



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪交通版高等学校教材

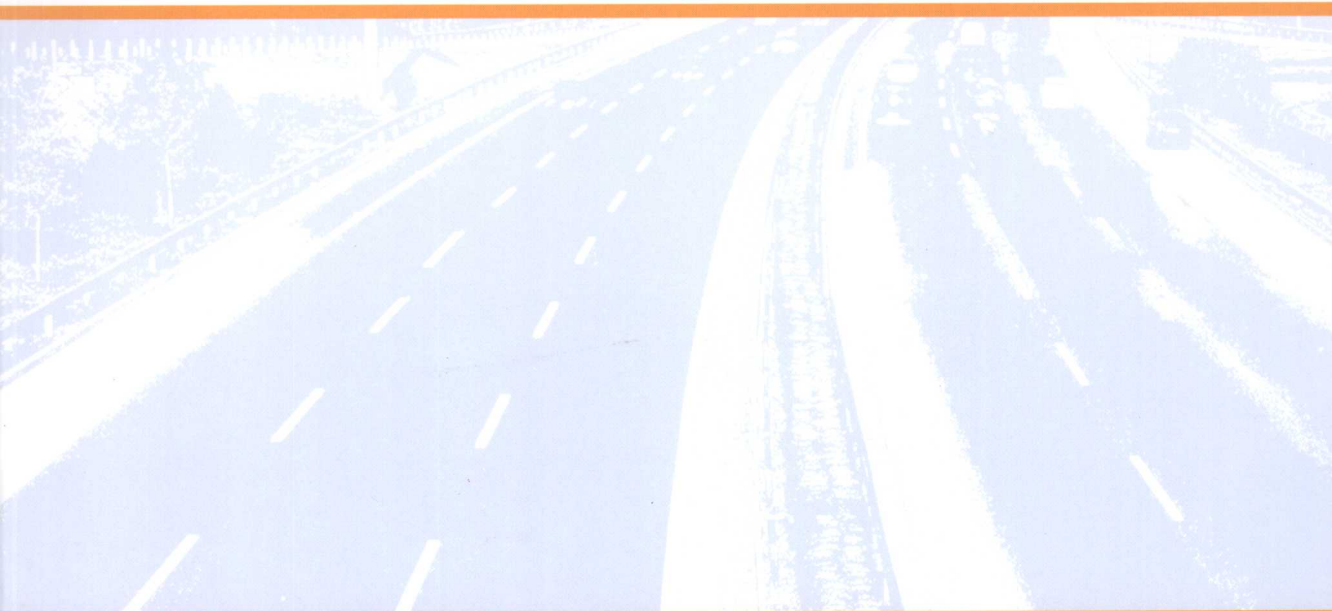
路基路面工程

Road Subgrade and Pavement Engineering

(第三版)

邓学钧 编 著

张登良 许志鸿 主 审



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21 世纪交通版高等学校教材

Road Subgrade and Pavement Engineering

路基路面工程

(第三版)

邓学钧 编著

张登良 主审
许志鸿

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材为“十一五”国家级规划教材,共分为17章,其主要内容包括:总论,行车荷载,环境因素和材料的力学性质,一般路基设计,路基边坡稳定性分析,路基防护与加固,挡土墙设计,路基路面排水,土质路基施工,石质路基爆破施工,碎、砾石路面,块料路面,无机结合料稳定路面,沥青路面,水泥混凝土路面,路面养护与管理等。

本书为高等学校交通土建工程领域中公路工程、城市道路工程、市政工程、桥梁隧道工程、机场工程、港口航道工程等专业的教材,也可供从事公路、城市道路、机场道路建设及交通行业有关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

路基路面工程 / 邓学钧编著. —3版. —北京:人民交通出版社,2008.4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 21世纪交通版高等学校教材

ISBN 978-7-114-07034-1

I.路... II.邓... III.①路基—道路工程—高等学校—教材②路面—道路工程—高等学校—教材 IV.U416

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 033051 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

书 名: 21 世纪交通版高等学校教材

路基路面工程(第三版)

