



高等职业教育
机电类课程规划教材

工程力学

GAODENG ZHIYE JIAOYU
JIDIANLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编 李春风 潘庆丰

大连理工大学出版社



高等职业教育机电类课程规划教材

工 程 力 学

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主 编 李春风 潘庆丰 副主编 刘金环 王文华

GONGCHENG LIXUE

大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2004

图书在版编目 (C I P) 数据

工程力学 / 李春风, 潘庆丰主编. —大连: 大连理工大学出版社, 2004. 9
高等职业教育机电类课程规划教材
ISBN 7-5611-2601-8

I. 工… II. ①李… ②潘… III. 工程力学—材料 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 049853 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市凌水河 邮政编码: 116024

电话: 0411-84708842 传真: 0411-84701466 邮购: 0411-84707961

E-mail: dulp@dulp.cn URL: http://www.dulp.cn

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 20 字数: 424 千字

印数: 1 - 4 000

2004 年 9 月第 1 版

2004 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 赵晓艳

责任校对: 卢 瑜

封面设计: 波 朗

定 价: 28.00 元

新世纪高等职业教育教材编委会教材建设 指导委员会

主任委员:

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

副主任委员(以姓氏笔画为序):

马必学 武汉职业技术学院院长 教授
王大任 辽阳职业技术学院院长 教授
冯伟国 上海商业职业技术学院副院长 教授 博士
刘兰明 邯郸职业技术学院副院长 教授 博士
李竹林 河北建材职业技术学院院长 教授
李长禄 黑龙江工商职业技术学院副院长 副研究员
陈 礼 广东顺德职业技术学院副院长 教授
金长义 广西工业职业技术学院院长 副教授
赵居礼 陕西工业职业技术学院副院长 副教授
徐晓平 盘锦职业技术学院院长 教授

秘书长:

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长(以姓氏笔画为序):

张和平 江汉大学高等职业技术学院院长
周 强 齐齐哈尔大学职业技术学院副院长

秘书组成员(以姓氏笔画为序):

卜 军 上海商业职业技术学院
王澄宇 大庆职业学院
粟景放 广西国际商务职业技术学院
鲁 捷 沈阳师范大学职业技术学院
谢振江 黑龙江省司法警官职业学院

会员单位(略):

总 序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了21世纪的门槛。

20世纪与21世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。



新世纪

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是表们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发表道路的探索过程,它要全面这到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是由全国 100 余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001年8月18日

前 言

《工程力学》是新世纪高等职业教育教材编审委员会组编的机电类课程规划教材之一。

本教材以培养学生的技术应用能力为主线设计培养方案,以“应用”为主旨构建课程体系和教学内容,旨在为国家培养更多高等技术应用型人才。因此,本教材力求以应用为导向,在基础理论的学习上坚持必需、够用原则,讲清概念。在介绍与机械有关的力学知识时避免了复杂的数学推导计算,文字简明、内容精炼,突出了高等职业教育的特色。另外,本教材为使具备一定的可持续发展能力,增加了一些选学内容,学生可根据自己的特点及爱好,选学其中的部分内容。与同类教材相比,本教材具有如下特点:

1. 语言简练、通俗易懂。为符合高职教学的特点,本教材在保证工程力学的完整性和严谨性的前提下,注意语言规范。在文字叙述和理论推导时,力求删繁就简、简明扼要,避免连篇累牍的术语而不是“白话力学”,理论上经得起推敲。

2. 在高职的层面上力求推陈出新。在以往中专、本科教材的基础上进行基础知识的合理整和,针对以往工程力学条块分割比较严重,在学生中出现的较普遍的解题难的现象,在教材编写的过程中,把静力学以及材料力学中所隐含的纵向线也能体现出来,力争在学生的头脑中形成两条线,提高学生分析问题和解决问题的能力。

3. 理论联系实际,增强应用性。首先,本教材在理论的讲解上结合日常生活的实例,增加了教材的趣味性和可读性;其次,在例题和习题的选取上结合工程实例,突出实训环节,以培养学生解决实际问题的能力。

