



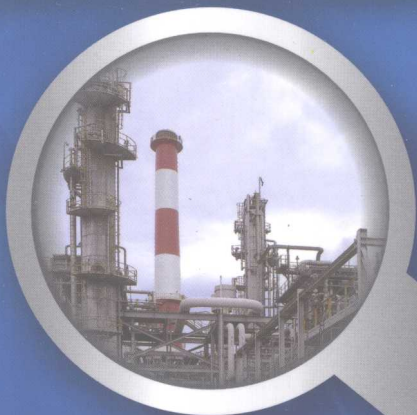
化工工人岗位培训教材

化工工艺基础

第二版

朱宝轩 主编

HUAGONG GONGYI JICHU



化学工业出版社



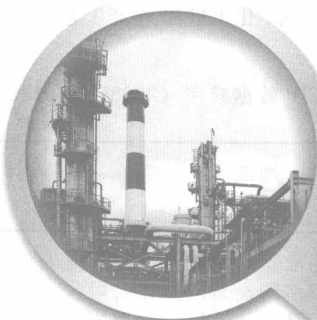
化工工人岗位培训教材

化工工艺基础

第二版

朱宝轩 主编

化工工艺基础



化学工业出版社

·北京·

本书是根据国家有关标准,结合化工企业的要求编写的培训教材。内容包括化工基础原料、化工生产工艺过程管理、工艺过程的分析与组织、化工基本计算、典型基本化工产品生产等。适合企业实际应用,不强调深入的理论,注重结合实践,选编典型的产品生产工艺,加深读者对化工工艺基础理论的理解。本书内容深浅适度,通俗易懂,便于自学。

本书可作为化工企业技术工人的培训教材,也可供化工企业技术人员和自学使用,还可作为从事化工安全生产技术人员和管理干部的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

化工工艺基础/朱宝轩主编. —2版. —北京:化学工业出版社, 2008.3
化工工人岗位培训教材
ISBN 978-7-122-02043-7

I. 化… II. 朱… III. 化工过程-生产工艺-技术培训-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 013208 号

责任编辑: 刘 哲 周国庆
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京云浩印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张 8½ 字数 222 千字
2008 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

为适应市场经济发展和行业发展对职工教育培训的需要,积极配合化工企业技术工人进行职业技能鉴定及培训,根据国家有关标准,结合化工企业对技术工人的工艺基础要求,我们编写了这本书。

化学工业是国民经济的重要支柱行业之一。随着化学工业的不断发展,现代化工对从业人员提出了更高的要求。因此从事化工生产的专业技术人员必须学习和掌握相应的化工工艺的基础知识。国家劳动和社会保障部制定了一系列化工工艺操作人员专业等级标准。本书就是在这种情况下编写的。

本书第一版于2004年6月由化学工业出版社出版发行,经过三年多的应用后,针对教材中的问题,征求了部分使用者的意见和建议,结合化工企业技术工人培训的实际需要,决定对第一版进行修改补充。

本书第二版在保留化工基础原料、化工生产过程管理、工艺过程分析与组织、化工基本计算、典型基本化工产品生产等内容的基础上,删减了高聚物合成工艺一章的内容;将原化学反应器一章化整为零,插入结合到实际应用的工艺过程中去,既加深了对反应器的理解,又达到了与工艺相结合学习的目标;在化工基本计算一章中,删减了难度较深的复杂物料衡算和热量衡算的内容,补充了化工生产指标计算中必须要用到的利用化学方程式计算的内容,修改补充了简单过程物料衡算的内容,保证了在实际中常用计算能力的培训。在典型无机化工产品生产一章中,增加了煤气化生产合成气的内容;在典型有机化工产品生产一章中,删减了苯酚及丙酮的生产内容,修改了醋酸生产的内容,增加了天然气转化生产合成气、合成气合成甲醇、乙烯氧化生产乙醛、乙烯氧化偶联生产醋酸乙烯、丙烯氨氧化生产丙烯腈等较为典型的有机化工生产过程内容。

本书由朱宝轩主编。第1、2、3、5、6章由朱宝轩编写,第4章由霍琦编写。全书由朱宝轩统稿。在编写过程中,北京市化工学校的刘同卷、刘佩田、于红军等同志,河北医药职业技术学院田铁

