



“十二五” 高职高专院校规划教材（土木工程类）

TUJIAN GONGCHENG LIXUE YINGYONG

土建工程力学应用

TUJIAN GONGCHENG LIXUE YINGYONG

程 桢 主 编



中国质检出版社
中国标准出版社



“十二五” 高职高专系列教材（土木工程类）

Tujian Gongcheng Lixue Yingyong

土建工程力学应用

程 桢 主编

张向辉 主审

中国质检出版社

中国标准出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

土建工程力学应用/程桢主编. —2 版. —北京: 中国质检出版社, 2013

“十二五”高职高专系列教材(土木工程类)

ISBN 978-7-5026-3727-9

I. ①土… II. ①程… III. ①土木工程—工程力学—高等学校—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 283878 号

内 容 提 要

本教材分为三篇, 除绪论外共 21 章。第一篇 (共 5 章) 为刚体静力学的应用, 内容包括静力学基本知识与物体的受力分析、平面汇交力系、力对点的矩与平面力偶系、平面任意力系、空间力系; 第二篇 (共 10 章) 为材料力学的应用, 内容包括材料力学的基本知识及杆件的基本变形形式、轴向拉压杆件的强度与变形、圆轴扭转的强度与刚度、截面图形的几何性质、梁的强度计算、梁的变形及刚度计算、应力状态和强度理论的应用、组合变形、压杆的稳定计算、动荷载和交变应力; 第三篇 (共 6 章) 为结构力学的应用, 内容包括结构的基本知识及结构的简化、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算、超静定结构的内力计算、影响线等。

本教材可作为高职高专院校土建类专业群的教材, 也可作为土建类企业一线的工程技术人员参考资料。

中国质检出版社
中国标准出版社

出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 64275323 发行中心: (010) 51780235

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 字数 508 千字

2013 年 2 月第二版 2013 年 2 月第三次印刷

*

定价: 38.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

“十二五” 高职高专系列教材（土木工程类）

— 编 审 委 员 会 —

主 任 刘 敏 孙百鸣 刘国普 刘宝兰

副主任 程 桢 鲁春梅 李保忠

委 员 （按姓氏笔画排序）

王 敏	王天成	王丕嘉	王剑英	王莉力
王艳玉	马 旭	马利耕	马效民	田 莹
卢 爽	刘志胜	孙淑琴	吴丽萍	宋旭东
宋荣文	孟令涵	易津湘	张威琪	杨化奎
杨晓东	侯 威	柳志萍	耿卫江	董 茜

策 划 李保忠 刘宝兰

— 本 书 编 委 会 —

主 编 程 桢

(哈尔滨职业技术学院)

主 审 张向辉

副主编 马效民

(哈尔滨职业技术学院)

鲁春梅

(哈尔滨职业技术学院)

杨化奎

(哈尔滨职业技术学院)

王天成

(哈尔滨职业技术学院)

田 莹

(哈尔滨职业技术学院)

编 委 (排名不分先后)

王艳玉

(哈尔滨职业技术学院)

王丕嘉

(哈尔滨职业技术学院)

杨晓东

(哈尔滨职业技术学院)

易津湘

(哈尔滨职业技术学院)

于微微

(哈尔滨职业技术学院)

王剑英

(黑龙江工程学院)

崔吉福

(哈尔滨铁道职业技术学院)

序言

伴随着近年来经济的空前发展和社会各项改革的不断深化，建筑业已成为国民经济的支柱产业和重要的经济增长点。该行业的快速发展对整个社会经济起到了良好的推动作用，尤其是房地产业和公路桥梁等各项基础设施建设的深入开展和逐步完善，也进一步促使整个国民经济逐步走上了良性发展的道路。与此同时，建筑行业自身的结构性调整也在不断进行，这种调整使其对本行业的技术水平、知识结构和人才特点提出了更高的要求，而与此相关的职业教育正是在土木工程各项理论的实际应用层面培养专业人才的重要渠道，因此，近年来教育部对土木工程类各专业的职业教育发展日益重视，并连年加大投入以提高教育质量，以期向社会提供更加适应经济发展的应用型技术人才。为此，教育部对高职高专院校土木工程类各专业的具体设置和教材目录也多次进行了相应的调整，使高职高专教育逐步从普通本科的教育模式中脱离出来，使其真正成为为国家培养生产一线的高级技术应用型人才的职业教育，“十二五”期间，这种转化将加速推进并最终得以完善。为适应这一特点，进一步完善改革高职高专院校土木工程类各专业所需教材势在必行。

针对以上变化与调整，由中国质检出版社（原中国计量出版社）牵头组织了“十二五”高职高专系列教材（土木工程类）的编写与出版工作，该套教材主要适用于高职高专院校的土木工程、工程监理以及道路与桥梁等相关专业。由于该领域各专业的技术应用性强、知识结构更新快，因此，我们有针对性地组织了哈尔滨职业技术学院、黑龙江工程学院、中国建筑科学研究院、哈尔滨铁道职业技术学院以及上海励精有限

公司等多所相关职业院校、科研院所以及企业中兼具丰富工程实践和教学经验的专家学者担当各教材的主编与主审，从而为我们成功推出该套框架好、内容新、适应面广的好教材提供了必要的保障，以此来满足土木工程类各专业职业教育的不断发展和当前全社会范围内建设工程项目安全体系建设的迫切需要；这也对培养素质全面、适应性强、有创新能力的应用型技术人才，进一步提高土木工程类各专业职业教育教材的编写水平起到了积极的推动作用。

针对应用型人才培养院校土木工程类各专业的实际教学需要，本系列教材的编写尤其注重了理论与实践的深度融合，不仅将建筑领域科技发展的新理论合理融入教材中，使读者通过对教材的学习可以深入把握建筑行业发展的全貌，而且也将建筑行业的新知识、新技术、新工艺、新材料编入教材中，使读者掌握最先进的知识和技能，这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。相信该套教材的成功推出，必将会推动我国土木工程类职业教育教材体系建设的逐步完善和不断发展，从而对国家的新世纪人才培养战略起到积极的促进作用。

教材编审委员会

2012年10月

前言

• FOREWORD •

随着建筑业这一国民经济支柱产业的快速发展,新材料、新工艺、新技术也随之快速发展起来。因此,建筑业对高等技术应用型人才的需求越来越多,这就要求高职教育的改革力度要不断加大。高职教育改革的重点是专业群建设,而在专业群建设中,教材建设是重要环节之一。

高职教育应该根据专业特色来编写适合于专业特点的教材,同时也应该考虑到专业群建设的实际需求。本系列教材正是基于上述考虑编写的。本系列教材主要适用于高职高专院校的土建类专业,如建筑工程技术、建筑工程监理、道路与桥梁工程、给排水工程技术等专业群。其内容主要是土建类工程设计、施工、监理中应用到的职业技能知识。书中舍弃了繁琐的公式推导,给出了新材料、新工艺、新技术的工程实例,注重对学生实践能力的培养。本系列教材的编写人员中有多年在教学一线并在企业生产一线实践的“双师型”教师,以及施工企业生产一线的高级工程师。因此,相比较同类教材,本系列教材更贴近工程实际。我们相信,本系列教材的推出,一定会对高职教育的专业群建设有所帮助,为高职教育的发展做出积极的贡献。

本教材分为三篇,除绪论外共21章。第一篇(共5章)为刚体静力学的应用;第二篇(共10章)为材料力学的应用;第三篇(共6章)为结构力学的应用。本教材结合高职高专教育的特点,以知识应用为主线,引入多种工程实例,

以任务或项目为载体,做到举一反三。在习题中,多引入与工程有关的实际问题,注重培养学生自主学习的能力和解决工程实际问题的能力。

本教材由哈尔滨职业技术学院、黑龙江工程学院、哈尔滨铁道职业技术学院联合编写。参加编写工作的有:程桢(绪论、第一章~第七章)、杨化奎(第八章~第十二章)、马效民(第十三章)、田莹(第十四章)、王天成(第十五章)、鲁春梅(第十六章)、王剑英(第十七章)、崔吉福(第十八章)、杨晓东(第十九章)、王丕嘉(第二十章)、易津湘、于薇薇(第二十一章)。本教材在编写的过程中,得到了黑龙江工程学院乔雅敏教授及刘颖老师的指导和帮助,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不足、欠妥之处,恳望读者批评指正。

