

中等专业学校教材

工业化学

上海市化工学校 杭州化工学校 北京化工学校 編

化学工业出版社

中等专业学校教材

工业化学

上海市化工学校 杭州化工学校 北京化工学校 編

化学工业出版社

本书系根据化学工业部教育司 1964 年制訂的中等专业学校“工业化学教学大綱(草案)”編写而成,可作为中等专业学校分析化学、化工机械与化工仪表等专业的試用教科书。

全书共分十章,内容包括工业用水、煤的加工、石油的加工、硫酸工业、合成氨工业、硝酸工业、化学肥料、純碱工业、电解食盐水溶液制烧碱与氯气、高分子化合物工业等。

本书由上海市化工学校曹經緯、杭州化工学校丁道中、北京化工学校张慰祖等同志編写,书稿并經化学工业部中专工业化学教材編审小組討論和修改,最后由泸州化工学校李紹伯同志审閱。

中等专业学校教材
工 业 化 学
上海市化工学校
杭州化工学校 編
北京化工学校

* * *

化学工业出版社出版(北京安定門外和平里七区八号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 120 号

北京市印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本:850×1168 毫米1/32 1965 年 12 月北京第 1 版
印张:6 1/2 1965 年 12 月北京第 1 版第 1 次印刷
字数:150,000 印数:1—7,047
定价:(科四)0.80 元 书号:K 15063·1026

序 言

本书系根据 1964 年制訂的中等专业学校“工业化学教学大纲(草案)”編写而成，主要供分析化学、化工机械与化工仪表等专业使用。全书除緒論外共分十章，内容包括工业用水、煤的加工、石油的加工、硫酸工业、合成氨工业、硝酸工业、化学肥料、純碱工业、电解食盐水溶液制烧碱与氯气、高分子化合物工业等。其中第一、二、三、七章及第十章的前一部分由杭州化工学校丁道中同志編写；第四、五、六章及第十章的后一部分由上海市化工学校曹經緯同志編写；第八、九章由北京化工学校张慰祖同志編写；并由曹經緯同志汇总整理，最后由泸州化工学校李紹伯同志审閱。

在編写过程中，合肥化工学校赵大武、錢益茂二位同志曾参預了工作。化学工业部中专工业化学教材編审小組对书稿进行了討論和修改。上海市化工学校陆友玲同志参加了部分插图描繪工作。

本书在編写过程中虽然在少而精、联系中国生产实际方面作了一些努力，但由于編者水平有限，編写時間又很仓促，书中难免有些錯誤和不妥之处，恳切地希望讀者提出宝贵意見。

編 者

1965 年 8 月

緒 論

一、工业化学課程的內容与任务

采用以化学方法为主要生产手段的工业或生产化学产品的工业称为化学工业。例如硫酸、純碱、合成氨、化学肥料、塑料与橡胶等工业都是重要的化学工业。

化学工业采用的基本原料通常是来源丰富、价廉的天然资源，如煤、石油、天然气、矿产（金属、非金属和无机盐类）、水、空气与农林产品和工农业副产品、废料等。因此，化学工业的生产，可以把价值較低的甚至要废弃的物质轉变为更有价值的物质。

专门研究某种或某类化工产品的生产方法和过程的工艺性学科称为該种或該类化工产品的工艺学，例如硫酸工艺学、基本有机合成工艺学等。

工业化学是研究一系列种类的化工产品的生产方法和过程的工艺性課程，所涉及的范围比較广泛，但其內容則限于一般性問題的探討。

具体地說，它研究的内容是一系列化工产品生产过程的化学反应原理、操作技术条件、生产流程、使用的主要設備、安全生产知識及产品的特性和主要用途等。

工业化学是一門輔助专业課，其主要任务是：

(1) 使学生了解化学工业生产概貌，化学工业各部門之間的关系，从而扩大学生对于化工生产知識的領域；

(2) 使学生初步建立工艺观点以便能更好地用所学专业知識为化工生产服务。

二、我国的化学工业

旧中国的化学工业和其他工业一样，长期以来处于落后状态，没有化工机械制造工厂，很多工业如农药、基本有机合成与石油工业等均为空白点，仅有的染料、制药、涂料等工厂也都是对进口原料或半成品进行加工而已。产品的产量低，品种少，质量差，技术力量也很薄弱。

新中国成立后，在党中央和毛主席的英明、正确领导下，在短短的十几年中，我国的化学工业有了飞跃的发展，获得了巨大的成就。

我国的化学工业十多年来以任何资本主义国家根本不能比拟的速度在高速前进。

产品的品种，不仅在数量上大幅度地增加，更重要的是大量地增加了高级的和高效的品种。

十多年来化学工业进行了大规模的新厂建设和老厂的改造、扩建工作，建成了大批大、中型的现代化化工企业，并建成若干重要的化工基地，劳动生产率大大提高。生产技术也有了很大的提高，一些新的大、中型化工企业和大型化工设备我国已能利用本国材料，自己设计、自己制造、自己安装与开工。一支强大的化学工业队伍已经成长壮大起来。在工艺流程的改进与设备的制造等各方面都获得了巨大的成就。

解放后十几年来，我国的化学工业无论在产量、质量、技术水平等各方面都得到了迅速的提高和发展，但由于原有基础薄弱，尚远远不能满足国民经济发展的迫切需要，所以大力发展化学工业，综合利用各种原料，进一步提高技术水平，支援农业与工业的高速发展，是化学工业战线全体成员当前的一项光荣而又艰巨的任务。

目 录

序言

緒論

第一章 工业用水	1
第一节 概述	1
一、水在化学工业中的重要性	1
二、用水来源及其所含的杂质	1
三、水的硬性及硬度表示法	2
四、对工业用水水质的要求	3
第二节 水的净化	5
一、悬浮质和胶体的消除	5
二、硬水的软化	6
三、盐类的消除及脱气	10
第三节 污水处理及回水利用	12
一、污水处理	12
二、回水利用	12
第二章 煤的加工	14
第一节 概述	14
一、煤加工的意义	14
二、煤的组成及分类	14
三、煤的加工方法	15
第二节 炼焦	16
一、原料煤的预处理	16
二、炼焦炉	18
三、炼焦操作	19
第三节 炼焦化学产品的回收	21
一、炼焦化学产品的组成及其产率	21

二、炼焦化学产品的回收步骤	21
第三章 石油的加工	26
第一节 概述	26
第二节 石油加工前的预处理	26
第三节 原油的蒸馏	27
一、蒸馏原理	27
二、蒸馏的主要设备	28
三、蒸馏流程	31
第四节 石油产品的裂化	32
一、热裂化	33
二、催化裂化	36
第五节 石油产品的精制	37
一、化学精制法	37
二、物理化学精制法	38
第四章 硫酸工业	39
第一节 概述	39
一、硫酸工业在国民经济中的重要性	39
二、硫酸的主要性质	39
三、硫酸制造方法简述	42
第二节 生产硫酸的原料	42
一、硫铁矿	43
二、硫酸盐	43
三、含硫的工业废料	44
第三节 接触法制造硫酸	44
一、二氧化硫炉气的制备	44
二、二氧化硫炉气的除尘、精制与干燥	48
三、二氧化硫的催化氧化	51
四、三氧化硫的吸收	58
五、尾气的回收与综合利用	59
六、接触法制造硫酸的总流程	59
第四节 硫酸生产中的安全技术与防火规则	61

第五章 合成氨工业	63
第一节 概述	63
第二节 原料气的制造	63
一、原料气的来源	63
二、半水煤气的制造	63
第三节 煤气的脱硫	70
第四节 一氧化碳的变换	71
一、一氧化碳的变换反应	71
二、影响变换的因素及操作条件	72
三、变换过程的生产流程	73
第五节 变换气的精制	75
一、水洗法清除二氧化碳	75
二、铜洗法清除一氧化碳	75
三、碱洗法清除变换气中残余的二氧化碳	76
四、变换气的精制压缩系统流程	76
第六节 氨的合成	78
一、氨合成的基本原理	78
二、氨合成塔	80
三、合成氨的生产流程	83
四、氨的贮存与生产安全技术	84
第六章 硝酸工业	86
第一节 概述	86
第二节 氨氧化法制造稀硝酸	87
一、一氧化氮的制备	87
二、一氧化氮的氧化	90
三、二氧化氮的水吸收	91
四、常压法制造稀硝酸的生产流程与主要设备	92
第三节 硝酸生产的安全技术	95
第七章 化学肥料	97
第一节 概述	97
第二节 化学肥料的生产	98

