



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校机械工程·工业工程系列教材

(第二版)

过程设备设计与选型基础

◆ 陈志平 主编

曹志锡 潘浓芬 李晓红 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等院校机械工程·工业工程系列教材

过程设备设计与选型基础

(第二版)

陈志平 主编

曹志锡 潘浓芬 李晓红 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

内容简介

本教材是依据面向 21 世纪对生物与化工类专门人才的培养目标,以及贯彻“加强基础,拓宽专业知识,联系实际,提高能力,便于自学”原则而编写的,是面向化学工程、生物化工以及制药工程等专业的本科生教材。

全书共分 8 章。主要介绍过程设备的选型与设计知识,包括工程力学基础、工程材料、压力容器设计基础、机械传动基础以及典型过程设备选型等方面的内容。在保留传统教材经典内容的同时,注重介绍过程设备的功能与选型,突出实用性。书中附有大量习题,书后附有附录。

本书除作为高等院校化工工艺类专业及相关专业(石油化工、制药、生物化工、冶金、环保、能源等)的教材外,也作为有关科研、设计和生产单位的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

过程设备设计与选型基础 / 陈志平主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2005. 9(2007 重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 高等院校机械工程·工业工程系列教材

ISBN 978-7-308-04459-2

I. 过… II. 陈… III. ①化工过程—化工设备—设计
②化工过程—化工设备—选型 IV. TQ051

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 107306 号

责任编辑 宋纪浔

封面设计 姚燕鸣

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州好友排版工作室

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 19.75

字 数 497 千

版 印 次 2007 年 9 月第 2 版 2007 年 9 月第 3 次印刷

印 数 4001—6000

书 号 ISBN 978-7-308-04459-2

定 价 29.00 元

本教材是在原高等工科院校化工工艺专业“化工设备机械基础”课程教材基础上,根据面向 21 世纪生物与化工类专业的教学要求,以减少学时、加强基础、拓宽知识面、增强实用性为目标而编写的。与原有的一些教材相比,本书在以下几个方面进行了探索和尝试:

1. 拓宽适用范围,兼顾各专业需求。为了适应专业调整与学科发展的要求,将教材的使用对象由单一的化工专业扩大到所有加工制造流程性产品的过程工业类专业(如化工、制药、生化、石油化工等等),其涵盖的设备为广义的“过程设备”。

2. 编排体系和内容表达上有所创新。以介绍机械工程和过程设备方面的基础知识和基本理论为宗旨,保留了工程力学、机械传动与压力容器设计等方面的基础内容,精简了传统教材中较复杂的力学问题(如组合变形)和压力容器复杂受压元件强度计算方面的课时内容,以减少前面几个章节的教学学时数;将节省下来的篇幅介绍典型过程设备的选型知识。

3. 注重介绍设备的功能和选型,突出实用性。考虑到我国工艺类专业人员的主要任务是进行工艺设计研究及设备结构型式的选择,较少单独设计一台完整的设备。因而,在介绍传统化工过程中的四大典型设备——储存设备、搅拌设备、换热设备和塔设备时,着重介绍其性能、结构类型与特点、应用场合和选用方法等基本知识,不再赘述各种载荷作用下的强度计算问题。

4. 力求体现最新的科研成果,展示过程设备的最新研究进展。教材有选择地增加了一些代表过程设备发展方向的新内容,并尽量引用最新的国家标准或规范中的数据。

5. 重视学生在学习活动中的主体地位。不将学生单纯视为传授知识的对象,注重他们的自主学习精神,给他们留下思维的空间。一方面,提供了相当数量的思考题和习题,列出了经过精选的参考文献;另一方面,在有些内容的表达上,不求面面俱到,而是突出重点,点到为止,并给出相关的参考文献,供读者需要时查阅。

本书除作为高等院校化工工艺类专业及相关专业(石油化工、制药、生物化工、冶金、环保、能源等)的教材外,也作为有关科研、设计和生产单位的工程技术人员参考书。

本书由陈志平主编。参加编写的有陈志平(绪论、第 2 章、第 3 章、第 5 章、第 6 章、第 8 章和附录 2),曹志锡(第 1 章和附录 1),潘浓芬(第 4 章),李晓红(第 7 章)。

作者十分感谢浙江大学李伯耿教授在百忙之中为本书撰写序,使本书增色不少,感谢浙江大学蒋家羚教授、林兴华教授,合肥通用机械研究院陈学东研究员,以及浙江工业大学高振梁教授在编写工作中所给予的大力支持和帮助。

