



高等学校土木工程类系列教材

土建力学及结构基础(第二版)

- 主 编 王玉龙
- 副主编 王雁然 徐 洁



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



高等学校土木建筑工程类系列教材

土建力学及结构基础(第二版)

■ 主 编 王玉龙

■ 副主编 王雁然 徐 洁



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土建力学及结构基础/王玉龙主编;王雁然,徐洁副主编. —2版. —武汉:武汉大学出版社,2011.4

高等学校土木建筑工程类系列教材

ISBN 978-7-307-08577-0

I. 土… II. ①王… ②王… ③徐… III. ①土木工程—工程力学—高等学校—教材 ②土木结构—高等学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 036003 号

责任编辑:李汉保 责任校对:刘 欣 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:chs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:通山金地印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:14.75 字数:351千字 插页:1

版次:2005年12月第1版 2011年4月第2版

2011年4月第2版第1次印刷

ISBN 978-7-307-08577-0/TU·96 定价:24.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校土木建筑工程类系列教材

编 委 会

- | | | |
|-------|-----------|------------------------------|
| 主 任 | 何亚伯 | 武汉大学土木建筑工程学院, 教授、博士生导师, 副院长 |
| 副 主 任 | 吴贤国 | 华中科技大学土木工程与力学学院, 教授、博士生导师 |
| | 吴 瑾 | 南京航空航天大学土木系, 教授, 副系主任 |
| | 夏广政 | 湖北工业大学土木建筑工程学院, 教授 |
| | 陆小华 | 汕头大学工学院, 副教授, 处长 |
| 编 委 | (按姓氏笔画为序) | |
| | 王海霞 | 南通大学建筑工程学院, 讲师 |
| | 刘红梅 | 南通大学建筑工程学院, 副教授, 副院长 |
| | 宋军伟 | 江西蓝天学院土木建筑工程系, 副教授, 系主任 |
| | 杜国锋 | 长江大学城市建设学院, 副教授, 副院长 |
| | 肖胜文 | 江西理工大学建筑工程系, 副教授 |
| | 徐思东 | 江西理工大学建筑工程系, 讲师 |
| | 欧阳小琴 | 江西农业大学工学院土木系, 讲师, 系主任 |
| | 张海涛 | 江汉大学建筑工程学院, 讲师 |
| | 张国栋 | 三峡大学土木建筑工程学院, 副教授 |
| | 陈友华 | 孝感学院教务处, 讲师 |
| | 姚金星 | 长江大学城市建设学院, 副教授 |
| | 梅国雄 | 南昌航空大学土木建筑学院, 教授, 院长 |
| | 程赫明 | 昆明理工大学土木建筑工程学院, 教授, 院长 |
| | 曾芳金 | 江西理工大学建筑与测绘学院土木工程教研室, 教授, 主任 |
| 执行编委 | 李汉保 | 武汉大学出版社, 副编审 |
| | 谢文涛 | 武汉大学出版社, 编辑 |

内 容 简 介

本书系统地介绍了静力学的基本概念,平面力系的合成与平衡,材料力学的基本概念,轴向拉伸与压缩,扭转,平面弯曲梁,剪切与挤压的实用计算,建筑结构的基本知识,体系的几何组成分析,力法的基本概念等。本书可以作为高等学校土木建筑工程类本科生的教材,也可以供高等学校教师及相关工程技术人员参考。

序

建筑业是国民经济的支柱产业,就业容量大,产业关联度高,全社会 50% 以上固定资产投资要通过建筑业才能形成新的生产能力或使用价值,建筑业增加值占国内生产总值较高比率。土木建筑工程专业人才的培养质量直接影响建筑业的可持续发展,乃至影响国民经济的发展。高等学校是培养高新科学技术人才的摇篮,同时也是培养土木建筑工程专业高级人才的重要基地,土木建筑工程类教材建设始终应是一项不容忽视的重要工作。

