



中石化上海工程有限公司
工程硕士实践教学用书

化工装置工艺设计 下册

HUAGONG ZHUANGZHI
GONGYI SHEJI

吴德荣 © 主编

 华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



中石化上海工程有限公司

化工装置工艺设计 下册

吴德荣 主编

 华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

化工装置工艺设计. 下册/吴德荣主编. —上海:华东理工大学出版社, 2014.8
ISBN 978-7-5628-3736-7

I. ①化… II. ①吴… III. ①化工设备—设计 IV. ①TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 267308 号

工程硕士实践教学用书

全国工程硕士教指委“加强实践基地建设,提升实践教学质量”课题立项支持

上海市教委“专业学位研究生实践教学基地建设(中石化上海工程有限公司)”课题立项支持

化工装置工艺设计(下册)

主 编 / 吴德荣

责任编辑 / 焦婧茹

责任校对 / 李 晔

封面设计 / 戴晓辛 裴幼华

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地 址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电 话: (021)64250306(营销部)

(021)64252344(编辑室)

传 真: (021)64252707

网 址: press.ecust.edu.cn

印 刷 / 常熟新骅印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 19.75 插页 4

字 数 / 490 千字

版 次 / 2014 年 8 月第 1 版

印 次 / 2014 年 8 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-3736-7

定 价 / 52.00 元

联系我们: 电子邮箱 press@ecust.edu.cn

官方微博 e.weibo.com/ecustpress

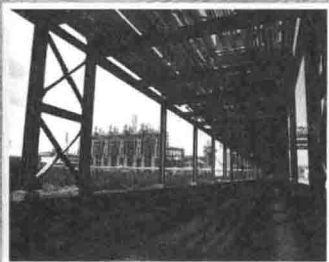
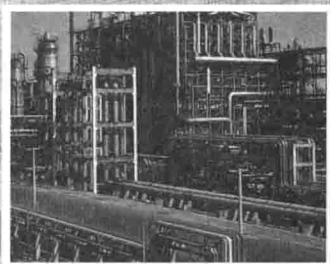
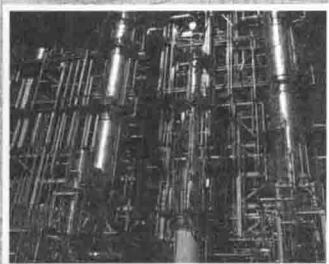
淘宝官网 <http://shop61951206.taobao.com>



工程硕士实践教学用书

全国工程硕士教指委“加强实践基地建设，提升实践教学质量”课题立项支持
上海市教委“专业学位研究生实践教学基地建设（中石化上海工程有限公司）”课题立项支持

HUAGONG ZHUANGZHI GONGYI SHEJI



内容提要

《化工装置工艺设计》是工程硕士教育用书,全书分上、下两册,重点叙述化工工艺设计的基本概念、设计程序和设计方法。

全书的编制参考了《化工工艺设计手册》等书籍和有关期刊文章、标准规范。全书编制的目的是为了适应在大学教学中如何将工程设计的知识融会到教学中,同时也开拓了学生的视野,为学生走出校门后尽早适应社会工作创造条件。全书对化工装置工艺设计中的过程工程,化工设计的过程、管理,化工工艺设计的计算、设计方法和典型的有机化工生产工艺等方面作了较全面的介绍,基本覆盖了化工装置工艺设计从基础到专业的知识。通过全书的学习,读者可以为成为一名合格的石油化工装置工艺设计技术人员打下扎实的基础。

本书为下册,共6章,主要介绍典型化工单元设备工艺设计、管道流体力学计算、安全泄放设施的工艺设计、典型管道配件工艺设计、管道及仪表流程图设计和公用工程系统和辅助系统的设计等内容。

本书适用于化学工程、石油化工、油气储运工程等有关专业的教学,也可作为相关专业工程技术人员参考用书。

本书编委会

主编 吴德荣

顾问 堵祖荫

编委(以姓氏笔画为序)

