



新世纪高职高专
机电类课程规划教材

工程力学

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主审 孔凡杰

主编 王秀梅 李克勇 杨金良



大连理工大学出版社



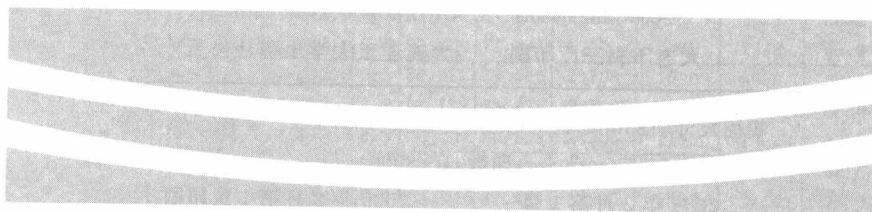
新世纪高职高专机电类课程规划教材

工 程 力 学

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主 审 孔凡杰

主 编 王秀梅 李克勇 杨金良 副主编 牛同训 李晓芳 蒋灵博



GONGCHENG LIXUE

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/王秀梅,李克勇,杨金良主编. —大连:大连理工大学出版社,2009.2

新世纪高职高专机电类课程规划教材

ISBN 978-7-5611-4646-0

I. 工… II. ①王…②李…③杨… III. 工程力学—高等学校:技术学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 012916 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连印刷三厂印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:16.75 字数:370 千字

印数:1~3000

2009 年 2 月第 1 版

2009 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑:康云霞

责任校对:胡海飞

封面设计:张莹

ISBN 978-7-5611-4646-0

定 价:32.00 元

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职教育,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(在市场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。

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研究型(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,它从专科层次起步,进而应用本科教育、应用硕士教育、应用博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我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。

高等职业教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达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)研究型人才培养的教育并驾齐驱,还需要假以时日;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。新世纪高职高专教材编审委员会就是由全国 100 余所高职高专院校和出版单位组成的旨在以推动高职高专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高专教材的特色建设为己任,始终会从高职高专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,以其纵览全国高职高专教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的运作模式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职高专教学成果,探索高职高专教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职高专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。

新世纪高职高专教材编审委员会在推进高职高专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。

新世纪高职高专教材编审委员会

2001 年 8 月 18 日

前言

《工程力学》是新世纪高职高专教材编审委员会组编的机电类课程规划教材之一。本书以应用为导向,在基础理论的学习上坚持必需、够用原则,讲清概念、原理。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、内容精练,突出了高等职业教育的特色。

本教材以应用为导向,在基础理论的学习上坚持必需、够用原则,讲清概念、原理。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、内容精练,突出了高等职业教育的特色。

本教材在编写过程中力求突出以下特色:

1. 在中专、本科教材的基础上进行知识的合理整合,针对以往工程力学知识条块分割比较严重,在学生中出现的比较普遍的解题难的现象,我们在本教材中把静力学以及材料力学中所隐含的纵向线体现出来,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。

2. 在理论的讲解上结合日常生活的实例,增加了趣味性和可读性。

3. 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。

本教材共分十六章,分别是绪论、静力学基本概念及受力分析、平面力系、空间力系、材料力学基本概念和基本假设、轴向拉伸和压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、梁的平面弯曲、组合变形的强度计算、压杆稳定性、质点的运动力学、刚体的基本运动、运动的合成与分解、刚体的平面运动、动能定理、动载荷交变应力。

本教材由山东工业职业学院王秀梅、李克勇、杨金良担任主编,牛同训、李晓芳、蒋灵博担任副主编,山东工业职业学院韩道刚、常生德、李巧玉、赵海艳、田晓霞、刘卓雷、陈洪玉,日照职业技术学院张作状,淄博职业学院郭洪强参与了部分章



节的编写。具体编写分工如下:韩道刚编写第一章;蒋灵博编写第二章;牛同训编写第三章;李晓芳编写第八章、第九章;常生德编写第十章;李巧玉编写绪论;王秀梅编写第七章、第十二章、第十三章;李克勇编写第十五章;杨金良编写第十六章;赵海艳编写第四章、第五章;田晓霞编写第六章;刘卓雷编写第十一章;陈洪玉编写第十四章。