由于水平有限,虽经努力,书中不妥甚至错误之处在所难免,敬请读者指正,不胜感激。

作者

2007 年 6 月

作为一门工程学科,化学工程学科的发展是与工业和社会经济发展密切相关的。自 19 世纪末 G. E. 戴维斯提出 Chemical Engineering 的概念以来,化学工程经历了一个多世纪的发展,化学工业的规模以几何级数增长,化学工业在我国国民经济中所占的比重也与日俱增。

1888 年美国 MIT 首先推出了化学工程课程体系并于 1920 年建立了化学工程系。1915 年 A. D. 利特尔提出单元操作的概念,指出“任何化工生产过程不论规模如何,皆可分解为一系列可称为单元操作的过程,例如粉碎、混合、加热、……、吸收、冷凝、浸取、沉降、结晶、过滤、……等等”,初步奠定了化学工程的科学基础。“单元操作”概念的提出被公认为是化学工程学科发展中第一阶段的标志。1957 年化学反应工程学科的诞生、1960 年 R. B. 博德等编著的《传递现象》一书的问世,以及化工热力学、化工系统工程等分支学科的形成,使化学工程学科的发展步入了第二个阶段,“三传一反”成为了化学工程学科的新标志。与此同时,化工工艺、化工装备、化工仪表与化工自动化的学科内涵不断丰富,它们的工程化设计技术也日趋完善,共同构成了以现代化学工业为核心的过程工业的学科基础。

进入 21 世纪,生命科学、信息技术、材料科学与环境科学迅速发展,并由此产生了一大批高新技术产业。化学工程为这些学科科技成果的产业化提供了重要的技术平台,高新技术也为化学工程学科的新发展提供了新的机遇和手段。化学工程学科正呈现出一些新的发展趋势:(1)过程强化的理念再掀高潮,以非常规条件、微环境、微装置等为代表的“过程工程”新技术不断出现;(2)产生了化学“产品工程”的新概念,以产品结构为主线的化学工程研究新方法正在发展,化学工程的研究目标正从过程效能的最大化向过程产品的高性能化方向拓展;(3)研究对象从传统的资源加工、原材料制造、微观与宏观环境处理向生命体的仿真与仿制,信息与能量的储存与转换等方向拓展;(4)资源循环与集约利用、过程环境友好、产品无毒无害等理念与方法正在向“工业生态学”这一新兴学科发展。

在化学工程一个多世纪的发展过程中,化工机械工程一直与之相伴,两者密不可分。化学工程的基本任务是进行化学过程(包括生化过程)与物理过程的开发,以对原料或化学半成品的组成、结构与性质进行规模化的改造,使之成为具有特定性能或功能的化学产品。化工机械工程的基本任务则是进行这些过程装备的开发,为这些化学与物理过程提供安全、可靠、低耗、高效能、甚至智能化的装备,使过程效能最大化、产品高性能化的目标得以实现。因此,化学工程师在掌握众多的化学和物理过程内在规律的同时,必须熟知这些过程装备,以全面掌握从实验室走向工业生产所必须的过程及其装置的设计、放大与优化操作的技能。

过程装备的内涵十分宽广,一般可分为五大类:(1)以遵循流体力学与热力学规律为主的热力流体过程装备,如泵、压缩机、冷冻机、离心机、搅拌设备等;(2)以遵循固体和粉体力学规律为主的机械过程装备,如粉碎、过筛、造粒、输送装备等;(3)以遵循燃烧与传热规律为主的传热过程装备,如工业炉、换热器、蒸发器等;(4)以遵循传质分离规律为主的传质过程装备,如蒸馏塔、吸收塔、萃取塔、干燥器、结晶器等;(5)以遵循化学反应规律为主的化学反应过程装备,

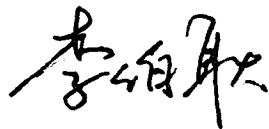
过程设备设计与选型基础

如固定床、移动床和流化床反应器、搅拌反应釜等。热力流体过程装备和机械过程装备一般多属于通用机械,可统称为过程机器;传热过程装备和传质过程装备、化学过程装备需针对不同生产工艺进行独立的设计与研发,可统称为过程设备;又因其外壳有鲜明的学科共性,可单独称为压力容器。随着现代流程工业朝着大型集成化方向发展,过程装备也随之向大型化、高参数与长寿命周期方向发展,更多地按生产工艺参数采用专用设计、个性化设计和制造,使之在最佳工况下运行。

本教材依据面向 21 世纪对化工与生物技术类专门人才的培养目标,顺应高等学校专业课程改革与学科发展的需要,对化工工艺类机械基础教材内容作了较大幅度的调整与创新。新编教材精简了传统教材中较复杂的力学问题和压力容器复杂结构强度计算方面的课时内容,转而注重介绍典型过程设备的功能和选型方法,突出实用性;并力求体现最新的科研成果,展示过程设备的最新研究进展。

高质量的优秀教材是培养高素质人才的重要基础,也是学科建设的重要内容。希望本教材的推广使用有助于化工与生物技术类学生提高学习过程装备基础课程的兴趣,有益于提高学生的机械与装备技术知识水平。同时也希望教材编写者们与时俱进,不断通过教学和教改实践,丰富和完善教材内容,使之成为一本精品教材。

长江学者、浙江大学教授



2007 年 6 月 28 日于求是园

目 录

绪 论	1
第 1 章 工程力学基础	4
1.1 物体的受力分析及其平衡条件	4
1.1.1 力的概念和基本性质	4
1.1.2 力矩与力偶	6
1.1.3 力系的简化	7
1.1.4 约束反力	8
1.1.5 受力图	10
1.1.6 平面力系的平衡方程式	12
1.2 直杆的拉伸和压缩	15
1.2.1 工程实例	16
1.2.2 拉伸和压缩时横截面上的内力	16
1.2.3 拉伸和压缩时杆件的应力	18
1.2.4 轴向拉压时的变形及虎克定律	19
1.2.5 拉伸和压缩时材料的力学性能	21
1.2.6 拉伸和压缩的强度条件	24
1.3 剪切与挤压	26
1.3.1 剪切的概念	26
1.3.2 剪切与挤压的实用计算	27
1.3.3 剪切变形和剪切虎克定律	29
1.4 圆轴的扭转	30
1.4.1 圆轴扭转的实例和概念	30
1.4.2 外力偶矩和扭矩的计算	30
1.4.3 圆轴扭转时的应力	32
1.4.4 圆轴扭转的强度条件	35
1.4.5 圆轴的扭转变形与刚度条件	36
1.5 梁的平面弯曲	37
1.5.1 弯曲的概念和实例	37
1.5.2 梁横截面上的内力——剪力和弯矩	38
1.5.3 剪力图和弯矩图	39
1.5.4 纯弯曲时梁横截面上的正应力	42
1.5.5 简单截面图形的惯性矩和抗弯截面模量	45
1.5.6 弯曲正应力的强度条件	46

1.5.7 梁的弯曲变形概述	48
1.5.8 提高梁弯曲强度和刚度的措施	50
1.6 应力分析和组合变形的强度计算	51
1.6.1 应力状态的概念和分类	52
1.6.2 平面应力状态的应力分析	53
1.6.3 广义虎克定律	55
1.6.4 常用的几种强度理论及其应用	56
1.6.5 组合变形的强度计算	58
1.7 压杆稳定	62
1.7.1 压杆稳定的概念	62
1.7.2 细长杆临界压力的确定——欧拉公式	62
1.7.3 压杆的临界应力与临界应力总图	63
1.7.4 提高压杆稳定性的措施	65
习题	66
第2章 过程设备材料选用	75
2.1 工程材料的分类	75
2.2 材料的性能	76
2.2.1 力学性能	76
2.2.2 物理性能	78
2.2.3 化学性能	79
2.2.4 加工工艺性能	79
2.3 过程设备常用材料	80
2.3.1 铁碳合金的组织结构	80
2.3.2 碳素钢	81
2.3.3 合金钢	82
2.3.4 钢材的品种及形状	84
2.3.5 铸铁	85
2.3.6 有色金属及合金	85
2.3.7 非金属材料	87
2.4 金属的热处理	89
2.4.1 热处理的作用	89
2.4.2 热处理三要素	89
2.4.3 常用的热处理方法	89
2.5 金属材料的腐蚀与防腐	90
2.5.1 电化学腐蚀与化学腐蚀	91
2.5.2 全面腐蚀与局部腐蚀	91
2.5.3 应力腐蚀	92
2.6 过程设备材料的基本要求与选用原则	92
2.6.1 压力容器用钢的基本要求	93
2.6.2 过程设备材料的选用	94

习题	95
第3章 压力容器设计基础	96
3.1 压力容器基本结构	96
3.1.1 筒体	96
3.1.2 封头	96
3.1.3 密封装置	97
3.1.4 开孔与接管	97
3.1.5 支座	97
3.1.6 安全附件	98
3.2 压力容器分类	98
3.2.1 按压力等级分类	98
3.2.2 按容器在生产中的作用分类	98
3.2.3 按安装方式分类	99
3.2.4 按安全技术管理分类	99
3.3 压力容器的安全监察	100
3.3.1 压力容器安全监察制度与监察范围	100
3.3.2 我国压力容器的安全监察法规标准体系	101
3.3.3 常用的压力容器安全监察法规与标准	101
3.4 压力容器零部件的标准化	102
3.4.1 标准化的意义	102
3.4.2 标准化的基本参数	102
3.5 回转薄壳应力分析	104
3.5.1 薄壁圆筒容器及其应力	104
3.5.2 回转薄壳的应力分析	105
3.5.3 无力矩理论在几种典型壳体上的应用	108
3.5.4 边缘应力的概念	113
3.6 内压薄壁圆筒的强度设计	114
3.6.1 内压薄壁圆筒的壁厚设计	114
3.6.2 设计参数	115
3.6.3 压力试验	118
3.7 外压圆筒设计	120
3.7.1 概述	120
3.7.2 临界压力	121
3.7.3 外压圆筒的工程设计	122
3.7.4 加强圈的设置	129
3.8 封头设计	130
3.8.1 半球形封头	130
3.8.2 椭圆形封头	131
3.8.3 碟形封头	132
3.8.4 球冠形封头	133



过程设备设计与选型基础

3.8.5 锥壳	134
3.8.6 平盖	135
3.9 零部件的设计与选用	136
3.9.1 法兰	136
3.9.2 容器支座	145
3.9.3 容器的开孔与接管	149
3.9.4 安全附件	153
习题与思考题	154
第4章 机械传动基础	157
4.1 V带传动	157
4.1.1 概述	157
4.1.2 带传动的基本理论	160
4.1.3 V带传动的选用计算	165
4.1.4 V带轮的张紧装置	167
4.2 齿轮传动	169
4.2.1 齿轮传动的特点和类型	169
4.2.2 齿廓啮合基本定律	169
4.2.3 渐开线齿廓	170
4.2.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称及几何尺寸	172
4.2.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合	174
4.2.6 渐开线齿轮的加工方法和精度选择	175
4.2.7 齿轮的失效形式和齿轮材料	176
4.2.8 标准直齿圆柱齿轮的选用和强度计算	177
4.2.9 斜齿圆柱齿轮传动	179
4.2.10 直齿圆锥齿轮传动	180
4.2.11 齿轮结构	180
4.3 蜗杆传动	182
4.3.1 蜗杆传动的特点和类型	182
4.3.2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	183
4.3.3 蜗杆传动中蜗轮转向判断、失效及材料选择	186
4.3.4 蜗杆和蜗轮的结构	187
4.4 轴与联轴器	188
4.4.1 轴和联轴器的类型	188
4.4.2 轴的计算	188
4.4.3 轴的材料与结构	189
4.4.4 联轴器的类型与性能	192
4.4.5 联轴器的选用	194
4.5 轴承	196
4.5.1 轴承的功用和类型	196
4.5.2 滑动轴承的结构与材料	196

4.5.3 滑动轴承的润滑与验算	199
4.5.4 滚动轴承的结构、类型及代号	201
4.5.5 滚动轴承的选用和组合	205
4.6 轮系与减速器	207
4.6.1 轮系、减速器及其类型	207
4.6.2 定轴轮系	207
4.6.3 周转轮系	210
4.6.4 减速器	212
习题与思考题	215
第5章 储存设备选型	217
5.1 概述	217
5.1.1 储存设备的分类	217
5.1.2 储存介质的性质	217
5.1.3 装量系数	218
5.1.4 环境对储存设备的影响	218
5.2 储存设备的结构	219
5.2.1 卧式圆柱形储罐	219
5.2.2 立式平底筒形储罐	220
5.2.3 球形储罐	222
5.3 储存设备的选型	225
5.3.1 选型的基本原则	225
5.3.2 立式平底筒形储罐的选型方法	225
思考题	226
第6章 搅拌设备选型	227
6.1 搅拌的目的	227
6.2 搅拌设备的基本结构	227
6.3 搅拌容器	228
6.3.1 内容器	228
6.3.2 换热元件	229
6.4 搅拌器	231
6.4.1 流型	231
6.4.2 搅拌器的分类	232
6.4.3 典型搅拌器的特征及应用	233
6.4.4 搅拌器的选用	234
6.4.5 搅拌功率的计算	236
6.4.6 搅拌附件	238
6.5 搅拌轴	240
6.6 轴封	240
6.6.1 填料密封	240
6.6.2 机械密封	242



过程设备设计与选型基础

6.6.3 全封闭密封——磁力传动搅拌装置	244
6.7 传动装置	244
6.7.1 电动机的选型	245
6.7.2 减速机选型	245
6.7.3 机架	246
习题与思考题	247
第7章 换热设备选型	248
7.1 概 述	248
7.1.1 过程对换热设备的基本要求	248
7.1.2 换热设备分类及其特点	249
7.2 管壳式换热器	253
7.2.1 基本类型与特点	253
7.2.2 管壳式换热器的结构	255
7.3 换热器设计与选型简介	265
7.3.1 换热器设计	265
7.3.2 换热器选型	267
思考题	267
第8章 塔设备选型	269
8.1 塔设备的分类及总体结构	269
8.1.1 塔设备的分类	269
8.1.2 塔设备的总体结构	272
8.1.3 塔设备的基本要求	272
8.2 填料塔	273
8.2.1 填料	273
8.2.2 填料塔内件的结构	274
8.3 板式塔	280
8.3.1 板式塔的分类	280
8.3.2 板式塔的结构	281
8.3.3 板式塔的比较	284
8.3.4 板式塔塔盘的结构	285
8.4 塔设备的附件	288
8.4.1 除沫器	288
8.4.2 裙座	290
8.5 塔设备的选型	291
8.5.1 填料塔与板式塔的比较	291
8.5.2 塔型选择的一般原则	292
思考题	293
附录1 型钢参数表	294
附录2 钢制压力容器常用材料的许用应力	298
参考文献	301

从原材料到产品,要经过一系列物理的、化学的或者生物的加工处理步骤,这一系列加工处理步骤称为过程。过程需要由设备来完成物料的粉碎、混合、储存、分离、传热、反应等操作。例如,流体输送过程需要有泵、压缩机、管道、储罐等设备。习惯上,将有运动部件的装置称为过程机器,静止的装置称为过程设备,两者合起来统称为过程装备。

(1) 过程设备的作用

过程设备在工业生产领域中的应用十分广泛,是石油化工、煤化工、能源、食品、冶金、纺织、城建等传统行业所必需的关键设备。例如,加氢反应器是有机化学实验室和实际生产过程中一件非常重要的设备,不仅可以用作加氢反应的容器,而且也可用于液体和气体需要充分混合的场合;同时在化学制药方面有着广泛的用途,可作为产品开发、有机化学制品和医药品研究的基础设备,还可用于定量分析工业过程中催化剂的活性。其中,热壁加氢反应器是炼油与煤液化工程的关键设备,在 $400^{\circ}\text{C}\sim 480^{\circ}\text{C}$ 高温、 $10\sim 25\text{MPa}$ 高压和临氢及硫化氢环境下长期运行,其参数不断大型化。一些大型装置的单台热壁加氢反应器的重量达到千吨级以上,已成为当今世界衡量一个国家机械制造水平的重要标志。

此外,在一些高新技术领域,如核工业、海洋技术和资源环境技术领域、国防工业、宇航工程等也离不开过程设备。核电站中的压水堆就是一个承受 $12.2\sim 16.2\text{MPa}$ 的高压容器;潜艇的外壳实则是一个承受外压作用的壳体。

事实上,在一个现代化程度很高的大型工厂中,过程设备的投资费用一般占总投资额相当高的比例,且过程设备的质量优劣将直接影响企业的正常运行和产品质量。如年产 30 万吨的乙烯生产装置是以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。其主要机器、设备有压缩机、泵、换热器、反应釜、分离塔、储罐等,其中以换热设备、反应设备、塔设备和储存设备为主的过程设备购置费用几乎占到总投资的一半以上。

(2) 过程设备的分类与特点

过程设备按其所能实现的单元操作能力可归纳为几大类通用设备,即化学反应设备、物料输送设备、分离设备、传热设备(包括蒸发设备、结晶设备和干燥设备)、粉碎设备以及储存设备等。其中以储存设备、搅拌(反应)设备、换热设备和塔(分离)设备最为典型。

近年来,随着科学技术的发展,过程设备向多功能、大型化、成套化和专业化方向发展,呈现出以下特点:

a. 功能原理多种多样 过程设备的用途、介质特性、操作条件、安装位置和生产能力千差万别,往往要根据功能、使用寿命、质量、环境保护等要求,采用不同的工作原理、材料、结构和制造工艺单独设计,因而过程设备的功能原理多种多样,是典型的非标设备。

b. 机电一体化 新设备是新工艺的摇篮。为使过程设备高效、安全地运行,不仅需要控制物料的流量、温度、压力、停留时间等参数,还须同时检测设备的安全状况。



过程设备设计与选型基础

c. 外壳一般为压力容器 过程设备通常是在一定温度和压力下工作的,虽然形式繁多,但一般都由限制其工作空间且能承受一定压力的外壳和各种各样的内件组成。这种能承受压力的外壳就是压力容器。

(3) 过程设备的基本要求

过程设备最基本的要求是满足安全性与经济性,安全是核心,在充分保证安全的前提下尽可能做到经济。经济性包括经济的制造过程,经济的安装、使用与维护,设备的长期安全运行本身就是最大的经济。对一个连续生产的过程装置,停产一天所造成的经济损失就可能大大超过单台设备的成本。

在满足工艺要求的前提下,为了确保安全与经济,过程设备应满足以下基本要求。

a. 结构合理,安全可靠 过程设备上所有部件都必须有足够的强度、刚度和稳定性,可靠的密封性和一定的耐久性。耐久性取决于使用年限,过程设备的使用年限一般决定于介质的腐蚀情况,在反复载荷、高温操作或流体振动的情况下,其寿命还取决于设备的疲劳、蠕变及振动磨损等因素。通常,过程设备的设计寿命为 10~30 年。

b. 先进的技术经济指标 技术经济指标是衡量过程设备优劣的重要参数。如果技术经济指标过低,过程设备就缺乏市场竞争力,将被淘汰。技术经济指标主要包括设备制造、运输与安装成本,生产效率,原料及能量消耗系数等。

c. 运转性能好 要求操作简单,运转方便;噪音低,振动小;能连续运行、自动化程度高;易于清洗、装拆和检修;便于控制,能检测或自动检测流量、温度、压力、浓度、液位等状态参数。

d. 优良的环境性能 随着社会的进步,人类的环保意识日益加强,产品的竞争趋向国际化,过程设备失效的外延也在不断扩大,它不仅是指爆炸、泄漏、生产效率降低等功能失效,还应包括环境失效。如有害物质泄漏到环境中、噪音、设备服役期满后无法清除有害物质、无法翻新或循环利用等也应作为设计选用考虑的因素。

上述要求很难全部满足,设计选用时应针对具体问题具体分析,满足主要要求,兼顾次要要求。

(4) 正确理解过程设备所应掌握的基础知识

随着过程工业的迅速发展,过程设备正朝着系列化、大型化方向发展,且工作条件愈来愈苛刻,操作压力从高真空到数千大气压,工作温度从 -269°C ~ 2000°C ,工作介质也五花八门,既有强烈的腐蚀性、毒性或易燃易爆性,甚至有的还带中子辐射。基于此,对于从事过程工艺研究、设计和生产的工艺技术人员来说,除了应该精通过程工艺技术外,还必须掌握一定的机械基础知识,才能保证新研制的工艺成为现实,才能保证为工艺服务的各过程设备结构合理、安全可靠。

本书主要介绍过程设备的选型与设计知识,包括工程力学基础、工程材料、压力容器设计基础、机械传动基础,以及典型过程设备选型等方面的内容。

a. 工程力学基础 所谓机械就是由力学原理构成的装置,换言之,构成机械的基础是力学。力学作为一门学科,所涉及的内容相当广泛,但就工程力学而言,其任务是研究构件在外力作用下变形和破坏的规律,为设计构件选择适当的材料和尺寸,解决构件的强度、刚度和稳定性问题。

任何设备在工作时,都要受到各种各样的外力作用,都要产生一定程度的变形。如果设备设计得不合理,则无法承受外力的作用,也无法保证安全生产。因此,为使设备能安全而正常地工作,在设计时必须使构件满足以下力学条件:①强度条件。强度是指构件抵抗破坏的能

力;构件在外力的作用下发生断裂或显著不可恢复的变形均属于强度失效;构件应具有足够的强度。②刚度条件。刚度是指构件抵抗变形的能力;法兰等密封件对变形有一定要求,在这些构件上若存在较大变形会造成刚度失效;构件要有必要的刚度。③稳定性条件。稳定性是指构件保持原有平衡状态的能力。如细长直杆、薄壁外压容器等构件,在所受压缩外力过大时会突然压弯而失去原有的平衡状态;构件应具有足够的稳定性。

本书第1章包含工程力学两个基础部分的内容:静力学和材料力学。其中静力学主要研究力的外效应中的平衡规律;材料力学以杆件为研究对象,讨论在拉伸(压缩)、剪切、扭转和弯曲四种基本变形下,杆件的强度、刚度或稳定性问题。

b. 工程材料 过程设备往往运行在复杂而苛刻的工艺条件下,不同的生产工艺对设备材料有不同的要求。有的要求材料具有良好的力学性能和加工工艺性能;有的要求材料耐高温或低温;有的要求材料具有优良的物理性能;有的则要求材料具有良好的耐腐蚀性等。因此,在设计制造过程设备时,必须针对具体操作条件,正确合理地选择材料,才能保证设备的正常运行。第2章主要介绍材料的分类和力学性能,以及常用材料的品种规格、性能特点和应用范围等,并提出过程设备用材的基本要求与选用原则。

c. 压力容器设计基础 过程设备的外壳一般为压力容器。压力容器是涉及国家财产和人民生命安全的特种设备,一旦出现事故,所造成的损失将是十分巨大的。国内外每年都有压力容器爆炸和泄漏事故发生,造成人员伤亡、企业停产、财产损坏和环境污染。对连续生产的现代化大型企业,容器失效会导致全线停产,损失就更大了。

为确保压力容器的安全运行,许多国家都结合本国的国情制订了强制性或推荐性的压力容器规范标准,如中国的GB150《钢制压力容器》、JB4732《钢制压力容器——分析设计标准》、JB/T4735《钢制焊接常压容器》和技术法规《压力容器安全技术监察规程》等,对其材料、设计、制造、安装、使用、检验和修理改造等环节提出相应的要求。

所以,在设计选用具有各种功能的过程设备前,首先必须了解压力容器的基本结构和分类、主要受压元件的受力特点和设计计算方法,以及各种零部件的结构及其选用等问题,同时还应熟悉涉及压力容器设计、制造、材料使用和监察管理的有关标准法规等内容。

d. 机械传动基础 过程设备在工作的时候往往还需要运动和动力,这一工作的实现就是依靠机械传动装置,如带机械搅拌装置的反应设备。掌握一些机械传动方面的基本知识有助于对带传动装置的过程设备的理解。本书第4章主要叙述几种典型的常用传动装置的工作原理、失效形式及选用计算方法;同时介绍了轴承、联轴器、减速器等机械通用零部件的结构、设计方法和标准选用等知识。

e. 典型过程设备选型 储存设备、搅拌设备、换热设备和塔(分离)设备是目前应用最多的几种过程设备,亦是《过程原理》(或《化工原理》)课程中传热、传质、液体的搅拌与精馏等主要单元操作的实施载体,同时也是组成石化、化工、制药等生产装置的核心设备。

本书第5章至第8章主要介绍四大典型设备的分类、基本结构、特点、应用范围和选用原则等。通过这些内容的学习,有助于化学工程师们对各种设备的性能有初步的了解,并在工艺设计时,正确选择设备的结构形式,提出合适的技术参数,从而使设备能最大限度地满足工艺要求。

大量事实证明,对于从事过程工艺研究、设计和生产的化学工程师们来说,倘若既精通工艺又懂机械,必将得心应手、游刃有余。

工程力学基础

工程力学作为过程设备设计的基础知识,其任务是研究构件在外力作用下变形和破坏的规律,为设计构件选择适当的材料和尺寸,解决构件的强度、刚度和稳定性问题。

由于化工、制药、炼油等工业生产中,多数设备都是静置的,因而本章的受力分析仅为静力分析。静力分析的一个重要内容就是研究物体在力系作用下的平衡规律,它是静力学的基础内容;本章的另一部分内容为材料力学,它是研究材料的力学性能和构件的受力变形与破坏规律,进行构件强度、刚度或稳定性计算。

工程上,构件的几何形状是多种多样的。但就其几何特征来看,可将其归纳为杆、板、块三种。其中杆的力学分析较为简单,同时也是分析其他类型构件的基础。本章仅讨论等截面直杆在基本变形和组合变形下的应力分析、强度与变形计算。

1.1 物体的受力分析及其平衡条件

1.1.1 力的概念和基本性质

力是物体间相互的作用,其结果使物体的运动状态发生变化,同时亦使物体变形。前者称为力对物体的外效应,后者称为力对物体的内效应。

正常情况下,工程构件在力作用下的变形都很小,这种变形在静力分析时对结构的影响可以忽略。因而静力学中研究的对象都可认为是刚体,在本节的阐述中,物体都假设为刚体。

讨论力作用的结果,无论外效应还是内效应,都离不开力的三要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。缺少其中任何一个要素,则力的结果就表达不清楚。

由于力具有三要素,所以力是矢量。表达时常将力符号的字母用黑体字或字母上加一箭头表示,例如 $\mathbf{F}$ 或 $\vec{F}$;在图中常用带箭头的线段来表示力,如图 1-1 所示, $\mathbf{P}$ 为小车重力, $\mathbf{T}$ 为拉力。

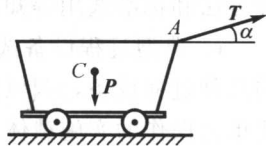


图 1-1 小车受力图

力又分为集中力和分布力,国际单位制中,集中力用“牛顿”(N)、“千牛顿”(kN)表示;分布力用“牛顿/米²”(N/m²)简写为 Pa,和“牛顿/米”(N/m)表示。一个物体受多个力作用时称力系;等效取代原力系的另一力称合力或等效力;使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。

力具有一些简单而明显的基本性质——静力学公理,它们是静力学的基础。

(1)公理一——二力平衡定理 刚体在两力作用下处于平衡状态的条件是:二力大小相等、方向相反并作用在同一直线上。如图 1-2 所示,重物在空中静止时,绳子向上的拉力 T 与重物向下的重力 P 是一对等值、反向、共线的平衡力。二力平衡公理描述的是最简单的平衡力系。

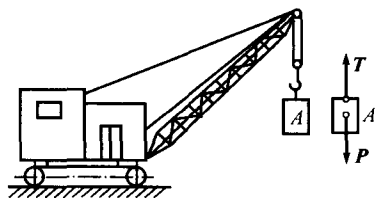


图 1-2 起吊重物受力图

(2)公理二——加减平衡力系公理 受力刚体中加上或者减去一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的运动效应。

由这一公理可得出力的可传性推论。即:刚体上的力,可沿着它的作用线移到刚体的任一点,并不改变力对刚体的作用。如图 1-3 所示,原作用于 A 点的 F 力,通过对作用线上的 B 点加上一对模等于 $|F|$ 的平衡力 F_1 、 F_2 等效变换后,变成作用在 B 点的 F_1 力,即力实际上是滑移矢量。

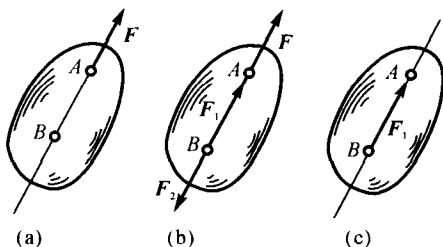


图 1-3 力的可传性

显然对具体变形体,力移动后对物体产生的变形就会不同。所以,工程实际分析中,一般力不作移动。

(3)公理三——力的平行四边形法则 作用于物体上同一点的两个力,可以合成一个合力。合力的作用点仍在原作用点,合力的大小和方向,由这两个力矢为邻边所构成的平行四边形的对角线所确定,如图 1-4 所示。

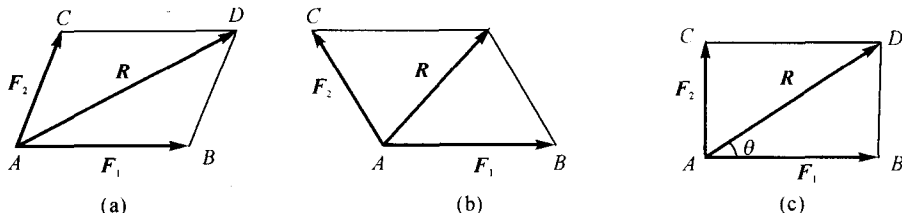


图 1-4 力的平行四边形法则

用公式表示为

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

此公理提供了最简单力系的简化法则,也是复杂力系简化的基础。

由该公理得到另一推论——三力平衡汇交定理。即刚体平面内作用的三个不平行力,若使刚体平衡,则该三力必汇交于一点。

证明如下:如图 1-5 所示,设刚体分别在 A 、 B 、 C 三点上作用三个力 F_1 、 F_2 和 F_3 ,使刚体处于平衡状态中。把 F_1 和 F_2 沿作用线移到交点 O ,由公理三得 F_1 和 F_2 的合力 R 。由于刚体处于平衡状态,根据公理一知,力 R 必与力 F_3 等值、反向、共

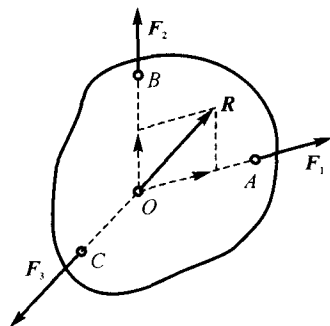


图 1-5 三力汇交