

文章编号:1671-6833(2013)02-0045-04

Miber I型矿物复合纤维沥青混合料水稳定性能研究

陈拴发^{1,2}, 黄振¹, 熊锐¹, 关博文¹, 马莉莉², 盛燕萍²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061)

摘要:为探讨 Miber I 型矿物复合纤维沥青混合料的水稳定性能,通过冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验,分析了掺入 Miber I 型矿物复合纤维的 AC-13 和 SMA-13 沥青混合料水稳定性的影响因素,并运用灰关联熵分析法,以冻融劈裂强度比和浸水马歇尔残留稳定度为参考序列,探讨了纤维掺量、4.75 mm 筛孔通过率、沥青针入度、沥青用量、沥青饱和度和沥青混合料空隙率等因素对混合料水稳定性的影响显著程度。研究表明:纤维掺量对 Miber I 型矿物复合纤维沥青混合料的水稳定性影响最为显著, Miber I 型矿物复合纤维能够有效地改善沥青混合料的水稳定性。

关键词:道路工程; 沥青混合料; Miber I 型矿物复合纤维; 水稳定性; 灰关联熵

中图分类号: U414 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2013.02.012

0 引言

目前,沥青路面上的麻面、松散和坑槽等早期病害频发,严重影响了路面的使用品质。许多研究表明,掺入路用纤维(木质素纤维、聚合物纤维、玄武岩纤维)可以有效降低沥青路面水损害的发生几率^[1-4]。木质素纤维加入沥青混合料后无法再生利用,且对沥青混合料几乎没有增强效果;聚合物纤维和玄武岩纤维价格较贵,且前者高温受热易卷曲,在工程上的推广与应用受到一定限制。因此,探索和研究对沥青路面具有良好增强作用、施工便利、经济可行且环保的增强型纤维材料,对于改善沥青路面的使用品质,延长使用寿命具有一定的现实意义和使用价值^[5]。Miber I 型矿物复合纤维是基于以上发展趋势研发出的一种新型纤维。为验证 Miber I 型矿物复合纤维对沥青混合料水稳定性的改善效果,笔者拟采用冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验对混合料的水稳定性进行研究,并运用灰关联熵分析法,探讨各影响因素(内因)的相对显著程度,从而为 Miber I 型矿物复合纤维沥青混合料的材料组成设计及推广应用提供有益参考。

1 试验方法

根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》^[6],分别对沥青混合料进行冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验,对冻融劈裂强度比 TSR 和浸水残留稳定度 MS₀ 进行计算。

2 灰关联熵分析法

灰色关联分析法能在“小样本、贫信息”的条件下进行分析,通过灰色关联分析可以找出各种因素与系统发展态势之间的关系,从而分辨出主要因素和次要因素,具有很强的实用性,但现有的灰色关联方法存在一定的缺点^[7]。灰关联熵分析法^[8]不仅继承了灰色关联分析的优势,而且克服了其存在的缺点,因此笔者采用灰关联熵分析法来研究影响因素的显著性。

3 试验原材料

3.1 Miber I 型矿物复合纤维

Miber I 型矿物复合纤维是一种新型纤维,它以环保型的天然碱性矿物纤维为主料,高分子芳烃油为辅料,经化学松解、离子极化、复合造粒而成。Miber I 型矿物复合纤维的主要技术指标

收稿日期:2012-11-18;修订日期:2012-12-20

基金项目:交通运输部西部交通建设计划资助项目(200531879511);长安大学基础研究主持计划专项基金资助项目(CHD2010ZY014)

作者简介:陈拴发(1963-),男,陕西长武人,长安大学教授,博士,从事路面结构与材料研究, E-mail: chensf@chd.edu.cn.

