

研究生教学用书 / 教育部研究生工作办公室推荐



路面设计 原理与方法

Principles and Design Methods of Pavement

(第二版)

邓学钧 编著
黄晓明



人民交通出版社

China Communications Press

研究生教学用书 / 教育部研究生工作办公室推荐

路面设计 原理与方法

Principles and Design Methods of Pavement

(第二版)

邓学钧 编著
黄晓明



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书介绍了交通、环境、土基等路面结构功能的外部条件及路面结构本身的内在特性。另外,还介绍了道路路面与机场道路的设计方法。

该书对第一版所涉及的新规范、新材料、新方法和新技术等作了相应的修订和补充。

本书为教育部研究生工作办公室推荐用书。适用于“道路与铁道工程”二级学科硕士研究生的必修学位课程和“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的非学位选修课程的主要参考教材。也可供公路、城市道路、铁道、机场等部门从事科研与设计的工作人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

路面设计原理与方法/邓学钧,黄晓明主编.—2版.
北京:人民交通出版社,2007.1
ISBN 978-7-114-06370-1

I.路… II.①邓… ②黄… III.路面-设计
IV.U416.202

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第163070号

书 名:路面设计原理与方法(第二版)

著 作 者:邓学钧 黄晓明

责任编辑:刘永芬

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.ccpress.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:北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:35.25

字 数:886千

版 次:2001年5月 第1版

2007年1月 第2版

印 次:2007年1月 第1次印刷 总计第3次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-06370-1

印 数:6001-9000册

定 价:70.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

第一版前言

“路面设计原理与方法”是道路与铁道工程二级学科研究生培养计划中的主要学位课程。东南大学自1979年恢复研究生招生以来,对这一门课程的教学内容和教学方法作了多次改进。1983年作者自美国进修回国,直接引进了美国多所大学采用的教材“Principles of Pavement Design”。在教学内容方面全面阐述了与路面设计有关的基本原理,即力学分析、材料特性、土基特性、环境影响等;设计方法着眼于介绍世界各国有影响的方法,使得学生能够从历史的高度,客观地从现实出发评述各国的现行设计方法。通过第七个五年计划和第八个五年计划,我国公路运输进入高速公路发展阶段,有关路面设计基本理论与设计方法有许多突破和创新,同时积累了极为丰富的实践经验。国内各高等院校相继发表了许多有关路面设计方面的重要专著,如“柔性路面结构设计方法”、“柔性路面设计理论与方法”、“刚性路面设计”等。作者在教学过程中不断将这些新的内容充实到教学内容之中,经过十八年教学实践积累形成了目前出版的“路面设计原理与方法”教材体系和全部内容。在教学方法方面,不再采用传统的以教师讲授为主的方法,而是采用启发教学与专题讨论相结合的教学方法,采用划分专题、课前阅读、课堂讨论、教师总结、重点讲解、书写心得等具体的方式组织教学。

全书共分为十六章,第二、三、四章介绍交通、环境、土基,是路面结构功能的外部条件;第五、六、七、八、九、十章介绍路面结构本身的内在特性,即排水、力学、材料特性;第十一、十二、十三、十四章介绍道路路面与机场道面设计方法。第十五、十六章介绍与路面设计密切相关的两个专题。

本书为“道路与铁道工程”二级学科硕士研究生的必修学位课程和“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的非学位选修课程的主要参考教材。也可以供公路、城市道路、铁道、机场等部门从事科研与设计的工作人员参考使用。

本书采用国家法定计量单位,即国际单位制(SI)。在引用外国文献资料时,为了完整表达原作的意见,也有部分仍保留原有的计量单位制。

本书如有未尽善之处,希望有关院校师生及广大读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

邓学钧 黄晓明

2001年3月于东南大学

第二版前言

“路面设计原理与方法”作为道路与铁道工程二级学科研究生的主要教学用书，自2001年5月第一版出版发行以来，受到相关院校的重视和选用。同时，经申请和教育部组织的遴选，2002年被教育部研究生工作办公室批准为“交通运输工程”一级学科的研究生教学推荐用书，也是路面类第一本研究生教育推荐用书。为了适应新世纪研究生的教育要求，以及路面工程新规范、新方法、新材料和新技术等的推广与应用，路面技术有了更新的发展，为此必须结合实际进行修订、补充和完善。

