



普通中等专业教育机电类规划教材  
机械工业出版社精品教材

# 工程力学

机械工业中专基础课教学指导委员会力学学科组 编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通中等专业教育机电类规划教材  
机械工业出版社精品教材

# 工 程 力 学

主 编 韩向东  
副主编 何西泠 刘思俊 吴建文  
参 编 (按姓氏笔划排列) 王志刚 申志荣  
皮惠琳 李雨梅 李钧瑞 查 正  
主 审 许峡峰 丁小华

机 械 工 业 出 版 社

本书是为适应中专学校基础课时普遍减少的教学需要编写的,适用学时为65~85学时。该书在保留了《工程力学》原有框架的同时,对部分章节作了调整,并从加强实用性出发,对内容、例题和习题作了精心的考虑和选择。

全书共分三部分。第一部分静力分析,包括静力分析基础、平面力系的简化与合成、平面力系的平衡方程及应用、空间力系和重心;第二部分构件的承载能力分析,包括轴向拉伸与压缩、剪切、圆轴扭转、平面弯曲、组合变形、压杆稳定以及疲劳破坏简介;第三部分构件基本运动时的运动及动力分析,包括刚体基本运动时的运动分析和动力分析。

本书适合于普通中等专业学校学生使用,也可供成人教育、职业中专、技工等学校学生使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程力学/机械工业中专基础课教学指导委员会力学  
学科组编. —北京:机械工业出版社,2000.5

普通中等专业教育机电类规划教材

ISBN 7-111-06875-0

I. 工… I. 机… I. 工… 工程力学-专业学校-教材  
IV. TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第03251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:宋学敏 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英  
曹俊玲

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年2月第1版第7次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·9.5印张·208千字

定价:12.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646  
68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

为适应中等专业学校教学改革的需要，在二十多所机械行业中等专业学校共同研究的基础上，由机械工业中专基础课教学指导委员会力学学科组采取“公开招标”的形式，选定主编及参编人员编写了本书。

本书基本保留了《工程力学》教材的传统框架，本着削枝强干的原则，并从注重实用性和教学的可操作性出发，对内容、例题和习题进行了精心的选择和考虑。例如，教材中略去了繁琐的公式推导，力求简明扼要，深度在“够用”和“适用”的基础上适当拓宽，以满足不同专业的需要。又如，在平衡问题的计算中，侧重对单个刚体的计算，物系的问题一般也不超过两个研究对象；在弯曲内力图中，删掉了剪力图；功与功率侧重定轴转动刚体上的计算；“压杆稳定”与“交变应力”合为一章，并与“构件基本运动时的运动及动力分析”部分放在书的最后，以便教师取舍。此外，教材在注重科学性和工程性的同时还注意了通俗性与趣味性，以适合中专学生的年龄特点，使学生在获得工程力学最基本的知识和训练的同时，对培养学生的力学素养起到一定的作用。

本书可作为普通中等专业学校 65~85 学时工程力学课程的教材，也可供成人教育、职业中专、技工等学校学生使用。

担任本书编写工作的有北京市汽车工业学校韩向东、浙江机械工业学校何西冷、咸阳机器制造学校刘思俊、四川省

机械工业学校吴建文、宜宾工业学校皮惠琳、宝鸡市工业学校查正、西安仪表工业学校李钧瑞、山东省机械工业学校李雨梅、山西省机械工业学校申志荣、北京市机械工业学校王志刚。其中静力分析部分由吴建文统稿，轴向拉压、剪切、圆轴扭转三章由刘思俊统稿，平面弯曲、组合变形、压杆稳定及交变应力简介三章由何西冷统稿，构件基本运动时的运动及动力分析由韩向东统稿。最后由韩向东对全书统稿并定稿。

参加审稿会的有重庆机器制造学校许峡峰、湖北省第一机械工业学校丁小华、中原机械工业学校杜建根、无锡机械制造学校吴建生。由许峡峰、丁小华担任主审。审稿的同志不仅对本书初稿提出了许多宝贵意见，而且还对本书的修改提出了许多建设性的意见，在此特向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

