



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

交通基础设施检测 与养护技术

黄晓明 刘寒冰 主编

<http://www.tup.com.cn>

清华大学出版社

全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

交通基础设施检测 与养护技术

黄晓明 刘寒冰 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为全国工程硕士专业学位教育指导委员会的推荐用书,是交通运输工程领域的核心教材。全书贯彻先进性、灵活性、复合性、工程性和创新性的基本原则,坚持理论与实践相结合,在讲述交通运输基础设施检测与养护技术的基础理论知识的同时,也注重工程实际训练。

本书主要包括:概述、常用检测仪器和数据统计方法、路基工程检测与养护、路面工程检测及养护、桥梁的检测与养护加固技术、隧道的检测与养护加固技术、轨道检测与养护、交通基础设施服务性能检测、交通基础设施信息化管理等。

本书可作为交通运输工程领域的教师、研究生教学用书,也可以供公路、铁路、水路、民航、土木(桥梁与隧道)等交通运输部门和单位的广大管理和技术人员参考使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

交通基础设施检测与养护技术/黄晓明,刘寒冰主编. —北京:清华大学出版社,2010.12
(全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材)

ISBN 978-7-302-24438-7

I. ①交… II. ①黄… ②刘… III. ①交通运输业—基础设施—检测—研究生—教材
②交通运输业—基础设施—保养—研究生—教材 IV. ①U

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 234815 号

责任编辑:汪亚丁 赵从棉

责任校对:赵丽敏

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:33.25 字 数:719 千字

版 次:2010 年 12 月第 1 版 印 次:2010 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:65.00 元

产品编号:032976-01

全国工程硕士交通运输工程领域教育协作组

成 员 单 位

西南交通大学

吉林大学

北京航空航天大学

南京航空航天大学

河海大学

上海交通大学

新疆农业大学

兰州交通大学

西北工业大学

北京工业大学

南京林业大学

山东理工大学

东南大学

东北林业大学

昆明理工大学

长安大学

同济大学

长沙理工大学

中南大学

哈尔滨工业大学

哈尔滨工程大学

石家庄铁道学院

北京理工大学

沈阳建筑大学

武汉理工大学

大连海事大学

上海海事大学

北京交通大学

华东交通大学

中国民航大学

华南理工大学

重庆交通大学

江苏大学

华中科技大学

大连交通大学

合肥工业大学

编 委 会

主任委员：

邓学钧 刘建新

委 员：

邓学钧 东南大学

邱延峻 西南交通大学

刘建新 西南交通大学

过秀成 东南大学

杨晓光 同济大学

吴兆麟 大连海事大学

王云鹏 吉林大学

前言

随着我国经济社会的发展,对高层次、应用型专门人才的需求无论是规模还是质量都有更大的提高。目前,我国硕士研究生教育存在培养目标比较单一、人才培养的适应性不强、学术性硕士研究生规模过大、专业学位研究生培养规模过小(仅占硕士学位的 10%)等问题,与社会经济发展需要之间存在一定的脱节现象,严重影响了研究生教育的可持续发展。因此,培养经济社会发展急需的应用型人才,实现研究生教育的分类培养、结构优化,应用型与学术型高层次人才培养的共同发展是目前研究生培养的迫切需求。

专业学位(professional degree)是相对于学术性学位(academic degree)而言的学位类型,其目的是培养具有扎实理论基础,并适应特定行业或职业实际工作需要的应用型高层次专门人才。专业学位与学术性学位处于同一层次,培养规格各有侧重,在培养目标上有明显差异。专业学位以专业实践为导向,重视实践和应用,以培养在专业和专门技术上受到正规的、高水平训练的高层次人才,授予学位的标准要反映该专业领域的特点和对高层次人才在专门技术工作能力和学术能力上的要求。专业学位教育的突出特点是学术性与职业性紧密结合,获得专业学位的人,主要不是从事学术研究,而是从事具有明显的职业背景的工作。

