

文章编号:1007-6735(2015)05-0505-06

DOI:10.13255/j.cnki.jusst.2015.05.016

泡沫沥青二次冷再生混合料不同稳定剂的应用

许光孝, 胡 畔, 邵 晗

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 分别采用泡沫沥青与水泥作为稳定剂对泡沫沥青冷再生路面进行二次冷再生试验研究. 研究表明, 以泡沫沥青作稳定剂进行二次冷再生混合料设计形成的泡沫沥青二次冷再生混合料, 其抗拉性能、水稳性能与二次冷再生混合料中细料含量有关; 高温稳定性能与铣刨料用量、铣刨料中沥青老化程度以及二次冷再生混合料中细料含量有关. 以水泥作稳定剂进行二次冷再生混合料设计, 采用7 d无侧限抗压强度能够很好地确定新添加骨料比例, 适量的新添加骨料能明显增大二次冷再生混合料的7 d无侧限抗压强度. 根据室内研究成果, 对试验路段进行辅筑, 证明两种二次冷再生技术可行, 辅筑路段路用性能良好.

关键词: 泡沫沥青; 水泥; 冷再生混合料; 配合比设计; 二次冷再生

中图分类号: U 416.217

文献标志码: A

Application of Different Stabilizers in Secondary Cold-recycled Mixtures of Foamed Asphalt

XU Guangxiao, HU Pan, SHAO Han

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Foamed bitumen and cement were respectively used as a stabilizer for foamed asphalt cold recycled roads to study the secondary cold recycling technology. The laboratory research results show that for the secondary cold recycled mixes with foamed bitumen as a stabilizer, their tensile properties and water-stable performance was related to the fines content in the mixes; the high temperature stability of secondary cold recycling mixes is related to the RAP (recycling asphalt pavement) content, the aging degree of asphalt and the fines content. Cement was adopted as a stabilizer in the second regeneration mix design, and the 7 d unconfined compressive strength was made in use to well determine the proportion of newly added aggregate. An appropriate new aggregate can significantly increase the 7 d unconfined compressive strength of mixes. Through the laboratory study and tested road application, the foundation of future development of the secondary cold recycling technology was laid.

Key words: foamed asphalt; cement; cold-recycled mixes; mix proportion design; secondary cold recycling

收稿日期: 2014-07-22

第一作者: 许光孝(1989-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 道路材料. E-mail: 740787307@qq.com

泡沫沥青冷再生技术作为一项新兴技术,近年来在我国迅速发展,但由于其在混合料配合比设计、现场施工经验、后期养护管理等方面经验有所欠缺,早期修建的泡沫沥青冷再生路面易出现不同程度的变形、车辙、水损害等早期损坏现象.早期修建的泡沫沥青冷再生路面陆续进入修复养护阶段,如果直接将铣刨料(旧泡沫沥青冷再生混合料)废弃,大量的沥青混合料不仅对环境造成严重污染,而且对于沥青混合料本身也是一种资源的浪费.未来几年内我国公路建设将面临大规模的泡沫沥青冷再生路面大中修改造工程,为满足我国公路维修养护的现实国情,符合公路行业可持续发展的主题,如何将泡沫沥青铣刨料变废为宝,具有很强的研究应用价值.

1 旧路面铣刨料研究

浙江省 S102(02 省道)杭昱线是杭州至昱岭关的交通要道,是杭州与安徽黄山旅游区间黄金通道上的重点路段,在临安市公路网中的地位十分重要.部分路段于 2008 年进行泡沫沥青冷再生大修工程改造,自建成通车以来,随着经济社会的快速发展,其交通量增长迅速,沿线各类炒货等食品厂区和工业厂区的增设、超限车辆的剧增,严重破坏了杭昱线的路况,主要破坏形式表现为车辙、水损等病害.

本次试验以浙江省 S102(02 省道)杭昱线为依

托,展开泡沫沥青铣刨料研究,并进行二次冷再生试验路的铺筑.对 K73+900—K75+900 段泡沫沥青冷再生路面基层与面层分别进行铣刨并取料,经抽提后筛分发现,泡沫沥青基层铣刨料和面层铣刨料整体偏细,如图 1 所示,需加入适量粗集料调整级配.分析其原因,泡沫沥青冷再生路面经多年使用后其粗集料已发生破坏,并且在铣刨过程中,铣刨机对粗集料也产生破坏作用.此外,为提高泡沫沥青二次冷再生混合料的密实性以及早期强度,需加入适量的石屑与水泥.

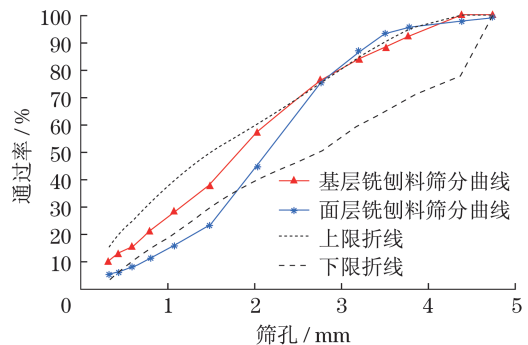


图 1 铣刨料经抽提后合成筛分曲线

Fig.1 Synthetic sieving curve of milling material after extraction

二次冷再生是指将基层泡沫沥青铣刨料与面层铣刨料按合理比例进行掺配,并加入一定量的新集料、水与稳定剂,使其二次冷再生混合料满足相关路用性能的要求^[1].试验所用各种材料级配如表 1 所示.

表 1 试验材料筛分级配

Tab.1 Test materials' sieved gradation

矿料名称	筛孔/mm													
	37.5	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
RAP-S	100	100	100	100	98.4	91.5	80.7	49.8	27.8	20.4	16.1	12.7	10.6	9
RAP-B	100	100	100	92.2	88.1	84	76.5	57.3	38.2	28.3	21.4	15.8	13	10
石屑	100	100	100	100	100	100	100	82.5	54.7	39.7	29.5	21.6	18.2	15.3
碎石	100	96.5	81.9	36.6	1.4	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
水泥	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96.3

注:RAP-S 指面层铣刨料;RAP-B 指泡沫沥青基层铣刨料

2 泡沫沥青作稳定剂二次冷再生配合比设计

2.1 级配组成设计

泡沫沥青作稳定剂进行二次冷再生配合比设计时,采用维特根冷再生手册推荐使用的泡沫沥青一次冷再生配合比上下限要求进行设计.本次实验参照泡沫沥青一次冷再生铣刨料掺量^[2],以大幅度地

利用铣刨料为目标^[3],进行级配组成方案设计.级配方案一:60%基层铣刨+20%面层铣刨+8.5%碎石+10%石屑+1.5%水泥;级配方案二:68%基层铣刨+22%面层铣刨+8.5%碎石+1.5%水泥;级配方案三:80%基层铣刨+17.5%碎石+1.5%水泥.

3种级配曲线如图 2 所示,方案一共采用 80%回收料,为增加其整体强度与密实度,分别加入

8.5%碎石与10%石屑.方案二共采用90%回收料,为增加其整体强度,加入了8.5%碎石.方案三共采用80%回收料,且均为泡沫沥青基层铣刨料,为增加整体强度,加入17.5%碎石.通过级配组成曲线可发现,方案一中细料含量最多,方案二次之,方案三最少.此3种级配方案均满足维特根冷再生手册中推荐使用的上下限要求.为研究面层铣刨料与泡沫沥青基层铣刨料对二次冷再生混合料的影响,本文将对此3种级配对应的泡沫沥青二次冷再生混合料力学性能进行分析^[4].

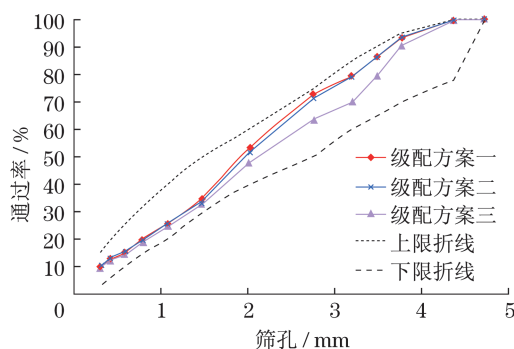


图2 级配曲线图

Fig.2 Gradation curve

2.2 最佳拌和用水量的确定

泡沫沥青二次冷再生混合料为满足较好的拌和效果与压实效果,在混合料进行拌和与压实过程中需加入适量的水.然而,过多或过少的拌和用水量均将影响混合料的拌和效果与压实效果,进而影响混合料的整体强度^[5].因此,根据泡沫沥青一次冷再生工程中的经验,在进行泡沫沥青二次冷再生混合料拌和时取最佳含水量的80%.

通过土工击实试验获得3种级配方案时,泡沫沥青二次冷再生混合料的最大干密度与最佳含水量如表2所示.

表2 击实试验

Tab.2 Compaction test

级配方案	水泥剂量/%	最佳含水量/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)	拌和用水量/%
方案一	1.5	7.1	2.198	5.68
方案二	1.5	6.9	2.187	5.52
方案三	1.5	6.6	2.168	5.28

2.3 沥青发泡与试件成型

目前,评价泡沫沥青发泡效果的主要指标为膨胀率与半衰期^[6].本次试验采用镇海AH-70沥青拌制泡沫沥青混合料,经试验测得在发泡温度为

175℃、用水量为2.5%时,沥青发泡膨胀率为13倍,半衰期为15.3s,说明已取得较好的发泡效果.在此条件下对每种方案级配分别添加1.5%,2%,2.5%沥青用量.

在室温25℃左右将集料倒入拌和锅,缓慢注入所需用水量,然后喷射泡沫沥青,拌和完毕后立即成型马歇尔标准试件.自然条件下养生24h后进行脱模,再将试件放入40±2℃通风箱内养生72h,取出试件后分别将3种级配方案所对应的试件进行干劈裂强度试验、湿劈裂强度试验和马歇尔稳定度试验^[7].

2.4 试验结果分析

路面各结构层材料一般具有较高的抗压强度,而抗拉、抗剪强度较弱^[8].对于泡沫沥青二次冷再生混合料,采用间接抗拉强度来评价混合料的抗拉性能^[9].本试验对3种级配方案所对应的泡沫沥青二次冷再生混合料进行干、湿劈裂强度试验以及残留强度比的测定.干、湿劈裂强度试验结果如图3—4所示,残留强度比结果如下页图5所示.

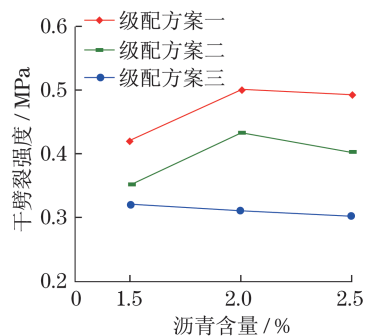


图3 二次冷再生混合料干劈裂强度

Fig.3 Dry splitting strength of secondary cold recycled mixes

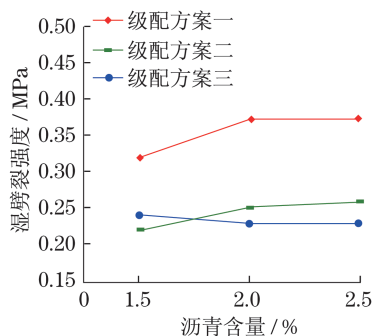


图4 二次冷再生混合料湿劈裂强度

Fig.4 Wet splitting strength of secondary cold recycled mixes

由试验结果分析,随着沥青含量的增多,混合料中自由沥青含量不断增加,当沥青含量达到某一最

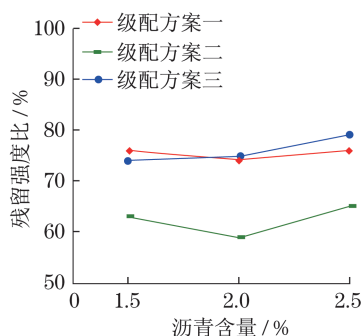


图 5 二次冷再生混合料残留强度比

Fig.5 Residual strength ratio of secondary cold recycled mixes

佳值后,随着自由沥青的增加将导致混合料之间粘聚力降低,干劈裂强度减小.同时,随着沥青含量的增多,细料被裹附程度增大,混合料吸水能力降低,湿劈裂强度有增大的趋势.方案三所对应的二次冷再生混合料干劈裂强度和湿劈裂强度均很低,可能与再生混合料与泡沫沥青结合方式有关.泡沫沥青与细集料结合形成沥青砂浆,沥青砂浆再以点焊的形式与更大粒径集料相结合.方案三中没有添加细料,未形成足够的沥青砂浆,且铣刨料用量比方案二中少 10%,较低的细集料含量导致二次冷再生混合料抗拉强度较低.方案一所对应的二次冷再生混合料干、湿劈裂强度、残留强度比均较高,说明抗拉性能和水稳性能均与混合料中细料的含量有一定关系.

马歇尔稳定度用以评价沥青类混合料的高温稳定性能.本文对 3 种级配方案所对应的混合料进行 60℃ 马歇尔稳定度测定,结果如图 6 所示.

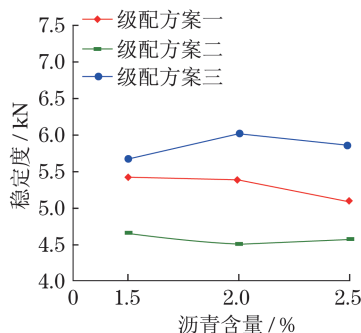


图 6 二次冷再生混合料稳定度

Fig.6 Stability of secondary cold recycled mixes

由试验结果分析,方案二所对应的二次冷再生混合料使用高达 90% 的回收料,混合料中的沥青含量最多,旧沥青在 60℃ 时粘性降低,导致二次冷再生混合料高温稳定性较差.方案一采用 20% 面层铣

刨料与 60% 泡沫沥青基层铣刨料以及新加入的石屑.方案三采用 80% 泡沫沥青基层铣刨料,没有加入石屑.两种方案总的铣刨料使用量相同,但其高温稳定性有所差异.分析其原因,泡沫沥青基层铣刨料经过一次再生利用后,其混合料中的沥青老化现象更为严重,泡沫沥青基层铣刨料相对于面层铣刨料更接近于“黑石头”的作用.通过试验说明二次冷再生混合料的高温稳定性与铣刨料的用量、铣刨料中沥青老化程度以及混合料中细料含量有关.

由图 3—6,方案一所对应的泡沫沥青二次冷再生混合料干、湿劈裂强度均较高,残留强度比在 70%~80% 范围内,60℃ 马歇尔稳定度均在 5 kN 以上.同时,在 2% 沥青用量下,各项指标均能满足路用性能要求,故本次 S102 杭昱线试验路的铺筑采用方案一.

3 水泥作稳定剂二次冷再生配合比设计

3.1 级配组成设计

为提高混合料强度,以水泥作稳定剂进行二次冷再生试验,水泥的水化反应以及水泥与颗粒之间的相互作用共同形成混合料的整体强度^[10].原路面基层经泡沫沥青冷再生后,混合料中含有较多的沥青颗粒及沥青团粒结构.为改善级配组成,本试验在原有材料基础上,新添加一种碎石(19.5~31.5 mm),其筛孔通过率作为级配设计方案,如表 3 所示.

表 3 碎石(19.5~31.5mm)筛分级配

Tab.3 Gravel (19.5~31.5mm) sieved gradation

筛孔/mm	37.5	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
通过率/%	98.6	14.2	0.9	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

级配方案 I: 60% 基层铣刨 + 20% 面层铣刨 + 10% 碎石 + 10% 石屑; 级配方案 II: 50% 基层铣刨 + 16% 面层铣刨 + 17% 碎石 + 17% 石屑; 级配方案 III: 50% 基层铣刨 + 16% 面层铣刨 + 17% 碎石 + 17% 碎石(19.5~31.5 mm).

3 种级配曲线如图 7 所示,方案 I、方案 II 均满足普通水泥稳定再生级配要求,方案 III 满足骨架密实型级配要求.

3.2 最佳含水量与最大干密度确定

水泥作为稳定剂发生水化反应需要足够的水,当含水量过大时,压实过程中水泥浆易流失;含水量不足时,导致水泥水化不完全,均不利于强度的形

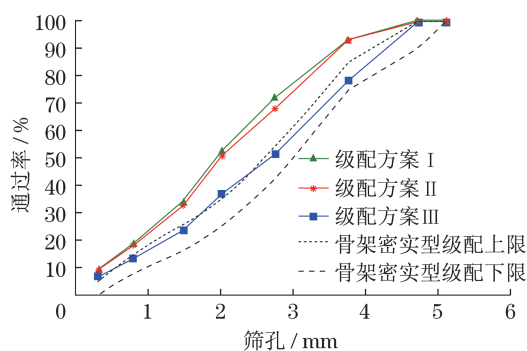


图7 级配曲线图

Fig.7 Gradation curve

成.水泥稳定中粒土和粗粒土作基层,水泥剂量在3%~7%之间;文献[11]、文献[12]在水泥稳定沥青路面铣刨料研究中水泥用量分别在4.0%~5.5%与4.0%~7.0%之间.参照文献中水泥用量,本文拟选用4%,5%,6%的水泥添加量,通过土工击实试验可以得出二次冷再生混合料的最佳含水量以及最大干密度,如表4所示.

表4 土工击实试验

Tab.4 Compaction test

水泥剂量/%	最佳含水量/%			最大干密度/(g·cm ⁻³)		
	方案 I	方案 II	方案 III	方案 I	方案 II	方案 III
4	7.0	6.8	5.8	2.168	2.174	2.186
5	7.2	7.1	5.9	2.182	2.204	2.194
6	7.5	7.3	6.2	2.208	2.219	2.206

由表4可看出,随着水泥剂量的增加,最佳含水量不断增加,最大干密度也在不断增加.这是由于随着水泥剂量的增加,水泥水化所需的水在不断增加,并且水泥自身密度大于混合料密度.

3.3 无侧限抗压强度试验

水泥作稳定剂用于二次冷再生混合料最主要的指标是7 d无侧限抗压强度,7 d无侧限抗压强度与其它指标之间也具有较好的关系.因此,为评价二次冷再生混合料的性能并提供设计参数,需选用7 d无侧限抗压强度来确定最佳新骨料的添加比例.强度试验结果如表5所示.

水泥作稳定剂二次冷再生混合料的无侧限抗压强度不高,导致整体强度不高,而新骨料的增加会导致无侧限抗压强度增加.由于原铣刨料中含有较多的沥青颗粒及沥青团粒结构,沥青裹附导致水分不能很好地在集料表面扩散,影响水泥水化的形成,阻碍强度的形成与发展.新骨料的加入,即降低了沥青的含量,可以有效提高强度.级配方案Ⅲ各水泥用量

表5 无侧限抗压强度试验

Tab.5 Unconfined compressive strength test

材料类型	水泥剂量/%	7 d 无侧限抗压强度/MPa
方案 I	4	1.50
	5	2.35
	6	2.44
方案 II	4	1.71
	5	2.58
	6	2.68
方案 III	4	2.32
	5	2.71
	6	2.84

下所对应的无侧限抗压强度均最高,这是由于方案Ⅲ满足骨架密实型结构的要求,其致密的结构形态所对应的无侧限抗压强度相比于其它两个方案明显较大.

水泥作稳定剂二次冷再生混合料整体强度不高,但仍能满足相关路用性能的要求,本次 S102 杭昱线试验路对级配方案Ⅱ和级配方案Ⅲ分别进行试验路铺筑.

4 杭昱线试验路铺筑

本试验分别以泡沫沥青以及水泥作为稳定剂进行二次冷再生的研究,通过室内试验确定其配合比组成,并进行试验路的铺筑.为控制二次冷再生混合料的均匀性,现场试验路铺筑对于两种再生技术均采用厂拌冷再生施工工艺.

泡沫沥青作为稳定剂进行二次冷再生试验路摊铺,摊铺完成后即可进行通车,并且在阴雨天气下也不影响正常施工,如图8所示.



图8 泡沫沥青作稳定剂二次冷再生试验路

Fig.8 Secondary cold regeneration test road with foamed bitumen as a stabilizer

水泥作稳定剂进行二次冷再生试验路摊铺完毕后,要进行封闭养护,以增强其整体抗压强度,如图9所示(见下页).

使用一年后进行调查分析,发现两种再生方法铺筑的试验路段均成功地完成了承载要求,没有出

现任何早期损坏现象,如图 10—11 所示.



图 9 水泥作稳定剂二次冷再生试验路

Fig.9 Secondary cold regeneration test road with cement as a stabilizer



图 10 泡沫沥青作稳定剂二次冷再生路面(一年后)

Fig.10 Secondary cold regeneration pavement with foam asphalt as a stabilizer (after one year)



图 11 水泥作稳定剂二次冷再生路面(一年后)

Fig.11 Secondary cold regeneration pavement with cement as a stabilizer (after one year)

5 结束语

通过室内试验,采用两种类别的稳定剂——泡沫沥青与水泥,初步探究了两种混合料作为基层材料的相关性能.泡沫沥青二次冷再生混合料的抗拉性能、抗水损能力、高温稳定性均能符合再生基层要求;而以水泥作为稳定剂的二次冷再生混合料,其 7 d 无侧限抗压强度也能满足基层相关要求.通过现场试验路的铺筑更加验证了两种二次冷再生技术的可行性,且在一年后对试验路的调研中,二次冷再生路段路用性能良好.通过实际工程应用,二次冷再生技术与传统铣刨加铺维修方法相比,明显缩短了施

工工期,并对资源进行了最大限度的利用,减少污染物的排放,在经济上也有明显的节约.本次二次冷再生室内理论试验研究以及现场试验路的铺筑,对于今后泡沫沥青冷再生技术的发展有着重要的作用及指导依据,为今后二次冷再生技术的发展积累了经验.

参考文献:

- [1] Chiu C T, Hsu T H, Yang W F. Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2008, 52(3): 545 - 556.
- [2] 李秀君,周维维,李梦晨.旧沥青混合料对泡沫沥青冷再生混合料性能的影响[J].上海理工大学学报, 2013, 35(1): 71 - 76.
- [3] South African Interim Technical Guidelines. The design and use of foamed bitumen treated materials [R]. South Africa Transportek, 2002.
- [4] 魏连雨,刘召伟,张海荣,等.泡沫沥青稳定旧沥青路面混合料冷再生试验分析[J].河北工业大学学报, 2008, 37(5): 100 - 104.
- [5] 李秀君,拾方治,张永平.拌和用水量对泡沫沥青混合料性能的影响[J].建筑材料学报, 2008, 11(1): 64 - 69.
- [6] 孙大权,李秀君,拾方治,等.泡沫沥青特性与混合料设计方法的试验研究[J].石油沥青, 2004, 18(4): 14 - 17.
- [7] 拾方治,郝振华,吕伟民,等.泡沫沥青混合料设计方法的试验研究[J].公路交通科技, 2004, 21(10): 1 - 4.
- [8] 武昭融,李秀君,谢思昱,等.泡沫沥青冷再生路面结构剪应力响应分析[J].上海理工大学学报, 2013, 35(3): 302 - 306.
- [9] 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.
- [10] 宗伟.沥青路面二次再生技术研究[D].长安:长安大学, 2011.
- [11] 冯德成,赵银,陈剑.水泥稳定 RAP 材料劈裂应力 - 应变特性[J].哈尔滨工业大学学报, 2013, 45(4): 74 - 78.
- [12] 林通,邝宏柱,胡力群,等.水泥稳定沥青路面铣刨料力学性能分析[J].交通运输工程学报, 2014, 14(2): 7 - 13.

(编辑:丁红艺)