

土木工程力学

人民交通出版社



高职高专土建类专业规划教材编审委员会

主任委员

吴 泽(四川建筑职业技术学院)

副主任委员

危道军(湖北城建职业技术学院)

范文昭(山西建筑职业技术学院)

赵 研(黑龙江建筑职业技术学院)

袁建新(四川建筑职业技术学院)

李 进(济南工程职业技术学院)

许 元(浙江广厦建设职业技术学院)

韩 敏(人民交通出版社)

土建施工类分专业委员会主任委员

赵 研(黑龙江建筑职业技术学院)

工程管理类分专业委员会主任委员

袁建新(四川建筑职业技术学院)

委员 (以姓氏笔画为序)

马守才(兰州工业高等专科学校)

毛燕红(九州职业技术学院)

王 安(山东水利职业学院)

王 强(北京工业职业技术学院)

王延该(湖北城建职业技术学院)

王社欣(江西工业职业技术学院)

田恒久(山西建筑职业技术学院)

边亚东(中原工学院)

刘志宏(江西建设职业技术学院)

刘晓敏(黄冈职业技术学院)

朱玉春(河北建材职业技术学院)

张修身(陕西铁路工程职业技术学院)

张晓丹(河北工业职业技术学院)

李中秋(河北交通职业技术学院)

李春亭(北京农业职业技术学院)

杨太生(山西建筑职业技术学院)

杨家其(四川交通职业技术学院)

肖伦斌(绵阳职业技术学院)

邹德奎(哈尔滨铁道职业技术学院)

闵 涛(湖南交通职业技术学院)

陈志敏(人民交通出版社)

罗 斌(湖南工程职业技术学院)

侯洪涛(济南工程职业技术学院)

战启芳(石家庄铁道职业技术学院)

钟汉华(湖北水利水电职业技术学院)

黄国斌(徐州建筑职业技术学院)

曹明东(徐州建筑职业技术学院)

蒋晓燕(浙江广厦建设职业技术学院)

韩家宝(哈尔滨职业技术学院)

詹亚民(湖北城建职业技术学院)

蔡 东(广东建设职业技术学院)

谭 平(北京京北职业技术学院)

顾问

杨嗣信(北京双圆工程咨询监理有限公司)

谢建民(中国广厦控股集团)

侯君伟(北京建工集团)

陈德海(北京广联达软件技术有限公司)

秘书处

邵 江(人民交通出版社)



近年来我国职业教育蓬勃发展,教育教学改革不断深化,国家对职业教育的重视达到前所未有的高度。为了贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》的精神,提高我国土建领域的职业教育水平,培养出适应新时期职业需要的高素质人才,人民交通出版社深入调研,周密组织,在全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会的热情鼓励和悉心指导下,发起并组织了全国四十余所院校一大批骨干教师,编写出版本系列教材。

本套教材以《高等职业教育土建类专业教育标准和培养方案》为纲,结合专业建设、课程建设和教育教学改革成果,在广泛调查和研讨的基础上进行规划和展开编写工作,重点突出企业参与和实践能力、职业技能的培养,推进教材立体化开发,鼓励教材创新,教材组委会、编审委员会、编写与审稿人员全力以赴,为打造特色鲜明的优质教材做出了不懈努力,希望以此能够推动高职土建类专业的教材建设。

本系列教材先期推出建筑工程技术、工程监理和工程造价三个土建类专业共计四十余种主辅教材,随后在2—3年内全面推出土建大类中7类方向的全部专业教材,最终出版一套体系完整、特色鲜明的优秀高职高专土建类专业教材。

本系列教材适用于高职高专院校、成人高校及二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校的土建类各专业使用,也可作为相关从业人员的培训教材。

