

聚丙烯腈纤维沥青混合料 性能及界面表征

姚立阳 著

中国建材工业出版社

聚丙烯腈纤维沥青混合料 性能及界面表征

姚立阳 著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

聚丙烯腈纤维沥青混合料性能及界面表征 / 姚立阳
著. --北京: 中国建材工业出版社, 2016. 9

ISBN 978-7-5160-1621-3

I. ①聚… II. ①姚… III. ①聚丙烯腈纤维—应用—
沥青拌和料—研究 IV. ①U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 201710 号

内 容 简 介

本书针对聚丙烯腈纤维在路用沥青混合料中的应用做了较为全面的论述, 内容包括聚丙烯腈纤维在沥青及沥青混合料中的相容性、稳定性、界面性能、作用机理、黏弹性能、施工技术及其经济性等方面。

本书可供从事道路设计、施工、科研人员学习参考, 亦可供大专院校相关专业师生及建筑材料领域有关专业人员参考。

聚丙烯腈纤维沥青混合料性能及界面表征
姚立阳 著

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 7.5

字 数: 200 千字

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

印 次: 2016 年 9 月第 1 次

定 价: **48.80 元**

本社网址: www.jccbs.com 微信公众号: zjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

随着我国经济建设的高速发展,交通量不断增加,交通组成不断变化,现代交通对于沥青路面的质量提出越来越高的要求,特别是日益发展的高等级公路。由于沥青路面的建设周期短、施工方便、行车舒适等特点,其在高等级路面建设中得到广泛应用。截至2015年底,全国公路总里程达到457万千米,其中高速公路总里程突破12万千米,位居世界第一。据不完全统计,在我国高等级公路中沥青路面占比达90%以上。但是,随着近几年交通量和轴载的迅速增加,沥青路面病害也急剧增加,致使沥青路面的使用寿命缩短,不仅产生了巨大的经济损失,给社会也造成了不良影响。

为了改善沥青路面的路用性能,采用新材料、新设备、新工艺减少沥青路面的损坏,延长其使用寿命,是改造沥青路面工业落后技术现状的重要手段。聚丙烯腈纤维作为一种新型的沥青混合料添加材料,具有强度高、吸附性强、化学稳定性及分散性好等特点,可改善沥青路面的高温抗变形能力和低温抗裂等路用性能,延长路面的使用寿命,具有广泛的应用前景。

本书围绕聚丙烯腈纤维在沥青路面中的应用问题做了几个方面的阐述,包括聚丙烯腈纤维的微观形貌特点、聚丙烯腈纤维在沥青混合料中的相容性、纤维沥青胶浆性能、纤维与沥青之间的界面性能、纤维沥青混合料的路用性能、纤维沥青胶浆和纤维沥青混合料的黏弹特性和力学模型、纤维沥青混合料路面施工技术及经济性分析等方面。

本书由河南城建学院姚立阳老师独著完成,凝聚了作者多年的心血,内容真实可靠,相关结论均来自作者多年试验研究和工程实践经验。希望此书的出版能够满足道路工程领域人员的学习和研究之需,并对交通行业的发展有所帮助。

由于近几年纤维沥青路面相关的理论和技术发展迅速,新材料、新技术和新观点不断涌现,加之时间仓促和编者水平有限,书中难免会存在疏漏、不当之处,恳请读者批评指正。谢谢!

编 者

2016年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 沥青路面中为什么要添加纤维	1
1.1.1 沥青路面损坏类型	1
1.1.2 纤维在沥青混合料中的作用	3
1.2 路用纤维的品质和性能	4
1.2.1 路用纤维的技术要求	4
1.2.2 常用的路用纤维	5
1.3 纤维沥青混合料的研究现状	5
1.3.1 沥青混合料性能改善的途径	5
1.3.2 国外研究现状	6
1.3.3 国内研究现状	7
1.3.4 纤维沥青混合料研究与应用中存在的问题	9
第 2 章 聚丙烯腈纤维与沥青混合料的相容性	10
2.1 概述	10
2.2 常用路用纤维的性能特点	11
2.2.1 路用木质素纤维	11
2.2.2 路用玄武岩矿物纤维	13
2.2.3 聚丙烯腈纤维	14
2.3 纤维在沥青混合料中的相容性	16
2.3.1 纤维的吸油性	16
2.3.2 纤维的吸水性能	17
2.3.3 纤维的耐热性能	18
2.3.4 纤维的分散效果	26
2.4 纤维沥青混合料的配合比设计	27
2.4.1 沥青混合料的组成结构	27
2.4.2 沥青混合料的配合比设计	28
2.5 本章小结	32
第 3 章 聚丙烯腈纤维沥青胶浆性能	33
3.1 概述	33

3.2	纤维沥青胶浆的制备	34
3.3	纤维沥青胶浆的黏滞性	34
3.3.1	试验方法的选择	34
3.3.2	温度对纤维沥青胶浆性能的影响	37
3.3.3	纤维类型及掺量对沥青胶浆性能的影响	39
3.4	纤维沥青胶浆的低温稳定性	41
3.5	纤维沥青胶浆的动态剪切流变性能	43
3.5.1	动态剪切流变性能测试方法	44
3.5.2	流变参数与温度的相关性	47
3.5.3	纤维沥青胶浆高温抗永久变形性能	50
3.6	聚丙烯腈纤维与沥青的界面性能	51
3.6.1	纤维在沥青胶浆中的分布状态	51
3.6.2	聚丙烯腈纤维与沥青的界面表征	53
3.7	聚丙烯腈纤维沥青胶浆黏弹特性力学模型	56
3.7.1	纤维沥青胶浆的蠕变回复性能	56
3.7.2	纤维沥青胶浆黏弹特性模型	59
3.8	本章小结	61
第4章	聚丙烯腈纤维沥青混合料的路用性能	63
4.1	聚丙烯腈纤维沥青混合料的高温稳定性	63
4.1.1	TRRL 高温抗车辙性能	63
4.1.2	CPN 高温抗车辙性能	66
4.1.3	AAPA 高温抗车辙性能	70
4.1.4	车辙试验相关性分析	73
4.2	聚丙烯腈纤维沥青混合料的低温稳定性	76
4.3	聚丙烯腈纤维沥青混合料的水稳定性	78
4.4	纤维在沥青混合料中的作用机理	81
4.4.1	纤维在沥青混合料中的分布	81
4.4.2	聚丙烯腈纤维在沥青混合料中的主要作用	84
4.4.3	纤维改善沥青混合料稳定性的机理	85
4.5	本章小结	87
第5章	聚丙烯腈纤维沥青混合料黏弹特性及模型	88
5.1	概述	88
5.2	沥青混合料的黏弹特性原理	88
5.2.1	沥青混合料的黏弹性特征	88
5.2.2	沥青混合料的黏弹性模型理论	89
5.3	沥青混合料黏弹特性研究现状	94

5.4	聚丙烯腈纤维沥青混合料的蠕变性能	95
5.5	聚丙烯腈纤维沥青混合料流变模型	97
5.6	本章小结	100
第6章	聚丙烯腈纤维沥青混合料施工技术及其经济性分析	101
6.1	纤维沥青混合料施工技术	101
6.1.1	纤维沥青混合料拌合工艺	101
6.1.2	纤维沥青混合料的质量控制	102
6.1.3	纤维沥青混合料摊铺和碾压	102
6.2	纤维沥青混合料的经济性分析	102
6.2.1	道路初期建设增加的费用	103
6.2.2	纤维成本核算	103
6.2.3	养护费用分析	104
6.2.4	用户费用分析	104
6.3	试验段铺筑	104
6.4	本章小结	105
	参考文献	106

第 1 章 绪 论

1.1 沥青路面中为什么要添加纤维

1.1.1 沥青路面损坏类型

伴随经济建设高速发展，交通量不断增加，交通组成不断变化，现代交通对于沥青路面的质量提出越来越高的要求，特别是日益发展的高等级公路。由于沥青路面的建设周期短、施工方便、行车舒适等特点，其在高等级路面建设中得到广泛应用。截至 2015 年底，全国公路总里程达到 457 万千米，其中高速公路总里程突破 12 万千米，位居世界第一。据不完全统计，在我国高等级公路中沥青路面占比达 90% 以上。但是，随着近几年交通量和轴载的迅速增加，沥青路面病害也急剧增加，致使沥青路面的使用寿命缩短，不仅产生了巨大的经济损失，给社会也造成了不良影响^[1-9]。