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马紫峰 | 王江义 | 王玉枫 | 王祖真 | 申国勤 |
| 叶海 | 印立峰 | 叶文邦 | 吕世军 | 陈明辉 |
| 陈为群 | 陈迎 | 陈愈安 | 何琨 | 何勤伟 |
| 李真泽 | 沈江涛 | 沙裕 | 邵以华 | 张斌 |
| 张红 | 张永生 | 杨建平 | 杨兆银 | 周莹 |
| 费建良 | 洪蕾 | 柴卫工 | 徐尔玲 | 夏庭海 |
| 崔春霞 | 崔文钧 | 黄玉英 | 葛春方 | 曾颖群 |
| 缪晔 | 薛宏庆 | | | |

序

为了更好地服务于我国经济社会的发展,培养具有较强的专业能力和职业素养、能够创造性地从事实际工作的高层次工程人才,国务院学位委员会于1997年第十五次会议审议通过了《工程硕士专业学位设置方案》,由此拉开了我国工程硕士专业学位研究生教育的序幕。

16年间,我国工程硕士专业学位教育获得了快速发展,培养高校不断增加,工程硕士培养规模迅速扩大,培养领域迅速拓展。2009年,全国范围内开始招收全日制工程硕士研究生。目前上海市共有23所高校及科研院所开展全日制工程硕士研究生的培养,涉及现有40个工程领域中的35个。2013年3月,教育部、国家发展改革委和财政部颁布了《关于深化研究生教育的意见》(教研[2013]1号),强调研究生教育“以服务需求、提高质量”为主线。如何面向特定职业领域,培养适应专业岗位的综合素质,建立以提升职业能力为导向的专业学位研究生培养模式?如何使这些未走出校门的研究生的理论与实践相结合,真正培养他们的应用能力,服务经济社会的需求?在此背景下,我们必须更好地构建符合专业学位特点的课程体系 and 实践教材,改革教学内容和方式,探索不同形式的实践教学。

为此,上海市学位办多次组织相关高校从事工程硕士教育的专家和管理干部对如何加强实践教学的工作进行研讨,推动高校在构建实践教材和课程体系方面取得积极进展,以不断满足工程硕士专业学位研究生培养的实践教学需求。华东理工大学作为全国首批工程硕士培养单位之一,已经积累了丰富的工程硕士培养经验,并形成了自己的特色。华东理工大学与中石化上海工程有限公司结合行业岗位的实际要求,合作编写了这本工程硕士实践教学用书。该书具有实践性强、应用面广、内容通俗易懂的特点,可供相关领域工程硕士研究生开展实践学习时选用,也可为广大从事工程实践的工程技术人员提供相关参考。

这是笔者第二次看到华东理工大学根据自身的学科特色,与企业合作编写工程硕士实践教学用书,短短一年时间有三本这样实用的教材能够面世,笔者感到十分高兴。笔者相信华东理工大学经过若干年的不懈探索和努力,工程硕士的实践教学必定会取得更好的成就,研究生的教育质量将更上一层楼。

上海市学位办 束金龙

2014年3月

前 言

中石化上海工程有限公司(以下简称上海工程公司)的前身是上海医药工业设计院,创建于1953年。60年来,公司不断发展壮大的历程铸就了企业深厚的文化底蕴,在诸多工程技术领域创下了永志史册的“全国第一”。众多创新成就在各个领域跻身先进行列,为我国国民经济发展做出了积极贡献。

上海工程公司受全国工程硕士教指委、上海市教委和华东理工大学的委托,负责编写工程硕士实践教学用书《化工装置工艺设计》。上海工程公司集60年企业工程建设实践与理念为一体,组织多名设计大师和国家注册资深设计专家,融入了多年工程建设的智慧和经验,吸收了工程技术人员的最新创新成果,依据既注重基本理论、更着力于实践应用的原则,使教材基于理论,源于实践,学以致用,力求将专家、学者、行家里手在长期工程实践活动中积累的心得体会和经验介绍给广大的青年学子,借此希望能对工程硕士培养教育和工程实践企业基地建设工作有所启发、借鉴和指导。

全书分上、下两册,下册共6章,主要介绍典型化工单元设备工艺设计,管道流体力学计算,安全泄放设施的工艺设计,典型管道配件工艺设计,管道及仪表流程图P&ID设计,公用工程系统和辅助系统的设计等内容。本书资料翔实,内容丰富,具有应用性强、章节分明、解释准确等特点,既可作为相关领域工程硕士实践教学用书,亦可供从事化工工艺设计的工程技术人员作参考。

本书的出版获得全国工程硕士教指委“加强实践基地建设,提升实践教学质量”课题和上海市教育委员会“专业学位研究生实践教学基地建设”课题立项支持,在此表示感谢。同时,编者在编写过程中参考了许多文献,引用了一些行业资料和数据,亦在此向相关作者致谢。本书编委会的各位专家在编写过程中付出了辛勤的劳动和努力,在此表示衷心的感谢!

