



教育部高等学校高职高专汽车类专业教学指导委员会规划教材

Building Mechanics

建筑力学

夏虹 编

山东大学出版社

教育部高等学校高职高专汽车类专业教学指导委员会规划教材

第1版第1次印刷

建筑力学

夏虹 编

机械工业出版社

山东大学出版社

内容提要

本书是教育部高等学校高职高专汽车类专业教学指导委员会规划教材。全书内容分为理论力学、材料力学和结构力学三个部分。第二至第三章是理论力学静力学部分,主要是建立力和力的平衡概念,对结构和构件进行受力分析,构建力之间的平衡关系。第四至第八章是材料力学部分,主要介绍杆件在荷载作用下的内力计算和变形规律,并讨论杆件的承载能力,以及选择合适的杆件材料及合理的形状与尺寸。第九至第十二章是结构力学部分,主要讨论杆件结构的组成规律和合理形式,以及结构在外力作用下杆件的内力和变形计算,为结构设计提供分析方法及计算公式。本书延伸阅读和附录部分可为有兴趣的读者提供进一步研读的内容及查阅资料的线索。与本书有关的开放式多媒体课件交流平台正在建设,选用本书的读者可根据自己的需要,利用该平台进行交流互动。本书可作为高职高专院校、高校成人教育力学课程教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/夏虹编. —济南:山东大学出版社,
2015.12

ISBN 978-7-5607-5484-0

I. ①建… II. ①夏… III. ①建筑力学—高等职业教
育—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 321312 号

责任策划 郑琳琳

责任编辑 李 港

封面设计 牛 钧

出版发行:山东大学出版社

社 址 山东省济南市山大南路 20 号

邮 编 250100

电 话 市场部(0531)88364466

经 销:山东省新华书店

印 刷:山东和平商务有限公司

规 格:787 毫米×1092 毫米 1/16

19 印张 433 千字

版 次:2015 年 12 月第 1 版

印 次:2015 年 12 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

教育部高等学校高职高专汽车类 专业教学指导委员会规划教材 编审委员会

总 主 编 仪垂杰

主 任 委 员 尹万建

副主任委员 祁翠琴

委 员	王世震	贺 萍	尹万建	李春明	汤定国
	么居标	魏庆耀	冯 渊	杨维和	卢 明
	傅高升	石晓辉	颜培钦	祁翠琴	胡定军
	周翼翔	程言昌	陈 明	林在犁	吴宗保
	高创宽	孙志春	康国初	李佩禹	范小青
	阳小良	牛宝林	陈文均	王永仁	邹小明
	胡 勇	朱成庆	高俊文	王勇军	陈永革
	崔振民	李纪聪	游文明	孟繁营	张西振
	朱秀英	王 军	韩学军	王 宇	陈文华
	宋继红	戚晓霞	牟盛勇	张红英	张松青
	韩翠英	周梅芳	刘继明	王斌修	王优强

总 序

进入新世纪以来,我国加快了转变经济发展方式的步伐,从而有力地推动着各领域的科学发展。随着科技创新能力的不断提高,科学技术的产业化进程日益加快,制造业不断优化结构,改善品种质量,并淘汰落后产能,汽车制造业尤其如此。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出的培育发展新能源汽车等新兴产业的战略目标,就充分体现了这一点。

自2010年,中国汽车产销量已超过1800万辆,居全球首位,市场潜力巨大。中国汽车与装备制造业已进入了一个新的发展阶段。汽车工业的飞速发展带动了汽车与制造相关产业链的发展,为汽车及相关专业毕业生提供了广阔的就业空间和良好的发展前景。然而,老版本的汽车类教材已经不能满足汽车专业的教学需求,为广大汽车专业的师生提供一套新版教材成为当务之急。同时,为贯彻《教育部财政部关于实施国家示范性高等职业院校建设计划加快高等职业教育改革与发展的意见》(教高[2006]14号)和《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)的精神,进一步推动职业教育由“重视规模发展”向“注重提高质量”的工作重心转变,适应我国现代汽车工业和职业教育发展的需要,教育部高等学校高职高专汽车类专业教学指导委员会决定在工学结合课程开发和教材建设方面进行探索,组织高校富有经验的教师和企业专家共同编写理论性和实践性相结合的汽车类专业教材。