人民交通出版社

2007年1月

前

言

QIANYAN

传统的三大力学一直是土木类专业的重要技术基础课,理论系统性很强,但对于高职高专的学生来说其理论知识偏深、偏难,给教学工作的整体安排带来诸多不便。因此,我们总结了近年来力学课程的教学经验,打破了传统的力学体系划分的格局,按照高职高专人才培养目标要求,本着“理论知识以必需、够用为度”的原则,将三大力学的理论知识进行了有机的整合。全书以“应用”为主线,按照工程中结构设计的思路由浅入深、循序渐进地编排了七篇内容,涵盖了力学的基础知识、结构的几何组成分析、静定结构的强度、刚度、稳定性计算、超静定结构以及移动荷载作用下结构的计算,既保证了力学理论体系的完整性,避免了不必要的重复,又能使学生明确力学理论的应用目标,便于学生对内容的理解和掌握,达到学以致用目的。本教材内没有习题,另编与之同步的《土木工程力学学习题册》,便于进行基础训练。

本书可作为高职高专院校交通土建类专业以及其他成人高校相应专业工程力学课程的教材,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

本书由哈尔滨铁道职业技术学院邹德奎、李颖担任主编,徐燕、费学军、卜昭海任副主编,韩仁海主审。具体编写情况如下:绪论、第一章、第二章、第三章、第四章由徐燕编写,第五章、第十二章由邹德奎编写,第六章、第八章、第十章由卜昭海编写,第七章、第九章由李颖编写,第十一章、第十三章由费学军编写。

鉴于编者水平有限,错误和不足之处,敬请同行和广大读者批评指正。

编者

2007年1月

目 录

MULU

绪论.....	1
第一篇 基础知识.....	6
第一章 静力学基本概念.....	6
第一节 力的概念.....	6
第二节 静力学基本公理.....	8
第三节 力矩与力偶	12
第四节 力在坐标轴上的投影	16
第五节 力的平移定理	18
第二章 物体的受力分析 结构的计算简图	20
第一节 约束与约束反力	20
第二节 物体的受力分析及受力图	25
第三节 结构的计算简图	30
第三章 平面力系的简化 平衡方程	33
第一节 平面一般力系向一点简化 主矢 主矩	33
第二节 平面一般力系的平衡方程	37
第三节 平面汇交力系的平衡方程	39
第四节 平面平行力系的平衡方程	40
第五节 物体系的平衡问题	43
第二篇 平面体系的几何组成分析	47
第四章 平面体系的几何组成分析	47
第一节 刚片、自由度和约束的概念.....	47
第二节 几何不变体系的简单组成规则	51
第三节 瞬变体系	54
第四节 几何组成分析示例	55
第五节 结构的几何组成与静定性的关系	59



第三篇 静定结构的内力计算及强度校核	61
第五章 杆件与结构的内力计算	61
第一节 轴向拉压杆的内力 轴力图	62
* 第二节 扭转杆的内力 扭矩图	65
第三节 单跨静定梁的内力	69
第四节 多跨静定梁的内力	74
第五节 静定平面刚架的内力	80
第六节 静定平面桁架的内力	84
第七节 组合结构的内力	91
第八节 三铰拱的内力	93
第六章 重心及截面的几何性质	98
第一节 物体的重心和形心	98
第二节 惯性矩与惯性积	103
第三节 主惯性轴和主惯性矩	106
第四节 组合截面的惯性矩计算	106
第七章 杆件横截面上的应力	108
第一节 基本概念	108
第二节 轴向拉压杆的应力	111
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力	114
第四节 梁纯弯曲时的正应力	119
第五节 梁剪切弯曲时的切应力	125
第六节 梁的主应力计算	132
第七节 应力集中的概念	137
第八章 强度分析与计算	140
第一节 容许应力与强度理论	140
第二节 轴向拉压杆的强度计算	144
第三节 连接件的强度计算	149
第四节 梁的正应力和切应力强度计算	156
第五节 梁的主应力强度计算	161
第六节 扭转杆的强度计算	163
第七节 组合变形杆的强度计算	164
第八节 提高构件弯曲强度的途径	176
第四篇 静定结构的刚度计算	180

第九章	杆件变形及结构的位移计算	181
第一节	直杆的轴向变形和扭转角	181
第二节	虚功原理 单位荷载法	184
第三节	用积分法求梁的变形	189
第四节	图乘法	193
第五节	静定结构由于其他因素引起的位移计算	199
第六节	互等定理	204
第五篇	压杆稳定	207
第十章	压杆稳定	208
第一节	基本概念	208
第二节	压杆的稳定计算	214
第三节	提高压杆稳定性的措施	217
第六篇	超静定结构	219
第十一章	力学	220
第一节	超静定次数的确定	220
第二节	力法的基本概念	223
第三节	力法典型方程	226
第四节	力法的计算步骤与示例	228
第五节	结构对称性的利用	236
第六节	温度变化时超静定结构的计算	242
第七节	支座移动时超静定结构的计算	245
第八节	超静定结构的特性	248
第十二章	位移法	250
第一节	等截面直杆的转角位移方程	250
第二节	位移法基本概念	255
第三节	位移法的典型方程及计算步骤	258
第四节	位移法计算超静定结构示例	262
第七篇	移动荷载作用下结构的计算	268
第十三章	影响线及其应用	269
第一节	影响线的概念	269
第二节	静定梁的影响线	270
第三节	间接荷载作用下的影响线	278
第四节	影响线的应用	279



第五节 简支梁的绝对最大弯矩·····	290
第六节 简支梁的内力包络图·····	293
附录 型钢表·····	296
参考文献·····	308

绪 论

一 工程力学的研究对象和任务

任何建筑物在施工和使用过程中均会受到各种力的作用。例如房屋中的楼板要承受自重、人和物品的重量,墙体要承受楼板传来的压力和风力,基础则承受墙体传来的压力等。工程上将这些主动作用在建筑物上的力,称为荷载;而将建筑物中直接或间接用来承受荷载的骨架部分称为结构,如道路中的桥梁、房屋中的屋架等;将组成结构的各部分称为构件,如组成屋架的各个杆件。

结构的类型很多,按几何特点可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构三类。长度远大于截面宽度和高度的构件称为杆件(图 0-1a),由若干杆件组成的结构称为杆件结构;长度、宽度远大于高度(或厚度)的构件称为薄板(图 0-1b、c),由若干薄板组成的结构称为薄壁结构;长、宽、高三维尺寸比较接近的结构称为实体结构(图 0-1d)。工程力学主要研究的是杆件结构。

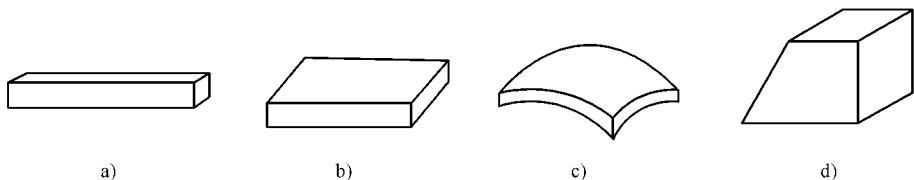


图 0-1

结构在建筑物中起着承受荷载、支撑建筑物的作用。要使结构能正常工作,要求结构必须具有一定的承受荷载的能力,即承载能力。在工程设计中,结构和构件应满足以下力学方面的要求:

(1) 构件应按一定的规律组成结构,以确保结构能够承受一定的荷载,满足安全和经济的需要。

(2) 构件应具有足够的抵抗破坏的能力,即要求构件具有足够的强度。如果构件强度不足,构件在荷载作用下就会发生破坏。如房屋中的楼板梁、工业厂房中的吊车梁,当其强度不足时,在荷载作用下就可能破坏,显然这是工程上绝对不允许的。



(3) 构件应具有一定的抵抗变形的能力,即要求构件具有一定的刚度。在同样荷载作用下,刚度大的构件变形小,刚度小的构件变形大。工程上要求构件在正常工作情况下,变形须在设计要求的许可范围内。

(4) 构件承压时能保持原有形状的稳定平衡状态,即要求构件具有一定的稳定性。承压构件在工作状态下,偏离原有稳定平衡状态而破坏的现象,称为失稳。构件失稳时,将由于产生过大变形而导致破坏。

综上所述,工程力学的研究对象主要是杆件结构,其具体任务是研究结构的几何组成规律和合理形式以及结构、构件在外因作用下的强度、刚度、稳定性的计算原理和计算方法。研究其组成规律的目的在于保证结构各部分不致发生相对运动,使它能承受荷载并维持平衡;进行强度和稳定性计算的目的在于保证结构的安全并使之符合经济的要求;计算刚度的目的在于保证结构不致发生过大的、在实用上不能容许的位移;研究结构的合理形式是为了有效地利用材料,使其受力性能得到充分的发挥。上述强度、刚度和稳定性的计算,不仅在设计结构时需要进行,而且当已有结构所承受的荷载情况发生改变时,也应加以核算,以判明是否需要采取加固措施。

二 刚体、变形固体及其基本假设

建筑物中构件的形状是千变万化的,工程上为研究方便,通常根据问题的性质不同,把构件抽象为两种理想化的模型:刚体和变形固体。

在外力作用下不变形的构件称为刚体。实际上任何构件受力作用后都要或大或小地发生变形,但在某些力学问题中,构件的变形因素对研究问题影响很小,可以不予考虑,这时,可将构件视为刚体,从而使问题的研究得到简化。

在外力作用下形状发生改变的构件称为变形固体。在一些力学问题中,研究内容以构件变形为基础,变形就成为不能忽视的因素而必须考虑,这时,我们将构件视为变形固体。

变形固体在外力的作用下会产生两种不同性质的变形:一种是当外力撤除时,变形随之消失,这种变形称之为弹性变形(图 0-2a);一种是当外力撤除后,变形不能消失而残留下来,这部分变形称之为塑性变形(图 0-2b)。工程中大多数固体的变形均被限制在弹性范围内,我们把在弹性范围内工作的固体称为弹性体。

工程材料是多种多样的,材料的物质结构及性能各不相同。为了便于研究,须略去次要的因素,因此对变形固体作如下的基本假设:

(1) 连续性假设。认为物体的材料结构是密实的,物体内材料是无空隙连续

分布的。

(2) 均匀性假设。认为材料的力学性质是均匀的,从物体上任取或大或小一部分,材料的力学性质均相同。

(3) 各向同性假设。认为材料的力学性质是各向同性的,即材料沿不同方向具有相同的力学性质。各方向力学性质不同的材料称为各向异性材料,本教材中仅研究各向同性材料。

(4) 小变形假设。认为构件的变形与构件的原始尺寸相比极其微小。在研究构件上力系的简化、研究构件及其局部的平衡时,均可按构件的原始形状、尺寸进行计算。

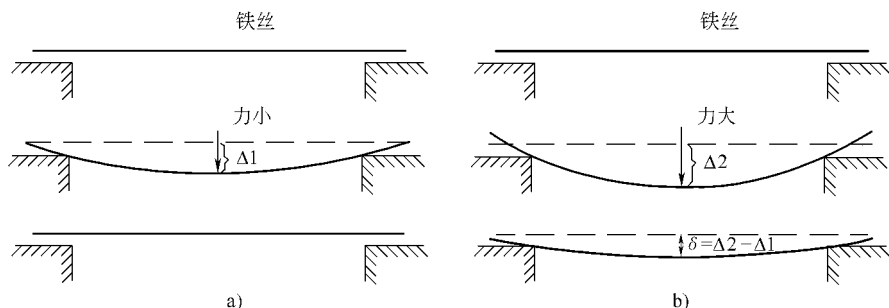


图 0-2
a) 弹性变形; b) 塑性变形

按照上述假设理想化的一般变形固体称为理想变形固体。刚体和变形固体都是工程力学中必不可少的理想化的力学模型。

综上所述,工程力学把所研究的结构和构件看作是连续、均匀、各向同性的理想变形固体,在弹性范围内和小变形情况下研究其承载能力。在研究问题时,可以认为构件内各处沿各个方向的变形、位移、内力等物理量是连续的,可以用坐标的连续函数表示,以利于进行严密的数学运算。