交通运输领域工程硕士培养是工程硕士专业学位研究生的专业领域之一,为了提高交通运输工程领域工程硕士研究生的培养质量,2007 年 9 月交通运输工程领域协作组(以下简称协作组)组织本领域教材编审委员会的专家在西南交通大学召开了“全国工程硕士交通运输领域和新教材建设研讨会”,决定编写《交通基础设施检测与养护技术》教材,并成立了编写组。2007 年 12 月在华南理工大学对本教材的编写大纲进行了研讨,确定了编写大纲。2008 年 10 月在重庆交通大学召开的“全国工程硕士交通运输工程领域 2008 年工作研讨会”期间,进行了本教材的初稿交流会。会后参编人员又对教材初稿进行了进一步修改,经过本教材主编的统稿,于 2009 年 11 月完成本教材的最终稿,并提交清华大学出版社。

本教材第 1 章、第 2 章、第 4 章由东南大学黄晓明教授负责编写,第 3 章由西南交通大学罗强教授编写,第 5 章由吉林大学刘寒冰教授编写,第 6 章由西南交通大学王鹰教授编写,第 7 章由石家庄铁道学院王明生教授编写,第 8 章由华东交通大学雷晓燕教授和刘林芽教师编写,第 9 章由华南理工大学符铨砂教授编写,全书由黄晓明教授和刘寒冰教授统稿。在编写过程中,编写人员遵循工程硕士研究生培养教材应遵循的 5 个基本原则,即先进性、

灵活性、复合性、工程性和创新性,使本教材的具体内容符合交通运输工程硕士研究生的教育特点,反映国内外相关领域科技发展的最新成果,加强典型工程案例教学,重视培养研究生在工程、技术与管理等方面的综合与集成能力。

本教材受“全国工程硕士交通运输工程领域核心教材建设工程”资助,其出版得到了清华大学出版社的大力支持,责任编辑汪亚丁等为本教材的编辑付出了辛勤的劳动,另外,编写人员在编写过程中参阅了国内外专家有关资料,在此一并致谢。

希望读者在使用过程中多提意见,使本书日臻完善。

编 者

2010 年 5 月

目 录

第 1 章 概述 /1

1.1	交通基础设施的建设与发展	1
1.2	路基路面设计的基本理论与方法	2
1.2.1	沥青路面结构的发展	2
1.2.2	中国沥青路面结构设计方法	4
1.3	桥梁与隧道设计的基本理论与方法	11
1.3.1	桥梁的基本体系	12
1.3.2	装配式简支梁(板)桥的设计理论和方法	13
1.3.3	连续梁桥的设计理论与方法	15
1.3.4	拱桥的设计理论与方法	17
1.3.5	其他体系桥梁的设计理论与方法	18
1.4	路基构造与技术标准	18
1.4.1	路基构造	18
1.4.2	我国铁路路基技术标准体系	22
1.4.3	我国公路路基和路面技术标准体系	26
1.4.4	路基填料与路基压实	29

第 2 章 常用检测仪器和数据统计方法 /41

2.1	交通基础设施检测设备介绍	41
2.1.1	量测仪表的基本概念	42
2.1.2	仪表的率定	44
2.1.3	应力(应变)量测	44
2.1.4	位移量测	54
2.1.5	其他变形的量测	57
2.1.6	裂缝量测	58

2.1.7	力的测定	58
2.1.8	振动参量的量测	60
2.1.9	光纤传感器的应用	64
2.1.10	数据采集系统	66
2.2	数据统计方法	70
2.2.1	间接测定值的推算	71
2.2.2	静力试验误差分析	71
2.2.3	试验结果的表达	76
2.2.4	动力试验的数据处理	78

