

工程力学

GONGCHENG
LIXUE

◎主 编 孙方道



014035425

TB12
181

内容简介

本书是“新世纪中国”从“为新世纪培养人才”而编写的一本教材，是作者多年从事工程力学教学和科研工作的经验总结。本书力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为高等院校工程力学专业及相关专业的教材，也可供从事工程力学工作的工程技术人员参考。

工程力学

主 编 孙方道

副主编 张向阳 徐化冰

主 审 许宝森



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



北航

C1715317

TB12

181

内 容 简 介

本书突出了高等应用教育特点,依据“项目导向、任务驱动”的模式,从“典型案例”入手,将传统的工程力学内容进行了较大的改革,整合为四个典型的项目,即基础知识与基本技能的学习、构件静力学问题的分析与解决、构件承载能力分析与设计、运动与动力分析。为了知识拓展的需求,在本书中补充了工程力学专题分析、典型实际案例分析等两个项目。每个学习任务均由典型案例引入,在学习任务结束后,对相应的案例做了专题的分析解释,以加深对学习内容的理解,加强与工程实践的联系。

本书可作为高等学校机械、近机械类专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/孙方遒主编. —北京:北京理工大学出版社, 2014. 2

ISBN 978-7-5640-8819-4

I. ①工… II. ①孙… III. ①工程力学-高等职业教育-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 017042 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 18.5

字 数 / 430 千字

印 数 / 1~1500 册

版 次 / 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 49.80 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

Foreword | 前言

教育部在教高〔2006〕16号文件中指出“课程建设与改革是提高教学质量的核心，也是教学改革的重点和难点”“要重视学生校内学习与实际工作的一致性”“探索工学交替、任务驱动、项目导向、顶岗实习等有利于增强学生能力的教学模式”。

项目导向教学法将传统学科体系中的知识内容转化为若干个典型的教学项目，围绕着项目组织和展开教学，每个项目又分解为若干个任务，教学项目以工作任务的形式出现，师生以团队的形式共同实施项目内容而进行教学活动，以完成项目/任务为中心，用项目/任务来带动知识点的学习，整个课程的学习需要1~4个大项目。实现教师、学生双主体，将“教、学、做”融合为一体，使学生积极地参与学习、自觉地进行知识框架的构建。

“工程力学”是工科类专业一门必修的专业基础课，它与工程实际有紧密的联系，对培养学生的工程素质有着非常重要的作用，许多工科院校都单独开设这门课（或是整合在机械基础课程里面）。

如何适应高等教育人才培养模式的改革要求，在教学过程中如何运用任务来驱动、以项目为导向的教学模式，相应的教材如何与教学配套，这是摆在我们面前的一个课题，我们试图编写一本适应项目导向教学模式的教材。

本书具有以下特点。

(1) 本书依据“项目导向、任务驱动”的要求，每个“学习任务”都从“典型案例”入手，引入实际问题，明确学习目标。

(2) 本书将传统的《工程力学》内容进行了较大的改革，经系统的调研、科学的分析后，整合为四个典型的项目，即项目1基础知识与基础技能的学习（主要包括静力学基础）、项目2构件静力学问题的分析与解决（主要包括平面力系分析、空间力系分析、重心以及考虑摩擦平衡问题的分析）、项目3构件承载能力的分析与设计（主要包括拉压杆件强度刚度分析、弯曲强度刚度分析、压杆稳定性分析、圆轴扭转的强度与刚度分析）、项目4运动与动力分析（主要包括点与刚体的基本运动、刚体的平面运动、点的复合运动以及动力学分析相关内容），通过以上四个项目的学习已经能够满足日常教学的需求。

(3) 为了知识拓展的需求，在本书中补充了项目5工程力学专题分析（主要包括动静法在工程上的应用、动载荷与交变载荷的相关知识、应力集中简介以及强度理论的简介）、项目6典型实际案例分析（以典型实例分析工程上强度、刚度、稳定性以及冲击载荷问题）等两个项目。

(4) 在本书中，每个学习任务均由典型案例引入，在学习任务结束后，对相应的案例做了专题的分析解释，并配有部分项目测试的答案，加深对学习内容的理解，以加强与工程实践的联系。