三 杆件变形的基本形式

杆件结构中的构件按其轴线是直线、曲线和折线的不同,可分为直杆、曲杆和折杆;各截面相同的杆称为等截面杆,各截面不相同的杆称为变截面杆;等截面的直杆称为等直杆。

实际杆件的形状往往相当复杂,不过常常有很多构件可以近似地简化为杆件来分析,例如建筑结构中的梁、柱、机械设备的传动轴等。本书主要研究的是



直杆。

杆件在外力作用下将具有不同的变形形式,并且往往比较复杂,但总不外乎下列四种基本形式之一,或者是几种基本形式的组合。

1. 轴向拉伸和压缩

受力特点:外力的作用线或外力合力的作用线与杆的轴线重合。

变形特点:杆段轴向伸长或缩短(图 0-3a、b)。

2. 剪切

受力特点:二反向外力垂直于杆轴线,而且相距很近。

变形特点:二反向外力作用线之间的杆段上,截面沿外力作用的方向发生相对错动(图 0-3c)。

3. 扭转

受力特点:外力偶作用面垂直于杆的轴线。

变形特点:外力偶作用面之间的横截面发生相对转动(图 0-3d)。

4. 弯曲

受力特点:外力偶或垂直于杆轴线的外力作用在杆的纵向对称平面内。

变形特点:杆件的轴线弯成平面曲线,横截面绕垂直于杆轴线的轴转动(图 0-3e)。

4

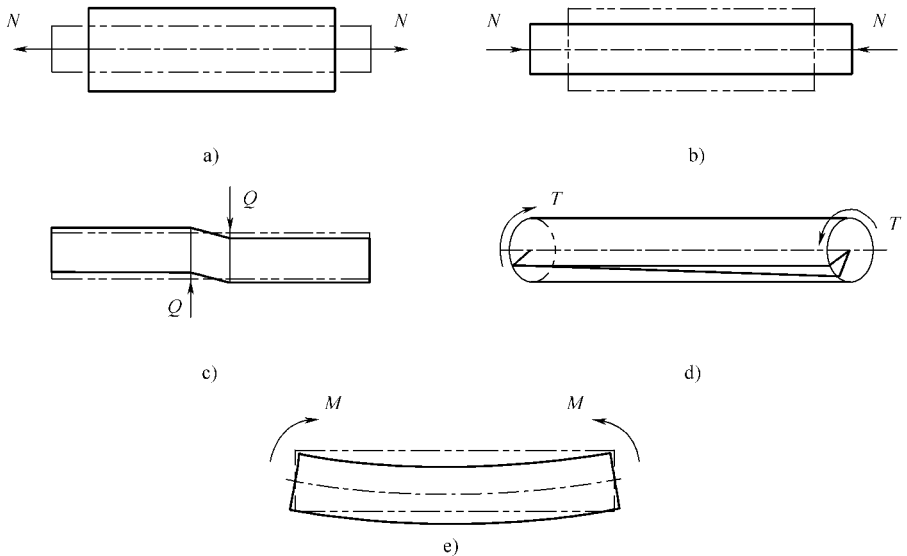


图 0-3

四 荷载的分类

1. 按荷载的作用性质可分为静荷载和动荷载

由零逐渐增大到最大值的荷载称为静荷载。静荷载的作用特点是:荷载是由零逐渐增加的,不引起结构显著的冲击或振动,加载的任一瞬间,都可认为构件处于静平衡状态。

大小、方向随时间发生改变的荷载称为动荷载。动荷载的作用特点是:加载过程使构件产生明显的冲击或振动,使结构产生不容忽视的加速度,因而必须考虑惯性力的影响,如机械振动、地震引起的荷载等。

2. 按荷载的作用时间可分为恒载和活载

永久作用在结构上的荷载称为恒载,如结构自重、固定设备的自重等。

暂时作用在结构上且位置可以改变的荷载称为活载,如结构上的临时设备、在桥上行进的火车、汽车等。

3. 按荷载的作用范围可分为分布荷载和集中荷载

分布作用在构件体积上、面积上、线段上的荷载分别称为体分布荷载、面分布荷载、线分布荷载,统称为分布荷载。其特点是:荷载分布作用在一定范围内,如重力是体分布荷载,风、雪重、水压力是面分布荷载,杆件的自重可看作是沿杆件轴线分布的线分布荷载。

当单位范围内荷载分布相等时,称为均布荷载,如匀质物体的自重是体均布荷载,杆件自重是沿杆轴线分布的线均布荷载。

如果荷载的作用范围与构件的尺寸相比小得多,可认为荷载作用在构件的一点上,该荷载称为集中荷载。



第一篇 基础知识

在对结构进行强度、刚度及稳定性计算时,首先要研究结构的受力情况,即对结构进行受力分析,以确定它所受到的外力情况。而在对结构进行受力分析时,由于其受力和变形情况比较复杂,完全按照实际工作状态进行力学分析往往既繁琐又十分困难,也是不必要的,因此,需要对实际结构进行简化。同时,在实际计算时要用到一些相应的计算理论。

