

全国高职高专水利水电类专业规划教材

工程力学

杨恩福 张生瑞 主编
张永伟 主审



黄河水利出版社

全国高职高专水利水电类专业规划教材

工 程 力 学

主 编 杨恩福 张生瑞
副主编 杨雅新 杨晓阳 杨玉泉
主 审 张永伟

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是全国高职高专水利水电类专业规划教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的工程力学课程教学大纲编写完成的。全书共分十二章,主要介绍:工程力学的基础知识,包括力的基本知识和物体的受力分析、力系的合成与平衡;杆件的承载能力计算,包括杆件的内力分析、平面图形的几何性质、杆件的强度和刚度计算、压杆稳定;结构的内力计算,包括结构的几何组成分析、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算、超静定结构的内力计算、影响线等内容。

本书适用于高职高专水利水电类专业以及工业与民用建筑、道桥等土建类专业工程力学课程教学,亦可作为建筑工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/杨恩福,张生瑞主编. —郑州:黄河水利出版社,
2010.1

全国高职高专水利水电类专业规划教材
ISBN 978 - 7 - 80734 - 749 - 1

I. ①工… II. ①杨…②张… III. ①工程力学 - 高等
学校:技术学校 - 教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 204229 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:hhsllwlp@163.com
马 翀 66026749 machong2006@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsllcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:24

字数:560 千字

印数:1—4 100

版次:2010 年 1 月第 1 版

印次:2010 年 1 月第 1 次印刷

定价:40.00 元

前 言

本书是根据《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)、《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)等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的第二轮水利水电类专业规划教材。第二轮教材以学生能力培养为主线,具有鲜明的时代特点,体现出实用性、实践性、创新性的教材特色,是一套理论联系实际、教学面向生产的高职高专教育精品规划教材。

本书针对高等职业技术教育的特点,适应教学改革的要求,对工程力学课程的内容按其系统性进行了调整。在编写过程中,注重基本概念、基本理论,但不过分强调理论及公式推导,而更注重结合工程实例,应用其基本计算方法解决工程实际中的计算问题,以加强学生工程意识的培训。本书编写力求做到内容紧凑、叙述简明、由浅入深、计算方法演示简捷,示例精典,以便于读者理解和接受。全书各章开篇指明学习目标,章后附有内容小结及一定数量的思考题和习题,有助于读者掌握有关力学知识。

本书编写人员及编写分工如下:福建水利电力职业技术学院张生瑞(第一章、第六章),华北水利水电学院水利职业学院杨雅新(第二章),长江工程职业技术学院杨恩福(第三章、第十一章)、杨艳(第四章),内蒙古机电职业技术学院于海云(第五章和第十二章),浙江水利水电专科学校陈冬云(第七章、第十章),浙江同济科技职业学院杨玉泉(第八章),沈阳农业大学高等职业技术学院杨晓阳(第九章、附录)。本书由杨恩福和张生瑞担任主编,并由杨恩福负责全书统稿;由杨雅新、杨晓阳、杨玉泉担任副主编;由黑龙江农垦农业职业技术学院张永伟担任主审。

由于编写时间仓促,书中难免存在缺点和疏漏,恳请广大师生及读者批评指正。

编 者

2009年7月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 工程力学的研究对象	(1)
第二节 工程力学的任务和内容	(2)
第三节 刚体、变形固体及其基本假设	(3)
第二章 力的基本知识和物体的受力分析	(5)
第一节 力的基本概念	(5)
第二节 荷载的分类	(6)
第三节 静力学公理	(7)
第四节 力的投影	(11)
第五节 力 矩	(14)
第六节 力 偶	(17)
第七节 约束与约束反力	(20)
第八节 物体的受力分析·受力图	(23)
第九节 结构计算简图	(28)
本章内容小结	(32)
思考题	(33)
习 题	(34)
第三章 力系的合成与平衡	(36)
第一节 平面汇交力系的合成与平衡	(36)
第二节 平面力偶系的合成与平衡	(44)
第三节 平面一般力系的合成与平衡	(47)
第四节 物体系统的平衡	(57)
第五节 考虑摩擦时物体的平衡问题	(60)
第六节 空间力系的合成与平衡简介	(65)
本章内容小结	(70)
思考题	(72)
习 题	(74)
第四章 杆件的内力分析	(80)
第一节 杆件受力与变形特点	(80)
第二节 内力的概念和计算方法	(82)
第三节 轴向拉(压)杆的内力分析·轴力图	(83)

第四节	扭转杆的内力分析·扭矩图	(86)
第五节	梁弯曲时的内力分析·内力图	(90)
	本章内容小结	(111)
	思考题	(111)
	习 题	(112)
第五章	平面图形的几何性质	(115)
第一节	物体的重心与形心的坐标公式	(115)
第二节	面积矩	(120)
第三节	极惯性矩、惯性矩、惯性积	(122)
	本章内容小结	(130)
	思考题	(131)
	习 题	(131)
第六章	杆件的强度和刚度计算	(133)
第一节	应力的概念	(133)
第二节	轴向拉(压)杆的强度计算	(134)
第三节	轴向拉(压)杆的变形·虎克定律	(140)
第四节	材料在拉伸和压缩时的力学性能	(143)
第五节	连接件的强度计算	(148)
第六节	圆轴扭转时的强度和刚度计算	(153)
第七节	梁弯曲时的强度计算	(161)
第八节	梁弯曲时的变形和刚度计算	(174)
第九节	组合变形杆件的强度计算	(181)
	本章内容小结	(190)
	思考题	(195)
	习 题	(197)
第七章	压杆稳定	(204)
第一节	压杆稳定的概念	(204)
第二节	压杆的临界力	(205)
第三节	压杆的临界应力	(206)
第四节	压杆的稳定计算	(209)
	本章内容小结	(214)
	思考题	(215)
	习 题	(215)
第八章	结构的几何组成分析	(217)
第一节	概 述	(217)
第二节	几何不变体系的简单组成规则	(220)
第三节	结构的几何组成分析示例	(222)

第四节 结构的几何特征	(225)
本章内容小结	(225)
思考题	(226)
习 题	(226)
第九章 静定结构的内力分析	(228)
第一节 多跨静定梁的内力分析·内力图	(228)
第二节 静定平面刚架的内力分析·内力图	(230)
第三节 静定拱的内力分析	(236)
第四节 静定平面桁架的内力分析	(242)
第五节 静定组合结构的内力计算	(250)
本章内容小结	(252)
思考题	(252)
习 题	(253)
第十章 静定结构的位移计算	(257)
第一节 概 述	(257)
第二节 变形体的虚功原理	(258)
第三节 结构位移计算的一般公式	(263)
第四节 结构在荷载作用下的位移计算公式	(264)
第五节 用图乘法计算结构位移	(268)
第六节 线性变形体系的几个互等定理	(273)
第七节 静定结构因支座移动时的位移计算	(275)
本章内容小结	(276)
思考题	(277)
习 题	(278)
第十一章 超静定结构的内力分析	(280)
第一节 超静定结构概述	(280)
第二节 用力法计算超静定结构	(285)
第三节 用位移法计算超静定结构	(315)
第四节 用力矩分配法计算超静定梁和无侧移刚架	(328)
本章内容小结	(341)
思考题	(342)
习 题	(343)
第十二章 影响线	(347)
第一节 影响线的概念	(347)
第二节 静定梁的影响线	(348)
第三节 影响线的应用	(356)
第四节 简支梁的内力包络图	(359)

第五节 连续梁的内力包络图简介	(361)
本章内容小结	(362)
思考题	(362)
习 题	(362)
附录 型钢规格表	(365)
参考文献	(376)

第一章 绪 论

【学习目标】

- 了解建筑物、结构、构件的含义以及三者之间的相互关系。
- 了解工程结构的分类,明确工程力学的研究对象。
- 初步掌握强度、刚度和稳定性的概念,了解工程力学的任务和内容。
- 熟悉刚体、变形固体的概念,掌握变形固体的基本假定。

第一节 工程力学的研究对象

工程力学是工程技术人员从事结构设计和施工所必须具备的理论基础,工程力学问题在水利、土建等各种工程的设计和施工中都会涉及到。这门学科为工程结构受力分析和计算理论提供了依据,它将为读者打开进入结构设计和解决施工现场中许多受力问题的大门。

任何建筑物在施工和使用的过程中都要受到各种各样的力的作用,如设备和人的重力、建筑物各部分的自重等,在工程中习惯将这些作用在建筑物上的力称为荷载。为了承受一定荷载以满足各种使用要求,需要建造不同的建筑物。如水利工程中的水闸、水坝、水电站、渡槽、隧道等,土木建筑工程中的屋架梁、板、柱和塔架等。