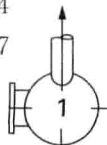
由于化工装置工艺设计博大精深,涉及知识浩如烟海,且在工程建设实践中不断充实、完善和发展,因此书中的不足之处在所难免,希望广大师生、同行专家和其他读者提出宝贵的意见和建议,以便我们提高水平,不断改进。

编 者

2014年3月

目 录

| | |
|---------------------------|-----|
| 第 1 章 典型化工单元设备工艺设计 | 1 |
| 1.1 反应器工艺设计 | 1 |
| 1.1.1 概述 | 1 |
| 1.1.2 化学反应动力学 | 4 |
| 1.1.3 停留时间分布和流体流动模式 | 10 |
| 1.1.4 均相反应器 | 11 |
| 1.1.5 固定床反应器 | 12 |
| 1.1.6 流化床反应器 | 13 |
| 1.1.7 气液反应器 | 14 |
| 1.2 塔器工艺设计 | 15 |
| 1.2.1 塔器 | 15 |
| 1.2.2 板式塔设计 | 17 |
| 1.2.3 筛板设计和流体力学计算 | 27 |
| 1.2.4 浮阀塔板设计及流体力学计算 | 34 |
| 1.2.5 填料塔设计 | 39 |
| 1.2.6 填料塔的内件与辅助装置设计 | 46 |
| 1.2.7 塔设备工艺计算的软件 | 53 |
| 1.3 换热器工艺设计 | 53 |
| 1.3.1 换热器的分类和选用 | 53 |
| 1.3.2 管壳式换热器的选用 | 65 |
| 1.3.3 管壳式换热器工艺计算 | 69 |
| 1.3.4 管壳式冷凝器工艺计算 | 75 |
| 1.3.5 再沸器工艺计算 | 81 |
| 1.3.6 换热器工艺计算的软件 | 86 |
| 1.4 容器工艺设计 | 87 |
| 1.4.1 容器的分类 | 87 |
| 1.4.2 立式和卧式重力气液分离器 | 87 |
| 1.4.3 立式和卧式丝网气液分离器 | 93 |
| 1.4.4 液液分离器 | 104 |
| 1.4.5 用于缓冲和紧急放空的容器罐 | 107 |



| | | |
|---------------------|---------------------|------------|
| 1.4.6 | 容器的型式和内部结构部件 | 108 |
| 1.5 | 压缩机工艺设计 | 110 |
| 1.5.1 | 分类与特点 | 110 |
| 1.5.2 | 理论基础 | 111 |
| 1.5.3 | 活塞式压缩机的选型 | 112 |
| 1.5.4 | 透平式压缩机的选型 | 113 |
| 1.5.5 | 设计工作程序 | 114 |
| 1.6 | 输送泵工艺设计 | 114 |
| 1.6.1 | 化工用泵的分类和工作原理 | 114 |
| 1.6.2 | 叶片式泵的基本性能和参数 | 116 |
| 1.6.3 | 容积式泵的基本性能和参数 | 122 |
| 1.6.4 | 电动机选用 | 123 |
| 1.6.5 | 往复泵的工艺计算 | 124 |
| 1.7 | 工业炉工艺设计 | 124 |
| 1.7.1 | 炉型类别 | 124 |
| 1.7.2 | 设计要点 | 125 |
| 第2章 管道流体力学计算 | | 129 |
| 2.1 | 经济管径 | 129 |
| 2.1.1 | 压力降要求 | 130 |
| 2.1.2 | 工艺控制要求 | 130 |
| 2.1.3 | 管壁磨损的限制 | 130 |
| 2.1.4 | 满足介质安全输送规定 | 131 |
| 2.1.5 | 满足噪声控制要求 | 132 |
| 2.1.6 | 符合管材的标准规格 | 132 |
| 2.1.7 | 管道工艺计算方法 | 133 |
| 2.2 | 管径计算 | 134 |
| 2.3 | 管道压力降计算 | 138 |
| 2.3.1 | 流体阻力的分类 | 138 |
| 2.3.2 | 单相流(不可压缩流体)的管道压力降计算 | 142 |
| 2.3.3 | 单相流(可压缩流体)的管道压力降计算 | 147 |
| 2.3.4 | 气液两相流(非闪蒸型)的管道压力降计算 | 148 |
| 2.3.5 | 气液两相流(闪蒸型)的管道压力降计算 | 152 |
| 2.3.6 | 真空系统 | 153 |
| 2.4 | 设备进口压力降计算 | 156 |
| 2.4.1 | 设备进、出管口压力损失的表示 | 156 |
| 2.4.2 | 设备进口压力损失计算 | 157 |
| 2.5 | 设备出口压力降计算 | 157 |
| 2.5.1 | 气体 | 157 |