本篇主要研究物体的受力分析,结构的计算简图,力、力系、力学的基本公理,力系的平衡等基础知识,这是以后对结构进行相应计算的基础。

第一章 静力学基本概念

第一节 力的概念

力的概念是人类在长期的生活和生产实践中通过观察和分析逐步形成的。当人们举起铁锤或推动小车时,由于手臂肌肉的紧张和收缩而感受到力的作用。这种作用不仅存在于人和物体之间,而且广泛地存在于物体与物体之间。例如车辆在行驶过程中,车轮与路面之间便有力(摩擦力)的作用。实践证明,离开物体,力就不可能存在。

一 力

力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的运动状态发生变化,或者使物体发生变形甚至使物体破坏。前者是力对物体产生的外效应(运动效应),后者是力的内效应(变形效应)。

力对物体作用的效应,取决于力的大小、方向(包括方位及指向)和作用点,称之为力的三要素。当三个要素中的任何一个改变时,力的效应也随之改变。

1. 力的大小

力的大小表示物体间相互作用的强弱程度。在国际单位制中,力的单位用牛顿(N)或千牛(kN)表示。在工程实际中,力的单位用公斤力(kgf)和吨力(tf)。牛顿和公斤力的换算关系是:

$$1\text{kgf}=9.8\text{N}$$

本教材采用国际单位制。

2. 力的方向

力一般用带箭头的线段表示,线段的方位表示力的方位,箭头的指向表示力的指向。

3. 力的作用点

力的作用点是指力作用在物体上的位置,一般并不是一个点,而是物体上的某一部分面积。当力的作用面积很小时,可以把这个面积抽象为一个点,而认为力作用在这个点上。作用在一点上的力称为集中力。这个点称为力的作用点。

力是具有大小和方向的量,所以力是矢量,其运算要遵循矢量运算法则。在力学中,矢量用一具有方向的线段来表示,如图 1-1 中用线段的起点或终点表示力的作用点;线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小。通过力的作用点沿力的方向的线段,称为力的作用线。力也可用黑体字母表示,如 \mathbf{F} 、 \mathbf{P} ,而用相应的细体字母表示该矢量的大小,如 F 、 P 等。

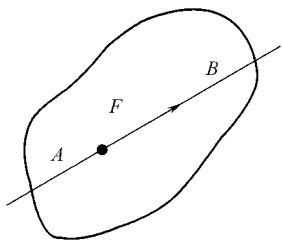


图 1-1

二 力系

同时作用在物体上的若干力总称为力系,以 (F_1, F_2, \dots, F_n) 表示,如图 1-2 所示。

如果一个力 R 与一个力系 (F_1, F_2, \dots, F_n) 等效,则力 R 称为此力系的合力,而力系中各力则称为合力的分力。图 1-2c) 中的力 R 为图 1-2a) 中 F_1, F_2, \dots, F_n 力



系的合力,同时也是图 1-2b)中力系的合力,而 F_1, F_2, \dots, F_n 为 R 的分力。

如果作用在物体上的一个力系可用另一个力系代替,而不改变原力系对物体作用的外效应,则这两个力系互称为等效力系或互等力系。如图 1-2a)中的 F_1, F_2, \dots, F_n 力系就与图 1-2b)中的 F'_1, F'_2, \dots, F'_n 就互为等效力系。

