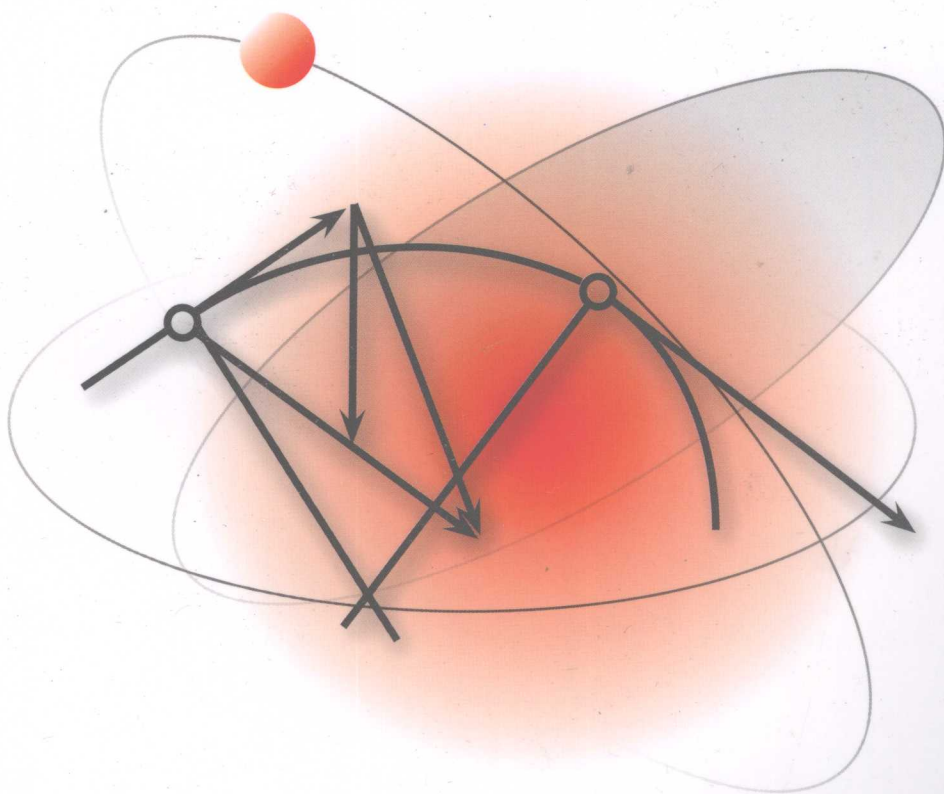




职业教育“十一五”规划教材

工程力学

么居标 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子教案
WWW.cmpedu.com

职业教育“十一五”规划教材

工 程 力 学

主 编 么居标

副主编 夏策芳

张小亮

参 编 李 跃

张 娜

马 峻

主 审 韩向东



机械工业出版社

本书主要讲授物体机械运动的一般规律以及强度、刚度、稳定性问题,介绍了构件的静力分析、变形分析和运动分析。全书共分七单元,包括静力分析基础、力系的平衡、摩擦与重心、构件基本变形分析、组合变形的强度计算、细长压杆稳定性分析和构件的运动分析。本书在内容选择上以专业够用为原则,概念侧重理解,公式强化会用。本书采用了大量的实例,引入知识点,使读者更容易接受;编写模式新颖,结构上进行了较大改革,打破了传统教材章节结构的束缚,采用了单元、模块式结构,知识布局更加合理。为便于教学,本书配备了电子教案和部分习题答案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),或登录 www.cmpedu.com 网站注册免费下载。

本书可作为高职、高专、各类成人教育教材或培训用书,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/么居标主编. —北京:机械工业出版社, 2008.9
职业教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-111-25199-6

I. 工… II. 么… III. 工程力学—职业教育—教材
IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 151648 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:齐志刚 版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉
封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军
北京汇林印务有限公司印刷
2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·10.5 印张·253 千字
0001-4000 册
标准书号:ISBN 978-7-111-25199-6
定价:19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379201
封面无防伪标均为盗版

前言

本书主要讲授物体机械运动的一般规律以及强度、刚度、稳定性问题,适用于焊接专业及其他相关机电类专业,适用于60~80课时。

本书在结构上进行了较大改革,打破了传统教材章节结构的束缚,采用了单元、模块式结构,知识布局更加合理;删除了繁琐的公式推导,突出了知识点的应用;每一个知识点内容之后,增加了“想一想”的环节,启发读者思考问题,拓展知识面。

本书内容选择以专业够用为原则;概念侧重理解,公式强化会用。本书采用了大量的实例,引入知识点,使读者更容易接受。

本书例题和习题,一部分是参考大量较权威教材并进行精心的选择,因此这些例题既有代表性,又有普遍性;另一部分是编者多年的教学经验及教法总结出的经典例题,解题的方法有很多独到之处。为便于教学,本书另配备了电子教案和部分习题答案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),或登录 www.cmpedu.com 网站注册免费下载。

本书的“模块小结”环节是留给读者的空间,读者可以记录阅读的感受,提出不解的问题,以备进行研究及探讨。同时,教师也可以通过这一环节了解读者的掌握情况。

本书各模块内容之后是“巩固与训练”环节,包括“基本概念”与“综合训练”两部分,“基本概念”侧重检查读者对知识点理解的情况,同时训练读者分析问题的能力。“综合训练”侧重训练读者对知识的应用能力,每一题目均具有代表性。

本书采用国际单位制(SI),有关物理量名称、符号、单位执行最新国家标准。

参加本书编写的有主编么居标,副主编夏策芳、张小亮,参编张娜、李跃、马峻。

承蒙北京电子科技学院(北京汽车工程学院)高级讲师韩向东老师担任主审,韩老师具有多年的工程力学的教学经验,编写过多本《工程力学》教材。在本书编写的过程中,韩老师提出了中肯的意见和建议,并对本书的编写给予热情的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于本书改革力度较大,难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

第一单元 静力分析基础 1

综合知识模块一 工程中的力学 1

能力知识点 1 力学发展简史 1

能力知识点 2 力学与现代工程 3

能力知识点 3 工程中的相关术语 4

能力知识点 4 力的基本概念 5

能力知识点 5 力的基本性质 6

巩固与训练 7

综合知识模块二 刚体的受力分析 7

能力知识点 1 工程中常见的约束 7

能力知识点 2 刚体的受力分析 9

巩固与训练 13

第二单元 力系的平衡 15

综合知识模块一 平面汇交力系 15

能力知识点 1 力在平面直角坐标系
的投影 15

能力知识点 2 平面汇交力系的合成 17

能力知识点 3 平面汇交力系的平衡 18

巩固与训练 19

综合知识模块二 平面力偶系 21

能力知识点 1 力偶及力偶矩 21

能力知识点 2 力偶的性质 21

能力知识点 3 平面力偶系的合成 22

能力知识点 4 平面力偶系的平衡 23

巩固与训练 24

综合知识模块三 平面任意力系 25

能力知识点 1 力对点之矩的概念 25

能力知识点 2 力对点之矩的求法 25

能力知识点 3 力的平移定理 27

能力知识点 4 平面任意力系的简化 27

能力知识点 5 平面任意力系的平衡 29

能力知识点 6 平面平行力系的平衡 31

能力知识点 7 物系的平衡 32

巩固与训练 34

综合知识模块四 轮轴类零件平衡问题的

求解方法 37

能力知识点 1 空间力系的概念及常见

约束 37

能力知识点 2 轮轴类零件平衡问题的

求解方法 38

巩固与训练 40

第三单元 摩擦与重心 42

综合知识模块一 摩擦 42

能力知识点 1 工程中的摩擦现象 42

能力知识点 2 滑动摩擦 43

能力知识点 3 考虑摩擦时的平衡问题 44

能力知识点 4 摩擦角与自锁现象 47

巩固与训练 50

综合知识模块二 重心 51

能力知识点 1 重心的概念 51

能力知识点 2 重心与形心的坐标公式 51

能力知识点 3 重心及形心位置的求法 52

巩固与训练 55

第四单元 构件基本变形分析 57

综合知识模块一 基本变形分析基础知识 57

能力知识点 1 变形分析的基本概念 57

能力知识点 2 内力与应力 59

巩固与训练 60

综合知识模块二 拉伸(压缩)变形分析 60

能力知识点 1 轴向拉伸和压缩的实例 60

能力知识点 2 拉(压)杆横截面上的

内力和应力 61

能力知识点 3 拉(压)杆的变形 64

能力知识点 4 材料拉伸和压缩时的

力学性能 65

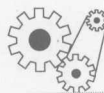
能力知识点 5 杆件拉伸(压缩)时的

强度计算 68

巩固与训练 70

综合知识模块三 剪切(挤压)变形分析 72

能力知识点 1 剪切与挤压的实例 72



能力知识点 2 典型零件剪切与挤压的 实用计算	73	综合知识模块二 弯曲与扭转的组合变形 ...	120
巩固与训练	77	能力知识点 1 弯曲与扭转的组合变形 简介	120
综合知识模块四 圆轴扭转变形分析	78	能力知识点 2 弯扭组合变形的强度 校核	121
能力知识点 1 圆轴扭转的实例	78	巩固与训练	124
能力知识点 2 圆轴扭转时横截面上的 内力	79	第六单元 细长压杆稳定性分析	125
能力知识点 3 圆轴扭转时横截面上的 应力	81	能力知识点 1 细长压杆的基本概念与工程 实际中的稳定性	125
能力知识点 4 圆轴扭转时的强度计算 ...	83	能力知识点 2 临界力和欧拉公式	127
能力知识点 5 圆轴扭转时的刚度计算 ...	85	能力知识点 3 压杆稳定的校核	129
能力知识点 6 提高圆轴强度及刚度的 措施	87	巩固与训练	131
巩固与训练	88	第七单元 构件的运动分析	133
综合知识模块五 平面弯曲变形分析	90	综合知识模块一 点的基本运动	133
能力知识点 1 弯曲变形的实例	90	能力知识点 1 点的运动方程	133
能力知识点 2 平面弯曲时梁横截面上的 内力	91	能力知识点 2 点的速度及加速度	135
能力知识点 3 梁弯曲时的强度计算	96	综合知识模块二 刚体的基本运动	139
能力知识点 4 梁弯曲时的刚度计算	100	能力知识点 1 刚体的平动	139
能力知识点 5 提高梁的强度和刚度的 措施	105	能力知识点 2 刚体定轴转动的方程	140
巩固与训练	109	能力知识点 3 刚体定轴转动的角速度 及角加速度	140
实训一 低碳钢铸铁拉伸时的力学性能的 测定	111	能力知识点 4 刚体的匀速与匀变速 转动	141
实训二 直梁弯曲正应力测定实验	113	能力知识点 5 定轴转动刚体上各点 的速度与加速度	142
第五单元 组合变形的强度计算	116	能力知识点 6 定轴转动刚体的传动比 ...	144
综合知识模块一 拉伸(压缩)与弯曲的 组合变形	116	综合知识模块三 点的合成运动	144
能力知识点 1 组合变形简介	116	能力知识点 1 点的合成运动的概念	144
能力知识点 2 拉伸(压缩)与弯曲的 组合变形	117	能力知识点 2 点合成运动的速度	145
能力知识点 3 拉(压)弯组合变形的 强度校核	117	巩固与训练	147
巩固与训练	120	附录 型钢表	149
		习题答案	154
		参考文献	158



第一单元 静力分析基础

学习目标：通过本单元的学习了解力学的发展历史以及力学在工程实际中的应用，掌握力学中的相关概念，理解各种约束类型的特点和约束力的画法，掌握物体受力分析的方法。

《学科知识》及《静力学》1-1-1

综合知识模块一 工程中的力学

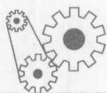
能力知识点 1

力学发展简史

力学知识最早起源于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、汲水器具，逐渐积累起对平衡物体受力情况的认识。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。古代人还从对日、月运行的观察和弓箭、车轮等的使用中了解一些简单的运动规律，如匀速移动和转动。但是对力和运动之间的关系，只是在欧洲文艺复兴时期以后才逐渐有了正确的认识。伽利略在实验研究和理论分析的基础上，最早阐明自由落体运动的规律，提出加速度的概念。牛顿继承和发展前人的研究成果，提出物体运动三定律。伽利略、牛顿奠定了动力学的基础。

最早的力学研究可以追溯到亚里士多德时代。在那个时期，人类社会结构简单，人对自然的认识主要以个人对自然界的观察为基础。在人类的认识中一个重要的步骤是概括，从物理现象及对它的认识过程中，初步的分类归纳得到结果：①一个物体有静止和运动两种状态，运动是物体的绝对存在状态，它是“力”的结果。②物体的静止状态用“位置”来描述，任一个对象都处于一定位置，任一位置由确定的点组成，所有的点组成“空间”。③相对于人眼中的物体，认识者处于中心位置，具有绝对性。④任一事物所处位置与认识者的关系，可从三个方面来确定，即上或下，前或后，左或右；或用“距离”表示，任两距离都是可比较的，任一距离都可用一个数表示。⑤两个时间间隔可以比较，也用一个数表示时间间隔。

力学理论的第二个重大发展是伽利略的力学理论。1638年，举世闻名的意大利数学家、天文学家、力学家伽利略在荷兰莱登出版了世界上第一本材料力学教材《两种新科学》（图1-1），首先提出了材料的力学性质和强度计算的方法。书中他将数学知识应用于表述物理，为力学的发展开辟了全新的途径，同时还提出了位移、速度和加速度的基本概念，在科学发



展史上做出了重大贡献。

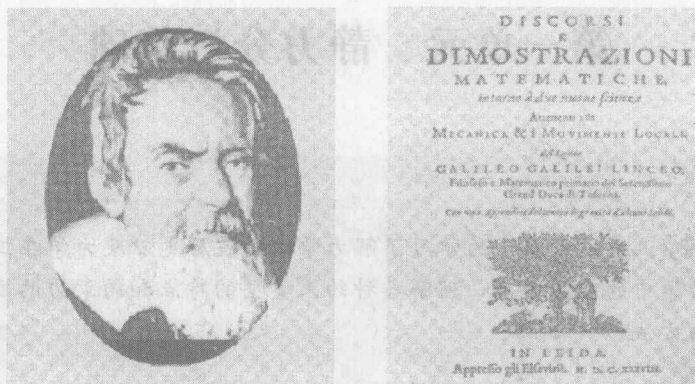


图 1-1 伽利略及《两种新科学》

17 世纪后期到 19 世纪初,是这门学科发展的极盛时期,英国科学家胡克在 1678 年发表了重要物理定律,即胡克定律。此后法国的科学家泊松,力学家圣维南,以及工程师纳维埃等都对弯曲理论、扭转理论、稳定理论以及材料实验做出卓越的贡献,丰富、发展和完善了材料力学这门学科,他们对科学的献身精神为后人所敬仰。在这个基础上,经过笛卡尔、惠更斯等的努力,后来由牛顿总其大成,于 1687 年在他的名著《自然哲学的数学原理》中,完备地提出了动力学的三个基本定律,并从这些定律出发将动力学作了系统的叙述。牛顿运动定律是整个古典力学的基础,同时标志着力学成为一门科学。

在我国,有关力学的生产实践活动更是源远流长。早在春秋战国时代,人们已经知道怎样建造大型的建筑工程和水利工程。雄伟壮观的万里长城,显示了中华民族的智慧 and 魄力(图 1-2),驰名中外的都江堰至今仍造福于川西人民(图 1-3)。

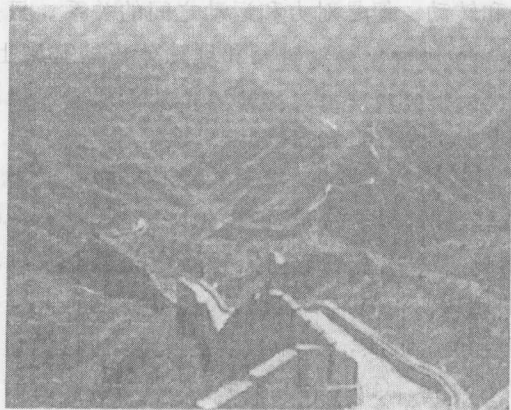


图 1-2 万里长城

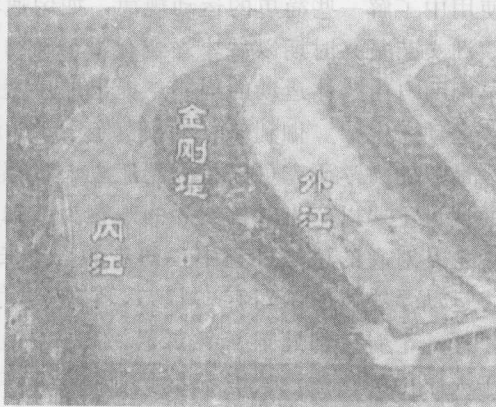
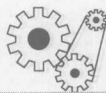


图 1-3 都江堰

除了工程实践方面,我们祖先还在著书立说方面也取得了伟大成就。北宋崇武二年(公元 1103 年),建筑学家李诫撰写了《营造法式》,书中完整的总结了建筑设计、结构、用料和施工的“规范”。全书分五个部分,共 36 卷,357 篇,3555 条,文图并茂,洋洋大观。书中对构件尺寸做了十分详细的规定,给出许多经验公式,其中写到“凡梁之大小各随其广分



为三分，以二分为厚”。意思是房梁要从园木中截取高与宽之比为 3:2 的矩形最合理。这与材料力学分析的结论基本吻合。



想一想

1. 力学学科的奠基人都有哪些？通过资料检索，简述这些人的成就。
2. 我国在力学应用上有哪些成就？

能力知识点 2

力学与现代工程

长期以来，力学始终与土建、机械、船舶、航空等工程技术紧密结合。例如现在人们能够乘坐飞机便利快捷的到世界任何地方，而从飞机的设计制造到上天飞翔，每个环节都蕴含着大量的力学问题。又如当前的时尚运动高尔夫球，它最早起源于 15 世纪的苏格兰，当时人们认为表面光滑的球飞行阻力小，因此用皮革制球，在应用中发现有划痕的旧球比光滑的新球飞行要远，直到 20 世纪建立流体力学边界层理论后，人们才找到这个问题的理论答案。根据这种理论，现在使用的高尔夫球表面有很多窝坑，在同样大小和重量下，飞行距离比光滑球远 5 倍。此外，在汽车一百余年的发展历史中，力学也扮演着重要的角色。19 世纪末，汽车刚刚出现时，发动机动力不强，车速不快，所以空气阻力问题也不是十分突出，人们认为阻力主要来自前部对空气的撞击，因此早期的汽车后部是陡峭的，称为箱形车，如图 1-4 所示。随着发动机动力的提升，车速越来越快，如何降低空气阻力就成为汽车发展不可避免的问题。通过对流体力学的研究及风洞试验，汽车设计者们不断改进汽车外形，人们才看到了现在的跑车，如图 1-5 所示。它的速度可以达到 300km/h 以上，空气阻力仅为早期汽车的 1/8 左右。

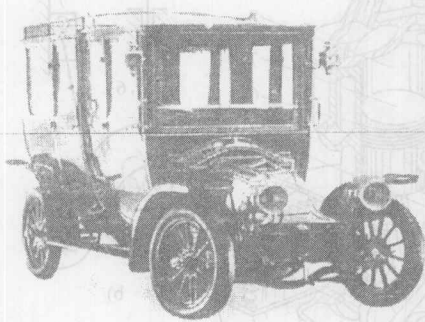


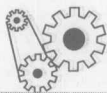
图 1-4 早期的汽车



图 1-5 现代的跑车

当然，正确的运用力学知识可以提高人们的生活质量和科技水平，忽视力学的作用也会给人们留下惨痛的教训。

1982 年的 7 月 17 日，美国堪萨斯州的凯悦大酒店舞厅里面，顶棚突然断裂，113 人当场死亡，200 多人受重伤。后来发现是设计师没有按照力学家或者说力学工程师给他的建议，在大厅里面多装几个柱子。原来，力学结构设计的时候，设计师说这个地方必须装柱子，但是，建筑师为了大厅的开阔，把柱子取消了，导致上面的天花板弯曲过度产生断裂。



这是一个典型的力学事故。

1986年1月28日,美国挑战者号航天飞机升空,仅仅1分12秒就爆炸了,经过美国太空总署的调查,发现导致这起几十亿美金的航天飞机坠毁和7名宇航员遇难的是一个小小的橡皮圈力学性能的失效。就是在研制这个橡皮圈的时候,没有考虑到温度对材料的力学特性的影响,导致了这场灾难。

自从第二次世界大战结束以后,科技的发展进入了一个高速阶段,同时随着新技术的不断应用和人类对未知领域的不断探索,力学也更加渗透进人们的日常生活和现代工程中。随着电脑的计算性能日益提高,以前一些因为计算过于繁琐而不能解决的难题现在也可以迎刃而解,从繁琐的力学计算中解脱出来的人们可以将更多的精力放到理论研究中。由此可见,计算机的引入在解决力学问题的量化、精确化方面起着相当重要的作用。可以预见,未来的力学将会取得更大的发展。



想一想

检索资料,找到近两年发生的相关安全事故,并分析其力学原因。

能力知识点3

工程中的相关术语

一、机器与机构

机器是用来变换或传递能量、物料和信息,能减轻或替代人类劳动的工具。在人们的生产和生活中广泛使用着各种机器。图1-6所示的单缸内燃机,其中活塞7、连杆2、曲轴3和气缸体(连同机架)8组成原动部分。气缸内燃烧的气体膨胀,推动活塞下行,通过连杆使得曲轴转动并将动力输出。曲轴上的齿轮1、凸轮轴上的齿轮9和机架组成传动部分。曲轴转动,通过齿轮啮合将运动传递给凸轮轴。凸轮4、进气阀推杆5、排气阀推杆6、和机架组成进、排气的执行部分。凸轮转动,推动进、排气阀推杆上下移动,使气阀按时启闭,分别控制进气和排气。原动部分、传动部分和执行部分协调工作,将燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

机构是具有确定相对运动的构件组合体。机构可以实现传递机械运动和动力或改变机械运动形式。例如图1-6b所示的连杆机构、凸轮机构等。

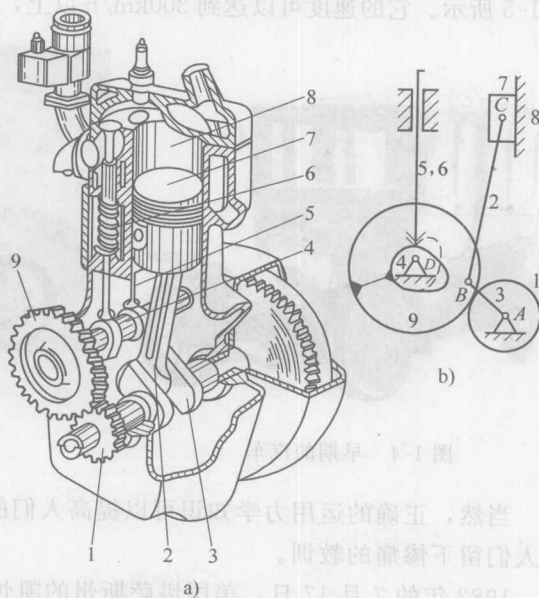
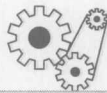


图1-6 单缸内燃机

1—齿轮 2—连杆 3—曲轴 4—凸轮 5—进气阀推杆
6—排气阀推杆 7—活塞 8—气缸体 9—齿轮



二、构件与杆件

组成机器的零部件或工程结构中的构件统称为构件。图 1-7 所示桥式起重机的主梁、吊钩、钢丝绳，图 1-8 所示悬臂吊车架的横梁 AC ，斜杆 AB 都是构件。构件根据几何特征又可分为杆、板、壳、块，其中长度远大于其他两个方向尺寸的构件称为杆件。杆件的几何形状可用其轴线（截面形心的连线）和垂直于轴线的几何图形（横截面）表示。轴线是直线的杆，称为直杆；轴线是曲线的杆，称为曲杆。各横截面相同的直杆，称为等直杆。杆件是工程中最常见、最基本的构件，也是本单元研究的主要对象。

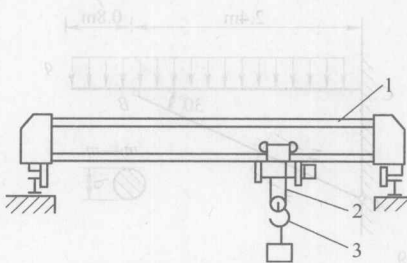


图 1-7 桥式起重机主梁

1—主梁 2—钢丝绳 3—吊钩

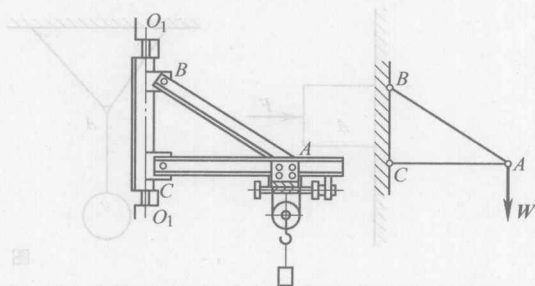


图 1-8 悬臂吊车架

能力知识点 4

力的基本概念

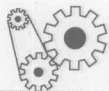
我们在日常生活离不开各种机械，而大多数机械都是由各种不同的构件组成，当机械工作时，这些构件相互作用，这种作用有可能使物体运动，也有可能使物体静止，甚至可造成构件的破坏。例如人们在出行时可以骑自行车，开车，乘坐火车或飞机，这些交通工具都是构件组成的。而这些组成的构件通过相互作用，将人们送达目的地。这些构件之间是如何相互作用的呢？这就是我们本节要学习的“力”的概念。通过人类的长期观察和总结，我们把物体间的相互机械作用称为力。力使物体运动状态的改变称为力的外效应——运动效应；力使物体形状的改变称为力的内效应——变形效应。若物体运动状态不变，即物体相对地球保持静止或做匀速直线运动，称为物体平衡。

力是矢量。力的大小表示物体间相互作用的强弱；力的方向反映了物体间相互作用的方向性；力的作用点表示物体间相互作用的位置。力的大小、方向、作用点的三个特征称为力的三要素，通常用有向线段表示。线段的长度表示力的大小；线段的方位表示力的方向；线段的起点（终点）表示力的作用点。力的符号手写体为“ $\vec{F}$ ”，书写体为黑体字“ $\mathbf{F}$ ”。

在外力作用下，大小和形状保持不变的物体我们称为刚体。刚体是一个理想化的力学模型，实际上是不存在的。实际物体在力的作用下，都会产生程度不同的变形，但微小变形对所研究物体的平衡问题不起主要作用，可以忽略不计，这样可以使问题的研究大为简化。本模块中研究的物体均可视为刚体。

为了方便研究，我们将作用在杆件上的力简化为以下两种形式：集中力——力的作用范围远远小于杆件长度时，可以认为作用于一点。线分布力——作用在杆件上的力分布在杆的全长或部分不可忽略的长度。如果力是均匀分布称为线均布力或线均布载荷，用单位长度上的力 q 表示，称为线载荷集度，单位是 N/m ，它的量纲是力/长度。

随着人类科技的发展，机器的组成日趋复杂化，组成机器的构件也越来越多。每个构件



上的受力也不只有一个。若在同一物体上作用有两个或两个以上的力，我们将这样的一群力称为力系。两个力系对物体的作用效果相同称为等效力系。



想一想

1. 如何区分均布载荷和力系？联系实际，各举一个例子说明它们的不同点。
2. 认真观察，图 1-9 中哪些是集中力？哪些是分布力？哪些是力系？

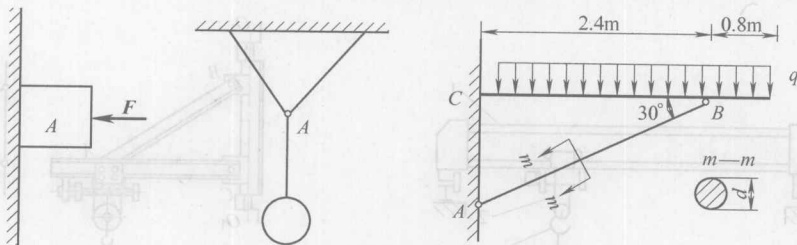


图 1-9

能力知识点 5

力的基本性质

公理 1 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用在同一条直线上。

对于构件来说，若只受两个力而平衡的情况称为二力杆或二力构件。应当注意的是，这里指的构件并不一定是直杆，也可以是其他的任意形状。二力杆有一个重要的特性，即它所受的力必沿着两个力作用点的连线，而与杆件形状无关。

公理 2 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或者减去任意平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移动到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用效应。如图 1-10 所示的小车，在 A 点作用力 F 和在 B 点作用力 F 对小车的的作用效果是相同的。

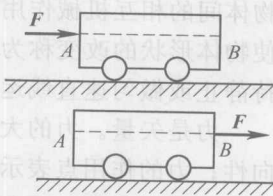


图 1-10

公理 3 力的平行四边形公理

作用在刚体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小、方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定。其表达式为 $F_R = F_1 + F_2$ ，合成方法如图 1-11 所示。

公理 4 作用与反作用公理

两物体间的作用力与反作用力总是同时存在，且大小相等、方向相反、沿同一条直线，分别作用在这两个物体上。

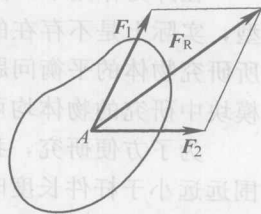
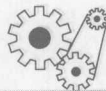


图 1-11



必须强调的是,作用力与反作用力公理中所讲的两个力,决不能与二力平衡公理中的两个力混淆,这两个公理有着本质的区别。

想一想

1. 联系实际,找出二力杆应用的例子,并说明其受力特点。
2. 仔细阅读公理 1 和公理 4,找出作用力与反作用力和二力平衡的区别并联系实际加以说明。

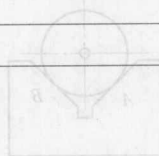


模块小结:

模块小结: 本模块主要学习了静力学的基本概念,包括力的三要素、力的合成与分解、二力平衡条件等。通过本章的学习,应能掌握静力学的基本原理,并能运用这些原理分析工程中的静力学问题。



巩固与训练



一、基本概念

1. 物体的运动效应是指_____;变形效应是指_____。
2. 若物体运动状态不变,即物体相对地球保持静止或匀速直线运动,称为_____。
3. 我们常用带箭头的线段来表示力的大小、方向、作用点三个特征。这三个特征称为_____。
4. 在外力作用下,大小和形状保持不变的物体称为_____。
5. 作用在杆件上的力简化为两种形式,它们分别是_____和_____。
6. 作用与反作用公理的内容是_____。

综合知识模块二 刚体的受力分析

能力知识点 1

工程中常见的约束

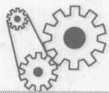
在空间的位置不受任何限制,可以做任意运动的物体称为自由体,如在空间飞行的飞机、炮弹和火箭等。因为受到周围其他物体的限制而不能做任意运动的物体称为非自由体,如机车、机床的刀具等。

凡是能限制某些物体运动的其他物体,称为约束。如铁轨对于机车、轴承对于电机转子、机床刀夹对于刀具等,都是约束。约束对非自由体的作用实质上就是力的作用,这种力称为约束力。约束力的研究对于物体的受力分析有重要作用,是受力分析中最重要的一步。

下面介绍几种工程实际中常见的约束。

1. 柔性约束

由绳索、链条、皮带等柔软物体构成的约束称为柔性约束,这种约束的特点在于只能承



受拉力而不能承受压力,如图 1-12 所示。

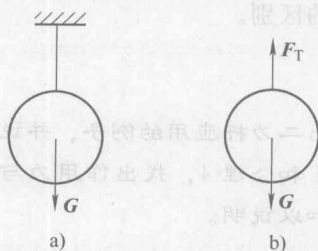


图 1-12

由图 1-12 可见,该种约束的约束力 F_T 的方向是沿着柔体的方向背离物体。

2. 光滑面约束

物体置于光滑的表面上时产生的约束称为光滑面约束。这种约束的特点恰好与柔性约束相反,它只能承受压力而不能承受拉力,如图 1-13 所示。

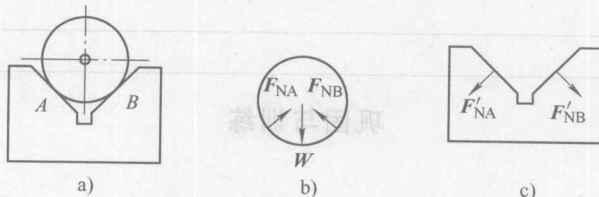


图 1-13

由图 1-13 可见,该种约束的约束力 F_N 垂直于接触处的公切面,并指向非自由体,即沿着接触面的公法线方向背离物体的,此类约束力称为法向反力。

3. 光滑铰链约束

工程中比较常见的还有一种约束叫做铰链约束。铰链约束就是用光滑销钉将两根杆或一根杆和支座连接起来的约束形式。常见的有中间铰链(图 1-14a)、固定铰链(图 1-14b)及活动铰链(图 1-15)。

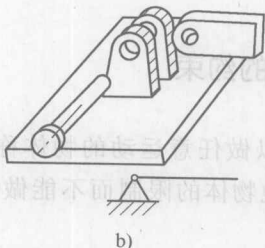
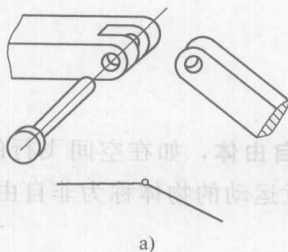


图 1-14

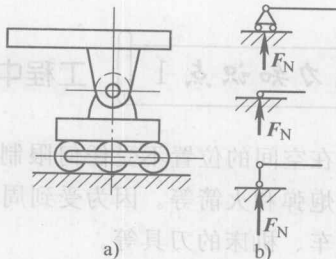
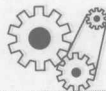


图 1-15

由于铰链连接的构件受力可能沿铰链中心所在平面内的任意方向,为了方便受力分析,我们将铰链产生的约束力沿平面坐标轴分解为沿 x 轴方向的 F_x 和沿 y 轴方向的 F_y 。但对于活动铰链,因为其在 x 轴方向上没有约束作用,所以其约束力只有沿 y 轴方向的 F_y ,如图 1-16b 所示。



4. 固定端约束 这种约束，其工常五的端时个整面湿湿以，不种主会能书时更那个

如图 1-16a 所示，对于这种一端完全固定的约束状态称为固定端约束。例如跳水比赛中的跳板，墙上的钉子等都属于这类约束。

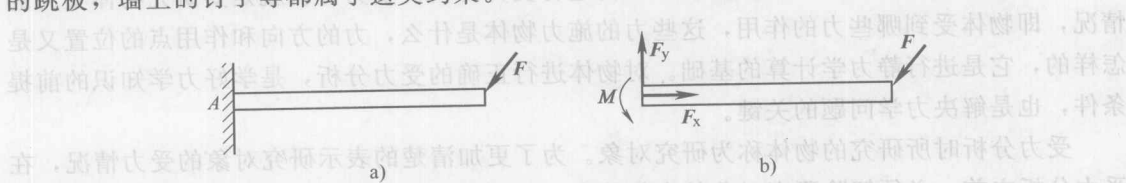


图 1-16

对于这种约束，由于其一端完全固定，既不能移动也不能转动，因此其约束力除了和固定铰链一样，沿平面坐标轴分解为沿 x 轴方向的 F_x 和沿 y 轴方向的 F_y 以外，还存在一个约束力偶 M 来限制其转动（图 1-16b）。

综上所述，约束在工程实际中广泛存在，熟记约束的类型及受力特点对于构件的受力分析是十分必要的。表 1-1 中将各种常见约束的特点做一简单的总结比较。

表 1-1 工程中常见的约束类型比较

基本形式	柔性约束	光滑接触面约束	铰链约束		固定端约束
			固定铰链支座 或中间铰链约束	活动铰链支座 约束	
构成	柔性物体如绳索、链条、带、钢丝绳等	由光滑支承面如滑槽、导轨等所构成	由两个端部带有圆孔的构件用一销钉连接而成		物体的一端固嵌于另一物体内部
约束特点	限制物体沿绳索伸直的方向朝外运动	限制物体沿接触面公法线方向向着支承面的运动	限制被连接构件间的相对移动	限制物体沿垂直支承面方向的运动	既限制物体的移动，又限制物体转动
约束反力	沿绳索伸直时中心线背离被约束物体的拉力 F_T	沿着接触面的公法线方向，指向被约束物体的压力 F_N	通过铰链中心，但方向不定，可以用它的两个分力 F_x 与 F_y 表示	通过铰链中心垂直于支承面	方向待定的约束力和约束力偶



想一想

1. 比较并列出自由体与非自由体的区别，分别列举出三个例子

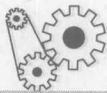
2. 约束与约束力有什么区别？

3. 根据本知识点列出的四种常见约束特点，各举一实例，并说明它们的受力特点。

能力知识点 2

刚体的受力分析

机械工作时组成机械的构件都受到力的作用，每一个构件受力大小都有一定限度，超过



这个限度构件就会发生破坏,以致影响整个机械的正常工作,因此必须对构件进行静力计算。

为了进行这样的计算,首先就要对机构进行受力分析。受力分析就是要研究物体受力的情况,即物体受到哪些力的作用,这些力的施力物体是什么,力的方向和作用点的位置又是怎样的,它是进行静力学计算的基础。对物体进行正确的受力分析,是学好力学知识的前提条件,也是解决力学问题的关键。

受力分析时所研究的物体称为研究对象。为了更加清楚的表示研究对象的受力情况,在受力分析之前,必须解除研究对象的全部约束,并以约束力代替这些约束的作用,这种解除了约束的物体称为分离体。将分离体所受的主动力和约束力画在相应的位置上的图称为受力图。画受力图的过程也可以看作是物体受力分析的过程。

画受力图的步骤大致可分为以下三步:

- 1) 确定研究对象,画出分离体。
- 2) 画出所有主动力(重力、电场力、磁场力等)。
- 3) 观察研究对象,找出研究对象跟其他物体所有的连接或接触处,分析约束类型,按照不同约束的特点画出所有约束力。

此外,在受力分析的过程中,要注意二力杆。

下面通过例题来具体说明如何对物体做受力分析。

例 1-1 重为 W 的小球放在光滑斜面上,并用一根绳子固定,如图 1-17a 所示,画出小球的受力分析图。

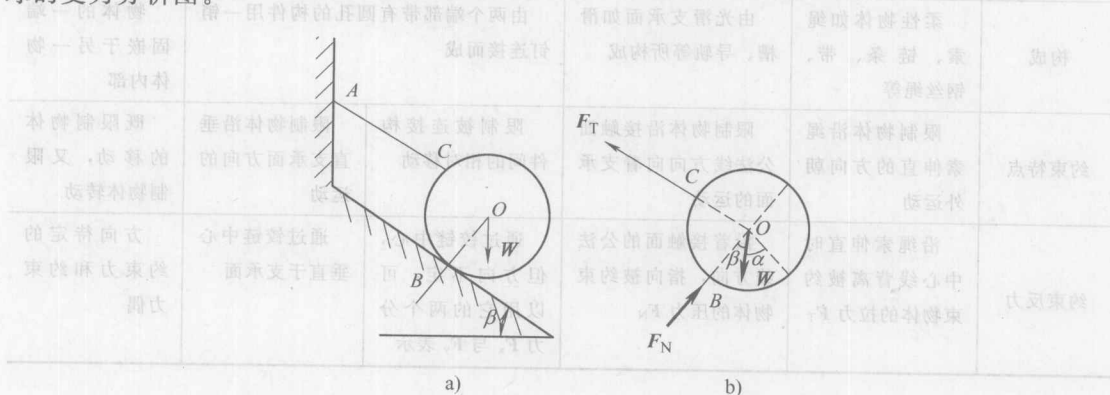


图 1-17

解: (1) 根据题目要求,研究对象应为小球,解除小球的各约束,画出分离体。

(2) 作用在小球上的主动力为重力,作用点为球心,方向铅垂向下。

(3) 作用在小球上的约束有两个,分别是斜面和绳子。根据约束特点,绳子对小球的约束为柔性约束,约束力为过 C 点,沿斜面向上的拉力 F_T 。斜面为光滑面约束,约束力为过小球与斜面的接触点 B ,垂直于斜面并指向小球的力 F_N 。

(4) 根据以上分析,画出小球的受力图,如图 1-17b 所示。

例 1-2 水平梁在 A 、 B 分别为固定铰链和活动铰链约束,梁在 C 点受力 F 的作用,如图 1-18a 所示,不计梁的自重,画出梁的受力分析图。

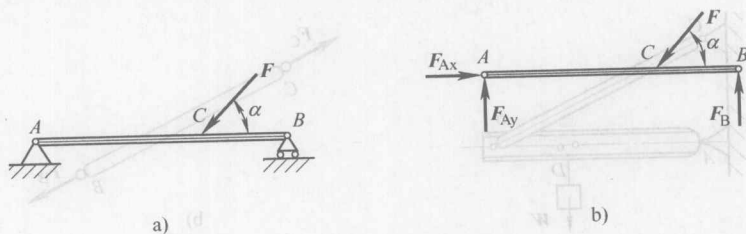
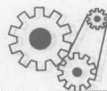


图 1-18

- 解：**(1) 根据题目要求，以梁 AB 为研究对象，解除两端铰链约束，画出分离体。
- (2) 因为题目中已说明不计自重，所以作用在梁上的主动力应为外力 F 。
- (3) A 端为固定铰链约束，按照约束特点，可将 A 端受力分解为水平方向的 F_{Ax} 和铅垂方向的 F_{Ay} 两个分力；B 端为活动铰链，其受力应为 F_B ，方向垂直于支承面。
- (4) 根据以上分析，画出梁的受力图，如图 1-18b 所示。

例 1-3 重量为 W 的 AB 杆倾斜放置在墙边，并用一绳 DC 拉住，如图 1-19a 所示，试画出 AB 杆的受力图。

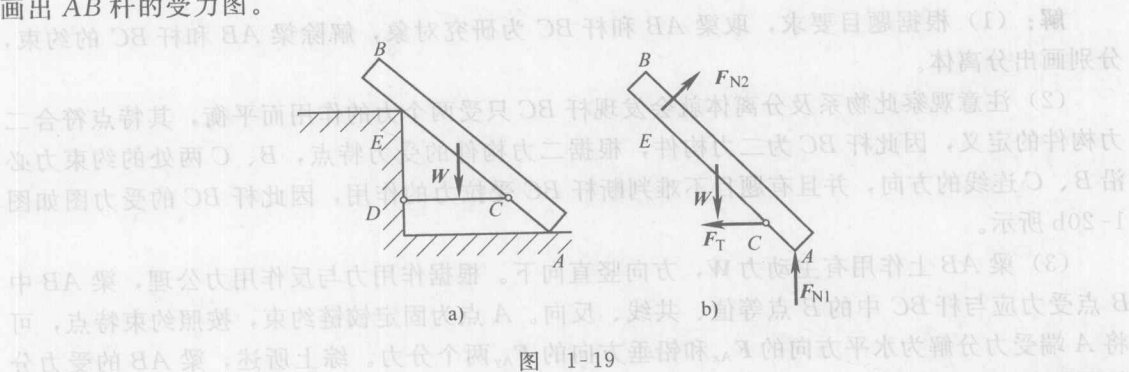


图 1-19

- 解：**(1) 根据题目要求，取 AB 杆为研究对象，解除墙面和绳子的约束，画出分离体。
- (2) 作用在杆 AB 上的主动力是作用点在杆件重心的重力 W ，方向铅垂向下。
- (3) 作用在杆件上的约束力有绳 CD 的拉力和 A、E 两点的力。绳子对杆的约束为柔性约束，约束力为过 C 点，沿水平面向左的拉力 F_T 。A 点为光滑面约束，约束力为过接触点 A，垂直水平面向上的力 F_{N1} 。E 点也为光滑面约束，约束力为过接触点 E，垂直于杆 AB 的力 F_{N2} 。

(4) 根据以上分析，画出杆 AB 的受力图，如图 1-19b 所示。

不难看出，以上例题的一个共同特点就是研究对象均为单个物体，因此，这类问题被称为单个物体的受力分析问题。但日常的生产生活中很少有单个物体组成的机械，它们通常是由两个或两个以上的物体组成的系统，这样的系统称为物体系统，简称物系。在受力分析中，单个物体的受力分析与物系的受力分析是有所区别的。

例 1-4 单臂旋转吊车如图 1-20a 所示，A、B 为固定铰链支座，横梁 AB 和杆 BC 在 B 处用中间铰链连接，在 D 点起吊重物，重为 W ，不计物系内各构件自重，画出横梁 AB 及杆 BC 的受力图。