编者

2012年10月

目 录

• CONTENTS •

绪 论	(1)
第一篇 刚体静力学的应用	
第一章 静力学基本知识与物体的受力分析	(5)
第一节 刚体、力的概念	(5)
第二节 静力学公理的应用	(6)
第三节 约束与约束反力的概念	(7)
第四节 物体的受力分析及受力图的绘制	(10)
复习思考题	(13)
第二章 平面汇交力系	(15)
第一节 应用几何法求解平面汇交力系合成与平衡问题	(15)
第二节 应用解析法求解平面汇交力系合成与平衡问题	(17)
复习思考题	(21)
第三章 力对点的矩与平面力偶系	(23)
第一节 力矩的概念	(23)
第二节 求解平面力偶系的合成与平衡问题	(25)
复习思考题	(28)
第四章 平面任意力系	(31)
第一节 平面任意力系向一点简化	(31)
第二节 分析平面任意力系简化的最后结果	(33)
第三节 应用平面任意力系的平衡条件、平衡方程解决工程问题	(35)
第四节 应用物体系的平衡条件解决工程问题	(39)
第五节 求解考虑摩擦时物体的平衡问题	(42)
复习思考题	(45)

第五章 空间力系	(50)
第一节 空间中的力与力矩的概念	(50)
第二节 求解空间任意力系的平衡问题	(54)
第三节 物体的重心与形心	(56)
复习思考题	(60)

第二篇 材料力学的应用

第六章 材料力学的基本知识及杆件的基本变形形式	(67)
第一节 材料力学的任务	(67)
第二节 材料力学的研究对象	(67)
第三节 杆件的基本变形形式	(68)
第四节 内力与应力的概念	(69)
复习思考题	(70)
第七章 轴向拉压杆件的强度与变形	(71)
第一节 求轴向拉压杆件的轴力及绘制轴力图	(71)
第二节 轴向拉压杆件横截面上的应力及强度计算	(73)
第三节 轴向拉压杆件的变形计算	(77)
第四节 实验分析轴向拉压杆件的力学性质	(78)
第五节 简单超静定轴向拉压杆件的内力计算	(83)
复习思考题	(86)
第八章 圆轴扭转的强度与刚度	(89)
第一节 求圆轴扭转的扭矩及绘制扭矩图	(89)
第二节 圆轴扭转的应力及强度计算	(91)
第三节 圆轴扭转的变形及刚度计算	(95)
复习思考题	(97)
第九章 截面图形的几何性质	(99)
第一节 求平面图形的静矩及形心	(99)
第二节 求平面图形的惯性矩、极惯性矩和惯性积	(100)
第三节 惯性矩的平行移轴公式的应用	(101)
第四节 求平面图形的 主惯性轴与主惯性矩、形心主惯性轴与 形心主惯性矩	(103)
复习思考题	(104)
第十章 梁的强度计算	(105)
第一节 平面弯曲	(105)
第二节 求梁的内力及绘制内力图	(106)
第三节 梁的应力及强度计算	(114)
复习思考题	(128)

第十一章 梁的变形及刚度计算	(132)
第一节 挠度和转角的认知	(132)
第二节 挠曲线的近似微分方程的应用	(133)
第三节 叠加法求梁的位移	(138)
第四节 梁的刚度计算	(141)
第五节 简单超静定梁的计算	(143)
复习思考题	(146)
第十二章 应力状态和强度理论的应用	(148)
第一节 应力状态的认知	(148)
第二节 求平面一般应力状态的解析法	(150)
第三节 求平面一般应力状态的应力圆法	(155)
第四节 三向应力状态	(158)
第五节 广义胡克定律的应用	(160)
第六节 强度理论的应用	(164)
复习思考题	(169)
第十三章 组合变形	(173)
第一节 檩条的强度计算	(173)
第二节 拉伸或压缩与弯曲组合变形的强度计算	(176)
第三节 偏心拉伸(压缩)的强度计算	(178)
第四节 弯扭组合变形的强度计算	(181)
第五节 连接件的计算	(184)
复习思考题	(189)
第十四章 压杆的稳定计算	(197)
第一节 压杆的临界力计算	(197)
第二节 压杆的稳定计算	(204)
第三节 提高压杆稳定性的措施	(208)
复习思考题	(210)
第十五章 动荷载和交变应力	(213)
第一节 构件作变速运动时应力与变形的计算	(213)
第二节 冲击时的应力计算	(215)
第三节 交变应力的计算	(218)
复习思考题	(221)

