

普通高等教育药学类规划教材

药厂反应设备及车间工艺设计

(供化学制药专业用)

蒋作良 等 编

中国医药科技出版社

全国普通高等教育药学类规划教材

药厂反应设备及车间工艺设计

(供化学制药专业用)

主 编	蒋作良 (沈阳药学院)
副主编	殷斌烈 (武汉化工学院)
主 审	张启锡 (上海医药设计院)
编 者	蒋作良 殷斌烈 缪志康 (华东化工学院)

中国医药科技出版社

登记证号：(京) 075 号

内 容 提 要

本书系高等学校化学制药专业的规划教材。全书除前言外分为两篇共九章。第一篇在阐明反应器基本理论的基础上，以釜式反应器为重点，阐述了各种型式反应器的合理选型与工艺计算。第二篇对化学制药厂车间工艺设计的各环节作了较详细地阐述，并对非工艺设计与材料的选择作了较多的讨论。

本书除可供化学制药专业作为教材外，也可供精细有机化工专业及化学制药厂的工程技术人员作为参考书。

全国普通高等教育药学类规划教材 药厂反应设备及车间工艺设计

(供化学制药专业用)

蒋作良 主编

*

中国医药科技出版社 出版
(北京西直门外北礼士路甲 38 号)

(邮编 100810)

北京汇丰激光照排公司 排版

北京昌平精工印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm¹/₁₆ 印张 21³/₄

字数 539 千字 印数 1——2750

· 1994 年 1 月第 1 版 1994 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-5067-0795-0/G · 0035

定价：10.50 元

前 言

《药厂反应设备及车间工艺设计》是国家医药管理局“八五”规划教材之一。本教材是根据国家教委下发的化学制药（本科）专业课程的基本要求编写的。

虽然间歇操作的反应釜至今仍是化学制药工业中普遍采用的反应器型式，但随着科学技术的进步，管式、塔式、固定床、流化床等连续或半连续操作的反应器也已得到越来越多的应用。特别是一些大宗药品，为了提高资源利用率，节约能源、降低成本，生产规模趋向大型化。至今仍广为采用的纯经验计算方法，已不能满足制药工业发展的需要。因此，本书第一章介绍反应器基本理论，使学生具有对工业反应过程进行工程学分析的初步概念，为反应器的合理选型提供理论基础。

由于医药品的品种多、更新快，且中间体特别是产品的结构式通常比较复杂；其合成过程的动力学研究往往是不充分的，理论计算所需要的数学模型与基础数据一般难以获得。因此，本书第二、三两章中，以反应器的理论为指导，结合传统的经验计算方法，讨论了釜式和其它几种型式反应器的工艺计算，以期能适应现阶段合理选型和半经验设计反应器的需要。

制药车间，特别是原料药车间，属于化工生产车间的一种。工艺设计人员的职责是根据指定产品的生产工艺，最有效地利用现有工程技术领域内的成就，组织化工过程，配备相应的单元设备，提供必要的载能介质，完成产品的高效的工业化生产。因此，制药车间工艺设计的内容与方法与化工车间工艺设计基本相同。但制药车间的产品是用来防病、治病，提高人民健康水平的医药品，其精、烘、包工序必须符合《药品生产管理规范》（GMP）。所以在第七章中增设 GMP 与精、烘、包工序设计一节，阐述了精、烘、包工序为达到 GMP 的要求所应该采取的措施。

车间设计是由工艺设计和其它非工艺设计组成。工艺设计人员在车间设计中处于核心地位，他有责任向非工艺设计人员提出设计条件和要求，以期使非工艺设计的各项目能满足生产工艺的要求。所以，本书第八章介绍了工业建筑、防火防爆、安全卫生、环境保护和工程经济等方面的基本知识，以使工艺设计人员在与非工艺设计人员的交流中能有共同语言，并能对所设计的车间在环境效益和经济效益方面作出判断。