一、氮肥	98
二、磷肥	109
三、钾肥	113
第八章 純碱工业	114
第一节 概述	114
第二节 氨碱法	115
一、生产原理	115
二、生产过程	116
三、氨碱法制碱总流程	125
第三节 联合制碱法	127
一、生产原理	127
二、生产过程	127
三、特点	128
第九章 电解食盐水溶液制烧碱与氯气	129
第一节 概述	129
第二节 电解理論与电解槽	129
一、隔膜法电解	129
二、水銀法电解	133
三、隔膜法电解与水銀法电解的比較	134
第三节 隔膜法电解食盐水的生产过程	135
一、食盐水溶液的精制	135
二、食盐水溶液的电解与氯气的干燥	136
三、烧碱的濃縮及食盐的分离回收	136
四、固体烧碱的生产	137
五、食盐水溶液电解的生产过程	137
六、生产安全技术	138
第十章 高分子化合物工业	139
第一节 高分子化合物的一般知識	139
一、高分子化合物的概念	139
二、高分子化合物的結構与性能	140
三、高分子化合物的分类	141

VI

第二节 塑料	141
一、概述	141
二、聚氯乙烯的生产	148
三、酚醛树脂的生产	155
第三节 合成橡胶	163
一、概述	163
二、丁苯橡胶的生产	164
第四节 合成纤维	174
一、概述	174
二、维尼纶的生产	174

第一章 工业用水

第一节 概 述

一、水在化学工业中的重要性

在化学工业中，水被广泛地用作溶剂、洗涤剂、冷却和加热的载热体；此外，还用水作原料来制取水煤气、氢、氧以及各种含水化合物。目前一些大型化工厂如炼焦化工厂、石油加工厂、合成氨厂、硫酸厂、合成橡胶厂以及其他有机合成厂，每昼夜就需要使用数十万立方米甚至数百万立方米的水，可见水在化学工业中具有多么重大的作用。

现代化学工业对于用水不仅需要量很大，而且在质量上也有一定的要求。因此，在新建一个化工厂时，水源是否充足，水质是否合适，都是必须考虑的重要条件。

二、用水来源及其所含的杂质

工业用水一般都以天然水为主要来源，天然水可简分为二类：一是地面水，如雨水、河水、湖水及海水等；二是地下水，如泉水及井水等。

天然水中都或多或少地含有各种不同的杂质，这些杂质大致可归纳为四类，今分述于下：

(一) 悬浮质和胶体 悬浮质是指水中夹带的泥砂、垃圾、浮游生物、动植物的腐败产物以及工业废料等；胶体是指氧化铁、二氧化硅以及有机高分子化合物等所形成的杂质。这些杂质在天然水中会造成混浊而不宜饮用；在工业上会堵塞管道及其他化工

設備，造成操作上的困難，甚至發生事故。

(二) 可溶性礦物質 當天然水經過地面或透過地下層時，往往使一部分礦物質，如鉀、鈉、鈣、鎂、鐵及錳等的硫酸鹽、碳酸鹽、硝酸鹽以及氯化物等溶解在內。可溶性礦物質在一切加熱冷卻設備內能形成鍋垢影響傳熱效率；而某些鹽類（如氯化鎂）的水解，也可產生腐蝕性物質。

(三) 可溶性氣體 天然水與空氣接觸，多數氣體能溶解在內，其中最能腐蝕設備的是氧及二氧化碳。此外，天然水中還含有微量的硫化氫，它是有機蛋白質的腐敗產物，對普通金屬具有銹蝕作用，並能與許多化學物質尤其是金屬鹽類發生反應，生成有色沉淀，影響產品質量。

(四) 微生物 天然水中含有各種微生物，它對一般化學工業影響較小，對於釀造、制革、醫藥以及食品工業等則影響甚大。如果作為飲料用水，則其中含有的病菌會成為傳染疾病的媒介，為害更大。