1999年2月

# 目 录

前 言	
绪 论 .....	1

## 第一部分 物体的静力分析

第一章 静力分析基础 .....	4
第一节 力 .....	4
第二节 约束与约束反力 .....	8
第三节 受力分析与受力图 .....	12
思考题 .....	20
习 题 .....	22
第二章 平面力系的简化 .....	25
第一节 平面汇交力系的合成 .....	26
第二节 力对点之矩 .....	29
第三节 力偶与平面力偶系的合成 .....	32
第四节 平面任意力系的简化方法 .....	35
思考题 .....	38
习 题 .....	39
第三章 平面力系的平衡条件及应用 .....	42
第一节 平面力系的平衡条件 .....	42
第二节 单个物体的平衡问题 .....	43
第三节 物体系统的平衡问题 .....	48
第四节 考虑摩擦的平衡问题 .....	52
思考题 .....	58
习 题 .....	60

第四章 空间力系和重心 .....	66
第一节 力沿空间直角坐标轴的分解 .....	66
第二节 轮轴类零件平衡问题的平面解法 .....	67
第三节 重心和形心 .....	71
思考题 .....	75
习 题 .....	76

## 第二部分 构件的承载能力分析

第五章 轴向拉伸与压缩 .....	84
第一节 轴向拉伸与压缩的概念 .....	84
第二节 拉(压)杆的轴力和轴力图 .....	85
第三节 拉(压)杆横截面的应力和变形计算 .....	90
第四节 材料拉伸和压缩时的力学性能 .....	95
第五节 拉(压)杆的强度计算 .....	105
思考题 .....	110
习 题 .....	111
第六章 剪切 .....	115
第一节 剪切和挤压的概念 .....	115
第二节 剪切和挤压的实用计算 .....	117
思考题 .....	122
习 题 .....	123
第七章 圆轴扭转 .....	125
第一节 圆轴扭转的概念 .....	125
第二节 扭矩 扭矩图 .....	126
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力和强度计算 .....	130
第四节 圆轴扭转时的变形和刚度计算 .....	135
思考题 .....	140
习 题 .....	141
第八章 平面弯曲 .....	144

第一节	平面弯曲的概念	144
第二节	梁的计算简图	146
第三节	梁横截面上的内力——剪力和弯矩	149
第四节	弯矩图	154
第五节	纯弯曲时梁横截面上的应力	159
第六节	梁的正应力强度计算	164
第七节	梁的变形和刚度计算	169
第八节	提高梁弯曲强度和刚度的措施	178
	思考题	182
	习 题	184
<b>第九章</b>	<b>组合变形的强度计算</b>	<b>190</b>
第一节	组合变形的概念	190
第二节	弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算	192
第三节	圆轴弯曲与扭转组合变形的强度计算	199
	思考题	206
	习 题	207
<b>第十章</b>	<b>压杆稳定 构件疲劳破坏简介</b>	<b>212</b>
第一节	压杆稳定的概念 临界力	212
第二节	压杆的临界应力	214
第三节	压杆稳定性计算简介	219
第四节	交变应力及其循环特征	222
第五节	疲劳破坏简介	224
	思考题	228
	习 题	228
<b>第三部分 刚体基本运动时的运动及动力分析</b>		
<b>第十一章</b>	<b>刚体基本运动时的运动分析</b>	<b>231</b>
第一节	点的运动	231
第二节	刚体的平动	241



第三节	刚体绕定轴转动	243
第四节	定轴转动刚体上各点的速度和加速度	247
思考题		251
习 题		251
第十二章	刚体基本运动时的动力分析	254
第一节	质点的动力学基础	254
第二节	质点的动静法	259
第三节	刚体绕定轴转动的动力学方程	263
第四节	功和功率	269
思考题		276
习 题		277
附录 A	型钢表	282
附录 B	习题答案	288
参考文献		296

# 绪 论

## 一、机械工程中的力学问题

各种机械都是由许多不同的构件组成的,当机械工作时,这些构件将受到外力的作用。在外力作用下,构件可能静止,也可能改变原有的运动状态并发生变形,还可能被破坏。因此,构件的受力分析及其平衡条件、构件在外力作用下的变形规律及破坏条件、构件的运动规律及运动状态变化与外力的关系等,是机械工程中经常遇到的力学问题。

例如,图 0-1 所示生产车间的吊车系统,首先遇到的力学问题是在确定的起吊重量下,大梁、减速箱、传动轴、联轴器各受哪些力作用以及这些力的大小,其次是在这些力的作用下,它们将产生哪些变形,这些变形对于吊车的正常工作会产生什么样的影响。此外,在突然起吊重物或突然刹车时,重物又会产生何种运动以及这种运动对吊车系统的零部件产生什么影响等等。

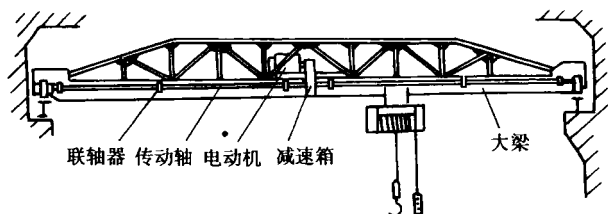


图 0-1

又如机械加工中的摇臂钻床,钻孔时将受到工件的作用,摇臂、立柱以及底座都要发生变形(图 0-2)。为了保证孔的

加工精度，必须尽可能减小这种变形。那么，如何设计摇臂和立柱才能达到预期目的呢？

上述两例中的问题，是机械工程中常见的力学问题，本书能够为分析和解决这些问题提供必要的理论基础和计算方法。

## 二、工程力学的任务和内容

“工程力学”包含着极其广泛的内容，本书所论的“工程力学”包含以下三部分：

(1) 物体的静力分析 研究物体受力的分析方法及物体平衡时的受力规律，建立各种力系的平衡条件。

(2) 杆件的承载能力分析 研究杆件受力后的变形规律及承载能力——强度、刚度、稳定性。

(3) 刚体基本运动时的运动及动力分析 研究刚体平动及定轴转动规律，刚体运动状态的变化与作用在刚体上的力的关系。

工程力学的任务主要是为机械工程中简单构件的力学计算提供力学的基础理论、力学模型、准确有效的计算方法和实验技术。

由于工程力学是现代机械工程的技术基础，所以它是中等专业学校机械类、近机械类、机电类各专业的一门重要的技术基础课，有很大的实用性。工程力学的知识将为学习其他课程（例如机械设计基础、机械加工工艺等）打下基础。此外，通过工程力学的学习还有助于培养辩证唯物主义世界观，提高分析问题和解决问题的能力。

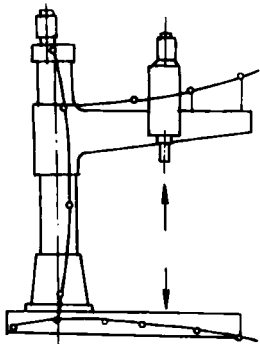


图 0-2

# 第一部分 物体的静力分析

静力分析主要研究物体在力系作用下的平衡规律。

所谓力系，是指作用于物体上的一群力。若两个力系对物体的作用效果相同，这两个力系称为等效力系。有时，为了求解问题的需要，而把一个复杂的力系用一个简单的等效力系来代替，这一过程称为力系的简化。若一个力与一个力系等效，这个力称为该力系的合力，力系中的每个力称为合力的分力。通过力系的简化，可以知道力系对物体作用的总效应，为进一步得出平衡条件和研究动力学问题奠定了基础。

静力分析中的平衡，是指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态。如机床的床身、作匀速直线运动的列车等等，都处于平衡。平衡是物体机械运动的一种特殊状态。若某力系使物体处于平衡状态，这个力系称为平衡力系。平衡力系所满足的条件称为平衡条件。

在静力分析中，着重研究以下两个基本问题：

1) 物体的受力分析，即确定物体受了哪些力的作用，以及每个力的作用位置和方向。

2) 应用平衡条件求出未知量的大小。其中将涉及两个基本的计算量，一是力的投影，二是力对点之矩。

静力分析在工程实际中有着十分重要的意义，如设计建筑物的构件和作匀速直线运动的机械零件等，都需要先对物体进行受力分析，再应用平衡条件计算未知力，最后研究构件的承载能力。对处于非平衡状态的机械零件，在加速度较