教学质量是学校的生命线。提高教学质量,专业建设是龙头,课程建设是关键。高职教育的课程改革是一项长期的工作,它不是片面的课程内容的解析与重构,必须以人才培养模式创新为核心,以双师素质教师团队建设、实训条件建设、实训项目开发、教学方法改革、教学实施创新等一系列条件为支撑。多年来,在教育部高等学校高职高专汽车类专业教学指导委员会指导下,各高职高专院校进行了广泛的调研,以课程建设为抓手,以校企合作、工学结合为突破口,狠抓课程实施,在教材建设方面做出了高等职业教育的特色。

经过编者和主审的辛勤劳动,教育部高等学校高职高专汽车类专业教学指导委员会规划的第一批十七本教材已经陆续出版发行。这套教材在全国高职高专相关课程教学改革中发挥了积极的作用,受到了广大教材使用者的好评。

随着我国汽车工业的不断壮大,特别是新能源汽车和自动驾驶汽车的迅猛发展,传统的汽车工业正面临着环境和能源的双重压力与挑战,洁净能源、超低排放、先进材料及成型、超精低耗加工、建筑艺术及力学和基于大数据的全电子信息控制与监管等领域的新技



术、新工艺,正在促使传统汽车制造发生变革。对此,根据高职高专教学和课程改革的需要,在总结第一批教材使用的基础上,我们将陆续出版涉及上述领域的第二批教材。希望教育部高等学校高职高专汽车类专业教学指导委员会的工作可以为各高职院校提供一些借鉴,并通过这套教材进一步推动各地的高职高专教学与课程改革。同时也希望业内专家和同仁对本套教材提出指导性和建设性意见,以便在教学实践中共同完善和提高。

本套教材在编写过程中,得到了教育部领导、行业专家、各高职高专院校和企业专家的支持,山东大学出版社对教材的出版给予了大力支持和帮助,在此一并致谢。

教育部高等学校高职高专汽车类专业

教 学 指 导 委 员 会

2012年2月

前 言

随着我国汽车工业的不断壮大,特别是新能源汽车和自动驾驶汽车的迅猛发展,传统的汽车工业正面临着环境和能源的双重压力与挑战,洁净能源、超低排放、先进材料及成型、超精低耗加工、建筑艺术及力学和基于大数据的全电子信息控制与监管等领域的高新技术、新工艺,正在促使传统汽车制造发生变革。本书是为适应高等职业教育汽车、建筑等专业对力学课程的基本要求和教学改革的需要而编写的,既可作为高职高专院校或高校成人教育汽车、建筑等专业的基础教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

在编写过程中,本书从高等职业教育和高校成人教育的实际出发,吸取近年来力学课程改革建设中好的经验和做法,并根据高职高专人才培养的专业定位和目标,本着“以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点”的原则,在以下方面做了一些工作。

一、本书涉及理论力学、材料力学和结构力学三门力学课程,所以在编写时,注重突出针对性、适用性和实用性。结合高职高专和高校成人教育的教学特点,在强化工程实用的前提下,理论证明和公式推导适当从简,力争通过相关工程实例阐明基本概念、原理与方法的实际应用。

二、在内容处理上,注重与前修课程和后续课程的衔接,处理好本课程与相关内容的关系,精选经典内容,剖析典型例题,扩展应用实例,加强读者的工程意识和工程方法的训练,拓展读者的专业基础知识面,培养其创新意识和创新能力。

三、在每章后附有小结、思考题和习题,便于指导学习和启发思考。延伸阅读和附录部分可为有兴趣的读者提供进一步研读的内容及查阅资料的线索。与本书有关的开放式多媒体课件交流平台正在建设,选用本书的读者可根据自己的需要,利用该平台进行交流互动。

本书由青岛理工大学夏虹编写,由山东大学李剑峰教授、青岛理工大学王利民教授主审。在编写过程中,得到了青岛理工大学张平、李会超、李燕超、楚雅杰和王文明等同学的热情帮助,在此谨向他们致以诚挚的谢意。

在编写过程中,编者参考了国内外相关专家和学者的研究成果及文献,在此一并表示感谢!同时,也向参与本书出版的山东大学出版社的工作人员表示诚挚的谢意。由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请使用本书的读者批评指正。

