴喷出时,在燃烧物表面会覆盖一层雪花状白色固体——干冰。由于干冰温度为 194.5K ,当气化时便发生骤然膨胀而吸收空气热量,使燃烧区的温度急剧降低,同时,空气中增加了既不燃烧又不助燃的 CO_2 成分,燃烧物将被 CO_2 笼罩,相应地也稀释了空气中氧的含量。实践表明,当燃烧区域空气中氧含量低于 12% 或者 CO_2 浓度达到 $30\sim 35\%$ 时,绝大多数燃烧物都会熄灭。

二氧化碳灭火器有很多优点,灭火后不留有任何痕迹,不损坏被救物品,不导电,无毒害,无腐蚀,用它可以扑救电器设备、精密仪器、电子设备、图书资料档案等火灾。但忌用于某些金属,如钾、钠、镁、铝、铁及其氢化物的火灾,也不适用于某些能在惰性介质中自身供氧燃烧的物质,如硝化纤维火药的火灾,它难于扑灭一些纤维物资内部的阴燃火。

5. 固体化学干粉灭火器

固体化学干粉灭火器是比较新型的灭火器,贮存和使用都很方便,灭火效果好。常用的手提式化学干粉灭火器有 2kg 、 4kg 和 8kg 装三种。粉筒是用优质钢板冷拉成型和气体保护焊接组合而成,耐压性能强。粉筒内装有以碳酸氢钠为基料的小苏打粉、改性钠盐粉、硅化小苏打干粉、氨基干粉以及少量的防潮剂硬脂酸及滑石粉等。并备有盛装压缩 CO_2 或 N_2 的小钢瓶作为喷射的动力。

使用时,站在距火场 $5\sim 6\text{m}$ 处,一手紧握喷嘴胶管并将喷嘴对准火焰根部,另一手提拉圈环,容器内干粉便可喷出粉雾。在燃烧区干粉碳酸氢钠受高温作用,其反应:



在反应过程中,由于放出大量水蒸气和 CO_2 ,并吸收大量的热,因此,起到一定冷却和稀释可燃气体的作用;同时,干粉灭火剂与燃烧区碳氢化合物作用,夺取燃烧连锁反应的自由基,从而抑制燃烧过程,致使火焰熄灭。

干粉灭火剂无毒、无腐蚀作用,主要用于扑救石油及其产品,可燃气体及电器设备的初起火灾以及一般固体的火灾。扑救较大面积的火灾时,需与喷雾水流配合,以改善灭火效果,并可防止复燃。

6. 1211灭火器

“1211”是卤化物二氟一氯一溴甲烷的代号,又称 BCF,是一种低毒、不导电的液化气体灭火剂,其分子式是 CF_2ClBr ,是卤代烷灭火剂的一种。它是通过夺去燃烧连锁反应中的活泼性物质来达到灭火目的。

1211灭火器是一种轻便、高效的灭火器材。其规格有1kg、2kg、3kg 装三种,筒内除充装二氟一氯一溴甲烷灭火剂外,并填充压缩氮气,使用时拔下铅封或横销,用力压下压把即可喷出。

1211灭火剂适于扑救各种易燃液体火灾和电气设备火灾,它的绝缘性能好,灭火时不污损物品,灭火后不留痕迹,有灭火效率高、速度快的优点。但它不适于扑救活泼金属、金属氧化物和能在惰性介质中自身供氧燃烧的物质的火灾;扑灭固体纤维物质火灾时要用较高的浓度。1211灭火剂浓度在4~5%对人和动物则会发生轻微的中毒反应,浓度越高,危险性越大,使用时要慎重。

在化工企业中,常用的灭火器类型及其性能见表5-5。

表 5-5 常用灭火器性能表

类型	泡沫灭火器	酸碱灭火器	CO ₂ 灭火器	干粉灭火器	1211灭火器
规格	0.01m ³ 0.065~0.13m ³	0.01m ³	2kg 2~3kg 3~7kg	8kg 50kg	1kg 2kg 3kg
药剂	碳酸氢钠、 发泡剂和硫酸 铝溶液	碳酸氢 钠水溶液、 硫酸	压缩成液 体的二氧化 碳	钾盐和 钠盐干粉、 备有盛装 压缩气体 的小钢瓶	二氟一 氯一溴甲 烷并充填 压缩氮气
用途	扑救固体 物质和其他 易燃液体火 灾,不能扑救 忌水和带电 设备火灾	扑救木 材、纸张等 一般火灾, 不能扑救 电气、油类 火灾	扑救贵重 仪器、电气、 油类和酸类 火灾,不能扑 救钾、钠、镁 等物质火灾	扑救石 油、石油产 品、油漆、 有机溶剂、 天然气设 备火灾	扑救油 类、电气设 备、化工化 纤原料等 初起火灾
效能	0.01m ³ 喷 射时间 60s, 射程 8m; 0.065m ³ 喷射 170s, 射程 13.5m	喷射 50s, 射程 10m	接近着火 地点, 保持 3m 远	8kg 喷 射时间 14~18s, 射程 4.5m; 50kg 喷射 时间 50~ 55s 射程 6~8m	1kg 喷 射时间 6~8s, 射 程 2~3m
使用方法	倒过来稍 加摇动或打 开开关, 药剂 即可喷出	筒身倒 过来即可 喷出	一手拿着 喇叭筒对准 火源; 另一手 打开开关即 可喷出	提起圈 环, 干粉即 可喷出	拔下铅 封或横销, 用力压下 压把即可 喷出

续表

类型	泡沫灭火器	酸碱灭火器	CO ₂ 灭火器	干粉灭火器	1211灭火器
保 养 和 检 查	①放在方便处; ②注意使用期限; ③防止喷嘴堵塞; ④冬季防冻,夏季防晒; ⑤一年检查一次,泡沫低于4倍时应换药	①放在方便处; ②注意使用期限; ③防止喷嘴堵塞; ④定期或不定期的检查测量和分析	每月测量一次,当小于原量1/10时应充气	置于干燥通风处,防潮防晒。 一年检查一次气压,若重量减少1/10时应充气	置于干燥处,勿碰撞;每年检查一次质量

第四节 防尘防毒

一、尘毒物质的来源及分类

1. 尘毒物质的来源

由于化工生产的原料路线广,产品种类多,故产生尘毒物的原因和造成尘毒物质的途径也不一样。总的来说,尘毒物质主要来源有下列几方面:

(1) 生产原料、中间产品和产品 化工生产所用的原料和某些中间产品或产品,都具有毒性,有些甚至是剧毒性物质。如苯、甲苯、二硫化碳、金属铅、汞、锰等。

(2) 由化学反应不完全和副反应产生的物质 有机化学反应的转化率和选择性一般都不很高,生产中往往会产生一些不希望生成的副产物(杂质),即使是反应转化率较高,但获得的产品(按原料量计)一般在80~95%。因此,在生产过程中一定要排放一些化学物质(循环气或废液),这些排放物如不处理,势必给

环境造成污染。如生产丙烯腈时,要排放毒物乙腈和氢氰酸。

(3) 生产过程中排放的污水和冷却水 化学工业用水量 and 排出的废水量都很大,尤其是用水直接冷却和吸收的过程。由于反应物与水直接接触,使排出的废水中势必含有较多的毒害物质。

(4) 工厂废气 工厂所用燃料,大多是煤和石油产品。在燃烧过程中将会产生大量的二氧化硫、氮氧化合物、碳氢化合物、铅化物和一氧化碳等有害物质。另外,从放空管也能排放出大量的有毒气体。这些有害物质易导致局部地区的空气缺氧,甚至产生光化学烟雾。

(5) 其他生产过程中排出的废物 有的化学反应常加入水蒸气、惰性气体作稀释剂,最后以冷凝水或不凝气体的形式排入下水或大气中。催化剂的粉尘、废渣、滤饼等都属于生产过程中排出的尘毒物质。

(6) 设备和管道的泄漏 生产中若管理不善,设备、管路和阀门等未能及时检修,久之,就会出现带漏运转,这既损失了原料或产品,又会造成环境污染,直接毒害工人的身体健康。

