

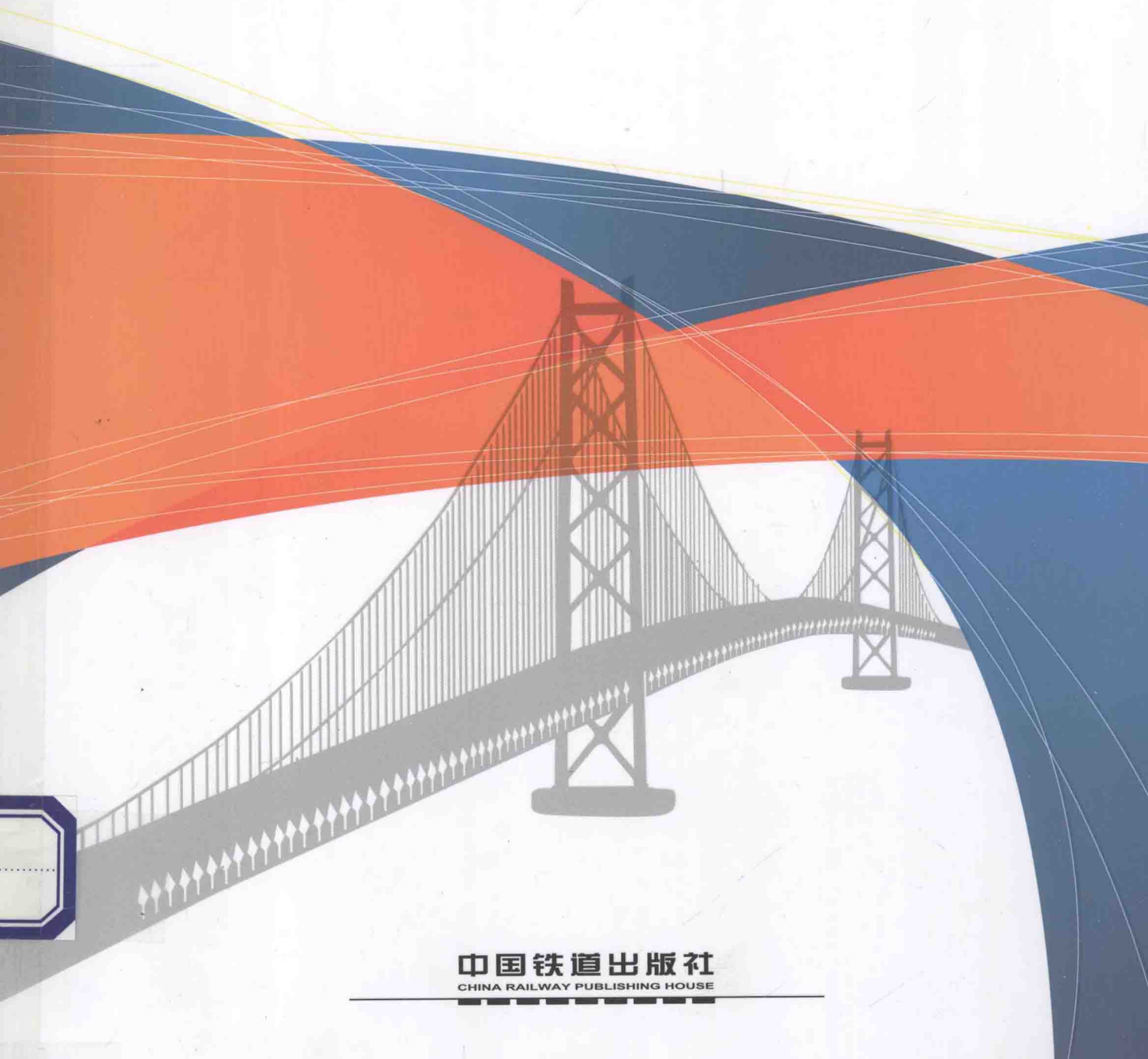


哈尔滨职业技术学院
国家骨干高职院校建设项目成果

道路桥梁工程技术专业

寒区路桥工程施工技术

杨化奎 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

寒区路桥工程施工技术

杨化奎 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内容提要

本学习领域课程是依据高职高专道路桥梁工程技术专业人才培养目标和定位要求,结合本地区特点,按照寒区路桥工程施工工作过程为导向构建的学习领域课程,主要内容包括多年冻土地区路桥施工、翻浆地段路基施工、涎流冰地段路基施工、寒区路面工程施工及桥涵构造物冬期施工5个学习情境,10个工作任务。

本教材作为高职高专道路桥梁工程技术专业学习用书,侧重培养学生低温环境下从事路桥工程实践能力,满足企业对于学生知识、技能及素质等方面的要求,对于市政工程技术、建筑工程技术、工程监理等土建类专业群及相关工程技术人员同样具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

寒区路桥工程施工技术/杨化奎主编. —北京:

中国铁道出版社, 2013. 10

国家骨干高职院校建设项目成果

ISBN 978-7-113-17431-6

I. ①寒… II. ①杨… III. ①冻土区—道路工程—工程施工 ②冻土区—桥梁工程—工程施工 IV. ①U419.92②U445

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第232289号

书 名: 寒区路桥工程施工技术

作 者: 杨化奎 主编

策 划: 左婷婷

读者热线: 400-668-0820

责任编辑: 夏 伟

特邀编辑: 赵 媛

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: 北京米开朗优威印刷有限责任公司

版 次: 2013年10月第1版 2013年10月第1次印刷

开 本: 880 mm × 1 230 mm 1/16 印张: 11 字数: 310 千

印 数: 1~2 000 册

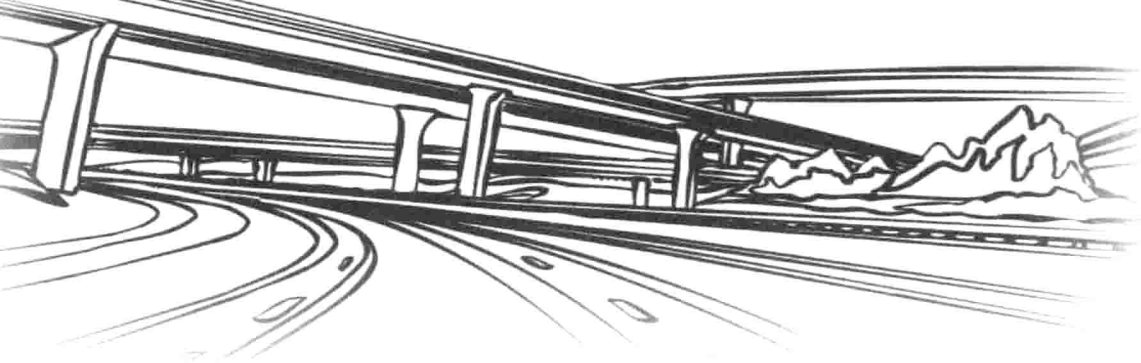
书 号: ISBN 978-7-113-17431-6

定 价: 35.00 元

版权所有 侵权必究

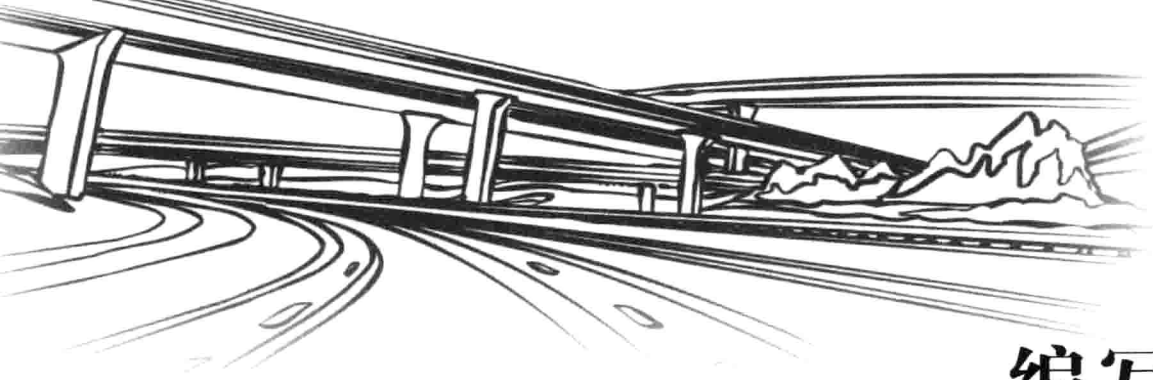
凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。电话: (010) 51873174 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010) 51873659, 路电(021) 73659, 传真(010) 63549480



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;