著 作 者: 邓学钧

责任编辑: 沈鸿雁 郑蕉林

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 34.5

字 数: 869 千

版 次: 2000 年 2 月第 1 版 2005 年 8 月第 2 版 2008 年 5 月第 3 版

印 次: 2008 年 5 月 第 1 次印刷 总第 26 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07034-1

印 数: 56001~66000 册

定 价: 52.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铎砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘书长:沈鸿雁 (人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在1998年7月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养21世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套21世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000年6月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的12所高校的专家学者组成21世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约130种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近20所高校的百余名教授承担约130种教材的主编工作。2001年6月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

21世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才的需要。(2)注重学生基本素质、基本能力的

培养,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

21 世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001 年 12 月

第三版前言

2000年2月《路基路面工程》第一版出版。2001年12月,21世纪交通版高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会将本书列入“面向21世纪交通版高等学校教材”规划。作者在第一版的基础上,通过工程实践,教学实践和广泛调研,对教材内容作了修改,并于2005年8月出版了《路基路面工程》第二版。经过两个版本23次印刷,总印刷量超过14万册。

2006年我国进入第十一个五年建设计划阶段,高等教育面临新的发展机遇,《路基路面工程》很荣幸被列入国家级“十一五”高等学校教材建设规划。作者再次进行广泛调研后,对教材内容进一步作了调整与更新。《路基路面工程》第三版与前两版相比,在总体框架方面未作重大变更,主要是技术内容的更新与增减。

本书由东南大学邓学钧教授编著,由长安大学张登良教授、同济大学许志鸿教授主审。

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

邓学钧

2007年12月于东南大学

第二版前言

《路基路面工程》是高等学校土木工程领域中公路工程、城市道路工程、桥梁隧道工程、机场工程等专业的专业重要必修课。课程涉及内容广泛并与工程实践联系密切,既有普遍性,又有一定的地区特点。

本书力争反映本领域最新的科学技术成就,吸收国内外成功的经验和成熟的理论与方法,并且以我国最新出版的有关工程技术标准、规范为依据,叙述路基路面工程中的关键技术,以达到理论联系实际的目的。

与路基路面工程相关的科学很多,如材料科学、岩土工程、结构分析、管理科学等,从高等学校本科教育的培养目标出发,本书尽量对相关科学的基本概念、基本理论叙述清楚,若需要引用更为深刻的内容,则授课时,可以在保证主干教学内容的前提下,适当补充加强。

本课程是一门理论与实践并重、工程性较强的课程,讲授本课程除了系统的课堂教学之外,应配合组织实地参观、实物鉴别、课程作业、施工实习等辅助教学环节,以提高学生的感性认识和系统的接受能力。

本书是根据高等学校路桥及交通工程专业教学指导委员会于1994年10月召开的教材编写大纲审定会议审议通过的《路基路面工程》教材编写大纲编写的。全书共17章,由东南大学邓学钧编著和统稿。本书第一版于2000年2月出版,5年来经18次印刷,总发行量超过80000册,成为全国高校相关专业的首选教材。经过第十个五年建设计划的实施,我国公路、城市道路与机场工程建设又有新的发展,多数技术标准与规范、规程都已适时更新。本书及时吸取发展中的新技术,出版了《路基路面工程》第二版。第二版与第一版相比,在总体框架方面未作重大变更,主要是技术内容的更新与增减。

本书采用国家法定计量单位,即国际单位制(SI)。进行公制与国际单位制换算时,为计算简便,重力加速度一律取为 10m/s^2 。

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

邓学钧

2005年5月于东南大学

第一版前言

《路基路面工程》是高等学校土木工程领域中公路工程、城市道路工程、桥梁隧道工程、机场工程等专业的必修课程。课程涉及内容广泛并与工程实践联系密切,具有一定的地区特点。

本书力争反映本领域最新的科学技术成就,吸收国内外成功的经验和成熟的理论与方法,并且以我国最新出版的有关工程技术标准、规范为依据,叙述路基路面工程中的关键技术,以达到理论联系实际的目的。

与路基路面工程相关的科学很多,如材料科学、岩土工程、结构分析、管理科学等,从高等学校本科教育的培养目标出发,本书尽量对相关科学的基本概念、基本理论叙述清楚,若需要引用更为深刻的内容,则授课时,可以在保证主干教学内容的前提下,适当补充加强。

本课程是一门理论与实践并重、工程性较强的课程,讲授本课程除了系统的课堂教学之外,应配合组织实地参观、实物鉴别、课程作业、施工实习等辅助教学环节,以提高学生的感性认识和系统的接受能力。

本书是根据高等学校路桥及交通工程专业教学指导委员会于1994年10月召开的教材编写大纲审定会议审议通过的《路基路面工程》教材编写大纲编写的。全书共17章,第一、二、三章由东南大学邓学钧编写,第四、五、六、十一、十二、十五、十六、十七章由东南大学黄晓明编写,第七、八、九、十、十三、十四、十八章由东南大学黄卫编写。

全书由东南大学邓学钧主编,并担任全书统稿工作,由西安公路交通大学张登良主审。

本书采用国家法定计量单位,即国际单位制(SI)。进行公制与国际单位制换算时,为计算简便,重力加速度一律取为 10m/s^2 。

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

邓学钧

1999年5月于东南大学

目 录

第一章 总论	1
第一节 道路工程发展概况	1
第二节 路基路面工程的特点	5
第三节 影响路基路面稳定的因素	7
第四节 路基土的分类	8
第五节 公路自然区划	12
第六节 路基水温状况及干湿类型	15
第七节 路面结构及层位功能	23
第八节 路面的等级与分类	25
第二章 行车荷载、环境因素、材料的力学性质	27
第一节 行车荷载	27
第二节 环境因素影响	36
第三节 土基的力学强度特性	40
第四节 土基的承载能力	44
第五节 路基的变形、破坏及防治	48
第六节 路面材料的力学强度特性	49
第七节 路面材料的累积变形与疲劳特性	54
第三章 一般路基设计	59
第一节 路基设计的一般要求	59
第二节 路基的类型与构造	59
第三节 路基设计	62
第四节 路基附属设施	70
第四章 路基稳定性分析计算	72
第一节 概述	72
第二节 直线滑动面的边坡稳定性分析	73
第三节 曲线滑动面的边坡稳定性分析	76
第四节 软土地基的路基稳定性分析	86
第五节 浸水路堤的稳定性分析	89
第六节 路基边坡抗震稳定性分析	93
第五章 路基防护与加固	97
第一节 概述	97
第二节 坡面防护	97
第三节 冲刷防护	100
第四节 软土地基加固	104

第六章 挡土墙设计	116
第一节 概述.....	116
第二节 挡土墙的构造与布置.....	120
第三节 挡土墙土压力计算.....	125
第四节 挡土墙设计总则.....	142
第五节 重力式挡土墙设计.....	144
第六节 浸水路堤挡土墙设计.....	154
第七节 地震地区挡土墙设计.....	158
第八节 轻型挡土墙.....	160
第九节 加筋土挡土墙.....	171
第七章 路基路面排水设计	181
第一节 概述.....	181
第二节 路基排水设备的构造与布置.....	182
第三节 路面排水设计.....	193
第四节 明渠的水力水文计算.....	203
第五节 暗沟的水力水文计算.....	220
第八章 土质路基施工	229
第一节 概述.....	229
第二节 施工要点.....	231
第三节 路基压实.....	236
第九章 石质路基爆破施工	241
第一节 爆破作用原理.....	241
第二节 药包量的计算原理.....	246
第三节 设计参数及设计要素.....	252
第四节 综合爆破方法.....	260
第十章 碎、砾石路面	266
第一节 碎、砾石路面的力学特性.....	266
第二节 碎石路面与基层.....	269
第三节 级配砾(碎)石路面.....	272
第四节 优质级配碎石基层.....	274
第五节 碎(砾)石路面的养护.....	276
第十一章 块料路面	280
第一节 概述.....	280
第二节 天然块料路面.....	281
第三节 机制块料路面.....	284
第十二章 无机结合料稳定路面	286
第一节 概述.....	286
第二节 无机结合料稳定材料的物理力学特性.....	286
第三节 石灰稳定类基层(底基层).....	289
第四节 水泥稳定类基层.....	296

