

21世纪全国高等院校实用规划教材

工程力学

主 编 杨民献

提供电子课件

- 依据最新教学要求和课时情况编写
- 结合工程实践，内容以必需、够用为度



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校实用规划教材

工 程 力 学

主 编 杨民献

副主编 张淑芬 李一帆



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据教育部最新颁布的高等学校本科工程力学课程教学的基本要求编写而成。本书分为理论力学篇和材料力学篇,内容涵盖了理论力学和材料力学中最基本的知识,书末附有习题答案和附录。

本书基本概念、基本理论论述严谨,重点突出,内容精练,密切联系工程实际。本书可作为高等院校的教材,也可作为相关工程专业技术人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/杨民献主编. —北京:北京大学出版社, 2013. 8

(21 世纪全国高等院校实用规划教材)

ISBN 978 - 7 - 301 - 22891 - 3

I. ①工… II. ①杨… III. ①工程力学—高等学校—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 169065 号

书 名: 工程力学

著作责任者: 杨民献 主编

策 划 编 辑: 卢 东 任占军

责 任 编 辑: 卢 东

标 准 书 号: ISBN 978 - 7 - 301 - 22891 - 3/TU · 0348

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 三河市欣欣印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 27 印张 631 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 50.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010 - 62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书根据教育部力学基础课程教学指导委员会最新制定的教学基本要求编写而成。由于总学时的限制，理工科的工程力学的课时被压缩，学时较少，要求较高，成为工程力学课程教学的新挑战。本书力求针对普通工科院校力学教学的特点，严格把握读者定位，紧密结合工程实践，突出工程观念的培养和力学在工程实际中的应用，力求概念清楚，重点突出，叙述简明，易学易懂，在照顾到理论上严密性的同时，重点培养学生分析问题和解决实际问题的能力，所编写的内容以必需、够用为度，集中反映了编者在长期力学教学中所积累的经验和近年来的教学改革成果。书中附有思考题、选择题和丰富的习题，以供不同专业 and 不同要求的读者选用，书末附有习题答案。

标“*”号章节，不作课堂要求，教师可不用讲述，只作为学生自学参考内容。

本书分为理论力学篇和材料力学篇，理论力学篇分为10章，由张淑芬、李作良、杨俊森、杨茹萍、梅群、张彦斌、刘华锋、王占磊编写；材料力学篇分为9章，由杨民献、李一帆、王慧萍、张耀强、侯中华、刘宗发、虞跨海、布欣(洛阳理工学院)编写。本书由杨民献担任主编并统稿，张淑芬、李一帆担任副主编。

在本书编写过程中，上海交通大学力学系的赵社戌教授对本书的编写修订提出了很多指导性意见，河南科技大学教务处、规划与建筑工程学院力学系的全体教师也给予了大力支持。此外，本书参考了国内外一些优秀教材，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2013年5月

主要符号表

A	面积	i	惯性半径
a	加速度、长度	W	功、弯曲截面模量
a_n	法向加速度	a_τ	切向加速度
b	宽度	E	弹性模量
h	高度	m	质量
C	速度瞬心	v	速度
t	厚度、时间	v_a	绝对速度
F	集中力	v_r	相对速度
P	集中力、功率	v_e	牵连速度
F_N	轴力	V	体积
F_S	剪力	R	反力
M	弯矩	n	转速
T	扭矩、动能	q	载荷集度
g	重力加速度	w	挠度
l	长度	f	摩擦因数
r	半径	ρ	密度
d	直径	σ	正应力
S	静矩阵	σ_p	比例极限
I_P	极惯性矩	σ_s	屈服极限
K_d	动荷系数	F_{cr}	临界压力
F_{IR}	惯性力系主矢	σ_b	强度极限
M_K	惯性力主矩	ε	正应变(或线应变)
σ_u	极限应力	ω	角速度
γ	角应变	β	角度
α	角度	μ	泊松比、压杆长度系数
θ	角度	δ, Δ	位移
φ	角度		

目 录

绪论	1
0.1 工程力学的内容和任务	1
0.2 工程力学的研究方法及研究对象的简化	2

理论力学篇

第 1 章 静力学的基本概念和物体的受力分析	5
1.1 刚体和力的概念	6
1.2 静力学公理及其推论	7
1.3 约束和约束反力	9
1.4 物体的受力分析和受力图	12
思考题	14
选择题	14
习题	16
第 2 章 平面力系	18
2.1 平面汇交力系	19
2.2 力矩和平面力偶理论	24
2.3 平面一般力系的简化	27
2.4 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	31
2.5 物系的平衡、静定与静不定的概念	36
2.6 平面简单桁架的内力计算	40
2.7 考虑滑动摩擦时的平衡问题	42
思考题	47
选择题	49
习题	52
第 3 章 空间力系	60
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影 ...	61

3.2 空间力偶理论	62
3.3 力对点的矩和力对轴的矩	63
3.4 空间任意力系向一点的简化及平衡条件	65
3.5 重心	69
思考题	73
选择题	74
习题	75

第 4 章 点的运动学	79
4.1 点的运动方程	80
4.2 点的速度和加速度的矢量表示 ...	81
4.3 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	83
4.4 点的切向加速度和法向加速度 ...	83
思考题	87
选择题	87
习题	88

第 5 章 刚体的简单运动	91
5.1 刚体的平动	92
5.2 刚体定轴转动	93
5.3 定轴转动刚体内各点速度和加速度	94
5.4 轮系传动比	96
5.5 以矢量表示角速度和角加速度	97
思考题	98
选择题	98
习题	100

第 6 章 点的合成运动	103
6.1 绝对运动、相对运动和牵连运动	104

6.2 点的速度合成定理	106
6.3 牵连运动是平时点的加速度 合成定理	109
* 6.4 牵连运动是转动时点的加速度 合成定理	112
思考题	115
选择题	116
习题	118

第7章 刚体的平面运动

7.1 刚体平面运动的概述和 运动分解	123
7.2 求平面图形内各点速度的 基点法	125
7.3 求平面图形内各点速度的 瞬心法	126
7.4 用基点法求平面图形内各点的 加速度	129
思考题	132
选择题	134
习题	136

第8章 质点动力学基本方程

8.1 质点动力学的基本定律	141
8.2 质点运动微分方程	141
8.3 质点动力学的两类基本问题	142
思考题	144
选择题	144
习题	146

第9章 动能定理

9.1 概述	149
9.2 力的功	155
9.3 质点和质点系的动能	159
9.4 动能定理简述	162
思考题	169
选择题	170
习题	172

第10章 达朗伯原理

10.1 概述	179
---------------	-----

10.2 刚体惯性力系的简化	184
10.3 绕定轴转动刚体的 轴承动反力	187
思考题	189
选择题	191
习题	193

材料力学篇

第11章 拉伸、压缩与剪切

11.1 概述	200
11.2 轴向拉压杆的内力与应力	203
11.3 低碳钢材料拉伸时的力学 性能	206
11.4 其他材料拉伸压缩时力学性能的 研究	209
11.5 应力集中的概念	211
11.6 失效、许用应力与强度计算	212
11.7 剪切和挤压的实用计算	214
11.8 轴向拉压杆的变形	217
11.9 拉压静不定问题	220
思考题	223
选择题	224
习题	227

第12章 扭转

12.1 概述	234
12.2 传动轴的外力偶矩、扭矩和 扭矩图	234
12.3 圆轴扭转应力与强度计算	236
12.4 圆轴扭转变形与刚度计算	242
12.5 非圆截面杆的扭转	245
思考题	247
选择题	248
习题	249

第13章 弯曲内力

13.1 平面弯曲梁的计算简图	253
13.2 剪力、弯矩方程与剪力、 弯矩图	255

13.3 荷载集度、剪力和弯矩间的 微分关系	261	17.3 斜弯曲	348
思考题	264	17.4 拉伸或压缩与弯曲的组合	352
选择题	264	17.5 弯曲与扭转组合时杆的强度 计算	353
习题	265	思考题	357
第 14 章 弯曲应力	268	选择题	358
14.1 纯弯曲	269	习题	361
14.2 弯曲正应力	270	第 18 章 压杆稳定	366
14.3 弯曲切应力	276	18.1 压杆稳定的概念	367
14.4 提高梁弯曲强度的措施	282	18.2 两端铰支细长压杆的临界 压力	368
思考题	287	18.3 其他支承条件下压杆的 临界力	369
选择题	288	18.4 欧拉公式的适用范围、 中小柔度杆的临界应力	370
习题	290	18.5 压杆的稳定条件与合理设计 ...	372
第 15 章 弯曲变形	294	思考题	375
15.1 梁的变形和位移	295	选择题	375
15.2 挠曲线微分方程及积分法	296	习题	377
15.3 叠加法求梁的转角和挠度	303	第 19 章 动荷载	380
15.4 梁的刚度校核、提高梁的刚度的 一些措施	306	19.1 惯性力问题	381
15.5 简单超静定梁的解法	308	19.2 杆件受冲击时的应力及变形 ...	383
思考题	311	19.3 冲击韧度	386
选择题	311	选择题	387
习题	313	习题	389
第 16 章 应力状态理论	317	附录 A 平面图形的几何性质	392
16.1 概述	318	A.1 静矩与形心	392
16.2 二向应力状态的解析法	319	A.2 惯性矩和惯性半径	393
16.3 二向应力状态的图解法	324	A.3 平行移轴公式	397
16.4 三向应力状态简介	328	选择题	398
16.5 广义胡克定律、形状改变比能的 概念	330	习题	399
思考题	333	附录 B 常用材料的力学性能	401
选择题	333	附录 C 型钢表	402
习题	337	附录 D 材料力学主要公式	410
第 17 章 强度理论、组合变形	341	习题答案	413
17.1 概述	342	参考文献	422
17.2 常用的四种强度理论	343		

绪 论

0.1 工程力学的内容和任务

工程力学是研究物体机械运动一般规律和构件的强度、刚度、稳定性的科学。它涵盖了理论力学和材料力学两门课程中的主要内容，是一门理论性和实践性都较强的技术基础课。

所谓**机械运动**，就是物体在空间的位置随时间的改变。机械运动是最常见、最普遍的一种运动。平衡则是机械运动的一种特殊形式。在客观世界中存在着各种各样的物质运动。例如，物质的发热，发光和发生电磁场等物理现象，化合和分解等化学变化，以及人的思维活动等。在物质的各种运动形式中，机械运动是最简单的一种，而任何比较复杂的物质运动形式总是与机械运动存在着或多或少的联系。

该课程研究的是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，属经典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动，则必须用相对论和量子力学的观点才能完善地予以解释。工程技术中所处理的对象一般都是宏观物体，而且其速度也远低于光速，所以其力学问题仍以经典力学的定律为依据，因此，经典力学至今在工程上仍有着最广泛的应用。

工程结构中的零部件称为**构件**，构件在外力作用下均会产生变形，卸除外力后能完全消失的变形，称为**弹性变形**，不能消失而残留下来的变形则称为**塑性变形**。在研究构件的强度、刚度、稳定性等问题时物体的变形将成为主要矛盾，因而所研究的对象都是变形体。而在研究物体的机械运动时，则常忽略物体的变形，将其视作刚体。

正常工作中的构件应具备一定的承载能力，即应保证使构件在确定的外力作用下正常工作而不失效。具体来说，它应当满足以下三个方面的要求。

1. 强度要求

所谓强度，是指构件在外力作用下不发生断裂或塑性变形的能力。

2. 刚度要求

所谓刚度，是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。

3. 稳定性要求

所谓稳定性，是指构件保持原有平衡形态的能力。

如果构件横截面尺寸不足或形状不合理，或材料选用不当，将不能满足上述要求，从而不能保证工程结构的安全工作。相反，不恰当地加大横截面尺寸或选用优质材料，虽然满足了上述三个方面的要求，却过多浪费了材料和增加了成本。综上所述，工程力学的任务就是解决构件的承载能力与经济合理性之间的矛盾问题，为构件设计提供理论基础和计算方法。与此同时，工程力学使学生掌握基本的力学知识和科学的研究方法，为后续相关课程的学习打好基础。

本课程的内容包括理论力学篇和材料力学篇。

理论力学篇——研究物体在力系作用下的平衡规律，刚体机械运动的几何性质，以及

刚体的运动与所受作用力之间的关系。

材料力学篇——研究构件的受荷载作用后产生的内力、应力、变形，解决构件的强度、刚度和稳定性的要求。

0.2 工程力学的研究方法与研究对象的简化

工程力学所研究的问题，都是工程或生活实际中经常遇到的问题。遵循认识论的规律，其研究方法首先是从生活、工程或实验中观察各种现象，从复杂的现象中抓住共性，找出主要矛盾，略去次要因素，经过抽象和简化建立**力学模型**。然后，根据力学的基本理论，对力学模型进行数学描述，建立力学量之间的数量关系，从而得到**数学模型**。最后，经过理论分析和计算，求得问题的解。当然，经过上述过程求得的结论是否正确，还要进一步通过实验或工程实践来验证。

对同一个研究对象，为了不同的研究目的，所得的力学模型往往是不同的。因此，必须抓住问题的本质，做出正确的假设，使问题抽象化或理想化，以使用简单的模型解决复杂的实际问题。

工程中常根据研究的对象作以下基本假设。

1. 刚体假设

认为受力的物体不变形。实际上物体在外力作用下都要发生变形，但其变形通常是微小的，它对于力对物体的平衡或运动状态的影响极小。因此，在研究物体的平衡和运动时，这种微小的变形往往可以忽略不计。

2. 连续性假设

认为变形的固体内部毫无空隙地充满了物质。实际上，组成固体的粒子之间存在着空隙，在微观上物质并不连续，但这种空隙与构件尺寸相比极其微小，可以不计。

3. 均匀性假设

认为在变形固体内到处有相同的力学性能。尽管组成固体的粒子彼此的力学性能并不完全相同，但是因为构件或构件的任一部分中都包含为数极多的晶粒，而且无规则地排列着，固体的力学性能是各个晶粒的力学性能的统计平均值，所以可以认为固体内各处的力学性能是均匀的。

根据变形固体的连续性、均匀性假设，就可以从固体内任意截取一部分来研究，且在外力作用下引起的内力、应力、应变等物理量均可表示为坐标的连续函数，以便进行微积分运算。

4. 各向同性假设

认为无论沿任何方向，变形固体的力学性能都是相同的。就金属的单一晶粒来说，沿不同的方向力学性能并不一样。但固体中包含数量极多的晶粒，且杂乱无章地排列着，在宏观上沿各个方向的力学性能是相同的。具有这种属性的材料称为各向同性材料，如钢、铸铁、玻璃等。沿不同方向力学性能不相同的材料，称为各向异性材料，如木材、胶合板、纤维增强复合材料等。各向异性材料不是本书的研究内容。

理论力学篇

第1章

静力学的基本概念和物体的受力分析

教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
静力学基本概念	深入理解	力、刚体、平衡、力系的简化、合力、力的投影
静力学公理	熟练掌握	静力学五个公理及两个推论
自由体和非自由体概念	了解	自由体和非自由体的定义
约束、约束力的概念	熟练掌握	约束的定义、常见约束的类型、约束力的确定
物体的受力分析	熟练掌握	单个物体与物体体系的受力分析、受力图

技能要点

技能要点	掌握程度	应用方向
工程结构或工程机构的简化	了解	将工程结构或工程机构经抽象简化成力学模型，然后进行受力分析画出受力图
荷载的简化与确定	理解	
工程结构或工程机构的连接点接触方式的理解和简化	理解	

基本概念

力、合力、平衡、力系简化、静力学公理、受力分析、受力图

引例

前卫斜塔位于辽宁省葫芦岛市绥中县前卫镇，建于辽代，塔身高10m，塔身向东北方向倾斜 12° ，塔尖水平位移1.7m。该塔建成之后虽几经地震与洪水破坏，却始终斜而不倒。其建成时间比意大利比萨斜塔早建成300多年，而且倾斜度超过中外任何一座斜塔。意大利比萨斜塔虽然知名度很高，但并不是世界上倾斜度最大的塔。前卫镇斜塔是名副其实的“世界第一斜塔”。



该斜塔多年斜而不倒，其中蕴含着什么样的力学知识呢？用力学知识能从中揭穿其奥秘吗？

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律。物体平衡是指物体相对惯性参考系保持静止或做匀速直线运动。工程中一般把固定在地球上或相对地球做匀速直线运动的参考系看作惯性参考系。所谓力系，是指作用于物体上的一群力。

静力学主要解决以下三个问题。

- (1) **物体的受力分析**，即分析物体受了些什么力，以及每个力的作用位置 and 方向。
- (2) **力系的简化**，即用一个简单的力系等效替换一个复杂的力系。等效是指这两个力系分别对同一个物体作用时，产生相同的运动效应。研究力系的简化不仅是为了推导出力系的平衡条件，同时也为研究动力学和材料力学奠定基础。
- (3) **建立各种力系的平衡条件**，即研究物体平衡时，作用在物体上的各种力系所满足的条件。力系的平衡条件在工程上具有十分重要的意义，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广泛的应用。

1.1 刚体和力的概念

1.1.1 刚体的概念

所谓**刚体**，是指在力的作用下不变形的物体。或者说，不管物体受力如何，其内部任意两点之间的距离都保持不变。显然这是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下，都要产生程度不同的变形。但是在许多情形下，这些变形是微小的，对物体的平衡不起主要作用，可以略去不计。把实际物体视为刚体来研究，这样可使问题大为简化。

在静力学中，所研究的物体只限于刚体，故又称为刚体静力学，它是研究变形体力学的基础。

1.1.2 力的概念

人们在长期生活和生产实践中，建立了力的概念。力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态或物体的形状发生改变。前者称为力的运动效应(或外效应)，后者称为变形效应(或内效应)。

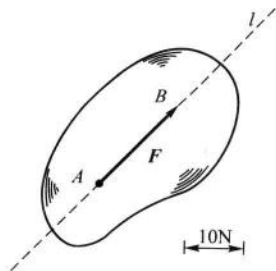


图 1-1

实践表明，力对物体的作用效果决定于三个要素：力的大小、力的方向和力的作用点。这三个要素以及力的相加符合平行四边形法则表明力是**固定矢量**，它可以用一个有方向的线段表示。线段长度按一定的比例尺表示力的大小，线段的方位和箭头的指向表示力的方向。本书中用有向线段的起点(或终点)表示力的作用点。表示矢量的符号用黑体字母(如 $\mathbf{F}$)，该矢量的大小(又称模)用普通字母 F 表示。图 1-1 中的力矢 $\mathbf{F}$ 表示一个

作用在物体上 A 点, 大小为 20N , 沿作用线 l 斜向上的力。力矢 F 的首和尾分别在 A 和 B 点。

在国际单位制中, 力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

1.2 静力学公理及其推论

经过人们长期实践, 发现和总结了一些最基本的力学规律, 它们的正确性为大量的实践所证实。这些规律概括为如下的五条静力学公理和三个推论。

公理一 二力平衡公理

只受两个力作用的刚体处于平衡的充分必要条件是: 这两个力大小相等、方向相反, 作用在同一条直线上。简称等值、反向、共线。如图 1-2 中的刚体处于平衡时, 必有 $F_1 = -F_2$ 。

公理二 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力的合力仍作用于该点, 合力的大小和方向由原两力矢为邻边所作的平行四边形的对角线来确定。

图 1-3(a)中, 力 F_R 为力 F_1 、 F_2 的合力, 力 F_1 、 F_2 为力 F_R 的分力。合力和分力间的关系可用如下的矢量等式表示:

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

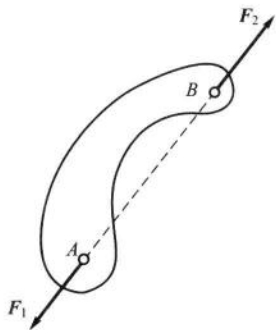


图 1-2

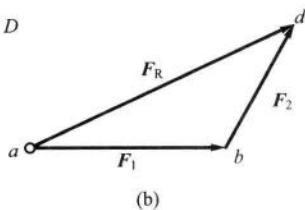
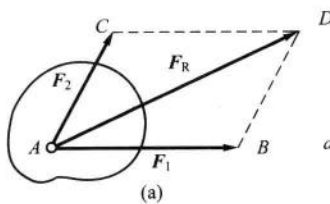


图 1-3

推论 1 力的三角形法则

确定两个共点力的合力的大小、方向时, 任选一点将这两个力矢首尾相接, 则合力矢从先画力矢的起点指到后画力的终点。

该推论的正确性读者由图 1-3(b)不难得出。事实上, 确定合力矢 F_R 的大小、方向, 只要作出力三角形 abd 就可以了。

在应用该推论时, 必须注意力三角形的矢序规则: 合力矢 F_R 应从先画分力矢 F_1 的起点 a , 指向后画分力矢 F_2 的终点 d 。作图时分力矢的先后顺序可以改变, 但合力矢不变, 读者可自行验证。

必须指出: 力三角形法则, 只是矢量相加的几何运算规则。在力三角形上的每一个力矢, 只具有大小、方向的意义, 并不表示这个力的作用点位置, 因为力三角形画在何处都

行。但要明确，合力 F_R 仍然作用在物体的 A 点处。

公理三 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系中加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。必须注意，对于实际物体，在它所受的力系上加减一个平衡力系后，力系对物体的外效应不变，但内效应一般将有所改变。因此，此公理不适用于变形体。

推论 2 力的可传性原理

作用在刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内的任一点，而不改变此力对刚体的作用。

证明：设力 F 作用于刚体上的 A 点，如图 1-4(a) 所示。在其作用线上任取一点 B ，根据加减平衡力系公理，可在 B 点加上一对平衡力 F_1 、 F_2 ，且使 $F = F_2 = -F_1$ ，如图 1-4(b) 所示。显然， (F, F_1) 也是一平衡力系，根据公理三，可将它们减去而不改变力系的效应，如图 1-4(c) 所示。这就证明了力 F 可沿其作用线等效地移至任意点 B 。

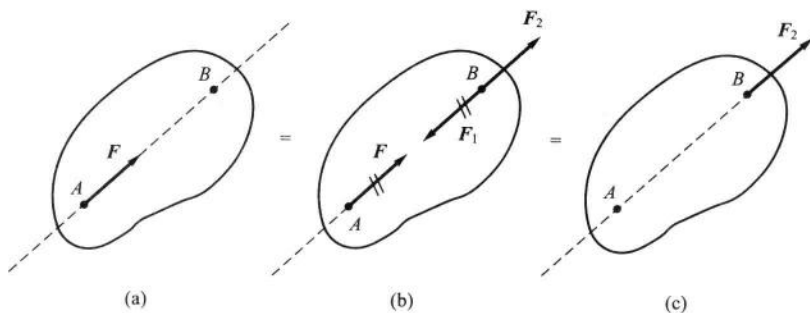


图 1-4

由推论 1 可知：作用在刚体上的力的三要素是力的大小、方向和作用线。

推论 3 三力平衡汇交定理

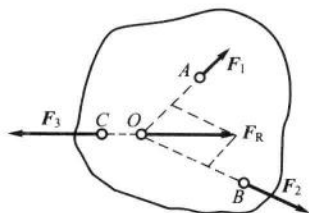


图 1-5

作用于刚体上的三个互不平行的力平衡时，则这三个力的作用线必在同一平面内，且作用线交于一点。

证明：设刚体在 F_1 、 F_2 、 F_3 三个力作用下处于平衡状态，且已知 F_1 、 F_2 两力的作用线相交于 O 点，如图 1-5 所示。根据推论 1，可将 F_1 、 F_2 两力移到 O 点，并合成为一个力 F_R ，则 F_R 与 F_3 构成平衡力系。根据公理一， F_R 与 F_3 必在同一直线上，即力 F_3 的作用线也通过 O 点，且与力 F_1 、 F_2 共面。于是定理得证。

必须注意，这个定理只是三力平衡的必要条件，而非充分条件。刚体受三力作用而平衡时，只要知道其中两力的作用线的交点，第三力的方位便可由此定理推知。

公理四 作用与反作用公理

两物体间的作用力与反作用力，总是等值、反向、共线且分别作用在这两个物体上。

此公理指出：甲物体给乙物体一作用力的同时，乙物体也给甲物体一反作用力。虽然，这一对力满足等值、反向、共线的条件，但它们是分别作用于两个不同的物体上，这正是和二力平衡的本质区别。

公理五 刚化公理

若变形体在某个力系作用下处于平衡,则将此变形体刚化为刚体后,其平衡状态不变。

例如,一根软绳,在一对等值、反向、共线的拉力作用下变形后处于平衡,若将此软绳刚化为一刚性杆,则这根杆在原力系作用下仍然平衡,如图1-6所示。但是若软绳所受的是一对等值、反向、共线的压力,则不能保持平衡,此时软绳就不能刚化为刚杆。由此可知,作用在刚体上的平衡力系所满足的条件,只是使变形体平衡的必要条件而非充分条件。



图 1-6

1.3 约束和约束反力

工程中的机器或结构是由许多零部件按照一定的接触方式相互连接的。因此,它们的运动往往受到一定的限制。例如,在钢轨上行驶的火车,轴承中的轴,支承在柱子上的屋架等,都是运动受到某些限制或约束的物体。显然,这些限制总是由被约束物体周围的其他物体所构成。为了方便起见,通常把与被约束物体相接触的周围其他物体称为约束。上述例子中,钢轨是火车的约束,轴承是轴的约束,柱子是屋架的约束等。

物体的受力可分为两类:约束反力和主动力。约束对被约束物体的作用力称为约束反力,或简称反力;除约束反力以外的其他力称为主动力或荷载,如物体的重力、结构承受的风力、水力、机械中的弹簧力等。主动力一般说来是已知力。约束反力则不同,它的大小与被约束物体的运动状态和主动力有关,应当通过力学规律才能确定,它的作用点和方向取决于约束和被约束物体接触面的物理性质和连接方式。接触面的物理性质分为绝对光滑(理想约束)和存在摩擦两种。物体间连接方式也是多种多样的。因此,只有将物体间多样复杂的连接抽象为典型的约束类型,人们才能分析物体所受到的约束反力。

下面介绍工程中常见的几种理想约束类型,并分析一般情形下,它们所提供的约束反力。

1.3.1 反力方向可确定的约束

1. 柔索

柔索是指十分柔软只能承受拉力,而不能承受压力和抵抗弯曲的柔性物体。

工程实际中的胶带、钢丝绳、链条等可以承受很大的拉力,但不能承受压力和抵抗弯曲,可把它们简化为柔索这一理想模型。当物体受到柔索的约束时,柔索只能限制物体沿柔索伸长方向的运动。因此,柔索的约束反力的方向一定沿着柔索中心线方向,且只能是