本书可作为高等职业学院机类及近机类工程力学课程的教材,推荐教学时数为72~90学时,对于选学内容本书在标题前加了*号,可在学时充裕的情况下使用。

本教材由渤海船舶职业学院李春风、辽宁工程技术大学职业技术学院潘庆丰任主编;燕山大学东北分院刘金环、



新世纪

6 / 工程力学□

辽宁机电职业技术学院王文华任副主编。辽宁工程技术大学职业技术学院杨林、渤海船舶职业学院孙方道、燕山大学东北分院赵铁、龚重、李红梅参加了部分章节的编写。具体编写分工如下:李春风编写第1章、第12章、第13章;潘庆丰编写第10章、第11章;刘金环编写第2章、第3章;王文华编写第6章、第7章、第8章;刘金环、龚重共同编写第4章;赵铁、李红梅共同编写第5章;杨琳编写第9章;孙方道编写第14章。

尽管我们在教材建设的特色方面做出了许多的努力,由于编者的水平有限,教材中难免存在一些疏漏和不妥之处,恳请各教学单位和读者使用本教材时多提一些宝贵的意见和建议,以便下次修订时改进。

所有意见和建议请寄往:gjckfb@163.com

联系电话:0411-84707604 13352244668

编者

2004年9月



第1章 绪论	1	5.3 空间力系的平衡方程 及应用	68
第2章 静力学的基本概念和受力 分析	5	5.4 空间平行力系的中心和物体 的重心	72
2.1 静力学的基本概念	5	小结	75
2.2 静力学公理	7	思考题	75
2.3 约束与约束力	10	习题	76
2.4 物体的受力分析	13	第6章 拉伸与压缩	79
小结	16	6.1 拉伸与压缩的概念及 外力分析	81
思考题	16	6.2 拉伸与压缩时横截面上的内力 ——轴力	82
习题	17	6.3 拉伸与压缩横截面上 的应力	84
第3章 简单力系	20	6.4 拉伸与压缩的变形、虎克 定律	87
3.1 平面汇交力系合成与平衡的 几何法	21	6.5 材料拉伸与压缩的 力学性能	89
3.2 平面汇交力系合成与平衡的 解析法	25	6.6 拉伸与压缩的强度计算	93
3.3 力对点的矩	31	6.7 拉压杆的超静定问题	97
3.4 平面力偶理论	33	小结	101
3.5 力线平移定理	36	思考题	103
小结	37	习题	104
思考题	38	第7章 剪切和挤压	107
习题	39	7.1 剪切和挤压的概念	107
第4章 平面任意力系	42	7.2 剪切和挤压的实用 强度计算	109
4.1 平面任意力系的简化	42	7.3 剪应变 剪切虎克定律	115
4.2 合力矩定理	45	小结	116
4.3 平面任意力系的平衡方程 及应用	46	思考题	117
4.4 物体系统的平衡	50	习题	118
小结	56	第8章 扭转	121
思考题	56	8.1 扭转的概念及外力 偶矩计算	121
习题	58		
第5章 空间力系与重心	64		
5.1 力在空间直角坐标系的 投影	64		
5.2 力对轴的矩	66		