一般說來地面上的淡水含有懸浮質和膠體、可溶性氣體以及微生物等較多而含有可溶性礦物質則較少；海水平均含有約3.6%的無機鹽類；地下水含有可溶性礦物質較多而其他雜質則較少。由於各種工業用水的目的不同，對水質的要求也有所不同；因此必須研究用水的來源，經過分析檢定水中所含雜質的組成，然後採用適當的淨化方法消除其中有害的成份，從而達到各種工業用水的要求。

三、水的硬性及其硬度表示法

水中鹽類含量的多少是工業用水最值得注意的條件，特別是鈣鹽和鎂鹽的含量。溶有較多的鈣鹽和鎂鹽的水，叫做硬水；含有極少量或幾乎不含鈣鹽和鎂鹽的水，叫做軟水。一般天然水除雨水外都是硬水，其中以地下水的硬性為最大。水質硬性的程度，用硬度來表示。水硬度的表示方法，各國都不一樣，一般

常采用下列二种制度来表示水的硬度。

(一) 每百万份当量 (p.p.m.) 制 一升水中含有一毫克当量的钙或镁离子, 即每百万毫克水中含有一毫克当量的钙或镁离子时的硬度, 叫做 1 e.p.m.

$$\begin{aligned} \text{硬度 } 1 \text{ e.p.m.} &= 20.04 \text{ 毫克 } \text{Ca}^{++} / \text{升} \\ &= 12.16 \text{ 毫克 } \text{Mg}^{++} / \text{升} \end{aligned}$$

(二) 每百万份分率 (p.p.m.) 制 一升水中含有一毫克的碳酸钙, 或每一百万份水中含有一份碳酸钙时的硬度, 用 1 p.p.m. 表示

$$\text{硬度 } 1 \text{ p.p.m.} = 1 \text{ 毫克 } \text{CaCO}_3 / \text{升}$$

水的硬度如果是由钙盐所造成的, 叫做钙硬度; 如果是由镁盐所造成的, 叫做镁硬度; 如果是由钙、镁的碳酸氢盐所造成并且在煮沸后可以使其沉淀而消除的叫做碳酸盐硬度, 又叫做暂时硬度; 如果是由钙、镁的非碳酸盐 (如硫酸盐、氯化物、硝酸盐等) 所造成, 并且不能用加热方法来消除的叫做非碳酸盐硬度, 又叫做永久硬度。

为了区别工业用水的硬性大小, 工业上常用的硬度标准如表 1-1 所示:

表 1-1 工业用水硬度分类表

类 别	每百万份当量制 (p.p.m.)	每百万份分率制 (p.p.m.)
极 软 水	0~1.5	0~75
软 水	1.5~3.0	75~150
中 等 水	3.0~6.0	150~300
硬 水	6.0~10	300~500
极 硬 水	10 以上	500 以上

四、对工业用水水质的要求

工业用水主要有以下几种: 1) 锅炉用水; 2) 生产技术用水;

3) 冷却用水等。每种用水都有它们的质量要求,今分述于下:

(一) 锅炉用水 锅炉用水以软水为宜,否则形成锅垢,影响热的传导,既耗费燃料又会损坏锅炉甚至发生爆炸。今以蒸汽机车使用硬水和软水的情况为例,列表比较于下:

表 1-2 蒸汽机车使用硬水和软水比较表

	焰管的寿命	用煤量	洗检人数	牵引吨数
硬水	4月	100%	60	2000
软化水	4年	84%	40	3000~4000

各个厂内所用的锅炉类型不同,对水质的要求也不同。今将几种类型锅炉对水质限度的要求,列表于下:

表 1-3 几种类型锅炉用水的水质限度 (p.p.m.)

锅炉类型 (压力: 公斤/公分 ²)	总硬度	溶解 O ₂	总碱度	pH
0~10	80	1.4	50	8 (最小)
10~17	40	0.15	30	8.4 (最小)
17以上	10	0	5 以下	9.0 (最小)

(二) 生产技术用水 生产技术用水必须避免在操作上发生困难,并且不影响产品质量。今将部分化工生产对水质限度的要求,列表于下:

表 1-4 部分化工生产技术用水的水质限度 (p.p.m.)

