

精细化学品生产技术专业（群）重点建设教材

国家骨干高职院校项目建设成果

浙江省精细化学品生产技术优势专业项目建设成果

精细有机单元 反应与工艺

俞铁铭 童国通 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

精细化学品生产技术专业(群)重点建设教材

国家骨干高职院校项目建设成果

浙江省精细化学品生产技术优势专业项目建设成果

精细有机单元反应 与工艺

俞铁铭 童国通 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

精细有机单元反应与工艺 / 俞铁铭, 童国通编著
—杭州: 浙江大学出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-308-14263-2

I. ①精… II. ①俞… ②童… III. ①精细化工—有机合成 IV. ①TQ2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 303638 号

精细有机单元反应与工艺

俞铁铭 童国通 编著

责任编辑 石国华

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排版 杭州星云光电图文制作有限公司

印刷 富阳市育才印刷有限公司

开本 710mm×1000mm 1/16

印张 9

字数 180 千

版印次 2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-308-14263-2

定价 25.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcb.tmall.com>

内容提要

本书突出职业教育特点,从培养技术技能型人才的目的出发,贯彻“少而精”的原则,强调以内容“够用”为度,加强实践性。本书按项目化教学设计要求与思路,重新组织实践与理论知识的编排,选用 β -萘乙醚、柠檬酸三丁酯、正溴丁烷、对甲苯磺酸钠、对二氯硝基苯和苯甲酸的制备等六个真实项目分别对接烷基化、酰基化、卤化、磺化、硝化和氧化等重要单元反应与工艺,并选择了六个工业生产实例供学习参考。

本书可作为高职高专精细化工技术、应用化工技术等专业师生的教学用书,也可供从事化工生产等相关领域技术人员参考。

丛书编委会

主 任 谢萍华 何 艺

成 员 (按姓氏笔画排序)

干雅平 马占青 朱海东

吴 健 吴 霜 张永昭

张惠燕 陈 郁 林忠华

俞卫阳 俞铁铭 饶君凤

徐明仙 童国通 童鲁海

前 言

精细化学品的生产可通过若干个有机合成的基本反应来完成,这些基本反应就是精细有机单元反应。精细有机化学品种类繁多,但合成这些化合物的常见单元反应不多。常见精细有机单元反应包括烷基化、酰化、卤化、磺化、硝化、氧化、还原等十几个反应类型。

本教材以精细化工技术专业相关工作任务和职业能力分析为依据来确定教学目标,设计与选择教材内容,所选内容与要求的确定充分考虑了精细化工工艺员和研发助理岗位对产品合成技术与工艺的职业技能相关要求。教材以典型精细有机化学品合成制备为项目进行设计,以工作任务为线索构建任务引领型理论与实践一体化项目,融入了单元反应基本理论。为了充分体现任务引领、实践导向的教学思想,每个教学项目设计都分解成若干个工作任务,包括资料检索、合成任务的解读、合成路线选择、反应装置确定、单元反应的控制和操作、产品检测和相关项目拓展训练等,以工作任务引出相关专业技能与知识的学习。教材以重要精细化学品的制备合成反应为载体,展开常见单元反应的学习,有利于熟悉重要单元反应的一般规律。教学活动设计由易而难,多采用讨论、实际操作、师生互动的课内外活动形式,使学生掌握常见重要单元反应的基本理论和方法、影响因素、工艺流程与设备及相关工业化生产方法,以及典型精细化学品的小试合成技术,并予师生以想象和创新的空間,提高学生的实践技能。

本教材以认识单元反应为入门,依次选用 β -萘乙醚、柠檬酸三丁酯、正溴丁烷、对甲苯磺酸钠、对二氯硝基苯和苯甲酸的制备等六个真实项目分别对接烷基化、酰基化、卤化、磺化、硝化和氧化等六个常见重要单元反应与工艺,并提供了相关拓展项目与习题思考,有利于学生的自主学习能力的提高。

本教材第一至三章由俞铁铭编写;第四章由吕路平编写;第五章由李晓敏编写;第六章由童国通编写;第七章由张永昭编写,并由俞铁铭、童国通负责统稿。在编写过程中受到浙江巨化集团技术中心胡群义高工、杭州恒升化工有限公司周增勇高工的指导与帮助,并提出了宝贵建议与意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免不妥和错误,恳请读者批评指正。