(5) 本书在借鉴相关教材的基础上,对一些内容进行了改革。从典型案例入手,分析、总结解决问题的方法,简化公式的推导过程,注重典型公式的实际应用问题。

(6) 本书同时也为想深入学习工程力学的读者做了理论的准备,对于典型案例的分析解剖,给予这部分同学一个分析解决问题的过程思维方式。

(7) 本书采用了最新的国家标准和法定计量单位,以使读者学习、应用、贯彻国家标准。

参加本书编写工作的有孙方遒(主要编写引论、项目3)、张向阳(主要编写项目5)、徐化冰(主要编写项目1、2)、康晓华(主要编写项目4)、包套图(主要编写项目6)。全书由孙方遒任主编并统稿,张向阳、徐化冰担任副主编,康晓华、包套图参加编写工作。

本书由许宝森主审,许宝森提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加之项目教学的经验仍不够成熟,书中难免有不妥之处,敬请广大读者给予指正。特别希望任课教师提出批评意见和建议,并及时反馈给我们,在此我们表示真诚的谢意!

意见与建议请寄编者信箱:cxsfq@163.com

编者

Contents | 目录

引 论	1
0.1 “工程力学”概述	1
0.1.1 “工程力学”的内涵	1
0.1.2 机械工程中的力学问题	1
0.1.3 工程力学研究的内容	2
0.2 工程力学发展简介	2
项目 1 基础知识与基本技能的学习	5
任务 1.1 静力学基础知识的学习	5
1.1.1 力系与载荷	6
1.1.2 构件与刚体	7
1.1.3 平衡与平衡力系	7
1.1.4 二力平衡与二力构件	7
1.1.5 加减平衡力系公理	8
1.1.6 三力平衡汇交与三力构件	8
任务 1.2 力的投影与分解的学习	9
1.2.1 平面力的投影与分解	10
1.2.2 空间力的投影与分解	11
任务 1.3 力矩与力偶的学习	13
1.3.1 平面力对点之矩	14
1.3.2 空间力对轴之矩	15
1.3.3 平面力偶	15
任务 1.4 力的滑移与平移的分析	17
1.4.1 力的滑移性	18
1.4.2 力的平移性	19
任务 1.5 构件受力分析的学习与训练	20
1.5.1 自由体与非自由体	21
1.5.2 主动力与约束力	21
1.5.3 工程常见约束模型的分析	21
1.5.4 构件的受力分析	25
项目 2 构件静力学问题的分析与解决	31
任务 2.1 构件平面力系问题的分析	31
2.1.1 平面汇交力系的合成与平衡	32

3.5.3 压杆稳定性的设计	135
3.5.4 提高压杆稳定性的实用措施	137
任务 3.6 圆截面轴的承载能力分析与设计	139
3.6.1 圆截面轴扭转变形的特点	140
3.6.2 扭矩的分析与扭矩图的绘制	140
3.6.3 圆轴扭转变形横截面上的应力分析	142
3.6.4 圆轴扭转变形的强度准则及工程上的应用	146
3.6.5 圆轴扭转变形的刚度准则及工程上的应用	149
3.6.6 复杂受力圆轴扭转变形的强度设计	151
3.6.7 提高圆轴扭转变形的强度及刚度措施	153
任务 3.7 连接件的设计	154
3.7.1 连接件的特点	156
3.7.2 连接件的剪切与挤压假定计算	157
3.7.3 焊接和胶粘接件简介	159
项目 4 运动与动力分析	164
任务 4.1 运动与动力分析概述	164
4.1.1 运动分析概述	165
4.1.2 动力分析概述	166
任务 4.2 点与刚体的基本运动分析	167
4.2.1 点的运动的分析	169
4.2.2 刚体的基本运动的分析	175
任务 4.3 点的复合运动分析	182
4.3.1 点的复合运动概述	183
4.3.2 相对不同参考系点的运动分析	184
4.3.3 点的速度合成分析	185
任务 4.4 刚体的平面运动分析	190
4.4.1 描述刚体平面运动的方法	191
4.4.2 平面图形内各点的速度分析	192
任务 4.5 动力学分析	200
4.5.1 动力学分析预备知识的学习	202
4.5.2 质点动力学分析	203
4.5.3 刚体定轴转动动力学分析	207
4.5.4 质点与质点系动量分析	210
4.5.5 质点与质点系动量矩分析	213
4.5.6 质点与质点系动能分析	215
4.5.7 综合分析应用的讨论	220
项目 5 工程力学专题分析	224
任务 5.1 动静法在工程上的应用	224
5.1.1 惯性力与动静法概述	226

