

高等学校“十二五”规划教材

过程装备 机械基础

李 勤 李福宝 主编

GUOCHENG ZHUANGBEI
JIXIE JICHU



化学工业出版社

高等学校“十二五”规划教材

过程装备 机械基础

李 勤 李福宝 | 主编

李 勤 李福宝 苏兴冶 刘 波 | 编写
李 芳 王红梅 王德喜



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是编者根据多年的教学实践经验和工程实践经验编写的,在内容的选择上力求广而不深,突出工科特色,注重工程案例的介绍,增加新技术、新知识、新工艺的内容。在内容的编排上力求循序渐进,重点突出。本教材内容分为14章,涵盖了与过程装备相关的机械类专业基础课和专业课知识。各章内容相对完整、独立,教师可以根据不同专业、学时合理选择教学内容。

本书可作为化工类各专业本科教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

过程装备机械基础/李勤,李福宝主编. —北京:化学工业出版社,2012.1

高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-12082-3

I. 过… II. ①李…②李… III. 化工过程-化工装备-高等学校-教材 IV. TQ051

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第162874号

责任编辑:徐雅妮 石磊

文字编辑:张绪瑞

责任校对:陈静

装帧设计:关飞

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:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张20¼ 字数518千字 2012年1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:39.00元

版权所有 违者必究

前 言

随着石油化学工业蓬勃发展,整合技术资源、放大技术效益越来越重要,因此,多学科技术融合体现了过程装备技术的科学性和整体性。

过程装备技术是石油化工技术中的重要组成部分,它与石油化工技术的各个环节有着必然的联系,起着辅助与支撑作用。化工工艺要通过过程装备来实现,因此与过程装备相关的机械方面的基础知识对于化工工程师来说非常重要。只有全面了解过程装备相关知识,才能准确合理地使用过程装备,达到放大技术、提高效益的目的,取得事半功倍的效果。

编写本书的目的就是为了让化工类及与化工相关的读者了解过程装备基础知识,使其与所学专业整体考虑,合理应用,充分发挥过程装备在石油化学工业中的作用。

本书在编写过程中力求突出以下特色。

1. 在内容选择上力求广而不深,突出工科特色,注重工程案例的介绍,增加新技术、新知识、新工艺的内容。
2. 在内容编排上力求循序渐进,重点突出。将教材内容分为14章,各章内容相对完整、独立,教师可根据不同专业、学时合理选择教学内容。
3. 在编写上力求语言简练,深入浅出,通俗易懂。
4. 大部分章节配有习题与简解,有助于读者对基本概念、基本原理的理解,同时注重解决工程实际问题的方法,编写了一部分结合工程实例的习题,以激发学生的求知欲望,调动学生学习的积极性。
5. 本教材中所涉及的设计方法及引用的标准均为最新颁布的国家或部级标准。

本书由李勤、李福宝教授主编,其中第1、2、14章由李芳(安徽工程科技学院)编写,第3、5、7章由王红梅编写,第4、8章由苏兴冶编写,第6章由李福宝编写,第9章由李勤编写,第10、11章由王德喜编写,第12、13章由刘波编写,全书由李勤教授统稿。

本书在编写过程中得到了专家、学者、同行的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,诚请读者批评指正。

编 者

2011年5月

目 录

第1章 理论力学基础	1	4.1.2 腐蚀机理	40
1.1 力的概念及性质	1	4.1.3 石油化工生产中常见的腐蚀形式及 防护措施	42
1.2 刚体受力分析	2	4.2 密封	47
1.3 平面汇交力系	3	4.2.1 泄漏与密封	47
1.4 力矩和力偶	4	4.2.2 垫片密封	48
1.5 平面一般力系	5	4.2.3 填料密封	51
习题与简解	5	4.2.4 机械密封	56
第2章 材料力学基础	8	第5章 形位公差与表面粗糙度	65
2.1 内力和应力	8	5.1 公差与配合	65
2.1.1 内力	8	5.1.1 基本术语	65
2.1.2 应变与应力	8	5.1.2 配合	66
2.1.3 强度计算	9	5.1.3 公差	68
2.2 梁弯曲	9	5.1.4 尺寸公差与配合的选用	70
2.2.1 概念	9	5.2 形状与位置公差	71
2.2.2 内力分析	10	5.3 表面粗糙度	73
2.2.3 弯曲应力	12	5.3.1 表面粗糙度的评定参数	74
2.2.4 挠度	14	5.3.2 表面粗糙度代(符)号	75
2.3 轴扭转	15	5.3.3 表面粗糙度选择与标注	75
习题与简解	16	第6章 机械零部件	77
第3章 工程材料基础	20	6.1 连接	77
3.1 材料的结构、组织及性能	20	6.1.1 键连接	77
3.1.1 材料结构	20	6.1.2 销连接	79
3.1.2 材料组织	22	6.1.3 螺纹连接	79
3.1.3 工程材料分类	25	6.2 传动	86
3.1.4 金属材料	25	6.2.1 带传动	86
3.2 金属材料性能	29	6.2.2 齿轮传动	91
3.2.1 金属材料工艺性能	29	6.2.3 轮系	99
3.2.2 金属材料力学性能	30	6.2.4 常用机构	105
3.2.3 金属材料物理性能	32	6.2.5 螺纹传动	112
3.2.4 金属材料化学性能	33	6.2.6 摩擦轮传动	112
3.3 钢的热处理	33	6.3 轴和轴承	114
3.4 化工机器与化工设备用钢	34	6.3.1 轴	114
3.4.1 化工机器零部件用钢	34	6.3.2 轴承	119
3.4.2 钢制压力容器材料	36	6.3.3 联轴器与离合器	124
3.4.3 锅炉和压力容器用钢板新旧 标准	38	6.3.4 轴承选择	126
第4章 腐蚀与密封	39	6.3.5 摩擦	127
4.1 腐蚀	39	习题与简解	130
4.1.1 腐蚀分类	39	第7章 化工设备制造基础	133

7.1 机械加工工艺基础	135	9.7.5 接管及接管法兰	210
7.2 压力加工工艺基础	135	9.7.6 人孔、手孔、检查孔	212
7.3 化工装备典型零部件制造	136	9.7.7 液面计、视镜	214
7.4 典型化工设备组装	137	9.7.8 缓冲板	216
第8章 焊接结构与检测	139	习题与简解	216
8.1 焊接	139	第10章 换热设备	219
8.1.1 焊接基本知识	139	10.1 概述	219
8.1.2 压力容器中的焊接接头分类	144	10.2 管壳式换热器的基本类型	221
8.2 焊接检测	145	10.3 管壳式换热器结构设计	223
8.2.1 射线探伤	145	10.3.1 管程结构	223
8.2.2 超声波探伤	145	10.3.2 壳程结构	227
8.2.3 表面检测	146	10.3.3 换热管与管板连接	230
8.2.4 无损检测方法的选择	146	10.3.4 壳体与管板的连接结构	232
8.3 压力试验与气密性试验	147	10.3.5 管箱与管板的连接结构	233
8.3.1 压力试验	147	10.4 温差应力	233
8.3.2 气密性试验	149	习题与简解	235
习题与简解	150	第11章 塔设备	237
第9章 压力容器设计	152	11.1 概述	237
9.1 压力容器概述	152	11.1.1 塔设备的设计要求	237
9.1.1 对压力容器设计的基本要求	152	11.1.2 塔设备的结构组成和分类	237
9.1.2 压力容器的分类及压力等级、 品种的划分	153	11.2 板式塔	237
9.1.3 压力容器失效形式	155	11.2.1 板式塔的结构组成及工作 原理	237
9.1.4 压力容器设计准则	156	11.2.2 板式塔的设计内容及顺序	238
9.1.5 压力容器规范标准	157	11.2.3 板式塔的类型	239
9.1.6 固定式压力容器管理	159	11.2.4 塔板结构	242
9.2 内压力容器设计理论基础	160	11.3 填料塔	245
9.2.1 旋转薄壳的无力矩理论	160	11.3.1 填料塔的结构组成及工作 原理	245
9.2.2 边缘问题	166	11.3.2 填料的类型	245
9.3 内压圆筒设计	168	11.3.3 填料塔结构	246
9.3.1 内压圆筒的强度计算	168	11.4 板式塔和填料塔的比较及选型 原则	253
9.3.2 设计技术参数的确定	169	11.4.1 板式塔和填料塔的比较	253
9.4 内压球壳设计	173	11.4.2 塔型选择原则	253
9.5 内压封头设计	173	11.5 塔设备的强度设计和稳定校核	255
9.5.1 内压凸形封头设计	173	11.5.1 塔的载荷分析	255
9.5.2 内压锥形封头厚度计算	177	11.5.2 塔的强度和稳定性校核	257
9.5.3 平板封头	181	习题与简解	258
9.6 外压力容器设计	183	第12章 搅拌设备	259
9.6.1 外压容器力学问题	183	12.1 概述	259
9.6.2 外压力容器设计问题	186	12.2 搅拌釜式反应器机械设计的步骤和 内容	260
9.7 主要零部件及结构设计	192	12.3 搅拌容器的结构设计	261
9.7.1 法兰连接	192	12.3.1 釜体设计	261
9.7.2 支座	199		
9.7.3 开孔补强	205		
9.7.4 筒体及封头	210		

12.3.2 搅拌系统	265	14.1.1 设计文件的分类	299
12.3.3 辅助系统	275	14.1.2 设计文件的说明	299
习题与简解	281	14.2 图样说明	300
第 13 章 过程流体机械	283	14.2.1 图纸的幅面及格式	300
13.1 概述	283	14.2.2 图样的比例	300
13.2 泵	283	14.2.3 文字、符号、代号及其尺寸	300
13.2.1 叶片泵	284	14.2.4 图面技术要求	301
13.2.2 容积泵	288	14.2.5 图样在图纸上的安排原则	302
13.3 压缩机	293	14.3 图样绘制	306
13.3.1 容积式压缩机	293	14.3.1 图样绘制原则	306
13.3.2 速度式压缩机	295	14.3.2 图样的简化画法	307
习题与简解	297	14.4 标注	311
第 14 章 化工设备图	299	附图	316
14.1 设计文件	299	参考文献	317

第 1 章 理论力学基础

理论力学是研究物体在空间的位置随时间改变的一般规律的科学。按其内容分为：静力学（研究受力物体平衡时作用力应满足的条件）、运动学（研究物体的运动规律，如轨迹、速度、加速度）、动力学（研究受力物体的运动和作用力之间的关系）。

化工机械设备的构件在力学方面必须满足以下三个方面的基本要求，以保证其能够安全运行：

- ① 强度——抵抗载荷对其的破坏；
- ② 刚度——不发生超过许可的变形；
- ③ 稳定性——维持构件自身的几何形状。

1.1 力的概念及性质

(1) 力的概念

力是物体间的相互作用。

力系是作用于物体上的一群力。

力是矢量，既有大小也有方向。一般情况下，力分为集中力和分布力，集中力的单位为牛顿（N）；分布力的单位为 N/m^2 或 Pa 和 MPa ($1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$)。

(2) 力的效应

力是通过物体间相互作用所产生的效果体现出来的，力的作用效果分为以下两个方面。

- ① 外效应：力使物体运动状态发生改变，是理论力学要研究的问题。
- ② 内效应：力使物体发生形变，是材料力学要研究的问题。

外效应是内效应的基础。

(3) 力的性质

- ① 力的可传性：可以沿其作用线移到刚体上的任一点而不改变力对刚体的外效应。
- ② 力的成对性：力是两个物体之间的相互机械作用。反作用定律：力成对出现，大小相等，方向相反，作用在不同物体上。
- ③ 力的可合性：两个力对物体的作用，可用一个力来等效代替。
- ④ 力的可分性：一个力产生两个效应，可将一个力分解成两个力。

因为力是矢量，所以力的合成和分解为矢量关系式。常用平行四边形和坐标分量等方法。

- ⑤ 力的可消性：一个力对物体产生的外效应，可被另一个或几个该同一物体上的外力所产生的外效应抵消。

(4) 两个重要定理

① 二力平衡定理：当物体上只作用有两个外力而处于平衡时，这两个外力一定是大小相等，方向相反，作用线重合，如“二力杆”。如图 1-1 (a) 所示的三角支架受力分析，以 BC 杆为研究对象 [图 1-1 (b)]，杆的受力情况是：杆 BC 只有两个力 N_B 和 N_C 作用，使 BC 平衡有且只有力 N_B 和 N_C 大小相等，方向相反，即杆 BC 为二力杆。

② 三力平衡汇交定理：由不平行的三个力组成的平衡力系必只汇交于一点。如图 1-1 (a) 所示的三角支架受力分析，取 AB 杆为研究对象 [图 1-1 (c)]，AB 杆上只受三个力的作用。已知重力 G 方向和 N'_B 方向，则 A 点所受的力必交于 G 和 N'_B 的交点，即为三力平衡汇交定理。

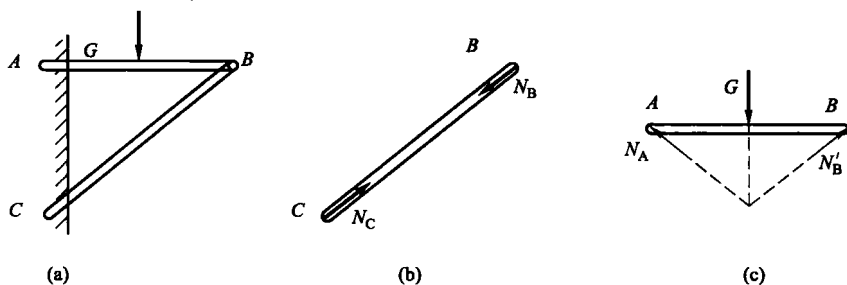


图 1-1 三角支架受力分析

1.2 刚体受力分析

(1) 约束和约束反力

自由体：物体只受主动力作用，而且能在空间沿任何方向完全自由地运动，则该物体称为自由体。

非自由体：物体的运动在某些方向上受到了限制而不能完全自由地运动，则该物体称为非自由体。

约束：限制自由体运动的物体。

约束反力：约束作用给非自由体的力。

(2) 常见形式

① 柔软体约束 如绳索、链条、皮带等约束，其特点如下。

a. 只有绳索被拉直时，才起到约束作用。

b. 这种约束只能阻止非自由体沿绳索伸长的方位朝外运动。

如图 1-2 (a) 所示，滑轮提起重物，当以绳为研究对象 [图 1-2 (b)]，绳受垂直向下拉力 T_A ，而以重物 G 为研究对象，则 T'_A 垂直向上与重力 G 在一条直线上，且平衡。

如图 1-3 所示，链条或皮带承受拉力，当链条或皮带绕过轮子时，约束反力沿轮缘的切线方向。

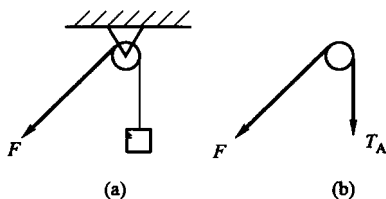


图 1-2 滑轮提起重物

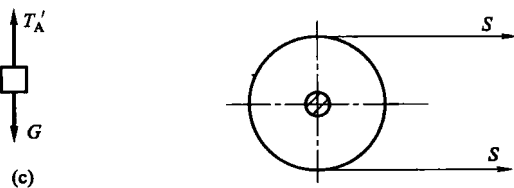


图 1-3 链条或皮带承受拉力

② 光滑接触面约束 其特点是相互作用力的作用线只能与过接触点的公法线重合。图 1-4 所示为光滑接触面约束及非自由体受力分析。

③ 铰链约束 通常是由一个带圆孔的零件和孔中插入的一个圆柱构成，其特点是约束

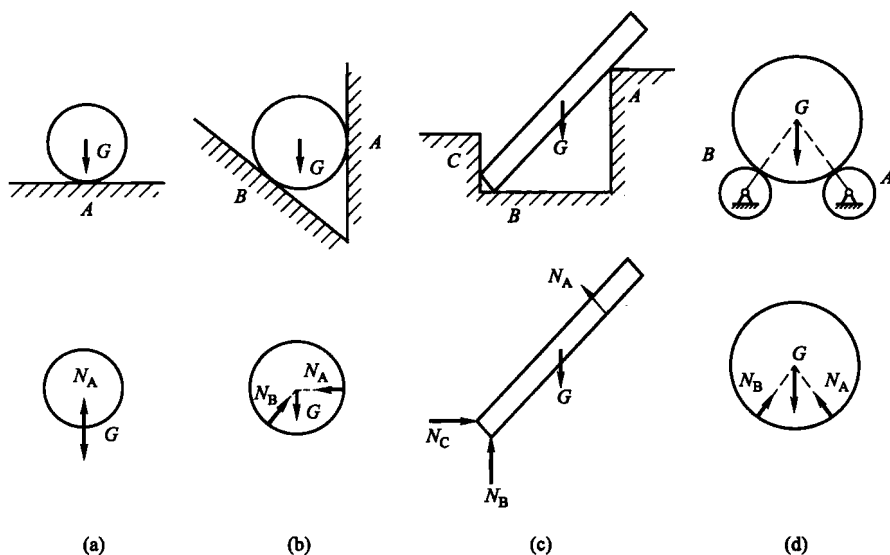


图 1-4 光滑接触面

反力的作用线方位待定，但必通过销钉的中心。

如图 1-5 所示，A、B 为两构件，圆柱销 C 插入孔中，使 A、B 构件连接在一起。

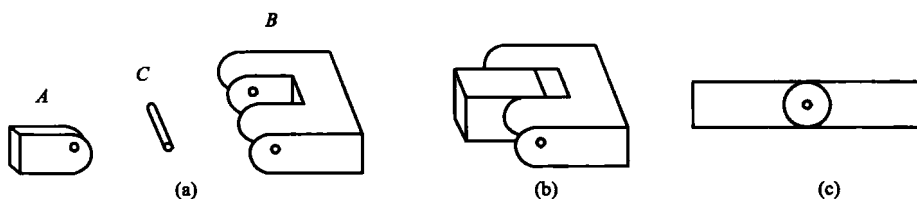


图 1-5 铰链约束

图 1-6 所示为轴承装置结构，轴可在孔中任意转动，也可以沿孔的中心线移动，但轴承阻碍轴沿径向位移。

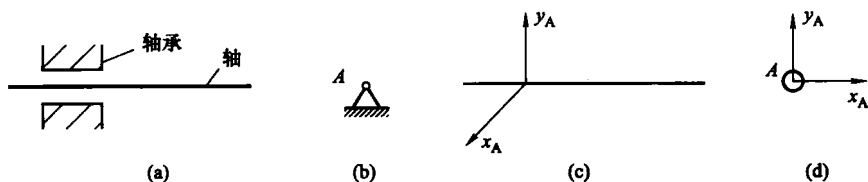


图 1-6 轴承装置

1.3 平面汇交力系

(1) 概念

平面力系：作用于刚体上的外力处于同一平面内。

平面汇交力系：平面力系中各诸力汇交于一点。

平面平行力系：平面力系中各诸力相互平行。

平面一般力系：平面力系中各诸力既不汇交于一点也不彼此平行。

(2) 平面汇交力系简化 (解析法)

将一个力在直角坐标系中分别沿 x 轴、 y 轴分解, 如图 1-7 所示, 其合力为 x 、 y 轴上各力代数和之和。

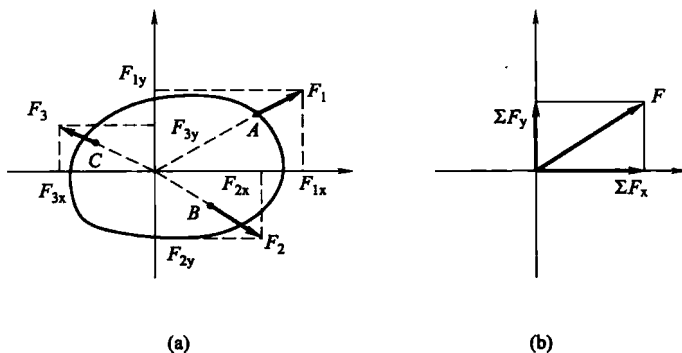


图 1-7 平面汇交力系解析法

在 x 轴方向:

$$F'_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots = \sum F_x$$

在 y 轴方向:

$$F'_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots = \sum F_y$$

合力:

$$F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \quad (1-1)$$

$$\theta = \arctan \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \quad (1-2)$$

(3) 平面汇交力系平衡

刚体在外力作用下处于平衡, 实际上是这些外力对刚体所产生的外效应相互抵消, 即总的外效应为零, 也就是合力为零。平衡条件为

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0 \quad (1-3)$$

1.4 力矩和力偶

(1) 概念

力矩: 力与力线到某点 (矩心) 的垂直距离 (力臂) 的乘积。

$$M_0(F) = \pm Fh \quad \text{N} \cdot \text{m} \quad (1-4)$$

力偶: 一对等值、反向、作用线不重合的力, 它对物体产生的是纯转动效应。因此力是描述物体的移动外效应, 力偶是描述物体的转动外效应。

力偶矩: 力偶的两个力对某点之矩的代数和。

$$M(F, F) = \pm Fd \quad (1-5)$$

力偶不能用一个力来等效代替, 但可代数合成。

$$m = \sum m_i = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n \quad (1-6)$$

(2) 力的平移定理

一个力可以用一个与之平行且相等的力和一个附加力偶来等效代替。反之, 一个力和一个力偶也可以用另一个力等效代替。如图 1-8 所示, 力 F 作用在刚体上, 在 O' 点上假想作用一对大小相等 (且都等于 F)、方向相反的力 F' 和 F'' , 这时刚体的外效应是不变的。把

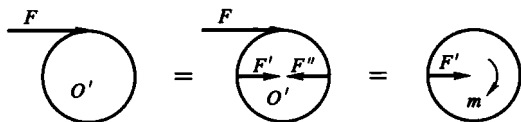


图 1-8 力的平移定理

解：杆 BC 为二力杆，杆 AB 所受的力有两种表示方法（画出一种即可），如图 1-11 所示。

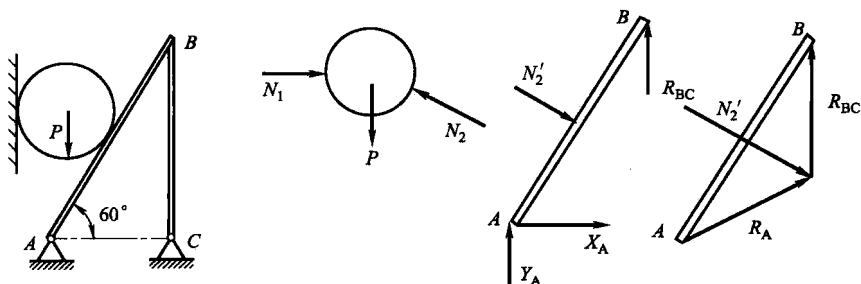


图 1-11 习题 1-2 图

习题 1-3 某化工厂的卧式容器，全长为 L ，如图 1-12 (a) 所示，假设容器总重量（包括物料、保温层等） Q 沿梁的全长均匀分布，支座 B 采用固定式鞍座，支座 C 采用活动式鞍座。试画出容器的受力图。

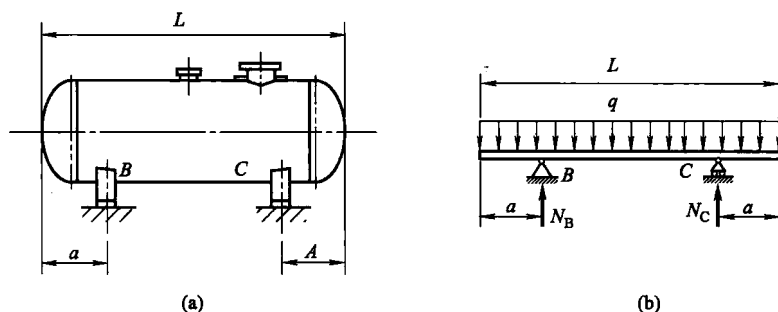


图 1-12 习题 1-3 图

解：首先将容器简化成结构简图， B 端简化为固定铰链支座， C 端为滚动铰链支座。再以整个容器为研究对象，已知的主动力为总重 Q ，沿梁的全长均匀分布，因而梁上受均布载荷 $q(q=Q/L)$ 。容器的受力图如图 1-12 (b) 所示。

习题 1-4 分别画出图 1-13 所示塔设备、管道支架的受力图。

解：固定端约束反力由力与力偶组成，前者阻止被约束物体移动，后者阻止转动。塔设备、管道支架的受力图如图 1-13 所示。

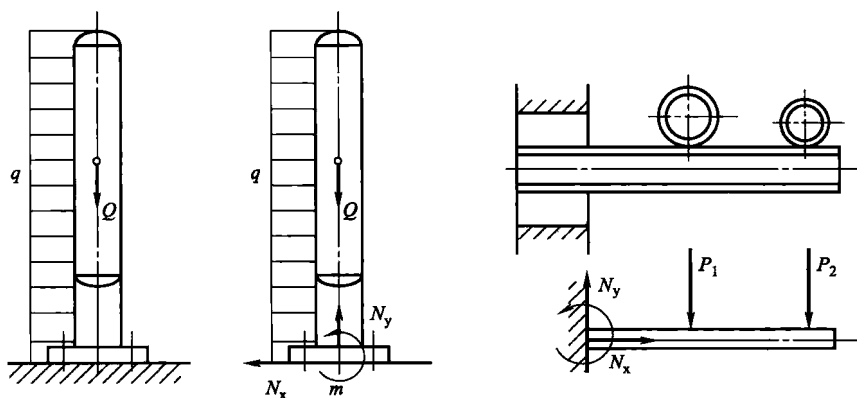


图 1-13 习题 1-4 图

习题 1-5 图 1-14 为侧面附有悬挂件的蒸馏塔, 悬挂件的总重量为 Q , 与主塔中心线间有一偏心距 e , 试用力的平移方法分析力 Q 对主塔支座所起的作用效果。

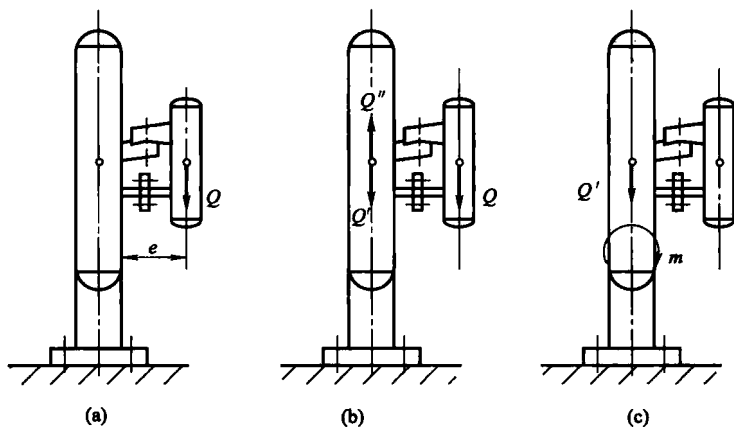


图 1-14 习题 1-5 图

解: 在主塔中心线上加上两个力 Q' 与 Q'' , 并令 $Q' = Q'' = Q$, Q' 与 Q'' 方向相反与 Q 互相平行。不难看出 Q' 与 Q'' 是符合二力平衡条件的。从整体而言, 加上这两个力以后, 由 Q 、 Q' 与 Q'' 三个力组成的力系的作用与 Q 力单独作用效果是相等的。从另一角度来分析, 可以看成是把 Q 力平移了一个偏心距 e 成为 Q' , 与此同时附加了一个力偶 (Q 、 Q'), 其力偶矩 m 的大小等于 Qe 。因此, 有偏心距的力 Q 对支座的作用, 相当一个力 Q' 和一个力偶 m 的共同作用, 力 Q' 压向支座, 力偶 m 使塔体弯曲, 支座承受了压缩和弯曲的联合作用。

习题 1-6 图 1-15 所示为一塔设备, 塔重 $G = 450\text{kN}$, 塔高 $h = 30\text{m}$, 塔底用螺栓与基础固定连接。塔体所受的风力可简化为两段均布载荷, 在离地面 $h_1 = 15\text{m}$ 高度以上均布载荷的载荷密度为 $q_1 = 380\text{N/m}$, 在 h_1 以上高度, 其载荷密度为 $q_2 = 700\text{N/m}$ 。试求塔设备在 A 处所受的约束反力。

解: 由于塔体与基础用地脚螺栓牢固连接, 塔体既不能移动, 也不能转动, 所以将塔设备与基础的约束情况视为固定端约束。

选塔体为力研究对象, 画出受力图, 建立坐标系, 为简化计算, 矩心一般选在未知力的交点上, 现取 A 点为矩心, 列出平衡方程。

$$\sum F_x = 0 \quad q_1 h_1 + q_2 h_2 - N_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad N_y - G = 0$$

$$\sum M_A = 0 \quad m_A - q_1 h_1 \frac{h_1}{2} - q_2 h_2 \left[h_1 + \frac{(h - h_2)}{2} \right] = 0$$

解得: $N_x = 16.2\text{kN}$, $N_y = 450\text{kN}$, $m_A = 279\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

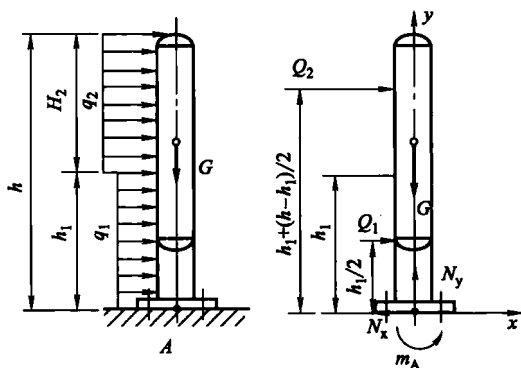


图 1-15 习题 1-6 图

第 2 章 材料力学基础

材料力学是研究构件在外力作用下变形和破坏规律。

2.1 内力和应力

2.1.1 内力

金属在发生弹性形变时，其内部各质点（原子）间的相互位置发生改变。伴随这种改变，各质点间原有的相互作用力必然变化，这种质点间的相互作用力所发生的变化被称为内力。

截面法求内力是假想将杆截开，把内力显示出来，利用力平衡，求其内力，如图 2-1 所示。

例如，将上述杆假想用截面 $m-m$ 截开，取截下后的左侧部分为研究对象，因为假想截开后左侧部分依然是平衡的，必有一力与 P 力平衡，只有右侧部分对左侧部分给予力 F 使其与 P 平衡，则力 F 即为内力。内力是怎样产生的呢？是右侧部分金属各质点对左侧部分金属各质点之间的相互作用力，这力是分布形式的，即图示中的 σ 。

2.1.2 应变与应力

直杆在外力 P 作用下，沿纵向被拉长，同时沿横向直线尺寸变小，如图 2-2 所示。

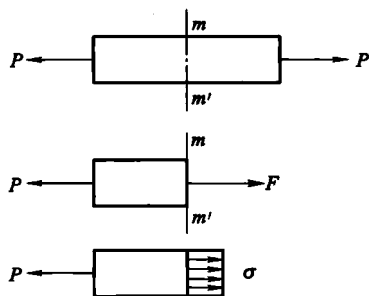


图 2-1 截面法求内力

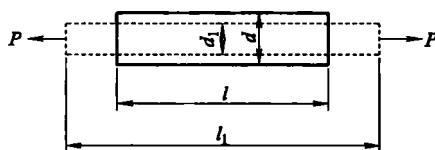


图 2-2 直杆变形

(1) 应变

单位长度杆的伸长（或缩短）称为线应变。

杆的伸长量为 $\Delta l = l_1 - l$ ，则应变 ϵ 为

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

(2) 应力

单位面积上所受的内力，称为应力，如图 2-3 所示。

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta A}$$

总应力分为两个分量：一个是沿截面法线方向的分量，称为

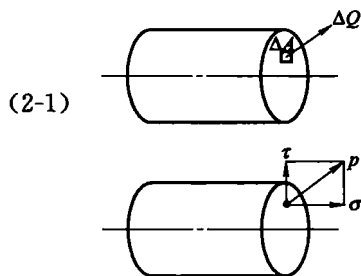


图 2-3 应力

正应力 σ ；一个是沿截面切线方向的分量，称为剪应力 τ ，单位为 $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ 。

受拉直杆截面上的正应力为

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2-2)$$

简单拉伸直杆斜截面上的应力，如图 2-4 所示。

$$\sum F_x = 0$$

$$S_\alpha A_\alpha - P = 0, \quad \sigma A - P = 0$$

$$S_\alpha = \frac{P}{A_\alpha}, \quad A = A_\alpha \cos \alpha$$

$$S_\alpha = \frac{P}{A_\alpha} = \frac{P}{A} \cos \alpha = \sigma \cos \alpha$$

$$\begin{cases} \sigma_\alpha = S_\alpha \cos \alpha \\ \tau_\alpha = S_\alpha \sin \alpha \end{cases}$$

$$\text{则} \quad \sigma_\alpha = \sigma \cos^2 \alpha \quad (2-3)$$

$$\tau_\alpha = \sigma \cos \alpha \sin \alpha = \frac{\sigma}{2} \sin 2\alpha \quad (2-4)$$

可见：当 $\alpha = 0$ 时， σ_α 最大， $\sigma_{\max} = \sigma$ ；当 $\alpha = 45^\circ$ 时， τ_α 最大， $\tau_\alpha = \frac{\sigma}{2}$ 。

上述例子说明：轴向拉、压杆件的最大正应力发生在横截面上，最大剪应力发生在 $\pm 45^\circ$ 斜截面上。

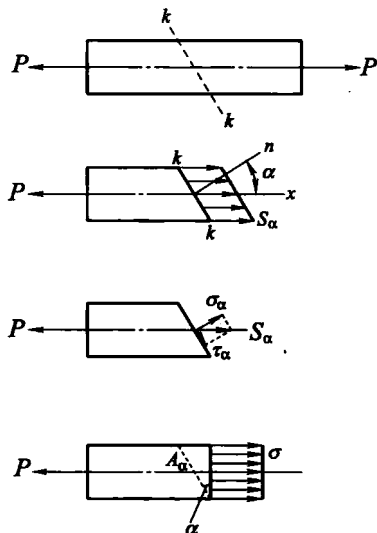


图 2-4 简单拉伸直杆斜截面上的应力

2.1.3 强度计算

(1) 许用应力

从保证杆的安全出发，杆的工作应力应规定一个建立在材料力学性能基础上的最高允许值，即许用应力 $[\sigma]$ 。常用材料的许用应力可通过查表得到。

$$\text{对于塑性材料:} \quad [\sigma] = \frac{\sigma_s^t}{n_s}$$

$$\text{对于脆性材料:} \quad [\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b}$$

σ_s^t 、 σ_s 是通过材料的力学试验来测定的。 n_s 、 n_b 为安全系数，一般 n_s 取 1.5， n_b 取 3。

(2) 强度条件

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (2-5)$$

强度条件是使极限应力适当地降低，在强度方面上有一定的储备，规定了杆件能安全工作的最大应力值。

2.2 梁弯曲

2.2.1 概念

工程中经常把一些复杂的力学问题简化成简单的力学模型，以便于计算，并保证有足够的精度。例如石油化工中的储罐，可以简化成受均布力的梁，如图 2-5 (a) 所示；再如在风的作用下的塔设备，为了简化计算，可以看做是直立梁受均布力的作用，如图 2-5 (b) 所示。

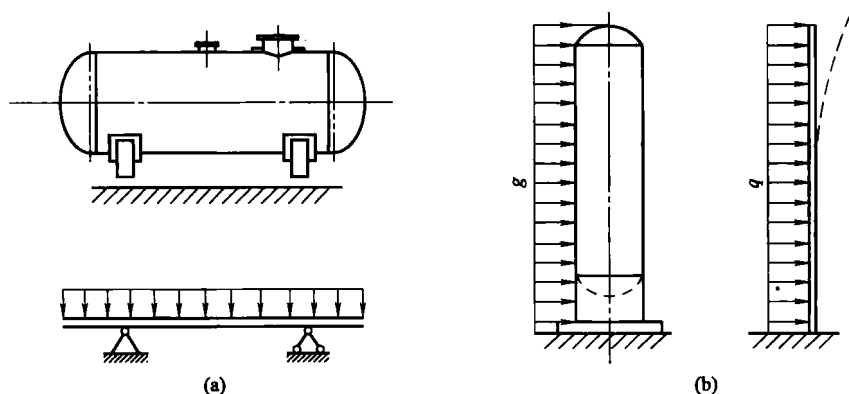


图 2-5 梁弯曲模型

(1) 外力

外力有集中力、集中力偶、分布力。其中分布力为单位轴线长度上的力 (N/m)。

(2) 支承分类

梁的支承多种多样, 但可通过简化使其归纳为以下三种。图 2-6 所示为其支承形式和受力状态。

① 固定铰链支承 如图 2-6 (a) 所示, 特点: 支座可阻止梁在支承处沿水平和垂直方向的移动, 但不能阻止梁绕铰链中心转动, 两个自由度受限。

② 活动铰链支承 如图 2-6 (b) 所示, 特点: 支座可阻止梁在支承处沿垂直方向的移动, 但不能阻止梁水平方向的移动和绕铰链中心转动, 一个自由度受限。

③ 固定端 如图 2-6 (c) 所示, 特点: 支座可阻止梁在支承处沿水平和垂直方向的移动, 同时阻止梁绕铰链中心转动, 三个自由度受限。

(3) 梁的分类

为了方便处理梁的问题, 根据梁的支承情况不同, 通常把梁简化成以下三种。

① 简支梁 如图 2-7 (a) 所示, 特点: 梁的一端为固定铰链支座, 另一端为活动铰链支座。

② 外伸梁 如图 2-7 (b) 所示, 特点: 梁的一端为固定铰链支座, 另一端为活动铰链支座, 并且梁的一端或两端伸出支座外。

③ 悬臂梁 如图 2-7 (c) 所示, 特点: 梁的一端固定, 另一端自由外伸。

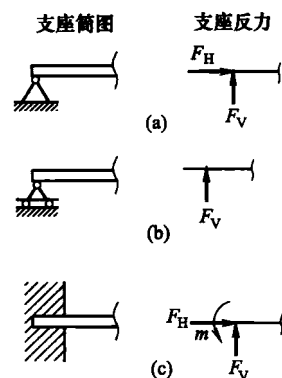


图 2-6 支承形式

2.2.2 内力分析

(1) 剪力和弯矩

先看一例子来分析梁的内力, 如图 2-8 所示。假想把梁从 1-1 横截面截开, 并列平衡方程。左侧段 $\sum F_y = 0$, 则

$$y_A - Q = 0, \quad Q = y_A = \frac{P}{2}$$

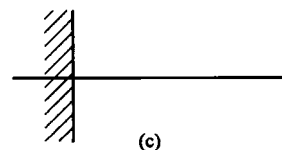


图 2-7 梁的力学模型