化工生产名称	总硬度	Fe ⁺⁺ 及Mn ⁺⁺	总碱度	混浊度	pH
塑料	2	0.2	75	0	7~7.5
人造丝	0.5	0.03	—	5	—
硝酸	3~7.5	0.2	—	20	—

(三) 冷却用水 冷却用水必须避免过多的悬浮质和胶体，总硬度不得超过 50 p. p. m.； Fe^{++} 和 Mn^{++} 的含量不得超过 0.5 p.p.m.；pH 值应在 6.8~7.5 之间，同时不应含有硫化氢等气体，方为合格。

第二节 水的净化

前面讲过，工业用水必须根据用水的来源和杂质的含量，并依据各生产单位对用水的质量要求、经济条件和技术条件来决定净化方法。水净化的主要任务是：1) 除去悬浮质和胶体；2) 硬水软化；3) 盐类的除去和脱气等。

一、悬浮质和胶体的消除

水中含有悬浮质和胶体杂质时，一般先用沉淀法和凝聚法处理，然后再用过滤法清除。

(一) 沉淀法和凝聚法 将原水引入沉淀池，静置 24 小时，则悬浮质因重力关系都有下沉的趋势，重的较快，轻的较慢。在此过程中常加入凝聚剂以加速沉降，缩短静置时间。

常用的凝聚剂为明矾、硫酸铝或硫酸亚铁等，它们溶解于水并水解生成带有正电荷的胶状沉淀如氢氧化铝、氢氧化铁等。水中的胶体杂质带有负电荷，因而互相吸引并中和，凝聚后一同沉下。但是应用这些凝聚剂时，必须注意水的 pH 值。如用明矾或硫酸铝，适宜的 pH 值为 5.5~7.2。pH 值过低，氢氧化铝不能形成；太高时，氢氧化铝的粒子具有负电荷，反而延缓水的澄清过程。硫酸铝与钙、镁的碳酸氢盐作用亦可产生氢氧化铝，如水的暂时硬度不大或水的 pH 值过低，则可适当加入消石灰或碳酸钠。

如用硫酸亚铁为凝聚剂时，水的 pH 值应为 9.2~9.8；因为高 pH 值能促进凝聚作用，所以加入一定量的消石灰或碳酸钠，能加速沉降。

(二) 过滤法 将上述处理后的水,再通过某种多孔物质(如木炭或活性炭)、砂砾、碎石英及石子等,则可将水中含有的悬浮质、胶体以及大部分的细菌截留,从而使水澄清。

过滤器的种类很多,一般可分为压力式过滤器和重力式过滤器两类。前者可在短时间内处理较多的水,所以叫做速滤法;后者需要时间较长,所以叫做缓滤法。但是,重力式过滤器回洗简便,维持费用低,常被工业上所采用。

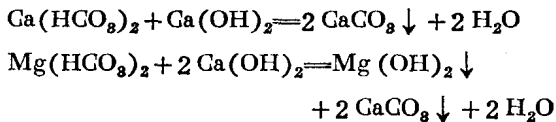
二、硬水的软化

降低或消除硬水中的硬度,使硬水变为软水或最软水的措施叫做硬水的软化。硬水软化是工业用水在净化过程中应用最广泛而且是最重要的一个步骤。目前工业上常用的软化方法主要是石灰纯碱法、磷酸盐法和离子交换法等三种,今分述于下:

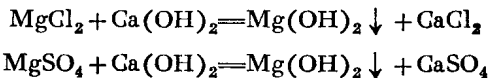
(一) 石灰纯碱法 它是用石灰乳和纯碱作软化剂的方法。

1. 反应原理 石灰乳能消除钙、镁的暂时硬度,镁的永久硬度以及溶解的二氧化碳;纯碱能消除钙的永久硬度。实际是将硬水中的钙离子变为碳酸盐,镁离子变为氢氧化镁,如有铁离子存在则变为氢氧化铁等沉淀而析出。其反应式可表示于下:

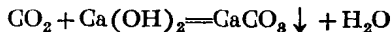
消除暂时硬度:



消除镁的永久硬度:



消除 CO_2 :



消除钙的永久硬度:

