

21世纪

高职高专教育统编教材

建筑力学

主 编 赵毅力
主 审 史康立



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21世纪

高职高专教育统编教材

建筑力学

主 编 赵毅力

主 审 史康立



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学/赵毅力主编. —北京: 中国水利水电出版社,
2008

21 世纪高职高专教育统编教材

ISBN 978 - 7 - 5084 - 6123 - 6

I. 建… II. 赵… III. 建筑力学—高等学校: 技术学校—
教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 191176 号

书 名	21 世纪高职高专教育统编教材 建筑力学
作 者	主编 赵毅力 主审 史康立
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 22.25 印张 528 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	45.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

学 代 资 数

内 容 提 要

本书依照高等职业技术教育土建类专业力学课程的基本要求，充分吸收高职教育力学课程改革的成果，着力体现“职业性”与“高等性”的高职教育特色，对传统静力学、材料力学和结构力学的内容进行了精选，对知识体系做了必要有效的调整，使多门与土木工程有关的力学内容融为一体。理论体系由浅入深，顺序符合认知规律；基本理论满足专业要求，内容上突出工程实用性；表述简单直观，章节编排简洁明了。

全书共 12 章，主要内容有物体的受力分析、平面力系的合成与平衡、空间力系的平衡、平面图形的几何性质、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析、杆件的应力与强度计算、应力状态与强度理论、构件的变形和结构的位移计算、超静定结构的内力计算、影响线和压杆稳定。

本书可作为高职高专和成人高校的建筑工程、道路与桥梁工程、水利工程等土木工程类专业的教材，也可作为广大自学者及相关专业工程技术人员的参考用书。

前言

本书依照高等职业技术教育土建类专业力学课程的基本要求,充分吸收高职教育力学课程改革的成果,着力体现“职业性”与“高等性”的高职教育特色,按照国家示范性高职高专专业人才培养目标对本门课程的要求,由杨凌职业技术学院具有本门课程教学经验丰富的教师和建筑企业中具有较强实践经验的工程师组成校企合作编写团队编写而成。本教材的编写主要突出了以下几个方面的特点:

- 本教材基本理论满足专业要求,对传统静力学、材料力学和结构力学的内容进行了精选,对知识体系做了必要有效的调整,使多门与土木工程有关的力学内容融为一体。理论体系由浅入深,顺序符合认知规律。既节省了篇幅和教学时数,也有利于学生自学和逻辑思维能力的培养和提高。

- 加强实用性和针对性。重视力学概念和理论知识的应用,对概念和理论知识的阐述尽量结合工程实际,对土木工程中较实用的内容列举了较多的例题。在理论证明和公式推导上适当从简。

- 内容表述简单直观,章节编排简洁明了。本书只有章和节的划分,习题配置在相关节的后边。这种改法,一方面给读者留有自己进行总结和提炼重点的空间,另一方面可加强课后训练。

- 教材文字努力做到少而精,通俗易懂。在讲法上配合图形和实例,尽量使抽象的概念变得显然。

本书可作为高职高专和成人高校的建筑工程、道路与桥梁工程、水利工程等土木工程类专业的教材,也可作为广大自学者及相关专业工程技术人员的参考用书。

本书由杨凌职业技术学院赵毅力主编。参加编写工作的人员及分工为:赵毅力(绪论、第7~10章),杨凌职业技术学院王治中(第1~3章),陕西建工集团第五建筑工程公司李忠坤(第4~6章),陕西省机械施工公司郭元科(第11、12章)。

本书由杨凌职业技术学院史康立教授主审。

在本书编写过程中，受到学院领导和院建筑工程系张迪主任的有力支持，并得到力学与结构教研室同仁的热情帮助，在此一并表示感谢。

在本书的编写过程中，参考了部分相同学科的教材文献（见书后“参考文献”），在此向文献的作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 12 月

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 物体的受力分析	3
1.1 静力学的基本概念	3
1.2 静力学基本公理	4
1.3 约束和约束力	8
1.4 物体与物体系的受力分析	12
1.5 结构计算简图	19
第 2 章 平面力系的合成与平衡	24
2.1 平面汇交力系的合成与平衡	24
2.2 平面力偶系的合成与平衡	30
2.3 平面任意力系向一点简化	35
2.4 平面任意力系的平衡	40
第 3 章 空间力系的平衡	48
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	48
3.2 力对轴之矩	49
3.3 空间力系的平衡方程	50
3.4 物体的重心	55
第 4 章 平面图形的几何性质	60
4.1 形心与静矩	60
4.2 极惯性矩	66
4.3 惯性矩	67
4.4 组合图形的惯性矩	69
4.5 形心主惯性矩的概念	71
第 5 章 平面体系的几何组成分析	73
5.1 几何组成分析的目的	73
5.2 平面体系的自由度和约束	74
5.3 平面几何不变体系的组成规则	76
5.4 平面体系的几何组成分析方法	78

第 6 章 静定结构的内力分析	85
6.1 杆件的基本变形及内力的概念	85
6.2 轴向拉压杆的内力分析	87
6.3 静定平面桁架的内力计算	91
6.4 扭转轴的内力分析	98
6.5 单跨静定梁指定截面的内力计算	102
6.6 单跨静定梁的内力方程和内力图	105
6.7 用简捷法绘制梁的剪力图和弯矩图	110
6.8 多跨静定梁的内力分析	113
6.9 静定平面刚架的内力分析	116
第 7 章 杆件的应力与强度计算	124
7.1 轴向拉压杆的应力	124
7.2 材料在拉伸和压缩时的力学性质	128
7.3 拉压杆的强度计算	135
7.4 连接件的强度计算	141
7.5 扭转轴的应力和强度计算	147
7.6 对称弯曲梁的正应力	154
7.7 最大弯曲正应力	157
7.8 弯曲切应力	162
7.9 梁的强度条件	167
7.10 组合变形	173
第 8 章 应力状态与强度理论	182
8.1 应力状态的概念	182
8.2 平面应力状态分析	184
8.3 应力极值与主应力	187
8.4 强度理论	192
8.5 复杂应力状态的强度计算	196
第 9 章 构件的变形和结构的位移计算	201
9.1 轴向拉压杆的变形	201
9.2 扭转轴的变形	204
9.3 平面弯曲梁的变形	208
9.4 梁的刚度条件	214
9.5 结构位移计算概述	218
9.6 结构位移计算的一般公式	220
9.7 静定结构在荷载作用下的位移计算	222
9.8 图乘法	227
9.9 静定结构由于支座位移、温度改变所引起的位移	231
9.10 互等定理	235

第 10 章 超静定结构的内力计算	238
10.1 超静定结构的概念	238
10.2 力法的基本概念	240
10.3 力法典型方程	243
10.4 结构对称性的利用	248
10.5 超静定结构的位移计算及最后内力图的校核	256
10.6 支座移动时超静定结构计算	260
10.7 等截面单跨超静定梁的杆端力	263
10.8 位移法的基本概念	267
10.9 位移法典型方程	273
10.10 力矩分配法的基本概念	280
10.11 力矩分配法基本原理	283
第 11 章 影响线	292
11.1 影响线的概念	292
11.2 用静力法作简支梁的影响线	293
11.3 机动法作静定梁的影响线	297
11.4 简支梁的最不利荷载位置	300
11.5 简支梁的内力包络图	304
11.6 连续梁的内力包络图	306
第 12 章 压杆稳定	311
12.1 压杆稳定性概念	311
12.2 细长压杆的临界荷载	312
12.3 压杆的临界应力	315
12.4 压杆的稳定计算	318
12.5 提高压杆稳定性的措施	326
附录 型钢表	330
表 1 热轧等边角钢 (GB/T 9787—1988)	330
表 2 热轧不等边角钢 (GB/T 9788—1988)	333
表 3 热轧工字钢 (GB/T 706—1988)	335
表 4 热轧槽钢 (GB/T 707—1988)	336
部分习题参考答案	337
参考文献	346

绪 论

建筑力学的研究对象 在生产、生活实际中,为了满足各种不同的使用要求,需要建造不同的建筑物,如楼房、桥梁、水坝、体育场馆等。这些建筑物从开始建造到建成使用,都要承受各种力的作用。如楼板在施工中除承受自身的重量外,还要承受工人和施工机械的重量;楼板将这些作用力传给梁;梁又通过两端将力传给柱;柱则将力传递给基础;基础最后将力传给地基。工程中把主动作用于建筑物上的外力称为荷载。将建筑物中承受并传递荷载而起骨架作用的部分称建筑结构,简称结构。组成结构的单个物体称构件,板、梁、柱、基础等都是常见的构件。结构按其主要组成构件的形状和尺寸可分为以下三类:

- **实体结构。**是指由长、宽、高三个方向尺寸相差不大的构件组成的结构,如重力式挡土墙、重力式水坝等。

- **板壳结构。**是指由厚度远小于其他两个方向尺寸的构件组成的结构。其中,表面为平面形状者称为板;表面为曲面形状者称为壳。例如一般的钢筋混凝土楼面均为平板结构,悉尼歌剧院的屋面就为壳式结构。

- **杆系结构。**将长度方向的尺寸远大于横截面上两个尺寸的构件称为杆件。由若干杆件通过适当方式相互连接而成的结构体系称为杆系结构。若组成杆系结构的所有杆件的轴线都在同一平面内,并且荷载也作用在该平面内,这种结构称为平面杆系结构;否则,称为空间杆系结构。对于空间杆系结构进行计算时,常常可根据其实际受力情况,将其分解为若干平面杆系结构来分析,可使计算得到简化。本书的主要研究对象是平面杆系结构。

建筑力学的基本任务 对于建筑结构和构件,必须保证安全工作。若要结构安全地工作,结构和构件必须满足以下力学条件。

- **强度条件。**结构和构件抵抗破坏的能力通常称为强度。结构和构件应具备足够的强度,以保证在规定的使用条件下不发生意外断裂或显著塑性变形。固体材料在外力作用下会产生两种不同性质的变形:一种是外力消除后变形随着消失,将这种变形称为弹性变形;另一种是外力消除后不能消失的变形,称为塑性变形。构件的材料不同,判定其破坏的标志不同,有的材料是以断裂为破坏标志,有的材料则是以产生显著的塑性变形为破坏标志。

- **刚度条件。**结构和构件抵抗变形的能力通常称为刚度。结构和构件应具备足够的刚度,以保证在规定的使用条件下不产生过分的变形。例如,水闸门尽管在水压力作用下,也许产生的变形全是弹性,并没有破坏,满足强度条件;但是如果变形过大而影响启闭,则就不满足刚度条件,照样不能应用。由此可见,强度与刚度是两个不同的概念。

- **稳定条件。**结构和构件保持原有平衡形式的能力通常称为稳定性。结构和构件应具

备足够的稳定性,以保证在规定的使用条件下不发生失稳现象。如输电铁塔中的受压杆,在压力较小时能保持直线平衡状态;当压力超过某一值时,这个值往往远小于材料的强度,压杆可由直线变为弯曲状态,从而导致结构的破坏,将这种破坏称为失稳。工程结构中的失稳破坏往往比强度破坏更为惨重,因为这种破坏具有突然性,没有先兆。

在设计结构和构件时,除应满足上述力学要求外,还应尽可能地节省和选用合理的材料,从而降低制造成本并减轻结构的重量。为了安全可靠,要选用优质材料与较大的截面尺寸,但是由此又可能造成材料浪费与结构笨重。由此可见,安全与经济之间存在着矛盾。建筑力学就是为解决结构的安全与经济这一矛盾提供理论依据和计算方法,这是建筑力学这门课程的基本任务。

建筑力学的主要内容 建筑力学课程的主要内容包括以下几个方面。

- 讨论力系的简化和平衡的基本理论和方法。
- 对杆系结构进行外力分析、内力分析和几何组成分析。
- 研究单一材料构件的强度、刚度和稳定性的计算问题,为设计既安全又经济的结构构件选择适当的材料、截面形状和尺寸。

建筑力学课程的学习要求 建筑力学是土建专业主干课程之一,其理论和方法可直接应用于某些结构的设计计算,也是本专业后续其他课程必备的重要基础理论知识。因此,必需认真学习,全面掌握。在学习本门课程时必须注意以下几个问题。

- 学习时要注意理解它的基本原理,掌握分析问题的方法和解题思路,切忌死记硬背。
- 注意理论联系实际。本课程的理论来源于实践,是前人大量实践的经验高度总结及其抽象,因此,学习中一方面要掌握课堂理论知识,另一方面要把理论与身边的建筑物实例相联系。要有针对性地到施工现场进行学习,增强感性认识,积累建筑实践经验。
- 要多做练习,不做一定数量的习题是很难掌握建筑力学的概念、原理和分析方法的。

第1章 物体的受力分析

本章主要内容：

- 介绍静力学的基本概念和基本公理。
- 介绍约束的概念及常见约束的约束力的画法。
- 讨论物体及物体系的受力分析方法。
- 介绍选取杆系结构计算简图的原则与方法。

1.1 静力学的基本概念

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发生变化。从力的概念可知力有如下性质：

- 力有物质性。离开物质，力是不存在的，用力这个抽象概念代替了物质，力只是代表了物质的某一方面性质。
- 力有相互性。力是物体间相互的机械作用，有作用力，必有反作用力。
- 力的效应性。力可使物体间的相对运动状态发生变化，这是力的运动效应或力的外效应；力还可使物体内部各部分之间发生相对位移，即使物体形状发生改变，这是力的变形效应或力的内效应。
- 力的矢量性。力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点，即力的三要素；将有大小、方向和作用点的量称为定位矢量。

本书中用黑体字母 $\mathbf{F}$ 表示力矢量，而用普通字母 F 表示力矢量的大小。在国际单位制中，力的单位是牛 (N) 或千牛 (kN)。可用一个带箭头的线段表示力的图像，如图 1.1 所示，线段 AB 的始端 A 或末端 B 表示力的作用点，线段 AB 的长度表示力的大小，用线段的方位角和箭头指向表示力的方向。

刚体的概念 刚体是指物体在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变，即物体的尺寸和形状都不改变。这是一个理想化的力学模型。实际上，物体在力的作用下或多或少都会变形，这种变形必然要引起作用在其上的力作用点或作用方向发生改变，这种改变对我们求解一些问题带来了很大的麻烦；但在忽略这种微小改变后，对求解所产生的误差很小时，可将物体视为刚体，以方便计算。因此，在静力平衡计算中，则采用刚体模型。

力系的概念 力系是指作用于物体上的一群力。为了研究的方便，根据力系中各力作用线的分布情况，通常将力系分为平面

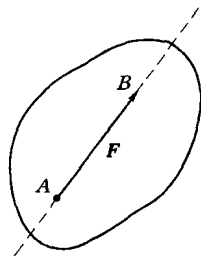


图 1.1

力系和空间力系两大类。若力系中各力作用线在同一平面内,则称为平面力系,否则称为空间力系。另外,在每一类中,再根据各力作用线的关系又可分为汇交力系、平行力系和任意力系。若力系中各力作用线汇交于一点,称之为汇交力系;若各力作用线平行,称之为平行力系;若各力作用线不相交于一点,又不完全平行,则称为任意力系。显然,对于各力作用线在同一平面内并汇交于一点的力系,称为平面汇交力系。对于其他力系的命名可依此类推。

平衡的概念 平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线运动。在一般工程技术问题中,把固连于地面上的参考系视为惯性参考系,也就是物体的平衡是相对地球而言的。将作用在处于平衡状态物体上的力系称为平衡力系。

1.2 静力学基本公理

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,被确认是符合客观的最普遍、最一般的规律。静力学公理主要有以下四个。

公理 1 作用和反作用定律 两个物体之间的作用力和反作用力总是同时存在,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。

用 F 表示作用力,则用 F' 表示反作用力。这个公理概括了物体间相互作用的关系。它表明有作用力必有反作用力,而且是同时存在,又同时消失;作用力与反作用力的矢量关系为

$$F = -F'$$

作用力与反作用力的数量关系为

$$F = F'$$

作用力与反作用力分别作用在两个物体上。

这个公理在以后物体受力分析时常常用到,读者应予以重视。

公理 2 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,由这两个力的力矢为邻边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1.2 (a)、(b)、(c) 所示。

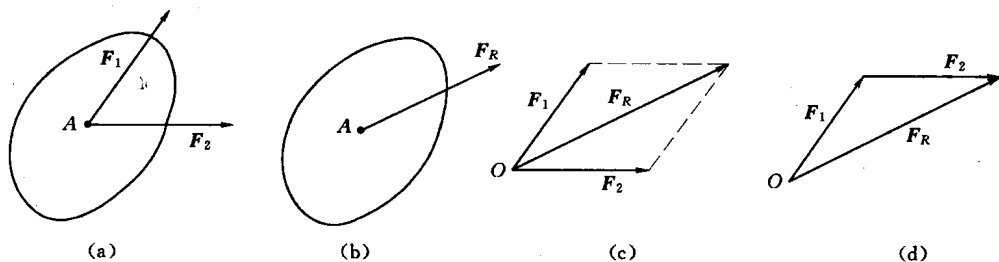


图 1.2

为了简便起见,往往不必画出二力矢为邻边所构成的整个平行四边形,而只画出平行四边形中的一个三角形,如图 1.2 (d) 所示。两个分力矢首尾相接,由第一个分力矢的

首向第二个分力矢的尾所作的矢量为合矢量。这种通过作三角形求合力矢的方法，称为力三角形法则。力平行四边形法则或三角形法则的矢量表示式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

力的平行四边形法则表明了最简单力系合成规律，它是研究复杂力系合成的基础。

以上两个公理的应用对象是物体，变形体与刚体都能适用。而以下所介绍的公理和推理则只适用于刚体。

公理3 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和充分条件是，这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上，如图 1.3 (a)、(b) 所示。用矢量表示即为

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = 0$$

二力平衡的例子在生活和生产实践中是很多的。例如图 1.4 (a) 所示的支架，若不计杆 AB 和 AC 的重量，当支架悬挂重物平衡时，两杆都只在两端受力。由二力平衡公理可知，每根杆两端所受的力必然大小相等，方向相反，沿着该杆两端点的连线方向，如图 1.4 (b)、(c) 所示。在物体受力分析中常常根据二力平衡条件确定某些未知力的作用线。

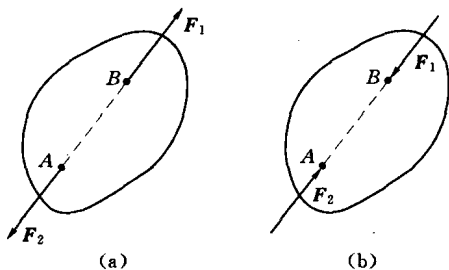


图 1.3

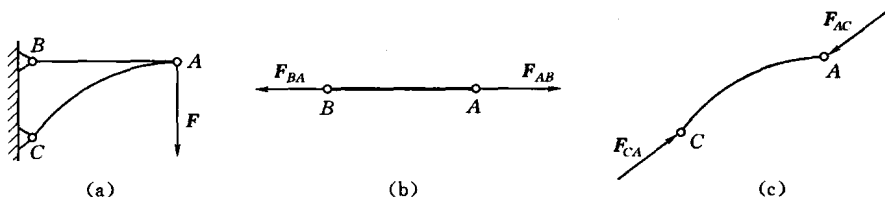


图 1.4

此公理揭示了作用在刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。它又是推证复杂力系平衡条件的基础。

应该注意，二力平衡条件对于刚体的平衡是必要而充分的，但对于变形体的平衡来说，这个条件不是充分条件。例如在拔河比赛中用的柔软绳索，当它受到两个等值反向、共线的拉力作用时可以保持平衡；而它受到两个等值反向共线的压力作用时，则无论如何是不能保持平衡的。

公理4 加减平衡力系原理 在作用于刚体的已知力系上，加上或减去任意一个平衡力系，都不会改变原力系对刚体的作用效应。

如果两个力系只相差一个或几个平衡力系，则它们对刚体的作用效应是相同的，因此，这些力系可以相互等效替换。这个公理是研究力系等效替换的重要依据。

推理1 力的可传性原理 作用于刚体上某点的力，可以移到力在刚体内的作用线上的任意一点，并不改变该力对刚体的作用效应。

证明：在刚体上的点 A 作用力 F ，如图 1.5 (a) 所示。根据加减平衡力系原理，可在力的作用线上任一点 B 处，加两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 ，使

$$F = F_1 = -F_2$$

如图 1.5 (b) 所示。由于力 F 和 F_2 也是一个平衡力系，故可减去，这样只剩下一个力 F_1 ，如图 1.5 (c) 所示。即原来的力 F 沿作用线移到了点 B 处。

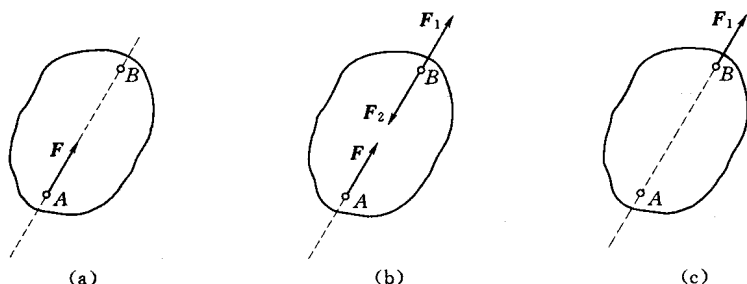


图 1.5

作用于刚体上的力可以沿作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。对于作用在刚体上的力，可以由定位矢量转化为滑动矢量。对于刚体来说，力的作用点已不是决定力的作用效应的要素，它已为力的作用线所代替。因此，作用于刚体上的力三要素是：力的大小、指向和作用线。

推理 2 三力平衡汇交定理 作用于刚体上三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线也通过另外两个力的汇交点，即三个力的作用必汇交于同一点。

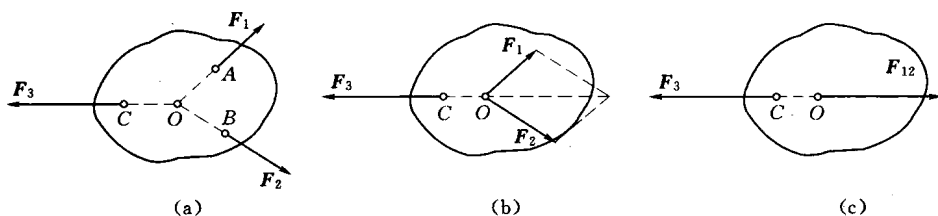


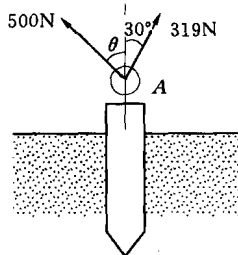
图 1.6

证明：如图 1.6 (a) 所示，在刚体的 A 、 B 、 C 三点上，分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 和 F_3 。根据力的可传性，将力 F_1 和 F_2 移到点 O ，如图 1.6 (b) 所示。将力 F_1 和 F_2 合成一合力 F_{12} ，如图 1.6 (c) 所示。此时，刚体在二力作用下处于平衡。根据二力平衡公理可知，力 F_3 与力 F_{12} 共面，所以力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且通过 F_1 和 F_2 的交点 O ，于是定理得证。

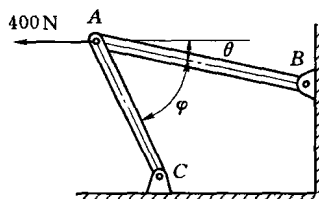
在工程实际中，经常遇到物体受共面但不平行三力的作用而处于平衡的问题。在此情况下，若已知其中两个力的方向，则第三个力的方向就可以按三力平衡汇交定理确定。三力平衡汇交定理所讲的只是共面不平行的三个力平衡的必要条件，而不是平衡的充分条件。换言之，若共面不平行的三力汇交于一点，它们不一定是平衡力系。

习题

1.1 在环首木螺钉末端作用两个力，欲将木螺钉从木桩中拔出，为了使作用在木桩上的合力方向铅直向上，且合力大小为750N。求角度 θ ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$)，画出环首木螺钉所受的全部力及螺钉对木桩的作用力。



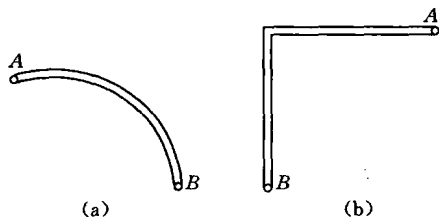
习题 1.1 图



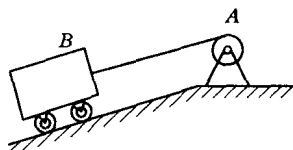
习题 1.2 图

1.2 为了使400N的水平力在从A到C方向有500N的分力，设 $\varphi=40^\circ$ ，求杆AB的设计角度 θ ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$)以及沿杆AB方向的分力。

1.3 试在图示构件中A、B两点各加一个力使构件平衡。

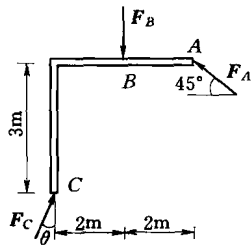


习题 1.3 图

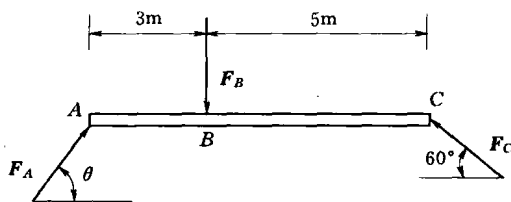


习题 1.4 图

1.4 卷扬机将斜面上的矿车匀速拖动，试画出钢绳在A、B两端所受的力，钢绳的重量不计；画出钢绳对矿车的作用力。



习题 1.5 图



习题 1.6 图

1.5 已知图示刚性构件在A、B、C三处各作用一个力，三力共面，物体处于平衡。试确定作用在C处的力 F_C 的方位角 θ 。

1.6 已知图示刚性直杆AC在A、B、C三处各作用一个力，三力共面，刚杆处于平衡。试确定作用在A处的力 F_A 的方位角 θ 。

1.3 约束和约束力

约束的概念 物体的某些方向位移受到与其相接触的周围物体的限制，对位移起限制作用的周围物体称这个物体的约束。例如，机车受铁轨的限制，只能沿轨道运动；电机转子受轴承的限制，只能绕轴线转动等。其中轨道是机车的约束，轴承是转轴的约束。约束对物体的作用，实际上就是力的作用，这种力称为约束力。约束力的方向恒与约束所能阻碍物体位移方向相反；其作用点是在约束与物体的接触点处；因为约束力是被动力，约束力的大小是不能预先确定的。在静力学问题中，约束力和物体受的其他已知力（主动力）组成平衡力系，因此，可用平衡条件求出未知的约束力。下面介绍常见的几种约束及其相应约束力的画法。

柔体约束 如图 1.7 (a) 所示，绳索吊住重物，由于绳索本身只能限制重物沿绳索中心线离开绳索的位移，所以，绳索作用于物体的约束力也只能是沿绳索中心线离开物体的拉力，约束力如图 1.7 (b) 所示。如图 1.8 (a) 所示，链条或胶带等柔性体绕在轮子上，对轮子的约束力沿着轮缘接触点处的切线方向，也是离开轮子的拉力，约束力如图 1.8 (b) 所示。

由柔软而不计自重的绳子、传动胶带、链条等构成的约束称柔体约束。柔体约束的约束力，作用在柔体与物体的接触点处，沿柔体中心线，离开物体（指向柔体）的拉力。通常用 F_T 表示这类约束力。

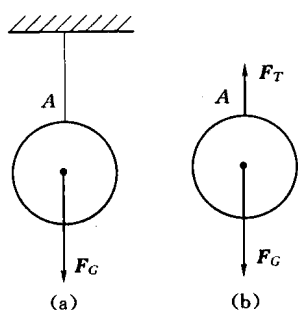


图 1.7

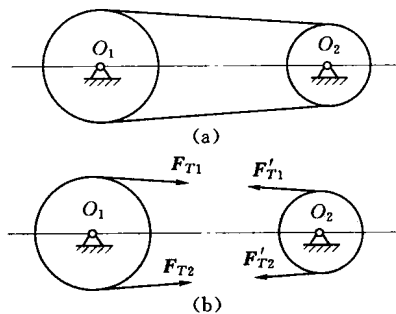


图 1.8

光滑面约束 约束与被约束物体是以表面压紧接触来传力，无论接触处是平面、曲面，还是一个点，当忽略摩擦时，都属于光滑面。如图 1.9 (a) 中的 A 处，图 1.10 (a) 中的 B、C 处，图 1.11 (a) 中的 D、E 处等，将这种约束称为光滑面约束。

光滑面约束不限制物体在接触点处沿公切面任何方向的位移，只限制物体在接触点处的公法线上向约束体内部的位移。因此，光滑面约束对物体的约束力作用在光滑面与物体的接触点处，沿接触面处的公法线，是指向被约束物体的压力。这种约束力为法向约束力。通常用 F_N 表示。如图 1.9 (b) 中的 F_{NA} ，图 1.10 (b) 中的 F_{NB} 、 F_{NC} ，图 1.11 (b) 中的 F_{ND} 、 F_{NE} 等。

向心轴承 图 1.12 (a) 所示为轴承装置，将其可画成如图 1.12 (c) 所示的工程示