第五节	工业废渣稳定基层	302
第十三章	沥青路面	306
第一节	概述	306
第二节	沥青路面材料的结构与力学特性	313
第三节	沥青路面的稳定性与耐久性	329
第四节	沥青路面的原材料	344
第五节	沥青混合料组成设计	352
第六节	沥青路面施工与质量控制	363
第十四章	沥青路面设计	377
第一节	概述	377
第二节	弹性层状体系理论简介	380
第三节	沥青路面结构组合设计	385
第四节	我国沥青路面设计方法	389
第五节	外国沥青路面设计方法简介	411
第十五章	水泥混凝土路面	419
第一节	概述	419
第二节	水泥混凝土路面构造	419
第三节	水泥混凝土路面的原材料	429
第四节	路面混凝土配合比	435
第五节	水泥混凝土路面施工与质量控制	439
第六节	其他类型混凝土路面简介	448
第十六章	水泥混凝土路面设计	454
第一节	概述	454
第二节	弹性地基板体系理论简介	459
第三节	水泥混凝土路面应力分析	461
第四节	水泥混凝土路面可靠度设计	472
第五节	水泥混凝土路面结构组合设计	476
第六节	我国水泥混凝土路面设计方法	479
第七节	外国混凝土路面设计方法简介	498
第十七章	路面养护与管理	509
第一节	路面功能及其评价	509
第二节	路面管理系统简介	520
第三节	沥青路面的病害与防治	525
第四节	水泥混凝土路面维修与养护	527
主要参考文献		531

第一章 总 论

第一节 道路工程发展概况

中国是一个有 5 000 多年文明历史的国家。在这历史的长河中,我国勤劳、智慧的各族人民,在道路、桥梁的修建和车辆制造以及交通管理等方面,都取得过辉煌的成就,是我国古代灿烂文化的一部分。道路交通对于繁荣经济和交流文化,对于维护民族团结和国家统一,都作出了巨大贡献。中国古代道路和桥梁建筑,在世界上曾处于过领先地位,在世界道路交通史上留下了光辉的篇章。

根据《史记》记载,早在 4 000 多年前,中国已有了车和行车的道路。商代(约公元前 1600 年~公元前 1046 年)开始有驿道传送。西周(公元前 1046 年~公元前 771 年)开创了以都市为中心的道路体系,还建立了比较完善的道路管理制度。秦代(公元前 221 年~公元前 206 年)修驰道、直道,建立了规模宏大的道路交通网,总里程约有 1.2 万多公里。西汉时期(公元前 206 年~公元前 23 年)设驿亭 3 万处,道路交通呈现出更加繁荣的景象。特别是连接欧亚大陆的“丝绸之路”的开通,为东西方经济文化交流作出了贡献。唐代(公元 618~907 年)是中国古代经济和文化的昌盛时期,建成了以长安城(今西安)为中心约 2.2 万多公里的驿道网;到了宋、元、明、清各代(公元 960~1911 年),道路交通又有所发展。

尽管中国曾经创造了领先于世的古代道路文化,但是由于长期的封建制度和近百年帝国主义列强的侵略和掠夺,束缚了生产力的发展,旧中国道路发展十分缓慢,迟至 20 世纪初,中国公路的兴建才开始有所发展。

清末,在原有驿道上修建了一些很简陋的公路。1912~1949 年建国前,公路有了初步发展,全国先后共修建了 13 万公里公路。这些公路大多标准很低,设施简陋,路况很差。到 1949 年能够维持通车的仅有 8 万公里,全国有 1/3 的县不通公路,西藏地区没有一条公路。汽车运输是从 1901 年由国外输入第一辆汽车开始的,到 1949 年全国汽车保有量约 5 万辆,且大多数已破旧不堪,全国大部分地区主要还是依靠人力和畜力运输。

