

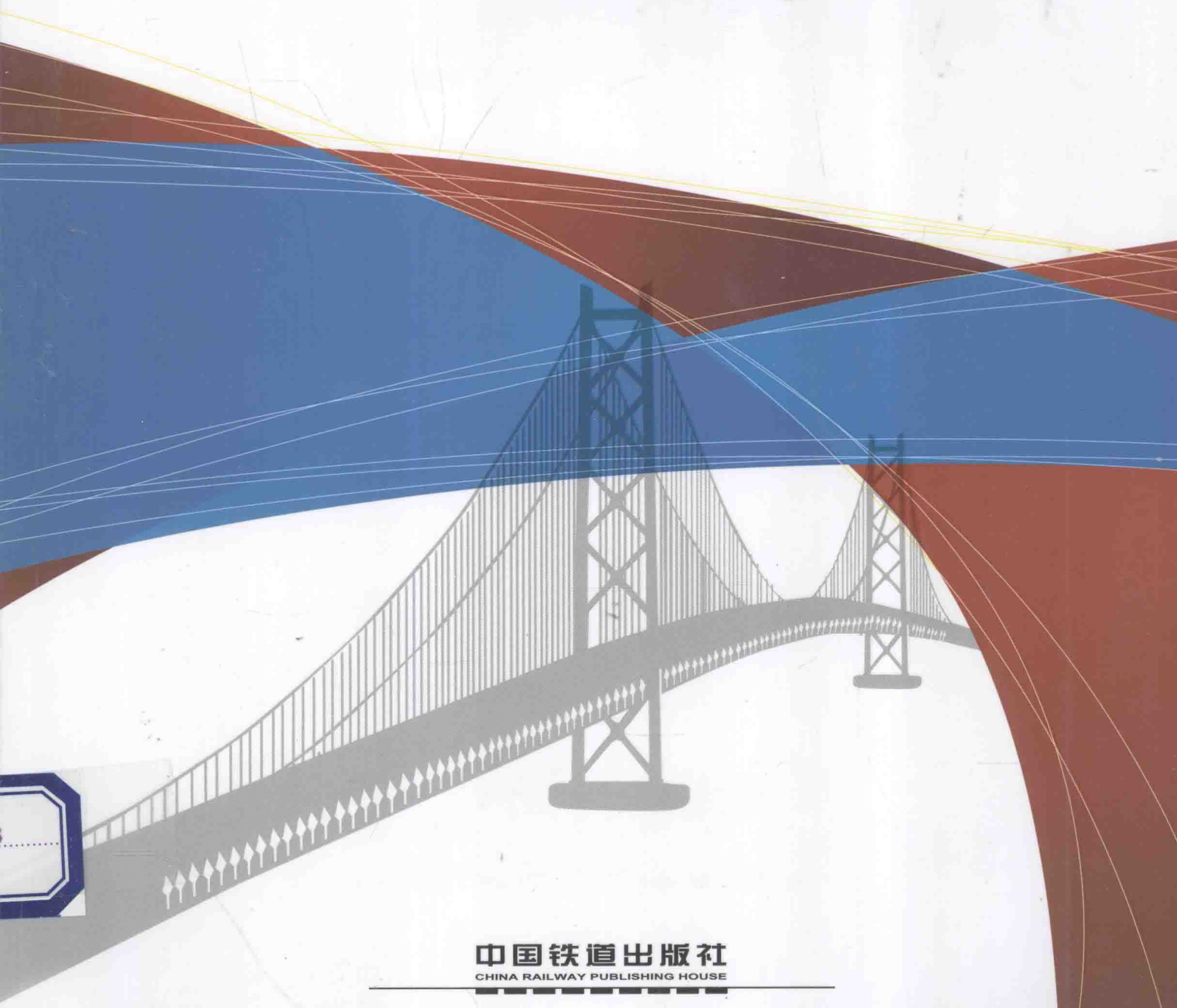


哈尔滨职业技术学院
国家骨干高职院校建设项目成果

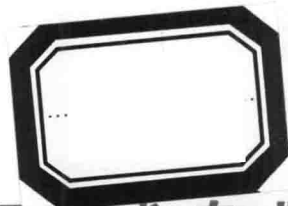
道路桥梁工程技术专业

桥梁结构设计

马利耕 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

桥梁结构设计

马利耕 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁结构设计/马利耕主编. —北京: 中国铁道出版社, 2013. 11

道路桥梁工程技术专业及专业群系列教材

ISBN 978-7-113-17278-7

I. ①桥… II. ①马… III. ①桥梁结构—结构设计—
高等职业教育—教材 IV. ①U443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 211719 号

书 名: 桥梁结构设计

作 者: 马利耕 主编

策 划: 左婷婷

读者热线: 400-668-0820

责任编辑: 夏 伟

特邀编辑: 孙 欣

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: 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

开 本: 880 mm × 1 230 mm 1/16 印张: 14.25 字数: 300 千

印 数: 1~2 000 册

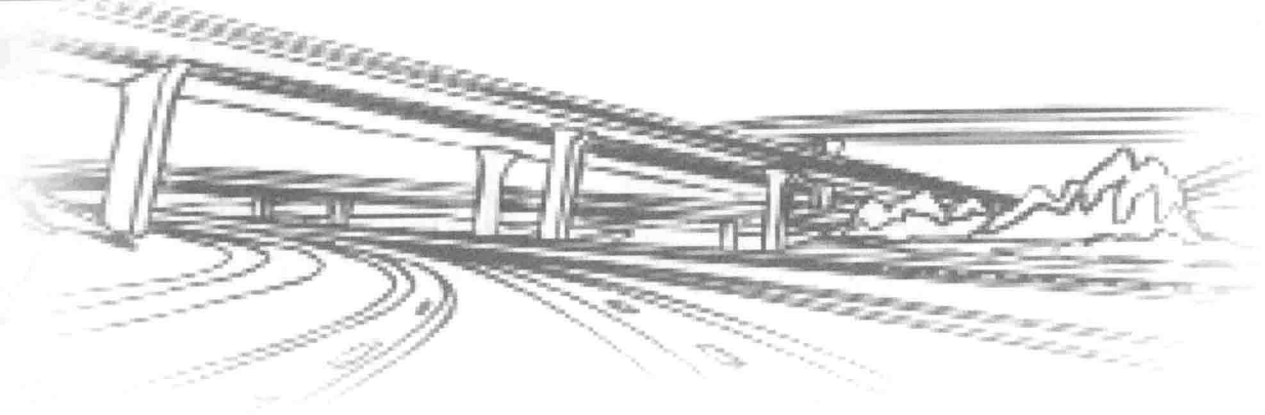
书 号: ISBN 978-7-113-17278-7

定 价: 32.00 元

版权所有 侵权必究

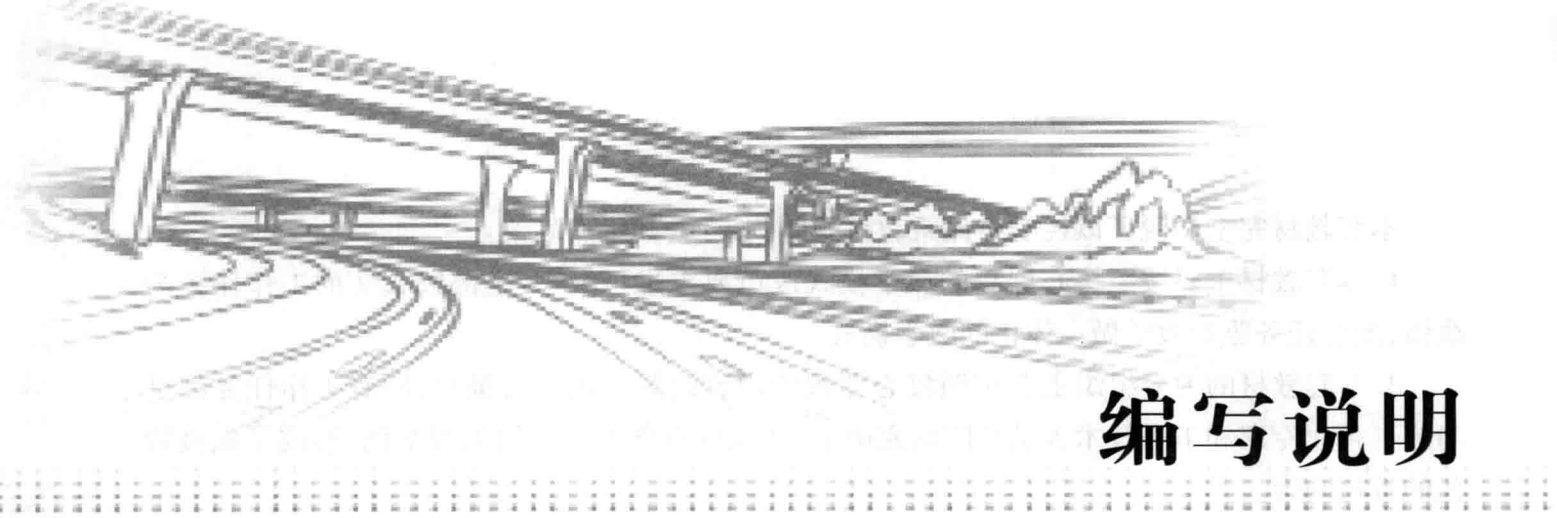
凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社教材图书营销部联系调换。电话: (010) 63550836

打击盗版举报电话: (010) 63549504



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員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;

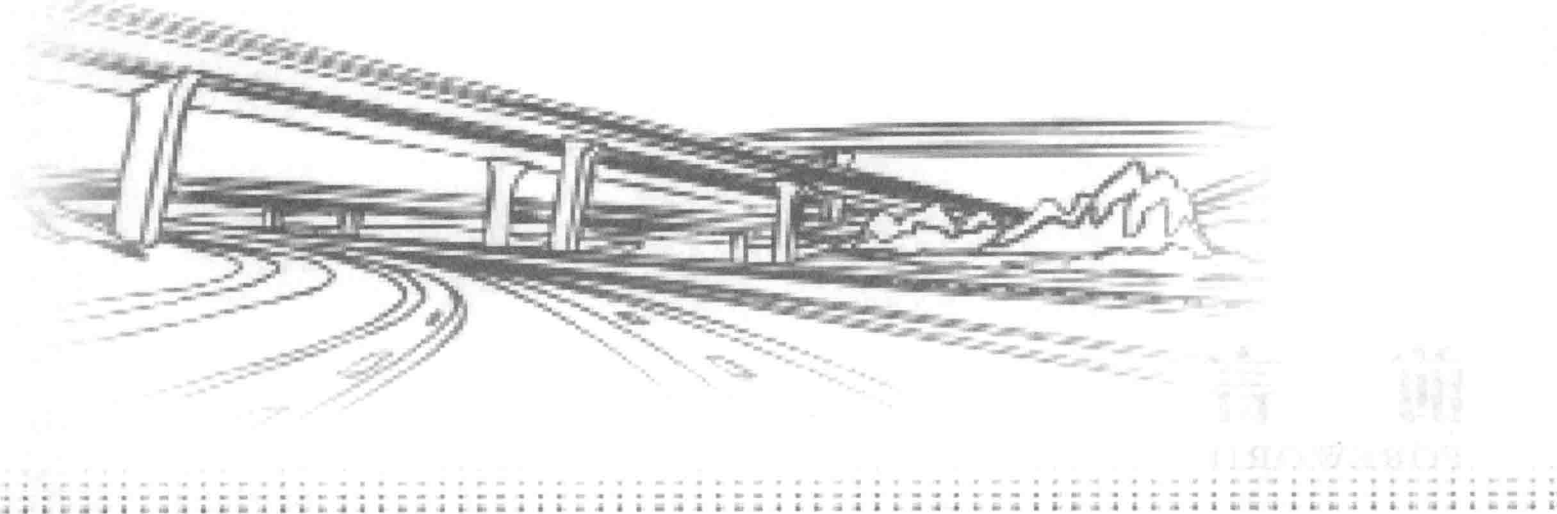
(6) 为了使每名学生在完成任务后,都能够对自己的工作有个总结和反思,设计了教学反馈单。

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



本书编写组

主 编：马利耕（哈尔滨职业技术学院）

副 主 编：闫保真（黑龙江省公路桥梁勘测设计公司）

王瑞雪（哈尔滨职业技术学院）

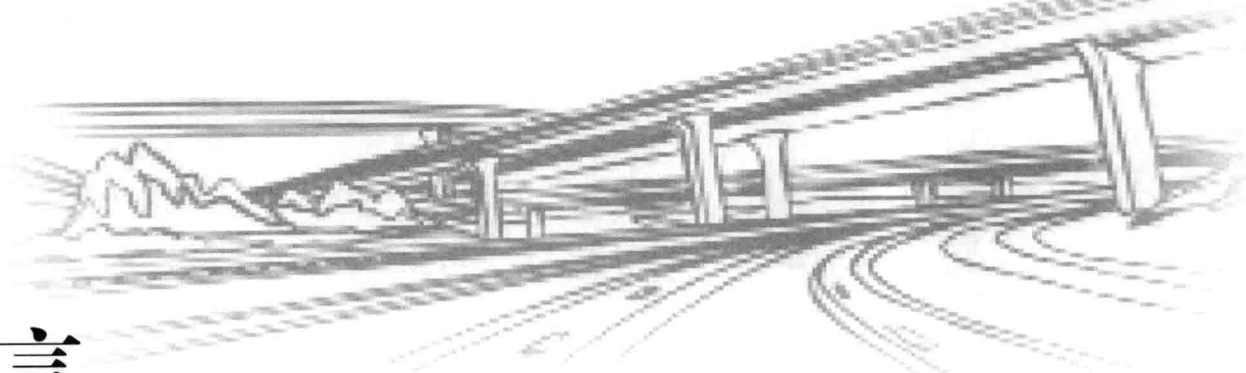
参 编：胡丹丹（哈尔滨学院）

张志伟（哈尔滨职业技术学院）

李维维（哈尔滨职业技术学院）

主 审：程 桢（哈尔滨职业技术学院）

于立成（黑龙江省公路勘察设计院）



前言

FOREWORD

《桥梁结构设计》课程是在校企合作、工学结合的人才培养模式下,按照企业需求基于桥梁建设工作过程构建的学习领域课程,该课程是道路桥梁工程技术专业的核心课程。该课程教材的编写坚持以综合素质培养为基础,以能力培养为主线的指导思想,围绕人才培养目标,遵循工作过程系统化课程的开发理念,打破了传统教材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員的工作任务为载体的任务结构形式,以一个全新的视角重构教材的编写框架,校企合作共同完成了该教材的编写工作。

该教材的编写,是以真实的工作任务为载体,将桥梁结构设计的相关知识与工作任务有机的融为一体,紧紧围绕任务驱动“教、学、做”一体化的教学模式进行编写。

该教材遵循科学的认知规律,根据职业岗位对学生知识、能力、素质的要求和高职院校学生的特点,以及学历证书和职业资格证书嵌入式的设计要求来架构课程内容体系,创设学习情境,确定工作任务。通过完成工作任务,实现对学生自主学习能力、创新精神、团队协作精神和专业技能等综合职业能力的培养。

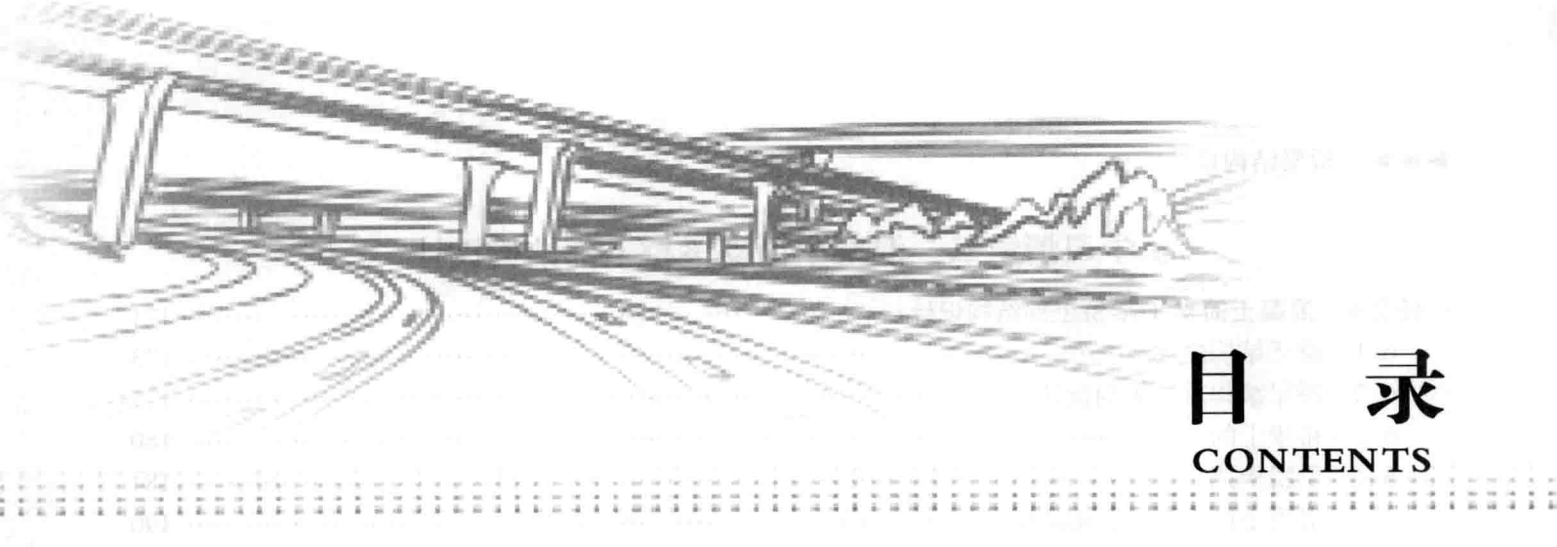
该教材包括3个学习情境,6个工作任务,学习情境一为混凝土受弯构件设计,其中包括钢筋混凝土矩形截面梁设计、钢筋混凝土T形截面梁设计和预应力混凝土简支梁设计等3个工作任务;学习情境二为混凝土受压构件设计,其中包括钢筋混凝土轴心受压柱设计和钢筋混凝土偏心受压柱设计等2个工作任务;学习情境三为混凝土简支梁桥上部结构设计,包括混凝土简支T梁桥上部结构设计1个工作任务。上述6个工作任务,全部采用六步教学法来完成,即资讯、计划、决策、实施、检查、评价,并设计了相应的工作页:任务单、资讯单、信息单、计划单、决策单、实施单、作业单、检查单、评价单和教学反馈单等,为采用任务驱动“教、学、做”一体化的教学模式提供了配套资料。

该教材由哈尔滨职业技术学院马利耕教授担任主编,负责教材统稿和定稿工作,并编写任务1、任务4和任务5,由黑龙江省公路桥梁勘测设计公司闫保真高级工程师和哈尔滨职业技术学院王瑞雪教授担任副主编,负责工作任务的实践性审核,并分别编写任务6和任务3,哈尔滨学院胡丹丹副教授参与编写了任务6,哈尔滨职业技术学院张志伟工程师参与编写了任务3,哈尔滨职业技术学院李维维讲师编写了任务2。

该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、建筑工程学院院长程桢教授及黑龙江省公路桥梁勘察设计院于立成高级工程师的大力支持和悉心帮助,并由程桢教授和于立成高级工程师担任主审,提出了很多宝贵意见和建议,在此表示感谢。该教材在编写过程中同时得到了黑龙江省公路桥梁勘察设计院的支持和帮助,提供了桥梁结构设计图纸和相关技术资料,为本书的顺利完成提供了有力的技术保障,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免出现疏漏和错误,在此,我们恳请读者不吝赐教,多提宝贵意见,以便我们不断改进和完善。

编者



目 录

CONTENTS

● 学习情境一 混凝土受弯构件设计

任务1 钢筋混凝土矩形截面梁设计	2
1.1 总论	4
1.2 钢筋混凝土材料的力学性能及之间的黏结力	7
1.3 极限状态设计概述	19
1.4 公路桥涵设计规范的设计原则	23
1.5 钢筋混凝土受弯构件构造要求	27
1.6 钢筋混凝土受弯构件破坏形态	31
1.7 矩形截面受弯构件正截面承载力计算	33
1.8 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	43
1.9 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形计算	55
任务2 钢筋混凝土 T 形截面梁设计	73
2.1 概述	75
2.2 钢筋混凝土 T 形截面受弯构件正截面承载力计算	77
任务3 预应力混凝土简支梁设计	88
3.1 预应力混凝土基本知识	90
3.2 预应力混凝土受弯构件的构造要求	96
3.3 预应力混凝土受弯构件承载力计算	98
3.4 预应力混凝土受弯构件应力计算	106
3.5 预应力混凝土受弯构件抗裂性计算	110

● 学习情境二 混凝土受压构件设计

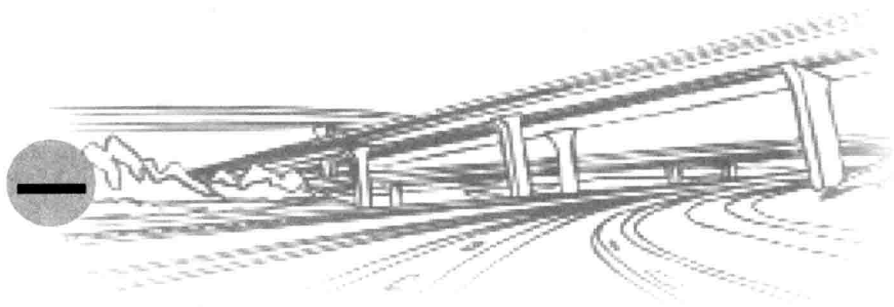
任务4 钢筋混凝土轴心受压柱设计	130
4.1 钢筋混凝土受压构件构造要求	132
4.2 钢筋混凝土轴心受压构件破坏形态	134
4.3 钢筋混凝土普通箍筋轴心受压构件正截面承载力计算	136
4.4 钢筋混凝土螺旋箍筋轴心受压构件正截面承载力计算	138
任务5 钢筋混凝土偏心受压柱设计	149
5.1 钢筋混凝土偏心受压构件破坏形态	151
5.2 钢筋混凝土矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	152
5.3 钢筋混凝土圆形截面偏心受压构件正截面承载力计算	159

● 学习情境三 混凝土简支梁桥上部结构设计

任务 6 混凝土简支 T 梁桥上部结构设计	171
6.1 桥梁结构概述	173
6.2 桥梁结构总体规划设计	177
6.3 桥梁上的作用	180
6.4 梁桥构造	184
6.5 混凝土简支梁桥上部结构计算	190
参考文献	218

学习情境

一



混凝土受弯构件设计

学习指南

学习目标

通过教师的讲解和引导,使学生明确工作任务目标和进行混凝土受弯构件设计的关键要素。通过完成工作任务,使学生掌握钢筋混凝土及预应力混凝土的基本知识和构造要求,明确混凝土受弯构件设计内容和设计步骤,了解混凝土受弯构件正截面及斜截面破坏形态;使学生能够借助设计资料合理确定受弯构件截面尺寸,进行正截面抗弯承载力计算和斜截面抗剪承载力计算,确定所需要的钢筋,能对钢筋进行合理布置,并绘出配筋图;使学生在学习过程中不断培养职业素质,树立起严谨认真、吃苦耐劳、诚实守信的工作作风。

工作任务

1. 钢筋混凝土矩形截面梁设计
2. 钢筋混凝土 T 形截面梁设计
3. 预应力混凝土简支梁设计

学习情境的描述

以钢筋混凝土矩形截面梁设计、钢筋混凝土 T 形截面梁设计和预应力混凝土简支梁设计等三个工作任务为载体,使学生通过设计掌握作为技术员、质检员、监理员等应具备的钢筋混凝土及预应力混凝土的基本知识,掌握混凝土受弯构件的设计方法,从而胜任这些岗位的工作。学习的内容与组织如下:

1. 学习混凝土受弯构件的一般构造要求
2. 选择混凝土受弯构件材料强度等级
3. 确定混凝土受弯构件截面形式和截面尺寸
4. 计算混凝土受弯构件的荷载效应
5. 分析混凝土受弯构件的破坏形态
6. 对混凝土受弯构件进行正截面承载力计算配置纵向受力钢筋
7. 对混凝土受弯构件进行斜截面承载力计算配置箍筋及弯起钢筋
8. 对混凝土受弯构件进行裂缝宽度验算
9. 对混凝土受弯构件进行变形验算。

任务1 钢筋混凝土矩形截面梁设计

任 务 单

学习领域	桥梁结构设计					
学习情境	混凝土受弯构件设计				学时	35
任 务	钢筋混凝土矩形截面梁设计				学时	27
布置任务						
任务目标	1. 学会正确选择钢筋混凝土梁材料强度等级 2. 学会钢筋混凝土梁截面形式和截面尺寸选择方法 3. 学会钢筋混凝土梁荷载效应计算方法 4. 学会配置梁中纵向受力钢筋 5. 学会配置梁中箍筋及弯起钢筋 6. 学会钢筋混凝土矩形截面梁裂缝验算方法 7. 学会钢筋混凝土矩形截面梁变形验算方法 8. 清楚钢筋混凝土矩形截面梁设计步骤					
任务描述	设计某桥中的钢筋混凝土矩形截面简支梁,工作如下: 1. 根据设计要求,选定构件截面形式及尺寸,选择材料 2. 确定梁的计算简图 3. 收集作用在梁上的荷载 4. 计算控制截面最大设计弯矩和剪力 5. 进行正截面抗弯承载力计算,确定纵向受拉钢筋 6. 进行斜截面抗剪承载力计算,确定箍筋和弯起钢筋 7. 对钢筋进行布置 8. 进行裂缝宽度验算和变形验算					
学时安排	布置任务与资讯	资讯与计划	决策	实施	检查	评价
	8 学时	3 学时	1 学时	12 学时	1 学时	2 学时
提供资料	[1] 于辉. 结构设计原理. 北京:北京理工大学出版社,2009. [2] 李加林. 桥涵设计. 北京:人民交通出版社. 2008. [3] 桥梁结构设计图纸 [4] 桥梁结构施工现场照片 [5] JTG D62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范					
对学生的要求	1. 小组讨论混凝土矩形截面梁设计方案 2. 小组学习钢筋混凝土截面梁的一般构造要求 3. 学会正确选择钢筋混凝土截面梁材料强度等级、截面形式及截面尺寸 4. 独立计算钢筋混凝土矩形截面梁的荷载效应 5. 小组讨论分析钢筋混凝土梁正截面及斜截面破坏形态 6. 独立计算钢筋混凝土矩形截面梁配筋 7. 讲解钢筋混凝土矩形截面梁设计过程,接受教师与学生的点评,同时参与评价小组自评与互评 8. 积极参与小组工作任务讨论,严禁抄袭					

资 讯 单

学习情境	混凝土受弯构件设计	学时	35
任 务	钢筋混凝土矩形截面梁设计	学时	27
资讯方式	教材、网络	学时	8
资讯问题	1. 配筋率的大小对梁正截面承载力有何影响? 界限相对受压区高度在承载力计算中的作用是什么? 2. 单筋矩形梁的适用条件是什么? 为什么要满足这些适用条件? 3. 钢筋混凝土梁正截面破坏形式有几种? 其特点是什么? 适筋梁和少筋梁当受拉钢筋屈服后能否再增加荷载? 为什么? 4. 等效应力图形确定原则是什么? 如果 $x > \xi_b h_0$, 应如何确定此梁的受弯承载力? 5. 钢筋混凝土板中应配置哪几种钢筋? 各起什么作用? 钢筋混凝土梁中应配置哪几种钢筋? 各起什么作用? 6. 简述单筋矩形截面梁设计步骤。 7. 矩形截面受弯构件在什么情况下采用双筋截面? 在进行矩形截面梁配筋计算时, $\xi > \xi_b$ 说明什么? 在设计时应如何处理? 8. 在双筋梁中受压钢筋的作用是什么? 受压钢筋的设计强度是如何确定的? 双筋梁当 $x < 2a_s$ 时, 应如何求纵向受拉筋面积? 9. 钢筋混凝土梁斜截面破坏形态有哪几种? 应采取哪些构造措施来防止发生破坏。在钢筋混凝土梁斜截面设计时, 梁中箍筋应符合哪些要求? 10. 钢筋混凝土梁中为什么会出现斜裂缝? 试说明箍筋对提高斜截面受剪承载力的作用? 为什么要验算截面尺寸大小? 剪跨比对梁的抗剪承载力有何影响? 11. 梁中的纵向钢筋弯起、截断和锚固应满足哪些要求? 梁中为什么要控制箍筋的最小配筋率? 12. 在计算斜截面承载力时, 计算截面的位置应如何确定? 限制箍筋及弯起钢筋的最大间距的目的是什么? 计算弯起筋数量时其设计剪力应如何取值? 13. 什么是截面抗弯刚度? 钢筋混凝土梁与匀质弹性材料梁抗弯刚度有何异同? 提高受弯构件刚度的有效措施有哪些? 14. 在结构设计时, 为什么要对裂缝和变形进行控制? 进行裂缝和变形验算时, 荷载和材料强度取设计值还是标准值? 为什么? 15. 什么是短期刚度和长期刚度? 计算挠度时为什么采用长期刚度? 在长期荷载作用下, 构件刚度降低的原因有哪些? 对此《规范》是如何规定的? 16. 在确定最大裂缝宽度时主要考虑了哪些因素? 如果裂缝超过规定的限值时, 应采取哪些措施? 17. 纵筋配筋率对受弯构件正截面承载力、挠度和裂缝宽度各有何影响? 正常使用极限状态进行验算时为什么要引入换算截面的概念? 18. 在钢筋混凝土构件中的裂缝对结构有哪些不利的影响? 结构的变形验算的目的是什么? 钢筋混凝土桥梁在进行变形验算时有哪些要求? 19. 对钢筋混凝土受弯构件预拱度的设置有哪些要求和规定? 预拱度如何设置?		
资讯引导	[1] 信息单 [2] 于辉. 结构设计原理. 北京:北京理工大学出版社, 2009. [3] 马利耕. 混凝土与砌体结构. 北京:中国计量出版社, 2009. [4] 网络搜索		

信 息 单

1.1 总论

钢筋混凝土梁设计计算步骤如下:

- (1) 根据设计要求,选定构件截面形式及尺寸,选择材料。
- (2) 计算控制截面最大设计弯矩和剪力。
- (3) 进行正截面抗弯承载力计算,确定纵向受拉钢筋。
- (4) 进行斜截面抗剪承载力计算,确定箍筋和弯起钢筋。
- (5) 对钢筋进行布置。
- (6) 进行裂缝宽度验算和变形验算。

在土木工程中,一般把构造物中承受荷载起骨架作用的部分称为结构。结构根据应用领域不同可分为建筑结构、桥梁结构、水利结构和其他特种结构。结构是由材料筑成的,按照使用的材料不同可分为混凝土结构、钢结构、木结构、圬工结构和组合结构。混凝土结构是以混凝土为主制作的结构,包括钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构等。钢结构是以钢材为主制作的结构。木结构是以木材为主制作的结构,圬工结构是以圬工砌体为主制作的结构,包括砖砌体结构、石砌体结构和混凝土砌体结构。组合结构是以多种不同材料结合成整体而共同工作的结构,包括钢—混凝土组合梁、钢管混凝土结构、预应力混凝土组合梁、纤维增强聚合物(FRP)结构以及 FRP 混凝土组合结构等。目前桥梁结构主要有钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构。桥梁结构形式主要有梁式桥、拱桥、刚架桥、悬索桥、斜拉桥和组合桥。

结构是由基本构件组成的,而基本构件按其受力特点不同可分为受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件。桥梁结构由桥面板、横梁、主梁、墩台与基础等基本构件组成,这些基本构件主要是钢筋混凝土构件、预应力混凝土构件,从受力特点看主要是受弯构件和受压构件。因此本教材将重点研究钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构的材料性能及受弯构件和受压构件的构造、受力性能、设计方法,进而研究混凝土简支梁桥设计方法。

1.1.1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁受力和破坏形态比较分析

混凝土材料的抗拉强度很低,仅为其抗压强度的 $1/18 \sim 1/9$,当结构构件中出现拉应力时,混凝土极易开裂破坏。如图 1.1(a),素混凝土简支梁跨度为 4 m,截面尺寸为 $b \times h = 200 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$,混凝土强度等级为 C20,梁跨中作用一集中荷载,试验发现,当荷载达到 8 kN 左右时,截面受拉区拉应力达到混凝土抗拉强度,试件突然发生断裂破坏,此时,受压区混凝土尚未达到抗压强度,破坏没有明显的预兆。考虑钢筋的抗拉强度很高,我们在该梁的受拉区放置 $3 \Phi 16$ 的 HPB235 级纵向钢筋,在受压区放置 $2 \Phi 10$ 的 HPB235 级架立钢筋和适量的箍筋再进行试验,如图 1.1(b),试验发现,当荷载不大时,混凝土开裂,但试件没有发生断裂破坏,拉力全部转由钢筋承担,当荷载达到 38 kN 左右时,钢筋屈服,受压区混凝土被压坏,试件破坏,破坏有明显的预兆。试验表明:在混凝土构件的受拉区配置适量的钢筋能大大提高构件的承载力,并且大大改善结构的受力性能。

钢筋混凝土由钢筋和混凝土两种不同的材料组成,两种材料物理、力学性能不同,它们之间能有效的共同

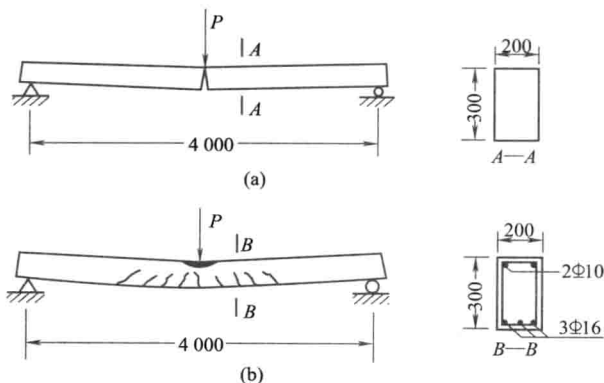


图 1.1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁破坏形态比较

工作,其主要机理如下:

(1)混凝土硬化后与钢筋之间具有良好的黏结力,使两者之间能传递力和变形,这是两种不同性质的材料能够共同工作的基础;

(2)钢筋和混凝土具有相近的温度线膨胀系数,钢筋的温度线膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土的温度线膨胀系数为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,这使两者间的黏结力不致因温度变化而破坏;

(3)混凝土包裹钢筋使钢筋免受锈蚀,保证了构件的耐久性。

1.1.2 常见的工程结构特点

1. 钢筋混凝土结构与其他结构形式相比的优点

(1)强度高。与圬工结构、木结构相比,钢筋混凝土结构有较高的强度。在一定条件下可用来代替钢结构,达到节约钢材、降低造价的目的。

(2)耐久性好。与钢结构相比,钢筋混凝土结构有较好的耐久性。钢筋埋放在混凝土中,受混凝土保护不易发生锈蚀,而且混凝土的强度随着时间的增长还会有所增长,因而提高了结构的耐久性。

(3)耐火性好。与钢结构、木结构相比,钢筋混凝土结构有较好的耐火性。当发生火灾时,钢筋有混凝土保护层包裹,不会像钢结构那样很快达到软化温度而破坏。

(4)可模性好。与其他结构相比,钢筋混凝土结构可根据需要浇筑成各种形状和尺寸的结构。

(5)整体性好。与圬工结构、木结构相比,整体浇筑的钢筋混凝土结构整体性好,对抵抗地震和爆炸等冲击作用有利。

(6)易于就地取材。与钢结构相比,在混凝土结构中用量最多的是砂、石等材料,这些材料可以就地取材。

2. 钢筋混凝土结构的缺点

(1)自重。钢筋混凝土结构自重大,达到一定跨径时,受载荷的能力就会显著降低,因此不利于大跨径结构。

(2)抗裂性差。由于混凝土的抗拉强度很低,荷载作用下极易开裂,过早开裂虽不影响承载力,但对构件的刚度和耐久性都带来不利影响。

(3)现浇结构需大量模板和支撑,施工复杂,工期长,并受施工环境和气候条件限制,冬季和雨季混凝土施工必须对混凝土浇筑振捣和养生等工艺采取相应的措施,以确保施工质量。

(4)补强维修或拆除困难。

3. 预应力混凝土结构与钢筋混凝土结构相比具有的优点

(1)可提高抗裂能力,控制裂缝产生和裂缝宽度,提高耐久性。由于在构件可能开裂的部位施加了预压应力,因而可避免构件在正常使用情况下出现裂缝或裂缝过宽的现象,避免了钢筋受外界有害因素的侵蚀,从而大大提高了构件耐久性。

(2)可减少构件的变形,提高刚度。预应力构件由于在使用阶段可避免裂缝,因而刚度不发生突变,变形也不会明显增大。同时,预应力还将使受弯构件产生一定的反拱。

(3)可充分利用高强材料,减轻自重。由于对混凝土施加预应力是通过张拉钢筋实现的,钢筋的张拉控制应力很高,因此必须采用高强钢筋;而混凝土受到的预压应力也是很大的,所以也必须采用高强混凝土。构件截面减小,故结构自重一般可减轻 20% ~ 30%。

(4)可提高构件抗疲劳性能。在预应力混凝土构件中,由于受力钢筋事先已张拉,在重复荷载作用下,钢筋应力的变化幅度一般在 10% 左右,不会引起钢筋疲劳,因而提高了构件的抗疲劳性能。

4. 预应力混凝土结构的缺点

(1)制作需要较高的机械设备与技术条件。

(2)施工工序较多,设计与施工复杂,预应力反拱不易控制。

(3)材料质量要求严格,施工费用高,周期较长。

5. 圬工结构与其他结构形式比具有的优点

(1)易于就地取材,黏土、砂、石等原材料分布广,块材制造工艺简单。

(2) 耐火性、耐久性、耐污染性能好,材料性能稳定,维修养护工作量小。

(3) 造价低。与钢筋混凝土结构相比,可节约水泥和钢材,且在砌筑砌体时不需要模板和特殊的设备,可以节约木材,降低造价。

(4) 施工不需要特殊设备。施工简便,并可以连续施工。

(5) 具有较强的抗冲击及较大的超载能力。由于圬工结构一般体积较大,重量、刚度大,当构件受力时,其恒载与活载相比,恒载所占的比例较大,因而抗冲击能力强,超载能力大。

6. 圬工结构的主要缺点

(1) 抗拉弯强度低,抗震性能差。

(2) 机械化程度低,施工周期长。

1.1.3 混凝土结构的发展与应用概况

混凝土结构是在 19 世纪中期开始得到应用的,距今已有 160 年左右的历史,前 100 年发展缓慢,后 60 年,特别是最近 20~30 年发展非常迅速。19 世纪 50 年代,钢筋混凝土开始被用来建造各种简单的板、柱、基础等。随着生产的需要,人们不断对钢筋混凝土性能进行实验,探讨计算理论,改进施工方法。20 世纪以后,混凝土结构在计算理论、材料和工程应用的方面得到了很大的发展,许多国家陆续建造了一些建筑、桥梁、码头和堤坝。20 世纪 30 年代,钢筋混凝土如薄壳、折板开始应用于空间结构,并开始研究与应用预应力混凝土结构。

在计算理论方面,在 20 世纪初期,由于人们对混凝土结构材料的性能认识不够,多数国家采用以弹性理论为基础的容许应力设计方法。实践证明,这种设计方法与结构的实际情况出入很大,不能如实地反映构件截面的应力状态和正确计算出构件承载能力,现已不再采用。到 20 世纪 30 年代出现了按破坏阶段的设计方法,这种方法考虑了混凝土和钢筋的塑性,与材料的实际情况接近,但仍需根据经验主观确定总安全系数。在 20 世纪 50 年代提出了极限状态设计方法,是破坏阶段计算方法的发展,采用的计算系数将单一的安全系数改为三个分项系数,即荷载系数、材料系数和工作条件系数,各系数是根据荷载及材料强度的变异性由统计规律确定的,并考虑了影响结构构件承载力的非统计因素,这种设计方法又称为半经验、半概率极限状态设计方法,这种方法概念比较明确,设计方法合理,到了 20 世纪 70 年代已为多数国家所接受。我国原《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—1985)中所采用的计算方法即是这种半经验、半概率的“三系数”极限状态设计方法。随着结构设计理论的进一步发展,结构及其构件的安全系数或分项系数更趋合理,结构可靠度理论得到完善,提出了以失效概率度量结构安全性的以概率理论为基础的极限状态设计方法。这种方法对各种荷载、材料强度的变异规律进行了大量的调查、统计、分析,合理地确定了各分项系数,而且用失效概率和可靠度指标能够比较明确地说明结构“可靠”或“不可靠”的概念,目前已被多数国家采用,我国现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)[以下简称《桥规》(JTG D62—2004)]即采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

在材料方面,目前国内常用的混凝土强度等级为 20~40 N/mm²,国外常用的强度等级为 60 N/mm²,实验室内,我国已制成强度等级为 100 N/mm² 以上的混凝土,美国已制成强度等级为 200 N/mm² 以上的混凝土。在工程应用中将达到 80 N/mm²,今后常用的混凝土强度可达 100 N/mm²,在特殊结构中可配制出更高强度的混凝土。

混凝土材料主要的发展方向是高强、轻质、耐久、抗裂和易于成型。目前国内在大力发展轻质混凝土、加气混凝土以及利用工业废渣的“绿色混凝土”,其不但减轻了结构自重,改善了混凝土的性能,而且对节能和保护环境具有重要的意义。在混凝土中掺入高分子化合物,能够提高混凝土的抗裂性和耐久性,同时提高混凝土的强度。此外,防射线、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等特殊需要的混凝土以及智能型混凝土及其结构也正在研究中。美国混凝土学会 2000 年委员会设想,在近期使混凝土的性质获得飞跃发展,把混凝土的拉、压强度比从目前的 1/10 提高到 1/2,使混凝土具有早强、收缩徐变小的特性。

钢筋材料的发展方向是高强、防腐、较好的延性和较好的黏结锚固性能。螺旋肋钢筋强度高、延性好,与混凝土的黏结性好。在钢筋表面涂环氧树脂可提高钢筋的防腐性能。

随着高强度钢筋、高强度和高性能混凝土以及高性能外加剂和混合材料的研制使用,钢纤维混凝土和聚合物混凝土的研究和应用有了很大发展。

在工程应用方面,尽管混凝土结构比其他结构出现的晚,但其发展和应用速度却非常快,混凝土结构的应用范围也在不断地扩大,目前,钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构已成为土木工程的主要结构,广泛应用在铁路、公路、城市的立交桥、高架桥、地铁隧道,以及水利港口等交通工程中,用钢筋混凝土建造的桥梁、水闸、水电站、码头等已是星罗棋布,在大跨度钢筋混凝土桁架、门式刚架、拱、薄壳等结构形式中也有广泛应用。混凝土已成为现代最主要的工程材料之一,并在未来很长时间内仍将是一种重要的工程材料。目前世界上最高的钢筋混凝土建筑是阿联酋迪拜塔,钢筋混凝土结构部分高 611 m;世界上最大跨度的预应力混凝土简支梁桥为奥地利的阿尔姆桥,跨度为 76 m;世界上最大跨度的预应力混凝土连续梁桥为巴西瓜纳巴拉桥,跨度为 300 m;世界上最高的钢筋混凝土重力坝是瑞士的大狄克桑斯坝,高 285 m。

随着人们对混凝土的深入研究,钢筋混凝土结构在土木工程领域必将得到更广泛的应用。目前,钢管混凝土结构、钢骨混凝土结构和钢—混凝土组合结构的应用更加开拓了混凝土的使用领域。未来将会建造跨度达 500~600 m 的钢筋混凝土桥梁,以及钢筋混凝土海上浮动城市、海底城市、地下城市等。所有这些都显示了近代混凝土结构设计和施工水平正日新月异地迅速发展。

1.1.4 本课程特点

“桥梁结构设计”是一门综合性较强的专业技术学习领域课程。它需要综合运用高等数学、工程力学、道路建筑材料等相关知识。本课程内容多、符号多、计算公式多、构造规定也多,学起来比较难。

(1)“桥梁结构设计”课程以真实的工程项目为载体,创设学习情境,以提高路桥工程施工技术人员岗位能力为前提进行课程设计,按照任务引领方式进行教学内容设计。该课程共创设了混凝土受弯构件设计、混凝土受压构件设计、简支梁桥结构设计三个学习情境,确定了 6 个工作任务。

(2)“桥梁结构设计”课程的实践性很强,要求学生通过完成多个工作任务来掌握桥梁结构设计的原理和方法,逐步熟悉和正确运用我国颁布的一些设计规范和设计规程。例如《公路桥涵设计通用规范(JTG D60—2004)》[以下简称《桥规》(JTJ D60—2004)]、《桥规》(JTJ D62—2004)等。规范是我国公路桥涵结构物设计、审核、审批的依据,只有对规范条文的概念和实质有了正确的理解,才能正确地应用规范的公式和条文,因此应熟悉规范并严格遵守。但也要清楚,随着科技水平的不断发展,设计规范也必然需要不断修订和补充,因此要用发展的观点来看待规范,要善于观察和分析,不断进行探索和创新。

(3)“桥梁结构设计”课程中一些公式是以经验、实验为基础得到的,而非由理论推导而来。由于钢筋混凝土是由钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料组成的一种复合材料,钢筋和混凝土材料均为非匀质、非连续、非弹性材料,因此不能完全应用材料力学的公式。混凝土具有复杂性、离散性,目前尚没有完整的强度理论,而只是依赖于对试验资料进行统计分析,从中得出半理论、半经验公式,因此需要注意公式的适用范围和限制条件。

(4)桥梁结构设计是一项综合工作,设计过程包括结构方案、构件选型、材料选择、配筋构造等,设计需要遵循安全、适用、经济、美观的原则。设计中许多数据可能有多种选择方案,在保证结构设计要求的前提下,答案常常不是唯一的,而且,设计计算工作也不是一次就可以获得成功的。设计结果应经过各种方案的比较,综合考虑使用、材料、造价、施工等各项指标的可行性,最终才能确定一个较为合适的设计结果。

1.2 钢筋混凝土材料的力学性能及之间的黏结力

1.2.1 钢筋的力学性能

1. 钢筋的种类和级别

钢筋的主要化学成分是铁元素,同时含有少量碳、硅、锰、硫、磷、氮、氧等元素。钢筋按所含元素不同分