

过程装备与控制工程丛书

过程装备成套技术

黄振仁 魏新利 主编

.02



化学工业出版社
教材出版中心

过程装备与控制工程丛书

过程装备成套技术

黄振仁 魏新利 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

过程装备成套技术/黄振仁, 魏新利主编,
北京: 化学工业出版社, 2001.10
(过程装备与控制工程专业丛书)
ISBN 7-5025-3422-9

I. 过… II. ①黄…②魏… III. 化工过程-化工
设备 IV. TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 069516 号

过程装备与控制工程丛书

过程装备成套技术

黄振仁 魏新利 主编

责任编辑: 程树珍

责任校对: 马燕珠

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 17 $\frac{1}{4}$ 字数 435 千字

2001 年 10 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-3422-9/TH·93

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

《过程装备成套技术》是“过程装备与控制工程”专业的一门综合性专业课程。随着现代科学技术的迅速发展和市场经济体制在我国逐步形成，社会的人才需求越来越趋向于高素质复合型。为使具备更好的社会适应能力，一方面要加强各种基本能力培养，另一方面还要进一步调整知识结构、拓宽知识面，掌握一些相近学科的知识。本课程及内容选取正是基于这样的出发点。为此，本课程的内容涉及到新产品生产工艺开发和项目可行性研究、工艺设计、经济性评价和环境评价、机器和设备的型式选择、重要工艺参数的自动控制方案选择与设计、管道设计、绝热与防腐蚀设计、装置的安装及检验、装置的试车等与过程装置设计、建设全过程有关的各种工程知识。

本课程以小型过程工业装置设计、建设所需具备的知识为构架，以学习工程材料、化工原理、过程设备设计、过程机械和过程装备控制技术及应用等课程为基础。凡上述课程中学过的内容本书原则上不再重复。补充上述课程中没涉及到的某些知识，并努力将各自独立的技术知识贯穿起来。本课程的内容选取和编写格式更接近工程实际。由于本课程具有很强的综合性和实践性，仅靠传统的课堂教学手段难以达到预期的教学效果。为此，在教学过程中将配合使用一些现代化教学手段，还拟进行一次综合性专业课程课程设计。该课程设计是一个涉及多门专业课程知识的小型工程设计。我们在本课程试行过程中遇到的最大困难是缺少适合学生课程设计使用的参考书，设计参考资料不全、不多、不新。为此《过程工业成套设备设计指南》（兼作课程设计指导书）即将出版。该参考资料将以某一过程工业生产装置的设计全过程为纲，在表达设计过程的同时，摘引所用全部最新实用设计资料，鉴于篇幅的关系，所有表格均为摘要加注出处。希望每个学生按照指南的程序基本上能够独立完成一个小型工业生产装置或其中某个局部的的设计，获得过程工业装置工程设计的基本训练。同时，“指南”可以作为本教材的辅助教学资料，起到帮助学生掌握本课程教学内容并拓宽知识面的辅助作用。

本课程大纲于1998年5月首次在由浙江大学、南京工业大学、郑州大学、北京化工大学、江苏石油化工学院、青岛化工学院、武汉化工学院等十院校组成的《化工机械专业课程体系与教学内容改革的研究》课题组工作会议上提出并进行了讨论。当年12月在南京召开专题研讨会最后确定编写大纲，会后编写工作即全面展开。本书由南京工业大学黄振仁教授和郑州大学魏新利教授任主编，江苏石油化工学院卓震教授为本书主审。参加编写的有：黄振仁（第1、10章），魏新利、刘宏（第2、3、4章），顾海明、黄振仁（第5章），廖传华、顾海明（第6章），李瑾（第7章），王定标（第8章），尹华杰（第9章），张新年（第11章），张锁龙（第12章）。

本课程是一门新设课程，在正式出版前编印了试用本，在南京工业大学和郑州大学进行了试用，同时向兄弟院校和企业、研究单位的有关人员广泛征求意见。虽然得到了很多帮助，但在内容的深广程度的把握方面仍不敢说十分恰当。又考虑到为了使本书能有较大的使

