



高职高专“十一五”规划教材
机械系列·机械基础课

工程力学

尹楠	主 编
杨明飞 徐道富	副主编
邹炳文	主 审

国防科技大学出版社

高职高专“十一五”规划教材

机械系列·机械基础课

工 程 力 学

	尹 楠	主 编
杨明飞	徐道富	副主编
	邹炳文	主 审

国防科技大学出版社

【内容简介】本书是为高职高专机械类及相关专业编写的教材。

书中介绍了静力学的基本概念、平面力系、空间力系、质点和刚体的运动学基础、动力学基础、材料力学的基本概念、轴向拉伸与压缩、剪切和扭转、弯曲应力、应力状态、强度理论、组合变形、压杆稳定与疲劳破坏等内容。本书力求内容系统完整,讲解深入浅出,并通过相应的模块,使学生很好地掌握所学知识。

本书不仅适合高职高专学生使用,也可供有关师生及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/尹楠主编. —长沙:国防科技大学出版社,

2008.8

(高职高专“十一五”规划教材·机械系列)

ISBN 978-7-81099-555-9

I. 工… II. 尹… 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 128530 号

出版发行:国防科技大学出版社

网 址: <http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:耿 筠 特约编辑:许 青

印 刷 者:三河市骏杰印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18

字 数:440 千字

印 次:2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:30.00 元

高职高专“十一五”规划教材·机械系列

编审委员会

主 任 李文珍 清华大学机械工程系
中国铸造学会学术工作委员会委员

副 主 任 冯国明 西安交通大学机械工程学院
中国工程图学会全国理事
霍忠义 长安大学理学院

委 员 (以姓氏笔画为序)

王 艳	尹 楠	田亚平	吕 刚	吕 勇
同鹏英	刘 勇	闫雪锋	孙美霞	杨志勤
杨明飞	李和平	李河水	李洪民	连晓峰
吴健生	辛会珍	苟维杰	易 楠	赵晓东
胡春潮	洪 涛	徐道富	陶春生	常建啟
蔡晓光	廖志远			

课程审定 周 岩 哈尔滨工业大学机电工程学院
王 娜 兰州交通大学机电工程学院

内容审定 汪 诤 兰州交通大学机电工程学院
陈智刚 江西现代职业技术学院机械学院
宗 琳 沈阳化工学院机械工程学院

出版说明

高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,承担着培养高素质技术、技能型人才的重任。近年来,在国家和社会的支持下,我国的高职高专教育取得了不小的成就,但随着我国经济的腾飞,高技能人才的缺乏越来越成为影响我国经济进一步快速健康发展的瓶颈。这一现状对于我国高职高专教育的改革和发展而言,既是挑战,更是机遇。

要加快高职高专教育改革的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高职高专教材作为体现高职高专教育特色的知识载体和教学的基本工具,直接关系到高职高专教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为促进高职高专教育的发展,加强教材建设,教育部在《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中,提出了“重点建设好3000种左右国家规划教材”的建议和要求,并对高职高专教材的修订提出了一定的标准。为了顺应当前我国高职高专教育的发展潮流,推动高职高专教材的建设,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的人员成立了高职高专“十一五”规划教材编审委员会。

编审委员会依据教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,调研了百余所具有代表性的高等职业技术学院和高等专科学校,广泛而深入地了解高职高专的专业和课程设置,系统地研究了课程的体系结构,同时充分汲取各院校在探索培养应用型人才方面取得的成功经验,并在教材出版的各个环节设置专业的审定人员进行严格审查,从而确保了整套教材“突出行业需求,突出职业的核心能力”的特色。

本套教材的编写遵循以下原则:

(1) 成立教材编审委员会,由编审委员会进行教材的规划与评审。

(2) 按照人才培养方案以及教学大纲的需要,严格遵循高职高专院校各学科的专业规范,同时最大程度地体现高职高专教育的特点及时代发展的要求。因此,本套教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化了对学生实际操作能力的培养。

(3) 教材的定位更加强调“以就业为导向”,因此也更为科学。教育部对我国的高职高专教育提出了“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则。根据这一原则,本套教材在编写过程中,力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现“以行业为导向,以能力为本,以学生为中心”的风格,从而使本套教材更具实用性和前瞻性,与就业市场结合也更为紧密。