1949 年新中国成立以来,我国进入了社会主义建设的伟大时代。由于工农业生产迅速发展,人民生活逐步提高,尤其是建立和发展了汽车工业和石油工业,使我国公路交通事业得到了迅速发展。特别是 1978 年以后,国家执行了以经济建设为中心的政策,开始了建设有中国特色的社会主义的新时期,公路建设也开创了崭新的局面。到 2007 年底,全国公路通车里程达到 358.37 万公里,全国公路客、货运量分别达到 205.07 亿人和 163.94 亿吨。公路运输已渗入到经济建设和社会生活的各个方面,在国民经济中占有越来越重要的地位。

自 20 世纪 80 年代中期开始,中国大陆开始兴建高速公路。20 多年来,陆续投入运行的主要高速公路有京石、京津塘、沈大、合宁、济青、开洛、广深、太旧、合芜、成渝、沪宁、沪杭、桂柳、呼包、哈大、泉厦、石安、安新等线路,到 2007 年底高速公路总里程达到 5.39 万公里。高速

公路的建设和使用,为汽车快速、高效、安全、舒适地运行提供了良好的条件,标志着我国的公路运输事业和科学技术水平进入了一个崭新的时代。

路基路面直接承受行驶车辆的作用,是道路工程的重要组成部分,通常是根据车辆行驶的需要,选用优质材料建成。如我国古代曾以条石、块石或石板等铺筑道路路面,以提供人畜以及人力、畜力车辆的运行。欧洲在公元前 3500 年,在美索不达米亚(Mesopotamia),继发明了车轮后不久,即用石料修筑了第一条有硬质路面的道路。进入 20 世纪后,随着汽车工业和交通运输的发展,现代化公路的路基路面工程逐步形成了新的学科分支。它主要研究公路、城市道路和机场道路路基路面的合理结构、设计原理、设计方法、材料性能要求以及施工、养护、维修和管理技术等。

半个世纪以来,我国广大道路工程科技工作者,从我国实际和建设需要出发,引进外国先进技术,刻苦钻研、反复实践,在路基路面工程建设和科学研究中,取得了许多突破性的系列成果。现作如下简要介绍。

公路自然区划 我国幅员辽阔,各地自然条件和道路的工程性质差异很大。为此将自然条件大致相近者划分为区,在同一区划内从事公路规划、设计、施工、管理时,有许多共性因素可以相互参照。我国现行的《公路自然区划标准》分三级区划,一级区划是根据地理、地貌、气候、土质等因素将我国划分为 7 个大区,二级区划以气候和地形为主导因素,三级区划以行政区域作为界限。

土的工程分类 土是填筑公路路基的主要材料,由于天然成因的差异,不同的路基土表现出截然不同的工程特性。我国依据土颗粒组成特性、土的塑性指标(塑限、液限和塑性指数)、土中有机质存在情况,将公路用土按不同的工程特性划分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土四大类,并细分为 11 种土。确认土的类别需应用标准的仪器,按统一的规程进行测试界定。为了在野外勘察中能对不同土类作鉴别,系统地总结了“简易鉴别、分类和描述”的方法与细节。

路基强度与稳定性 路基作为路面结构的基础应具有足够的强度和稳定性,我国较早就确定以回弹模量作为评价路基强度与稳定性的力学指标,并形成了成套的室内外试验标准方法和仪器。为了在施工中以物理量指标控制工程质量从而保证达到规定的强度指标,广泛开展了不同土种的最佳含水率和最大密实度相关关系的研究,并且统一以重型击实试验法作为基本控制标准。为了提高路基的强度和稳定性,根据不同类别土的特性,研究了粒料加固、石灰加固、水泥加固、专用固化剂加固等行之有效的技术措施。在多年冻土地区、膨胀土地区、沙漠地区、黄土地区、盐渍土地区等特殊地区,通过研究采用各种有效技术修建公路路基取得十分宝贵的经验。

