

新型沥青路面结构与材料

研 究

—— 陈渊召 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

11416217
CYS

新型沥青路面结构与材料

研 究

—— 陈渊召 著

常州大学图书馆
藏书章



 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书分析研究高速公路各结构层设置的作用,为路面结构合理组合提供理论依据。利用BISAR程序对ATB联结层的设计参数进行敏感性分析,提出ATB联结层适宜厚度与模量,并按我国设计规范和英国的永久性路面设计方法对济焦高速路面结构进行验算,同时对其车辙进行预估。最后利用有限元对ATB联结层的抗裂效果进行力学分析。针对半刚性基层易开裂、易冲刷的现状,从抗裂性能、缩裂微观机理、抗裂评价指标、冲刷性能、疲劳特性等对半刚性基层进行系统的研究。研究沥青稳定碎石联结层的材料组成和基本要求,重点研究该联结层的抗裂性能、高温稳定性、抗水损害性能及抗疲劳性能,并将其路用性能进行综合的对比分析。本书主要研究SMA面层材料的组成、配合比设计和高温性能、低温性能、水稳定性能等路用性能。从重载作用下的交通特性出发,完善重载路面的设计方法,并利用规范设计方法和本课题组提出的重载设计方法对济焦高速的路面结构分别进行计算,并应用BISAR程序对重载作用下济焦高速路面结构力学响应进行分析。针对河南省高速公路的施工情况,结合试验路面的铺筑,提出ATB联结层+半刚性基层的沥青路面的施工质量控制要点与标准。

本书可供公路建设的相关从业人员参考使用,也可作为交通及土木类相关专业学生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新型沥青路面结构与材料研究 / 陈渊召著. -- 北京:
中国水利水电出版社, 2016.12
ISBN 978-7-5170-5059-9

I. ①新… II. ①陈… III. ①沥青路面—研究 IV.
①U416.217

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第316820号

书 名	新型沥青路面结构与材料研究
作 者	XINXING LIQING LUMIAN JIEGOU YU CAILIAO YANJIU 陈渊召 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 267千字
版 次	2016年12月第1版 2016年12月第1次印刷
定 价	35.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

纵观我国高等级公路路面现状，仍主要以半刚性基层沥青路面结构为主。由于半刚性基层具有强度高、刚度大等诸多优点而广泛应用于我国公路建设中，但多年来半刚性基层的开裂问题一直是道路建设主要病害之一，长期制约着半刚性基层的使用。近年来国内一些省在公路建设中开始使用柔性基层，但随着沥青层的加厚，加之近年来沥青价格的不断上涨，路面建设费用大幅度增加，同时由于对柔性基层沥青路面车辙等问题的研究不足，使公路建设乃至相关规范面临困惑。因此，本书开始考虑采用柔性联结层和半刚性基层相结合的沥青路面结构形式。

本书在分析研究高等级公路路面结构层设置作用的基础上，利用 BISAR 程序对 ATB 联结层的设计参数进行敏感性分析，提出 ATB 联结层适宜厚度与模量，针对半刚性基层易开裂、易冲刷的现状，从抗裂性能、缩裂微观机理、抗裂评价指标、冲刷性能、疲劳特性等各方面对半刚性基层进行系统的研究。从重载作用下的交通特性出发，完善重载路面的设计方法，并利用规范设计方法和本书提出的重载设计方法对济焦高速的路面结构分别进行计算，并应用 BISAR 程序对重载作用下济焦高速路面结构力学响应进行分析。形成一套完整的新型沥青路面结构与材料成果。该成果提供了新型沥青路面技术，确保该工程的质量，延长了道路的使用寿命，并且大大降低了维修成本，研究成果具有重要的理论意义和工程实用价值。

本书共分 9 章，第 1 章分析了沥青路面结构与材料的国内外研究现状；第 2 章研究了沿线路用材料性能与交通状况；第 3 章进行了沥青路面合理结构组合对比分析；第 4 章对基层材料及其路用性能进行了深入研究；第 5 章对沥青路面联结层材料组成及其路用性能进行分析；第 6 章研究了沥青面层材料及其路用性能；第 7 章进行了考虑重载的新型沥青路面结构研究；第 8 章研究了新型沥青路面施工质量控制要点与质量标准；第 9 章进行了实体工程工后评价。

全书由华北水利水电大学陈渊召写作完成。本书依托“河南省重点科技

攻关项目《低碳减排热拌沥青混合料研究》(项目编号:152102210113)”和横向科研项目《南水北调中线一期总干渠陶岔—沙河南段方城段》。全书可供公路设计、施工、研究人员及相关院校师生参考使用。由于作者水平有限,如有不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2016年12月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究的目的和意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 主要研究内容	6
1.4 研究技术路线	7
第 2 章 沿线路用材料性能与交通状况	8
2.1 依托工程简介	8
2.2 沿线主要路用材料性能调查研究	9
2.3 交通状况调查分析.....	12
2.4 本章小结.....	18
第 3 章 沥青路面合理结构组合研究	19
3.1 我国高等级沥青路面结构形式调查分析.....	19
3.2 各结构层设置作用分析.....	26
3.3 合理结构组合研究.....	32
3.4 ATB 联结层抗裂力学分析	37
3.5 永久性变形研究.....	42
3.6 路面合理结构技术经济分析.....	52
3.7 本章小结.....	54
第 4 章 基层材料及其路用性能研究	56
4.1 基层材料组成研究.....	56
4.2 半刚性基层材料缩裂机理研究.....	61
4.3 基层材料抗裂性能研究内容与与方法.....	64
4.4 基层材料干缩性能试验研究.....	68
4.5 (底) 基层材料温缩性能试验研究	71
4.6 基层材料抗裂评价方法与指标研究.....	71
4.7 重载作用下济焦高速基层材料疲劳特性研究.....	75
4.8 基层材料抗冲刷性能研究.....	77

4.9	本章小结	78
第5章	路面联结层材料组成及其路用性能研究	80
5.1	ATB联结层的技术要求	80
5.2	ATB联结层配合比设计	83
5.3	ATB联结层的路用性能评价	89
5.4	本章小结	101
第6章	济焦高速面层材料及其路用性能研究	102
6.1	SMA上面层材料组成及其路用性能研究	102
6.2	下面层中粒式沥青混凝土材料组成及路用性能研究	113
6.3	组合结构高温稳定性研究	120
6.4	本章小结	120
第7章	考虑重载的新型沥青路面结构研究	122
7.1	考虑重载的路面结构设计方法	122
7.2	考虑重载的新型沥青路面结构分析	133
7.3	本章小节	137
第8章	新型沥青路面施工质量控制要点与质量标准	138
8.1	基层平整度控制	138
8.2	基层施工质量控制标准	142
8.3	沥青碎石联结层施工质量控制要点	145
8.4	沥青面层施工质量控制研究	149
8.5	本章小结	154
第9章	实体工程工后评价	156
9.1	工程概况	156
9.2	实体工程承载能力评定	156
9.3	路面平整度评定	166
9.4	工程总体评价	168
第10章	主要研究结论	169
	参考文献	171

第 1 章 绪 论

1.1 研究的目的是和意义

我国交通事业的飞速发展对公路建设提出了更高的要求。纵观我国高等级公路路面现状，主要仍以半刚性基层沥青路面结构为主。由于半刚性基层具有强度高、刚度大等诸多优点而广泛应用于我国公路建设中，但多年来半刚性基层的开裂问题一直是道路建设主要病害之一，长期制约着半刚性基层的使用。

近年来国内一些省份在公路建设中开始使用柔性基层，但随着沥青层的加厚，加之近年来沥青价格的飞涨，路面建设费用大幅上扬，同时由于对柔性基层沥青路面车辙等问题的研究不足，使公路建设乃至相关规范面临制约。因此，本书开始考虑采用柔性联结层和半刚性基层相结合的结构形式。

沥青稳定碎石联结层+半刚性基层路面，其上层为柔性层，下层为半刚性基层。它既具有半刚性基层强度高、刚度大的优点，又可发挥柔性层很强的柔性和变形能力。一方面柔性层可作为应力消散层，有效地减少路面结构中的应力集中现象，大大延缓路面反射裂缝的发生；另一方面柔性层与沥青混凝土面层模量接近，易于黏结牢固，路面结构受力更均匀。

目前，河南省高速公路发展迅速，但路面结构形式较为单一，沥青稳定碎石尚未开始应用。国内对沥青稳定碎石的应用仅依靠经验，没有可靠的理论指导。因此研究沥青稳定碎石沥青路面，对于解决河南省乃至国内高速公路沥青路面的病害问题，提高公路建设、设计和施工质量，降低初期工程建设投资及后期维修养护费用，合理利用当地自然材料资源，带动当地经济发展具有很重要的现实意义。