编 者
2014 年 9 月

总 序

2008年,杭州职业技术学院提出了“重构课堂、联通岗位、双师共育、校企联动”的教改思路,拉开了教学改革的序幕。2010年,学校成功申报为国家骨干高职院校建设单位,倡导课堂教学形态改革与创新,大力推行项目导向、任务驱动、教学做合一的教学模式改革与相应课程建设,与行业企业合作共同开发紧密结合生产实际的优质核心课程和校本教材、活页教材,取得了一定成效。精细化学品生产技术专业(群)是骨干校重点建设专业之一,也是浙江省优势专业建设项目之一。在近几年实施课程建设与教学改革的基础上,组织骨干教师和行业企业技术人员共同编写了与专业课程配套的校本教材,几经试用与修改,现正式编印出版,是学校国家骨干校建设项目和浙江省优势专业建设项目的教研成果之一。

教材是学生学习的主要工具,也是教师教学的主要载体。好的教材能够提纲挈领,举一反三,授人以渔。而工学结合的项目化教材则要求更高,不仅要有广深的理论,更要有鲜活的案例、科学的课题设计以及可行的教学方法与手段。编写者在编写的过程中以自身教学实践为基础,吸取了相关教材的经验并结合时代特征而有所创新,使教材内容与经济社会发展需求的动态相一致。

本套教材在内容取舍上摒弃求全、求系统的传统,在结构序化上,首先明确学习目标,随之是任务描述、任务实施步骤,再是结合任务需要进行知识拓展,体现了知识、技能、素质有机融合的设计思路。

本套教材涉及精细化学品生产技术、生物制药技术、环境监测与治理技术3个专业共9门课程,由浙江大学出版社出版发行。在此,对参与本套教材的编审人员及提供帮助的企业表示衷心的感谢。

限于专业类型、课程性质、教学条件以及编者的经验与能力,难免存在不妥之处,敬请专家、同仁提出宝贵意见。

谢萍华

2014年12月

目 录

1 入门——认识单元反应	(1)
1.1 单元反应	(1)
1.1.1 精细化学品	(1)
1.1.2 单元反应	(3)
1.2 单元反应器	(4)
1.2.1 单元反应器的要求	(4)
1.2.2 反应器的分类	(5)
1.2.3 反应器的操作方式	(7)
1.3 单元反应的计算	(8)
1.3.1 反应物过量	(8)
1.3.2 转化率、选择性和收率	(9)
1.3.3 原料消耗定额和原子利用率	(11)
1.4 单元反应影响因素	(12)
1.4.1 温度	(12)
1.4.2 反应物浓度及配比	(12)
1.4.3 压力	(13)
1.4.4 原料纯度及杂质	(13)
1.4.5 加料方式与次序	(13)
2 烷基化反应及工艺	(17)
2.1 教学项目设计—— β -萘乙醚的制备	(17)
2.1.1 任务一:认识制备 β -萘乙醚的原理	(18)
2.1.2 任务二:设计 β -萘乙醚制备过程	(19)
2.1.3 任务三:制备 β -萘乙醚	(20)
2.2 烷基化反应知识学习	(21)
2.2.1 芳环上的 C-烷基化	(22)
2.2.2 N-烷基化	(26)
2.2.3 O-烷基化	(28)
2.2.4 相转移催化	(29)

2 精细有机单元反应与工艺

2.3 相关项目拓展	(30)
2.3.1 双酚 A 的制备	(30)
2.3.2 N,N-二甲基十八胺生产实例	(32)
3 酰化反应及工艺	(35)
3.1 教学项目设计——柠檬酸三丁酯的制备	(35)
3.1.1 任务一:认识制备柠檬酸三丁酯的原理	(36)
3.1.2 任务二:设计柠檬酸三丁酯制备过程	(37)
3.1.3 任务三:制备柠檬酸三丁酯	(40)
3.2 酰化反应知识学习	(40)
3.2.1 C-酰化	(41)
3.2.2 N-酰化	(45)
3.2.3 O-酰化(酯化)	(47)
3.3 相关项目拓展	(52)
3.3.1 邻苯二甲酸二丁酯制备	(52)
3.3.2 邻苯二甲酸二辛酯生产实例	(55)
4 卤化反应及工艺	(58)
4.1 教学项目设计——正溴丁烷的制备	(58)
4.1.1 任务一:认识制备正溴丁烷的原理	(59)
4.1.2 任务二:设计正溴丁烷制备过程	(60)
4.1.3 任务三:制备正溴丁烷	(61)
4.2 卤化反应知识学习	(64)
4.2.1 取代卤化反应	(65)
4.2.2 加成卤化反应	(68)
4.2.3 置换卤化反应	(70)
4.3 相关项目拓展	(71)
4.3.1 2,4-二氯苯氧乙酸的制备	(71)
4.3.2 四溴双酚 A 生产实例	(73)
5 磺化反应与工艺	(76)
5.1 教学项目设计——对甲苯磺酸钠的制备	(76)
5.1.1 任务一:认识制备对甲苯磺酸钠的原理	(77)
5.1.2 任务二:设计对甲苯磺酸钠制备过程	(78)
5.1.3 任务三:制备对甲苯磺酸钠	(79)
5.2 磺化反应知识学习	(80)