第三篇 结构力学的应用

第十六章 结构的基本知识及结构的简化	(227)
第一节 确定结构的计算简图	(227)
第二节 确定结构的类型	(230)

第三节 确定荷载的类型	(233)
第十七章 平面体系的几何组成分析	(234)
第一节 平面体系的机动性分析	(234)
第二节 自由度及约束的认知	(235)
第三节 几何不变体系的基本组成规则的应用	(237)
复习思考题	(240)
第十八章 静定结构的内力计算	(242)
第一节 多跨静定梁的计算	(242)
第二节 静定桁架的计算	(245)
第三节 静定刚架的计算	(251)
第四节 组合结构的计算	(254)
复习思考题	(255)
第十九章 静定结构的位移计算	(258)
第一节 用单位荷载法计算结构位移	(258)
第二节 用图乘法计算结构位移	(262)
复习思考题	(266)
第二十章 超静定结构的内力计算	(268)
第一节 超静定结构的概念及超静定次数的确定	(268)
第二节 用力法计算超静定结构	(270)
第三节 用位移法计算超静定结构	(283)
第四节 用力矩分配法计算超静定结构	(293)
复习思考题	(299)
第二十一章 影响线	(304)
第一节 影响线的概念	(304)
第二节 用静力法绘制影响线	(305)
第三节 荷载影响量的计算	(310)
第四节 绘制简支梁的内力包络图及求绝对最大弯矩	(312)
第五节 用机动法绘制影响线	(317)
第六节 绘制连续梁的内力包络图	(321)
复习思考题	(325)
附表	(327)
参考文献	(337)

绪 论

一、土建工程力学的研究内容和任务

土建工程力学是一门研究物体平衡规律以及构件、结构的强度、刚度和稳定性的科学,它涵盖了刚体静力学、材料力学和结构力学的主要内容。在机电设备、机械安装及建筑行业的生产领域,都有大量的土建工程力学的应用问题。所谓结构,是指在建筑物或构筑物中起骨架作用,能够承受荷载的那部分体系。所谓构件,是指组成结构的各部分部件。

土建工程力学所研究的问题主要有三类:第一类是研究物体的平衡规律;第二类是研究力使物体变形的规律,即研究作用在物体上的力与变形之间的关系;第三类是研究结构的承载能力问题。本书将这三类问题归纳为刚体静力学、材料力学和结构力学。即研究物体在平衡状态下,作用在物体上的力与力之间的关系是刚体静力学的问题;研究构件的强度、刚度、稳定性问题是材料力学的问题;而研究结构的强度、刚度、稳定性问题是结构力学问题。这三类问题既有区别,又不完全孤立,在许多方面都有一些交叉问题。例如,在研究构件变形时,首先必须根据静力学平衡条件求出外力,再根据外力与变形的关系求出变形。

综上所述,土建工程力学的任务是研究物体的平衡规律、构件及结构的强度、刚度、稳定性问题,为土建工程的结构设计提供理论依据和计算方法。

二、土建工程力学的力学模型

实际工程中构件受力后,几何形状和几何尺寸都要发生改变,这种改变称为变形,这些构件都称为变形体。

当研究构件平衡的受力问题时,在大多数情形下,变形都比较小,忽略这种变形对构件的受力分析不会产生什么影响,而且可以使所研究的问题大大简化。由此,在刚体静力学中,可以将变形体简化为受力作用不变形的物体,即刚体。

当研究作用在物体上的力使物体变形的规律时,即使变形很小,也不能忽略。因此,将物体视为变形体。但是在研究变形问题的过程中,当涉及平衡问题时,大部分情形下依然可以沿用刚体模型。

如图 0-1 所示的塔式吊车,在荷载作用下,当研究地面对塔式吊车的支持力时,此时将塔式吊车看成刚体;而塔式吊车起吊重物后,组成塔吊的各杆件都要发生变形,在研究塔式吊车强度和变形时,就将组成塔吊的各杆件看成变形体。

综上所述,土建工程力学的力学模型分为刚体和变形体,当研究结构平衡问题时,力学模型是刚体;当研究构件及结构的强度、刚度、稳定性问题时,力学模型是变形体。

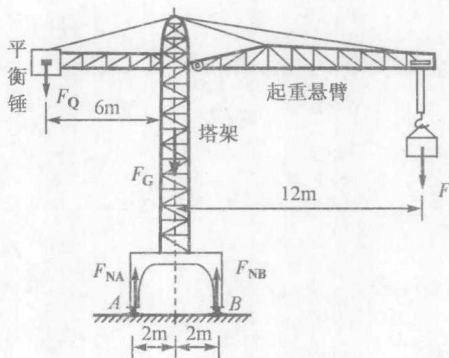


图 0-1



三、土建工程力学的研究方法

进行现场观察和实验是认识力学规律的重要实践性环节。将实践过程中所得结果,利用抽象化的方法,加以分析、归纳、综合,可得到一些最普遍的公理或定律,再通过严格的数学推演,可得到运用于工程的力学公式。学习土建工程力学,并不要求去重复经历力学的发展过程,而是要深刻理解其中已被实践证明是正确的基本概念和基本定律。这些是力学知识的基础,由基本概念和基本定律导出的力学定理和公式,不必考虑推导过程,但必须熟练掌握力学定理和公式的应用条件和计算方法。演算一定数量的习题,把学到的理论知识不断应用到实践中去,巩固和加深理解所学知识。

由于计算机的飞速发展和广泛应用,除传统的力学研究方法(理论方法和实验方法)外,又增加了一种新的研究方法,即计算机分析方法。对于一些较为复杂的力学问题,人们可以借助于计算机推导那些难于导出的公式,利用计算机整理数据、绘制实验曲线、显示图形等。由此可以展望,力学加电子计算机将成为工程设计的新的主要手段。

《土建工程力学》是高职教育的土建类专业群以及其他工科类专业重要的课程。土建工程力学中讲述的基础理论和基本知识,在工程实践中得到广泛的应用,它为结构设计及土建工程施工中的构件、结构验算提供了理论依据和计算方法。

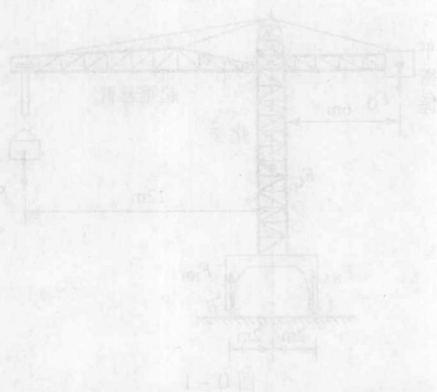


图 1-0-1 所示为吊钩吊起重量为 G 的物体,此时吊钩受到物体向下的拉力,大小为 G 。吊钩通过钢丝绳与起重机的吊钩相连,钢丝绳的拉力为 T 。钢丝绳的拉力 T 与物体重量 G 相等,即 $T = G$ 。钢丝绳的拉力 T 作用在起重机的吊钩上,起重机的吊钩受到钢丝绳向上的拉力 T 。起重机的吊钩通过钢丝绳与起重机的吊钩相连,钢丝绳的拉力为 T 。钢丝绳的拉力 T 与物体重量 G 相等,即 $T = G$ 。钢丝绳的拉力 T 作用在起重机的吊钩上,起重机的吊钩受到钢丝绳向上的拉力 T 。

第一篇 刚体静力学的应用

在任何外力作用下,物体内部任意两点之间的距离都保持不变,这样的物体称为刚体。换言之,受力作用不变形的物体称为刚体。在自然界中受力作用后绝对不变形的刚体实际上是不存在的,可见,刚体只是抽象化了的力学模型。

研究刚体在力作用下运动规律的科学,称为理论力学。理论力学分为静力学、运动学和动力学三大内容。

结合土建类专业群的特点,本篇只研究刚体静力学问题。刚体静力学是研究刚体在力的作用下平衡规律的科学。所谓平衡,一般是指物体相对于地面保持静止或做匀速直线运动的状态,它是机械运动的特殊情况。刚体静力学主要研究两大类问题:力系的等效与简化;力系的平衡条件和平衡方程。受力分析是研究所有力学问题最基本和最重要的基础知识。静力学是动力学的特例,作为研究力系简化和平衡的理论基础的等效力系定理,就是依据由牛顿运动定律导出的质点系动力学普遍定理而得到的。而静力学又是研究变形体静力学的基础,当考虑一些更为复杂的力学现象时,必须考虑物体变形的平衡问题,也是以刚体静力学的概念和方法为基本理论,再附加一些变形协调方程而求得的。