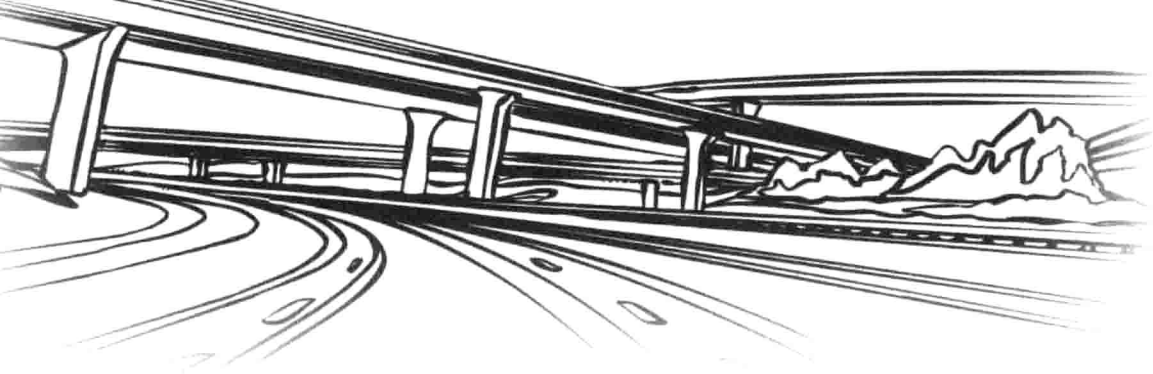
(4) 教材中突出任务的实践性,注重学生的职业能力培养,设计了每项任务的实施单和作业单;

(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：杨化奎（哈尔滨职业技术学院）

副 主 编：任村茂（哈尔滨市公路工程处）

参 编：王天成（哈尔滨职业技术学院）

葛贝德（哈尔滨职业技术学院）

王瑞雪（哈尔滨职业技术学院）

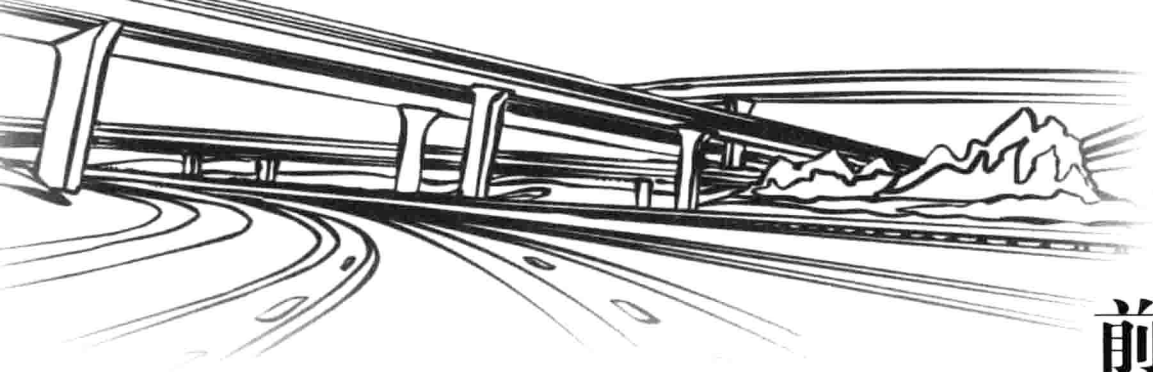
赵明微（哈尔滨职业技术学院）

吴丽萍（哈尔滨职业技术学院）

宋文明（龙建路桥股份有限公司）

主 审：程 楨（哈尔滨职业技术学院）

张 学（哈尔滨市公路工程处）



前言

FOREWORD

《寒区路桥工程施工技术》这门课程是在积极推进职业教育改革、探索校企合作、工学结合的人才培养模式下,按照企业需求构建的基于路桥工程施工过程的课程体系下结合地域特点开设的一门专业核心课程。

从学生毕业后从事的岗位工作情况来说,目前毕业生 90% 以上都在本省就业,由于本地区特有的高寒气候条件决定了从事路桥工程施工工作必须要掌握一定的低温施工技术,养成在艰苦环境下从事施工工作的职业素养。因此,为适应岗位工作需要而开设《寒区路桥工程施工技术》课程成为一种必然。

目前国内其他本科、高职院校均未单独开设本门课程。本门课程的内容都是在其他课程中进行部分体现,教师和学生对此部分内容均不够重视,学生对于寒区施工技术掌握程度不一,工作中实际运用能力不足,毕业生很难适应特殊要求,因此,本门课程改革就是结合地区特点,充分考虑道路桥梁工程技术在低温环境下施工的技术要求,使学生在实践操作过程中掌握必备的知识、能力和素质。

本教材认真坚持“以综合素质培养为基础,以能力培养为主线”的指导思想,紧紧围绕人才培养目标,结合本地区特点,按照寒区路桥工程施工工作导向构建学习领域,依据本岗位从事的典型工作任务对职业能力的需求确定学习领域的课程内容,确定教材的知识点、技能点和素质要求点,并注重对学生自学能力、创新精神和实践技能的培养。

教材内容涉及寒区路基工程、路面工程及桥涵工程施工实践等方面 5 个学习情境,10 个工作任务。具体内容包括学习情境一多年冻土地区路桥施工、学习情境二翻浆地段路基施工、学习情境三涎流冰地段路基施工、学习情境四寒区路面工程施工及学习情境五桥涵构造物冬期施工等,并配有真实的工程实践案例组织教学,使学生在掌握常规的路桥施工技术同时,还能够结合本地区冬季寒冷气候特点,组织路桥工程施工与质量管理,并且在工程出现病害时,能够合理进行处治。

根据课程内容特点采取任务驱动教学模式。通过调研确定学生工作岗位的实际工作任务,分析选择出有代表性的工作任务组织到教学中。通过完成真实的工作任务,使学生学会寒区路桥施工知识,掌握寒区路桥病害处治和养护方法。

从教学的实际需要出发,将传统教学手段与现代教学技术结合运用,让学生通过视频、图片等增强感性认识,使学生得到认知训练,再通过校内仿真实训,提高学生实践能力。

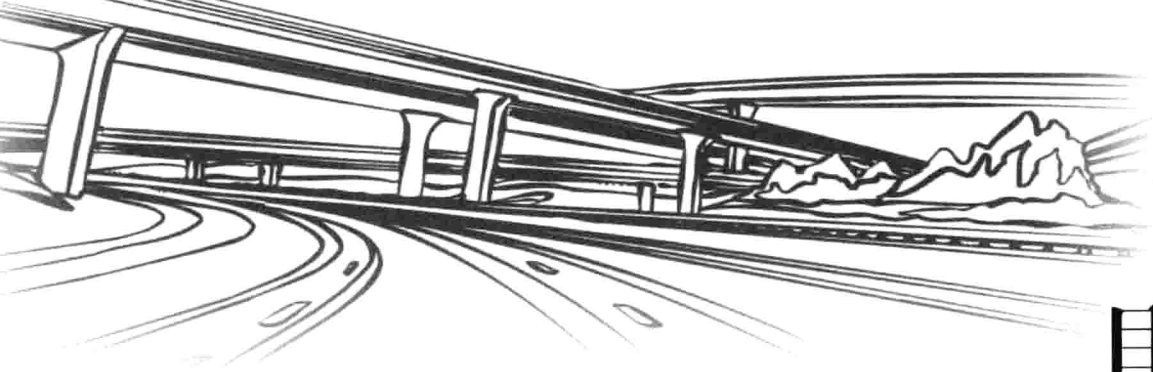
本门课程采用过程性考核和结果性考核相结合的考核模式,其中过程性考核成绩占课程

总成绩的 70% ,结果性考核成绩占课程总成绩的 30% 。过程性考核按照教学情境分别考核,考核成绩是各情境考核成绩的累计之和。考核过程由企业、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进行。

本教材由哈尔滨职业技术学院杨化奎担任主编,负责教材统稿和定稿工作,并编写任务 1、任务 2、任务 5 及任务 7,由哈尔滨市公路工程处任村茂担任副主编,负责实践性内容的操作性审核,并与葛贝德共同编写任务 3,王天成编写任务 4,葛贝德编写任务 6,王瑞雪、吴丽萍编写任务 8,赵明微编写任务 9,葛贝德、宋文明编写任务 10。本书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悉心帮助,并由程桢教授和张学教授级高级工程师亲自担任主审,提出了很多宝贵意见和建议,在此深表感谢。

由于本门课程开设时间较短,目前尚无成型经验和成套资料可供借鉴,加之我们水平有限且时间仓促,书中肯定存在纰漏和错误之处,在此,我们恳请读者不赐教海,多提宝贵意见,以便我们不断完善和改进。

编 者
2013 年 6 月



目 录

CONTENTS

❶ 学习情境一 多年冻土地区路桥施工

任务1 冻土地区路线设计与路基设计	2
1.1 寒区相关知识学习	4
1.2 冻土地区路线设计与路基设计	9
1.3 小桥涵基础及结构形式选择	16
任务2 多年冻土地区路基施工与养护	27
2.1 多年冻土地区路基施工	29
2.2 冻土地区公路养护	34
2.3 工程实践案例——岛状多年冻土地段路基填筑	35

❷ 学习情境二 翻浆地段路基施工

任务3 路基工程翻浆与防治	50
3.1 翻浆的发生与发展	52
3.2 翻浆的防治	54
任务4 翻浆路基工程施工与养护	64
4.1 翻浆路基工程施工	66
4.2 翻浆路基养护	67

❸ 学习情境三 涎流冰地段路基施工

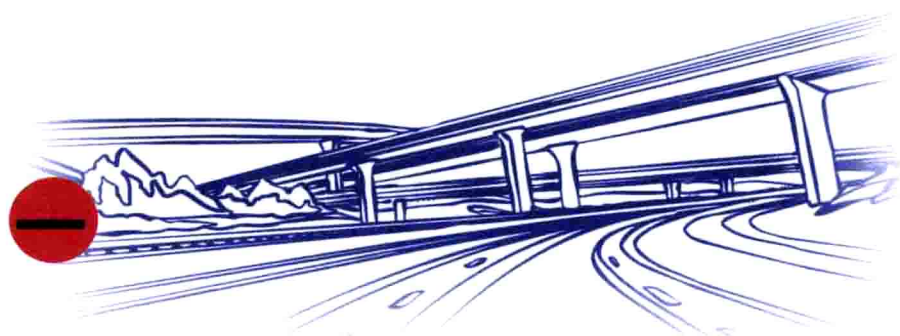
任务5 公路冰害识别与防治	76
5.1 公路冰害的发生	78
5.2 公路冰害的防治	79
5.3 工程实践案例——高寒地区高等级公路涎流冰的形成与防治	80
任务6 涎流冰路基工程施工	89
6.1 涎流冰路基工程施工准备	91
6.2 涎流冰路基施工实践	91

❹ 学习情境四 寒区路面工程施工

任务7 寒区沥青混凝土路面施工	103
7.1 沥青路面基础知识	105
7.2 沥青路面低温施工	108
7.3 工程实践案例——公路改性沥青路面实践技术	108
7.4 工程实践案例——公路 SMA 改性沥青路面实践技术	112

任务8 寒区水泥混凝土路面施工	123
8.1 水泥混凝土路面基础知识	125
8.2 水泥混凝土路面冬期施工	128
8.3 工程实践案例——公路滑模摊铺水泥混凝土路面实践技术	129
❶ 学习情境五 桥涵构造物冬期施工	
任务9 钢筋混凝土及预应力混凝土冬期施工	138
9.1 桥涵冬期施工要求	140
9.2 钢筋混凝土及预应力混凝土冬期施工	140
9.3 工程实践案例——大体积混凝土冬期施工控制技术	143
任务10 砌体工程冬期施工	154
10.1 砌体工程施工	156
10.2 工程质量检查	156
参考文献	164

学习情境



多年冻土地区路桥施工

学习指南

学习目标

学生在教师的讲解和引导下,明确工作任务的目的和实施中的关键要素,通过学习冻土的定义和分类,掌握土的冻胀机理和影响因素,能够借助工具软件、设计文件及相关资料找到完成任务所需的工具、材料、方法,能够完成“路线设计与路基设计”和“施工与养护”两项工作的内容报告。要求在学习过程中培养和锻炼职业素质,掌握在特殊环境下从事路桥工程施工的基本技能。

工作任务

1. 冻土地区路线设计与路基设计。
2. 冻土地区路基施工与养护。

学习情境的描述

根据多年冻土地区路桥工程结构与施工特点,选取了“路线设计与路基设计”、“路基施工与养护”两个工作任务作为载体,使学生通过真实的工程训练掌握在多年冻土地区从事路桥工程建设相关技术。学习的内容与组织如下:掌握冻土的定义与分类、土的冻胀机理与影响因素、路线设计原则与要点、路基设计原则与要点,通过对冻土地区路堤、零填、低填及路堑路段进行路基填筑训练,掌握路基工程有关施工方法和有关养护方法;根据工程图纸,能够借助设计文件及资料找到完成任务所需的工具、材料、方法,能够完成“冻土地区路基施工”工作任务的技术方案报告,使学生能够掌握多年冻土地区路桥工程施工技术。

任务1 冻土地区路线设计与路基设计

任 务 单

学习领域	寒区路桥工程施工技术					
学习情境	多年冻土地区路桥施工				学时	12
工作任务	冻土地区路线设计与路基设计				学时	6
布置任务						
工作目标	1. 了解冻土的定义及其分类 2. 掌握土冻胀的机理与影响因素 3. 学会冻土地区路线设计内容 4. 学会冻土地区路基设计内容					
任务描述	冻土现象是冻土地区特有的不良地质现象,是由冻结和融化两种作用所引起。某些细粒土层在冻结时,往往会发生土层体积膨胀,使地面隆起成丘,即所谓冻胀现象。土层发生冻胀的原因,不仅是由于水分冻结成冰时其体积要增大 9% 的缘故,更主要是由于土层冻结时,周围未冻结区土中水分会向表层冻结区迁移集聚,使冻结区土层中水分增加,冻结后的冰晶体不断增大,导致土体积随之发生膨胀隆起。冻土的冻胀会使路基隆起,使柔性路面鼓包、开裂,使刚性路面错缝或折断;冻胀还使修建在其上的建筑物抬起,引起建筑物开裂、倾斜、甚至倒塌。 具体任务要求: 1. 冻土地区路线设计原则及要点 2. 冻土地区路线纵断面设计原则及要点 3. 冻土地区路线设计有关资料要求 4. 多年冻土地区路基设计原则及要点					
学时安排	资讯	计划	决策	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	[1] JTG D20—2006 公路路线设计规范。 [2] JTG D30—2004 公路路基设计规范。 [3] JTG B01—2003 公路工程技术标准。 [4] JTG/T D31—04—2012 多年冻土地区公路设计与施工技术细则。 [5] 王海春. 特殊地区公路. 北京:人民交通出版社,2006。 [6] 徐玫. 山区公路路基施工技术. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2000。					
对学生的要求	1. 掌握道路工程设计基本知识 2. 掌握路基常见的结构形式 3. 掌握路基工程常规施工方法 4. 必须会读识路桥工程图 5. 按学习目标完成相关任务内容 6. 必须具有团队合作的精神,以小组的形式完成工作任务 7. 严格遵守课堂纪律和工作纪律,不迟到,不早退,不旷课 8. 应树立职业意识,按照企业的岗位职责要求自己 9. 本项目工作任务完成后,需提交学习体会报告,要求另附					

资 讯 单

学习领域	寒区路桥工程施工技术		
学习情境	多年冻土地区路桥施工	学时	12
工作任务	冻土地区路线设计与路基设计	学时	6
资讯方式	在图书馆、专业期刊、互联网及信息单上查询问题;咨询任课教师		
资讯问题	1. 冻土的定义及分类是什么?		
	2. 多年冻土地区地下水分类?		
	3. 冻胀的原因?		
	4. 影响冻胀因素?		
	5. 多年冻土现象对工程危害有哪些?		
	6. 选线的原则和要点有哪些?		
	7. 路线纵断的设计原则和要点有哪些?		
	8. 路线设计对资料的要求有哪些?		
	9. 路基设计原则和要点是什么?		
资讯引导	1. 《公路路线设计规范(JTG D20—2006)》、《公路路基设计规范(JTG D30—2004)》、《多年冻土地区公路设计与施工技术细则(JTG/T D31—04—2012)》 2. 王海春. 特殊地区公路. 北京:人民交通出版社,2006. 3. 徐玫. 山区公路路基施工技术. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2000. 4. 曹永先. 道路工程施工. 北京:化学工业出版社,2010.		



1.1 寒区相关知识学习

1.1.1 寒区工程概况

我国地域辽阔,地理、地质、地貌和自然环境等情况特别复杂,全国各省、市、自治区都有特殊的地形、气候、水文与水文地质、地质条件和植物覆盖。从岩土工程的角度讲,湿陷性黄土、风砂土(沙漠)、多年冻土、软土、盐渍土及膨胀土等都是属于特殊的土。在特殊岩土地区修筑公路,许多特殊问题需要认真研究解决。尤其是我国东北部分布着大面积多年冻土,因此,了解多年冻土地区分布、气候与水文、地质与地貌特征和主要影响因素有着十分重要的意义。

1. 分布

中国冻土可分为季节冻土和多年冻土。季节冻土占中国领土面积 1/2 以上,其南界西从云南章风,向东经昆明、贵阳,绕四川盆地北缘,到长沙、安庆、杭州一带。季节冻结深度在黑龙江省南部、内蒙古东北部、吉林省西北部可超过 3 m,往南随纬度降低而减小。多年冻土分布在东北大小兴安岭;西部阿尔泰山、天山、祁连山及青藏高原等地,总面积约为全国陆地面积的 1/5。

2. 气候水文

冻土地区在全国分布较广,主要有东部冻土大区、西北冻土大区、西南(青藏高原)冻土大区。东部冻土大区,年平均气温 $26.8^{\circ}\text{C} \sim -14.0^{\circ}\text{C}$,年降水量 $140 \sim 3\,000\text{ mm}$,最大冻土深度 $0.02 \sim 4\text{ m}$,年平均地温 $0 \sim -4.2^{\circ}\text{C}$;西北冻土大区,年平均气温 $13.9^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$,年降水量 $40 \sim 1\,000\text{ mm}$,最大冻土深度 $0.6 \sim 5\text{ m}$,年平均地温 $0 \sim -20^{\circ}\text{C}$;西南(青藏高原)冻土大区,年平均气温 $17^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$,年降水量 $29 \sim 1\,667\text{ mm}$,最大冻土深度 $0.08 \sim 2.81\text{ m}$,年平均地温 $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 。

