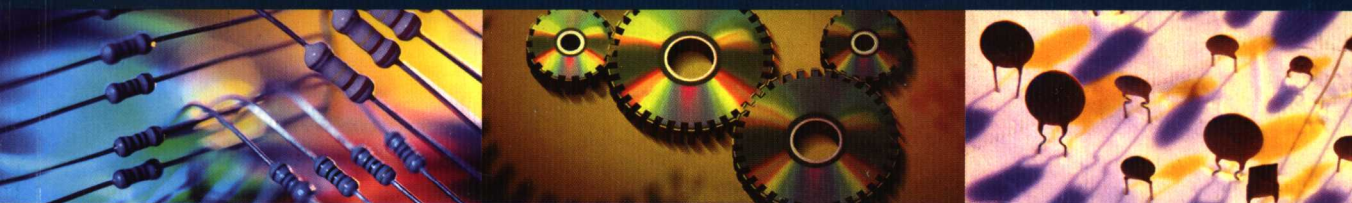




新世纪高等职业教育机电类课程教材

工程力学 (第二版)



主 编 杜建根



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

新世纪高等职业教育机电类课程教材

工 程 力 学

(第二版)

主编 杜建根

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教育部高等职业教育工程力学课程的教学基本要求,围绕高职培养应用型人才的目标,并考虑到学生继续学习和深造的需要编写的。

本书除绪论外,分为两篇。第一篇刚体静力分析,包括刚体静力分析基础,力系的平衡方程及其应用两章;第二篇杆件承载能力分析,包括杆件基本变形时的内力分析,杆件基本变形时的应力分析,轴向载荷作用下材料的力学性能,杆件的强度设计,杆件的刚度设计,压杆的稳定性设计六章。书中打*号的内容为选学部分,各院校可根据专业和讲课时自主安排。

本书可作为高职院校机电类、近机类各专业工程力学课程的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/杜建根主编. —2版. —北京:高等教育出版社, 2006. 7
ISBN 7-04-019599-2

I. 工... II. 杜... III. 工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第078111号

策划编辑 孙鸣雷 责任编辑 李瑞芳 封面设计 吴昊 责任印制 潘文瑞

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-58581000	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	021-56965341		http://www.hep.com.cn
			http://www.hepsh.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
排 版	南京理工出版信息技术有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	江苏南洋印务集团	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2003年7月第1版
印 张	16.25		2006年7月第2版
字 数	403 000	印 次	2006年7月第1次
		定 价	22.00元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19599-00

出版说明

高等教育出版社组织编写的“新世纪高职高专教改项目成果教材”自出版以来,以其适应高等职业教育人才培养模式的基本特征,以应用为主旨、以就业为导向的教学内容体系等特点,受到了广大高等职业院校师生的一致好评。

为了进一步贯彻落实《中华人民共和国职业教育法》和《中华人民共和国劳动法》,适应全面建设小康社会对高素质劳动者和技能型人才的迫切要求,促进社会主义和谐社会建设,2005年10月28日,国务院发布了《国务院关于大力发展职业教育的决定》(以下简称《决定》),明确了今后一个时期职业教育改革与发展的指导思想、目标任务和政策措施。11月7日至8日,国务院召开了全国职业教育工作会议,深入学习贯彻党的十六届五中全会精神,全面落实科学发展观,动员和部署实施《决定》。会议强调,要把发展职业教育作为经济社会发展的重要基础和教育工作的战略重点;以服务社会主义现代化建设为宗旨,培养数以亿计的高素质劳动者和数以千万计的高技能专门人才;坚持以就业为导向,深化职业教育教学改革;依靠行业企业发展职业教育,推动职业院校与企业的密切结合;严格实行就业准入制度,完善职业资格证书制度。

为了贯彻落实《决定》和全国职业教育工作会议精神,也为了适应我国近几年高等职业教育快速发展的需要,促进教学内容、教学体系的更新,我社在2005年底启动了对“新世纪高职高专教改项目成果教材”的修订再版工作。新版系列教材坚持以“就业”为导向的原则,选取实际工作中存在的设备工具、操作方式,讲解在实际岗位工作时实际需要的知识和能力,适应高等职业教育培养学生的“就业能力”的需要;与国家技能鉴定等就业准入制度结合,注重从实际工作场合选取有代表性的实例,突出学生实际操作能力的培养。