编 者

2015年9月

目 录

第一章 概 述	1
第一节 建筑力学的研究对象	1
第二节 建筑力学的研究内容	3
第三节 建筑力学的任务	4
第二章 静力学基本知识	6
第一节 力和静力学基本公理	6
第二节 约束与约束力	9
第三节 受力分析与受力图	12
第三章 平面力系的合成与平衡	19
第一节 平面汇交力系的合成与平衡	19
第二节 力矩、力偶及平面力偶系的合成与平衡	22
第三节 平面任意力系的合成与平衡	25
第四章 轴向拉伸与压缩	42
第一节 材料力学	42
第二节 轴向拉伸与压缩的外力与内力	44
第三节 拉(压)杆横截面及斜截面上的应力	47
第四节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	51
第五节 轴向拉(压)杆的变形及强度计算	56
第五章 剪切、挤压和扭转	66
第一节 剪切和挤压	66
第二节 剪切和挤压的实用计算	67
第三节 扭转及内力分析	72
第四节 圆轴扭转时应力、强度和变形计算	76



第六章 梁的弯曲	86
第一节 平面弯曲和力学简图	86
第二节 弯曲的内力分析、剪力图和弯矩图	88
第三节 弯矩、剪力和分布荷载集度间的关系	94
第四节 弯曲正应力和强度计算	95
第五节 弯曲切应力	99
第六节 梁的变形及刚度计算	103
第七节 简单超静定梁的解法	108
第七章 组合变形	118
第一节 组合变形	118
第二节 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	119
第三节 斜弯曲	121
第四节 偏心拉伸(压缩)的强度计算	124
第八章 压杆稳定	131
第一节 压杆稳定	131
第二节 压杆的临界力与临界应力	133
第三节 压杆稳定性的计算	137
第四节 提高压杆稳定性的措施	140
第九章 结构体系的几何组成分析	145
第一节 结构体系学	145
第二节 几何不变体系和几何可变体系	149
第三节 自由度和约束	149
第四节 几何体系的组成规则	152
第五节 平面体系几何组成分析	154
第六节 体系的几何组成与静定性的关系	158
第十章 静定结构的内力和位移	163
第一节 静定梁的内力	163
第二节 静定平面刚架和桁架的内力	168
第三节 三铰拱的内力及静定组合结构	177
第四节 静定结构位移原理与计算	184
第五节 图乘法	190
第六节 弹性体系的互等定理	195

第十一章 超静定结构的内力和位移	205
第一节 超静定结构	205
第二节 力 法	207
第三节 位移法	213
第四节 力矩分配法	223
第十二章 影响线	239
第一节 影响线	239
第二节 静定梁的影响线	240
第三节 影响线的应用	248
延伸阅读	254
附 录	272
附录 A 常用截面的几何性质	272
附录 B 梁在简单荷载作用下的变形	273
习题参考答案	285
主要参考文献	290

第一章 概 述

第一节 建筑力学的研究对象

建筑力学研究的对象是建筑结构和构件,其中杆结构和构件是建筑力学的主要研究对象。

建筑物是由基本构件组成的,其中许多构件的用途是构成建筑物中的骨架,并承受和传递各种荷载作用。通常把建筑物中对支承荷载起骨架作用的部分称为“结构”。图 1-1 是一个单层厂房承重骨架的示意图,它由屋面板、屋架、桥式起重机梁、柱子及基础等构件组成,每一个构件都起着承受和传递荷载的作用。