用面，内容偏于全、多一些，而且选取了一些不是很适合教学而工程实践却比较有用的资料。本书按本科3学分所需教学内容进行编写，其他情况可酌情处理。叙述性内容可自学，实践性内容可现场参观或看录像。本书也可以供“过程工业工艺”类专业学生和“过程装备与控制工程”专业大专学生使用，也可供从事过程工业生产管理的技术人员参考。

本教材编写过程中得到了有关院校的领导和教学主管部门的关心、支持和指导，许多同行也提供了很多很好的意见和建议。在本书正式出版之时向他们和所有为本书编写工作予以支持和帮助的同志表示衷心的感谢。

本书的编写历时两年多，虽然在编写过程中反复推敲、反复修改，力求为读者提供一本有实用价值的教材和参考读物，但鉴于编者的认识水平和学术水平所限，不妥之处在所难免。敬请使用本书的师生和其他读者不吝赐教，多提宝贵意见，不胜感谢。

编者

2001.1

内 容 提 要

本书是“过程装备与控制工程”专业的一门综合性专业课程，是以小型过程工业装置设计、建设所需具备的知识为构架，以“工程材料”、“化工原理”、“过程设备设计”、“过程流体机械”和“过程装备控制技术及应用”等课程为基础，内容涉及新产品生产工艺开发和项目可行性研究、工艺设计、经济性评价和环境评价、机器和设备的选型、重要工艺参数的自动控制方案选择与设计、管道设计、绝热与防腐蚀设计、装置的安装及检验、装置的试车等与过程装置设计、建设全过程有关的各种工程知识。

本书的内容选取和编写格式更接近工程实际，具有很强的综合性和实践性，可供各行业从事过程工业生产技术管理工作的技术人员参考。并可供“过程装备与控制工程”专业、“过程工业工艺”类专业本、专科学生作为选修课教材。

目 录

1 概论	1
1.1 过程工业与过程装备成套技术	1
1.1.1 过程工业	1
1.1.2 过程装备成套技术	2
1.2 典型成套装备示例	2
1.3 过程装备成套技术的主要任务和基本要求	6
学习要求	7
参考文献	7
2 工艺开发与工艺设计概述	8
2.1 工艺过程开发及工艺路线选择	8
2.1.1 工艺过程开发程序	8
2.1.2 工艺路线选择	11
2.2 工艺设计的内容及设计文件	14
2.2.1 工艺设计的内容和程序	15
2.2.2 初步设计的设计文件	15
2.2.3 施工图设计的设计文件	17
2.3 工艺设计中的全局性问题	17
学习要求	20
参考文献	20
3 经济分析与评价	21
3.1 投资估算与成本分析	21
3.1.1 工程项目投资估算	21
3.1.2 工艺装置投资估算方法	23
3.1.3 生产成本和费用分析	26
3.2 经济评价	27
3.2.1 财务评价	28
3.2.2 不确定性分析与方案比较	30
3.2.3 国民经济评价	32
3.3 环境影响评价及可行性研究报告概述	33
3.3.1 环境影响评价概述	33
3.3.2 可行性研究报告的基本要求与内容	36
学习要求	37
参考文献	37
4 工艺流程设计及设备布置设计	38
4.1 工艺流程设计及工艺流程图	38

