

建筑工程

基础(下)

- ◎主 编 刘志宏
- ◎参 编 徐向东 鲁 维
- ◎主 审 秦卫红(东南大学)

GAODENGZHIYEJIAOYUJIANZHUGONGCHENGJISHUZHUANYEJINENGXINGXILIEJIAOCAI



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高等职业教育建筑工程技术专业(技能型)系列教材

建筑工程基础

(下)

主 编 刘志宏

参 编 徐向东 鲁 维

主 审 秦卫红(东南大学)

东南大学出版社

内 容 提 要

本书是根据“高等职业学校建筑(市政)施工专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案”的要求编写的。全书共分八章。前面七章介绍与建筑(市政)专业关系密切的力学基础知识,主要内容包括平面力系计算、静力学基础知识、轴向拉伸或压缩、平面弯曲、压杆稳定等材料力学基础知识以及几何组成分析、静定钢架计算等结构力学基础知识。在第八章介绍了建筑结构计算基本原则。

本书可作为高职院校建筑工程技术专业、施工专业和相关专业的教材,以及成人教育的教学用书,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程基础. 下/刘志宏主编. —南京:东南大学出版社,2005.8

(高等职业教育建筑工程技术专业(技能型)系列教材)

ISBN 7-5641-0028-1

I. 建... II. 刘... III. 建筑工程—高等学校:高等学校:技术学校—教材 IV. TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 075211 号

出版发行:东南大学出版社

社 址:江苏省南京市四牌楼 2 号(210096)

出 版 人:宋增民

经 销:江苏省新华书店

印 刷:江苏省地质测绘院印刷厂

版 次:2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:12.5

字 数:312 千

印 数:1~4 000 册

定 价:21.00 元

(若有印装质量问题,请同读者服务部联系。电话:025-83792328)

高等职业教育建筑工程技术专业(技能型)

系列教材编委会名单

(以姓氏笔画为序)

主 任	李宏魁	黄珍珍	
副主任	仇学南	吴承霞	周 平
委 员	丁宪良	王立新	王立霞
	仇学南	李宏魁	许 红
	汤金华	刘志宏	刘晓庆
	宋 建	吴承霞	周 平
	陈 正	韩国平	殷凡勤
	黄珍珍	熊明安	

序

改革开放二十余年,我国职业教育获得了长足发展。当前,我国经济建设突飞猛进,许多行业紧缺大量的技能型职业人才,而高水平的职业教育是新时期我国实现新型工业化和建设小康社会宏伟目标的重要前提,作为国民经济主要产业的建设行业更是如此。2004年教育部、建设部颁发了《关于实施职业院校建设行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》,《通知》明确提出了建设行业的四个紧缺专业,同时,提出高等职业教育的基本学制将由现行的三年逐步调整为二年。

笼统地讲,职业教育是以行业和职业需求为主要价值取向的教育,而高等职业教育则是把培养面向生产一线的高技能专门人才作为培养目标。因此职业学校的学生不仅需要具备一定的知识结构,更应具有一定的职业技能水平。要落实我国现阶段“职业教育以服务为宗旨、以就业为导向”的方针,就要求职业学校在人才培养目标、知识技能结构、教学课程设置等方面下功夫,克服传统的重知识轻技能、重理论轻实训、重动脑轻动手、重结果轻过程的教学模式,要把学生职业技能的培养放在教与学的突出位置上,从而实现毕业生的“零距离”上岗。

本套教材正是按照《通知》精神,依据教育部、建设部关于《高等职业教育建设行业技能型紧缺人才培养培训指导方案》的要求,从调整课程内容和教学内容的入手而做的有益尝试。教材以工程“实用”、“够用”为度,同时适应建筑业相应工种职业资格的要求;以工程实例为主线,通过实训、实习和现场教学,将学生实践能力的培养贯穿于每个教学过程的始终。打破传统的学科体系,按照建筑企业实际的工作任务、工作过程和工作情境组织教学,从而形成围绕企业工作过程的新型教学模式。

鉴于建设行业技能型紧缺人才培养培训工程刚刚起步,其课程设置又是一个全新的体系,教材的编写者对于教学指导方案的理解需要不断加深,加之水平有限,错误之处敬请批评指正。