第3章 路基工程检测与养护 /82

3.1	路基压实检测及评价技术	83
3.1.1	路基压实检测技术	83
3.1.2	路基压实评价技术	94
3.1.3	特殊路基的压实问题	104
3.2	路基状态检测及加固技术	108
3.2.1	路基状态检测技术	108
3.2.2	病害路基的加固技术	113
3.3	路基附属设施检查及维护技术	119
3.3.1	路基排水设施检查及养护技术	119
3.3.2	路基边坡防护设备检查及养护技术	135
3.3.3	路基支挡结构检查及养护技术	142
3.4	路基长期服役性能检测及动力学性能评价技术	148
3.4.1	路基长期服役性能的检测及评价技术	149
3.4.2	路基动力学性能的检测及评价技术	151

第4章 路面工程检测及养护 /161

4.1	路面综合强度测定与评价	161
4.1.1	弯沉测试设备	161
4.1.2	贝克曼弯沉测定法	164
4.1.3	落锤式弯沉仪测量法	166
4.2	平整度测定	182
4.2.1	平整度测定方法	182
4.2.2	平整度影响因素	185
4.2.3	平整度对路面使用的影响	186

4.2.4	平整度评价指标	187
4.2.5	现行规范规定方法	194
4.2.6	规范指标评述	196
4.3	摩擦系数测定	196
4.3.1	路面抗滑性能及其影响因素	197
4.3.2	路面抗滑性能评价指标	198
4.3.3	路面抗滑性能评价的测定方法	201
4.4	雷达测厚系统	204
4.4.1	路用探地雷达原理	205
4.4.2	路用探地雷达在道路评价中的应用	207
4.5	路面养护与维修	210
4.6	沥青混凝土路面养护技术	212
4.6.1	沥青路面评价体系	212
4.6.2	沥青路面常见养护技术	216
4.6.3	沥青路面养护方案的选择	223
4.7	水泥混凝土路面养护技术	227
4.7.1	水泥路面质量评价体系	227
4.7.2	水泥路面常见病害维修	230
4.7.3	水泥混凝土常见养护技术	234
4.7.4	水泥混凝土养护方案选择	243

第5章 桥梁的检测与养护加固技术 /244

5.1	桥梁的定期检查与评定	244
5.1.1	桥梁检查的分类	244
5.1.2	桥梁的定期检测技术	245
5.1.3	桥梁评定	253
5.2	结构混凝土现场检测技术	256
5.2.1	概述	256
5.2.2	混凝土抗压强度的无损检测技术	260
5.2.3	结构混凝土缺陷无损检测技术	271
5.3	桥梁结构现场检测与评定	283
5.3.1	桥梁静载试验	283
5.3.2	桥梁动载试验	296
5.3.3	桥梁结构耐久性综合评定技术	303
5.3.4	桥梁结构加固技术	304

5.3.5	桥梁加固的技术途径、设计原则及基本要求	305
5.3.6	常用的桥梁加固方法	307

第6章 隧道的检测与养护加固技术 /316

6.1	隧道的定期检查与评定	316
6.1.1	隧道检测工作常用术语	316
6.1.2	隧道检测工作的重要性	318
6.1.3	隧道检测工作的基本任务	318
6.1.4	隧道检测工作制度	320
6.1.5	隧道检测工作要求	321
6.1.6	检测结果评定	322
6.2	隧道常见病害	325
6.2.1	衬砌漏水	325
6.2.2	衬砌裂纹	327
6.2.3	衬砌腐蚀	328
6.2.4	衬砌的碱-骨料反应病害	330
6.2.5	衬砌压溃及剥落	332
6.2.6	衬砌变形及位移	335
6.2.7	基床裂损及变形	337
6.2.8	洞门裂损及洞口病害	339
6.2.9	隧道冻害	341
6.3	隧道无损检测	344
6.3.1	地质雷达法	344
6.3.2	声波法	346
6.3.3	瞬变电磁法	347
6.3.4	超声回弹综合法	348
6.3.5	TSP203 隧道地质超前预报系统	349
6.3.6	多频电磁法	350
6.3.7	无损检测质量的检查及评定	351
6.4	隧道病害调查与加固	351
6.4.1	调查计划	351
6.4.2	调查内容	352
6.4.3	资料调查	352
6.4.4	隧道病害调查要点	353
6.4.5	隧道混凝土强度检测	354