4.1.1	工艺流程设计	38
4.1.2	工艺流程图	39
4.1.3	工艺流程图的绘制	43
4.2	设备布置设计及设备布置图	48
4.2.1	设备布置设计	48
4.2.2	设备布置图的功能及绘制	50
4.2.3	典型设备布置的原则及要求	52
	学习要求	57
	参考文献	57
5	过程装备的设计与选型	58
5.1	过程设备工艺设计	58
5.1.1	单元设备工艺设计概述	58
5.1.2	设备的工艺设计及选型	59
5.2	设备的机械结构设计	65
5.2.1	设备的常用材料及选用	65
5.2.2	设备设计的主要计算内容	68
5.2.3	特殊工作条件的设备设计	69
5.3	机器选型	71
5.3.1	机器选型的基本原则	71
5.3.2	压缩机选型	72
5.3.3	泵的选型	73
5.3.4	分离机械选型	77
5.3.5	干燥机械选型	80
5.4	驱动机的选型	82
5.4.1	电机的选型	83
5.4.2	蒸汽透平	87
5.4.3	节能措施	88
5.5	变压器选型 ^[7]	88
5.5.1	变压器的型号和额定数据	88
5.5.2	变压器的运行特性	89
5.5.3	变压器的常见故障和处理方法	90
	学习要求	91
	习题	91
	参考文献	91
6	管道设计	92
6.1	管道设计的基本要求与一般程序	92
6.1.1	管道设计的基本要求	92
6.1.2	管道设计的一般程序	94
6.2	管道组成件	95
6.2.1	管道材料选定的基本原则	95

6.2.2	管子、管件和附件	95
6.2.3	法兰连接件	96
6.2.4	阀门	97
6.2.5	其他组成件	98
6.3	装置用管道设计	99
6.3.1	管廊(管桥)和管廊上管道的布置	99
6.3.2	设备配管	102
6.3.3	机器管道设计	109
6.3.4	具有特殊要求的管道设计	115
6.3.5	管道的计算机辅助设计	116
6.4	管道设计图	117
6.4.1	管道设计图种类与绘制方法	117
6.4.2	主管布置图	117
6.4.3	管道平、立面布置图	118
6.4.4	管道空视图	121
6.5	管道应力分析	123
6.5.1	管道的载荷和应力	123
6.5.2	管道应力许用值及安全性判据	124
6.5.3	承受内压管子的强度计算	126
6.5.4	管系的热应力和柔性分析	128
6.5.5	管道补偿器和管道支吊架	137
6.6	管道的振动	143
6.6.1	往复式压缩机管道振动分析及对策	143
6.6.2	管道的液击与对策	150
6.6.3	气液两相流引起的管道振动	153
	学习要求	154
	参考文献	155
7	过程控制工程设计	156
7.1	过程控制工程设计概述	156
7.2	信号联锁系统设计	156
7.3	过程控制系统设计	158
7.3.1	过程控制系统方案的确定	158
7.3.2	过程控制系统设计注意事项	158
7.3.3	单回路控制系统设计原则	159
7.3.4	单回路控制系统设计举例	160
7.4	自动化装置选型	162
7.4.1	仪表选型	162
7.4.2	控制阀选型	166
7.5	微机控制系统设计步骤	167
7.6	DCS及FCS	171

7.6.1	基本概念	171
7.6.2	用 Field Point 组成的 FCS 系统	173
7.6.3	工业自动化组态软件 Lookout	174
	学习要求	175
	参考文献	175
8	绝热设计	177
8.1	概述	177
8.2	绝热材料的选择	178
8.2.1	绝热层材料的性能要求	178
8.2.2	防潮层材料的性能要求	180
8.2.3	保护层材料的性能要求	180
8.3	绝热结构设计	181
8.3.1	绝热结构的基本要求	181
8.3.2	绝热结构形式	181
8.3.3	绝热结构设计要求	182
8.4	绝热计算	184
8.4.1	绝热层厚度的计算原则	184
8.4.2	绝热计算数据的选取	185
8.4.3	绝热层厚度的计算	185
8.5	绝热施工检验与验收	190
8.5.1	材料的检验	190
8.5.2	施工过程中的检验	191
8.5.3	绝热工程验收及交工	192
	学习要求	193
	习题	193
	参考文献	193
9	防腐工程	194
9.1	概述	194
9.1.1	金属材料腐蚀的分类	194
9.1.2	非金属材料腐蚀的分类	195
9.1.3	影响金属腐蚀的因素	196
9.2	环境处理防腐蚀方法	197
9.2.1	除去环境中腐蚀性物质的方法	197
9.2.2	在环境中添加防腐蚀成分的方法	197
9.2.3	通过腐蚀监控进行防腐管理	200
9.2.4	环境处理方法的技术进展	202
9.3	表面覆盖层防腐方法	202
9.3.1	防腐涂料涂装	203
9.3.2	金属覆盖层	204
9.3.3	表面覆盖层防腐方法的技术进展	205