高路堤修筑技术与支挡结构 为了提高高路堤路基的稳定性,研究提出的技术措施包括减轻路堤自重,采用粉煤灰或轻质塑料块修筑路基;修筑轻型路基支挡结构。特别是加筋土挡墙的研究和工程建设在我国取得了许多成果,例如条带加筋、网络加筋、土工织物加筋等均取得良好效果。

软土地基稳定技术 在软土地基上修筑路基路面,天然地面的自然平衡状态将发生改变,在很长时间内路基将处于不稳定状态。为此广泛研究了软土的调查与判别方法,改变软土性质的技术措施,如砂井或塑料板排水固结法;砂垫层排水加载预压法;无机结合料深层加固法等。在力学分析方面,通过现场跟踪观测、研究,建立预测分析模型,预估与控制软土地基加固后的工后沉降,从而提高路基的稳定性。

岩石路基爆破技术 利用爆破技术开山筑路在我国有悠久的历史。最近几十年,我国在山区筑路工程中又有新的发展,创造了系统的大爆破技术,每次总装炸药量多达数十吨,一次爆破可清除岩石 10 万 m^3 。大爆破以现代爆破理论为基础,事先进行周密的勘测与调查,经过精心设计的大爆破不仅能降低造价,缩短工期,而且能够使爆破后形成的坡面状况十分接近路基横断面设计要求。

沥青路面结构 20 世纪 60 年代初,随着我国石油资源的大规模开发,拉开了用国产沥青筑路的序幕。早期的沥青路面主要是铺设在现有中级路面上的薄层表面处治层,以改善其行车条件。20 世纪 70 年代末,逐步形成了以贯入式路面为主的沥青路面承重结构。20 世纪 80 年代末,开始兴建高速公路,沥青路面作为一种主要形式,大量采用总厚度超过 70cm 的重型沥青路面结构。通过长期的科学研究,形成了适合我国实际的沥青路面整套技术,包括沥青原材料的生产工艺、装备;沥青材料的技术指标与标准、试验设备及方法;沥青混合料的技术指标与标准、沥青改性与沥青混合料设计技术、沥青混合料性能检测设备及方法;沥青路面现代化施工整套设备、施工技术与施工管理等。

水泥混凝土路面结构 20 世纪 70 年代中期,交通运输发展加快,部分干线公路、城市道路及厂矿道路为提高承重能力,相继采用水泥混凝土路面结构。随后,针对水泥混凝土路面各方面存在的问题,开展了系统而具有相当规模的科学研究,从而在我国形成了关于水泥混凝土路面结构的整套技术。包括道路水泥的性能、指标、标准以及生产工艺;水泥混凝土路面基层的作用,水泥混凝土路面结构性能与设计方法,接缝构造、工作原理以及接缝设计方法;水泥混凝土路面大规模现代化施工和滑模摊铺施工成套装备及施工方法、施工组织管理等。

柔性路面设计理论与方法 半个世纪来,中国道路科技工作者通过广泛的调查研究和理论探索,形成了符合中国实际的柔性路面设计理论与方法体系。它吸取了世界上各种流派的学术思想,以及各个国家设计方法的优点,在力学理论基础方面,建立了弹性力学多层结构承受多个圆形荷载的分析系统及相应的计算机程序;提出了能控制路面结构主要性能的设计指标体系;形成了符合我国当前交通状况的荷载模式及交通分析方法;制订了完整的设计参数指标、标准、测试仪器与方法;建立了切实可行的设计计算方法系统。近年来,在路面功能设计、可靠度设计等方面的研究取得了明显的进展,将不断地充实到现有的系统中去。

刚性路面设计理论与方法 20 世纪 70 年代起,我国道路科技工作者对刚性路面设计进行了较系统而具有相当规模的研究。在力学基础理论方面,运用解析法及有限元法建立了弹性力学层状结构,弹性地基板体结构模型,形成了整套分析计算方法与计算机程序;建立了以弹性力学为基础,以混凝土弯拉应力为设计控制指标,综合考虑荷载应力与温度应力作用并应用可靠度分析的设计体系与方法;研究并建立了地基支承、疲劳效应、动力效应等一整套设计参数的取值与测试方法;对钢纤维混凝土路面、连续配筋混凝土路面、碾压混凝土路面、复合结构混凝土路面等新型路面结构开展系统研究并取得一批实用性研究成果。

