

房地产管理系列丛书

房屋建筑力学与结构基础

上海大学房地产学院
陆歆弘 蔡跃 主编

中国建筑工业出版社

房地产管理系列丛书

房屋建筑力学与结构基础

上海大学房地产学院
陆歆弘 蔡 跃 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

房屋建筑力学与结构基础/陆歆弘, 蔡跃主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007
(房地产管理系列丛书)
ISBN 978-7-112-09508-7

I. 房… II. ①陆…②蔡… III. ①建筑力学-高等学校-教材②建筑结构-高等学校-教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 115707 号

本书的主要内容包括: 建筑力学基本概念, 结构的计算简图, 静定结构的内力计算, 结构的应力和强度计算, 结构的位移计算, 建筑结构设计概论, 钢筋混凝土结构, 钢结构, 砌体结构, 地基与基础, 建筑结构抗震基本知识, 高层建筑结构的特点, 建筑结构计算机辅助设计介绍等。本书结合作者多年的教学经验, 集建筑力学与结构于一体, 并按现行规范、标准编写。本书内容取材适当, 前后衔接紧凑。本书可供普通高等院校房地产类相关专业师生教学或教学参考使用。

* * *

责任编辑: 邓 卫
责任设计: 赵明霞
责任校对: 梁珊珊 关 健

房地产管理系列丛书
房屋建筑力学与结构基础
上海大学房地产学院
陆歆弘 蔡 跃 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14½ 字数: 350 千字
2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月第一次印刷
印数: 1—3500 册 定价: 25.00 元

ISBN 978-7-112-09508-7
(16172)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《房地产管理系列丛书》编委会

主任：唐 豪

副主任：徐勇谋 郭世民

委员：史东辉 钱国靖 严国樑 陆歆弘 马光红

马锦华 周建华 庄呈君 邢元志 房 林

序

随着中国房地产业的发展以及发展中各种新情况的出现,有关房地产的探讨、争论持续不断,并始终能引起业界、政府和民众的极大兴趣。在此过程中,国内诸多高等院校根据产业发展和市场需要,开始招收房地产专业或专业方向的本专科生,为房地产企业提供专业人才,并围绕专业需要进行课程建设和教材编写。

事实上,国外高等院校以房地产命名的专业设置是并不多见的,我国教育部也将该专业置于基本目录以外的特批专业。凡设有房地产或类似专业的院校,一般是以建筑学、土木工程、工程管理、经济学或工商管理等专业提供学科基础支撑,也有某些院校在投资学科中引出房地产开发投资专业方向。因此,不同院校因支撑房地产专业或专业方向的学科基础是不同的,围绕该专业或专业方向设定的主要课程便存在较大的差别。在这方面,国内外院校间的情况大同小异。

上海大学房地产学院是上海大学与上海市房屋土地资源管理局合作共建的一所专业学院。学院依托上海大学综合性学科优势,形成了以商学与工程管理两类教学科研人员为主的师资结构,在土地资源管理、房地产经济、房地产企业经营管理和建筑工程管理等专业或专业方向开展教学和应用性学术研究工作。经过几年的尝试和探索,积累了一定的经验,形成了些许理性认识。2006年,学院组织、动员了10多位专业教师,在充分讨论、研究并向专家咨询的基础上,提出并确定了《房地产管理系列丛书》及其各分册的名称、主要内容和章节编排等。至2007年下半年,本丛书编写完毕,由中国建筑工业出版社出版。

本丛书共收录10个分册。《房地产经济学》是在现代经济学原理的基础上,结合房地产业特点写就的专业基础课程教材。《房地产管理》以管理学原理为依据,是为房地产行业度身定制的应用性教科书。《房地产开发与经营》以现代营销学理论方法为主要内容,引入诸多行业实例作实证分析,应用性较强。《房地产金融学》与《房地产评估》和《建筑工程造价》则以投融资原理和财务、会计方法,介绍、解析了现代房地产项目的资金筹措和物业价值。而《建筑材料与房屋构造》和《房屋建筑力学与结构基础》是为非建筑学专业学生掌握基本知识而编写的通读性教材,内容虽浅,但较适合非理工科类专业方向的教学需要。《物业管理》主要讲述房地产产业链的下游业务环节内容,十分重要,而现有图书往往忽略了商务物业的营运管理需要,该书在这方面作了必要的补充。值得一提的是,《房地产经济与管理专论》是本丛书唯一一本专著。史东辉教授以深厚的产业经济学理论功底,对房地产业的理论、政策和政府管理作了富有意义的研究探讨,使本丛书在学术性方面提升了一大步。

由于房地产开发与经营的关联性强,对专业人才的理论、知识、技能的类别有多样性要求,加之该专业在国内外高校中尚未形成相对公认的课程体系,因此,要编写好这套丛书是相当困难的。可喜的是,参与丛书编写的所有同志都以十分认真负责的态度,付出了心血,尽了最大的努力,完成了这项艰巨的任务,值得庆贺!

唐 豪
2007年6月

前 言

房屋建筑力学与结构基础是房地产类相关人才必需掌握的一门专业（技术）基础课。通过本课程的学习，使学生掌握建筑力学的基本原理、基本理论和基本方法，具备将工程实践中的实际问题抽象为相应的力学计算公式进行求解的基本能力；使学生掌握工程结构的基本理论和实用设计方法，具备根据建筑工程项目的特点、性质、功能和业主要求正确、合理地进行工程结构设计的基本能力。

本书的主要内容包括：建筑力学基本概念，结构的计算简图，静定结构的内力计算，结构的应力和强度计算，结构的位移计算，建筑结构设计概论，钢筋混凝土结构，钢结构，砌体结构，地基与基础，建筑结构抗震基本知识，高层建筑结构的特点，建筑结构计算机辅助设计介绍等。本书结合作者多年的教学经验，集建筑力学与结构于一体，并按现行规范、标准编写。在编写过程中力求做到内容取材适当，前后衔接紧凑，简明易懂，理论联系实际，习题选取精练。

本书为上海大学房地产学院组织编写的《房地产管理系列丛书》之一，可供普通高等院校房地产类相关专业师生教学或教学参考使用。

本书由上海大学陆歆弘、同济大学蔡跃主编。其中第0~6章为陆歆弘编写，第7~13章由蔡跃编写。陆歆弘负责全书统稿。在本书编写过程中，得到了很多同志的支持，参考了不少相关教材，在此深表感谢。

限于编者的水平，书中难免存在一些缺点和错误，敬请广大教师和读者批评指正。

编者

2007年6月

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 0 绪论 | 1 |
| 0.1 建筑力学的任务和主要内容 | 1 |
| 0.2 建筑结构的类型 | 2 |
| 1 建筑力学基本概念 | 3 |
| 1.1 力的概念 | 3 |
| 1.2 静力学的基本公理 | 3 |
| 1.3 力矩与力偶 | 6 |
| 1.4 平面力系的合成与平衡 | 8 |
| 2 结构的计算简图 | 13 |
| 2.1 约束与约束反力 | 13 |
| 2.2 荷载的分类 | 15 |
| 2.3 结构计算简图 | 16 |
| 2.4 结构体系的几何组成分析 | 20 |
| 2.5 静定结构和超静定结构 | 24 |
| 3 静定结构的内力计算 | 27 |
| 3.1 杆件结构的分类 | 27 |
| 3.2 梁的内力及内力图 | 28 |
| 3.3 静定平面刚架 | 33 |
| 3.4 静定平面桁架 | 36 |
| 3.5 静定结构的基本特性 | 40 |
| 4 结构的应力和强度计算 | 45 |
| 4.1 应力和应变相关概念 | 45 |
| 4.2 材料拉压时的力学性质 | 48 |
| 4.3 截面的几何性质 | 51 |
| 4.4 梁的正应力强度计算 | 56 |
| 4.5 梁的剪应力强度计算 | 62 |
| 5 静定结构的位移计算 | 67 |
| 5.1 梁的变形 | 67 |
| 5.2 用叠加法计算梁的挠度 | 67 |
| 5.3 梁的刚度校核 | 69 |
| 5.4 提高梁刚度的措施 | 69 |
| 6 建筑结构设计概论 | 71 |
| 6.1 建筑结构的分类及其应用 | 71 |

| | | |
|-----------|-------------------|------------|
| 6.2 | 结构的功能及极限状态 | 73 |
| 6.3 | 结构荷载与荷载效应 | 74 |
| 6.4 | 建筑结构设计方法 | 78 |
| 7 | 钢筋混凝土结构 | 80 |
| 7.1 | 钢筋和混凝土的力学性能 | 80 |
| 7.2 | 钢筋混凝土受弯构件的一般构造 | 88 |
| 7.3 | 受弯构件正截面承载力计算 | 93 |
| 7.4 | 受弯构件斜截面承载力计算 | 108 |
| 7.5 | 钢筋混凝土受压构件 | 114 |
| 7.6 | 钢筋混凝土楼盖结构简介 | 119 |
| 7.7 | 《混凝土结构设计规范》简介 | 123 |
| 8 | 钢结构 | 127 |
| 8.1 | 钢结构的特点及应用范围 | 127 |
| 8.2 | 结构钢材的种类与选用 | 128 |
| 8.3 | 钢结构的基本构件 | 131 |
| 8.4 | 钢结构的连接 | 136 |
| 8.5 | 钢屋盖 | 141 |
| 8.6 | 《钢结构设计规范》介绍 | 145 |
| 9 | 砌体结构 | 148 |
| 9.1 | 砌体结构概述 | 148 |
| 9.2 | 砌体的承载力 | 150 |
| 9.3 | 混合结构房屋承重体系和静力计算方案 | 154 |
| 9.4 | 墙柱高厚比的验算 | 157 |
| 9.5 | 无筋砌体受压构件承载力计算 | 160 |
| 9.6 | 过梁、挑梁及墙体构造措施 | 163 |
| 9.7 | 《砌体结构设计规范》简介 | 166 |
| 10 | 地基与基础 | 169 |
| 10.1 | 土的工程性质 | 169 |
| 10.2 | 基础的类型及适用范围 | 173 |
| 10.3 | 浅基础设计 | 177 |
| 10.4 | 桩基础 | 178 |
| 10.5 | 《建筑地基基础设计规范》介绍 | 180 |
| 11 | 建筑结构抗震基本知识 | 183 |
| 11.1 | 地震的震级与烈度 | 183 |
| 11.2 | 抗震设防目标 | 185 |
| 11.3 | 建筑结构抗震措施 | 186 |
| 11.4 | 《建筑抗震设计规范》简介 | 189 |
| 12 | 高层建筑结构 | 193 |
| 12.1 | 高层建筑结构特点 | 193 |

| | | |
|-------------|-------------------------|------------|
| 12.2 | 高层建筑结构体系····· | 195 |
| 12.3 | 高层建筑结构布置的一般原则····· | 201 |
| 12.4 | 《高层建筑混凝土结构技术规程》简介····· | 203 |
| 13 | 建筑结构计算机辅助设计····· | 206 |
| 13.1 | 计算机在结构设计中的应用····· | 206 |
| 13.2 | 国内常用建筑结构设计软件简介····· | 207 |
| 附录 A | 钢结构用表····· | 212 |
| 附录 B | 轴心受压构件的稳定系数····· | 220 |

0 绪 论

0.1 建筑力学的任务和主要内容

建筑力学是一门技术基础课程，它为学生提供基本的力学知识和计算方法，为进一步学习相关的专业课程打下必要的基础。

建筑物无论是在建造过程中还是在使用时都会受到各种力的作用，一般情况下房屋建筑通常会受到下列一些作用力：①楼面活荷载——人群、家具设备等；②屋面活荷载——积雪、上人屋面的人群、施工（检修）荷载；③各构件自身重量——如楼板、墙身自重；④外墙面上的风力。这些力在工程上通常称为荷载。

建筑物中支承和传递荷载而起骨架作用的部分称为结构，而一个结构往往是由许多构件按一定形式组成的，如房屋结构由梁、板、墙、柱和基础等部件构成。这些结构和构件在承受荷载和传递荷载时会引起周围物体对它们的反作用（如地基对基础的反力），同时结构和构件本身因受荷载作用而将产生内力和变形，但结构本身具有一定的抵抗变形和破坏的能力。合理的结构及构件应该在施工和使用过程中满足下列两个方面的基本要求：

(1) 结构和构件在荷载作用下不能破坏，同时也不能产生过大的形状改变，即保证结构安全正常使用。

(2) 结构和构件所用的材料应尽可能少，降低工程造价。

盲目强调结构及构件的安全，势必会用好的材料、大的截面尺寸而造成浪费；反之，过分强调整约只会采用低等级材料、小的截面尺寸而降低安全性。所以，要合理解决安全与经济这对矛盾，使所设计的结构或构件既安全合理，又经济耐用。

建造一个庞大的建筑物之前，设计人员将对它的所有构件都一一进行受力分析，构件的尺寸大小、所用的材料、排列的位置都要通过计算来确定。这样才能保证建筑物的牢固和安全。这种繁复而细致的计算工作，必须要有科学的计算理论作为依据。建筑力学便是提供这些建筑结构受力分析和理论计算依据的一门学科。

建筑力学将讨论下列几方面的内容：

(1) 力系的简化和力系平衡问题。即结构和构件上所受到的各种力都要符合保持平衡状态的条件。

(2) 承载力问题。即研究结构和构件在荷载作用下其内部产生的力和结构抵抗破坏的能力。

(3) 刚度问题。即讨论结构和构件在荷载作用下的变形大小和抵抗变形的能力。

(4) 稳定问题。即讨论受压构件的稳定性，避免受压构件因过于细长，当压力超过一定值时突然从原来的直线形状变成曲线形状，改变受压工作性质而破坏，即失稳破坏。

(5) 研究杆件几何组成规则。即保证各部分不发生相对运动，使杆件体系能形成稳固

的结构体系。

0.2 建筑结构的类型

建筑物有各种不同的使用功能要求，因此有许多类型及分类方法。

根据建筑物的用途，可以分为工业建筑与民用建筑。

根据建筑物的层数，可以分为单层、多层、高层和超高层建筑。

根据建筑物所使用的结构材料可以分为：木结构、砌体结构、混凝土结构、钢结构和混合结构等。因木材来源少且有防火要求，木结构已很少使用。由于砌体材料的抗拉性能较差，纯粹的砌体结构很少，一般与其他材料混合使用，砌体材料多用于竖向构件，如砌体-木结构、砌体-混凝土结构。混合结构是指不同部位的结构构件由两种或两种以上结构材料组成的结构，如砌体-混凝土结构、混凝土-钢结构。同一部位的构件由不同结构材料组成一般称为组合结构，如钢管混凝土、组合楼板。

根据建筑物的结构形式，可以分为排架结构、框架结构、剪力墙结构、筒体结构和大跨结构等。

梁、柱铰接，在结构中称为排架，单层工业厂房常采用排架结构。这种结构对地基的不均匀沉降不敏感。框架又称为刚架，是目前多层房屋的主要结构形式。剪力墙结构和筒体结构主要用于高层建筑。

大跨结构包括桁架结构、网架结构、壳体结构、膜结构、拱结构和索结构。

随着科学技术水平的发展和人们对建筑物新的要求，会不断出现新的结构形式和结构材料。

上述各种基本结构形式可以组合，形成复合结构形式，如框架-剪力墙结构、网-壳结构等。不同的结构形式可以使用不同的材料，如混凝土排架结构、钢排架结构等。在后面的章节中将介绍几种最基本的结构形式。

1 建筑力学基本概念

1.1 力的概念

(1) 力的定义 力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变或引起物体变形。

(2) 力的三要素 力的大小、方向、作用点是力的三要素。力的三要素表明力是矢量，这个矢量可用一个带箭头的线段来表示，此有向线段的起点或终点表示力的作用点。本书中用黑体字 F 表示力矢量。图 1-1 就表示了物体在 A 点受到力 F 的作用。

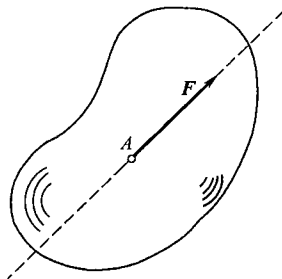


图 1-1 力对物体的作用

在力的三要素中，力的大小表示物体相互间机械作用的强弱程度；力的方向表示物体间的机械作用具有方向性；力的作用点表示物体所受机械作用的位置。力的三要素中的任何一个如有改变，则力对物体的作用效果也将改变。

(3) 力的单位 力的国际单位是 N (牛顿)。

(4) 力的作用效应 力对物体的作用要同时产生两种效应：运动效应与变形效应。改变物体运动状态的效应叫运动效应（或外效应），使物体变形的效应叫变形效应（或内效应）。

(5) 力系 作用在物体上的一组力称为力系。一个较复杂的力系，总可以用一个和它作用效果相等的简单力系来代替。在不改变作用效果的前提下，用一个简单力系代替复杂力系的过程，称为力系的简化或力系的合成。如果一个物体在两个力系分别作用下其效应相同，则此二力系称为等效力系。若一个力系与一个力等效，则此力称为力系的合力，而力系中的各力称为合力的分力。

(6) 平衡 物体相对于地面处于静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。平衡既是相对的，又是有条件的。要使物体平衡，作用在它上面的力系必须满足一定的条件，这些条件，称为力系的平衡条件。使物体平衡的力系称为平衡力系。

1.2 静力学的基本公理

在静力分析方面，经长期经验积累与总结，又经实践反复检验、证明，符合客观实际的普遍规律，称为静力学公理。它们是力学中基本的客观规律，是研究力系的简化和平衡的主要依据。

[公理 1] 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力可合成为作用于该点的一个力，此合力的大小和方向由

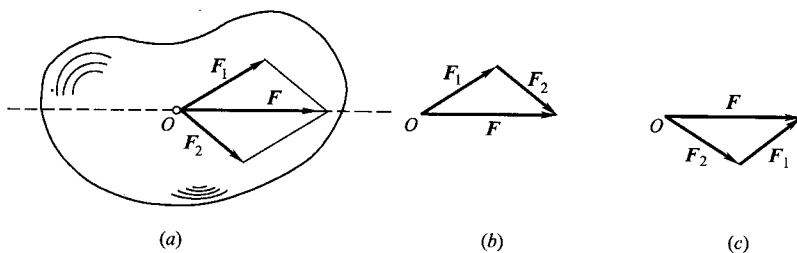


图 1-2 力的平行四边形、三角形法则

以原来二力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示 (图 1-2a)。

如以 F 表示合力, 以 F_1 、 F_2 分别表示原来的两个力 (称为分力), 则有:

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

即合力等于两分力的矢量和。为了简便, 在利用作图法求两共点力的合力时, 只须画出力平行四边形的一半即可。其方法是: 先从两分力的共同作用点 O 画出某一分力, 再自此分力的终点画出另一分力, 最后由 O 点至第二个分力矢量的终点作一矢量, 即为合力 F , 这称为力的三角形法则 (图 1-2b、图 1-2c)。

力的平行四边形法则是简单的力系合成的法则, 是力系合成、分解的基础。因每个矢量包含大小、方向两个量, 故式 (1-1) 共有六个量。要使合成、分解有惟一确定的解, 就必须知道任何四个量。

[公理 2] 二力平衡原理

刚体是指在外力作用下形状不改变的物体。刚体在两个力作用下保持平衡的充分必要条件是: 此二力等值、反向、共线。图 1-3 所示为某刚体同时受到等值、反向、共线的两个力 F 和 F' 的作用, 显然, 该刚体是平衡的。

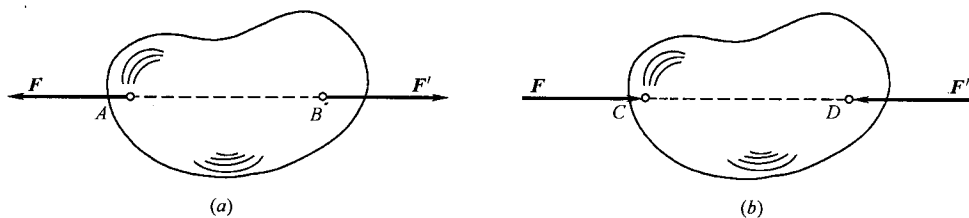


图 1-3 二力平衡原理

应当指出, 本原理只适用于刚体。对变形体, 这个平衡条件是不充分的。例如, 一根绳索两端受大小相等、方向相反的拉力能平衡, 若是压力则不能平衡。

[公理 3] 加减平衡力系原理

在作用于刚体上的任一力系中加入或减去一个平衡力系, 并不改变原来力系对刚体的作用效果。这就是加减平衡力系原理。

因平衡力系对刚体的运动效应为零, 它不能改变刚体的运动状态, 故本原理的正确性是显而易见的。而对于变形体, 加减平衡力系会改变其受力情况, 而引起物体内、外效应的改变, 故本原理只适用于刚体。

根据上述三个公理, 可以推导出下面两个重要的推论。

(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动，而不改变该力对刚体作用的效应。这就是力的可传性原理。设力 F 作用于刚体上的 A 点 (图 1-4a)。今在力的作用线上任选一点 B ，并于 B 点处加入互相平衡的两个力 F_1 与 F_2 (图 1-4b)，且使

$$F_1 = -F_2 = F$$

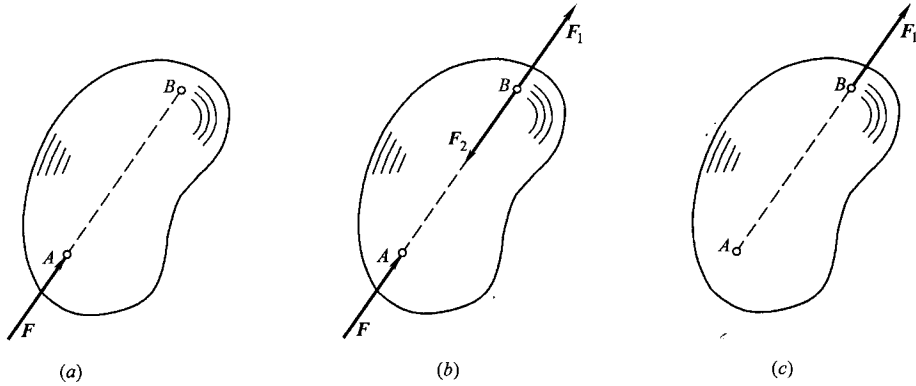


图 1-4 力的可传性

由加减平衡力系原理可知， F_1 、 F_2 、 F 三个力所组成的力系与原来的力 F 等效。再从该力系中减去由 F 与 F_2 组成的平衡力系后留下的力 F_1 (图 1-4c) 也应与原来的力 F 等效。由此力的可传性原理便得到了证明。

(推论 2) 三力平衡汇交定理

刚体上共面且不平行的三个力若平衡，则此三力的作用线必汇交于一点。这就是三力平衡汇交定理。设作用于刚体上的平衡力系由三个不平行的力 F_1 、 F_2 与 F_3 组成。且其中任意二力 (例如 F_1 与 F_2) 的作用线交于一点 O (图 1-5a)。今将力 F_1 与 F_2 均沿各自的作用线移到 O 点使其成为两共点力并求出它们的合力 F_{12} (图 1-5b)。由于 F_{12} 与其两分力 F_1 和 F_2 等效，所以 F_{12} 应与 F_3 平衡。再由二力平衡条件可知， F_3 必与 F_{12} 共线，亦即 F_3 的作用线也必通过 O 点并与 F_1 、 F_2 共面。

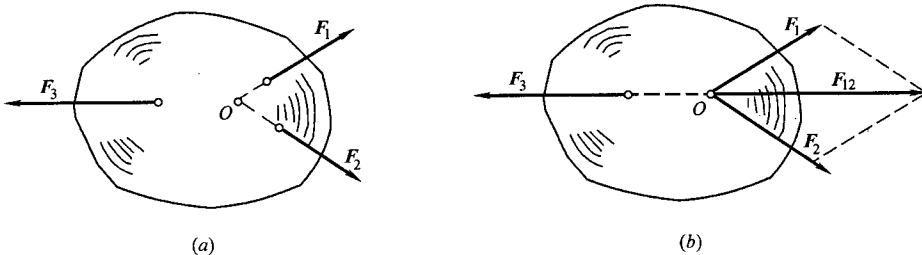


图 1-5 三力平衡汇交定理

[公理 4] 作用与反作用定律

两个物体之间的作用力和反作用力，总是大小相等、方向相反、作用线共线、且作用在不同的两个物体上。这一普通规律叫做力的作用与反作用定律。它指出了物体之间相互作用力的关系，同时也表明：对于两个相互作用的物体，力有成对出现的性质。人站在地面，则人对地面作用一个压力，而地面对人也作用一个向上的反力；当我们用拳头碰击墙

壁时，手给墙壁一个作用力，而拳头也会受到墙壁的一个反作用力。

1.3 力矩与力偶

1.3.1 力矩

1.3.1.1 力矩的定义与度量

由经验可知，一个力作用于刚体上会使物体发生移动或绕某点产生转动。这种使物体对于某一点（或某一轴）产生转动的效应，称为力矩，譬如，力 F 作用于刚体上的 A 点，使物体绕 O 点（或 n 轴）转动（图 1-6）， O 点到力作用线的垂直距离 h 称为力臂，力 F 的大小 F 与力臂 h 的乘积表示力矩的大小；显然，力矩的大小不仅与力有关，而且与矩心 O 自力作用线的距离有关。平面内对某点的力矩是标量，规定逆时针转动为正，顺时针转动为负。力矩大小的度量亦可用三角 OAB 的面积的两倍表示。力矩的单位是： $N \cdot m$ 。

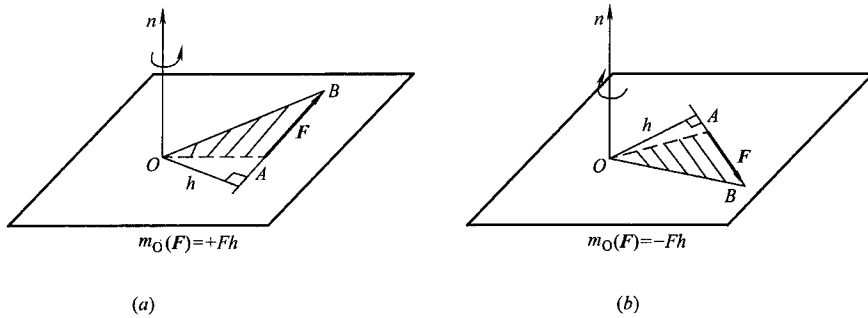


图 1-6 力矩的大小与正向

1.3.1.2 力矩的特性

- (1) 力矩的力沿其作用线移动时，力矩大小不变。
- (2) 力的大小为零或力的作用线通过矩心（即力臂 h 为零）时力矩为零。
- (3) 如已知力矩 $m_O(F)$ 以及力 F 的大小，可确定矩心到力作用线的垂直距离。

1.3.1.3 合力矩定理

平面内各分力的合力对平面内某一点的力矩，等于各分力对同一点力矩的代数和，称为合力矩定理。

1.3.1.4 力矩的平衡

杠杆的平衡是力矩平衡的典型应用。当杠杆保持平衡时，如图 1-7 所示，杠杆的平衡条件为：

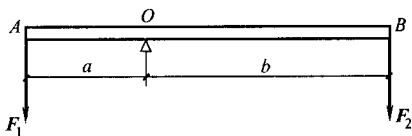


图 1-7 力矩的平衡

$$F_1 a = F_2 b$$

上式亦可改写为：

$$F_1 \cdot a + (-F_2 \cdot b) = 0$$

推广到物体受多个力矩作用时，其平衡条件为：

$$\sum m_O(F_i) = 0 \quad (1-2)$$

即力矩的平衡条件是作用在物体同一平面内的各力对支点的力矩代数和为零。

1.3.2 力偶

1.3.2.1 力偶的概念

由两个大小相等、方向相反、平行但不共线的力所组成的特殊力系，称为力偶，记为 (F, F') ，如图 1-8a 所示。力偶的两个力所在平面称为力偶作用平面，该二力间的垂直距离称为力偶臂，用 d 表示。力偶对物体作用的效应是使物体产生转动。例如，汽车司机转动方向盘、钳工套丝纹都是利用力偶来转动的。

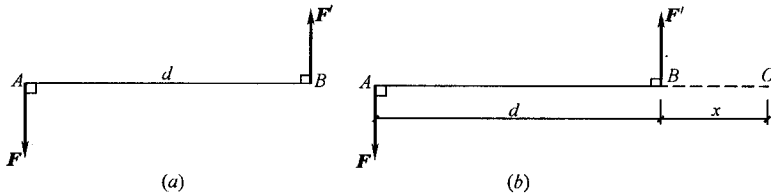


图 1-8 力偶的概念

力偶是一个特殊的力系，它没有合力。当然力偶也不能用一个力来与之相平衡。在后面将会讲到任何力系都可简化成一个力和一个力偶。从这个意义上讲，可以说力与力偶是静力学的两个独立的基本要素。

力偶对物体的转动效应可用力偶的两个力对某点 O 的力矩和度量。在图 1-8b 中取 O 点为矩心，设 O 点与力 F' 的距离为 x ，则其力矩和为：

$$m_O(F, F') = F(x+d) - F'x = F \cdot d$$

可见力偶对某点的力矩和与矩心位置无关，其值总等于力的大小与力偶臂的乘积。这一乘积称为力偶矩，用符号 m 表示。即：

$$m = \pm F \cdot d \quad (1-3)$$

式中，正负号表示力偶矩的转向。当逆时针转动时为正，反之为负。由此可知平面力偶矩是标量。力偶矩的单位和力矩的单位相同。

1.3.2.2 力偶的性质

力偶既然无合力，没有移动效应，只有转动效应，而转动效应又只决定于力偶矩，因此在刚体上同一平面内的两个力偶，如果它们的力偶矩相等，则两力偶等效。

基于上述性质，可得如下两个推论：

(1) 力偶可在其作用平面内任意搬移而不改变其对物体的效应。例如用双手操作方向盘，只要作用力是力偶，不论在位置 1-1 或位置 2-2 效果都是一样的（图 1-9a）。

(2) 只要保持力偶矩不变，可将力偶的力和力偶臂作相应的改变，而不会改变其对物体的效应。例如攻丝时，不论是力偶 (F_1, F'_1) ，还是力偶 (F_2, F'_2) （图 1-9b），只要 $F_1 d_1 = F_2 d_2$ ，转动效果均相同。

由以上两点推论可知，在研究有关力偶的问题时，只需考虑力偶矩而不必研究其力的大小、臂之长短以及力偶在平面内的位置。在力学与工程结构中用 $\cup M$ 或 $\circlearrowleft M$ 表示力偶， M 为力偶矩大小，弧线与箭头表示力偶的转向，如图 1-10 所示。

1.3.2.3 平面力偶系的合成与平衡条件

在同一平面内的多个力偶称为平面力偶系。平面力偶系可以合成为一个合力偶，其合力偶矩等于各分力偶矩的代数和。

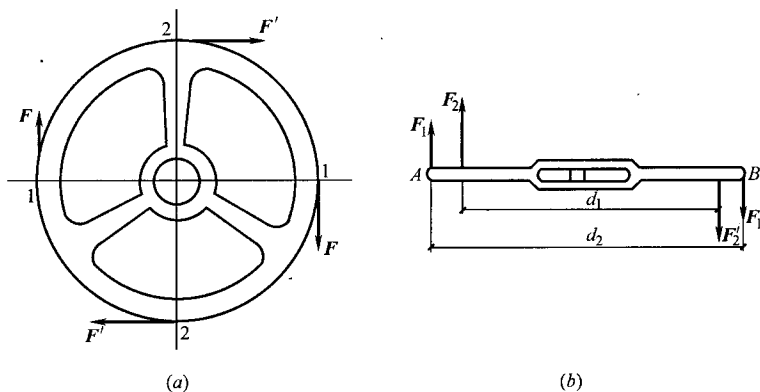


图 1-9 力偶的平移

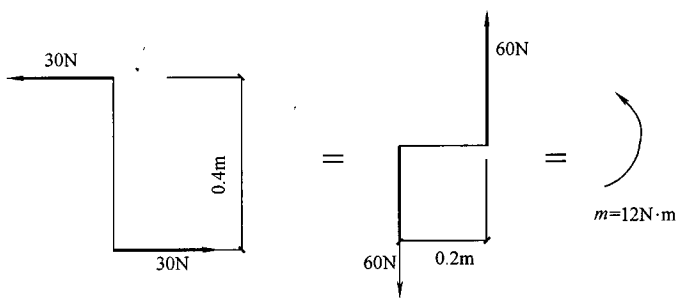


图 1-10 力偶的大小和转向

若在刚体某平面上作用的合力偶矩等于零，则此物体必不能转动。所以平面力偶系平衡的充分必要条件是：力偶系中各力偶的力偶矩代数和为零，即：

$$\sum m_i = 0 \quad (1-4)$$

1.4 平面力系的合成与平衡

多个力称为力系。若力系中诸力的作用线在同一平面内时，称为平面力系，不在同一平面内的称为空间力系。如果同一平面内的各力均汇交于一点，称为平面汇交力系。力线在同一平面内且相互平行的称为平面平行力系。既不平行也不完全相交于一点的，则称为一般力系。

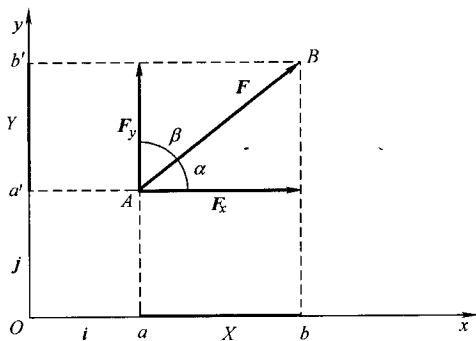


图 1-11 力在直角坐标系上的投影

1.4.1 力在直角坐标轴上的投影

在 xOy 坐标系内，若力 F 作用于物体 A 点，与 x 轴夹角为 α ，与 y 轴夹角为 β ，如图 1-11 所示。从力 F 的两端 A 、 B 分别向 x 轴与 y 轴作垂线，得垂足 a 、 b 及 a' 、 b' 。将线段 ab 的长度冠以正、负号，称为力 F 在 x 轴上的投影，记作 X ；线段 $a'b'$ 为力 F 在 y 轴上的投影，记作 Y 。投影的正负规定如下：从 a 到 b 的指向与 x 轴正向一致时，投影 X