9.4	防腐蚀衬里	206
9.4.1	常用衬里	206
9.4.2	衬里技术进展	208
9.5	电化学保护技术	209
9.5.1	电化学保护法	209
9.5.2	电化学保护的应用	212
9.6	防腐蚀施工与检验	213
9.6.1	施工准备	213
9.6.2	施工人员责任制和安全防范制度	213
9.6.3	防腐蚀基体的处理与施工	213
9.6.4	工程验收	214
9.7	设备设计时防止腐蚀的方法简介	215
	学习要求	216
	参考文献	216
10	过程装备安装	218
10.1	安装前的准备	218
10.1.1	过程装备基础设计概述	218
10.1.2	过程装备安装前的准备工作	219
10.1.3	常用起重吊装机械简介	222
10.2	设备安装	224
10.2.1	大型重设备的运输和就位	224
10.2.2	过程设备安装基本知识	225
10.2.3	设备安装	230
10.3	机器安装	235
10.3.1	机器的安装程序	236
10.3.2	对中检测的操作方法	237
10.3.3	离心压缩机的整体安装	238
10.3.4	现场组装的活塞式压缩机安装	239
10.4	管道安装	242
10.4.1	管道的工厂预制	243
10.4.2	管道安装	244
	学习要求	246
	习题	246
	参考文献	246
11	试车	247
11.1	概述	247
11.2	试车准备	247
11.3	模拟试车	252
11.4	投料试车和性能测试	253
11.4.1	投料试车	253

11.4.2	性能测试	254
11.4.3	试车中的故障分析及安全操作规程	255
11.5	试车报告	255
	学习要求	256
	参考文献	256
12	成套装置举例	257
12.1	乙烯装置的生产工艺流程	257
12.2	主要设备	261
12.2.1	裂解设备——管式炉	261
12.2.2	压缩机	263
12.3	自动控制	265
12.3.1	自控仪表选型	265
12.3.2	精馏塔的自动控制	268
	学习要求	272
	参考文献	272

1 概 论

1.1 过程工业与过程装备成套技术

1.1.1 过程工业

在工业生产中，很多生产过程处理的物料为流程性物料，如气体、液体、粉体等。从原材料到最后产品的生产过程中要进行一系列的化学、物理过程，以改变物质的状态、结构、性质；生产过程中原料和中间反应产物往往还需要传输。过程工业是以流程性物料为主要处理对象、完成上述各种过程或其中某些过程的工业生产之总称。过程工业中进行的各种化学、物理过程往往在密闭状态下连续进行，它遍及几乎所有现代工业生产领域。过程工业的任何一个生产装置都需要使用多种机器、设备。化学工业是最传统、典型的过程工业，化肥、石油化工、生物化工、制药、农药、染料、食品、炼油、轻工、热电、核工业、公用工程、湿法冶金、环境保护等生产过程大都处理流程性物料，处理过程中几乎都包含改变物质的状态、结构、性质的生产过程。这些工业都属于过程工业。在这些过程中都需要使用多种机器、设备、管道，如各种型式的压缩机、泵、换热设备、反应设备、塔设备、干燥设备、分离设备、储罐、炉窑、管子、管件等，以完成生产过程中的各种化学反应、热交换、不同成分的分离、各种原料（包括中间产物）的传输、气体压缩、原料和产品的储存等。在过程工业中过程装备是装置的主体，但只有这些机器、设备还不能完成生产的全过程，它们之间还要用各种管道连接起来才能形成一个完整的系统，为保证各种机器、设备正常运行，在关键部位还要设置各种参数显示和控制装置，如压力表、温度计、流量计、液位计或相应的自动检测、控制装置等。如当压缩机排气压力超标时自动打开安全阀，锅炉、锅筒液位过高、过低自动报警等，具有自控功能，自动调整有关工艺参数。这样，构成一个完整的过程工业的生产系统，并保持生产正常进行。