为了提高高等学校土木建筑工程类课程教材建设水平,由武汉大学土木建筑工程学院与武汉大学出版社联合倡议、策划,组建高等学校土木建筑工程类课程系列教材编委会,在一定范围内,联合多所高校合作编写土木建筑工程类课程系列教材,为高等学校从事土木建筑工程类教学和科研的教师,特别是长期从事土木建筑工程类教学且具有丰富教学经验的广大教师搭建一个交流和编写土木建筑工程类教材的平台。通过该平台,联合编写教材,交流教学经验,确保教材的编写质量,同时提高教材的编写与出版速度,有利于教材的不断更新,极力打造精品教材。

本着上述指导思想,我们组织编撰出版了这套高等学校土木建筑工程类课程系列教材,旨在提高高等学校土木建筑工程类课程的教育质量和教材建设水平。

参加高等学校土木建筑工程类系列教材编委会的高校有:武汉大学、华中科技大学、南京航空航天大学、南昌航空大学、湖北工业大学、汕头大学、南通大学、江汉大学、三峡大学、孝感学院、长江大学、昆明理工大学、江西理工大学、江西农业大学、江西蓝天学院 15 所院校。

高等学校土木建筑工程类系列教材涵盖土木工程专业的力学、建筑、结构、施工组织与管理等教学领域。本系列教材的定位,编委会全体成员在充分讨论、商榷的基础上,一致认为在遵循高等学校土木建筑工程类人才培养规律,满足土木建筑工程类人才培养方案的前提下,突出以实用为主,切实达到培养和提高学生的实际工作目标。本教材编委会明确了近 30 门专业主干课程作为今后一个时期的编撰、出版工作计划。我们深切期望这套系列教材能对我国土木建筑事业的发展 and 人才培养有所贡献。

武汉大学出版社是中共中央宣传部与国家新闻出版署联合授予的全国优秀出版社之一,在国内有较高的知名度和影响力。武汉大学出版社愿尽其所能为国内高校的教学与科研服务。我们愿与各位朋友真诚合作,力争将该系列教材打造成为国内同类教材中的精品教材,为高等教育的发展贡献力量!

高等学校土木建筑工程类系列教材编委会

2008 年 8 月

前 言

从 2002 年秋季学期开始,全国普通高等学校新一轮培养计划进入实施阶段。新一轮培养计划的特点是:加强素质教育,注重能力提高,培养创新精神。

2001 年,为配合素质教育的要求,武汉大学设置了全校公共选修课程“土建力学基础”,任何专业、任何年级的学生均可选修,由任课教师自行编写讲义。经过数年的教学实践,在对讲义内容不断补充和修订的基础上,高等学校土木建筑工程类系列教材之一《土建力学基础》于 2005 年 12 月由武汉大学出版社出版发行。

就学科性质而言,力学具有二重性:力学是一门基础学科,力学所阐述的规律带有普遍的性质。力学原是物理学的一个分支,物理学的建立则是从力学开始的。当物理学摆脱了用纯力学的概念和理论解释机械运动以外的各种运动而获得健康发展时,力学则在工程技术的推动下逐渐从物理学中独立出来。力学又是一门技术科学,力学是许多工程技术的理论基础,又在广泛的应用过程中不断得到发展。工程技术人员均要学习力学理论,为有效解决实际工程中的力学问题提供必备的知识。

因此,力学与其他一些学科息息相关,也推动着其他学科的发展。达芬奇曾说过,力学是数学的乐园,因为我们在这里获得了数学的果实。有“力学之父”美称的阿基米德创立了“穷竭法”,类似于现代微积分学中所说的逐步近似求极限的方法。他提出用圆内接多边形与外切多边形边数增多,其面积逐渐接近的方法求圆周率。可以说,阿基米德是科学地研究圆周率的第一人。

“土建”即“土木建筑”的简称。在过去,因为讲到土建时总是离不开土和木,因此有又“土”又“贱”的说法。现代的土木是指一切和水、土、文化有关的基础建设的计划、建造和维修。具体地说,“土”是指地基和基础,即下部结构,“木”是指上部结构,显然,上部结构与下部结构的连接处也是关键部位。

