

52

802367

2136

第 1

化工环境工程专业

化 工 工 艺 学

何运昭 编著



湘潭大学化工系化工环境工程教研室

802376

52
2136
2.2

化工环境工程专业

化工工艺学

何运昭 编著

(下)



湘潭大学化工系化工环境工程教研室

126
2

6.50元

印刷者：

湖南农学院印刷厂

《化工工艺学》

下 篇

有机产品的生产工艺

前言

本书是化工环境工程专业的《化工工艺学》课本。

从事化工环境保护工作，不可不了解化学工业的生产过程。化学工艺学就是研究如何利用自然界的大量物质，经过化学处理和物理处理，制成更有价值的化工产品的生产过程的一门科学。或者说，化学工艺学被定义为利用一个或多个化学转化操作，工业规模地把原料加工成产品。

由于本书是环境工程专业的课本，故它既不能象无机物工业（或有有机物工业）专业的工艺学那样对生产过程的理论问题和实际问题进行详尽的探讨，也不能象《普通化学工艺学》那样只讨论生产过程中一般的、最首要且带根本性的基础问题。在本书中，既叙述化学工业工艺过程的基本原理，说明化工生产的理论、典型的操作流程和一些最主要的反应设备、以及重要的化学产品的性质和用途；也指出生产过程中在哪些生产环节、以何种方式排放什么污染物质，同时通过对比不同的生产工艺，说明改革生产工艺是消除工业“三废”污染最根本的方法。以期学过本书之后对化工生产及其污染与防治有比较明确的认识。

五十年代的《普通化学工艺学》包括的实际上是有化学过程的各种工业的生产工艺，故内容广泛得多。当时所包括的工业部门被粗略的分为无机物工业和有机物工业两大类。其中无机物工业包括：基本化学工业（酸、碱、盐及无机肥料的生产），精细的无机药剂工业（稀有元素、试剂及药剂的生产），电化学工业（氯、氢、苛性碱、金属等的生产），冶金工业（黑色金属、有色金属、贵金属及稀有金属的生产），硅酸盐及结合材料工业（玻璃、水泥、陶瓷等的生产），矿物涂料及颜料工业等。有机物工业包括：基本有机合成工业（醇类、酸类、醚及酯类的生产，乙烷、一氧化碳、二氧化碳等的加工），中间及染料工业，精细的有机合成工业（药剂、试剂、有机杀虫剂等），高分子化合物工业（塑料、人造及合成纤维、合成橡胶、成膜物质的生产），矿物加工工业（石油、煤、木材、泥炭等的加工），食品工业（糖、糖类、脂肪、蛋白质、生物化学工业产品、醋酸、酒等的生产）。按我国现在的工业部门的划分，上述有些工业并不属于化学工业，而是属于冶金工业（如冶金）或轻工业（如食品）。

六十年代出版的《化工生产流程图解》把化学工业分为十七类工业：氮肥工业（合成氨、硫酸铵、硝酸、硝酸铵、尿素、碳酸氢铵、石灰氮 CaCN_2 等的生产），磷肥工业（磷矿粉、磷、磷酸、普通过磷酸钙、氟硅酸钠、重过磷酸钙、磷酸铵、磷酸磷肥、钙镁磷肥、脱氮磷肥、钢渣磷肥、磷酸二钙、磷酸三钙、磷酸五钠等的生产），钾肥工业（氯化钾、钾氮混肥和氧化铝的生产），硫酸工业，氯碱工业（烧碱、液氯、盐酸、氯化氢、漂白粉、漂粉精、三氯化铁、三氯化磷、二氧化氯、氯酸钾的生产），纯碱工业（纯碱、氯化铵、烧碱、小苏打、碳酸钙、碳酸镁、氯化钙与再制盐的生产），无机盐工业（硼酸、硼砂、钠、硫化钠、硅酸钠、亚硫酸钠、重铬酸钠、氯化钠、高锰酸钾、碳酸钡、无水氯化氢、活性二氧化

