

文章编号:1671-6833(2012)02-0072-04

# 泡沫沥青再生混合料劈裂强度影响因素试验

赵桂娟

(西安科技大学 建筑与土木工程学院,陕西 西安 710054)

**摘要:** 为了研究不同泡沫沥青用量和旧沥青路面铣刨料(简称RAP)掺量两因素对泡沫沥青再生混合料劈裂强度的影响,采用两种不同的沥青路面铣刨旧料 $RAP_1$ 和 $RAP_2$ ,通过变化旧料掺量为0%、20%、40%、60%、80% 5种比例,分别与2%、2.5%、3%、3.5%、4% 5种用量的泡沫沥青混和,拌制泡沫沥青再生混合料,成型试件后进行干、湿两种条件下的劈裂强度(ITS)和残留劈裂强度比(TSR)测试.结果表明:在沥青旧料掺量比例一定的情况下,混合料的泡沫沥青用量存在最佳值;随着RAP掺量逐渐增大,泡沫沥青再生混合料的最佳沥青用量却逐渐减小,其值由RAP掺量为0时的3.5%减少到掺量为80%时的2%;随着RAP掺量的增大,泡沫沥青再生混合料干、湿ITS呈现减小趋势,但TSR却有所提高.

**关键词:** 泡沫沥青;再生混合料;劈裂强度;最佳沥青用量;旧料掺量;RAP

中图分类号:U414

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.02.018

## 0 引言

泡沫沥青是一种冷再生稳定剂,是由普通沥青与水、压缩空气混合制备而成,由于沥青在发泡过程中的黏度急剧下降,故可与冷湿集料拌和形成混合料<sup>[1]</sup>.泡沫沥青是一种存在状态相对特殊的稳定材料,根据国内外经验,泡沫沥青再生混合料一般适用于低交通量道路的面层和高等级道路的基层或下面层<sup>[2]</sup>.如果再生结构层强度不足,在行车荷载作用下,路面就会出现断裂、沉陷等破坏,影响道路的正常使用寿命.因此,要求泡沫沥青再生结构层必须具有合适的强度特性.

泡沫沥青可用于稳定新料,也可以稳定旧沥青路面铣刨料(以下简称RAP).但由于沥青路面在使用过程中,沥青的老化以及矿料级配组成和物理特性的变化,导致旧沥青路面铣刨料与新集料在材料特性方面有一定差异,进而经泡沫沥青再生处理的旧沥青材料与新料形成的混合料在性能上存在一定的不同<sup>[3]</sup>.在实体工程中,为了提高工程的经济社会效益,尽量从增大旧沥青材料的利用率角度出发,但需根据实际情况对再生混合料进行合理设计,以提高再生层的使用性能,延长使用寿命,优化再生结构层的材料性能.因此,

笔者通过室内试验分析,从影响泡沫沥青再生混合料劈裂强度特性的主要因素入手,探究不同的泡沫沥青用量和沥青旧料掺量对泡沫沥青再生混合料材料劈裂强度的影响,研究成果可为实体工程提供指导.

## 1 试验原材料

### 1.1 泡沫沥青

选用中海70号基质沥青,其各项技术指标见表1.利用Wirtgen WLB10发泡设备,在中海70号沥青最佳发泡条件下制备泡沫沥青,发泡温度为150℃,发泡用水量为2%<sup>[4]</sup>,经测定,沥青发泡的实际效果为膨胀率12倍,半衰期10 s.

### 1.2 铣刨料

采用两种不同的沥青路面铣刨旧料,分别记为 $RAP_1$ 和 $RAP_2$ .其中对应的旧沥青含量分别为4.4%和4.8%.两种RAP的级配组成如表2所示.

### 1.3 石屑

石屑应洁净、干燥、无风化,并具有适当的颗粒级配.本试验采用临潼韩峪石料厂生产的石屑,石屑的含水率为1.2%;砂当量为74.3%,坚固性6%,均满足要求.