5.2.1 磺化剂	(81)
5.2.2 磺化反应原理	(83)
5.2.3 磺化反应的影响因素	(84)
5.2.4 磺化方法	(86)
5.2.5 脂肪醇的硫酸化	(92)
5.3 相关项目拓展	(93)
5.3.1 十二烷基苯磺酸钠的制备	(93)
5.3.2 2-萘磺酸的生产实例	(94)
6 硝化反应及工艺	(97)
6.1 教学项目设计——对二氯硝基苯的制备	(97)
6.1.1 任务一:认识制备 2,5-二氯硝基苯的原理	(98)
6.1.2 任务二:设计 2,5-二氯硝基苯制备过程	(99)
6.1.3 任务三:制备 2,5-二氯硝基苯	(100)
6.2 硝化反应知识学习	(101)
6.2.1 硝化反应原理	(102)
6.2.2 硝化反应影响因素	(105)
6.2.3 硝化方法	(107)
6.3 相关项目拓展	(111)
6.3.1 对硝基乙酰苯胺的制备	(111)
6.3.2 硝基苯的生产实例	(113)
7 氧化反应与工艺	(116)
7.1 教学项目设计——苯甲酸的制备	(116)
7.1.1 任务一:认识制备苯甲酸的原理	(117)
7.1.2 任务二:设计苯甲酸制备过程	(118)
7.1.3 任务三:制备苯甲酸	(119)
7.2 氧化反应知识学习	(120)
7.2.1 化学氧化法	(120)
7.2.2 空气液相氧化法	(123)
7.2.3 空气的气-固相接触催化氧化法	(125)
7.3 相关项目拓展	(128)
7.3.1 对硝基苯甲醛的制备	(128)
7.3.2 过氧化月桂酰的工业生产实例	(131)
参考文献	(134)

1 入门——认识单元反应



教学目标

通过本章入门知识的学习,认识单元反应的分类,了解单元反应的影响因素,学会反应过程的相关计算,知晓单元反应所配套应用的反应器,培养学生严谨的学习态度、敢于探索与实事求是的科学精神。

1.1 单元反应

诺贝尔化学奖获得者野依良治博士曾经指出有机合成的两大任务:一是实现有价值的已知化合物的高效生产,二是创造新的有价值的物质与材料。这里所说的有价值的化合物或物质多指精细有机化学品。精细有机化学品种类繁多,但合成这些化合物的常见单元反应不多,主要包括烷基化、酰化、卤化、磺化、硝化、氧化、氯化、还原等十几个单元反应类型。

1.1.1 精细化学品

精细化学品(Fine Chemicals),就是精细化工产品。生产精细化学品的化工企业通称精细化学工业,简称精细化工。国内外对于精细化学品的释义有以下三种说法。

第一种,传统的释义是指产量小、附加值高、有特定功能和专用性质的化工产品。

第二种,美国克林教授提出的先把化学品分为两类:具有固定熔点或沸点,能以分子式或结构式表示其结构的,称为无差别化学品;没有固定熔点或沸点,不能以分子式或结构式表示其结构的,称为差别化学品。克林据此将精细化学品分为以下四类。