在建筑物中承受和传递荷载并起到骨架作用的部分称为结构。组成结构的每一个部件称为构件。结构是由若干构件按一定方式组合而成的。结构受荷载作用时,若不考虑建筑材料的变形,其几何形状和位置不会发生改变。

例如,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、吊车梁、连系梁、柱子及基础等构件组成,其荷载的传递过程如下:屋面板将屋面上的荷载通过屋架传给柱

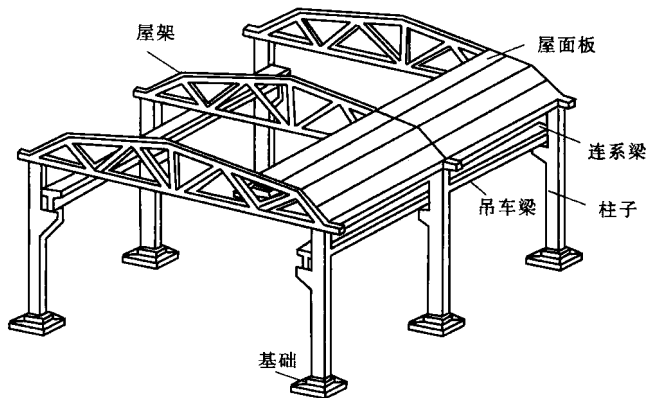


图 1-1

子,吊车荷载通过吊车梁传给柱子,柱子又将其受到的各种荷载传给基础,而基础上的荷载最后传给了地基。

工程中常见的结构按照结构构件的几何特征可分为以下三种类型:

(1)杆系结构。由若干杆件组成的结构,也称为杆件结构。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的尺寸,其类型如图 1-2(a)、(b)、(c)所示。

(2)板壳结构。由薄板或薄壳构成的结构,也称为薄壁结构。板或壳的几何特征是其厚度远远小于另外两个方向的尺寸,如图 1-2(d)、(e)所示。

(3)块体结构。由一些块体构成的结构,也称为实体结构。块体的几何特征是三个方向的尺寸基本为同一数量级,如图 1-2(f)所示。

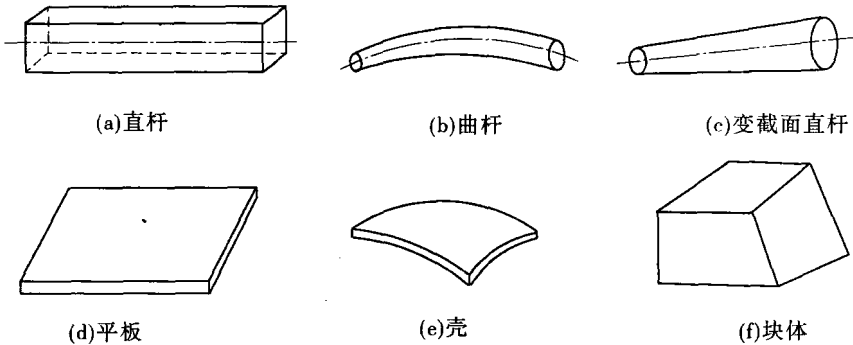


图 1-2

工程力学的研究对象主要是杆系结构,而块体结构和板壳结构则由弹性力学来研究。杆系结构是工程建设中应用最广的一种结构,虽然实际结构多属于空间结构,但在分析时常常可以简化为平面结构来进行计算。因此,本书研究的主要对象就是杆件与平面杆系结构。

第二节 工程力学的任务和内容

当结构承受和传递荷载时,要求结构中的每个构件都能够安全正常地工作,这样才能保证整个结构正常使用。为此,首先要求构件在承受荷载作用时不发生破坏。如吊车工作时起吊荷载不能过大,否则会使吊车梁发生弯曲断裂。但如果吊车梁的变形过大,吊车就不能在上面正常行驶。可见,只不发生破坏并不能保证构件就能够正常工作。此外,有一些构件在荷载作用下,其原来形状的平衡可能会丧失稳定。例如,细长的受压柱子,当压力超过某一定值时,会突然地改变原来的直线平衡状态而发生弯曲,这种现象称为“失稳”。由此可见,要保证结构或构件安全正常工作必须满足强度、刚度和稳定性的要求。