另外,山东工业职业学院机电工程系孔凡杰教授对本书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的感谢。

尽管我们在编写教材的过程中,做出了许多努力,但由于编者的水平有限,教材中难免存在一些疏漏和不妥,恳请各教学单位和读者使用本教材时多提宝贵意见和建议,以便下次修订时改进。

所有意见和建议请发往:gzjckfb@163.com

欢迎访问我们的网站:<http://www.dutpgz.cn>

联系电话:0411-84707492 84706104

编者
2009年1月



绪 论	1
第一章 静力学基本概念及受力分析	3
第一节 力、刚体、质点	4
第二节 静力学公理	5
第三节 约束和约束反力	7
第四节 物体的受力分析和受力图	10
思考题	15
习 题	15
第二章 平面力系	17
第一节 力系的分类和特征	17
第二节 平面汇交力系的合成与平衡	18
第三节 力矩	25
第四节 力偶	27
第五节 平面力偶系的合成与平衡	29
第六节 平面一般力系的简化	30
第七节 平面一般力系的平衡方程	34
第八节 平面平行力系的平衡方程	37
第九节 静定与超静定问题及物体系统的平衡	38
第十节 考虑摩擦时物体的平衡	42
思考题	44
习 题	45
第三章 空间力系	50
第一节 力在直角坐标轴上的投影	50
第二节 空间力对坐标轴的矩	51
第三节 空间力系的合力矩定理	52
第四节 空间任意力系平衡条件的应用	53
第五节 重心和形心	56
思考题	61
习 题	61

第四章 材料力学的基本概念和基本假设	65
第一节 材料力学研究的对象、性质和任务	65
第二节 变形固体的基本假设	66
第三节 基本构件变形的形式	67
思考题	68
第五章 轴向拉伸与压缩	69
第一节 轴向拉伸与压缩的概念与实例	69
第二节 轴向拉伸和压缩时横截面上的内力——轴力、轴力图	70
第三节 轴向拉压时截面上的应力	72
第四节 轴向拉压时的变形、线应变和胡克定律	74
第五节 材料的力学性能	76
第六节 轴向拉压时的强度条件及强度计算	81
第七节 拉压超静定问题简介	83
第八节 应力集中的概念	85
思考题	85
习 题	86
第六章 剪切和挤压	88
第一节 剪切与挤压的概念与实例	88
第二节 剪切与挤压的实用计算	89
第三节 剪切胡克定律 剪应力互等定理	92
思考题	93
习 题	94
第七章 圆轴的扭转	96
第一节 圆轴扭转的概念与实例、扭矩与扭矩图	96
第二节 圆轴扭转时横截面上的应力计算	99
第三节 圆轴扭转时的变形	103
第四节 圆轴扭转时的强度和刚度计算	104
第五节 提高圆轴扭转强度和刚度的措施	107
思考题	108
习 题	109
第八章 梁的平面弯曲	112
第一节 梁的平面弯曲的概念及计算简图的典型形式	112
第二节 直梁平面弯曲时横截面上的内力——弯矩和剪力计算	114
第三节 剪力图和弯矩图	116

101	第四节 载荷集度、剪力和弯矩之间的微分关系	118
101	及其在绘制剪力图、弯矩图上的应用	118
102	第五节 纯弯曲时横截面上的正应力	121
102	第六节 惯性矩的概念及组合截面惯性矩计算	125
103	第七节 梁的正应力强度条件及强度计算	128
108	第八节 弯曲切应力简介	132
102	第九节 梁弯曲变形的概念	133
805	第十节 叠加法求梁的变形	134
111	第十一节 梁的刚度条件	136
115	第十二节 提高梁的抗弯强度和刚度措施	138
815	思考题	139
811	习 题	140
	第九章 组合变形的强度计算	145
818	第一节 概述	145
812	第二节 弯曲与拉伸(压缩)的组合变形	146
815	第三节 应力状态的概念 强度理论简介	149
822	第四节 弯曲与扭转的组合变形	153
122	思考题	155
825	习 题	155
	第十章 压杆稳定	159
828	第一节 压杆稳定的概念	159
832	第二节 临界力	160
872	第三节 压杆稳定的计算	165
872	第四节 提高压杆稳定性的措施	166
878	思考题	168
882	习 题	168
	第十一章 质点运动力学	171
887	第一节 质点的运动规律	171
102	第二节 自然法求速度、加速度	174
892	第三节 直角坐标法求速度和加速度	179
892	第四节 动力学基本定律	181
892	第五节 质点运动微分方程	182
892	第六节 动静法	187
	思考题	190
	习 题	191