沥青路面存在的问题和路面主要破坏形式可以归结为以下 6 个方面：

(1) 高温状态下，沥青路面容易产生车辙变形、拥包等病害，如图 1.1 所示。这主要是由于沥青高温黏度较低，或者沥青用量过多，或者碎石、砂、矿粉组成的比例失当所致。



图 1.1 车辙

(2) 沥青路面低温缩裂。寒冷季节，沥青混合料应力松弛能力不足导致沥青面层拉裂，

春融季节或雨季水分进入裂缝导致相邻层承载力不足，造成裂缝处碎裂，如图 1.2 所示。

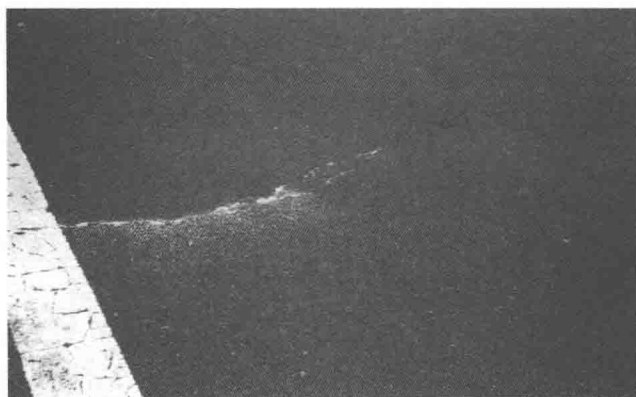


图 1.2 横向裂缝

(3) 沥青路面水损害。沥青结合料与集料表面的黏结力丧失而导致剥离，产生坑槽、松散等破坏现象，如图 1.3 所示。



图 1.3 坑槽

(4) 在重复荷载作用下，沥青路面发生疲劳破坏，如图 1.4 所示。



图 1.4 疲劳裂缝

(5) 沥青路面的耐久性与沥青的老化速度密切相关，面层中的沥青老化后，路面材料脆硬、松散，如图 1.5 所示。

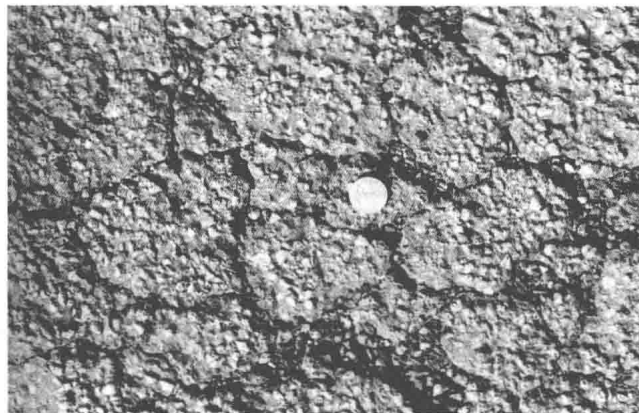


图 1.5 松散

(6) 路面抗滑性能直接影响交通安全，沥青路面使用过程中可能由于泛油或者集料磨光而导致表面滑溜，如图 1.6 所示。



图 1.6 表面变滑

采用新材料、新技术、新工艺减少沥青路面的损坏，延长其使用寿命，是改造沥青路面工业落后技术现状的重要手段。

1.1.2 纤维在沥青混合料中的作用

1. 增黏作用

吸附沥青，在保持沥青胶浆相同黏度的条件下，增加混合料中的沥青用量。吸附沥青中的轻质油分，使得残余的非吸附沥青的黏度增加。沥青矿粉纤维混合胶浆的黏度（流动变形抵抗能力）提高，沥青混合料高温稳定性得以改善。

2. 增韧作用

增强沥青结合料与集料表面的黏结力，防止剥离，提高抗水损害的能力，提高沥青

胶浆在低温条件下的变形能力和韧性，减少低温开裂。沥青胶浆变形过程中，纤维具有取向作用，使得沥青混合料的变形追随能力显著提高。

3. 增强作用

掺加纤维的沥青混合料具有良好的疲劳抵抗能力，疲劳寿命显著增加。掺加纤维的沥青混合料具有良好的冲击韧性，特别适合旧水泥混凝土路面上的沥青加铺层使用。掺加纤维的沥青混合料的耐磨性能提高，可以用于防滑路面、履带车通行路面等特殊场所。

4. 填充作用

多数纤维吸附沥青后体积略有膨胀，可以有效降低沥青路面中的空隙率，减小空隙有效尺寸，改善空隙分布的均匀性。使用憎水性纤维，可以提高沥青混合料的泌水能力，缩短水分在沥青路面中的残留时间，减少水损坏现象。

综上所述，在沥青混合料中加入纤维可以有效地减少温缩裂缝、反射裂缝，降低老化速度以提高沥青路面的耐久性，提高沥青路面的车辙抵抗能力，减少水损害，防止沥青路面磨光和滑溜。

1.2 路用纤维的品质和性能

1.2.1 路用纤维的技术要求

纤维作为重要的沥青混合料添加剂，必须满足并显著提高拌和生产、摊铺碾压等工艺性能要求和路面使用性能要求。这些要求包括：

(1) 纤维的吸油性。纤维的吸油率与纤维的细度、表面结构及其与矿物油的相容性有关。良好的吸油性可以增加沥青混合料中的沥青用量，使得沥青路面疲劳寿命延长，耐老化性能提高。

(2) 纤维的耐热性。为使纤维在沥青混合料中分散均匀，纤维在拌缸中必须承受180~200℃的高温，而不发生物理和化学变化。

(3) 纤维与沥青的黏附性。纤维的黏附性决定其与沥青的亲和能力，良好的黏附性有利于沥青结合料的内聚力，以达到抗疲劳、抗老化的效果。

(4) 纤维的纤长比。相同质量的纤维可能具有完全不同的累积长度与比表面积。

(5) 纤维的韧性。纤维对于沥青混合料具有一定的增韧作用和增强作用，纤维自身的韧性非常重要。

(6) 纤维的耐腐蚀性。沥青路面在使用过程中可能遭遇油浸、水浸、酸碱等化学物质腐蚀，掺加的纤维必须具有良好的耐腐蚀性。

(7) 纤维的耐老化性。沥青路面的设计使用寿命为15年以上，其中掺加的纤维必须具有耐老化能力，特别是化学纤维，不应明显降解、脆化。

1.2.2 常用的路用纤维

目前能够用作沥青混合料添加剂的纤维种类很多,大体可以分为天然纤维和人造纤维、有机纤维和无机纤维。常用的几种纤维介绍如下。

1. 木质素纤维

木质素纤维是植物纤维,植物在加工成纸浆和纤维浆液的过程中,通过物理、化学处理,形成棉絮状木质素纤维。松散状的木质素纤维在长期存储过程中因吸湿而结块,体积较大,给包装和运输带来不便。木质素纤维的料源丰富、价格低廉。其主要缺点是易吸水腐烂,耐热、耐磨性能差。通常的木质素纤维为粗短纤维。

2. 腈纶纤维

腈纶纤维(聚丙烯腈纤维的简称)是有机合成纤维,分子链较长,纤维截面呈花生果状,具有强度高、溶剂中不溶胀的优点。

3. 玻璃纤维

玻璃纤维是非结晶无机纤维,由熔化的玻璃抽拉而成。玻璃纤维强度高、耐腐蚀、耐高温、不燃烧,但抗折性差。

4. 矿渣纤维

矿渣纤维是利用钢铁工业的钢渣为原料,熔化后经高速离心或喷吹等工艺而制成的一种棉絮状无机纤维,其主要成分为氧化硅和氧化钙。矿渣纤维来源于工业废料,成本低廉。

5. 玄武岩纤维

玄武岩纤维是玄武岩石料在 $1450\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 熔融后,通过铂铑合金拉丝漏板高速拉制而成的连续纤维。纯天然玄武岩纤维的颜色一般为褐色,有些似金色。

1.3 纤维沥青混合料的研究现状

1.3.1 沥青混合料性能改善的途径

由于近几年交通量和轴载等的迅速增加,导致沥青路面的使用寿命缩短,以及早期损害等病害增加,不仅产生了巨大的经济损失,而且给社会造成了不良影响^[1-9]。因此对道路建设者在提高路面使用时间和改善路面病害等方面提出了更高的要求。

沥青混合料是由集料、沥青和空隙构成的一个空间网络结构,因此,根据沥青混合料的特点,道路科研工作者在提高沥青混合料路面性能方面主要有以下三种途径:

第一,通过改善沥青混合料中矿质材料的构成级配,来改善沥青混合料的高低温抗变形能力,如已经在工程中得到应用的 SMA 路面和 OGFC 路面等。

第二,在沥青混合料中,依靠沥青的黏滞性把矿质颗粒材料牢牢地黏聚在一起,因此可以通过提高沥青材料的黏聚力,来降低沥青的温度敏感性和提高其抗变形能力,这种改善沥青性能的方法又被称为“合金化”的方法。“合金化”方法的高分子改性剂(如 SBS、SBR 及 PE 等)便由此应运而生,但是,沥青改性方法,一是受到了沥青溶解度的严格限制,二是过多的用量会影响拌合、储存和施工。现有改性剂的最大加入量一般不能超过沥青质量的 0.5%。因此,沥青仍然面临以下问题:①改性剂的“增弹增黏”效果封顶了,沥青路面的变形问题却依然未能很好的解决;②改性剂难以有效提高沥青的韧性;③沥青是一种随时间而老化脆化的材料,改性剂同样如此。

第三,为了克服“合金化”的先天不足,“复合材料化”的方法应运而生,即为了提高沥青混合料路面的抗变形能力和沥青材料的黏聚性,而在其中添加纤维等材料^[10]。这种方法可以充分发挥复合材料的特点,使得其中各个组分的作用得到充分发挥,从而满足外界环境变化以及复杂应力状态等因素对沥青混合料路面提出的更高要求,最终达到减少路面病害和延长路面使用寿命的目的。这种方法已经成为国内外沥青混合料路面材料发展的主流方向^[11-13]。纤维增强沥青混合料路面材料就是在这种背景下产生的,在北美及欧洲,像最早使用的玻璃纤维和石棉纤维,以及现在得到广泛使用的木质素纤维和玄武岩矿物纤维^[14-22],这些纤维也已经在我国的道路建设中得到应用,取得了比较好的效果^[23-30]。

虽然路用沥青纤维有上述几种可以选择,但随着道路等基础建设速度的加快,已经满足不了目前的需求,因此需要有大量新型道路建材的出现来促进道路建设的进一步发展。聚丙烯腈纤维就是一种新型的聚合物纤维,具有强度高、不溶解、吸附性强、在溶剂中不溶胀、化学性质稳定等特点,可提高路面的柔韧性,减少高温车辙、低温开裂等病害,从而延长了路面的使用寿命。

本书通过对聚丙烯腈纤维沥青胶浆及沥青混合料性能及作用机理的分析,阐述影响纤维增强沥青及沥青混合料效果的主要因素,结合不同掺量的纤维沥青胶浆、纤维沥青混合料路用性能等试验,全面系统地研究聚丙烯腈纤维对沥青胶浆及普通沥青混合料性能的影响规律,探讨聚丙烯腈纤维的使用原则,为聚丙烯腈纤维在沥青混合料中的进一步推广应用提供借鉴和参考。

纤维作为增强材料具有优良的性能,在航空、航天、船舶、汽车、化工、医药和机械领域得到广泛应用,在土木和建筑工程中的应用始于 20 世纪中期,同时在道路工程中也得到广泛的应用^[31-35]。

1.3.2 国外研究现状

国外对纤维改性沥青基复合材料的研究起源于 20 世纪 50 年代后期,其最初的使用目的是为了预防沥青路面反射裂缝的产生与扩展。在 1960 年加拿大多伦多大学 Davis 发表的《水泥混凝土路面沥青加铺反射裂缝防治措施研究》一文中,首次系统研究了纤维作为添加剂改善沥青路面抗反射裂缝性能。

