

增韧改性沥青抗裂增强功能层研究

李耿良, 黄文元

(广州市公路工程公司, 广东 广州 510900)

摘要: 为抑制沥青路面的反射裂缝,提高沥青下面层抗反射裂缝能力和弯拉疲劳寿命,针对现有裂缝防治措施的不足,研究开发增韧改性沥青 GATB-25,通过显著增强下面层的抗裂功能,显著延长沥青路面的整体寿命;从级配优化、抗裂胶结料优选方面介绍了增韧改性沥青 GATB-25 的开发过程,并通过试验路验证了抗裂增强功能层的防裂缝性能。

关键词: 公路;增韧改性沥青 GATB-25;抗裂增强功能层;反射裂缝

中图分类号:U418.6

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)01-0109-04

1 研究背景

中国高速公路普遍采用 3 层沥青面层的半刚性基层沥青路面。近 10 年来,为了抑制水损坏、严重车辙等早期病害,在上面层普遍采取改性、间断级配、耐磨粗集料等行驶功能增强措施,在中面层也大面积采用各种改性措施进行抗车辙增强。随着路面早期损坏现象被显著遏制,严重威胁半刚性基层路面寿命的路面裂缝尤其是反射裂缝成为沥青路面结构和材料设计中的首要难点。为实现真正意义上的长寿命路面目标,相关实体项目和重大研究专项纷纷围绕沥青面层下增设应力吸收结构层(2~6 cm)、柔性基层(8~10 cm ATB-25、ATB-30)、级配碎石倒装结构层(10~20 cm)等措施展开,试图采用更厚的柔性结构抑制反射裂缝。实践证明,类似措施均取得了一定的延缓结构性裂缝发展的效果,但未从根本上消除裂缝,距离长寿命目标尚有明显差距。而且增加结构层会增加工程成本、工序和控制环节,进而大幅提升路面施工组织、进度、质量控制难度和全员工作强度,这也是重大项目必须慎重考虑的因素。遗憾的是,作为抗裂关键功能层的下面层,却罕见材料优化和功能化设计研究和应用的报道,仍习惯性采用普通沥青 AC-25。增韧改

性沥青 GATB-25 的开发目的就是存量结构进行功能性优化,即通过显著增强下面层的抗裂功能,达到显著延长路面整体寿命的目的。

反射裂缝的发展模式有弯拉疲劳和剪切疲劳两种。一般增加碎石含量(采用开级配)有利于抵抗剪切疲劳模式的反射裂缝,但碎石含量过大会带来空隙率增加,不利于遏制弯拉疲劳模式的裂缝。因此,级配设计要考虑两者之间的平衡,一方面采用骨架间断半开级配,另一方面采用抗裂性能增强形成厚油膜胶结料。间断半开级配在中国大规模作为抗裂功能层用于水泥路面罩面抗反射裂缝结构层的工程项目是上海浦东杨高路双层沥青路面罩面,其下面层采用半开级配抗裂功能层 GSOG,为形成厚油膜富油结构层,胶结料采用高粘改性粒子。该项目通车 8 年来,即使是临近外高桥保税区的道路,反射裂缝也少见。而未采用该功能层的对比段落,原水泥板施工缝第二年便开始大面积发生裂缝反射。

2 基于综合抗裂性能的级配优化

比选对象包括 AC-25、ATB-25 和间断半开级配 GATB-25 3 种级配类型(见表 1),胶结料采用普通沥青 70[#]。级配优选和优化的首要目标是抗反射裂缝能力和弯拉疲劳寿命。

表 1 混合料的配比

级配类型	下列筛孔(mm)的通过率/%											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-25	95.6	84.3	72.9	59.9	48.3	34.3	22.0	15.6	10.2	6.9	5.1	4.0
ATB-25	93.5	80.5	65.8	52.0	40.1	29.3	20.5	15.6	11.8	8.3	6.3	3.8
GATB-25I	95.3	78.2	59.7	40.3	22.5	19.8	15.0	12.0	8.0	5.5	4.8	4.0

如图 1、图 2 所示,采用剪切疲劳模式抗反射裂缝能力测试方法和简化加速的四点弯拉疲劳试验方法进行混合料级配比选。剪切疲劳试件长度为 30 cm,宽度为 6 cm,厚度为 8 cm;预制裂缝宽度为 1 cm;偏荷载和中心荷载为 0.7 MPa,加载时试件下部加垫 2 cm 厚橡胶板模拟土基;以带预制裂缝的水泥砧板模拟已开裂的半刚性基层。四点弯拉疲劳试验所用试件采用 8 cm 厚车辙板试件锯切而成,尺寸为(300×60×80) mm;在常温条件下进行试验,加载频率为 10 Hz,正弦波加载,循环特征值 $D_{\max} = P_{\min}/P_{\max} = 0.3 \text{ kN}/3 \text{ kN} = 0.1$ 。试验均采用 MTS 万能材料试验机进行。