土木建筑工程领域宽广,现时一般的土木建筑工程项目包括:房屋、道路、水务、渠务、防洪工程及交通等。过去曾经将一切非军事用途的民用工程项目,归入本类,但随着工程科学日益广阔,许多原来属于土木建筑工程范围的内容都已经独立成科。

我国将土木建筑工程分为:房屋工程,铁路工程,道路工程,机场工程,桥梁工程,隧道及地下工程,特种工程结构,给排水工程,环境工程,城市供热供燃气工程,港口工程,交通工程,水利工程等。美国将土木建筑工程分为:结构工程(Structural engineering),大地工程(Geotechnical engineering),交通工程(Transportation engineering),环境工程(Environmental engineering),水利工程(Hydraulic engineering),建设工程(Construction engineering),材料科学(Materials science),测量学(Surveying),城市工程(Urban engineering)等。目前,从狭义定义上来说,土木建筑工程就等于 civil engineering,即建筑工程(或称结构工程)这个小范围。因此,本书所介绍的结构方面的知识偏重于建筑结构方面。

力学与许多工程领域密切相关。从力学素质教育和加强工程概念的要求出发,本书注重基本概念和基本理论,不追求冗长繁琐的理论、公式推导和数字运算。基于此,本书与以往的同类教材相比较,难度有所下降,工程概念有所加强。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,本书在概念、原理的叙述方面作了一些改进:一方面从提出问题、分析问题和解决问题等方面作了比较详尽的论述与讨论,强化力学素质教育;另一方面通过一定数量的与实际建筑工程有关的例题分析,加深学生对于基本内容的了解和掌握,加强工程概念。

应广大读者要求,在第二版时,将书名更名为《土建力学及结构基础》。

本教材共分 11 章,由王玉龙、王雁然、徐洁编写。其中,由王玉龙编写第 1 章、第 7 章~第 11 章及附录 I 部分,王雁然编写第 3 章、第 5 章、第 6 章,徐洁编写第 2 章、第 4 章。

本教材综合性强,可以作为普通高等学校、独立学院和高职高专的土木建筑工程类专业的教材,也可以作为高等学校的通识教育课程或公共选修课程的教材,同时也可以供高等学校教师及相关工程技术人员参考。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和缺陷,恳请广大读者批评斧正。

作 者

2010 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 土建力学的任务	1
§ 1.2 土建力学的研究内容	2
§ 1.3 土建力学的研究对象	3
习题与思考题 1	3
第 2 章 静力学的基本概念	4
§ 2.1 力的概念	4
§ 2.2 静力学公理	6
§ 2.3 约束与约束反力	9
§ 2.4 物体的受力分析及受力图	13
§ 2.5 力的投影	15
§ 2.6 力矩和力偶	18
习题与思考题 2	22
第 3 章 平面力系的合成与平衡	25
§ 3.1 平面汇交力系的合成与平衡	26
§ 3.2 平面力偶系的合成与平衡	29
§ 3.3 平面一般力系的合成与平衡	30
§ 3.4 应用平面力系平衡条件求解桁架内力	35
§ 3.5 平面平行力系的平衡	41
习题与思考题 3	42
第 4 章 材料力学的基本概念	49
§ 4.1 材料力学采用的基本假设	49
§ 4.2 杆件变形的基本形式	50
§ 4.3 内力的概念	51
§ 4.4 应力的概念	51
§ 4.5 变形的概念	52
习题与思考题 4	53

第 5 章 轴向拉伸与压缩	54
§ 5.1 轴向拉伸与压缩时的内力	54
§ 5.2 横截面上的应力	56
§ 5.3 拉(压)杆的变形	58
§ 5.4 拉伸和压缩时材料的力学性能	59
§ 5.5 强度条件 许用应力	66
§ 5.6 压杆稳定	70
习题与思考题 5	76
第 6 章 扭转	85
§ 6.1 扭转时的内力——扭矩	86
§ 6.2 圆轴扭转时的应力及其强度计算	88
§ 6.3 圆轴扭转时的变形计算和刚度校核	93
习题与思考题 6	95
第 7 章 平面弯曲梁	101
§ 7.1 平面弯曲梁的基本概念	101
§ 7.2 平面弯曲梁的内力	102
§ 7.3 平面弯曲梁的应力	110
§ 7.4 平面弯曲梁的变形	125
习题与思考题 7	136
第 8 章 剪切与挤压的实用计算	142
§ 8.1 剪切的概念	142
§ 8.2 剪切与挤压的实用计算	143
§ 8.3 剪切虎克定律	147
习题与思考题 8	149
第 9 章 建筑结构的基本知识	151
§ 9.1 建筑结构的分类	151
§ 9.2 建筑结构的荷载	152
§ 9.3 建筑结构的设计方法	153
§ 9.4 结构计算简图	155
§ 9.5 钢筋和混凝土的共同工作	157
§ 9.6 混凝土	158
§ 9.7 梁、板的构造	159
§ 9.8 多层与高层房屋结构的类型	163
§ 9.9 建筑结构抗震的基本知识	165
习题与思考题 9	172

第 10 章 体系的几何组成分析	173
§ 10.1 有关几何组成分析的概念	174
§ 10.2 几何不变体系的组成规律	176
§ 10.3 常变体系和瞬变体系	180
习题与思考题 10	181
第 11 章 力法的基本概念	184
§ 11.1 力法的基本概念	185
§ 11.2 用力法计算超静定梁	190
习题与思考题 11	194
附录 I 截面的几何性质	196
§ I-1 静矩和形心	196
§ I-2 惯性矩	198
§ I-3 惯性矩的平行移轴公式	200
习题与思考题	201
附录 II 常用截面的几何性质	204
附录 III 型钢表	206
参考文献	223

第1章 绪 论

§ 1.1 土建力学的任务

人们在生活中常常见到各式各样的建筑物,如房屋、桥梁、水坝、发电站、电视塔、庙宇,等等。无论建筑物多么高大雄伟、造型多么复杂,在施工过程和建成后的正常使用中都要受到各种各样的力的作用,例如:建筑物的自重、人、物品和设备的重量,以及风压、雪压、灰压、地震作用等。这些力在实际工程中统称为荷载。

建筑物中支承和传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。在一般房屋建筑中,结构由屋架、梁、板、柱、墙和基础等部件组成,这些组成结构的各个部件称为构件,图 1-1 是一个单层工业厂房的结构和构件的示意图。

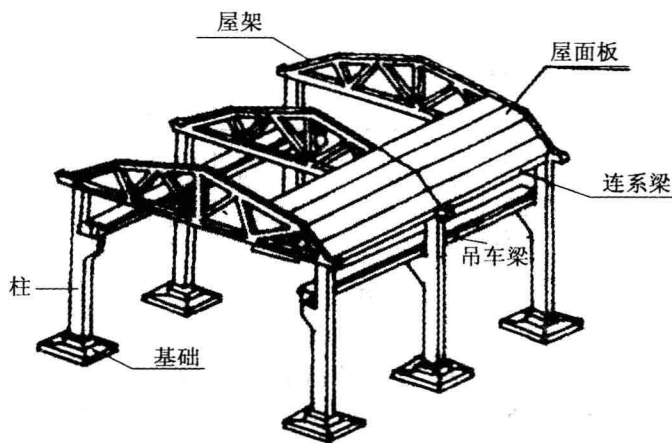


图 1-1

在施工和使用期间,结构及其中的各个构件在承受和传递荷载时,必须在以下两方面满足一定的基本要求:

(1) 安全性方面。要求结构和构件在荷载作用下不能破坏,同时也不能产生过大的形状改变(变形),并且应具有一定的稳定性,即要求结构和构件应具有一定的强度、刚度、稳定性。实际工程中把满足这种要求的条件称为具有承载能力,只有具有承载能力的结构和构件才能正常使用。

(2) 经济性方面。要求结构和构件所用的材料应尽可能少,工程造价尽可能低。

显然,结构或构件对安全性和经济性的各自要求是一对矛盾体,前者要求用好的材料、

大的截面尺寸,而后者则要求用低廉材料、最经济的截面尺寸。为了使对立的两者达到完美的统一,需要依靠科学理论和实践来探索材料的受力性能、确定构件的受力计算方法,从而使设计出的结构和构件既安全可靠又经济合理。

研究和解决上述问题的理论基础之一就是土建力学。土建力学的任务就是:研究作用在结构或构件上的力的平衡关系,构件的承载能力及材料的力学性能,为保证结构或构件正常工作提供计算原理和方法。

§ 1.2 土建力学的研究内容

下面以图 1-2 所示的梁为例作一简单介绍,使读者能够对土建力学的内容有一个总体概念。

(1) 从图 1-2 可以看到,梁 AB 搁在砖墙上,其上已受有荷载 P_1 和 P_2 的作用,在这两个力的作用下,梁 AB 有向下运动的趋势,但由于墙体的支承,才使其不下落而维持平衡状态。这种支承作用,必然使墙对梁产生了支承力 R_A 和 R_B ,因而荷载 P_1 和 P_2 与支承力 R_A 和 R_B 就具有某种关系,这种关系称为平衡条件。利用平衡条件,就可以由荷载 P_1 和 P_2 求出支承力 R_A 和 R_B 。

这一工作的关键在于研究力的平衡条件。

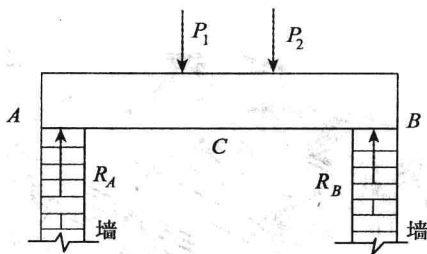


图 1-2

(2) 荷载 P_1 和 P_2 与支承力 R_A 和 R_B 统称为梁 AB 的外力。当梁上的全部外力求出后,便可以进一步研究这些力怎样使梁破坏或产生变形。梁 AB 在 P_1 、 P_2 、 R_A 和 R_B 的作用下发生弯曲,同时在梁的内部产生一种力来抵抗外力,这种力称为内力。例如:梁 AB 在图示荷载作用下,跨中截面 C 很可能首先出现裂缝继而断裂。这说明,跨中截面 C 处有引起破坏的最大内力存在,是梁的危险截面。

这一工作主要是研究外力与内力的关系,是分析承载能力的关键。

(3) 为了保证梁不发生破坏,就需要进一步研究梁本身抵抗破坏的能力(强度)、抵抗变形的能力(刚度),找出引起梁破坏的因素和梁的这些力之间的关系,从而可以合理选择梁的材料、截面形状和尺寸,使梁既具有足够的承载能力,材料用量又最经济。

各种不同的受力方式对构件或结构会产生不同的内力,相应有不同的计算方法。这些方法就构成了土建力学的基本研究内容。这些内容又可以划分为三个部分:静力学、材料力学和结构力学。

§ 1.3 土建力学的研究对象

结构和构件的形状多种多样,实际工程中把长度方向的尺寸比截面尺寸大得多(或某一维方向的尺寸比另二维方向的尺寸大得多、不在同一数量级)的构件称为杆件,如梁、柱等。由杆件组成的结构称为杆件结构。杆件结构是房屋建筑中应用最广泛的一种结构。

把厚度方向的尺寸远远小于另两个方向尺寸的构件称为薄板或薄壳,如房屋建筑中的楼板等。由薄板或薄壳构成的结构称为薄壁结构。

把三个方向的尺寸大致为同一数量级的构件称为块体。由块体组成的结构称为块体结构,如水利工程中的挡土墙和重力坝等属于这类结构。

本书所研究的主要对象就是杆件或杆件结构。

习题与思考题 1

- 1.1 什么是建筑结构?什么是构件?
- 1.2 结构和构件在施工和使用期间,必须满足哪些条件?
- 1.3 如何理解土木建筑工程中安全性和经济性的对立与统一?
- 1.4 杆件的几何特征是什么?
- 1.5 土建力学的主要研究内容包括哪些方面?这些内容可以分为哪几个方面?
- 1.6 土建力学的研究对象是什么?
- 1.7 什么是建筑物?举例说出生活中经常见到的建筑物。

第2章 静力学的基本概念

静力学是研究力的基本性质和力系的合成以及物体在力的作用下平衡规律的科学。

一般情况下,一个物体总是同时受到许多力的作用。我们将作用在物体上的一群力或一组力称为一个力系。力系的合成,就是将作用于物体上的已知力变换成等效的更简单的力系,也称为力系的简化。

所谓平衡,是指物体相对于惯性参考系处于静止状态或保持匀速直线运动状态。例如:我们不仅说静止在地面上的房屋、桥梁和水坝等建筑物处于平衡状态,而且也说在直线轨道上作匀速运动的塔吊以及匀速上升或下降的升降台等也处于平衡状态。

物体在力系作用下若保持平衡,则作用于该物体上的力系称为平衡力系。

必须指出,运动是绝对的和永恒的,一切静止、平衡都是相对的和暂时的。在地面上看来是静止的建筑物,实际上随着地球的自转和公转在太阳系中不停地运动。因此,我们所说的平衡只是相对于被选做参照的物体而言才有意义。在静力学中,通常把地面选做参照系。

在实际土木建筑工程中,平衡问题的研究有着广泛的应用。由于建筑物相对于地面是处于静止状态的,对这些建筑物进行设计和施工时,就必须分析其在力的作用下平衡的规律,即进行静力学分析。例如:在设计单层工业厂房结构时,首先需要分析和计算各种构件所受的力,然后再根据受力情况和所选用的材料确定构件尺寸,以满足安全和经济的要求。前者是静力学要解决的问题,后者是材料力学和结构力学及工程结构学科要研究的问题。

此外,各种机械的设计,也都离不开静力学知识。由此可见,静力学在实际工程技术中有着广泛的应用。同时,静力学也是土建力学其他章节内容的基础。

在静力学中,将所研究的物体都视为刚体。所谓刚体,是指在任何外力作用下,其大小和形状始终保持不变的物体。也就是说,物体内任意两点之间的距离是绝对不变的。显然这样的物体在自然界中是不存在的,任何物体在受到外力的作用后都将发生变形。但许多物体受力时其变形很小,而忽略这种变形后对研究成果的精确度无显著影响,且可以使研究的问题大大简化,对这样的物体就应看做刚体。所以,刚体是从实际物体抽象得来的一种理想的力学模型。

在实际工程中,结构或构件的变形都是很微小的。如房屋建筑中常用的钢筋混凝土梁,其最大变形值小于或等于跨度的 $\frac{1}{500} \sim \frac{1}{200}$,这些微小变形对平衡问题的研究影响甚微,完全可以忽略不计,因而可以将物体视为刚体。

§ 2.1 力的概念

人们对力的认识是在长期生产劳动和反复的社会实践中不断加深和逐步完善的。人们

在建筑工地上推车和制作钢筋的过程中,不仅能通过肌肉紧张收缩的感觉感受到力的存在,而且还可以看到车会运动起来、钢筋会改变形状。同时人们也发现:力总是出现在两个物体之间,如人与车之间,人与钢筋之间。

经过长期的实践和总结,可以将力叙述为:力是物体相互之间的一种机械作用,力能使物体的机械运动状态发生改变或能引起物体的变形。

由上述关于力的定义可知,力具有物质性:一方面,力不能脱离物体而出现;另一方面,有力就必定存在两个或两个以上的物体。

力同时具有效应性:力使物体的机械运动状态发生改变的效应称为力的运动效应或外效应;力使物体发生变形的效应称为力的变形效应或内效应。静力学只研究力的运动效应,材料力学和结构力学才研究力的变形效应。

物体之间力的作用既可以是直接的、互相接触的,也可以是间接的、互相不接触的。前者称为接触力,后者称为非接触力。例如:塔吊吊装预制楼板时,钢丝绳对楼板的拉力为接触力;而预制楼板所受的地心引力(也称为重力)等则为非接触力。

相关实践表明,力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点三个要素。力的三要素中的任何一个发生改变,力对物体的作用效应也就会随之改变。因此,确定一个力,必须说明力的大小、方向、作用点。

力的大小表示物体之间相互机械作用的强弱程度。在国际单位制中,力的单位是牛顿或千牛顿,简称牛或千牛,分别用 N 或 kN 来表示。

力的方向表示物体之间的机械作用具有方向性,通常包括方位和指向两个含义,例如,重力的方向是“铅垂向下”,“铅垂”是力的方位,“向下”则是力的指向。

力的作用点表示物体所受机械作用的位置。一般来说,力的作用位置并非是一个几何点而是有一定大小范围的面,例如,两物体接触时其相互之间的作用力分布在整个接触面上(这样的力称为分布力)。不过当作用范围很小,或由于其他原因以至力的作用范围可以不计时,就可以近似地看成为一点,该点即为力的作用点(这样的力称为集中力)。通过力的作用点,沿力的方向的直线,称为力的作用线。

由力的三要素可知,力是矢量,因而可以用一个带有箭头的直线线段(即有向线段)来表示。线段的长短表示力的大小,线段的方位和箭头的指向表示力的方向,线段的起点或终点表示力的作用点,故力又是定位矢量。图 2-1 就表示了物体在 A 点受到力 F 的作用。

本书凡是矢量都以粗斜体字母表示,如力 F ;而以细斜的同一字母表示其大小,如 F 。

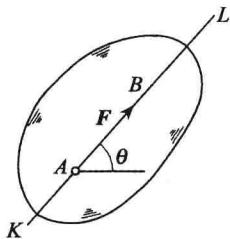


图 2-1

§ 2.2 静力学公理

所谓公理是指这些原理只能在实践中得到验证,而不可能通过更简单的理论进行推导证明,即公理是最简单的、最基本的、公认的、明显易见而不需证明的原理。静力学中关于力系简化和平衡的理论均来源于以下几个公理。

2.2.1 二力平衡公理

公理 2.1 刚体在两个力作用下保持平衡的必要与充分条件是:这两个力的大小相等(等值)、方向相反(反向)、作用在同一直线上(共线)。

这个公理总结了作用于物体上最简单的力系平衡时必须满足的条件。如吊车吊起物体,如图 2-2 所示,物体受到自重 W 和吊车绳索的拉力 T 的作用,这两个力组成了最简单的力系。由牛顿运动定律可知,如果重物处于平衡状态,则外力 W 和拉力 T 的合力必须等于零,即

$$T - W = 0 \quad (2-1)$$

$$T = W \quad (2-2)$$

公理中强调刚体,是因为对于刚体来说,这个条件既必要又充分;而对于非刚体,这个条件虽然必要却不充分,例如,若以等值、反向、共线的两个力各作用于一根软绳的一端,当为拉力时软绳可以平衡,但当为压力时软绳就不会平衡。

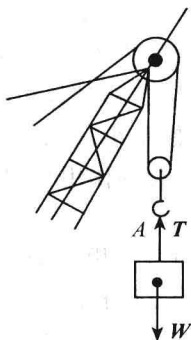


图 2-2

2.2.2 加减平衡力系公理

公理 2.2 在作用于刚体上的任意一个力系上加上或减去一个或若干个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

平衡力系对刚体的运动效应等于零,显然不会改变刚体原有的运动状态,故公理 2.2 的正确性是极为明显的。

由上述可知,相差一个或若干个平衡力系的两个力系对刚体的作用效应完全相同,可以互相代替。这种对于刚体作用效应完全相同的力系,称为等效力系或互等力系。

利用加减平衡力系公理,容易推导出作用于刚体上力的一个重要性质:可以将作用于刚