

高等学校教材

工业化学概论

段世铎 主编

段世铎 主编



高等教育出版社

高等学校教材

工业化学概论

段世铎 主编

凌 芝

方怀安 编

阳 葵

高等教育出版社

(京)112 号

图书在版编目(CIP)数据

工业化学概论/段世铎主编. —北京:高等教育出版社,
1995

高等学校教材

ISBN 7-04-005390-X

I. 工… II. 段… III. 工业化学—概论—高等学校—教材
IV. TQ-43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 06072 号

*

高等教育出版社出版
新华书店总店北京发行所发行
北京朝阳北苑印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 10.875 字数 280 000

1995 年 10 月第 1 版 1995 年 10 月第 1 次印刷

印数 0001—1 704

定价 9.30 元

内 容 提 要

本书以“如何实现化学反应工业化”为主题，以典型产品引路，从化工原料入手，较系统地分析讨论了典型化工产品工艺学、化工基本计算、化工过程与反应器、化学工艺过程优化、工业催化剂、技术经济分析与工程概算等基本内容及其规律，并以较新资料系统地概述了当代化学工业的特点、发展趋势与格局、化学研究与化工生产的关系与区别、化学工业工程师的职责与考核标准及化学工业的公司体系结构。

书中编排的内容既适合国情，又跟踪时代；既注意传统化工，又力求反映先进水平；是通晓化学工业之概貌，了解化工生产的特点，展望化工世界之未来的普适性教材。

全书共分七章，内容较为广泛，论述前后呼应，讨论深入浅出，理论联系实际，书后备有部分思考讨论题、计算程序、物质的燃爆性质和主要参考文献及书目。

本书既可作为应用化学专业大学本科生教材，也可作为化学类专业的参考书，同时还可作为从事化工生产、科技开发与管理的技术人员之参考资料。

前 言

工业化学，实质上是研究实现化学反应工业化的科学。它以化学为基础，侧重讨论与介绍化学反应的工业实施与实施过程的工艺条件、工程设计及相应的化工技术与相关知识。

当代化学工业的特点是：综合性强、自动化程度高，它已从过去的化工单元操作的机械组合，发展成为以“三传一反”为基础，以化学工程学为核心的系统工程。世界化学工业发展的趋势表现为：石油工业更加大型化和集成化；品种多、产量小、价值高的精细化工产品迅速发展；生物技术渗透到化学工程领域，形成了新兴的生物化工；综合能耗和原材料消耗日益降低；分离过程高效化；对环境治理及副产物回收利用的要求日益强烈。

鉴于上述发展趋势，对于当代化学工业工程师，尤其对应用化学专业的大学毕业生而言，无论是从事高新技术产品的研制，还是从事工业生产、技术开发或技术管理，其要求就不能只停留在局部了解与掌握本专业范围内的知识，还必须具备洞察化学工业的全局和对化工过程进行全面技术经济评价与分析的能力，只有这样才能使其所在的化工企、事业单位具有竞争之活力。

一位合格的化工工程师，既要懂得他所从事的化工生产的化学知识，更应明了化学工艺学和化学工程学的基础知识，还应了解所开发或生产产品的技术合理性、先进性、安全可靠、资源及市场经济现状等。为实现这一教学目标，我们在高等学校化学教学指导委员会应用化学教材建设组的指导下，受高等教育出版社的委托，试编了这本《工业化学概论》。

鉴于以往的《工业化学》已经囊括了诸多化工产品的生产工艺，本书将不对产品的生产工艺作逐一介绍，而是以典型化工产

品引路,通过分析,提炼出共同的规律,突出其基本原理、方法及过程分析,欲实现举一反三之目的,在此基础上对化学工业及化工生产中的共同性的内容,分章讲述,以达到纵观全局,触类旁通之效果。

本书内容编排力求全面概括、适应国情、跟踪时代、注重发展。因此,本书在介绍传统化学工业的同时,对先进技术及工艺过程分析、化工工艺过程优化、现代化学工业公司的体系结构及世界化学工业的发展趋势与格局等也安排了适当的内容。

为了使化学专业的学生提高解决化工生产实际问题的能力,本书着重编辑了化工基本计算、化工过程与反应器、工业催化剂、技术经济与工程概算、化学实验与化工生产及化学工业工程师等内容。通过学习本书可使读者达到了解化学工业之概貌及发展趋势;掌握化工生产的基本规律;学会将化学研究成果转化成化工产品所必备的基础知识、具体程序和施实办法。

