

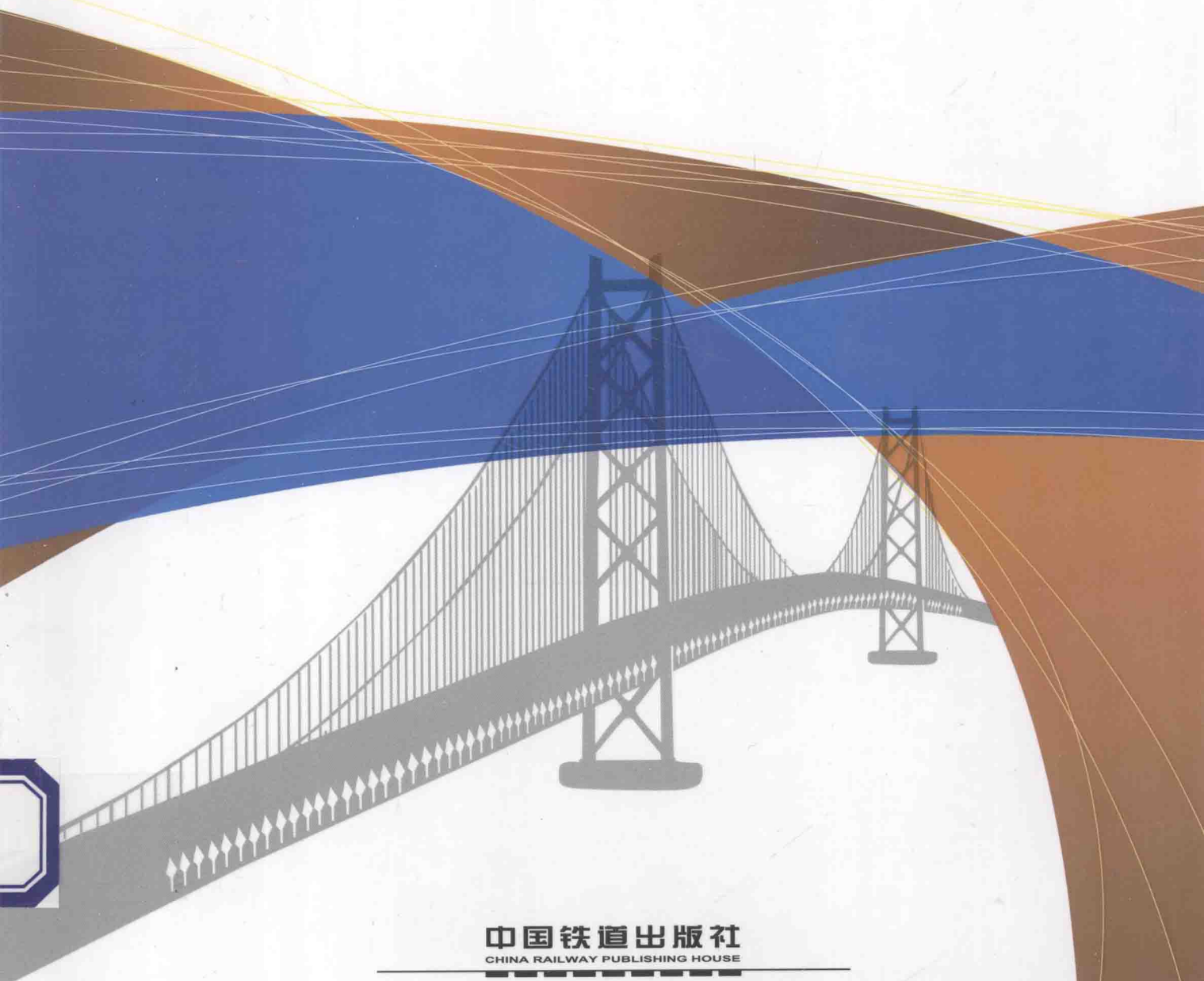


哈尔滨职业技术学院
国家骨干高职院校建设项目成果

道路桥梁工程技术专业

土建工程力学应用

程 桢 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



哈尔滨职业技术学院
国家骨干高职院校建设项目成果

道路桥梁工程技术专业

土建工程力学应用

程 桢 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 提 要

本书主要包括物体的受力分析及支座反力的计算、简单构件的内力与变形计算、复杂构件的内力及变形计算、简单结构的内力及变形计算、复杂结构的内力及变形计算、移动荷载作用下的结构内力计算等内容。

学生通过学习,可以掌握物体的受力分析、绘制物体的受力图、计算构件及结构的强度、刚度和稳定性,为进行结构设计打好基础。

图书在版编目(CIP)数据

土建工程力学应用/程桢主编. —北京:

中国铁道出版社, 2014. 2

道路桥梁工程技术专业及专业群系列教材

ISBN 978-7-113-17915-1

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 (2013) 第 317975 号

书 名: 土建工程力学应用

作 者: 程 桢 主 编

策 划: 左 婷 婷

读者热线: 400-668-0820

责任编辑: 夏 伟

编辑助理: 雷晓玲

封面设计: 刘 颖

封面制作: 白 雪

责任校对: 龚长江

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

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

开 本: 880 mm × 1 230 mm 1/16 印张: 18 字数: 400 千

印 数: 1 ~ 2 000 册

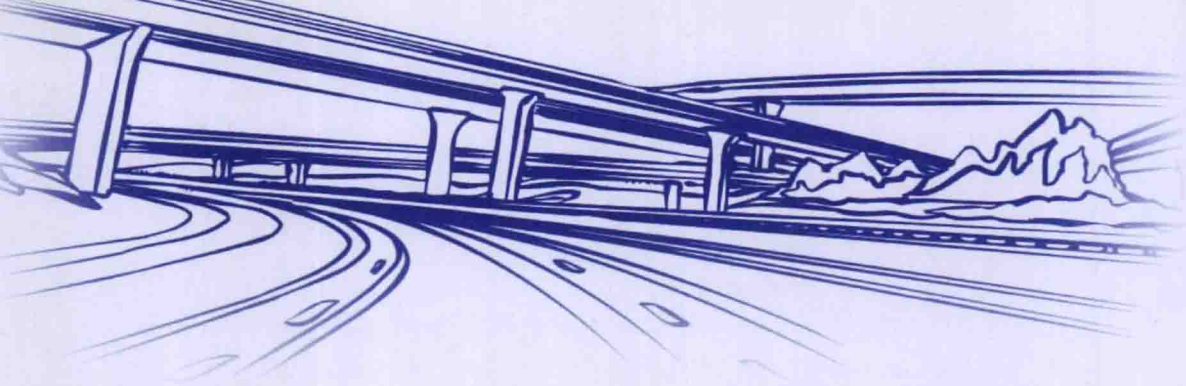
书 号: ISBN 978-7-113-17915-1

定 价: 48.00 元

版权所有 侵权必究

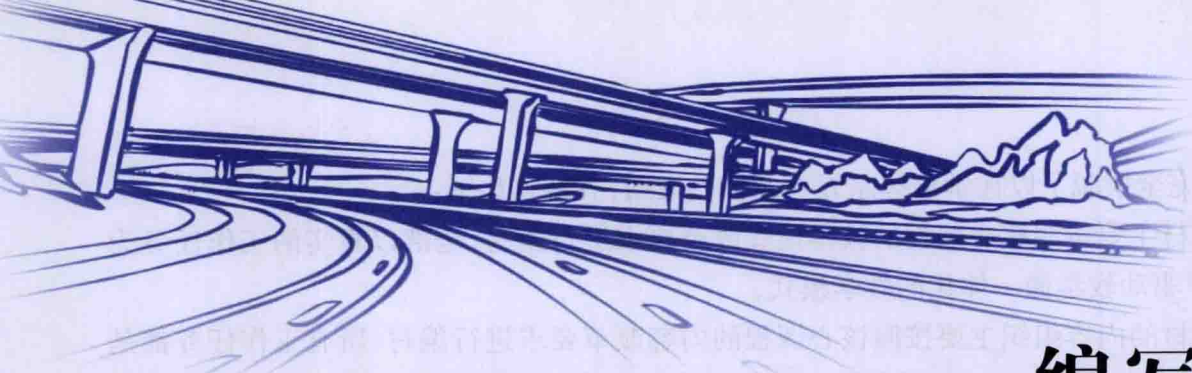
凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社教材图书营销部联系调换。电话: (010) 63550836

打击盗版举报电话: (010) 51873659



哈尔滨职业技术学院道路桥梁工程技术专业 教材编审委员会

- 主任：**王长文 哈尔滨职业技术学院校长
- 副主任：**刘敏 哈尔滨职业技术学院副校长
- 孙百鸣 哈尔滨职业技术学院教务处长
- 程桢 哈尔滨职业技术学院建筑工程学院院长
- 张学 哈尔滨市公路工程处总工程师
- 委员：**杨化奎 哈尔滨职业技术学院建筑工程学院教学总管
- 杨晓冬 哈尔滨职业技术学院公共基础教学部主任
- 彭彤 哈尔滨职业技术学院思想政治教育部主任
- 王天成 哈尔滨职业技术学院道路桥梁工程技术专业带头人
- 马利耕 哈尔滨职业技术学院建筑工程技术专业带头人
- 乔孟军 哈尔滨经济技术开发区建设工程质量安全监督站站长
- 闫治理 哈尔滨市道路桥梁管理维修处副总经理
- 杨洪波 龙建路桥股份有限公司项目经理
- 王瑞雪 哈尔滨职业技术学院建筑工程学院教师
- 吴丽萍 哈尔滨职业技术学院建筑工程学院教师
- 赵明微 哈尔滨职业技术学院建筑工程学院教师
- 徐秀艳 哈尔滨职业技术学院公共基础教学部教师
- 曹高菲 哈尔滨职业技术学院公共基础教学部教师



编写说明

为了贯彻落实《国家中长期教育改革与发展规划纲要(2010—2020)》精神,更好地适应我国走新型工业化道路,实现经济发展方式转变、产业结构优化升级,建设人力资源强国发展战略的需要,进一步发挥国家示范性高职院校的引领带动作用,构建现代高等职业教育体系,在国家百所示范高职院校建设取得显著成效的基础上,2010年国家教育部、财政部继续加强国家示范性高等职业院校建设,启动了国家骨干高职院校建设项目,在全国遴选了100所国家骨干高职院校,着力推进骨干高职院校进行办学体制机制创新,增强办学活力,以专业建设为核心,强化内涵建设,提高人才培养质量,带动本地区高等职业教育整体水平提升。

哈尔滨职业技术学院于2010年11月被确定为“国家示范性高等职业院校建设计划”骨干高职院校立项建设单位。学院在国家骨干高职院校建设创新办学体制机制,打造校企“双主体育人”平台,推进合作办学、合作育人、合作就业、合作发展的进程中,以专业建设为核心,以课程改革为抓手,以教学条件建设为支撑,全面提升办学水平。

学院与哈尔滨市公路工程处、龙建路桥股份有限公司等企业成立了校企合作工作领导小组,完善了道路桥梁工程技术专业建设指导委员会,进行了合作建站、合作办学、合作建队、合作育人的“四合模式”建设;创新了“校企共育、德能双修、季节分段”工学交替的人才培养模式,即以校企合作机制为保障,打造校企“双主体育人”合作平台,将学生的职业道德和职业能力培养贯穿于整个教育教学的始终,构建基于路桥建设工作过程导向课程体系,开发融入职业道德及岗位工作标准的工学结合核心课程,结合黑龙江省寒区特点,采取季节分段的工学交替教学方式,校企共同培养满足路桥施工一线的技术与管理岗位扎实工作的具有可持续发展能力的高端技能型专门人才;为了更加有效地实施该人才培养模式,制定了融入路桥企业职业标准及岗位工作要求的10门核心课程的课程标准,采取任务驱动的教学做一体化教学模式进行教学。

而教材建设作为教学条件中教学资源建设的重要组成部分,既是教学资源建设的关键,又是资源建设的难点。为此,学院组成了各重点专业教材编审委员会。道路桥梁工程技术专业教材编审委员会由职业教育专家、企业专家、专业核心课教师和公共核心课教师组成,历经三年多的不断改革与实践,编写了本套工学结合特色教材,由中国铁道出版社出版,为更好地推进国家骨干院校建设做出了积极贡献。

本套教材完全摆脱了以往学科体系教材的体例束缚,其特点如下:

1. 本套教材主要按照核心课程的教学模式改革要求进行编写,全部以真实的工作任务为载体,配合任务驱动教学做一体化的教学模式;

2. 本套教材的内容组织主要按照核心课程的内容改革要求进行编写,所有工作任务都是与施工企业专家和工程技术人员共同研究确定,选取具有典型效果的工程案例,形成了独具特色的教材内容。

3. 本套教材均采用相同的体例编写,同时采用了与任务驱动教学模式配套的六步教学法:

(1) 完全打破了传统的知识体系的章节结构形式,采用全新的以路桥工程技术与管理人员的工作任务为载体的任务结构形式,设计了每项任务的任务单;

(2) 教材中为培养学生的自主学习能力,设计了每项任务的资讯单和信息单;

(3) 在信息单中,为学生顺利完成工作任务提供了大量的真实工程案例,各种解决方案,注重学生的计划能力和决策能力的培养,并设计了每项任务的计划单和决策单;

(4) 教材中突出任务的实践性,注重学生的职业能力培养,设计了每项任务的实施单和作业单;

(5) 在教材中设计了检查单和评价单,改革了传统的考核方式,采取分小组评价、个人评价和教师评价相结合的多元化评价方式,以过程考核为主,每个任务的各个环节均设有评价分值。

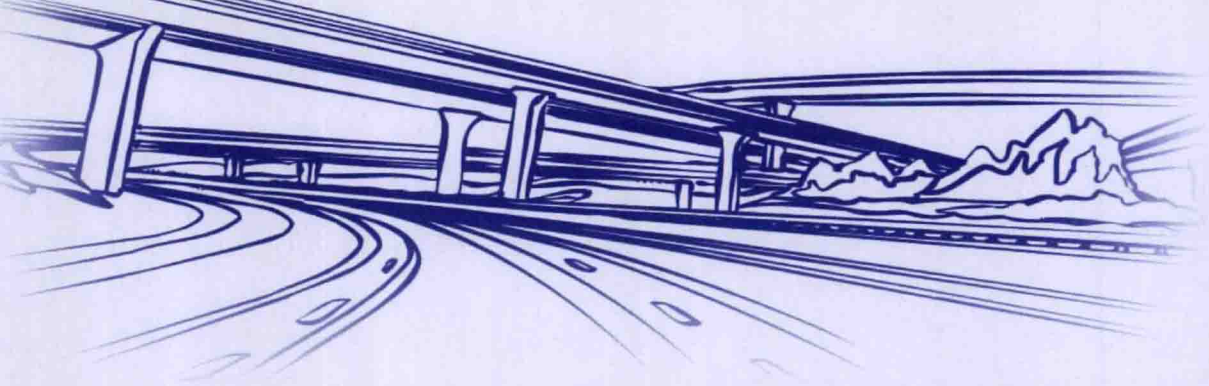
(6) 为了使每名学生在完成任务后,都能够对自己的工作有个总结和反思,设计了教学反思单。

总之,本套教材按照与学习领域课程体系、任务驱动教学模式、六步教学法及多元化考核评价方式等相对应的全新的教材体例编写而成。在本套教材的编写过程中,得到了合作企业及行业专家的大力支持,在此,表示由衷的感谢!由于教材实践周期较短,还不够完善,如有错误和不当之处,敬请专家、同仁批评指正。希望本套教材的出版,能为我国高职教育的发展做出应有的贡献。

哈尔滨职业技术学院道路桥梁工程技术专业

教材编审委员会

2013年8月



本书编写委员会

主 编：程 楨（哈尔滨职业技术学院）

副 主 编：杨晓东（哈尔滨职业技术学院）

葛贝德（哈尔滨职业技术学院）

张志伟（哈尔滨职业技术学院）

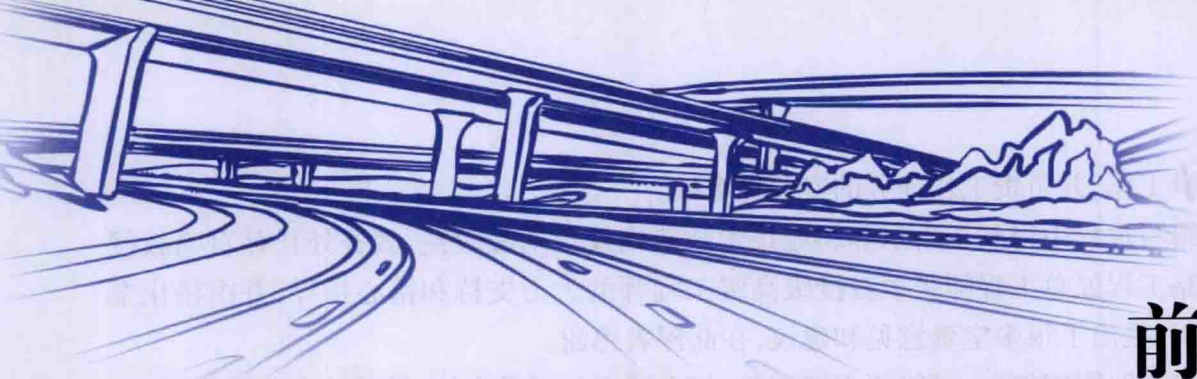
刘任峰（哈尔滨职业技术学院）

于立成（黑龙江省公路设计院）

李晓雷（哈尔滨工业大学建筑设计研究院）

主 审：杨化奎（哈尔滨职业技术学院）

张 学（哈尔滨市公路工程处）



前 言

FOREWORD

本教材是国家重点建设专业道路桥梁工程技术专业核心课程“土木工程力学应用”配套的工学结合特色教材。本教材建设团队由行业企业专家及学校“双师型”教师组成,按照道路桥梁工程技术专业系列教材的统一编写体例要求,结合课程特点完成了本教材的编写任务。本教材的突出特点就是完全打破了以往学科体系的章节结构形式,采用了全新的以路桥工程技术与管理人员的工作任务为载体的任务结构形式,使课堂上真正的工学结合成为可能。

本教材分为6个学习情境,共13个工作任务。学习情境一为物体的受力分析及支座反力的计算,包括绘制结构的计算简图和受力图、计算结构的支座反力等2个任务;学习情境二为简单构件的内力及变形计算,包括计算轴压柱的内力及变形、计算梁的强度及刚度等2个任务;学习情境三为复杂构件的内力及变形计算,包括计算斜弯曲构件的内力和变形、计算偏心压缩构件的内力等2个任务;学习情境四为简单结构的内力及变形计算,包括计算静定结构的内力、计算静定结构的位移等2个任务;学习情境五为复杂结构的内力及变形计算,包括应用力法计算超静定结构的内力、应用位移法计算超静定结构的内力、应用力矩分配法计算超静定结构的内力等3个任务;学习情境六为移动荷载作用下的结构内力计算,包括计算移动荷载作用下静定结构的内力、绘制超静定结构的弯矩包络图等2个任务。

本教材主要针对高职道路桥梁工程技术专业毕业生的主要就业岗位施工员、技术员、质检员和安全员的工作要求,选取设计了从简单到复杂的真实工作任务,并按照教学六步法设计了完成每项工作任务的工作页:任务单、资讯单、信息单、计划单、决策单、实施单、作业单、检查单、评价单、教学反馈单等,为采用任务驱动的教学做一体化教学模式提供了配套资料,克服了以往课程改革中教材与课程改革不同步的缺陷。

本教材设计的每项任务的过程评价单,为采用过程性考核和结果性考核相结合的考核模式奠定了基础,其中过程性考核成绩占课程总成绩的70%,结果性考核成绩占课程总成绩的30%。过程性考核按照学习情境分别考核,考核成绩是各学习情境考核成绩的累计。由企业、教师和学生共同进行多元评价。结果性考核通过学期末集中考试或答辩方式完成。

本教材由哈尔滨职业技术学院与哈尔滨工业大学建筑设计研究院、黑龙江省公路设计院、哈尔滨市公路工程处等企业合作编写,由哈尔滨职业技术学院程桢担任主编,负责本教材的统稿和定稿工作,并编写任务3、任务4、任务9、任务12及任务13;杨晓东编写任务1和任务2;张志伟编写任务5和任务6;刘任峰编写任务7和任务8;葛贝德编写任务10和任务11;黑龙江省公路设计院于立成和哈尔滨工业大学建筑设计研究院李晓雷负责实际工程案例的收集、

整理和初步编辑工作,并负责工作任务的实践性审核。

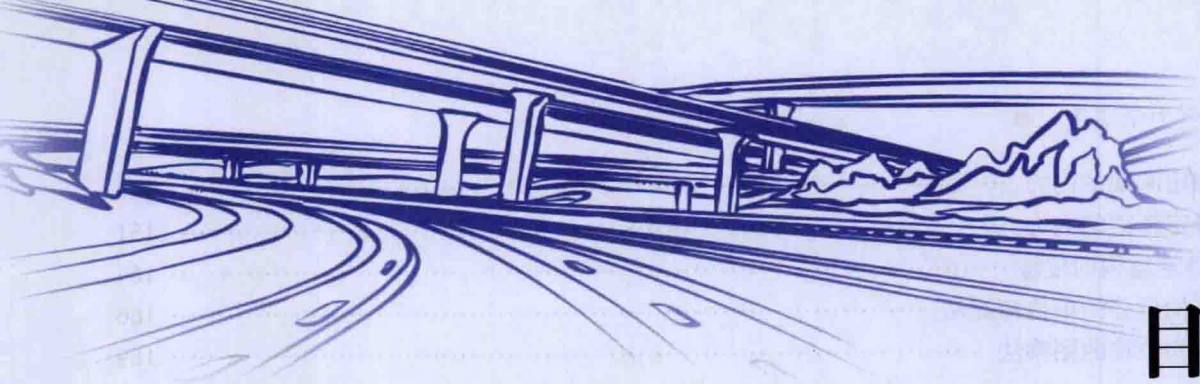
本教材在编写过程中得到了哈尔滨职业技术学院副校长刘敏教授、教务处长孙百鸣教授及哈尔滨市公路工程处总工程师张学教授级高级工程师的大力支持和精心指导,并由杨化奎和张学担任主审,提出了很多宝贵意见和建议,在此深表感谢。

由于本教材实践周期较短,可能还不够完善,如有错误和不妥之处,恳望读者批评指正。

编者
2013年8月

课程教学安排及学时分配表

核心课程	土建工程力学应用		
	1	参考学时	90
开设学年			
学习情境	任务序号	任务名称	学时
学习情境一:物体的受力分析及支座反力的计算	任务1	绘制结构的计算简图和受力图	6
	任务2	计算结构的支座反力	9
学习情境二:简单构件的内力及变形计算	任务3	计算轴压柱的内力及变形	9
	任务4	计算梁的强度及刚度	12
学习情境三:复杂构件的内力及变形计算	任务5	计算斜弯曲构件的内力和变形	6
	任务6	计算偏心压缩构件的内力	6
学习情境四:简单结构的内力及变形计算	任务7	计算静定结构的内力	6
	任务8	计算静定结构的位移	6
学习情境五:复杂结构的内力及变形计算	任务9	应用力法计算超静定结构的内力	6
	任务10	应用位移法计算超静定结构的内力	6
	任务11	应用力矩分配法计算超静定结构的内力	6
学习情境六:移动荷载作用下的结构内力计算	任务12	计算移动荷载作用下静定结构的内力	6
	任务13	绘制超静定结构的弯矩包络图	6
合 计			90



目 录

CONTENTS

◎ 学习情境一 物体的受力分析及支座反力的计算

任务 1 绘制结构的计算简图及受力图	2
1.1 静力学公理的应用	4
1.2 约束及约束反力	6
1.3 土木工程力学应用的内容和任务	9
1.4 物体的受力分析及受力图	14
任务 2 计算结构的支座反力	24
2.1 力的作用线在同一平面内时, 支座反力的计算	26
2.2 力的作用线不在同一平面内时, 支座反力的计算	45

◎ 学习情境二 简单构件的内力及变形计算

任务 3 计算轴压柱的内力及变形	58
3.1 土建工程中轴向拉伸与压缩的实例及内力计算	60
3.2 拉伸与压缩构件的强度计算	64
3.3 轴向拉伸与压缩构件的变形计算	67
3.4 材料在拉伸与压缩时的力学性能	69
任务 4 计算梁的强度及刚度	80
4.1 土建工程中弯曲构件的实例及内力计算	82
4.2 弯曲构件的强度计算	89
4.3 弯曲构件的刚度计算	100

◎ 学习情境三 复杂构件的内力及变形计算

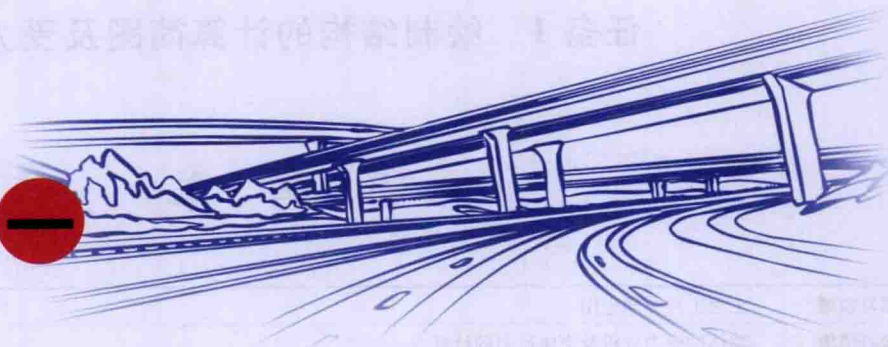
任务 5 计算斜弯曲构件的内力及变形	116
5.1 土建工程中斜弯曲的实例及内力计算	118
5.2 斜弯曲构件的变形计算	119
任务 6 计算偏心压缩构件的内力	128
6.1 土建工程中偏心压缩构件的实例及强度计算	130
6.2 截面核心	131

