



四川电力职业技术学院
国家示范性高职院校建设项目成果

SHUPEIDIAN XIANLU LIXUE YINGYONG

输配电线路 力学应用

吴世平 朱清泉 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



四川电力职业技术学院

国家示范性高职院校建设项目成果

SHUPEIDIAN XIANLU LIXUE YINGYONG

输配电线路 力学应用



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为国家示范性高职院校建设项目成果,根据高压输电线路施工运行与维护专业教学标准中的人才培养规划要求和输配电线路力学应用课程教学目标的要求以及专业分析和学生岗位群分析而编写。

本书重点提出了主要项目的典型任务,通过典型任务的分析解决,能够比较系统全面地回顾该项目的基本内容和重点内容,同时也提供了一种解决实际工程问题的思路。书中插入了大量工程实例及相关图片,比较具体、形象。本书精选了教学内容,简化了某些理论、公式的推证,注重定性分析,内容具有较强的技术性和实用性。

本书主要包括:物体的受力分析,物体的平衡计算,拉线、撑杆等轴向拉(压)杆的计算,连接件的计算,扭转圆轴的计算,平面弯曲梁的设计,组合变形杆件的计算,简单塔架(桁架)的内力计算,土力学基本知识。附录中还介绍了截面的几何性质方面的内容,给出了型钢规格表、简单荷载下的变形表。每个项目后有小结、思考题、项目练习,可供读者使用,书后还附有参考答案。

本书可供高职院校机电类及相关专业师生使用,也可供普通高等院校机电类及相关专业师生阅读,还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

输电线路力学应用/吴世平,朱清泉主编. —北京:中国电力出版社,2010.11

四川电力职业技术学院国家示范性高职院校建设项目成果

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0939 - 5

I. ①输… II. ①吴…②朱… III. ①输电线路—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 195935 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 2 月第一版 2011 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 534 千字
定价 40.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

四川电力职业技术学院

专业人才培养方案及教材
编审委员会

主任委员	王旭	严光升		
副主任委员	李开勤			
委 员	刘勇	周庆葭	林文静	景敏
	李刚	李俭	方鉴	熊名扣
	蒙昌嘉	何勇	赵大林	蔡燕生
	汤晓青			

序

为适应职业教育的不断发展和现代企业对高技术应用型人才的需要,近年来,一大批高职院校在专业设置、课程体系、教学大纲等方面进行了一系列改革。教材作为教学活动过程中最重要的信息载体,其改革和建设是教学改革的重点和关键。为了适应高等职业技术学院的高压输配电线路施工运行与维护专业对力学教学工作改革的需要,结合国家高等职业示范学校和示范专业的建设,并以基于工作过程的任务驱动模式进行全面的教学改革,打破传统的学科体系,全面提升职业教育的教学水平和教学质量,特编写此书。本书在编写过程中有意识地着手进行教材改革的研究、探索,并决定编写一本适合高压输配电线路施工运行与维护专业实用的力学教材,在编写的教材中进行了大胆的改革,以项目和任务作为载体,不再按传统的学科体系进行分类,同时每一个项目列出一个典型任务,以此任务作为驱动,展现本项目的重点内容和基本知识。

输配电线路力学应用是高压输配电线路施工运行与维护专业改革后的一门主干专业基础课程。它是一门理论性和实用性均很强的课程,力学理论产生于实际问题解决过程中,同时,力学知识最终也是用来解决工程问题。

该课程的前导课程是高等数学、电气识绘图。高等数学中的导数微分、积分、解微分方程以及导数的运用是本书的必备知识。电气识绘图中基本的识绘图、投影等知识是本课程的重要基础。其后续教材有《架空输配电线路施工》、《架空输配电线路设计基础》、《电力系统结构及分析计算》、《架空输配电线路检修》等。