第 7 章 轨道检测与养护

/355

7.1	概述	355
7.1.1	轨道结构	355
7.1.2	轨道几何形位	358
7.1.3	常用检测方法	360
7.2	轨道工务检测	361
7.2.1	轨道质量标准	361
7.2.2	轨道质量检测方法	363
7.3	轨道结构力学检测	369
7.3.1	轨道静力学测试	369
7.3.2	轨道动力学检测	376
7.4	无缝线路检测	381
7.4.1	无缝线路爬行观测	381
7.4.2	无缝线路伸缩器位移检测	381
7.5	轨道养护维修	386
7.5.1	修程与修制	386
7.5.2	线路大修作业	387
7.5.3	起拨道作业	390
7.5.4	道床清筛与更换	392
7.5.5	更换钢轨	393
7.5.6	更换轨枕	394
7.5.7	更换道岔部件	396
7.5.8	整组更换提速道岔	400

第 8 章 交通基础设施服务性能检测

/405

8.1	概述	405
8.1.1	噪声评价量	405
8.1.2	振动评价量	410
8.1.3	信号处理与频谱分析	412
8.2	铁路交通的行车安全性检测与评定	418
8.2.1	行车安全性评价标准	418
8.2.2	轮轨垂直力检测	419
8.2.3	轮轨水平力检测	421

8.3	铁路及公路交通的行车舒适性检测与评定	422
8.3.1	振动加速度指标	423
8.3.2	平稳性指标	426
8.3.3	车辆通过曲线时的舒适度指标	427
8.3.4	振动舒适度的检测与评定	428
8.4	铁路及公路交通的噪声监测与控制技术	429
8.4.1	交通噪声评价标准	429
8.4.2	交通噪声测量	430
8.4.3	交通噪声控制技术	433
8.5	铁路及公路交通的环境振动检测与控制技术	437
8.5.1	交通环境振动概述	437
8.5.2	交通环境振动评价标准	440
8.5.3	交通环境振动测量	442
8.5.4	环境振动控制技术	444
 第9章 交通基础设施信息化管理		446
9.1	概述	446
9.1.1	交通基础设施信息化管理系统	446
9.1.2	交通基础设施管理系统的起源及发展	449
9.1.3	交通基础设施管理系统发展趋势	453
9.2	交通基础设施的分类管理与状况评价	455
9.2.1	交通基础设施的分类管理	455
9.2.2	交通基础设施状况评价指标体系	456
9.2.3	路面状况评价模型及算法	457
9.2.4	桥梁状况评价模型及算法	460
9.2.5	隧道状况评价模型及算法	465
9.2.6	轨道状况评价模型及算法	468
9.3	状况预测与养护计划	470
9.3.1	预测模型及方法	470
9.3.2	中长期养护计划	471
9.3.3	寿命周期维护和管理	473
9.4	养护计划与维修决策	476
9.4.1	养护对策模型	476
9.4.2	养护费用估算模型	476
9.4.3	维修紧迫性及其排序	478

9.4.4	资金分配与维修计划·····	479
9.5	交通基础设施管理系统总体设计·····	479
9.5.1	系统设计原则·····	480
9.5.2	技术路线与系统开发流程·····	480
9.5.3	系统总体架构·····	482
9.6	交通基础设施管理系统开发与实施·····	492
9.6.1	系统需求及功能特点·····	492
9.6.2	系统设计·····	496
9.6.3	桥梁网级管理系统·····	502
9.6.4	桥梁项目级管理系统·····	505
9.6.5	交通基础设施管理系统运营实施·····	507