丛书编委会

2005.4

前 言

本书是根据建筑(市政)施工专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案研究小组提出的“高等职业学校建筑(市政)施工专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案”要求编写的。本书作为高等职业技术学院的教材,在编写过程中,作者从高职学生的学制向两年过渡这一要求出发,贯彻高职教育以培养技能型、实用性人才为目标,教学内容“以应用为目的”,“以必要够用为度”的原则,努力反映建筑(市政)施工专业所涉及的专业知识,希望通过对本课程的学习,构建一个满足建筑(市政)专业学习要求的平台,保证学生学完本课程内容后,能顺利完成其他专业课程的学习。

本书在编排上努力反映高等职业教育的特点和要求,打破课程界限,将理论力学、材料力学、结构力学及建筑结构设计基本原则等不同课程内容综合在一起。在内容取舍上,以满足后续专业课程学习为目的,突出概念和应用方法的介绍,省略了部分理论性较强的推导过程。在编写风格上追求简单明了、通俗易懂、深入浅出。在保证课程内容的实用性和科学性的同时,体现了专业教学特点,反映了作者长期教学过程中积累的教学经验。

本书由刘志宏编写第1章、第5章,徐向东编写第2章、第3章、第4章,鲁维编写第6章、第7章、第8章,全书由刘志宏主编。在编写过程中,得到了编者所在学校领导的支持,南昌大学帅美新老师也在整理文稿过程中提供了许多帮助,在此对他们表示衷心的感谢。特别要感谢东南大学秦卫红副教授,她在审稿中提出了很多宝贵的意见和具体的修改建议。

因编者水平所限,且本书又是教学内容和课程体系改革的初步成果,难免有错误与缺憾,敬请读者批评指正。

编 者

2005.4

1	力学基本概念	(1)
1.1	力的概念	(1)
1.1.1	定义	(1)
1.1.2	力系的分类	(2)
1.1.3	内力概念	(4)
1.2	约束	(6)
1.2.1	约束的定义	(6)
1.2.2	常见约束的约束反力	(7)
1.3	基本变形形式	(11)
1.3.1	材料的基本假设	(11)
1.3.2	基本变形的形式	(13)
1.4	受力图	(14)
1.4.1	定义	(14)
1.4.2	画受力图的步骤	(15)
1.4.3	物体系统受力图	(18)
1.5	力学计算基础	(21)
1.5.1	力的平行四边形法则	(21)
1.5.2	力的投影	(21)
1.5.3	力矩和力偶	(25)
1.5.4	力系的平衡条件	(29)
1.5.5	力系的计算	(35)
1.5.6	平面体系的几何组成	(38)
1.5.7	静定结构和超静定结构	(43)
1.6	平面图形几何性质	(43)
1.6.1	概述	(43)
1.6.2	静矩和形心	(44)
1.6.3	惯性矩	(48)
2	轴向拉伸或压缩	(61)
2.1	概述	(61)

2.1.1	外力特征	(61)
2.1.2	内力种类	(62)
2.2	截面法	(62)
2.2.1	概述	(62)
2.2.2	用截面法计算内力	(63)
2.3	轴力图	(64)
2.3.1	概述	(64)
2.3.2	轴力图画法	(65)
2.4	拉伸(压缩)应力的计算公式	(66)
2.5	拉伸(压缩)变形	(68)
2.5.1	概述	(68)
2.5.2	虎克定律	(69)
2.5.3	拉伸(压缩)变形计算	(70)
2.6	材料在拉伸和压缩时的力学性能	(72)
2.6.1	概述	(72)
2.6.2	试件和实验设备	(72)
2.6.3	材料在拉伸时的力学性能	(73)
2.6.4	材料在压缩时的力学性能	(75)
2.7	材料的极限应力	(76)
2.7.1	材料的极限应力	(76)
2.7.2	材料的许可应力	(77)
2.8	强度条件	(77)
2.8.1	概述	(77)
2.8.2	强度条件的应用	(78)
2.9	应力集中概念	(82)
3	剪切变形	(87)
3.1	概述	(87)
3.1.1	外力特征	(87)
3.1.2	内力种类	(88)
3.1.3	内力计算	(88)
3.2	拉(压)杆连接件的实用计算方法	(88)
3.2.1	剪切的实用计算方法	(88)
3.2.2	挤压的实用计算方法	(89)
3.2.3	钢板的抗拉强度计算方法	(90)
4	扭转	(98)
4.1	概述	(98)
4.1.1	外力特征	(98)