1981 年出版了由徐匡时先生主编的《药厂反应设备及车间工艺设计》，作为高等学校化学制药专业的试用教材。10 年来，由于科学技术的进步与制药工业的发展，这次我们重新编写了这本教材，并具有以下特点 ①在药厂反应设备一篇中，根据化学制药专业的需要，吸取化学反应工程学的基本理论，结合反应器的经验计算方法，以反应器的结构型式为线索，摆脱繁复的数学推导，着重于基本规律的阐明，在此基础上，建立教材的新体系。②在车间工艺设计一篇中，通过具体实例，着重阐明制药车间工艺设计的方法。不拘泥于罗列应向各非工艺专业提出的设计条件项目，而着重介绍有关非工艺专业的一些基础知识，使工艺设计人员能与其它专业设计人员进行交流，互相配合，提出设计条件，满足工艺要求。③结合制药专业的需要，反映国内外的新进展。如第五章中介绍了自由度分析法在物料衡

算中的应用；第六章中介绍了有效能的概念；第七章中介绍了精、烘、包工序与多能车间的设计；第八章中介绍了深井曝气、生物流化床、厌氧污泥床、厌氧过滤床等污水治理的新设备、新方法；第九章中介绍了哈氏合金等。

本书第一篇绪论，第一、二、八、九章由沈阳药学院蒋作良编写；第二篇绪论，第三、四、七章由武汉化工学院殷斌烈编写；第五、六章由华东化工学院缪志康编写。上海医药设计院张启锡为本书的主审，并编写了第八章中的第五节。

在审稿过程中，上海医药设计院张耕荣、黄燕华、程旸、顾其祥等同志，分别对本书第七章的第一、二、四节和第八章的第一、二、四节提出宝贵的意见；在编写与统稿过程中，沈阳药学院周丽莉等同志给予协助，在此一并表示感谢。

目 录

第一篇 药厂反应设备

绪论	1
第一章 反应器基本理论	5
第一节 理想反应器	5
一、基本的反应器型式	5
二、连续操作反应器的流动特性——返混	6
三、理想反应器	7
第二节 等温等容过程的反应器容积	8
一、反应速度及其表示式	8
二、间歇釜式反应器	9
三、连续管式反应器 (PFR)	12
四、连续釜式反应器 (CSTR)	14
五、多釜串联反应器	16
第三节 反应器型式及操作方式的选择	17
一、简单反应	17
二、复杂反应	20
三、全混釜与管式反应器的配合使用	23
第四节 停留时间分布及其测定	24
一、停留时间分布的数学描述	24
二、停留时间分布的测定	28
第五节 流动模型与停留时间分布的应用	32
一、理想流动模型的停留时间分布	32
二、描述非理想流动的模型	34
三、停留时间分布的应用	40
第二章 搅拌釜式反应器	47
第一节 搅拌釜中的流动与混和	47
一、混和效果的度量	47
二、混和的机理	48
三、提高混和效果的措施	49
四、搅拌功率与混和效果	50
五、混和时间	51
第二节 搅拌器的选型与放大	52
一、搅拌器的型式	52
二、搅拌器的选型	54
三、搅拌器的放大	56

第三节 搅拌功率	58
一、均相液体的搅拌功率	58
二、非均相液体的搅拌功率	62
三、非牛顿液体的搅拌功率	64
第四节 搅拌釜的传热	66
一、温度对化学反应的影响	66
二、搅拌釜的传热装置	68
三、搅拌釜的传热计算	69
第五节 间歇反应釜的工艺计算	74
一、反应釜的物料衡算	74
二、反应釜容积与个数的确定	76
三、反应釜直径与高度的计算	77
四、设备之间的平衡	78
第六节 连续反应釜的热稳定性	79
一、全混釜的热量平衡	79
二、稳定操作点	81
第七节 半连续反应釜	82
一、反应温度的控制	82
二、稳定性与比拟放大	83
第三章 其它型式反应器	89
第一节 管式反应器	89
一、管式反应器的特点、型式及其应用	89
二、变温等容过程管式反应器的计算	90
三、等温变容过程管式反应器的计算	92
第二节 气液相反应及反应器	95
一、气液反应宏观动力学	95
二、气液反应的类型及其动力学方程	97
三、气液相反应器的选型及设计	103
第三节 气固相固定床催化反应器	109
一、固定床反应器的型式	109
二、固定床中的流体力学	111
三、固定床中的温度分布	112
四、固定床中的传质	113
五、固定床反应器的设计	116
第四节 流化床反应器	119
一、流态化现象及操作状态的分析	120
二、流化床反应器的结构及其类型	122
三、流化床反应器的工艺设计	124
第五节 气液固反应器概述	128

一、气液固反应类型	128
二、气液固反应器的型式	128
三、气液固三相反应过程	129

第二篇 车间工艺设计

绪论	136
第四章 工艺流程设计	140
第一节 工艺流程设计的重要性和任务	140
一、工艺流程设计的重要性	140
二、工艺流程设计的成果及其任务	140
第二节 工艺流程设计的基本程序和方法	141
一、工艺流程设计的基本程序	141
二、工艺流程设计基本程序框图	141
三、工艺流程设计的基本方法——方案比较	142
第三节 工艺流程设计的技术处理	145
一、操作方式	145
二、保持主要设备的能力平衡,提高设备利用率	146
三、以化学单元反应为中心,完善生产过程	147
四、合理的选择仪表-计器和控制方案	150
第四节 工艺流程图	150
一、生产工艺流程示意图	151
二、物料流程图	152
三、带控制点的工艺流程图	152
第五章 物料衡算	163
第一节 概述	163
一、物料衡算的目的及意义	163
二、物料衡算的依据及必要条件	163
三、物料衡算基准	164
第二节 物理过程的物料衡算	164
一、物料衡算的数学表达式	164
二、物料平衡问题的分析	167
三、物料平衡问题的求解	168
第三节 化学过程的物料衡算	178
一、只发生一个化学反应的系统	178
二、同时发生二个以上化学反应的系统	183
三、反应系统自由度分析	186
第四节 车间物料衡算	190
第六章 能量衡算	200
第一节 概述	200

一、能量衡算的目的与意义	200
二、能量衡算的依据及必要条件	200
三、能量守恒基本方程	200
第二节 热量衡算	201
一、设备的热量平衡方程式	201
二、过程热效应 Q_p	202
第三节 常用热力学数据的计算	207
一、比热容	207
二、汽化热	209
三、熔融热	210
四、溶解热	210
五、无限稀释热	210
六、标准燃烧热	212
第四节 加热剂、冷却剂及其它能量消耗的计算	219
一、水蒸汽的消耗量	219
二、燃料的消耗量	219
三、电能的消耗量	219
四、冷却剂的消耗量	220
五、压缩空气的消耗量	220
六、真空的抽气量	222
第五节 有效能的概念	224
一、焓	224
二、热、功与物流的焓	225
三、焓平衡方程式	226
四、焓损失	226
五、焓效率	227
六、有效能的应用	227
第七章 车间布置和管道设计	232
第一节 概述	232
一、车间布置的重要性和任务	232
二、制药车间布置设计的特殊性	232
三、车间组成	232
四、车间布置设计的条件、内容和成果	233
第二节 车间的总体布置	234
一、厂房组成形式	234
二、厂房的层数	235
三、厂房平面和建筑模数制	235
四、辅助生产和行政-生活部分的布置	236
第三节 设备和通道的布置	237

一、设备和通道布置的基本要求	237
二、设备的露天布置	242
第四节 GMP 与“精烘包”工序设计	242
一、药品生产和质量管理规范 (GMP)	242
二、精烘包工序设计	243
第五节 多能车间设计	248
一、概述	248
二、多能车间的设计原则	249
第六节 车间布置的方法、步骤和成果	250
一、车间布置的方法和步骤	250
二、车间布置图	251
第七节 管道设计	252
一、管径的计算和确定	252
二、管道、阀门和管件的选择	256
三、管道布置的一般原则	259
四、管道布置图	260
第八章 非工艺设计基础	262
第一节 工业建筑	262
一、厂房的结构组成	262
二、厂房的定位轴线	263
三、厂房主要构造	265
第二节 防火防爆	269
一、生产的火灾危险性分类	269
二、厂房的耐火等级	270
三、厂房的防爆	271
第三节 安全卫生	275
一、采光与照明	275
二、通风	279
三、生活间的设计	282
第四节 环境保护	284
一、制药工业与环境保护	284
二、大气中污染物的控制	285
三、污水治理	290
四、废渣治理	297
五、噪声的控制	297
第五节 工程经济	299
一、工程项目的主要经济要素	299
二、投资	300
三、成本	304

四、财务评价.....	306
第九章 材料的腐蚀及防护.....	312
第一节 金属腐蚀的热力学概念.....	312
一、自由能.....	312
二、电极电位与电动序.....	313
第二节 金属腐蚀的动力学概念.....	314
一、腐蚀电池与电极反应.....	314
二、极化.....	316
三、钝化.....	318
四、高温气体腐蚀.....	318
第三节 金属腐蚀的形态.....	319
一、均匀腐蚀.....	319
二、孔蚀.....	320
三、缝隙腐蚀.....	320
四、晶间腐蚀.....	321
五、应力腐蚀破裂.....	321
第四节 非金属的腐蚀.....	322
一、溶胀与溶解.....	322
二、介质与大分子反应引起的腐蚀.....	323
三、银纹与开裂.....	324
第五节 腐蚀的防护.....	325
一、正确选材.....	325
二、改善设计.....	326
三、衬层.....	329
四、搪瓷.....	329
五、阴极保护.....	329
第六节 材料及其选择.....	330
一、金属及合金.....	330
二、非金属材料.....	333
三、材料的选择.....	335
主要参考资料.....	337

第一篇 药厂反应设备

绪 论

一、药厂反应设备研究的对象与任务

制药工业的生产过程是由一系列化学反应过程与物理处理过程有机地组合而成的。以生产非那西丁为例：用对硝基氯苯为原料，要经过烃氧化、还原、乙酰化三步反应才能制得非那西丁，而每一步反应后面都跟着过滤、蒸发、蒸馏等物理处理过程（有时原料还要经过预处理，也属于物理处理过程）。这里，物理处理过程（也称单元操作）是为化学反应服务的，目的是使反应生成的中间体或产品得以分离出来。而化学反应过程则是生产过程的中心环节，反应进行的好坏对产品的收率和质量有着决定性的影响。

物理处理过程（或单元操作）所涉及的不外乎流体流动、传热与传质三方面的问题，它是化工原理研究的对象。而工业反应器中进行的化学反应过程则要复杂得多，在进行反应的同时，兼有动量、热量和质量的传递发生。例如，为了进行反应，必须搅拌，使物料混和均匀；为了控制反应的温度，必须加热或冷却；在非均相反应中，反应组分还必须从一个相扩散到另一相中才能进行反应。这里，传递过程与化学反应同时进行。

制药工艺试验为工业规模中进行的化学反应提供了最基础的数据，如反应温度、压力、配料比、反应时间等。然而，当实验室的反应放大到工业规模时，传递过程的影响变得突出了。例如，在实验室的烧瓶里进行反应，反应物料的温度、浓度很容易达到均匀一致，反应温度易于控制，全部物料的反应时间也都是相同的。而在工业规模的反应器中，要做到反应物料的温度、浓度均匀一致就不那么容易，除了与反应器的型式、搅拌器的搅拌效果有关外，还有热量的传递问题。由于放热量（或吸热量）与反应器的容积（即长度的3次方）成正比，而传热量与反应器的表面积（即长度的平方）成正比，当反应器的直径放大10倍后，放热量增大1000倍，而传热量只能增大100倍，于是传热就成为主要矛盾。如果采用连续操作，则有些物料粒子可能因短路，一进入反应器就立即从出口流出；有些则可能因反应器中存在死角而停留很长时间，总也出不去。停留时间短的粒子还来不及反应就离开了反应器；停留时间长的粒子则可能进一步反应生成副产物。因此当实验室的反应放大到工业规模时，尽管是同一反应，反应条件也完全相同，其结果可能差别很大。例如一级反应，在实验室的烧瓶内可以达到86.5%的转化率；而在完全相同的温度、压力、反应时间的条件下，在连续操作的搅拌釜中只能达到67%的转化率，当使用两个串联搅拌釜时可以达到75%；如果采用管式反应器，则根据反应管的长径比与反应物料的流速不同，其转化率在67%到86.5%之间。

可见，工业生产中进行的化学反应过程，不仅与反应本身的特性（相态、反应级数、热效应等）有关，而且与反应设备的特性（反应器型式、结构、操作方式等）有关。所谓反应设备的特性，实质上就是反映了传递过程的特性，不同的反应器型式（如搅拌釜、鼓泡塔、管式反应器等），不同的操作方式（如间歇操作、连续操作、半连续操作等），物料的流动状况不同，传热与传质的情况也不同。工业反应过程就是指具有一定反应特性的物料在具有一定传递特性的设备中进行化学变化的过程。这里，化学反应是主体，而设备则是实现这种变化的环境。设备的结构、型式、尺寸以及操作方式等在物料的流动、混合、传热和传质等方面为化学反应提供了一定的条件。反应在不同的条件下进行，将有不同的表现，其结果也不相同。

综上所述，工业反应器中的影响因素是错综复杂的，为了使实验室的反应有效地放大到工业规模，必须将反应与设备两方面结合起来，对化学过程进行工程上的分析。本篇的任务就是以制药生产为背景，将化学反应与传递过程相结合，研究工业反应器的选型、设计与放大，以期所选用的反应器能在制药生产中获得良好的技术经济效果。

二、反应器的放大方法

为了研究化学过程，在1930年建立了单元作业，其目的是将化学反应进行分类，探求各类反应的机理及其与设备之间的相互关系。但由于人们对工业反应过程的复杂性还认识不足，一开始就把反应机理作为重点，而把反应设备只放在从属的地位，忽视了传热和扩散等现象对化学反应的影响，因而，一直未能建立起工程学的体系。所以长期以来，反应器的设计主要是依靠经验。以后，Damkohler 和 Hougen 等首先提出了应用动力学和反应器设计的概念，认为工程学的目的应是合理设计反应器，确定最佳操作方法。他们将化学反应速度方程式与传递过程诸因素结合起来，定量地描述了传递现象对化学反应的影响，从而开辟了数学模拟法研究反应过程的正确途径。特别是在第二次世界大战后，由于化学动力学和化工单元操作在理论与实验方面取得了较大的进展，使从理论上系统地解决反应器的设计与放大问题有了实际的可能，因此数学模拟法得到了迅速的发展。根据目前制药工业的情况，反应器的放大大致有下列几种方法。

（一）经验放大法

经验放大法的依据是空时得率相等的原则，即假定单位时间内、单位体积反应器所生产的产品量（或处理的原料量）是相同的。因此，根据给定的生产任务，通过物料衡算，求出为完成规定的生产任务所需处理的原料量后，取用空时得率的经验数据，即可求得放大后的反应器所需要的容积。

采用经验法的前提是：新设计的反应器必须能够保持与提供经验数据的装置完全相同的操作条件。实际上，由于生产规模的改变要做到完全相同是困难的。所以这种方法不精确，放大倍数都是比较小的，而且只能应用在反应器的型式、结构及操作条件等相近似的条件下。如果希望通过改变操作条件或反应器的结构来改进反应器的设计，或进一步寻求反应器的最优化设计与操作方案，经验法是无能为力的。

虽然经验法有上述缺点，但由于制药生产中化学反应复杂，原料与中间体多种多样，化学动力学方面的研究常常又不够充分。在缺乏基础数据的情况下，要从理论上精确地计算反应器也不可能，这时利用经验法却能简便地估算出所需要的反应器容积。所以经验放大

法在目前制药工业中的应用仍是广泛的。

(二) 相似放大法

生产设备以模型设备的某些参数按比例放大,即按相似准数相等的原则进行放大的方法称为相似放大法。例如,按设备几何尺寸成比例来放大称为几何相似放大;按 Re 准数相等的原则进行放大称为流体力学相似放大等。但是在工业反应器中,化学反应与流体流动、传热及传质过程交织在一起,要同时保持几何相似、流体力学相似、传热相似、传质相似和反应相似是不可能的,因此相似放大法只有在某些特殊情况下才有可能应用。例如,纯粹是扩散控制的过程,即反应速度足够快,总的速度完全取决于物质的扩散速度时,就不必考虑反应的相似问题,只需像对待物理过程一样,保持流体力学、传热或传质的相似就可以了。在一般的情况下,既要考虑反应的速度,又要考虑传递过程的速度,采用局部相似的放大方法不能解决问题。所以相似放大法主要用于反应器中的搅拌器与传热装置等的放大。

(三) 数学模拟放大法

数学模拟放大法的基础是数学模型。所谓数学模型就是描述工业反应器中各参数之间关系的数学表达式。

由于工业反应过程的影响因素错综复杂,要用数学形式来完整地、定量地描述过程的全部真实情况是不现实的,因此首先要对过程进行合理的简化,提出物理模型,用它来模拟实际的反应过程。再对物理模型进行数学描述,即得数学模型。有了数学模型,就可以在计算机上就各参数的变化对过程的影响进行研究,这时只需将输入的数据改变一下就可以了。而如果在实验室内进行这样的研究,那就要消耗大量的人力、物力和时间。

利用数学模型来预计大设备的行为,实现工程放大,这种方法称为数学模拟放大法。由于它是以过程参数间的定量关系为基础的,所以就免除了相似方法中的盲目性与矛盾方面,而且能够比较有把握地进行高倍数放大,缩短放大周期。

用数学模拟法进行工程放大,能否精确地预计大设备的行为,决定于数学模型的可靠性。因为简化后的模型会与实际过程有不同程度的出入,所以要将模型计算的结果与中间试验或生产设备的数据进行比较,再对模型进行修正。对一些规律性认识得比较充分、数学模型已经成熟的反应器,就可以大幅度地提高放大倍数,以至于省去中间试验,而根据实验室小试数据直接进行工程放大。

三、反应器的分类

工业反应过程不仅与反应本身的特性有关,而且与反应设备的特性有关。反应器可以按照反应的特性分类,也可以按照设备的特性分类。按照反应的特性分类,也就是按照反应物系的相态进行分类。因为物系的相态不同,其反应的动力学规律也不相同。例如,对气液相反应,气相中的反应组分必须穿过相界面,才能在液相中进行反应;对气固相反应,气相反应组分必须扩散到固体催化剂的表面,反应主要在微孔的内表面上进行。它们各有一套基本的反应动力学规律。所以按照物系的相态分类,实质上就是按照最基本的动力学特性进行分类。

设备的特性是指反应器的型式、操作方式及温度调节方式等,它们决定了反应物系的流动、混合及传热、传质等条件。所以按照设备特性分类,实质上也就是按照传递过程的

特性进行分类。

表 1-1 中列出了反应器的分类情况，其中所列的各种型式反应器示于图 1-1 中，它们在制药工业中的应用情况示于表 1-2 中。

表 1-1 反应器的分类

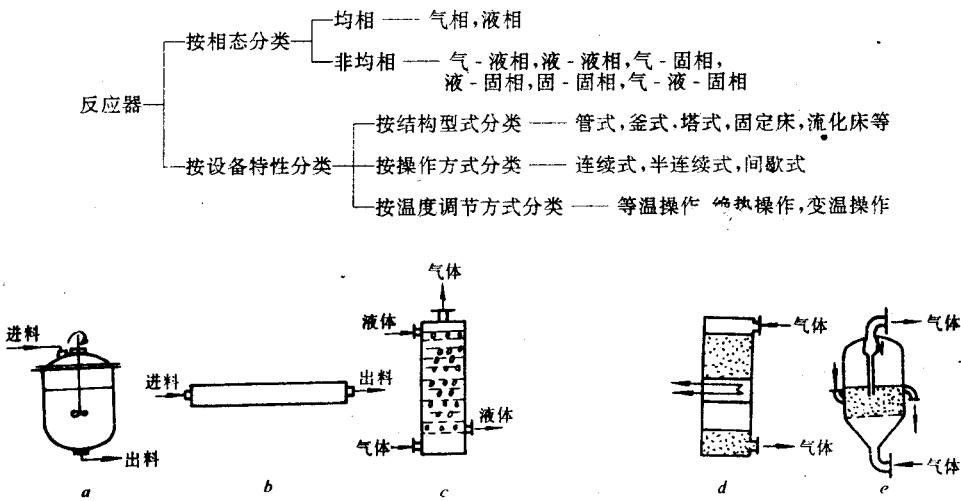


图 1-1 各种结构型的反应器示意图

a—釜式；b—管式；c—塔式；d—固定床；e—流化床

表 1-2 各种型式反应器在制药工业中应用的举例

型 式	适用的反应	反 应 举 例	相 态	生 产 药 品
釜式	液相，气-液相，	乌洛托品在氯苯中与对硝基溴代	液-固相	氯霉素
	液-液相，液-固相，	苯乙酮生成亚甲基四胺盐		
	气-液-固相	水杨酸乙酰化	液相	乙酰水杨酸
管式	气相，液相	醋酸高温裂解生成乙烯酮	气相	吡唑酮类药
		5-甲异噁唑-3-碳酸胺 Hofmann 降解制 3-氨基-5-甲基异噁唑	液相	新诺明
填料塔	气-液相	水吸收氯磺化反应的 HCl 与 SO ₂	气-液相	磺胺
板式塔	气-液相	尿素与甲胺加热甲基化制二甲脲	气-液相	咖啡因
泡鼓塔	气-液相	糠醛用氯气氯化制糠氯酸 甲苯氯化制氯苯	气-液相	磺胺嘧啶 苯巴比妥
搅拌 鼓泡釜	气-液相 气-液-固（催化剂）相	α-甲基吡啶氯化制 α-氯甲基吡啶	气-液-固 （催化剂）相	扑尔敏
固定床	气-固相	癸酸与醋酸在 MgO 催化下缩合生成 壬甲酮	气-固相	鱼腥草素
流化床	气-固相	硝基苯气相催化氢化制苯胺 甲基吡啶空气氧化制异菸酸	气-固相	磺胺类药 异菸肼

第一章 反应器基本理论

第一节 理想反应器

一、基本的反应器型式

反应器的型式多种多样,但从结构与操作来分析,不外乎间歇操作搅拌釜、连续操作搅拌釜和管式反应器等基本型式。这几种反应器内物料的流动状况具有典型性,深入研究其中的物料流况对化学反应的影响,将有助于对其它反应器的理解。

(一) 间歇操作的搅拌釜

由于药品的生产规模小,品种多,原料与工艺条件多种多样,而间歇操作的搅拌釜装置简单,操作方便灵活,适应性强,因此在制药工业中获得广泛的应用。这种反应器的特点是物料一次加入,反应完毕后一起放出,全部物料参加反应的时间是相同的;在良好的搅拌下,釜内各点的温度、浓度可以达到均匀一致;釜内反应物浓度随时间而变化,所以反应速度也随时间而变化,如图 1-2 所示。

(二) 连续操作的管式反应器

这种反应器的特点是从反应器的一端加入反应物,从另一端引出反应产物;反应物沿流动方向前进,反应时间是管长的函数;反应物浓度、反应速度沿流动方向逐渐降低,在出口处达到最低值,如图 1-3 所示。在操作达到定常状态时,沿管上任一点的反应物浓度、温度、压力等参数都不随时间而改变,因而反应速度也不随时间而改变。

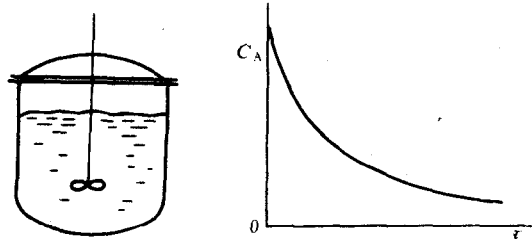


图 1-2 间歇反应釜及其浓度变化

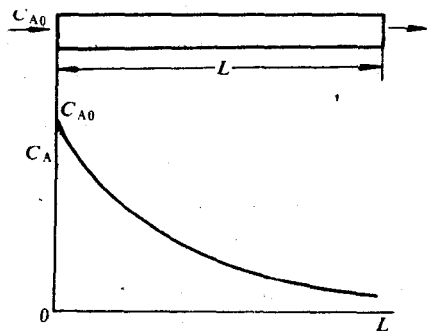


图 1-3 管式反应器及其浓度变化

(三) 连续操作的搅拌釜

其构造与间歇操作的搅拌釜相同。这种反应器的特点是釜内装有强烈搅拌器,使物料剧烈翻动,反应器内各点的温度、浓度均匀一致;物料随进随出,连续流动,出口物料中的反应物浓度与釜内反应物浓度相同;在定常状态流动时,釜内反应物温度、浓度都不随

时间而变化,因而反应速度也保持恒定不变,如图 1-4 所示。

在连续操作的搅拌釜内反应物的浓度与出口物料中的浓度相等,因而釜内反应物的浓度很低,反应速度很慢,这是它的缺点。要达到同样的转化率,连续操作搅拌釜需要的反应时间较其它型式反应器为长,因而需要的反应器容积较大。

连续操作的搅拌釜内,反应物的温度、浓度及反应速度保持恒定不变,这是它的优点,对于自催化反应特别有利。因为自催化反应利用反应产物作催化剂,反应速度与反应物浓度的关系如图 1-5 所示。当反应物浓度为某个 C_A 值时,反应速度最大。

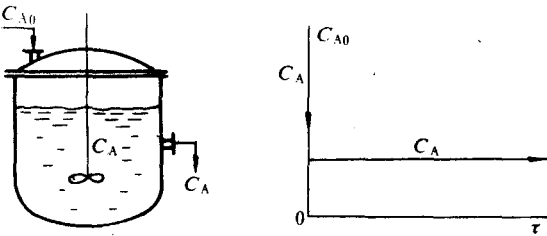


图 1-4 连续反应釜及其浓度变化

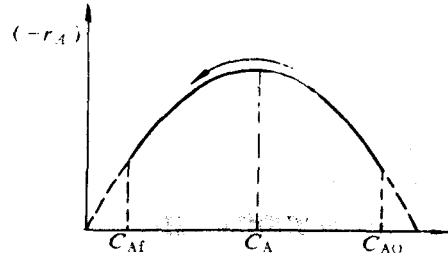


图 1-5 自催化反应的反应速度

利用间歇操作搅拌釜或管式反应器进行这种反应时,由于反应物浓度要经历一个由大变小的过程,所以反应速度都要经历一个由小到大再到小的过程。如采用连续操作的搅拌釜,可以使釜内反应物浓度始终保持在最佳的 C_A 值,则反应就可以一直保持在最大的速度下进行,大大提高了反应器的生产能力。

二、连续操作反应器的流动特性——返混

若连续操作反应器的容积为 V_R , 物料的体积流量为 v , 则 $V_R/v = \bar{\tau}$ 就代表物料流过反应器所需要的时间,称为平均停留时间。

在间歇反应器中,物料一次加入,反应完毕后一起放出,全部物料粒子都经历相同的反应时间,没有停留时间分布;而在连续反应器中,同时进入反应器的物料粒子,有的很快就从出口流出,有的则经过很长时间才从出口流出,停留时间有长有短,形成一定的分布,称为停留时间分布,其平均停留时间为 $\bar{\tau} = V_R/v$ 。

(一) 年龄分布与返混

停留时间分布有两种:一种是指反应器内的物料而言的,称为器内年龄分布,简称年龄分布;另一种是指反应器出口的物料而言的,称为出口年龄分布,也称寿命分布。

(1) 年龄分布 从进入反应器的瞬间开始算年龄,到所考虑的瞬间为止,反应器内的物料粒子,有的已经停留了 1s (年龄 1s),有的已经停留了 10s (年龄 10s)……。这些不同年龄的物料粒子混在一起,形成一定的分布,称为年龄分布。而不同年龄的物料粒子混在一起的现象称为返混。所以,返混是时间概念上的混合,是反应器内不同停留时间的物料粒子之间的混合,它与停留时间分布联系在一起,有返混就必然存在停留时间分布;反之,如没有停留时间分布,则不存在返混。如在间歇反应釜内,强烈的搅拌作用使釜内各处物料均匀混和,但由于物料是一次加入,反应完毕一起放出,全部粒子在釜内的停留时