

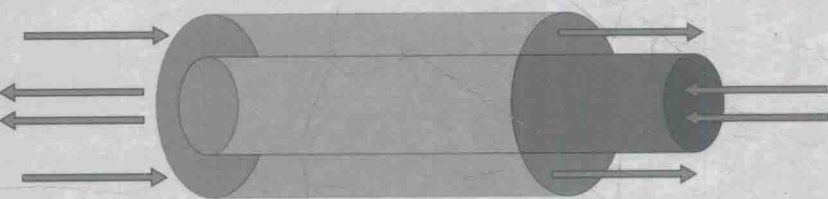
普通高等教育

制药类“十三五”规划教材

制药设备设计基础

供中药制药、制药工程、生物制药及相关专业使用

韩静 主编
赵宇明 吴淑晶 副主编



ZHIYAO
SHEBEI
SHEJI
JICHU



化学工业出版社



普通高等教育

制药类“十三五”规划教材

制药设备设计基础

供中药制药、制药工程、生物制药及相关专业使用

赵宇明 韩静 主编
吴淑晶 副主编

ZHIYAO
SHEBEI
SHEJI
JICHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本书根据国家和相关部委颁布的最新标准,针对医药类学生的课程学习特点,按照药学类学生对制药设备专业知识学习时所需要掌握的基础知识的要求,查阅多种文献、参考书,结合诸位编者多年的教学一线实践经验,经统一整理后编写而成。全书包括力学基础、材料基础、容器基础、设备基础四部分内容,详细划分为刚体受力分析及平衡规律,制药设备常用金属的力学性能,拉压、弯曲、扭转,制药设备材料及选择,容器设计基本知识,内压薄壁容器,外压容器,容器零部件,管壳式换热器,塔类制药设备设计,带搅拌器的制药设备设计共11章。每章均安排了适量例题,通过实例阐明各类制药设备设计的具体步骤和方法,各章附有习题,供读者进一步复习和巩固相关知识使用。

本书可用作各高等院校制药工程、生物工程、中药制药、药物制剂、生物制药、应用化学等专业本科教材,也是制药企业与科研院所工程技术人员的实用参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

制药设备设计基础/韩静主编. —北京: 化学工业出版社,
2018. 2
ISBN 978-7-122-31165-8

I. ①制… II. ①韩… III. ①制药工业-化工设备-
教材 IV. ①TQ460. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 305379 号

责任编辑: 傅四周
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 向 东
装帧设计: 王晓宇

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 装: 三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 13½ 字数 327 千字 2018 年 3 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: 35.00 元

版权所有 违者必究

系列教材编委会

主任 罗国安

委员 (按姓名汉语拼音排序)

冯卫生	河南中医药大学
韩 静	沈阳药科大学
柯 学	中国药科大学
陆兔林	南京中医药大学
罗国安	清华大学
孟宪生	辽宁中医药大学
齐鸣斋	华东理工大学
申东升	广东药科大学
铁步荣	北京中医药大学
万海同	浙江中医药大学
王淑美	广东药科大学
王 岩	广东药科大学
杨 明	江西中医药大学
张 丽	南京中医药大学
张师愚	天津中医药大学

《制药设备设计基础》编委会

主 编 韩 静

副主编 赵宇明 吴淑晶

编 者 (按姓名汉语拼音排序)

韩 静	沈阳药科大学
雷雪霏	辽宁中医药大学
刘宝庆	浙江大学化工机械研究所
刘 扬	辽宁中医药大学
滕 杨	佳木斯大学
吴淑晶	上海工程技术大学化学化工学院
赵宇明	沈阳药科大学

普通高等教育制药类“十三五”规划教材是为贯彻落实教育部有关普通高等教育教材建设与改革的文件精神，依据中药制药、制药工程和生物制药等制药类专业人才培养目标和需求，在化学工业出版社精心组织下，由全国 11 所高等院校 14 位著名教授主编，集合 20 余所高等院校百余位老师编写而成。

本套教材适应中药制药、制药工程和生物制药等制药类专业需求，坚持育人为本，突出教材在人才培养中的基础和引导作用，充分展现制药行业的创新成果，力争体现科学性、先进性和适用性的特点，全面推进素质教育，可供全国高等中医药院校、药科大学及综合院校、西医院校医药学院的相关专业使用，也可供其他从事制药相关教学、科研、医疗、生产、经营及管理工作者参考和使用。

本套教材由下列分册组成，包括：北京中医药大学铁步荣教授主编的《无机化学及实验》、广东药科大学申东升教授主编的《有机化学及实验》、广东药科大学王淑美教授主编的《分析化学及实验》、天津中医药大学张师愚教授主编的《物理化学及实验》、华东理工大学齐鸣斋教授主编的《制药化工原理及实验》、沈阳药科大学韩静教授主编的《制药设备设计基础》、辽宁中医药大学孟宪生教授主编的《中药材概论》、河南中医药大学冯卫生教授主编的《中药化学》、广东药科大学王岩教授主编的《中药药剂学》、南京中医药大学张丽教授主编的《中药制剂分析》、南京中医药大学陆兔林教授主编的《中药炮制工程学》、中国药科大学柯学教授主编的《中药制药设备与车间工艺设计》、浙江中医药大学万海同教授主编的《中药制药工程学》和江西中医药大学杨明教授主编的《中药制剂工程学》。

本套教材在编写过程中，得到了各参编院校和化学工业出版社的大力支持，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，本书不妥之处在所难免，敬请各教学单位、教学人员及广大学生在使用过程中，发现问题并提出宝贵意见，以便在重印或再版时予以修正，不断提升教材质量。

清华大学
罗国安
2018 年元月

前言

制药设备是医药生产中的重要组成部分，制药设备设计的基本流程和模式，也是医药类学生必须学习和掌握的内容，特别是对于药学中偏工科的专业尤其重要。中药制药专业要求学生具备常用中药制剂生产制备的职业能力以及分析、解决生产中出现问题的能力，学生必须掌握中药制药设备，涉及操作、拆卸、保养等环节，了解中药设备的基本理论和结构，才能更好地正确处理常用设备故障，维护保养设备以保障正常生产的进行。制药工程是一个化学、生物学、药学（中药学）和工程学交叉的工科类专业，以培养从事药品研发制造，新工艺、新设备、新品种的开发、放大和设计人才为目标，对于设备的了解和掌握也是至关重要的。

鉴于此，本书将制药设备需要的很多基础、支撑和辅佐知识加以汇总，构建了本书的理论框架。以力学基础、制药设备常用材料、制药容器设计、典型制药设备等为主要内容，使学生掌握制药设备的设计、使用、管理和维护的基本知识和基本技能，逐步培养和深化学生的工程意识，提高其分析问题和解决实际问题的能力，对全面提高学生的职业素养和职业能力具有非常重要的作用。

《制药设备设计基础》由浙江大学、上海工程技术大学、沈阳药科大学、辽宁中医药大学、佳木斯大学等高校具有多年教学、研究、设计经验的一线教师和工程技术专家编写而成。按照医药类专业 36~48 计划学时的教学大纲要求，内容分为四大部分。第 1 篇力学基础，包括刚体受力分析及平衡规律、金属的力学性能、受力分析等。第 2 篇材料基础，包括设备材料的性能、制药设备设计常用材料的分类及选择等。第 3 篇容器基础，包括容器的分类与结构、压力容器规范、内压薄壁容器薄膜理论及应用、内外压容器设计、容器零部件等。第 4 篇设备基础，包括管壳式换热器、塔设备等。本书收录的大量例题，是各位编写人员根据多年的教学经验总结而来的。书中还在每一章后安排了适量的习题，以供学生在学习了每章内容之后，巩固和复习之用。教材内容比较全面，专业特色突出，既可以作为高校学生的学习教材，也可作为行业工程技术人员的参考书。

本书第 1 章由刘扬编写，第 2、11 章由刘宝庆编写，第 3 章由滕杨编写，第 4 章由雷雪霏编写，第 5、8 章由吴淑晶编写，第 6、7 章由韩静编写，第 9、10 章由赵宇明编写。

鉴于编者水平有限，不妥之处在所难免，恳请广大师生与读者热心指正。

编者

2017 年 8 月

第1篇 力学基础

第①章 刚体受力分析及平衡规律 / 002

- 1.1 力的概念及其性质 / 002
 - 1.1.1 力的概念 / 002
 - 1.1.2 力的基本性质 / 002
- 1.2 刚体的受力分析 / 003
 - 1.2.1 约束与约束反力 / 003
 - 1.2.2 常见的约束类型 / 004
 - 1.2.3 物体的受力分析和受力图 / 005
- 1.3 平面汇交力系的简化与平衡 / 006
 - 1.3.1 平面汇交力系的简化(解析法) / 006
 - 1.3.2 平面汇交力系的平衡条件 / 007
- 1.4 力矩、力偶、力的平移定理 / 007
 - 1.4.1 力矩 / 008
 - 1.4.2 力偶与力偶矩 / 008
 - 1.4.3 力的平移定理 / 009
- 1.5 平面一般力系的简化与平衡 / 009
 - 1.5.1 平面一般力系的简化 / 009
 - 1.5.2 平面一般力系的平衡条件 / 009
 - 1.5.3 固定端约束的受力分析 / 010

习题 / 011

第②章 制药设备常用金属的力学性能 / 013

- 2.1 弹性变形与内力 / 013
 - 2.1.1 变形与内力的概念 / 013
 - 2.1.2 直杆受拉(压)时的内力 / 013
 - 2.1.3 受拉(压)直杆内的应力 / 015
 - 2.1.4 直杆受拉(压)时的变形 / 017
- 2.2 材料的力学性能 / 018
 - 2.2.1 拉伸试验 / 018
 - 2.2.2 压缩试验 / 021
 - 2.2.3 冲击试验 / 022
 - 2.2.4 硬度试验 / 023
 - 2.2.5 弯曲试验 / 024

习题 / 024

第 3 章 拉压、弯曲、扭转 / 026

3.1 受拉（压）直杆的强度计算 / 026

- 3.1.1 受拉（压）直杆的材料力学原理 / 026
- 3.1.2 强度条件的建立与许用应力的确定 / 027
- 3.1.3 剪切变形与剪力 / 030

3.2 弯曲变形 / 034

- 3.2.1 弯曲概念与梁的分类 / 034
- 3.2.2 梁的内力分析 / 036
- 3.2.3 纯弯曲时梁的正应力及正应力强度条件 / 038
- 3.2.4 直梁弯曲时的切应力 / 043
- 3.2.5 梁的刚度校核 / 044

3.3 扭转 / 045

- 3.3.1 扭转变形的概念 / 045
- 3.3.2 扭转时所受外力分析与计算 / 045
- 3.3.3 纯剪切、角应变、剪切胡克定律 / 046
- 3.3.4 圆轴在外力偶作用下的变形与内力 / 047
- 3.3.5 圆轴扭转时的强度条件与刚度条件 / 050

习题 / 051

第 2 篇 材料基础

第 4 章 制药设备材料及选择 / 056

4.1 概述 / 056

4.2 材料的性能 / 056

- 4.2.1 力学性能 / 056
- 4.2.2 物理性能 / 057
- 4.2.3 化学性能 / 057
- 4.2.4 加工工艺性能 / 058

4.3 金属材料 / 058

- 4.3.1 金属材料的分类及牌号 / 059
- 4.3.2 碳钢与铸铁 / 059
- 4.3.3 低合金钢及化工设备用特种钢 / 061
- 4.3.4 有色金属材料 / 067
- 4.3.5 非金属材料 / 069
- 4.3.6 制药设备的腐蚀及防腐措施 / 071
- 4.3.7 制药设备材料的选择 / 074

习题 / 074

第 3 篇 容器基础

第 5 章 容器设计基本知识 / 076

5.1 容器的分类与结构 / 076

- 5.1.1 容器的分类 / 076
- 5.1.2 容器的结构 / 077
- 5.1.3 压力容器类别 / 077

- 5.2 容器零部件的标准化 / 079
 - 5.2.1 标准化的意义 / 079
 - 5.2.2 标准化的基本参数 / 080
- 5.3 压力容器规范 / 081
 - 5.3.1 压力容器相关的法规和标准 / 081
 - 5.3.2 我国压力容器常用法规和标准 / 082
 - 5.3.3 容器设计基本要求 / 084

习题 / 085

第 6 章 内压薄壁容器 / 086

- 6.1 薄膜理论 / 086
 - 6.1.1 薄壁容器及其应力特点 / 086
 - 6.1.2 基本概念与基本假设 / 087
 - 6.1.3 平衡方程式 / 089
- 6.2 薄膜理论的应用 / 091
 - 6.2.1 应用范围 / 091
 - 6.2.2 受气体内压的圆筒形壳体 / 091
 - 6.2.3 受气体内压的球形壳体 / 092
 - 6.2.4 受气体内压的椭圆形封头 / 092
 - 6.2.5 受气体内压的锥形壳体 / 094
- 6.3 内压圆筒边缘应力 / 094
 - 6.3.1 边缘应力的概念 / 094
 - 6.3.2 边缘应力的特点 / 094
 - 6.3.3 对边缘应力的处理 / 095
- 6.4 内压薄壁圆筒与封头的强度设计 / 095
 - 6.4.1 强度设计的基本知识 / 095
 - 6.4.2 内压薄壁圆筒壳与球壳的强度设计 / 095
 - 6.4.3 内压圆筒封头的设计 / 099
- 6.5 内压容器的强度校核 / 103
 - 6.5.1 压力试验 / 103
 - 6.5.2 强度校核 / 104

习题 / 105

第 7 章 外压容器 / 106

- 7.1 概述 / 106
 - 7.1.1 外压容器的失稳 / 106
 - 7.1.2 失稳形式的分类 / 106
- 7.2 临界压力 / 107
 - 7.2.1 概念及影响因素 / 107
 - 7.2.2 外压圆筒分类 / 107
 - 7.2.3 临界压力的理论计算公式 / 108
 - 7.2.4 临界长度和计算长度 / 108
- 7.3 外压圆筒设计 / 109
 - 7.3.1 设计准则 / 109

- 7.3.2 外压圆筒壁厚设计 / 110
- 7.3.3 外压容器的试压 / 113
- 7.4 外压凸形封头设计 / 114
 - 7.4.1 半球形封头 / 114
 - 7.4.2 碟形和椭圆形封头 / 114
- 7.5 外压圆筒加强圈的设计 / 114
 - 7.5.1 加强圈的结构与作用 / 114
 - 7.5.2 加强圈的间距 / 115
 - 7.5.3 加强圈的尺寸设计 / 115
 - 7.5.4 加强圈的设置 / 115

习题 / 117

第 8 章 容器零部件 / 118

- 8.1 法兰连接 / 118
 - 8.1.1 法兰连接结构与密封 / 118
 - 8.1.2 法兰结构与分类 / 119
 - 8.1.3 影响法兰密封的因素 / 120
 - 8.1.4 法兰标准及选用 / 122
- 8.2 容器支座 / 126
 - 8.2.1 卧式容器支座 / 126
 - 8.2.2 立式容器支座 / 128
- 8.3 容器的开孔补强 / 132
 - 8.3.1 应力集中 / 132
 - 8.3.2 开孔补强设计的原则、形式与结构 / 132
- 8.4 容器附件 / 135
 - 8.4.1 接管 / 135
 - 8.4.2 凸缘 / 135
 - 8.4.3 手孔与人孔 / 135
 - 8.4.4 视镜 / 136

习题 / 137

第 4 篇 设备基础

第 9 章 管壳式换热器 / 139

- 9.1 概述 / 139
 - 9.1.1 管壳式换热器的结构与分类 / 139
 - 9.1.2 管壳式换热器的型号 / 142
 - 9.1.3 管壳式换热器的设计 / 143
- 9.2 管壳式换热器结构 / 148
 - 9.2.1 管子 / 148
 - 9.2.2 管板 / 150
 - 9.2.3 附属板件 / 152
 - 9.2.4 温差应力 / 153
 - 9.2.5 管箱与壳程接管 / 157
- 9.3 管壳式换热器强度计算 / 157

习题 / 160

第 10 章 塔类制药设备设计 / 161

10.1 塔设备概述 / 161

10.2 塔设备结构 / 161

10.2.1 塔体与裙座 / 162

10.2.2 板式塔结构 / 166

10.2.3 填料塔结构 / 168

10.3 塔类制药设备设计举例 / 173

10.3.1 设计条件 / 174

10.3.2 塔体强度计算 / 175

10.3.3 各种载荷引起的应力 / 178

10.3.4 筒体壁厚校核 / 179

10.3.5 附件 / 180

习题 / 183

第 11 章 带搅拌器的制药设备设计 / 184

11.1 概述 / 184

11.1.1 搅拌操作的目的 / 184

11.1.2 搅拌操作分类 / 184

11.1.3 机械搅拌设备工作原理 / 184

11.1.4 搅拌设备的基本结构 / 185

11.2 搅拌釜 / 186

11.2.1 结构 / 186

11.2.2 几何尺寸的确定 / 186

11.2.3 换热元件 / 187

11.3 搅拌器的形式与选型 / 188

11.3.1 流型 / 189

11.3.2 搅拌器的分类 / 189

11.3.3 典型搅拌器的特征及应用 / 190

11.3.4 搅拌器的选用 / 192

11.4 搅拌器的功率 / 194

11.4.1 搅拌器功率和搅拌作业功率 / 194

11.4.2 搅拌器功率的影响因素及计算 / 194

11.4.3 搅拌作业功率 / 196

11.5 传动装置及搅拌轴 / 197

11.5.1 传动装置 / 197

11.5.2 搅拌轴设计 / 199

11.6 轴封 / 201

11.6.1 填料密封 / 201

11.6.2 机械密封 / 202

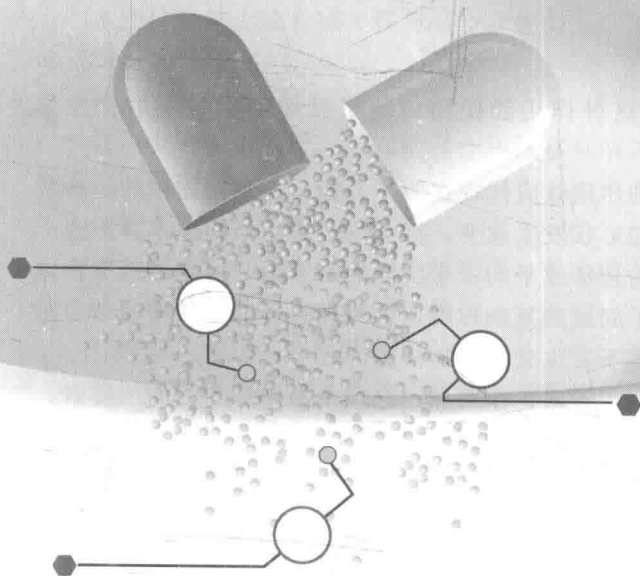
11.6.3 全封闭密封——磁力搅拌装置 / 203

习题 / 203

参考文献 / 204

第1篇

力学基础



第 1 章

刚体受力分析及平衡规律

刚体的受力分析是研究设备强度和刚度的基础，是研究物体在力系作用下的平衡条件。

一个物体相对于另一个物体位置的变化称为机械运动。在自然界中，物体还有一种特殊形式的机械运动，即平衡，例如山川、房屋、公路等，相对于地球而言它们仍然处于静止状态。在静力学中把物体相对于地球保持静止或者匀速直线运动的状态称为平衡状态。

物体并不是只在不受力或在一组力的作用下处于平衡状态，我们把作用在同一物体上的一群力，称为力系。要使物体在力系的作用下保持平衡，力系需要满足相应的条件。

本章介绍静力学的基础性内容，主要包括物体的受力分析、力系的简化、力系的平衡条件。

1.1 力的概念及其性质

1.1.1 力的概念

力，是物体之间相互的机械作用，这种作用能使物体的机械运动状态或形状发生变化。

通过力的定义可以看出，力对物体的作用效应体现在两个方面：一是使物体的运动状态发生变化，称为外效应；二是使物体的形状发生改变，称为内效应。当物体本身形变十分微小时，在工程问题中并不会对物体的运动或平衡带来实质性的影响，可近似认为物体保持原几何形状及尺寸，从而大大降低了问题的复杂程度，这种理想化的力学模型即为刚体。所谓刚体，是指在任何外力作用下都不发生变形的物体。

力对物体的作用效果取决于力的大小、方向、作用点，这三个因素即为力的三要素。

1.1.2 力的基本性质

(1) 力的合成与分解

公理一：力的平行四边形法则

作用在刚体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，其大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定。这种做平行四边形求解合力的方法，叫作力的平行四边形法则。如图 1-1 (a) 所示，力 F_1 、 F_2 交于 O 点，以这两个力为邻边的平行四边形对角线 OC 即代表 F_1 、 F_2 两力的合力 F_R 的大小与方向。

如图 1-1 (b) 所示，将 F_1 、 F_2 首尾相接画出，连接 F_1 的起点与 F_2 的终点形成三角形的封闭边， F_R 便为所求合力，方向由 F_1 的起点指向 F_2 的终点。这种求解合力的方法，叫作力的三角形法则，即：

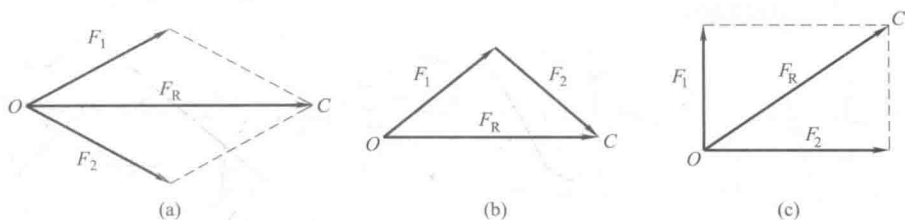


图 1-1 力的合成与分解

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

为了方便起见,通常将力分解为方向已知、相互垂直的两个分力,如图 1-1 (c) 所示。

(2) 力平衡条件

公理二:二力平衡公理

使刚体保持平衡的充要条件是:两个力的大小相等、方向相反,且作用在同一直线上。只受两个力作用且处于平衡状态的构件称为二力构件或二力杆。如图 1-2 所示。

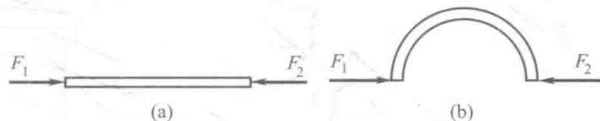


图 1-2 二力平衡

公理三:加减平衡力系公理

在刚体上加上或者减去任意一个平衡力系,不会改变原力系对该刚体的作用效果。由此得到以下推论。

推论 1:力的可传性

作用在刚体上的力,可以沿其作用线移到刚体内任意一点而不改变该力对刚体的作用效果。

推论 2:三力平衡汇交定理

如果刚体在三个力作用下处于平衡,其中两个力的作用线相交于一点,则第三个力的作用线也必定交于该点,且三力共面。

公理四:作用力与反作用力公理

作用力和反作用力分别作用在两个相互作用的物体上,两力大小相等、方向相反、沿着同一条直线,且总是同时存在。作用力与反作用力是分别作用在两个不同的物体上,切记勿与二力平衡概念混淆。

1.2 刚体的受力分析

1.2.1 约束与约束反力

物体可以按照自身的运动是否受到限制分为两类:自由体和非自由体。能在空间中自由运动、位移不受任何限制的物体称为自由体,凡是位移受到限制的物体都称为非自由体。在工程上,把对物体的运动起限制作用的周围物体称为约束,把限制物体运动(或运动趋势)的力称为约束反力,简称反力。

1.2.2 常见的约束类型

(1) 柔性约束

由柔性的皮带、链条、绳索等构成的约束称为柔性约束。这种约束的特点是只承受拉力，不能承受压力。如图 1-3 所示，吊灯受到自身向下的重力 G 和电线对它向上的拉力 F_T ， F_T 为电线对吊灯的约束反力，作用在接触点处，方向沿着电线背离吊灯。

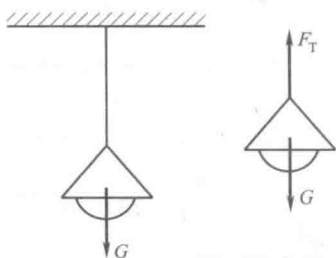


图 1-3 柔性约束

(2) 光滑面约束

当物体与支撑面之间摩擦力很小、可以忽略不计时，物体与支撑面之间的接触可以看成是光滑约束。如图 1-4 (a) 所示，自重 G 的钢球放置在光滑平面上，钢球受到光滑平面的约束，约束反力为 F_N ，沿接触点的公法线方向，指向球心；图 1-4 (b) 中钢球受到光滑圆弧槽的约束反力 F_N ，沿接触点的公法线方向，指向圆弧圆心。图 1-4 (c) 光滑地面和墙面对球的约束反力分别为 F_{N1} 、 F_{N2} 。

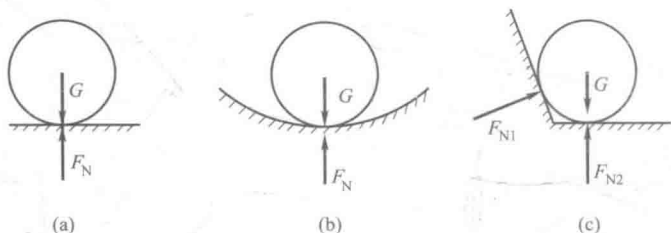


图 1-4 光滑面约束

(3) 光滑圆柱铰链约束

图 1-5 (a) 为圆柱铰链，简称铰链。图 1-5 (b) 为圆柱铰链简图。铰链由圆柱形销钉将两个钻有同样大小孔的构件连接在一起，两构件可绕销钉轴转动，但不能发生相对移动。这类约束称为圆柱铰链约束。为方便解题，通常将其分解为沿着水平方向和竖直方向的两个约束反力，用 F_x 、 F_y 表示，如图 1-5 (c) 所示。

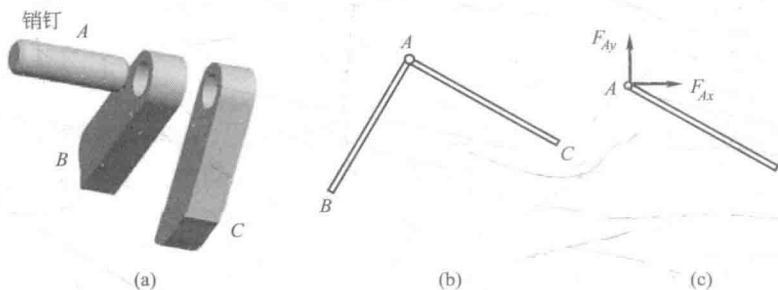


图 1-5 光滑圆柱铰链约束

(4) 固定铰链支座约束

若铰链连接中有一个构件固定在地面或机架上，这类约束称为固定铰链支座约束。图 1-6 (a) 为机器转臂，当转臂工作时，转臂可以绕中心旋转，但不能发生平移。这类约束即为固定铰链约束。通常将其分解为沿着水平和竖直方向的约束反力，用 F_x 、 F_y 表示，见图 1-6 (c)。

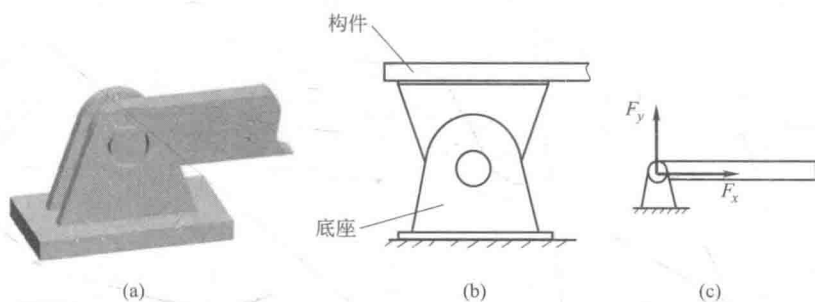


图 1-6 固定铰链支座约束

(5) 滚动铰链支座约束

图 1-7 (a) 中滚动铰链支座约束是在固定铰链支座与光滑支撑面之间安装若干滚轴组成的, 这种约束既不限制构件绕轴心转动, 又不限制构件沿着支撑面移动, 只能限制构件沿支撑面法线方向的运动。图 1-7 (b) 为滚动铰链支座约束的两种简化图和约束反力 F_y 的表达方式。

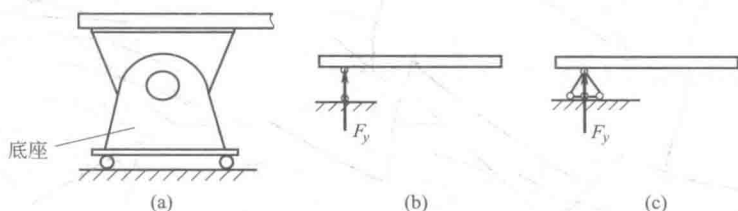


图 1-7 滚动铰链支座约束

1.2.3 物体的受力和受力图

为了求出未知的约束反力, 需要把研究对象从整个系统中分离出来 (取研究对象或取分离体), 首先确定研究对象受几个力, 每一个力的大小、方向、作用点, 根据已知力, 应用平衡条件求解未知力, 这种分析过程称为物体的受力分析。通过作图的方式在分离体上标出全部的力, 就是画构件的受力图。

画受力图的一般步骤:

- ① 取研究对象。可以取单个物体为研究对象, 也可以将几个物体看成一个整体作为研究对象。
- ② 画主动力。
- ③ 画约束反力。按每个约束本身的性质来确定其约束反力的方向。
- ④ 遵循作用力与反作用力原则。当取整体为研究对象时, 画受力图时只需画出全部外力。

下面通过例题来说明物体受力图的具体画法。

【例 1-1】 构架由杆 AB 、杆 CE 、杆 OD 铰接而成。如图 1-8 (a) 所示, 在 E 点有一个作用向下的力 P 。各杆自重不计, 接触均光滑, 试画出:

- ① 整体受力图;
- ② 杆 CE 受力图;
- ③ 杆 OD 受力图。

解 ① 取整体为研究对象。杆自重不计, 主动力只有外力 P ; D 点为理想光滑面约

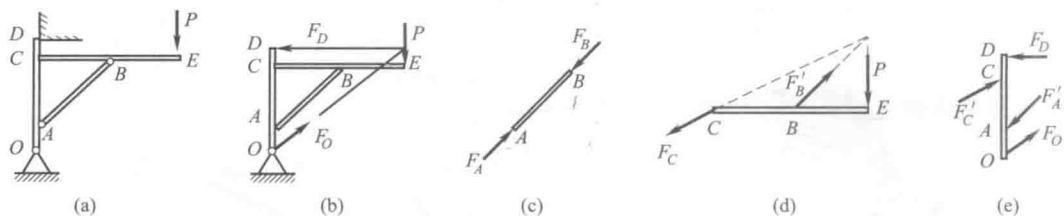


图 1-8 例题 1-1 附图

束, 约束反力 F_D 垂直于接触面指向杆 OD 。由于三力平衡, 可确定固定铰链支座 O 处约束反力 F_O 的方向。力 F_D 和 P 交于一点, 约束反力 F_O 的作用线必通过该交点, F_O 的方向暂时假定如图 1-8 (b) 所示, 以后由平衡条件确定。

② 杆 AB 是二力杆, 在 A 、 B 处分别受 F_A 、 F_B 的作用, 且 $F_A = -F_B$, 如图 1-8 (c) 所示。取杆 CE 为研究对象, 在 E 处受外力 P 作用, 在 B 处受杆 AB 给它的约束反力 F'_B , 由此确定 F_C 的作用线方向。

③ 取杆 OD 为研究对象。 O 、 D 两处的约束反力由前面已求得, A 、 C 两处由作用力与反作用力公理可确定方向。

1.3 平面汇交力系的简化与平衡

各力的作用线在同一平面内同时汇交于一点的力系称为平面汇交力系。平面汇交力系的求解方法有两种: 几何法和解析法。几何法, 可根据力的平行四边形法则将各分力两两合成, 最后得到一个合力, 或者用力的多边形法则, 即将各分力的矢量首尾相接, 最后将起点和终点连接起来得到合力; 解析法, 将各力向坐标投影后进行计算, 又称为投影法。本节仅讨论应用更为广泛的解析法。

1.3.1 平面汇交力系的简化 (解析法)

(1) 力的投影

在工程应用中, 引入力在坐标轴上的投影这个概念。如图 1-9 所示, 假设力 F 作用在 M 点, 在力 F 作用线所在平面取直角坐标系 Oxy , 从力 F 的起点 M 和终点 N 分别向 x 轴和 y 轴作垂线, 得垂足 a 、 b 、 c 、 d , 则线段 cd 和 ab 分别称为力 F 在 x 轴上和 y 轴上的投影, 并分别用 F_x 和 F_y 表示。

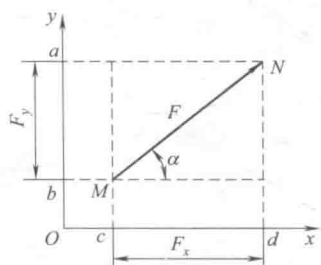


图 1-9 力的投影

设力 F 与 x 轴所夹角为 α , 则力 F 的投影表达式为:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

需要注意: 虽然力是矢量, 但是力在坐标轴上的投影是代数量, 方向用正负号规定。当与坐标轴的正方向一致时为正, 用“+”表示, 与坐标轴方向相反为负, 用“-”表示。

(2) 合力投影定理

设在刚体上作用有一平面汇交力系 F_1 、 F_2 、 \dots 、 F_n , 合力为 F , 其在直角坐标系上的投影分别为 F_{1x} 、 F_{2x} 、 \dots 、 F_{nx} , 合力为 F_x 。因力系对刚体的作用效果等效于合力 F 对该刚体的作用效果, 所以合力在某轴上的投影一定等于各分力在同一轴上的投影的代数和, 这一结论称为合力投影定理。即: