

水泥对泡沫沥青冷再生混合料的影响研究

朱树青, 任瑞波*, 梁国彦

(山东建筑大学 交通工程学院 山东 济南 250101)

摘要: 水泥作为常用的活性添加剂对泡沫沥青冷再生混合料有着重要的作用, 水泥的用量会直接影响泡沫沥青冷再生混合料的性能。文章通过室内试验设计了含有不同剂量水泥的泡沫沥青冷再生混合料, 并对混合料进行劈裂、车辙和低温弯曲试验, 评价水泥对泡沫沥青冷再生混合料的影响。结果表明: 水泥和沥青在泡沫沥青混合料中共同发挥胶结作用, 水泥剂量超过 1.0% 时, 水泥形成的胶结强度大于沥青形成的胶结强度; 水泥剂量为 1.0% ~ 1.5% 时, 泡沫沥青冷再生混合料整体性能较优, 满足作为路面基层或中下面层的使用要求; 水泥剂量大于 2% 时, 混合料低温性能降低。

关键词: 水泥; 泡沫沥青; 冷再生混合料; 劈裂强度

中图分类号: U414

文献标识码: A

Effect of cement on foamed asphalt cold recycled mixtures

Zhu Shuqing, Ren Ruibo*, Liang Guoyan

(School of Transportation Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: It is of great importance to explore the influence of cement on foamed asphalt cold recycled mixture for applying foamed asphalt cold recycled mixture in engineering. Effect evaluation of cement on foamed asphalt cold recycled mixtures was investigated in this paper. Foamed asphalt cold recycled mixtures were designed with cement or not and pavement performance tests were carried. Tests results show that cement and asphalt play roles of binders for foamed asphalt cold recycled mixtures and the bonding strength of cement is greater than that of asphalt when cement dosage is more than 1.0%. Foamed asphalt cold recycled mixtures has a better overall performance with cement controlled between 1.0% and 1.5% and the low temperature crack resistance of foamed asphalt cold recycled mixtures reduce with more than 2% cement.

Key words: cement; foamed asphalt; cold recycled mixtures; tensile splitting strength

0 引言

随着我国公路行业的发展, 沥青路面冷再生技术越来越受到业界重视。沥青路面冷再生技术可以有效的解决建设资源的问题, 并实现公路建设的节

能减排。泡沫沥青冷再生技术作为其中之一, 在我国得到了广泛的应用。泡沫沥青冷再生混合料在应用过程中往往需要添加水泥来改善混合料的性能。我国沥青路面再生技术规范规定水泥掺量一般不超过 1.5%, 但没有区别乳化沥青混合料和泡沫沥青混合料水泥用量的差异^[1]。国外对水泥的掺量多

收稿日期: 2014-12-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(51278288)

作者简介: 朱树青(1988-), 男, 在读硕士, 主要从事冷再生混合料等方面的研究。E-mail: zhushuqing2008@126.com

通讯作者*: 任瑞波(1967-), 男, 教授, 博士, 主要从事沥青与沥青混合料等方面的研究。E-mail: renruibochina@126.com

少也有不同的认识,美国沥青路面再生协会规定水泥剂量一般为 1.0% ~ 2.0%;南非规定水泥剂量不宜超过 1.0%^[2]。拾方治等研究发现水泥能明显改善泡沫沥青混合料的高温性能和水稳定性^[3-7];蒋小茜等提出泡沫沥青冷再生混合料中沥青胶浆颗粒呈点状分布^[8-10]。研究表明,水泥可以提高乳化沥青冷再生混合料的高温性能和水稳定性,并推荐了水泥的用量范围 2.0% ~ 2.5%^[11]。由于泡沫沥青冷再生混合料的结构形式不同于乳化沥青冷再生混合料的结构形式,水泥在泡沫沥青冷再生混合料中发挥着的作用异于水泥对乳化沥青混合料的作用。因此,乳化沥青冷再生混合料水泥适用剂量异于泡沫沥青混合料水泥的适用剂量。黄任远等研究表明,水泥能明显提高泡沫沥青冷再生混合料的物理性能,水泥用量越高,泡沫沥青冷再生混合料强度越大^[12-13]。然而,对于不同水泥剂量的泡沫沥青冷再

生混合料的路用性能以及泡沫沥青冷再生混合料水泥的试用剂量则鲜有研究。明确水泥的适宜用量范围和水泥对泡沫沥青冷再生混合料作用对泡沫沥青冷再生技术的推广及应用有着积极作用。基于此,开展了水泥对泡沫沥青冷再生混合料作用的研究。

1 试验方法与材料

1.1 原材料

试验用铣刨料(RAP)为青岛某高速大中修维修过程中产生的路面旧料,经破碎后分为 1 #、2 #、3 #三档,筛分结果见表 1。由于泡沫沥青冷再生混合料为常温拌和,路面旧料中的沥青为矿料的一部分,研究中把 RAP 视作“黑色集料”。沥青路面铣刨料变异性较大,研究中添加部分新集料进行级配调整,新集料筛分结果见表 2。

表 1 铣刨料筛分结果表/%

尺寸/mm	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1 #	100	97.2	77.3	55.6	42.3	8.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
2 #	100	100	100	97.0	88.0	70.9	18.3	5.1	2.4	1.3	0.9	0.6	0.5
3 #	100	100	100	100	98.3	96.2	73.8	37.7	22.6	10.6	4.9	2.3	1.1

表 2 新矿料筛分结果/%

尺寸/mm	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
20~30	85.1	12.5	1.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10~20	100	100	99	77	27	1	0.7	0.7	.7	0.6	0.6
5~10	100	100	100	100	97	27	2.4	1.1	1	0.9	0.9
0~5	100	100	100	100	100	99.8	86.9	62.2	42.5	30.3	23
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99.9	99.8

试验所用的沥青为 70 #普通道路石油沥青,水泥为标号为 32.5 的普通硅酸盐水泥。沥青和水泥的技术指标见表 3、4。

表 3 沥青指标

指标	检测结果
针入度(25℃,100 g,5 s)/(0.1 mm)	70
软化点 $T_{R\&B}$ /℃	48
10℃延度/cm	65.5
15℃延度/cm	>150
60℃动力粘度/(Pa·s)	312
溶解度/%	99.87

1.2 级配设计

泡沫沥青冷再生混合料常用作沥青路面较低层位,所以试验选用密级配沥青混合料 AC-25 级配进行研究。研究中铣刨料占矿质混合料的 75%,新

集料占 25%。矿质混合料级配见表 5。按照规范^[13]击实试验方法,确定泡沫沥青冷再生混合料的最佳含水率为 4.3%。根据泡沫沥青混合料设计方法确定混合料的最佳沥青含量为 2.7%。

表 4 水泥指标

检验项目	试验结果	技术要求
细度(80 μm)/%	3.4	≤10
初凝时间/min	216	≥180
终凝时间/min	349	≥300
3 d 强度	抗压/MPa	17.8
	抗折/MPa	3.9
28 d 强度	抗压/MPa	41.6
	抗折/MPa	7.2

1.3 试验方法

研究中,水泥剂量分别为 0%、0.5%、1.0%、

1.5%、2%和2.5%。按照表5中合成级配,制作泡沫沥青冷再生混合料。强度规律试验试件在25℃通风烘箱中养生至恒重,其他试验试件为40℃、72 h加速养生。

混合料强度规律试验步骤:马歇尔试件侧放于

表5 混合料合成级配/%

尺寸/mm	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配	100	100	97.6	78.7	68.5	61.3	54.8	32.2	21.5	14.7	10	7.3	6.2

劈裂试验方法:加速养生完成后测试混合料试件体积指标;将试件浸入15℃水中不少于1.5 h;取出试件,在试验机上进行劈裂试验,测定试件破坏时荷载。浸水劈裂试验是将泡沫沥青冷再生混合料试件完全浸入在25℃恒温水浴中养生23 h,再放入15℃恒温水浴中养生1 h,后取出试件进行劈裂试验。

冻融试验方法如下:首先,测得养生完成后混合料试件的体积指标;将时间分为两组,将第一组试件进行真空饱水后进行-18℃低温养生16 h;取出试件,放入60℃水中保温24 h;连同第二组试件浸入25℃水中保温不少于2 h;测试试件劈裂破坏荷载。

车辙试验步骤:用轮压法制作车辙试件并养生;连同试模将试件放入已到达60℃恒温室中养生不少于5 h;校准车辙试验机温度,将试件置于实验台上进行试验,仪器自动记录轮压变形。

弯曲试验步骤:轮压法制作试件并养生后切制规定尺寸的棱柱体小梁;将小梁置于-10℃恒温室中至小梁内部温度达到-10℃;将小梁置于万能试验机支座上,进行加载破坏,自动记录试件破坏荷载和挠度。

2 试验结果分析

2.1 混合料强度规律试验

15℃劈裂强度是泡沫沥青冷再生混合料设计要求的强度指标,测试混合料不同养生时间强度可得知混合料强度形成规律。由于混合料成型初期较为松散,劈裂强度默认为0 MPa。混合料强度规律试验结果如图1所示。

由图1可以看出,泡沫沥青冷再生混合料经过25℃通风养生,15℃劈裂强度随着养生时间的增长逐渐增大。在养生过程中,不含水泥的泡沫沥青冷再生混合料强度增长缓慢,含不同剂量水泥的泡

沫沥青冷再生混合料强度形成规律是较为类似,随着水分逐渐散失,沥青胶浆颗粒逐渐与矿料粘附发挥粘结作用,形成一定的强度。

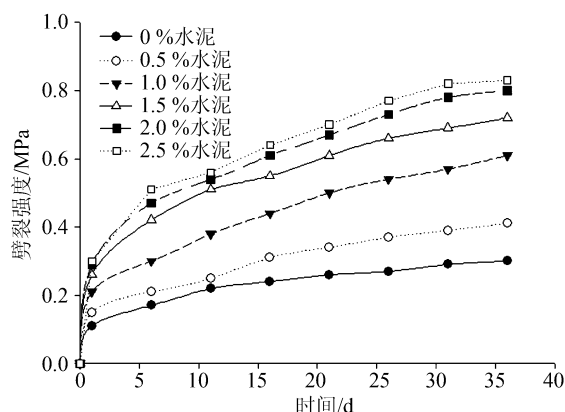


图1 各水泥剂量混合料强度规律图

在泡沫沥青冷再生混合料成型初期(6 d),未掺加水泥的泡沫沥青冷再生混合料在初期强度增长较明显,初期强度约为终期强度的60%。后期养生过程中,混合料强度增长较为缓慢。掺加水泥后,尤其是当水泥剂量大于0.5%时,初期劈裂强度较高,养生后期混合料强度也有明显的增长。泡沫沥青混合料中沥青以微粒的形式存在,未在矿料的表面形成连续沥青膜。水泥在没有沥青的部位发生水化,粘结矿料。所以,随着养生时间的增长,水泥发挥粘结作用,混合料后期强度也有明显增长。因此,在实际工程应用过程中,冷再生结构层上部磨耗层摊铺前必须保证必要的养生时间。

当水泥剂量未超过0.5%时,泡沫沥青冷再生混合料劈裂强度小于0.4 MPa,不满足规范对泡沫沥青冷再生混合料作为基层或面层的使用要求。当水泥剂量达到或者超过1.0%时,泡沫沥青冷再生混合料强度达到或者超过0.6 MPa,约为未掺加水泥混合料强度的2~3倍。不同剂量的泡沫沥青冷再生混合料中沥青含量相同,由沥青形成的粘结强

度相当,而水泥剂量不同,由水泥形成的粘结强度不同。根据图1中混合料强度规律可以发现,水泥剂量越大,混合料后期强度增长越大。水泥剂量超过1.0%后,后期劈裂强度增长幅度大于初期劈裂强度,由水泥形成的粘结强度高于沥青形成的粘结强度。当水泥剂量超过2.0%时,泡沫沥青混合料混合料劈裂强度增长幅度明显减小。

2.2 劈裂试验

劈裂强度反映混合料处于弹性阶段的力学性质,浸水劈裂强度及浸水劈裂强度比表征混合料抗水损害能力。干湿劈裂强度试验结果如图2所示。

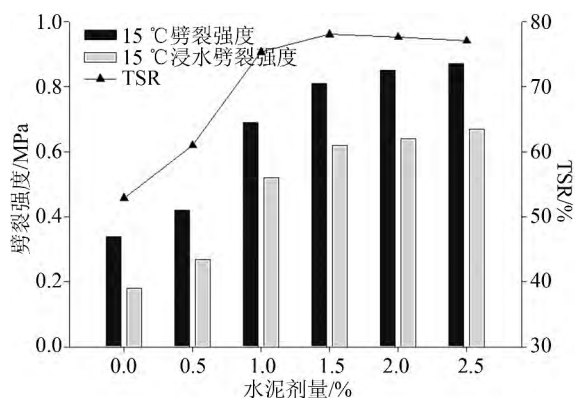


图2 不同水泥剂量混合料浸水劈裂强度图

根据图2可知,随着水泥剂量的增加,泡沫沥青冷再生混合料的15℃劈裂强度与浸水劈裂强度都增大。尤其是当水泥剂量超过1.0%时,15℃劈裂强度大于0.6 MPa,浸水劈裂强度大于0.4 MPa,干湿劈裂强度比达到甚至超过75%,泡沫沥青冷再生混合料具有较好的抗水损害性能。当水泥剂量小于1.0%时,泡沫沥青冷再生混合料15℃劈裂强度较小,并且浸水后劈裂强度降幅较大,混合料抗水损害能力差。当水泥剂量超过1.0%时,劈裂强度略有增长,浸水劈裂强度变化不大。因此,水泥用量超过2.0%以后,对泡沫沥青混合料的作用并不经济。

2.3 冻融试验

冻融试验较浸水劈裂试验条件更为苛刻,混合料经历一次冻融过程。采用冻融劈裂强度及冻融劈裂强度比评价泡沫沥青冷再生混合料水稳定性。冻融试验结果图3所示。

由图3可知,随着水泥剂量的增加,泡沫沥青冷再生混合料25℃劈裂强度逐渐增大,增速有所放缓。在相同的试验条件下,经历一次冻融过程后,未添加水泥的泡沫沥青冷再生混合料的25℃劈裂强

度不足0.2 MPa,非冻融混合料的劈裂强度约为0.25 MPa。当水泥剂量小于1.0%时,冻融劈裂强度比(TSR)小于70%,冻融前后混合料强度变化较大,混合料水稳定性不足。当水泥剂量超过1.0%时,劈裂强度较大,TSR大于70%,满足应用要求。当水泥剂量超过2.0%以后,劈裂强度和浸水劈裂强度增长不明显,劈裂强度比略有下降。

泡沫沥青冷再生混合料中沥青以“点焊”形式发挥粘结作用^[15]。再次浸入的水分对沥青与矿料的粘结破坏较严重。添加水泥后,水泥既发挥填料作用又发挥胶结料的作用,提高混合料的强度,相对减小水的损害作用。同时,水泥水化生成的水化物与沥青以及矿料相互交织,起到“加筋”作用。而且水化产物可以减小空隙,封闭部分联通空隙,阻碍水的进一步侵蚀,增强混合料的水稳定性。根据劈裂试验和冻融试验结果,泡沫沥青混合料若要保持一定的水稳定性能,水泥掺量不宜小于1.0%。

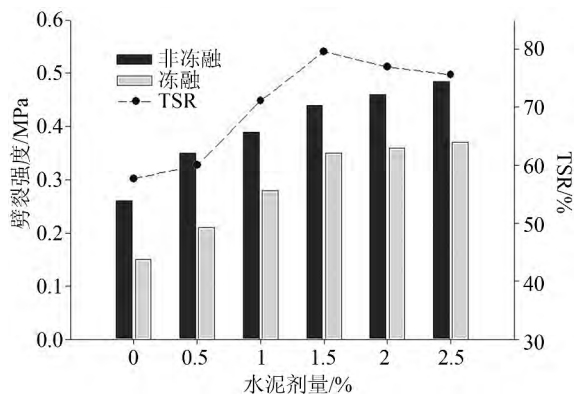


图3 冻融试验结果图

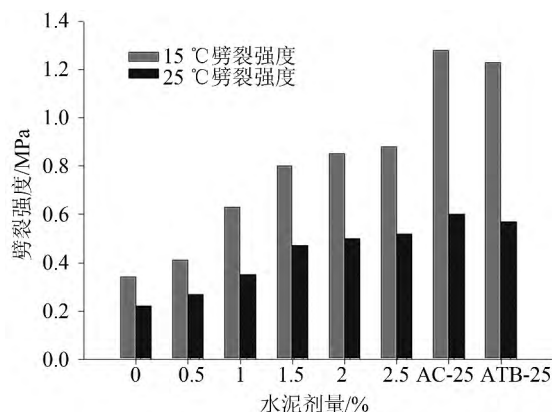


图4 水泥剂量与劈裂强度关系图

根据图4可知,不同水泥剂量的泡沫沥青冷再生混合料25℃劈裂强度明显小于15℃劈裂强度。未掺加水泥或添加少量水泥时,不同温度下劈裂强

度变化较小,这与泡沫沥青冷再生混合料本身强度较小有关。当水泥剂量较高时,强度大,不同温度下劈裂强度变化较为明显。虽然在混合料设计时,将沥青铣刨料视作“黑色集料”,但铣刨料中含有部分老化的沥青,加之新加入的泡沫沥青,混合料中存在一定含量的沥青。沥青属于粘弹性材料,在不同温度下,沥青性质有所变化,所以混合料表现一定的温度敏感性。与传统的热拌沥青混合料相比,泡沫沥青冷再生混合料的强度较小。温度变化后,泡沫沥青混合料强度变化幅度小于热拌沥青混合料的强度变化幅度,其温度敏感性有所改善。

2.4 车辙试验

车辙试验在 60℃ 下,负荷 0.7 MPa 轮压试件,通过动稳定度指标来评价泡沫沥青冷再生混合料的高温抗变形能力。试验过程中,水泥剂量较小的混合料试件表面出现松散现象,车辙试验结果如表 5 所示。

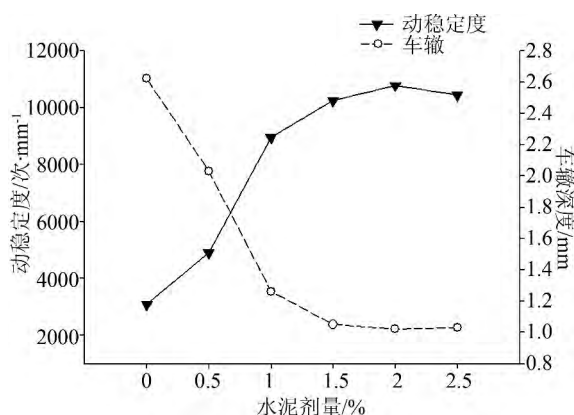


图5 水泥剂量与车辙性能关系图

由图5可以看出,随着水泥剂量的增大,泡沫沥青冷再生混合料动稳定度持续增长,并且当水泥剂量超过 1.0% 后,动稳定度突破 10000 次/mm;车辙变形随着水泥剂量的增加而减小。水泥剂量超过 1.5% 后,混合料车辙变形变化较小。不含水泥的泡沫沥青冷再生混合料动稳定度约为 3000 次/mm 左右,车辙变形超过 2 mm。

在高温荷载条件下,普通沥青混合料高温抗车辙性能较差。而水泥稳定类材料强度高、刚度大具有较好的高温抗变形能力。在泡沫沥青冷再生混合料中添加一定量水泥,部分水泥水化发挥胶结料的作用,增加了混合料的刚度^[16],泡沫沥青冷再生混合料表现一定水泥稳定类材料的性能,高温抗剪切性能得到显著改善^[17]。

2.5 弯曲试验

根据小梁试件弯曲的破坏荷载和挠度计算试件的破坏应变和抗弯拉强度,评价泡沫沥青冷再生混合料韧性的影响。不同剂量水泥的泡沫沥青冷再生混合料低温弯曲试验结果如图6所示。

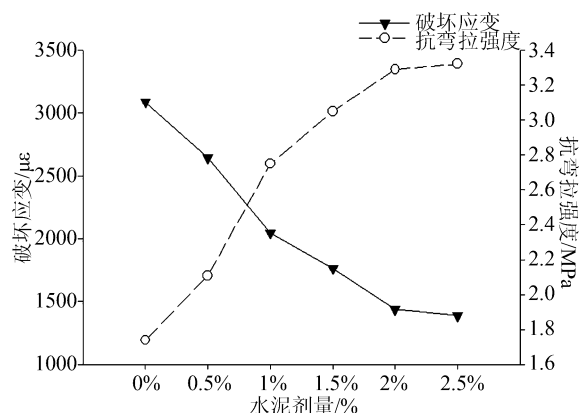


图6 水泥剂量与低温性能关系图

由图6可知,泡沫沥青冷再生混合料低温破坏应变随着水泥剂量的增加而减小;混合料的抗弯拉强度随着水泥剂量的增加而增大。当水泥剂量超过 1.5% 时,混合料破坏应变较小,尤其是当水泥剂量超过 2.0% 时,破坏应变不满足应用要求;当水泥剂量小于 1.0% 时,混合料抗弯拉强度较小。

如图7、8所示,添加水泥后泡沫沥青冷再生混合料与未添加水泥的泡沫沥青冷再生混合料破坏曲线形状存在差异。由于矿料中存在一定含量的老化沥青,未掺加水泥的泡沫沥青冷再生混合料表现一定柔韧性,破坏荷载较小、挠度较大、破坏应变较大。掺加水泥后,混合料呈现一定脆性,破坏荷载增大、挠度较小、破坏应变较小。

沥青混合料低温开裂不仅与材料强度有关,而且与材料的变形能力有关^[18-19]。泡沫沥青冷再生混合料常用作路面的较低层位,混合料的破坏模式与拉应变相关。泡沫沥青冷再生混合料除了具备一定的抗弯拉强度外,还应具有一定的变形能力。水泥剂量过大,混合料刚度大,柔韧性差。因此,泡沫沥青冷再生混合料中水泥的掺量不宜超过 1.5%。

3 结论

通过研究可知:

(1) 在泡沫沥青冷再生混合料中水泥和沥青共同发挥胶结料的作用,当水泥剂量超过 1.0% 时,水

泥的胶结强度大于沥青的胶结强度,混合料总体强度较大,满足作为路面基层或中下面层的应用要求。

(2) 水泥剂量为 1.0% ~ 1.5% 时,泡沫沥青冷再生混合料的抗车辙性能、水稳定性能和低温性能较优;

(3) 当水泥剂量超过 2.0% 时,混合料的高温性能和水稳定性能较优,但混合料的刚度增大,低温抗裂性能减弱。

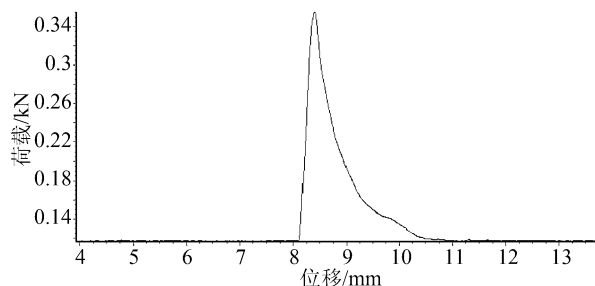


图7 未添加水泥泡沫沥青混合料弯曲破坏曲线图

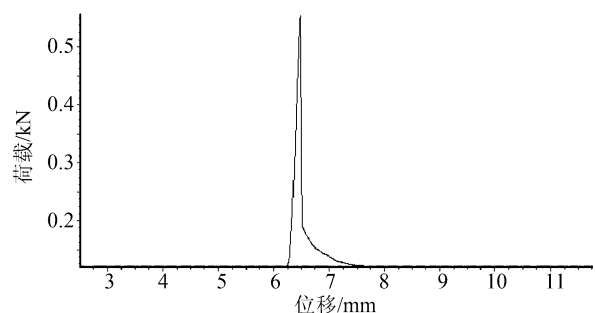


图8 添加 1.5% 水泥泡沫沥青混合料弯曲破坏曲线图

参考文献:

- [1] JTG F41—2008,公路沥青路面再生技术规范[S].北京:人民交通出版社 2008.
- [2] 徐剑,黄颂昌,邹桂莲.高等级公路沥青路面再生技术[M].北京:人民交通出版社 2011.
- [3] 拾方治,孙大权,罗芳艳,等.泡沫沥青混合料物理力学特性的试验研究[J].公路 2004(5):142-145.

- [4] 兰承雄,王泽民,盛兴跃,等.泡沫沥青冷再生半柔性基层性能研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版) 2008(27):928-932.
- [5] 李立寒,王太鑫,袁坤.泡沫沥青稳定碎石混合料强度特征的试验研究[J].建筑材料学报 2009,12(5):549-553.
- [6] 唐积民.泡沫沥青冷再生混合料性能研究[D].大连:大连理工大学 2013.
- [7] 张兰峰.水泥对泡沫沥青混合料性能影响分析[J].广东公路交通 2013(5):39-43.
- [8] 蒋小茜,郝培文.基于微观力学的泡沫沥青混合料成型机理研究[J].中外公路 2012,32(3):315-319.
- [9] Fu P. C., David J., Felipe A. Halles *et al.* Investigation of the curing mechanism of foamed asphalt mixes based on micromechanics principles [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2010(22):29-38.
- [10] 徐金枝,郝培文.泡沫沥青分散性状及其与矿料相互作用研究[J].武汉理工大学学报 2011,33(7):51-56.
- [11] 冯璐.水泥对乳化沥青混合料路用性能的影响[J].公路工程 2014,39(4):112-116.
- [12] 黄任远,黄万坦.水泥用量对泡沫沥青冷再生混合料性能的影响[J].交通标准化 2014,42(19):126-130.
- [13] 詹海玲,潘艳珠.沥青和水泥掺量对泡沫沥青混合料强度的影响[J].公路交通科技(应用技术版) 2013(8):75-79.
- [14] JTG E40—2007,公路土工试验规程[S].北京:人民交通出版社,2007.
- [15] 徐金枝.泡沫沥青及泡沫沥青冷再生混合料技术性能研究[D].西安:长安大学 2007.
- [16] 陈国强,李秀君,刘黎萍,等.泡沫沥青混合料抗剪性能研究[J].公路工程 2010,35(1):146-158.
- [17] 李秀君.泡沫沥青冷再生混合料抗剪性能的试验研究[J].建筑材料学报 2010,13(1):27-31.
- [18] 郝培文,张登良,胡西宁.沥青混合料低温抗裂性能评价指标[J].西安公路交通大学学报 2000,20(3):1-5.
- [19] 葛折圣,黄晓明,许国光.用弯曲应变能方法评价沥青混合料的低温抗裂性能[J].东南大学学报 2002,32(4):653-655.

(学科责编:李雪蕾)