



高职高专“十一五”规划教材



制药工程设备

ZHIYAO GONGCHENG SHEBEI

刘书志 陈利群 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

制药工程设备

刘书志 陈利群 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容涵盖制药工业大部分过程所用设备,详细介绍了这些设备的结构和原理、优点和缺点、适用场合、选型及操作。不仅涵盖我国制药工业正在使用的各类装备,而且还介绍了国外制药企业使用的先进设备以及一些前沿制药设备,具有较强的实用性和先进性。

本书从高职高专学生和生产一线工程技术人员的特点、需求出发,根据“必需”、“够用”原则在言简意赅与结论式简述设备设计计算的基础上,重点对生产实际有关的内容进行了全面系统的阐述。为了便于教学和表述直观形象,书中配有大量图片。本书还另备有 Power Point 课件,很多设备可进行动画演示。

本书包括原料药生产设备、药物制剂生产设备、公用和辅助设备三部分。

本书可作为各类制药专业高职高专学生教材,也适合制药厂技术、管理人员、科研开发 and 设计人员以及大专院校制药专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

制药工程设备/刘书志,陈利群主编. —北京:化学工业出版社,2008.1

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-01937-0

I. 制… II. ①刘…②陈… III. 制药工业-化工设备-高等学校:技术学院-教材 IV. TQ460.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 006649 号

责任编辑:张双进

装帧设计:张 辉

责任校对:徐贞珍

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 1/4 字数 496 千字 2008 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

前言

设备在制药工业中担当着关键角色,它们的选型、先进程度、运行状态、操作和维护水平直接影响产品质量和成本,甚至决定生产成败。设备的每一次更新改造都可能使生产迈上一个新的台阶,带来革命性的变化。因此,学习设备的结构原理,了解它们的优缺点和适用场合,掌握最新设备的发展趋势,不仅对生产操作人员、技术人员、管理人员非常重要,而且对科研开发和设计人员也不可或缺。本书内容涵盖制药工业大部分过程所用设备,详细介绍了这些设备的结构和原理、优点和缺点、适用场合、选型及操作。本书立足基本理论,面向生产实际,可作为各类制药专业高职高专学生教材,也适合制药厂技术、管理人员、科研开发和设计人员以及大专院校制药专业师生参考使用。本书有以下特点。

1. 不仅涵盖我国制药工业正在使用的各类装备,而且还介绍了国外制药企业使用的先进设备以及一些前沿制药设备,因此,具有实用性和先进性。

2. 按照在制药工程中的作用对设备进行分类介绍,比如,将过滤、沉降和干燥设备归类于制药工程液固分离设备,目的是使读者加深对设备在制药工程中作用的理解,也便于读者对完成同一工程目标的各类设备进行比较。

3. 本书偏重生产实际,对设备的结构原理、优缺点、适用场合、选型和操作介绍较多,对设备的设计着墨较少,一方面因为篇幅所限,想尽可能多地介绍设备种类,另一方面也考虑高职高专学生和生产线工程技术人员的特点和需求。

4. 本书包括原料药生产设备、药物制剂生产设备、公用和辅助设备三部分。尽管大部分学校制药专业设备课内容都涉及这三部分,但有些学校的药物制剂专业可能不教授原料药生产设备部分,教师可根据情况取舍,也可指定为学生自学内容。这也是本书分为三大部分的原因。

5. 本书每章课后附有思考题,教师可根据情况自行安排作业。

6. 为了更直观地学习设备结构和原理,本书配有大量图片,很多设备也配有动画演示,另外,本书还配有 Power Point 演示课件,需要者请和出版社联系。

尽管编者已尽力将本书编写为一本高水平的设备教材,但因水平所限,不当之处在所难免,读者的批评和建议将是我们的宝贵财富,请用电子邮件寄向:empliu@yahoo.com,便于我们今后改进。

本书第一章的第一、二节、第二章、第三章、第四章的第一、二、三节由石家庄职业技术学院刘书志编写;第一章的第三节,第五章,第六章的第四节,第七章的第四、五、六节,第十章、第十三章至第二十一章由广东轻工职业技术学院陈利群编写;第四章的第四节,第六章的第一、二、三节、第八章,第十二章由石家庄职业技术学院卜欣立编写;第七章的第一、二、三节,第九章,第十一章由石家庄职业技术学院尚平编写。本书由刘书志、陈利群任主编,由刘书志统稿。