牛同志，提供了大量的帮助；北京市化工学校打印室给予了大力支持；化学工业出版社对该书的编写和出版提供了许多指导意见。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，如有不妥之处，恳请读者批评指正，不吝赐教。

编者

为适应市场经济发展和行业发展对职工教育培训的需要,积极配合化工企业技术工人进行职业技能鉴定及培训,提高工人理论知识水平和操作技能,根据国家有关部门职业技能鉴定标准,结合化工企业技术工人的现状,化学工业出版社组织了一套《化工工人岗位培训教材》,包括《化学基础》、《化工工艺基础》、《机械基础》、《化工安全技术基础》、《化工单元操作过程》、《化工电气》、《化工仪表》和《化工分析》。

化学工业是国民经济的重要支柱产业之一。随着化学工业的不断发展,现代化工对从业人员提出了更高的要求。因此从事化工生产的专业技术人员必须学习和掌握相应的化工工艺的基础知识,国家劳动和社会保障部制定了一系列化工工艺操作人员专业等级标准。《化工工艺基础》就是在这种情况下编写的。

本书对化工基础原料、化工生产工艺过程管理、工艺过程的分析与组织、化学反应器、化工基本计算、典型基本化工产品生产、高聚物合成工艺等几个方面的基本概念、基本理论及有关应用技术,从理论上做了较系统的介绍。编写时力求适合企业实际应用,不强调深入的理论,注重结合实践,使之具有可接受性和实践性。本书可作为化工企业高级技术工人和技师培训教材,也可作为从事化工安全生产技术人员和管理干部的参考用书,同时也可供相关专业人员培训使用。

本书由朱宝轩、霍琦主编。第1、2、3、6、7章由朱宝轩编写,第4、5、8章由霍琦编写。全书由朱宝轩统稿。在编写过程中,北京市化工学校潘茂春、刘佩田、于红军等同志提供了大量的帮助;化工学校打印室给予了大力支持。在此,一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,难免有不妥之处,恳请读者批评指正,不吝赐教。

编 者

2004年2月

第 1 章 化工基础原料	1
培训目标	1
1.1 概述	2
1.1.1 基本概念	2
1.1.2 化学工业的原材料	3
1.2 石油的化工利用	4
1.2.1 原油的开采和加工	4
1.2.2 石油与化学工业	9
1.3 天然气的化工利用	9
1.3.1 天然气的组成	9
1.3.2 天然气的化工利用	10
1.4 煤的化工利用	10
1.4.1 煤的组成与开采	10
1.4.2 煤的化工利用	11
1.5 生物质的化工利用	14
1.5.1 生物质分类	14
1.5.2 生物质的化工利用	15
1.6 矿物质的化工利用	18
1.7 原料路线选择	19
1.8 化工生产的主要产品	21
1.8.1 基本有机化工的主要产品	21
1.8.2 无机化工主要产品	24
1.8.3 合成高分子化工主要产品	26
1.8.4 精细化工主要产品	28
思考与练习	29
第 2 章 化工生产过程管理	31
培训目标	31

2.1 化工生产管理	32
2.1.1 化工企业生产特点	32
2.1.2 化工生产管理	33
2.1.3 化工生产工艺管理	35
2.1.4 生产作业计划	37
2.1.5 产品质量管理	38
2.1.6 设备管理	39
2.2 化工生产效果评价	41
2.2.1 生产能力和生产强度	41
2.2.2 转化率	43
2.2.3 产率和收率	45
2.2.4 消耗定额	46
2.2.5 化学反应效果和化工生产效果的衡量	48
思考与练习	49

第 3 章 工艺过程分析与组织 51

培训目标	51
3.1 化学反应平衡分析	52
3.1.1 化学反应可能性分析	52
3.1.2 反应系统中反应难易程度比较	52
3.1.3 化学反应限度分析	53
3.1.4 化学反应平衡移动分析	53
3.2 工艺过程速度分析	54
3.2.1 影响化学反应速度因素	54
3.2.2 温度对化学反应速度的影响规律	56
3.2.3 催化剂对化学反应速度的影响	58
3.3 工业催化剂	58
3.3.1 催化剂的作用与特征	58
3.3.2 液体催化剂的应用	60
3.3.3 固体催化剂的构成	61