4.1.2	内力种类	(99)
4.1.3	内力计算	(100)
4.2	圆轴扭转时的强度与刚度计算	(101)
4.2.1	圆杆扭转时的强度条件	(101)
4.2.2	圆杆扭转时的刚度条件	(102)
4.2.3	薄壁圆筒的扭转	(104)
4.2.4	剪应力互等定律的证明	(104)
4.3	矩形截面等直杆在自由扭转时的应力和变形	(105)
5	平面弯曲变形	(109)
5.1	概述	(109)
5.1.1	外力特征	(109)
5.1.2	内力种类	(110)
5.1.3	内力计算	(112)
5.2	剪力图和弯矩图	(115)
5.2.1	描点连线法	(116)
5.2.2	剪力 $Q(x)$ 和弯矩 $M(x)$ 之间的微分和积分关系	(119)
5.2.3	剪力图画法	(120)
5.2.4	弯矩图画法	(123)
5.2.5	叠加法画弯矩图	(127)
5.3	弯曲应力	(132)
5.3.1	概述	(132)
5.3.2	弯曲应力计算	(133)
5.4	强度条件	(137)
5.4.1	强度条件	(137)
5.4.2	强度条件应用	(139)
5.5	弯曲变形	(141)
5.5.1	常见荷载作用下结构位移	(141)
5.5.2	叠加法求梁的变形	(144)
6	组合变形	(154)
6.1	概述	(154)
6.2	斜弯曲	(154)
6.2.1	外力特征	(154)
6.2.2	内力	(155)
6.2.3	应力计算	(155)
6.2.4	强度条件	(155)
6.3	偏心受压	(157)
6.3.1	外力特征	(157)

6.3.2	内力分解	(157)
6.3.3	应力计算	(158)
6.3.4	强度条件	(158)
6.3.5	截面核心	(159)
7	压杆稳定	(161)
7.1	概述	(161)
7.1.1	问题的提出	(161)
7.1.2	平衡状态的稳定性	(161)
7.2	临界力计算	(162)
7.2.1	细长杆临界力计算公式	(162)
7.2.2	中长杆临界力计算公式	(165)
7.2.3	临界应力总图	(165)
7.3	压杆的稳定计算	(166)
7.3.1	稳定安全系数法	(166)
7.3.2	折减系数法	(166)
7.3.3	压杆的稳定计算	(167)
7.3.4	提高压杆稳定性的措施	(168)
8	建筑结构计算基本原则	(171)
8.1	荷载	(171)
8.1.1	荷载分类	(171)
8.1.2	荷载代表值	(171)
8.2	概率极限状态设计法	(173)
8.2.1	建筑结构的性能要求	(173)
8.2.2	结构可靠度	(173)
8.2.3	极限状态的定义与分类	(174)
8.2.4	实用设计表达式	(174)
	附录 型钢规格表	(176)
	参考文献	(190)

1 力学基本概念

1.1 力的概念

力是我们在日常生活和工程实践中经常遇到的一个概念,人人都觉得它很熟悉,但真正理解并领会力这个概念的内涵,其实并不容易。所以,学习力学应从了解力的概念开始。

1.1.1 定义

力是指物体间的相互机械作用。

应该从以下四个方面来把握这个定义的内涵:

(1) 力存在于相互作用的物体之间。只有在两个物体之间产生的相互作用才是力学中所研究的力,如用绳子拉车子,绳子与车子之间的相互作用就是力学中要研究的力 F 和 F' ,如图 1-1(a)、(b)所示。

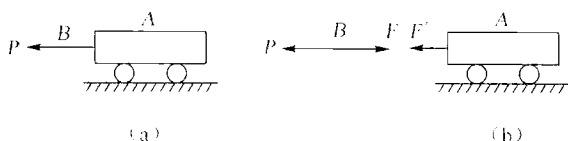


图 1-1

建筑力学范畴里的力不包含维持杆件形成整体的分子间(如杆件中 A 、 B 两分子间)作用力。如图 1-2 所示,一根不受外力的杆件,由于形成杆件的分子间存在着作用力 P 和 P' ,才使所有分子形成一个整体——杆件,这种维持杆件形成整体的分子间作用力不是建筑力学中要研究的力。

(2) 力是可以通过其表现形式被人们看到和观测到的。力的表现形式是:① 力的运动效果;② 力的变形效果。一个物体受力后,一定会产生力的效果,即产生运动和变形。力与力的效果是一一对应的,如粉笔盒放在讲台上,这时,我们看到粉笔盒向下的运动效果消失了,凭此现象就可断定粉笔盒一定受到了力的作用,实际上粉笔盒放在讲台上失去了其向下运动的效果,原因是粉笔盒受到了讲台的支承力。所以,看到一种力的效果产生或消失,我们都可以断定物体受了力的作用。

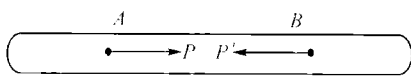


图 1-2

物体受力后都会产生变形,即受力后物体的形状都会发生变化,这种产生变形的物体称为变形体。各种工程材料尽管变形能力大小不一,但都是变形体。当作用在物体上的外力

消失后,物体上能够自动恢复的变形称为弹性变形,不能自动恢复的变形称为塑性变形。当外力从零开始在一定范围内变化时,物体都会产生弹性变形。产生弹性变形的的外力变化范围称为弹性范围。当外力超出弹性范围,则物体产生塑性变形。所以,各种工程材料随着外力大小的不同,有时产生弹性变形,有时产生塑性变形。

在讨论力学问题时,为了简化分析,有时会暂时不讨论物体的变形,即暂不考虑变形,这种不考虑变形的物体称为刚体。如在对物体进行受力分析时,往往不考虑其变形,把研究对象(脱离体)视为刚体。所以,尽管绳子和车子受力后,实际上都会产生变形,但是在受力图中,仍将研究对象如图 1-1(b)中的绳子和车子均视为刚体。

对于刚体来说,由于忽略了其变形效果,故只研究运动效果。工程力学中,特别关心运动效果的一种特殊情况——静止不动,静止不动状态是一种平衡状态。注意,物体仅在一个力作用下是不可能处在平衡状态的,只有同时在物体上作用多个力,而且这些力的运动效果相互抵消,这个物体才能平衡。为什么我们特别注重平衡(静止)这个概念呢?因为在对物体进行力学分析(不含动力学分析)时,平衡(静止)是所有建筑工程构件的共同力学特征,也就是说所有建筑工程构件工作时均处于平衡(静止)状态。而任何物体都不会无缘无故地处在平衡(静止)状态,只有满足了一定的力学条件(这个条件也称为平衡条件),物体才会平衡(静止)。建筑工程构件均处在平衡(静止)状态,所以说,建筑工程中一切构件都满足平衡条件,这个平衡条件是我们对建筑工程构件进行力学分析和计算必不可少的依据和条件。

(3) 力产生的形式有直接接触和场的作用两种。物体间的相互作用怎样才会产生?从力学分析的角度,两个物体只要相互接触就有产生力的作用。这个概念在画受力图时很重要,画受力图时一定要把握:相互接触的物体间就一定有力的作用(也许有时力的大小为零)。记住这一点,在画受力图时就不容易漏掉力的作用。力的另外一种作用形式场的作用,在建筑工程领域中的重要体现为重力。由地球吸引力产生的重力大家都是很熟悉的。

(4) 要定量地确定一个力,也就是定量地确定一个力的效果,我们只要确定力的大小、方向、作用点,这称为力的三要素。如图 1-3 所示。

力的大小是衡量力作用效果强弱的物理量,通常用数值或代数表示,有时也采用几何形式用比例长度表示力的大小。在国际单位制里,力的常用单位为牛顿(N)或千牛(kN), $1\text{ kN} = 1000\text{ N}$ 。

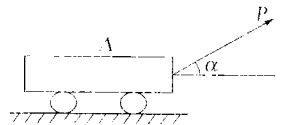


图 1-3 力的三要素

力的方向是确定物体运动方向的物理量。力的方向包含两个指标,一个指标是力的指向,采用几何形式表示力时,通常用力的箭头来表示力的指向,如图 1-3 中 P 的箭头就是表示 P 的指向。力的指向表示了这个力是拉力(箭头离开物体),还是压力(箭头指向物体)。另一个指标是力的方位,力的方位通常用力的作用线表示,定量地表示力的方位,往往是用力的作用线与水平线间夹角“ α ”表示。