小时，也可以应用平衡条件进行近似计算；在加速度较大时，需要在受力分析的基础上，进行动力计算。因此，受力分析是解决力学问题的基础，平衡计算的结果将为构件承载能力的计算提供重要的依据。

## 第一章 静力分析基础

本章介绍力的基本性质，约束与约束反力，受力分析与受力图。

### 第一节 力

#### 一、力的概念

人们在生产实践中，经过长期观察和总结，建立了力的概念：力是物体之间的相互作用，这种作用使物体的机械运动状态发生改变，并使物体发生变形。机械运动是指物体空间位置随时间的变化。改变物体机械运动状态，称为力的运动效应（即力的外效应），使物体变形称为力的变形效应（即力的内效应）。静力分析和动力分析主要研究力的运动效应，这时的研究对象是刚体。所谓刚体，即指在外力作用下几何尺寸和形状不变化的物体。构件的承载能力分析则研究力的变形效应，这时的研究对象是变形体。变形体在外力作用下，其几何尺寸或形状会发生变化。

力对物体的作用效果取决于力的三要素，即力的大小、力的方向、力的作用点。

力的大小表示了物体间相互作用的强弱，可以用测力器

来测量。按照我国法定计量单位的规定，力的常用单位有牛(N)或千牛(kN)， $1\text{kN}=1000\text{N}$ 。

力的方向包括了力的作用线方位和指向。它说明了物体间的相互作用具有方向性。

力的作用点表示了物体间相互作用的位置。如果力可近似地看成作用在一个点上，这种力称为集中力；如果力作用在某一范围内，这种力称为分布力，例如，作用在墙上的风压力、梁的自重等。有时，为了简化刚体的计算过程，可以把分布力简化为集中力。

力是一个具有大小和方向的矢量。图示时，用有向线段的长度按比例表示力的大小，其方位和指向代表力的方向，箭头或箭尾为力的作用点(图 1-1)。本书用黑体字母表示矢量，而以明体字母表示它的大小。

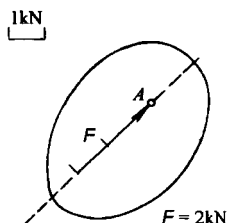


图 1-1

对于刚体，如图 1-2 所示，如果沿力的作用线  $AB$ ，用大小相等方向相同的力  $F$ ，在车后  $A$  点推和在车前  $B$  点拉，尽管两力的作用点不同，但车的运动效果一样。由此可见，作用在刚体上的力，可沿其作用线移动到刚体内的任一点，而不改变这个力对刚体的作用效果，称为力对刚体的可传性。在变形体中，力沿作用线滑移会改变它的变形效应，因此力的可传性对变形体不成立。