全书共七章(详见目录),书后备有部分思考讨论题、计算程序和物质的燃爆性质与主要参考文献及书目。

本书由段世铎(负责第一、六章和第二章第1、5节)、凌芝(负责第三、七章和第二章第3节)、方怀安(负责第四章和第二章第2节)、阳葵(负责第五章和第二章第4节)执笔完成,全书由段世铎主编审定。

国家教委高等学校化学教学指导委员会应用化学教材建设组的专家,对本书的编写大纲及其内容编排给予了具体的指导与鼓励,冯元鼎教授在审阅书稿过程中,提出了许多具体而宝贵的建议,这里一并表示感谢。

由于编者水平所限,对本书的基本要求理解不深,且内容庞杂、涉及面宽以及篇幅与字数所限,因此在文字编排与取舍过程中疏漏、不妥及错误之处在所难免,诚望专家与读者指教。

编者

1994.9

目 录

第一章 概论	1
1.1 工业化学与化学工业.....	1
1. 工业化学及其研究范围.....	1
2. 化学工业的范围与分类.....	2
1.2 化学工业在国民经济中的地位与作用	5
1. 化学工业与国民经济各部门的关系.....	5
2. 化学工业是国民经济的重要支柱.....	6
3. 化学工业与科技进步的关系.....	8
1.3 化学工业发展概况	9
1. 古代化学工艺.....	10
2. 近代化学工业.....	10
3. 我国化学工业的发展.....	12
4. 世界化学工业的新格局.....	13
1.4 当代化学工业的发展趋势	17
1. 生物技术对化学工业将产生巨大影响.....	18
2. 发展新材料是化学工业的战略重任.....	18
3. 开发新能源发展新一代煤化工技术.....	18
4. 信息化程度是化工现代化的重要标志.....	20
1.5 化学实验与化工生产	23
1. 化学实验与化工生产过程的区别.....	23
2. 化工产品开发的基本程序.....	25
3. 化工过程设计概述.....	27
4. 化工厂设计概述.....	28
1.6 化学工业工程师	31
1. 工程师任职资格的考核.....	32

2. 化学工业工程师应掌握的基础知识	32
3. 化学工业工程师应具备的能力	34
1.7 化学工业公司的体系结构	35
1. 公司的产生与发展	35
2. 世界重要的化学工业公司	36
3. 公司的组织结构	36
4. 跨国公司	37
第二章 典型化工产品工艺学	42
2.1 化工原料及基本化工产品	42
1. 有机化工原料	43
2. 有机化工产品原料路线实例	44
3. 生物质	46
4. 无机化工原料和中间产品	48
2.2 有机化工产品示例——丙烯腈	49
1. 丙烯腈的用途及开发过程	50
2. 丙烯氨氧化法生产丙烯腈的化学反应过程与工艺流程	51
3. 合成工艺条件	57
4. 对丙烯腈精制的讨论	61
5. 安全生产及污水处理	62
6. 副产物的综合利用	63
7. 聚丙烯腈的生产	63
2.3 化学肥料产品示例	73
1. 化学肥料的分类	73
2. 化肥产品示例——尿素	74
3. 尿素合成的反应原理和操作条件	75
4. 尿素生产的工艺流程	80
5. 尿素生产工艺的改进方向	88
2.4 生物化工产品示例	89
1. 生物工程与化学科学	90
2. 抗生素生产工艺简介	91
3. 青霉素生产工艺流程	93

4. 物料衡算和补料控制培养	95
5. 生物反应器工程研究进展	98
2.5 精细化工产品及其示例	102
1. 精细化工产品及其特点	102
2. 精细化工产品的分类	104
3. 精细化工产品的合成路线	104
4. 脂肪醇聚氧乙烯醚的合成	106
5. 表面活性剂的应用概述	111
第三章 化工基本计算	115
3.1 物料衡算	115
1. 物料衡算在化工生产中的作用	115
2. 物料衡算的方法和步骤	116
3. 连续过程与间歇过程的物料衡算	118
3.2 能量衡算	132
1. 能量衡算在化工生产中的作用	132
2. 能量衡算的方法和步骤	133
3. 实例——二氧化碳气提法生产尿素合成系统的物料衡算和热量衡算	142
3.3 能源	169
1. 意义及分类	169
2. 化工节能和可用能的分析	171
第四章 化工过程与反应器	180
4.1 化工过程示意图	18
4.2 化学反应器	181
1. 工业反应器的基本类型	181
2. 均相反应器	184
3. 非均相反应器	198
4.3 工业废水废气的治理	206
1. 工业废水废气治理的重要性	206
2. 化学工业废水的治理	207
3. 化学工业废气的治理	212

