

# 第一章 工科大学化学实验基础知识

## 1.1 工科大学化学实验的目的

化学是建立在实验基础上的科学。工科大学化学实验是学生化学实验技能与化学素质培养不可缺少的一个重要环节。它的目的是：

(1) 理论联系实际，使工科大学化学教学中的重要理论和概念得到巩固和深化，并扩展课堂中所获得的知识。

(2) 培养学生掌握常用的实验操作技能，熟悉常用仪器的使用方法，获得准确的实验数据和结果。

(3) 培养学生独立思考和独立工作的能力，学会联系课堂知识，独立设计和进行实验，仔细观察和分析实验现象，学会正确处理数据及解释现象，从中得出科学的结论。

(4) 培养学生严谨科学的工作态度和作风。培养学生的创新能力，为学习其他课程和今后从事化学领域的科研生产打下坚实的基础。

## 1.2 工科大学化学实验守则

(1) 实验前应认真预习，明确目的要求，了解实验步骤、方法和基本原理。

(2) 实验开始前先清点仪器，如发现缺损，应立即报告教师（或实验室工作人员），并按规定手续向实验员补领。实验中如有仪器破损，应及时报告并按规定手续向实验员换取新仪器。未经教师同意，不得挪用其他仪器。

(3) 实验时应保持肃静，集中精力，认真操作，仔细观察现象，如实记录实验结果，积极思考问题。

(4) 实验时应保持实验室和桌面的整洁。实验中的废弃物应倒入废

液缸中，严禁投入或倒入水槽内，以防水槽和下水管堵塞或腐蚀。

(5) 实验时要爱护国家财产，注意节约水、电、药品。按照化学实验基本操作规定的方法取用药品。必须严格按照操作规程使用精密仪器。如发现仪器有故障，应立即停止使用，并及时报告指导教师。

(6) 实验室内的一切物品(仪器、药品和产品等)不得带出实验室。

(7) 实验完毕，将玻璃仪器洗涤干净，放回原处。整理桌面，打扫水槽和地面卫生。

(8) 根据实验要求整理原始记录，及时写出实验报告。

## 1.3 工科大学化学实验安全知识

### 1.3.1 工科大学化学实验室安全注意事项

在化学实验中，经常使用水、电及各种仪器、药品。化学药品中有许多属于易燃、腐蚀或剧毒物品。因此，重视安全操作，熟悉化学实验室的安全知识是非常必要的。

(1) 一切有毒或有恶臭的实验，都应在通风橱中进行。一切易燃、易爆物质的操作都要远离火源，并严格按照操作规程操作。

(2) 加热试管时不要将试管口指向自己或别人，不要俯视正在加热的液体，以免被液体溅出伤害。

(3) 在嗅闻气体时，不能将鼻子直接对着容器口，而应用手把少量气体扇向自己再闻。

(4) 实验室内严禁饮食、抽烟、赤足或穿背心、拖鞋。

(5) 有毒药品(如重铬酸钾、钡盐、铜盐、砷的化合物、汞的化合物，特别是氰化物)不得进入口内或接触伤口，也不能将有毒废液直接倒入下水道。

(6) 使用电器时要谨防触电，不要用湿的手或物体接触电插销，实验结束后应切断电源。

(7) 实验完毕后，关好煤气开关，拉开电闸，洗净双手，关好水龙头，经教师检查后方可离开实验室

### 1.3.2 化学实验室一般伤害事故的处理

(1) 烫伤 可用高锰酸钾溶液或苦味酸溶液涂洗灼伤处,再搽上凡士林或烫伤油膏。烫伤处切勿用水冲洗。

(2) 受强酸腐蚀 应立即用干布抹干再用大量水冲洗,然后搽上饱和碳酸氢钠溶液或稀氨水,再搽上凡士林。

(3) 受强碱腐蚀 应立即用大量水冲洗,然后用醋酸溶液(20g/L)或硼酸饱和溶液清洗,再搽上凡士林。

(4) 受液溴腐蚀 应立即用苯或甘油清洗伤处,再用水冲洗。

(5) 受白磷烧伤用 1% 硝酸银溶液或 1% 硫酸铜溶液或高锰酸钾浓溶液洗涤后,进行包扎。

(6) 吸入刺激性气体(如  $\text{Br}_2$  蒸气,  $\text{Cl}_2$  气等)可吸入少量酒精和乙醚的混合蒸气以解毒,然后到室外呼吸新鲜空气。

(7) 误服毒物入口 可把 5~10 mL 稀硫酸铜溶液加入一杯温水中,内服,然后用手指伸入喉部促使呕吐,再送医院治疗。

(8) 遇有触电事故,应首先切断电源,必要时就地进行人工呼吸。

(9) 被玻璃割伤,须先挑出伤口处的玻璃碎片,然后抹上红药水,再进行包扎。

(10) 对伤势较重者,应立即送医院急救。

### 1.3.3 化学实验室火灾事故的紧急处理

(1) 首先防止火势扩展,主要措施有:

① 关闭火源,停止加热。

② 停止通风,减少空气流动。

③ 拉开电闸,以免引燃电线。

④ 把一切可燃物质(特别是有机物质和易爆炸物质)移至远离火源处。

(2) 及时扑灭火焰,主要方法有:

① 把沙土或石棉布覆盖在着火物体上(实验室都应备有沙箱和石棉布,放在固定处)。

② 根据起火原因用不同类型的灭火器进行灭火。不要随使用水灭火,因为水能与某些化学药品(如金属钠)发生剧烈反应,反而会引起更

大的火灾。

(3)实验人员衣服着火时,切勿惊慌乱跑,可选用以下方法处理:应迅速脱下衣服或用石棉布覆盖在着火处,或就地卧倒打滚,将火扑灭。

## 1.4 工科大学化学实验的学习方法

要达到实验目的,必须有正确的学习态度和学习方法。工科大学化学实验的学习方法,大致可以分为预习、实验和填写实验报告三个步骤。

### 1.4.1 实验前的预习

学生进入实验室前,必须做好预习。实验前的预习,归纳起来是看、查、写三个字。

看:仔细阅读与本次实验有关的全部内容。本实验课程在体系上将传统的无机化学、有机化学、物理化学和分析化学实验融合为一体。在内容安排上,先介绍相关的基础知识再安排可供选择的实验内容,强调了知识的系统性和完整性。因此,课前的阅读尤为重要。

查:通过查阅书后附录、有关手册以及与本次实验相关的教程内容,了解实验中要用到的或可能出现的基本原理、化学物质的性质和有关理化常数。

写:在看和查的基础上认真写好预习报告。每个学生都应准备一本实验预习笔记本。预习报告的具体内容及要求是:

(1)实验目的和要求,实验原理和反应方程式,需用的仪器和装置的名称及性能,溶液浓度和配制方法,主要试剂和产物的物理常数,主要试剂的规格用量都要一一写在预习笔记本上。

(2)根据实验内容用自己的语言正确地写出简明的实验步骤(不是照抄!),关键之处应加以注明。步骤中的内容可用符号简化。例如,化合物只写分子式 加热用‘ $\Delta$ ’,加用‘+’,沉淀用‘ $\downarrow$ ’,气体逸出用‘ $\uparrow$ ’表示,仪器以示图代之。这样在实验前已形成了一个工作提纲,实验时按此提纲进行。

(3)合成实验应列出粗产物纯化过程及原理。

(4)对于实验中可能会出现的问题(包括安全问题和导致实验失败的因素)要写出防范措施和解决办法。

#### 1.4.2 实验记录

(1)实验时除了认真操作、仔细观察、积极思考外,还应及时地将观察到的实验现象及测得的各种数据如实地记录在专门的记录本上。记录必须做到简明、扼要、字迹整洁。

(2)如果发现实验现象和理论不符合,应认真检查原因,遇到疑难问题而自己难以解释时,可提请老师解答。必要时重做实验。

(3)在实验过程中应保持肃静,严格遵守实验工作规则。

(4)实验完毕后,将实验记录交教师审阅。

#### 1.4.3 实验报告

做完实验后,应及时完成实验报告,交指导教师批阅。实验报告应该写得简明扼要,整齐洁净。实验报告一般包括下列三个部分:

(1)实验步骤 尽量用简图、表格、化学式、符号等表示。

(2)实验现象或数据记录 把实验中观察到的现象或测得的各种数据记录下来。

(3)现象解释、数据处理和实验结论 根据实验的现象进行分析、解释,得出正确的结论,写出反应方程式。或根据实验所获得的数据进行计算,并将计算结果与理论值比较,分析产生误差的原因。

附录一提供了几个典型的实验报告格式以供学生参考。

#### 1.4.4 实验数据的有效数字

在定量实验及测试实验中,由于仪器精度、测量方法、试剂及操作技术方面的原因,实验测得的数据不可能与真实值完全一致。实验数据与真实值之差称为误差。一切实验都存在误差,实验工作者应了解误差产生的原因,建立正确的误差概念,进一步控制、减少或避免不应有的误差。下面介绍误差概念、有效数字和作图方法的基本知识。

##### 1.4.4.1 误差概念

(1)准确度与误差 实验数据与真实值之间接近的程度叫做准确度,通常用误差的大小来衡量,误差愈小,实验值与真实值愈接近,准确度愈高;反之,误差愈大,则准确度愈低。误差可以用绝对误差和相对误差来表示。