| | | |
|------------------------|----------------|------------|
| 2.5.2 | 平衡液体 | 158 |
| 2.5.3 | 过冷液体 | 158 |
| 2.5.4 | 气液混合物 | 158 |
| 2.5.5 | 计算中应注意的问题 | 159 |
| 2.6 | 管道流体力学计算的软件 | 159 |
| 第3章 安全泄放设施的工艺设计 | | 160 |
| 3.1 | 安全阀工艺设计 | 160 |
| 3.1.1 | 概述(范围、术语和定义) | 160 |
| 3.1.2 | 安全阀与容器的压力关系 | 161 |
| 3.1.3 | 安全阀的设置场合 | 161 |
| 3.1.4 | 超压原因及其泄放量的确定原则 | 162 |
| 3.1.5 | 安全阀所需泄放量的计算实例 | 172 |
| 3.1.6 | 安全阀泄放能力的计算 | 173 |
| 3.1.7 | 安全阀的结构形式及分类 | 175 |
| 3.1.8 | 安全阀的选择 | 177 |
| 3.1.9 | 安全阀的安装原则 | 179 |
| 3.2 | 爆破片工艺设计 | 180 |
| 3.2.1 | 概述(范围、术语和定义) | 180 |
| 3.2.2 | 爆破片的分类 | 182 |
| 3.2.3 | 爆破片的设置场合 | 183 |
| 3.2.4 | 爆破片泄放量和泄放面积的计算 | 183 |
| 3.2.5 | 爆破片的爆破压力 | 187 |
| 3.2.6 | 爆破片的选择 | 191 |
| 3.2.7 | 爆破片的安装原则 | 194 |
| 3.3 | 呼吸阀工艺设计 | 194 |
| 3.3.1 | 呼吸阀的用途和分类 | 194 |
| 3.3.2 | 呼吸阀的计算 | 195 |
| 3.3.3 | 呼吸阀的选用和安装 | 197 |
| 第4章 典型管道配件工艺设计 | | 198 |
| 4.1 | 阀门工艺设计 | 198 |
| 4.1.1 | 工程设计中的阀门类别选用 | 198 |
| 4.1.2 | 阀门设置 | 201 |
| 4.2 | 限流孔板工艺设计 | 209 |
| 4.2.1 | 应用范围 | 209 |
| 4.2.2 | 分类 | 209 |
| 4.2.3 | 计算方法 | 210 |