力的作用点是指物体间接触点或物体的重心。力的作用点是影响物体变形的特殊点。

1.1.2 力系的分类

为了说明问题的方便,根据力作用的形式不同,把力分为:①集中力,集中力作用形式

的特点是力的作用集中在一点;③力偶,力偶作用形式的特点是大小相等,方向相反,不作用在一条直线上的一对力作用于物体上;④均布力,均布力作用形式的特点是直线上或 A 上每个点都受到同样大的力作用。

根据力作用在物体上的形态,把力分为:①外力,也称荷载,外部对物体产生的力,如图1-4(b),绳子拉力 T 和重力 W 均为外力;②内力,由杆件变形而在其内部引起的力。一个物体 A 受到外力作用,实质上是另外一个物体 B 把力传到自身(即物体 A)的过程。如图1-1(b)所示,车子 A 受到绳子 B 外力的作用,实际上是绳子将力 F 传到了车子 A 上。这种外力传递规律主要包含两方面内容:一方面是外力传递满足平衡条件,如支反力、约束力的计算都体现这一点。另一方面是力从一个物体传到另一个物体满足作用力与反作用力定律,即两物体相互作用的作用力与反作用力大小相等,作用线相同(方位相同),指向相反,分别作用在两个物体上。如图1-1(b)绳子 B 上作用力 F 与车子 A 上反作用力 F' 就是大小相等,作用线相同,指向相反,分别作用在绳子 B 和车子 A 两个物体上。

在现实生活中,物体往往是受到多个力同时作用,最简单情况如图1-4(a)所示,灯就受到绳子拉力 T 和重力 W 的共同作用。如图1-4(b)所示,此时作用于灯上的绳子拉力 T 和重力 W 构成一个最简单的力系。

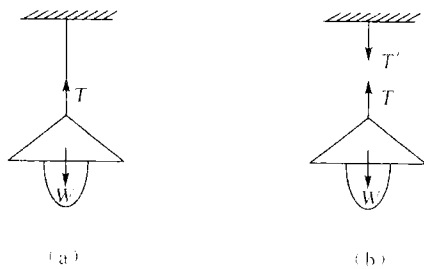


图 1-4

力系是作用在一个物体上的多个(两个以上)力的总称。力系是工程力学研究的对象,因为所有工程构件都是处于平衡状态,且由于一个力是不可能使物体处于平衡状态,因此可以知道,工程构件都是受到力系作用的。

根据力系中各个力作用位置特点,我们把力系分为:①平面力系,力系中各个力作用线位于同一平面内;②空间力系,力系中各个力作用线不在同一平面内。实际工程中遇到的力系都是空间力系,但该力系的计算较复杂,故在力学分析当中,我们常常将实际构件受到的空间力系等效为平面力系后(即进行体系简化),再进行力学计算。所以除特别说明外,我们研究的力系均为平面力系。

根据力作用线间相互关系的特点,我们把力系分为:①共线力系,力系中各个力作用线均在一条直线上。如图1-4(b)所示,作用在灯上两个力的作用线在同一条直线上,所以作用于灯上的力系是共线力系;②汇交力系,力系中各个力作用线或其延长线汇交于一点。如图1-5(a)所示,力系中各个力作用线的延长线汇交于一点 O ,故该力系是汇交力系;③平面一般力系,力系中各个力作用线无特殊规律。如图1-5(b)所示,力系中各个力的作用线无规律,故该力系是平面一般力系。实际上我们可以认为,共线力系和汇交力系均为平面一般力系中的特例,故学习力学计算理论时,我们主要注重平面一般力系的计算方法。

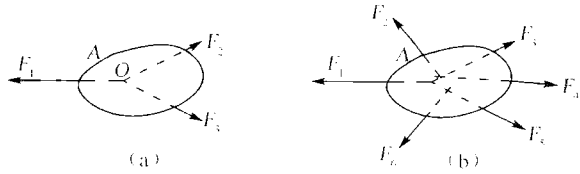


图 1-5

根据作用在物体上的力系运动特点,我们把力系分为:① 平衡力系,作用在平衡物体上的力系[如图 1-4(b)所示的二力共线平衡力系];② 不平衡力系,作用在运动物体上的力系。在建筑力学中,除特殊情况(如进行动力学分析)加以说明外,一般研究的力系均为平衡力系。