如表 1,纤维的宏观和微观形貌如图 1^[5]所示。

表 1 Miber I 型矿物复合纤维主要技术指标

Tab.1 Main technical indexes of Miber I mineral composite fiber

密度 (g·cm ⁻³)	pH 值	吸湿性/ %	矿物纤维抗 拉强度/MPa
2.284	≈9.0	<1.0	900~950

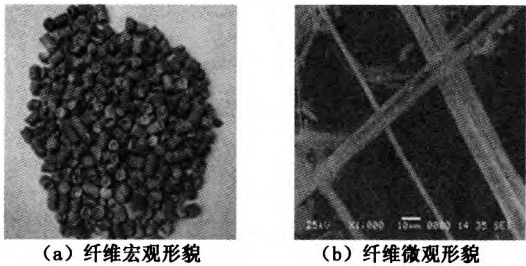


图 1 Miber I 型纤维
Fig.1 Miber I fiber

3.2 沥青

试验选用 SBS(I-C)改性沥青、克拉玛依 A-70#沥青和克拉玛依 A-90#沥青,其主要技术指标分别如表 2^[9]所示。

表 2 沥青技术指标

Tab.2 Asphalt technical indexes

沥青种类	SBS 改性 沥青	克拉玛依 A-70# 沥青	克拉玛依 A-90# 沥青
针入度 (25℃,100g,5s) /0.1mm	71	75	94
针入度指数	0.47	0.62	-0.83
延度(5℃)/cm	37.6	6.7	7.8
软化点/℃	89.5	55.6	48.5
相对密度(25℃)	1.028	0.983	0.990

3.3 矿料

粗集料采用玄武岩,细集料采用机制砂,矿粉为磨细的石灰岩.经检测,集料、矿粉各项技术指标均符合现行规范要求。

沥青混合料采用 AC-13C、AC-13F 和 SMA-13 3 种类型级配,矿料级配如表 3 所示。

4 Miber I 型矿物复合纤维沥青混合料的水稳定性影响因素分析

沥青混合料的水稳定性能主要受内、外因的影响,内因主要指沥青、矿料、外掺剂和混合料的性质等;外因主要指环境因素与荷载的作用.基于可操作性,笔者针对内因来进行分析。

表 3 矿料级配

Tab.3 Mineral aggregate gradation

级配类型	AC-13F	AC-13C	SMA-13
16.0	100.0	100.0	100.0
13.2	97.5	96.1	95.1
通过下 列筛孔 (mm)	9.5	81.2	72.3
的质量 分数 /%	4.75	61.9	47.9
	2.36	43.8	28.6
	1.18	30.4	23.5
	0.6	21.9	15.1
	0.3	11.3	8.8
	0.15	9.7	7.2
	0.075	7.4	5.2
			8.6

4.1 纤维的影响

Miber I 型矿物复合纤维作为一种新型增强纤维,具有加筋作用,对提高沥青混合料的水稳定性具有重要影响,笔者将其掺量作为一个影响因素进行考察。

4.2 沥青的影响

(1)针入度.黏性高的沥青较黏性低的沥青水稳定性要好,这主要是由于黏性高的沥青存在较多的极性物质,且具有良好的润湿性^[10].在沥青的 3 大指标中,针入度可表征沥青的黏性,且与沥青混合料的水稳定性密切相关,因此,将其列为影响因素之一。

(2)沥青用量.沥青用量较少时,沥青膜难以充分裹覆矿料,二者界面容易被水浸入并引发剥离,进而导致混合料的水损害.为此,笔者将沥青用量作为影响因子,由于沥青饱和度是沥青混合料中的一个重要体积指标,笔者亦将其列为分析因素之一。

4.3 集料级配的影响

集料级配决定了矿料间嵌挤力的大小及混合料的密实程度.良好的集料级配,有利于改善沥青混合料的水稳定性能.一般认为,4.75 mm 筛孔通过率是影响沥青混合料结构组成形态的重要因素^[11]。

4.4 沥青混合料空隙率的影响

沥青混合料空隙率是指单位体积的沥青混合料中除矿料和沥青占据的体积以外的空隙所占总体积的百分率.沥青混合料空隙率过大,水分将容易进入沥青与矿料界面,在外荷载的作用下,沥青膜逐渐从矿料表面剥离,导致路面出现水损害.因此,将空隙率控制在一定范围内,具有重要意义。

5 试验结果与分析

5.1 Miber I型矿物复合纤维沥青混合料水稳定性影响因素的灰关联熵分析

Miber I型矿物复合纤维沥青混合料水稳定性试验结果如表4所示.分别以冻融劈裂强度比、浸水马歇尔残留稳定度为参考序列,得到了各影响因素的灰熵关联度,分别如图2、图3所示.

由图2、图3可以看出,以TSR为参考序列时,各影响因素对Miber I型矿物复合纤维沥青混合料水稳定性的影响大小顺序为:纤维掺量>

沥青饱和度>沥青用量>沥青混合料空隙率>沥青针入度>4.75 mm筛孔通过率;以 MS_0 为参考序列时,影响大小顺序为:纤维掺量>沥青用量>沥青饱和度>沥青混合料空隙率>沥青针入度>4.75 mm筛孔通过率.

当冻融劈裂强度比、浸水马歇尔残留稳定度作为参考序列时,各因素的影响显著程度并不完全相同.这主要是因为两种试验条件存在较大差距.但不论选取哪个作为参考指标,纤维掺量都是Miber I型矿物复合纤维沥青混合料水稳定性最重要的影响因素.

表4 Miber I型矿物复合纤维沥青混合料水稳定性试验结果
Tab.4 Water stability test results of Miber I mineral composite fiber asphalt mixture

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TSR/%	88.39	89.15	82.31	89.39	87.56	84.27	83.72	81.2	87.18	84.64
纤维用量/%	0.4	0.45	0.35	0.4	0.4	0.45	0.4	0.4	0.4	0.4
4.75 mm筛孔通过率/%	32.6	32.6	47.9	61.9	47.9	47.9	61.9	47.9	61.9	47.9
沥青针入度 (25℃,100 g,5 s)/0.1 mm	71	71	71	71	71	71	94	94	75	75
沥青用量/%	6.53	6.69	4.96	5.46	4.99	5.13	5.62	5.03	5.74	5.09
沥青饱和度/%	84.72	83.91	74.58	67.86	72.77	69.30	73.92	67.34	73.64	66.19
沥青混合料空隙率/%	3.69	3.75	4.16	4.81	4.22	4.56	4.32	4.87	4.18	4.93
MS_0 /%	92.48	92.64	90.72	92.76	91.44	91.86	89.17	89.52	91.69	89.9

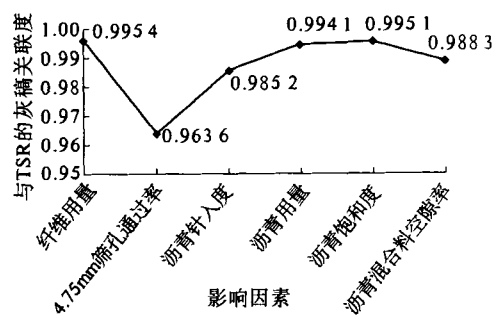


图2 各影响因素与TSR的灰熵关联度

Fig.2 Grey entropy relation grade between influencing factors and TSR

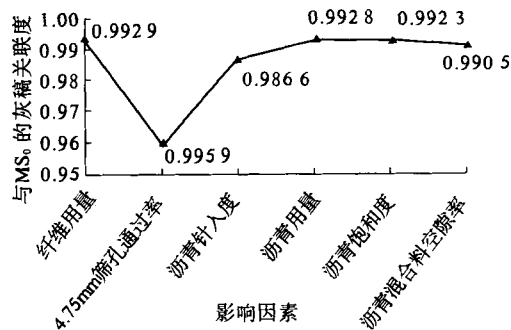


图3 各影响因素与 MS_0 的灰熵关联度

Fig.3 Grey entropy relation grade between influencing factors and MS_0

5.2 Miber I型矿物复合纤维沥青混合料的水稳定性

采用SBS改性沥青,将纤维掺入到AC-13C和SMA-13 2种级配的沥青混合料中,试验得到纤维掺量与冻融劈裂强度比和浸水马歇尔残留稳定度的关系分别如图4、图5.

由图4、图5可以看出,掺入适量的Miber I型矿物复合纤维可以有效改善沥青混合料的水稳定性.对于AC-13C沥青混合料来说,掺入0.4%的纤维,其冻融劈裂强度比和残留稳定度与未掺纤维的相比可分别提高8.5%、11.2%;对于SMA-13沥青混合料来说,掺入0.5%的纤维,其冻融劈裂强度比和残留稳定度与未掺纤维的相比可分别提高4.0%、8.8%.这主要是由于矿物复合纤维在沥青混合料中具有良好的增黏和增强作用,即:碱性矿物纤维与沥青间良好的粘附性使结构沥青膜增厚,并使沥青的胶体结构逐渐由溶胶转变为溶凝胶,以至凝胶,同时增强了纤维沥青相与矿料相之间的界面效应;该纤维的抗拉强度较大,其纵横交错的三维分布在沥青混合料中起到加筋、桥接和阻拔作用,如图6所示,能够有效阻止相间界面滑移,从而有效提高沥青混合料的水稳

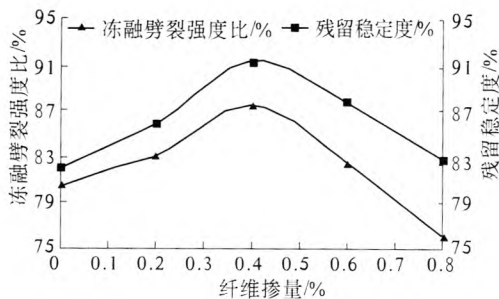


图4 AC-13C 沥青混合料的水稳定性

Fig. 4 Water stability of AC-13 C asphalt mixture

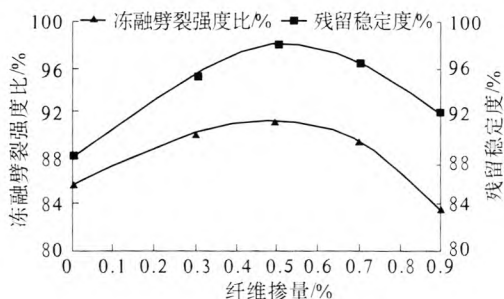
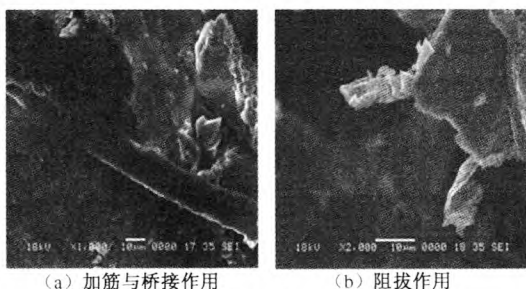


图5 SMA-13 沥青混合料的水稳定性

Fig. 5 Water stability of SMA-13 asphalt mixture



(a) 加筋与桥接作用

(b) 阻拔作用

图6 纤维的作用

Fig. 6 Action of fiber

定性能。

对于 AC-13C 与 SMA-13 沥青混合料,当纤维掺量分别为 0.4%、0.5% 时,其水稳定性能达到最优。纤维的掺量过大,纤维沥青混合料的水稳定性均有一定程度的下降,这主要是由于部分纤维不能均匀分散而聚团,从而影响了纤维的使用效果。

6 结论

(1)就“小样本”、“贫信息”的系统而言,灰关联熵分析法是一种简单实用且结果比较准确的方法。本文研究的沥青混合料就一个“灰体”,影响沥青混合料性能的因素有很多。通过灰熵分析,得出纤维掺量是影响 Miber I 型矿物复合纤维沥青混合料水稳定性最重要的因素。在纤维沥青混

合料组成设计和使用过程中,应将纤维掺量作为主要控制点,并进一步考虑其可控制程度和经济成本等。

(2)通过冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验结果可知,Miber I 型矿物复合纤维能够有效改善沥青混合料的水稳定性,纤维在沥青混合料中的界面增强效应和加筋桥接阻拔效应是主要原因。对于 AC-13C 沥青混合料,Miber I 型矿物复合纤维最佳掺量为 0.4%;对于 SMA-13 沥青混合料,Miber I 型矿物复合纤维最佳掺量为 0.5%。