参考文献 /512

概 述

1.1 交通基础设施的建设与发展

从1988年我国大陆第一条高速公路正式通车到现在,我国的高速公路建设取得了举世瞩目的成就,1988年到1996年平均每年建设高速公路324 km,这个速度仅次于美国,居世界第二。到2009年底,全国公路通车总里程达386.08万 km,其中高速公路6.51万 km;全国机动车保有量为186 580 658辆。其中,汽车76 193 055辆,摩托车94 530 658辆,挂车1 201 519辆。全国机动车驾驶员199 765 889人,其中汽车驾驶员138 203 911人。除西藏外,各省、自治区和直辖市都已拥有高速公路,有21个省区市高速公路里程超过1000 km,其中,河南、山东、广东三省突破4000 km,江苏、河北、浙江和湖北四省突破3000 km,辽宁、四川、云南、广西、安徽、陕西、江西七省(区)超过2000 km。

高速公路是20世纪30年代在西方发达国家开始出现的专门为汽车交通服务的基础设施。高速公路在运输能力、速度 and 安全性方面具有突出优势,对实现国土均衡发展、建立统一的市场经济体系、提高现代物流效率和公众生活质量等具有重要作用。目前全世界已有80多个国家和地区拥有高速公路,通车里程超过了23万 km。高速公路不仅是交通现代化的重要标志,也是国家现代化的重要标志。2004年12月17日,经国务院审议通过的《国家高速公路网规划》标志着中国高速公路建设发展进入了一个新的历史时期。

《国家高速公路网规划》采用放射线与纵横网格相结合的布局方案,形成由中心城市向外放射以及横连东西、纵贯南北的大通道,由7条首都放射线、9条南北纵向线和18条东西横向线组成,简称为“7918网”,总规模约8.5万 km,其中主线6.8万 km,地区环线、联络线等其他路线约1.7万 km。

2009年,全国铁路完成货运总发送量(含行包运量)33.17亿 t,完成货运总周转量(含行包周转量)33 118.06亿 t·km,全国铁路完成旅客发送量15.25亿人,完成旅客周转量

7878.89 亿人·km;自 2007 年 4 月 18 日时速 200 km 及以上的“和谐号”动车组列车开行至 2008 年底,动车组列车共完成旅客发送量 6121 万人,旅客周转量 129 亿人·km;200 km 以上的旅客运输比重由上年的 58.4%增加到 59.2%;由于长距离及中长距离客流比重的增加,全国铁路旅客平均行程达到 532 km。这些为国民经济持续、快速、稳定发展提供了有力的支持。

2005 年国务院批准的《中长期铁路网规划》在客运专线方面,为满足快速增长的旅客运输需求,建立省会城市及大中城市间的快速客运通道,规划“四纵四横”铁路快速客运通道以及 3 个城际快速客运系统。建设客运专线 1.2 万 km 以上,客车速度目标值达到 200 km/h 及以上;在完善路网布局和西部开发性新线方面,以扩大西部路网规模为主,形成西部铁路网骨架,完善中东部铁路网结构,提高对地区经济发展的适应能力。规划建设新线约 1.6 万 km;在路网既有线改造方面,加强既有路网技术改造和枢纽建设,提高路网既有通道能力。规划既有线增建二线 1.3 万 km,既有线电气化 1.6 万 km。

在“十一五”期间,建设新线 17 000 km,其中客运专线 7000 km;建设既有线复线 8000 km;既有线电气化改造 15 000 km。2010 年全国铁路营业里程达到 9 万 km 以上,复线、电化率均达到 45%以上,快速客运网总规模达到 20 000 km 以上,煤炭通道总能力达到 18 亿 t,西部路网总规模达到 35 000 km,形成覆盖全国的集装箱运输系统。

路基是轨道或路面的基础,它承受着轨道及机车车辆或路面及交通荷载的静荷载和动荷载,并将荷载向地基深处传递扩散。在纵断面上,路基必须保证路线需要的高程;在平面上,路基与桥、隧连接组成完整贯通的线路。

在土木工程中,路基在施工数量、占地面积及投资方面都占有重要地位,是铁路设计和公路设计的重要组成部分。为了加强路基设计原理与方法的学习,本书将集中讲述路基设计的原理与方法,为研究生、工程技术人员提供参考。