1.1.3 内力概念

根据前面的概念,我们知道,一根杆件受到力的作用,一定会产生力的效果,即杆件受力后会产生运动和变形。由于在建筑力学范围内,杆件一般都是平衡的,也就是说我们研究的杆件运动效应为零,所以可以肯定,平衡力系作用下的杆件虽然不会产生运动,但一定会产生变形。

杆件为什么会产生变形? 一根杆件当其不受外力作用时,如图 1-6(a)所示,杆件内部任意两点 A、B 之间在其内部的相互作用力(如分子间作用力)作用下维持不变,即杆件不受外力作用则 A、B 两点间距离 L_1 保持不变。

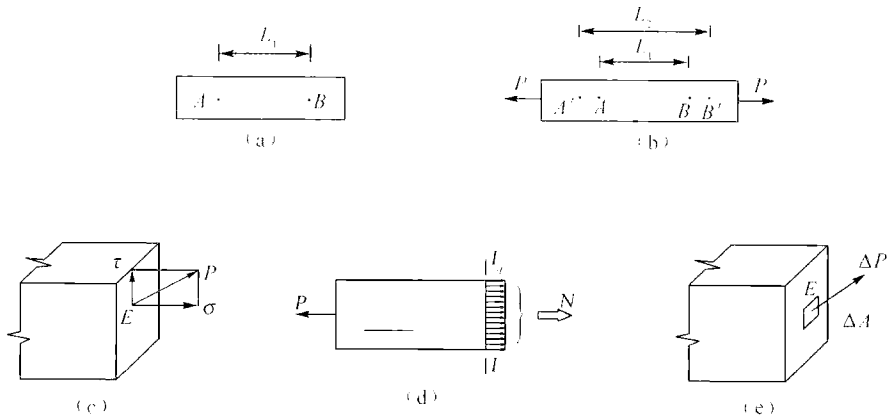


图 1-6

当杆件受到外力 P 作用后,杆件产生的变形效应导致 A、B 两点间距离由 L_1 变为 L_2 ,如图 1-6(b)所示,这就是两个点之间受力后变形的情形。杆件是由无数多个点组成的,这无数个点之间的变形,构成了整个杆件的变形。杆件的这种变形形式称为轴向拉伸。另外,根据杆件所受外力情况的不同,还会产生其他的变形形式,例如轴向压缩、剪切变形、弯曲变形和扭转变形(参见后面有关章节)。

杆件在发生变形的同时,其内部和质点之间的相互作用的内力也发生了改变,这种由于物体受到外力而引起的杆件内部作用力的改变量,就是力学中所研究的内力,严格地讲,它是由于外力的作用所引起的“附加内力”通常称为内力。

内力概念还有一个很重要的意义,如图 1-7(a)所示,一根受力杆,我们假想沿 1-1 剖面将杆件截断,如图 1-7(b)所示,很容易理解,截断杆件后,1-1 剖面两边的点存在相互作用力,截断杆件后,B 段杆件对 A 段杆件的影响全部反映在 A 段杆件横截面点的内力之上。也就是说,考虑了 A 段横截面点的内力,就考虑了 B 段杆件对 A 段杆件的影响。由于假设了组成杆件的材料是均匀连续的,所以在截面上将有连续分布的内力(称为分布内力)。如果我们用横截面上分布内力总和——内力 N 来代表 A 段横截面上全部受力,如图 1-7(c)所示,那么,尽管图 1-7(c)只反映了 A 段的受力,但 B 段杆件对 A 段杆件的影响也包含在其中,即图 1-7(c)形式上与图 1-7(a)、(b)不一样,但它们的力学反映(即运动效应和变形效应)是一致的。也就是说把杆件截断后,加上相应的内力,则截断后的杆件与截断前的杆件在力学分析中是等效的。这是我们进行力学分析,特别是画受力图时,必须要运用的基本方法——截面法。在平面力学的分析过程中,为了方便,常将杆件由立体形式[如图 1-7(c)],简化成平面形式[如图 1-7(d)]。