8.2 扭转时横截面上的内力 ——扭矩	123	第 11 章 压杆稳定	212
8.3 扭转时横截面上的应力	125	11.1 压杆稳定的概念	212
8.4 圆轴扭转强度条件 及应用	130	11.2 压杆的临界力和 临界应力	213
8.5 圆轴扭转变形及刚 度条件	135	11.3 压杆的稳定性计算	217
8.6 非圆截面杆的扭转问题	138	11.4 提高压杆稳定的措施	219
小结	139	小结	220
思考题	140	思考题	221
习题	141	习题	222
第 9 章 弯曲变形	144	第 12 章 质点和刚体运动学基础	224
9.1 平面弯曲的概念及梁的 计算简图	144	12.1 点的运动	224
9.2 梁的内力 ——剪力和弯矩	147	12.2 刚体的基本运动	232
9.3 剪力图和弯矩图	150	12.3 点的合成运动	238
9.4 载荷集度、剪力和弯矩 的关系	155	12.4 刚体的平面运动	242
9.5 平面弯曲时横截面上的 正应力	160	12.5 科里奥利加速度简介	249
9.6 弯曲正应力强度条件	166	小结	251
9.7 弯曲切应力简介	170	思考题	252
9.8 梁的变形	172	习题	253
9.9 提高梁承载能力的 一些措施	180	第 13 章 动力学基础	256
小结	183	13.1 质点动力学基本方程	257
思考题	184	13.2 刚体绕定轴转动动力学 基本方程	261
习题	186	13.3 动量定理	265
第 10 章 强度理论与组合变形 的强度计算	191	13.4 动量矩定理	268
10.1 应力状态分析	191	13.5 动能定理	270
10.2 强度理论简介	196	小结	275
10.3 轴向拉(压)与弯曲组合变形 的强度计算	198	思考题	276
小结	206	习题	277
思考题	208	第 14 章 动载荷简介	280
习题	208	14.1 动载荷与交变应力	280
		14.2 材料的持久极限及其 影响因素	283
		小结	286
		思考题	287
		习题	287
		附录	289
		参考答案	300
		参考文献	309

第 1 章

绪 论

工程力学的内容极其广泛,本书所述的是工程力学的最基础的内容,它包含静力分析、构件承载能力分析及运动力学三部分。

1. 机械工程中的力学问题

在工农业生产、建筑、交通运输、宇航等工程中,广泛地运用各种机械设备和工程结构,各种机械设备和工程结构都是由若干个基本的零、部件按照一定的规律组成的,组成机械的基本零件、部件称为构件。当机械工作时,组成机械的各构件都要受到来自相邻构件和其他物体的外力的作用,这些力在工程上称为载荷。

在载荷的作用下,构件可能平衡,也可能发生运动状态的改变,与此同时构件也发生变形。每个构件都是由一定的材料制成的,若构件所承受的载荷超过材料的承载能力,就会使构件产生过大的变形或断裂而不能正常的工作,即失效。例如,起重机的横梁(图 1-1),若载荷过大而断裂,起重机就无法工作;机床的主轴(图 1-2),若变形过大,将造成齿轮间不能正常啮合,引起轴承间的不均匀磨损,从而影响加工精度和产生噪音;又比如千斤顶的螺杆,当承受的轴向压力超过一定的限度时就会突然变弯而不能正常工作。以上这些就是构件的强度、刚度和稳定性问题。因此为保证机械安全正常的工作,要求任何一个构件都要具有足够的承受载荷的能力,即承载能力。构件的承载能力是机械工程中经常遇到的力学问题。此外,在机械中也经常需要分析物体运动状态的改变与作用在物体上的力的关系。本书

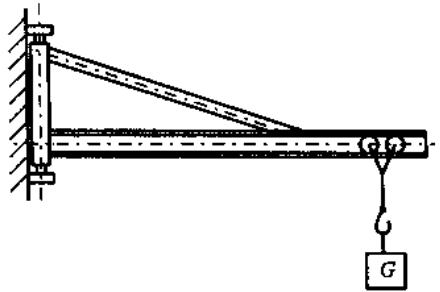


图 1-1

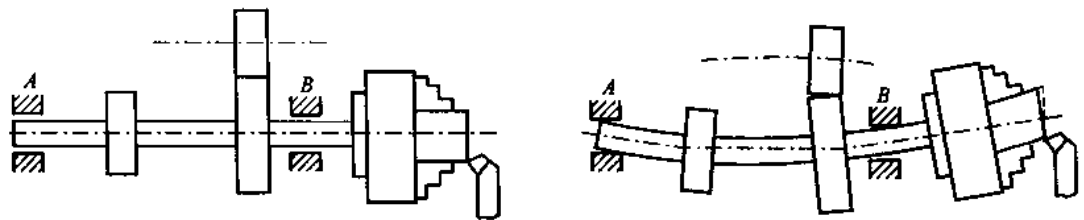


图 1-2

2. 工程力学的主要内容和任务

工程力学是研究构件在载荷的作用下的运动规律和平衡规律及构件承载能力的一门学科,本课程的主要内容包括以下三个部分:

(1) 静力分析

平衡是指物体处于静止或匀速直线运动状态,是机械运动的特殊形式,所以在工程力学中首先要研究物体受力后的平衡条件以及平衡条件在工程中的应用。

(2) 构件的承载能力分析

主要研究构件在外力作用下的变形、受力和破坏规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析的基本理论和方法。

(3) 动力学分析

主要研究质点的运动和刚体的基本运动,以及在这些运动中,受力物体的运动与作用力之间的关系。

3. 工程力学的研究对象及模型

实际构件的形状是多种多样的,工程力学主要研究杆类零件,即杆件。所谓杆件就是其长度方向的尺寸远远大于横向尺寸,如连杆、梁、键、轴等机械零件。杆件轴线为曲线的杆件称为曲杆,轴线为直线的杆件称为直杆。本课程主要研究直杆的力学问题。

任何物体在外力的作用下都要发生变形,但工程问题中的变形通常是很小的,称为小变形。所谓小变形是指变形量远远小于构件原始尺寸的变形。所以在静力分析和研究物体的运动时变形可以忽略不计,这对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,因而即使变形很小也必须加以考虑,这对将物体抽象为在外力作用下会产生变形的物体,称为变形固体,件对变形固体作如下假设:

(1) 连续性假设:变形固体在其体积内连续不断地充满着物质,毫无空隙。

(2) 均匀性假设:物体内各处的力学性质相同。

(3) 各向同性假设:变形固体在各个方向上具有相同的力学性质。

变形固体在外力的作用下会产生两种变形:弹性变形和塑性变形。所谓弹性变形是指当外力卸除时变形也随着消失的变形。塑性变形是指外力卸除后,变形不能全部消失,所残留的变形称为塑性变形。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,仅仅产生弹性变形,称为理想弹性体。由于工程力学研究的物体的变形是小变形,所以在考虑构件的平衡和运动时,可以忽略其变形。而且在研究构件的承载能力时,计算构件的尺寸可以忽略其变形,按照构件变形前的尺寸和形状来计算,其受力也按照静力分析的结果计算。

构件所受的外力不同,变形也不同,本课程研究的杆件变形的基本形式有以下四种:

(1) 轴向拉伸与压缩(图 1-3);(2) 剪切(图 1-4);(3) 扭转(图 1-5);(4) 弯曲(图 1-6)。

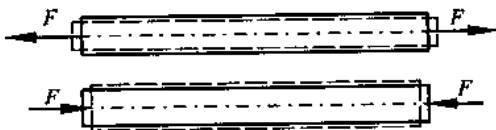


图 1-3

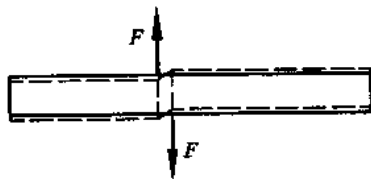


图 1-4

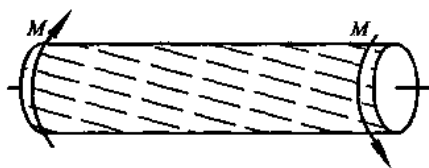


图 1-5

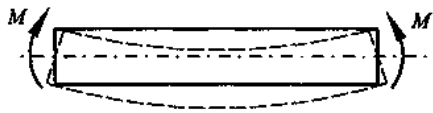


图 1-6

4. 工程力学的研究方法

工程力学和其他任何一门学科一样,就其研究方法而言,都不可能离开认识过程的客观规律。工程力学的研究方法是:从实践出发或通过实验观察,经过抽象、综合、归纳,建立公理或提出基本假设,再用数学演绎和逻辑推理得到定理和结论,然后再通过实践来验证理论的正确性。

(1) 观察和实验是理论发展的基础

首先,人们通过观察生活和生产实践中的各种现象,经过分析、综合和归纳,总结出力学的基本规律。在远古时代,人们为了生活和灌溉的需要,制造了辘轳;为了建筑上搬运重物的需要,使用了杠杆、斜面和滑轮;为了长途运输的需要,制造了车子等等。制造和使用这些生活和生产工具,使人类对于机械运动有了初步认识,并逐步形成了一些有关力学的基本概念和力学基本规律,例如力、力矩、杠杆原理、二力平衡公理等等。