第十二章 刚体的基本运动	194
第一节 刚体平动	194
第二节 刚体绕定轴转动	194
第三节 刚体绕定轴转动的动力学基本方程	200
第四节 转动惯量	201
第五节 刚体转动动力学方程的应用	203
思考题	207
习 题	209
第十三章 运动的合成与分解	211
第一节 合成运动的概念	211
第二节 速度合成定理及其应用	212
思考题	216
习 题	216
第十四章 刚体的平面运动	218
第一节 刚体平面运动的基本概念	218
第二节 平面运动的速度分析	219
第三节 刚体平面运动的动力学问题简介	223
思考题	224
习 题	225
第十五章 动能定理	226
第一节 功的概念及其计算	226
第二节 动能的概念及其计算	230
第三节 动能定理	232
第四节 功率、机械效率	236
思考题	238
习 题	238
第十六章 动载荷与交变应力	240
第一节 动载荷问题简述	240
第二节 构件的疲劳强度概述	243
思考题	247
习 题	248
附 录	249
参考文献	258

绪论

一、工程力学的任务和内容

工程力学的发展历史,是从为工程技术服务开始发展起来的。工程实践推动了力学的发展,而力学又被广泛应用于各种工程实际问题。工程力学的研究对象是各种工程实际问题,包含着极其广泛的内容。本书所研究的“工程力学”是为机械类或近机械类专业开设的一门技术基础课。它以高等数学、普通物理为基础,也为有关后续课程、专业课程的学习打基础。

其任务是:为简单结构的静力分析,构件的强度、刚度和稳定性问题提供最基本的力学理论和计算方法,适当介绍运动和动力分析的基本知识。例如,各种各样的机械都是由许多不同的构件组成,当机械工作时,这些构件都受力的作用,因此,对机械的设计、制造和使用都要运用工程力学的理论知识。如果要分析构件的受力情况,就需了解力的基本性质和力系的简化方法,掌握建立力学模型的技能 and 构件平衡应满足的必要和充分条件;掌握构件的运动规律和运动状态变化及其与作用力之间的关系。构件由于受力的作用,在工作时还可能产生破坏或过大的变形,以致构件不能正常工作。为了保证机械及其构件具有足够的承载能力,就要根据构件受力情况,选择合适的材料和合理的截面尺寸以使构件安全可靠地工作。工程力学是一门重要的专业技术基础课,在基础课和专业课之间起桥梁作用,它不仅提供了后续课程必要的基本理论和设计构件的计算方法,而且它研究问题的方法,对于学生今后的学习和工作也是极其有益的。

本书的内容有:静力学主要研究刚体的平衡规律,讨论静力分析的基本理论、各种力系作用下的平衡条件及其在工程上的应用;材料力学主要研究变形固体在保证正常工作条件下的强度、刚度和稳定性的基本概念和计算方法;运动力学主要研究简单构件的运动和动力分析与计算。

二、工程力学的学习方法

工程力学是一门理论性、方法性、应用性都很强的学科。各部分内容之间都存在联系,学习中应注意用类比法,在类比中了解共性、区别个性,掌握规律,从而加深理解,增加记忆。工程力学的研究对象是自然界真实的物体,真实的物体都是相当复杂的。因此,工程力学遇到的矛盾多,所研究具体问题的样式多,所得到的公式多,近似的地方多。要善于从复杂多样的问题中,找到彼此之间的联系与区别,从中理解特殊和一般、矛盾与发展的联系。