| | | |
|--------|--------------------|-----|
| 4.3 | 气封工艺设计 | 212 |
| 4.3.1 | 气封装置的作用和组成 | 212 |
| 4.3.2 | 气封装置的选择计算 | 213 |
| 4.4 | 液封工艺设计 | 214 |
| 4.4.1 | 液封的类型 | 214 |
| 4.4.2 | 液封的设置 | 214 |
| 4.4.3 | 液封设置注意事项 | 218 |
| 4.4.4 | 液封高度的确定 | 218 |
| 4.5 | 阻火器工艺设计 | 219 |
| 4.5.1 | 阻火器的分类 | 219 |
| 4.5.2 | 阻火器的设置 | 220 |
| 4.5.3 | 阻火器的选用 | 220 |
| 4.5.4 | 阻火器安装的注意事项 | 221 |
| 4.5.5 | 阻火器的保养和防冻 | 221 |
| 4.6 | 静态混合器工艺设计 | 222 |
| 4.6.1 | 应用范围和类型 | 222 |
| 4.6.2 | 主要技术参数的确定 | 224 |
| 4.6.3 | 应用注意事项 | 227 |
| 4.6.4 | 五大系列静态混合器参数表 | 228 |
| 4.7 | 蒸汽疏水阀工艺设计 | 230 |
| 4.7.1 | 疏水阀的设置 | 230 |
| 4.7.2 | 疏水阀的分类 | 230 |
| 4.7.3 | 疏水阀的工作原理和特征 | 231 |
| 4.7.4 | 疏水阀的选择 | 238 |
| 4.7.5 | 疏水阀系统的设计要求 | 244 |
| 4.8 | 管道过滤器工艺设计 | 248 |
| 4.8.1 | 概述 | 248 |
| 4.8.2 | 管道过滤器的分类 | 248 |
| 4.8.3 | 管道过滤器安装注意事项 | 250 |
| 4.9 | 盲板工艺设计 | 250 |
| 4.9.1 | 盲板的分类及选用 | 250 |
| 4.9.2 | 盲板的设置 | 250 |
| 4.9.3 | 盲板设置注意事项 | 252 |
| 4.10 | 检流器工艺设计 | 252 |
| 4.10.1 | 检流器的类型 | 252 |
| 4.10.2 | 检流器的设置 | 252 |
| 4.10.3 | 检流器类型的确定 | 253 |
| 4.10.4 | 检流器设置注意事项 | 253 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 第 5 章 管道及仪表流程图(P&ID)设计 | 254 |
| 5.1 P&ID 设计基础 | 254 |
| 5.1.1 工艺设计包提交的内容 | 254 |
| 5.1.2 基础工程设计阶段 P&ID 设计需要的资料 | 258 |
| 5.2 P&ID 设计过程 | 259 |
| 5.2.1 管道及仪表流程图 A 版(初步条件版) | 259 |
| 5.2.2 管道及仪表流程图 B 版(内部审核版) | 260 |
| 5.2.3 管道及仪表流程图 C 版(用户审查版) | 261 |
| 5.2.4 管道及仪表流程图 O 版(设计版) | 261 |
| 5.2.5 管道及仪表流程图 1 版(详细设计 1 版) | 261 |
| 5.2.6 管道及仪表流程图 2 版(详细设计 2 版) | 261 |
| 5.2.7 管道及仪表流程图 3 版(施工版) | 262 |
| 5.3 管道编号 | 262 |
| 5.3.1 管道编号 | 262 |
| 5.3.2 管道编号的标注规则 | 263 |
| 5.3.3 管道特性一览表(管道表) | 265 |
| 5.4 设计压力和设计温度 | 267 |
| 5.4.1 设计压力的确定 | 267 |
| 5.4.2 设计温度的确定 | 271 |
| 5.5 容器 P&ID | 273 |
| 5.5.1 容器的 P&ID 设计要点 | 273 |
| 5.5.2 典型设计示例 | 273 |
| 5.6 塔器 P&ID | 275 |
| 5.6.1 蒸馏塔的典型设计 | 275 |
| 5.6.2 再沸器的典型设计 | 276 |
| 5.6.3 冷凝器和回流罐的典型设计 | 279 |
| 5.7 空冷器 P&ID | 280 |
| 5.8 工业炉 P&ID | 281 |
| 5.9 储罐 P&ID | 284 |
| 5.10 换热器 P&ID | 286 |
| 5.11 压缩机 P&ID | 288 |
| 5.12 输送泵 P&ID | 288 |
| 5.12.1 离心系的典型设计 | 290 |
| 5.12.2 往复系的典型设计 | 291 |
| 第 6 章 公用工程系统和辅助系统的设计 | 293 |
| 6.1 工业水系统 | 293 |
| 6.2 冷却水系统 | 293 |



| | | |
|------|--------------------|-----|
| 6.3 | 锅炉给水系统 | 293 |
| 6.4 | 蒸汽系统 | 294 |
| 6.5 | 蒸汽冷凝水处理系统 | 295 |
| 6.6 | 工业和仪表用压缩空气系统 | 295 |
| 6.7 | 燃料气系统 | 296 |
| 6.8 | 燃料油系统 | 296 |
| 6.9 | 惰性气体系统 | 296 |
| 6.10 | 火炬排放系统 | 297 |
| 6.11 | 化学品注入 | 297 |
| 6.12 | 含油污水排放系统 | 297 |
| 6.13 | 物料排净系统 | 298 |
| 6.14 | 冷冻系统 | 298 |
| | 参考文献 | 299 |

第1章 典型化工单元设备工艺设计

化工单元过程是化工生产装置的基本组成单元,它涵盖的内容极为广泛和丰富,故本章仅着重叙述典型化工单元设备的分类、设计方法及其选用,并适度介绍其计算方法。

1.1 反应器工艺设计

1.1.1 概述

化学反应过程是化工生产流程中的中心环节,反应器的设计占有核心地位。反应器中发生的是传热、传质等物理过程和化学反应变化共同交互作用的结果,反应器设计所依据的是化学反应工程理论,是化学反应工程理论的实际应用。由于化学反应的多样性,化学反应工程理论在实际应用方面处于不断发展之中,一个好的反应器设计往往需要理论与实验的结合才能不断完善。

因篇幅限制,本节内容侧重于反应器设计的基础原理,即化学反应工程的基础知识在工程实践中的应用。

1. 化学反应工程和反应器设计

反应器设计所依据的化学反应工程理论,是研究化工生产中化学反应过程的学科技术,它把反应的化学特性和反应器的传递特性结合起来,涉及化学动力学、传递过程和工程控制等领域。研究化学反应工程的主要任务如下。

- (1)对已有反应过程进行分析,寻求进一步改进或强化的方法;
- (2)开发新的反应技术和设备;
- (3)反应过程的优化;
- (4)设计反应器。

其中反应器设计主要包括:反应器选型;寻找合适的工艺条件;实现这些工艺条件必须采取的技术措施;确定反应器的结构尺寸;确定必要的控制手段。

2. 反应器的基本类型

反应器按结构大致可分为管式、釜式、塔式、固定床和流化床等类型。它们的主要适用范围和特性见表1-1。由于不同反应均有其自身的特点,选型时需要结合反应过程的特性进行综合分析,做出合理选择。

表 1-1 反应器的型式与特性

| 型 式 | 使用的反应 | 优 缺 点 | 生 产 举 例 |
|-------------|----------------------------|--|-------------------------------------|
| 搅拌槽,一级或多级串联 | 液相,液-液相,液-固相 | 适用性大,操作弹性大,连续操作时温度、浓度容易控制,产品质量均一,但高转化率时,反应容积大 | 苯的硝化,氯乙烯聚合,釜式法高压聚乙烯,顺丁橡胶聚合等 |
| 管式 | 气相,液相 | 接近于活塞流反应器,返混小,所需反应器容积小,比传热面积大;但对慢速反应,管要很长,压降大 | 石脑油裂解,甲基丁炔醇合成,管式法高压聚乙烯 |
| 空塔或搅拌塔 | 液相,液-液相 | 结构简单,返混程度与高/径比及搅拌有关,轴向温差大 | 苯乙烯的本体聚合,己内酰胺缩合,醋酸乙烯溶液聚合等 |
| 鼓泡塔或挡板鼓泡塔 | 气-液相,气-液-固(催化剂)相 | 气相返混小,但液相返混大;温度较易调节;气体压降大,流速有限制;有挡板可减少返混 | 苯的烷基化,乙烯基乙炔的合成,二甲苯氧化等 |
| 填料塔 | 液相,气-液相 | 结构简单,返混小,压降小;有温差,填料装卸麻烦 | 化学吸收,丙烯连续聚合 |
| 板式塔 | 气-液相 | 逆流接触,气液相返混均小;流速有限制;如需传热,常在板间另加传热面 | 苯连续磺化,异丙苯氧化 |
| 喷雾塔 | 气-液相快速反应 | 结构简单,液相表面积大;停留时间受塔高限制;气流速度有限制 | 高级醇的连续磺化 |
| 湿壁塔 | 气-液相 | 结构简单,液体返混小,温度及停留时间易调节;处理量小 | 苯的氯化 |
| 固定床 | 气-固(催化或非催化)相 | 返混小,高转化率时催化剂用量少,催化剂不易磨损;传热控温不易,催化剂装卸麻烦 | 乙苯脱氢,乙炔法制氯乙烯,合成氨,乙烯法制醋酸乙烯等 |
| 流化床 | 气-固(催化或非催化)相,特别是催化剂失活很快的反应 | 接近于全混型反应器,传热好,温度均匀,易控制,催化剂有效系数大;粒子输送容易,但磨损大;床内返混大,对高转化率不利,操作条件限制较大 | 萘氧化制苯酚,石油催化裂化,乙烯氧氯化制二氯乙烯,丙烯氨氧化制丙烯腈等 |
| 移动床 | 气-固(催化或非催化)相,催化剂失活很快的反应 | 固体返混小,固气比可变性大,粒子传递较易;床内温差大,调节困难 | 石油催化裂化,矿物的焙烧或冶炼 |
| 滴流床(涓流床) | 气-液-固(催化剂)相 | 催化剂带出少,分离易;气液分布要求均匀,温度调节较困难 | 焦油加氢精制和加氢裂解,丁炔二醇加氢等 |