4. 工业废水与废气的排放法规及其标准.....	213
第五章 化学工艺过程优化	217
5.1 化学工艺过程优化概述	218
1. 化学工艺的优化.....	218
2. 工艺过程的合成与优化.....	220
5.2 过程合成的计算机辅助设计与化工自控工程	
设计概述	222
1. 计算机辅助过程合成方法.....	222
2. 化工自控工程设计.....	225
5.3 化工过程系统最优化	230
1. 化工系统最优化概述.....	231
2. 化工系统最优化方法.....	235
3. 化工过程模拟系统.....	240
第六章 工业催化剂.....	245
6.1 催化剂与催化作用的基本知识	245
1. 催化作用的分类.....	245
2. 固体催化剂及其构成.....	246
3. 催化剂的活性及寿命.....	247
4. 催化剂的选择性.....	249
5. 催化反应的活化能.....	250
6. 催化作用与化学平衡.....	252
7. 工业催化剂的评价.....	253
6.2 多相催化反应动力学	255
1. 表面反应过程机理.....	255
2. 表面反应为控制步骤的反应动力学.....	256
3. 吸附与解吸为控制步骤的反应动力学.....	260
4. 扩散对多相催化反应的影响.....	261
6.3 工业催化剂的使用技术	266
1. 催化剂的前处理.....	266
2. 催化反应条件的选择.....	269
6.4 工业催化剂的失活与再生	273

1. 催化剂失活原因与机理模型的分类·····	274
2. 催化剂失活与再生实例·····	276
第七章 技术经济分析与工程概算·····	281
7.1 技术经济分析·····	281
1. 概念·····	281
2. 技术经济分析的主要指标·····	283
3. 企业经济效益评价·····	288
4. 实例——年产4万吨尿素生产的技术经济分析·····	295
7.2 可行性研究·····	301
1. 可行性研究的意义和作用·····	301
2. 可行性研究的主要内容和研究程序·····	302
3. 可行性研究报告·····	304
4. 实例：建设年产4万吨尿素的可行性研究报告(摘要)·····	309
7.3 工程概算·····	312
1. 概述·····	312
2. 工程概算的主要内容·····	313
3. 工程概算编制的依据和方法·····	315
思考讨论题·····	322
附录 I 偿还贷款年限计算程序·····	328
附录 I 收益率计算程序·····	329
附录 II 部分物质的燃爆性质·····	331
主要参考文献及书目·····	333

第一章 概 论

当代化学工业是经历了数千年的摸索，特别是近两个世纪的科学实践，伴随着技术进步，通过学科与学科，行业与行业之间的相互渗透与互相促进，逐渐形成与发展起来的综合性十分强的系统工程。通晓这一系统的基本知识，了解化学工业的历史与发展趋势，掌握其内在规律，对于化学工业工程师，无疑是十分必要的。

本章就工业化学的研究范围、化学工业及其在国民经济中的重要地位、化学工业的发展简史及当代化学工业的格局与发展趋势等内容做重点介绍。此外，对化学实验与化工生产、化学工业的公司组织结构及化学工业工程师等概念也做适当说明。

1.1 工业化学与化学工业

1. 工业化学及其研究范围

众所周知，化学是研究物质结构与性质及其相互转化规律的科学；化学工业是依照化学原理与规律实现化学品生产的工业；而工业化学则是研究化学工业及其规律的科学。

工业化学以化学反应为主线，侧重讨论从原料到产品的工业实施途径、实施过程的工艺条件、工程设计与优化；讨论化工产品与生产技术的合理性、先进性、安全可靠、资源及市场的稳定性与前景。所以，工业化学是融化学、化学工艺学、化学工程学以及能源、环境、信息与管理科学为一体的，实现化学反应工业化的综合性实用科学。