综上所述，沥青稳定碎石联结层+半刚性基层有着良好的发展和应用前景。该类型的路面结构在国外已得到广泛的应用，而国内这方面的研究才刚刚起步。

河南省济焦高速公路系平原区线型，位于黄河以北，太行山以南，处于不同构造体系和各个构造带的叠加交互部位，区域内地质构造复杂，构造活动频繁，裂缝非常发育，地震基本烈度为Ⅶ度。除此之外，济焦高速公路是新乡长垣至济源高速公路的重要组成部分，西起济洛、济焦互通立交，经沁阳、博爱、武陟，跨越焦（作）温（县）高速公路，东与宁郭互通处和郑（州）焦（作）晋（城）高速公路连接。河南省焦作市是豫西北重镇，地理位置重要，交通便利，是晋煤南下和东运的主要通道。焦作地区东西向省道豫 13、豫 06、豫 14 及南北向国道 207、省道豫 18 纵横贯穿整个地区，形成了以焦作市为中心，沟通各县乡并与国道 310 和国道 107 相接的公路网络。截至 1997 年年底，焦作市公路里程已达 1918km，其中二级公路 448.5km，三级公路 321.5km，四级公路 1032.0km，

等外公路 116.2km。公路密度为 0.468km/km²，机动车保有量为 26545 辆。近几年，由于公路运输的快速发展，加之晋煤外运的特殊情况，这一路段的超限、超载、超重现象非常严重，以与山西省相通的新济线、洛常线、郑常线为尤。特别是郑常线的詹泗段，由于晋煤外运车辆严重超载和近年交通量猛增，行驶重车的南半幅路面已严重受损，仅靠维修保养来保证通车，已到不采取重大工程措施难以为继的程度。由此看来，在进行路面结构设计的过程中，必须考虑当地重载的影响。

考虑到采用沥青稳定碎石联结层能够吸收和削减半刚性基层尖端应力和应变、改善半刚性基层水温状况，在很大程度上能够减少和延缓反射裂缝的发生；这种联结层还能够改善半刚性基层顶面的积水状况，保护半刚性基层，进而延长公路的使用寿命；设置有沥青稳定碎石联结层的沥青路面，相当于增加了沥青层的总厚度，增加路面的抗裂总能量。为此，本书提出济焦高速路面下部结构为沥青碎石联结层+半刚性基层，上面层为沥青玛蹄脂碎石混合料（Stone Mastic Asphalt, SMA）。

鉴于此，本书通过调查河南省及国内类似地区路面使用状况，尤其对河南省水泥稳定碎石基层的使用状况进行观测、统计和分析，提出济焦高速路面结构合理组合；针对半刚性基层易开裂的现状，系统地对半刚性基层的抗裂性能、缩裂微观机理、抗裂评价指标 3 个方面进行研究；深入研究沥青稳定碎石联结层的配合比设计及其高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和抗疲劳等路用性能；对 SMA 面层材料及其路用性能进行研究；在以上研究的基础上提出济焦高速公路合理的路面结构组合与材料组成，并进行深入分析与验证；同时提出了沥青稳定碎石联结层+半刚性基层沥青路面的施工质量控制要点与标准。意在将沥青稳定碎石联结层+半刚性基层沥青路面在河南省进行推广应用。

本书研究课题的完成将为河南省乃至全国公路建设提出合理的路面结构形式，为建设承载能力高、使用性能好、造价合理的路面结构打下基础，对提高公路建设的水平和完善相关规范具有重要指导意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国内研究现状

在国内，半刚性基层因其强度高、经济效益好，得以广泛应用。但是，当行车产生的拉应力与温度应力相结合，反射裂缝会很快形成。在沥青面层较厚的情况下，由于温度应力在沥青表层最大，基层的裂缝将促使面层开裂，然后逐渐向下传播形成对应裂缝造成路面的破坏。

为防止这些裂缝的反射，许多国家都在进行研究，并采取了各种防裂措施，柔性基层路面结构就是其中之一。柔性基层我国前两年研究得比较少，做过一些实验，比如采用大粒径碎石做基层，长安大学在这方面做过相关的试验研究。大粒径碎石做基层，抗压、抗疲劳的能力比较令人满意。大粒径基层在山东省、江苏省也做过很多的实验。最近几年，以沥青稳定碎石为代表的柔性基层的研究与应用正在得到广泛的重视。目前，柔性基层沥青路面在国内东南沿海省份已有应用，是国内沥青路面研究的热点，同时通过增设沥青碎

石层可以加厚沥青面层，有利于降低沥青层底的拉应变，从而降低其疲劳开裂的可能性，其疲劳寿命大大高于传统的半刚性基层沥青路面结构。

但是，采用纯柔性结构造价很高，所以设置沥青稳定碎石联结层。联结层是为了加强面层与基层之间的联结和提高面层抵抗疲劳能力而设置的，也是面层的一部分，多用于交通繁重的道路；有时为了防止或减少面层受下层裂缝反射的影响，也采用联结层。这样一来，既可以有效地改善半刚性基层反射裂缝的问题，又可以避免纯柔性结构的高造价。