绝对误差 = 测定值 - 真实值

$$\text{相对误差} = \frac{|\text{绝对误差}|}{\text{真实值}} \times 100\%$$

实验数据大于真实值，则绝对误差为正，实验数据小于真实值，则绝对误差为负。

例如，两物质质量的真实值分别为 4.1857g 和 1.2537g，在分析天平上称得两物质的质量为 4.1852g 和 1.2532g，则分析天平称量的绝对误差为

$$4.1857\text{g} - 4.1852\text{g} = 0.0005\text{g} \quad 1.2537\text{g} - 1.2532\text{g} = 0.0005\text{g}$$

它们的相对误差分别为

$$\frac{0.0005\text{g}}{4.1857\text{g}} \times 100\% = 0.0119\% \quad \frac{0.0005\text{g}}{1.2537\text{g}} \times 100\% = 0.0398\%$$

由此可知，绝对误差与被测量物质的量无关，与测量仪器及操作方法等有关。而相对误差却与被测量物的量有关。绝对误差相同时，被测的量愈大，则相对误差愈小。因此用相对误差来表示测定的准确度比用绝对误差来表示更为合理。

实验的目的就是要测定真实值，但真实值是一个未知数。因此，实际工作中常用精密度和偏差来评定实验数据的可靠性。

(2) 精密度和偏差 精密度就是在相同实验条件下某项数据几次重复测定量值的相互接近程度。精密度用偏差来表示。单一测量值与平均值的差值叫偏差。偏差也分为绝对偏差和相对偏差。

绝对偏差 = 个别测定值 - 算术平均值

$$\text{相对偏差} = \frac{|\text{绝对偏差}|}{\text{算术平均值}} \times 100\%$$

相对偏差的大小反映出实验数据的精密度，相对偏差小表示实验数据再现性好，精密度高。

精密度也常用平均绝对偏差和平均相对偏差来表示。

$$\text{平均偏差} = \frac{\text{个别测定值的绝对偏差的绝对值之和}}{\text{测定次数}}$$

$$\text{平均相对偏差} = \frac{\text{平均偏差}}{\text{算术平均值}} \times 100\%$$

如果测量次数少，特别是只有两个值时，通常采用全距表示。全距是最大值与最小值之差。

精密度是保证准确度的先决条件。精密度低,测得的结果不可靠,谈不上准确度。但是高的精密度不一定表示测得的结果准确度高。

(3) 误差的来源 误差产生的原因很多,一般可分为系统误差和偶然误差两大类。由药品、仪器、实验方法、实验人员生理上的差异等而造成的误差称为系统误差。而由偶然的因素造成的误差称为偶然误差。

①系统误差 实验条件相同时,实验条件对每次的影响相同,故不能用多次重复测量方法抵消或减少误差。例如,药品不纯、所用仪器精度不够、实验方法本身的限制等均会带来系统误差。通过使用精度较高的仪器、较纯的药品可以减小系统误差,但不可能完全消除系统误差。用测定的数值与标准值或真实值比较便可发现这类误差的大小。这类误差可事先估计,所以又称为可测误差。

②偶然误差 这种误差是由偶然因素引起的,对实验数据的影响不固定,有时偏高有时偏低。误差的数值有时是正误差,有时是负误差。通常可采用多次测定取平均值的办法来减小偶然误差。

③过失误差 这种误差是指除了上述误差外,由于操作不小心等原因而造成测量值有较大误差。如果实验中发现某方面造成了过失,则该次测得的数值应弃去。实验时认真仔细,严格操作,过失误差是完全可以避免的。

#### 1.4.4.2 有效数字

实验测得的数据总是存在误差,准确度是有限的,只能以一定的近似值来表示。因此,实验记录、数据计算应该正确反映出测量的准确度。在测定实验数据时,应保留多少位数?计算结果应保留几位数字?要正确地解决这些问题,必须了解有效数字概念。

(1)有效数字位数的确定 现以称量物质为例,某物质在分析天平上称量,结果为  $2.3564 \pm 0.0001\text{g}$ ,其中 2.356 是完全确定的,末尾的 4 则不确定,物质的质量可以在 2.3563 ~ 2.3565g 之间,我们把所有确定无疑的数字(如上例中的 2.356)和末尾的一位可疑数字,一起称为有效数字。记录和计算时只记下有效数字,多余的数字都不必记。如果一个数据未注明不确定范围,一般认为最后一位数字是可疑的,其不确定范围为  $\pm 1$ 。

有效数字的位数与仪器的精确度有关,高于或低于仪器的精确度都是不恰当的。例如用最小刻度为 1mL 的量筒测量液体的体积,弯月面在 18.2mL 处,其中 18 是直接由量筒的刻度读出的,而 0.2 是由肉眼估计

的,故该液体的有效数字是 3 位。如果用最小刻度为 0.1mL 的滴定管测量某液体的体积,它的弯月面在 20.53mL 处,其中 20.5 是直接由滴定管的刻度读出的,而 0.03 是用肉眼估计的,其有效数字是 4 位。