本书编写得到了化学工业出版社、石家庄职业技术学院、广东轻工职业技术学院的大力支持与帮助,在此表示感谢。

编者

2008年1月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 制药工业的一般过程	1
第二节 制药工业的特点	1
第三节 GMP 与制药设备	2

第一部分 原料药生产设备

第二章 制药工程化学反应设备	7
第一节 搅拌罐式反应器	7
第二节 固定床反应器	14
第三节 流化床反应器	14
第四节 膜反应器	15
第三章 制药工程生物反应设备	17
第一节 微生物培养反应器 发酵罐	17
第二节 动、植物细胞培养反应器	23
第三节 酶反应器	28
第四章 制药工程液固分离设备	31
第一节 过滤设备	31
第二节 离心沉降设备	49
第三节 压滤设备	52
第四节 干燥设备	53
第五章 制药工程气固分离设备	65
第一节 旋风分离设备	65
第二节 袋式过滤器	66
第六章 制药工程膜分离设备	68
第一节 膜和膜分离技术	68
第二节 膜过滤装置—工业膜组件(膜堆)	69
第三节 膜过滤优缺点及应用	73
第四节 电渗析装置	74
第七章 制药工程萃取设备	78
第一节 液液萃取过程	78
第二节 液液萃取设备	79
第三节 液液萃取过程中的乳化现象和破乳化	86
第四节 超临界流体萃取设备	88
第五节 微波萃取设备	92

第六节 超声萃取设备	94
第八章 制药工程离子交换及设备	98
第一节 离子交换原理	98
第二节 离子交换树脂用于药物提取过程和原理	100
第三节 离子交换设备	102
第四节 离子交换树脂的简单鉴别	104
第九章 制药工程蒸发设备	106
第一节 蒸发过程	106
第二节 蒸发设备	107
第十章 制药工程蒸馏和吸收设备	113
第一节 蒸馏塔	113
第二节 分子蒸馏及分子蒸馏设备	118
第三节 吸收塔	121
第十一章 制药结晶过程及设备	123
第一节 结晶理论简介	123
第二节 结晶设备	125
第十二章 培养基和压缩空气灭菌设备	130
第一节 灭菌方法简介	130
第二节 发酵过程培养基灭菌及设备	131
第三节 压缩空气灭菌设备	136

第二部分 药物制剂生产设备

第十三章 粉体生产设备	141
第一节 粉碎设备	141
第二节 均化设备	146
第三节 分级设备	150
第四节 混合设备	154
第十四章 口服制剂生产设备	160
第一节 片剂生产设备	160
第二节 胶囊剂生产设备	172
第三节 丸剂生产设备	182
第四节 口服液生产设备	185
第十五章 注射剂生产设备	190
第一节 注射针剂生产设备	190
第二节 输液剂生产设备	198
第三节 粉针剂生产设备	205
第十六章 药用包装设备	210
第一节 药用包装概述	210
第二节 固体制剂包装设备	212
第三节 注射剂包装设备	223

第三部分 公用和辅助生产设备

第十七章	制药用水生产设备	227
第一节	制药用水种类	227
第二节	蒸馏水器	229
第三节	离子交换器	232
第四节	电渗析器	233
第五节	反渗透装置	233
第六节	电去离子装置	238
第十八章	流体输送机械	241
第一节	泵	241
第二节	气体压缩与输送设备	248
第三节	真空泵	251
第十九章	换热设备	254
第一节	管壳式换热器	255
第二节	板式换热器	258
第二十章	空气洁净设备和洁净室	262
第一节	空气过滤器	263
第二节	洁净工作台	266
第三节	层流罩	267
第四节	洁净室	268
第二十一章	制冷设备	272
第一节	制冷方法与原理	272
第二节	制冷剂与载冷剂	287
第三节	制冷压缩机	293
第四节	制冷用蒸发器与冷凝器	301
第五节	节流机构	302
第六节	小型冷库	305
第七节	制冷设备的安全保护与管理	306
参考文献		310