通过工业化学的学习力求达到：

- ① 了解化学工业的组成和化工生产的概貌。

② 了解化学工业的重要性，认识化学工业与其他工业部门的密切关系。

③ 达到既能纵观化学工业之全局，又明了化工生产的内在规律；既通晓化学工业的历史，又认清其发展趋势之目的。

④ 应用已有的理化知识，联系原料、能源、化工工艺与过程及化工设备的特殊性，理解实际生产过程。

⑤ 掌握如何将化学研究成果转化为化工产品的基本程序，明确化学工业工程师应必备的基础知识与能力。

2. 化学工业的范围与分类

表 1.1 我国化学工业范围的划分

序 号	产品名称	行业名称
1	化 学 矿	化 学 矿
2	无机化工原料	无 机 盐
3	有机化工原料	有机化工原料
4	化学肥料	化学肥料
5	农药	化工农药
6	高分子聚合物	合成纤维单体
7	涂料，颜料	涂料、颜料
8	染料	染料和中间体
9	信息用化学品	感光 and 磁性材料
10	试剂	化学试剂
11	食品和饲料添加剂	石油化工
12	合成药品	化学医药
13	日用化学品	合成树脂和塑料
14	粘 合 剂	酸、碱
15	橡胶和橡塑制品	合成橡胶
16	催化剂和助剂	催化剂、试剂和助剂
17	火工产品	煤 化 工
18	其他化学产品	橡胶制品
19	化工机械	化工机械
20	—	化工新型材料

化学工业既是原材料工业，又是加工工业，既包括生产资料的生产又包含生活资料的生产。所以，化学工业是国民经济中十分重要的制造业部门。

化学工业的分类，方法不只一种，可以按原料分为煤化工，石油化工及农副产品化工，按产量之多少分为基本化工和精细化工，按产品的用途分为医药、农药、肥料、食品化工等。实际上，不同国家，不同时代对化学工业的分类方法往往是各不相同的。例如我国化学工业的分类有两种：一种是不受现行管理体制的局限，将化工产品分成19大类，这种分类方式与国外化学工业的可比性较大；另一种是按照现行管理体制，将化学工业分为20

表 1.2 日本化学工业范围的划分

序 号	行 业 名 称	序 号	行 业 名 称
1	氮肥、磷肥制造业	22	脂肪酸、硬化油、甘油
2	复合肥料工业	23	肥皂、合成洗涤剂
3	其他化学肥料	24	表面活性剂
4	制碱工业	25	涂料制造业
5	电解工业	26	印刷油墨制造业
6	压缩气及液化气	27	洗净剂
7	无机颜料	28	蜡烛
8	制盐工业	29	原料药制造业
9	其他无机化学	30	医药制造业
10	石油化学基础产品制造	31	生物化学试剂
11	脂肪族系中间体制造	32	生物制造业
12	甲烷衍生物制造	33	兽药
13	发酵	34	火药
14	煤焦油产品制造	35	武器用火药
15	有机颜料及染料制造	36	农药工业
16	塑料工业	37	香料
17	合成橡胶工业	38	化妆品
18	合成纤维工业	39	明胶、粘结剂
19	人造丝工业	40	感光材料
20	醋酸酯类	41	天然树脂制品
21	其他有机化学工业	42	木材化学制品、其他

个行业，如表1.1。又如日本化学工业的分类，按照日本通产省近年的统计则分为42个行业，如表1.2。

从表1.2可见，日本化学工业范围，比我国化学工业范围广泛得多，划分的也细，几乎把纺织、轻工、医药、炸药等工业部门生产的化工产品都包括在内。然而，有些制品如橡胶制品则作为单独的制造业划出，而化学矿则纳入采掘业。这一实例说明不同国家在化学工业及产品的划分上是有差别的，在查找有关产品和资料时应予以注意。