全书仍为十六章，主要章节没有变化，但在第二版修订过程中主要进行了以下几方面的修订。第9章沥青与沥青混合料特性，由于新的沥青路面施工技术规范颁布和实施，相应的沥青分级、沥青混合料类型、沥青混合料设计指标和标准、沥青混合料级配选择方法等均按新规范的要求进行了修改；第10章水泥混凝土材料特性，主要结合新的公路水泥混凝土路面施工技术规范对水泥混凝土的配合比设计方法进行了修改；第11章公路沥青路面设计方法，则结合新的公路沥青路面设计规范的送审稿，对路面结构设计中的弯沉和弯拉验算采用同一参数的缺陷进行了修改，同时对AI、Shell设计方法进行了修正，并增加了AASHTO 2002沥青路面力学经验设计方法的主要内容，使国外设计方法的介绍更加完善；第12章公路水泥混凝土路面设计，则按照新的公路水泥混凝土路面设计规范进行了全面的修订，使之与新的公路水泥混凝土路面设计方法相匹配。由于路面设计的基本原理，对沥青路面仍然是层状体系理论，对水泥混凝土路面仍然是弹性地基上的小挠度薄板理论和有限元法。因此，其他各章只是进行了简单的错误修正，并补充了相关图表。

本书作为“交通运输工程”一级学科研究生教学推荐用书，它是“道路与铁道工程”二级学科的学位课程用书，也可作为“交通运输工程”一级学科中其他二级学科的非学位选修课程的主要参考用书。同时也是公路、城市道路、铁道、机场等部门从事科研与设计的工作人员参考使用。

本书采用国家法定计量单位，即国际单位制（SI）。在引用外国文献资料时，为了完整表达原作的意见，也有部分仍保留原有的计量单位制。

本书如有未尽善之处，希望有关院校师生及广大读者提出宝贵意见，以便及时修改完善。

邓学钧 黄晓明

2007年1月于东南大学

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 历史的回顾	(1)
第二节 路面类型与结构分层	(7)
第三节 路面结构功能与使用品质	(11)
第四节 路面设计方法简述	(13)
第五节 机场道面简介	(17)
第六节 中国交通规划	(18)
第二章 车辆与交通	(25)
第一节 车辆对路面的作用及动力效应	(25)
第二节 当量单轮荷载	(31)
第三节 当量轴载系数 (EALF)	(33)
第四节 美国道路试验	(47)
第五节 交通统计与分析	(52)
第三章 气候与环境	(58)
第一节 自然因素对路面的影响	(58)
第二节 我国公路自然区划	(59)
第三节 公路路面的温度状况	(62)
第四节 公路路面温度场分析	(66)
第五节 公路路面的湿度状况	(83)
第六节 我国公路沥青路面气候分区	(84)
第四章 路基材料特性	(86)
第一节 土的工程分类	(86)
第二节 土基的变形特性	(89)
第三节 土基的强度指标	(92)
第四节 土基的干湿类型	(98)
第五节 土基压实	(100)
第六节 土基的稳定与处理	(104)
第五章 路面结构排水	(106)
第一节 一般原理	(106)
第二节 路表排水	(110)
第三节 排水结构层	(111)
第四节 路面结构排水系统	(114)
第六章 沥青路面应力分析	(123)
第一节 古典应力分析	(123)