锰和电解二氧化锰的生产)；基本有机原料工业(乙烯、丙烯、苯、甲苯、二甲苯、电石、乙炔、氢氰酸、酒精、乙二醇、环氧乙烷、乙醛、二氯乙烷、异丙醇、环氧氯丙烷、合成甘油、异丙苯、丙烯酸、环氧丙烷、丙二醇、苯酚、丙酮、正丁烯、丁二烯、异戊二烯、醋酸、正丁醇、丙烯酸、环己烷、己二酸、草酸、甲醛、甲醛等的生产)；合成树脂与塑料工业(聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯、有机玻璃、环氧树脂、酚醛塑料、三聚氰胺甲醛塑料、脲醛塑料、聚亚氨基甲酸酯和有硅树脂的生产)；合成纤维工业(涤纶、尼龙、维尼纶、睛纶、聚氯乙稀纤维、偏二氯乙烯与氯乙烯共聚纤维、过氯乙烯纤维、涤纶、聚乙烯纤维和聚丙烯纤维的生产)；橡胶工业(天然橡胶、氯丁橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶、丁基橡胶、聚异丙稀橡胶、顺式1,4-聚丁二烯橡胶、顺式1,4-聚异戊二烯橡胶、甲基硅橡胶、三氟氯乙烯及氟橡胶等的生产)；染料中间体工业；农药工业；染料及有机颜料工业；医药工业；油漆及无机颜料工业；感光材料工业(感光胶片的生产)。

根据不同的出发点，采用不同的分类方法，得出不同的工业种类。上述的两种分类方法，前者是按工业部门在经济生活中形成的先后次序来划分的，后者是按消费特征或商品特征来分类的。

本书由于篇幅有限，不可能涉及化学工业的全部领域。在介绍工业产品的生产工艺之前，简要地讨论了化工生产的普遍问题，如化工生产工艺的开发及设计、物料平衡、热量平衡、工业用水及工业用气的净化、化工生产与污染及能量生产与环境等，是为本书上篇。中篇和下篇分别论述合成氨、无机酸、化肥、纯碱烧碱等无机产品和基本有机原料、有机合成材料、单体和聚合物等有机产品的生产工艺。

由于一九七七届学生教学的需要，编者在一九八〇年初编过一次《化工生产工艺》。本书是在八〇年初稿的基础上进行修订的，故书中数据难免不是当时数据。

编写这种教材，在本人固然是初次，在国内也没有找到可供借鉴的先例，依编排难免欠妥当。何况编者在大学时学的是电化学专业，毕业后虽然独立指导创建过一个癸二酸生产厂(plant)，又曾在铅酸蓄电池厂专门负责制定生产工艺，但对于浩如烟海的化工工艺来说，实在只是个门外汉。因此，编者诚恳希望诸位先辈与同仁、诸位学者及读者惠予批评指导。编者虽非圣人，尚能闻过则喜。

本书编写过程中，得到化工部环保局及湘潭大学化工系的领导的大力支持；在搜集资料时，童志权老师曾惠予帮助；征求意见稿出来后，曾承蒙陈保初、刘永源等老师的指教；编写过程中，蒋晓林同志曾帮助译过外文资料。编者谨借此致以衷心的感谢。

何运昭

一九八二年末

化 工 工 艺 学

目 录

前 言

上篇：化工工艺的一般原理

第一章 绪 论.....	(1)
§ 1 概 述.....	(1)
1-1 化学工业的重要性.....	(1)
1-2 我国的化学工业.....	(2)
1-3 理论化学与工业化学的区别.....	(4)
1-4 转化率、效率和产量.....	(4)
§ 2 工艺程序结构.....	(5)
2-1 工艺程序结构.....	(5)
2-2 化学工艺过程的流程.....	(7)
一、间歇过程及连续过程.....	(8)
二、流向.....	(8)
三、物料的处理次数.....	(9)
四、再生.....	(10)
2-3 基本问题清单.....	(10)
2-4 从实验室的研究到工厂的工艺过程.....	(11)
2-5 关于制订工艺流程的总方案.....	(13)
2-6 几个管理问题.....	(13)
一、产品产率.....	(13)
二、设计能力及生产能力.....	(14)
三、劳动生产率.....	(14)
四、劳动保护、职业卫生与安全技术.....	(15)
五、工艺过程的经济指标.....	(15)
§ 3 原料和产品.....	(17)
3-1 原料、成品、半成品、副产品、废品.....	(17)
3-2 石油.....	(18)
3-3 天然气.....	(21)
3-4 煤.....	(22)
3-5 制造有机物的其他原料.....	(22)