3.3.4	工业生产对催化剂的要求	62
3.3.5	催化剂的使用	65
3.4	影响反应过程的基本因素分析	69
3.4.1	反应过程优化目标	70
3.4.2	影响反应过程基本因素分析	70
3.5	工艺过程组织分析	73
3.5.1	工艺操作	73
3.5.2	工艺过程的组成	75
3.5.3	工艺流程	76
3.5.4	主要设备的选择	86
	思考与练习	89

第 4 章 化工基本计算 91

	培训目标	91
4.1	物质质量的计算	92
4.1.1	物质的质量、物质的摩尔质量、物质的量 (mol) 之间关系	92
4.1.2	溶液的浓度	92
4.1.3	溶液物质的量浓度的计算及溶液配制方法	93
4.1.4	溶液浓度的换算	95
4.2	生产常用指标计算及简单过程物料衡算	96
4.2.1	化学方程式及利用化学方程式计算	96
4.2.2	转化率	98
4.2.3	产率	98
4.2.4	选择性	100
4.2.5	消耗定额	101
4.2.6	简单过程的物料衡算	103
	思考与练习	107

第 5 章 典型无机化工产品生产 109

培训目标.....	109
5.1 煤气化生产合成气	110
5.1.1 概述	110
5.1.2 煤气化原理	111
5.1.3 煤气化设备和工艺	113
5.2 合成氨	115
5.2.1 概述	115
5.2.2 合成氨原料气制备与净化	119
5.2.3 氨合成	124
5.2.4 尿素生产	143
5.2.5 硝酸生产	148
5.3 氯碱生产	152
5.3.1 概述	152
5.3.2 氯碱生产	155
5.3.3 盐酸生产	162
5.4 硫酸生产	165
5.4.1 概述	165
5.4.2 二氧化硫的生产	168
5.4.3 硫酸生产	175
思考与练习.....	179

第 6 章 典型有机化工产品生产 181

培训目标.....	181
6.1 天然气转化生产合成气	182
6.1.1 概述	182
6.1.2 天然气转化反应原理	182
6.1.3 天然气转化工艺流程	184
6.2 合成气合成甲醇	185
6.2.1 概述	185

6.2.2	合成气合成甲醇反应原理	187
6.2.3	合成甲醇工艺流程	189
6.3	甲醇羰基化合成醋酸	190
6.3.1	概述	190
6.3.2	甲醇低压羰基化反应原理	192
6.3.3	甲醇低压羰基化工艺流程	192
6.3.4	釜式反应器	194
6.4	烃类热裂解	197
6.4.1	烃类热裂解反应原理	197
6.4.2	管式裂解炉	202
6.4.3	烃类热裂解工艺流程	205
6.4.4	裂解气的净化与分离	209
6.5	乙烯氧化生产乙醛	220
6.5.1	概述	220
6.5.2	乙烯一步法生产乙醛	221
6.5.3	鼓泡塔反应器	225
6.5.4	乙烯二步法生产乙醛	226
6.5.5	管式反应器	228
6.6	乙烯氧化偶联生产醋酸乙烯	229
6.6.1	概述	229
6.6.2	乙烯氧化偶联反应原理	230
6.6.3	乙烯氧化偶联生产醋酸乙烯工艺流程	232
6.6.4	气固相固定床反应器	235
6.7	丙烯氨氧化生产丙烯腈	239
6.7.1	概述	239
6.7.2	丙烯氨氧化反应原理	241
6.7.3	丙烯氨氧化工艺流程	244
6.7.4	流化床反应器	247
	思考与练习	254
	部分习题答案	255
	参考文献	256

第 1 章

化工基础原料



培训目标

1. 了解石油、天然气、煤、生物质、部分矿物质的化工利用途径；了解石油、天然气、煤、生物质、部分矿物质的化学组成；了解原料路线选择的基本原则；了解化工生产的主要产品。

2. 明确化学工业的基本含义；明确化工原料和产品的基本概念。

1.1 概述

1.1.1 基本概念

(1) 化学工业 化学工业是生产化学产品的工业。简单地说,化工过程就是利用一系列化学反应将自然界存在的天然资源转变成我们所需要的各种各样的新物质的加工过程。化学反应的多样性,决定了化学工业产品的多样性,因此,化学工业在国民经济中具有很重要的地位。随着人类社会对于物质需求不断变化,自然界所能提供的天然资源已经远远不能满足,而化学工业提供的产品可以代替天然物质和补充天然物质的不足。看一看国民经济各部门的发展,看一看我们每一个人的吃、穿、住、行,我们可以深切地感受到,化学工业的产品已经渗透到了人类活动的各个角落。

