

# 泡沫沥青冷再生混合料铣刨料级配的研究

李秀君, 胡畔, 李有为, 刘胜全, 许光孝

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

**摘要:** 泡沫沥青冷再生技术在我国迅速发展并取得了较好的实际应用效果, 随着我国重载交通逐年增多以及高温多雨等极端天气影响, 早期修建的泡沫沥青冷再生路面已出现损坏现象, 车辙、水损坏尤其严重。本文重点研究如何确定泡沫沥青铣刨料级配, 以使回收料得到最大化利用并且使其再生混合料性能达到最优。分别对铣刨料级配和真实级配研究并进行级配设计, 对两种不同筛分方法的再生混合料分别进行劈裂强度及马歇尔稳定度试验。由试验结果得出, 泡沫沥青冷再生技术应采用真实级配进行再生混合料设计, 以提高再生混合料的高温稳定性及防水损坏性能。

**关键词:** 泡沫沥青; 冷再生混合料; 级配; 配合比设计

中图分类号: TU528.42

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)02-0200-04

## Study on recycled material gradation of cold regeneration mixture with foamed bitumen

LI Xiujun, HU Pan, LI Youwei, LIU Shengquan, XU Guangxiao

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

**Abstract:** The mixture material of Foamed asphalt cold-recycled has rapidly developed in our country and has gotten excellent practical effect. With the annual increase of heavy traffic and the influence of high temperature and rainy and other extreme weather, on the foamed asphalt cold-recycled pavement early built has appeared damage phenomenon, especially rut, water damage. The heavy point of the research is how to confirm the gradation of milling planer material so as to make good use of the recycle material and enable its performance of the regeneration mixture material to reach the optimal. The experiment researched milling gradation and real gradation and conducted gradation design. Splitting strength and Marshall stability tests are conducted on the regenerated asphalt mixture material of two kinds of different screening methods. According to the result of experiment, the cold recycled technique of foamed asphalt should adopt real gradation to do the regeneration mixture design so as to improve the high temperature stability and to prevent water damage performance of recycled asphalt mixture.

**Key words:** foamed asphalt; cold-recycled mixture; gradation; mix proportion design

泡沫沥青冷再生技术在我国迅速发展并取得了一定的成功, 近年来突发的高温多雨等极端天气及重载、超载车辆的增多导致泡沫沥青冷再生路面产生车辙、水损坏等早期损坏现象<sup>[1-2]</sup>。我国泡沫沥青冷再生设计并不能简单的套用国外设计标准, 混合料性能试验也不能完全按照国外试验要求。本文从铣刨料特征与筛分分类入手, 结合室内试验, 建立泡沫沥青冷再生混合料级配设计原则, 以期从设计角度对混合料性能进行优化, 防止泡沫沥青冷再生

路面早期病害现象的发生。

## 1 细料含量对泡沫沥青再生混合料的影响

将水注入高温沥青中, 水遇热迅速蒸发, 沥青产生大量泡沫并急剧膨胀, 处于泡沫状态的沥青与高速搅拌状态下的细集料相粘结合成沥青胶浆, 再以点焊的形式与粗集料相粘结合, 以形成泡沫沥青再生混合料的初期强度, 泡沫沥青混合料初期强度的形

收稿日期: 2014-08-21; 修回日期: 2014-11-08

作者简介: 李秀君(1976-), 女, 江苏江阴人, 博士, 副教授, 主要从事路面工程及路面材料的教学与研究工作。

通讯作者: 胡畔(1987-), 男, 山东枣庄人, 硕士研究生, 研究方向为道路工程。

成依赖于充足的细集料含量<sup>[3]</sup>。同时,细料含量对于泡沫沥青混合料的高温稳定性能有着重要的影响。但是过多的细料将对泡沫沥青冷再生路面的抗车辙性能产生不利的影响。

## 2 两种级配方法的研究

### 2.1 两种级配定义

泡沫沥青冷再生技术以最大限度的利用铣刨料及减少对环境的污染为目标。与新集料不同的是铣刨料中含有大量沥青粘结料,这就形成了两种级配设计方法,一种方法是将铣刨料自然风干后进行筛分,称之为铣刨料级配,其并未考虑细料、旧沥青和集料之间的相互粘结,如图1所示。另一种方法是将铣刨料先进行抽提,洗去混合料中的沥青,将粘结成块的集料与沥青相互分开后进行筛分,称之为真实级配<sup>[4]</sup>。铣刨料抽提后如图2所示。抽提后铣刨料细料含量明显多于风干后铣刨料细料含量。



图1 铣刨料风干后



图2 铣刨料抽提后

### 2.2 两种筛分方法的差异

现以湖州、昌化两地铣刨料为研究对象,进行干筛以及抽提后筛分,分别得到铣刨料级配与真实级配,如图3、4所示。由图中可以看出,真实级配与铣刨料级配的通过百分率有一定的差值,在0.6~4.75 mm之间各筛孔的通过百分率差值较大,尤其在2.36 mm筛孔的通过百分率较大。13.2 mm及其以上筛孔的通过百分率差值较小。

在实际工程中,为满足泡沫沥青冷再生混合料强度的要求,通常采用加入新集料与石屑的方法以增加泡沫沥青冷再生混合料初期强度。

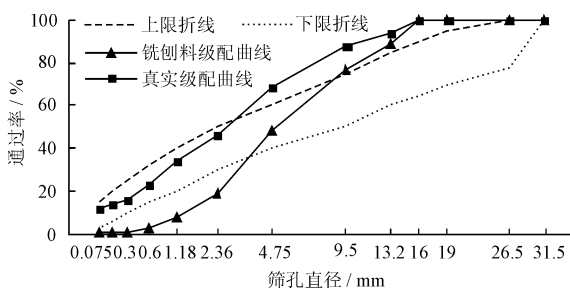


图3 湖州铣刨料筛分曲线

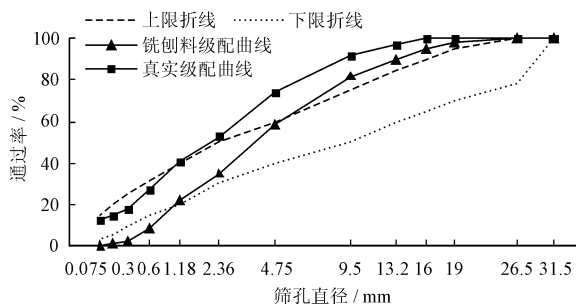


图4 昌化铣刨料筛分曲线

## 3 两种级配再生混合料性能试验研究

### 3.1 原材料分析

铣刨料经干筛后得到的铣刨料级配中,0.6 mm以下部分每档细料分计筛余量均较少。铣刨料经抽提后,包裹在沥青粘结料中的细集料及粉尘颗粒全部暴露出来,致使铣刨料真实级配中各档细料分计筛余量明显比干筛后铣刨料级配中细料分计筛余量高。泡沫沥青冷再生混合料配合比设计中上、下限的范围根据《维特根冷再生手册》及相关研究<sup>[5]</sup>所规定,混合料级配曲线落在上、下限这个级配范围中,表明该混合料适宜用泡沫沥青进行稳定。如果混合料级配中缺少细集料,则需加入适量的细集料、粉煤灰等进行调节,以改善泡沫沥青的稳定效果;如果混合料级配中缺少粗集料,则需加入适量的粗集料<sup>[6-7]</sup>。

根据本次试验干筛结果以及以往泡沫沥青冷再生混合料配合比设计可知,按照干筛后的铣刨料级配进行配合比设计,其粉料(0.075 mm以下部分)偏少,即使加入30%以上新细集料,仍难以满足《维特根手册》及相关研究中规定的上、下限要求。如果使其混合料级配范围满足上、下限要求,则需加入大量石屑,导致铣刨料用量大幅度减少。若按照抽提后的真实级配进行混合料配合比设计,则加入适量粗、细集料即可满足上、下限的要求<sup>[8-9]</sup>。

### 3.2 级配组成设计

本次试验以湖州、昌化两地铣刨料为研究对象,对其进行干筛与抽提后筛分,分别得到铣刨料级配与真实级配。分别以铣刨料级配与真实级配为研究对象,加入适量的粗、细集料。新添加集料级配如表1所示,以使泡沫沥青冷再生混合料级配尽可能接近。(由于铣刨料级配细料含量较少,尤其0.075 mm以下部分,即使加入30%以上细料,两种混合料级配曲线仍很难做到一致)

表1 新添加集料筛孔通过率

mm, %

矿料名称	筛孔直径													
	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
碎石 A	100	85.0	15.8	4.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
碎石 B	100	100	100	100	100	97.2	50.3	7.2	3.1	2.8	2.6	2.4	2.2	1.7
石屑	100	100	100	100	100	100	100	96.5	63.8	45.1	29.3	18.0	12.9	7.4
水泥	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96.3

本次试验以尽量满足《维特根手册》及相关研究的上、下限范围为目标,尽量使两种混合料级配曲线相一致。试验方案为:

级配方案 1:48% RAP(湖州铣刨料级配) + 10% 碎石 A + 10% 碎石 B + 30% 石屑 + 2% 水泥;

级配方案 2:60% RAP(湖州真实级配) + 10% 碎石 A + 16% 碎石 B + 12% 石屑 + 2% 水泥;

级配方案 3:40% RAP(昌化铣刨料级配) + 14% 碎 A + 10% 碎石 B + 34% 石屑 + 2% 水泥;

级配方案 4:60% RAP(昌化真实级配) + 15% 碎石 A + 15% 碎石 B + 8% 石屑 + 2% 水泥,级配曲线如图 5、6 所示。

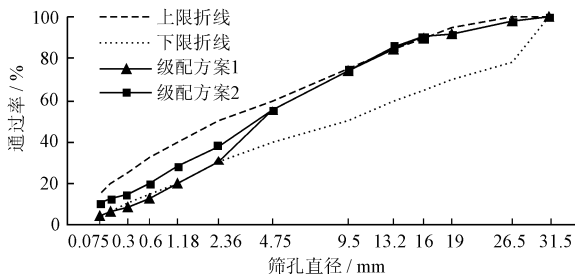


图5 湖州铣刨料级配设计

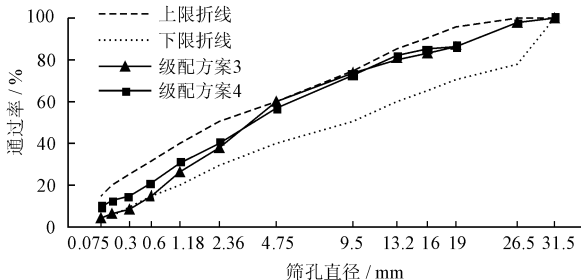


图6 昌化铣刨料级配设计

### 3.3 最佳拌和用水量的确定

泡沫沥青再生混合料为满足较好的拌和效果与压实效果,应加入适量的水。根据相关泡沫沥青冷再生混合料最佳用水量的研究,过多的用水量与过少的用水量均会影响冷再生混合料的拌和与压实效果,进而影响冷再生混合料的整体性能与强度。土工击实试验可以得到泡沫沥青冷再生混合料的最大

干密度与最佳含水量,而最佳拌和用水量应取最佳含水量的 80%<sup>[10]</sup>。

### 3.4 沥青发泡与试件成型

目前评价沥青发泡效果的主要指标是膨胀率与半衰期。本次试验测得在发泡温度为 170℃ 时,沥青发泡率为 14 倍,半衰期为 14.2 s,在此条件下进行沥青的发泡试验。为进行其性能比较,发泡时均采用 2% 沥青用量。在室温 25℃ 左右将集料倒入拌和锅,采用低速档拌和均匀,然后缓慢注入所需的水量,接着变换搅拌机至高速档拌和 10 s,然后喷射泡沫沥青。喷射结束后,泡沫沥青混合料密封存放,并立即成型马歇尔标准试件。

泡沫沥青再生混合料试件成型后在室温下养生 24 h 后脱模,再置于 40 ± 2℃ 通风烘箱中进一步养生 72 h,以确保泡沫沥青再生混合料中不含有水分。取出马歇尔标准试件后,对 4 种级配方案分别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<sup>[11-12]</sup>。

### 3.5 试验分析

泡沫沥青冷再生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,其路面主要破坏的形式以高温车辙及水损害为主。本次实验主要以泡沫沥青冷再生混合料的间接抗拉强度与马歇尔稳定度作为评价指标,分别评价泡沫沥青冷再生混合料的抗拉性能与高温稳定性能。

作为一项新兴技术,其在铣刨料分析、配合比设计以及现场施工、后期养护等过程均存在一定程度的经验欠缺。随着近年高温多雨等极端天气现象屡见不鲜(以 2013 年浙江省为例,6、7 两个月共出现 40 多天 35℃ 以上高温天气,路面实测温度达 70℃ 以上),道路交通面临着严重考验,对于各方面都欠缺经验的泡沫沥青冷再生技术更为如此。

本次试验仅从铣刨料筛分的角度进行级配设计,比较泡沫沥青冷再生混合料的抗水损性能与高温稳定性能。本试验以 60℃ 和 70℃ 为马歇尔试件浸泡温度,分别进行马歇尔稳定度试验。试验结果

如表2所示。

表2 泡沫沥青冷再生混合料试验结果

级配方案	干劈裂强度/MPa	湿劈裂强度/MPa	干湿劈裂强度比	60℃马歇尔/kN	70℃马歇尔/kN
1	0.49	0.36	0.74	6.62	6.03
2	0.46	0.37	0.81	6.25	6.16
3	0.44	0.34	0.77	6.04	4.31
4	0.43	0.36	0.84	5.92	4.67

级配方案1和级配方案2为湖州铣刨料分别以铣刨料风干后干筛级配和铣刨料抽提后真实级配进行泡沫沥青冷再生混合料级配设计。为使混合料级配大致相同,级配方案1添加了30%石屑,铣刨料用量仅为48%,仍没有满足维特根冷再生手册及相关研究所规定的上、下限范围;级配方案2铣刨料用量为60%;两种级配方案采用的水泥剂量与沥青发泡时沥青用量均相同。由表2试验结果可知,在相近级配条件下,方案1与方案2干劈裂强度、湿劈裂强度以及60℃马歇尔稳定度相差不大,方案2比方案1的干湿劈裂强度比略大,其水稳定性略好于方案1。方案2混合料的70℃马歇尔稳定度略高于同条件下方案1混合料的马歇尔稳定度。

级配方案3和级配方案4为昌化铣刨料分别以铣刨料干筛级配和铣刨料抽提后真实级配进行泡沫沥青冷再生混合料配合比设计。级配方案3添加了34%石屑,铣刨料用量仅为40%,仍没有满足维特根冷再生手册及相关研究所规定的上、下限范围;级配方案4铣刨料用量为60%;两种级配方案采用的水泥剂量与沥青发泡时沥青用量均相同。由表2可知,在相近级配条件下,方案3与方案4干劈裂强度、湿劈裂强度以及60℃马歇尔稳定度相差不大,方案4比方案3的干湿劈裂强度比略大,其水稳定性略好于方案3。方案4混合料的70℃马歇尔稳定度高于方案3混合料的70℃马歇尔稳定度。由此可见,采用真实级配的混合料性能优于铣刨料级配混合料,其回收料的利用率也明显高于按铣刨料级配设计的混合料。

## 4 结语

本文以湖州、昌化两地铣刨料为研究对象,对铣刨料级配和真实级配进行研究对比,分别对二者再生混合料进行劈裂强度、60℃及70℃马歇尔试验,得到以下初步结论:

(1)夏季高温多雨等极端天气及重载、超载车

辆日益增多,对于评价沥青类混合料高温稳定性能的马歇尔稳定度试验,其常规的60℃试验环境已不能满足当今高温极端天气的要求,对沥青类混合料进行70℃马歇尔稳定度试验显得尤为重要。

(2)按照铣刨料级配进行级配设计时需要加入大量的新集料,即使加入30%以上石屑依然很难满足《维特根手册》及相关研究中规定的上、下限要求,若采用此种方法进行再生混合料级配设计,不仅是对回收料资源的浪费,而且,其混合料性能较真实级配再生混合料性能也有差距。

(3)由试验可知采用真实级配进行级配设计其混合料70℃马歇尔稳定度与间接抗拉强度均略高于采用铣刨料级配的混合料。因此在进行泡沫沥青冷再生混合料设计时,宜先对沥青类铣刨料进行抽提然后进行筛分,以避免虚假颗粒影响再生混合料的真实级配。采用真实级配进行混合料级配设计,最大限度利用铣刨料的同时使其混合料性能得到优化,防止后期泡沫沥青路面车辙、水损坏的发生。

## 参考文献:

- [1] 栗关裔. 泡沫沥青冷再生技术的应用研究[D]. 上海:同济大学,2008.
- [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,2008,35(1):71-76.
- [3] 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.
- [4] 拾方治. 沥青路面泡沫沥青再生基层的研究[D]. 上海:同济大学,2006.
- [5] 德国维特根公司. 维特根冷再生技术手册[Z], 2004.
- [6] Mike Marshall. KMA200Foamix/Recycled RAP Demonstration Project[R]. 2004. 8.
- [7] Loizos A, Papavasiliou V, Plati C. Early-life performance of cold-in-place pavement recycling with foamed asphalt technique[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,2007,2005:36-43.
- [8] 赵永利. 沥青混合料的结构组成机理研究[D]. 南京:东南大学,2005.
- [9] 栗关裔,李立寒. 沥青发泡效果与泡沫沥青混合料性能的相关性[J]. 建筑材料学报,2008,11(5):555-560.
- [10] 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.
- [11] 栗关裔. 泡沫沥青再生混合料的配合比设计[J]. 公路工程,2009,34(6):76-81.
- [12] 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.