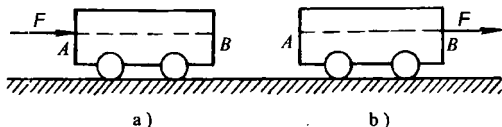


图 1-2

## 二、力的基本性质

力的基本性质是工程力学最主要的理论基础，是人类从反复的实践中总结出来的客观规律，它的正确性已被人们所公认。

**性质 1** 作用在物体上某一点的两个力，可以合成为作用在该点的一个合力，合力的大小和方向用这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定。

如图 1-3a 所示，其矢量表达式为  $R = F_1 + F_2$ 。它总结了最简单力系的合成规律，其逆运算就是力的分解法则，它是简化复杂力系的基础。

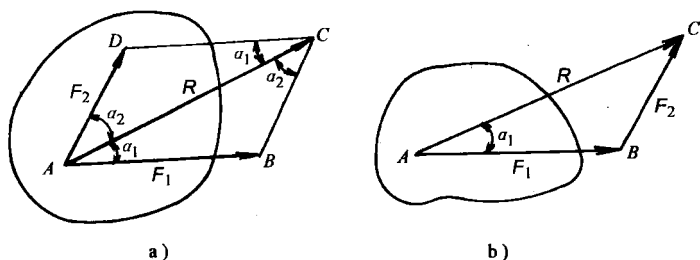


图 1-3

显然，对角线（合力）把平行四边形分成两个全等的三角形。如果从  $A$  点开始画  $F_1$ ，再从  $F_1$  的终点  $B$  画  $F_2$ ，则从  $F_1$  的起点  $A$  指向  $F_2$  的终点  $C$  的矢量就是合力  $R$ （图 1-3b）。也就是说，合力的大小和方向可用这样的三角形求得，这种三角形称为力三角形。

**性质 2** 两物体之间的作用力和反作用力，总是同时存在，它们的大小相等，方向相反，沿同一直线，分别作用在这两个物体上。

这一性质说明，力是两个物体之间的相互作用，它们总

是成对出现，同时产生，同时消失。一般把作用力与反作用力用同一字母表示，其中一个字母加一撇以示区别。如图 1-4a 所示，物块置于水平面上，重力为  $G$ ，被地面支承而不能向下运动；地面给物块一个向上的支持力  $N$ ，力  $N$  的施力物体是地面，受力物体是物块（图 1-4b）；在物块受到力  $N$  作用的同时，物块也将给地面一个向下的压力  $N'$ ，这个力就是力  $N$  的反作用力（图 1-4c）。 $N$  和  $N'$  大小相等，方向相反，沿同一直线，分别作用在物块和地面上。

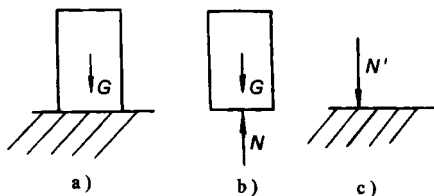


图 1-4

**性质 3** 作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要与充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

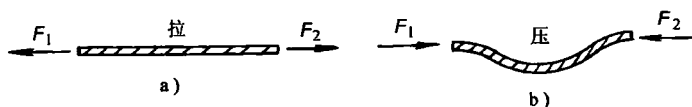


图 1-5

这一性质给出了刚体在最简单力系作用下的平衡条件，即二力平衡条件。对变形体而言，性质 3 只是平衡的必要条件而不是充分条件。如图 1-5 所示的绳子，在拉力作用下可以平衡（图 1-5a）但在压力作用下不能平衡（图 1-5b）。

应当指出，平衡的二力作用在同一物体上，组成一个平



衡力系；而作用力与反作用力分别作用在两个不同的物体上，因而不能平衡。在图 1-4 中，重力  $G$  和支持力  $N$  作用在平衡的物块上，是平衡的二力，力  $N$  和  $N'$  是作用力与反作用力。

## 第二节 约束与约束反力

物体在主动力（已知力）作用下，总要产生运动或运动的趋势，但是这种运动或运动趋势一般要受到周围物体的限制。例如，地面限制了课桌的运动、气缸限制了活塞的运动等等，这种限制实际上是力的作用。

### 一、约束与约束反力

我们把对物体运动起限制作用的周围物体称为该物体的约束。如图 1-6a 所示，用拉线把灯悬挂在天花板上，灯受重力  $G$  的作用，有向下运动的趋势，拉线限制了灯向下的运动，因此拉线是灯的约束。

需要指出的是：①约束要对指定物体而言，这个物体就是研究对象，如电灯。②约束是研究对象的周围物体，并对研究对象有直接的限制作用。例如，当把书作为研究对象时，它的周围物体有课桌、地板等，但在这些物体中，只有课桌直接限制了书的运动，因此，课桌才是书的约束。

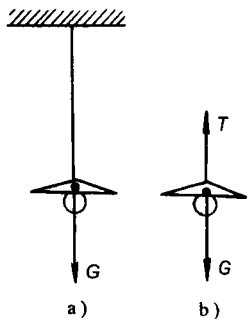


图 1-6

约束施加在所研究物体上的力称为约束反力，简称反力。因为约束限制了物体的运动，所以约束反力的方向总是与物体被限制的运动方向相反，并作