石油化工的年产 30 万 t 乙烯工厂的各种生产装置和主要机器、设备是压缩机、泵、换热器、反应设备、塔设备、储罐等。它以流程性物料石油及其某些产品为原料，经过各种化学、物理变化，生产出状态、结构、性质完全不同的聚乙烯、聚丙烯、乙二醇等产品，它是一种过程工业。炼油厂将流程性物料原油经分馏等处理过程，生产出工业和日常生活所需要的汽油、煤油、柴油及其他各种油品，其结构、性质发生了变化，生产过程中所用到主要的机器、设备还是各种泵、压缩机、换热器、塔设备、储罐和各种自动检测、控制装置。所以，炼油也是一种过程工业。随着工业的发展，工业生产产生的废气、废液、废渣越来越多，严重污染人类的生存环境。“三废”的治理已越来越引起人们的广泛重视，其中很多治理过程处理的物料也往往是流程性的，也要进行化学、物理过程，也要用到各种反应设备、换热设备、塔设备、压缩机、泵、离心机等，经过处理，物质的状态、结构、性质发生了变化。所以，它们也是一种过程工业。

同样的道理，制药、农药、染料、食品、轻工、热电、核工业、公用工程、湿法冶金等许多工业领域中若干生产过程都可以归入过程工业。

1.1.2 过程装备成套技术

过程工业装置种类繁多，用途各异。它们都要用到多种机器、设备。但只有机器和设备还不能完成工业生产的任务，需要用由各种组成件构成的管道将它们联系起来，形成一个连续、完整的系统，即将所需的机器、设备按工艺流程要求组装成一套完整的装置，并配以必要的控制手段才能达到预期的目的。而且机器和设备都有不同的型号、规格，如何选择性能好又经济的机型、规格是一个十分重要而又很复杂的问题。另外，有些反应、传热、压缩过程有自己的特殊性，有可能没有现存、理想的机器和设备型号，需作专门的设计。有了主体设备、机器和管道还要按照一定的技术要求运输到现场，并安装定位，最后还要检验、试车。达到了预定的技术要求和技术指标后才能投入正常运行。完成所有这些工作所涉及的各项技术就构成了本书所指的“过程装备成套技术”。

1.2 典型成套装备示例^[1,2]

成套装备是为生产某些产品或完成一定任务所必需的整套设备，过程工业成套装备是过程工业生产用的主要机器、设备和各种辅助设备由管道连接起来组成的一个能完成特定工艺过程的一整套设备。在化工、化肥、石油化工、制药、染料、农药、轻工、生物工程、环保等各种过程工业中都有广泛的应用。只要仔细分析一下，就不难发现各种生产装置的基本组成并没有根本的不同。图 1-1 是化肥工业中一个典型的生产过程——氨的合成。图为中压法合成氨生产流程，主要设备有合成塔、冷凝塔、水冷凝器、氨蒸发器、氨分离器和过滤器等，机器有循环气压缩机。这些机器设备之间用管子和阀门、弯头、三通等管件相连接，形成了一个能够实现氨合成生产过程的成套装备。