2. 尘毒物质的分类

在化工生产过程中,散发出来的有危害的尘毒物质,按其物理状态,可分为五大类。

(1) 有毒气体 是指在常温常压下是气态的有毒物质,如光气、氯气、硫化氢气、氯乙烯等气体。这些有毒气体能扩散,在加压和降温的条件下,它们都能变成液体。

(2) 有毒蒸气 如苯、二氯乙烷、汞等有毒物质,在常温常压下,由于蒸气压大,容易挥发成蒸气,特别在加热或搅拌的过程中,这些有毒物质就更容易形成蒸气。

(3) 雾 悬浮在空气中的微小液滴,是液体蒸发后,在空气

中凝结而成的液雾细滴;也有的是由液体喷散而成的。如盐酸雾、硫酸雾、电镀铬时产生的铬酸雾等。

(4) 烟尘 又称烟雾或烟气,是在空气中飘浮的一种固体微粒($0.1\mu\text{m}$ 以下)。如有机物在不完全燃烧时产生的烟气,橡胶密炼时冒出的烟状微粒等。

(5) 粉尘 用机械或其他方法,将固体物质粉碎形成的固体微粒。一般在 $10\mu\text{m}$ 以上的粉尘,在空气中很容易沉降下来。但在 $10\mu\text{m}$ 以下的粉尘,在空气中就不容易沉降下来,或沉降速度非常慢。

前两类为气态物质,后三类除了粗粉尘容易沉降下来的以外,其他都能在空气中飘浮,故称气溶胶。

二、毒物对人体的危害

1. 毒物对全身的危害

毒物侵入人体被吸收后,通过血液循环分布到全身各组织或器官。由于毒物本身理化特性及各组织的生化、生理特点,进而破坏了人的正常生理机能,导致中毒的危害。

(1) 急性中毒对人体的危害 急性中毒是指在短时间内大量毒物迅速作用于人体后发生的病变。由于毒物的性能不同,对人体各系统的危害亦不同。

① 对呼吸系统的危害:刺激性气体、有害蒸气和粉尘等毒物,对呼吸系统将会引起窒息状态、呼吸道炎和肺水肿等病症;

② 对神经系统的危害:四乙基铅、有机汞、苯、环氧乙烷、三氯乙烯、甲醇等毒物,会引起中毒性脑病,表现在头晕、头痛、恶心、呕吐、嗜睡,视力模糊以及不同程度的意识障碍等;

③ 对血液系统的危害:急性职业病中毒可导致白细胞增加或减少,高铁血红蛋白的形成及溶血性贫血等;

④ 对泌尿系统的危害:在急性中毒时,有许多毒物可引起

肾脏损害,如升汞和四氯化碳中毒,会引起急性肾小管坏死性肾病;

⑤ 对循环系统的危害:毒物砷、锑、有机汞农药等,可引起急性心肌损害;在三氯乙烯、汽油等有机溶剂的急性中毒,毒物刺激 β -肾上腺素受体而致心室颤动;刺激性气体会引起肺水肿,由于渗入大量血浆及肺循环阻力的增加,可能出现肺原性心脏病;

⑥ 对消化系统的危害:径口的汞、砷、铅等中毒,可发生严重的恶心、呕吐、腹痛、腹泻等酷似急性肠胃炎的症状;一些毒物,如硝基苯、氯仿、三硝基甲苯及一些胍类化合物,会引起中毒性肝炎。

(2) 慢性中毒对人体的危害 由于长期受少量毒物的作用,而引起的不同程度的中毒现象。引起慢性中毒的毒物,绝大部分具有积蓄作用。人体接触毒物后,数月或数年后才逐渐出现临床症状,其危害也根据毒物的性能表现于人体的各系统。大致有中毒性脑及脊髓损害、中毒性周围神经炎、神经衰弱症候群、神经官能症、溶血性贫血、慢性中毒性肝炎、慢性中毒性肾脏损坏、支气管炎以及心肌和血管的病变等。

(3) 工业粉尘对人体的危害 粉尘主要来源于固体原料、产品的粉碎、研磨、筛分、混合以及粉状物料的干燥、运输、包装等过程。

工业粉尘对人体危害最大的是直径在 $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 的粒子,而工业中大部分粉尘颗粒直径就在此范围,因此对人体危害最大。

粉尘的物理状态、化学性质、溶解度以及作用的部位不同,对人体的危害也不同。一般刺激性粉尘落在皮肤上可引起皮炎;夏季多汗,粉尘易堵塞毛孔而引起毛囊炎,脓皮肤病等;碱性粉

尘,在冬季可引起皮肤干燥、皴裂;粉尘作用于眼内,刺激结膜引起结膜炎或麦粒肿;毛皮加工厂的粉尘和黄麻的粉尘对某些人有致敏作用,吸入后可引起支气管哮喘。

长期吸入一定量粉尘,就会引起各种尘肺,如吸入煤尘,引起煤尘肺、吸入植物性粉尘,引起植物性尘肺。游离的二氧化硅、硅酸盐等粉尘,可引起肺脏弥漫性、纤维性病变的产生。

2. 毒物对皮肤的危害

皮肤是机体抵触外界刺激的第一道防线,在从事化工生产中,皮肤接触外在刺激物的机会最多,在许多毒物刺激下,会造成皮炎和湿疹、痤疮和毛囊炎、溃疡、脓疱疹、皮肤干燥、皴裂、色素变化、药物性皮炎、皮肤瘙痒、皮肤附属器官及口腔粘膜的病变等症。

3. 毒物对眼部的危害

化学物质对眼的危害,可发生于某化学物质与组织的接触,造成眼部损伤;也可发生于化学物质进入体内,引起视觉病变或其它眼部病变。

化学物质的气体、烟尘或粉尘接触眼部或化学物质的碎屑、液体飞溅到眼部,可能发生色素沉着、过敏反应、刺激炎症或腐蚀灼伤。如醌、对苯二酚等,可使角膜、结膜染色;硫酸、盐酸、硝酸、石灰、烧碱和氨水等同眼睛接触,可使接触处角膜,结膜立即坏死糜烂,与碱接触的部位,碱会由接触处迅速向深部渗入,可损坏眼球内部。由化学物质中毒所造成的眼部损伤,有视野缩小、瞳孔缩小、眼睑病变、白内障、视网膜及络膜病变等。

4. 毒物与致癌

人们在长期从事化工生产中,由于某些化学物质的致癌作用,可使人体内产生肿瘤。这种对机体能诱发癌变的物质称为致癌原。

职业性肿瘤多见于皮肤、呼吸道和膀胱, 少见于肝、血液系统。由于致癌病因与发病学尚有许多基本问题未弄清楚, 加之在生产环境以外的自然环境, 也可接触到各种致癌因素, 因此要确定某种癌是否是仅由职业因素而引起的, 必须要有充分的根据。

三、防止和减少尘毒物质的主要措施

各种有毒物如果逸散在空气中或与人体直接接触, 若其浓度超过容许值, 就会对人体产生危害作用。防止和减少尘毒物质的措施, 主要是加强管理, 设法减少有毒物质的来源, 降低有毒物质在空气中的含量, 减少尘毒物质与人体的接触机会等。

1. 防尘防毒的技术措施

通过技术革新, 消除或减少生产现场尘毒物质, 是防止尘毒的根本措施。

(1) 采用新的生产技术, 改造设备和改变产品剂型, 使生产过程中不产生尘毒或将尘毒消灭在生产过程中。

(2) 以无毒或低毒原料代替有毒或高毒原料, 是解决尘毒危害的好办法之一。例如生产氯丁橡胶时, 过去采用苯作溶剂来制做聚合中止用的终止剂, 现在用水代苯, 彻底消除了苯的危害。

(3) 以机械化、自动化操作代替繁重的手工操作, 这不仅可以减轻操作者的劳动强度, 而且可以避免操作者与尘毒物质的直接接触, 减少尘毒物质对人体的危害。

(4) 采用隔离操作或远距离自动控制, 减少操作者与尘毒物质的接触机会, 避免尘毒的危害。

(5) 加强设备的维护保养, 改进设备的密封方法和密封材料, 以提高设备的完好和密封度; 杜绝跑、冒、滴、漏, 消除“二次尘毒”源。

(6) 综合治理工业“三废”, 防止环境污染。

(7) 设置通风、排风装置, 增加室内换气次数, 尽快稀释和排出有毒物质, 使操作者能在空气比较新鲜的环境中工作。

(8) 湿法降尘是治理粉尘危害的重要手段之一。其道理是大多数粉尘很容易被水湿润, 致使一些飘尘(小于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘)被水或雾聚合在一起, 并逐渐增加其重量和粒度, 直到被沉降下来, 从而将空气净化。矿山湿式凿岩、水幕隔尘、喷雾除尘等措施, 也都属于湿法降尘。