托盘天平上读取 7.8g,不能记为 7.8000g,在分析天平上读取 7.8000g,不能只记为 7.8g。因为前者超出了仪器的精确度,而后者低于仪器的精确度。

计算有效数字位数时,应注意“0”的位置,它可以是有效数字,也可以不是有效数字。下面以几个具体数字说明。

|      |       |        |     |        |        |       |
|------|-------|--------|-----|--------|--------|-------|
| 有效数字 | 0.032 | 0.0250 | 578 | 0.1035 | 2.2005 | 2.400 |
| 位数   | 二位    | 三位     | 三位  | 四位     | 五位     | 四位    |

“0”如果在数字的前面,只表示小数点位置,不包括在有效数字的位数中;“0”在数字之后或在数字中间都应算作有效数字。

(2) 有效数字的运算 实验中除了正确记录有效数字的位数外,还要处理、运算不同精确度的数据。为了节省计算时间,避免不必要的误差积累,应按下列规则进行有效数字的运算。

① 实验数据记录时只保留一位可疑的数字。每一个数据中的欠准数字,通常均理解为此末尾数有  $\pm 1$  个单位的误差。

② 当有效数字的位数确定后,其余数字应一律弃去。弃去的办法是有效数字末位后的第一位数字大于 5 则进入,小于 5 则弃去。若等于 5,则看前一位是奇数还是偶数而决定取舍。例如 5.155 与 5.125 都取 3 位有效数字时,前者 5.155 中的 5 是奇数,故进 1,应为 5.16,而后者 5.125 中的 2 位为偶数,故 2 后的 5 就舍去,应为 5.12,即为偶舍奇进。

③ 计算有效数字位数时,若第一位有效数字等于或大于 8,则有效数字位数多计一位。

例如 8.57,实际上只有三位有效数字,计算时有效数字位数可作为四位。

④ 在加减法中,计算结果所保留的小数点的位数应与各加减数小数点后位数最小者相同。例如 15.2046,3.158,2.06,1.0078 相加,其中小数点后位数最小者为 2 位,故其和应为  $15.20 + 3.16 + 2.06 + 1.01 = 21.43$

⑤ 在乘除计算中,所得结果应保留的位数或各数保留的位数,以有效



数字位数最少的为标准。例如  $0.0125 \times 20.04 \times 1.0579$  中有效数字位数最少者为三位,故乘积为

$$0.0125 \times 20.0 \times 1.06 = 0.265$$

同理  $26.2 \div 48.76 = 0.537$

⑥在对数计算中,所取的对数的尾数的有效数字应与真数的有效数字位数相同。

由以上运算规则不难理解,运算结果的准确度取决于准确度最低的数据,因此各数据的准确度要配套。即进行测量时,所选用的仪器的精度要配套,否则会造成资源的浪费。

#### 1.4.4.3 作图方法简介

整理实验数据的最普遍的方法之一,是把数据绘制成实验曲线,即所谓图示法。图示法可使自变量与因变量间的关系更为直观。极大、极小、转折点、周期性等有关数据很容易从曲线上找到。通过曲线的分析可进一步得到变量间的函数关系。根据多次测试的数据所绘制出来的图形一般具有“平均”的意义,从而消除了一些偶然性误差。所以这种图形在许多科学技术论文或报告中能看到。下面就直角坐标系中的作图方法作一简略介绍。

(1)坐标标度的选择 作图纸通常用直角毫米坐标纸,习惯上横坐标表示自变量,纵坐标表示因变量。坐标轴应标明变量的名称和单位。

坐标轴比例尺的选择要适宜,从图中读出的物理量的精确度与测量的精度要一致,并能表示出全部有效数字。图的最小分度应与实验数据的最小分度值一致。例如,用分度为  $1^{\circ}\text{C}$  的温度计测量温度时,读数可能有  $0.1^{\circ}\text{C}$  的误差,则比例尺的选择应使  $0.1^{\circ}\text{C}$  相当于  $0.5 \sim 1$  小格,即  $1^{\circ}\text{C}$  等于 5 或 10 小格。

坐标标度的分度应容易读取,即每单位坐标格子应代表 1,2 或 5 的倍数,而不采用 3,6,7,9 的倍数,而且应把数字标在逢 5 或 10 的粗线上。

坐标纸的大小应能包括所有必须的数据,且略有宽余。代表数据的点应均匀分散在全图上,不要使点过分集中或偏向某一角落。如无特殊要求(如直线外推求截距等),坐标原点可以不必从零开始,可以从稍低于最小测量值的整数开始,这样可以充分利用图纸,而且有利于保证精度。

若作的图形是一直线,要求所作直线与横坐标的夹角接近  $45^{\circ}$ ,角度

不宜太大或太小，否则会带来较大的误差。

## (2)图形的绘制

①点的描绘 将实验数据用 ●、○、×、△、▲、◇等不同符号描绘在坐标纸上，符号的中心点即表示该数值。点的大小粗略地表示测量误差的范围。一个图上有数条曲线时，不同曲线上的点符号一般要不同，以便区别辨认。

②线的描绘 按点的分布情况绘制成直线或曲线，绘出的线要平滑。线不必通过所有的点，但应尽可能接近或贯穿大多数点，使这些点尽可能均匀分布在曲线两边。这样绘制的直线或曲线就能近似地表示出测量值的平均变化。

③取点时，曲线的极大、极小或转折处应多取一些点，以保证曲线的精确度、可靠性。个别偏离曲线太远的点，则要分析这个点是否是由于偶然误差所引起的，若属于偶然误差，则可以不考虑。如果重复实验仍有这些偏离点，则应在这一区域多取点，重复进行测量，查清这些区域是否存在必然的规律。总之，切不可轻易舍去远离曲线的点。

## 1.5 化学实验室三废治理方案

随着生产的不断发展，环境污染问题日趋严重，对人类的健康和各种生物的生长都造成极大的危害。只有保护环境不被污染，才有可能更合理地利用自然资源，防止生态破坏，才会为人民造成清洁适宜的劳动环境和生产环境，保护人民健康，促进经济发展。我国在 1973 年 8 月召开了全国第一次环境保护会议，在这次大会上确定了“全面规划，合理布局，综合利用，化害为利，依靠群众，大家动手，保护环境，造福人民”的环境保护方针。

我们在进行化学实验的过程中不可避免地会产生“三废”（废水、废气、废渣），因此化学实验室也是不可忽视的一个环境污染源。解决化学实验室“三废的污染问题”首先应对传统的实验方法进行改革，以减少“三废”的产生，在此基础上再进行“三废”的治理。治理的原则是：化害为利，变废为宝，综合利用。

### 1.5.1 化学实验室废水的处理

化学实验过程中排放的废水，会对水源造成严重的污染，危害人体健康，并使自然环境受到破坏，同时对渔业、畜牧、农业和林业也会带来极大的危害。此外还可使金属制品遭受腐蚀、建筑材料受到损害。图 1-1 为水源污染危害简图。

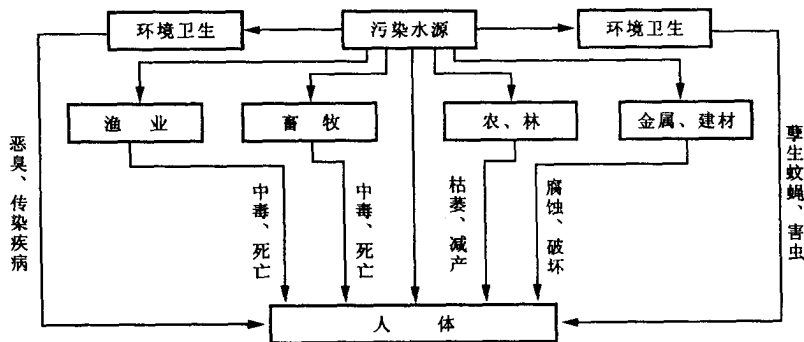


图 1-1 水源污染危害简图

由于受污染的各个方面，彼此之间存在着依存关系，所以污染的后果容易引起恶性循环，使受害范围蔓延、扩大，而产生严重危害。

#### 1.5.1.1 物理方法

##### (1) 沉淀法

从废水中除去悬浮固体一般采用沉淀法。此法是利用固体与水两者密度上的差异，使固体和液体分离。该法被广泛用作废水的预处理。例如对废水进行生化处理时，为保证生化处理的顺利进行，先要从废水中除去颗粒杂质以及一部分有机物质以减轻生化装置的处理负荷。因此，在生化处理前，废水先要通过沉淀池进行沉淀。设置在生化处理前的沉淀池称为初级沉淀池，或称为一次沉淀池。在生化处理后的沉淀池，称为二次沉淀池，其目的是进一步去除残留的固体物质。

沉淀法又分为自然沉淀法和混凝沉淀法两种。自然沉淀法是依靠废水中固体颗粒自身重量进行沉淀。这种方法只能去除废水中的较大颗粒，属于物理方法。混凝沉淀法是在废水中加入电解质作为混凝剂，使废水中的微小颗粒与混凝剂结成较大胶团，在水中加速沉降。该方法的实

质是一种化学处理方法。

## (2)过滤法

废水中含有的微粒物质和胶状物质，可以采用机械过滤的方法加以清除。过滤是使废水通过具有微细孔道的过滤介质，并且使过滤介质两侧的压强不同，此压差成为过滤的推动力。废水在该动力的作用下通过微细孔道，而废水中的微粒及胶状物质则被介质阻截而不能通过。