3. 地质与地貌特征

在冻土地区由地表冻融作用形成的地貌,常具有形态小、类型多的特点,有些形态十分奇特,主要有石海、石河、冻胀丘、热融沉陷、融冻泥流、构造土等。

(1) 石海,是在平缓的山顶或山坡,基岩经寒冻风化在原地形成的大片碎石或角砾的堆积地貌,多发育在富有节理的花岗岩、玄武岩等岩性坚硬的地区;

(2) 石河,指集中在山坡沟槽中的冻融风化岩屑堆积体,在冻融和重力作用下,碎石可徐徐向下蠕移;

(3) 冻胀丘,指由冻胀作用形成的地面局部隆起地形,由于不均匀的地下聚冰作用,地下常常形成冰透镜体,并使地面隆起,其长可达数米至数十米,高几十厘米至几十米,多见于水分和细粒物质较多的平原地区;

(4) 热融沉陷,是由气候转暖或人为因素引起冻土中的冰体融化,造成地面的局部沉陷,可形成热融洼地;

(5) 融冻泥流,指坡地上较细的物质,在下层冻结而表层融化的情况下,融化层被水浸湿,由于重力作用沿坡向下蠕流,在斜坡上可形成许多舌状的台阶和坡坎;

(6) 构造土,指由冻裂作用和冻融分选作用形成的网格状地面,包括多边形土、石环、石带等。

在长期的冻融作用下,还可形成高夷平台地和大面积的冻融剥夷地形。

中国多年冻土又可分为高纬度多年冻土和高海拔多年冻土,前者分布在东北地区,后者分布在西部高山高原及东部一些较高山地(如大兴安岭南端的黄岗梁山地、长白山、五台山、太白山)。

(1) 东北冻土区为欧亚大陆冻土区的南部地带,冻土分布自北而南具有明显的纬度地带性规律,分布的面积减少。本区有宽阔的岛状冻土区(南北宽 $200 \sim 400\text{ km}$),其热状态很不稳定,对外界环境因素改变极为敏感。东北冻土区的自然地理南界变化在北纬 $46^{\circ}36' \sim 49^{\circ}24'$,是以年均温 0°C 等值线为轴线摆动于 0°C 和 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 等值线之间的一条线。

(2) 在西部高山高原和东部一些山地,一定的海拔高度以上(即多年冻土分布下界)才有多年冻土出现。

冻土分布具有垂直分带规律,如祁连山热水地区海拔 3 480 m 出现岛状冻土带,3 780 m 以上出现连续冻土带;而在青藏公路途经的昆仑山上,岛状冻土带分布于海拔 4 200 m 左右,连续冻土带分布于 4 350 m 左右。青藏高原冻土区是世界中、低纬度地带海拔最高(平均 4 000 m 以上)、面积最大(超过 100 万 km^2)的冻土区,其分布范围北起昆仑山,南至喜马拉雅山,西抵国界,东缘至横断山脉西部、巴颜喀拉山和阿尼马卿山东南部。在上述范围内有大片连续的多年冻土和岛状多年冻土。在青藏高原地势西北高、东南低,年均气温和降水分布西北低、东南高的总格局影响下,冻土分布面积由北和西北向南和东南方向减小。高原冻土最发育的地区在昆仑山至唐古拉山南区间,本区除大河湖融区和构造地热融区外,多年冻土基本呈连续分布。往南到喜马拉雅山为岛状冻土区,仅藏南谷地出现季节冻土区。

中国高海拔多年冻土分布也表现出一定的纬向和经向的变化规律。冻土分布下界值随纬度降低而升高,二者呈直线关系。冻土分布下界值中国境内南北最大相差达 3 000 m,除阿尔泰山和天山西部积雪很厚的地区外,下界处年均气温由北而南逐渐降低($-3\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -2\text{ }^{\circ}\text{C}$)。西部冻土下界比雪线低 1 000 ~ 1 100 m,其差值随纬度降低而减小。东部山地冻土下界比同纬度的西部高山一般低 1 150 ~ 1 300 m。

4. 影响冻土分布的区域性因素

影响冻土分布的区域性因素很多。青藏高原沿活动断裂常形成融区(道),这些融区将连续冻土切割成片状。坡向和坡度的差别,往往使山地冻土具有明显的非对称性,如在西部高山高原,南北坡冻土下界相差 200 ~ 400 m。