5.1.2	质点与质点系运动惯性力分析	226
5.1.3	刚体运动惯性力系分析	229
5.1.4	轴承动反力分析简介	232
任务 5.2	动载荷与交变应力作用下构件承载能力分析	234
5.2.1	动载荷作用下构件承载能力分析	236
5.2.2	交变应力分析	237
5.2.3	材料的疲劳破坏与持久极限分析	238
5.2.4	冲击载荷作用下构件承载能力分析	243
任务 5.3	构件的应力集中现象分析	247
任务 5.4	强度失效判据与设计准则简述	249
5.4.1	最大拉应力理论	250
5.4.2	最大剪应力理论	251
5.4.3	莫尔强度理论	251
5.4.4	相当应力概念	252
项目 6	典型实际案例分析	255
任务 6.1	赵州桥赏析——强度问题	255
6.1.1	故事背景	255
6.1.2	问题与思考题	256
6.1.3	参考分析	256
6.1.4	总结	259
任务 6.2	蹦极意外谁之过——拉伸刚度、冲击动荷	259
6.2.1	事件背景	259
6.2.2	问题与思考题	259
6.2.3	参考分析	259
6.2.4	总结	261
任务 6.3	脚手架因何垮塌——提高压杆稳定性的措施	261
6.3.1	事件背景	261
6.3.2	问题与思考题	262
6.3.3	参考分析	262
6.3.4	总结	263
任务 6.4	矩形截面高宽比——截面几何性质、梁的合理截面设计	263
6.4.1	事件背景	263
6.4.2	问题与思考题	264
6.4.3	参考分析	264
6.4.4	总结	265
部分项目测试参考答案		266
附录		272
参考文献		287

引 论



0.1 “工程力学”概述

0.1.1 “工程力学”的内涵

力学是研究力对物体作用的科学。首先，它是所有自然科学的主要部分。近代科学的发展发端于牛顿对力学的阐述，牛顿在建立经典力学过程中创造的现代自然科学方法论，不仅奠定了科学大厦的基础，而且始终贯穿着整个自然科学的研究，指导着各门自然科学的发展。其次，力学又是众多应用科学，特别是工程科学的基础，它是人类改造自然的工具。当代许多重要工程技术，如：宇航工程、土木工程、机械工程、海洋工程等都是以力学为基础的，在这些工程中遇到的许多重大技术难题都是力学问题。因此，力学已从一门基础科学发展成以工程技术为背景的应用基础学科。当今几乎所有的工程技术领域都离不开力学，它已渗透到工程技术的各个领域。

如果单纯谈到“工程力学”(Engineering Mechanics)这个概念的话，许多人都会觉得很难向人解释清楚。事实上，这个概念可以涵盖众多的力学学科分支与广泛的工科技领域，人们对它的理解存在着很大的差异。工程力学是一门理论性较强、与工程技术联系极为密切的技术基础学科，工程力学的定理、定律和结论广泛应用于各行各业的工程技术中，是解决工程实际问题的重要基础。

0.1.2 机械工程中的力学问题

各种机械都是由若干个基本的零部件按照一定规律组成的，当机械工作时，组成机械的各个构件都要受到外力的作用。例如吊车梁受到吊车和起吊重物重量的作用，轧钢机受到钢坯变形时阻力的作用等。

在载荷的作用下，构件可能平衡，也可能运动状态发生变化，同时构件将产生一定的变形。构件是由一定的材料制成的，若受到的载荷超过材料的承受能力，就会使构件产生过大的变形或断裂而破坏。例如机床主轴，若载荷过大而发生断裂，整个机床将无法使用，如图0-1(a)所示；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，从而影响机械加工的精度，如图0-1(b)所示。又如柴油机的挺杆、千斤顶的螺杆，当轴向载荷

超过一定的限度时,就会突然弯曲甚至折断,如图 0-2 及图 0-3 所示。这就是构件的强度、刚度及稳定性问题。因此,为保证机械的正常安全的工作,要求任何一个构件具有足够的承受载荷的能力,简称为**承载能力**。

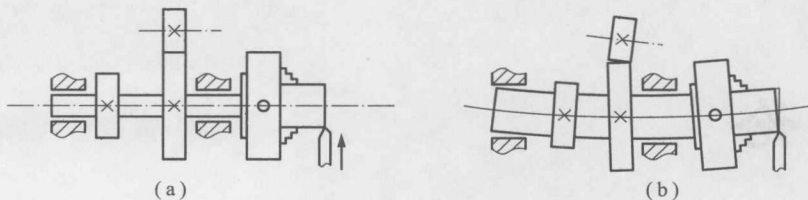


图 0-1 机床主轴

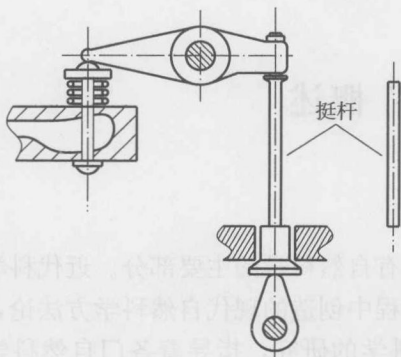


图 0-2 柴油机挺杆

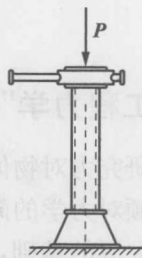


图 0-3 千斤顶螺杆

0.1.3 工程力学研究的内容

本书作为高等院校工科专业基础课教材,主要研究的是物体机械运动规律以及构件承载能力的分析。本书所研究的“工程力学”主要包括以下三个部分:

(1) 静力学分析。平衡是机械运动的特殊形式,所以研究物体的受力与平衡规律以及这些规律在工作中的应用,正是静力学分析部分要完成的主要任务。

(2) 构件承载能力分析。构件承载能力分析部分的主要任务是:研究物体在外力作用下的变形、受力和破坏规律,从而为合理设计构件提供计算方法。

(3) 运动与动力分析。运动与动力分析部分的主要任务是:研究物体的运动规律,分析物体产生运动的原因,建立物体运动与作用在物体上力的相互关系。

总之,工程力学就是要为设计工程构件提供一套行之有效的理论基础和计算方法。

0.2 工程力学发展简介

工程力学是研究有关物质宏观运动规律及其应用的科学。工程给力学提出问题,力学的研究成果改进工程设计思想。从工程上的应用来说,工程力学包括:质点及刚体力学、固体力学、流体力学、流变学、土力学、岩体力学等。

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、汲水等器具,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做了系统研究,确定了它们的基本规律,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,如匀速的移动和转动。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(特别是开普勒的行星运动三定律),提出物体运动三定律。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科学。

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,这被看作是连续介质力学的开端。

运动定律和物性定律这两者的结合,促使弹性固体力学基本理论和黏性流体力学基本理论孪生于世,在这方面作出贡献的是纳维、柯西、泊松、斯托克斯等人。弹性力学和流体力学基本方程的建立,使得力学逐渐脱离物理学而成为独立学科。

从牛顿到汉密尔顿的理论体系,组成了物理学中的经典力学。在弹性和流体基本方程建立后,所给出的方程一时难于求解,工程技术中许多应用力学问题还需依靠经验或半经验的方法解决。这使得19世纪后半叶,在材料力学、结构力学同弹性力学之间,水力学和水动力学之间一直存在着风格上的显著差别。

20世纪初,随着新的数学理论和方法的出现,力学研究又蓬勃发展起来。创立了许多新的理论,同时也解决了工程技术中大量的关键性问题,如航空工程中的声障问题和航天工程中的热障问题等。这时的先驱者是普朗特和卡门,他们在力学研究工作中善于从复杂的现象中洞察事物本质,又能寻找合适的解决问题的数学途径,逐渐形成一套特有的方法。从20世纪60年代起,计算机的应用日益广泛,力学无论在应用上或理论上都有了新的进展。

力学在中国的发展,经历了一个特殊的过程。与古希腊几乎同时,中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。在文艺复兴前的约一千年时间内,整个欧洲的科学技术进展缓慢,而中国科学技术的综合性成果堪称卓著,其中有些在当时世界居于领先地位。这些成果反映出丰富的力学知识,但终未形成系统的力学理论。到明末清初,中国科学技术已显著落后于欧洲。

人类对力学的一些基本原理的认识,一直可以追溯到史前时代。在中国古代及古希腊的著作中,已有关于力学的叙述,但在中世纪以前的建筑物是靠经验建造的。1638年3月出版的伽利略的著作《关于两门新科学的谈话和数学证明》被认为是世界上第一本材料力学著作,但他对于梁内应力分布的研究还是很不成熟的。纳维于1819年提出了关于梁的强度及挠度的完整解法,1821年5月14日纳维在巴黎科学院宣读的论文《在一物体的表面及其内部各点均应成立的平衡及运动的一般方程式》被认为是弹性理论的创始。其后,1870年圣维南又发表了关于塑性理论的论文。

工程力学中的水力学也是一门古老的学科,早在中国春秋战国时期(公元前5—前4世纪),墨翟就在《墨经》中叙述过物体所受浮力与其排开的液体体积之间的关系,在1775年欧拉提出了理想流体的运动方程式。物体流变学是研究较广义的力学运动的一个新学科,

1928年,美国的E·C·宾厄姆倡议设立流变学学会,这门学科才受到了普遍的重视。

土力学在20世纪初期即逐渐形成,并在40年代以后获得了迅速发展。在其形成以及发展的初期,K·泰尔扎吉(一译太沙基)起了重要作用。岩体力学是一门年轻的学科,20世纪50年代开始组织专题学术讨论,其后由对具有不连续面的硬岩性质的研究扩展到对软岩性质的研究。岩体力学是以工程力学与工程地质学两门学科的融合而发展的。

从17世纪到20世纪前半期,连续体力学的特点是研究各个物体的性质,如梁的刚度与强度、柱的稳定性、变形与力的关系、弹性模量、黏性模量等。这一时期的连续体力学是从宏观的角度,通过实验分析与理论分析研究物体的各种性质。它是由质点力学的定律推广到连续体力学的定律,因而自然也出现一些矛盾。于是,基于20世纪前半期物理学的进展并以现代数学(如张量、元、群、泛函、模、希尔伯特空间等)为基础,出现了一门新的学科——理性力学。1945年,M·赖纳提出了关于黏性流体分析的论文,1948年,R·S·里夫林提出了关于弹性固体分析的论文,逐步奠定了所谓理性连续体力学的新体系。

随着结构工程技术的进步,工程学家也同力学家和数学家一样对工程力学的进步做出了贡献。如在桁架发展的初期并没有分析方法,到1847年,美国的桥梁工程师S·惠普尔才发表了正确的桁架分析方法。电子计算机的应用、现代化实验设备的使用、新型材料的研究、新的施工技术和现代数学的应用等,促使工程力学日新月异地发展。

项目 1

基础知识与基本技能的學習



【项目目标】

通过本项目的学习，掌握工程力学的基本知识与基本技能。能够熟练计算力的投影、力矩；能够将工程常见的实际连接（接触）简化为常见的约束类型；能够分析简化后构件受力情况，画出相应的受力图。

【本项目知识点】

- (1) 力系、载荷、构件、刚体、平衡；
- (2) 力的投影、力对点之矩、力对轴之矩；
- (3) 力的滑移性、力的平移性；
- (4) 工程常见约束类型及约束力的画法；
- (5) 构件受力分析。