(2) 化工原料 我们把生产化工产品的起始物料称为化工原料。原料的一个共同特点是原料的部分原子必须进入到产品当中。化工原料在化工生产中具有非常重要的作用,在产品生产成本中,原料所占的比例很高,有时高达 60%~70%,因此,对化工生产来说,原料路线的选择是至关重要的。

一种原料经过不同的化学反应可以得到不同的产品;不同的原料经过不同的化学反应也可以得到同一种产品。这一点决定了化学工业的丰富多彩和强大的生命力。

(3) 化工产品 原料经过化学变化和一系列加工过程所得到的目的产物称为化工产品。化工产品中一般都含有原料中的部分原子。

一种物质是化工原料还是化工产品不是绝对的,要根据实际生产过程的需要具体确定。有时是原料,有时又是产品。

(4) 中间产品 化工生产过程中所得到的目的产物在很多情况下是作为下一个工序的原料的,我们把这种产物称为中间产品。中间产品一般不能直接应用,需经过进一步加工才能变成可直接利用的产品。化工企业所生产的产品,大多属于中间产品。

(5) 联产品 一套生产装置在生产过程中可以同时得到两种或两种以上的目的产物，我们将这两种或两种以上的目的产物互称为联产品。

(6) 副产品 由于化学反应的多样性和复杂性，一个化工生产过程在得到目的产物的同时，往往会伴随着生成几种非目的产物的副产物，将这些副产物进行回收，提供给其他生产过程或部门。我们称这样的产品为化工副产品。化工生产过程中副产物非常多而复杂，如何进行有效回收，是降低产品成本和减少环境污染非常重要的问题，必须引起我们的重视。

1.1.2 化学工业的原材料

化学工业的原材料主要包括基础原料、基本原料、辅助材料。

(1) 基础原料 指用来加工化工基本原料和产品的天然资源。通常是指石油、天然气、煤和生物质以及空气、水、盐、矿物质和金属矿等自然资源。

这些天然资源来源丰富，价格低廉，但经过一系列化学加工以后，就可得到很多的、很有价值的、更方便利用的化工基本原料和化工产品。

(2) 基本原料 指自然界不存在，需经一定加工得到的原料。通常是指低碳原子的烷烃、烯烃、炔烃、芳香烃和合成气、三酸、两碱、无机盐等。如常用的乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、甲烷、一氧化碳、氢气、氯气、氮气等。

由化工基本原料出发，可以合成一系列化工中间产品和最终产品。

石油、天然气、煤都是矿物能源，对化学工业有双重意义，既是原料，又是能源。

现代化学工业发展初期，基础原料以煤为基础，第二次世界大战结束后，科学技术得到了空前的发展，化学反应技术也得到了很大的发展，自20世纪50年代中期以来，石油和天然气逐渐取代了煤，成为化学工业的主要基础原料。

但随着人类技术的进步和生活水平的提高，人类对于自然的开采也日益无节制，到 20 世纪 90 年代，资源的枯竭问题已经成为威胁人类发展的重要问题，可持续发展成为 21 世纪人类发展的必然之路。化学工业也同样面临着一次新的革命，那就是如何利用有限的资源创造出更多的产品，为推动人类发展做出更多的贡献。

(3) 辅助材料 在化工企业生产中，除必须消耗原料来生产目的产品外，还要消耗一些辅助材料，通常将这些材料与原料一起统称为原材料。辅助材料是相对于原料而言的，它是反应过程中辅助原料的成分，可能在反应过程中进入产品，也可能不进入产品中，这是和原料的最本质区别。化工生产中常用的材料有助剂、添加剂、溶剂、催化剂等。

1.2 石油的化工利用

1.2.1 原油的开采和加工

(1) 石油的组成与开采 石油是蕴藏于地球表面以下的有气味的可燃性黏稠液态矿物质，颜色为黄色、褐色或黑褐色，不溶于水，相对密度为 0.75~1.0，其颜色、密度与组成有关。石油不是一种单纯的化学物质，是由众多碳氢化合物所组成的混合物，其成分非常复杂，且随产地不同而不同，但主要是由碳、氢两种元素组成的烃类物质，此外还有少量含氧、氮、硫等的有机化合物，微量的无机盐以及水。各种元素的质量含量一般为：C 83%~87%，H 11%~14%，O、N、S 1%。