人们除了在生活和生产实践中进行观察和分析,进行实验也是必不可少的。实验是形成理论的重要基础。例如伽利略对自由落体和物体在斜面上的运动作了多次实验,提出了“加速度”的概念;又如摩擦定律等也是以实验为基础的。特别是从近代力学的研究和发展来看,实验更是重要的研究方法之一。

(2) 在观察和实验的基础上,用抽象的方法建立力学模型

抽象化的方法就是在客观事物的复杂现象中,抓住起决定性作用的主要因素,忽略次要的、局部的和偶然性的因素,深入现象的本质,明确事物的内在联系。例如在静力分析中忽略物体受力产生的变形,得到刚体的模型;在运动力学中忽略物体的几何尺寸,得到质点的模型。但是,抽象化的方法是有条件的、相对的,当研究问题的条件改变了,原来的模型就不一定适用了。例如在构件的承载能力分析中,研究物体内部的受力情况和变形,刚体的模型不再适用。总之,抽象化的方法既使研究的问题大为简化又更深刻地反映了事物的本质。

(3) 在建立力学模型的基础上,根据公理、定律和基本假设,借助数学工具,通过演绎、推理的方法,考虑到问题的具体条件,得到各种形式的具有物理意义和实用价值的定理和结论。

工程力学是前人经过无数次“实践—理论—实践”的循环反复过程,使认识不断提高和深化的成果。因此,我们在学习工程力学的知识后,还必须在生产实践中去应用、验证和发展它。

5. 工程力学的发展简介

静力学是从公元前 3 世纪开始发展,到公元 17 世纪伽利略奠定了动力学基础。因农

业、建筑业的要求,以及同贸易发展有关的精密测量的需要,推动了力学的发展。人们在使用简单的工具和机械的基础上,逐渐总结出力学的概念和公理。例如,从滑轮和杠杆得出力矩的概念,从斜面得出力的平行四边形法则等等。

阿基米德是使静力学成为一门真正科学的奠基者。他创立了杠杆理论,也创立了静力学的一些主要原理,他第一个使用严密的推理求出了平行四边形、三角形和梯形的重心位置,还近似求出了封闭抛物线的重心。

在古代,虽然还没有严格的科学理论,但人们在长期的生产实践中得到的一些粗浅的认识已经体现在一些古代建筑中,也大体上符合现代材料力学的基本原理。随着工业的发展,在车辆、船舶、机械和大型建筑工程的建造中所碰到的问题日益复杂,单凭经验已无法解决。这样,在对构件强度和刚度长期定量研究的基础上,逐渐形成了材料力学。

意大利科学家伽利略通过一系列实验,于1683年首次提出梁的强度计算公式,但由于当时对材料受力后会发生变形这一规律缺乏认识,他采用了刚体力学的方法进行计算,以至所得到的结论不完全正确。后来,英国科学家虎克在1678年发表了根据弹簧实验所得到的虎克定律即“力与变形成正比”,奠定了材料力学的基础。直到17世纪,牛械创立了古典力学,才实现了人类对自然界认识的巨大飞跃。

以牛顿三大运动定律为基础的古典力学体系,决定了300多年的力学发展方向与范畴。毫无疑问,今后它还将继续指导力学这门学科的发展。但应该指出的是,牛顿在叙述这些运动定律时,曾引入了所谓“绝对空间”和“绝对时间”观念,他将时间、空间理解为与物质和物质运动都无关的绝对标准,这显然是错误的。牛顿另一个成就是,他发现了表达因果性物理定律的必要工具,即数学方法。关于这一点,爱因斯坦曾作过如下的论述:“为了给予他的体系以数学的形式,牛顿首先提出微积分的概念,并用微分方程的形式来表达他的运动定律或许是有史以来一个人所能迈出的一个最大的理智步伐。”