2. 防尘防毒的生产管理措施

(1) 加强卫生安全教育, 制定防尘防毒措施, 建立健全各项规章制度, 严格执行安全生产责任制。

(2) 严格执行《工业企业设计卫生标准》中有关车间空气有害物质的最高容许浓度的标准规定。加强对车间现场有毒物质的定时分析监测工作, 控制空气中尘毒物质的浓度。

(3) 严格执行设备维护检修制度, 及时维修保养好设备, 杜绝跑、冒、滴、漏, 防止有毒物质的扩散。

(4) 做好个人防护, 在生产现场配备必要的防尘防毒器材, 供操作人员使用。

四、尘毒防护器具及使用方法

为了避免或减少各种化学、物理、生物等因素对人体的侵害, 所有人员在进入作业场所时, 都必须进行个人防护, 佩戴好防护器具。防护器具按其防护部位的不同, 可分为头部防护、面部防护、呼吸器官防护、耳部防护及手脚的防护器具, 此外, 尚有防护服、安全带、救生器等防护用品及器材。这里仅介绍呼吸器官的防护器具。

呼吸器官防护器具包括防尘口罩、防毒口罩、防尘而罩、防毒面具、氧气呼吸器和空气呼吸器等。由于这些护具的构造和性能的不同, 因此, 它们的适用范围和使用方法也就不一样。

1. 自吸过滤式防尘口罩

自吸过滤式防尘口罩按结构特点,可分为复式型(换气阀



型)和简易型,如图5-3所示的 BL-80J 型防尘口罩,它主要由夹具、过滤器、系带三部分组成。夹具为聚乙烯、聚氯乙烯塑料制成的内外支架;过滤器由周边包有泡沫塑料密封圈的尼龙超细纤维制成的滤尘袋;滤袋夹在内外支架之间。它可以使用在 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下的

图 5-3 BL-80J 型 矽尘、 $500\text{mg}/\text{m}^3$ 以下的煤尘和 $300\text{mg}/\text{m}^3$ 以下水泥尘及其它无毒粉尘的场所,但不适用于含有毒气体或含氧量不足18%的场所。

于含有毒气体或含氧量不足18%的场所。

使用时,应根据粉尘浓度、颗粒大小、劳动强度、面部形状等面素,选用适宜的口罩;戴口罩时必须保持端正,包住口鼻,口罩周边应与面部密闭,特别住意鼻梁两侧不要有缝隙,头带要系紧,不要挂在耳朵上;要经常检查滤料、口罩周围边及各连接处住能,定期更接滤料,保持口罩的清洁卫生和良好的使用性能;使用后应立即清洗晾干,检查整理后放入专用袋或盒内备用,当发现口罩防护性能下降或各接口部不严密时,应予以更新。

2. 过滤式防毒面具

过滤式防毒面具是由橡胶面罩、导气管、滤毒罐和面具袋四部分组成。如图5-4所示。

橡胶面罩是为了保护呼吸器官、眼睛和脸部皮肤,以防遭到各种刺激性毒气伤害。面罩上眼窗采用复合镜片或不碎有机玻璃镜片,面具内有阻水罩,以保护镜片的透明效果。另有通话设施,以保持与外界联系。

波纹导管亦称吸气软管,长50cm,波管两端有金属螺纹接头,分别与面罩、滤毒罐相连接。

滤毒罐多数是圆柱形, 上端有上盖与出气口, 下端有下盖与进气孔, 罐内装有化学药剂、活性炭、指示剂、干燥剂、催化剂和絮状滤料等, 彼此间有穿孔铁皮间隔, 为了防止填料层的震动, 并装有双股平卷弹簧。

滤毒罐的作用是通过罐内药物对毒物的机械阻留、吸附和化学反应(包括中和、氧化、还原、络合、置换等), 滤去空气中有毒害物质而达到净化空气的目的。

过滤式防毒面具结构简单, 使用方便, 适用于有毒气体、蒸气、烟雾、放射性灰尘和细菌作业场所, 是化工企业普遍使用的一种防毒器材。因此, 使用时要根据头型的大小, 选择适当的而罩、同时, 应根据所防毒物, 选择相对应的滤毒罐的型号(滤毒罐的种类及性能见表5-6); 当有毒场所的氧气占总体积的18%以下, 或有毒气体浓度占总体积2%以上时, 严禁使用(各型滤毒罐起不到防护作用); 使用过程中, 如在面罩内闻到毒气的微弱气味或发现呼吸不畅时, 应立即离开毒区; 使用后, 而罩、导气软管必须用肥皂水或0.5g的 KMnO_4 溶液消毒并清洗, 滤毒罐必须上盖下塞, 妥善保存。滤毒罐有效存放期为2年。

使用失效的滤毒罐, 戴好后可以闻到毒物的臭味, 或药罐的阻力太大(超过235.4Pa)与太小(小于78.5Pa), 则不能使用, 但可以再生处理, 其方法是用403~413K的热空气, 以每分钟

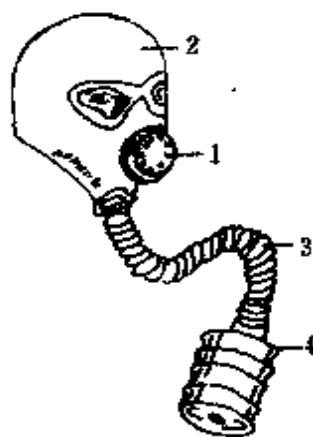


图 5-4 过滤式防毒面具
1—排气阀; 2—面罩; 3—波纹导气管; 4—滤毒罐

表 5-6 滤毒罐的种类及性能

型号	标志	主要吸 收 剂	试 验 标 准			防 护 范 围
			气体名称	浓度, mg/L	有效时间 min	
1	黄绿色白 带	活性炭 及多种碱 性和酸性 物质	氢氰酸	3.0 ± 0.3	≥ 45	除 CO 外的 各种气体、蒸 气、氢氰酸、氰 化物、砷与锑的 化合物、光气、 双光气、氯甲 烷、重金属蒸 气、毒烟雾、放 射性粉尘等
2	草绿色	活性炭、 金属氧化 物、碱性物	氢氰酸	3.0 ± 1.0	≥ 70	各种有机蒸 气、氢氰酸、砷 化物、各种酸性 气体
3	棕褐色	活性炭、 碱性物	苯 氯	18 ± 1.0 9.5 ± 0.5	≥ 80 ≥ 35	丙酮、醇类、 烃类、苯胺类、 苯、氯及卤素有 机物
4	灰色	金属盐、 碱性物	氨 硫化氢	2.3 ± 0.1 4.6 ± 0.3	≥ 70 ≥ 30	氨、硫化氢
5	白色	活性炭、 二氧化锰 与氧化铜 混合物	一氧化碳	6.2 ± 0.3	100	一氧化碳
6	黄色	活性炭、 碱性物	二氧化碳	0.6 ± 0.3	≥ 35	酸性气体、硫 的氧化物

0.03m³的流速通过滤毒罐,通气时间一般为3~4h。凡再生后的滤毒罐,必须进行全面的防毒性能鉴定,符合要求的才可重新使用。

3. 防毒口罩

防毒口罩的防毒原理与所采用的吸收剂,基本上与过滤式防毒面具一样,只是结构形式,滤毒罐大小及使用范围有差异。防毒口罩结构为图5-5所示。

到目前为止,防毒防酸口罩按吸收剂的不同,可分为1、2、3、4、5等型号。其防护范围如表5-7所示。使用时一定要注意所防毒物与防毒口罩型号一致。另外,还要注意毒物与氧的浓度以及使用时间,若嗅到轻微的毒气味,就应立即离开毒区,更换药剂或新的防毒口罩。

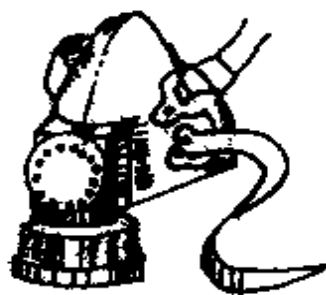


图 5-5 防毒口罩

表 5-7 防毒口罩种类及性能

型号	代表性毒物	试验浓度 mg/L	有效时间 min	防护范围
1	氯	0.31	156	多种酸性气体、氯化氢
2	苯	1.0	155	多种有机蒸气、卤化物、苯、胺
3	氨	0.76	29	氨、硫化氢
4	汞	0.013	3160	汞蒸气
5	氢氰酸	0.25	240	氢氰酸、光气、乙烷

4. AHG-2型氧气呼吸器

AHG-2型氧气呼吸器是一种在同外界环境完全隔绝的条件下,独立供应呼吸所需氧气的防毒面具。它兼有其他面具的功能,可在各种恶劣场所中使用,是化工厂有毒车间事故备用的理想护具。