国内近年来进行了沥青稳定碎石的研究和实践。在道路修筑中，如长于高速公路、邢临高速公路、沈阳绕城高速沥青路面中修等工程中均采用了沥青稳定碎石联结层+半刚性基层相结合的结构形式。此外，吉林省公路勘测设计院从材料、施工工艺等方面对柔性基层进行了研究；江苏省交通科学研究院结合国内外沥青稳定碎石基层的应用，采用大马歇尔试验设计方法系统地研究了密级配沥青稳定碎石混合料的设计，并结合宁连公路南京段改造工程的实践，提出了配合比设计方法和设计控制指标；安徽省交通职业技术学院联合广州市市政工程局，通过与国外沥青稳定基层常用级配及国内相关级配的比较，经过大量的马歇尔试验和强度试验，初选出沥青稳定碎石 1 号（最大公称粒径 26.5mm）和沥青稳定碎石 2 号（最大公称粒径 31.5mm）两种级配，研究其抗疲劳性能，并进行疲劳寿命预估；长安大学进行了沥青稳定碎石基层的研究，提出了混合料的设计方法和施工技术。

从国内对于沥青稳定碎石（简称 ATB）联结层的应用中可以看出，沥青碎石联结层与半刚性下基层相组合，较为现实可行。例如，对于沥青混凝土面层厚 15cm 的高等级路面而言，当沥青混凝土面层减薄为 10cm，把原来属于 5cm 沥青混凝土面层的投资用于修建约 10cm 的沥青碎石联结层。这样虽然增加了沥青层总厚度，但由于沥青碎石联结层的沥青用量较低，而且增加沥青层总厚度所需的石料，可以通过减薄半刚性基层总厚度弥补。因此材料总用量增加不多。沥青碎石联结层除了有利于缓解半刚性基层反射裂缝之外，还有利于减轻沥青层的低温收缩裂缝。近年来，应用松弛理论以及能量原理预测沥青层低温开裂的方法得到广泛的承认。沥青层低温开裂不仅取决于沥青的性能、混合料的组成结构、降温速度，而且与沥青层厚和材料单位面积断裂能密切相关。沥青层厚不仅直接影响到横向收缩裂缝间距，而且影响到温度和应力随时间的变化以及收缩系数与断裂能。通过沥青用量低的沥青碎石基层，在造价增加不多、沥青层厚得以提高时，对减少横向裂缝取得了显著的效果。在辽源、通化 2 条试验路取得显著效果的基础上，已在长余高速公路推广应用。

实践表明：采用沥青稳定碎石联结层+半刚性基层这种结构对于抑止半刚性基层的反射裂缝非常有效；特别对于重载交通，采用柔性的联结层和半刚性基层的优化组合，还可以有效减少沥青路面的疲劳裂缝。

尽管国内近年来进行了沥青稳定碎石基层的研究和实践，但对沥青稳定碎石联结层+半刚性基层这种结构并未进行深入研究，尤其是在重载作用下合理结构设计。

1.2.2 国外研究现状

在国外，沥青稳定碎石一般用作基层材料。

(1) 美国地沥青协会开发的 DAMA 路面设计程序包含了沥青稳定碎石基层的设计方

法,认为这种路面能够有效地减小水损害,使得路面结构的受力协调,并有利于采用统一的沥青材料从而保证路面质量。

(2) 日本是采用全厚式沥青路面最多、最早的国家之一,其高速公路大都采用沥青稳定碎石基层。

(3) 挪威等北欧国家,沥青碎石、沥青混凝土等与碾压碎、砾石等是最主要的基层类型,均有相应的设计方法。

(4) 20世纪70年代中期,在美国俄亥俄州进行了沥青碎石基层路面的室内和室外研究。通过现场的非破损动态弯沉测试来计算结构层模量。

在欧美各国以及日本在内的多数国家的高速公路沥青路面结构中绝大部分采用了沥青稳定碎石基层,沥青稳定碎石基层是最为常用的结构类型,表1.1中列出部分国家所采用的沥青稳定碎石基层沥青路面结构形式。