强度是指结构或构件抵抗破坏的能力。满足强度要求就是要使结构的各构件正常工作时不发生破坏。

刚度是指结构或构件抵抗变形的能力。满足刚度要求就是要使结构或构件正常工作时产生的变形不超过允许范围。

稳定性是指结构或构件保持原有平衡状态的能力。满足稳定性要求就是要使结构或构件在正常工作时不突然改变原有平衡状态,以致因变形过大而破坏。

构件的强度、刚度和稳定性统称为构件的承载能力,其高低与构件的材料性质、截面的几何形状及尺寸、受力性质、工作条件及构造情况等因素有关。在结构设计中:如果把构件截面尺寸设计得过小,构件的承载能力就会不足;但如果把构件截面设计得过大,又会造成浪费而不经济。因此,结构和构件的安全性与经济性是相矛盾的。工程力学的任务就在于力求合理地解决这一矛盾,即在结构或构件满足强度、刚度和稳定性要求的前提下,选择适宜的材料,确定合理的截面形状和尺寸,为保证结构或构件既安全可靠又经济合理提供计算的理论依据。

本教材包含以下几个部分的内容:

(1)静力学知识。这是工程力学中重要的基础理论,包括静力学公理等基本知识、物体的受力分析、力系的简化与平衡等基础理论。

(2)杆件的承载能力计算。杆件的承载能力计算是结构承载能力计算的实质,包括基本变形杆件的内力分析和强度、刚度计算,压杆稳定和组合变形杆件的强度计算。

(3)几何组成分析。研究平面体系的几何组成规律,以确定它是否能作为结构来使用,并能区分出静定结构和超静定结构,为结构的内力分析打下必要的基础。

(4)结构的内力分析。这部分内容包括静定结构的内力分析和位移计算、超静定结构内力分析的基本方法(力法、位移法、力矩分配法)介绍以及影响线等。其中,静定结构的分析计算还为超静定结构的分析提供基础知识,在确定了超静定结构的内力后就可对各构件按杆件承载力计算方法进行强度和刚度的计算了。

第三节 刚体、变形固体及其基本假设

自然界中的物体,其性质是复杂多样的。各学科从不同的角度来研究物体的性质,为使所研究的问题简化,通常略去对所研究问题影响不大的次要因素,而只考虑相关的主要因素,也即将复杂问题抽象化为只具有某些主要性质的理想模型。在工程力学中将物体抽象化为两种计算模型:刚体和变形固体。

一、刚体和变形固体的概念

所谓刚体,是指在外力作用下大小和形状都不改变的物体。实际上,理想的刚体是不存在的,任何物体受力后都会发生一定程度的变形,但在进行结构和构件的受力分析及体系几何组成分析时,这种变形对所研究的问题没有影响或者影响极小,便可将物体视为刚体。

所谓变形固体,是指在外力作用下大小和形状会发生变化的物体。在工程力学中,进行结构的内力分析和杆件的承载能力计算时,物体的变形是不可忽略的主要因素,这时必须将其视为变形固体。工程力学对实际变形固体材料作了一些假设,从而将其理想化。

二、变形固体的基本假设

(1)连续均匀假设。该假设认为物体的材料无空隙地连续分布,且构件内各点处的力学性质完全相同。根据这个假设,在进行分析时,与构件性质相关的物理量就可以用连续函数来表示,且可以从构件内任何位置取出一小部分来研究材料的力学性质。

(2)各向同性假设。该假设认为材料沿不同方向的力学性质均相同。具有这种性质的材料称为各向同性材料,如金属材料、塑料等;而各方向力学性质不同的材料称为各向异性材料,如木材、竹材和纤维增强材料等。

(3)小变形假设。工程力学所研究的构件在荷载作用下的变形与原始尺寸相比很小,故对构件进行受力分析时可忽略其变形,这样可使计算得到很大的简化。

变形固体在力的作用下产生的变形有两种:一种是撤去荷载可完全消失的变形,称为弹性变形;另一种是撤去荷载后不能恢复的变形,称为塑性变形或残余变形。在多数工程问题中,要求构件只发生弹性变形。对小变形构件的计算,可取变形前的原始尺寸并略去某些高阶微量,以达到简化计算的目的。

符合上述假设的变形固体称为理想变形固体。工程力学在研究构件承载能力时把所研究的构件视为理想变形固体,并在弹性范围内和小变形情况下进行分析。由于采用以上力学模型,大大便利了理论研究和计算公式的推导。尽管所得结果只具有近似的准确性,但其精确度可满足一般的工程要求。当然,任何假设都不是主观臆断的,在假设基础上得出的理论结果,还必须经得起实践的检验。因而,工程力学的研究,除理论分析方法外,试验也是一种很重要的方法。