工程力学课程中蕴含着丰富的辩证唯物主义教育因素。例如刚体和变形、外力和内力、安全和经济、运动和静止、绝对和相对……构成一对对矛盾。这些矛盾依据一定条件可以相

互转化。教学中教师要把学生的思路引导到教材内部的矛盾中去,分析矛盾,找到解决问题的方法,从而增强学生对教学内容的理解和掌握。例如,研究构件运动时,忽略物体受力要发生变形的次要因素,把物体抽象为物体的力学模型。但是在物体受力变形时,把物体抽象为变形固体的力学模型,这两者的存在是有条件的。分析物体的受力以及物体的受力与运动关系要应用“平衡方法”或“假想平衡方法”;分析强度、刚度或稳定性时,除了应用“平衡方法”,还要应用“变形分析方法”。又如,基本变形应力公式的推导过程、瞬时速度和加速度的推导过程等等都是应用分割—近似代替—求和—取极限这一辩证思维模式分析和解决问题。在学习中通过典型实例从揭示教材内部的矛盾入手,就能强化辩证思维过程的训练。

工程力学是前人经过无数次观察—实验—假设—理论的循环过程,使认识不断提高和深化,最后形成了一套完整的科学思维方法。在观察实验的基础上用抽象化方法建立力学模型,再应用数学知识建立各种函数关系。这种科学思维贯穿全书。例如,四种基本变形都采用这一科学思维方法。对于“高职”学生来说,学好工程力学并不容易。只有在教学中坚持以“生”为本,运用全新的教学方法和理念,将就业目标导向和职业行动导向的方法融入到学生的学习中去,并不断地去创新和改进,才能不断提高教学效果。

教师应帮助学生掌握分析问题的思路和方法,提高解决问题的能力。对基本定理、公式的推导应重点阐明分析问题的思路,发掘问题的内在规律。同时还要求学生多做练习,次数多了也就能把握思路熟能生巧了。要帮助学生理顺各部分知识的关联,加强对比、推导,使知识系统化。

三、学习工程力学的目的

学习工程力学的目的有:

(1) 工程力学的研究方法具有典型性。充分理解其研究方法,不仅可以深入掌握这门课程,而且在开发学生智力、培养学生的观察力,丰富想象力和辩证思维能力以及创新能力方面起着极为重要的作用;还有助于培养学生的辩证唯物主义世界观以及分析问题和解决问题的能力,为学习后续课程和解决工程实际问题打下基础。

(2) 在工程中经常遇到的问题,不单纯属于“工程力学”的问题,而是与不同的工程设计都相关的问题,但是,工程力学可以为分析和解决这些工程问题打下必要的基础。同时,工程力学又是后续的机械设计等技术基础课和专业课的重要基础。

(3) 学习工程力学不仅要深刻理解力学的基本概念和基本定律,还要牢固地掌握由此推导出的解决工程力学问题的定理和公式,也要注意培养自己处理工程力学问题的能力。为达此目的,认真学习,演算一定数量的习题,并注意联系专业中的力学问题是最重要的途径。

第一章

静力学基本概念及受力分析

静力学是研究作用于物体上力系的平衡规律的科学。

所谓力系,是指作用于物体上的一群力。

“平衡”是指物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或匀速直线运动状态。许多工程结构如桥梁、机床的床身、作匀速直线飞行的飞机等等,都处于平衡状态。平衡是物体运动的一种特殊形式。

在静力学中,我们将研究以下三类问题。

一、物体的受力分析

物体的受力分析是指分析某个物体共受几个力,以及每个力的作用位置 and 方向。

二、力系的等效(简化)

将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替,这两个力系互为等效力系。如果用一个相对简单力系等效替换一个复杂力系,则称为力系的简化。

研究力系等效替换并不限于分析静力学问题。例如,飞行中的飞机,受到牵引力、重力、空气阻力等作用,这群力错综复杂地分布在飞机的各部分,每个力都影响飞机的运动。要想确定飞机的运动规律,必须了解这群力总的作用效果,为此,可以用一个简单的等效力系来代替这群复杂的力,然后再进行运动分析。所以研究力系的简化不仅为了导出力系的平衡条件,也是为了给动力学提供基础。

三、建立各种力系的平衡条件

建立各种力系的平衡条件是指研究物体平衡时,作用在物体上的各种力系所需满足的条件。

工程中常见的力系,按其作用线所在的位置可以分为平面力系和空间力系两大类;又可以按其作用线的相互关系,分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系。不同力系的平衡条件各有其不同的特点。满足平衡条件的力系称为平衡力系。