过滤操作的方式很多，常压过滤主要是依靠自身的重力作用，可以在敞开式的过滤池中进行过滤。而加压过滤和真空过滤则需要在密闭的容器中进行过滤。

按过滤介质的层数可以分为单层式或多层式，按照废水流动的方向，可以分为上流式、下流式及双流式。

## (3)离心分离法

离心分离法处理废水，是利用高速旋转所产生的离心力，使废水中的悬浮颗粒分离，即当含有悬浮颗粒的废水进行高速旋转运动时，由于悬浮颗粒的密度与液体的密度不同，密度大的固体颗粒在高速旋转的过程中所受到的离心力较大，因而被甩到外圈，沿离心装置的器壁向下沉淀；而密度小的液体则留在内圈，向上运动，使废水中的悬浮颗粒分离。

### 1.5.1.2 物理化学方法

废水经过物理方法处理以后，仍会含有某些细小的悬浮物以及可溶解的有机物、无机物。为了进一步去除残存在水中的污染物，可以采用物理化学方法进行处理。常用的物理化学方法有吸附、浮选、电渗析、反渗透等方法。

#### (1)吸附法

吸附法是利用多孔固体物质作为吸附剂，以吸附废水中的某种污染物的方法。常用的吸附剂有活性炭、硅藻土、铝矾土、磺化煤、矿渣以及树脂等。其中以活性炭最为常用，因为活性炭具有很好的吸附性能、机械性能和化学稳定性，而且活性炭可再生使用，价格便宜，来源方便。

活性炭吸附的原理是活性炭具有松散多孔性，有极大的比表面积，每克活性炭的总表面积为  $500 \sim 1000\text{m}^2$ ，每克活性炭孔隙容积为  $0.6 \sim 0.8\text{cm}^3$ ，因此有很大的表面力。吸附过程就是废水中污染物质的分子，在表面力场作用下，从废水中转移到活性炭表面的过程

这种转移取决于水分子与活性炭表面原子对污染物分子的作用力的

相互竞争。污染物质为疏水性时，则由于其分子的水合作用能较小，故向吸附剂表面转移时受到的阻力也小，容易被活性炭吸附。反之，亲水性的污染物则难于被活性炭吸附。

当活性炭的表面原子与污染物分子间的吸引力大时，即污染物质对活性炭的亲合力大时，被吸附得牢固。反之就不牢固。

在吸附过程中，同时还进行解吸过程，即一部分被吸附的污染物质由于分子的热运动而脱离活性炭表面，所以，吸附是可逆的过程。当吸附和解吸两个过程的速度相等时，达到该条件下的吸附解吸平衡。

### (2)浮选法

当废水中所含有的细小颗粒物质不易采用重力沉降法加以除去时，可以考虑采用浮选方法进行处理。

此方法是向废水中加入浮选剂或凝聚剂等然后通入空气，当空气通入到含有细小颗粒物质的废水中时，废水中会产生泡沫。颗粒粘附于气泡上达到分离的目的。

颗粒能否浮起来还与其密度有关，若密度过大，如超过  $3\text{g/cm}^3$  时，即使颗粒粘附在气泡上，也难以浮上。

另外对于亲水性的颗粒物质，若用浮选法进行分离，则必须先加入浮选药剂处理，使颗粒物质表面变成疏水性，易于粘附在气泡上。同时，浮选药剂还有促进起泡作用，可使废水中的空气，形成稳定的小气泡，以利于气浮。

### (3)反渗透法

反渗透方法是利用半渗透膜进行分子过滤来处理废水的一种新方法。这种方法是利用“半渗透膜”的性质，进行分离作用。这种膜可以使水通过，但不能使水中的悬浮物及溶质通过，所以这种膜称为半渗透膜。

现在广泛使用的半渗透膜是醋酸纤维素膜。醋酸纤维素制成的薄膜是一种多孔性膜，膜的两面性质各不相同。其中一面是一个很薄的致密层，致密层的微孔非常小，它有选择地吸附水分子，而排斥水中的溶质分子及颗粒；另一面是较厚的多孔层，孔径较大，水分子能顺利通过。

如果我们在较厚的多孔层一侧放上清水，致密层一侧放上废水，就会发现清水可以通过膜渗透到废水一侧，使废水得到稀释。这种现象称为渗透。

若在废水一侧加入  $30 \sim 40\text{kg/cm}^2$  的压力后，就会使废水中的水被压

过半渗透膜而进入清水一侧，结果使废水中的溶质及悬浮物被分离，而废水被净化。由于这种作用与渗透过程相反，故称为反渗透。

除以上介绍的物理化学处理方法外，还有超过滤法及电渗析法。超过滤法与反渗透法相似，也是一种膜分离技术。不同的是采用的膜性能不同，向废水施加的压力也不同。电渗析法能耗较高，仅用于废水中有效成分的回收。

#### 1.5.1.3 化学方法

化学法是利用物质之间的化学反应，进行废水处理的方法，化学处理方法，又分为中和、氧化、还原、化学絮凝法四种。

##### (1) 中和法

中和法主要用于处理含酸或含碱废水。对含酸、含碱浓度高的废水，首先必须考虑回收、综合利用。

含酸或含碱废水，若浓度在 4% 以下时，已没有回收、利用价值，则应中和至中性才可排放。

对酸性废水进行中和时，可采用以下一些方法：

- ①使酸性废水通过石灰石滤床；
- ②与石灰乳混合；
- ③向酸性废水中投加氢氧化钠或碳酸钠溶液；
- ④与碱性废水混合，使 pH 值近于中性；
- ⑤向酸性废水中投加碱性废渣，如电石渣、碳酸钙、碱渣等。

通常，应尽量选用碱性废水来中和酸性废水，达到以废治废的目的。

对碱性废水进行中和时，可以采用以下一些方法：

- ①向碱性废水中加入酸性废水，这是首选的处理方法。
- ②向碱性废水中通入二氧化碳气体。

③若无酸性废水时，可加酸中和处理。应特别注意的是，含氰化物的碱性废水绝对不可以加酸中和。

##### (2) 混凝沉淀法

混凝法的基本原理是在废水中加入混凝剂，因为混凝剂为电解质，在废水中形成胶团，与废水中的胶体物质产生电中和，形成绒粒沉降。混凝沉淀不但可以去除水中粒度为  $10^{-3} \sim 10^{-6}$  mm 的细小悬浮颗粒和胶体颗粒，而且还能够除去重金属离子、有机物、颜色、油分、微生物以及氮和磷等营养物质。

废水在未加混凝剂之前，水中的胶体颗粒和细小颗粒的本身重量很轻，受水分子热运动碰撞而作无规则的布朗运动。颗粒带有同性电荷，彼此互相排斥，因而不能相互靠近结成较大颗粒。另外，许多水分子被吸附在颗粒周围而形成水化膜，亦阻止了颗粒的相互靠近，因而颗粒呈稳定状态。

废水中加入混凝剂后，破坏了颗粒的稳定状态（称脱稳），使水中微小颗粒聚集成为较粗大的颗粒而沉淀。这个过程包括混合、反应、凝聚、絮凝等几种作用，总称为混凝过程。一般在粒子未达到脱稳状态而凝聚的过程称絮凝，达到脱稳状态而凝聚的过程称凝聚。

混凝剂的品种很多，可以分成三类，即无机混凝剂、有机混凝剂和高分子混凝剂。现将常用的混凝剂按其分类列于表 1-1 中。

表 1-1 常用的混凝剂

| 分类             |      | 混 凝 剂                            |
|----------------|------|----------------------------------|
| 无机<br>混凝剂      | 无机盐类 | 硫酸铝、硫酸亚铁、硫酸铁、铝酸钠、四氯化钛、三氧化铁       |
|                | 碱 类  | 碳酸钠、氢氧化钠、氢氧化铝                    |
|                | 固体细粉 | 高岭土、膨润土、酸性白土、炭黑、飘尘               |
| 有机<br>混凝剂      | 阴离子型 | 月桂酸钠、硬脂酸钠、油酸钠、十二烷基苯磺酸钠、松香酸钠      |
|                | 阳离子型 | (十二烷,十八烷,松香)胺醋酸、烷基三甲基氯化铵等        |
| 低度<br>聚合<br>物质 | 阴离子型 | 精氨酸钠(藻阮酸钠)、羧甲基纤维素钠盐              |
|                | 阳离子型 | 水溶性苯树脂盐酸盐、聚乙烯亚胺、聚乙烯氨基三氮茂、聚硫脲、醋酸盐 |
|                | 非离子型 | 淀粉、水溶性尿素树脂                       |
|                | 两性型  | 动物胶(明胶)                          |
| 高度<br>聚合<br>物质 | 阴离子型 | 水解聚丙烯酰胺盐、顺丁烯酸共聚体盐                |
|                | 阳离子型 | 吡啶盐酸、吡啶共聚物盐                      |
|                | 非离子型 | 聚丙烯酰胺、聚环氧乙烷等                     |

### (3)化学氧化法

废水经过化学氧化处理，可使废水中所含的有机物质和无机还原性物质进行氧化分解，达到净化的目的，此外还可以达到去臭、去味、去色的效果。

各种氧化剂氧化能力的强弱，可根据氧化还原电位的大小来判断。常用氧化剂的氧化还原电位列表 1-2 中。

表 1-2 常用氧化剂的氧化还原电位

| 氧化剂          | F <sub>2</sub> | O <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | MnCl <sub>2</sub> | HClO | Cl <sub>2</sub> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | O <sub>2</sub> |
|--------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------|------|-----------------|------------------------------|----------------|
| 氧化还原<br>电位/V | 2.87           | 2.07           | 1.77                          | 1.67              | 1.49 | 1.36            | 0.94                         | 0.68           |

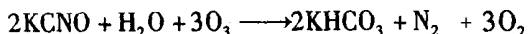
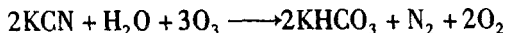
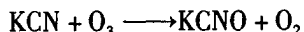
从表中可以看出，氧化能力最强的是氟，但用氟来处理废水目前尚存在一些困难，故废水处理使用最多的氧化剂是臭氧、次氯酸、氯和空气。

臭氧是一种很好的氧化剂，它的氧化能力仅次于氟，在水中的溶解度要比纯氧高 10 倍，在常温下很容易自行分解为氧气。

臭氧可使有机物质被氧化，可使烯烃、炔烃及芳烃化合物氧化成醛类和有机酸。臭氧很容易破坏废水中含有的酚，例如含酚 6/10000 的废水，pH 值为 12 时，用 2/100000 ~ 4/100000 的臭氧处理，酚的去除率一般可达 96% 以上。

另外，臭氧对于废水中所含有的硫醚、二硫化物、噻吩、硫茛等以及其他一些致癌物质如 1,2 - 苯并蒽等均有很强的分解能力。

臭氧也可以与无机物发生化学反应放出氧气。例如臭氧可与氰化物发生如下反应：



生成物 KCNO 毒性仅为氰化物 KCN 的百分之一，而 KHCO<sub>3</sub> 则可以认为是无毒物质。

#### 1.5.1.4 生物化学方法

生物化学处理方法，简称生化法，是利用自然界大量存在的各种微生物来分解废水中的有机物质的一种方法。在生化法处理废水过程中，主要是在微生物酶的催化作用下，依靠微生物的新陈代谢作用使废水中的有机物质氧化、分解，最终转化为稳定的、无毒的无机物而被去除。

根据生化处理过程中起主要作用的微生物种类不同，废水生化处理可分为好气生物处理和厌氧生物处理两大类。

##### (1) 好气生物处理

好气生物处理是在有氧条件下，利用好气微生物的作用来处理有机废水的方法。在处理过程中，细菌对废水中溶解的有机物质有吸收作



用。对于废水中不溶解的悬浮有机物,细菌分泌的外酶,可将其分解为溶解性物质然后再被吸收到细菌细胞内,在内酶的作用下进行氧化、还原、合成过程,使被吸收的有机物氧化成简单的无机物。还有一部分有机物合成为新的原生质,成为细菌自身生命活动必须的营养物质。

## (2) 厌气生物处理

厌气生物处理是在无氧的条件下,利用厌气微生物的作用来处理有机废水的方法。

厌气生物处理过程一般分为两阶段,即酸性发酵阶段和碱性发酵阶段。在酸性发酵阶段,废水中复杂的有机物在产酸细菌的作用下分解成简单的有机酸、醇、氨及二氧化碳等,由于生成有机酸使废水的 pH 值小于 7,故称为酸性发酵阶段。在碱性发酵阶段,有机酸、醇类物质在甲烷细菌的作用下,进一步分解为甲烷和二氧化碳,由于所产生的氨对有机酸进行中和,使 pH 值上升到 7~8 左右,所以,这一阶段称为碱性发酵阶段。

实践证明,生物化学处理法处理废水效率高,费用低,设备简单,是一种比较经济、实用的方法。

### 1.5.2 化学实验室废气的处理

大气污染,是指由于有害气态物质进入大气,使大气的成分、气味、颜色和性质等方面发生变化,危害生物生活环境,影响人体健康和动植物的生存。

化学实验室排放的废气中主要污染物质有二氧化硫、氮氧化物、氟化物、碳化物和各种有机气体。

目前处理气态污染物的方法主要有吸收、吸附、冷凝和燃烧等方法。

吸收方法是普遍采用的方法。吸收法一般又可以大致归纳为以下几种类型。

①水吸收法;②酸吸收法(如硫酸法、稀硝酸法等);③碱性溶液吸收法(如烧碱法、纯碱法、氨水法等);④还原吸收法(如氯氨法、亚硫酸盐法等);⑤氧化吸收法(如次氯酸钠法、高锰酸钾法、臭氧氧化法等);⑥生成络合物吸收法(发硫酸亚铁法等);⑦分解吸收法(如酸性尿素水溶液吸收法等)。

上述方法针对不同的气态污染物有不同的吸收效果,因此这些方法既可以单独使用也可以组合作用。