3-6	无机化工原料	(22)
3-7	我国的化工原料	(23)
3-8	产品	(24)
§ 4	本章要点	(27)
第二章 物料平衡、热量平衡、化学平衡 (28)		
§ 1	概 述	(28)
§ 2	物料平衡	(29)
§ 3	热量平衡	(33)
3-1	热量平衡的表示方法	(33)
3-2	热量的计算	(34)
3-3	燃料	(38)
§ 4	化学平衡	(42)
4-1	工艺过程的速度	(42)
一、	反应速度与反应物浓度的关系	(42)
二、	过程速度与温度的关系	(46)
三、	过程速度与压力的关系	(46)
四、	催化作用	(48)
五、	反应物的接触表面	(50)
4-2	化学平衡的计算	(51)
§ 5	本章要点	(57)
第三章 化学工业对环境的污染 (58)		
§ 1	化学工业污染物的来源和种类	(58)
一、	根据生产过程区分污染源	(58)
二、	根据物质形态区分污染物	(60)
三、	根据工业种类区分污染物	(61)
§ 2	化工污染物的危害	(65)
一、	对环境的危害	(65)
二、	对生物的危害	(66)
三、	对人体的危害	(66)
§ 3	污染物治理原则	(68)
§ 4	本章要点	(68)
第四章 能量与环境 (69)		
§ 1	概 述	(69)
§ 2	燃料的储量与消耗	(69)
§ 3	环境问题	(70)
§ 4	燃料脱硫	(72)
4-1	石油馏份的催化脱硫	(72)
4-2	煤的脱硫	(74)
4-3	燃烧、脱硫同时进行	(76)

§ 5	燃料造气(气化).....	(77)
5-1	造气原理.....	(77)
5-2	用空气部分燃烧制炉煤气.....	(79)
5-3	制合成气.....	(81)
5-4	制代用天然气.....	(83)
§ 6	烟气脱硫.....	(85)
5-1	烟气脱硫的特点和要求.....	(85)
6-2	湿法SO ₂ 脱除工艺.....	(86)
6-3	干法烟气脱硫工艺.....	(87)
§ 7	展望.....	(89)
§ 8	我国化学工业的能耗情况.....	(89)
8-1	目前的特点.....	(89)
8-2	节能工作大有可为.....	(90)
§ 9	本章要点.....	(93)
第五章	工业用水	(94)
§ 1	概 述.....	(94)
§ 2	天然水的特征.....	(94)
§ 3	对水质的要求.....	(95)
§ 4	水的净化.....	(96)
一、	胶体杂质的凝聚.....	(97)
二、	消除硬度—热处理法及化学软化法.....	(97)
三、	用离子交换剂净化水.....	(98)
四、	除去水中的盐类和气体.....	(105)
五、	消毒.....	(105)
第六章	工业气体中CO₂及H₂S的脱除	(107)
§ 1	概述.....	(107)
§ 2	物理吸附类的方法.....	(108)
§ 3	通过与固体反应脱除H ₂ S.....	(110)
§ 4	液体吸收.....	(111)
4-1	概述.....	(111)
4-2	物理吸收法.....	(112)
4-3	化学气液吸收法.....	(114)
4-4	吸收过程的一般要求.....	(116)
§ 5	硫化氢转化为硫.....	(118)
中篇：无机化工工艺		
第七章	合成氨	(121)
§ 1	概述.....	(121)
§ 2	由天然气生产氨.....	(123)
2-1	天然气制氨工艺总图.....	(123)

2-2 工艺各步骤的一些细节.....	(124)
一、第一重整器.....	(124)
二、第二重整器.....	(126)
三、CO变换.....	(127)
四、除去二氧化碳.....	(128)
五、甲烷化.....	(129)
六、干燥.....	(129)
七、压缩.....	(130)
八、氨的合成.....	(130)
九、总过程.....	(134)
2-3 以天然气为原料合成氨的工艺实例.....	(135)
§ 3 甲醇合成.....	(140)
3-1 甲醇合成概况.....	(140)
3-2 甲醇合成的工艺流程及三废排放.....	(142)
§ 4 制造氨的其他方法.....	(145)
4-1 合成气的冷冻净化.....	(145)
4-2 水洗回收氨.....	(146)
4-3 蒸汽重整的其他原料.....	(147)
4-4 石油馏份的部分氧化制合成气.....	(148)
4-5 煤的部分氧化制合成气.....	(148)
4-6 经济问题.....	(151)
4-7 以无烟煤为原料合成氨的工艺实例.....	(151)
4-8 用加压催化转化炼厂气生产合成氨的三废排放一览表.....	(152)
§ 5 未来的发展.....	(152)
第八章 硝酸和硝酸盐——无机物的制造之一	(154)
§ 1 稀硝酸的生产.....	(155)
1-1 概述.....	(155)
一、氨的氧化.....	(155)
二、NO的氧化.....	(157)
三、氮氧化物的吸收.....	(157)
1-2 稀硝酸的生产原理.....	(159)
1-3 氨氧化法制硝酸的工艺流程.....	(160)
一、常压法.....	(160)
二、加压法.....	(162)
三、综合法.....	(162)
§ 2 浓硝酸的生产.....	(163)
2-1 直接法合成浓硝酸.....	(163)
2-2 间接法生产浓硝酸.....	(165)
一、硝酸铀法工艺流程.....	(165)