1962年,国外学者首先尝试在沥青混合料路面中使用石棉纤维,并简要分析了石棉纤维对沥青路面性能的影响^[36]。1963年,Zuehlke. G. H在《第24号公路研究档案》中系统分析了短切石棉纤维在混合料中的马歇尔试验和抗弯拉性能的作用效果^[37]。而Kietzman等人也在公路研究报告中提出将纤维应用于沥青用量较大的混合料中^[38]。20世纪80年代,石棉纤维由于对环境和人类的污染影响,在沥青路面中的应用受阻,并逐渐被木质素纤维、矿物纤维、玻璃纤维及聚合物纤维等所替代^[39-45]。同时,各种纤维格栅和纤维织物也逐渐被开发出来并开始得到应用,在1985年Dr. Gerhard Kennepohl对纤维格栅加强沥青路面的设计方法和应用进行系统阐述之后,纤维和纤维织物在沥青混合料中开始得到推广应用。目前欧美等国家已经采用纤维加强沥青混凝土修筑了高速公路、机场及其他大交通量的等级公路。而且,美国和西欧等国家仍在大面积使用和研究纤维对沥青混合料的加强改性作用,同时开发形成了自己的纤维产品和纤维添加设备,为纤维沥青混合料的普及提供了方便^[46-52]。

沥青胶浆与混合料经过纤维改性作用后,其综合路用性能均会得到不同程度的改善^[53-55]。沥青混合料的高温变形主要由矿料间的相对滑移引起,纤维加入后能对沥青起到稳定作用,可对滑移起到有效的阻碍和约束作用,增强矿质集料的相对稳定性,减小剪切变形和竖向变形的产生,从而使混合料的高温形变减少。与普通沥青混合料相比,纤维改性沥青混合料的弯曲应变能提高,脆化点温度降低,低温蠕变速率增大,充分说明其低温抗裂性能和抗反射裂缝性能得到改善^[56-61]。纤维加入后,一方面由于纤维的“加筋”作用,在混合料内形成网状结构,使裂缝的扩展受到一定程度的限制;另一方面,沥青用量增加,混合料柔性增强,有利于细裂纹的填隙和弥合作用,而且纤维的加入可以有效分散荷载,消散应变能,使结构整体性更强,因而纤维加入后疲劳寿命增加,对应力水平的敏感程度下降。Serfass等人做了SMA混合料与普通沥青混合料的疲劳试验对比,结果表明在同样的应变下,SMA混合料的疲劳寿命几乎是普通沥青混合料的100倍^[62]。Lanzoni L研究了聚烯烃纤维和聚丙烯纤维对沥青混凝土路用性能的影响,发现纤维加入后能够有效阻止路面裂缝的发展^[63]。Jeng等人研究了博尼维纤维和聚丙烯纤维沥青混凝土的性能,结果表明两种纤维都能显著提高沥青混凝土的低温抗裂性和间接拉伸强度,但是对车辙性能的提高贡献作用不大^[64]。由于纤维比表面积较大,加入沥青混合料后会吸附一定量的沥青,使得混合料的最佳沥青用量有所增加,且因为纤维的种类不同而增加的幅度不同,木质素纤维引起的增加值最大,达到0.3%~0.5%,博尼维纤维一般会增加0.2%~0.3%,且纤维越细,表面纹理越粗糙,比表面积越大,分散性能得到充分保证时,其最佳沥青用量也越大。同时,纤维加入后,沥青混合料的密度和空隙率会变小而矿料间隙率会增大。在沥青用量接近最佳用量时,纤维的增强作用得以充分体现,马歇尔稳定度迅速增加并达到最大值,若沥青用量再增加,则由于自由沥青的润滑作用,稳定度下降,同时纤维的掺入会降低沥青基复合材料的弹性模量。

1.3.3 国内研究现状

国内对纤维改性沥青基复合材料的研究起步较晚,到20世纪90年代随着SMA路

面结构的引入和纤维添加剂的出现,才慢慢引起人们对纤维改性沥青基复合材料的关注,目前主要还停留在对纤维改性沥青基复合材料各项宏观性能的研究阶段。

国内学者胡长顺、王永财^[65-68]等人研究了不同纤维和矿质材料级配对纤维沥青混合料各项路用性能的影响,认为博尼维纤维的高温抗车辙性能、低温抗裂性能最佳。同时,通过分析不同纤维的特性,采用不同级配的沥青混合料进行了车辙试验、低温弯曲试验、弯曲蠕变试验、小梁疲劳试验和沥青混合料抗水损害性试验,结果表明:纤维的加入可显著提高沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、疲劳性能和抗水损害性能,且在木质素纤维、博尼维纤维和聚丙烯纤维三种纤维材料中,博尼维纤维对沥青混合料综合性能的改善效果最佳。黄彭^[69]将这种材料加入到沥青混凝土中,研究发现絮状木质素纤维对沥青的吸附效果最佳,且木质素纤维能够提高沥青胶浆的软化点、剪切强度,提高沥青混合料的高温稳定性,并探讨了木质素纤维增强沥青混合料的强度形成机理。彭波^[70-75]等人的研究认为纤维掺入能使沥青混合料的强度增大且混合料的密度减小,同时也发现纤维对沥青混合料的高温稳定性和低温抗裂性的改善作用更加明显。此外,经过纤维改性后,沥青混合料的残留稳定性和劈裂强度比指标均有所改善,这主要是因为纤维可以吸附部分自由沥青,从而增大沥青用量,提高沥青饱和度,并且使黏附在矿料上的界面层沥青膜变厚,降低了水对沥青胶浆的侵蚀破坏作用,增强了沥青胶浆抵抗自然环境破坏的能力,使混合料抗水损害能力增强^[76-78]。

虽然纤维在沥青混凝土中的应用已有近 50 年的历史,但对纤维沥青胶浆的研究相对较少涉及。根据胶浆理论,可以认为沥青混合料是一种多级空间网状结构的分散系,沥青与其中的纤维组成的沥青胶浆为最末一级的分散系,其中纤维为分散相,沥青为分散介质。Chen Jianshui^[79-82]等研究了木质素纤维和博尼维纤维对沥青胶浆基本技术性能的影响,发现沥青胶浆中纤维掺量存在明显的最佳值,其中木质素纤维约为 0.3%,博尼维纤维约为 0.4%;当掺量低于最佳值时,黏度会随着掺量的增加缓慢增长,接近最佳值时增长加速,而当超过最佳值时,黏度的增长又趋缓;同时,纤维的掺入会使沥青胶浆的软化点升高而针入度降低。相比较而言,博尼维纤维对沥青性能的影响强于木质素纤维。高温下纤维增大沥青黏度的作用明显优于传统的沥青改性剂,能大大减少沥青的流失率,同时,由于纤维的增强和增韧作用,沥青混合料的蠕变量与蠕变速率降低,一方面大幅减少永久蠕变的产生,提高路面的抗车辙变形能力,另一方面可大大降低蠕变疲劳损伤,从而提高沥青路面的疲劳寿命。相比于其他填料,如矿粉和水泥,沥青胶浆中加入纤维后能更大程度地增强其弹性和劲度模量。值得注意的是,若沥青胶浆中掺入过量的纤维,会由于纤维的缠绕或结团而在搅拌过程中产生大量的空穴,从而导致路用性能的显著降低。

付力强等人^[83-84]进行了 SBS 改性剂与纤维添加剂对沥青混凝土高温性能改善作用的比较研究,发现纤维的增黏因子不随温度变化,而改性剂的增黏因子随温度升高而急剧降低。张登良等人研究了沥青胶浆对沥青混合料高低温性能的影响,结果表明:加入适量纤维,可显著改善沥青混合料的低温柔性和低温松弛能力,同时也使沥青混合料的高温性能得到较大的提高^[85-87]。郭乃胜等人研究了纤维掺量对沥青混凝土抗压回弹模

量的影响,结果表明,沥青混凝土的力学性能对纤维的掺量反应敏感,适量地加入纤维会改善沥青混凝土的抗压强度和回弹模量,同时探讨了低温条件下纤维沥青混凝土的等效劲度模量的分析方法,计算了具有不同纤维掺量的沥青混凝土在不同温度状态下的等效劲度模量^[88-92]。除此之外,国内还有其他学者也就纤维沥青混合料的路用性能进行了研究^[93-115]。

上述分析虽然在一定程度上评价了纤维对沥青混合料性能的改善作用,但这些研究仅处于探索性阶段,很少有人从细观角度出发,采用相应理论和方法探讨复合材料细观特征与其宏观性能之间的内在联系,从更小尺度上揭示材料损伤、破坏本质。因此,必须深入全面研究纤维沥青混合料中纤维沥青复合材料的物理力学特征,为更有效地选用纤维沥青混合料提供理论和技术支持。

1.3.4 纤维沥青混合料研究与应用中存在的问题

影响沥青混合料性能的原因很复杂,广大科技工作者采取了很多措施以提高混合料的性能,延长其使用寿命。改性沥青及 SMA 的应用对提高混合料的性能起到了积极的作用,但随着交通量及轴载的不断加大,路面仍出现了一些病害。随着 20 世纪新材料、复合材料等在很多领域的成功应用,在混合料中掺加增强纤维作为一种改善沥青混合料性能的方法登上了历史舞台。木质素纤维、矿物纤维等沥青混合料路用性能的研究和工程应用,表明掺入增强纤维是一种改善、提高混合料性能的有效措施。但包括聚丙烯腈纤维在内,由于纤维沥青混合料的应用时间短、纤维沥青混合料的复杂性,仍存在许多亟待解决的问题:

① 应用于路面的纤维种类有限,且都有一定的局限性,满足不了道路建设飞速发展的需求,需要有更多更好的纤维的出现。

② 已有研究主要集中在纤维混合料性能的研究,对纤维本身性能特征指标及纤维掺量对沥青混合料的影响不够系统深入。

③ 对纤维沥青混合料性能的研究缺乏综合性及系统性,已有研究讨论了纤维对沥青混合料某一方面性能的改善,而对其他方面分析较少。

④ 对纤维沥青混合料的特殊性和纤维的改善作用机理的分析不够深入。

⑤ 目前进入公路建设市场的纤维种类和生产厂家很多,但还没有纤维的检测标准,人们对纤维的选择和使用存在盲目性。

⑥ 由于沥青材料具有的黏弹性特性及温度敏感性,人们对沥青基材的力学性能的认识不足,再加上沥青混合料组成的原材料及级配差异很大,纤维在沥青混合料中所起的作用和机理十分复杂,目前的研究为定性的探讨分析。

⑦ 对纤维沥青混合料的施工工艺的探讨还有待加强,特别是在如何保证纤维能够均匀分散和施工温度的确定等重要环节上还有待于提出更加具体的建议和要求。

第2章 聚丙烯腈纤维与沥青混合料的相容性

2.1 概 述

伴随经济建设的高速发展，现代交通对公路沥青路面建设质量提出了越来越高的要求，传统的沥青混合料技术有时已经无法满足工程建设的需求，越来越多的新型材料正在进入沥青路面技术领域。随着我国高等级公路的迅速发展和重载交通的日益增多，路用性能好、施工技术简单的纤维加强沥青混合料正引起我国公路建设部门的高度关注。纤维作为一种高强、耐久、质轻的增强材料，能显著地改善沥青路面的路用性能，并延长路面的使用寿命，提高经济效益。

目前，应用于路面的纤维主要有经过拉、拔、轧、切等工艺制作的硬度较高的钢纤维，主要应用于水泥混凝土路面；有天然木材经过化学处理得到的木质素纤维，主要应用于沥青混合料路面；有高分子材料经过聚合而成的聚合物化学纤维，如聚丙烯纤维和聚丙烯腈纤维；有从矿物岩石中获得的无机纤维，主要组成物质为各种氧化物，如二氧化硅、氧化铝、氧化镁等，如石棉纤维、玻璃纤维和玄武岩纤维等，均可以用于沥青混合料路面。其中木质素纤维、矿物纤维和聚丙烯腈纤维的宏观形貌如图 2.1~图 2.3 所示。

上述聚合物合成纤维、矿物纤维和木质素纤维是目前在沥青路面中应用最为普遍的三种纤维。其中沥青路面工程中使用最多的纤维材料主要是木质素纤维，这类纤维作为稳定剂制备沥青混合料，用于增加其沥青用量并保持沥青胶浆具有足够的黏结力。但是，木质素纤维较短，材质松散较脆，在沥青混合料中很难发挥增韧和抗裂等作用，作为替代产品，矿物纤维、聚合物合成纤维引起有关技术人员的广泛关注，而矿物纤维由于对原料要求较高且生产成本相应提高，使其广泛使用受到限制，因此高分子聚合物合成纤维在沥青路面中的应用得到空前关注。因此本书主要选用另一种新型的聚合物合成纤维——聚丙烯腈纤维作为研究对象，详细系统地分析其在沥青混合料中的应用情况，并采用目前常用的木质素纤维和玄武岩矿物纤维作为对比。本章主要介绍所选用各种纤维材料的物理力学性能及其在沥青混合料中的相容性，以及对选用的沥青混合料进行配合比设计。