第二节	沥青路面层状体系理论分析·····	(124)
第三节	沥青路面结构的非线性分析·····	(143)
第四节	沥青路面结构层的粘弹性分析·····	(157)
第五节	移动荷载下弹性层状体系理论解·····	(164)
第七章	水泥混凝土路面应力分析·····	(171)
第一节	早期荷载应力分析·····	(171)
第二节	威斯特卡德荷载应力分析·····	(172)
第三节	弹性地基板的荷载应力·····	(179)
第四节	混凝土路面板荷载应力的有限元分析·····	(181)
第五节	有接缝混凝土路面板的有限元分析·····	(191)
第六节	水泥混凝土路面的温度应力分析·····	(197)
第八章	无机结合料稳定材料特性·····	(211)
第一节	概述·····	(211)
第二节	无机结合料稳定材料的强度特征·····	(220)
第三节	无机结合料稳定材料的疲劳特性·····	(228)
第四节	无机结合料稳定材料的干缩特性·····	(231)
第五节	无机结合料稳定材料的温度收缩特性·····	(233)
第六节	无机结合料稳定材料收缩机理分析·····	(234)
第九章	沥青与沥青混合料特性·····	(236)
第一节	概述·····	(236)
第二节	沥青材料性能及试验·····	(239)
第三节	沥青混合料性能及试验·····	(261)
第四节	沥青混合料配合比设计·····	(268)
第五节	沥青与沥青混合料新技术·····	(287)
第十章	水泥混凝土材料特性·····	(308)
第一节	概述·····	(308)
第二节	水泥材料性能及试验·····	(308)
第三节	水泥混凝土混合料性能及试验·····	(314)
第四节	普通水泥混凝土混合料配合比设计·····	(339)
第五节	钢纤维混凝土配合比设计·····	(345)
第六节	碾压混凝土配合比设计·····	(348)
第七节	贫混凝土配合比设计·····	(351)
第八节	特种水泥混凝土简介·····	(354)
第十一章	公路沥青路面设计方法·····	(355)
第一节	沥青路面损坏的极限状态及设计原则·····	(355)
第二节	AASHTO 沥青路面设计方法·····	(362)
第三节	AASHTO—2002 力学经验—设计法 (M-E 设计法)·····	(374)
第四节	CBR 设计法·····	(388)
第五节	美国地沥青学会 (AI) 设计法·····	(395)
第六节	Shell (壳牌) 设计法·····	(414)

第七节 我国沥青路面设计..... (426)

第十二章 公路水泥混凝土路面设计方法..... (433)

第一节 水泥混凝土路面损坏的极限状态及设计原则..... (433)

第二节 水泥混凝土路面平面及接缝设计..... (434)

第三节 水泥混凝土路面接缝传荷能力计算..... (439)

第四节 AASHTO 水泥混凝土路面设计方法 (451)

第五节 美国波特兰水泥协会 (PCA) 设计方法 (456)

第六节 我国水泥混凝土路面设计方法..... (460)

第七节 特种水泥混凝土路面设计方法..... (470)

第十三章 机场沥青混凝土道面设计..... (480)

第一节 CBR 机场沥青混凝土道面设计 (480)

第二节 美国联邦航空局 (FAA) 设计方法 (483)

第三节 美国地沥青学会 (AI) 设计方法 (487)

第十四章 机场水泥混凝土道面设计方法..... (492)

第一节 美国波特兰水泥协会 (PCA) 设计方法 (492)

第二节 美国联邦航空局 (FAA) 设计方法 (494)

第三节 美国工程师兵团设计方法..... (496)

第四节 我国机场水泥混凝土道面设计方法..... (498)

第十五章 路面设计可靠度..... (503)

第一节 沥青路面结构可靠度分析方法..... (504)

第二节 沥青路面结构设计参数的变异性分析..... (510)

第三节 路面可靠度设计方法..... (515)

第十六章 路面使用品质及路况评定..... (522)

第一节 路面功能及路况评价..... (522)

第二节 路面结构承载力评定..... (522)

第三节 路面结构损坏状况评定..... (526)

第四节 路面行驶质量评定..... (529)

第五节 路面抗滑安全性能评定..... (531)

第六节 机场道面强度的通报方法..... (533)

第七节 沥青加铺层设计..... (538)

参考文献..... (554)

第一章 概 论

第一节 历史的回顾

公路,在我国历史上习称为“道路”。早在公元前 2000 年,我国已出现可行驶牛、马车的道路。秦朝时期的这种道路称为“驰道”,较长时期称为“驿道”,并强调“车同轨、书同文”。公元前 2 世纪,我国通往中亚细亚和欧洲的丝绸之路开始发展起来。唐代是我国古代道路发展的鼎盛时期,初步形成了以城市为中心的四通八达的道路网。元明时有“大道”之称。清代道路网系统分为三等,即将由京都通往各省会间的道路称为“官马大路”、由各省会通往各地城市的联络支线称为“大路”、市区内街道成为“马路”。“官马大路”分东北路、东路、西路和中路四大干线,共长 2000 多公里。到了清代末期和民国初期,由于汽车和近代筑路法的输入,开始有了“汽车路”的名称。其后随着外文资料的输入,将英语“Public Road”译为“公路”,并将“highway”一词也译为“公路”。国民政府成立后,一般将城市以外的汽车路称为“公路”,将市内和市郊的汽车路称为“道路”。在某些情况下,“公路”与“道路”两词互为通用。