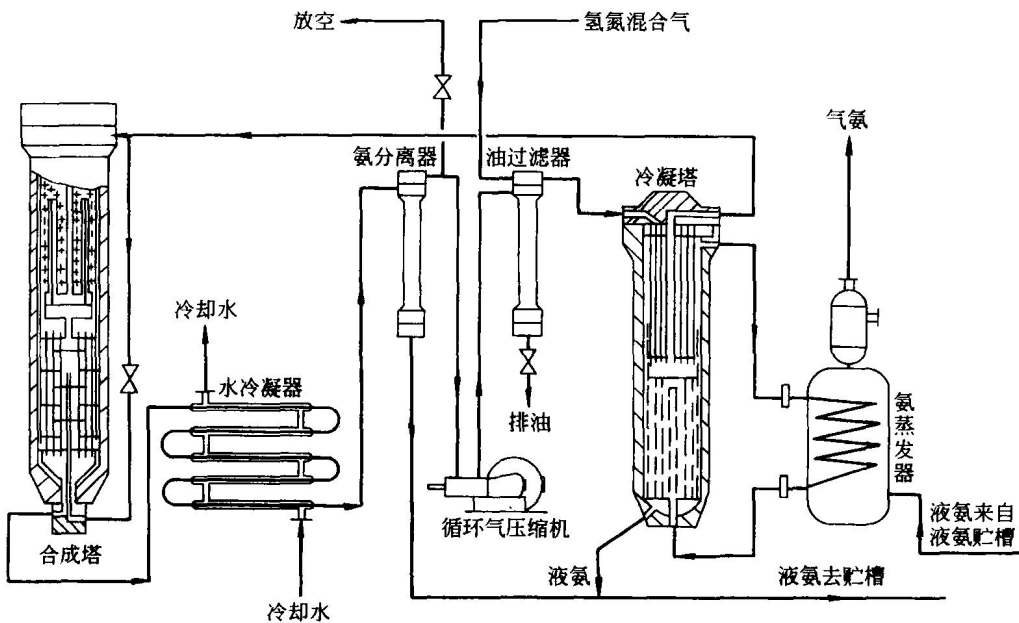


图 1-1 中压法合成氨生产流程

图 1-2 为基础化学工业的冷法联合制碱生产流程，这个生产过程，由盐析结晶器上部溢流出的母液（Ⅱ）经贮槽由泵送入热交换器。经吸氨器吸收气氨，制成氨母液（氨盐水）。