二、间接法制取浓硝酸的原理	(166)
三、三废污染及治理	(167)
§ 3 磷酸	(167)
3-1 概述	(167)
3-2 湿法磷酸	(168)
一、磷矿石加工制磷矿粉	(168)
二、萃取磷酸	(168)
3-3 干法(或热法)磷酸	(170)
一、电炉	(170)
二、电炉制磷	(171)
三、热法磷酸	(174)
§ 4 硝酸生产的物料、热量清算示例	(175)
第九章 硫酸工业——无机酸的制造之二	(182)
§ 1 概述	(182)
§ 2 制取二氧化硫	(185)
一、开采出来的天然硫或用克劳斯法生产的硫制取二氧化硫	(185)
二、硫铁矿焙烧制取二氧化硫	(185)
三、有色金属硫化物	(187)
四、硫酸盐制取二氧化硫	(189)
五、工业含硫废物	(189)
§ 3 塔式法制硫酸	(190)
一、反应理论和操作条件	(190)
二、塔式法制硫酸的流程	(194)
§ 4 接触法制造硫酸	(196)
一、二氧化硫氧化成三氧化硫的理论基础	(196)
二、SO ₂ 的吸收	(201)
三、接触法制硫酸的生产流程	(203)
§ 5 硫酸生产的现状	(205)
一、接触法生产硫酸的两转两吸流程	(205)
二、主要国家硫酸工业原料结构的变化	(207)
三、我国硫酸的产销情况	(208)
§ 6 生产过程的计算	(209)
§ 7 硫酸生产的污染	(218)
第十章 化肥工业之一——磷氨、小氮肥、硫酸铵、硝酸铵	(220)
§ 1 概述	(220)
§ 2 磷氨	(220)
§ 3 小氮肥生产	(225)
3-1 造气——间歇法制水煤气	(226)
3-2 除尘、脱硫	(228)

3-3	中温变换	(230)
3-4	碳化、压缩	(232)
3-5	铜氨液脱除少量一氧化碳	(246)
3-6	合成	(247)
§ 4	硫酸铵的生产	(250)
4-1	制造硫酸铵的理论基础	(250)
4-2	湿法生产硫酸铵的工艺流程	(251)
4-3	干法生产硫酸铵的工艺流程	(252)
§ 5	硝酸铵	(254)
5-1	工艺原理	(254)
5-2	工艺流程	(255)
5-3	消耗定额及质量标准	(256)
第十一章	化肥工业之二——尿素	(258)
§ 1	概述	(258)
§ 2	工业生产尿素的方法	(260)
2-1	以水溶液进行再循环	(262)
2-2	用辅助剂进行再循环	(263)
2-3	反应物分开再循环	(264)
2-4	汽提法再循环	(265)
2-5	热式压缩再循环	(267)
§ 3	尿素生产的原料	(267)
§ 4	水溶液全循环法合成尿素的生产流程	(268)
4-1	二氧化碳压缩	(268)
4-2	氨的净化和输送	(269)
4-3	尿素合成反应	(269)
4-4	循环系统	(270)
一、	中压循环	(270)
二、	低压循环	(272)
三、	氨基甲酸铵冷凝	(275)
4-5	蒸发	(276)
4-6	造粒与固体贮存	(279)
4-7	吸收与解吸	(281)
4-8	消耗定额及废物排放情况	(282)
§ 5	二氧化碳气提法尿素工艺	(283)
第十二章	以氯化钠为原料的化学品	(288)
§ 1	概述	(288)
§ 2	氨碱法(苏尔维法)制纯碱	(289)
§ 3	氨碱法制纯碱的工艺流程及图示	(292)
§ 4	联碱法制纯碱和氯化铵	(295)