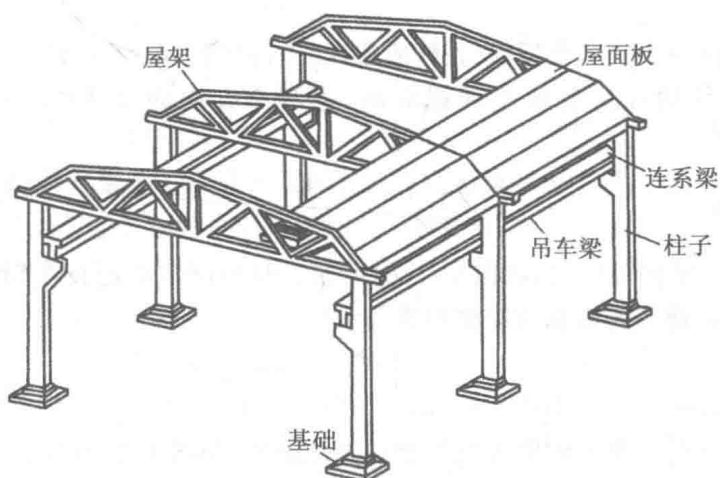


图 1-1

按构件的几何性质,可将其分为杆结构、板壳结构、块体结构和薄壁杆结构,如图 1-2 所示。

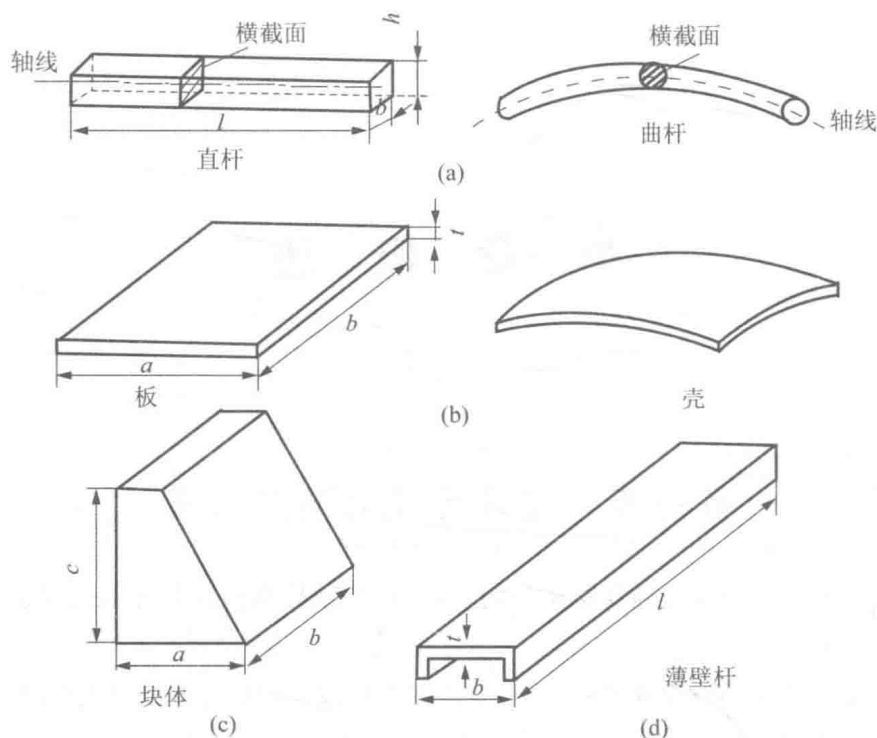


图 1-2

一、杆结构

这类结构是由一个或多个杆件(直杆或曲杆等),按照一定的连接方式组合而成,如图 1-2(a)所示。杆件的几何特征是横截面高、宽两个方向的尺寸要比杆长小得多,即 $h \ll l, b \ll l$ 。

二、板壳结构

这类结构由薄壁构件组成,如图 1-2(b)所示。它的厚度要比长度和宽度小得多,即 $t \ll a, t \ll b$,如楼板、薄壳屋面和薄膜结构等。

三、块体结构

这类结构本身由一个实体构件或若干实体件组成,如图 1-2(c)所示。它的几何特征是呈块状的,长、宽、高三个方向的尺寸大体相近,且内部大多为实体,如建筑基础、设备基座、起重机械的配重等。

四、薄壁杆结构

图 1-2(d)所示的槽钢多用作图 1-1 所示厂房中的屋架、连系梁。它的几何特征是长、宽、厚三个尺寸都相差很悬殊,即 $t \ll b \ll l$ 。

第二节 建筑力学的研究内容

为了对建筑力学内容有一个总体概念,下面以图 1-3 所示的梁为例,作一个简单介绍。

(1)确定梁所受的力。哪些力是已知力,哪些力是未知力,并计算这些力的大小。梁 AB 在墙上,受到已知荷载 F_{P1} , F_{P2} 的作用。在这两个力的作用下,梁 AB 有向下坠落的趋势,但由于墙的支承作用使梁没有落下而维持平衡状态。在梁的支承处,墙对梁产生支承反力 F_{PA} , F_{PB} 。荷载 F_{P1} , F_{P2} 与支承反力 F_{PA} , F_{PB} 之间存在着一定的关系,这种关系称为“平衡条件”。若知道了平衡条件,便可由荷载 F_{P1} 和 F_{P2} 求出支承反力 F_{PA} 和 F_{PB} 。解决这一问题的关键就在于研究力的平衡条件。