收稿日期:2011-10-22;修订日期:2011-12-15

基金项目:陕西省交通建设科技项目(10-25T)

作者简介:赵桂娟(1980-),女,吉林农安人,西安科技大学讲师,主要从事路桥工程研究,E-mail:guijuanzhao@126.com.

表 1 中海 70 号基质沥青技术指标  
Tab.1 Technical index of ZhongHai 70# matrix asphalt

试验项目	技术标准	试验结果
针入度(25℃,5s, 100g)/0.1mm	60~80	75
针入度指数	-1.5~+1.0	-0.52
软化点/℃	≥46	51
延度(15℃)/cm	≥100	200
蜡含量(蒸馏法)/%	≤2.2	1.5
闪点(COC)/℃	≥260	281
溶解度(三氯乙烯)/%	≥99.5	99.7
密度(25℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	实测值	1.1
质量变化/ %	≤0.71	-0.5
残留针入度比 (25℃)/ %	≥61	72.4
残留延度(10℃)/cm	≥6	7.9

表 2 两种 RAP 的级配组成  
Tab.2 Gradation form of two RAP

筛孔 φ/mm	RAP <sub>1</sub>	RAP <sub>2</sub>	筛孔 φ/mm	RAP <sub>1</sub>	RAP <sub>2</sub>
31.50	100.0	100.0	2.36	45.4	31.7
26.50	98.1	98.2	1.18	36.0	20.4
19.0	83.9	82.9	0.60	28.7	10.8
16.0	80.1	76.2	0.30	22.9	11.8
13.20	73.9	65.1	0.15	16.8	18.6
9.50	69.2	58.2	0.075	10.2	6.9
4.75	58.1	48.2			

1.4 矿粉

生产矿粉的石料应除净泥土杂质,矿粉应洁净、干燥且能从矿粉仓自由流出.本试验中采用的矿粉是自行加工生产的石灰岩矿粉.矿粉经水洗法筛分试验,确定出其中小于 0.075 mm 的含量为 80.2%,视密度为 2.71 kg/m<sup>3</sup>,含水量 0.35%,均满足要求.

2 劈裂强度试验方案

试验中,对两种 RAP,分别变化旧料掺量为 0%、20%、40%、60%、80% 5 种情况,与相应的新材料按表 2 级配进行配制<sup>[5]</sup>.其中,RAP 掺量为 0% 代表全部采用新材料进行泡沫沥青混合料试验.通过重型击实试验,确定各级配组合的最佳含水量、最大干密度和最佳拌和用水量如表 3 所示.并用

此拌和用水量分别拌制两种沥青旧料不同掺量时的混合料,分别与对应的 5 种不同用量的泡沫沥青混和、成型试件,室温放置 24 h 后,放入 40℃ 烘箱养生 72 h,然后分成 2 组,干的一组试件进行 25℃ 劈裂强度(干 ITS)试验,湿的一组试件在 25℃ 水浴中浸泡 24 h 后进行劈裂强度(湿 ITS)试验,并进行残留劈裂强度比(TSR)测试.

表 3 不同 RAP 掺量下的级配重型击实  
试验结果及泡沫沥青量

Tab.3 Heavy compaction test result of different RAP content

类型	RAP 掺量/%	最佳含水 量/%	最大干密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	最佳拌和 用水量/%	泡沫沥 青量/%
RAP <sub>1</sub>	0	5.42	2.38	3.98	2.0
	20	5.78	2.32	4.13	2.5
	40	5.94	2.25	4.29	3.0
	60	6.02	2.20	4.48	3.5
	80	6.09	2.17	4.52	4.0
RAP <sub>2</sub>	0	5.42	2.38	4.37	2.0
	20	5.77	2.29	4.45	2.5
	40	5.92	2.21	4.56	3.0
	60	6.15	2.16	4.69	3.5
	80	6.20	2.13	4.71	4.0

3 试验结果及分析

用表 3 中所示的最佳拌和用水量,分别与 2%、2.5%、3%、3.5%、4% 共 5 种对应用量的泡沫沥青混和,拌制出两种沥青旧料 RAP<sub>1</sub> 和 RAP<sub>2</sub> 在不同掺量时的混合料,试件成型后测试干、湿 ITS 及 TSR<sup>[6]</sup>,进而分析不同的泡沫沥青用量和不同的 RAP 掺量对泡沫沥青再生混合料劈裂强度的影响情况.RAP<sub>1</sub> 形成的泡沫沥青混合料试验结果汇总见图 1;RAP<sub>2</sub> 形成的泡沫沥青混合料试验结果见图 2.

从图 1~图 2 可见,随着泡沫沥青用量的逐渐增加,RAP<sub>1</sub> 和 RAP<sub>2</sub> 形成的泡沫沥青混合料干、湿 ITS 均出现峰值,说明在同一旧料掺量比例下,存在着最佳泡沫沥青用量.

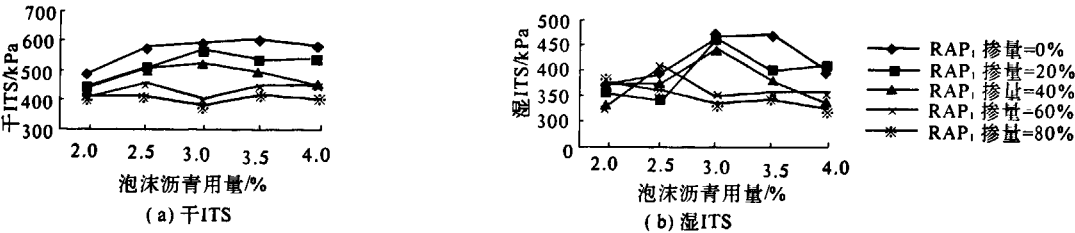


图 1 干、湿 ITS 随着 RAP<sub>1</sub> 掺量及沥青含量变化图  
Fig.1 Variation of wet ITS and dry ITS along with RAP<sub>1</sub> content and asphalt content

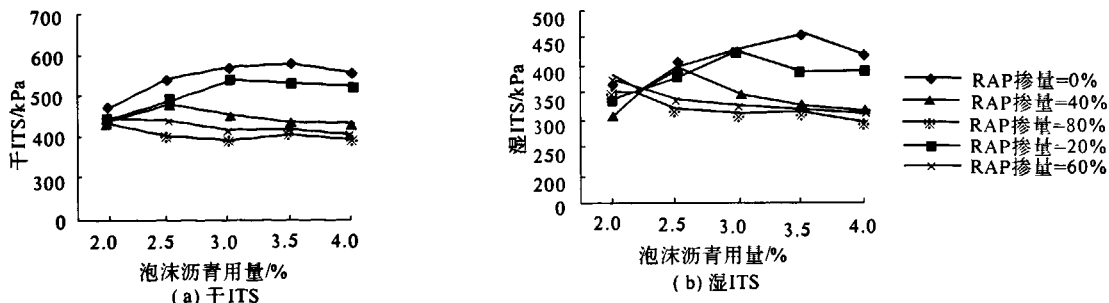
图2 干、湿 ITS 随着 RAP<sub>2</sub> 掺量及沥青含量变化图Fig.2 Variation of wet ITS and dry ITS along with RAP<sub>2</sub> content and asphalt content

图3是对两种RAP级配下,不同RAP掺量和不同泡沫沥青用量的混合料TSR进行了汇总.同样,从这两个图中发现,TSR也存在峰值.综合ITS和TSR指标,可以确定出最佳泡沫沥青用量见表4.

表4 不同掺量RAP形成的混合料最佳泡沫沥青用量

Tab.4 Optimum foam asphalt content of mix for different RAP content %

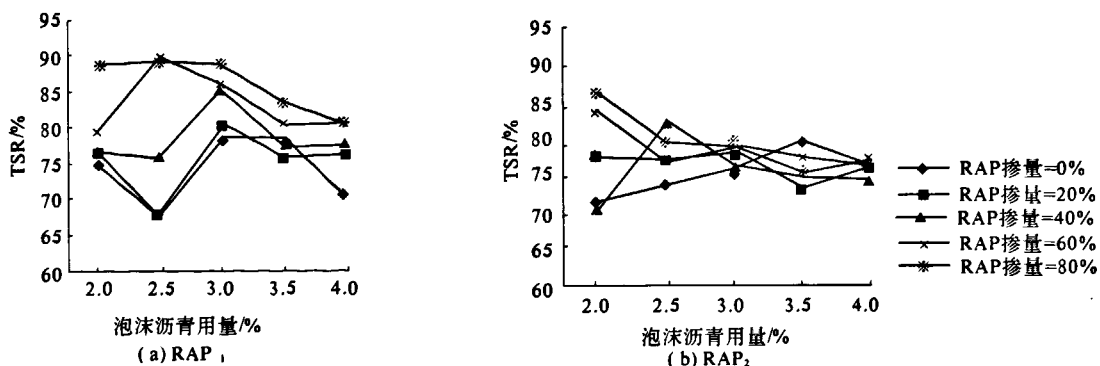
RAP 掺量/%	0	20	40	60	80
RAP <sub>1</sub>	3.5	3.0	3.0	2.5	2.0
RAP <sub>2</sub>	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0

从表4看出,当RAP掺量逐渐增加时,最佳泡沫沥青用量是逐渐减小的.当RAP掺量为0%,即泡沫沥青稳定新料所形成的混合料,其最佳泡沫沥青用量为3.5%,而当混合料中旧料掺量增加至80%时,最佳泡沫沥青用量反而降低至2%.比较RAP<sub>1</sub>和RAP<sub>2</sub>两种不同级配旧料在同一掺量下的最佳沥青用量结果发现:RAP<sub>2</sub>比RAP<sub>1</sub>的最佳沥青用量总体呈降低趋势,究其原因在于RAP<sub>2</sub>中旧沥青含量较RAP<sub>1</sub>多,导致最佳沥青用量减少<sup>[7]</sup>.但总的来说,泡沫沥青作为稳定料时,所需的最佳沥青用量和普通沥青形成的热拌沥青混合料相比,混合料中沥青用量偏小,原因在于泡沫沥青混合料中沥青分散方式特殊以及沥青与集

料的相互作用方式与普通沥青混合料存在一定差异.也正是较小的沥青需求量使得泡沫沥青稳定材料具备了普通沥青无法比拟的经济优势.

另外,分析图1~图2,发现存在一致的变化规律:在同一泡沫沥青用量下,随着混合料中沥青旧料掺量的增加,泡沫沥青混合料干、湿ITS基本呈现出下降趋势.原因是由于新集料表面纹理和棱角性较好,有利于泡沫沥青浆体微粒对集料颗粒的粘结作用,导致混合料具有良好的力学特性<sup>[8]</sup>;对RAP而言,在原路面使用过程中磨损作用不可避免,造成旧料表面相对光滑,缺少棱角性,且集料表面被旧沥青膜包裹,不利于泡沫沥青对集料的粘结,因此,随着混合料中RAP掺量的增大,混合料整体的棱角性就越差,颗粒间的摩擦阻力越小,泡沫沥青胶浆和砂浆微粒的粘结性越差,泡沫沥青再生混合料的力学性能会随之削弱.

结合图3分析,随着RAP掺量增加,TSR值也相应提高,主要是由于RAP含量增大,其形成的泡沫沥青混合料干ITS降低幅度超过了湿ITS的降低度,导致了两者比值,即TSR值增大,说明增加再生混合料中沥青旧料含量有助于提高混合料的残留劈裂强度比,从而可提高混合料的水稳定性<sup>[9]</sup>.

