



高职交通运输与土建类专业规划教材

工程力学 (上)

GONG CHENG LI XUE



主 编 王建中
副主编 王秀丽



人民交通出版社
China Communications Press



清华大学出版社 中国工信出版集团

工程力学 (上)

第2版



主编 刘鸿文
副主编 徐芝纶



高职交通运输与土建类专业规划教材

工程力学 (上)

GONG CHENG LI XUE



主 编 王建中

副主编 王秀丽



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为高职交通运输与土建类专业规划教材之一。全书内容共分为两篇:第一篇为静力学,主要研究物体的受力平衡规律;第二篇为材料力学,主要研究各种构件在荷载作用下的变形和破坏规律。

本书适于高职高专院校及成人教育等铁道工程技术、道路与桥梁工程技术、建筑工程技术、工程测量等交通运输与土建类相关专业学生选作教材使用,也可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学. 上 / 王建中主编. —北京: 人民交通出版社, 2011. 2

高职交通运输与土建类专业规划教材

ISBN 978-7-114- 08838- 4

I. ①工… II. ①王… III. ①工程力学 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 017444 号

书 名: 工程力学 (上)

著 作 者: 王建中

责任编辑: 杜 琛

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京密东印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 18.75

字 数: 450 千

版 次: 2011 年 2 月第 1 版

印 次: 2011 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114- 08838- 4

印 数: 0001 - 3000 册

定 价: 34.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言 Preface

本书是高职交通运输与土建类专业规划教材之一。根据教育部对高职高专土建类专业力学课程的基本要求,本书在编写中侧重实用性、针对性和可操作性,在讲清、讲透基本理论的基础上,强调实践操作能力的培养。本书在介绍基本概念时,配合有相应的例子进行说明,以加深学生的印象和理解。每一章节均安排有相应的案例分析,其解题过程严谨、层次分明、逻辑性强,并加强典型工程实例分析,以增强实践技能的培养。

本书主要内容分为两篇:第一篇为静力学,主要研究物体的受力平衡规律;第二篇为材料力学,主要研究各种构件在荷载作用下的变形和破坏规律。根据当前高职高专教学改革的特点,本书在内容上融合、贯通,有机地连成一体。每章后面均设有小结、思考题和习题,以培养学生的思维能力和创新能力。

本书由王建中主编并统稿,具体编写分工如下:王建中(绪论、第一章、第二章、第三章、第五章、第六章、第九章、第十章、第十一章、第十四章),王秀丽(第四章、第七章、第十三章),谭小蓉(第八章),徐金锋(第十五章),冷鑫(第十二章)。

在本书编写过程中,作者参考了部分有关理论力学、材料力学和工程力学方面的教材,在此对这些教材的作者表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编 者

2010 年 12 月

目录 Contents

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基本知识	11
-------------------	----

第一节 静力学基本概念	11
第二节 静力学基本公理	12
第三节 约束与约束反力	15
第四节 物体的受力分析	18
小结	22
思考题	23
习题	23

第二章 静力学计算基础	25
-------------------	----

第一节 力在坐标轴上的投影·合力投影定理	25
第二节 力对点之矩·合力矩定理	27
第三节 力偶及其基本性质	30
小结	31
思考题	32
习题	32

第三章 平面力系	34
----------------	----

第一节 平面基本力系	35
第二节 平面一般力系的简化	38
第三节 平面一般力系的平衡	43
小结	56
思考题	58
习题	58

第四章 空间力系	62
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影·力对轴之矩	62
第二节 空间力系的平衡条件·平衡方程	65
第三节 重心和形心	66
小结	70
思考题	70
习题	70

第二篇 材料力学

第五章 基本概念	77
第一节 变形固体及其基本假设	77
第二节 外力、内力及应力的概念	78
第三节 杆件的基本变形形式	81
小结	82
思考题	84
习题	84

第六章 轴向拉伸和压缩	85
第一节 轴向拉(压)的实例和计算简图	85
第二节 轴向拉(压)杆的内力·轴力图	86
第三节 截面上的应力	88
第四节 轴向拉(压)杆的变形	93
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	98
第六节 拉(压)杆的强度计算	104
第七节 应力集中的概念	107
小结	109
思考题	110
习题	111