(4) 采用“以案例导入教学”的编写模式。本套教材力图突破陈旧的教育理念,在讲解的过程中,援引大量鲜明实用的案例进行分析,紧密结合实际,以达到编写实训教材的

目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本套教材涵盖了公共基础课系列、计算机系列、机械系列、电子信息系列、物流管理系列、财经管理系列和化学化工系列的主要课程。目前已经规划的教材系列名称如下:

公共基础课系列

- 公共基础课

计算机系列

- 计算机公共基础课
- 计算机专业基础课
- 计算机网络技术专业
- 计算机软件技术专业
- 计算机应用技术专业

电子信息系列

- 公共基础课
- 应用电子技术专业
- 通信专业
- 电气自动化专业

化学化工系列

- 化学基础课

物流管理系列

- 物流管理专业

财经管理系列

- 工商管理专业
- 财务会计专业
- 经济贸易专业
- 财政金融专业
- 市场营销专业

机械系列

- 机械基础课
- 机械设计与制造专业
- 数控技术专业
- 模具设计与制造专业
- 机电一体化专业

对于教材出版及使用过程中遇到的各种问题,欢迎您通过电子邮件及时与我们取得联系(联系方式详见“教师服务登记表”)。同时,我们希望有更多经验丰富的教师加入到我们的行列当中,编写出更多符合高职高专教学需要的高质量教材,为我国的高职高专教育做出积极的贡献。

高职高专“十一五”规划教材编审委员会

序

21 世纪是科技和经济高速发展的重要时期,随着我国经济持续快速健康的发展,各行各业对高技能专业型人才的需求量迅速增加,对人才素质的要求也越来越高。高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,在加快培养高技能专业型人才方面发挥着重要的作用。

与国外相比,我国高职高专教育起步时间短,这种状况与我国经济发展对人才大量需求的现状是很不协调的。因此,必须加快高职高专教育的发展步伐,提高应用型人才的培养水平。

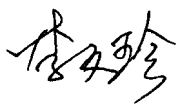
高职高专教育水平的提高,离不开课程体系的完善。相关领域人才的培养需要一批兼具前瞻性和实践性的优秀教材。教育部高教司针对高职高专教育人才培养模式提出了“以就业为导向”的指导思想,这也正是本套高职高专教材的编写宗旨和依据。

如何使高职高专教材既突出行业的需求特点,又突出职业的核心能力?这是教材在编写过程中必须首先解决的问题。本系列教材编委会深入研究了高职高专教育的课程和专业设置,并对以往的教材进行了详细分析和认真考察,力图在不破坏教材系统性的前提下,加强教材的创新和实践性内容,从而确保学生在学习专业知识的同时多动手,增强自己的实践能力,以加强“知”与“行”的结合。

本系列教材根据高职高专教育的要求,注重学生能力的培养,使学生在理论学习知识的同时更主要的是理论结合实践。本系列教材设置了“本章小结”和“习题”模块,方便学生学习并掌握所学知识点;而且根据科目的不同配有实践环节和实验环节等。通过这些栏目的设计,使本系列教材的内容更加丰富、条理更为清晰,为老师的讲授和学生的学习都提供了很大的便利。

经过辛勤努力,本系列教材终于顺利出版了。我们相信本系列教材一定能够很好地适应现代高职高专教育的教学需求,也一定能够在高职高专教育机械课程的改革中发挥积极的推动作用,为社会培养更多优秀的应用型人才。

清华大学机械工程系材料加工技术研究所副所长
中国铸造学会学术工作委员会委员



前 言

本书是根据国家教育委员会工科力学课程教学指导委员会的要求,按照 80~100 学时的教学要求编写的,适用于机械、电气、土木、采矿、材料等专业。工程力学是一门技术基础课,是相关专业工程技术人员必备的知识。

本书结合实际应用的需要,由浅入深、循序渐进地介绍了工程力学知识。全书共 17 章,第 1~4 章为静力学部分;第 5~7 章为运动学和动力学部分;第 8~17 章为材料力学部分。通过本门课程的学习,要求学生掌握静力学的基础知识;考虑学生学习的实际情况,对运动学和动力学部分做了一些简化;材料力学部分,要求学生对于杆件的平衡、强度、刚度和稳定性问题具有明确的基本概念、必要的基础知识和初步的计算能力,从而使学能能对简单工程问题进行定性分析。

本书在编写时,力求做到概念准确、内容精炼、重点突出,定位在注重培养学生的工程实践能力、技术应用能力和社会适应能力上,同时在教学的各个环节强调理论联系实际的教学原则,既要培养学生运用理论知识解决工程中的实际问题的能力,又可有效地把知识转化为相应的工作能力和技能。为了提高学生分析问题和解决问题的能力,本书提供了一部分联系实际的范例,每章均安排了实例解析,目的是结合每章所讲述的内容,加强对知识难点和重点的实际应用与理解。每章后安排了适量的习题,贴近课程内容,能够更好地检验学生的学习效果。

本书第 1、2、3、4 章由杨明飞编写,第 5、6、7、11、14、15 章由尹楠编写,第 8、9、10、16、17 章由徐道富编写,第 12 章和第 13 章由江向阳编写。本书由尹楠担任主编。在本书的编写过程中,得到了许多同仁的帮助与支持,在此向他们表示真诚的谢意!

由于编者水平有限,编写时间仓促,本书中难免有不足或疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 静力学的基本概念与受力分析	1
第一节 静力学的基本概念	1
第二节 静力学的基本公理	3
第三节 约束与约束反力	5
第四节 构件的受力分析	8
第五节 构件的受力图	8
本章小结	10
习题 1	11
第二章 平面力系和平面力偶系	13
第一节 力在坐标轴上的投影	13
第二节 平面汇交力系的合成与平衡	14
第三节 力矩、平面力偶系的合成与平衡	17
第四节 力线的平移定理	21
第五节 平面任意力系的简化	22
第六节 平面任意力系的平衡方程及应用	23
第七节 静定与静不定问题及物系的平衡	25
本章小结	27
习题 2	27
第三章 摩擦问题简介	31
第一节 滑动摩擦	31
第二节 有滑动摩擦时的平衡问题	34
第三节 滚动摩擦	37
本章小结	38
习题 3	39
第四章 空间力系和重心	46
第一节 力在空间直角坐标轴的投影	46
第二节 空间力偶理论	48
第三节 空间力系的平衡问题	49
第四节 物体的重心	51

本章小结	55
习题 4	55
第五章 质点和刚体的运动学基础	59
第一节 点的运动	59
第二节 刚体的运动	69
第三节 点的合成运动	71
第四节 刚体的平面运动	77
本章小结	83
习题 5	84
第六章 动力学基础	88
第一节 动力学的基本定律	88
第二节 质点运动的微分方程	89
第三节 刚体绕定轴转动的微分方程	91
第四节 动量定理	92
第五节 动量矩定理	94
第六节 动能定理	95
第七节 达朗伯原理	96
本章小结	97
习题 6	98
第七章 振动理论基础	100
第一节 振动的概念	100
第二节 质点的自由振动	102
第三节 受迫振动	107
第四节 减振与隔振简述	110
本章小结	111
习题 7	111
第八章 轴向拉伸与压缩	113
第一节 材料力学的基本概念	113
第二节 轴向拉压的工程实例与力学简图	116
第三节 轴力与轴力图	117
第四节 轴向拉压杆横截面上的应力	119
第五节 拉压变形与胡克定律	120
第六节 材料拉伸与压缩时的力学性能	122
第七节 轴向拉伸与压缩时的强度计算	123
第八节 轴向拉伸和压缩的静不定问题	124

本章小结	125
习题 8	126
第九章 剪切和扭转	130
第一节 剪切和挤压的概念	130
第二节 剪切和挤压的计算	131
第三节 扭转的概念	133
第四节 扭转时的内力	134
第五节 圆轴扭转时的应力和变形	137
第六节 圆轴扭转时的强度和刚度计算	140
本章小结	142
习题 9	142
第十章 平面图形的几何性质	146
第一节 静矩和形心	146
第二节 惯性矩、极惯性矩和惯性积	148
第三节 平行移轴公式	151
本章小结	152
习题 10	153
第十一章 弯曲内力	157
第一节 平面弯曲的概念及梁的计算简图	157
第二节 梁的内力计算	158
第三节 载荷集度、剪力和弯矩间的关系	166
本章小结	169
习题 11	170
第十二章 弯曲应力	174
第一节 梁纯弯曲时横截面上的正应力	174
第二节 梁弯曲时的应力强度条件	180
第三节 梁弯曲时截面上的切应力	183
第四节 提高梁承载能力的措施	190
本章小结	193
习题 12	194
第十三章 弯曲变形与静不定梁	198
第一节 弯曲变形的基本概念	198
第二节 梁的挠曲线近似微分方程	199
第三节 用叠加法计算梁的变形 梁的刚度条件	203

第四节 静不定梁	206
本章小结	208
习题 13	209
第十四章 应力状态和强度理论	215
第一节 应力状态的概念	215
第二节 平面应力状态下的应力分析	216
第三节 空间应力状态简介	220
第四节 材料的破坏形式	223
第五节 强度理论的概念	223
本章小结	226
习题 14	227
第十五章 组合变形	230
第一节 拉压与弯曲的基本组合	230
第二节 弯曲与扭转的组合变形	232
本章小结	235
习题 15	235
第十六章 压杆稳定	239
第一节 压杆稳定的概念	239
第二节 细长压杆的临界力与欧拉公式	240
第三节 压杆的临界应力及临界应力总图	242
第四节 压杆稳定的计算	244
第五节 提高压杆稳定性的措施	246
本章小结	246
习题 16	247
第十七章 动载荷简介	248
第一节 动载荷	248
第二节 交变应力与疲劳破坏	250
第三节 持久极限	251
本章小结	253
习题 17	253
附录 A	255
附录 B	268
参考文献	271

第一章 静力学的基本概念与受力分析

静力学主要研究物体在力的作用下处于平衡的规律,以及如何建立各种力系的平衡条件。本章首先介绍静力学的基本概念和基本公理,然后进行物体的受力分析,最后介绍构件的受力图画法。可以说受力分析是画受力图的基础,因此受力分析是本章的重点。

第一节 静力学的基本概念

一、刚体的概念

刚体是指在力的作用下,大小和形状都不变的物体。这是一个抽象化的力学模型,和刚体相对的为变形体,事实上物体在力的作用下都会产生不同程度的变形。但在一般情况下,我们认为工程上的结构构件和机械零件的变形都是微小的,而这种微小的变形可以忽略不计,所以可以把结构构件和机械零件抽象为刚体。如钢筋混凝土结构中的梁,一般情况下可以将其视为刚体来进行研究。在静力学中我们可以将受力的物体假设为刚体,研究刚体的平衡问题,这样可以减少工作量,使问题简单明了。但是,如果我们考虑问题时认为微小的变形不能忽略,那么必须把物体视为变形体进行分析,当然研究变形体的平衡问题也是以刚体静力学为基础的。

在静力学中所研究的物体只限于刚体,因此,静力学又称刚体静力学。由若干个刚体组成的系统称为物体系统,简称物系。

二、平衡的概念

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状态。在实际工程中,我们一般选惯性参考系为固连于地球的参考系。这样一来,工程中的一般平衡问题就转化为物体相对地球处于静止或做匀速直线运动状态的问题。

静力学研究的对象包括以下问题:

(1)力系的等效替换或简化。即用一个简单的力系等效替换原力系对刚体的作用,此二者互为等效力系。若已知力系与某一单个力等效,则称此单个力为该力系的合力。

(2)建立各种力系的平衡条件。使刚体处于平衡状态的力系,称为平衡力系。平衡力系应该满足的条件称为平衡条件。

三、力的概念

力是物体间的相互机械作用,这种作用可以使物体的运动状态发生变化或使物体产生变形。前者称为力的运动(外)效应,后者称为力的变形(内)效应。静力学主要研究力的运

动效应,例如,人用力推某一物体,使该物体从静止状态进入运动状态。当然,力的运动效应和力的变形效应在一般情况下是同时存在的,但是在分析力的效应的时候,可以将它们分开研究,这样可以简化问题。另外还要指出,既然力是物体间的相互机械作用,那么肯定存在一个施力体和一个受力体,上面所讲的例子中,“人”作为施力体,而“某一物体”作为受力体而存在,这一点在后面的受力分析过程中要特别注意,没有相互作用就不能进行受力分析。