新版系列教材出版后,我们还将不定期地举行相关课程的研讨与培训活动,并邀请一些相关行业的优秀企业共同探讨人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革,为各院校提供一个加强校企合作、交流的互动平台。

“新世纪高等职业教育机电类课程教材”适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校机电类专业使用。

高等教育出版社

2006年6月

第二版前言

本书是根据国家教育部高等职业教育工程力学课程的教学基本要求,围绕高职培养应用型人才的目标,并考虑到学生继续学习和深造的需要编写的,可作为高职院校机电类、近机类各专业工程力学课程的教学用书。

本书在编写过程中汲取了各高职院校近年来力学课程改革的成功经验,对传统工程力学课程的教学内容、课程体系进行了分析和整合,注重基本概念、基本原理和基本方法的阐述,而不追求课程的理论性和系统性。

与第一版相比,本书删去了一些繁琐的理论内容,突出了工程应用性。如在刚体静力分析中删去了空间问题中力对点的矩、空间力偶系、空间力系的简化等理论内容;在杆件承载能力分析中删去了梁横截面上切应力的有关内容,删去了应力状态与强度理论的有关内容,体现了以培养学生能力为本的高等职业教育特色。书中的例题绝大多数为精选的典型题目,旨在使读者巩固力学基本概念、基本原理,掌握力学问题的分析方法和解题技巧。每章后附有思考题和习题,以便使读者得到较为全面的训练,提高分析和解决实际问题的能力,并为学习后续课程打下基础。

书中打*号的内容为选学部分,各院校可根据专业和学时自主安排。本书共70学时,建议学时分配如下:

内 容	学 时	学时分配	
		讲课	习题课
绪论	1		
第一章刚体静力分析基础	11	9	2
第二章力系的平衡方程及其应用	10	8	2
第三章杆件基本变形时的内力分析	8	6	2
第四章杆件基本变形时的应力分析	6	6	
第五章轴向载荷作用下材料的力学性能	4	4	
第六章杆件的强度设计	12	10	2
第七章杆件的刚度设计	4	4	
第八章压杆的稳定性设计	4	4	
实验	6		
机动	4		
合计	70		

本书由杜建根任主编,参加编写的有河南工业职业技术学院杜建根、朱成俊、徐荣政。河南工业职业技术学院唐建生审阅了本书,在此表示感谢。

限于作者水平,且编写时间仓促,书中错误和缺点在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年4月

第一版前言

本书是根据教育部高等职业教育工程力学课程的教学基本要求,围绕高职培养应用性人才的目标,并考虑到学生继续学习和深造的需要编写的,可作为高职院校机电类、近机类各专业工程力学课程的教学用书。

本书在编写过程中,对传统工程力学课程的教学内容、课程体系进行了分析和整合,汲取了各高职院校近年来力学课程改革的成功经验,注重基本概念、基本原理和基本方法的阐述,而不追求课程的理论性和系统性,强化了工程应用性。

本书共 70 学时,建议学时分配如下:

章 次	内 容	学 时	学时分配	
			讲课	习题课
	绪论	1		
第一章	刚体静力分析基础	11	9	2
第二章	力系的平衡方程及其应用	10	8	2
第三章	杆件基本变形时的内力分析	8	6	2
第四章	杆件基本变形时的应力分析	6	6	
第五章	应力状态分析与强度设计准则	6	6	
第六章	杆件的强度设计	12	10	2
第七章	杆件的刚度设计	4	4	
第八章	压杆的稳定性设计	4	4	
	实验	6		
	机动	2		
	合计	70		

书中打 * 号的内容为选学部分,各院校可根据专业和学时自主安排。

参加本书编写的有河南工业职业技术学院杜建根,吉林工业职业技术学院李立,由杜建根任主编。本书由河南工业职业技术学院姜立增主审。

限于作者水平有限,且编写时间仓促,书中不妥处恳请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118



高教教师俱乐部会员信息表

(请用楷体认真填写)

姓 名		性 别		出生年月		身份证号码	
学 校				学 院			系 (所)
学校地址						邮 编	
职 务				职 称			办公电话
Email				手 机			宅 电
通信地址						邮 编	

- 您所教授的课程及学生层次:
- 您目前使用的教材(书名、作者、出版社):
- 您希望俱乐部提供哪些服务?