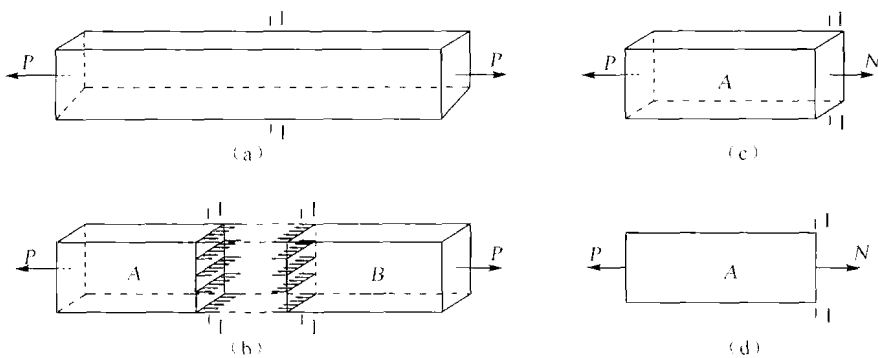


图 1-7

根据所受外力和变形不同,杆件的内力种类总共是四种,它们是截面法线方向内力——轴力 N ,截面切线方向内力——剪力 Q ,在杆轴线和截面对称轴确定的平面内的力偶形式内力——弯矩 M ,以及横截面内的力偶形式内力——扭矩 T 。

了解了杆件截面的内力之后,我们还有必要知道杆件截面上单位面积上的分布内力的大小——即分布内力集度。由如图 1-6 所示的轴向受拉杆件为例,由于轴力 N 垂直于横截面,与它相应的分布内力则会沿截面的法线方向,法线方向分布力的集度称为正应力(用 σ 表示)。

应力与内力在本质上是一致的。对平衡物体来说,有外力就有变形,有变形就有应力,有应力就有内力。内力产生的变形是可测的。应力是杆件受外力作用后,在杆件内部产生的微观反映,而内力则是杆件受外力作用后,在杆件内部产生的宏观反映。因此,内力和应力的表示方法(即力的单位)是不一样的。内力的单位与外力的单位一致。应力的单位是帕斯卡,简称帕,符号 Pa ($1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$, N/m^2 代表牛顿每平方米)。工程实际中应力数值较大,常用兆帕 MPa 或吉帕 GPa 作单位。 $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$, $1\text{GPa} = 10^9\text{Pa}$ 。变形杆件截面上任意一点 E 的应力 p 是这样定义的,围绕 E 点在截面上取一微面积 ΔA ,设 ΔA 上所有点的应力之和为 ΔP [如图 1-6(e)所示],则称 $p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A}$ 为微面积 ΔA 上的平均应力,这个平

均应力 p_m 与 E 点应力 p 的接近程度取决于 ΔA 面积的大小, ΔA 越小, 则 p_m 与 p 越接近。当 ΔA 无限趋近于零时, 平均应力 p_m 的极限值 p 才是 E 点的应力(因此, 应力也可定义为内力在一点处的集度), 用式子表示为:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA}$$

杆件内部的应力一般较复杂, 如图 1-6(c) 所示, 为了便于力学分析和计算, 常把应力分解为截面法线方向分量和截面切线方向分量, 其中截面法线方向分量称为正应力 σ , 截面切线方向分量称为剪应力 τ 。所以在力学计算中, 应力计算一般都是计算正应力 σ 和剪应力 τ 。

有了应力和内力概念后, 我们还可以定性地描述杆件破坏的原理。我们知道, 杆件内部的点之间的内部相互作用力(分子之间作用力)是跟点之间距离有关的, 当点之间距离发生变化, 该内部相互作用力(分子之间作用力)也会发生变化, 当点之间距离的变化大到一定程度时, 这个内部相互作用力会消失。杆件受力后, 杆件内部点之间产生应力 σ 。外力愈大, 杆件变形愈大, 杆件内部的应力、内力也愈大。当点之间距离因杆件变形增大到一定程度, 也就是应力增加到一定限度, 点之间的内部作用力会消失, 即意味着点之间出现了裂缝。这也就是说, 当杆件变形达到一定限度, 或者说应力达到一定的极限, 点之间出现开裂现象, 当截面上所有点的应力都达到了极限, 截面上所有点之间都出现了裂缝, 就意味着杆件发生断裂, 发生破坏了。力学中后面要介绍的强度条件, 实际上可以理解为这个概念的一种定量表达式。

1.2 约束

空中的物体都是可以任意运动的自由体, 如空中的飞鸟和飞机等, 但是房屋中的楼板、大梁等构件, 虽然它们也在空中, 却是不能自由运动的非自由体。空中的物体都应该是自由体, 为什么在空中的楼板、大梁等构件是非自由体? 自由体是怎样变为非自由体的? 答案是房屋中的楼板、大梁等构件都受到约束的作用。