第七章 剪切	113
第一节 剪切的概念及实例	113
第二节 剪切与挤压的实用计算	114
第三节 切应力互等定理·剪切胡克定律	119

小结	120
思考题	121
习题	122
第八章 扭转	123
第一节 扭转的概念及实例	123
第二节 外力偶矩·扭矩·扭矩图	123
第三节 扭转时的应力和强度条件	126
第四节 圆轴扭转时的变形和刚度条件	132
小结	135
思考题	135
习题	136
第九章 截面的几何性质	138
第一节 静矩和形心	138
第二节 惯性矩、惯性半径、极惯性矩和惯性积	142
第三节 平行移轴公式、组合截面的惯性矩和惯性积、转轴公式	145
第四节 形心主惯性轴和形心主惯性矩	149
小结	149
思考题	150
习题	151
第十章 弯曲内力	153
第一节 梁的平面弯曲的概念和计算简图	153
第二节 梁的内力——剪力和弯矩	155
第三节 内力方程法绘制剪力图和弯矩图	158
第四节 用微分关系法绘制剪力图和弯矩图	162
第五节 用区段叠加法绘制弯矩图	167
小结	172
思考题	173
习题	173
第十一章 弯曲应力及强度计算	175
第一节 概述	175
第二节 梁横截面上的正应力	176
第三节 梁横截面上的切应力	182

第四节	梁的强度计算	187
小结		193
思考题		194
习题		194
第十二章	弯曲变形	197
第一节	概述	197
第二节	挠曲线近似微分方程	198
第三节	用积分法求梁的变形	199
第四节	用叠加法求梁的变形	201
第五节	梁的刚度计算	206
小结		208
思考题		209
习题		209
第十三章	应力状态分析与强度理论	211
第一节	应力状态的概念	211
第二节	平面应力状态分析	214
第三节	空间应力状态分析简介	221
第四节	梁的主应力迹线、广义胡克定律	223
第五节	强度理论及其简单应用	226
小结		234
思考题		236
习题		236
第十四章	组合变形	238
第一节	组合变形的概念及其分析方法	238
第二节	拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	239
第三节	斜弯曲	243
第四节	偏心压缩(拉伸)	248
第五节	弯曲与扭转组合变形简介	254
小结		255
思考题		257
习题		258
第十五章	压杆稳定	259
第一节	压杆稳定的概念	259

第二节 细长压杆的临界压力	260
第三节 压杆的稳定计算	267
第四节 提高压杆稳定性的措施	270
小结	271
思考题	272
习题	273

附录 型钢规格表	274
----------------	-----

参考文献	287
------------	-----

绪 论

一 工程力学的研究对象

土建类专业以工程结构和构件为研究对象,研究它们的受力、平衡、运动、变形等方面的基本规律。

所谓结构,是指在构筑物中承受和传递荷载,起着骨架作用的部分。例如,房屋建筑中的墙、柱、梁、楼板等构成了建筑的结构,而门、窗等起到围护或划分空间的部分则不能称为结构。所谓构件,是指结构的组成部分,如一根梁、一根柱或一块楼板就是一个构件。

构件的形状是多种多样的,根据其几何形状可分为:杆件(构件一个方向的尺寸远大于另外两个方向的尺寸,见图 0.1a、图 0.1b),薄壁构件(构件两个方向的尺寸远大于另外一个方向,也称为壳体或薄壳,见图 0.1c)和实体构件(三个方向的尺寸相差不多,见图 0.1d)。如果结构中的构件均为杆件,则称为杆系结构。