* 请附教师证或工作证复印件

复印件粘贴处

高等教育出版社上海分社

联系地址:上海市虹口区宝山路 848 号

电 话:021-65878318

联 系 人:教学服务部

邮编:200081

传真:021-65878318

Email:service@hepsh.com



目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 刚体静力分析

第一章 刚体静力分析基础	7
§ 1-1 力的概念及其性质	7
§ 1-2 力的投影与合力投影定理	11
§ 1-3 力矩与合力矩定理	17
§ 1-4 力偶及其性质	22
§ 1-5 力的平移定理	25
§ 1-6 约束与约束力	27
§ 1-7 物体的受力分析与受力图	32
思考题	36
习 题	37

第二章 力系的平衡方程及其应用	42
§ 2-1 平面一般力系的简化	42
§ 2-2 平面力系的平衡方程及其应用	45
§ 2-3 机械工程中的摩擦与自锁	58
§ 2-4 空间力系的平衡方程及应用	71
§ 2-5 物体的重心与形心	76
思考题	84
习 题	86

第二篇 杆件承载能力分析

第三章 杆件基本变形时的内力分析	99
§ 3-1 内力与截面法	99
§ 3-2 拉压杆的内力与内力图	100
§ 3-3 平面弯曲梁的内力与内力图	103
§ 3-4 受扭圆轴的内力与内力图	117
思考题	121
习 题	122

第四章 杆件基本变形时的应力分析	126
§ 4-1 应力与应变·胡克定律	126
§ 4-2 拉压杆的应力	128

目 录

§ 4-3 梁横截面上的正应力	131
§ 4-4 受扭圆轴横截面上的切应力	139
思考题	143
习 题	144
第五章 轴向载荷作用下材料的力学性能	148
§ 5-1 轴向载荷作用下材料的力学性能	148
§ 5-2 强度失效判据与设计准则	159
思考题	160
第六章 杆件的强度设计	162
§ 6-1 拉压杆的强度设计	162
§ 6-2 连接件的强度设计	166
§ 6-3 梁的正应力强度设计	173
§ 6-4 受扭圆轴的强度设计	176
§ 6-5 组合变形杆件的强度设计	178
§ 6-6 交变应力与疲劳失效	186
思考题	192
习 题	193
第七章 杆件的刚度设计	201
§ 7-1 拉压杆的变形	201
§ 7-2 梁的变形与刚度设计	204
§ 7-3 受扭圆轴的变形与刚度设计	212
§ 7-4 提高杆件强度和刚度的措施	215
思考题	218
习 题	219
第八章 压杆的稳定性设计	221
§ 8-1 压杆稳定性的概念	221
§ 8-2 压杆的临界力与临界应力	223
§ 8-3 压杆的稳定性设计	228
思考题	231
习 题	232
附录 型钢表	234
习题参考答案	242
参考文献	248

绪 论

一、工程力学的任务和性质

工程力学是研究物体机械运动一般规律与构件承载能力的一门科学。**机械运动**是物体在空间的位置随时间的变化,是自然界中最普遍和最基本的运动形式,平衡是机械运动的一种特殊情况。**构件承载能力**是指构件在确定的外力作用下安全正常工作的能力。

各种机械或结构都是由若干个基本的零、部件按照一定的规律组成的,组成机械或结构的基本零、部件称为**构件**。当机械或结构工作时,其各构件都要受到外力的作用。在外力作用下,构件可能平衡,也可能运动状态发生改变,同时构件产生变形。构件是由一定的材料制成的,若外力超过材料的承受能力,将导致构件失效。