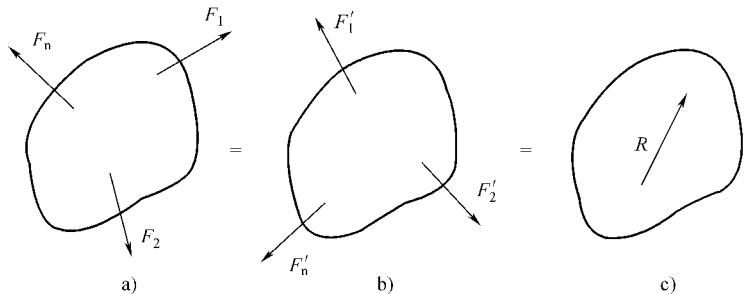


图 1-2

需要强调的是,这里所说的“等效”,只表明不改变原力系对物体作用的外效应,至于内效应,将随力的作用位置等的改变而有所不同。

如果物体在一力系的作用下处于平衡状态,则此力系称为平衡力系。

第二节 静力学基本公理

静力学主要研究力的基本性质和物体的受力分析、力系的简化及平衡条件。静力学基本公理是人类在长期的生产实践中归纳、总结出来的客观规律,是整个静力学理论的基础,它正确反映和概括了物体受力的一些基本性质。

公理一 二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是:大小相等、方向相反,并作用在同一直线上(简称等值、反向、共线),如图 1-3 所示。

这个公理揭示了物体受到最简单力系保持平衡时所必须满足的条件,是推证其他力系平衡条件的基础。

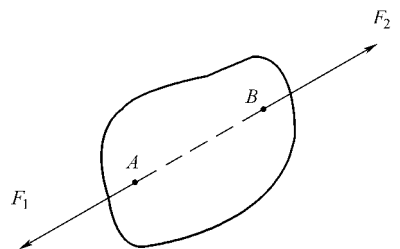


图 1-3

图 1-4 所示为一杆件 AB 受到两个力作用,并符合二力平衡公理的两种情况。其中图 1-4a)所示的两个力,使杆件有拉伸的趋势,称为拉力。图 1-4b)所示的两个力则使杆件有压缩的趋势,称为压力。这种只受两个力作用而处于平衡状态的构件在工程上是经常遇到的,称为

二力构件,当二力构件的轴线为直线时,称之为二力杆。其受力特点是:两个力的作用点的连线即为二力的共同作用线。

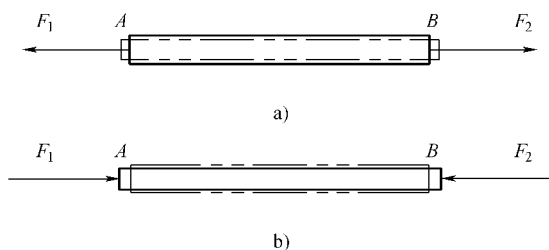


图 1-4

必须注意,二力平衡公理对柔性绳索一类物体的平衡是必要条件,但不是充分条件,图 1-5 的绳索受力便说明了这一点。

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系中,加上或去掉任一平衡力系,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,可以沿其作用线移至刚体内任意一点,而不改变该力对刚体作用的效应。

证明:设力 F 作用于刚体上的 A 点(图 1-6),在其作用线上任取一点 B ,并在 B 点加上一对平衡的力 F_1 和 F_2 ,使 $F_1 = -F_2 = F$,由公理二得知,这不影响原来的力 F 对于刚体的效应。根据公理一得知力 F 与力 F_2 相互平衡,再由公理二,去掉这两个力,于是只剩下作用于 B 点的力 F_1 ,显然它与原来作用于 A 点的力 F 等效。可见,力对于刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关,即力可以沿其作用线在刚体内任意移动而不改变它对刚体的作用效应。例如,人们在车后 A 点推车与在车前 B 点拉车其效果是一样的(图 1-7)。

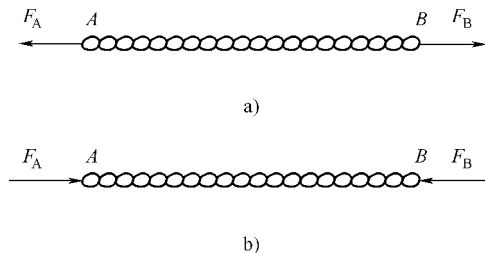


图 1-5

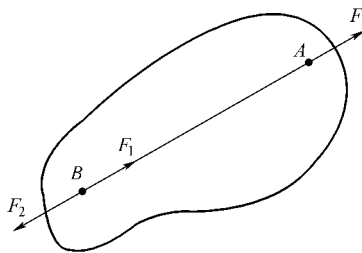


图 1-6