近代出现的公路与古代的土路其功能截然不同。公路为近代交通工具的载体,在交通流量和行驶速度日益增长的情况下,对公路的建设要求不断提高,这些都是古代道路无法比拟的。近代公路建筑,随着测量技术、筑路技术、筑路材料和检测技术的发展,其结构不断完善和发展,它包括了由路基、路面、桥梁、涵洞、隧道、渡口、防护、景观及交通工程等构成的公路建设内容。

汽车工业的发展,促进了公路建设的发展。公路运输较铁路、水运、航空、管道等运输方式,有其独特的特点,即直达、迅速、适应性强和服务面广。因此,汽车运输一出现,就在经济、政治、军事、文化和旅游等方面占有重要的地位。为了提高汽车运输的服务质量,公路的通车里程在不断增长,路基路面的建设质量、公路的等级也在不断提高。

1949 年建国以来,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的发展。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,公路建设开创了崭新的局面。2003 年全年新增公路通车里程 4.6 万 km,其中新增高速公路 4600km。到 2005 年底,高速公路里程总里程达 4.1 万 km,中国公路总里程达 192 万 km。“两纵两横三个重要路段”全部建成,山东、广东两省高速公路突破 3000km,江苏、河南、河北三省高速公路突破 2000km,有 14 个省区高速公路突破 1000km。2005 年完成公路、水路客运量 169 亿人次和 2 亿人次,旅客周转量 9300 亿人 km 和 67 亿人 km;完成货运量 133 亿吨和 21 亿吨,货物周转量 8574 亿吨 km 和 48058 亿吨 km。2005 年全年就新增公路通车里程 4.9 万 km,其中新增高速公路 6700km,高速公路成为经济社会发展的重要助推器,不仅显著提高了运输能力,降低了运输成本,增强了运输安全性,节约了国土资源,而且在改善投资环境,优化产业布局,促进资源开发利用,提高国

家经济的机动性，增强国家竞争力，以及保障国防安全等方面，发挥着越来越重要的作用。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，通常都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、兽力车辆的运行。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。在古罗马的范·阿派（Via Appia）公元前 312 年修筑的道路（图 1-1）目前仍然在使用。大约公元前 3000 年，闪族人（Sumerians）开始使用沥青胶结贝壳或石料作为行车路面（图 1-2，图 1-3）。

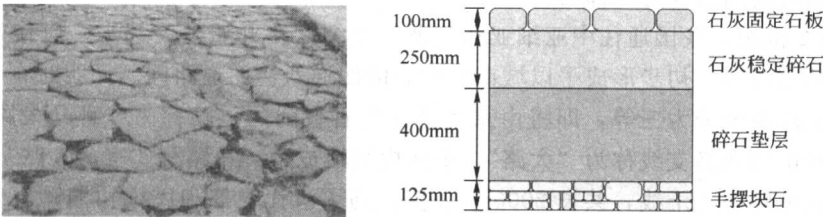


图 1-1 古罗马道路和结构
(Collins and Hart, 1936)

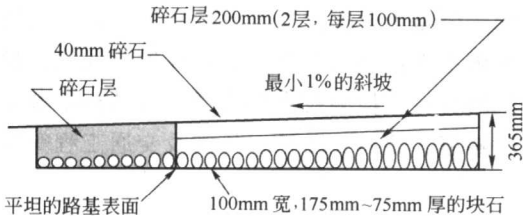


图 1-2 典型的 Telford 路面结构
(Collins and Hart, 1936)

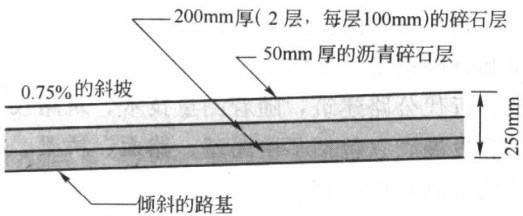


图 1-3 典型的沥青碎石路面结构
(Collins and Hart, 1936)

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，城市道路和机场跑道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，广大道路工程科技工作者，经过刻苦钻研、反复实践，在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。

公路自然区划、温度区划与降雨区划 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七个大区，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。