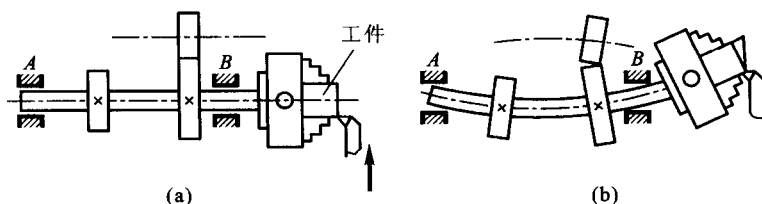


图 0-1

例如,机床主轴(图 0-1),若因外力过大而断裂,整个机床就无法使用;若变形过大,将使齿轮间不能正常啮合,引起轴承的不均匀磨损,从而影响机加工精度。又如柴油机的挺杆(图 0-2)、千斤顶的螺杆(图 0-3),当轴向外力超过一定限度时就会突然变弯而不能正常工作。

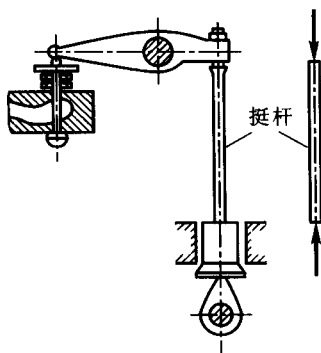


图 0-2

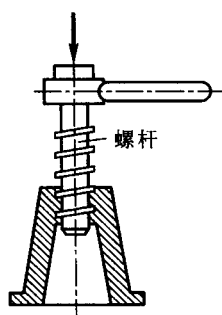


图 0-3

构件在确定的外力作用下丧失正常功能称为**失效或破坏**。工程构件的失效形式主要有强度失效、刚度失效和稳定失效等。

强度失效是指构件在外力作用下发生塑性变形或断裂。

刚度失效是指构件在外力作用下产生过量的弹性变形。

稳定失效是指构件在某种外力作用下突然丧失原有的平衡形式。

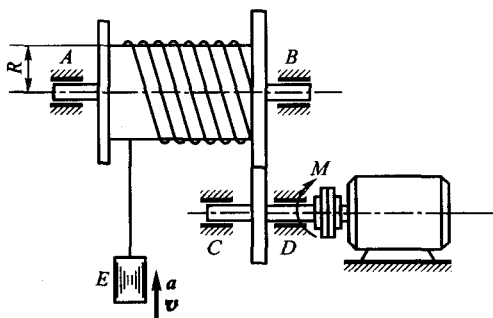


图 0-4

如图 0-4 所示电动起重机构,设计时,首先需要分析每个构件的受力情况,以及机构平衡时各构件作用力必须满足的条件。为保证机构安全正常的工作,需要根据各构件的受力情况,分析其变形和失效规律,为构件选择合适的材料、合理的截面形状和尺寸。

工程力学的主要任务是研究构件的受力、平衡、变形和失效规律,为保证构件安全可靠的工作,提供必要的基础理论、设计准则和计算方法。掌握工程力学知识,不仅可以

解决工程实际中的力学问题,而且为学习后续课程(如机械设计等)提供必要基础。同时,通过本课程的学习,可以提高分析问题和解决问题的能力。因此,工程力学在专业技术教育中有着重要的地位和作用。

二、工程力学的研究对象、模型及构件变形的基本形式

实际构件的形状是多种多样的,工程力学主要研究杆类构件,简称为**杆件**。杆件的几何特征是长度方向的尺寸远大于横向尺寸,如梁、轴、柱等均属于杆件。杆件的几何形状可用其轴线(截面形心的连线)和横截面表示。轴线为曲线的杆称为**曲杆**,轴线为直线的杆称为**直杆**,各横截面相同的杆称为**等截面杆**。本课程主要研究等截面的直杆,简称为**等直杆**。

工程实际问题往往比较复杂,在研究物体的运动规律和承载能力时,必须抓住主要矛盾,忽略一些次要因素,对实际研究对象进行合理的简化,从而抽象出既符合实际又便于计算的力学模型。工程力学中最基本的力学模型有**刚体**和**变形固体**。