工程力学是土建类专业一门重要的专业基础课,其研究对象是运动速度远小于光速的宏观物体。对于土建类专业来讲,杆系结构是工程力学的主要研究对象。

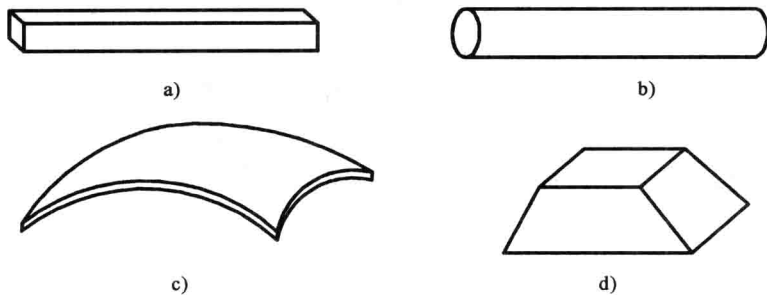


图 0.1

二 工程力学的主要任务和内容

在荷载作用下,工程中的结构或杆件体系会引起周围物体对它们的反作用。例如,桥梁架在桥墩上,桥梁对桥墩有作用力,而桥墩对桥梁起支撑作用。因此,任何一个构件在设计、施工时,首先要弄清楚它们受到哪些荷载的作用,以及周围物体对它们有什么反作用力。另一方面,在构件受到各种作用力的同时,构件本身还会发生变形,并且存在着失效的可能。为了保证每一构件和结构始终能够正常工作而不致失效,在使用过程中,要求构件和结构不发生破坏,即具有足够的强度;要求构件和结构的变形在工程允许的范围内,即具有足够的刚度;要求构件和结构维持其原有的平衡形式,即具有足够的稳定性。结构构件本身具有的这种能力,称为构件的承载能力。这种承载能力的大小与构件的材料性质、截面的几何形状及尺寸、受力性

质、工作条件、结构的几何组成等情况密切相关。在结构和构件的设计中,首先要保证其具有足够的承载能力;同时,还要选用合适的材料,以尽可能地少用材料,以节省资金、减轻自重,达到既安全、实用,又经济的目的。工程力学的任务就是为结构和构件的设计提供必要的理论依据。

依据知识的传继性和学习规律,工程力学将所研究的内容分为静力学、材料力学、结构力学三个部分来讨论。

静力学以刚体为研究对象,主要研究结构中各构件及构件之间作用力的问题。由于土建类工程中的结构或构件几乎都是相对地球处于静止不动的平衡状态,因此构件上所受到的各种力都要符合使物体保持平衡状态的条件。在静力学中,便是以研究力之间的平衡关系作为主题,并把它应用到结构的受力分析中去。

材料力学则是以变形固体为研究对象,主要研究构件受力后发生变形时的承载能力问题。在明确力之间的平衡关系后,进一步对构件变形大小问题及构件会不会破坏问题深入讨论,并为设计既安全又经济的结构构件选择适当的材料、截面形状和尺寸,使我们掌握构件承载能力的计算方法。

结构力学研究对象是平面杆件结构体系,研究其合理组成及在外力作用下杆系结构的内力、变形计算,以便在后续课程中对工程结构进行强度、刚度计算,使结构安全经济地工作。

三 结构的计算简图

工程实践中的结构形式繁多、受力复杂,如果完全按照实际情况进行分析,不仅非常困难和繁杂,而且也没有必要。在满足工程计算精度的前提下,有必要对结构或构件进行合理简化,进而使其理论化和模型化。在对结构或构件进行模型化时,就需要对构件、约束、支座及荷载等进行必要的简化。抓住实际结构主要特征,重点考虑产生影响的主要因素,忽略某些次要问题,用一个经过提炼简化了的结构图形来代替实际结构,便形成结构的计算简图。

结构的计算简图应遵循以下原则:

①结构的计算简图应尽可能地反映结构的实际情况,使力学计算模型与工程结构具有一致性,从而使计算结果达到精度要求;

②忽略某些次要因素,重点考虑主要因素的影响,简化分析和计算。

1. 构件及结点的简化

工程力学的研究对象是杆件,杆件有两个主要的几何特征:横截面和轴线。横截面是与杆件长度方向垂直的截面;轴线是杆件横截面几何形心的连线。轴线与横截面垂直。一般在计算简图中以轴线来表示杆件。

结点是指杆件与杆件联结的地方,一般有铰结点、刚结点和组合结点三种类型。

(1) 铰结点

指用一圆柱形的销钉将两个或更多的杆件联结在一起的装置。铰也称圆柱铰链,它允许被联结的杆件在结点处绕铰的几何中心转动,如图 0.2a)、图 0.2b) 所示。其计算简图可以用小圆圈连接杆件表示,如图 0.2c) 所示。门窗上的合页就是典型的铰联结。

(2) 刚结点

指杆件间的联结比较坚固,被联结的构件间不能产生相互运动。例如,钢材与钢材间的焊接,钢筋混凝土现浇构件间的联结均属于此种类型,如图 0.3a)、图 0.3b) 所示。图 0.3c) 表示了刚结点的计算简图。

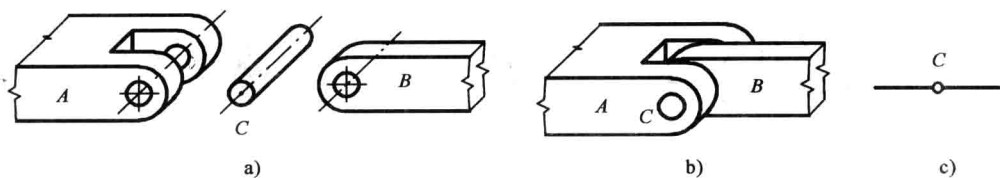


图 0.2

(3) 组合结点

指在同一结点上,某些杆件间的联结采用刚结方式,而另外一些杆件的联结则采用铰结的方式,这种结点不是完全铰结,也不是完全刚结。该类结点在后面的梁和刚架中比较常见。其计算简图如图 0.4 所示。

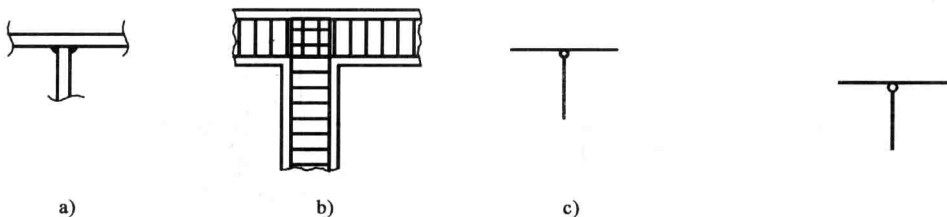


图 0.3

图 0.4

2. 支座的简化

支座是指用来把结构与地基联系起来的装置。支座的构造形式很多,在力学计算简图中,根据支座对结构或构件所产生的作用不同,可以将支座归纳成下列几种类型。

(1) 可动铰支座

也称为活动铰支座。这种支座的构造如图 0.5a)、图 0.5b) 所示,桥梁中使用的辊轴支座和摇轴支座都属于此种类型。可动铰支座允许构件在支撑处转动和沿平行于支撑面的方向移动,但限制构件垂直于支撑面方向的移动。其计算简图如图 0.5c) 所示。通常可动铰支座也用一根链杆来代替,如图 0.5d) 所示。

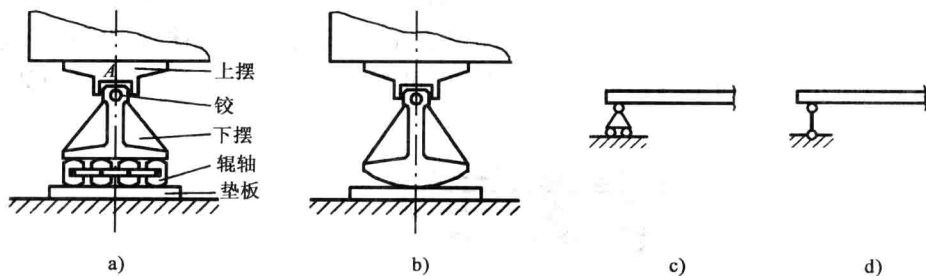


图 0.5

(2) 固定铰支座

固定铰支座构造如图 0.6a) 所示。它只允许结构绕铰 A 的几何中心转动,不允许构件作

水平和垂直方向的移动。其计算简图如图 0. 6b)、图 0. 6c) 所示。

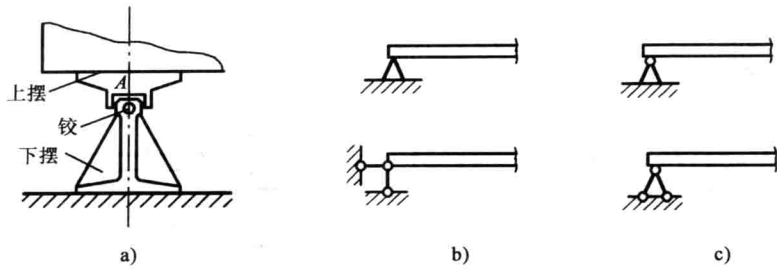


图 0. 6

(3) 固定端支座

它与构件坚固地联结在一起,不允许结构在支座处产生任何的移动和转动。例如,阳台的挑梁与圈梁的联结,如图 0. 7a) 所示。当只分析挑梁的受力时,其计算简图如图 0. 7b) 所示。柱与基础的联结大多也属于此类型,如图 0. 7c) 所示。当只分析柱的受力时,计算简图如图 0. 7d) 所示。

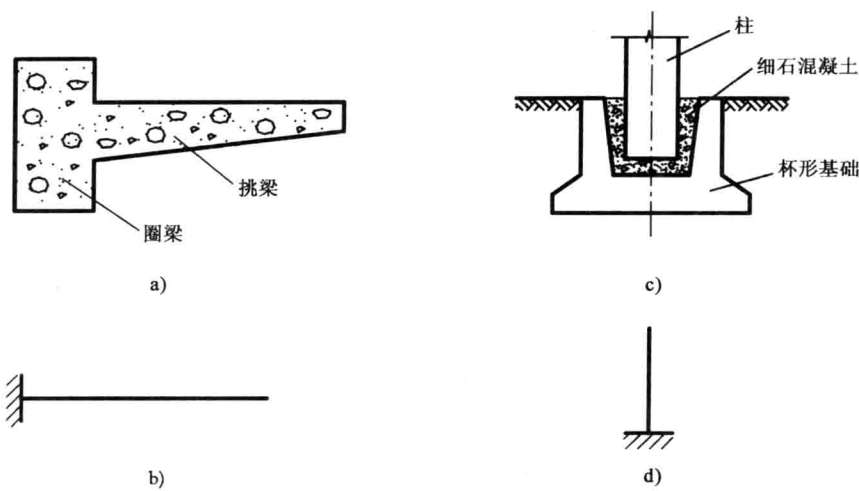


图 0. 7

(4) 滑动支座

在土木工程中并不常用,机械工程中气缸对活塞的作用与之相当。它只允许杆件沿支承面平行的方向产生移动,而限制了构件垂直于支承面方向的移动,以及绕支座的转动。图 0. 8a) 所示推拉门上与滑轨相连的滑块,可视为滑动支座。其计算简图如图0. 8b) 所示。

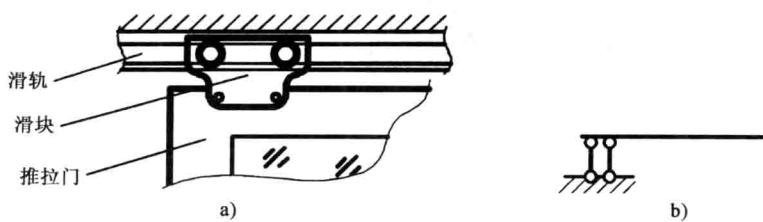


图 0. 8



3. 荷载的简化

(1) 集中荷载

在物体的受力分析中,使物体产生运动或运动趋势的力称为主动力,在工程中通常称主动力为荷载。如果工程结构所受的荷载作用范围很小,可以认为作用在一个点上,称为集中荷载,在计算简图中用带箭头的线段来表示,如图 0.9 所示。

(2) 分布荷载

当工程结构所受的荷载分布于某一体积上时,称为体分布荷载,简称体荷载(如构件的自重);荷载分布于某一面积上时,称为面分布荷载,简称面荷载(如风压力、雪压力、土压力、水压力等);荷载分布于构件的某一线段上时,称为线分布荷载,简称线荷载(如梁的自重)。由于工程上的构件一般都具有对称面或对称线,所以体荷载和面荷载通常可以简化为线荷载来进行计算。大小各处都相同的分布荷载又称为均布荷载,否则称为非均布荷载。例如,水池底所受的水压力为均布面荷载,并可以简化为均布线荷载,如图 0.10a) 所示;而水池壁所受的水压力为非均布面荷载,可以简化为非均布线荷载,如图 0.10b) 所示。这里讨论的荷载主要是其大小、方向和作用位置不随时间变化的静荷载。

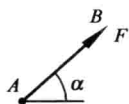


图 0.9

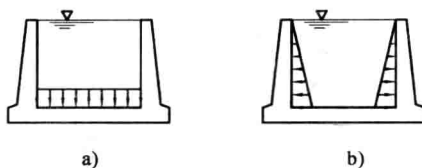


图 0.10

上述的结构简化为计算简图中的基本问题。结构的计算简图是工程力学分析的基础,极为重要。对实际结构来说,确定其计算简图并不是一件容易的事情。特别是对于一些比较复杂的结构,在进行结构简化时,需要有一定的专业知识和实践经验,并能够对结构的构造及各部分之间的受力情况和相互作用进行正确判断,甚至有时还需要利用模型试验和现场测试才能得出正确的结构计算简图。

4. 结构计算简图示例

图 0.11a) 中一根梁架设在两个砖柱上,其上作用一重物。进行简化时,梁以其轴线代替;重物的作用范围相对于梁的长度很小,故可视为一个点,重物的作用效果就简化为一集中力;综合考虑砖柱与梁端的摩擦和梁沿轴线方向的可展开一定的伸长或缩短,将一端视为可动铰支座,另一端视为固定铰支座,便可得到图 0.11b) 所示的计算简图。

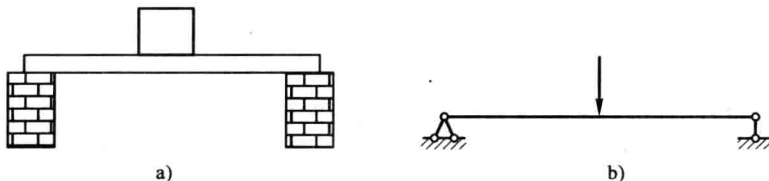


图 0.11

又如如图 0.12a) 所示的工厂厂房,其主要构件是梁、柱、基础等,其中的每一横排的梁、柱、基础处于同一平面内,梁与柱、柱与基础的联结都非常牢固,可以把梁与柱的联结看成是刚性结点,柱与基础的联结看成是固定端支座,梁上的荷载简化为均布荷载,从而得到如图 0.12b)

所示的计算简图。

再如图 0.13a) 所示, 为一钢筋混凝土屋架, 考虑到杆件的主要受力特点, 计算时可以采用图 0.13b) 所示的计算简图, 即假定每个杆件的联结均为铰结。这样虽然与实际情况有出入, 但可以使计算大大简化, 而且计算结果的精度能满足工程所需。如果将杆件间的联结改为刚结, 如图 0.13c) 所示, 虽然计算结果非常精确, 但这样就会使计算变得十分复杂。

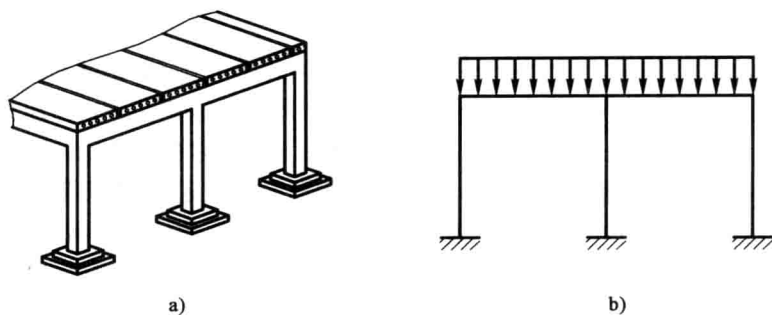


图 0.12

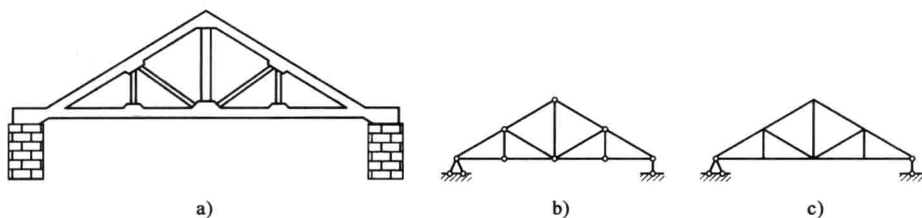


图 0.13

★ 四 工程力学的发展概况、研究方法(阅读材料)