同时根据沥青路面的使用要求，对沥青路面的温度及降雨进行分区，见图 1-4、图 1-5。

沥青路面的气候分区如表 1-1 所示。其中夏炎热区的主要说明如下：

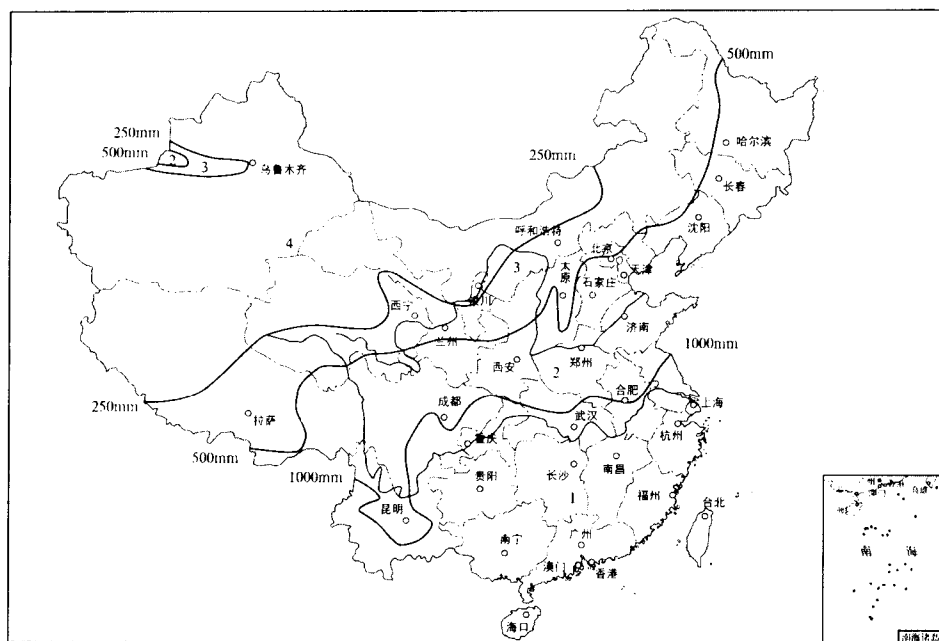


图 1-4 沥青路面气候分区·降雨

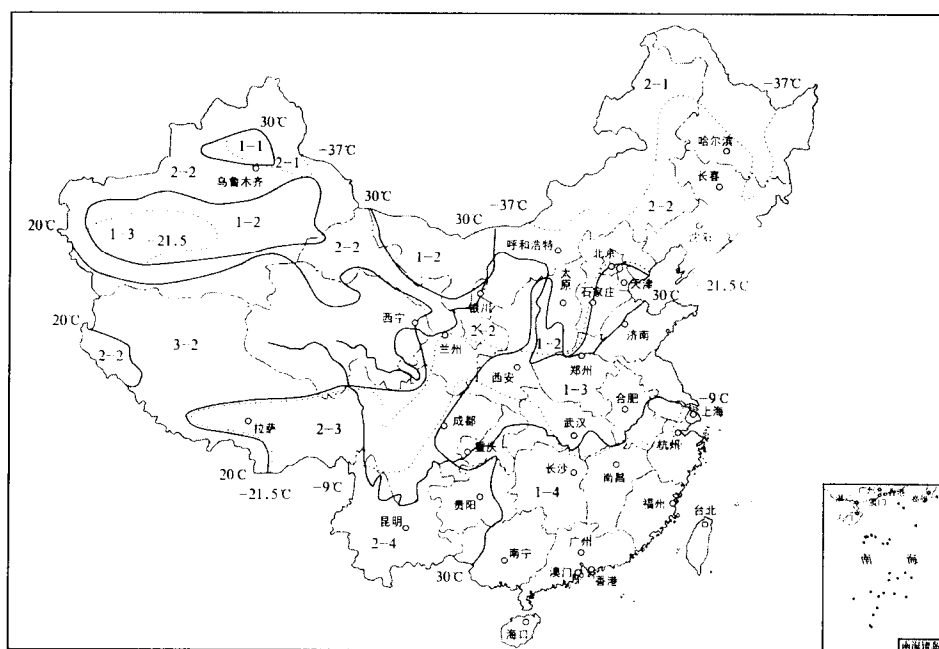


图 1-5 沥青路面气候分区·温度

1-1 夏炎热冬严寒区，这种气候型在我国所占范围很少，仅在新疆北部很小一范围准噶尔盆地为中心，极端最低气温 $<-37^{\circ}\text{C}$ ，气温由此冷中心向盆地四周升高。