1.2 路基路面设计的基本理论与方法

1.2.1 沥青路面结构的发展

沥青路面结构在行车荷载作用系应满足承载力、耐久性等要求,因此,对沥青路面结构和材料组成应针对不同路面结构组合的特点进行有针对性的设计,以满足沥青路面耐久性的要求。

从 1848 年在 Nottingham 铺筑第一条沥青碎石路面开始至今,沥青路面已经具有 160 多年的历史。路面设计方法的起源则要追溯到 20 世纪初,1901 年在美国麻省道路委员会第八次年会上发表了世界上第一个路面设计公式,这可以说是路面设计方法研究的起点。

以后 40 年中又提出了许多的设计方法,如 1933 年的 Downs 公式、1934 年的 Gray 公式和 1940 年的 Goldbeck 公式等。这些公式的共同特点是,以轮载分布到土基顶面的应力大小作为设计依据,目的在于防止土基出现剪切破坏,采用的分析工具是简单的静力平衡原理。这类方法统称为古典理论设计法,是路面设计方法的第一代。

1920 年以后出现了一些以解决土基强度为核心的设计方法,采用路基土分类、承载板试验、室内承载比试验或三轴试验方法确定土基强度,然后根据经验确定不同强度土基所需要的路面结构厚度。如 1929 年美国公路管理局提出的 PRA 分类法以及 Group Index 法,1947 年提出的基于承载板试验的 Meclod 法,1942 年由 O. J. Porter 根据土的 CBR 值与路面调查结果提出的 CBR 设计法,1949 年美国堪萨斯州的三轴仪法等。上述设计方法可以称为路面设计方法的第二代。

为了在实际使用条件下观察道路的使用性能,美国公路研究委员会从 20 世纪 40 年代中期开始至 60 年代初,开展了三次重要的道路试验,即 Maryland 试验路(1941—1952)、WASHO 试验路(1952—1954)和 AASHTO 试验路(1956—1960)。根据 AASHTO 试验路的研究成果,1961 年提出了 AASHTO 设计指南。AASHTO 方法将平整度、车辙和裂缝率等对路面破坏有影响的主要因素组合成一个指标(PSI)来综合评价路面实际工作状态,并根据不同道路等级对路面的使用状况要求,提出路面设计标准。然后以实际行车作用下路况变化的实测资料为依据,建立不同行车作用与路面工作状态的关系,得出指导路面设计的经验公式。AASHTO 设计法是以使用性能为基础的经验设计法,其他国家也根据本国的实际情况相继提出了各自的经验设计法。这类方法可以称为路面设计方法中的第三代。

1943 年 Burmister 发表了弹性层状理论,为沥青路面设计的理论分析方法的出现奠定了基础。随着理论分析方法的逐步完善,加上路面使用经验的总结和材料参数测定方法的进步,理论分析法在此后的几十年里有了长足的发展。在对 AASHTO 试验路结果进行分析、总结的过程中,1953 年 Kerkhoven 和 Dormon 首次提出了考虑土基顶面压应变以控制土基塑性变形的设计标准,1960 年 Saal 和 Pell 则建议采用沥青层底部的水平拉应变为设计指标。1963 年壳牌石油公司采用上述标准,将理论计算结果与 WASHO 试验路和 AASHTO 试验路的成果相结合,提出了 SHELL 设计方法。1981 年,美国地沥青协会(AI)在《沥青路面厚度设计手册》(MS-1)第九版中,也放弃经验法而采用了理论分析方法。这些方法将力学模型与经验参数和经验关系相结合,可以称为力学-经验法,这是路面设计方法的第四代。目前世界各国的柔性路面设计大多采用这种方法。

2002 年以前,美国就沥青路面设计方法进行了大量的研究,发表了 AASHTO 2002 沥青路面力学经验设计方法,根据沥青路面设计的特点,提出了以下设计过程。

(1) 对场地条件作试验性设计,确定地基承载能力、沥青混凝土和其他路面材料、交通荷载、气候、路面类型以及修建类型(新建还是改建)。