1. 工程力学的发展概况

力学是物理学中发展最早的一个分支, 而物理科学的建立则始于力学, 也就是从人类对力的认识开始的。它和人类的生活与生产联系最为密切。

力学知识最早起源于人类对自然现象的观察和在生产劳动中的经验。有关静力学的知识主要是从杠杆的平衡开始的。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, 确定了它们的基本规律, 虽然这些知识尚属力学科学的萌芽, 但它初步奠定了静力学即平衡理论的基础。

古人还从对日、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, 如匀速的移动和转动。但是对力和运动之间的关系, 是在欧洲文艺复兴时期以后才逐渐有了正确的认识。16 世纪以后, 由于航海、战争和工业生产的需要, 力学的研究得到了真正的发展。例如, 钟表工业形成了匀速运动的理论, 水磨机械促进了摩擦和齿轮传动的研究, 火炮的运用推动了抛射体的研究。特别是天体运行的规律提供了机械运动最单纯、最直接、最精确的数据资料, 使得人们有可能排除摩擦和空气阻力的干扰, 得到运动规律的认识。天文学的发展为力学找到了一个最理想的“实验室”——天体, 牛顿继承和发展前人的研究成果, 提出物体运动三定

律;而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、伽利略奠定了动力学的基础,形成了系统的理论,取得了广泛的应用并发展出了流体力学、弹性力学和分析力学等分支,使得力学逐渐脱离物理学而成为独立学科。

此后,力学与数学及工程实践更加紧密地结合,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,力学便蓬勃发展起来。到20世纪60年代,电子计算机应用日益广泛,与计算机的结合使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,不同的是没有建立起如同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,其中有些在当时居于世界领先地位。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,中国科学技术已明显落后于欧洲。经过曲折的过程,到19世纪中叶,牛顿力学才由欧洲传入中国。此后,中国力学的发展便随同世界潮流前进。

2. 力学的研究方法

力学研究方法遵循认识论的基本法则:实践—理论—实践。从观察、实践出发,经过抽象、概括、综合、归纳、建立公理,再利用数学演绎和逻辑推理的方法得到定理和结论,形成理论体系,然后再回到实践中去解决实践问题并验证理论的正确性。正如毛主席在《实践论》中指出的:“理论的基础是实践,有反过来为实践服务。”

力学的研究经历了漫长的过程。从希腊时代算起,整个过程几乎长达两千年之久。其所以会如此漫长,一方面是由于人类缺乏经验,弯路在所难免,只有在研究中自觉或不自觉地摸索到了正确的研究方法,才有可能得出正确的科学结论。另一方面是生产水平低下,没有适当的仪器设备,无从进行系统的实验研究,难以认识和排除各种干扰。例如,摩擦力和空气阻力对力学实验来说恐怕是无处不在的干扰因素。如果不加以分析,只凭直觉进行观察,往往得到的是错误结论。而伽利略和牛顿对物理学的功绩,就是把科学思维和实验研究正确的结合在一起,从而为力学的发展开辟了一条正确的道路。

同时力学与数学在发展中始终相互推动,相互促进。一种力学理论往往和相应的一个数学分支相伴产生,如运动基本定律和微积分,运动方程的求解和常微分方程,弹性力学及流体力学的基本方程和数学分析理论等。

3. 学习方法

工程力学的理论概念性较强、分析方法典型、解题思路清晰,在学习力学时,要重点理解基本概念,对每一理论的各个细节都要搞懂吃透。注意理论与实践相结合,注意观察生活。力学渗透在我们日常生活和工作的方方面面,它所研究的问题其实也是我们生活体验的一部分,一定要将“学以致用”作为学习的原则和动力。

(1)首先要深刻理解力学的基本概念,基本概念是一切理论推导与演绎分析的基础。

(2)要结合例证,深入掌握并灵活应用力学的定理、定律和计算方法,逐步培养解决工程实际中力学问题的能力。

(3)注意领悟理论之间的逻辑关系,培养严谨求实的科学作风,锻炼应用理论知识分析问题和解决问题的能力。

(4)数学是研究力学不可缺少的工具,在学习中要做到数学推理严谨,数值计算准确。