半刚性路面结构 利用石灰、水泥、工业废料等无机结合料修筑半刚性路面始于 20 世纪 60 年代初,40 多年间,对半刚性路面的强度发展规律、强度机理、路用性能等进行了广泛的研究。由于这种路面结构具有很多优势,目前已广泛用于高等级公路与城市道路,成为一种主要的结构形式。目前对它的长期使用性能和变形规律等问题正在作深入的观察和研究,此外对于面层结构的半刚性技术途径也正在研究之中。

路面使用性能与表面特性 路面的平整度、破损程度、承载能力及抗滑性能是路面使用性能的重要方面。目前,我国已对这些性能对行车的影响;这些性能与路面结构设计、材料、施工

的关系;量测手段与量测方法;评价的指标与标准;在车辆的反复作用下性能的衰减及恢复等开展了广泛的研究,有的已成功地应用于工程之中。

路面养护管理 将系统工程的理论与方法用于协调路面养护,形成路面管理系统是20世纪80年代后的新动向。20多年来,我国在路面性能的非破损快速跟踪检测,路面性能预估模型的建立,路面管理网络系统的建立以及项目级和路网级优化管理决策等方面取得了系列研究成果。

综上所述,路基路面工程作为一门工程学科分支,在我国随着交通运输的发展,正在以较快的速度接近国外同类学科的前沿。21世纪,交通运输不论是在中国,还是在其他发达国家,仍然是一个重要的科技领域。我国道路科技工作者将从我国实际出发,不断吸取交叉学科的新成就以及世界各国的成功经验,全面推动路基路面工程学科的发展,为我国交通运输现代化作出贡献。根据当前路基路面工程科学技术的发展趋势,对于以下几方面学科的交叉与发展特别应该引起重视。

1. 材料科学 回顾历史,路基路面工程每一项新技术的出现,首先在材料方面有所突破。如路基土壤的改良与稳定路基的技术措施,沥青材料、水泥材料的改性研究,路用塑料等都与材料科学有关。材料微观结构研究、复合材料研究的许多成果也正在被引入路基路面工程。

2. 岩土工程学 路基路面作为地基结构物,依托天然地表的岩石与土壤构筑而成,因此路基路面工程在诸多方面借鉴于岩土工程学的科技成果,如土力学、岩石力学、地质学、土质学、水文地质学等都是路基路面工程学科的重要基础理论。

3. 结构分析理论 路基路面设计由经验为主的方法演变成以结构分析理论为主的方法是一次飞跃。由于结构的复杂性以及车辆荷载与环境因素变化的复杂性,目前多数国家的设计方法所依据的静力线弹性力学分析理论不能完全满足要求,许多学者仍致力于路基路面结构分析的力学基础研究,如动力荷载与结构动力效应,非线性、黏弹性等数学、力学模型的建立以及适用于各种要求、各种边界条件的数学分析方法和数值解方法。今后进一步发展有可能将宏观结构分析与材料的组成、材料的特性以及材料的微观结构与微观力学相融为一体,成为路基路面工程设计的重要基础。

4. 机电工程 现代化道路与机场路基路面工程的固有性能及使用品质越来越多地依赖于施工装备的性能与施工工艺,如振动压路机的吨位、频率与振幅对于各种结构层产生的效果截然不同。许多专用施工设备就是根据结构强度形成理论和工艺要求专门进行设计的,因此有些国家在研究一项路面工程新技术时,将施工工艺与施工装备也列入研究计划作同步开发研究。

5. 自动控制与量测技术 为确保路基路面的工程质量和良好的使用品质,必须在施工过程中严格控制各项指标,如材料用量、加热温度、碾压吨位、碾压质量等,竣工以及开放运行后在使用过程中也需要长期作跟踪监测。所有这些控制与量测都在逐步采用高新技术,如配料自动控制、平整度自动控制等,以达到较高的精确度;在量测技术方面引用高速摄影、激光装置、红外线装置等量测材料和构造物的各项质量指标及性能指标等。