任何物体在力的作用下都要发生变形,但工程问题中的这种变形通常是很小的,在研究物体的受力、平衡及运动规律时可以略去不计,这时可以将物体抽象为刚体。所谓**刚体**,是指在力的作用下,大小和形状不变的物体。

在研究构件的强度、刚度、稳定性等问题时,由于这些问题与构件的变形密切相关,因而即使变形微小也必须加以考虑,这时将物体抽象为在外力作用下将产生变形的固体,称为**变形固体**。工程力学从宏观的角度研究物体内部的受力和变形规律时,对变形固体做如下假设:

1. 均匀连续性假设

假设变形固体在其整个体积内连续不断地充满着物质,而且各处的力学性能都相同。

2. 各向同性假设

假设变形固体在各个方向上具有相同的力学性能。

变形固体在外力作用下将产生两种不同性质的变形:一种是当外力消除时,变形也随着消失,称为**弹性变形**;另一种是外力消除后,变形不能全部消失而留有残余,残余部分的变形

称为**塑性变形**(或残余变形)。一般情况下,物体受力后,既有弹性变形,又有塑性变形。一般工程材料,当外力不超过一定范围时,仅产生弹性变形,称为**理想弹性体**。只引起弹性变形的**外力范围**,称为**弹性范围**。本书在研究构件的承载能力时,只限于讨论材料在弹性范围内的小变形问题。所谓**小变形**,是指构件的变形量远小于其原始尺寸。由于变形量很微小,在研究构件的平衡和运动规律时,可以忽略其变形,按构件变形前的尺寸和形状来计算。

构件在不同的外力作用下,将发生不同形式的变形。构件变形的基本形式有四种:

- ① 轴向拉伸和压缩(图 0-5a);
- ② 剪切(图 0-5b);
- ③ 扭转(图 0-5c);
- ④ 弯曲(图 0-5d)。

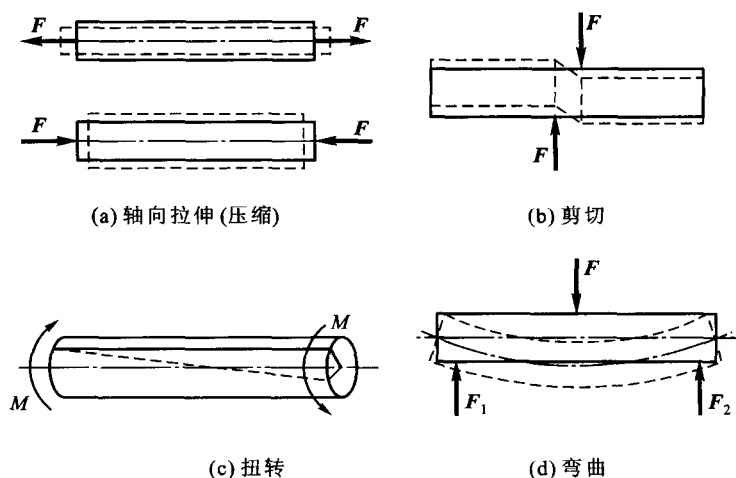


图 0-5 构件的基本变形

三、工程力学的主要内容

工程力学的内容极其丰富,本书主要包括以下两部分:

1. 刚体静力分析

刚体静力分析主要研究物体在力系作用下的平衡规律,包括物体受力分析、力系的简化和平衡条件。

2. 杆件承载能力分析

杆件承载能力分析主要研究杆件的强度、刚度、稳定性及材料的力学性能。

强度是指杆件抵抗破坏的能力。要使杆件安全承受外力不发生破坏,就必须具有足够的强度。

刚度是指杆件抵抗弹性变形的能力。任何杆件在外力作用下都将产生变形,如果变形过大将影响其安全工作,因此需要对其变形加以限制,使其变形不超过允许的范围,这就要求杆件具有足够的刚度。

稳定性是指杆件保持原有平衡形式的能力。杆件具有足够的稳定性,就是要求杆件在工作时不发生稳定失效。

杆件的承载能力,不仅与其受力有关,还与其形状、尺寸、组成、工作条件、材料的力学性能等有关。如果杆件截面积设计得过小,则杆件不能满足强度、刚度或稳定性要求;如果杆件的截面积设计得过大,则用料过多会造成浪费,并且使构件笨重。杆件的承载能力就是解决安全与经济这对矛盾的。