第二章 力的基本知识和物体的受力分析

【学习目标】

- 掌握静力学的基本概念,力、平衡、刚体和约束的概念。
- 掌握静力学几个公理及其推论。
- 了解荷载的分类。
- 掌握力的投影、力矩和力偶矩的计算方法,掌握力偶的性质。
- 掌握七种平面约束的特点和反力特点。
- 掌握画单一物体和物体系统受力图的方法。
- 了解选取结构计算简图的原则和方法。

第一节 力的基本概念

一、力的定义

力的概念是人们在长期的生产劳动和日常生活中逐步建立起来的。人们在推车、提重物、抛掷物体、打铁等活动时感到肌肉紧张,从而对力产生了感性认识。随着生产的发展,又进一步认识到:物体机械运动状态的改变和物体形状大小的改变,都是其他物体对该物体施加力的结果。例如,水流冲击水轮机叶片带动发电机转子转动,起重机起吊构件,弹簧受力后伸长或缩短。

牛顿定律给出了力的科学定义: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(外效应),或者使物体的形状发生改变(内效应)。

力是物体与物体之间的相互作用,有受力的物体则必有施力的物体。在工程力学中,力的作用方式一般有两种情况:一种是两物体相互接触时,它们之间相互产生的拉力或压力;另一种是物体与地球之间相互产生的吸引力,对物体来说,这种吸引力就是重力。

二、力的三要素

实践证明,力对物体的作用效果,取决于三个要素:力的大小、力的方向、力的作用点。

力的大小是指物体间相互作用的强弱程度。为了度量力的大小,必须规定力的单位。在国际单位制中,力的单位是牛[顿](N)或千牛[顿](kN), $1\text{ kN} = 1\,000\text{ N}$;在工程单位制中,力的单位是千克(kg)或吨(t)。两种单位制的换算关系为 $1\text{ kg} = 9.8\text{ N} \approx 10\text{ N}$ 。

力的方向包含方位和指向两个含义。例如,重力的方向是铅垂向下的,“铅垂”指其方位,即重力的作用线,“向下”为其箭头指向。

力的作用点就是力对物体作用的位置。力的作用位置实际上有一定的范围,不过当作用范围与物体相比很小时,可近似地看做是一个点。作用于一点的力,称为集中力。

在力的三要素中,有任一要素改变时,力对物体的作用效果随之改变。因此,在描述一个力时,必须全面表明力的三要素。例如,沿水平地面推动一个木箱,作用在木箱上的力,或大小不同,或方向不同,或作用点位置不同,产生的效果不一样。

三、力的图示法

力是一个有大小和方向的量,是矢量。用字母符号表示力矢量时,常用黑体字如 $\boldsymbol{F}$ 、 $\boldsymbol{P}$ 等表示。

通常用一段带箭头的线段表示力的三要素。线段的长度(按选定的比例)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 2-1 所示,按比例画出力 $\boldsymbol{F}$ 的大小 20 kN,力的方向与水平线成 α 角,指向右上方,作用在物体的 A 点上。

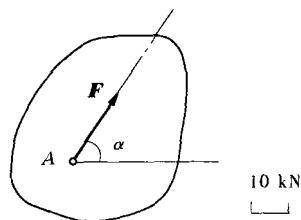


图 2-1

为了便于研究和叙述,我们还要给出以下定义:

(1)作用在物体上的一群力或一组力称为力系。

(2)物体相对于地球处于静止状态或做匀速直线运动时,称物体处于平衡状态。

(3)如果物体在某一力系作用下保持平衡状态,则该力系称为平衡力系。

(4)若作用在物体上的一个力系可用另一个力系来代替,而不改变力系对物体的作用效应,则这两个力系称为等效力系。

第二节 荷载的分类

作用在结构上的主动力称为荷载。确定实际结构所承受的荷载,是进行结构受力分析的前提,必须慎重对待。如果将荷载估计偏高,则所设计的构件截面偏大,使用材料就多,因而造成浪费;如果将荷载估计偏低,则所设计的构件截面就偏小,构件就不安全,甚至会发生因不能承受实际荷载而引起破坏的严重事故。结构承受的荷载可根据《建筑结构荷载规范》《GB 50009—2001》确定其数值。