力的作用效果取决于力的三个要素,简称力的三要素。

(1)力的大小。表示物体之间机械作用的强度。力的单位,采用国际单位时为 $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ 、牛顿(N)以及千牛(kN)。

(2)力的方向。表示物体之间机械作用的方向。力的方向包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向。

(3)力的作用点。是物体间机械作用位置的抽象,力的作用位置实际上并不是一个点,而是作用于物体的一定面积上。我们将很小的作用面积抽象为一个点,将作用于一个点上的力称为集中力,通过力的作用点代表力的方位的直线称为力的作用线。如果力的作用面积不能抽象为一个点,则将作用于这个面积上的力称为分布力。分布力的作用强度用单位面积上力的大小来度量,称为载荷集度,一般用 N/mm^2 来表示。

力具有大小和方向,因此力是矢量,而且为定位矢量。所以可以用一个定位的有向线段来表示力。如图 1-1 所示,线段 AB 的长度(按一定的比例尺)表示力的大小,箭头的指向表示力的方向,线段的起点 A(或终点 B)表示力的作用点。通过力的作用点与线段重合的虚线称为力的作用线。我们一般用两种方式来表示力:一种是用图形表示;另一种是用符号 F 来表示,大小 $F = |\mathbf{F}|$ 。

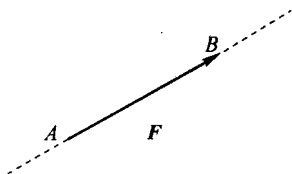


图 1-1 力的图示

四、力系的概念

力系是指作用于物体上的一群力。作用在物体上的力可以是一个力,也可以是多个力,力的作用线可以在同一平面内,也可以不在一个平面,而是在三维空间内。当然物体只有一个力作用时,我们也可以将它看作是一个力系,也是在所有力系中最简单的一种情况。当有多个力作用于同一物体的时候(复杂力系),也就是我们在工程实际中经常遇到的情况,我们可以用一个简单力系代替一个复杂力系,从而使问题简化。这个过程称为力系的等效或简化。如果一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的合力,该力系中各力称为该合力的分力或分量。求合力的过程称为力系的合成。

力系按照作用线是否处于同一平面可以分为两种。

1. 平面力系

所有力的作用线在同一平面内的力系为平面力系,平面力系又可分为以下三种:

(1)平面汇交力系。即所有力的作用线汇交于一点的平面力系。

(2)平面平行力系。即所有力的作用线都相互平行的平面力系。

(3)平面任意力系。即所有力的作用线既不汇交于同一点,又不相互平行的平面力系。

2. 空间力系

所有力的作用线不在同一平面内的力系为空间力系,空间力系也可分为以下三种:

(1)空间汇交力系。即所有力的作用线汇交于一点的空间力系。

(2)空间平行力系。即所有力的作用线都相互平行的空间力系。

(3)空间任意力系。即所有力的作用线既不汇交于同一点,又不相互平行的空间力系。

通过以上的分析可知,平面汇交力系和平面平行力系是平面力系的特殊形式,而平面力系又是空间力系的特殊形式,所以说空间任意力系是力系中最一般的形式。

第二节 静力学的基本公理

公理是人类经过长期实践并总结经验而得到的结论,它被反复的实践所验证,是无须证明而为人们所公认的结论。静力学公理已被证明是符合客观实际的普遍规律,是研究静力学的基础和解决静力学问题的关键。

公理 1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要与充分条件是:这两个力大小相等 $|F_1| = |F_2|$ 、方向相反 $F_1 = -F_2$,作用线共线,作用于同一物体上。

需要说明的是,对于刚体来说,上面的条件是充要条件;对于如图 1-2(a)所示的变形体或如图 1-2(b)所示的多体,上面的条件只是必要条件。

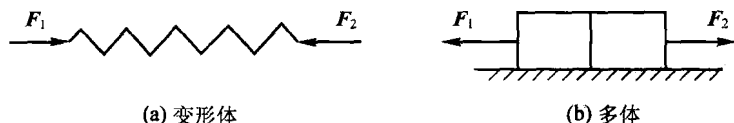


图 1-2 变形体和多体

该公理阐明了作用于刚体上的最简单力系的平衡条件。当某一杆件只受两个力作用而处于平衡状态,则该杆件称为二力杆。二力杆是工程中最常见的受力形式,它的受力特点是:两个力必沿作用点的连线,如图 1-3(a)所示。在工程中把只受两个力作用而平衡的构件称为二力构件,如图 1-3(b)所示。这个公理是论证刚体平衡条件的基础。