表 1.1 部分国家所采用的沥青稳定碎石基层沥青路面结构形式

国家	沥青稳定碎石路面结构形式
美国	OGFC (2.5) + HMA (7.5) + HMA (15) + HMA (7.5)
	Superpave (5) + HMA (11.5 或 9) + HMA (12.5 或 15) + 级配碎石 (38)
	Superpave (5) + HMA (14 或 11) + HMA (15.5 或 18) + 级配碎石 (25)
	SMA (6.5) + HMA (14 或 12.5) + HMA (16.5 或 18) + 级配碎石 (33)
	SMA (6.5) + HMA (15) + HMA (19) + 级配碎石 (43)
	沥青混凝土 (4+9) + 沥青贯入式 (17.5) + 水结碎石 (16) + 砂砾 (25)
法国	沥青混凝土 (5) + 沥青稳定碎石 (19) + 砂砾 (15) + 加固底基层 (15)
	沥青混合料 + 沥青稳定基层 (<15) + 粒料底基层 (20~50) + 垫层
	沥青混合料 + 沥青稳定基层 (15~40) + 垫层
	沥青混合料 + 沥青稳定基层 (10~20) + 水硬性稳定处理底基层 (20~40) + 垫层
德国	沥青混合料 + 沥青稳定基层 (10~20) + 粒料 (约 12) + 水硬性稳定处理底基层 (15~20) + 垫层
	沥青混凝土 (4+3+5) + 沥青稳定碎石 (18) + 级配砂砾 (15) + 防冻层
	浇筑式沥青混凝土 (3.5) + 沥青混凝土 (3.5+5) + 沥青稳定碎石 (18) + 级配砂砾 (15) + 防冻层
日本	密式沥青混凝土 (4) + 粗粒式沥青混凝土 (6) + 沥青稳定碎石 (10~20) + 级配碎石 (15~30)
	密式沥青混凝土 (5) + 粗粒式沥青混凝土 (6) + 沥青稳定碎石 (20) + 未筛分碎石 (50)
	中粒式沥青混凝土 (5) + 粗粒式沥青混凝土 (6) + 沥青稳定碎石 (15) + 天然级配砂砾 (20~25)
奥地利	沥青混凝土 (2.7+3+4.1) + 沥青稳定碎石 (14+16) + 防冻层 (30)
比利时	沥青混凝土 (4+8) + 沥青稳定碎石 (16) + 底基层
意大利	沥青混凝土 (3+7) + 沥青稳定碎石 (15) + 级配砂砾 (35) + 砂层 (30~40)

注 表中括号内数字为结构层厚,单位:cm。

由表1.1可知,由于交通量和地域差异比较大,各国的路面结构差别也很显著,但总体来说,沥青稳定碎石基层在各国沥青路面典型结构中占了很大的比重,且沥青层总厚都比较大,一般都超过20cm。

各国在大量实践的基础上,提出了有关沥青稳定基层的施工设计规范,总的来看,对

沥青稳定基层的材料组成设计要求都不如面层的沥青混凝土严格，颗粒也大于面层所用的颗粒，相应的混合料的空隙率也比面层混合料大，而沥青用量相对较少。

1949年，英国在北约克郡修建了每段长度为60~80m的试验段，以比较压实沥青混凝土磨耗层与沥青矿渣磨耗层的性能差异以及沥青碎石基层和级配碎石基层的性能差异。1957年又在剑桥郡铺筑了包括33种路面结构的Alconbury Hill试验路，比较了级配碎石、开级配沥青碎石、贫混凝土、碾压沥青混凝土和水泥胶结砂基层在不同厚度的使用性能。在通车10年后，经历了约600万次100kN标准轴载作用后，路面的变形和裂缝表明沥青混凝土面层和沥青碎石基层的路面结构组合具有最好的路面使用性能。

1963年，剑桥试验路共有21个小段，试验目的是比较不同厚度的密级配沥青碎石基层、密级配焦油碎石基层、密级配沥青混凝土基层、湿拌级配碎石基层与水泥稳定基层和使用性能之间的关系。通过对试验路几十年的变形和开裂的观测，不同基层类型路面使用性能从好到差的顺序为：沥青混凝土、密级配沥青稳定碎石、密级配焦油碎石、水泥稳定碎石和湿拌级配碎石。

1964年剑桥试验路，主要比较沥青胶结料基层与水泥胶结料基层的使用性能。通过22年的观测。每一种沥青或焦油胶结料含量路面的使用性能都很好。即使基层厚度为150mm，路面在承受1800万次的荷载作用以后，使用性能仍然很好。观测表明，高强度水泥稳定基层易形成反射裂缝，而低强度水泥稳定基层易由于强度不足导致路面出现网裂。沥青胶结料基层优于水泥胶结料基层，对于贫沥青胶结料基层既有好的路用性能，同时具有较好的经济效益。

美国各州公路工作者协会(AASHO)在1956—1960年间进行了著名的AASHO试验路研究。其中比较了4种基层：碎石基层、砾石基层、水泥处治基层和沥青处治基层。研究发现，虽然沥青稳定基层路面的车辙量比水泥稳定基层路面略大，但其路面的使用品质高于水泥稳定基层。根据现时服务性指数(PSI)，得出1个单位厚的沥青稳定基层相当于1.3个单位厚的水泥处治基层。

国外的使用经验表明，柔性基层沥青路面使用性能良好。日本35年来已建成通车的6450km高速公路中使用年限10年以下占34%，10~20年占32%，20年以上占34%。维修的里程按路面损坏原因分析，1990年以前由于带钉轮胎的磨损造成的辙槽占40%，车辙变形总体上达80%以上。在1991年禁用带钉轮胎后，车辙仍超过60%。全国因裂缝而进行维修保养的里程约占20%，其中许多是由于路面表层老化所引起的裂纹修补。美国238km的新泽西州收费道路自1951年开放交通以来，承受着美国最重的重载交通，使用50年来除了进行表面处治外，没有进行过重建。爱荷华州Cedar路段修建于1962年，结构为11.43cmHMA面层+40.64cmATB直接放到细粒土上。使用到现在只分别在1976年、1990年进行了表面修补。根据LTTP GPS-6(FHWA-RD-00-165)大量路用性能数据，绝大部分柔性基层沥青路面能够使用15年以上才需要维修；很多沥青路面使用20年以上才出现明显的损坏。这与我国沥青路面的使用寿命相比形成了鲜明对比。

综上所述，相对而言，国外对沥青碎石基层研究较多，但这些路面沥青层厚度大多达30cm以上，有的甚至超过50cm，我国尚属于发展中国家，难以照搬。

1.3 主要研究内容

本书主要结合济焦高速公路工程实例，考虑当地的重载严重的特点，主要研究沥青稳定碎石联结层+半刚性基层的 SMA 沥青路面结构组合与材料组成，深入研究水泥粉煤灰稳定碎石及沥青稳定碎石联结层的抗裂性能。本书的主要研究内容如下。

1.3.1 济焦高速公路沿线路用材料性能与交通状况

对济焦高速公路沿线路用材料及其交通状况进行了调查分析，为路面结构的合理设计提供依据。

1.3.2 济焦高速公路合理结构组合研究

分析研究济焦高速各结构层设置的作用，为济焦高速路面结构合理组合提供理论依据。利用 BISAR 程序对济焦高速 ATB 联结层的设计参数进行敏感性分析，提出济焦高速 ATB 联结层适宜厚度与模量，并按我国设计规范和英国的永久性路面设计方法对济焦高速路面结构进行验算，同时对其车辙进行预估。最后利用有限元对济焦高速 ATB 联结层的抗裂效果进行力学分析。

1.3.3 济焦高速公路基层材料及其路用性能

针对半刚性基层易开裂、易冲刷的现状，从抗裂性能、缩裂微观机理、抗裂评价指标、冲刷性能、疲劳特性等各方面对半刚性基层进行系统的研究。

1.3.4 济焦高速公路联结层材料性能研究

研究了沥青稳定碎石联结层的材料组成和基本要求，重点研究了该联结层的抗裂性能、高温稳定性、抗水损害性能及抗疲劳性能，并将其路用性能进行综合的对比分析。

1.3.5 济焦高速公路面层材料及其路用性能

主要研究 SMA 面层材料的组成、配合比设计和高温性能、低温性能、水稳定性等路用性能。

1.3.6 考虑重载的济焦高速路面结构研究

从重载作用下的交通特性出发，完善重载路面的设计方法，并利用规范设计方法和本课题组提出的重载设计方法对济焦高速的路面结构分别进行计算，并应用 BISAR 程序对重载作用下济焦高速路面结构力学响应进行分析。

1.3.7 济焦高速公路施工质量控制要点与质量标准

针对河南省高速公路的施工情况，结合试验路的铺筑，提出沥青稳定碎石联结层+半刚性基层的沥青路面的施工质量控制要点与标准。

1.4 研究技术路线

(1) 广泛查阅国内外有关“沥青稳定碎石联结层+半刚性基层”结构的应用和研究情况以及相关文献,了解、掌握国内外在该领域的研究成果并对相关资料进行归纳总结。

(2) 对济焦高速公路路面结构 ATB 联结层设置的合理性进行力学分析,采用不同的方法进行设计参数验证,并对其车辙进行预估。

(3) 针对半刚性基层易开裂的现状,系统地对半刚性基层的材料组成及其抗裂性能、缩裂微观机理、抗裂评价指标 3 个方面进行研究。

(4) 深入研究沥青稳定碎石联结层的材料组成以及其高温稳定性、抗水损害性能、抗疲劳性能等路用性能指标及相应的试验方法。

(5) 对面层的配合比设计及其高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性等路用性能进行系统研究,为济焦高速路面结构的合理组合提供理论基础。

(6) 完善重载路面的设计方法,并利用规范设计方法和本书提出的重载设计方法对济焦高速的路面结构分别进行了计算,验证济焦高速路面结构是否满足重载设计要求。

(7) 铺筑试验路,并对试验路进行观测与评价,总结并提出沥青稳定碎石联结层+半刚性基层沥青路面施工质量控制要点。

(8) 总结研究成果,撰写研究报告。

第 2 章 沿线路用材料性能与交通状况

2.1 依托工程简介

焦作市位于河南省西北部，东连新乡，西接洛阳，南临黄河与省会郑州一衣带水，北依太行与晋东南一脉相连。焦作市是河南省交通发达地区之一，焦新、焦枝、焦太铁路穿境而过，东接京广、南连陇海、北达太原；焦郑、焦晋高速公路和焦作黄河大桥与国道融会贯通，与地方铁路网纵横交错，与省会郑州、中岳嵩山、古都洛阳、山西晋城之间的行程均在百公里以内。

济焦高速起于济源东，于 207 国道东侧 600m，新济路南侧 1km 处接太澳高速，设济源互通式立交，同时作为两高速公路车辆交换的枢纽和济源市上下两高速公路的出入口。而后路线向东经西湖南、梨林镇南，于水东和薛庄之间跨济温地方铁路后，经史村北、宋庄南、柏香镇南，至大留村和谢庄之间与正在建设中的紫陵至温县黄河桥公路相交，设置柏香互通式立交，用以吸引紫陵、葛村、柏香、崇义等较大乡镇的车流。路线继续向东经部两水南、东两水南、北吕庄南、西赵庄北、西渠沟北、中渠沟北、东渠沟北、曹村南，在沁阳市南部韩村北侧跨伏背涝河，与 S238 线洛常路相交，设互通式立交作为沁阳市的城市出入口，该立交距沁阳市规划区南边缘约 1km。路线沿沁阳市规划区南侧继续向东，经西荒南、东荒南、伍王张庄北，于沁阳市规划区的东南角、王召镇西北侧跨沁温公路后，向北偏转，于西申召和东申召之间跨过济河，又于沁河南岸的西王召、东王召，北岸的留村和蒋村之间跨越沁河，桥位处为一险工河段。路线向东北方向经西界沟南、吴庄南，于界沟乡北侧跨博王公路（博爱至东王贺），设博爱互通式立交作为博爱城市出入口。此后，路线于圪庄北跨运粮河，至博爱东南金城乡西北侧先后跨 S237 线温博路和马河后，与焦温高速相交，设金城枢纽互通式立交。路线由此向东经侯卜昌南、车家作南、苏家作乡北、北石涧南、黄庄南、石庄南，于宁郭镇南先后跨焦作至小董公路和郑常公路，由张庄和大寨之间穿过，至南张村南侧至其终点，设互通式立交（分离式路基）接晋焦郑高速公路。路线全长 52.2km。

2.1.1 地形地貌

项目所在区域位于河南省西北部中条山脉、太行山脉、黄土高原和华北平原的交界地带，区域内地貌复杂，北部山地属太行山余脉，地势起伏较大，自北向南呈阶梯状降低，山地受强烈侵蚀切割，地形破碎，山势较陡，土薄石厚，多深沟峡谷；南部平原属太行山前倾斜平原的组成部分，地势呈东南向倾斜，地形开阔，土层厚而肥沃。

路线经过区域南部的倾斜平原，其西段地形开阔，地势低平，为济源盆地的一部分。

沁河自线路中部经过，沿河发育小型河谷冲洪积平原，东部地势较平，由西北向东南微微倾斜，为太行山前倾斜平原向黄河冲洪积平原过渡地带。济焦高速公路段土质较为单一，均属低液限黏土及亚黏土，地基承载力在 120~140kPa 之间。

2.1.2 气象条件

项目所在区域位于暖温带大陆性气候区，总的特点是春季温暖多风，夏季炎热多雨，秋季秋高气爽，冬季干冷少雪。路区总体来说可分为平原区和丘陵区两种气候，其中平原区气候温和、湿润，寒暑变迁较慢，年平均气温 14~15℃，全年无霜期 215~230d，年平均降水量 600~650mm；丘陵区气候干燥，四季交替明显，气温偏低，冬冷且长，年平均气温在 14℃ 以下，无霜期在 215d 以下，年降雨量在 620~1000mm 之间，多集中在夏季，强度大且多为暴雨，冬、春季雨雪较少。

2.1.3 水系及水文地质条件

路区河渠纵横，地表水系发达，沁河以西区域属黄河水系，沁河以东区域属海河流域，沿线河沟多发源于西部、西北部山区，向东南汇入黄河或向东北流入卫河。区域内较大的河流有沁河、蟒河、济河、官路河、运粮河等，均常年有水，水量丰富，受当地制革业、造纸业等影响，部分河流水质有一定程度的污染，但随着近年来治理污染力度的加大，河流水质也在逐渐恢复。

路区地下水埋深变化较大，在 0.8~15.5m 之间，主要为松散层孔隙水，属潜水。地下水主要补给为降水和地表水，矿化度较高。项目区域内下部普遍存在承压水，其埋深 70~130m，水量丰富。承压水水位一般埋深 1~5m，在济源—柏香—沁阳一带为自流带，水头平均高出地面 1~2m。项目区域内地下水对混凝土不具侵蚀性。

济源至焦作高速公路是晋煤外运的重要通道，重载交通量较大，根据 2004 年 9 月 25 日在郑州召开的“济焦高速公路路面结构优化专家论证会”的专家意见，河南省交通厅于 2005 年 1 月 5 日召开了济焦高速公路路面变更座谈会，会议决定同意对路面结构进行变更，将主线路面结构设计变更如下：

主线路面结构由 5cmAC-16I+6cmAC-20I+7cmAC-25I+34cm 水泥稳定碎石+20cm 石灰土变更为 4cmSMA-13+6cmAC-20I+13cmATB-25 联结层+19cm 水泥粉煤灰稳定碎石 (3MPa)+30cm 水泥粉煤灰稳定碎石 (2.5MPa)。

2.2 沿线主要路用材料性能调查研究

道路材料是道路建设的物质基础，其品质优劣直接影响着路面结构的强度、稳定性和耐久性。焦作市由于其在地理和气候方面的特殊性，建筑材料的分布有着点多面广、属性差异较大的特点。多年来在焦作地区的道路建设中，一直缺乏对筑路材料进行较为系统的分析和评价。因此，就难免在路面材料使用中出现这样或那样的问题，严重影响着目前道路路面使用性能和寿命。为了科学地认识和使用现有道路材料，体现“因地制宜、选优废劣、物尽其用”的原则，课题组对焦作地区的筑路材料进行了详细调查、分析和总结，对

今后路面材料的使用和发展等方面提出一些看法和建议,以期对该地区的道路建设及维修保养有所裨益。

1. 粗集料

粗集料采用碎石,调研的几条道路中基本上用的是九里山石料厂生产的碎石,各个粒径的碎石的技术指标都能达到要求,见表 2.1。

表 2.1 粗集料调研表

编号		1	2	3	4	5
生产厂家		九里山矿	九里山矿	九里山石料厂	九里山石料厂	九里山石料厂
工程名称		北山绿化路	北山绿化路	新孟路四标	新孟路四标	新孟路四标
岩石名称						碎粉
粒径/mm		10~20	5~10	9.5~19	9.5~31.5	—
技术指标	表观密度/(g/cm ³)					
	压碎值/%	11.0				
	针片状含量/%	5.1	7.9			
	含泥量/%	0.57	1.10	0.7	0.3	13.8
编号		6	7	8	9	10
生产厂家		九里山石料厂	九里山石料厂	九里山石料厂	九里山石料厂	鹤壁上峪乡卓坡石料厂
工程名称		新孟路四标	新孟路三标	新孟路三标	新孟路三标	
粒径/mm		13.2~16	13.2~16	4.75~9.5	4.75~19	5~15
技术指标	表观密度/(g/cm ³)		2.75	2.74	2.73	2.983
	压碎值/%	14.8	14.9			10.02
	针片状含量/%		6.97	7.0	11.24	6.5
	含泥量/%		0.9	0.90	0.2	0.37

经过调研,鹤壁地区石料厂所生产的玄武岩石料,尤其是粒径在 5~10cm 之间的石料的吸水率较大,对沥青的黏附性较大,饱水抗压强度也较大。

2. 细集料

细集料采用石屑。各个料厂生产的细集料的密度比较接近,含泥量都满足要求,其中南阳和信阳两个料厂生产的细集料含泥量较低,见表 2.2。

表 2.2 细集料调研表

编号	1	2	3	4	5
生产厂家	南阳料厂	公路局石料场	焦作闫河	九里山石料厂	信阳料厂
工程名称	北山绿化路	斗武路一标	华福热电输煤道路工程	新孟路三标	卫柿路
密度/(g/cm ³)	2.54	2.702	2.717	2.58	2.57
含泥量/%	1.8			3.1	1.5

3. 粉煤灰

所调研的各条路上使用的粉煤灰基本上来源于焦作的万方电厂和焦作电厂。除了焦郑