从18世纪到19世纪末,力学的发展主要在于把牛顿的古典力学体系向深度和广度两方面推进。在向深度推进方面,一是哈密顿原理的出现,把力学的基础建立在能量组合(拉格朗日函数)的积分极值原理上。它对从牛顿力学通向广义相对论和量子力学起到了桥梁的作用。二是统计力学的出现,把牛顿力学推进到了微观世界。在向广度推进方面,则表现为牛顿基本运动规律和具体物性的结合,即把不同介质作为具有不同特性的质点组处理,从而出现了刚体力学、弹性力学、流体力学和气动力学等。

本课程所研究的运动是速度远小于光速的宏观物体的机械运动,属于经典力学的范畴。经典力学以牛顿定理为基础,对于接近光速的物体和基本粒子的运动,经典力学有一定的局限性,必须用相对论和量子力学加以研究,但长期的实践证明,现代一般工程中所遇到的大量力学问题,用经典力学来解决,不仅方便简捷,而且具有足够的精确度,所以经典力学至今仍有很大的实用意义,并且还在不断地发展。值得一提的是,随着冶金工业的发展,新的高强度金属逐渐成为主要的工程材料,从而使薄型和细长型构件大量被采用,这类构件的失效破坏屡有发生,从而引起工程界的广泛注意。另外,由于超高强度材料和焊接结构的广泛应用,低应力脆断和疲劳事故又成为新的课题,也促使这方面的研究迅速发展。

第 2 章

静力学的基本概念和受力分析

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学,重点解决刚体在满足平衡条件的基础上如何求解未知力的问题。静力学理论是从生产实践中发展起来的,是机械零件或机构承载计算的基础,在工程技术中有着广泛的应用。

本章重点研究物体的受力分析,即分析某个物体共受几个力,以及每个力的大小、方向和作用线位置。为了正确分析物体的受力情况,本章先介绍静力学的一些基本概念和公理,然后介绍工程中常见的几种典型约束及其约束力,最后重点讲解物体受力分析和画受力图的方法。

2.1 静力学的基本概念

2.1.1 刚体的概念

所谓刚体是指在力的作用下不发生变形的物体,也就是刚体受力作用时,其内部任意两点间的距离永远保持不变。这是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下,都会产生程度不同的变形。但在一般情况下,工程上的结构构件和机械零件的变形都是很微小的,这种微小的变形对构件的受力平衡影响甚微,可以略去不计,所以可以将结构构件和机械零件抽象为刚体。这种抽象会使我们所研究的问题大大简化,但是不应该把刚体的概念绝对化。通常在静力学中我们研究的是平衡问题,将受力的物体假想为刚体,但在研究力所产生的变形效果时,不得将物体视为刚体。例如,在研究一根横梁的平衡问题时,我们可以把横梁看做刚体,可是在研究横梁的变形情况时,必须把它看做变形体。

在静力学中所研究的物体只限于刚体,效又称刚体静力学。由若干个刚体组成的系统称为物体系统,简称物系。

2.1.2 质点的概念

在静力学中随着问题的不同,除了将实际物体抽象为刚体外,还可以将物体抽象为另外一种理想模型,即质点。所谓质点,是指具有一定质量而形状与大小可以忽略不计的物

体。当我们研究物体整体运动时,它的大小和形状不影响我们所研究问题的性质,可将该物体简化为质点。

2.1.3 力的概念

力是物体间相互的机械作用。它具有两种效应:一是使物体的运动状态发生改变,例如地球对月球的引力不断地改变月球的运动方向而使之绕地球转动;二是使物体产生变形,例如作用在弹簧上的拉力使弹簧伸长。前者称为力的外效应,后者称为力的内效应。一般来说,这两种效应是同时存在的。但是,为了使问题的研究简化,通常将外效应和内效应分开来研究。静力学部分主要研究物体的外效应。

力的作用效果取决于力的三要素:

(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。

需要指出的是,力的作用点是力的作用位置的抽象,实际上力的作用位置一般来说并不是一个点,而是作用于物体的一定面积上。当作用面积很小时,可将其抽象为一个点,将作用于物体上某个点上的力称为集中力,通过力的作用点代表力的方位的直线称为力的作用线。如果力的作用面积较大,不能抽象为点时,则将作用于这个面积上的力称为分布力。分布力的作用强度用单位面积上力的大小 $q(\text{N}/\text{cm}^2)$ 来度量,称为载荷集度。