温度与厚度。中国多年冻土属于温度较高、厚度不大的多年冻土。东北地区多年冻土的年均温度(指地温年变化层底部的温度)大多在 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 0$,最低 $-4.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;纬度降低 1° ,年均地温升高 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;地温年变化深度 12 ~ 16 m。冻土厚度亦随纬度降低而减小,最厚达 100 m,大多在 50 m 以下。低洼处冻土比高处温度低、厚度大,有别于一般随地势增高冻土温度降低和厚度增大的特点,这是东北冻土的典型特征。在西部高山、高原冻土区,海拔每升高 100 m,冻土温度降低 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,厚度增加 10 ~ 30 m 不等;地温的纬向变化与东北大致相同;年均温度最低 $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -4\text{ }^{\circ}\text{C}$,厚度达 100 ~ 200 m;地温年变化深度由 6 ~ 17 m 不等;南北坡年均地温差 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,冻土厚度 50 ~ 80 m,细颗粒冻土层温度比粗颗粒土低,在高原上要差 $1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

季节冻结与融化。按年均地温分类,中国多年冻土区的季节冻结和融化应属过渡、半过渡及长期稳定类型,对于东北区以前两者为主,对于西部冻土区以后两者为主。

季节融化层大多与多年冻土层相衔接,在多年冻土南界和下界附近及冻结层上水冻不透的地段会出现不衔接。最大季节融化深度在细颗粒土中为 0.5 ~ 2.5 m,东北和西部冻土区相差无几,但在基岩裸露的山坡和山顶,东北达 8 ~ 10 m,西北高原上只有 3 ~ 4 m。季节冻结层主要分布在融区内,最大冻结深度 2 ~ 8 m 不等。季节冻结和融化层与冻结层上水之间有密切的、特殊的动力联系,是冻土区各种冻土现象的发育、工程建筑物冻害及北方许多农田春涝产生的直接原因。

5. 地下冰

中国多年冻土层中地下冰分布广泛。其分布也呈现一定的地带性规律,随年均地温降低,土的含冰量和地下冰厚度有增加的趋势。但其地域分异规律却受地形、岩性和含水率等区域因素制约。在植被茂密、地表潮湿的缓阴坡(青藏公路沿线坡度小于 10°)和山间洼地,含水率很大的湖相沉积和坡积(包括泥流堆积)粉、黏粒为主的细颗粒土或泥炭层中,常发育有厚度几十厘米至六七米的厚冰层,顶面大多平行地面,埋深与最大季节融化深度几乎一致(几十厘米至一两米)。水平厚冰层主要发育在地温年变化层之内,往下迅速变薄。成因类型有分凝冰、胶结一分凝冰,前者发育在后生型冰土层中,后者形成于后生、共生兼有的复式冻土层中。在冻胀丘中发育有侵入冰和分凝冰。在砂卵砾石层及碎屑层中,地下冰多为胶结或胶结一分凝类型,常构成砾岩状构造冻土,间有层状、网状、包裹状构造冻土。在天山冰碛层中发育有厚达百米、含冰量很大且垂向分布均匀的共生冻土层。此外,天山的冰碛层里发现有埋藏冰,大兴安岭古石海中在苔藓层下即见块石间有地下冰。在基岩中地下冰常沿裂隙呈脉状分布,大兴安岭冰脉宽达 15 ~ 20 cm,延伸至地下 50 余米。中国冻土区至今尚未发现如西伯利亚和北美所见到的大型冰楔和冰脉。

多年冻土形成时代,中国多年冻土在晚更新世冰期时分布广泛,且规模较现代大。但对晚更新世以来的冻土形成存在不同意见。对于青藏高原,一种意见认为晚更新世冻土在全新世高温期已消融殆尽,现代

冻土形成于新冰川期(距今3 000年);另一意见认为在高温期仅上部有过消融,新冰川期时冻土又有新的增长。对于东北区冻土,目前认识较倾向于高温期时上部冻土局部有过消融,局部地方可能融透,小冰期时又有增长。新老冻土叠加的冻土层与单一新冻土层(距今3 000年以来形成的)的界线,大致与现今大片连续冻土区南界相当。

1.1.2 寒区路桥工程概况

修建于20世纪50年代的青藏公路是我国冻土区公路的代表。青藏公路由南至北穿越冻土区750 km,经常发生冻土破坏现象。在铺砌了黑色路面之后,由于吸热量增多,导致路基地下冰融化,加剧了路面的破损。另外,由于全球气候转暖,冰河后退,以及受人为活动的影响,青藏高原多年冻土层已发生明显的退化。青藏公路虽经一期二期整治,但病害仍难以根治,路基主要病害有融沉、冻胀、波浪、纵裂、扭曲、反拱等,高路堤引起的次生病害及交通安全问题也不容忽视。路面主要病害有各种类型的裂缝(尤其是反射裂缝)、变形、坑槽、松散等(图1.1~图1.8)。



图 1.1 路基冻胀现象



图 1.2 路面冻胀现象