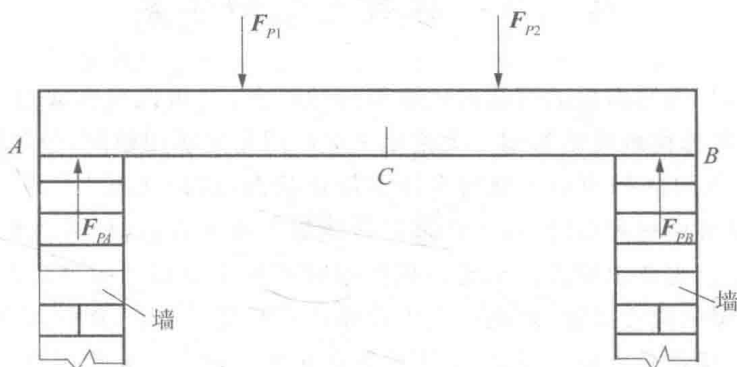


图 1-3

(2)荷载 F_{P1} , F_{P2} 与支承反力 F_{PA} , F_{PB} 统称为梁 AB 的“外力”。当梁上的全部外力求出后,便可进一步研究这些力是怎样使梁发生破坏或变形的。图 1-3 中的 AB 梁,在 F_{P1} , F_{P2} , F_{PA} 和 F_{PB} 作用下会产生弯曲,同时梁的内部有内力产生,内力过大就会造成梁的破坏。如果在梁的跨中截面 C 首先开裂继而断裂,这说明截面 C 处有引起破坏的最大内力存在,是梁的危险截面。解决这一问题的关键在于研究外力与内力的关系,这是分析承载能力的依据。

(3)上述问题相当于找出梁的破坏因素。为了使梁不发生破坏,就需要进一步研究引起梁破坏的因素和梁抵抗破坏的能力之间的关系,从而合理地选择梁的材料和截面尺寸,使梁既具有足够的承载能力,材料用量又最少。

(4)各种不同的受力方式会产生不同的内力,相应就有不同承载能力的计算方法,这些方法的研究就构成了建筑力学的内容。建筑力学所涉及的内容很多,本书的内容分为静力学、材料力学和结构力学三个部分。

第二至第三章是静力学部分,主要是建立力和力平衡的概念,构建力之间的平衡关系。由于结构和构件是承受和传递荷载的,要对结构和构件进行设计,对使用中的结构和构件进行校核。在这个过程中,要弄清楚其承受荷载的大小及荷载的传递路线,即对构件

进行受力分析。

第四至第八章是材料力学部分,主要研究单个杆件在荷载作用下的内力计算和变形规律,以及杆件的承载能力,通过选择合适的材料和设计合理的截面形状及尺寸,使设计的杆件既安全又经济。

第九至第十二章是结构力学部分,主要研究杆件结构的组成规律和合理形式,以及结构在外力作用下杆件的内力和变形计算,为结构设计提供分析方法及计算公式。

值得注意的是,在结构设计或校核中,要想完全严格地按照结构的实际情况进行力学分析是很难做到的,也是不必要的。因此,对实际结构进行力学分析时,需要作一些必要的简化,略去一些次要因素,抓住主要因素,即采用一个简图来表示实际结构,这种简图叫作“结构的计算简图”。确定结构的计算简图,是对实际结构进行力学分析的重要步骤。

第三节 建筑力学的任务

在图 1-1 中,厂房屋面板的荷载通过屋架传给柱子,起重机荷载通过梁也传给柱子,柱子将其受到的各种荷载传给基础。无论是工业厂房还是民用建筑、公共建筑,它们的结构及组成结构的各构件都相对于地面保持着静止状态,这种状态在工程上称为“平衡状态”。当结构承受和传递荷载时,各构件都必须能够正常工作,这样才能保证整个结构的正常使用。为此,首先要求构件在承受荷载作用时不发生破坏。如当起重机吊起重物时荷载超过起重机梁的强度极限时,梁会发生弯曲甚至断裂。通常,构件因受力发生大的弯曲或其他变形时,即便是不发生破坏,也不能保证正常工作。如起重机梁的变形超过一定的限度,起重机就不能稳定工作;楼板变形过大,就可能因细小的裂纹,产生应力集中,加快楼板的破坏。还有一些构件在荷载作用下,其原有构件平衡状态会被打破,从而丧失稳定性。如细长轴轴向受压时,当压力超过某一限定值时,会突然改变细长轴原来的直线平衡状态,发生弯曲以致断裂,这种现象称为“失稳”。