力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义,是设计构件和机械零件时静力计算的基础。所以,静力学在工程中有着最广泛的应用。

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章将首先介绍力与刚体的概念及静力学公理,其次阐述工程中常见的约束力和约束反力,最后介绍物体的受力分析及受力图。

第一节 力、刚体、质点

一、力的概念

力的概念是从劳动中产生的。人们在生活和生产中,由于肌肉紧张收缩的感觉,逐渐产生了对力的感性认识。随着生产的发展,又逐渐认识到:物体的机械运动状态的改变(包括变形),都是由于其他物体对该物体施加力的结果。这样逐渐由感性到理性,人们建立了抽象的力的概念。

力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化。

物体之间的机械作用,大致可分为两类,一类是接触作用,如机车牵引车厢的拉力、物体之间的挤压力等;另一类是“场”对物体的作用,如地球引力场对物体的引力、电场对电荷的引力和斥力等。尽管各种物体间相互作用力的来源和性质不同,但在力学中将撇开力的物理本质,只研究各种力的共同表现,即力对物体产生的效应。力对物体产生的效应一般可分为两个方面:一是物体运动状态的改变,另一个是物体形状的改变,通常把前者称为力的运动效应,后者称为力的变形效应。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,是力的运动效应;作用在弹簧上的拉力使弹簧伸长是力的变形效应。

实践证明,力对物体的作用效果取决于三个要素:(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,而是作用在物体的一定面积上。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。如果作用面积较大,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 $q(\text{N}/\text{m}^2)$ 来度量,称为载荷集度。

我们可以用一个矢量来表示力的三个要素,如图1.1所示,线段的起点A(或终点B)表示力的作用点,沿矢头顺着箭头的指向表示力的方向,线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小。我们常用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量。

在国际单位制(SI)中,以“N”作为力的单位符号,称作牛[顿]。有时也可以“kN”作为力的单位符号,称作千牛[顿]。

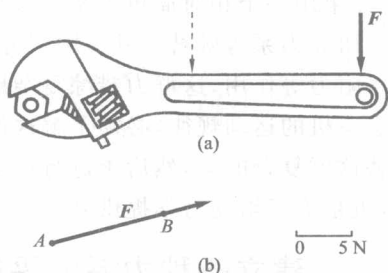


图 1.1

二、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,即刚体受力作用时,其内部任意两点的距离保持不变,它是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下,都会产生不同程度的变形。但在一般情况下,工程中的结构构件和机械零件的变形都很微小,这种微小的变形对构件的受力平衡影响甚微,对研究物体平衡问题不起主要作用,可以略去不计,这样可以使问题研究大为简化,因此可以将结构构件和机械零件抽象为刚体。但不应该把刚体的问题绝对化。通常在静力学中我们研究的是平衡问题,将受力的物体看作刚体,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

看作刚体,但是在研究横梁的变形情况时,则必须把它看作变形体。

理论力学中,静力学研究的物体只限于刚体,故又称刚体静力学,它是研究变形体力学的基础。

三、质点的概念

在静力学中,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、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问题的性质时,可将其简化为质点。

同一个物体在不同的问题中,有时可看作质点,有时要看作刚体,有时则必须看作变形体。例如,当研究地球绕太阳公转时,地球可看作质点;当研究地球自转时,要将地球看作刚体;当研究地震时,则要把地球看作变形体。

第二节 静力学公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结,又经过实践反复检验,被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

一、二力平衡条件

公理一 作用在同一个刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充分和必要条件是:这两个力的大小相等,方向相反,并且作用在同一直线上。

如图 1.2 所示,简称这两个力等值,反向,共线,即

$$\boldsymbol{F}_A = -\boldsymbol{F}_B$$

对于刚体,这个条件是其平衡的充分和必要条件。对于变形体,该条件仅是平衡的必要条件,但不是充分条件。例如,绳索受两个等值反向的拉力作用时可以保持平衡,而受两个等值反向的压力时就不能保持平衡。

在两个力的作用下处于平衡的物体称为二力体,若是杆件,则称为二力杆。由公理一可知,作用在刚体上的两个平衡力,它们必须通过两个力作用点的连线(与杆件形状无关),且等值,反向。

