

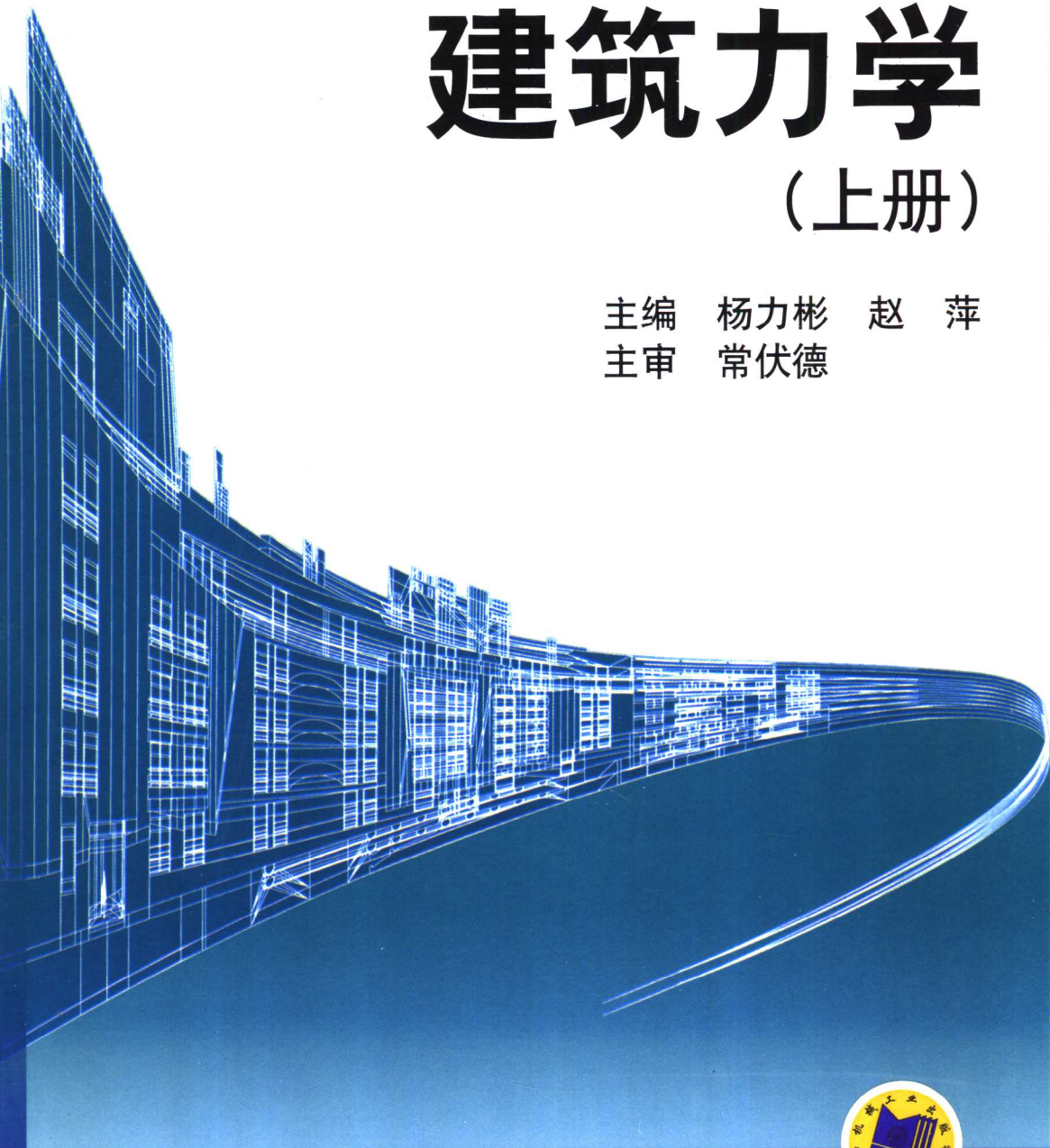


世纪建筑工程系列规划教材

建筑力学

(上册)

主编 杨力彬 赵 萍
主审 常伏德



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪建筑工程系列规划教材

建 筑 力 学

上 册

主 编	杨力彬	赵 萍		
副主编	闫海琴	孙长青		
参 编	段贵明	梁宝英	马晓健	赵素兰
主 审	常伏德			



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部对高等职业教育的最新要求编写的。

全书共三篇,分上、下两册。上册包括力系的合成与平衡和材料的强度、刚度和稳定性两篇。主要内容有:力的基本性质与物体的受力分析,平面汇交力系,力对点的矩与平面力偶系,平面一般力系,空间力系,杆件的变形形式,轴向拉伸和压缩,剪切与挤压,扭转,平面图形的几何性质,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态和强度理论,组合变形,压杆稳定等。各章均有小结、思考题和习题。书末附有部分习题答案。

本书可作为高职高专、成人高校的建筑工程、道路与桥梁、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参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学.上册/杨力彬,赵萍主编. —北京:机械工业出版社, 2004.7

21世纪建筑工程系列规划教材

ISBN 7-111-14769-3

I. 建... II. ①杨... ②赵... III. 建筑力学 - 高等学校 - 教材
IV. TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第060207号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:李俊玲 季顺利 版式设计:冉晓华 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年8月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·11.625印张·450千字

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书按照高职高专人才的培养目标及教育的特点,结合编者多年从事教学的经验编写而成。本书的特点是:以必要和够用为准则,强化应用为重点。简化了对一些理论的推导和证明,对土木工程较实用的内容列举了较多的例题,并在各章后提供了思考题和习题,同时在附录中附有部分习题答案。

本书可作为高职高考、成人高校等建筑工程、道路与桥梁、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参考用书。

本书分上、下两册,由杨力彬、赵萍任主编,闫海琴、孙长青任副主编。参加本书编写工作的有:山西建筑职业技术学院段贵明(第一、二、三、五章及绪论);山西建筑职业技术学院杨力彬(第四、六、七、八章);山西工业职业技术学院梁宝英(第九、十章);山西建筑职业技术学院闫海琴(第十一、十二、十三章);山西建筑职业技术学院马晓健(第十四、十五、二十三章);内蒙古建筑职业技术学院孙长青(第十六、二十二章);石家庄职业技术学院赵萍(第十七、十八、二十一、二十四章);山西建筑职业技术学院赵素兰(第十九、二十章)。长春工程学院常伏德教授任主审。

在本书的编写过程中,参考了部分相同学科教材等文献(见书后“参考文献”),在此向文献的作者表示感谢。

主审常伏德教授对本书进行了严谨、认真的审稿,并提出了许多宝贵意见,在此谨向他表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免有欠妥和不足之处,恳请广大读者及同仁批评指正,以便再版时修订。

编 者

2004年4月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一篇 力系的合成与平衡

引言	5
----------	---

第一章 力的基本性质与物体的受力分析	5
--------------------------	---

第一节 基本概念	5
----------------	---

第二节 静力学公理	7
-----------------	---

第三节 工程中常见的约束与约束反力	10
-------------------------	----

第四节 物体的受力分析和受力图	13
-----------------------	----

小结	18
----------	----

思考题	18
-----------	----

习题	19
----------	----

第二章 平面汇交力系	21
------------------	----

第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	21
---------------------------	----

第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	25
---------------------------	----

小结	31
----------	----

思考题	32
-----------	----

习题	33
----------	----

第三章 力对点的矩与平面力偶系	35
-----------------------	----

第一节 力对点的矩的概念及计算	35
-----------------------	----

第二节 力偶及其基本性质	37
--------------------	----

第三节 平面力偶系的合成与平衡	40
-----------------------	----

小结	41
----------	----

思考题	42
-----------	----

习题	43
----------	----

第四章 平面一般力系	45
------------------	----

第一节 平面一般力系向作用面内任一点简化	46
----------------------------	----

第二节 平面一般力系的平衡方程及其应用	54
---------------------------	----

第三节 平面平行力系的平衡方程	60
-----------------------	----

第四节 物体系统的平衡问题	63
---------------------	----

第五节 考虑摩擦时的平衡问题	69
----------------------	----

小结	74
思考题	76
习题	79
第五章 空间力系	86
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	86
第二节 力对轴之矩	88
第三节 空间力系的平衡方程	90
第四节 重心	92
小结	97
思考题	99
习题	99
第二篇 杆件的强度、刚度和稳定性	
引言	101
第六章 变形固体的基本知识与杆件的变形形式	103
第一节 变形固体及其基本假设	103
第二节 杆件变形的基本形式	104
思考题	106
第七章 轴向拉伸和压缩	107
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	107
第二节 轴向拉(压)杆的内力	108
第三节 轴向拉(压)杆的应力	112
第四节 轴向拉(压)杆的变形及胡克定律	116
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性质	121
第六节 许用应力、安全系数和强度计算	126
第七节 应力集中的概念	131
小结	132
思考题	134
习题	135
第八章 剪切与挤压	140
第一节 剪切与挤压的概念	140
第二节 剪切的实用计算	142
第三节 挤压的实用计算	143
小结	146
思考题	147
习题	147
第九章 扭转	149
第一节 扭转的概念	149

第二节 圆轴扭转时横截面上的内力	150
第三节 薄壁圆筒的扭转	154
第四节 圆轴扭转时横截面上的应力	156
第五节 圆轴扭转的强度计算	162
第六节 圆轴扭转的变形与刚度计算	165
第七节 矩形截面杆的扭转	169
小结	171
思考题	173
习题	174
第十章 平面图形的几何性质	177
第一节 静矩	177
第二节 惯性矩、惯性积、惯性半径	180
第三节 组合图形的惯性矩	184
第四节 形心主惯性轴、形心主惯性矩	188
小结	190
思考题	192
习题	193
第十一章 弯曲内力	195
第一节 平面弯曲的概念	195
第二节 梁的内力	197
第三节 梁的内力图	204
第四节 弯矩、剪力和荷载集度之间的微分关系及其应用	211
小结	217
思考题	218
习题	220
第十二章 弯曲应力	224
第一节 梁的正应力及正应力强度计算	224
第二节 梁的切应力及切应力强度计算	237
第三节 提高梁抗弯强度的措施	245
小结	249
思考题	251
习题	254
第十三章 弯曲变形	258
第一节 梁的挠度和转角	258
第二节 梁的挠曲线近似微分方程	259
第三节 积分法计算梁的挠度和转角	261
第四节 叠加法计算梁的挠度和转角	268
第五节 梁的刚度校核与提高梁刚度的措施	271

小结	274
思考题	276
习题	277
第十四章 应力状态和强度理论	279
第一节 应力状态的概念	279
第二节 平面应力状态分析的解析法	281
第三节 平面应力状态分析的图解法	283
第四节 梁的主应力迹线的概念	288
第五节 平面应力状态下的广义胡克定律	289
第六节 强度理论	291
小结	297
思考题	299
习题	299
第十五章 组合变形	302
第一节 组合变形的概念	302
第二节 斜弯曲	303
第三节 拉伸（压缩）与弯曲的组合变形	307
第四节 偏心压缩（拉伸）与截面核心	310
小结	314
思考题	315
习题	316
第十六章 压杆稳定	318
第一节 压杆稳定的概念	318
第二节 细长压杆的临界力	319
第三节 临界应力与欧拉公式的适用范围	322
第四节 压杆的稳定计算	324
第五节 提高压杆稳定性的措施	333
小结	335
思考题	335
习题	336
附录	339
附录 A 型钢表	339
附录 B 部分习题参考答案	352
参考文献	362

绪 论

凡是有人类活动的地方，处处可以见到各种各样的建筑物，如图 0-1 所示。这些建筑物是人类生产、生活的必要场所。在这些建筑物中，所有承受力的部分，如梁、板、墙、柱等，都必须运用建筑力学知识进行科学地分析计算，才能确保建筑物的正常使用。

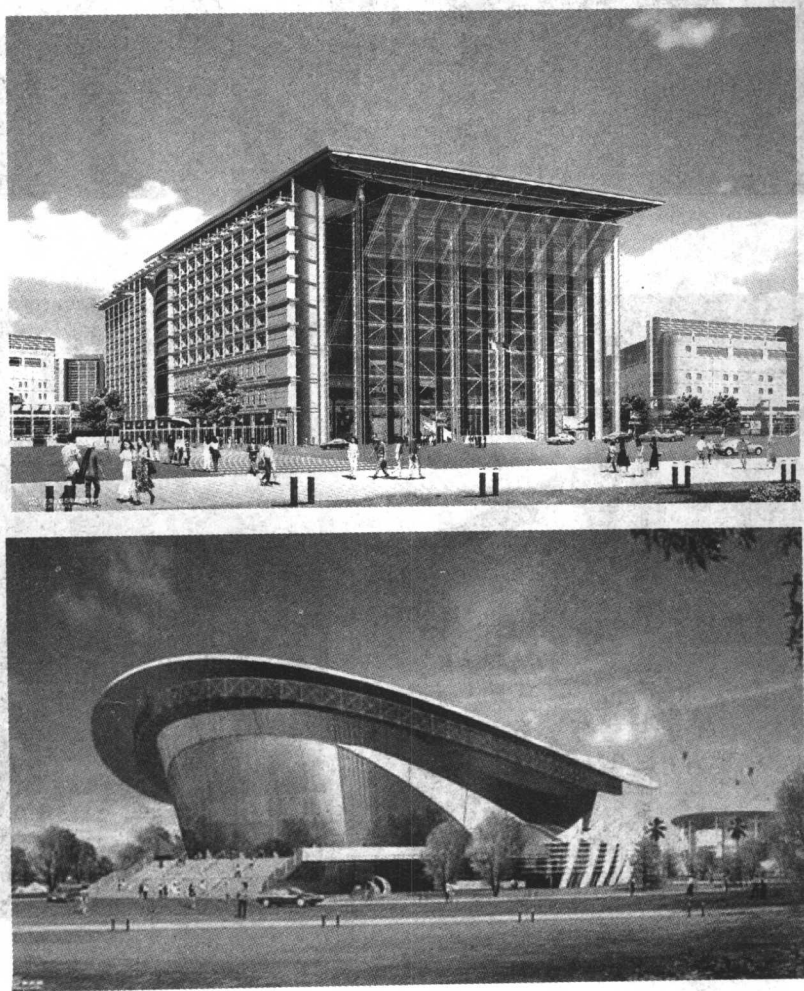


图 0-1



图 0-1 (续)

在进入各种具体问题讨论之前,下面先就建筑力学的研究对象、主要任务以及基本内容作一简介,以便读者对本课程有一个总体的了解。

一、建筑力学的研究对象

建筑物从开始建造的时候起,就承受各种力的作用。如楼板在施工中除承受自身的重量外,还承受工人和施工机具的重量;承重外墙承受楼板传来的压力和风力;基础则承受墙身传来的力。在工程中习惯将这些主动作用在建筑物上的力叫做**荷载**。在建筑物中承受并传递荷载而起骨架作用的部分叫做**建筑结构**,简称**结构**。组成结构的单个物体叫**构件**,梁、板、墙、柱、基础等都是常见的构件。构件一般分三类,即杆件(一个方向的尺寸远大于另两个方向的尺寸的构件)、薄壁构件(一个方向的尺寸远小于另两个方向的尺寸的构件)和实体构件(三个方向的尺寸都较大的构件)。在结构中应用较多的是杆件,如梁和柱(图0-2a、b)是单个构件的结构;屋架(图0-2c)是由许多杆件组成的结构;排架结构(图0-2d)是由两根竖柱将屋架和基础连接而成的结构,也属于由杆件组成的结构。

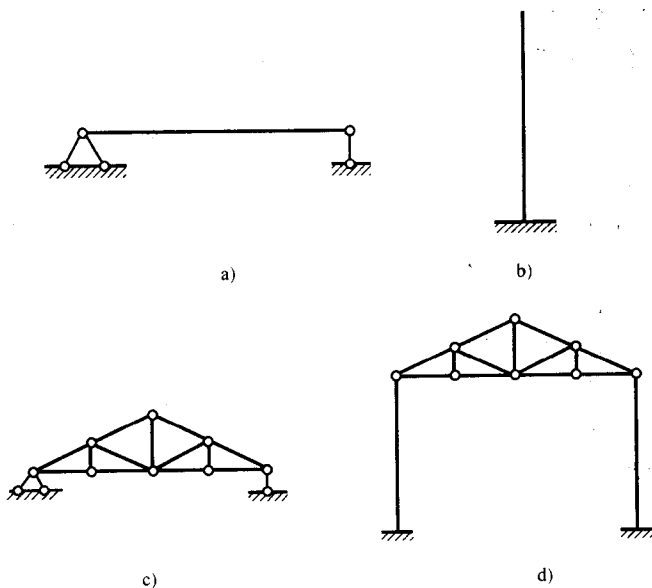


图 0-2

对土建类专业来讲,建筑力学的主要研究对象就是杆件和杆件结构。

二、建筑力学的主要任务

建筑结构和构件都有承受多大荷载的问题,建筑力学就是研究结构和构件承载能力的科学。承载能力就是承受荷载的能力,它主要包括结构和构件的强度、刚度和稳定性。

(1) **强度** 强度是指结构或构件抵抗破坏的能力。结构能安全承受荷载而不破坏, 就认为满足强度要求。

(2) **刚度** 刚度是指结构或构件抵抗变形的能力。任何结构或构件在外力作用下都会产生变形, 在一定荷载作用下, 刚度愈小的构件, 变形就愈大。工程上根据不同用途, 对各种结构和构件的变形给予一定的限制。如果结构或构件的变形被限制在允许的范围内, 就认为满足刚度要求。

(3) **稳定性** 稳定性是指构件保持原有平衡状态的能力。如受压的细长直杆在压力不大时, 可以保持原有的直线平衡状态; 当压力增大到一定数值时, 便会突然变弯而丧失工作能力。这种现象就称为压杆失去稳定, 简称失稳。构件失稳会产生严重的后果。因此必须保证结构和构件有足够的稳定性。

为了保证结构和构件具有足够的承载力, 一般来说, 都要选择较好的材料和截面较大的构件, 但任意选用较好的材料和过大的截面, 势必造成优材劣用、大材小用, 造成巨大的浪费。于是建筑中的安全和经济就形成了一对矛盾。建筑力学的任务就是为解决这一矛盾提供必要的理论基础和计算方法。

三、建筑力学内容简介

建筑力学分为力系的简化与平衡, 材料的强度、刚度与稳定性, 结构的内力和位移计算三个部分。

第一部分讨论力系的简化、平衡及对构件(或结构)进行受力分析的基本理论和方法; 第二部分讨论构件受力后发生变形时的承载力问题, 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; 第三部分讨论杆件体系的组成规律及其内力和位移的问题。

四、建筑力学的学习方法

建筑力学是土建类专业的一门重要的专业基础课, 学习时要注意理解它的基本原理, 掌握它的分析问题的方法和解题思路, 切忌死记硬背; 还要多做练习, 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; 另外对做题中出现的错误应认真分析, 找出原因, 及时纠正。

第一篇 力系的合成与平衡

引 言

本篇要讨论力系的合成（简化）和力系的平衡。

在一般情况下，房屋建筑的结构或构件总是同时受到若干个力的作用，我们把同时作用在物体上的一群力，称为力系。作用在物体上的力是非常复杂的，力学分析中，在不改变力系对物体作用效果的前提下，用一个简单的力系来代替复杂的力系，就称为力系的合成（力系的简化）。对物体作用效果相同的力系称为等效力系。

物体在力系作用下，相对于地球静止或作匀速直线运动，称为平衡。平衡是物体运动的一种特殊形式。如房屋、桥梁、大坝相对于地球是静止的；作匀速直线飞行的飞机、在直线轨道上作匀速运动的火车、沿直线匀速下降的电梯等相对于地球是作匀速直线运动的，这些都是平衡的实例。它们有一个共同的特点就是运动状态没有变化，建筑力学中把运动状态没有变化的特殊情况称为平衡状态。一般情况下，力系作用会使物体的运动状态发生变化，只有当力系满足一定条件时，才能使物体处于平衡状态。满足平衡状态的力系称为平衡力系。物体在力系作用下处于平衡时应满足的条件，称为力系的平衡条件。

建筑物及其构件在一般情况下都应处于平衡状态，故建筑力学首先要研究的是力系的平衡问题。

第一章 力的基本性质与物体的受力分析

第一节 基本概念

一、刚体的概念

在外力作用下，几何形状、尺寸的变化可忽略不计的物体，称为刚体。它是实际物体理想化的模型。实际物体在力的作用下，都会产生程度不同的变形，

但这些微小的变形，对平衡问题的研究影响很小，可以忽略不计。在本书第一篇中所研究的物体都看作是刚体。

二、力的概念

力是物体间相互的机械作用，这种相互作用会使物体的运动状态发生变化（外效应）或使物体发生变形（内效应）。

力的概念是从劳动中产生的，并通过生活和生产实践不断加深和完善。如在建筑工地劳动，人们拉车、弯钢筋时，由于肌肉紧张，我们感到用了“力”。吊车起吊构件时，同样感觉到吊车用“力”把重物吊起等。

力的作用方式是多种多样的。物体间相互接触时，会产生相互间的推、拉、挤、压等作用力；物体间不接触时，也能产生相互间的吸引力或排斥力。如地球引力场对于物体的引力，电场对于电荷的引力和斥力等。

实践证明，力对物体的作用效果取决于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。

1. 力的大小

力是有大小的。力的大小表明物体间相互作用的强弱程度。

国际单位制中，力的单位是 N（牛顿）或 kN（千牛顿）。

$$1\text{kN（千牛顿）} = 1000\text{N（牛顿）}$$

2. 力的方向

力不但有大小，而且还有方向。在不改变力的大小而只改变力的方向时，会产生不同的作用效果。

3. 力的作用点

力的作用点表示两物体间相互作用的位置。力的作用位置实际上有一定的范围，当作用范围与物体相比很小时，可以近似地看作是一个点。

力对物体的作用效果，取决于力的大小、方向和作用点。这三个要素中的任一要素改变时，都会对物体产生不同的效果。因此，在描述一个力时，必须全面表明这个力的三要素。

力是一个有方向和大小的量，所以力是矢量。通常可以用一段带箭头的线段来表示力的三要素。线段的长度（按预先选定的比例）表示力的大小；线段与某定直线的夹角表示力的方位，箭头表示力的指向；带箭头线段的起点或终点表示力的作用点。如图 1-1 所示的力 F ，选定的基本长度表示 100kN，按比例量出力 F 的大小是 300kN，力的方向与水平线间的夹角成 45° ，指向右上方，作用在物体的 A 点上。

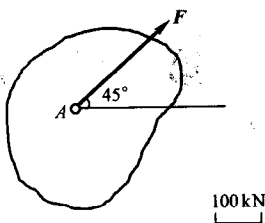


图 1-1

一般用黑体字母 F 表示力矢量，明体字母 F 只表示力矢量的大小。

第二节 静力学公理

人们在长期生活和生产活动中，通过反复观察、实验和总结，得出了关于静力的最基本的客观规律，这些客观规律称为静力学公理。它们是研究力系简化和平衡问题的基础。

公理 1 力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，合力的作用点也在该点，合力的大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定，如图 1-2 所示。

这个公理是复杂力系合成（简化）的基础，它揭示了力的合成是遵循矢量加法的。只有当两个力共线时，才能用代数加法。

根据这一公理作出的平行四边形称为力的平行四边形。

运用这个公理可以将两个共点的力合成为一个力；同样，一个已知力也可以分解为两个力。但需注意，一个已知力分解为两个分力可有无数个解。这是因为以一个线段为对角线的平行四边形可作无数个。如图 1-3 所示，力 F 既可

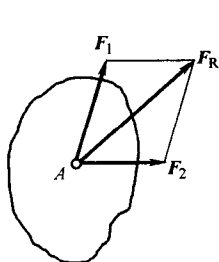


图 1-2

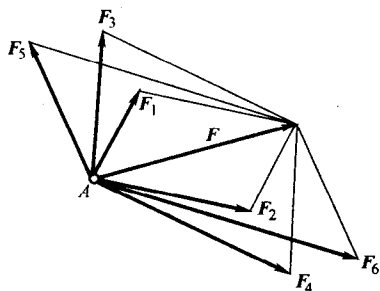


图 1-3

分解为 F_1 和 F_2 ，也可分解为 F_3 和 F_4 及 F_5 和 F_6 等等。若想得出惟一解答，必须有限定条件。如给定一分力的大小和方向求另一分力，或给定两分力的方向求其大小等等。

工程实际中，常将一个力 F 沿直角坐标轴 x 、 y 分解，得到两个相互垂直的分力 F_x 和 F_y ，此时力的平行四边形中两个分力间的夹角为 90° ，如图 1-4 所示。这样，就可应用简单的三角函数关系，求得每个分力的大小。即

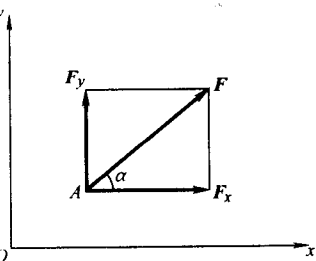


图 1-4

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中, α 为力 F 与 x 轴之间所夹的锐角。

公理 2 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力, 使刚体处于平衡的必要和充分条件是: 这两个力大小相等, 方向相反, 且在同一直线上, 如图 1-5 所示。

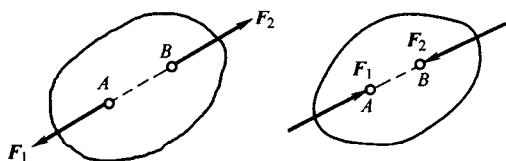


图 1-5

这个公理说明一个刚体在两个力作用下平衡时必须满足的条件。对于刚体而言, 这个条件是既必要又充分的; 但对于非刚体, 这个条件是不充分的。如软绳受两个等值反向的拉力作用可以平衡, 而受两个等值反方向的压力作用就不能平衡。

公理 3 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系, 并不改变原力系对刚体的作用效果。也就是说, 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是相同的, 可以等效代换。

因为平衡力系不会改变物体的运动状态 (静止或匀速直线运动), 所以在刚体上加上或去掉任意平衡力系, 是不会改变刚体的运动状态的。这个公理对于研究力系的简化问题很重要。

推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上某点的力, 可以沿着它的作用线移动到刚体内任意一点, 而不改变该力对刚体的作用效果。

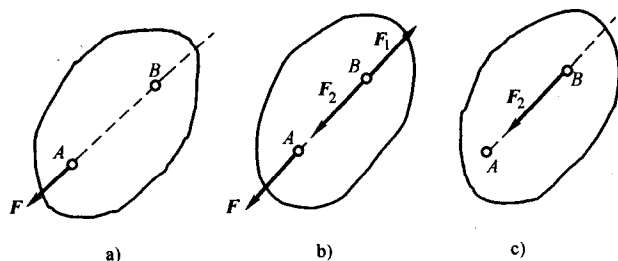


图 1-6

证明：

1) 设力 F 作用在物体 A 点 (图 1-6a)。

2) 根据加减平衡力系公理，可在力的作用线上任取一点 B ，加上一个平衡力系 F_1 和 F_2 ，并使 $-F_1 = F_2 = F$ (图 1-6b)。

3) 由于力 F 与 F_1 是一个平衡力系，可以去掉，所以只剩下作用在 B 点的力 F_2 (图 1-6c)。

4) F_2 与原力等效，就相当于把作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到 B 点。

由力的可传性原理可知，对于刚体来说，力的作用点已被作用线所取代，不再是决定力作用效果的要素。所以，力的三要素可改为：力的大小、方向和作用线。

推论 2 三力平衡汇交定理

作用于同一刚体上共面而不平行的三个力使刚体平衡时，则这三个力的作用线必汇交于一点。

证明：

1) 设有三个共面不平行的力 F_1 、 F_2 、 F_3 分别作用于同一刚体上的 B 、 C 、 A 三点而平衡 (图 1-7)。

2) 由力的可传性原理，将 F_1 、 F_2 移到该两力作用线交点 O ，并按力的平行四边形公理合成为合力 F_R ， F_R 也作用于 O 点。

3) 因 F_1 、 F_2 、 F_3 平衡，则 F_R 应与 F_3 平衡。由二力平衡公理可知， F_3 必定与合力 F_R 共线。于是 F_3 也通过 F_1 与 F_2 的交点 O 。

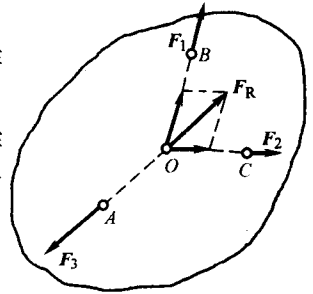


图 1-7

利用三力平衡汇交定理，可确定物体在共面但不平行的三个力作用下平衡时，某一个未知力的方向。

公理 4 作用与反作用公理

两物体间的作用力与反作用力，总是大小相等、方向相反，沿同一直线并分别作用于两个物体上。

这个公理概括了两个物体间相互作用的关系。力总是成对出现的，有作用力必定有反作用力，且总是同时产生又同时消失的。如将物体 A 放置在物体 B 上时 (图 1-8a)， F 是物体 A 对物体 B 的作用力，作用在物体 B 上， F' 是物体 B 对物体 A 的反作用力，作用在物体 A 上； F 与 F' 是作用力与反作用力关系，即大小相等 ($F = F'$)、方向相反 (F 指向下方， F' 指向上方)、沿同一作用线 (图 1-8b)。

必须注意：不能把作用力与反作用力公理与二力平衡公理相混淆。虽然作用力与反作用力大小相等、方向相反、沿同一直线，但分别作用于两个物体上，