1.2.1 约束的定义

约束是限制物体运动的东西。

应该从以下三个方面来把握这个定义的内涵:

(1) 约束是一种实实在在的物体。

(2) 约束是相对于研究对象而言的, 也就是说约束有相对性。例如, 桌子放在楼板上, 楼板阻止了桌子的向下运动, 所以, 对于桌子来说, 楼板是它的约束。而大梁又阻止了楼板向下运动, 故对于楼板而言, 大梁是它的约束。因此, 可看出, 楼板并不永远是约束, 主要看研究对象的变化, 也就是说约束有相对性。

(3) 约束的作用从本质上来说是抵消了研究对象的运动效果。因此, 根据力与力的效果一一对应的概念, 我们可以断定约束的作用是一种力的作用。由于约束的作用总是一种阻止研究对象运动, 或者说约束作用是力的作用, 并且这个力的运动效果总是与研究对象运

动方向相反,因此,把约束的作用称为约束反力。

在进行力学分析和计算中,约束是不能进行直接计算的,我们往往是计算约束作用,即计算约束反力,用约束反力来代表约束对杆件的影响,如图 1-8(a)、(b)所示结构,一般等效为图 1-8(c)形式,即用约束反力代替约束的作用后再进行力学计算,且计算对象就是约束反力 X_A 、 Y_A 、 Y_B 。画受力图的重要内容之一就是正确地表示出约束反力的作用线(方位)和指向,它们都与约束性质有关。

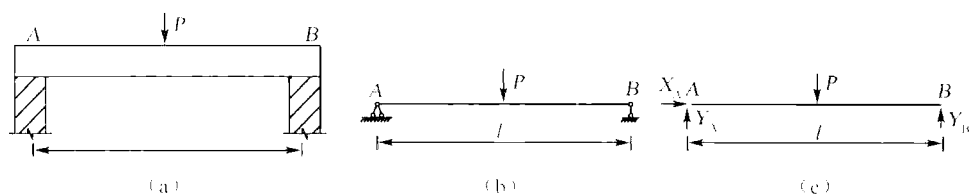


图 1-8

约束反力的计算,实际上是反映了力的一种外部传递规律,如图 1-8(a)所示结构,外力 P 通过 AB 梁,把力传到了墙上,即力从一个物体(梁)传到另一个物体(墙),这个力的传递结果就反映在支座反力 X_A 、 Y_A 、 Y_B 上。所以我们可看出,支座反力的计算理论,实际上是反映力外部传递(从一个物体传递到另一个物体)规律。

1.2.2 常见约束的约束反力

通过前面的介绍,我们知道,在力学分析和计算中,要了解约束对结构的影响,就是求出该约束的约束反力。在实际工程中遇到的约束是多种多样的,但力学中把实际约束简化为几种典型约束。学习典型约束就是掌握每一种约束的特点并掌握它们的约束反力特征(作用线方位和指向)。下面介绍几种常见约束的特点和约束反力特征。

1) 柔体约束

由绳索、链条、皮带、钢丝等柔软物体所构成的约束称为柔体约束。如图 1-9(a)所示。柔体约束的特点是,它只能阻止物体与绳索连接的一点沿绳索中心线离开绳索方向运动,而不能阻止这一点沿其他方向运动。所以柔体约束对物体的约束反力一定作用在物体与绳索

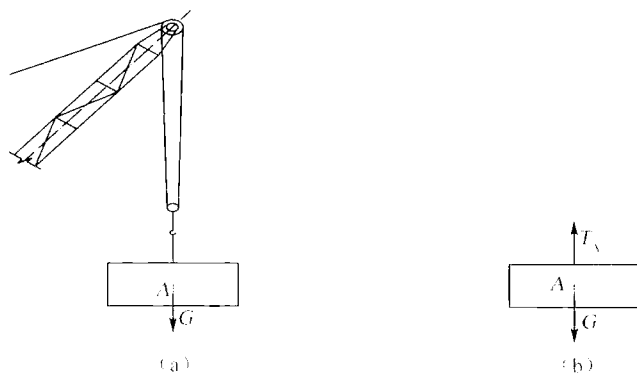


图 1-9