实际结构受到的荷载是相当复杂的,为了便于分析,可从不同角度将荷载分类如下。

一、根据荷载作用时间的长短分类

(1)恒荷载(恒载):长期作用在结构上的不变荷载(如结构的自重、挡土墙的土压力等)。

(2)活荷载(活载):在建筑物施工和使用期间可能存在着的可变荷载(如风荷载、雪荷载、人群荷载等)。

二、根据荷载分布情况分类

(一) 分布荷载

分布荷载是作用于整个物体或其某部分上的荷载,作用范围不能忽略。其又可分为体荷载、面荷载、线荷载等。体荷载是分布在物体的体积内的荷载,如重力等。面荷载是分布在物体的表面上的荷载,如楼板上的荷载、水坝上的水压力等。线荷载是分布在一个狭长的体积内或狭长的面积上,而且相互平行的荷载,可以将其简化为沿狭长方向的中心线分布的荷载,如分布在梁上的荷载。

分布荷载的大小用集度表示,荷载集度只是表示荷载分布的密集程度。物体上每单位体积、单位面积和单位长度上所承受的荷载,分别称为体荷载集度、面荷载集度和线荷载集度,分别用 γ 、 p 、 q 表示,它们的单位分别为 N/m^3 、 N/m^2 、 N/m 或 kN/m^3 、 kN/m^2 、 kN/m 。

分布荷载按其分布是否均匀,又可分为均布荷载和非均布荷载。均布荷载是荷载连续作用在结构上,而且大小处处相等。例如,板、梁的自重,渡槽的水平底面所受的水压力。非均布荷载是荷载连续作用在结构上,但大小各处都不相等。例如,渡槽的侧壁所受到的水压力,因压强与水深成正比而为按三角形分布的非均布荷载。

必须强调指出:荷载集度只表示分布荷载的密集程度,并不表示一点受多大的荷载。例如,渡槽侧壁某点的荷载集度 $q = 5.2 \text{ kN/m}$,这并不是说该点就承受着 5.2 kN 的力(荷载),而是指将该点的荷载集度按其大小不变扩展到 1 m 长度时,总共才有 5.2 kN 。荷载集度要乘以相应分布的体积或面积或长度后,才是力(荷载),又称为分布荷载的合力(集中荷载)。

(二) 集中荷载

集中荷载是指荷载作用的范围很小,可以近似地看成作用在一点上的荷载。例如,梁端对墙或柱的压力,管道对支架的压力等。

三、根据荷载作用性质分类

(1) 静力荷载是缓慢地加在结构上的荷载。其特点是由零逐渐增加到最后确定值,然后它的大小、位置和方向不再随时间而变化。例如,构件自重及一般的活荷载都是静力荷载。

(2) 动力荷载是急剧地施加在结构上的荷载。其大小、位置和方向(或其中一项)随着时间而变化,使结构受到冲击或振动,产生不可忽视的加速度。例如,地震荷载就是动力荷载。

第三节 静力学公理

静力学公理是人们在长期的生产和生活实践中,经过反复观察和试验总结出来的普遍规律。它阐述了力的一些基本性质,是静力学理论的基础。所谓“公理”,就是不需证明而被公认的真理。

公理一(作用与反作用定律)

两物体间的作用力与反作用力大小相等、方向相反、沿同一直线,分别作用在两个物体上。

例如,如图 2-2 所示的梁两端支承在墙上,受荷载 q 作用,墙分别受到压力 F_A 、 F_B 的作用,而梁又分别受到墙的反作用力 F'_A 和 F'_B 的作用。

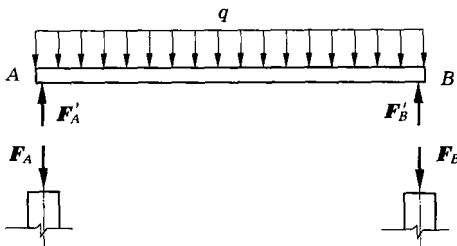


图 2-2

可见,作用力与反作用力总是成对地出现在两个相互作用的物体之间,即有作用力,必有反作用力。

公理二(二力平衡公理)

作用在同一刚体上的两个力,使刚体平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等、方向相反、作用在同一直线上。如图 2-3 所示。

二力平衡公理是推导各种力系平衡条件的基础。必须注意:二力平衡中的两个力和作用力与反作用力不同,虽然都是大小相等、方向相反、作用在同一直线上,但作用力与反作用力是分别作用在两个物体上,不能构成一个平衡力系。