续表

| 型式 | 使用的反应 | 优缺点 | 生产举例 |
|------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 蓄热床 | 气相,以固相为热载体 | 结构简单,材质容易解决,调节范围较广;但切换频繁,温度波动较大,收率较低 | 石油裂解,天然气裂解 |
| 回转筒式 | 气-固相,固-固相高黏度液相,液-固相 | 粒子返混小,相接触界面小,传热效能低,设备容积较大 | 苯酚转位成对苯二甲酸,十二烷基苯的磺化 |
| 载流管 | 气-固(催化或非催化)相 | 结构简单,处理量大,瞬间传热好,固体传送方便;停留时间有限制 | 石油催化裂化 |
| 喷嘴式 | 气相,高速反应的液相 | 传热和传质速度快,流体混合好,反应物急冷易,但操作条件限制较严 | 天然气裂解制乙炔,氯化氢的合成 |
| 螺旋挤压 机式 | 高黏度液相 | 停留时间均一,传热较困难,能连续处理高黏度物料 | 聚乙烯醇的醇解,聚甲醛及氯化聚醚的生产 |

3. 反应器设计的基本方法

设计反应器要尽可能全面掌握下列各方面的资料和数据。

- (1) 温度、浓度和压力对反应速率的影响,副反应的情况,反应条件对选择性的影响;
- (2) 催化剂的粒度对反应的影响,催化剂的失活原因和失活速率,催化剂的强度和耐磨性;
- (3) 反应热效应;
- (4) 原料中杂质对反应的影响;
- (5) 反应物和产物的物理性质、爆炸极限等;
- (6) 反应器中物料的流动和返混特性,反应器的传热特性和允许的压降;
- (7) 搅拌釜中搅拌桨的特性;
- (8) 多相流中分散相的分散方法和聚并特征;
- (9) 气固流态化系统中粒子的磨损和带出;
- (10) 开停车必须具备的辅助设施;
- (11) 反应器操作、控制方法。

工业规模反应器的开发设计往往和反应器的放大相联系,以前多采用逐级经验放大法,随着数学模拟计算技术的发展,目前已有相当成功的数学模型法及介于两者之间的半经验法来处理,这些方法都需要完成数量不等的实验室试验工作。

4. 反应器设计数学模型的组成

由表 1-1 可知,反应器的型式很多,但不论是哪一类反应器,其间发生的是哪一种反应,反应过程基本上都可以分解为反应、传热、传质和动量传递等。因此,反应速率方程、物料衡算方程、能量衡算方程、动量衡算方程及流动模型等,就构成了反应器的数学模型。这些方程是交互作用的。

反应速率方程将在化学反应动力学部分叙述。

物料衡算方程可对一个反应器微元段应用质量守恒定律后得出: