



21世纪 高职高专通用教材

建筑力学



● 潘立本 主编

上海交通大学出版社

建筑力学

主 编 潘立本
副主编 王武林 董卫华 张流芳

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是根据建设部建设类专科专业指导小组确定的高职高专土建类多学时专业力学课程教学的基本要求编写而成的,是高职高专课程体系改革的成果。全书力求体现高职高专教育的特点,把静力学、材料力学和结构力学的有关内容重新整合,减少了重复,加强了系统性。

全书共五篇 21 章,第一篇为静力分析;第二篇为静定结构分析;第三篇为杆件强度计算和刚度校核;第四篇为结构位移计算与超静定结构受力分析;第五篇为结构性能的进一步讨论。

本书可作为高职高专及成人大专土建类专业多学时教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 / 潘立本主编. — 上海:上海交通大学出版社,2002
21 世纪高等职业技术教育通用教材
ISBN 7-313-02782-6

I. 建… II. 潘… 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(2001)第 056638 号

建筑力学

潘立本 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市华顺印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21.75 字数:530 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

印数:1~3 050

ISBN 7-313-02782-6/TU·049 定价:30.00 元

版权所有 侵权必究

21 世纪高等职业技术教育通用教材

编审委员会

主任名单

(以姓氏笔划为序)

编审委员会顾问

白同朔 詹平华

编审委员会名誉主任

王式正 叶春生

编审委员会主任

闵光太 潘立本

编审委员会常务副主任

东鲁红

编审委员会副主任

王永祥	王俊堂	王继东	牛宝林
东鲁红	冯伟国	朱家建	朱懿心
吴惠荣	房世荣	郑桂富	赵祥大
秦士嘉	黄 斌	黄永刚	常立学
薛志兴			

序

发展高等职业技术教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年青的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工程学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和需求的教材却还不多。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙洲职业工学院、上海交通高等职业技术学院、上海交通大学技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、立信会计高等专科学校、江阴职工大学、江南学院、常州技术师范学院、苏州职业大学、锡山职业教育中心、上海商业职业技术学院、潍坊学院、上海工程技术大学等百余所院校长期从事高等职业教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21世纪高等职业技术教育通用教材》,将由上海交通大学出版社等陆续向读者朋友推出,这是一件值得庆贺的大好事,在此,我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大,花色品种甚多,是一项浩繁而艰巨的工程,除了高职院校和出版社的继续努力外,还要靠国家教育部和省(市)教委加强领导,并设立高等职业教育教材基金,以资助教材编写工作,促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才岗位与岗位群能力为中心,理论教学与实践训练并重,二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成绩的同时,有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划,加以灵活运用,并随着教学改革的深入,进行必要的充实、修改,使之日臻完善。

阳春三月,莺歌燕舞,百花齐放,愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园,群芳争妍,为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献!

叶春生

前 言

高等职业教育的发展给我们提出了许多新的课题,其中教学内容的改革是最基本的问题之一。本教材是基于建设部建设类专科专业指导小组经多轮研讨确定的高职高专土建类多学时专业力学课程教学的基本要求编写而成的,适合高职高专和成人大专土建类专业选用。

本教材力求符合高职高专教育人才培养的要求,以专业必须掌握的力学知识为依据,把静力学、材料力学和结构力学的有关内容重新整合,建立高职高专要求的新的体系。

本教材共五篇 21 章。第一篇共三章,主要内容为静力分析:包括静力学基础、力系和力系的平衡;第二篇共六章,主要内容为静定结构受力分析:把理论力学和结构力学中静定部分整合在一起,避免了重复,本篇包括了几何组成分析、静定结构的反力、内力求解;第三篇共五章,主要内容为杆件的强度计算和刚度校核:包括杆件的拉、压、剪、弯、扭时的强度和刚度;第四篇共四章,主要内容为结构的位移计算和超静定结构的受力分析:包括静定结构的位移计算和力法、位移法及力矩分配法;第五篇共三章,主要内容为结构性能的进一步讨论:包括影响线、结构稳定分析和结构动力学基础,其中稳定分析不作要求,可作为讲座或选修时讲授,本教材参考教学时间为 160 学时。

参加本书编写的有潘立本、王武林、董卫华、张流芳、范国庆、王孟武、刘如兵、王晓天、陈蓓和范网田。

限于水平,本教材会有许多不足之处,恳请指正。

编 者

2001 年 7 月

目 录

第一篇 静力学分析

第 1 章 静力学基础知识	3
1.1 静力学基本概念	3
1.2 静力学公理	4
1.3 约束与约束力	7
1.4 受力分析与受力图.....	11
1.5 合力投影定理.....	14
1.6 力矩、合力矩定理	16
1.7 力偶及其性质.....	17
习题	19
第 2 章 平面任意力系	22
2.1 力的平移定理.....	22
2.2 平面任意力系的简化.....	23
2.3 平面任意力系的平衡条件.....	28
2.4 物体系统的平衡.....	34
习题	36
第 3 章 摩擦	40
3.1 滑动摩擦.....	40
3.2 考虑有摩擦时物体平衡问题.....	41
习题	45

第二篇 静定结构受力分析

第 4 章 平面杆件结构的简化和分类	49
4.1 平面杆件结构的简化和分类.....	49
4.2 平面杆件结构的分类.....	51
4.3 荷载分类.....	53

第 5 章 平面体系的几何组成分析	54
5.1 基本概念	54
5.2 几何不变体系的简单组成规则	55
5.3 几何组成与静定性的关系	58
习题	58
第 6 章 静定梁	61
6.1 单跨静定梁	61
6.2 多跨静定梁	66
习题	67
第 7 章 静定平面刚架	70
7.1 概述	70
7.2 静定刚架的内力计算	71
7.3 静定刚架内力图的绘制	73
习题	77
第 8 章 三铰拱的内力计算	79
8.1 概述	79
8.2 三铰拱的反力和内力	80
8.3 三铰拱的合理轴线	83
习题	85
第 9 章 静定平面桁架	86
9.1 概述	86
9.2 桁架内力计算	87
9.3 组合结构	92
习题	94

第三篇 杆件的强度计算和刚度校核

第 10 章 轴向拉伸与压缩	97
10.1 拉、压杆的应力	97
10.2 拉、压杆的强度计算	102
10.3 拉、压杆的变形计算	105
10.4 拉伸与压缩时材料的力学性能	108
习题	115

第 11 章 剪切	118
11.1 概述	118
11.2 剪切实用计算	118
11.3 挤压实用计算	121
11.4 剪切胡克定律	123
习题	124
第 12 章 扭转	127
12.1 概述	127
12.2 圆轴扭转时的内力	127
12.3 圆轴扭转时的应力	129
12.4 圆轴扭转时的强度计算	132
习题	134
第 13 章 弯曲	137
13.1 概述	137
13.2 纯弯曲时横截面上正应力	138
13.3 惯性矩和抗弯截面模量	142
13.4 梁的弯曲强度	145
13.5 弯曲变形	148
13.6 提高梁强度与刚度的主要措施	149
习题	153
第 14 章 组合变形	156
14.1 强度理论概念	156
14.2 组合变形的概念	159
14.3 拉(压)弯组合的强度计算	160
14.4 弯扭组合时的强度计算	163
习题	167

第四篇 结构位移计算与超静定结构受力分析

第 15 章 静定结构的位移计算	173
15.1 概述	173
15.2 虚功和虚功原理	174
15.3 静定结构在荷载作用下的位移	178
15.4 图乘法	183

15.5	温度变化和支座移动引起的结构位移	189
15.6	线弹性体系的互等定理	193
	习题	196
第 16 章	力法	199
16.1	概述	199
16.2	超静定次数的确定	200
16.3	力法的基本概念	200
16.4	力法典型方程	202
16.5	力法计算荷载作用下的超静定结构	204
16.6	对称性的利用	217
16.7	力法计算温度改变和支座移动时的超静定结构	222
16.8	超静定结构的位移计算和最后内力图的校核	227
	习题	231
第 17 章	位移法	236
17.1	等截面直杆的转角位移方程	236
17.2	位移法基本概念	240
17.3	位移法典型方程	242
17.4	用平衡条件建立位移法方程	254
	习题	255
第 18 章	力矩分配法	259
18.1	力矩分配法的基本概念	259
18.2	多结点力矩分配法	264
18.3	无剪力分配法	268
	习题	272

第五篇 结构性能的进一步讨论

第 19 章	影响线	277
19.1	活荷载和影响线概述	277
19.2	静力法作影响线	278
19.3	机动法作静定梁的反力和内力影响线	279
19.4	影响线的作用	282
19.5	简支梁的内力包络图	286
19.6	简支梁的绝对最大弯矩	288
	习题	290

第 20 章 结构的稳定分析	292
20.1 概述	292
20.2 压杆的临界荷载——欧拉临界力	293
20.3 结构的两类失稳问题	295
20.4 两类失稳问题的简例	296
20.5 有限自由度体系的稳定问题	297
20.6 无限自由度体系的稳定问题	299
习题	303
第 21 章 结构动力学基础	304
21.1 概述	304
21.2 单自由度体系的自由振动	307
21.3 单自由度体系的强迫振动	312
21.4 两个自由度的自由振动	320
21.5 简谐荷载下结构的动力反应	328
习题	331

第一篇 静力学分析

静力学是研究物体在力作用下的平衡规律的科学；静力学是研究动力学的基础。

一个物体往往受到多个力的作用，如一个楼板，要受到自重、物品的压力、梁的支撑等力的作用。我们把作用在一个物体上的所有的力，称为一个力系。

在静力学中将主要研究以下三个问题：

- (1) 对物体进行受力分析、确定各个力的作用位置和方向。
- (2) 对力系进行简化，把作用在物体上的较复杂的力系，用一个与其等效的、最为简单的力系来代替。
- (3) 研究力系的平衡条件。

第1章 静力学基础知识

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力的概念

力是物体之间相互的机械作用。物体之间的相互作用可以有多种形式,如热、光学、化学作用等。静力学只研究物体之间相互的机械作用,即改变物体机械运动的作用。如人推动车子、吊车起吊重物等,车子和重物的运动状态发生了变化;车过桥梁使桥梁发生了弯曲变形。力不能脱离物体而独立存在,并且力总是成对出现的。力可以使物体的运动状态发生变化,称为力的外效应,或运动效应;力也可以使物体的形状发生变化,称为力的内效应,或变形效应。实践证明,力对物体的作用效应取决于力的三要素,即力的大小、力的方向、力的作用点。

1. 力的大小

指物体之间相互作用的强弱程度。在国际单位制中,以牛顿(简称为“N”)或千牛顿(简称为“kN”)来度量力大小

2. 力的方向

通常包括方位和指向。例如,重力的方向为“铅垂朝下”,“铅垂”是重力的方位,“朝下”是重力的指向。

3. 力的作用点

是指物体受力作用的地方。

力是矢量,是一个既有大小又有方向的量,它在图上可以用带箭头的有向线段表示,如图 1-1 所示。通常用粗斜体字母 F 表示力,矢量的大小用细斜体字母 F 表示力。用矢量 AB 表示力 F ,按一定比例尺画的矢量 AB 的长度表示力的大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的始端 A (或终端 B)表示力的作用点。矢量 AB 所沿着的直线 KL 表示力的作用线。

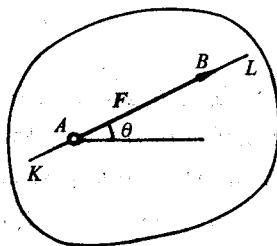


图 1-1

1.1.2 平衡的概念

平衡是指物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或作匀速直线运动。

静力学所研究的平衡一般是指相对地球静止而言的。如房屋、水坝等,相对地面保持静止。

1.1.3 刚体的概念

所谓刚体是指在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。即在力的作用下不变形的物体。实际物体在力的作用下都会产生不同程度的变形。刚体是一个理想化的力学模型。

1.2 静力学公理

公理是人们对长期生活和生产实践中所积累经验的总结,是被公认的符合客观实际的最普遍的规律。

1.2.1 二力平衡公理

二力作用在同一刚体上,使刚体处于平衡状态的充分条件是:该二力必须等值、反向和共线。图 1-2 所示两种情况均满足二力平衡定律。其中图 1-2(a)所示的二力有使杆拉伸的趋势,称为拉力;图 1-2(b)所示的二力有使杆压缩的趋势,称为压力。图 1-3 所示的两种情况均为一绳索受两等值、反向力作用。图 1-3(a)所示的二力显然为平衡力,而图 1-3(b)所示的二力,由于此时绳索在压力下不能再视为刚体所以不能平衡。图 1-4 所示状况,虽然二力等值、反向又共线,但由于不是作用于同一刚体,因此不能平衡。二力平衡是推证力系平衡的基础。

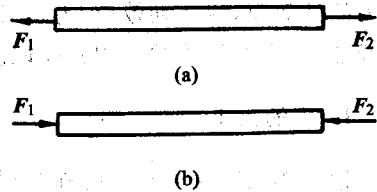


图 1-2

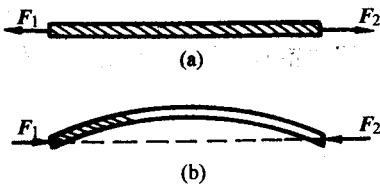


图 1-3



图 1-4

建筑结构中受二力平衡的杆件很多,钢筋受拉平衡,柱子受轴向压力平衡都属于这一类。力学中将受到二力而平衡的杆件(直杆曲杆均可)称为二力杆,图 1-5 所示两种情况均为二力杆。对于只在两点上受力而平衡的杆件,应用二力平衡定律可以确定某未知力的方位。

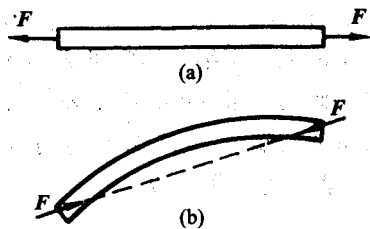


图 1-5

1.2.2 加减平衡力公理

在作用于同一刚体的某力系上增加或除去任意平衡力系,并不改变原力系对该刚体的作用。这一定律表明,加减平衡力系后,新力系与原力系等效。根据这个定律可以导出力沿作用线的可传性。图 1-6(b)比图 1-6(a)增加了一对平衡力 $F_1, F_2, F_1 = F_2 = F$ (即三力的大小相同)。根据加减平衡力系定律,显然图 1-6(a)与图 1-6

(b)二力系为等效力系。由于图 1-6(b)中 F, F_2 又可视为一平衡力系,将此平衡力系减去即成图 1-6(c)所示力系。同理图 1-6(b)与图 1-6(c)力系等效,最终图(a)与图(c)力系等效。但此时力已由刚体的 A 点沿作用线移到了 B 点,而未改变原力系对它的作用效果,即作用在刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体的任意一点,而不改变该力对刚体的作用。

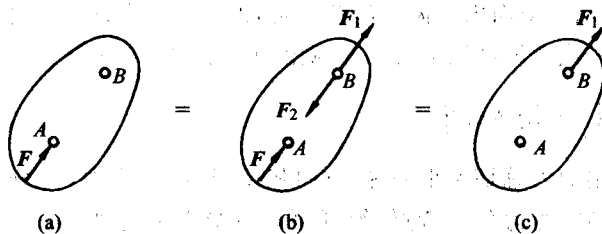


图 1-6

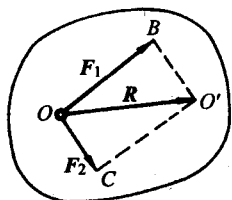
根据力的可传性,力三要素中的作用点可改为作用线。因此,力矢量是滑移矢量。

1.2.3 力的平行四边形公理

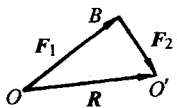
两个相交于一点的力对刚体的作用,可以用此二力的矢量为邻边所构成的平行四边形对角线矢量所表示的力来代替。该力即为此二力的合力。这个定律表明合力是分力的几何和或矢量和。以 R 表示力 F_1 与 F_2 的合力,则由上述定律得

$$R = F_1 + F_2$$

图 1-7(a)即为该定律的图解说明。图中平行四边形对角线 OO' 矢量就是合力 R 。由于 OC 与 BO' 两线段平行又相等,因此在求 F_1 与 F_2 的合力时,只要作出力的平行四边形的一半就可以了,从 O 出发作 F_1 矢量 OB ,从 F_1 矢量的终点 B 出发作 F_2 矢量 BO' ,连接 O, O' 两点,即得合力 R 矢量 OO' 。三角形 OBO' (或 OCO') 称为力的三角形。为了清晰起见,常把力的三角形画在力所作用的物体之外,如图 1-7(b)所示的三角形,同样得到合矢量 R 。不过这种方法只能确定合力的大小和方向,而不能确定合力的作用线位置,显然合力作用线必须仍然通过原二力的交点。



(a)



(b)

图 1-7

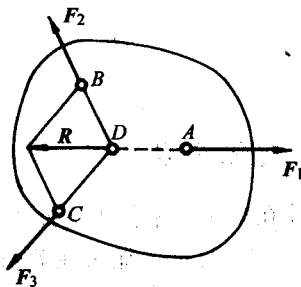


图 1-8

力的平行四边形定律是力系简化的主要依据,因为它解决了两个已知力求合力以及一个合力分解为两个已知方向的分力问题。

前面已经研究过二力平衡的问题,在掌握了力的平行四边形定律后我们可以得到有关三力平衡的一条重要定理,即作用在刚体上不平行的三个力若平衡,该三力必须汇交于一点。此

定理证明如下：

如图 1-8 所示，刚体上不平行的三个力 F_1, F_2 与 F_3 处于平衡状态，根据力的平行四边形定律，考虑到力的可传性，显然 F_2 与 F_3 可合成为一个过交点 D 的力 R ，此时三力平衡已变成 F_1 与 R 的二力平衡。根据二力平衡的条件，显然 F_1 也必须通过 F_2 与 F_3 的交点 D ，因此三力平衡必须交于一点。由于 R 与 F_2 和 F_3 在同一平面，且 F_1 与 R 在同一直线上，所以 F_1, F_2 和 F_3 也必须在同一平面内。需要注意的是，汇交于一点这个条件仅是三力平衡的必要条件，而不是充分条件，或者说已经汇交于一点上的三个力并不一定都处于平衡状态。

1.2.4 作用与反作用公理

两物体间相互作用的力总是大小相等，方向相反，沿同一直线，并分别作用在这两个物体上。这一定律是研究结构受力分析特点，绘制隔离体受力图的基础。研究图 1-9(a) 所示的柱、基础和地基受力时，可通过截面 A 与 B 将三者隔离开。柱子在上部的力 P 与自重 G_1 作用下有压基础的趋势，它对基础的作用力 N_A 示于图 1-9(c) 中，而基础给柱子的反作用力 N_A' 示于图 (b) 中；基础在 N_A 与自重(包括部分土重) G_2 作用下给地基作用力 N_B 示于图 1-9(d) 中，而地基对基础的反作用力 N_B' 示于图 (c) 中。以基础为对象，它受到柱子给它的作用力 N_A ，自重 G_2 和地基给它的反作用力 N_B' ，基础在这三个力作用下处于平衡状态，因此 N_A, G_2, N_B' 三力构成平衡力系。

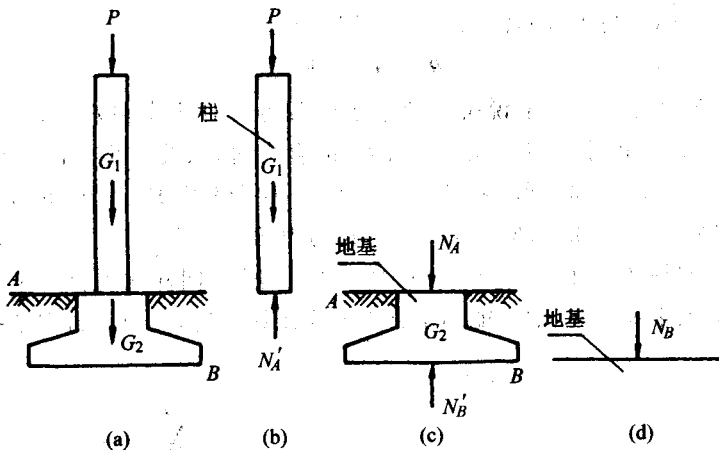


图 1-9

1.2.5 刚化公理

变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体看成为刚体，其平衡状态保持不变。

如图 1-10 所示一绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如将绳索刚化为刚体，其平衡状态保持不变。若绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下并不能平衡，这时绳索就不能刚化为刚体。但刚体在上述力系的作用下都平衡。由此可见，刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件，而非充分条件。

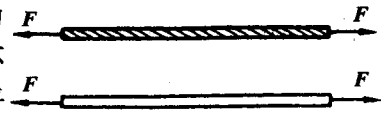


图 1-10