



高等学校土建类专业应用型本科“十二五”规划教材

理论力学 (第2版) ■■■■■■

LI LUN LI XUE ▶

主编 刘 江 张朝新



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校土建类专业应用型本科“十二五”规划教材

理论力学

(第2版)

主编 刘 江 张朝新

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书为高等学校教学用书,适合于应用型人才的培养。内容涵盖了理论力学的基本理论知识、基本原理和基本方法。全书共 14 章,包括刚体静力学的基本概念、平面力系的等效简化、平面力系的平衡、空间力系、摩擦及考虑摩擦的平衡问题、点的运动学、刚体的基本运动、刚体的平面运动、质点动力学、动量定理与动量矩定理、动能定理、达朗伯原理、虚位移原理、质点的振动等内容。每章后面有思考题和习题,习题有参考答案。

本书除可作为高等学校土建类专业教材外,也可作为机电类和其他工程类专业的教学用书,还可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/刘江,张朝新主编. —2 版. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.3
ISBN 978-7-5629-3702-9

I. 理… II. ① 刘… ② 张… III. 理论力学-高等学校-教材 IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 041042 号

项目负责人:王利永 责 任 编 辑:王利永
责 任 校 对:段争鸣 装 帧 设 计:许伶俐
出 版 发 行:武汉理工大学出版社
社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号
邮 编:430070
网 址:<http://www.techbook.com.cn>
经 销 者:各地新华书店
印 刷 者:安陆市鼎鑫印务有限责任公司
开 本:787×1092 1/16
印 张:15.5
字 数:387 千字
版 次:2008 年 12 月第 1 版 2012 年 5 月第 2 版
印 次:2012 年 5 月第 1 次印刷 总第 3 次印刷
印 数:6001~9000 册
定 价:29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695

版权所有,盗版必究。

出版说明

近年来,随着我国高等教育事业的快速发展,独立学院和民办高校已经成为高等教育的一个重要组成部分,其发展速度与办学规模呈现出前所未有的发展势头。与此同时,独立学院和民办高校的办学方向、专业设置、人才培养目标、人才培养途径和方式、教学管理制度等进一步明确与规范,以及市场需求赋予独立学院和民办高校一些新的发展思路与特点,独立学院和民办高校改革教学内容,探索新的教学方法,整合各校教师资源,编写优质、适用的教材就成了刻不容缓的任务。

武汉理工大学出版社一贯坚持为学校的教学、科研工作服务的办社宗旨,以组织、出版反映我国高等教育教学改革阶段性成果的精品教材、教学参考书为己任。通过广泛调查研究,在武汉地区独立学院和民办高校的积极倡导与支持下,得到了全国 30 余所独立学院和民办高校的热情参与,我们决定组织编写出版一套代表当前独立学院和民办高校教学水平,反映阶段性教学改革成果,并适合独立学院和民办高校教学需要的土建类专业应用型本科系列教材。

本系列教材编写的指导思想是:

1. 依据独立学院和民办高校土建类本科各专业的培养目标和培养方案,系列教材应立足于面向市场培养高级应用型专门人才的要求。

2. 教材结构体系要合理。要善于学习和借鉴优秀教材,特别是国内外精品教材的写作思路、写作方法和章节安排,使教材结构合理,重点突出,通俗易懂,便于自学。

3. 教材内容要有创新,要注意相关课程的关联性。对于知识更新较快的学科,要将最新的学科知识和教学改革成果体现在教材中,既要兼顾学科的系统性,又要强调学科的先进性。

4. 知识体系要实用。以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才培养所需的内容和关键点,突出知识的实用性和可操作性。

5. 重视实践环节,强化案例式教学和实际操作的训练。教材中要融入最新的实例及操作性较强的案例,通过实际训练加深对理论知识的理解。实用性和技巧性强的章节要设计相关的实践操作案例。同时,习题设计要多样化、具备启发性,题型要丰富。

6. 相关内容要力争配套。即理论课教材与实验课教材要配套,理论课教材与习题解疑要配套,理论课教材与多媒体课件要配套,教材与案例化素材要配套。

7. 坚持质量第一。

为了实现以上指导思想,我们组建了由具有丰富的独立学院(民办高校)教学经验和较高学术水平的院(系)领导、教授、骨干教师组成的编委会,由编委会研究提出本系列教材的编写指导思想,并推荐作者。

新形势下的高等教育正在经历前所未有的变革和发展,我社将秉承为高校教学、科研服务的宗旨,以服务于学校师资队伍建设、教材建设为特色。我们愿与各位教师真诚合作,共同努力,为新世纪的高等教育事业作出更大的贡献。

武汉理工大学出版社

2012 年 3 月

高等学校土建类专业应用型本科系列教材

编审委员会

主 任:李新福 雷绍锋

副 主 任:(按姓氏笔画排列)

孙 艳 江义声 陈俊杰 陈素红 陈升平
张淑华 孟高头 郑 毅 姚金星 荀 勇
胡铁明 袁海庆 蒋沧如 熊丹安

委 员:(按姓氏笔画排列)

马成松 邓 训 牛秀艳 王有凯 史兆琼
孙 艳 江义声 许汉明 许程洁 刘 江
刘 伟 刘 斌 张朝新 张志国 陈金洪
沈中友 杜春海 李武生 杨双全 杨学忠
杨子江 孟高头 郑 毅 赵 亮 赵元勤
赵永东 胡铁明 胡忠君 柳立生 施鲁莎
姚金星 葛文生 熊丹安

秘 书:王利永

总责任编辑:于应魁

前 言

(第 2 版)

本书于 2008 年出版以来,得到了许多本科院校的支持,其理论体系也得到了大家的一致肯定,并收到了一些宝贵意见。

为了更好地适应应用型人才培养的需要,根据教学实践和兄弟院校的意见,对本书第 1 版进行了适当修订。修订后的第 2 版教材采用了《量和单位》(GB 3100-3102—93)中规定的有关通用符号,如角加速度由原来的 ϵ 改用 α ,力统一用 F 表示,不同性质的力用不同的下标体现等。第 2 版教材符合国家教育部颁布的《高等学校工科本科理论力学课程教学基本要求》,不仅适用于四年制土建类专业的理论力学教学,也可供电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、热能与动力工程、材料成型及控制工程等专业选用,还可作自学教材。

在本版中,对全书的内容和语句做了必要的增删和修改,也订正了第 1 版教材中的印刷和编排问题,更换了少量例题,增加了第 8 章刚体平面运动一章的基本习题(原有习题偏难,基本练习偏少)。为了便于课堂教学,对 10.3 节与 10.4 节的内容顺序进行了交换。

本教材在使用过程中得到了华中科技大学莫迺榕副教授和王忠年副教授的支持,他们所提的建议对本书第 2 版的修订工作起了积极作用,在此深表谢意。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和不妥之处,衷心地希望大家批评和指正。

编 者

2011 年 12 月于武汉

前 言

(第 1 版)

理论力学是高等学校理工科类专业普遍开设的一门技术基础课,主要研究物体机械运动的一般规律及其工程应用。理论力学以牛顿力学为基础,属于古典力学的范畴。理论力学的概念、理论及方法不仅是许多后续专业课程的基础,而且在解决实际问题中也能直接发挥作用。近年来,随着我国高等教育事业的发展和改革,高等学校的数量与类型不断增多,对课程的发展也提出了不同层次的要求。许多高校立足于培养应用型人才,特别是土建类专业面临加速发展的城市化进程,对工程技术人才的需求有了显著的增加。本书的编写就是对满足这方面需求的一个尝试,编写中主要有以下考虑:

(1) 采用传统的理论力学教学模式,即“静力学—运动学—动力学”模式。由长期的教学实践表明,这一模式是符合学生的认识规律的。

(2) 注重描述理论力学的基本概念、基本理论和基本方法,同时在编写形式上还用较多篇幅描述力学模型的建立过程。

(3) 本书以平面问题为重点,对于空间问题则抓住问题的实质作集中的、简明的讲述。

(4) 运动学部分讲述点的运动学、刚体的简单运动、刚体的平面运动。

(5) 在保证理论体系完整性的基础上,书中的例题、习题尽可能联系实际问题。

本书由华中科技大学文华学院、武汉科技大学城市学院、武汉科技大学中南分校、武汉理工大学华夏学院联合编写。参加编写的人员有:刘江(第 1、2、3、4、6、8、13 章),周楚兵(第 7、12、14 章),鲁晓俊(第 5、9、10 章),潘桔榕(第 11 章)。张朝新负责第 9、10、11、12、14 章的编写指导工作,刘江、张朝新任主编。

限于编者的水平,书中难免有缺点和不妥之处,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2008 年 10 月于武汉

目 录

第一篇 刚体静力学

1 刚体静力学的基本概念	(3)
1.1 刚体与力的基本概念	(3)
1.1.1 刚体	(3)
1.1.2 力	(3)
1.1.3 刚体的平衡状态	(3)
1.1.4 力系与平衡力系	(3)
1.2 静力学公理	(4)
1.2.1 二力平衡公理	(4)
1.2.2 加减平衡力系公理	(4)
1.2.3 力的平行四边形法则(二力合力公理)	(5)
1.2.4 作用与反作用定律	(5)
1.2.5 刚化公理	(6)
1.3 力的合成、分解与投影	(6)
1.3.1 力的合成与分解	(6)
1.3.2 力在坐标轴上的投影	(7)
1.3.3 二力合成的解析表示	(8)
1.4 力矩	(8)
1.4.1 力对点的矩	(8)
1.4.2 合力矩定理	(8)
1.4.3 力对点的矩的解析表达式	(9)
1.5 力偶	(10)
1.6 约束与约束反力	(11)
1.6.1 主动力	(11)
1.6.2 约束与约束反力	(11)
1.6.3 实际工程中常见的约束反力	(12)
1.7 物体的受力图与受力分析	(17)
1.7.1 物体的计算简图	(17)
1.7.2 物体的受力分析	(18)
思考题	(20)
习题	(21)
2 平面力系的等效简化	(24)
2.1 力系的分类	(24)

2.1.1	平面力系与空间力系	(24)
2.1.2	平面汇交力系	(24)
2.1.3	平面力偶系	(25)
2.1.4	平面平行力系	(25)
2.1.5	平面任意力系	(25)
2.2	力的平移定理	(26)
2.3	平面汇交力系和力偶系的简化	(27)
2.3.1	平面汇交力系的简化(合成)	(27)
2.3.2	平面力偶系的简化(合成)	(28)
2.4	平面任意力系的简化	(29)
2.4.1	平面任意力系向一点的简化	(29)
2.4.2	平面任意力系简化结果分析	(30)
2.5	平面平行力系的合力	(32)
	思考题	(33)
	习题	(33)
3	平面力系的平衡	(35)
3.1	平面汇交力系的平衡	(35)
3.1.1	几何法	(35)
3.1.2	解析法	(36)
3.2	力偶系的平衡	(38)
3.3	平面任意力系的平衡条件与平衡方程	(39)
3.4	静定与超静定的概念	(45)
3.4.1	静定问题	(45)
3.4.2	超静定问题	(46)
3.5	刚体系的平衡	(46)
3.6	平面简单桁架	(52)
3.6.1	概述	(52)
3.6.2	平面简单桁架的内力计算方法	(53)
	思考题	(55)
	习题	(56)
4	空间力系	(61)
4.1	空间汇交力系的合成与平衡	(61)
4.1.1	力在直角坐标系上的投影	(61)
4.1.2	空间汇交力系的合成	(61)
4.1.3	空间汇交力系的平衡	(62)
4.2	力对点的矩	(62)
4.3	力对轴的矩	(63)
4.3.1	力对轴的矩的解析表达式	(64)
4.3.2	力对点的矩与对轴的矩的关系	(64)

4.4 空间力偶系的合成与平衡	(65)
4.4.1 力偶矩矢的定义	(66)
4.4.2 空间力偶系的合成	(66)
4.4.3 空间力偶系的平衡	(67)
4.5 空间任意力系向一点简化	(68)
4.6 空间任意力系的平衡条件与平衡方程	(71)
4.7 重心	(72)
4.7.1 重心的概念及其坐标公式	(72)
4.7.2 质心的概念及其坐标公式	(76)
4.7.3 确定物体重心位置的方法	(76)
思考题	(78)
习题	(79)
5 摩擦及考虑摩擦的平衡问题	(82)
5.1 滑动摩擦	(82)
5.1.1 静摩擦力与库仑摩擦定律	(82)
5.1.2 动摩擦力与库仑摩擦定律	(83)
5.2 摩擦角与自锁现象	(84)
5.3 考虑摩擦的平衡分析	(84)
5.4 滚动摩擦阻	(86)
思考题	(89)
习题	(90)

第二篇 运 动 学

6 点的运动学	(95)
6.1 描述点的运动的矢量法	(95)
6.1.1 点的运动方程	(95)
6.1.2 点的速度	(95)
6.1.3 点的加速度	(96)
6.2 描述点的运动的直角坐标法	(96)
6.2.1 点的运动方程	(96)
6.2.2 点的速度	(97)
6.2.3 点的加速度	(97)
6.3 描述点的运动的自然坐标法	(99)
6.3.1 点的运动方程	(99)
6.3.2 密切面和自然轴系	(100)
6.3.3 点的速度	(100)
6.3.4 点的加速度	(101)
思考题	(103)
习题	(104)

7 刚体的基本运动	(106)
7.1 刚体的平行移动	(106)
7.2 刚体的定轴转动	(107)
7.2.1 刚体定轴转动的运动方程、角速度与角加速度	(107)
7.2.2 转动刚体上各点的速度与加速度	(108)
7.2.3 以矢积表示转动刚体上一点的速度与加速度	(109)
思考题	(110)
习题	(111)
8 刚体的平面运动	(113)
8.1 点的运动的相对性	(113)
8.1.1 运动的合成和分解	(113)
8.1.2 点的相对运动方程和绝对运动方程	(114)
8.2 刚体平面运动的运动方程	(115)
8.2.1 刚体平面运动的特征	(115)
8.2.2 平面运动刚体的运动方程	(116)
8.2.3 平面图形运动的分解	(116)
8.3 求平面图形内各点速度的基点法和投影法	(117)
8.3.1 基点法	(117)
8.3.2 投影法	(118)
8.4 求平面图形内各点速度的瞬心法	(120)
8.4.1 瞬时速度中心	(120)
8.4.2 速度瞬心法	(120)
8.4.3 确定速度瞬心位置的方法	(121)
8.5 平面图形内各点的加速度	(122)
思考题	(126)
习题	(127)

第三篇 动 力 学

9 质点动力学	(133)
9.1 质点运动微分方程	(133)
9.1.1 动力学基本定律——牛顿三定律	(133)
9.1.2 运动微分方程	(134)
9.2 质点动力学的两类问题	(134)
思考题	(138)
习题	(138)
10 动量定理与动量矩定理	(140)
10.1 动量定理	(140)
10.1.1 动量	(140)
10.1.2 动量定理	(142)

10.1.3	质心运动定理	(145)
10.1.4	质心运动守恒定律	(146)
10.2	动量矩定理	(149)
10.2.1	质点动量矩定理	(149)
10.2.2	质点系动量矩定理	(150)
10.2.3	质点系相对于质心的动量矩定理	(154)
10.3	转动惯量的计算	(155)
10.3.1	简单形状物体的转动惯量计算	(155)
10.3.2	回转半径	(157)
10.3.3	平行轴定理	(157)
10.3.4	求转动惯量的实验方法	(158)
10.4	刚体平面运动微分方程	(158)
	思考题	(161)
	习题	(162)
11	动能定理	(165)
11.1	力的功	(165)
11.1.1	功的定义	(165)
11.1.2	几种常见力的功	(166)
11.1.3	质点系内力的功	(168)
11.1.4	约束反力的功	(168)
11.2	动能	(170)
11.2.1	质点的动能	(170)
11.2.2	质点系的动能	(170)
11.3	动能定理	(171)
11.3.1	质点动能定理	(171)
11.3.2	质点系动能定理	(172)
11.4	动力学普遍定理综合应用	(176)
	思考题	(182)
	习题	(182)
12	达朗伯原理	(187)
12.1	质点的达朗伯原理	(187)
12.1.1	质点惯性力的概念	(187)
12.1.2	质点的达朗伯原理	(187)
12.2	质点系的达朗伯原理	(188)
12.3	刚体惯性力系的简化	(189)
12.3.1	刚体做平动	(189)
12.3.2	刚体做定轴转动	(190)
12.3.3	刚体做平面运动	(191)
12.4	达朗伯原理的应用	(191)

思考题	(193)
习题	(193)
13 虚位移原理	(197)
13.1 虚位移与虚功的概念	(197)
13.1.1 虚位移	(197)
13.1.2 虚功	(200)
13.2 虚位移原理	(200)
13.2.1 虚位移原理	(200)
13.2.2 虚位移原理的应用	(201)
13.3 以广义坐标表示的平衡条件	(204)
13.3.1 自由度	(204)
13.3.2 广义坐标和广义力	(205)
13.3.3 以广义坐标表示的平衡条件	(206)
思考题	(208)
习题	(209)
14 质点的振动	(213)
14.1 质点的自由振动	(213)
14.1.1 质点的自由振动微分方程及其解	(213)
14.1.2 振幅、相位、周期和频率	(214)
14.1.3 弹簧并、串联的等效刚度系数及固有频率	(215)
14.2 质点的衰减振动	(217)
14.2.1 质点的衰减振动微分方程及其解	(217)
14.2.2 质点的衰减振动特性	(219)
14.3 质点的强迫振动	(220)
14.3.1 质点受简谐干扰力作用下的强迫振动微分方程及其解	(220)
14.3.2 质点受简谐干扰力作用下的强迫振动响应特性	(221)
14.3.3 减振与隔振的概念	(223)
思考题	(223)
习题	(224)
参考答案	(226)
参考文献	(234)

第一篇 刚体静力学

静力学是研究物体在力的作用下的平衡规律的科学。

在静力学中,将研究以下三个问题:

1. 物体的受力分析

就是对物体的实际受力情况进行分析,并以受力图的形式进行表达,以便进行更进一步的研究。

2. 力系的简化(或等效替换)

物体的实际受力情况一般都比较复杂,将作用在物体上的一个复杂力系用另一个简单力系代替,而不改变原力系对物体的作用效应,这一过程称为力系的简化,也可以理解为用一个简单力系等效地替换一个复杂力系对物体的作用,所以又可以称为力系的等效替换。

3. 力系的平衡条件及其应用

当物体在力的作用下处于平衡状态时,研究作用在物体上的力系平衡所需满足的条件,并应用这些条件解决工程实际问题。力系的平衡条件是设计构件、结构时静力计算的基础。

因此,静力学在工程实际中有着十分广泛的应用。

1 刚体静力学的基本概念

1.1 刚体与力的基本概念

1.1.1 刚体

在力的作用下,物体内任意两点之间的距离始终不变,这样的物体称为刚体。通俗地理解为,刚体就是指在力的作用下不变形的物体。刚体是实际物体被抽象化了的力系模型。例如,在图 1.1 中,吊车梁的最大弯曲变形值一般不超过跨度(A、B 间距离)的 $1/500$,水平方向变形更小。因此,研究吊车梁的平衡规律时,变形是次要因素,可略去不计,此时计算结果同样能够满足实际工程的需要。静力学研究的物体是刚体,故又称刚体静力学,它是研究变形体力学的基础。

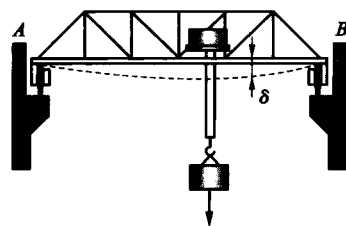


图 1.1 吊车梁的变形

1.1.2 力

力是物体间的相互机械作用。力的作用效应是使物体的运动状态发生变化,或使物体发生变形。刚体静力学只研究力改变物体运动状态的效应。

力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点。三要素中只要任何一个改变,力的作用效果就不同。力是一个既有大小又有方向的量,即矢量。矢量可以用一个带有方向的线段表示,如图 1.2 所示。线段的起点表示拉力的作用点,如图 1.2(a)所示;线段的终点表示压力的作用点,如图 1.2(b)所示。线段的方位和箭头指向表示力的方向,线段的长度(按一定的比例)表示力的大小。本书中,力矢量用黑斜体字母表示,如 $\boldsymbol{F}$;而力的大小用普通字母表示,如 F 。在国际单位制中,力的单位为牛顿(N),或者千牛顿(kN)。

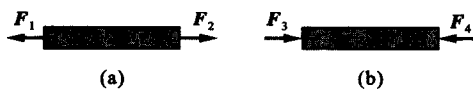


图 1.2 力的图形表示

(a) 拉力;(b) 压力

1.1.3 刚体的平衡状态

物体在空间的位置随时间的改变,称为物体的机械运动。

物体相对于地面处于静止或处于匀速直线运动状态,则称物体处于平衡状态。物体的平衡状态是物体机械运动的特殊情况,静力学研究物体的平衡问题。

1.1.4 力系与平衡力系

由多个力组成的一组力,称为力系。力或力系对物体的作用效果取决于其本身的特征。不同的力或力系的作用效果不同,能引起物体运动状态的不同变化。如果两个不同的力系对同一物体产生相同的效应,则这两个力系是等效的,称为等效力系。在保持对刚体作用效果不

变的前提下,用一个简单力系代替一个复杂力系,称为力系的等效简化。静力学研究物体的平衡规律,同时也研究力的一般性质及力系的简化。一个力是一种最简单的力系。如果一个力与一个力系等效,则这个力称为该力系的合力。求合力的过程称为力系的合成,该力系中的各力称为其合力的分量,简称分力。

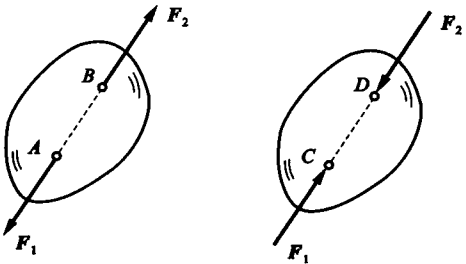
在一个力系作用下,物体处于平衡状态,这个力系必须满足一定的条件,这个条件称为力系的平衡条件,满足平衡条件的力系称为平衡力系。作用在物体上的一组力使物体处于平衡状态,这组力就是平衡力系。在平衡力系作用下,物体处于平衡状态。

1.2 静力学公理

静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结,无须证明而为大家所公认。静力学公理概括了力的基本性质,是建立静力学理论的基础。

1.2.1 二力平衡公理

刚体在两个力作用下处于平衡状态的充要条件是:两个力大小相等、方向相反,并作用在同一直线上,如图 1.3 所示。即



$$F_1 = -F_2 \quad (1.1)$$

这样的两个力是一种最简单的平衡力系,是推证平衡条件的基础。工程中常常遇到只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件或二力杆,如图 1.2 所示的受拉杆件和受压杆件。

1.2.2 加减平衡力系公理

平衡力系不改变物体的运动状态,就运动而言,平衡力系的作用效果为零。因此,在作用于刚体上的任何一组力系上添加或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

推论(力的可传性原理):作用于刚体上的力,可以沿其作用线移至刚体内任意一点,而不改变它对刚体的作用效应。由此可知,力对刚体的作用取决于力的大小、方向和作用线,即力是有确定作用线的滑动矢量。

如图 1.4 所示,设刚体上 A 点作用有一力 F 。根据加减平衡力系公理,在刚体上 B 点加上一个平衡力系(F_1, F_2),此处 F_1, F_2 和 F 大小相等,即 $F_1 = F_2 = F$;再减去一个平衡力系(F, F_2)。显然, F_1 和 F 等效。

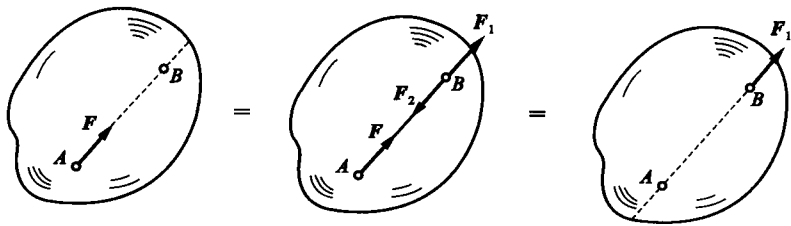


图 1.4 力的可传性