第一章 绪 论

工程 (Engineering) 指使用科学和数学的办法解决实际问题, 这些实际问题通常包括工艺过程、设备的设计、生产、运行、系统优化以及经济评价等。制药工程指使用科学和数学的办法解决制药过程中的实际问题, 比如制药过程的工艺和设备的设计和运行等。在制药工业发展过程中, 工程技术人员使用科学和数学的办法解决了大量实际问题, 积累了丰富的理论和实践知识, 成功设计了适用各种场合的多种设备和装置。正是这些设备才使药物的工业化生产成为可能, 它们不断地更新和改造带动制药工业一直向前发展。本书主要介绍这些设备的原理、运行、优缺点、适用场合、操作和发展脉络。

第一节 制药工业的一般过程

制药工业的任务是以一定的规模将某些原料转化为符合要求的药品, 一般过程如图 1-1 所示。

由图 1-1 可见, 从原料开始, 经过生物反应 (生物转化) 或化学反应 (化学转化) 生成含有药物的产物, 再经各种分离过程将

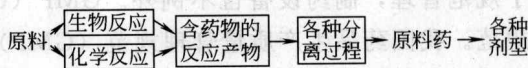


图 1-1 制药工业的一般过程

药物提纯得到原料药, 最后制成各种剂型, 如片剂、针剂等供病人使用。也有制药过程不经过生物或化学转化, 而是经过分离直接得到原料药并制成各种剂型, 如天然药物的生产等。

通常, 人们将通过生物反应和各种分离手段得到原料药的制药过程称为生物制药, 通过化学反应和各种分离手段得到原料药的过程叫做化学制药。由原料药生产各种剂型的过程称为药物制剂。相应的, 在以上过程中, 进行生物反应的场所叫做生物反应器, 比如抗生素工业中的发酵罐, 进行化学反应的场所称为化学反应器。制药过程中, 生物或化学转化可由多步反应组成, 分离过程通常也包括多个, 其中每步都需要原料。以上过程可在多个工厂完成, 比如有些工厂专门生产原料药, 有些专门生产制剂, 有些只生产粗品原料, 有些则致力于药物的提纯和精致, 如此分工合作形成制药产业。

第二节 制药工业的特点

制药工业涵盖多个领域, 比如生物和化学工业, 因此, 制药工业与这些行业有相似之处, 有些设备原理相近。但是, 由于医药产品的特殊性, 制药工业又有自己的特点, 包括以下几方面。

1. 产品质量、规格要求严格

制药工业产品质量除包括外观、纯度等一般物理化学指标外, 通常还包括溶液澄清度、

溶液色级、产品微生物含量、灰尘量（毛点）等。某些产品还需要进行老化试验：在较高的温度或湿度下考察产品是否变色等。

2. 设备要求严格

设备的好坏直接影响产品质量，因此，制药工业对设备的要求都很严格。很多设备都使用不锈钢甚至特种合金制作。如制备注射水的设备和管道有些采用纯锡或硅硼玻璃制作，因为即使微量甚至痕量的杂质渗到水中都有可能对产品质量产生较大的影响。

3. 生产规模变化范围大

制药工业的生产规模变化很大：从每年生产几公斤的蛋白质药物，到每年千吨的青霉素甚至每年万吨的维生素 C。

4. 反应过程复杂，步数多

由于很多药物分子结构十分复杂，需要较多的反应步骤才能合成。有些化学合成药物需要几十步反应。此外，生物转化过程也很复杂，很多生物反应机理至今还不清楚。

5. 制药过程涉及多门学科

制药工业涉及的学科包括化工、生物、高分子材料、医学等，因此制药是一门边缘科学。

第三节 GMP 与制药设备

制药产品直接关系到人民的健康和生命，因此，各个国家对制药工业生产的各个方面进行了规范管理，制药设备也不例外。GMP（Good Manufacture Practices）就是这样一种管理规范。我国药品生产质量管理规范（GMP）是药品生产和质量管理的基本准则。适用于原料药生产中影响成品质量的关键工序、药品制剂生产的全过程。现行的 1998 年修订的 GMP 第四章对制药设备做出了如下规定。

一、设备的选型和设计

（1）设备的选型和设计应满足生产规模及生产工艺的要求；用于制剂生产的配料、混合、灭菌等主要设备和用于原料药精制、干燥、包装的设备其容量应与生产批量相适应。

（2）洁净室（区）内的设备，应易于清洗、消毒或灭菌，便于生产操作和维修、保养，并能防止差错和减少污染，设计和选用时应满足下列要求。

① 结构简单，需要清洗和灭菌的零部件要易于拆装，不便拆装的设备要设清洗口，设备表面应光洁，易清洗，设备外表不得采用易脱落的涂层，与物料直接接触的设备内壁应光滑、平整、避免死角，易清洗，耐腐蚀。

② 凡与物料直接接触的设备内表层应采用不与其反应，不释放出微粒或吸附物料的材料。

③ 设备的传动部件要密封良好，所用的润滑剂、冷却剂等不得对药品或容器造成污染。

④ 洁净室（区）内使用的设备应尽量密闭，并具有防尘、防微生物污染的措施。

⑤ 无菌作业所需的设备，除符合以上要求外，还应满足灭菌的需要。

（3）对生产中发尘量大的设备如粉碎、过筛、混合、制粒、干燥、压片、包衣等设备应附带防尘围帘和捕尘、吸粉装置。已除尘后排入大气的尾气应符合国家有关规定。

（4）干燥设备进风口应有过滤装置，出风口有防止空气倒流装置。

- (5) 洁净室(区)内应尽量避免使用敞口设备,若无法避免时,应有避免污染措施。
- (6) 无菌药品生产所使用的灭菌柜宜采用双扉式,并具有自动监测、记录装置,其容积应与生产规模相适应。
- (7) 无菌药品生产药液接触的设备、容器具、输送泵等应采购使用优质耐腐蚀材质,密封垫宜采用硅橡胶等材料。
- (8) 无菌制剂生产中使用的封闭性容器应用蒸汽灭菌,宜在原位清洗、灭菌。
- (9) 应设计或选用轻便、灵巧的物料传送工具(如传送带、小车等);不同洁净级别区域传递工具不得混用。1万级洁净室(区)使用的传输设备不得穿越其他较低级别区域。
- (10) 设备的自动化或程控设备的性能及准确度应符合生产要求,并有安全报警装置。
- (11) 不得选用可能释出纤维的药液过滤装置,否则须另加非纤维释出性过滤装置,禁止使用含石棉的过滤装置。
- (12) 选用的生产和检验的仪器、仪表、量器、衡具等的适用范围和精密度符合生产的质量要求。
- (13) 洁净室(区)内使用或加工易燃易爆介质的设备既满足洁净要求又要满足防火、防爆要求。
- (14) 设备设计合理,驱动平稳,无明显振动。洁净室(区)内的设备噪声应符合国家规定。
- (15) 青霉素等强致敏性药物、某些甾体药物、高活性、有毒害药物的生产设备必须专用。
- (16) 设备的设计或选用应能满足产品验证的有关要求,合理设置有关参数的测试点。药品生产验证应包括厂房、设施及设备安装确认、运行确认、性能确认和产品验证。

二、设备的安装

- (1) 设备布置合理,其安装不得影响产品的质量。安装间距要便于生产操作、拆装、清洁和维修保养、并避免发生差错和交叉污染。
- (2) 设备穿越不同洁净室(区)时,除考虑固定外,还应采用可靠的密封隔断装置,以防止污染。
- (3) 洁净室(区)内的设备,除特殊要求外,一般不宜设地脚螺栓。
- (4) 对产生噪声、振动的设备,应分别采用消声、隔振装置,改善操作环境。
- (5) 设备保温层表面必须平整、光洁,不得有颗粒性物质脱落。表面不得用石棉水泥抹面,宜采用金属外壳保护。

三、管道安装

- (1) 管道材料应根据所输送物料的理化性质和使用工况选用。采用的材料应保证满足工艺要求,使用可靠,不吸附和污染介质,施工和维护方便。
- (2) 引入洁净室(区)的明管材料应采用不锈钢。
- (3) 输送纯化水、注射用水、无菌介质和成品的管道的材料宜采用低碳优质不锈钢或其他不污染物料的材料。
- (4) 工艺管道上的阀门、管件的材料应与所在管道的材料相适应。
- (5) 洁净室(区)内采用的阀门、管件除满足工艺要求外,应采用拆卸、清洗、检修均

方便的结构形式。

(6) 管道与阀门连接宜采用法兰、螺纹或其他密封性能优良的连接件。凡接触物料的法兰和螺纹的密封应采用聚四氟乙烯。无菌药品生产中，药液的输送管道的安装尽量减少连接处，密封垫宜采用硅橡胶等材料。

(7) 穿越洁净室（区）墙、楼板、顶棚的管道应有可靠的密封措施。

(8) 洁净室（区）内各种管道，在设计和安装时应考虑使用中避免出现不易清洗的部位。引入洁净室（区）的支管宜暗敷。

(9) 管道保温层表面必须平整、光洁，不得有颗粒性物质脱落，并宜用金属外壳保护。

(10) 洁净室（区）内的冷保温管道的保温层外壁温度不得低于环境的露点温度。

(11) 洁净室（区）内的各类管道均标明管内物料名称、流向。

(12) 洁净室（区）内的配电设备的管线应暗敷，进入室内的管线口应严格密封，电源插座宜采用嵌入式。

四、CIP 清洗系统简介

CIP (Clean In Place) 指原位清洗或在线清洗系统，它是药品生产卫生标准的前提条件之一，可以消除活性成分交叉污染，清除不溶性异物，降低或消除微生物及热源对药品的污染。GMP 要求尽力推荐制药设备使用 CIP 在线清洗系统。由于国外 CIP 在线清洗系统价格昂贵，我国制药企业使用不多。目前，国内已有企业对引进的国外先进技术进行消化吸收，研制成功具有自动化程度高，操作简便，价格合理等优点的 CIP 在线清洗系统。

CIP 清洗系统在预定时间内，在无需人工拆开或打开的前提下，将一定温度的清洁液通过密闭管道对设备（罐体、管道、泵，过滤器等）及整个生产线进行自动清洗。优良的 CIP 清洗系统应当根据待清洗系统的实际情况确定合适的清洗过程和清洗条件，并在清洗过程中对关键参数和条件（如时间，温度，电导，pH 和流量等）进行自动控制和监测。图 1-2 为某个 CIP 在线清洗系统示意图。

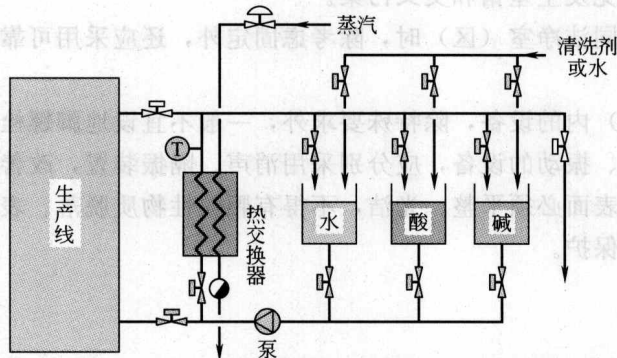


图 1-2 CIP 在线清洗系统

由图可见，CIP 清洗系统使用清洗剂（水）、酸、碱进行清洗，蒸汽给这些液体加热。一般的清洗过程如下。

① 水洗：10~20min，温度 40~50℃。

② 碱洗循环：20~30min，温度 60~80℃。

③ 中间水洗循环：10min，温度 40~50℃。

④ 酸洗过程：循环 10~20min，温度 60~80℃。

⑤ 最终水洗过程：15min，温度 40~50℃。

清洗过程自动控制，自动检测是否清洗完毕。

使用 CIP 清洗不仅能洗净设备，还能控制微生物生长。与手动清洗比较，清洗剂、水、蒸汽耗量少，也可节省劳动力，提高药品质量。CIP 清洗可选择手动或自动清洗控操作。

思 考 题

1. 名词解释：制药工程，化学制药，生物制药，药物制剂，CIP 清洗。
2. 制药工业的特点是什么？
3. GMP 对设备选型和设计、设备安装和管道安装有何要求？

第一部分 原料药生产设备

第二章 制药工程化学反应设备

化学反应设备指进行化学反应的场所。制药工业中常见的化学反应设备大致有四类：搅拌罐式反应器、固定床反应器、流化床反应器以及膜反应器。

第一节 搅拌罐式反应器

搅拌罐式反应器（STRs, Stirred Tank Reactors）是制药生产和科研中最常见的一种反应器，结构如图 2-1 所示。这种反应器由罐体、搅拌、换热装置、进出料口、检测装置、人孔等部分构成。其中罐体通常为带上下椭圆封头的圆柱体。用于检修的人孔、用于观测内部情况的视镜、加料口和部分检测装置通常安装在上封头。出料口一般安装在罐底最低处。对反应器性能影响最大，样式变化最多的是它们的搅拌和换热装置，下面分别介绍。

一、STR 的搅拌装置

搅拌的作用可归结为三方面：

- ① 帮助传质，即通过搅拌使反应器内各点物质的组成更均匀一致，使罐气体更快释放，或者使气体更易溶于罐内液体；
- ② 帮助传热，即搅拌使得罐内各处温度更均匀，反应需要加热时能让热量更快传进来，冷却时能让热量尽快传出去；
- ③ 提高反应速率，即通过提高传质和传热效果，以及搅拌本身输入的能量使反应物接触更充分从而提高反应速率。

用于 STR 的搅拌可分为三大类：机械搅拌、通气搅拌和罐外循环式搅拌。

1. 机械搅拌

机械搅拌靠机械力向反应器内输入能量产生搅拌效果，是最常见的一种搅拌形式。机械搅拌包括搅拌叶、搅拌轴和搅拌电机。影响机械搅拌效果的主要因素有搅拌转速、搅拌叶形状和反应罐的内部结构。

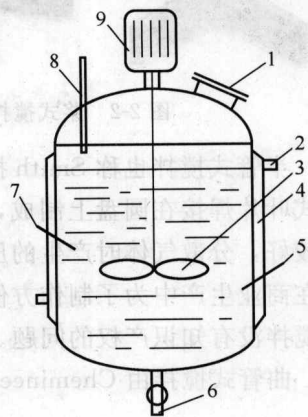


图 2-1 搅拌罐式反应器结构示意图

1—进料口或人孔；2—加套换热器出口；3—搅拌；4—加套换热器；5—pH 探头；6—出料口；7—温度探头；8—补料口；9—搅拌电机

(1) 搅拌速度对搅拌效果的影响 一般讲, 搅拌速度越大, 搅拌效果越好, 但是搅拌速度过大容易在搅拌附近形成局部涡流, 增加能耗, 降低搅拌效果。因此, 搅拌速度存在最佳值, 需要试验确定。

(2) 搅拌叶形状对搅拌效果的影响 搅拌叶的形状影响搅拌效率: 同样输入功率情况下, 搅拌叶形状不同, 搅拌效果不一样。搅拌叶形状有多种, 各有优缺点, 适用不同的场合。以下分别介绍制药工业中常见的各种搅拌。

① 径向流搅拌 (Radial impellers)。径向流搅拌工作时使液体在搅拌附近产生径向流动。常见径向流搅拌有桨式搅拌、罗氏搅拌、半管式搅拌和曲管式搅拌。

桨式搅拌结构如图 2-2 所示, 由平板桨和轴套焊接而成, 常有二叶、四叶和六叶之分。桨式搅拌的优点是制作简单, 价格便宜。缺点是搅拌效率较低, 搅拌时不仅有径向流, 而且也可产生部分轴流。

罗氏搅拌 (Rushton turbine) 国内又称圆盘平直叶涡轮, 如图 2-3 所示, 由平直板、圆盘和轴套焊接而成, 也有四叶、六叶甚至八叶之分。这种搅拌由 J. H. Rushton 发明, 对它的研究和应用最广泛。罗氏搅拌在保持制作简单, 价格便宜的优点同时, 搅拌效率比桨式搅拌明显提高, 中间的圆盘有效地阻止了轴向流的发生, 改善了搅拌效果。目前, 罗氏搅拌已不受专利保护, 任何人都可以制作和使用这种搅拌。

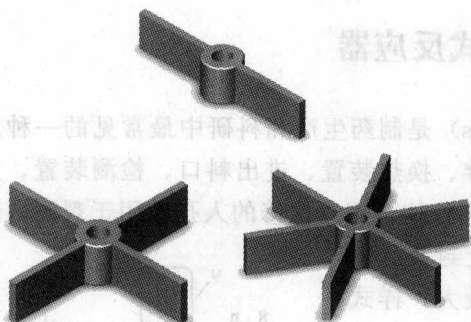


图 2-2 桨式搅拌

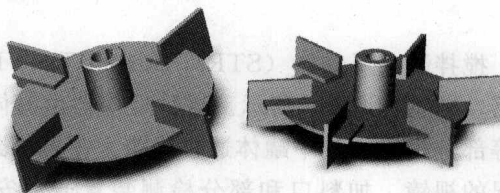


图 2-3 罗氏搅拌

半管式搅拌也称 Smith 搅拌, 国内又称圆盘半管叶涡轮, 如图 2-4 所示, 是由若干个半管式叶片焊接在圆盘上制成, 适合将气体分散在液体中。与罗氏搅拌比, 它对气体的分散效果较好, 分散气体时产生的压降也较小。半管式搅拌的叶片最初设计并不是完整的半管, 只是在商业生产中为了制作方便才改为半管。这种搅拌并没有申请专利, 因此, 制作和使用这种搅拌没有知识产权的问题。