【教学实施】

任务 1.1 静力学基础知识的学习

【典型案例】

平衡鹰的传说

还记得儿时的玩具吗？其中有一个名叫平衡鹰的玩具（也叫平衡老鹰或金字塔平衡鹰），它是一种塑料摆件，如图 1-1 所示，老鹰具有尖尖的嘴尖，向前展开的两个对称翅膀和向后翘起的尾部。将其嘴尖放在手指尖上，轻轻动一下老鹰，老鹰便和不倒翁一样在手指尖摇晃不掉落，直到完全静止。

请思考一下，它的力学原理是什么？

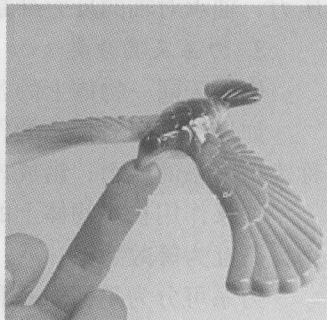


图 1-1 平衡鹰

【知识要点学习】

1.1.1 力系与载荷

机械设备和工程结构在工作时往往承受各式各样的力（载荷）作用。在力（载荷）的作用下，构件必然产生变形，并可能发生破坏（断裂），导致机械设备和工程结构不能正常工作，甚至发生危险事故。

当对构件进行静力分析和计算时，通常用“力”这一说法；当对构件进行变形和破坏分析计算时，通常用“载荷”这一说法。

1. 力的定义与力的效应

关于“力”的一些基本概念性问题在物理学中已经有了较深入的学习。力是物体间相互机械作用。力有三要素，即力的大小、力的方向和力的作用点。力是矢量，力的单位是牛（N）或千牛（kN）等。工程力学中所谓的“力”，仍然是指物体间相互的机械作用。

作用在物体上的力可以使物体产生两种效应，一是可以引起物体运动状态变化或速度变化，一般称为力的外效应或运动效应；二是可以引起物体形状改变，一般称为内效应或变形效应。这两种效应既可能单独出现，也可能同时出现。

实践证明，力的运动效应与变形效应均与力的三要素有关。三要素中任何一个要素改变，都会引起力对物体作用效应的改变。

2. 集中力与分布载荷

作用于物体的力无论其来源如何，按其作用方式可分为体积力和表面力。体积力是作用在物体内所有质点上的力，例如重力、惯性力等，体积力的单位是 N/m^3 或 kN/m^3 。表面力是作用于物体表面的力，可分为集中力和分布力。

沿某一面积或长度连续作用于构件上的力，称为分布力或分布载荷。分布在一定面积上的分布力，单位用 N/m^2 或 kN/m^2 。当分布力在其作用面上呈均匀分布时，也称为均布力或均布载荷。作用于油缸内壁的油压力、作用于船体上的水压力等均为沿面积的分布力。沿长度分布的分布力单位用 N/m 或 kN/m 。楼板对屋梁的作用力，就是以沿梁的轴线每单位长度内作用多少力来度量的。

若作用于构件上外力分布的面积远远小于物体的整体尺寸，或沿长度的分布力其分布长度远小于轴线的长度，则这样的外力就可以看成是作用于一点的集中力。火车轮子对钢轨的压力、轴承对轴的反力都是集中力。集中力的单位是 N 或 kN。

3. 力系及其分类

作用于同一物体上的若干力所组成的系统，称为力系。

如果一个力对物体的作用效应与一个力系对同一物体的作用效应相同，就可以把这个力称为该力系的合力；组成该力系的各力则可称为分力。合力可以代替原力系对物体的作用。

如果作用在一物体上的力系可以用另一力系代替，而不改变对物体的作用效应，则这两个力系互为等效力系。

力系可分为平面力系和空间力系两大类。组成力系各力的作用线都处在同一平面内，则称为平面力系；若组成力系各力的作用线不都处在同一平面内，则称为空间力系。有关这两类力系的相关问题将在后续内容中进一步详细讲述。

1.1.2 构件与刚体

工程结构是工程中各种结构的统称,包括机械结构、土木结构、水利结构、电站结构、核反应堆结构、航空航天结构、船舶结构、电器电子元件结构等。工程结构的组成部分统称为**结构构件**(element of structure),简称为**构件**(element),包括各种零件、部件、元件、器件等。在机械结构中通常称为**零件**。由若干个零件通过某种形式组合在一起则称为**机构**。由若干机构组合在一起完成某种特定功能则称为**机器**。构件(零件)是构成工程结构的最小单元。