图3 RAP<sub>1</sub>和RAP<sub>2</sub>形成混合料的TSR值Fig.3 TSR of Mix for RAP<sub>1</sub> and RAP<sub>2</sub>

为了分析  $RAP_1$  和  $RAP_2$  两种不同旧料对泡沫沥青混合料劈裂强度影响的差异,将每一  $RAP$  在 5 种不同泡沫沥青用量下的 ITS 和 TSR 试验结果进行了平均值的计算,表 5 给出了 5 种不同  $RAP$  掺量时的 ITS 和 TSR 均值。

从表 5 可见, $RAP_1$  级配下拌制的泡沫沥青混合料干、湿 ITS 及 TSR 值均较  $RAP_2$  级配下拌制的泡沫沥青混合料相应值稍大,究其原因在于两者的细料含量不同。由于泡沫沥青混合料的抗拉强度主要是由混合料中沥青与细集料形成的高粘度“玛蹄脂”提供的,所以细集料越多,相应地形成的“玛蹄脂”就越多,材料的粘结力也就越大,混合料的抗拉强度也就越高<sup>[10]</sup>,而根据  $RAP_1$  和  $RAP_2$  两者级配看,前者细料含量较高,致使其 ITS 和 TSR 均得到一定程度的提高。

表 5 不同掺量  $RAP$  形成的混合料 ITS 及 TSR 值  
Tab. 5 ITS and TSR of mix for different RAP content

RAP 掺量/%	干 ITS/kPa	湿 ITS/kPa	TSR/%	
RAP <sub>1</sub>	0	566.68	419.06	73.92
	20	535.89	401.27	74.82
	40	478.26	376.46	78.59
	60	431.84	360.16	83.37
	80	403.82	347.82	86.13
RAP <sub>1</sub> 均值	—	483.30	380.95	79.37
RAP <sub>2</sub>	0	542.96	410.00	75.336
	20	507.46	386.52	76.186
	40	451.48	342.38	75.698
	60	427.42	335.00	78.316
	80	403.82	347.82	86.13
RAP <sub>2</sub> 均值	—	466.63	364.34	78.33

#### 4 结论

(1)随着泡沫沥青用量的增加,用两种  $RAP$  级配下形成的泡沫沥青再生混合料均出现了干、湿 ITS 峰值和 TSR 峰值,说明在沥青旧料掺量比例一定的情况下,混合料的泡沫沥青用量存在最佳值。

(2) $RAP$  掺量逐渐增大,泡沫沥青再生混合料的最佳沥青用量却逐渐减小,其值由  $RAP$  掺量为 0 时的 3.5% 减少到掺量为 80% 时的 2%。

(3)随着  $RAP$  掺量的增大,混合料干、湿 ITS

呈现减小趋势,但残留劈裂强度比 TSR 却有所增大,主要缘于  $RAP$  含量增加时,其形成的泡沫沥青再生混合料干 ITS 降低幅度超过了湿 ITS,导致了 TSR 值增加。

(4)由于  $RAP_2$  中旧沥青含量较  $RAP_1$  多, $RAP_2$  级配下形成的泡沫沥青再生混合料比  $RAP_1$  形成的混合料最佳沥青用量有一定程度的降低。且  $RAP_1$  级配下拌制的泡沫沥青再生混合料干、湿 ITS 及 TSR 值均较  $RAP_2$  级配下拌制的泡沫沥青混合料 ITS 及 TSR 值大,原因在于  $RAP_1$  细料含量高,增大了材料的粘结力,提高了劈裂强度。