1-2 夏炎热冬寒区，它包括内蒙古高原阴山山脉以西地区、西北准噶尔盆地西部、塔里木盆地东部地区，南疆受天山阻挡，冷空气不易侵入，加上纬度较低，因此南疆比北疆暖，塔里木盆地夏季炎热干燥，冬季冷。新疆东部、甘肃的西部，由于冷空气可以侵入，所以冬季要比塔里木盆地冷。

气候分区指标

表 1-1

气候型	型名	温度 (°C)	
		七月平均最高气温	年极端最低气温
1-1	夏炎热冬严寒	>30	<-37.0
1-2	夏炎热冬寒	>30	$-37.0 \sim -21.5$
1-3	夏炎热冬冷	>30	$-21.5 \sim -9.0$
1-4	夏炎热冬温	>30	>-9.0
2-1	夏热冬严寒	$20 \sim 30$	<-37.0
2-2	夏热冬寒	$20 \sim 30$	$-37.0 \sim -21.5$
2-3	夏热冬冷	$20 \sim 30$	$-21.5 \sim -9.0$
2-4	夏热冬温	$20 \sim 30$	>-9.0
3-2	夏凉冬寒	<20	$-37.0 \sim -21.5$

1-3 夏炎热冬冷区，分布在燕山以南，太行山以东华北平原、浙江北部、苏、鲁、皖、鄂、秦岭以北、渭水以南地区。

1-4 夏炎热冬温区。在秦岭山脉、四川盆地以南，因有高山围绕，阻滞北方冷空气的入侵，夜间云量又多，地面辐射冷却效应大为减弱，是我国同纬度上冬季最暖的地方，也是我国雨量最多的地方。

沥青路面施工的主要技术要求应根据气候分区确定。

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征、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 4 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与仪器。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量与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与稳定性，根据不同类别土壤的特性，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，采用轻质粉煤灰，或采用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不断固结而产生路基变形。为此广泛研究了软土的调查与判别方法，提出了许多改变软土地基性质的技术措施，如砂井或塑料板排水固结法、砂层排水加载

预压法、真空预压技术、碎石桩复合地基加固技术和无机结合料深层加固法等。在力学分析的研究方面,通过现场跟踪观测与建立预测分析模型,来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。但是在最近几十年中我国在山区筑路工程中有新的发展,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数十万方。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。同时在山区,对于大粒径填料可以通过高能量压实机械保证路基的强度和稳定性,从而提高了大粒径填料的利用率。

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,揭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置层,以改善其行车条件。20世纪70年代末,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,并开始研究半刚性基层沥青路面结构和材料。由于半刚性基层沥青路面结构具有强度高、造价较低等特点,比较适合中国的实际,因此半刚性基层沥青路面已成为我国高等级公路与城市道路主要的结构形式。再通过“七·五”、“八·五”、“九·五”和“十·五”的集中攻关,对半刚性基层材料的强度发展规律、强度机理、路用性质等进行了广泛的研究,形成了我国半刚性基层沥青路面设计、施工及管理成套技术。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、混合料设计技术、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、施工技术与管理等。通过20年的实践,目前正在对半刚性基层沥青路面在重载作用下的长期使用性能、变形和破坏规律等问题进行更深入的研究。同时也在开展密级配沥青稳定基层、排水性沥青稳定基层、排水性沥青面层、长久性沥青路面、沥青混凝土+连续配筋水泥混凝土路面结构等的研究及应用工作。在研究和总结的基础上,形成我国沥青路面的主要结构形式。

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;水泥混凝土路面小规模施工和大规模现代化施工成套装备及施工方法、施工组织管理等。在20世纪80年代中期,东南大学负责在江苏盐城修筑了我国第一条连续配筋水泥混凝土路面;20世纪90年代中期又在江苏镇江修筑了更大规模的连续配筋水泥混凝土路面;2001年南京绕城公路修筑了连续配筋水泥混凝土+沥青混凝土的路面结构,首次进行了永久性沥青路面的尝试,并用毛勒缝代替锚固梁等其他锚固方式,提出了全新的端部锚固方式,为我国连续配筋水泥混凝土路面的使用奠定了一定的基础。对钢纤维混凝土路面、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,并取得一批实用的研究成果。

沥青路面设计理论与方法 半个世纪以来,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沥青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；提出了以弯沉为控制设计指标、弯拉应力为验算指标的设计指标体系，并通过调查或试验得到了相应的标准控制值；形成了符合我国当时交通状况的荷载模式及交通分析方法；提出了相应的设计参数、标准、测试仪器与方法。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，同时进行沥青路面破坏模式与对应的设计指标与标准的研究工作。