必须注意,对于变形体来说,两个力等值、反向、共线的条件只能是二力平衡的必要条件而不是充分条件。例如,绳索的两端受到等值、反向、共线的两个拉力作用时处于平衡状态,但受到等值、反向、共线的两个压力作用时,就不能平衡,如图 2-4 所示。

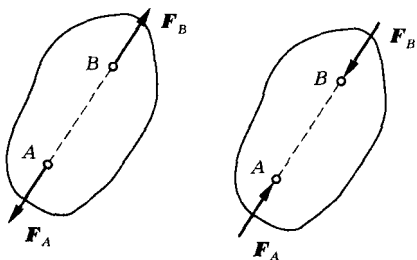


图 2-3

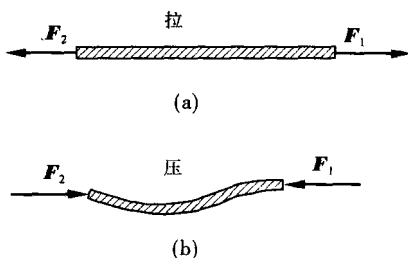


图 2-4

只受二力作用而处于平衡状态的杆件或构件称为二力杆或二力构件。二力杆或二力构件上的两个力的作用线必为这两个力作用点的连线,如图 2-5 所示。

公理三(加减平衡力系公理)

在作用于刚体的任意力系中,加上或去掉任何一个平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效应。

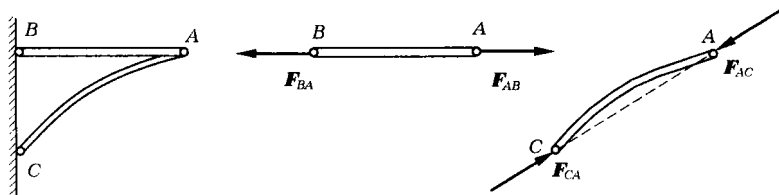


图 2-5

因为平衡力系作用在刚体上,不会改变刚体的运动状态,所以在刚体的原力系上加上或去掉一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

推论(力的可传性原理)

作用在刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任一点,而不改变原力对刚体的作用效应。简证如图 2-6 所示。

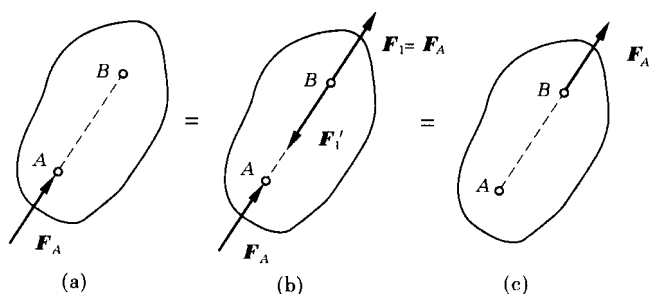


图 2-6

须指出:加减平衡力系公理和力的可传性原理都只适用于刚体,不适用于变形体。因为在物体上加上或去掉一个平衡力系,或将力沿其作用线移动,不改变力对物体的外效应,但要改变力对物体的内效应。如图 2-7 所示的杆件,直杆 AB 的两端分别受到两个等值、反向、共线的力 F_A 、 F_B 作用而处于平衡状态。如果将这两个力沿其作用线分别移到杆的另一端,显然,直杆 AB 仍处于平衡状态。这说明力沿其作用线移动并不改变力的外效应。但是直杆由如图 2-7(a) 所示的拉伸变形转变为如图 2-7(b) 所示的压缩变形。

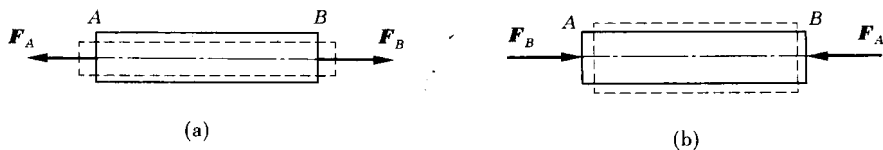


图 2-7

可见,力对直杆的内效应由于力沿其作用线的移动而发生了变形形式的改变。这说明对变形体而言,力的可传性原理不适用。

公理四(力的平行四边形法则)

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力的作用线通过该点,其大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示,如图 2-8(a) 所示。