6. 现代管理科学 从现代管理科学的角度来看,路基路面工程在一个区域范围内属于一个大系统,而且从规划、设计、施工、养护、维修、管理全过程来看,延续数十年之久。通过大型的管理系统,对区域范围内路基路面工程各个阶段的信息进行跟踪、采集、存储、处理、定期作评估和预测;必要时提出维修决策,投放资金进行维修养护,使路基路面始终具有良好的使用性能,这是现代化管理的总概念。许多国家已在这方面取得实质性的进展,并用于工程实践。

这对于节约维修养护投资,提高运输效率具有重要的作用。

第二节 路基路面工程的特点

路基和路面是道路的主要工程结构物。路基是在天然地表面按照道路的设计线形(位置)和设计横断面(几何尺寸)的要求开挖或堆填而成的岩土结构物。路面是在路基顶面的行车部分用各种混合料铺筑而成的层状结构物。路基是路面结构的基础,坚固而又稳定的路基为路面结构长期承受汽车荷载提供了重要的保证,而路面结构层的存在又保护了路基,使之避免了直接经受车辆和大气的破坏作用,长期处于稳定状态。路基和路面相辅相成,实际上是不可分离的整体,应综合考虑它们的工程特点,综合解决两者的强度、稳定性等工程技术问题。

路基与路面工程是道路工程的主要组成部分,工程数量十分可观,例如微丘区的三级公路,每公里土石方数量约 $8\,000 \sim 16\,000\text{m}^3$,山岭、重丘区的三级公路每公里土石方数量可达 $20\,000 \sim 60\,000\text{m}^3$,对于高速公路,数量更为可观。路面结构在道路造价中所占比例很大,一般都要达到 30% 左右。因此精心设计,精心施工,使路基路面能长时期具备良好的使用性能,对节约投资,提高运输效益,具有十分重要的意义。

路基路面是一项线形工程,有的公路延续数百公里,甚至上千公里。公路沿线地形起伏,地质、地貌、气象特征多变,再加上沿线城镇经济发达程度与交通繁忙程度不一,因此决定了路基与路面工程复杂多变的特点。工程技术人员必须掌握广博的知识,善于识别各种变化的环境因素,恰当地进行处理,建造出理想的路基路面工程结构。

现代化公路运输,不仅要求道路能全天候通行车辆,而且要求车辆能以一定的速度,安全、舒适而经济地在道路上运行,这就要求路面具有良好的使用性能,提供良好的行驶条件和服务水平。

为了保证公路与城市道路最大限度地满足车辆运行的要求,提高车速、增强安全性和舒适性,降低运输成本和延长道路使用年限,要求路基路面具有下述一系列基本性能。

一、承载能力

行驶在路面上的车辆,通过车轮把荷载传给路面,由路面传给路基,在路基路面结构内部产生应力、应变及位移。如果路基路面结构整体或某一组成部分的强度或抗变形能力不足以抵抗这些应力、应变及位移,则路面会出现断裂,路面表面会出现波浪或车辙,路基路面结构会出现沉陷,使路况恶化,服务水平下降。因此要求路基路面结构整体及其各组成部分都具有与行车荷载相适应的承载能力。

结构承载能力包括强度与刚度两方面。路面结构应具有足够的强度以抵抗车轮荷载引起的各个部位的各种应力,如压应力、拉应力、剪应力等,保证不发生压碎、拉断、剪切等各种破坏。路基路面整体结构或各个结构层应具有足够的刚度,使得在车轮荷载作用下不发生过量的变形,保证不发生车辙、沉陷或波浪等各种病害。

二、稳定性

在天然地表面建造的道路结构物改变了地表自然的平衡,在达到新的平衡状态之前,道路结构物处于一种暂时的不稳定状态。新建的路基路面结构袒露在大气之中,经受着大气温度、降水与湿度变化的影响,结构物的物理、力学性质将随之发生变化,处于另外一种不稳定状态。