曲管式搅拌由 Chemineer 设计, 如图 2-5 所示, 专门用来将气体分散在流动的液体介质

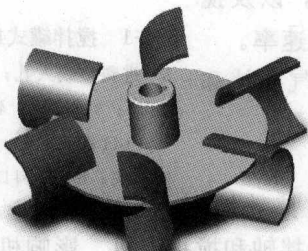


图 2-4 半管式搅拌 (Smith 搅拌)

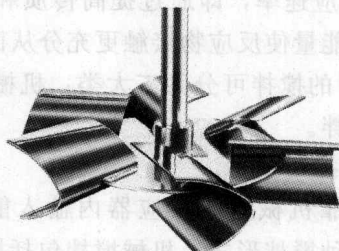


图 2-5 曲管式搅拌

中。与半管式搅拌相比,经过特殊设计的曲面代替了原来的半管,使气体分散效率更高。曲管式搅拌目前受专利保护。

② 轴向流搅拌。轴向流搅拌转动时使流体在搅拌附近产生轴向流动。常见轴向流搅拌有螺旋桨式搅拌、斜直面轴流搅拌、高效轴向流搅拌和莱宁搅拌。

螺旋桨式搅拌如图 2-6 所示,由三个叶片组成,叶片形状,叶片上各点的曲度接近理论最佳值,因此,可产生较理想的轴流,搅拌效率也很高。但是,由于形状和曲度不规则,叶片必须在模具中铸造,不但增加了制作成本,而且使搅拌重量加大。因此,这种搅拌价格贵,重量大。

斜直面轴流搅拌形状如图 2-7 所示,是由四个斜直面与轴向呈 45° 夹角焊接而成,叶片的宽度大约是搅拌直径的 $1/5$ 。显然,这种搅拌的制作远比螺旋桨搅拌简单,因此,价格也便宜。这种搅拌在径高比 (D/H) 较小(细高)的反应罐中呈现轴流搅拌效果,在径高较大(矮胖)的反应罐里却以径向流为主。除四叶外,还有三叶以 30° 夹角焊接的斜面轴流搅拌,常作小船上的推进器使用。欧洲常用 6 叶斜直面轴流搅拌。

高效轴向流搅拌由 Chemineer 发明,形状如图 2-8 所示,由三个较长的平板叶片对称地连接在搅拌轴上,叶片与轴呈一定的角度,每个叶片的外侧折下一个角,其表面与轴垂直。与斜直面轴流搅拌比,由于叶片外侧折角的作用,这种搅拌形状更易产生轴流效果,效率也较高,因此被称为高效轴流搅拌。另外这种搅拌的制作并不复杂,价格便宜。这种搅拌受专利保护。

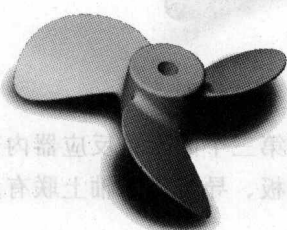


图 2-6 螺旋桨式搅拌

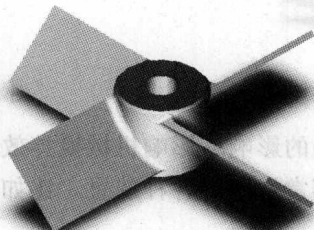


图 2-7 四叶斜直面轴流搅拌

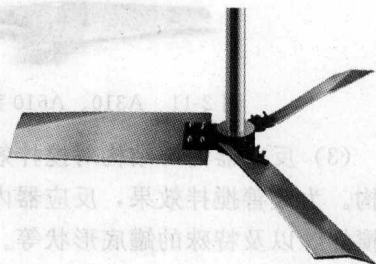


图 2-8 高效轴向流搅拌

莱宁搅拌 (Lightnin Propeller) 是一种专利搅拌,由莱宁 (Lightnin) 发明。莱宁搅拌有若干种,这里只介绍常用的 A320、A340 系列和 A310、A510 系列。