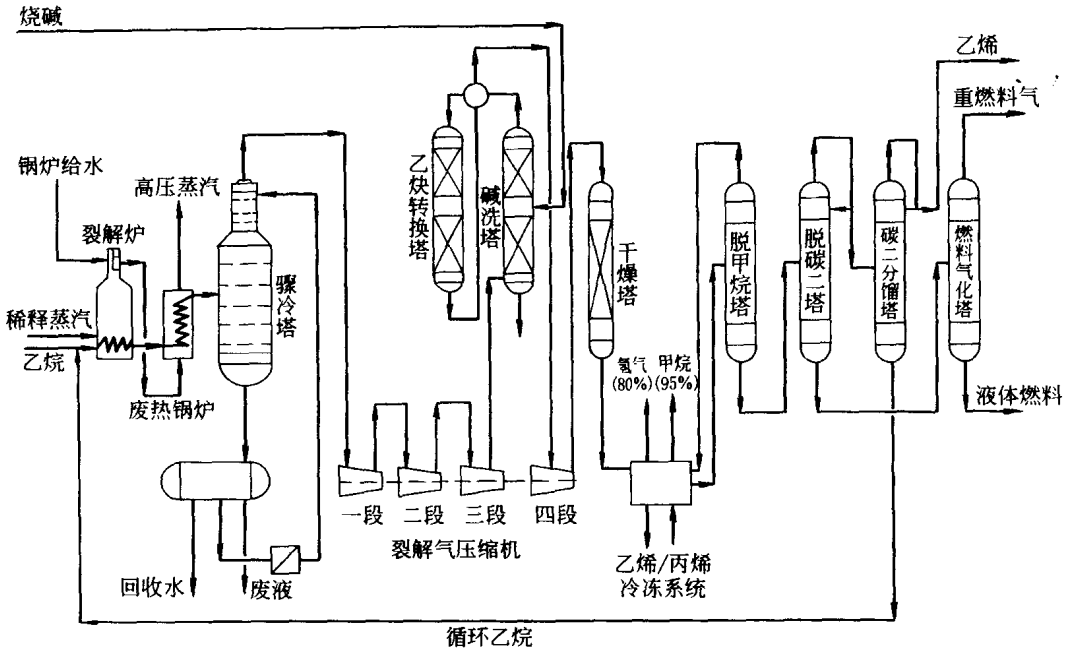


图 1-3 管式炉乙烷裂解制乙烯生产流程

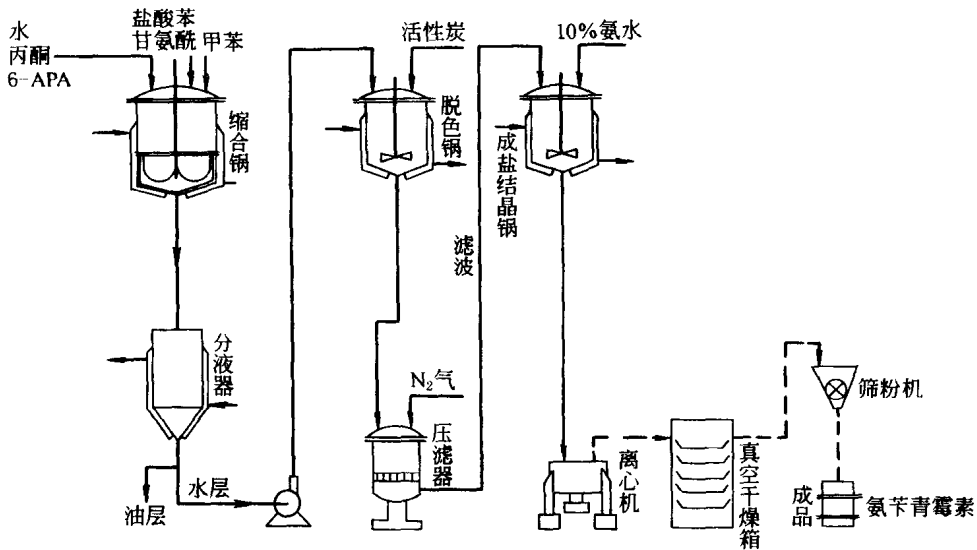


图 1-4 氨苄青霉素生产流程

锅、成盐结晶锅都是带搅拌的反应釜，离心机、筛粉机都是机器。分液器、压滤器、干燥箱则是完成某种特定要求的设备。

图 1-5 是颜料分散红 3B 的生产流程，主要生产工序为溴化、水解、缩合和后处理，主要设备是搅拌反应釜、喷雾干燥器和干燥箱、吸收塔、拼混机，压滤机等。

随着工业的发展，工业生产废弃物的排放严重影响人类生存环境质量，环境保护已提到议事日程。国家对废水、废气、废渣的排放陆续制定有关标准。对“三废”的治理已经逐步与主产品生产放到同等的重要位置。图 1-6 是废有机氯化物中盐酸的回收流程。整个工艺包