(1)通用化学品:指大量生产的无差别化学品。如无机物中的酸、碱、盐,以及有机物中的甲醇、乙醇、乙醛、丙酮、乙酸、氯苯、硝基苯、苯胺、苯酚等。

(2)准通用化学品:指较大量生产的差别化学品。如三大合成材料(塑料、合成纤维、合成橡胶)等。

2 精细有机单元反应与工艺

(3)精细化学品:指小量生产的无差别化学品。即小量生产的、有固定熔点或沸点、有明确的化学结构的化学品。如原料医药、原料农药、原料染料。

(4)专用化学品(Specialty Chemicals):指小量生产的差别化学品。即小量生产的、无固定熔点或沸点、无明确的化学结构的化学品。如医药制剂、农药制剂、商品染料、催化剂、助剂、涂料和胶粘剂等。

上述分类方法为欧美采用。

第三种,以日本为代表,指具有高附加价值、技术密集型、设备投资少、多品种、小批量生产的化学品。即把克林教授释义的精细化学品和专用化学品统称为精细化学品。我国采用日本对精细化学品的释义,把专用化学品也归入精细化学品之列。

国内外对于精细化工产品的分类存在着不同的观点。按照应用性能分类较多,大体可归纳为:医药、农药、合成染料、有机颜料、涂料、香料与香精、化妆品与盥洗卫生品、肥皂与合成洗涤剂、表面活性剂、印刷油墨及其助剂、粘结剂、感光材料、磁性材料、催化剂、试剂、水处理剂与高分子絮凝剂、造纸助剂、皮革助剂、合成材料助剂、纺织印染剂及整理剂、食品添加剂、饲料添加剂等 40 多个行业和门类。

中国精细化工产品 1986 年首先由化工部提出一种暂行分类方法,包括 11 个产品类别:农药、染料、涂料(包括油漆和油墨)、颜料、试剂和高纯物质、信息用化学品、食品和饲料添加剂、粘合剂、催化剂和各种助剂、(化工系统生产的)化学药品(原料药)和日用化学品、高分子聚合物中的功能高分子材料(包括功能膜、偏光材料等)。如图 1-1 所示。

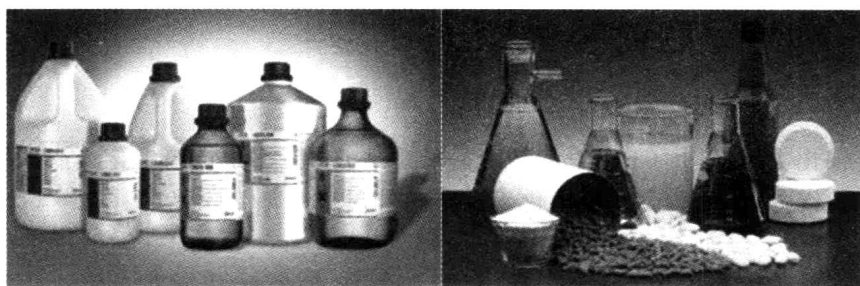


图 1-1 部分精细化工产品

精细化学品特点总结为以下五方面:

(1)具有特定功能。对于任何一种化工产品来说,都有各自的性能。例如,化肥是作为植物的营养剂;塑料则具有一定的强度,耐酸、耐腐蚀。与这些大宗化工产品的性能不同,精细化学品则需要具有特定的功能,即应用的对象比较狭窄,专用性强而通用性弱。如塑料阻燃剂就是为了阻止塑料的燃烧;食品香料就是为了食品的调味;酸性染料只能用于丝绸、羊毛、尼龙及皮革的染色;表面活性剂根据结构而用于分散、乳化、固色等;医药更是如此,大众用的阿司匹林专门用于解热镇痛等等。

(2)技术密集程度高。精细化工产品具有研究开发投资高、更新换代快、市场寿命短、技术专利性强、市场竞争激烈等特点。

(3)小批量,多品种。相对于大宗化工产品而言,精细化学品批量小但品种多。批量小是由于应用的特定性能,往往需求量不大,如食品添加剂,用量是 10^{-6} g;医药原料药,患者服用的西药也是以毫克计;染料在纺织上染色时其质量不过是织物质量的 3%~5%。所以对于每一个具体品种来说,其产量就不可能很大。少则年产几百斤到几吨,如香精甚至可以在实验室生产;多则也有上千吨的,如洗衣粉中的主要成分直链烷基苯磺酸钠、医药阿司匹林等。多品种的特点与特定功能及批量小有关。如世界各国生产的不同结构的染料品种多达 5000 余种,年产量在 80 吨左右,其中已经公布化学结构的有 1000 多种。

