



新世纪高职高专实用规划教材

机电系列

工程力学

(第2版)



龚良贵 熊拥军 盛明强 张鸿飞 编著

赠送
电子课件

清华大学出版社



新世纪高职高专实用规划教材 机电系列

工 程 力 学

(第2版)

龚良贵 熊拥军 盛明强 张鸿飞 编 著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是面向新世纪高等职业技术教育教学系列教材之一。全书共分5篇18章,按整合优化方式编写,把原理论力学、材料力学的内容加以精选、融合与贯通,分为静力学、材料力学、运动学、动力学和构件动载荷强度问题5个模块。该教材既保留了原理论力学、材料力学理论严谨、逻辑清晰、由浅入深、宜于教学的风格和体系,又根据当前高等职业技术教育改革的要求,强化应用性的教学内容。基本理论以“必需”、“够用”为度,突出“知识和能力”这条主线,重点在于培养学生分析问题和解决问题的能力,符合高等职业技术教育培养应用型工程技术人才的目标要求。

本书适用于高等学校及高职高专机械、土建类各专业,也可作为相关专业其他层次教学用书和广大工程技术人员自学用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/龚良贵,熊拥军,盛明强,张鸿飞编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2011.5
(新世纪高职高专实用规划教材 机电系列)
ISBN 978-7-302-24059-4

I. ①工… II. ①龚… ②熊… ③盛… ④张… III. ①工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TB12
中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第218736号

责任编辑:刘天飞 桑任松

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25.5 字 数:614千字

版 次:2011年5月第2版 印 次:2011年5月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:48.00元

产品编号:035698-01

前 言

本书是为适应高等职业技术教育的教学需要而编写的。适用于高等职业技术教育机械、土建类各专业，也可作为相关专业其他层次教学用书和广大工程技术人员的自学用书。

根据高等职业技术教育的特色，以及“工程力学”在人才培养计划中的地位和作用，本书在编写过程中力求体现“以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为重点”的原则，在以下方面做了一定的努力。

(1) 在体系编排上，改变了原“理论力学”和“材料力学”两门课程自成体系的格局，将两门课程整合优化成5篇18章，而且每章的知识结构也作了适当调整。第一篇“静力学”，突出刚体平衡时的力学特征；第二篇“材料力学”，突出变形体平衡时的力学特征；第三篇“运动学”，突出刚体运动形态；第四篇“动力学”，突出刚体运动时的力学特征；第五篇“动载荷强度问题”，突出变形体的动应力问题。通过调整，突出了“知识和能力”这条主线，减少重叠，以符合工程设计思路要求，便于读者接受。

(2) 在内容安排上，注意处理好本课程与前修课程和后续课程间的衔接；处理好内部相关内容间的关系；精选经典内容，渗透现代力学思想，重在讲清概念，减少理论推导；加强工程意识和工程方法的训练。

(3) 在每章后面都附有小结以及思考题和习题，旨在指导学生学习，启发学生思考；书末附有习题答案。

本书由龚良贵、熊拥军、盛明强、张鸿飞共同编写。具体分工如下：绪论、第1章、第2章、第7章、第8章、第9章、第10章、第14章、第15章、第16章以及附录A、B、C、D由南昌大学龚良贵编写；第4章、第5章、第6章、第12章、第13章由南昌大学熊拥军编写；第3章、第11章由南昌大学盛明强编写；第17章、第18章由江西大宇职业技术学院张鸿飞编写。统稿工作由龚良贵教授完成。

本书在编写过程中，得到南昌大学、江西赣江职业技术学院和江西大宇职业技术学院领导的大力支持，在此致以诚挚的谢意。

限于作者水平，加之时间仓促，书中难免存在缺点和不妥之处，恳请各位专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1	第3章 空间力系	58
第一篇 静力学	3	3.1 空间汇交力系	58
第1章 静力学公理和物体的受力分析	4	3.2 力对点的矩和力对轴的矩	60
1.1 静力学公理	4	3.3 空间力偶系	62
1.2 约束和约束反力	6	3.4 空间一般力系	64
1.3 物体的受力分析与受力图	9	3.4.1 空间一般力系的简化	64
小结	12	3.4.2 空间一般力系的平衡	64
思考题	13	小结	65
习题	14	思考题	66
第2章 平面力系	16	习题	66
2.1 平面汇交力系	16	第二篇 材料力学	69
2.1.1 平面汇交力系合成与平衡的 几何法	16	第4章 材料力学的基本概念	69
2.1.2 平面汇交力系合成与平衡的 解析法	18	4.1 材料力学的任务	69
2.2 力矩 平面力偶系	20	4.2 变形固体的基本假设	70
2.2.1 力矩	20	4.3 内力、截面法和应力的概念	71
2.2.2 平面力偶系的合成与平衡	22	4.4 位移与应变的概念	73
2.3 平面一般力系	26	4.5 杆件变形的基本形式	74
2.3.1 力线平移定理	26	小结	76
2.3.2 平面一般力系的简化	27	思考题	77
2.3.3 平面一般力系的平衡	30	习题	78
2.4 物体系统的平衡 静定问题和超 静定问题	33	第5章 拉伸、压缩与剪切	80
2.5 平面简单桁架的内力计算	36	5.1 轴力及轴力图	80
2.6 滑动摩擦	38	5.2 轴向拉伸、压缩时的应力	82
2.6.1 滑动摩擦力	39	5.2.1 轴向拉伸、压缩时横截面上 的正应力	83
2.6.2 摩擦角与自锁现象	40	5.2.2 轴向拉伸、压缩时斜截面上 的应力	84
2.6.3 考虑滑动摩擦时的平衡问题	42	5.3 轴向拉伸、压缩时材料的力学性能	85
小结	45	5.3.1 轴向拉伸时材料的力学性能	85
思考题	47	5.3.2 轴向压缩时材料的力学性能	88
习题	50	5.4 轴向拉伸、压缩时的强度计算	89



5.5 轴向拉伸、压缩时的变形.....	92	7.3.2 梁的正应力强度条件.....	145
5.6 拉伸、压缩超静定问题.....	95	7.4 梁的切应力和强度计算.....	148
5.7 应力集中的概念.....	97	7.4.1 梁的切应力.....	148
5.8 连接件的实用强度计算.....	98	7.4.2 梁的切应力强度计算.....	151
5.8.1 剪切实用强度计算.....	99	7.5 提高梁弯曲强度的措施.....	153
5.8.2 挤压实用强度计算.....	101	7.6 梁的变形和刚度计算.....	157
小结.....	103	7.6.1 挠曲线近似微分方程.....	157
思考题.....	105	7.6.2 积分法求梁的变形.....	159
习题.....	107	7.6.3 叠加法求梁的挠度和转角.....	163
第6章 扭转.....	111	7.6.4 梁的刚度计算和提高梁弯曲 刚度的措施.....	165
6.1 外力偶矩的计算 扭矩及扭矩图.....	111	7.7 简单超静定梁.....	166
6.2 薄壁圆筒的扭转.....	114	小结.....	168
6.2.1 薄壁圆筒扭转时的切应力.....	114	思考题.....	169
6.2.2 切应力互等定理.....	115	习题.....	170
6.2.3 剪切胡克定律.....	115	第8章 应力状态和强度理论.....	177
6.3 圆轴扭转时的应力和强度计算.....	116	8.1 应力状态的概念.....	177
6.3.1 圆轴扭转时横截面上的 切应力.....	116	8.2 二向应力状态.....	179
6.3.2 圆轴扭转时强度计算.....	119	8.2.1 二向应力状态的解析法.....	179
6.4 圆轴扭转时的变形和刚度计算.....	121	8.2.2 二向应力状态的图解法.....	183
6.4.1 圆轴扭转时的变形.....	121	8.3 三向应力状态.....	186
6.4.2 圆轴扭转时的刚度计算.....	121	8.4 广义胡克定律.....	188
6.5 圆轴扭转时的超静定问题.....	124	8.5 强度理论及其应用.....	189
小结.....	125	8.5.1 材料的破坏形式.....	190
思考题.....	126	8.5.2 常用的强度理论及其应用.....	190
习题.....	127	小结.....	193
第7章 弯曲.....	130	思考题.....	195
7.1 平面弯曲的概念及梁的计算简图.....	130	习题.....	195
7.2 梁的剪力与弯矩 剪力图与弯 矩图.....	131	第9章 组合变形的强度计算.....	198
7.2.1 剪力与弯矩.....	131	9.1 拉伸(压缩)与弯曲的组合.....	199
7.2.2 剪力方程与弯矩方程 剪力图 与弯矩图.....	134	9.2 扭转与弯曲的组合.....	202
7.2.3 剪力、弯矩和分布载荷集度间 的微分关系.....	138	小结.....	204
7.3 梁的正应力和强度计算.....	141	思考题.....	205
7.3.1 梁的正应力.....	141	习题.....	206

10.2 细长压杆的临界力.....210	第 13 章 刚体的平面运动.....259
10.2.1 两端铰支细长压杆的 临界力.....210	13.1 基本概念与运动分解.....259
10.2.2 其他支座条件下细长压杆的 临界力.....211	13.2 平面图形内各点的速度计算.....261
10.3 压杆的临界应力及临界应力总图.....212	13.2.1 基点法.....261
10.3.1 细长压杆的临界应力.....213	13.2.2 瞬心法.....264
10.3.2 临界应力总图.....214	13.3 平面图形内各点的加速度计算.....266
10.4 压杆的稳定计算.....216	小结.....269
10.5 提高压杆稳定性的措施.....218	思考题.....270
小结.....219	习题.....271
思考题.....219	第四篇 动力学.....273
习题.....220	第 14 章 质点动力学.....273
第三篇 运动学.....223	14.1 动力学的基本定律.....273
第 11 章 点的运动学和刚体的 基本运动.....223	14.2 质点动力学微分方程.....274
11.1 点的运动学.....223	小结.....277
11.1.1 矢量法.....223	思考题.....278
11.1.2 直角坐标法.....225	习题.....278
11.1.3 自然法.....228	第 15 章 动力学普遍定理.....280
11.2 刚体的基本运动.....232	15.1 动量与动量定理.....280
11.2.1 刚体的平行移动.....232	15.1.1 动量与冲量.....280
11.2.2 刚体的定轴转动.....235	15.1.2 动量定理.....280
小结.....240	15.1.3 质心运动定理.....283
思考题.....241	15.2 动量矩与动量矩定理.....285
习题.....242	15.2.1 动量矩.....286
第 12 章 点的合成运动.....246	15.2.2 动量矩定理.....287
12.1 点的合成运动的基本概念.....246	15.2.3 刚体绕定轴转动的 微分方程.....288
12.2 点的速度合成定理.....247	15.2.4 刚体平面运动的微分方程...292
12.3 点的加速度合成定理.....249	15.3 动能与动能定理.....293
12.3.1 牵连运动为平移时点的 加速度合成定理.....250	15.3.1 功与功率.....293
12.3.2 牵连运动为转动时点的 加速度合成定理.....252	15.3.2 动能.....296
小结.....254	15.3.3 动能定理.....298
思考题.....255	15.3.4 势力场、势能、机械能守 恒定律.....301
习题.....256	15.4 动力学普遍定理的综合应用.....303
	小结.....305
	思考题.....308
	习题.....309



第16章 机械振动基础316

16.1 单自由度系统的自由振动316

16.1.1 自由振动微分方程及其解316

16.1.2 无阻尼自由振动的特点317

16.1.3 弹簧的并联与串联319

16.1.4 计算固有频率的能量法321

16.2 单自由度系统的有阻尼自由振动323

16.3 单自由度系统的受迫振动326

16.3.1 受迫振动微分方程及其解326

16.3.2 阻尼对受迫振动的影响329

16.4 隔振330

小结331

思考题332

习题332

第五篇 动载荷强度问题334

第17章 构件的动载荷强度334

17.1 惯性力 达朗贝尔原理334

17.1.1 质点的达朗贝尔原理334

17.1.2 质点系的达朗贝尔原理335

17.1.3 刚体惯性力系的简化337

17.2 考虑惯性力时的应力计算340

17.3 受冲击载荷时的应力和变形计算342

17.4 构件抗冲击能力的措施345

小结346

思考题347

习题348

第18章 构件的疲劳强度351

18.1 交变应力与应力循环特性351

18.2 疲劳破坏的概念353

18.3 疲劳极限及其测定353

18.4 影响构件疲劳极限的主要因素355

18.5 对称循环下构件的疲劳强度计算360

18.6 提高构件疲劳强度的措施361

小结363

思考题364

习题364

附录A 截面的几何性质366

附录B 梁在简单载荷作用下的变形375

附录C 型钢表377

附录D 习题答案384

主要符号396

参考文献397

绪 论

工程力学是一门理论性较强的技术基础课,它是诸多力学课程的基础,并在工程技术领域中有着广泛的应用。

1. 工程力学的任务

机械设备或工程结构都由若干构件组成。当它们传递运动或承受载荷时,各个构件都要受到力的作用。首先,必须确定有哪些力作用在各个构件上,以及它们的大小和方向;其次,在确定了作用在构件上的外力后,还必须为构件选用合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸,以保证构件既能安全可靠地工作,又符合经济要求。这些都是工程力学所要解决的问题。

工程力学涉及众多的力学分支学科,本书介绍的只是其中最基础的部分,主要研究物体的机械运动和杆件弹性变形的一般规律。它是高等工科院校的一门理论性较强的技术基础课程,可以为后续课程的学习和解决工程实际问题提供力学的基本理论和方法。

机械运动是指物体在空间的位置随时间而发生的改变。机械运动是物质各种运动(如发热、发光、电磁现象、化学过程等)中最基本以及人们在生产和生活中最常见的一种运动形式。

变形是指物体在外力作用下形状和尺寸的改变。物体的变形按其性质可分为两种:一种是**弹性变形**,它是随外力的解除而消失的变形;另一种是**塑性变形**,或称残余变形,它是在外力解除后不能消失的变形。杆件是指一个方向(长度方向)尺寸远大于其他两个方向(宽度和厚度方向)尺寸的构件。本课程主要研究杆件的弹性变形问题。

本课程所研究的内容以牛顿定律为基础,属经典力学范畴,适用于速度远低于光速的宏观物体的运动。近代物理学的发展,发现经典力学的研究范围存在许多局限性;但在一般工程技术中的力学问题,所研究的对象都属宏观、低速范畴,故经典力学的准确性还是值得肯定的。

工程力学课程的任务,概括起来可分为两类。

(1) **研究物体的机械运动与所受力之间的关系**。这里包括力的一般性质、力系的简化及物体在力系的作用下平衡规律的研究;物体运动几何性质的描述;物体运动状态改变与其所受力之间的关系。以便掌握物体机械运动的基本规律和研究方法。

(2) **研究物体变形与所受力之间的关系**。即研究物体在外力作用下变形和破坏的规律,为解决构件强度、刚度和稳定性问题提供基本理论和计算方法。

2. 工程力学的研究方法

由观察和实验可知,在外力作用下,任何物体均会变形。工程力学的研究方法是实验观察—建立模型—理论分析—实验(实践)验证,这是自然科学研究问题的一般方法。

本课程研究的物体,大多是各种工程结构物及其构件。这些结构物和构件,形状大小各异,组成也很复杂。因此,在研究它们的运动和变形时,首先必须根据问题的性质,抓



住主要方面,略去次要因素,合理简化,抽象为力学模型。这是重要的一步。

在研究物体的平衡规律时,由于物体变形量很小或变形因素对问题的研究影响很小,可忽略物体的变形而将其抽象为“刚体”。在研究物体机械运动的几何性质和运动状态改变与受力之间的关系时,因为物体的运动范围远大于物体本身的大小,所以可将物体抽象为一个“质点”,或者由质点组成的“质点系”。但在研究物体的变形与受力之间的关系时,则不能再将物体视为刚体,而应看成可变形固体。

建立模型之后,可运用数学方法进行分析计算。这种解决工程力学问题的方法称为理论方法。然而,许多工程实际问题,仅靠理论方法还不能有效地解决,但通过实验的方法可得到满意的结果。另外,在解决构件的承载能力问题时,需要通过实验测定材料的力学性质。可见,实验也是解决工程力学问题的一种必不可少的方法。

随着计算机技术的迅速发展,计算机分析方法在工程力学领域中已得到日益广泛的应用,并促进着工程力学研究方法的更新。这将使工程力学在解决日常生活、环境、交通和国防等工程问题中发挥更大的作用。

3. 工程力学的地位和作用

工程力学既是基础学科,又可直接面向工程应用。这门课程讲述力学的基础理论和基本知识,以及处理工程力学问题的基本方法,为后续课程的学习和解决工程实际问题提供力学知识基础。

学习工程力学不仅要深刻理解力学的基本概念和基本定律,而且还要牢固地掌握由此而导出的解决工程力学问题的定理和公式,同时也要注意培养自己处理工程力学问题的能力。

第一篇 静 力 学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。

刚体，是指在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体，是一个理想化的力学模型。事实上，任何物体受力后或多或少都会发生变形，因此，实际上并不存在绝对的刚体。但是，对那些在运动中变形极小，或虽有变形但不影响其整体运动的物体，忽略变形，对问题的研究结果不仅没有显著影响，而且可以使问题得以简化。这时，该物体可抽象为刚体。将物体抽象为刚体是有条件的，这与所研究的问题的性质有关。当物体的变形(即使很小)成为所研究问题的主要方面而不应忽视时，则不能抽象为刚体，而应当成变形体处理。

由于静力学中所研究的物体只限于刚体，所以又称为**刚体静力学**。

力，是指物体间相互的机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生改变或形状发生变化。前者称为**运动效应**(又称外效应)，后者称为**形变效应**(又称内效应)。力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点三个要素，因此，力应以矢量表示，在本书中用加粗的斜体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量，用不加粗的 F 表示力的大小。在工程力学中采用国际单位制(SI)，力的单位是牛顿，用 N 表示，或千牛顿，用 kN 表示。

力系，是指同时作用在物体上的一群力。作用线在同一平面内的力系称为**平面力系**；作用线不在同一平面内的力系称为**空间力系**；作用线汇交于一点的力系称为**汇交力系**；作用线相互平行的力系称为**平行力系**；作用线既不汇交于一点，又不相互平行的力系称为**一般力系**。

平衡，是指物体相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线运动的状态，它是机械运动的特殊形式。在工程实际中，通常把固连于地球的参考系作为**惯性参考系**，用此参考系来研究物体相对于地球的平衡问题，所得结果能很好地与实际情况相符合。

在静力学中，我们将研究以下三个问题。

(1) **物体的受力分析**。分析某个物体或物体系统共受几个力，以及每个力的作用位置 and 方向。

(2) **力系的等效与简化**。将作用在物体上的一个力系用另一个与其等效的力系来代替，这两个力系互为**等效力系**。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系，则称为**力系的简化**。如果某力系与一个力等效，则此力称为该力系的**合力**，而力系中各力称为此力系的**分力**。

(3) **力系的平衡条件**。研究作用在平衡状态物体上的各种力系所需满足的条件。使物体处于平衡状态的力系称为**平衡力系**。

力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义，是设计结构、构件和机械零件时静力计算的基础。因此，静力学在工程中有着最广泛的应用。



第1章 静力学公理和物体的受力分析

本章将阐述静力学公理,并介绍工程中常见的约束和约束反力的分析及物体的受力图。静力学公理是静力学理论的基础,物体的受力分析是力学中重要的基本技能。

1.1 静力学公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结,又经过实践反复检验,被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

公理 1: 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向,由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1.1(a)所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的几何和,即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

力的平行四边形也可演变成为力三角形,由它能更简便地确定合力的大小和方向,如图 1.1(b)、(c)所示,而合力作用点仍在汇交点 A。

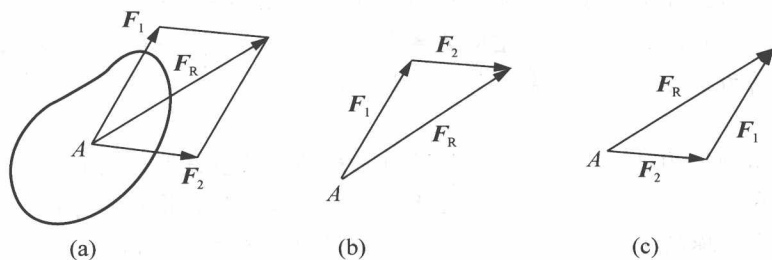


图 1.1 力的平行四边形法则

这个公理表明了最简单力系的简化规律,它是复杂力系简化的基础。

公理 2: 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要与充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且在同一直线上,如图 1.2 所示。即

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

这个公理揭示了作用于物体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对刚体来说这个条件既是必要的,又是充分的;但对于变形体,它只是平衡的必要条件,而不是充分条件。例如,软绳受两个等值、反向、共线的拉力作用可以平衡,而受两个等值、反向、共线的压力作用就不能平衡。

工程上,把只受两个力作用而处于平衡的物体,称为**二力构件**(又称二力杆)。根据二力平衡条件可知,二力构件不论形状如何,其所受的两个力作用线必沿这两个力作用点的

连线。这一性质在对物体进行受力分析时极为有用。

公理3：加减平衡力系原理

在作用于刚体上的已知力系中加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

这个公理是研究力系等效替换的重要理论依据。但必须注意，此公理也只适用于刚体而不适用于变形体。

由上述公理可以导出如下重要推论。

推论1：力的可传性

作用在刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

如图1.3(a)所示的刚体，在A点受力 F 作用，若在力 F 的作用线上任一点B加上一平衡力系 F_1 、 F_2 ，且使 $F=F_2=-F_1$ (见图1.3(b))，则 F 与 F_1 又构成一平衡力系，将此力系去掉后，可得到作用于B点的力 F_2 (见图1.3(c))。于是，原作用于A点的力 F 可以沿其作用线移到B点。

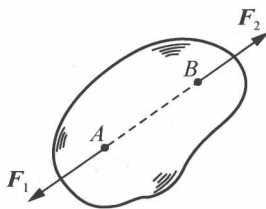


图1.2 二力平衡条件

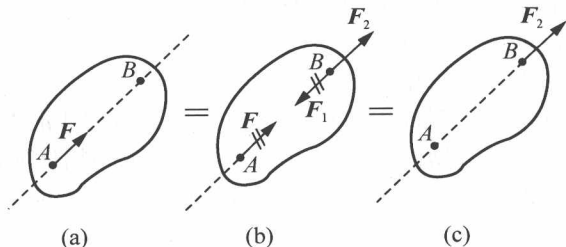


图1.3 力的可传性

根据力的可传性，力对刚体的效应与力的作用点无关。因此，对于刚体来说，力的三要素是力的大小、方向和作用线。在这种情况下，力矢可沿其作用线任意滑动，成为滑动矢量。

推论2：三力平衡汇交定理

作用于刚体上的三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三个力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点。

设有三个互相平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 分别作用于刚体上的A、B、C三个点(见图1.4)。已知 F_1 和 F_2 的作用线交于O点，根据力的可传性，将力 F_1 和 F_2 移到汇交点O，并由力的平行四边形规则，求得其合力 F_{12} 。则 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于两力平衡必须共线，所以，力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且通过力 F_1 和 F_2 的汇交点O。

三力平衡汇交定理说明了不平行的三个力平衡的必要条件，有时用此定理来确定第三个力的作用线的方位。

公理4：作用和反作用定律

作用力和反作用力总是同时存在的，两力的大小相等，方向相反，沿着同一直线，分别作用在两个相互作用的物体上。

这一公理概括了物体间相互作用力的关系，表明作用

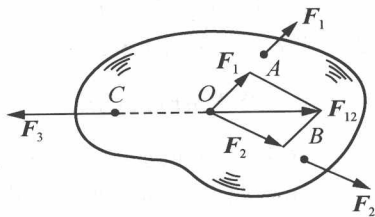


图1.4 三力平衡汇交定理



力和反作用力总是成对出现的。由于作用力和反作用力分别作用在两个物体上,因此,不能视为平衡力系。

公理 5: 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡时,如将此变形体刚化为刚体,其平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体抽象为刚体模型的条件。刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。

静力学全部理论都可以由上述五个公理推证而得到。这既能保证理论体系的完整和严密性,又可以培养读者的逻辑思维能力。

1.2 约束和约束反力

在空间的位移不受任何限制,可以自由运动的物体,称为**自由体**;相反,位移受到某些限制的物体称为**非自由体**。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体,称为**约束**。例如,绳子是电灯的约束;合页是门、窗的约束;滑道是冲头的约束;轴承是飞轮和轴的约束;支座是桥梁的约束等。

既然约束阻碍着物体的运动,那么当物体沿着约束所能限制的方向运动或有运动趋势时,约束对该物体必然有力的作用,以阻碍物体的运动,这种力称为**约束反力**,简称反力。因此,约束反力的方向总是与该约束所能阻碍的运动方向相反,这是确定约束反力方向的准则。

物体所受的力,除约束反力外,还有如重力、水压力、风力、电磁力等,它们是促使物体运动或使物体有运动趋势的力,这种力称为**主动力**。

一般情况下,约束反力是由主动力的作用而引起的,因此,它又是一种被动力。静力分析的重要任务之一就是确定未知约束反力。

工程中约束的种类很多,对于一些常见的约束,按其所具有的特性,可以归纳为下列几种基本类型。

1. 柔性约束(柔索)

柔性约束是由绳索、胶带或链条等柔性物体构成的。这类约束的性质决定它只能承受拉力,所以它给物体的约束反力也只能是拉力。因此,柔性约束对物体的约束反力,作用在接触点,方向沿着柔索背离物体。通常用 F 或 F_T 表示这类约束反力。

例如,如图 1.5(a)所示,用绳索悬挂一重物,则绳索对重物的约束反力是沿绳索的拉力 F_{T1} 和 F_{T2} ,如图 1.5(b)所示。

2. 光滑接触面约束

光滑接触面约束可忽略摩擦,将接触表面视为理想光滑的约束。此时,不论接触面是平面还是曲面,都不能限制物体沿约束表面切线的运动,而只能限制物体沿着接触表面法线方向,并向约束内部的运动。因此,光滑接触面对物体的约束反力通过接触点,方向沿接触表面的公法线方向,并指向受力物体。这种约束反力称为法向反力,通常用 F_N 表示。

例如,如图 1.6(a)、(b)所示,支持物体的固定面、啮合齿轮的齿面都可视为光滑接触面,它们的约束反力分别为图 1.6 中的 F_{NA} 和 F_{NB} 。

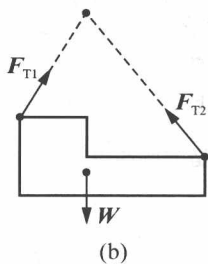
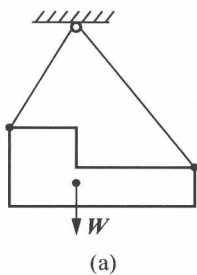


图 1.5 柔性约束

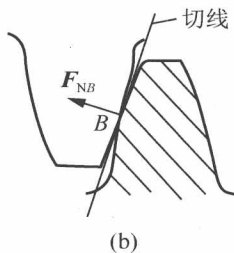
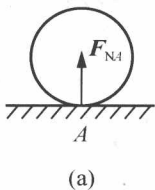


图 1.6 光滑接触面约束

3. 光滑圆柱形铰链约束

两物体分别被钻上直径相同的圆孔并用销钉连接起来,不计销钉与销钉孔壁之间的摩擦,这类约束称为光滑圆柱形铰链约束,简称铰链约束。如图 1.7(a)所示的曲柄连杆机构中,曲柄 OA 和连杆 AB 在 A 处的连接、连杆 AB 和滑块 B 在 B 处的连接均为铰链连接。图 1.7(b) 为铰链的结构图。

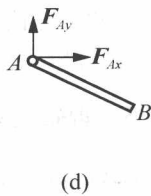
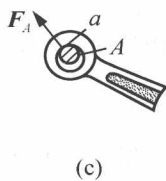
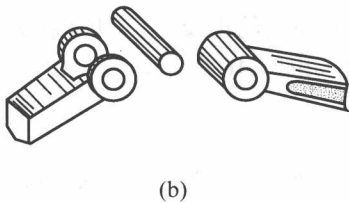
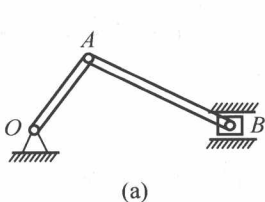


图 1.7 光滑圆柱形铰链约束

由于相互接触的两圆柱面是光滑的,销钉只能限制被约束构件在垂直于销钉轴线的平面内的径向运动,不能限制被约束构件绕圆孔中心 A 的转动,因此,约束反力 F_A 沿圆柱面在接触点 a 的公法线,并通过铰链中心 A (见图 1.7(c))。但接触点 a 的位置与被约束构件的受力情况和运动情况有关,不能预先确定,因此,约束反力 F_A 也不能预先确定,通常用通过铰链中心 A 的两个互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示,如图 1.7(d)所示。 F_{Ax} 、 F_{Ay} 的指向暂可任意假定。

如果铰链连接中有一个构件与地面或机架相连,便构成固定铰链支座,简称固定铰支,如图 1.8(a)所示。这种支座的约束性质与圆柱形铰链相同,其简图及约束反力表示法分别如图 1.8(b)、(c)所示。

4. 轴承约束

轴承是机器中常见的一种约束,常用的有向心轴承(径向轴承)和止推轴承。

向心轴承的结构如图 1.9(a)、(b)所示,它的约束性质与圆柱形铰链约束的性质相同,不过在这里轴本身是被约束的构件。其简图和约束反力如图 1.9(c)所示。

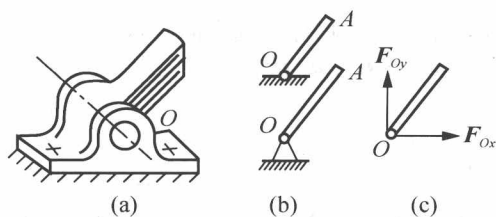


图 1.8 固定铰链支座约束

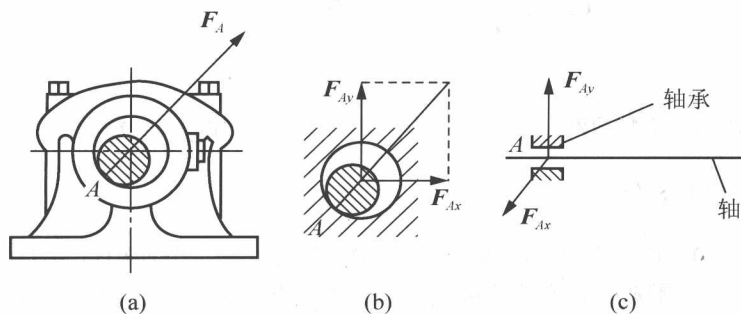


图 1.9 向心轴承约束

止推轴承与向心轴承不同, 它除了能限制轴的径向位移以外, 还能限制轴沿轴向的位移。因此, 它比向心轴承多一个沿轴向的约束反力, 即约束反力有三个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 。止推轴承的简图及其约束反力如图 1.10 所示。

5. 辊轴支座约束

这种支座是在铰链支座与光滑支承面之间装有几个辊轴而构成的, 其结构如图 1.11(a)所示, 图 1.11(b)为其简图。该支座可以沿支承面移动。这种支座的约束性质与光滑面约束相同, 其约束反力必垂直于支承面, 且通过铰链中心, 通常用 F_N 表示, 如图 1.11(c)所示。

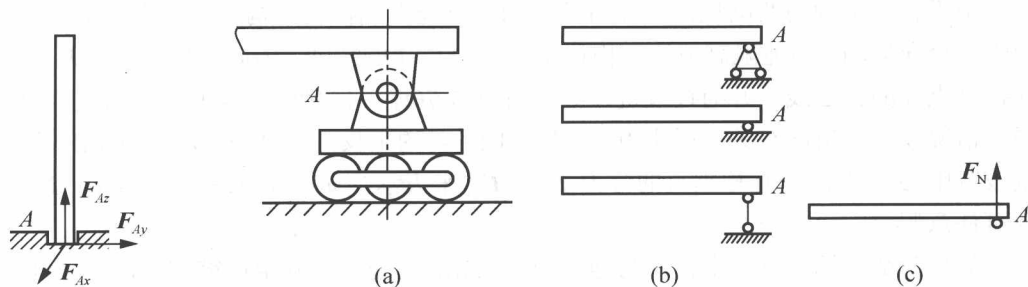


图 1.10 止推轴承约束

图 1.11 辊轴支座约束

6. 球铰链约束

球铰链是通过圆球和球壳将两个构件连接在一起的约束, 如图 1.12(a)所示。它使构件的球心不能有任何位移, 但构件可绕球心任意转动。若不计摩擦, 与圆柱铰链分析相似, 其约束反力是通过球心但方向不能预先确定的一个空间力, 可用三个正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Az} 表示。其简图及约束反力如图 1.12(b)所示。

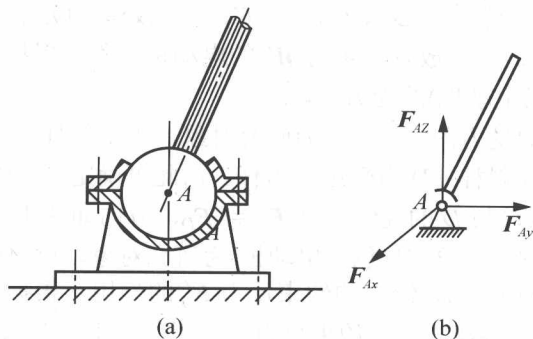


图 1.12 球铰链约束

1.3 物体的受力分析与受力图

在工程实际中,为了求出未知的约束反力,需要根据已知力,应用平衡条件求解。为此,首先要确定构件受到几个力的作用,每个力的作用位置和作用方向如何,这种分析过程称为物体的**受力分析**。

作用在物体上的力可分为两类:一类是**主动力**,例如,物体的重力、风力、气体压力等,一般是已知的;另一类是约束对于物体的**约束反力**,为未知的被动力。

为了清晰地表示物体的受力情况,我们把需要研究的物体(称为受力体)从与其相联系的周围的物体(称为施力体)中分离出来,单独画出它的简图,这个步骤叫做取研究对象或取分离体。然后把施力体作用于研究对象上的主动力和约束反力全部画在简图上,这种表示物体受力情况的简明图形称为**受力图**。画物体的受力图是解决静力学问题,乃至动力学问题的一个重要步骤。下面举例说明受力图的画法。

注意,凡图中未画出重力的就是不计重力,凡不提及摩擦时视为光滑。

例 1.1 重量为 W 的梯子 AB , 搁在水平面和铅垂墙壁上。在 E 点用水平绳索 EF 与墙面相连,如图 1.13(a)所示。不计摩擦,试画出梯子 AB 的受力图。

解 (1) 取研究对象。将梯子 AB 从周围物体的联系中分离出来,单独画出其轮廓简图。

(2) 画主动力。梯子受主动力 W 作用,作用点在梯子的重心 C 上,方向铅垂向下。

(3) 根据约束的性质,画出约束反力。使梯子成为分离体时,需要在 A 、 D 、 E 三处分别解除地面、墙壁、绳索的约束,因此,必须在这三处加上相应的约束反力来代替。根据 A 、 D 两处均为光滑面约束的特点,地面、墙面作用于梯子的约束反力 F_{NA} 、 F_{ND} , 分别沿各自接触面公法线方向指向梯子。绳索作用于梯子的拉力 F_{TE} 沿着 EF 方向背离梯子。

梯子的受力图如图 1.13(b)所示。

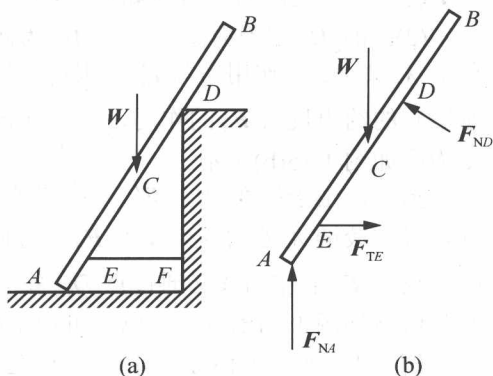


图 1.13 梯子受力图