

21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材



21st CENTURY
实用规划教材

工程力学

主 编 武昭晖 张淑娟 葛序风



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

工 程 力 学

主 编	武昭晖	张淑娟	葛序风
副主编	郝增林	叶健芬	张 泠
参 编	米玉琴	刘倩婧	
主 审	张 斌		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是依据教育部最新制定的高职高专教育机械类及近机械类专业工程力学课程教学基本要求编写而成的。全书共分3篇12章,第1篇为静力学部分,第2篇为材料力学部分,第3篇为运动学和动力学部分。

本书文字简明,内容精练,简化理论推导,注重理论应用。本书可作为高职高专机械类及近机械类专业60~70学时工程力学课程的教学用书,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/武昭晖,张淑娟,葛序风主编. —北京:北京大学出版社,2008.8

(21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-13653-9

I. 工… II. ①武…②张…③葛… III. 工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第052307号

书 名: 工程力学

著作责任者: 武昭晖 张淑娟 葛序风 主编

策 划 编 辑: 赖 青

责 任 编 辑: 孙哲伟

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-13653-9/TH·0099

出 版 者: 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> <http://www.pup6.com>

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

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 涿州市星河印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 342千字

2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

定 价: 25.00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

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21 世纪全国高取高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 傅水根

副主任 (按拼音顺序排名)

陈铁牛	李 辉	刘 涛	祁翠琴
钱东东	盛 健	王世震	吴宗保
张吉国	郑晓峰		

委 员 (按拼音顺序排名)

蔡兴旺	曹建东	柴增田	程 艳
丁学恭	傅维亚	高 原	何 伟
胡 勇	李国兴	李源生	梁南丁
刘靖岩	刘瑞己	刘 铁	卢菊洪
马立克	南秀蓉	欧阳全会	钱泉森
邱士安	宋德明	王世辉	王用伦
王欲进	吴百中	吴水萍	武昭辉
肖 珑	徐 萍	喻宗泉	袁 广
张 勤	张西振	张 莹	周 征

丛书总序

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始,伴随我国高等教育的快速发展,高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内,我国高等职业技术教育的规模,无论是在校生数量还是院校的数量,都已接近高等教育总规模的半壁江山。因此,高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式提供高素质技能型人才的重任。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业急需高素质高技能的专业人才。

为了使高职高专机电类专业毕业生满足市场需求,具备企业所需的知识能力和专业素质,高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要,努力建立培养企业生产第一线所需的高等职业技术应用型人才的教学体系和教材资源环境,不断更新教学内容,改进教学方法,积极探索机电类专业创新人才的培养模式,大力推进精品专业、精品课程和教材建设。因此,组织编写符合高等职业教育特色的机电类专业规划教材是高等职业技术教育发展的需要。

教材建设是高等学校建设的一项基本内容,高质量的教材是培养合格人才的基本保证。大力发展高等职业教育,培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高素质技能型人才,要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设,编写和出版具有高等职业教育自身特色的教材。近年来,高职教材建设取得了一定成绩,出版的教材种类有所增加,但与高职发展需求相比,还存在较大的差距。其中部分教材还没有真正过渡到以培养技术应用能力为主的体系中来,高职特色反映也不够,极少数教材内容过于肤浅,这些都对高职人才培养十分不利。因此,做好高职教材改革与建设工作刻不容缓。

北京大学出版社抓住这一时机,组织全国长期从事高职高专教学工作并具有丰富实践经验的骨干教师,编写了高职高专机电系列实用规划教材,对传统的课程体系进行了有效的整合,注意了课程体系结构的调整,反映系列教材各门课程之间的渗透与衔接,内容合理分配;努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索,加强理论联系实际,突出技能培养和理论知识的应用能力培养,精简了理论内容,既满足大类专业对理论、技能及其基础素质的要求,同时提供选择和创新的空間,以满足学有余力的学生进修或探究学习的需求;对专业技术内容进行了及时的更新,反映了技术的最新发展,同时结合行业的特色,缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离,具有鲜明的高等职业技术人才培养特色。

最后,我们感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也感谢北京大学出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我们相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之成为我国高等职业技术教育的教学改革、课程体系建设和教材建设中的优秀教材。

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

2007 年 7 月

前 言

为满足高职高专教学改革和发展的需要,根据教育部制定的工程力学课程教学基本要求和长期从事力学教学的经验,我们精心组织编写了本书。

本书可作为高职高专机械类或近机械类专业 60~70 学时工程力学课程的教学用书,也可供有关技术人员参考。

本书以“培养学生的技术应用能力”为主线设计培养方案,以“应用”为主旨构建课程体系和教学内容,旨在为国家培养更多高技能型人才。因此,本书力求以应用为导向,在基础理论的学习上,坚持必需、够用的原则。在整体编排上,力求语言简明、通俗易懂,内容精练,简化理论推导,注重理论应用。每章后有适量的思考与练习题,以满足教学的需要。

本书由太原大学武昭晖(第 12 章)、济南职业学院张淑娟(第 7 章)、聊城职业技术学院葛序风(第 6 章)任主编;江苏财经职业技术学院郝增林(第 2、5 章)、丽水职业技术学院叶健芬(第 8、11 章)、苏州工业职业技术学院张泠(第 3、4 章)任副主编;参编人员有北京交通职业技术学院米玉琴(第 1、9 章)、聊城职业技术学院刘倩婧(第 10 章)。

本书由西安电力高等专科学校张斌老师担任主审。

由于编者水平有限,书中难免存在一些疏漏和不妥之处,恳请读者多提宝贵意见和建议。

编 者

2008 年 5 月

目 录

第 1 篇 静力学 1

第 1 章 静力学的基本概念和物体的

受力分析 2

1.1 静力学的基本概念 2

1.1.1 刚体的概念 2

1.1.2 平衡的概念 2

1.1.3 力和力系的概念 2

1.2 静力学公理 3

1.2.1 二力平衡公理 3

1.2.2 加减平衡力系公理 3

1.2.3 力的平行四边形法则 4

1.2.4 作用力与反作用力定律 4

1.2.5 刚化原理 5

1.3 约束与约束反力 5

1.3.1 柔索约束 5

1.3.2 光滑接触面约束 5

1.3.3 光滑圆柱铰链约束 6

1.3.4 轴承约束 7

1.3.5 球铰链约束 8

1.3.6 二力杆约束 8

1.4 受力分析与受力图 9

小结 12

思考与练习题 12

第 2 章 平面力系 14

2.1 平面汇交力系的合成与平衡 14

2.1.1 平面汇交力系合成的 几何法 14

2.1.2 平面汇交力系合成的 解析法 15

2.1.3 平面汇交力系的平衡方程及 应用 17

2.2 力矩与平面力偶理论 19

2.2.1 力对点之矩 19

2.2.2 力偶及其性质 20

2.3 平面一般力系的简化与平衡 22

2.3.1 力的平移定理 22

2.3.2 平面一般力系向一点的 简化 23

2.3.3 平面一般力系的平衡方程及 应用 26

2.4 静定与超静定问题 物体系统的 平衡 29

2.4.1 静定与超静定问题的 概念 29

2.4.2 物体系统的平衡 29

2.5 考虑摩擦时的平衡问题 32

2.5.1 滑动摩擦 32

2.5.2 摩擦角与自锁现象 34

2.5.3 考虑摩擦时的物体平衡 问题 35

2.5.4 滚动摩擦简介 37

小结 38

思考与练习题 39

第 3 章 空间力系 44

3.1 力在空间直角坐标轴上的 投影 44

3.1.1 一次投影法 44

3.1.2 二次投影法 45

3.2 力对轴之矩 46

3.2.1 力对轴之矩 46

3.2.2 合力矩定理 46

3.3 空间力系的平衡方程及其应用 47

3.3.1 空间力系的平衡方程 47

3.3.2 轮轴类构件平衡问题的 平面解法 49

3.4 物体的重心和平面图形的形心 50

3.4.1 物体重心的概念 50

3.4.2 重心的坐标公式 51

3.4.3 确定物体重心的方法 51

小结	54	4.8.2 装配应力与温度应力 简介	76
思考与练习题	55	4.9 压杆稳定性的概念	77
第2篇 材料力学	59	小结	78
第4章 轴向拉伸与压缩	60	思考与练习题	79
4.1 轴向拉伸与压缩的概念与实例 ...	60	第5章 剪切与挤压	83
4.2 截面法、轴力与轴力图	61	5.1 剪切的的概念与剪切的实用 强度计算	83
4.2.1 内力的概念	61	5.1.1 剪切的的概念与实例	83
4.2.2 截面法	61	5.1.2 剪切的实用强度计算	83
4.2.3 轴力图	61	5.2 挤压的概念与挤压的 实用强度计算	84
4.3 轴向拉伸或压缩时横截面上的 应力	62	5.2.1 挤压的概念	84
4.3.1 应力的概念	62	5.2.2 挤压的实用强度计算	85
4.3.2 拉(压)杆横截面上的 应力	63	小结	88
4.4 轴向拉伸或压缩时斜截面上的 应力	64	思考与练习题	88
4.5 材料在轴向拉伸或压缩时的 力学性能	65	第6章 圆轴扭转	90
4.5.1 拉伸试验和应力-应变 曲线	65	6.1 圆轴扭转的概念与实例	90
4.5.2 低碳钢拉伸时的力学 性能	66	6.2 扭矩与扭矩图	90
4.5.3 材料在卸载和重新加载时的 力学性能	67	6.2.1 外力偶矩的计算	91
4.5.4 其他塑性材料在拉伸时的 力学性能	68	6.2.2 扭矩与扭矩图	91
4.5.5 低碳钢压缩时的 力学性能	68	6.3 圆轴扭转时的应力与强度计算 ...	93
4.5.6 铸铁在拉伸和压缩时的 力学性能	69	6.3.1 剪应力互等定理 剪切 胡克定律	93
4.6 轴向拉(压)杆的强度条件	69	6.3.2 圆轴扭转时横截面上的 应力	95
4.6.1 极限应力、许用应力和 安全系数	69	6.3.3 极惯性矩 I_p 和抗扭截面 模量 W_p	97
4.6.2 拉(压)杆的强度条件	70	6.3.4 圆轴扭转时的强度 条件	99
4.7 轴向拉(压)杆的变形 胡克定律 ...	73	6.4 圆轴扭转时的变形与刚度计算 ...	100
4.7.1 变形与线应变	73	6.4.1 圆轴扭转时的变形	100
4.7.2 胡克定律	73	6.4.2 圆轴扭转时的刚度 条件	101
4.8 拉压超静定问题简介	75	小结	102
4.8.1 超静定问题的概念及其 解法	75	思考与练习题	102
		第7章 平面弯曲	105
		7.1 平面弯曲的概念与实例	105
		7.1.1 平面弯曲的概念与 实例	105
		7.1.2 静定梁的基本形式	106

7.1.3 梁上载荷的简化	106	8.1 应力状态的概念	142
7.2 平面弯曲内力	106	8.1.1 二向应力状态分析	144
7.2.1 剪力与弯矩	106	8.1.2 三向应力状态下的 最大应力	147
7.2.2 剪力、弯矩方程与剪力、 弯矩图	108	8.2 强度理论	147
7.3 剪力、弯矩与载荷集度间的 关系	113	8.2.1 常见的强度理论	147
7.4 平面弯曲正应力	114	8.2.2 强度理论的选择和 应用	149
7.4.1 纯弯曲试验与基本 假设	114	8.3 弯拉(压)组合变形时的 强度计算	149
7.4.2 弯曲正应力一般公式	115	8.4 弯扭组合变形时的强度计算	152
7.4.3 惯性矩与平行移轴 公式	116	小结	156
7.5 弯曲剪应力简介	118	思考与练习题	157
7.5.1 矩形截面梁横截面上的 弯曲剪应力	118	第3篇 运动学和动力学	159
7.5.2 其他常见典型截面梁的最大 弯曲剪应力公式	119	第9章 点的运动	160
7.6 弯曲强度条件及应用	120	9.1 描述点的运动的方法	160
7.6.1 弯曲正应力强度条件	120	9.1.1 矢量法	160
7.6.2 弯曲剪应力强度条件	123	9.1.2 直角坐标法	160
7.7 提高梁强度的主要措施	123	9.1.3 自然法	161
7.7.1 选择合理的截面形状	123	9.2 点的速度和加速度	161
7.7.2 采用变截面梁或等强 度梁	124	9.2.1 点的速度	161
7.7.3 改变梁的受力情况和支座 位置	124	9.2.2 点的加速度	162
7.8 梁的变形与刚度条件	126	9.3 求点的速度和加速度的 直角坐标法	162
7.8.1 挠度与转角	126	9.3.1 用直角坐标法求点的 速度	162
7.8.2 计算梁变形的积分法和 叠加法	126	9.3.2 用直角坐标法求点的 加速度	163
7.8.3 梁的刚度条件	131	9.4 求点的速度和加速度的 自然法	165
7.9 简单超静定梁	132	9.4.1 自然坐标轴系	165
7.10 提高梁刚度的主要措施	133	9.4.2 用自然法求点的速度	165
7.10.1 合理的结构设计	133	9.4.3 用自然法求点的 加速度	165
7.10.2 合理安排载荷	133	9.5 质点运动微分方程	168
7.10.3 增大抗弯刚度 EI	134	9.5.1 质点动力学基本方程	168
小结	134	9.5.2 直角坐标形式的质点运动 微分方程	168
思考与练习题	134	9.5.3 自然坐标形式的质点运动 微分方程	169
第8章 强度理论与组合变形时的 强度计算	142		

小结	171	11.2.2 质点系的动能	196
思考与练习题	172	11.2.3 刚体的动能	196
第 10 章 刚体的运动	175	11.3 动能定理	196
10.1 刚体的平动	175	11.3.1 质点的动能定理	196
10.2 刚体的定轴转动	176	11.3.2 质点系的动能定理	197
10.2.1 刚体的转动方程	176	11.4 功率	198
10.2.2 角速度	176	小结	198
10.2.3 角加速度	177	思考与练习题	200
10.2.4 定轴转动刚体上各点的 速度、加速度	178	第 12 章 动静法	202
10.3 质心运动定理	181	12.1 惯性力	202
10.3.1 质心	181	12.2 达朗伯原理	202
10.3.2 质心运动定理	182	12.2.1 质点的达朗伯原理	202
10.3.3 质心运动守恒	183	12.2.2 质点系的达朗伯原理	203
10.4 刚体绕定轴转动微分方程	185	12.3 动静法	203
10.4.1 刚体绕定轴转动 微分方程	185	12.4 刚体惯性力系的简化	204
10.4.2 转动惯量	186	12.4.1 刚体作平动	204
小结	189	12.4.2 刚体作定轴转动	205
思考与练习题	190	小结	206
第 11 章 动能定理	193	思考与练习题	207
11.1 力的功	193	附录 型钢规格表	209
11.1.1 常力在直线运动中 的功	193	表 1 热轧等边角钢 尺寸、外形、质量及 允许偏差(GB 9787—1988)	209
11.1.2 变力在曲线运动中 的功	193	表 2 热轧不等边角钢 尺寸、外形、质量及 允许偏差(GB 9788—1988)	213
11.1.3 合力的功	194	表 3 热轧工字钢 尺寸、外形、质量及 允许偏差(GB 706—1988)	216
11.1.4 几种常见力的功	194	表 4 热轧槽钢 尺寸、外形、质量及 允许偏差(GB 707—1988)	218
11.2 质点和刚体的动能	195	思考与练习题答案	220
11.2.1 质点的动能	196	参考文献	227

第 1 篇 静 力 学

静力学是研究刚体在力系作用下处于平衡状态的一般规律的科学。静力学的主要内容包括：确定研究对象，进行受力分析，简化力系，建立平衡条件求解未知量等内容。静力学是学习材料力学、运动学和动力学的基础。

第1章 静力学的基本概念和物体的受力分析

1.1 静力学的基本概念

1.1.1 刚体的概念

静力学的研究对象为刚体，所谓刚体是指在力的作用下不发生变形的物体。

刚体是一个理想化的力学模型，事实上刚体是不存在的，因为任何物体在受力后或大或小都会发生形变。如果物体的形变不大或对研究的问题影响很小时，变形可以忽略不计，就可将物体抽象为刚体。例如：当汽车通过桥梁时，虽然桥梁因承受汽车的压力而产生微小的形变，但是当桥梁微小变形对研究其平衡问题不产生影响或影响很小时，便可以忽略不计，此时可将桥梁看成刚体。实践证明，引入刚体力学模型在许多情况下得到的分析结果是足够精确的，并使问题的研究大为简化。

1.1.2 平衡的概念

所谓平衡，是指物体相对于惯性参考系保持静止或做匀速直线运动的状态。在工程问题中，平衡通常是指物体相对地球静止或做匀速直线运动的状态。

1.1.3 力和力系的概念

力是物体间的相互机械作用。

从力的定义可以看出力是在物体间相互作用时产生的，这种作用至少是两个物体，如果没有了这种作用，力也就不存在，所以力具有物质性。

物体间相互作用的形式很多，大体分为两类：一类是直接接触，例如物体间的拉力和压力；另一类是“场”的作用，例如地球引力场中的重力，电场对电荷的引力和斥力等。

力有两种作用效应：一是力的运动效应，即力使物体的机械运动状态发生改变，例如静止在地面上的小车，当用力推它时，便开始运动；二是力的变形效应，即力使物体的大小和形状发生改变，例如钢筋受到较大横向力时将产生弯曲，粉笔受力过大时将变碎等。

力对物体的作用效应取决于力的三要素，即力的大小、方向、作用点。

力的大小表示物体间相互机械作用的强弱程度。在国际单位制(SI)中，力的单位采用牛顿(N)(简称牛)或者千牛顿(kN)(简称千牛)， $1\text{kN}=10^3\text{N}$ 。

力的方向表示物体间的相互机械作用具有方向性，它包括方位和指向。

力的作用点表示物体间相互机械作用的位置。一般来说，力的作用位置不是一个几何点而是有一定大小的一个范围。例如，重力是分布在物体的整个体积上的，称为体积分布力，水对池壁的压力是分布在池壁表面上的，称为面分布力；同理，分布在一条直线上的

力,称为线分布力。当力的作用范围很小时,可以将它抽象为一个点,此点便是力的作用点,此力称为集中力。若通过力的作用点作一条直线,并用该直线的方位代表力方位,这条直线称为力的作用线。

由力的三要素可知,力是矢量,记作 F , 本教材中的黑体均表示矢量,可以用一有向线段表示,如图 1-1 所示。有向线段 AB 的长度表示力的大小;有向线段 AB 的指向表示力的方向;有向线段 AB 的起点或终点表示力的作用点。

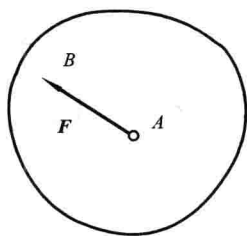


图 1-1

力系是指作用于物体上的一群力。

按照力系中各力作用线在空间的分布情况,力系可分为汇交力系、平行力系和一般力系。当力系中各力的作用线汇交于一点时,称为汇交力系;而各力的作用线都相互平行时,称为平行力系;否则为一般力系。按照力系中各力作用线是否位于同一平面内,力系又可分为平面力系和空间力系。

一个作用于刚体而不改变刚体运动状态的力系称为平衡力系。平衡力系的运动效应为零。两个不同的力系,如果分别作用于同一物体产生相同的效应时,则这两个力系称为等效力系。若一个力与一个力系等效,则这个力称为该力系的合力,力系中的各个力称为分力。

1.2 静力学公理

静力学公理是指人们在生产和生活实践中长期积累和总结出来的、并通过实践反复验证的、符合客观实际的普遍规律。它是静力学的理论基础。

1.2.1 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是:二力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上(等值、共线、反向),如图 1-2 所示,即 $F_1 = -F_2$ 。

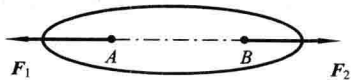


图 1-2

应当指出:对变形体来说,该条件是平衡的必要条件,而不是充分条件。此公理揭示了最简单的力系平衡条件。

1.2.2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原来力系对刚体的作用效应。

此公理表明平衡力系对刚体不产生运动效应,是研究力系等效的重要依据,根据此公理可有下面的推论。

推论 1: 力的可传性原理

作用于刚体上的力可沿其作用线移动到该刚体内任一点,而不改变该力对刚体的作用效应。

证明:如图 1-3 所示,在刚体上的 A 点处作用力 F ,在其作用线上任选一点 B ,沿作用线加上一对平衡力 F_1 和 F_2 ,使 $F_2 = -F_1 = F$,这时 F 、 F_1 和 F_2 构成新的力系,由

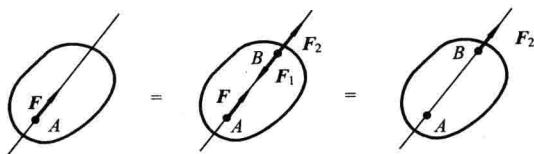


图 1-3

于力 F 和 F_1 也是平衡力系, 根据加减平衡力系公理, 故可去掉 F 和 F_1 , 这样只剩下一个力 F_2 , 力 F_2 与原力 F 等效, 由此得证。

因此, 对于刚体来说, 力的三要素为大小、方向、作用线。

1.2.3 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, 合力的作用点仍在该点, 合力的大小和方向由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线来确定。如图 1-4(a) 所示, F 为 F_1 和 F_2 的合力, 即合力等于两个分力的矢量和, 其矢量表达式为

$$F = F_1 + F_2$$

也可采用力的三角形法则求合力的大小和方向。如图 1-4(b) 所示, 从任一点 A 作矢量 F_1 , 再由 F_1 的末端 B 作矢量 F_2 , 则矢量 AC 即为合力 F 。显然, 若改变 F_1 、 F_2 合成的顺序, 其结果一样, 如图 1-4(c) 所示。

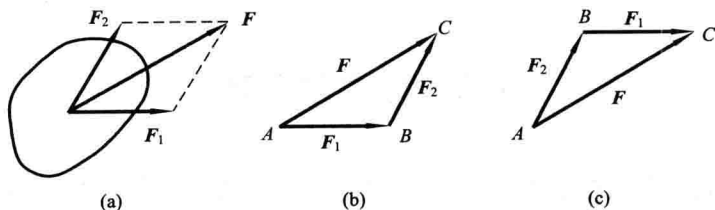


图 1-4

力的平行四边形法则是最简单的力系简化, 同时此法则也是力的分解法则。

推论 2: 三力平衡汇交定理

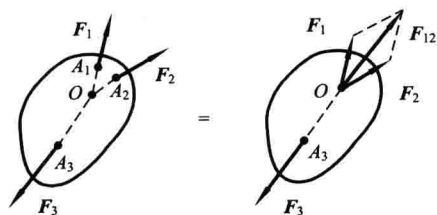


图 1-5

刚体在三个力的作用下处于平衡, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则第三个力的作用线必过该交点, 且三力共面。

证明: 如图 1-5 所示, 设刚体在三力 F_1 、 F_2 和 F_3 作用下处于平衡, 其中 F_1 和 F_2 作用线汇交于 O 点, 将此二力沿其作用线移到汇交点 O 处, 并将其合成为合力 F_{12} , 则 F_{12} 和 F_3 构成二力平衡力, 所以 F_3 必通过汇交点 O , 且三力必共面。

1.2.4 作用力与反作用力定律

两物体间的作用力与反作用力总是成对出现, 其大小相等, 方向相反, 沿着同一条直线, 且分别作用在两个相互作用的物体上。

应当指出, 作用力与反作用力不是二力平衡力。此定律不仅适用于静力学, 还适用于动力学。

1.2.5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡,如将此变形体刚化为刚体,则其平衡状态不变,如图1-6所示。

如绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化成刚体,其平衡状态保持不变。此原理建立了刚体的平衡条件与变形体平衡条件之间的联系,说明了在变形体平衡时,作用在其上的力系必须满足把变形体刚化为刚体后刚体的平衡条件。这样就把刚体的平衡条件应用到变形体的平衡问题中去,从而扩大了刚体静力学的应用范围。

必须指出,刚体平衡条件只是变形体平衡的必要条件而不是充分条件。



图 1-6

1.3 约束与约束反力

在实际工程中,从运动的角度可将所研究的物体分为两类:一类是物体的运动不受周围物体的限制,这样的物体称为自由体,例如空中飞行的气球、飞机、炮弹等;另一类是物体的运动受到周围物体的限制,这样的物体称为非自由体或受约束物体,例如建筑结构中柱子对水平梁的支撑,机器中的轴承对轴的限制等。限制某物体运动的周围物体称为约束。上面例子中柱子是水平梁的约束,轴承是轴的约束。约束是通过直接接触实现的,当物体沿着约束所能阻止的运动方向运动或具有运动趋势时,约束必有阻止其运动的力作用于它,这种力称为约束反力或约束力。约束反力是约束对物体的作用力,约束反力的方向恒与约束所能阻止的运动方向相反。事实上约束反力是一种被动力,与之相对应的力是主动力,即主动地使物体运动或有运动趋势的力称为主动力,例如重力、拉力、牵引力等。

工程中大部分研究对象都是非自由体,它们所受到的约束是多种多样的,其约束反力的形式也是多种多样的。下面介绍工程中常见的几种基本约束类型,并对其约束反力进行分析。

1.3.1 柔索约束

工程中将不可伸长的绳索、链条、传动带等称为柔索。柔索的特点是柔软易变形,只能承受拉力,不能承受压力。所以柔索给予所系物体的约束反力作用于接触点,方向沿着柔体中心线而背离物体。如图1-7所示, F_T 沿绳索中心线,作用点在接触点A,指向背离物体。图1-8所示的传动带,其拉力 F_1 、 F'_1 、 F_2 、 F'_2 沿轮的切线,指向背离物体。

1.3.2 光滑接触面约束

当两物体接触面上的摩擦力可以忽略不计时,即可看作光滑接触面约束。光滑接触面约束不能限制物体沿接触点公切面方向的运动,只能限制物体沿接触点公法线方向的运动。因此,光滑接触面约束与物体的接触点为约束反力的作用点,方向沿接触点的公法线

指向被约束的物体, 用 F_N 表示, 如图 1-9 所示。

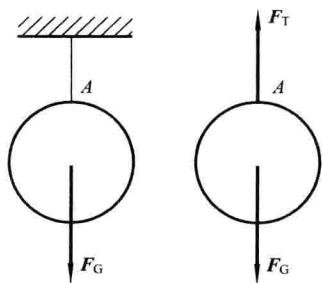


图 1-7

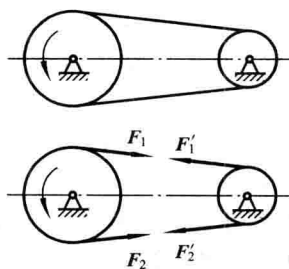
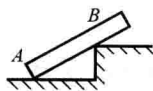
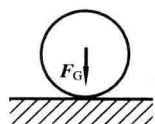


图 1-8



(a)

(b)

(c)

图 1-9

1.3.3 光滑圆柱铰链约束

用一个圆柱形销钉将两个带孔物体连接在一起, 便形成了圆柱铰链约束, 若圆孔与销钉间的摩擦忽略不计, 则为光滑圆柱铰链约束。

光滑圆柱铰链约束主要有以下几种不同的形式。

1. 中间铰链

如图 1-10(a)所示, 将两个带圆孔的可动构件用圆柱形销钉连接在一起, 便构成了中间铰链。这种铰链只能限制两物体间的相对径向移动, 不能限制两物体绕圆柱销轴线的相对转动。

由于圆柱销与圆柱孔是光滑曲面接触, 所以光滑圆柱铰链约束本质上属于光滑接触面约束。圆柱销对物体约束反力的作用线应通过铰链中心(圆柱孔中心)并垂直于圆柱销轴线, 由于圆柱孔和圆柱销的接触线位置一般不能预先确定, 因而约束反力的方向也不能预先确定, 一般用正交分力 F_x 、 F_y 表示, 如图 1-10(b)所示。

2. 固定铰链支座

将一个物体与一个固定支座用光滑圆柱形销钉连接在一起, 便构成了固定铰链支座约

束,如图1-11(a)所示,其简图如图1-11(b)所示,其约束反力特点与中间铰链相同,如图1-11(c)所示。

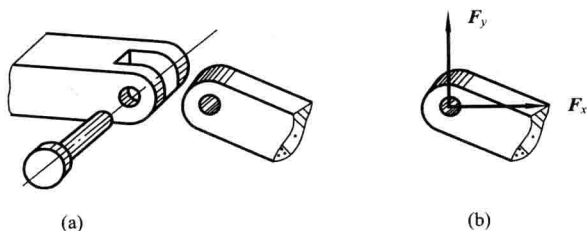


图 1-10

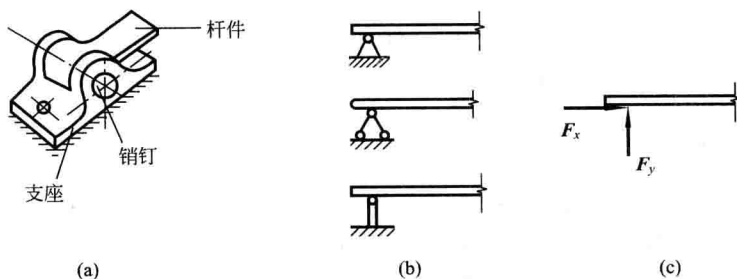


图 1-11

3. 活动铰链支座(滚动铰链支座)

如果在固定铰链支座的底部安装一排滚轮,并与支承面接触,便构成了活动铰链支座,如图1-12(a)所示,其简图如图1-12(b)所示。这是工程中常见的一种复合约束,这种支座常用于桥梁、屋架或天车等结构中,可以避免由温度变化而引起结构内部变形应力。在不计摩擦的情况下,活动铰链支座只能限制物体沿支承面垂直方向的移动。因此约束反力方向必垂直于支承面,且通过铰链中心,如图1-12(c)所示。

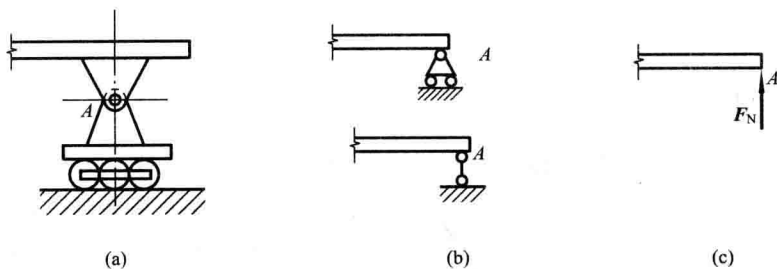


图 1-12

1.3.4 轴承约束

1. 向心轴承

轴承是工程中常见的约束,如图1-13(a)所示,其只限制了轴的径向移动,约束反力如图1-13(b)所示,常用正交分力 F_x 、 F_y 表示,如图1-13(c)所示。