这个公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。

二、加减平衡力系公理

公理二 在作用于刚体的力系上,加上或减去任意平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。就是说,如果两个力系只相差一个或几个平衡力系,则它们对刚体的作用是相同的,因此可以等效替换。

这个公理是研究力系等效变换的依据。

推论 1 力的可传性原理:作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的作用。

证明 设有力 $\boldsymbol{F}$ 作用在刚体上的点 A ,如图 1.3 所示。根据加减平衡力系原理,可在力

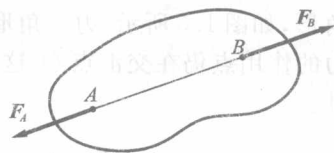


图 1.2

的作用线上任取一点 B , 并加上两个相互平衡的力 F_1 和 F_2 , 使 $F = F_2 = -F_1$, 由于力 F 和 F_1 也是一个平衡力系, 故可除去, 这样只剩下一个力 F_2 。于是, 原来的这个力 F 与力系 (F, F_1, F_2) 以及力 F_2 等效, 即原来的力 F 沿其作用线移到了点 B 。

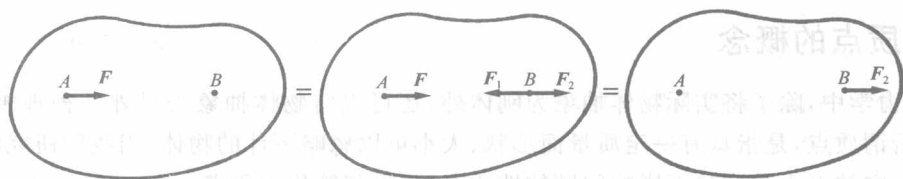


图 1.3

由此可见, 对于刚体来说, 力的作用点已不是决定力的作用效果的要素, 它已被作用线所代替。因此, 作用于刚体上的力的三要素是: 力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力可沿作用线移动, 这种矢量称为滑动矢量。

三、力的平行四边形法则

公理三 作用在物体同一点上的两个力, 可以合成为一个力。合力的作用点也在该点, 大小和方向由以这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定, 如图 1.4 所示。或者说, 合力矢量等于这两个分力的矢量和, 即

$$F_R = F_1 + F_2$$

应用此公理求两汇交力合力的大小和方向(即合力矢)时, 可由任一点 O 起, 作一力三角形, 如图 1.5 所示。力三角形的两个边分别为力矢 F_1 和 F_2 , 第三边 F_R 即代表合力矢, 而合力的作用点仍在交汇点 O 。这个公理表明了最简单力系的简化规律, 它是复杂力系简化的基础。

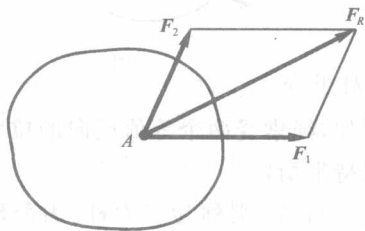


图 1.4

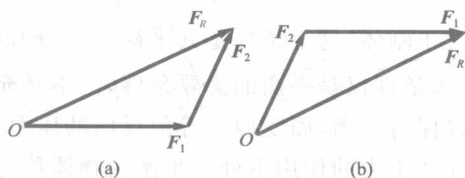


图 1.5

推论 2 三力平衡汇交定理: 作用于刚体上的三个相互平衡的力, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则此三力必须在同一平面内, 且第三个力的作用线通过交汇点。

证明 如图 1.6 所示, 在刚体的 A 、 B 、 C 三点上, 分别作用了三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 , F_1 与 F_2 汇交于 O 点。

根据力的可传递性, 将力 F_1 和 F_2 移动到交汇点 O , 然后根据力的平行四边形法则, 得合力 F_{12} , 则 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于两个力平衡必须共线, 所以力 F_3 必须与 F_1 和 F_2 共面, 且通过力 F_1 与 F_2 的交点 O 。

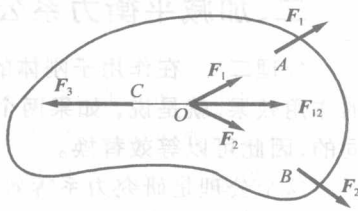


图 1.6