在国际单位制(SI)中,力的单位是牛顿或千牛顿,其代号为 N 或 kN。在工程单位制(LFT)中,力的单位是公斤力或吨力,其代号为 kgf 或 tf。两者的换算关系为:

$$1\text{kgf} = 9.8\text{N}$$

$$1\text{tf} = 9.8\text{kN} = 9800\text{N}$$

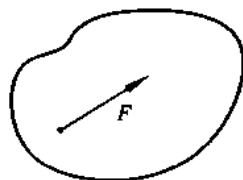


图 2-1

力是矢量,所以可以用一个定位的有向线段来表示力。如图 2-1 所示,线段的长度按一定的比例尺表示力的大小,线段的方向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。与线段重合的直线称为力的作用线。我们通常用黑体字母 F 来表示力。

2.1.4 力系的概念

力系是指作用于物体上的一群力。力系中力的作用形式是千变万化的,可能是一个力,也可能是多个力,力的作用线可能在同一平面内,也可能在三维空间内。一个力是一种最简单的力系。但在解决复杂力系的问题时,应该在保持对刚体作用效果不变的前提下,用一个简单力系代替一个复杂力系,从而使问题简化,这个过程称为力系的简化。如果一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的合力,该力系中各力称为其合力的分力或分量。求合力的过程称为力系的合成。

力系按照作用线分布情况可以分为下列几种。

1. 平面力系

所有力的作用线在同一平面内的力系为平面力系。平面力系又可分为:

平面汇交力系,即所有力的作用线汇交于一点的平面力系;

平面平行力系,即所有力的作用线都相互平行的平面力系;

平面任意力系,即所有力的作用线既不汇交于同一点,又不相互平行的平面力系。

2. 空间力系

所有力的作用线不在同一平面内的力系为空间力系。空间力系又可分为:

空间汇交力系,即所有力的作用线汇交于一点的空间力系;

空间平行力系,即所有力的作用线都相互平行的空间力系;

空间任意力系,即所有力的作用线既不汇交于一点,又不相互平行的空间力系。

由于平面力系可视为空间力系的特殊情况,平面汇交力系和平行力系又可视为任意力系的特殊情况,所以,空间任意力系是力系的最复杂、最普遍、最一般的形式,其他各种力系都可看成是它的一种特殊情况。

2.1.5 平衡的概念

所谓平衡,是指物体相对于惯性参考系保持静止或做匀速直线运动。在工程问题中,平衡通常是指物体相对地球静止或做匀速直线运动,也就是将惯性参考系固连在地球上。这时作用于物体上的力系称为平衡力系。实际上,物体的平衡总是暂时的、相对的,绝对的平衡是不存在的。研究物体的平衡问题,就是研究物体在各种力系作用下的平衡条件,并应用这些平衡条件解决工程技术问题。为了便于寻求各种力系对于物体作用的总效应和力系的平衡条件,需要将力系进行简化,使其变换为另一个与其作用效应相同的简单力系。这种等效简化力系的方法称为力系的简化。所以,在静力学中主要研究以下三个问题:物体的受力分析;力系的简化;力系的平衡条件及其应用。

2.2 静力学公理

静力学公理是人们在生活和生产活动中长期积累起来的、经过实践反复检验的、证明是符合客观实际的普遍规律。静力学公理是对力的基本性质的概括和总结,是静力学全部理论的基础,是解决力系的简化、平衡条件以及物体的受力分析等问题的关键。

2.2.1 公理1 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。其合力仍作用于该点上,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确定。

如图 2-2(a)所示, F_1 、 F_2 为作用于 O 点的两个力,以这两个力为邻边作平行四边形 $OACB$,则对角线 OC 即为 F_1 与 F_2 的合力 R ,或者说,合力矢 R 等于原来两个力矢 F_1 与 F_2 的矢量和,可用矢量式来表示

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (2-1)$$

合力的大小,可由余弦定理求出,即