A320 莱宁搅拌如图 2-9 所示,三个曲面叶片对称地焊接在轴套上。叶片各处曲度虽然呈现一定程度的不规则性,但是,制作起来应比上述螺旋桨搅拌容易,搅拌效率也较高。这种搅拌属于向下的轴流搅拌,由于叶片宽大,强度较高,适用于较高黏度的液体。

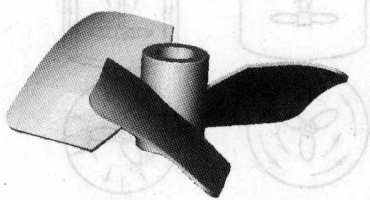


图 2-9 A320 莱宁搅拌

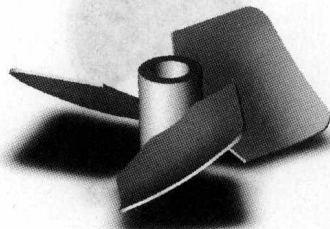


图 2-10 A340 莱宁搅拌

曲 A340 莱宁搅拌如图 2-10 所示, 实际上是将 A320 搅拌翻过来使用, 产生向上的轴流效果。其优缺点和适用场合与 A340 相同。

料 A310 莱宁搅拌如图 2-11 所示, 由三个叶片组成, 叶片的形状和表面曲度有一定的不规则性。A310 莱宁搅拌设计用来对液体、液液混合物、液固混合物进行搅拌和混合。它是一种轴向流搅拌, 效率较高, 1983 年开始商业使用。1990 年后, A310 莱宁搅拌开始被 A510 代替。A510 搅拌(图 2-11)与 A310 搅拌外观上看不出差别, 只是在制作工艺上进行了简化, 形状细节上稍有改变而已。

③ 特殊搅拌。特殊搅拌种类也较多, 这里只介绍制药中常见的锚式搅拌。

锚式搅拌(Anchor)如图 2-12 所示, 外形像锚, 在反应罐中, 其四周贴近内壁, 因此, 适用于高黏度液体及液固混合物。这种搅拌速度一般较慢。

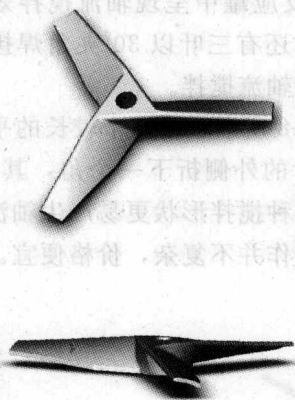


图 2-11 A310、A510 莱宁搅拌



图 2-12 锚式搅拌

(3) 反应器内部结构对搅拌效果的影响 影响机械搅拌效果的第三个因素是反应器内部结构。为改善搅拌效果, 反应器内部常常附加各种装置, 比如, 挡板、导流筒、轴上联有多个搅拌叶以及特殊的罐底形状等。

① 挡板。挡板(Baffle)是焊接在反应器内壁上的垂直立板, 如图 2-13 所示。

挡板的作用是防止搅拌时产生涡流。图 2-14 是无挡板和有挡板时搅拌所产生流型对比。由图可见, 无挡板时, 搅拌旋转使靠近搅拌轴的液面下降, 靠近反应器内壁液面上升, 形成漏斗状液面, 即涡流; 有挡板时液面不下降, 不形成涡流。搅拌时如果有涡流存在, 效果将大大下降。因此, 挡板的作用很大, 很多 STR 反应器都安装挡板。通常, 反应器内部一般

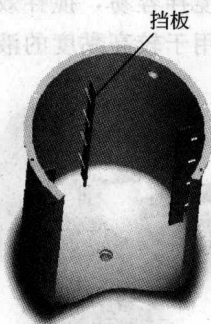
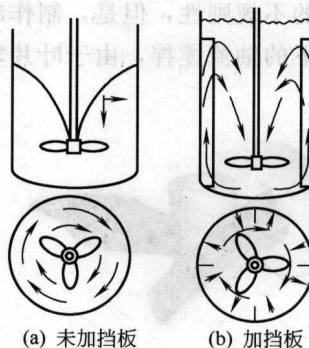


图 2-13 反应器内挡板



(a) 未加挡板

(b) 加挡板

图 2-14 无挡板和有挡板时搅拌的产生流型对比