AHG型氧气呼吸器的型号是根据供氧系统——氧气瓶供氧时间而确定,氧气瓶容量有供氧两小时、三小时和四小时之分,故相应型号为AHG-2型、AHG-3型和AHG-4型。

AHG-2型氧气呼吸器主要由呼吸软管、压力表、吸气阀、减压阀、呼气阀、清净罐、哨子、气囊、氧气瓶、面具、排气阀和外壳等组成。如图5-6所示。

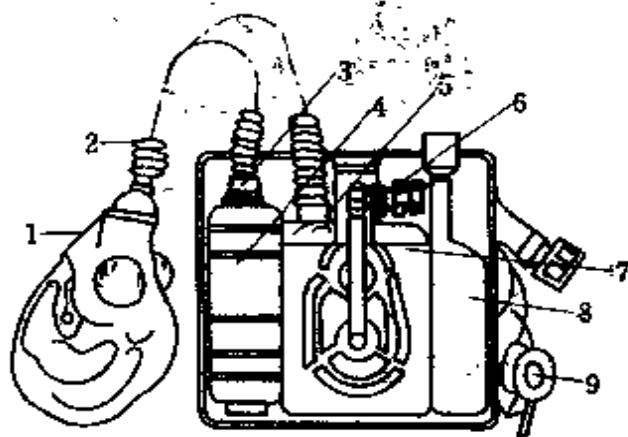


图 5-6 AHG-2型氧气呼吸器

1 面罩; 2 呼吸软管; 3—呼吸阀;
4—清净罐; 5—吸气阀; 6—手动补给
按钮; 7—气囊; 8 氧气瓶; 9 哨子

氧气瓶是贮藏氧气的,容积为 $1 \times 10^{-3} \text{m}^3$,工作压力约为19.6MPa,工作时间2h。

减压器是把高压氧气压力降至0.3~0.25MPa,使氧气通过定量孔不断地送到气囊中,当氧气压力由19.6MPa降至1.96MPa时,供给量保持在 $(1.1 \sim 1.3) \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{min}$ 。另一作用是,当定量孔的供氧量不

能满足使用时,减压器腔室可自动向气囊送气。

清净罐内装有吸收剂氢氧化钙1.1kg,是吸收人体呼出气体中的二氧化碳。

自动排气阀的作用是减压器供给气囊的氧气量超过工作人员的需要时,或者积聚在整个系统内的废气过多时,气囊壁上升,带动阀杆,阀门被自动打开,过量的气体,从气孔排入大气使废气排除。

气囊的容积为 $2.7 \times 10^{-3} \text{m}^3$,中部装有自动排气阀,上部装有吸气阀与吸气管,下部与清净罐相连,新鲜氧气与再生氧在气囊中混合。

AHG-2型氧气呼吸器的工作原理,是工作人员从肺部呼出的气体经面具、呼吸软管、呼气阀而进入清净罐,呼出气体中的二氧化碳被吸收剂吸收,其他气体进入气囊。另外,氧气瓶贮存的高压氧气(新鲜氧气),经高压管、减压器进入气囊,与从清净罐出来的气体相互混合,重新组成适合于呼吸的含氧空气。当工作人员吸气时,适量的含氧空气由气囊经吸气阀、吸气软管、面具面被吸入肺部,完成了整个呼吸循环。由于呼气阀和吸气阀都是单向阀,因此整个气流方向是一致的。

AHG-2型呼吸器的供氧方式有三种:

① 定量供氧:高压氧气通过减压器,然后经定量孔,以 $(1.1 \sim 1.3) \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{min}$ 的流量进入气囊,这是以供给工作人员在普通劳动强度下呼吸用;

② 自动补给:当劳动强度增加时,从定量孔进入气囊的氧气将不够使用,这时减压的自动补给装置开始动作,使氧气以不低于 $60 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{min}$ 的流量进入气囊,气囊充满后就自动关闭;

③ 手动补给:在使用过程中,当气囊内废气积聚过多,需要清除或减压器定量供氧发生故障时,只要压下按钮,自动补给阀门就开放,氧气进入气囊,松开按钮就会停止进氧。

AHG-2型氧气呼吸器的优点,主要是重量较轻,相对使用

时间长,使用安全等。使用时应将检查合格的氧气呼吸器放在右肩左侧的腰际上,调整紧身皮带并固定在左侧腰际上。打开氧气阀,检查氧气压力,并按手动补给按钮,以驱出气囊内原积聚的污气。

把已选好合适的面罩以四指在内,姆指在外,将面罩由下颚往上戴在头上并校正眼睛框的位置,使之适合于视线。面罩的大小应以既能保持气密,又不宜太紧为原则。然后检查氧气压力,以便对工作时间作预先的估计。面罩佩戴稳妥后,进行几次深呼吸,观察呼吸器内部机件是否良好,确认各部分正常后,即可进入毒区工作。

使用及保管时,应注意如下事项:

① 使用氧气呼吸器人员,必须事先经过训练,并能正确使用;

② 使用前氧气压力必须在7.8MPa以上,戴面罩前要牢记先打开氧气瓶,使用中应注意检查氧气压力,当压力降到2.9MPa时,应离开毒区,停止使用;

③ 使用时避免与油类、火相接触,防止撞击,以免引起呼吸器的燃烧、爆炸。使用时如感到有酸味时,说明清净罐内吸收剂失效,应立即退出毒区予以更换;

④ 在危险区进行工作,必须有两人以上进行配合,以免发生危险;有事应以手势或信号进行联系,严禁在毒区摘下面罩讲话;

⑤ 使用后的呼吸器,必须尽快恢复到备用状态。若压力不足,应补充氧气。吸收剂失效,应更换吸收剂,其它部件,应慎重检查,以消除隐患;

⑥ 氧气呼吸器与人体呼吸器官直接接触,因此,必须注意保持清洁,放置在不受灰尘污染的地方,严禁油污沾染,避免日

光直接照射。

5. 隔绝式生氧面具(HSG-79型生氧器)

隔绝式生氧面具是一种不携带高压氧气瓶,而利用化学生氧提供氧气的氧气呼吸器。属于此类的有 HSG-79型生氧器、SM-1型生氧面罩和 AZG-40型自救器等。

HSG-79型生氧器由乳胶面罩、导气管、散热器、生氧罐、排气阀、气囊、快速供氧盒和外壳等部件组成。如图5-7所示。

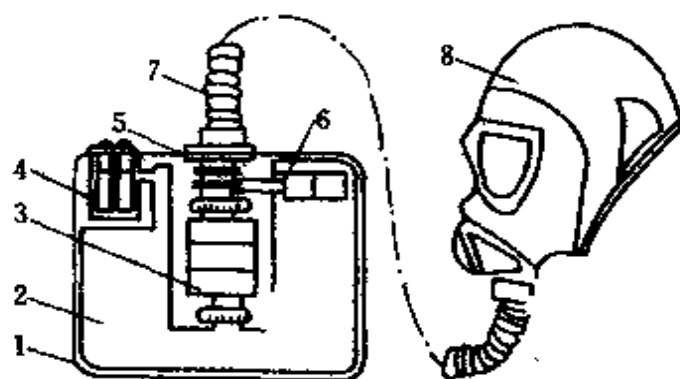
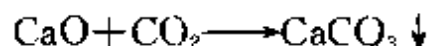
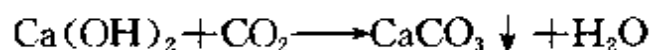
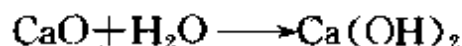
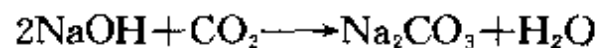
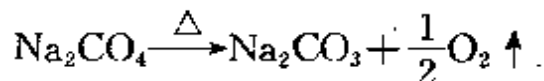
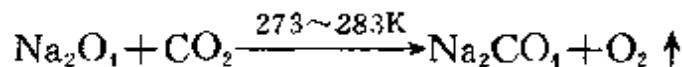
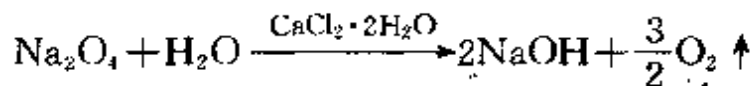


图 5-7 HSG-79型生氧面具结构图

1—外壳; 2—气囊; 3—生氧罐; 4—快速供氧盒;
5—散热器; 6—排气阀; 7—导气管; 8—面罩

在生氧罐内装有特制化学生氧药剂(Na_2O_4 或 K_2O_4),快速供氧盒装有快速起动药块,以确保防护性能。

隔绝式化学生氧面具,是在与大气隔绝的情况下进行工作的,靠人体呼出的二氧化碳和水,经导气管进入生氧罐,与化学生氧剂发生化学反应,产生人体呼吸所需的氧气,并贮藏于气囊之中,从面达到净化再生的目的。当人体呼吸时,气体由气囊经生氧罐二次再生,再经散热器、导气管、面罩,进入人体肺部作生理交换,完成整个呼吸循环。生氧过程的反应方程式为:



使用及注意事项:

① 使用前应检查气密性, 检查起动药块, 如表面有泡沫时, 不可使用。生氧罐在用前打开罐盖, 如发现有泡沫, 也不得使用。

② 使用时先将面罩与导气管、生氧罐连接起来, 再装入起动药盒和玻璃安瓶; 然后将面罩各部件的接头旋紧, 佩戴面具, 拨开面罩堵气塞, 并检查面罩的上部是否紧贴在鼻梁上, 下部是否在下颌的下沿处, 镜片上是否有雾水; 若镜片上出现雾水, 说明阻水罩与面部贴合不够紧密, 须调整或重戴。

③ 戴好面罩后, 应立即用手按快速供氧盒供氧, 工作人员便可进入工作场所进行工作。

④ 使用完毕, 内盒、生氧罐因反应热积聚易烫手, 需戴手套或工具进行换取。

⑤ 使用后的生氧罐和快速供氧盒以及玻璃安瓶都不能再用, 应重新装换新药才能第二次使用。

⑥ 生氧罐是产生氧气的关键组合体, 平时不得任意把生氧罐盖拧松, 避免进入湿气及二氧化碳而降低生氧罐的使用效果。

⑦ 保管时应避免日光照射, 严禁接近火源、热源、潮湿气体和化学药物, 严防药块生氧罐失效。

⑧ 备用生氧罐起动药块应贮存在干燥、清洁、空气流畅的场合, 严禁与油类等易燃品放在一起。生氧罐存放有效期一年, 超过期限, 应进行气密性、阻力检查, 符合要求后方可使用。

第五节 电气安全知识

一、危险的电流强度

由于人体的感觉器官对电流的存在感觉不出来, 因此, 电流对人体的危害特别危险。电流对人体产生危害作用主要表现在三个方面。

① 热作用: 当电流通过人体时, 会产生热量, 于是, 在电流流经的地方会引起烧伤;

② 化学作用: 直接电流流经人体时, 体内会有液体将被电解破坏;

③ 生理作用: 电流通过人体, 作用于神经系统, 当电流强度达到一定值时, 就会引起肌肉痉挛。特别是交流电, 会加速心脏跳动, 直至心室颤动, 最终停止跳动。

电流不是任何强度都对人体有危害的。我们知道, 流经导体的电流取决于电阻的大小, 而人体电阻是随着皮肤的湿润情况、接触面积的大小和电流在人体内流动的长度而变化的。人体皮肤对电流有一定的电阻, 当电压为50V时, 它就会被击穿。当电压为500~700V时, 人体的电阻为1000 Ω , 此时流经人体的电流为0.5A, 会造成人体死亡。

根据对触电事故的调查分析, 危险电流强度可分为以下4个范围。

① 当电流强度为2~25mA 流经人体时, 人表现为轻微的烦躁不安, 肌肉痉挛, 呼吸异常, 在一定情况下还会失去知觉;

② 当电流强度为25~80mA 流经人体时, 心房颤动, 脑部

缺氧,约4分钟后,脑细胞死亡;

③ 当电流强度为80~5000mA 流经人体时,经0.1s 后,心室颤动,心脏停止跳动,造成死亡;

④ 当电流强度超过5A 时,会造成严重烧伤,心脏停止跳动,经过几天或一段时间,发生死亡。

若人体的平均电阻为1300 Ω ,电压为65V 时,则电流强度为50mA。当50mA 的电流流经人体时,就会使人致死。因此,从65V 的电压开始,就必须采取安全措施。

二、防止触电及触电急救

触电是指人在非正常情况下,接触或过分靠近带电体而造成的电流对人体的伤害。造成触电的原因,有以下四种。

① 人体接触裸露的带电体或过分接近带电体;

② 电线外皮(绝缘材料)老化或受损,使得电气线路外皮带电;

③ 不懂或缺乏电气安全知识,没有严格执行电气安全技术规程成违反操作;

④ 正常时不带电,仅在事故情况下带电而造成触电。

触电不仅影响到生产,而且危及生命安全,所以必须采取有效的措施。

1. 防止触电的措施

(1) 提高电气设备的完好率,加强绝缘 电气设备的带电体周围或对地之间总要用绝缘物质隔开。这样,既可确保电气设备的正常运行,又可确保人身安全。如果电气设备不完好,绝缘状态不好,就有漏电可能,人一旦触及设备,便会造成触电事故。为此,必须加强电气设备的维修、保护和检查测定工作,发现不安全因素,应及时消除。

(2) 使用安全电压 在易燃易爆的危险厂房内的照明灯,

以及手电灯等都应采用安全电压。

(3) 采用联锁装置和防护装置 电气设备不可能全部采用安全电压, 因此, 对于那些功率高、电压大的设备, 应采用联锁装置和防护装置。

(4) 保护接地与保护接零 保护接地就是将电气设备, 在正常情况下不带电的金属部分与接地体之间作良好的金属连接, 以保护人体的安全。其目的是防止因绝缘损坏而遭到触电的危险。保护接地一般应在中性点不接地的电气系统中, 即所谓三相三线制系统中。

接零就是电气设备的任何部分与零线作良好的电气连接。保护接零是将电气设备在正常情况下, 不带电的金属部分与系统中的零线作良好的金属连接, 以避免人体遭受到触电的危险。保护接零应用在中性点接地的电气系统中, 即三相四线制系统中。

(5) 建立健全规章制度, 树立安全思想和严肃认真的工作态度 这是确保电气安全的一项重要措施。根据工种的不同, 应建立不同的规章制度。如安全教育制度, 工作岗位责任制度, 设备维护检修制度, 安全操作规程等。这些规章制度是保障安全、促进生产的有效手段。根据许多触电事故调查分析, 其中规章制度不健全, 或有章不循, 违反安全用电规程和思想麻痹大意, 工作责任心不强, 是造成人身触电的一个重要原因。

(6) 正确地使用防护工具 不论在正常工作情况, 还是在特殊情况, 都必须按规定正确使用相应的个人防护用具。如绝缘靴、绝缘手套、绝缘钳和检电笔等。

2. 触电急救

人触电后会出现神经麻痹、呼吸中断、心脏停止跳动等症状, 呈现昏迷不醒的状态。这是一种假死状态, 应立即急救。

急救的关键是使触电者尽快地脱离电源。当人触电时,如果通过人体电流超过允许值,则人已不能自行摆脱电源。这时必须有第三者迅速采取措施,使触电者迅速脱离电源。

(1) 低压触电 当发现有人在低压(对地电压为250V以下)线路触电时,可采用下面方法进行急救。

① 拉开电源开关,切断电源。此点必须在触电地点附近有开关或有插座才行;

② 切断电线,断开电源。用带有绝缘性良好的工具,如带绝缘柄的电工钳子或干木柄斧头,在触电者电源侧割断电线,使电源消失,触电者脱离电源。注意割断电线时应一根一根地断,否则会产生短路事故;

③ 抢救者必须带上绝缘手套和胶皮鞋。一时没有,可用干燥的衣服、手套、绳索、木板、木棒等绝缘物作工具,拉开触电者或者挑开电线。也可拉触电者的干衣服,切不可触及触电者的皮肤;

④ 隔断电流通路。如果触电者触及一相电源,是因为鞋子不绝缘造成触电。则可以采用绝缘板或干木板垫在触电者脚下或身下,使其电流通路断开。然后迅速停电。

(2) 高压线路触电 高压线路因电压高,救护人员不能随便去接近触电者,必须慎重采取抢救措施。

① 立即通知有关部门停电;

② 带上绝缘手套,穿上绝缘靴,用相应电压等级的绝缘工具拉开开关;

③ 抛掷裸金属线使线路之间短路,迫使保护装置动作而断电。抛前应先将金属线一端接地。在触电者的电源侧并与触电者之间的距离不应小于5m。

触电者脱离电源后,如果没有停止呼吸,将患者拉到空气流

通的场所,仰卧并解开衣服,如领子、腰带、裤带等,用软的衣服垫在身下,头部比肩稍低,以免妨碍呼吸,同时用棉花沾些氨水放在鼻孔下面,用凉毛巾摩擦全身,使触电者尽快恢复知觉。如果触电者已经停止呼吸,应立即进行人工呼吸,当地有大夫的应立即就地诊治,切不要轻易地送往较远的地方去治疗,以免耽误时间。

在进行急救过程中,应注意以下几点事项。

① 上述方法应根据实际情况选择使用,因地制宜,处理事故要果断、迅速;

② 严防救护人再次触电;

③ 防止触电者脱离电源后发生二次事故,如摔伤、坠落、碰伤等;

④ 迅速组织现场急救,立即通知医院、安全部门等。

三、电气防火防爆

火灾及爆炸的形成条件是火源。明火、火花均属火源。在电气线路和设备上,经常会有电火花或电弧产生,这不仅在事故发生的情况下,就是在正常运行时也会发生。所以电气防火防爆尤为重要。

1. 电气火灾、爆炸的原因

电气引起火灾或爆炸,无非是由于电气设备过热或产生了电火花、电弧。

(1) 电气设备过热 设备运行时总是要放热的。当电流通过电气设备及导体时,要消耗电能,这部分电能以热的形式消耗在使导体本身温度升高,加热周围其它物质和材料(如绝缘材料等)。此外,交流电流的交变磁场也可在磁性材料中产生热量。绝缘材料绝缘老化后,也会消耗电能使绝缘物质温度升高等。

电气设备本身的温升是有规定的,这与绝缘材料允许温升

有关。不同的绝缘材料,允许温升是不同的,当温升超过其允许温升后,每超过八度,绝缘材料的老化速度加快一倍,即寿命降低一半。这就是电气上的所谓八度定律。表5-8为常用电气绝缘等级允许温度。

表 5-8 常用电气绝缘等级允许温度

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
耐热温度,K	363	378	393	403	428	453	453以上
材料	未处理过的有机材料	浸渍过的纸、棉纱、木材	聚酯树脂	云母带、虫胶、纸	聚酯绝缘漆	硅有机绝缘	天然云母、陶瓷、玻璃

当温度大大超过绝缘物质的允许温升时,不仅会加速绝缘材料的老化,还会引起绝缘材料的燃烧,这是十分危险的。

引起电气设备过热的原因可以分以下几方面。

① 短路。相线与零线之间或相线之间造成金属性接触即为短路。发生短路时,线路中电流增加为正常时的几倍乃至几十倍,于是温度急剧升高,引起绝缘材料的燃烧而产生火灾。

② 过载。电气线路或设备所通过的电流值超过其允许的数值(额定电流或允许通过电流),则为过载。过载时,同样可以引起绝缘的燃烧,造成火灾事故或烧毁电气设备。

③ 接触不良。电气线路或设备上常有连接部分或接触部分,连接部分多用焊接和螺栓连接,当螺栓一旦松动,则连接部分接触电阻增加而导致接头过热。

④ 铁芯发热。电气设备的铁芯为必备部件,由于磁滞和涡流损耗而发热。正常时,其发热量不足以引起高温,只有当铁芯绝缘损坏或设计不合理时,则其热损增加而产生高温。

⑤ 散热不良。电气设备温升不只和发热量有关,也和散热

条件好坏有关。如果电气设备散热措施受到损失,同样会造成设备过热。如电机缺少风翅、油浸设备缺油等。

(2) 电火花和电弧 电火花是电板间的击穿放电。电弧是大量火花的汇集。一般电火花的温度都很高,特别是电弧,温度可达6273K。因此,电火花和电弧不仅能引起绝缘物质的燃烧,而且也可引起金属熔化、飞溅,这是火灾、爆炸的火源。

电火花可分为工作火花和事故火花。工作火花是指电气设备正常工作时或正常操作过程中产生的火花。如直流电流电刷与整流片接触处,开关或接触器触头开合时的火花等。事故火花是线路或设备发生故障时出现的火花。如发生短路或接地时产生的火花,绝缘损坏或保险丝熔断时出现的闪光等。

2. 防爆电气设备的类型及标志

电气设备经常出现的火花、电弧及过热现象,对化工生产的易燃、易爆物质是很危险的。为了避免事故的发生,将采用防爆电气设备。目前防爆电气设备按其结构和防爆性能的不同,可分为六种类型:

(1) 防爆安全型(标志为 A) 防爆安全型是指正常运行时不产生火花、电弧或危险温度,并在其上采取适当措施,以提高安全性能的电气设备。

(2) 防爆充油型(标志为 C) 防爆充油型是将可能产生火花、电弧或危险温度的带电部件浸在油中,使其不引起油面上爆炸性混合物爆炸的电气设备。

(3) 隔爆型(标志为 B) 隔爆型是指在设备内部发生爆炸性混合物爆炸时,不引起外部爆炸性混合物爆炸的电气设备。

(4) 防爆通风充气型(标志为 F) 是指向外壳内通入正压新鲜空气或惰性气体,以阻止外部爆炸性混合物进入外壳内部的电气设备。

(5) 防爆安全火花型(标志为 H) 是指电路系统中,在正常或故障情况下产生的电火花,都不致引起爆炸性混合物爆炸的电气设备。

(6) 防爆特殊型(标志为 T) 是指结构上不属上述各种类型规定,采取其它防爆措施的电气设备。

防爆电气设备的类型、原理虽不同,但均围绕形成爆炸的两个必要条件采取措施,使得两个条件不同时具备。隔爆型是允许爆炸性混合物在器壳内爆炸,但不外传;防爆充油型和通风型,同样允许产生火花,但用油层或空气将火花与外部爆炸性混合物隔开;防爆安全型是采取加强措施,尽量减少产生电火花、电弧或危险温度的机会;安全火花型则减少电火花能量,使之不足以引起爆炸性混合物的爆炸。

防爆电气设备的类型标志,除在设备名牌上注明外,还在设备外壳的明显处有清晰的凸纹标志。在标志中除了标志其类型外,还标出适用的分级分组。标志的次序为:类型、级别、组别。例如 B3C 为隔爆型设备,适用于3级 C 组的防爆物质场所。表5-9为各种介质情况下电气设备防爆的标志。

四、防雷保护

1. 雷电现象及其危害

雷是一种大气中的放电现象。也就是正负电荷的中和过程。

雷云在形成过程中,某些云积累起正电荷,另一些云积累起负电荷。随着电荷的积累,电压逐渐升高。当带不同电荷的雷云互相接近到一定程度时,将发生激烈的放电,出现耀眼的闪光。由于放电时温度可高达20273K,空气受热急剧膨胀,发出震耳的轰鸣,这就是闪电和雷鸣。

有时雷云很低,在地面凸出物上将感应出异性电荷,到一定程度时,也将出现雷云对地面凸出物的放电,这就是常说的雷

击。也叫直击雷。

表 5-9 各种介质情况下电气设备的防爆标志

介 质	防 爆 类 型				
	防 爆 标 志	隔 爆 型	防 爆 安 全 型	防 爆 通 风 充 气 型	防 爆 充 油 型
甲烷、氨、醋酸		B1 _a	AO _a	FO _a	CO _a
丁醇、醋酸酐		B1 _b	AO _b	FO _b	CO _b
环己烷		B1 _c	AO _c	FO _c	CO _c
乙烷、丙烷、丙酮、苯乙烯、氯乙烯、苯、氯苯、 甲醇、甲苯、一氯化碳、醋酸乙酯		B2 _a	AO _a	FO _a	CO _a
丁烷、乙醇、丙烯、醋酸丁酯、醋酸戊酯		B2 _b	AO _b	FO _b	CO _b
戊烷、乙烷、庚烷、辛烷、癸烷、硫化氢、汽油		B2 _c	AO _c	FO _c	CO _c
乙醛、乙醚		B2 _d	AO _d	FO _d	CO _d
城市煤气		B3 _a	AO _a	FO _a	CO _a
环氧乙烷、环氧丙烷、丁二烯、乙烯		B3 _b	AO _b	FO _b	CO _b
异戊二烯		B3 _c	AO _c	FO _c	CO _c
水煤气、氢		B4 _a	AO _a	FO _a	CO _a
乙炔		B4 _b	AO _b	FO _b	CO _b
二硫化碳		B4 _c	AO _c	FO _c	CO _c

雷电具有电流大、时间短、频率高、电压高的特点,因而雷电的危害可表现出下列几个方面。

(1) 电性质的破坏作用 数十万乃至数百万伏的电压,可能毁坏发电机、变压器及线路绝缘子等电气设备的绝缘,烧断电线,造成大规模停电,引起短路,导致火灾和爆炸事故产生;绝缘损坏可使高压窜入低压,造成严重触电事故;巨大的雷电流流入地下,会导致跨步电压或接触电压的触电事故。

(2) 热性质的破坏作用 强大的雷电流通过导体要发热,在很短的时间内要散发出大量的热量,这样,就会造成易燃品的燃烧或金属熔化、飞溅,引起火灾和爆炸事故发生。

(3) 机械性质的破坏作用 当强大雷电流通过被击物时, 被击物的缝隙中的空气急剧膨胀, 缝隙中水分也急剧蒸发为大量气体, 致使被击物破坏或爆炸。

同性电荷的静电斥力, 同方向电流或电流拐弯处的电磁推力也有很大的破坏作用。雷击时的气浪也有一定的破坏作用。

2. 雷电的分类

根据雷电产生和危险特点的不同, 可分为:

(1) 直击雷 雷云直接对大地凸出物的强烈放电过程。

(2) 静电感应雷 由于雷云接近地面, 在地面凸出物上感应出大量异性电荷, 在雷云与其他部位放电后, 凸出物顶部电荷失去束缚, 来不及立即流散, 产生对地面很高的静电电压, 以雷电波形式沿凸出物极快地传播, 极易产生火花放电。

(3) 电磁感应雷 雷击后, 幅度、陡度都以很大的雷电流在周围空间产生迅速变化的磁场, 能在附近的金属导体上感应出高电压。一旦与其他金属设备接触或接近时, 便可产生火花。

(4) 雷电侵入波 由于雷击而在线路上或金属管路上所产生的冲击电压, 沿线路或管路的两个方向迅速传播的雷电波(传播速度为 $300\text{m}/\mu\text{s}$)。

3. 防雷装置分类及用途

防止雷电对人身设备及建筑物的危害和破坏, 要采用一些保护装置, 这些装置称为防雷装置。

完整的防雷装置包括接闪器、引下线和接地装置三部分。

接闪器又称受雷装置。是利用金属的针、线、带和网, 安装在高出被保护物的突出地位, 把雷电流引向自身; 借引下线引入大地, 从而避免保护物免受雷击。常用的避雷针、避雷线、避雷带、避雷网均为接闪器。

引下线即为接闪器与接地装置的连接线。一般由金属导体

制成,常用的有圆钢、扁钢。

接地装置是向大地泄放雷电流的装置。接地装置又包括接地体和接地线两部。接地体是与土壤直接接触的金属体,一般用角钢或钢管制成。而连接接地体之间的线为接地线,一般为圆钢、扁钢焊制。接地装置的接地电阻有一定规定,过大不利于雷电流的泄放。

防雷装置根据用途、结构的不同可分为避雷针、避雷线、避雷带、避雷网和避雷器等。

(1) 避雷针 是安装在露天建筑物上、设备上,用来保护建筑物和设备免受直击雷危害的一种防雷装置。避雷针多用钢管焊制。为了防止腐蚀,最好采用涂漆镀锌钢管。

(2) 避雷线 是用来保护架空电力线路防止雷击的装置。一般安装在架空电力线路上方,故称架空地线,多用钢绞线安装。

(3) 避雷带、避雷网 用来保护建筑物防止雷电感应。一般用圆钢、扁钢制作。

(4) 避雷器 是一种专门防雷装置。主要用来保护电力设备;也可作为防止高电压侵入室内的安全措施。一般装在被保护的引入端。上端接在线路上,下端接地。避雷器有阀型和管型两种。

第六节 压力容器安全知识

一、压力容器的分类

1. 按用途分类

压力容器按用途可分为反应容器、换热容器、分离容器和储运容器。

(1) 反应容器主要用来完成介质的物理、化学反应的容器。

如反应器、反应釜、聚合釜、合成塔、分解锅、分解塔、发生器、变换器、高压釜、蒸煮锅等。

(2) 换热容器 主要用来完成介质热量交换的容器。如热交换器、冷却器、硫化罐、消毒锅等。

(3) 分离容器 主要用来完成介质的流体压力平衡、气体净化、分离等的容器。如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、贮能器、洗涤器、吸收塔、精馏塔、干燥器等。

(4) 贮运容器 主要用来盛装生产和生活用原料气、液体、液化气体的容器。如贮罐、贮槽、槽车等。

2. 按压力分类

压力容器按其设计压力(p)的大小,可分为低压、中压、高压和超高压四类。如表5-10所示。

表 5-10 压力容器的压力等级分类

压力等级	低 压	中 压	高 压	超 高 压
设计压力 $\text{Pa} \times 10^4$	9.8~156.8	156.8~980	980~9807	9807以上

表5-10适用于一般容器,但对一些特殊容器,其压力等级标准是不同的。如乙炔管,当压力 $\geq 0.98 \times 10^4 \text{Pa}$ 时称为中压,而压力 $> 14.7 \times 10^4 \text{Pa}$ 则称为高压,此时危险性较大,这是因为乙炔在通常压力下易聚合分解。对气瓶,当压力 $< 1225.8 \times 10^4 \text{Pa}$ 时为低压,大于此压时为高压。

3. 按危险性和危害性分类

根据容器的工作压力高低、生产过程中的作用、容器内介质危险性的大小及容器的危险因素,可能造成后果的程度等,把它分为三类。

第一类容器 非易燃、非易爆、无毒介质的低压容器及易

燃、易爆或有毒介质的低压分离容器和换热容器均属于第一类容器。

第二类容器 属于第二类容器的有任何介质的中压容器; 剧毒介质的低压容器; 易燃、易爆或有毒介质的低压反应器和贮运容器, 以及内径小于1m 的低压废热锅炉。

第三类容器 属于第三类容器的有任何介质的高压、超高压容器; $pV \geq 19.6 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{Pa}$ 的剧毒介质容器或低压容器或剧毒介质的中压容器; $pV \geq 49.0 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{Pa}$ 的易燃、易爆或有毒介质的中压反应容器和中压贮运容器, 以及中压废热锅炉或内径大于1m 的低压废热锅炉。

关于物质的有毒、剧毒和易燃易爆的界限划分, 按国家颁发的《压力容器安全监察规程》, 其规定为:

凡进入人体的量 $\leq 50\text{g}$, 即会引起肌体严重损伤或致死作用的介质, 如氢氰酸、光气、氟化氢、氢氟酸等物质, 称为剧毒介质。有毒介质是指进入人体量超过50克, 即会引起人体正常功能损伤的物质, 如二氧化碳、氨、氯乙烯、一氧化碳、甲醇、乙炔、硫化氢、二硫化碳等。凡是与空气混合时, 其爆炸极限的下限 $\leq 10\%$, 或爆炸上限与下限之差大于20%的物质, 以及闪点 $< 301\text{K}$ 的物质为易燃、易爆物质。如甲胺、乙烷、乙烯、丁烯、丁烷、丁二烯、三甲胺、甲烷、丙烷、环丙烷、环氧乙烷、一氧化碳、二硫化碳等。

二、压力容器安全技术

1. 压力容器的安全技术管理

为了确保承压设备的安全运行, 不断提高其安全可靠性能, 对入厂后承压设备应做好如下安全技术管理工作。

(1) 立卡建档 化工企业压力容器数量较多, 要做到心中有数, 必须进行分类并分别立卡建档, 分级管理。

压力容器的技术档案应包括制造厂、安装单位移交的资料、

登记卡片、检修记录、运行日志、检验记录及事故与事故处理措施等。

(2) 培训考核 司炉工、压力容器操作工、压力容器焊工、气瓶充装及使用保管人员,无损探伤检验人员应作为特殊工种,对他们必须进行培训教育,并定期考核。培训主要内容为工艺流程、承压设备基本结构及基本原理,操作中安全要点、事故的判断、处理与预防的常识和措施以及日常的安全维护保养要求等。考核内容为应知、应会两项。凡考核合格者报请上级主管部门和劳动部门核准,发给操作证后方准独立操作。

(3) 精心操作、加强维护

① 根据生产工艺要求和容器的技术性能,制订容器安全操作规程。如容器的操作方法步骤;允许的最高工作压力和温度;开车、停车的操作程序和注意事项;运行中重点检查项目和部位,可能出现的异常现象和防范措施;停车时封存保养方法以及容器开工前的安全检查项目等;

② 操作人员应严格遵守安全操作规程、定时、定点、定线进行巡回检查,认真做好运行记录,记录数据应做到准时、正确;

③ 严格控制各工艺参数,严禁超压、超温、超负荷运行,严禁冒险性、试探性试验;

④ 容器阀门、零件和安全附件,应保持清洁、完好、齐全可靠,消险跑、冒、滴、漏;

⑤ 及时消除容器的震动和摩擦,做好防腐和绝热保温工作;

⑥ 压力容器发生异常现象时,操作人员应及时、果断、正确地进行处理;

⑦ 压力容器严禁用铁器敲击,以免产生火花,发生爆炸事故;

⑧ 压力容器由于长期受压力、受腐蚀、受磨损等各种因素的影响,会产生缺陷,因此,除精心操作外,还应加强维修,科学检修,及时消除跑冒滴漏现象,提高设备的完好率。压力容器的检修,必须严格遵守压力容器有关安全技术规定。

2. 压力容器的定期检测

压力容器在使用过程中,由于受到各种因素的影响,将会产生裂缝、裂纹、减薄、变形或鼓包等缺陷或原有缺陷的扩展,如不及早发现和消除,任其发展,势必发生重大的爆炸事故。所以,压力容器必须定期检验。

压力容器的检验周期是根据容器制造质量、使用条件和维护保养情况而定,一般情况,压力容器每年至少进行1次外部检查;每3年至少进行1次内外部检查;每6年至少进行1次全面检验(对焊缝进行无损探伤和进行耐压试验)。锅炉应每年作1次停炉内外检验,每6年进行1次水压试验。如遇特殊情况,应提前作内外检查和全面检验。

至于定期检测的方法、步骤、项目、内容,根据具体情况及有关压力容器的测定规范、规程进行。

3. 容器的安全附件必须齐全可靠

压力容器上装置的安全附件有安全阀、爆破片、压力表、液面计、温度计、紧急切断阀等。这些附件从某种意义上说是化工安全生产的眼睛,事故的预兆往往可以从这些附件的现象上反映出来。所以,压力容器上的安全附件,必须做到齐全,灵敏、准确、可靠;对失灵和不准的附件,必须及时更换;对不懂性能的人员,不允许随便乱动;安全附件的维护、校验、修理应由专门人员负责。

三、气瓶安全使用要点

气瓶是流动性的压力容器。在储存、运输和使用压缩气体与

液化气的钢瓶时,要特别注意安全,以防爆炸、火灾和泄漏中毒等事故发生。为此,使用时应注意以下要点:

1. 充填气体的钢瓶必须严格检验

做气体钢瓶内部检验时,用12V 安全引灯照明,如发现瓶壁有裂纹、鼓泡等明显变形时,作报废处理;如有硬伤、局部腐蚀时,应清除其腐蚀层,测定其剩余壁厚,如壁厚仍大于规定厚度,则可除锈涂漆后继续使用,否则降低使用条件或报废。如作外部检验,重点检查漆色、字样和所装气体是否相符;安全附件是否完整和完好无损;钢印标志是否齐全和清晰,是否超过期限,瓶内有否剩余气体压力。氧气钢瓶还要检查瓶体和瓶阀上是否沾有油脂等。上述情况如有一项不符合要求,都应妥善处理,否则严禁充装气体。钢瓶充装好气体后,再检查瓶阀是否漏气,否则气体会逸出而引起事故。

2. 严禁超量充装

气体钢瓶的过量充装是十分危险的。因为液体的膨胀系数比其压缩系数要大一个数量级。钢瓶过量充装后,瓶内气压会随温度的上升而上升,当温度升到一定值时,压力会急剧上升而造成钢瓶破裂。经计算可知,充装满液体的液化气瓶,当温度升高1度,压力可增加1.01至2.02MPa,只要温度上升10度左右,就可能使气瓶屈服变形,甚至爆炸。所以,气瓶的充装必须按有关规定的充装系数充装,严禁满装、超装。

3. 正确操作,严禁敲击

高压气瓶开阀时,不宜过猛过快,以防高速而产生高温;操作者在启开瓶阀时,应站在侧面,以免气流喷出伤人;在充装可燃气体时,要注意防止产生静电火花;开关瓶阀时,应用专门的扳手工具,不能用铁扳手敲击钢瓶,以免产生火花;氧气钢瓶严防沾污油脂,工作人员严禁穿有油污的工作服及手套;搬运时要

戴好瓶帽。

4. 远离明火,防止受热

钢瓶应远离明火,如氧气瓶等易燃气瓶,应与明火保持10m以上的距离;气瓶应置阴凉处并远离热源,如蒸气管、水汀、有蒸气冒出的阴井等;冬天气瓶阀冻结,严禁用火烤或用蒸汽直接加热,应用温水等办法解冻。

5. 专瓶专用,留有余压

为了防止化学性质相抵触的气体相混而发生化学性爆炸,钢瓶必须专瓶专用,不得擅自改装他类气体;使用气瓶时,不得将气瓶内气体全部用尽,必须留有一定的余压(49kPa),以防倒罐,便于充气单位检验,不至把气装错;用于化学反应的气瓶,不能和反应器直接相连,在瓶与反应器之间要装设缓冲器;钢瓶不使用时,应将阀门关严,防止漏气。

6. 文明装卸、妥善放置

气瓶的搬运应轻装轻卸,严禁抛、甩、滚、撞,厂内搬运宜用专用小车推运。装车时应横向放置,头朝一方,旋紧瓶帽,备齐防震圈,瓶下用三角木片卡牢,车厢栏板坚固牢靠,瓶子堆高不得超出车厢。卸车后存放,直放时设有栏栅固定,卧放时用三角木块卡牢,高压气瓶堆放不能高于5层,旋紧瓶帽,头朝一方,且留有通道。

7. 分隔贮存、分开堆放

性质相抵触的气瓶,如氧气瓶与氢气瓶等可燃性气体瓶,应分隔贮存,不能混放一起;满瓶与空瓶也应分开堆放,防止混在一起。若把满瓶当作空瓶送到充气厂灌装,这不仅使周转往返浪费人力、财力,更危险的是若充气瓶单位万一疏忽,空瓶检验不严,则将在充气时产生非常严重的爆炸事故。

8. 经常检查、限期存放

存放在仓库的气瓶,应经常检查,查有无泄漏,发现泄漏及时消除;查外壁有无腐蚀,防止水、酸类物质对气瓶的腐蚀。对乙炔钢瓶、四氟乙烯瓶等介质性质活泼的钢瓶,应向充气单位了解性能,确定存放期限,到期妥善处理、以防自聚、分解等反应发生。

9. 加强钢瓶的维护保养,定期检验

加强钢瓶的维护保养,做好除锈油漆工作,保持瓶上的漆色鲜明、字样清晰、防震圈的完好,以及附件的灵敏、准确。验瓶单位对气瓶的裂纹、渗漏、变形、腐蚀、壁厚、机械强度等情况,由专业技术人员按规定周期、检验项目、内容、方法、原则进行定期的检验。对不同性质的钢瓶应涂有明显的颜色标记,以便识别。钢瓶涂漆颜色标记见表5-11。

表 5-11 钢瓶涂漆颜色标记

气瓶名称	涂漆颜色	字样	字样颜色	色 环
氢	深绿	氢	红	$p=1500\text{kPa}$,无色环, $p=2000\text{kPa}$,黄色环一道
氧	天蓝	氧	黑	$p=1500\text{kPa}$,无色环, $p=2000\text{kPa}$,白色环一道
氨	黄	液氨	黑	
氯	草绿	液氯	白	
氮	黑	氮	黄	$p=1500\text{kPa}$,无色环, $p=2000\text{kPa}$,白色环一道
二氧化碳	铝白	液化二氧化碳	黑	$p=1500\text{kPa}$,无色环, $p=2000\text{kPa}$,黑色环一道
甲烷	褐	甲烷	白	$p=1500\text{kPa}$,无色环, $p=2000\text{kPa}$,黄色环一道
乙烷	褐	液化乙烷	白	$p=1500\text{kPa}$,无色环, $p=2000\text{kPa}$,黄色环一道
氟(氟、氯、氨、氩)	灰	氟(氟、氯、氨、氩)	绿	$p=1500\text{kPa}$,无色环, $p=2000\text{kPa}$,白色环一道

四、防止气瓶超装的措施

为了防止气瓶超装,应做好以下几方面工作。

(1) 专人负责 充装工作应由专人负责,充装人员应定期进行安全教育与考核,操作时要认真负责,不得擅自脱岗;

(2) 抽空余液,核实瓶重;

(3) 称量器具,定期校验 用于液化气体罐的称量器具,至少每3个月校验1次,所用称量器具的最大称量值为常用值的1.5~3倍;

(4) 按瓶立卡,认真记录;

(5) 重复过磅 灌满的钢瓶一定由专人进行重复过磅,以防充装过量或充装不足;

(6) 自动计量,超量报警 装置自动计量设备,超量时自动报警并切断阀门。