为了保证建筑结构和构件按设计要求正常工作,并充分发挥构件材料的性能,使设计的结构既安全可靠又经济合理,建筑力学的主要任务就是研究结构的几何组成规律,解决结构和构件在荷载作用下的强度、刚度和稳定性问题。

(1)强度:在荷载作用下,构件抵抗破坏的能力。

(2)刚度:在荷载作用下,构件抵抗变形的能力。

(3)稳定性:在荷载作用下,构件抵抗使其原有平衡、稳定状态失衡、失稳的能力。

构件的强度、刚度和稳定性反映了其承载能力,承载能力的大小又与构件的材料性质、截面的几何形状及尺寸、受力性质、工作环境及构造情况等因素有关。在结构设计中,如果把构件截面设计得过小,构件会因强度或刚度不足而产生破坏或变形过大而不能安全使用;但如果把构件截面设计得过大,其承载能力过大,又会造成浪费而不够经济。因此,结构和构件的安全性与经济性是矛盾的。建筑力学就是要合理地解决这种矛盾,研究和分析作用在结构和构件上的力的平衡关系,结构和构件的内力、应力、变形的计算方法以及构件的强度、刚度和稳定条件,为保证结构和构件既安全可靠又经济合理提供理论依据。

本章小结

(1)建筑力学的研究对象是建筑结构和构件。建筑力学的主要内容是为解决建筑设计及施工中结构的强度、刚度和稳定性等问题提供力学基础知识、分析策略和计算方法。建筑力学的任务是研究建筑结构和构件受力、变形和破坏规律,解决结构和构件的强度、刚度和稳定性问题。

(2)掌握建筑力学涉及的静力学、材料力学和结构力学的基本原理、原则和知识体系;了解建筑力学在所学专业中的地位 and 作用,以及与建筑结构、建筑施工技术、地基与基础等课程的关系。

(3)学习时要注意理解基本原理,掌握分析问题、解决问题的思路和方法。通过观察生活和工程中的力学现象,在课堂学习的基础上,建立力学模型,进行分析、归纳,举一反三,把握建筑力学的基本规律。

本章的学习重点是明确建筑力学的研究对象以及研究对象在所处条件、环境下的作用,掌握建筑结构和构件强度、刚度和稳定性的分析方法,注意观察实际建筑结构和构件涉及的静力学、材料力学和结构力学问题,思考问题的根源并尝试解决。

思考题

1. 结合所学专业,列举几个可以简化为杆件的实际构件,试分析其受力情况。
2. 就日常生活中所见,试列举一些不同形式荷载的实例。
3. 选择所学专业领域常见的某种构件,试分析它属于哪种构件,并分析其可能的受力和变形。

第二章 静力学基本知识

本章主要介绍静力学的一些基本概念和基本公理,以及如何建立工程实际构件的力学模型。其中,对于约束及其约束模型的深刻理解和正确应用是进行构件受力分析的关键,画构件的受力图是解决构件静力学问题的重要基础,也是本章重点。

第一节 力和静力学基本公理

一、力

1. 力的定义

用手推门时,手指与门之间有了相互作用,这种作用使门产生运动;用夯夯实地基时,夯和地基之间有了相互作用,地基的形状尺寸发生了改变。人们在长期的生产实践活动中,经过不断地观察和总结,形成了力的定义:力是物体间的相互作用。

这种作用使物体的运动状态或形状尺寸发生改变。力使物体运动状态的改变称为“力的外效应”;力使物体形状尺寸的改变称为“力的内效应”。

2. 刚 体

用脚踢皮球,脚和皮球之间进行了相互作用,皮球的运动状态和形状尺寸同时发生了改变。力对球体的这两种效应并不是单独发生的,而是同时发生的。当研究物体的运动规律(包括平衡)时,可以忽略物体本身因受力变形而产生的微小尺寸改变对运动状态改变的影响,从而可把物体抽象为不变形的理想化模型——刚体。这是物体抽象化的一个最基本的力学模型。