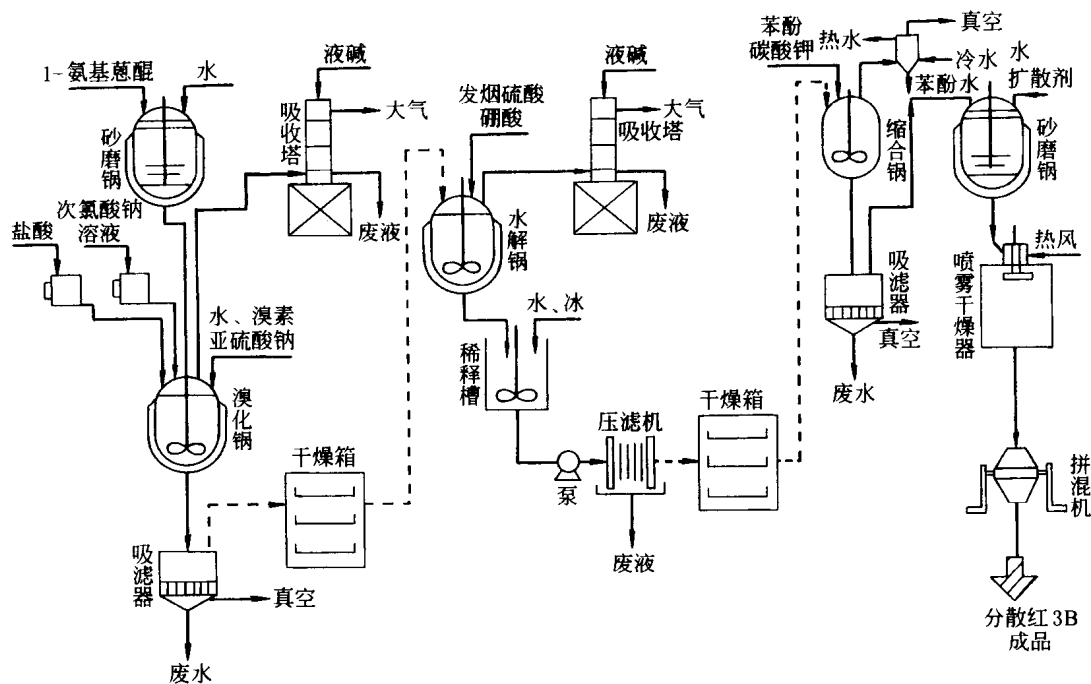


图 1-5 分散红 3B 生产流程

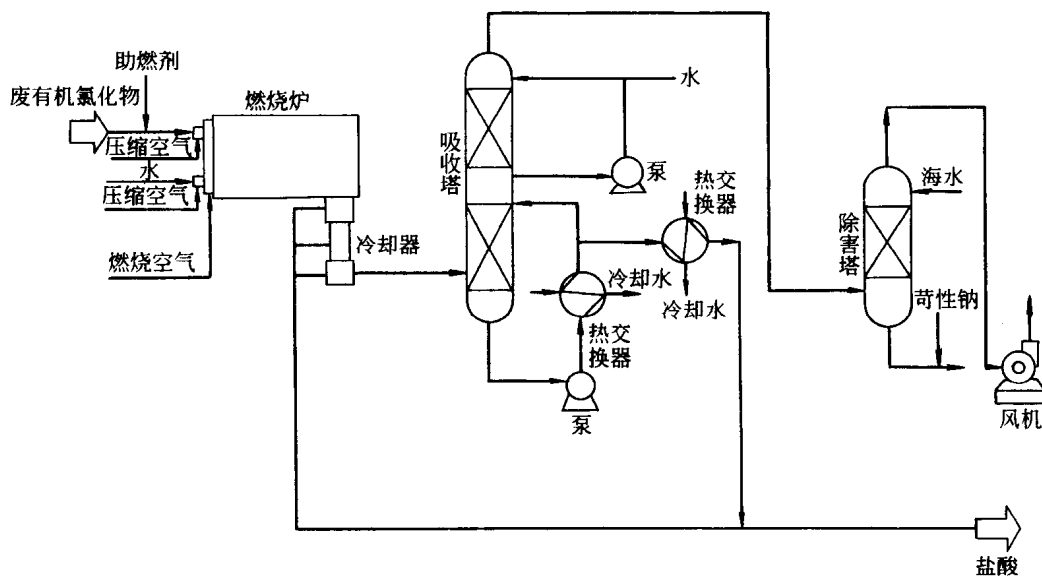


图 1-6 废有机氯化物中盐酸的回收

括燃烧、急冷、吸收和除害等工序。所用的设备归结起来就是燃烧炉、塔设备、换热设备和泵。这些设备也是用管子、管件、阀门等连接起来。

还可以列举很多过程工业生产中不同产品的生产流程，通过分析可以看出，所有的生产过程都是以各种机器和设备为基础，伴以不同的输送手段，同时，大多为连续生产。不同产品使用的机器和设备各不相同，根据它们的作用大致可以分为：反应设备，如搅拌反应釜、