根据石油中所含烃类的主要成分，可以把石油分成三大类：以直链烷烃为主的烷基石油（石蜡基石油），以环烷烃为主的环烷基石油（沥青基石油），介于两者之间的中间基石油（混合基石油）。我国所产的石油多属于低硫烷基石油，主要是重质原油。以大庆为例，硫含量一般在 0.1%（质量）左右，含蜡量（直链烷烃）高达 22.8%~25.76%。表 1-1 列出了我国部分石油的主要组成与性质。

表 1-1 我国部分石油的主要组成与性质

原油产地		大庆原油	华北混合原油	胜利原油 1 [#]	克拉玛依 (井口混合采样)
密度(298K)/(kg/m ³)		860.1	883.7	900.5	867.9
凝固点/K		304	309	301	-50
含蜡量(吸附法)/%		25.76	22.8	14.6	2.04
沥青质/%		0.12	2.5	5.1	—
元素分析/%	C	85.87	—	86.26	86.13
	H	13.73	—	12.20	13.30
	S	—	0.31	0.41	0.04
	N	0.13	0.38	0.80	0.25
馏程	初馏点/K	75	108	96	58
	393K/质量%	2.5	1(413K)	2.0	5
	433K/质量%	7.5	2.5	4.0	12
	473K/质量%	12.0	4.5	7.5	18
	573K/质量%	23.0	16.0	18.0	35
平均相对分子量		300	417	343	299

国外部分地区的石油组成见表 1-2。由表可见, 国外石油中含硫较高的油田较多, 轻质油油田较多, 石脑油收率多在 20% (体积) 以上。

表 1-2 国外部分石油的组成

原油产地	中 东			美 国		加拿大
	沙特阿拉伯	科威特	伊拉克	加利福尼亚	东福克斯	
硫含量/%	2.9	2.6	2.0	1.5	0.3	0.4
石脑油(C ₅ ~477K 馏分)/V%	24	27	36	19	38	34
轻柴油(477~643K 馏分)/V%	24	28	32	27	24	33
重柴油(643~811K 馏分)/V%	23	30	17	29	27	18
渣油(811K 以上馏分)/V%	29	15	15	26	11	15

石油是十分重要的能源, 目前天然气和石油在能源生产中占主要比例。我国石油资源储量主要分布于东北、华北、西北、东海、南海等地。

石油的开采一般开始时是依靠自身压力压向地面，当压力不足时，可以采用从外部注入能量的方法。采油方式可分为三种。

① 一次采油 石油的开采一般开始时是依靠自身压力压向地面，当压力不足时，采用泵抽的方法，称为一次采油。

② 二次采油 若油井自身压力不足时，也可以采用注入水或打入气体的方法增加油层压力，称为二次采油。

③ 三次采油 三次采油有热操作法、化学法、混流法等三种。

a. 热操作法 将热水或蒸汽导入地层或注入空气使部分石油燃烧的方法。通过加热降低原油黏度。

b. 化学法 加入表面活性剂使油水间的表面张力降到两者几乎能混合，这样就可以使被水包围的油滴从岩油缝中流出。另一方面是将水溶性聚合物压入油井，提高水流的黏度，使石油成为均匀的油层被挤出。

c. 混流法 导入一种能与石油相混溶的介质，如二氧化碳气体、液体丙烷和丁烷。

(2) 石油的加工 从地下开采出来未经加工处理的石油称为原油。原油一般不直接利用，而是经过加工处理后制成各类石油产品，如汽油、煤油、柴油、沥青等。将石油加工成各种石油产品的过程称为石油炼制。石油炼制的目的是根据石油中各种成分沸点的不同，将其按不同的沸程分离得到不同质量的油品，作为不同性质和用途的燃料油，或作为化学工业的原料。根据不同的需要，对油品沸程的划分略有不同，一般可分为汽油（50~205℃）、航空煤油（145~245℃）、煤油（160~310℃）、柴油（180~350℃）、润滑油（350~520℃）、重油或渣油（大于 520℃）等。各炼油厂往往根据不同的要求拟定不同的炼油方案和工艺。不同沸程的油品及主要用途见表 1-3。

原油的加工分为一次加工和二次加工。一次加工是指原油的脱盐、脱水等预处理和常减压蒸馏等物理过程；二次加工是指催化裂化、催化重整、加氢裂化、热裂化等化学过程。