所谓**刚体**,就是在任何外力作用下,大小和形状始终保持不变的物体。事实上刚体是不存在的。任何物体在受到力的作用时都会产生一定的变形,在研究物体的运动和平衡规律时,变形对其影响十分微小,故可忽略不计。

对于刚体,只会出现运动效应,而对于变形固体则既会出现运动效应,也会出现变形效应。

1.1.3 平衡与平衡力系

由物理学已经知道,所谓平衡,是指物体相对于参考系保持静止或匀速直线运动状态。如各类建筑物、在水平直线轨道上匀速行驶的列车、起重机匀速提升的货物等。

刚体不是在任何力系作用下都能处于平衡状态的,只有构成力系的所有力满足一定条件时,刚体才能实现平衡,这个条件称为**平衡条件**。能够使刚体保持平衡的力系,称为**平衡力系**。

要特别注意的是,当讨论平衡问题时,物体实际上已经被抽象为刚体。

1.1.4 二力平衡与二力构件

作用在刚体上两个力平衡的必要与充分条件是:两个力大小相等、方向相反并且作用在同一直线上。这也称为**二力平衡公理**。

对于刚体,这一结论显然成立。例如图1-2中所示构件,当平衡时,显然有 $F_1=F_2$, $F_3=F_4$,且方向相反(必要条件);当 $F_1=F_2$,或 $F_3=F_4$,且方向相反时,构件保持平衡(充分条件)。

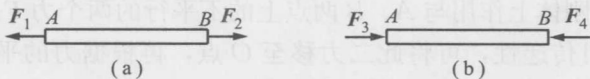


图1-2

但是,对于变形固体来说,这个条件仅是必要的,却不是充分的。也就是说,在二力作用下物体平衡时,这两个力大小相等、方向相反并沿同一直线作用;但当作用在某些变形固体上的二力大小相等、方向相反并沿同一直线作用时,物体却不能平衡。例如,绳索受两个大小相等,方向相反的拉力时可以平衡,如图1-3(a)所示。但受两个大小相等、方向相反的压力时,却不能平衡了,如图1-3(b)所示。



图1-3

在机械或结构中凡只受两个力作用处于平衡状态的构件称为二力构件（或二力杆）。二力构件上的力必须满足二力平衡条件。例如图 1-4 (a) 中撑杆 BC ，图 1-4 (b) 中三铰拱桥中的 BC 拱，若不计自重，则都是在 B 、 C 两点处受力，所受力必在两力作用点的连线 BC 上。若要判断受力构件是受拉还是受压，则可假想将构件抽掉，如 B 、 C 两点靠拢，构件受压；如 B 、 C 两点分离，构件受拉。

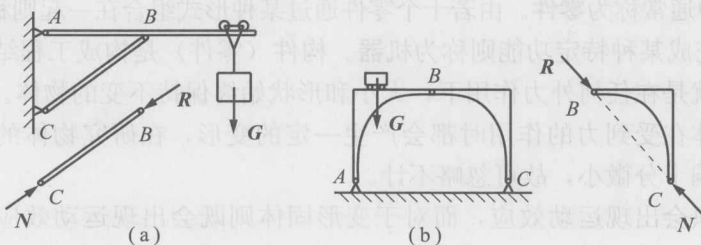


图 1-4

注意，不能把二力平衡条件与力的作用与反作用性质相混淆。满足二力平衡条件的两个力是作用在同一刚体上的，而作用力与反作用力是分别作用在受力物体和施力物体上的。

1.1.5 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，不会改变原力系对刚体的效应，这就是加减平衡力系公理。