水泥混凝土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水泥混凝土路面设计进行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，以混凝土弯拉疲劳应力、温度疲劳应力综合作用的设计体系与方法；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。通过系统的水泥混凝土路面参数变异性分析、可靠度设计方法等研究，其研究成果为现行的以可靠度为指标的水泥混凝土路面设计方法所采用。

沥青路面材料组成设计 沥青路面结构层材料组成设计是路面施工的关键。通过对无机结合料稳定材料的深入研究，提出了无机结合料稳定材料的组成设计方法、控制指标和标准，同时提出了完整的施工控制技术要求，保证了无机结合料稳定基层的耐久性。同时，对沥青混合料组成设计也提出了完整的技术指标与标准，通过沥青的优选、集料的严格控制和施工过程的严格把关，提高了沥青路面的使用耐久性。结合中国国情，在中国推广使用 SMA、Superpave 技术，并研究了 OGFC、排水性表面层（Porous Asphalt Pavement）和排水性沥青稳定基层（ATPB）等在中国的应用技术，进一步提高了沥青路面的使用质量和使用品质。

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。开展了低噪声沥青路面技术、排水性（抗水漂）沥青表面层技术、开级配沥青磨耗层（OGFC）技术等的研究，提高沥青路面的表面使用性能，提高沥青路面的使用安全性、舒适性。

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。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。路面使用性能的检测技术也有了很大的进步，路面弯沉检测、抗滑性能检测、平整度检测、路面破损检测等也由过去的人工检测向现代化的检测系统发展，有自动弯沉检测车、落锤式弯沉仪（FWD）、路面厚度雷达测试车、路面多功能监测车等，可为路面管理系统提供完整的路面使用状况数据。

综上所述，路基路面工程作为一个学科分支，在我国随着交通运输的发展，正在以较快的速度逐步接近国外同类学科的前沿。进入 21 世纪，交通运输不论是在发展中的中国，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会从中国的实际出发，不断吸取交叉学科的新成就以及世界各国的有用经验，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做出贡献。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，尤其是提高沥青路面耐久性添加剂（如抗剥离剂、聚合物改性材料、高黏度沥青添加剂等）、沥青再生添加剂等。

(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还是不能完全满足要求，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、黏弹塑性等数学、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使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，竣工后以及开放运行在使用过程中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，以达到较高的精确度。如配料自动控制，平整度自动控制等。在量测技术方面引用高速摄影、激光装置、红外线装置量测各项质量指标及性能指标等。路面响应的检测也由过去的应变片测定，向振弦式应变计和光纤应变测量过渡，路面应变测试不仅能测定某点的应变，还能测定应变场、弯沉盆、温度场等，应变检测不仅能测定相对值，还能测定绝对值。

(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的概念，有许多国家已在这方面取得实质性的进展，用于工程实践。这对于节约维修养护投资，提高运输效率有重要作用。

第二节 路面类型与结构分层

一、公路分级

公路根据使用任务、功能和适用的交通量分为高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路五个等级。

高速公路为专供汽车分向、分车道行驶并全部控制出入的干线公路。

四车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 25000~55000 辆；

六车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 45000~80000 辆；

八车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 60000~100000 辆。

其他公路为除高速公路以外的干线公路、集散公路、地方公路，分四个等级。

一级公路为供汽车分向、分车道行驶的公路，一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 15000~30000 辆。

二级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 3000~7500 辆。

三级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限年平均昼夜交通量为 1000~4000 辆。

四级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限年平均昼夜交通量为：双车道 1500 辆以下；单车道 200 辆以下。

二、公路等级的选用

公路等级应根据公路网的规划，从全局出发，按照公路的使用任务、功能和远景交通量综合确定。

一条公路，可根据交通量等情况分段采用不同的车道数或不同的公路等级。

各级公路远景设计年限：高速公路和一级公路为 20 年；二级公路为 15 年；三级公路为 10 年；四级公路一般为 10 年，也可根据实际情况适当调整。

对于不符合本标准规定的已有公路，应根据需要与可能的原则，按照公路网发展规划，有计划地进行改建，提高通行能力及使用质量，以达到相关等级公路标准的规定。

采用分期修建的公路，必须进行总体设计，使前期工程在后期仍能充分利用。

三、路面分类

1. 按面层的使用品质分

通常按路面面层的使用品质，材料组成类型以及结构强度和稳定性，将路面分为四个等级。

1) 高级路面

高级路面的特点是强度高，刚度大，稳定性好，使用寿命长，能适应较繁重的交通量，路面平整，无尘埃，能保证高速行驶。高级路面养护费用少，运输成本低，但初期建设投资高，需要用质量高的材料来修筑。