#### 参考文献:

- [1] 徐金枝,崔文社,郝培文,等.泡沫沥青厂拌冷再生技术在西宝高速公路中的应用[J].武汉理工大学学报,2006,28(9):52-55.
- [2] 李军强,彭强.以 SUPERPAVE 方法设计再生沥青路面的研究[J].中南公路工程,2006,31(2):116-118.
- [3] 应荣华,姚辉.泡沫沥青现场冷再生混合料设计研究[J].中外公路,2007,27(2):41-44.
- [4] 李秀君,金国华,朱洪哥.集料级配对泡沫沥青再生混合料物理力学性能的影响[J].上海理工大学学报,2009,31(5):501-505.
- [5] 田梅咏,许世鸣,张永平.泡沫沥青厂拌冷再生技术在公路大修中的应用[J].公路,2007,2(3):172-176.
- [6] 欧阳杨,夏选朋,徐金枝,等.泡沫沥青稳定材料力学性能研究[J].中外公路,2007,27(3):187-190.
- [7] SALEH M F. Effect of rheology on the bitumen foamability and mechanical properties of foam bitumen stabilised mixes [J]. International Journal of Pavement Engineering,2007,8(2):99-110.
- [8] 袁宏伟.泡沫沥青在稳定基层中的应用研究[J].中外公路,2007,27(6):174-176.
- [9] RAMANUJAM J M, JONES J D. Foamed bitumen stabilisation [J]. Queensland Department of Main Roads. 2008,8(2):55-59.
- [10] 凌天清,何亮,马育.泡沫沥青混合料冷再生技术[J].土木建筑与环境工程,2009(1):141-145.

(下转第 80 页)

- 构,2008,25(2):9-13.
- [6] 陈玮,黄本才,赵劲松,等.超高层建筑风荷载数值模拟和空间风振分析[J].郑州大学学报:工学版,2010,31(5):60-64.
- [7] 李华,黄本才,廖泽邦,等.上海东方体育中心综合体育馆屋盖结构风振分析[J].南昌大学学报:工学版,2010,32(3):265-271.
- [8] 张相庭.工程结构风荷载理论及抗风计算手册[M].上海:同济大学出版社,1990:83-119.

## Analysis of Anti-overturning of a Telecommunication Tower Under Strong Wind

WANG Guo-yan, ZHAO Peng-tuan

(School of Aerospace Engineering and Applied Mechanics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** A telecommunication tower is liable to be overturned under strong wind since the tower body is a high-rise structure. Based on inertial wind load method, in consideration of the distribution of multiple spatial 6 models and the segment shape coefficients of tower body according numerical wind tunnel, wind-induced response of tower body in 13 different wind attack angles are calculated. Based on the wind-induced response and the wind loads on motor room, analysis of anti-overturning of tower is checked. The research results are the most unfavorable attack angle is  $90^\circ$  direction and the scientific data for the design of mobile foundation is 15.8t. The results of analysis show that the method adopted in this paper is reasonable, at the same time the method is presented for the analysis of wind-induced and anti-overturning of structures such as the telecommunication tower.

**Key words:** telecommunication tower; inertial wind load method; wind-induced response; analysis of anti-overturning

(上接第 75 页)

## Test on Influence Factor of Splitting Strength for Foamed Asphalt Recycled Mix

ZHAO Gui-juan

(School of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** In order to study the influence of different foam asphalt content and content of milling material from asphalt pavement (RAP) on splitting strength of the foam asphalt recycled mix, two different milling materials from asphalt pavement which will be called  $RAP_1$  and  $RAP_2$  were chosen. The old material volume which is respectively 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and the foam asphalt content which is 2%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4% were mixed, and mixed foamed asphalt recycled mix, molded piece, determined dry and wet splitting strength (ITS) and residual splitting strength ratio (TSR). The results showed when old material content proportion was a certain condition, the foam asphalt content of mixture reached an optimum value. As the RAP content increased gradually, optimum asphalt content of foamed asphalt recycled mix was reduced gradually, and the value changed from 3.5% when RAP was 0 to 2% when RAP was 80%. As the RAP content increased, dry and wet ITS of foamed asphalt recycled mix decreased, but TSR increased.

**Key words:** foamed asphalt; recycled mix; splitting strength; optimum asphalt content; old material content; RAP