§ 5	氯碱法与联碱法的比较	(297)
§ 6	电解制氯和烧碱	(298)
6-1	电极现象	(298)
6-2	隔膜电解槽	(300)
6-3	水银电解槽	(301)
6-4	离子膜电解槽	(303)
§ 7	电解的基本概念	(303)
一、	电流效率	(303)
二、	电压效率	(304)
三、	电能效率	(307)
§ 8	电解食盐水溶液的流程	(307)
8-1	隔膜电解的生产流程	(307)
一、	盐水制备	(307)
二、	精盐水电解	(309)
三、	烧碱溶液的蒸发、浓缩与制固碱	(309)
四、	氯气处理	(313)
五、	氢气处理	(313)
六、	操作条件、消耗定额及产品规格	(313)
8-2	水银法电解的生产流程	(315)
附、	除汞问题	(317)
§ 9	我国氯碱工业的发展	(319)
一、	阴极改造	(319)
二、	隔膜革新	(320)
三、	离子膜法的研究	(322)
§ 10	展望	(322)
§ 11	电解熔融氯化钠制钠	(323)
11-1	熔融物电解的一般知识	(323)
11-2	电解氯化钠制钠	(326)
一、	理论基础	(326)
二、	生产流程	(326)
三、	原料规格、产品规格、消耗定额	(328)
下篇 有机产品的生产工艺		
第十三章	石油炼制及汽油制造	(329)
§ 1	概述	(329)
1-1	石油的成因	(329)
一、	石油的无机起源理论	(329)
二、	石油的动物残骸起源理论	(329)
三、	石油的植物残骸起源理论	(329)
四、	混合理论	(329)

1-2	石油的物理性质.....	(329)
一、	比重.....	(330)
二、	热膨胀.....	(330)
三、	粘度.....	(331)
四、	表面张力.....	(332)
五、	闪点.....	(332)
六、	电性质.....	(333)
七、	溶解度.....	(333)
1-3	汽油产品的测试方法.....	(334)
1-4	炼油产品的分布.....	(335)
1-5	石油的加工过程.....	(336)
一、	生产燃料用油、生产燃料用油兼生产润滑油的炼油过程.....	(336)
二、	石油的化工利用途径.....	(339)
1-6	汽油成份的生产工艺.....	(340)
§ 2	汽油的质层要求.....	(340)
2-1	抗震性.....	(340)
2-2	挥发性.....	(343)
2-3	其他的产品性质.....	(343)
§ 3	石油的脱水.....	(345)
3-1	静置沉降.....	(345)
3-2	破坏乳浊液的物理机械法.....	(345)
一、	加热法.....	(345)
二、	过滤法.....	(345)
三、	离心分离法.....	(345)
四、	电法.....	(345)
3-3	破坏乳浊液的物理化学法.....	(346)
一、	电解质脱乳剂.....	(346)
二、	非电解质脱乳剂.....	(346)
三、	胶体物质脱乳剂.....	(346)
§ 4	石油的蒸馏.....	(346)
4-1	常减压蒸馏流程简介.....	(346)
4-2	副产品及三废治理、综合利用一览表.....	(348)
4-3	蒸馏塔的构造.....	(348)
一、	塔釜.....	(348)
二、	几种塔板的结构、性能.....	(349)
§ 5	热裂化——延迟焦化.....	(352)
5-1	概述.....	(352)
5-2	延迟焦化.....	(355)
一、	基本原理.....	(355)

二、工艺流程.....	(357)
三、产品简介.....	(358)
§ 6 催化裂化.....	(359)
6-1 催化裂化的理论基础.....	(359)
一、机理.....	(359)
二、反应器装置.....	(360)
三、催化剂.....	(364)
四、原料.....	(366)
6-2 催化裂化的生产工艺.....	(366)
一、催化裂化的化学反应.....	(366)
二、催化裂化的工艺流程.....	(668)
三、主要影响因素.....	(370)
6-3 催化裂化产品简介.....	(373)
一、主要产品质量控制指标及收率.....	(373)
二、裂化气体的烃组成.....	(373)
6-4 副产品及三废治理、综合利用一览表.....	(374)
§ 7 催化重整.....	(374)
7-1 催化重整的理论基础.....	(374)
一、催化剂和反应机理.....	(374)
二、工艺形式.....	(376)
三、工艺条件的影响.....	(378)
7-2 铂重整的生产工艺.....	(379)
一、铂重整过程中的主要化学反应.....	(379)
二、铂重整的目的、任务.....	(380)
三、铂重整产品简介.....	(381)
四、工艺流程及说明.....	(381)
五、铂重整副产品及三废治理、综合利用一览表.....	(389)
§ 8 其他加工方法.....	(389)
8-1 加氢裂化.....	(389)
8-2 异构化.....	(390)
8-3 烷基化及聚合.....	(393)
§ 9 油品的精制.....	(395)
9-1 化学精制法.....	(396)
9-2 物理化学精制法.....	(397)
一、吸附净化.....	(397)
二、利用选择性溶剂的净化法.....	(397)
9-3 加防氧化剂以使发动机燃料稳定.....	(398)
§ 10 油品的调合.....	(399)
10-1 产品调合法.....	(399)

一、航煤.....	(399)
二、汽油.....	(399)
三、柴油.....	(400)
10-2 添加剂及其作用.....	(401)
10-3 几种产品的部分质量标准.....	(401)
§ 11 发展方向.....	(402)
§ 12 减少汽油发动机的尾气污染问题.....	(402)
第十四章 不饱和烃中间产品.....	(405)
§ 1 概述.....	(405)
§ 2 加热裂解的理论基础.....	(405)
2-1 反应机理和工艺条件.....	(405)
2-2 裂解设备.....	(407)
一、管式炉裂解.....	(407)
二、管式炉裂解最近的发展.....	(409)
三、其他可以选用的裂解方法.....	(410)
2-3 原料.....	(410)
2-4 产品分离.....	(411)
§ 3 裂解与分离工艺流程.....	(412)
3-1 国内设计的裂解分离装置.....	(415)
一、流程说明.....	(415)
二、三废排放量及组成.....	(416)
3-2 日本东洋工程公司裂解分离装置.....	(416)
一、流程说明.....	(416)
二、三废排放量及组成.....	(418)
3-3 西德鲁奇公司裂解分离装置.....	(418)
一、流程说明.....	(418)
二、三废排放量及组成.....	(419)
3-4 日本三菱石油化学工业公司裂解分离装置.....	(419)
一、流程说明.....	(419)
二、三废排放量及组成.....	(420)
3-5 法国石油研究院裂解分离装置.....	(420)
一、流程说明.....	(420)
二、三废排放量及组成.....	(421)
3-6 三废治理情况及治理方法.....	(421)
§ 4 丁二烯制造工艺.....	(423)
4-1 用萃取蒸馏法从裂解产物中回收丁二烯.....	(423)
4-2 萃取蒸馏法的工艺流程.....	(426)
一、生产原理、工艺路线及主要影响因素.....	(426)
二、工艺流程及说明.....	(427)

三、三废排放及治理	429
4-3 生产丁二烯其他可供选择的方法	429
4-4 丁烯氧化脱氢生产丁二烯工艺	432
一、生产原理、工艺路线及主要影响因素	432
二、工艺流程及说明	433
三、副产品及三废治理、综合利用一览表	435
§ 5 异戊间二烯的合成	435
5-1 概述	435
5-2 异戊烷一步脱氢法生产异戊二烯工艺	437
§ 6 乙炔制造	438
6-1 制造方法	438
6-2 乙炔的应用情况	441
§ 7 芳烃的制造——裂解汽油加氢工艺	442
一、反应	442
二、流程简述	442
三、三废排放量及组成	445
第十五章 液相氧化——烃的选择性氧化工艺之一	446
§ 1 概述及的选择性氧化	446
§ 2 氧化剂	446
§ 3 液相氧化的机理	447
§ 4 乙醛的制造	449
4-1 原理和方法	449
4-2 工艺流程及三废排放	453
一、乙烯直接氧化法	453
二、乙炔水合法制乙醛	454
三、乙醇氧化法制乙醛	458
§ 5 乙酸的制造	459
5-1 用乙醛制乙酸	459
5-2 用正丁烯制醋酸	459
5-3 正丁烷的液相氧化	460
5-4 甲醇的催化制醋酸	461
5-5 未来的发展	462
5-6 乙醛氧化制乙酸的工艺流程及三废排放	462
§ 6 环己醇和己二酸的制造	463
6-1 概述	463
6-2 环己烷氧化生产己二酸的工艺流程	464
6-3 以苯为原料生产环己酮的工艺流程及三废排放	465
§ 7 苯酸和苯酚的制造	468
7-1 概述	458