本书为后续教材的杆、线、塔、连接件及工具等各种物体或物体系统提供必要的受力分析,平衡处理,内力、应力、变形的概念和计算方法及相关数据基础。

本书力争以明确的岗位和职业需要为依托,以能力培养为主线,以开发学生应用能力为目标,不片面追求学科体系的完整性,而强调贴近高压输配电线路生产实际和工作实际,使理论与实践结合,书中插入了大量工程实例及相关图片,可增强感知性和真实性,传授知识与培训技能紧密结合。本书精选了教材内容,充实技术性、实用性、实践性的内容,注重定性分析,阐明了物理意义和应用方法,简化了某些理论、公式的推证。通过理论阐述与实践指导相结合,便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线,采用以项目训练为主,把讲授、实验、项目训练融为一体的教学方式,兼顾输电线路职业培训对教材的需要。

本书的编写和投入应用只是整个教材改革和建设的探索性成果,仍需再接再厉,继续深化教材改革,推进教材建设。

主 编

2010年11月于成都

前 言

本书是根据高压输配电线路施工运行与维护专业教学标准中的人才培养规划要求和输配电线路力学应用课程教学目标的要求以及专业分析和学生岗位群分析而编写的。

本书的基本思路为：从高压输配电线路施工运行与维护专业的实际需求出发，调整现行力学教学大纲，突出专业特色，淡化理论推导，强化能力的培养，将力学理论与专业实践相结合，让力学理论更好地为主体专业课程服务，同时注重力学应用能力的培养，真正做到力学教学有的放矢，学以致用，解决工程中的力学问题。

本书注重力学知识在工程中的应用，并结合高职高专学生的实际情况，精讲多练，强化力学的实际过程分析，提供了丰富的实例图片、例题、项目练习以及项目典型任务，便于学生自学，提高学生的力学应用能力，真正做到用学到的力学知识解决工程中的力学问题，为解决专业问题奠定扎实的力学基础。

本书按照工科职业技术教育课程改革的原则和思路，力求贯彻能力为本的思想；突出学生对基本知识掌握的要求，理论推导从简，注重针对性和实用性；充分吸取了各校力学课程教学改革的经验，以适应力学课程教学时数减少的现实。

本书重点提出了主要项目的典型任务，通过典型任务的分析解决，能够比较系统全面地回顾本项目的基本内容和重点内容，同时也提供了一种解决实际工程问题的思路。

本书由四川电力职业技术学院吴世平、朱清泉主编，四川电力职业技术学院刘玲为本书的图形编排做了大量工作。本书项目1～项目6、项目8、附录由吴世平编写，项目7、项目9由朱清泉编写。

由于水平有限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

主要符号表

符 号	量的名称	符 号	量的名称
A	面积	q	均布荷载集度
b	宽度	R	半径
C	形心, 重心	V	体积
D	直径	W_z	对 z 轴的抗弯截面系数
d	力偶臂, 力臂, 直径, 距离	W_P	抗扭截面系数
e	偏心距	α	空心轴的内外径之比, 角
f	动摩擦因数	θ	梁横截面的转角, 单位长度 相对扭转角
f_s	静摩擦因数		
F	力	φ	相对扭转角
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处的约束力分量	φ_m	摩擦角
F_N	法向约束力, 轴力	γ	切应变
F_P	荷载	Δ	变形、位移
F_{cr}	临界荷载, 临界力	δ	厚度、延伸率
F_s	剪力	ϵ	线应变
F_R	合力	λ	柔度 (长细比)
F_T	拉力	ω	挠度
F_x, F_y, F_z	力在 x 、 y 、 z 轴上的分量	μ	长度系数
F'_R	主矢	ν	泊松比
G	切变模量, 重力	ρ	曲率半径
h	高度	σ	正应力
I_z	对 z 轴的惯性矩	σ_t	拉应力
I_P	极惯性矩	σ_{bs}	挤压应力
I_{xy}	惯性积	σ_c	压应力
K	应力集中系数	σ_b	强度极限
m	质量	$[\sigma]$	许用正应力
M_O	力系向 O 点简化的主矩	σ_{cr}	临界应力
$M_O(F)$	力 F 对点 O 之矩	σ_e	弹性极限
M_e	外力偶矩	σ_p	比例极限
T	扭矩	$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
M	弯矩	σ_s	屈服极限
M_x, M_y, M_z	力对 x 、 y 、 z 轴的矩	σ_r	相当应力
n	转速, 安全因数	τ	切应力
n_{st}	稳定安全因数	$[\tau]$	许用切应力
P	功率		

目 录

序

前言

主要符号表

绪论	1
项目 1 物体的受力分析	5
单元一 力的基本知识	6
单元二 力对点之矩的计算	12
单元三 力偶及其性质	14
单元四 约束与约束反力	19
单元五 物体的受力分析和受力图	26
小结	34
思考题	34
项目练习	36
项目 2 物体的平衡计算	42
单元一 平面基本力系的合成与平衡	42
单元二 平面一般力系的合成	52
单元三 平面一般力系的平衡计算	55
单元四 物体系统的平衡问题	63
单元五 考虑摩擦时的平衡计算	68
小结	78
思考题	79
项目练习	81
项目 3 拉线、撑杆等轴向拉（压）杆的计算	87
单元一 构件设计基本知识	88
单元二 轴向拉压杆的内力及内力图	95
单元三 轴向拉压杆的应力计算	98
单元四 轴向拉压杆的变形计算	100
单元五 材料在拉压时的力学性能的测定	102
单元六 拉线、撑杆等轴向拉（压）杆的计算	106
单元七 轴向压杆的稳定性计算	112
小结	118
思考题	118
项目练习	119

项目 4 连接件的计算	123
单元一 连接件的特点及实例	124
单元二 连接件的实用设计	127
小结	133
思考题	133
项目练习	134
项目 5 扭转圆轴的计算	136
单元一 扭转的内力和扭矩图	137
单元二 扭转圆轴的计算	141
小结	146
思考题	147
项目练习	148
项目 6 平面弯曲梁的设计	151
单元一 梁的内力计算	152
单元二 用基本方法作梁的内力图	160
单元三 利用简便方法作梁的内力图	164
单元四 梁的正应力计算	172
单元五 梁的切应力计算	178
单元六 弯曲杆件(梁)的初步设计	182
单元七 梁的合理设计	188
小结	197
思考题	198
项目练习	199
项目 7 组合变形杆件的计算	204
单元一 平面应力状态分析的解析法	205
单元二 常用强度理论介绍	215
单元三 组合变形构件的设计	222
小结	234
思考题	235
项目练习	236
项目 8 简单塔架(桁架)的内力计算	241
单元一 塔架结构的计算简图	241
单元二 塔架结构的几何组成分析	243
单元三 静定桁架(塔架)的内力计算	248
单元四 超静定桁架(塔架)的超静定次数判定	256
单元五 简单超静定桁架(塔架)的内力计算	258
小结	262
思考题	263
项目练习	264

项目 9 土力学基本知识 268

 单元一 土的物理性质及工程分类..... 268

 单元二 地基中的应力计算..... 278

 单元三 土的压缩性质及固结理论..... 285

 单元四 土的抗剪强度和地基承载能力..... 295

 小结..... 300

 思考题..... 301

 项目练习..... 301

附录 A 平面图形的几何性质 302

 单元一 静矩与形心..... 302

 单元二 惯性矩和极惯性矩的概念..... 304

 单元三 惯性矩的平行移轴公式及组合截面惯性矩计算..... 308

附录 B 型钢规格表 312

附录 C 简单荷载作用下梁的变形 329

附录 D 参考答案 332

参考文献..... 338

绪 论

一、力学的起源

力学知识最早起源于人类对自然现象的观察和在生产劳动中的经验。人们在建筑、灌溉等劳动中使用杠杆、斜面,以及汲水等器具,逐渐积累起对平衡物体受力情况的认识经验。古希腊的阿基米德对杠杆平衡、物体重心位置、物体在水中受到的浮力等作了系统研究,确定它们的基本规律,初步奠定了静力学即平衡理论的基础。

伽利略在实验研究和理论分析的基础上,阐明了自由落体运动的规律,提出了加速度的概念。牛顿继承和发展前人的研究成果(特别是开普勒的行星运动三定律),提出了物体运动三定律。伽利略、牛顿奠定了动力学的基础。牛顿运动定律的建立标志着力学开始成为一门学科。

此后,力学的研究对象由单个的自由质点,转向受约束的质点和受约束的质点系。这方面的标志是达朗贝尔提出的达朗贝尔原理和拉格朗日建立的分析力学。其后,欧拉又进一步把牛顿运动定律用于刚体和理想流体的运动方程,这是连续介质力学的开端。

二、主要力学家及其理论简介

1. 牛顿

主要理论:万有引力定律和牛顿三大定律(惯性定律、质量加速定律、作用与反作用定律),总结了当时已发现的地面上所有力学现象的规律,在以后的200多年里几乎统治了物理学各个领域。对于热、光、电现象,人们都企图用牛顿定律加以解释,而且在有些方面,如热的动力论,取得了惊人的成功。牛顿定律至今仍是许多工程技术,例如航空航天、机械、土建等的理论基础。

2. 伽利略

伽利略是实验科学的奠基者。他的理论奠定了经典力学中运动学与动力学的基础,把实验、物理思维和数学演绎三者巧妙结合起来,开辟了自然科学发展的道理。他首先把实验引进物理学并赋予重要的地位,改变了以往只靠思辨下结论的方式,同时也很注意严格的推理和数学的运用。

3. 开普勒

主要理论:开普勒三定律。第一定律又称椭圆轨道定律,定律指出:所有行星分别沿不同大小的椭圆轨道绕太阳运动,太阳处于椭圆的一个焦点上。第二定律又称等面积定律,定律指出:在行星运动时,连接行星和太阳的线,在相等的时间内,永远扫过同样大小的面积。第三定律即周期定律,定律指出:行星公转周期的二次方与它们轨道半长轴的三次方成正比。

4. 阿基米德

阿基米德是使静力学成为一门真正学科的奠基者。其主要理论:平面图形的平衡和重心,创立了杠杆理论。



5. 达·芬奇

主要理论：用力矩法解释了滑轮的工作原理；应用虚位移原理的概念来分析起重机构中的滑轮和杠杆系统；物体的斜面运动和滑动摩擦阻力，首先得出了滑动摩擦阻力同物体的摩擦接触面的大小无关的结论。

6. 斯蒂文

主要理论：力的平行四边形法则，提出了力系简化的方法。

7. 拉格朗日

主要理论：分析力学。他在大型著作《分析力学》中，根据虚位移原理，用严格的分析方法叙述了整个力学理论。虚位移原理早在 1717 年已由伯努利指出，而应用这个原理解决力学问题的方法的进一步发展和对它的数学研究却是拉格朗日。

三、力学的发展

力学是研究物体运动规律的一个分支学科。所谓物体，是指不论借助仪器与否能被人们感觉到或察觉到的物质。而运动则是指物体的位置随时间的推移而变化（移动和转动），以及物体内部粒子相对位置的改变（变形）。

物理学科的建立是从力学开始的。在物理学科中，人们曾用纯粹力学理论解释机械运动以外的各种形式的运动，如热、电磁、光、分子和原子内的运动等。当物理学摆脱了这种机械（力学）的自然观而获得健康发展时，力学则在工程技术的推动下按自身逻辑进一步演化，逐渐从物理学中独立出来。

20 世纪初，相对论指出牛顿力学不适用于高速或宇宙尺度内的物体运动，量子论指出牛顿力学不适用于微观世界，反映了人们对力学认识的深化，即认识到物质在不同层次上的机械运动规律是不同的。所以通常理解的力学，是指以宏观的机械运动为研究内容的物理学分支学科。许多带“力学”名称的学科，如热力学、统计力学、相对论力学、电动力学、量子力学等，在习惯上被认为是物理学的其他分支，不属于力学的范围。

力学与数学在发展中始终相互推动，相互促进。一种力学理论往往和相应的一个数学分支相伴产生，如运动基本定律和微积分、运动方程的求解和常微分方程、弹性力学及流体力学和数学分析理论、天体力学中运动稳定性和微分方程定性理论等，因此有人甚至认为力学应该也是一门应用数学。但是力学和其他物理学分支一样，还有需要实验基础的一面，而数学寻求的是比力学更带普遍性的数学关系，两者有各自不同的研究对象。

力学不仅是一门基础学科，同时也是一门技术学科，它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。当工程学还只分民用工程学（即土木工程学）和军事工程学两大分支时，力学在这两个分支中就已经起着举足轻重的作用。工程学越分越细，各个分支中许多关键性的进展，都有赖于力学中有关运动规律、强度、刚度等问题的解决。

力学和工程学的结合，促使了力学各个分支的形成和发展。现在，无论是历史较久的土木工程、建筑工程、水利工程、机械工程、船舶工程等，还是后起的航空工程、航天工程、核技术工程、生物医学工程等，都有力学的应用场地。

力学既是基础学科又是技术学科的二重性，引起了分别侧重基础研究和应用研究的力学家之间的不同看法。但这种二重性也为沟通人类认识自然和改造自然两个方面作出了贡献。

力学研究方法遵循认识论的基本法则：实践—理论—实践。

力学家们根据对自然现象的观察，特别是定量观测的结果，根据生产过程中积累的经验



和数据, 或者根据为特定目的而设计的科学实验的结果, 总结出量与量之间的定性的或数量的关系。为了使这种关系反映事物的本质, 力学家要善于抓住起主要作用的因素, 忽略或暂时忽略一些次要因素。

力学中把这种过程称为建立模型。质点、质点系、刚体、弹性固体、黏性流体、连续介质等是各种不同的模型。在模型的基础上可以运用已知的力学或物理学的规律, 以及合适的数学工具, 进行理论上的演绎工作, 导出新的结论。依据所得理论建立的模型是否合理, 有待于新的观测、工程实践或者科学实验等加以验证。

因此, 从局部看来, 力学研究工作方式是多样的: 有些只是纯数学的推理, 甚至着眼于理论体系在逻辑上的完善化; 有些着重数值方法和近似计算; 有些着重实验技术等。而更大的则是着重在运用现有力学知识, 解决工程技术中或探索自然界奥秘中提出的具体问题。

现代的力学实验设备, 诸如大型的风洞、水洞, 它们的建立和使用本身就是一个综合性的科学技术项目, 需要多工种、多学科的合作。应用研究更需要对应用对象的工艺过程、材料性质、技术关键等有清楚的了解。在力学研究中既有细致的、独立的分工, 又有综合的、全面的协作。

力学在我国的发展经历了一个特殊的过程。与古希腊几乎同时, 我国古代对平衡和简单的运动形式就已具备相当水平的力学知识, 所不同的是未建立起像阿基米德那样的理论系统。

四、力学的常识和工程事故举例

力学又称经典力学, 是研究通常尺寸的物体在受力下的形变, 以及速度远低于光速的运动过程的一门自然学科。力学是物理学、天文学和许多工程学的基础, 机械、建筑、航天器和船舰等的合理设计都必须以经典力学为基本依据。

机械运动是物质运动的最基本的形式。机械运动亦即力学运动, 是物质在时间、空间中的位置变化, 包括移动、转动、流动、变形、振动、波动、扩散等。而平衡或静止, 则是其中的特殊情况。物质运动的其他形式还有热运动、电磁运动、原子及其内部的运动和化学运动等。

力是物质间的一种相互作用, 机械运动状态的变化是由这种相互作用引起的。静止和运动状态不变, 则意味着各作用力在某种意义上的平衡。因此, 力学可以说是力和(机械)运动的学科。

任何物体都会受到力的作用, 任何物体受力后都会产生变形, 正是这种变形造成了各种工程事故。例如:

(1) 事故一。2010年1月3日由云南建工市政公司承建的昆明新机场配套引桥工程发生垮塌, 共造成7人死亡、8人重伤、26人轻伤。垮塌长度约38.5m, 宽度为13.2m, 支撑高度约为8m, 如图0-1所示。

事故原因: 浇灌过程中支撑体系失稳。

(2) 事故二。1999年1月4日18时50分, 重庆市綦江县人行虹桥整体垮塌, 造成死40人、伤14人, 直接经济损失600余万元。这座长约102m的中承式拱形桥, 是綦江县城主要的人行桥, 建成还不足3年, 如图0-2所示。

事故原因:

1) 拱架钢管焊接存在严重缺陷, 个别焊缝出现陈旧性裂痕, 焊接质量不合格。



图 0 - 1



图 0 - 2

2) 混凝土强度不足，普遍低于设计标号的 $1/3$ 。

3) 连接桥梁、桥面与钢拱架的拉索、锚片、锚具都严重锈蚀。

4) 另外，工程的承包也不符合国家建筑管理规定和要求，施工单位系个人挂靠，不具备市政工程施工资质。

通过以上事故可以看出，不管事故原因是什么，但最终原因都是构件的强度、刚度或稳定性要求没有得到满足，也就是构件的承载能力问题。

项目1 物体的受力分析

学习目标

理解力的概念及性质，理解和掌握力对点之矩的概念及力矩的计算，理解力偶的概念和力偶的基本性质，掌握物体的受力分析过程和方法，掌握工程中常见约束的特点及反力的画法，熟练绘制单个物体及物体系统的受力图。

典型任务——物体的受力分析

表 1-1

典型任务分解表

如图所示是输电线路施工中的输电杆的单点起吊立杆过程，试完成下列任务



任务分解

任务 1	根据图示原结构，分析总牵引钢绳和制动钢绳分别是哪根
任务 2	画出立杆开始后，起吊端刚离开地面时的力学简图
任务 3	分析立杆开始时的约束情况，总牵引绳和制动拉绳是什么约束
任务 4	试画出起吊端刚离开地面时的受力图
任务 5	分析电杆与地面成 30° 时电杆受力情况并画出受力图



单元一 力的基本知识

一、力的概念

(一) 力的定义

力是物体间相互的机械作用,这种作用会使物体的运动状态发生改变,或使物体产生变形。

力是人们在长期生活实践和生产劳动中逐渐形成的一个力学基本概念。如推、拉物体时,人们能够感觉到对物体施加了力,而使物体的运动状态发生变化。后来人们又进一步观察到物体与物体之间的相互作用力不仅会使物体产生运动状态的改变,还会使物体的形状和尺寸发生变化。如自高空落下的物体由于受到地球引力的作用而改变运动的速度,桥梁受到车辆的作用而产生变形,电线杆由于受到电线的拉力以及风荷载的作用而发生弯曲甚至断裂等,这些运动状态的改变或变形是由于物体间的相互作用而引起的,物体间的这种作用称为机械作用,以区别于其他的相互作用(如热的、电磁的、化学的作用)。机车牵引车厢的拉力,直接相互接触物体之间的压力、摩擦力等都是由于物体间相互机械作用产生的。力是物体之间的相互作用,因此,力不能离开物体而单独存在,即有力存在必然有物体存在;反之,由于万有引力的存在,可以说没有不受力作用的物体。

力对物体的两种作用效果称为力的作用效应,其中:物体运动状态的改变称为力的外效应,也叫运动效应;物体的变形称为力的内效应,也叫变形效应。所谓运动就是指物体的空间位置随时间的推移而发生的改变。所谓变形就是指物体形状和尺寸的改变。

如图1-1所示,输电线杆的断裂,就是由于外力的作用,使得电线杆产生了过大的变形而最终导致其断裂破坏。这类事故在日常生活和工程中时有发生,不仅造成输电线路破坏而导致停电,而且可能造成人员伤亡。甚至可以说物体在力作用下的变形效应是一切事故的根源。因此,研究物体在力作用下的变形问题是力学的主要内容。

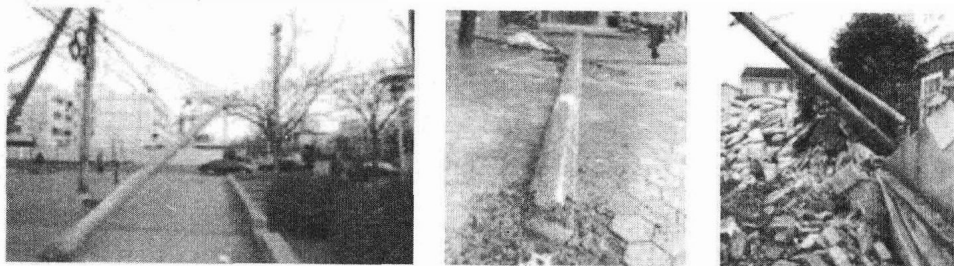


图1-1

力的运动效应又分为移动效应和转动效应。例如,球拍作用于乒乓球上的力,此力如果不通过乒乓球的球心,则乒乓球在向前运动的同时还绕球心转动;又例如足球运动员的脚作用于足球上的力,此力如果不通过足球的球心,则足球在向前运动的同时还绕球心转动。向前移动为移动效应,绕球心转动为转动效应。

(二) 力的三要素

实践表明,不同大小,不同方向,施加在物体上不同位置的力对物体将产生不同的效



应。因此，力对物体的作用效应取决于三个要素：

- (1) 力的大小；
- (2) 力的方向；
- (3) 力的作用点。

力的三要素中任何一个要素发生改变时，力对物体的作用效应都会发生改变。因此，在实际工程中，必须随时关注作用在物体上的力的大小是否发生变化，方向和作用点是否改变。只要这三个要素中任何一个要素改变，都可能导致该物体不能正常工作，甚至使物体发生损坏。

力的方向包括力的方位和力的指向两个方面。力的方位一般用力的作用线与某一已知方位之间的夹角来表示。例如：重力的方向竖直向下，推力方向水平向右，拉力方向与水平方向成 30° 斜向右上。其中的“竖直”“水平”“与水平方向成 30° ”表示的是力的方位，“向下”“向右”“斜向右上”表示的是力的指向。

力的作用点就是力在物体上的作用位置。实际上，力的作用位置并不是一个点，而是一个范围，有一定的面积，不过当作用范围比物体本身的尺寸小得多时，可以近似看成为一个点。

(三) 力的单位

在国际单位制 (SI) 中，力的单位为牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)。

(四) 力的表示

1. 力的图示

由于力是一个有大小和方向的量，所以力是矢量。力的图示就是要通过图形把力的三要素表示清楚。通常用一个带箭头的线段（有向线段）表示，如图 1-2 所示，线段的长度 AB 按一定的比例表示力的大小，线段的方位（与水平线成 α 角）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（例如图 1-2 中的 A 点）。

通过力的作用点沿力的方位画出的射线，如图 1-2 中的 KL ，称为力的作用线。

特别注意：在力的图示中，应清楚地反映出力的方向和力的作用点的位置，而箭头的长度可以画示意性的长度（因为有的力的大小是未知的，而有的力之间数据相差很大，用比例画出力的大小有时难以办到）。

2. 力的字母表示

一般规定，用大写的黑体英文字母表示力矢量，如力 $\boldsymbol{F}$ 、 $\boldsymbol{P}$ 、 $\boldsymbol{G}$ 等；而力的大小是标量，用普通大字字母表示，如 F 、 P 、 G 等。

(五) 力系的概念

实际工程中，作用在一个物体上的力往往不止一个而是多个，我们把作用在物体上的一组力称为力系，如果这组力使物体处于平衡，称为平衡力系。所谓平衡是指物体相对于地面处于静止或作匀速直线运动，物体平衡的必要条件就是此物体上的力系的合力等于零。

二、刚体、质点的概念

刚体是指在任何外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体。

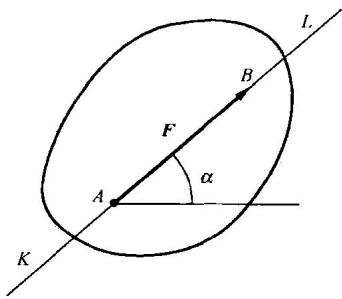


图 1-2