

纤维对乳化沥青冷再生混合料路用性能影响

蒋应军^{*1}, 王瑞祥², 刘鹏², 陈浙江³

(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 公路学院, 陕西 西安 710064;

3. 金华市公路管理局, 浙江 金华 321110)

摘要: 采用与施工现场压实效果相关性更好的垂直振动试验方法, 研究了纤维掺量以及纤维类型对乳化沥青冷再生混合料路用性能的影响. 结果表明: 随着纤维掺量的增加, 冷再生混合料动稳定度、弯拉应变、冻融劈裂强度等各项路用性能指标均先增大后减小. 此外, 与不掺加纤维冷再生混合料相比, 试验选用的4种纤维对混合料水稳定性影响效果总体上均不明显; 掺加木质素纤维的冷再生混合料高温稳定性能最好, 动稳定度可提高79%, 其最佳掺量为0.4%; 掺加聚酯纤维的冷再生混合料低温抗裂性能最好, 弯拉应变可提高19%, 其最佳掺量为0.6%.

关键词: 垂直振动试验方法; 纤维; 路用性能; 冷再生混合料

中图分类号: U414

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb202001009

0 引言

乳化沥青冷再生路面以其成本较低、节省资源、环境友好等优点, 在我国道路维修以及改造过程中得到了越来越广泛的应用^[1]. 然而, 冷再生路面往往也伴随着混合料强度较低、耐久性差、路用性能差等一系列问题, 从而直接降低了冷再生路面的服务寿命^[2-3].

国内外道路工作者针对冷再生混合料路用性能影响因素做了大量的研究. 国外, Olsson 等研究了如何利用较硬的乳化黏合剂进行旧沥青路面的冷再生, 指出通过使用较硬的黏合剂, 可以大大提高冷再生混合料的间接拉伸强度以及刚性模量^[4]; Kim 等研究了含水率以及养护时间对冷再生混合料工程性能的影响, 指出随着养护时间的延长和含水率的降低, 混合料的动态模量和流动次数均增加^[5]; Lee 等研究了生物黏合剂对半塑冷再生沥青混合料的性能影响, 指出将生物黏合剂运用于冷再生混合料时, 混合料力学性能和耐久性均有不同程度的提高, 其中生物黏合剂的最

佳掺量为4%^[6]. 国内, 张明科研究了回收料变异性对冷再生混合料路用性能的影响, 指出回收料中沥青性质变异性是冷再生混合料高温稳定性以及水稳定性的主要影响因素^[7]. 杜少文研究了消石灰、消石灰矿渣粉、水泥对乳化沥青冷再生混合料路用性能的影响, 指出消石灰、消石灰矿渣粉、水泥对路用性能的影响程度依次增大^[8]. 刘颀楠等研究了生物质重油用于生产乳化沥青的可行性, 指出乳化沥青生产中掺加部分生物质重油切实可行, 用于冷再生混合料中, 其路用性能指标满足规范要求^[9]. 彭杰研究了养生条件对冷再生混合料路用性能的影响, 指出冷再生混合料的力学性能以及路用性能指标随着养生温度的增加均有不同程度提高, 建议冷再生混合料在配合比设计阶段养生温度为40℃^[10]. 陈诚等研究了橡胶粉改性沥青用于冷再生混合料的可行性, 指出相比传统乳化沥青, 经过橡胶粉改性后的乳化沥青耐储存能力增强, 用于冷再生混合料可改善其低温以及疲劳性能^[11].

以上所提到的研究成果不同程度地对提高冷

再生路面的社会效益起到了积极作用.但是,首先,上述研究着力于回收料、外加剂、养生温度等因素,未见研究纤维对乳化沥青冷再生混合料路用性能的影响,而根据已有研究,纤维对沥青混合料力学强度具有增强作用,且纤维具有很好的市场前景^[12].其次,上述研究均采用马歇尔方法或者重型击实方法成型试件^[13],然而马歇尔方法所成型试件与现场实际施工取芯试件相比,工程特性相关性不足 70%^[14].本课题组已有的研究表明,本文所采用的垂直振动试验方法(VVTM)可以更好地模拟现场施工机械工作效果,采用垂直振动试验方法成型试件与现场实际施工取芯试件相比,工程特性相关性可达 90%以上,试验成果已在水泥冷再生、水泥稳定碎石、SRX 碎石、二灰

稳定碎石方面得到了验证^[15-17].故而,本文采用垂直振动试验方法试件,研究纤维掺量与纤维类型对乳化沥青冷再生混合料路用性能的影响具有工程实际意义.

1 原材料及级配

1.1 原材料

(1)乳化沥青

研究采用 SBR 乳化沥青,其技术指标见表 1.

(2)RAP 材料

研究采用 RAP(recycling asphalt pavement)材料来自西安绕城高速公路.将 RAP 中的旧沥青和旧集料通过抽提试验分离,随后将其中的旧集料进行筛分.

表 1 SBR 乳化沥青技术指标
Tab. 1 Technical specifications of SBR emulsified asphalt

	筛上 剩余 量/%	破乳速度	粒子电荷	恩格拉 黏度 E25	蒸发 残留物 含量/%	蒸发残留物性质			储存稳定性/%		与矿料的 黏附性, 裹覆面积
						针入度(25℃)/ 0.1 mm	延度 (15℃)/cm	溶解度(三氯 乙烯)/%	5 d	1 d	
技术要求	≤0.1	慢裂或中裂	阳离子(+)	2~30	≥62	50~300	≥40	≥97.5	≤5	≤1	≥2/3
试验结果	0.01	慢裂	+	13	63	69	—	98.1	4.6	0.8	2/3

(3)新集料

研究采用的新集料包括机制砂、矿粉、9.5~19 mm 粗集料,技术指标符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)要求.

(4)纤维

研究采用的 4 种纤维为常州筑威建筑材料有限公司产品,包括聚酯纤维、矿物纤维、木质素纤维和玄武岩纤维,技术指标见表 2,外观如图 1 所示.

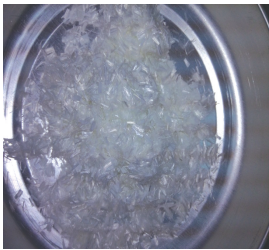
1.2 级配

研究采用混合料级配见表 3.其中新集料掺

加比例固定,纤维掺量变化分别为 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%,掺加方式采用外掺法.

表 2 纤维技术指标
Tab. 2 Fiber technical indicators

纤维类型	纤维长度/mm	含水率/%	断裂伸长率%
聚酯纤维	6	<1.5	≤16.2
矿物纤维	1.0~3.5	<1.5	—
木质素纤维	<6	<5	—
玄武岩纤维	6~12	<1.5	≤3.1



(a) 聚酯纤维



(b) 矿物纤维



(c) 木质素纤维



(d) 玄武岩纤维

图 1 研究中采用纤维
Fig. 1 Fibers in the study

表 3 不同纤维掺量下混合料的级配

Tab. 3 Gradation of mixtures with different fiber contents

材料组成/%					通过下列筛孔尺寸质量分数/%						
纤维	RAP	9.5~19 mm 粗集料	机制砂	矿粉	26.5 mm	19 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	0.3 mm	0.075 mm
0	67	10	20	3	100	97.3	62.9	36.4	16.6	3.8	0.8
0.2	67	10	20	3	100	97.3	63.2	37.0	17.4	4.8	1.7
0.4	67	10	20	3	100	97.4	63.6	37.7	18.3	5.7	2.6
0.6	67	10	20	3	100	97.4	64.0	38.3	19.1	6.7	3.4
0.8	67	10	20	3	100	97.4	64.4	38.9	19.9	7.6	4.3

2 试件成型方法与试件测试方法

2.1 试件成型方法

采用垂直振动试验方法成型试件,试件高度为 63.5 mm,直径为 100 mm.试件成型后脱模放入烘箱中养生,60 ℃下养生 48 h.

垂直振动压实仪工作参数为:上车系统重量 1.2 kN,下车系统重量 1.8 kN,工作频率 35 Hz,振动时间 60 s.

2.2 试件测试方法

依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)成型车辙板,然后依据《沥青混合料车辙试验》(T0719—2011)进行车辙试验以评价冷再生混合料高温性能.

依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》

(JTG E20—2011)成型车辙板,切割成规定尺寸小梁试件,进而依据《沥青混合料弯曲试验》(T0715—2011)进行弯曲试验以评价冷再生混合料低温抗裂性.

依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)进行浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验以评价冷再生混合料水稳定性.

3 纤维对乳化沥青冷再生混合料路用性能的影响

3.1 配合比

(1)最大干密度和最佳含水率

不同含水率下进行混合料击实试验,根据干密度最高原则优选最佳含水率.不同纤维掺量冷再生混合料最大干密度和最佳含水率见表 4.

表 4 不同纤维掺量冷再生混合料最大干密度和最佳含水率

Tab. 4 Maximum dry density and optimum moisture content of cold recycled mixtures with different fiber contents

纤维类型	下列纤维掺量下最大干密度/(g·cm ⁻³)					下列纤维掺量下最佳含水率/%				
	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
聚酯纤维	2.241	2.239	2.226	2.217	2.206	3.7	3.9	4.0	4.2	4.3
矿物纤维	2.241	2.238	2.227	2.216	2.204	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3
木质素纤维	2.241	2.237	2.224	2.215	2.203	3.7	3.9	4.1	4.2	4.4
玄武岩纤维	2.241	2.239	2.227	2.218	2.205	3.7	3.8	4.0	4.1	4.3

由表 4 可知,随着纤维掺量的增加,冷再生混合料最佳含水率增大,同时最大干密度减小.这是因为纤维质地疏松吸水,且密度比矿料密度小,加入后占一定体积,并且掺加纤维后,冷再生混合料出现一定弹性,从而使得最佳含水率增大,最大干密度减小.

(2)乳化沥青最佳用量

试验时按表 4 最佳含水率,采用 VVTM 在不同乳化沥青用量下成型试件,烘箱 60 ℃鼓风条件下养生 48 h 之后测试干湿劈裂强度,根据试件强度最优原则优选最佳乳化沥青用量.不同纤维掺量冷再生混合料乳化沥青最佳用量见表 5.

表 5 不同纤维掺量冷再生混合料乳化沥青最佳用量

Tab. 5 Optimum dosage of emulsified asphalt for cold recycled mixtures with different fiber contents

纤维类型	下列纤维掺量下乳化沥青最佳用量/%				
	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
聚酯纤维	3.9	4.1	4.4	4.6	4.7
矿物纤维	3.9	4.1	4.3	4.5	4.6
木质素纤维	3.9	4.1	4.4	4.7	4.8
玄武岩纤维	3.9	4.2	4.5	4.6	4.7

由表 5 可知,随着纤维掺量的增加,冷再生混合料最佳乳化沥青用量增大. 这是因为如同粗细集料一样,纤维的加入,也会使得沥青包裹在其表面,因而纤维掺量增加,乳化沥青最佳用量也增大.

由表 5 同时可知,随着纤维掺量的增加,乳化沥青最佳用量的增速在减缓. 这是由于纤维具有分散性,纤维掺量越高,其分散性反而越差,易结团成块,最终使得其相对比表面积增加幅度变低,甚至有时不再增加.

3.2 纤维掺量及类型对冷再生混合料路用性能的影响

(1)对高温稳定性能的影响

纤维掺量对冷再生混合料高温稳定性能的影响见表 6. 不同纤维类型、掺量下冷再生混合料动稳定度比值见表 7.

表 6 纤维掺量对冷再生混合料高温稳定性能的影响

Tab. 6 Effect of fiber content on high temperature stability of cold recycled mixture

纤维类型	下列纤维掺量对应动稳定度/(次·mm ⁻¹)				
	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
聚酯纤维	2 465	3 650	3 722	3 383	3 105
木质素纤维	2 465	3 862	4 410	4 156	3 752
矿物纤维	2 465	3 152	3 430	2 995	2 688
玄武岩纤维	2 465	2 655	2 920	2 583	2 475

由表 6 可知,冷再生混合料的动稳定度随纤维掺量的提高先增大后减小. 这是因为混合料与纤维混合后共同形成网状结构,混合料骨架结构因而更加稳固,竖向变形以及竖向剪切变形减小,

从而高温稳定性能提高;同时,沥青与纤维间产生物理和化学吸附,使得结构沥青膜厚度增大,进而纤维沥青相与矿料相之间的界面效应增强,从而有效降低了结构的破坏危险^[18]. 但当纤维掺量大于最佳纤维掺量时反而会成为冷再生混合料的力学薄弱点,使大颗粒集料被挤开,空隙率增大,黏聚力减小,动稳定度随之减小.

表 7 不同纤维类型、掺量下冷再生混合料动稳定度比值

Tab. 7 Ratio of dynamic stability of cold recycled mixtures with different fiber types and dosages

纤维类型	下列纤维掺量对应动稳定度比值				
	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
聚酯纤维	1.00	1.49	1.52	1.38	1.26
木质素纤维	1.00	1.57	1.79	1.69	1.52
矿物纤维	1.00	1.29	1.40	1.22	1.09
玄武岩纤维	1.00	1.08	1.19	1.06	1.01

由表 7 可知,当聚酯纤维、木质素纤维、矿物纤维、玄武岩纤维的掺量为 0.4%时,对应的冷再生混合料稳定度最大,与不掺纤维相比,掺纤维冷再生混合料动稳定度分别提高 52%、79%、40%、19%.

综上所述,木质素纤维对冷再生混合料高温稳定性能提升效果最好,纤维最佳掺量为 0.4%.

(2)对低温抗裂性能的影响

纤维掺量对冷再生混合料低温抗裂性能的影响见表 8. 表中弯拉应变相对值是指纤维不同掺量低温抗裂性能试验结果与不掺纤维试验结果比值.

由表 8 可知,冷再生混合料弯拉应变随纤维掺量的提高先增大后减小. 这是因为纤维提高了冷再生混合料的韧性,当混合料在外力作用下产生裂缝时,均匀分散的纤维在裂尖处起到了桥接作用,掺入的纤维可吸收低温弯曲破坏过程中的能量,从而有效地阻止了裂纹的产生和发展^[19]. 当纤维掺量过高时,纤维容易成束结团,分散性差,使混合料出现力学薄弱点.

由表 8 同时可知,当聚酯纤维、木质素纤维、矿物纤维、玄武岩纤维的掺量分别为 0.6%、0.6%、0.4%、0.6%时,对应的弯拉应变最大,与

表 8 纤维掺量对冷再生混合料低温抗裂性能的影响

Tab. 8 Effect of fiber content on low temperature crack resistance of cold recycled mixture

纤维类型	下列纤维掺量下弯拉应变/ 10^{-6}					下列纤维掺量下弯拉应变相对值				
	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
聚酯纤维	1 883	1 955	2 130	2 244	2 155	1.00	1.04	1.13	1.19	1.14
木质素纤维	1 883	2 017	2 088	2 184	2 088	1.00	1.07	1.11	1.16	1.11
矿物纤维	1 883	1 938	2 024	1 989	1 903	1.00	1.03	1.07	1.06	1.01
玄武岩纤维	1 883	2 043	2 166	2 219	2 113	1.00	1.08	1.15	1.18	1.12

不掺纤维相比,掺纤维冷再生混合料弯拉应变分别可提高 19%、16%、7%、18%.

综上所述,聚酯纤维低温抗裂性能最好,最佳掺量为 0.6%.

(3)对水稳定性的影响

纤维掺量对冷再生混合料水稳定性的影响见表 9.表中相对值是指纤维不同掺量水稳定性试验结果与不掺纤维试验结果比值.

冻融劈裂强度比为试件冻融前后劈裂强度之比,残留稳定度为浸水前后马歇尔稳定度之比,用以评价乳化沥青冷再生混合料水稳定性.由表 9 可知,冷再生混合料的冻融劈裂强度比、残留稳定度随纤维掺量的提高先增大后减小,但总体上变化幅度不大,即纤维对乳化沥青冷再生混合料的水稳定性影响效果并不明显.

表 9 纤维掺量对冷再生混合料水稳定性的影响

Tab. 9 Effect of fiber content on water stability of cold recycled mixture

纤维类型	下列纤维掺量下残留稳定度/%					下列纤维掺量下残留稳定度相对值				
	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
聚酯纤维	93.8	95.0	95.7	95.0	93.3	1.00	1.01	1.02	1.01	0.99
矿物纤维	93.8	94.6	95.1	94.4	93.2	1.00	1.01	1.01	1.01	0.99
木质素纤维	93.8	95.2	95.3	94.5	92.7	1.00	1.01	1.02	1.01	0.98
玄武岩纤维	93.8	95.0	95.0	94.3	93.7	1.00	1.01	1.01	1.01	0.99

纤维类型	下列纤维掺量下冻融劈裂强度比					下列纤维掺量下冻融劈裂强度比相对值				
	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	0	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
聚酯纤维	72.9	73.4	73.4	71.0	69.5	1.00	1.01	1.01	0.97	0.95
矿物纤维	72.9	73.0	73.3	71.2	69.6	1.00	1.00	1.01	0.98	0.96
木质素纤维	72.9	73.1	73.3	70.3	68.4	1.00	1.00	1.01	0.96	0.94
玄武岩纤维	72.9	73.2	73.2	71.2	69.3	1.00	1.00	1.00	0.98	0.95

4 结 论

(1)冷再生混合料高温稳定性能随纤维掺量提高先增大后减小.试验选用的 4 种纤维中,木质素纤维高温性能最好,纤维最佳掺量为 0.4%,与不掺加纤维冷再生混合料相比,动稳定度可提高 79%.

(2)冷再生混合料低温抗裂性能随纤维掺量

的提高先增大后减小.试验选用的 4 种纤维中,聚酯纤维低温抗裂性能最好,纤维最佳掺量为 0.6%,与不掺加纤维冷再生混合料相比,弯拉应变可提高 19%.

(3)冷再生混合料水稳定性随纤维掺量的提高先增大后减小,但总体上效果并不明显.

参考文献:

- [1] 乔明伟. 掺加水泥的乳化沥青冷再生混合料路用性能研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
QIAO Mingwei. Study on the pavement performance of emulsified asphalt cold recycled mixture with Portland cement [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016. (in Chinese)
- [2] 蒋应军, 韩占闯. 级配对乳化沥青冷再生混合料路用性能影响 [J]. 大连理工大学学报, 2018, **58**(6): 607-614.
JIANG Yingjun, HAN Zhanchuang. Influence of gradation on pavement performance of emulsified asphalt cold regenerated mixture [J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 2018, **58**(6): 607-614. (in Chinese)
- [3] 邢傲雪. 乳化(泡沫)沥青冷再生混合料技术性能深入研究 [D]. 西安: 长安大学, 2010.
XING Aoxue. Deep study on the technical properties of emulsified (foamed) asphalt cold recycled mixture [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010. (in Chinese)
- [4] OLSSON K, LILLBROANDA U, REDELIUS P. Improved cold recycling of asphalt [J]. *Highways and Transportation*, 1999, **46**(2): 9-10.
- [5] KIM Y, IM S, LEE H D. Impacts of curing time and moisture content on engineering properties of cold in-place recycling mixtures using foamed or emulsified asphalt [J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2011, **23**(5): 542-553.
- [6] LEE B J, BANG J W, KIM J S, *et al.* Performance evaluation of semiplastic recycled cold asphalt using noncement binders [J]. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, **2015**: 239365.
- [7] 张明科. RAP 变异性与再生混合料路用性能效果研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
ZHANG Mingke. Research on RAP variability and recycled mixture road performance result [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2013. (in Chinese)
- [8] 杜少文. 外加材料对乳化沥青冷再生混合料路用性能的影响 [J]. 建筑材料学报, 2013, **16**(3): 534-538.
DU Shaowen. Effect of additives on pavement performance of cold recycled asphalt emulsion mixture [J]. *Journal of Building Materials*, 2013, **16**(3): 534-538. (in Chinese)
- [9] 刘頔楠, 郝翠丽. 掺生物沥青的乳化沥青冷再生混合料强度特性及路用性能研究 [J]. 公路工程, 2017, **42**(3): 137-141, 150.
LIU Qinan, HAO Cuili. Strength characteristics and road performance of cold recycled emulsified asphalt mixture mixed with bio-asphalt [J]. *Highway Engineering*, 2017, **42**(3): 137-141, 150. (in Chinese)
- [10] 彭杰. 养生温度对泡沫沥青冷再生混合料路用性能影响的研究 [J]. 中外公路, 2017, **37**(3): 285-289.
PENG Jie. Health temperature influence on pavement performance of foamed asphalt cold recycled mixture [J]. *Journal of China & Foreign Highway*, 2017, **37**(3): 285-289. (in Chinese)
- [11] 陈诚, 薛建荣. 橡胶粉改性的乳化沥青冷再生混合料强度特性及路用性能研究 [J]. 公路工程, 2016, **41**(4): 72-77, 90.
CHEN Cheng, XUE Jianrong. Strength characteristics and road performance of cold recycled emulsified asphalt mixture modified by rubber powder [J]. *Highway Engineering*, 2016, **41**(4): 72-77, 90. (in Chinese)
- [12] 穆岩. 玄武岩增强纤维在重载交通沥青路面中的应用研究 [D]. 西安: 长安大学, 2016.
MU Yan. Research of reinforced basalt fiber applied in asphalt pavement with heavy traffic [D]. Xi'an: Chang'an University, 2016. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程: JTG E51—2009 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Test Methods of Materials Stabilized with Inorganic Binders for Highway Engineering: JTG E51-2009 [S]. Beijing: People's Transportation Press, 2009. (in Chinese)
- [14] 蒋应军, 陈浙江, 徐晓和, 等. ATB-30 沥青混合料垂直振动成型方法及评价 [J]. 建筑材料学报, 2014, **17**(4): 638-643.
JIANG Yingjun, CHEN Zhejiang, XU Xiaohu, *et al.* Evaluation on vertical vibration compaction method of ATB-30 asphalt mixture [J]. *Journal of Building Materials*, 2014, **17**(4): 638-643. (in Chinese)
- [15] 蒋应军, 李明杰, 张俊杰, 等. 水泥稳定碎石强度影

- 响因素 [J]. 长安大学学报(自然科学版), 2010, **30**(4): 1-7.
- JIANG Yingjun, LI Mingjie, ZHANG Junjie, *et al.* Influencing factors of cement stabilized macadam strength [J]. **Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)**, 2010, **30**(4): 1-7. (in Chinese)
- [16] 李明杰, 蒋应军, 张俊杰, 等. 半刚性基层材料振动试验方法 [J]. 交通运输工程学报, 2010, **10**(1): 6-12.
- LI Mingjie, JIANG Yingjun, ZHANG Junjie, *et al.* Vibration test method for semi-rigid base materials [J]. **Journal of Transportation Engineering**, 2010, **10**(1): 6-12. (in Chinese)
- [17] 蒋应军, 张邹羿, 陈浙江, 等. SRX 稳定碎石骨架密实级配及路用性能 [J]. 建筑材料学报, 2017, **20**(2): 215-221.
- JIANG Yingjun, ZHANG Zouyi, CHEN Zhejiang, *et al.* SRX stabilized gravel skeleton compact gradation and road performance [J]. **Journal of Building Materials**, 2017, **20**(2): 215-221. (in Chinese)
- [18] 林贤福, 陈志春. 沥青的纤维增强改性及其改性剂的研究 [J]. 公路, 1999(1): 53-55.
- LIN Xianfu, CHEN Zhichun. Study on fiber reinforced modification of asphalt and its modifier [J]. **Highway**, 1999 (1): 53-55. (in Chinese)
- [19] 倪良松, 陈华鑫, 胡长顺, 等. 纤维沥青混合料增强作用机理分析 [J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2003, **26**(5): 1033-1037.
- NI Liangsong, CHEN Huaxin, HU Changshun, *et al.* Discussion on the reinforcement mechanism of fiber-reinforced asphalt mixture [J]. **Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)**, 2003, **26**(5): 1033-1037. (in Chinese)

Effect of fiber on pavement performance of emulsified asphalt cold recycled mixture

JIANG Yingjun^{*1}, WANG Ruixiang², LIU Peng², CHEN Zhejiang³

- (1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China;
2. School of Highway Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China;
3. Jinhua Highway Administration Bureau, Jinhua 321110, China)

Abstract: The influence of fiber content and fiber type on pavement performance of emulsified asphalt cold recycled mixture was studied by vertical vibration test method. This method has better correlation with compaction effect in construction site. The results show that with the increase of fiber content, the dynamic stability, bending strain, freeze-thaw splitting strength and other road performance indicators of cold recycled mixtures increase first and then decrease. In addition, compared with the cold recycled mixtures without fibers, the effects of four kinds of fibers on the water stability of the mixtures are not obvious on the whole. The cold recycled mixture with lignin fiber has the best high temperature stability. The dynamic stability can be improved by 79%, and the optimum content is 0.4%. The cold recycled mixture with polyester fiber has the best crack resistance at low temperature. The bending strain can be increased by 19%, and the optimum content is 0.6%.

Key words: vertical vibration test method; fiber; pavement performance; cold recycled mixture