这一结论显然是成立的，因为平衡力系中各力对于刚体的运动效应彼此抵消，从而使刚体保持平衡，所以加上或减去平衡力系不会改变原力系对于刚体的运动效应。

需要指出的是，这里谈的是“不改变刚体的运动效应”，对于变形的效应是不成立的。

1.1.6 三力平衡汇交与三力构件

作用在一个刚体上三个互不平行的力达到平衡状态，则此三个力一定汇交到同一点，即为三力平衡汇交原理。受到三个力作用且处于平衡状态的构件可称为三力构件。

如图 1-5 所示，刚体上作用与 A 、 B 两点上的不平行的两个力 F_1 、 F_2 总会有一个作用线交点 O 。根据力的可传递性，可将此二力移至 O 点，再根据力的平行四边形法则，可知此二力的合力 R 必在此平面内，且通过 O 点。此时，若刚体上恰有一力 F_3 ，其大小与 R 相等，方向与 R 相反，且与 R 共线，则根据二力平衡条件可知，刚体处于平衡状态。如图 1-6 所示。可见，当刚体受同一平面内互不平行的三个力作用而平衡时，此三力的作用线必交汇于一点。

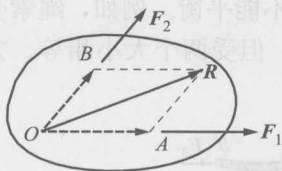


图 1-5

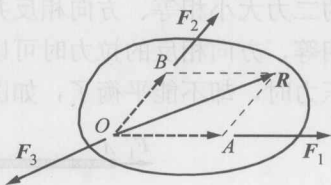


图 1-6

要特别注意,前述内容强调的是在“三个力”作用下达达到“平衡”时,此三力的作用线才汇交于一点。如果是一个刚体受同一平面内“三个汇交于一点的力”作用,那么刚体是不一定能达到平衡的。

另外就是,作用在一个刚体上三个互不平行的力达到平衡状态,则此三个力一定汇交到同一点。但是三个完全相互平行的力作用在同一刚体上也可达到平衡状态,但是三个力并没有交点。

【案例解疑】

通过以上知识的学习,再回过头来看一看平衡鹰的力学原理。其关键之处就在鹰向前展开的两个对称翅膀上,在两个翅膀的尖部配有一定重量的配重,这样就使得鹰的重心在支点(鹰嘴)之下,支点向上的支持力与鹰的重力满足二力平衡条件,实现了稳定的平衡。所以,将其嘴尖放在手指尖上,轻轻动一下老鹰,老鹰便和不倒翁一样在手指尖摇晃不掉落,直到完全静止。

在生活实际中满足二力平衡条件的实例还有很多。例如,静止在桌面上的物体所受的重力与支持力;悬挂着的吊灯,受到竖直向下的重力和吊线对它竖直向上的拉力;在水平道路上匀速直线运动的汽车,水平方向受到向前的牵引力和向后的阻力、竖直方向受到向下的重力和路面对它向上的支持力。以上这些力均满足二力平衡条件。

【项目测试】

- (1) 力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和_____三个要素。
- (2) 在力的作用下大小和形状都保持不变的物体,称之为_____。
- (3) 平衡是物体机械运动的一种特殊形式,所谓平衡是指物体相对于地球处于_____或_____的状态。
- (4) 力使物体机械运动状态发生改变,这一作用称为力的_____。
- (5) 在两个力作用下处于平衡的物体称为_____。
- (6) 作用在一个刚体上三个互不平行的力达到平衡状态,则此三个力_____。

任务 1.2 力的投影与分解的学习

【典型案例】

拖车的故事

在日常生活中会碰到这种情况,当载重汽车陷入泥坑中时,依靠汽车自身的力量是无论如何也出不了泥坑的时候,就只得请他人帮忙把车拖出来了。

在拖车的时候,驾驶员就按图 1-7 所示的方法,用钢索把载重卡车和大树拴紧,在钢索的中央用较小的垂直于钢索的侧向力就可以将载重车拉出泥坑。

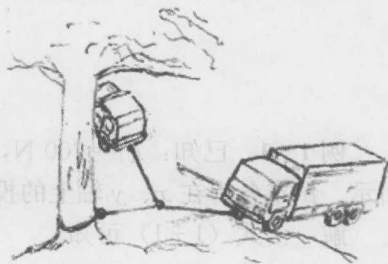


图 1-7 拖车