(4)生产固定投资少,资金产出率高。例如,1 美元石油化工原料经一次加工可产出初级产品 2 美元,二次加工成有机中间体可增值到 4.8 美元,加工成塑料可增值到 5 美元,加工成合成纤维可增值到 10 美元,而加工成精细化学品则可增值到 106 美元。

(5)反应步骤多,生产规模小,常采用间歇式生产工艺。精细有机化工产品涉及的单元反应很多,任何一种合成原料药都要几步甚至几十步反应。虽然生产流程较长,但规模小,单元设备投资费用低。

1.1.2 单元反应

在精细化学品的分子中引入或形成各种取代基团以及形成杂环或新的碳环的化学反应称为单元反应。重要的单元反应如下:

(1)卤化反应:在有机物分子中引入卤素的反应。

(2)磺化反应:在有机物分子中引入 $-\text{SO}_3\text{H}$ 或 $-\text{SO}_2\text{Cl}$ 的反应。

(3)硝化反应:有机物分子中的氢原子或基团被 $-\text{NO}_2$ 取代的反应。

(4)还原反应:有机物分子中增加氢或减少氧,或两者兼而有之的反应。主要指硝基或其他含氮基的还原反应,用于形成 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{NHOH}$ 、 $-\text{NH}-\text{NH}-$ 、 $-\text{NHNH}_2$ 等。

(5)氨解和胺化反应:用胺化剂将已有的取代基置换成氨基、烷胺基或芳胺基的反应。

(6)烷基化反应:在有机物分子中的碳、氮或氧原子上引入烃基的反应,包括引入烷基、烯基、炔基、芳基等。

(7)酰化反应:在有机物分子中的碳、氮、氧原子上引入脂肪族或芳香族酰基的反应。

(8)羟基化反应:在有机物分子中引入羟基的反应。

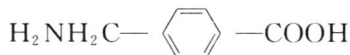
(9)氧化反应:主要是指在氧化剂存在时,有机物分子中增加氧或减少氢,或两者兼而有之的反应。

(10)缩合反应:两个或多个有机化合物分子放出水、氨、氯化氢等简单分子而生成一个较大分子的反应。

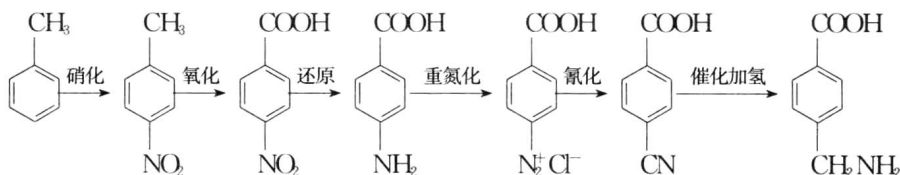
(11)重氮化及重氮基的转化:芳香族伯胺与亚硝酸作用生成重氮基的反应称为重氮化反应。重氮基可以进一步转化成 $-Cl$ 、 $-Br$ 、 $-I$ 、 $-OH$ 、 $-CN$ 等。

上述单元反应可以归纳为三种类型。第一类是在有机物分子中,碳原子上的氢被不同取代基所取代的反应,例如卤化、磺化、硝化和亚硝化、C-酰化、C-烷化等。第二类是碳原子上的取代基转化为另一种取代基的反应,例如还原、胺化、O-烷化及N-烷化、N-酰化、羟基化、氧化、重氮化及重氮基的转化等。第三类是在有机物分子中形成新的碳环或杂环的反应,即成环缩合。

精细化学品的品种成千上万,不可能也没必要逐个学习其合成过程。每一类单元反应具有许多共同的特点,在掌握了这些单元反应的一般原理、规律和方法后,合成不同的精细化学品时,可以根据原料的来源采用上述几个单元反应,同时配合相应的分离、蒸馏、干燥等化工过程,我们就可以设计出相应的合成路线,生产出需要的产品。例如,止血药对氨基苯甲酸(又称抗血纤溶芳酸)的合成,其结构为:



用甲苯为基本原料,经硝化、氧化、还原、重氮化、氰化与催化加氢共六步反应合成。反应合成路线如下:



1.2 单元反应器

单元合成反应是在反应设备(即合成反应器或单元反应器)内进行的,反应器也就成为化工生产的关键设备。

1.2.1 单元反应器的要求

单元反应器在结构上和材料上必须满足以下基本要求:

(1)对反应物系,特别是对非均相的气-液两相、气-固两相、液-液两相、液-固两相、气-固-液三相反应物系,提供良好的传质条件,便于控制反应物系的浓度分布,以利于目的反应的顺利进行。

(2)对反应物系,特别是强烈放热或强烈吸热的反应物系,提供良好的传热条

件,以利于反应热量移除和供给,便于反应物系的温度控制。

(3)在反应的温度、压力和介质的条件下,具有良好的机械强度和耐腐蚀性能等。

(4)能适应反应器的操作方式(间歇操作或连续操作)。

(5)安全性好,易操作控制,便于制造、安装与维修。

1.2.2 反应器的分类

由于化学反应的类型很多、反应物料聚集状态不同、反应条件差别很大,因此反应器是多种多样的。反应器的分类,可按物料的聚集状态、反应操作方式、反应器换热方式、反应温度控制方式和反应器结构等不同加以分类。这里仅介绍按反应器结构不同的分类方式。

按反应器结构外形可将其分为锅型反应器、管型反应器和塔型反应器。

1. 锅型反应器

锅型反应器也称为釜式反应器、反应釜、反应锅或槽型反应器。其结构如图1-2所示。它是由筒体1、夹套2、盖3、搅拌器4、蛇管5等构成。搅拌器的作用是使反应物均匀混合,夹套和蛇管的作用是使反应能够保持在某一规定的温度下进行。釜式反应器应用范围广,主要用于液相均相反应,液-液、气-液、气-液-固等非均相反应;适应性强,可间歇操作,也可连续操作,且投资少,便于操作。

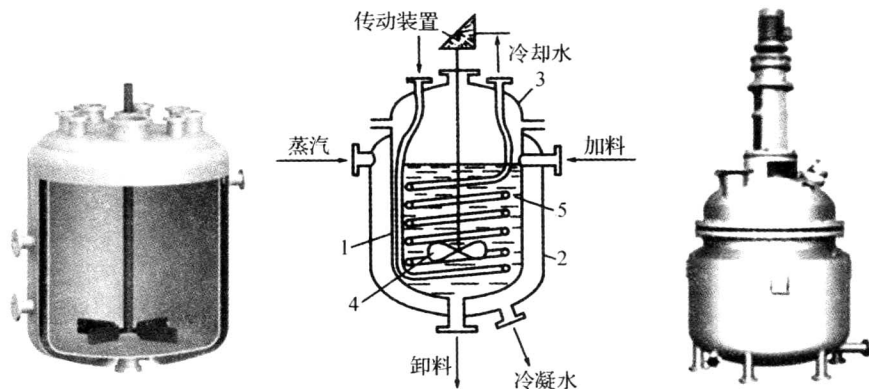
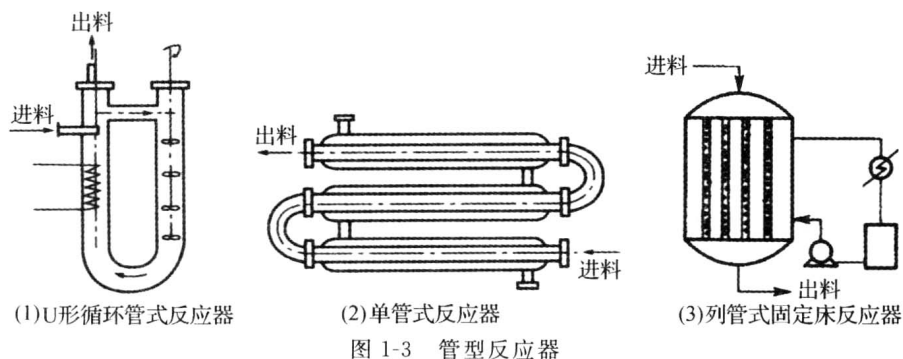


图 1-2 釜式反应器

2. 管型反应器

管型反应器也称为管式反应器,管型反应器可以由一根或若干根管串联或并联构成(图1-3)。这类装置非常适用于气相反应系统或均相液-液反应系统,并适宜进行高温、高压反应;对于液-液非均相反应,一般采用单管式反应器;对于气-固相反应,可选用列管式反应器,主要用于连续操作。



3. 塔型反应器

鼓泡式反应器和流化床反应器都属于这类反应器。

如图 1-4 所示是气液连续鼓泡塔的示意图。这类反应器最简单的结构为一个空圆柱体，塔的底部有多孔板，使气体分散成为适宜尺寸的气泡，以便气体均匀通过床层。床内充满液体反应物。液态物料以连续方式从塔底加入而自塔顶引出，气体以气泡形式通过液相后自塔顶逸出。气体反应物溶解进入液相后，与液相中的反应物发生反应。鼓泡塔主要适用于气-液相反应，通常采用连续操作。

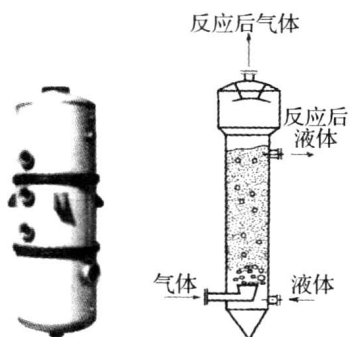


图 1-4 气液连续鼓泡塔

塔式设备的外形基本相同，内部结构则根据物料性质、用途而异。不仅可作气体、液体物料的化学反应器，最主要的应用是作为蒸馏、萃取、吸收、吸附等过程的设备，也可以作气体的净化、除尘和冷却。

流化床反应器的基本结构如图 1-5 所示。它的主要部件是壳体、气体分布板、热交换器和催化剂回收装置。有时为了减少反向混合并改善流态化质量，还在催化剂床层内附加挡板或挡网等内部构件。流化床反应器主要适用于气-固相催化反应，采用连续操作方式。

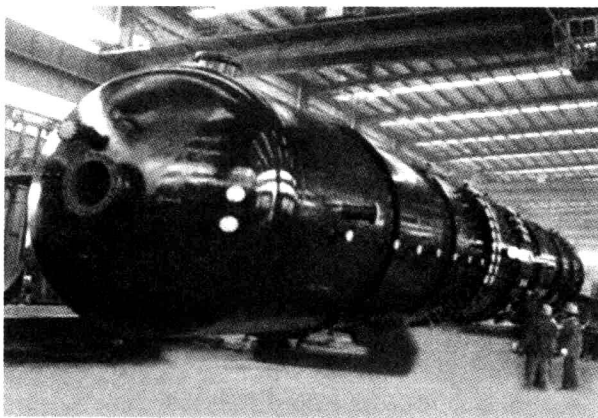
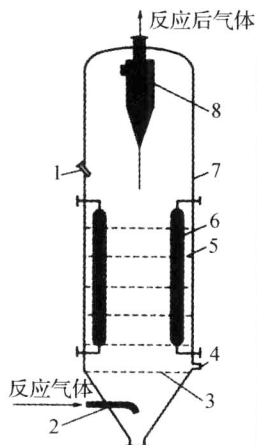


图 1-5 流化床反应器

1. 加催化剂口; 2. 预分布器; 3. 分布板; 4. 卸催化剂口; 5. 内部构件; 6. 热交换器;
7. 壳体; 8. 旋风分离器

1.2.3 反应器的操作方式

在反应器中实现化学反应可以有三种操作方式,即间歇操作、连续操作和半间歇操作。

1. 间歇操作

间歇操作生产是分批进行的。以釜式反应器为例,将需要反应的原料一次加入釜中,使其在一定的条件下进行反应。当反应达到规定的转化率时,将全部生成物放出,清洗反应器。这种操作称为间歇操作。

在间歇操作中,每批次生产过程包括加料、反应、卸料和清洗等阶段。它的特点是在反应期间反应物的浓度随着反应的进行而发生变化,是不稳定的操作。由于有加料、卸料和清洗等阶段,所以设备利用率不高,工人劳动强度大,不易自动控制。

间歇操作通常用于小批量生产或需要很长反应时间的生产中,或用一个反应器生产几种不同产品的场合。因此,对于多品种和产量不大的精细化工产品的生产,间歇操作仍有着广泛应用。

2. 连续操作

连续操作是将需要反应的各种原料按一定顺序和速率连续地从反应器的一侧加入,反应后的产物不断地从反应器的另一侧排出。当操作稳定后,反应器中各处的温度、压力、浓度和流量都不随时间而变化。

连续操作的优点是设备利用率高、节省劳力和易于实现节能、产品质量稳定、易于自动控制,适合于大规模生产。