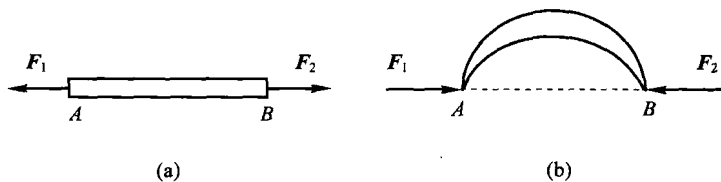


图 1-3 二力杆

公理 2 力的平行四边形法则

作用于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,合力的大小和方向以这两个力为边所作的平行四边形的对角线来表示,如图 1-4(a)所示,图中 F_1

与 F_2 的合力为 F_R , 作用点仍为该点, 大小和方向由以这两个力为边所作的平行四边形的对角线来确定。用公式表示为

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

需要指出的是式(1-1)是矢量的和, 而不是代数等式。为了便于求解合力 F_R , 一般我们习惯于用三角形法则, 如图 1-4(b) 所示。

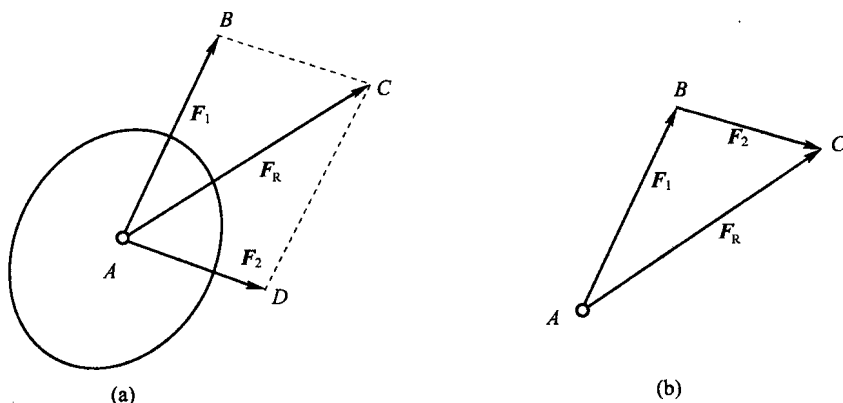


图 1-4 力的平行四边形和三角形法则

公理 3 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任何一个力系中加上或减去任何一个平衡力系, 并不改变原力系对刚体的作用。

这是显而易见的, 因为平衡力系对于刚体的平衡或运动状态没有影响。这个公理是力系简化的重要理论依据, 但是公理 3 并不适用于变形体。由公理 3 可以推导出两个重要的推论。

推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上的力, 可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应。

证明: 设力 F 作用在刚体上的 A 点, 如图 1-5(a) 所示。在力 F 作用线上任意一点 B 上加上一对平衡力 F_1 与 F_2 , 且使 $F_2 = F = -F_1$, 如图 1-5(b) 所示。

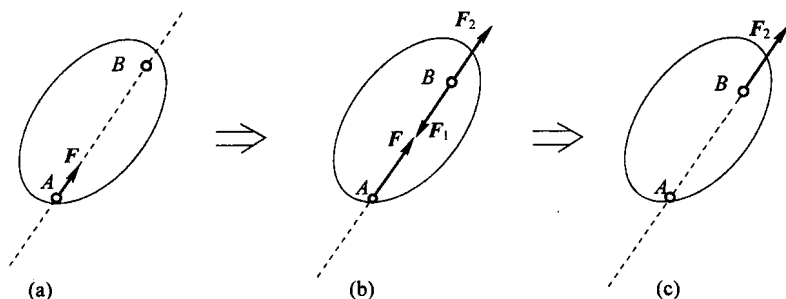


图 1-5 力的可传性

由公理 3 可知, 这并不改变原力 F 对刚体的作用。由公理 1 可知, F 与 F_1 构成平衡力系, 再由公理 3 可以判定, 这个平衡力系可以去掉。最后剩下作用于点 B 的力 F_2 , 如图 1-5(c)