(3)笔者的结论是在 3 种沥青和 3 种级配沥青混合料的基础上得到的,具有一定局限性。因此,对于 Miber I 型矿物复合纤维沥青混合料的水稳定性仍需进行深入研究。

参考文献:

- [1] 彭波,李文瑛,戴经梁. 纤维在沥青混合料中应用的研究[J]. 中南公路工程,2003,28(2):44-46.
- [2] CHEN Jian-shiuh, LIN Kuei-yi. Mechanism and behavior of bitumen strength reinforcement using fibers [J]. Journal of Materials Science, 2005, 40(1): 87-95.
- [3] 常传立,宋建学. 聚酯纤维和聚丙烯腈纤维沥青混凝土水稳定性对比试验[J]. 混凝土与水泥制品, 2011,183(7):44-46.
- [4] 汤寄予,高丹盈,韩菊红. 玄武岩纤维对沥青混合料水稳定性影响的研究[J]. 公路,2008,1(1):188-194.
- [5] 熊锐,陈拴发,关博文,等. Miber I 型矿物复合纤维在沥青混合料中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(7):24-27.
- [6] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [7] 熊锐,杨锡武,杨发,等. 纤维沥青混合料高温稳定性影响因素的灰关联熵分析[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2008,27(5):743-789.
- [8] 张岐山,郭喜江,邓聚龙. 灰关联熵分析方法[J]. 系统工程理论与实践,1996(8):7-11.
- [9] 马莉莉. 矿物复合纤维沥青混合料路用性能研究[D]. 西安:长安大学材料科学与工程学院,2011.
- [10] 徐松,唐伯明,朱洪洲,等. 基于灰熵法的沥青稳定碎石水稳定性影响因素分析[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2008,27(6):1077-1080.
- [11] 朱洪洲,黄晓明. 沥青混合料高温稳定性影响因素分析[J]. 公路交通科技,2004,21(4):1-3.

(下转第 98 页)

Three-dimensional Numerical Analysis of the Effect of Voids on Existing Road Tunnel Linings

ZHANG Yun-liang¹, NIE Zi-yun¹, LI Feng-xiang²

(1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410004, China; 2. China Railway Engineering Design and Consultant Group, Beijing 100055, China)

Abstract: Voids behind linings, which are a common form of road tunnel disease, have great danger to the stability of tunnel linings. The previous researches concentrated on plane analysis, researchers considered that larger voids would lead to loop tensile stress at the out edge of the lining which might cause longitudinal crack; However, through establishing three-dimensional finite element model compared with plane analysis, the article puts forward that voids will lead to longitudinal tensile stress but loop tensile stress at the out edge of the lining, which possible cause annular cracking. And based on three-dimensional numerical analysis, obtaining the effect of void behind linings under different surrounding rock and different void locations.

Key words: road tunnel; linings; voids; plane analysis; three-dimensional; numerical analysis

(上接第 48 页)

Research on Water Stability of Miber I Mineral Composite Fiber Asphalt Mixture

CHEN Shuan-fa^{1,2}, HUANG Zhen¹, XIONG Rui¹, GUAN Bo-wen¹, MA Li-li², SHENG Yan-ping²

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China)

Abstract: To explore the water stability of Miber I mineral composite fiber asphalt mixture, based on the freeze-thaw splitting test and the immersion marshall test, the influencing factors on water stability of both AC-13 and SMA-13 Miber I mineral composite fiber asphalt mixture are discussed. The grey correlation entropy method is utilized to analyze different factors such as fiber content, the percentage of 4.75 mm sized aggregate passing through the mesh, asphalt penetration, optimal asphalt content, percent voids filled with asphalt and percent air voids in asphalt mixtures, when TSR and MS_0 are set as the reference sequences. The results indicate that fiber content has the greatest effect on water stability of fiber asphalt mixtures. Miber I mineral composite fiber can improve water stability of asphalt mixture effectively.

Key words: road engineering; asphalt mixture; Miber I mineral composite fiber; water stability; grey correlation entropy