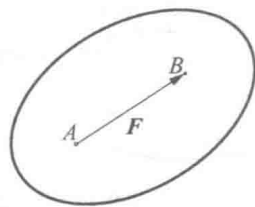


图 2-1

3. 力的三要素及表示法

力对物体的效应,取决于力的三要素:力的大小、方向和作用点。

力是一个既有大小又有方向的量,称为“力矢量”,常常用黑体字母表示,如 $\mathbf{F}$ 。力可以用一个有向线段来表示,如图 2-1 所示。线段的长度按一定的比例尺,表示力的大小;线段箭头的指向表示力的方向;线段的始端 A 或末端 B 表示力的作用点。力的单位为牛顿(N),简称“牛”。

4. 力系与等效力系

由若干个力组成的系统称为“力系”。若一个力系与另一个力系对物体的作用效应相同,则这两个力系互为等效力系。若一个力与一个力系等效,则这个力称为该力系的“合力”,而该力系中的各力称为这个合力的“分力”。把各分力代换成合力的过程称为“力系的简化”,把合力代换成分力的过程称为“力的分解”。

5. 平衡与平衡力系

所谓“平衡”,是指物体相对于地球静止或做匀速直线运动。若一个力系使物体处于平衡状态,则该力系称为“平衡力系”。

二、静力学基本公理

1. 二力平衡公理

公理 1 作用于刚体上的两个力,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,作用在同一条直线上,简述为“等值、反向、共线”。

如图 2-2(a)所示,物体放置在水平面上,受到重力 G 和水平面的作用力 F_N 作用而处于平衡,这两个力必“等值、反向、共线”。图 2-2(b)所示的电灯吊在天花板上,无论初始时电灯偏向什么位置,最后平衡时必满足二力平衡条件,即 G 和 F_T 等值、反向、共线。

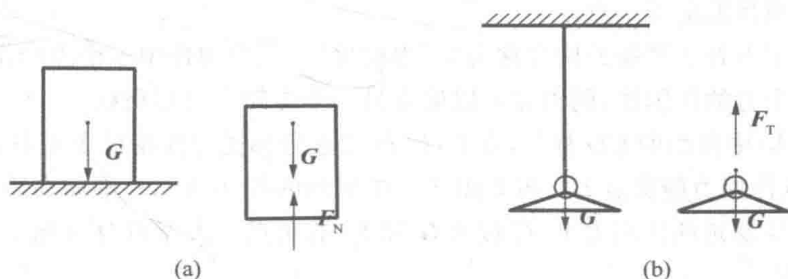


图 2-2

在两个力作用下处于平衡的构件一般称为“二力杆件”,也称为“链杆”。在工程实际中,一些构件的自重和它所承受的荷载比较起来很小时,可以忽略不计。本书中的构件若没有特别说明或没有表示出自重,则一律按不计自重处理。

图 2-3(a)所示的托架中,杆 AB 不计自重,在 A 端和 B 端分别受到作用力 F_A, F_B 而处于平衡,此两力必过这两力作用点 A, B 的连线。再如,图 2-3(c)所示的三铰拱结构中,当不计拱片自重时,在力 F 作用下,杆 BC 受 B, C 两点的两个力 F_B, F_C 作用处于平衡,这两个力必过其作用点 B, C 的连线,如图 2-3(d)所示。

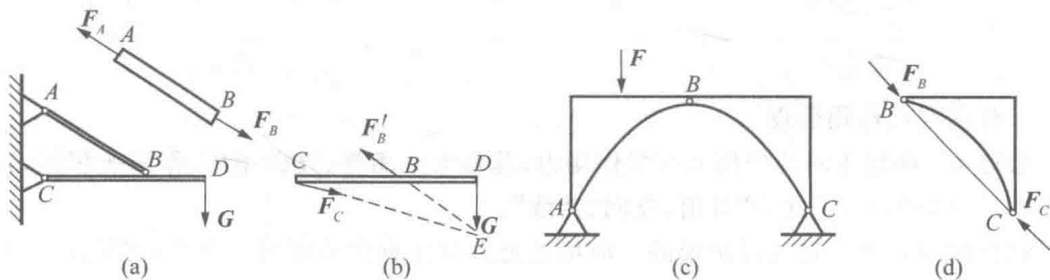


图 2-3