四、工程力学的研究方法

工程力学的研究方法遵循认识论的规律,通过对各种实际现象的观察,将实际问题抽象为力学模型,再根据力学理论建立各力学量之间的关系,从而得到数学模型,经过逻辑推理和数学演绎进行分析和计算,而分析和计算结果是否正确,又要通过工程实践或实验来检验。

观察和实验是研究工程力学重要的实践环节,在学习工程力学时,要善于观察工程实际和生活中的力学现象,学会运用力学的基本理论解释这些现象,并通过实验验证理论的正确性。要正确理解基本概念,注意各力学量的物理意义和有关公式的适用条件。学习工程力学,还必须独立完成一定数量的思考题和习题,以巩固和加深对理论的理解,提高分析和解决工程实际问题的能力。

第一篇 刚体静力分析

静力分析主要研究物体在力系作用下的平衡规律,包括物体的受力分析、力系的简化与平衡条件。

力系是指作用于物体上的一组力。对物体作用效果相同的力系,称为等效力系。在不改变力系对物体作用效果的前提下,用一个简单的力系来代替复杂的力系,这一过程称为力系的简化。若一个力与一个力系等效,则该力称为力系的合力,而力系中各力称为合力的分力。

在一般工程问题中,平衡是指物体相对于地球静止或匀速直线运动的状态。例如,机床的床身、在直线轨道上匀速运动的火车等,都是物体平衡的实例。作用于平衡物体上的力系,称为平衡力系,平衡力系所应满足的条件,称为力系的平衡条件。

静力分析的研究对象为刚体或刚体系统。静力分析在工程实际中有着广泛的应用,例如在设计平衡的机械零部件时,首先要分析其受力,再应用平衡条件求出未知力,最后研究机械零部件的承载能力。此外,物体受力分析的方法和力系简化的理论,也是动力分析的基础。

第一章 刚体静力分析基础

本章主要研究力、力偶的概念与性质,力的投影和力矩的计算,以及物体受力分析的方法。力和力偶是组成力系的两个基本要素,力的投影和力矩分别表征了力对物体的移动效应和转动效应。受力分析是对物体进行力学计算的前提,也是工程力学的基础。

§ 1-1 力的概念及其性质

一、力的概念

力是物体间相互的机械作用,这种作用有两种效应:一种是使物体的运动状态发生变化,称为力的**运动效应**或**外效应**;另一种是使物体产生变形,称为力的**变形效应**或**内效应**。

力的外效应包括移动效应和转动效应。例如,作用在自由刚体上的力,若力过刚体的质心,则力对刚体只产生移动效应;若力不过刚体的质心,则力对刚体既有移动效应也有转动效应。

实践证明,力对物体的作用效应取决于**力的三要素**:力的大小、方向和作用点。

力是具有大小和方向的量,所以**力是矢量**,且作用于物体上的力是**定位矢量**。本书中以黑体字母表示矢量,而以相应的白体字母表示该矢量的大小。

力的三要素可以用有向线段表示,称为**力的图示**。线段的长度按一定比例表示力的大小,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(图 1-1)。过力的作用点,沿力矢量的方位画出的直线,称为**力的作用线**。图 1-1 中直线 KL 为力 F 的作用线。

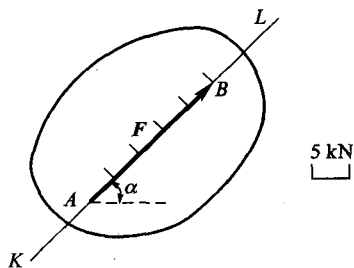


图 1-1

在我国法定计量单位中,力的单位为 N 或 kN, $1 \text{ kN} = 10^3 \text{ N}$ 。

二、力的性质

性质 1 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为作用于该点的一个合力,合力的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决定(图 1-2)。

如用 F_R 表示力 F_1 和 F_2 的合力,则性质 1 的矢量表达式为

$$F_R = F_1 + F_2$$