◎ 学习情境四 简单结构的内力及变形计算

任务 7 计算静定结构的内力	142
7.1 土建工程中静定结构的实例	144
7.2 计算多跨静定梁的内力	146

7.3	计算静定刚架的内力	148
7.4	计算静定桁架的内力	151
任务 8	计算静定结构的位移	164
8.1	计算结构位移的单位荷载法	166
8.2	计算结构位移的图乘法	169
◎ 学习情境五 复杂结构的内力及变形计算		
任务 9	应用力法计算超静定结构的内力	182
9.1	土建工程中超静定结构的实例	184
9.2	力法解超静定结构的思路	186
9.3	力法解超静定结构的工程案例	189
任务 10	应用位移法计算超静定结构的内力	205
10.1	位移法解超静定结构的思路	207
10.2	位移法解超静定结构的步骤	210
任务 11	应用力矩分配法计算超静定结构的内力	222
11.1	力矩分配法解超静定结构的思路	224
11.2	力矩分配法解超静定结构的步骤	225
◎ 学习情境六 移动荷载作用下的结构内力计算		
任务 12	计算移动荷载作用下静定结构的内力	238
12.1	静力法绘制支座反力和内力影响线	240
12.2	影响量的计算	244
12.3	计算绝对最大弯矩	245
任务 13	绘制超静定结构的弯矩包络图	258
13.1	应用机动法绘制结构的支座反力和内力影响线	260
13.2	超静定结构的最不利荷载布置	263
13.3	绘制超静定结构的内力包络图	263
附表 A	工字型型钢表	273
参考文献	275

学习情境



物体的受力分析及支座反力的计算

学习指南

学习目标

学生将完成本学习情境的2个任务绘制结构的计算简图和受力图、计算结构的支座反力,达到以下学习目标:

第一,能够了解掌握今后就业岗位路桥工程一线的施工员、技术员、质检员和安全员的工作职责和职业要求。

第二,能够正确地绘制出桥梁构件或简单桥梁结构的计算简图。

第三,能够对物体的受力情况作全面的分析。

第四,能够应用静力学公理对物体及物体系的受力情况进行简化,正确绘制出物体的受力图。

第五,能够应用平衡方程计算出桥梁构件或静定桥梁结构的支座反力。

第六,增强团队协作意识和与人沟通的能力。

工作任务

(1) 绘制结构的计算简图和受力图。

(2) 计算结构的支座反力。

学习情境的描述

本学习情境是根据学生的就业岗位施工员、技术员、质检员和安全员的工作职责和职业要求创设的第一个学习情境,主要要求学生能够对桥梁构件和结构进行受力分析,并求出支座反力,本情境包含2个工作任务绘制结构的计算简图和受力图、计算结构的支座反力。本学习情境的教学将采用任务驱动的教学做一体化教学模式,学生分成小组在教师的引导下通过资讯、计划、决策、实施、检查和评价等六个环节完成任务,达到本学习情境设定的学习目标。

任务1 绘制结构的计算简图及受力图

任 务 单

学习领域	土建工程力学应用					
学习情境	物体的受力分析及支座反力的计算					
工作任务	绘制结构的计算简图和受力图					
任务学时	6 学时					
布置任务						
工作目标	<p>在进行土建工程结构设计时,要对结构进行简化,并分析结构受力情况,本任务要求学生:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 能够绘制构件或简单结构的计算简图 2. 能够对物体的受力情况作全面的分析,即进行物体的受力分析 3. 能够应用静力学公理对物体及物体系的受力情况进行简化,正确绘制出物体受力图 					
任务描述	<p>图示钢筋混凝土桥梁施工现场,箱型桥梁的自重沿着梁长均匀分布,已知桥梁荷载集度为 q,桥墩间的轴线距离(跨度)为 l,桥墩高为 h,假设桥墩上部传来的荷载为 F,与轴线重合,桥墩自重沿高度成线性分布,荷载集度为 g。要求学生根据上述实际工程情况完成以下任务:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 绘制桥梁在自重作用下的计算简图和受力图 2. 绘制桥墩的计算简图和受力图 					
学时安排	资 讯	计 划	决策或分工	实 施	检 查	评 价
	1 学时	0.5 学时	0.5 学时	3 学时	0.5 学时	0.5 学时
提供资料	工程案例;工程规范;参考书;施工员和技术员岗位工作标准和职业道德标准					
学生知识与能力要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 具备高中物理有关力的基础知识和路桥工程构造的知识 2. 具备一定的自学能力、数据计算能力、沟通协调能力和团队意识 3. 严格遵守课堂纪律,不迟到、不早退;学习态度认真、端正 4. 每位同学必须积极参与小组讨论 5. 每组均需按规定完成物体及物体系的受力分析,并绘制物体的受力图 					
教师知识与能力要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 熟悉各种结构及构件的计算简图 2. 熟练掌握约束及约束类型 3. 有组织学生按要求完成任务的驾驭能力 4. 对任务完成过程、结果进行点评,并为各小组进行综合打分 					

资 讯 单

学习领域	土建工程力学应用		
学习情境	物体的受力分析及支座反力的计算		
工作任务	绘制结构的计算简图和受力图		
资讯学时	1 学 时		
资讯方式	在图书馆、互联网及教材中进行查询,或向任课教师请教		
资讯内容	1. 施工员、技术员的职业道德是什么?		
	2. 什么是力? 力的三要素是什么? 力的表示方法是什么?		
	3. 什么是刚体? 什么是变形固体?		
	4. 什么是约束? 什么是约束反力? 其特点有哪些? 列举工程实例。		
	5. 怎样进行结构的简化,怎样绘制计算简图?		
	6. 怎样进行物体的受力分析?		
	7. 绘制物体受力图的步骤有哪些?		
	8. 物体系受力分析的方法有哪些?		
	9. 绘制物体系受力图的步骤有哪些?		
资讯要求	1. 根据工作目标和任务描述正确理解完成任务需要的资讯内容 2. 按照上述资讯内容进行咨询 3. 写出资讯报告		
资讯评价	班 级		学 生 姓 名
	教师签字		日 期
	评语:		

信 息 单

1.1 静力学公理的应用

1.1.1 力的形成

力是人们在长期的生产劳动和生活实践中逐步形成的,是通过归纳、概括和科学的抽象而建立的。力是物体之间相互的机械作用,这种作用会使物体的机械运动状态发生改变,同时使物体产生变形。力使物体的运动状态发生改变的效应称为外效应,而使物体发生变形的效应称为内效应。刚体只考虑外效应,变形固体还要研究内效应。经验表明力对物体作用的效应完全取决于力的三要素。

1. 力的大小

力的大小是物体相互作用的强弱程度。在国际单位制中,力的单位用牛顿(N)或千牛顿(kN)表示, $1 \text{ kN} = 1 \times 10^3 \text{ N}$ 。

2. 力的方向

力的方向包含力的方位和指向两方面的含义。如重力的方向是“竖直向下”,“竖直”是力作用线的方位,“向下”是力的指向。

3. 力的作用点

力的作用点是指物体上承受力的部位。若力的承受部位是一块面积或体积,称为分布力;而有些分布力分布的面积很小,可以近似看作一个点,这样的力称为集中力,该点称为力的作用点。

如果改变了力的三要素中的任意一个要素,也就改变了力对物体的作用效应。

既然力是有大小和方向的量,所以力是矢量。可以用一个带箭头的线段来表示,如图 1.1(a)所示,线段 AB 长度按一定的比例尺表示力 F 的大小,线段的方位和箭头的指向表示力的方向, A 点表示力的作用点,线段 AB 的延长线(图中虚线)表示力的作用线。也可以将力指向作用点 A ,如图 1.1(b)所示。

本教材中,用黑体字母表示矢量,用对应一般字母表示矢量的大小。

一般情况下,作用在物体上的力不止一个,大多数是一个力系。力系是指由两个力及两个力以上的力组成的一群力。如果作用于物体上的某一力系可以用另一力系来代替,而不改变物体的原有状态,则这两个力系相互称为等效力系。如果一个力与一个力系等效,则将这个力称为这个力系的合力,将一个力系换为一个力的过程称为力的合成;而力系中的每一个力称为该合力的分力,将合力代换成分力的过程称为力的分解。在研究力学问题时,为方便地显示各种力系对物体作用的总体效应,用一个简单的等效力系(或一个力)代替一个复杂力系的过程称为力系的简化。

1.1.2 刚体

土建工程实际中的许多物体,在力的作用下,它们的变形一般很微小,对平衡问题影响也很小,为了简化解决问题的程序,我们把物体视为刚体。刚体是指在任何外力的作用下,物体的大小和形状始终保持不变的物体。

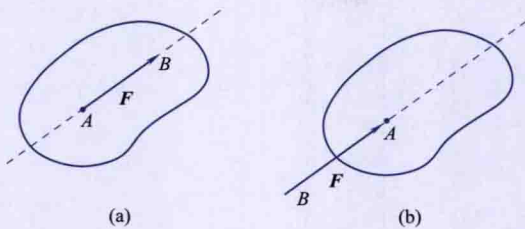


图 1.1

1.1.3 静力学公理及应用

公理就是无须证明就为大家在长期生活和生产实践中所公认的真理。静力学公理是静力学全部理论的基础。

公理一 力的平行四边形法则(或二力合成原理)

作用于物体上同一点的两个力可以合成为作用于该点的一个合力,它的大小和方向由以这两个力的矢量为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定。如图 1.2(a)所示,以 F_R 表示力 F_1 和力 F_2 的合力,则可以表示为: $F_R = F_1 + F_2$,即作用于物体上同一点的两个力的合力等于这两个力的矢量和。

在求共点两个力的合力时,我们常采用力的三角形法则,如图 1.2(b)所示。从刚体外任选一点 a 作矢量 ab 代表力 F_1 ,然后从 b 的终点作 bc 代表力 F_2 ,最后连起点 a 与终点 c 得到矢量 ac ,则 ac 就代表合力矢 F_R 。分力矢与合力矢所构成的三角形 abc 称为力的三角形。这种合成方法称为力的三角形法则。

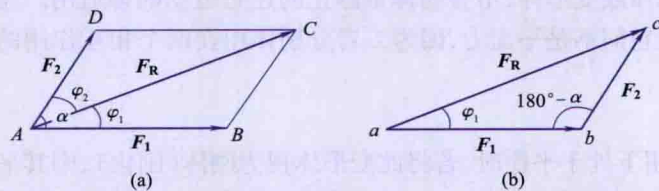


图 1.2

公理二 二力平衡原理

作用于同一刚体上的两个力使刚体平衡的充分与必要条件是:这两个力的大小相等、方向相反、作用在同一直线上。可以表示为: $F = -F'$ 或 $F + F' = 0$ 。

应用:公理二给出了作用于刚体上的最简力系平衡时所必须满足的条件,是推证其他力系平衡条件的基础。在两个力作用下处于平衡的刚体称为二力体,若刚体是构件或杆件,也称二力构件或二力杆件,简称二力杆。

公理三 加减平衡力系原理

在作用于刚体的任意力系中,加上或减去若干个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

应用一 力的可传性原理

作用于刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内任意一点,而不改变原力对刚体的作用效应。

应用:设力 F 作用于刚体上的点 A ,如图 1.3(a)所示。在力 F 作用线上任选一点 B ,在点 B 上加上一对平衡力 F_1 和 F_2 ,使

$$F_1 = -F_2 = F$$

则 F_1 、 F_2 、 F 构成的力系与 F 等效,如图 1.3(b)所示。将平衡力系 F 、 F_2 减去,则 F_1 与 F 等效。此时,相当于力 F 已由点 A 沿作用线移到了点 B ,如图 1.3(c)所示。

由此可知,作用于刚体上的力是滑移矢量,因此作用于刚体上力的三要素为大小、方向和作用线。

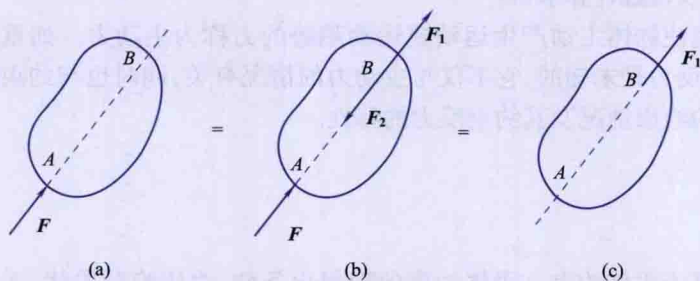


图 1.3

应用二 三力平衡汇交定理

刚体受到同一平面内互不平行的三个力作用而平衡时,此三力的作用线必汇交于一点。

应用:设在刚体上三点 A 、 B 、 C 分别作用有力 F_1 、 F_2 、 F_3 ,其互不平行,且为平衡力系,如图 1.4 所示,根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移至汇交点 O ,根据公理一,得合力 F_{R12} ,则力 F_3 与 F_{R12} 平衡,由公理二可知, F_3 与 F_{R12} 必共线,所以力 F_1 的作用线必过 O 点。

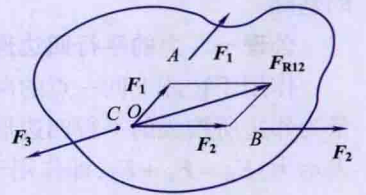


图 1.4

公理四 作用与反作用定律

两个物体间的相互作用力,总是同时存在,同时消失,它们的大小相等,方向相反,并沿同一直线分别作用在这两个相互作用的物体上。

应用:物体间的作用力与反作用力总是同时出现,同时消失。可见,自然界中的力总是成对地存在,而且同时分别作用在两个相互作用的物体上。这个公理概括了任何两物体间的相互作用的关系,不论对刚体或变形体,不管物体是静止的还是运动的都适用。应该注意,作用力与反作用力虽然等值、反向、共线,但它们不是平衡力,因为二者分别作用在两个相互作用的物体上,不可与二力平衡原理混淆起来。

公理五 刚化原理

变形体在已知力系作用下处于平衡时,若将此变形体视为刚体(刚化),则其平衡状态不变。

应用条件:上述原理建立了刚体平衡条件与变形体平衡条件之间的关系,即关于刚体的平衡条件,对于变形体的平衡来说,也必须满足。但是,满足了刚体的平衡条件,变形体不一定平衡。例如一段软绳,在两个大小相等、方向相反的拉力作用下处于平衡,若将软绳变成刚杆,平衡保持不变。反过来,一段刚杆在两个大小相等、方向相反的压力作用下处于平衡,而绳索在此压力下则不能平衡。可见,刚体的平衡条件对于变形体的平衡来说只是必要条件而不是充分条件。

1.2 约束及约束反力

工程上所遇到的物体通常分为两种:可以在空间作任意运动的物体称为自由体,如飞机、火箭等;受到其他物体的限制,沿着某些方向不能运动的物体称为非自由体。如悬挂的重物,因为受到绳索的限制,使其在某些方向不能运动而成为非自由体。

1.2.1 约束及约束反力

限制非自由体某种位移的周围物体称为该物体的约束。约束通常是通过物体间的直接接触而形成的。

既然约束阻碍物体沿某些方向运动,那么当物体沿着约束所阻碍的运动方向运动或有运动趋势时,约束对其必然有力的作用,以限制其运动,约束对物体的作用用力来体现,这种力称为约束反力,简称反力。约束反力的方向总是与约束所能阻碍的物体的运动或运动趋势的方向相反,它的作用点就在约束与被约束的物体的接触点,大小可以通过计算求得。

土建工程上通常把能使物体主动产生运动或运动趋势的力称为主动力。如重力、风力、水压力等。通常主动力是已知的,约束反力是未知的,它不仅与主动力的情况有关,同时也与约束情况有关。下面介绍土建工程实际中几种常见的约束情况及其约束反力的特性。

1.2.2 约束的种类

1. 柔体约束

绳索、链条、皮带等属于柔体约束。柔体约束的理想化条件:柔体绝对柔软、无重量、无粗细、不可伸长或缩短。由于柔体只能承受拉力,所以柔体的约束反力作用于接触点,方向沿柔体的中心线而背离物体,为拉力,如图 1.5 和图 1.6 所示。