2) 次高级路面

次高级路面与高级路面相比，强度和刚度较差，使用寿命较短，所适应的交通量较小，行车速度也较低，次高级路面的初期建设投资虽较高级路面低些，但要求定期修理。养护费用和运输成本也较高。

3) 中级路面

中级路面的强度和刚度低，稳定性差，使用期限短，平整度差，易扬尘，仅能适应较小

的交通量，行车速度低。中级路面的初期建设投资虽然很低，但是养护工作量大，需要经常维修和补充材料，才能延长使用年限。运输成本也高。

4) 低级路面

低级路面的强度和刚度最低，水稳定性差，路面平整性差，易扬尘，故只能保证低速行车，所适应的交通量最小，在雨季有时不能通车。低级路面的初期建设投资最低，但要求经常养护修理，而且运输成本最高。

2. 按路面结构的力学特性分

路面类型可以从不同角度来划分，但是一般都按面层所用的材料区分，如水泥混凝土路面、沥青路面、砂石路面等。在工程设计中，主要从路面结构的力学特性的相似性出发，可以将路面结构划分为柔性路面（沥青混凝土路面）、复合式路面和刚性路面三类。根据基层材料类型及组合的不同又可以分为将沥青混凝土路面划分为柔性基层沥青路面，半刚性基层沥青路面、刚性基层沥青路面、组合式基层沥青路面。国外一般将水泥混凝土路面和沥青混凝土路面称为有铺装路面；表面处治、沥青碎石、沥青贯入式路面称为简易铺装路面；砂石路面等归入未铺装路面。砂石路面是以砂、石为骨料，以土、水、灰为结合料，通过一定的配合比铺筑而成的路面，包括级配砂（砾）石路面、泥结碎石路面、水结碎石路面、填隙碎石路面及其他粒料路面。

1) 柔性基层沥青路面

柔性基层沥青路面的总体结构刚度较小，在车辆荷载作用下产生的弯沉变形较半刚性基层沥青路面大。通过合理的结构组合、材料组成和厚度设计可以保证路面结构整体具有很强的抵抗荷载作用的能力，同时通过各结构层将车辆荷载传递给土基，使土基承受的单位压力在一定的范围内。路基路面结构主要靠抗压强度和抗剪强度承受车辆荷载的作用。柔性基层主要包括各种未经处理的粒料基层和各类沥青层、碎（砾）石层或块石层组成的路面结构。国外发达国家主要采用柔性基层沥青路面结构。

2) 半刚性基层沥青路面

用水泥、石灰等无机结合料处治的土或碎（砾）石及含有水硬性结合料的工业废渣修筑的基层，在前期具有柔性基层的力学性质，后期的强度和刚度均有较大幅度的增长，但是最终的强度和刚度仍远小于水泥混凝土。由于这种材料的刚性处于柔性基层与刚性基层之间，因此把这种基层和铺筑在它上面的沥青面层统称为半刚性基层沥青路面。

3) 刚性基层沥青路面

用水泥混凝土〔包括普通混凝土、钢筋混凝土（RCP）、连续配筋混凝土（CRCP）、钢纤维混凝土、预应力混凝土、装配式混凝土、碾压混凝土〕作基层的沥青混凝土做面层的路面结构。水泥混凝土具有强度高、稳定性好等特点，沥青混凝土具有行车舒适、噪声小，这种复合式路面可以避免各自的缺点，具有良好的使用性能和耐久性。普通混凝土、钢筋混凝土（RCP）基层沥青路面由于接缝处的反射裂缝，对使用性能有一定的影响；连续配筋混凝土基层（CRCP）沥青混凝土路面由于连续的配筋将水泥混凝土的裂缝宽度约束在一定的范围内（一般要求小于1mm），故其有良好的使用性能和耐久性，但必须采取措施保证沥青层与沥青层、沥青层与水泥混凝土层之间有良好的黏结状态。CRCP+AC是永久性沥青路面的典型结构。

4) 组合式基层沥青路面

沥青路面的基层含有无机结合料稳定材料、水泥混凝土材料等刚度较大或相对较大的材