通常还将化工产品分为有机和无机两类。这种分类从统计角度来看可能是有意义的，但是无机和有机产品的生产，常常是互

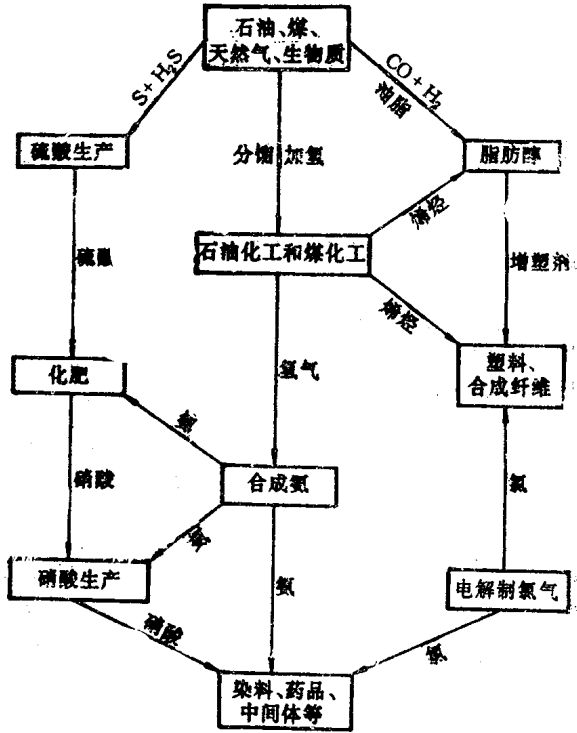


图 1.1 有机与无机化工原料的交叉示意图

相关联的。为了说明无机和有机化工产品之间的紧密联系，图1.1列出了几种有机与无机产品与原料的交叉情况。

1.2 化学工业在国民经济中的地位与作用

1. 化学工业与国民经济各部门的关系

化学工业是多行业、多品种、服务面广，配套性强的基础工业。可以说在国民经济各部门中，几乎找不到与化学工业无关的地方。而这种关系又多数是相互依赖和互相渗透的，如图1.2所示。

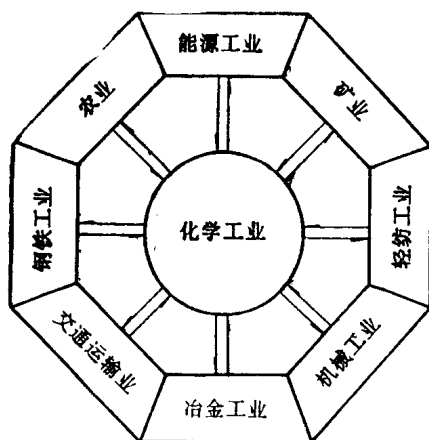


图 1.2 化学工业与各工业的关系

下面仅以能源部门为例具体说明化学工业与国民经济的关系。

化学工业既需要大量的能源，又以煤炭、石油，天然气为原料，显然是一个耗能大户。同时它又蕴含着节约能源的潜力，这表现为两个方面，一是通过技术改造与革新降低能耗，近年来我国部分化学工业的能耗已有所下降如表1.3所示。二是许多化工产品与相同用途的其他产品相比，单位能耗也有显著降低，如表

1.4所示。可见合成高分子材料代替金属材料可以大量节约能源。

表 1.3 我国化学工业万元产值能耗 (单位: 吨标准煤)

行 业	1989年	1990年	行 业	1989年	1990年
化学矿采选业	9.19	8.92	复混肥料工业	4.07	2.15
基本化学原料工业	17.59	17.59	化学农业工业	4.48	4.27
化学肥料	32.22	29.62	催化剂及各种化学助剂工业	10.36	9.75
氮肥工业	38.48	35.88	粘合剂工业	1.52	1.23
小 氮 肥	38.68	36.22	磁性记录材料工业	1.05	0.80
磷肥工业	11.02	9.61			

表 1.4 相同用途不同材质能耗指数 (以聚苯乙烯为100)

材料名称	聚苯乙烯	钢材	铜材	铝材	聚氯乙烯	牛皮纸	陶瓷管	铸铁管
能耗指数	100	145	258	793	100	150	140	317

能源只是国民经济的重要部门之一, 此外如冶金、机械、交通、轻纺、农业等重要部门均与化学工业有着不可分割的相互依存又相互促进的关系, 这些已为大家所熟知, 这里就不一一例举了。

2. 化学工业是国民经济的重要支柱

由于化学工业在国民经济的重要地位与作用和较高的投入产出比, 世界上发达国家竞相发展化学工业, 以获取高额利润。近40年来化学工业与整个工业相比, 其发展速度一直领先于整个工业, 且经久不衰, 如表1.5所示。

战后的日本以发展石油化学工业和电子工业作为振兴经济的决策, 取得成功。日本虽然不是一个盛产石油的国家, 但在50年