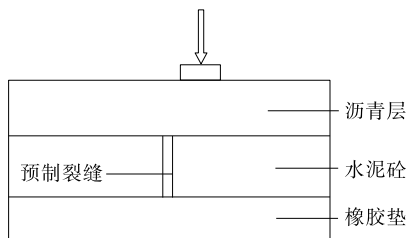


图 1 剪切反射疲劳试验



图 2 简化弯拉疲劳试验

GATB-25 级配总体在《沥青路面施工技术规范》所列间断半开级配 AM-25 范围内,其突出特点是 2.36~9.5 mm 区段级配间断,矿料总占比控制在 15% 以内;2.36 mm 以下适当偏上限,但仍在较低水平。该级配的矿料间隙率很高,骨架结构超过 SMA 的水平。不同级配性能比较见表 2。

表 2 不同级配性能比较

级配类型	厚度/ cm	剪切疲劳/万次		快速弯拉 疲劳/次
		初裂次数	贯穿次数	
AC-25	8	0.41	10.30	372
ATB-25	8	0.55	12.45	437
GATB-25	8	0.77	20.70	1 264
GATB-25	10	2.85	52.90	—

由表 2 可知:在明显提升的骨架结构的贡献下,

无论是剪切疲劳还是弯拉疲劳模式,GATB-25 抵抗剪切疲劳(反射裂缝)的能力与 ATB-25 相比明显提高;AC-25 的表现最差,下面层材料的抗裂能力甚至不如柔性基层,这也是中国目前常用高等级道路非常明显的结构功能短板。另一方面,可能受过低饱和度(36%)的影响,GATB-25 混合料的整体性有弱化倾向,需通过胶结料选型进行强化。

3 抗裂胶结料优选

选择增韧复合改性沥青和 SBS 改性沥青 I-D + 纤维 2 种改性沥青进行对比研究。SBS 改性沥青 + 纤维的方式作为保底方案,考虑抗裂性能加强和保底方案成本框架内的可能,增加增韧复合改性沥青进行优选。沥青实测指标见表 3。增韧复合改性沥青是以优化沥青下面层抗疲劳和抗反射裂缝能力为目标开发的新型高分子复合改性沥青,其能在低矿粉和无纤维的情况下形成高韧性厚油膜(下面层沥青用量 5.3%~5.8%),且弹性高分子含量大(改性剂颗粒掺量 18%~22%),混合料高、低温韧性均显著提高。

表 3 两种改性沥青的技术指标

技术指标	SBS 改性沥青 + 纤维	增韧复合改性沥青
针入度(25 ℃, 5 s, 100 g)/(0.1 mm)	51	41
软化点(R&B)/℃	75	61
177 ℃运动粘度/(Pa·s)	—	1.5
135 ℃运动粘度/(Pa·s)	3.0	—
延度(5 cm/min, 5 ℃)/cm	27.1	—
闪点/℃	230	230
弹性恢复(25 ℃)/%	75.2	55.2
贮存稳定性离析, 48 h 软化点差/℃	0.8	1.2
TFOT 或 质量变化/%	-0.3	-0.1
RTFOT 针入度比(25 ℃)/%	65.2	71.3
后残留物 延度(5 cm/min, 5 ℃)/cm	16.2	—

采用澳大利亚 IPC 公司的 UTM-100 伺服液压材料试验机进行四点弯曲梁疲劳试验,试验温度(15±0.5) ℃,加载频率(10±0.1) Hz,试件尺寸为(380±6) mm×(63.5±6) mm×(50±6) mm。试验采用应变控制,采用 Nf50 法,随着加载次数的增加,当沥青混合料模量衰减到初始模量的 50% 时认为沥青混合料产生疲劳破坏,这时的加载次数即为疲劳寿命。采用 HYLN-5 型沥青混合料振动轮碾

成型机成型试件,使用气动加载。

胶结料选型的首要目标为在确保混合料骨架结构的前提下有效增加沥青饱和度,进一步提高弯拉疲劳寿命和材料的耐久性。

如表 4 所示,SBS 改性沥青提高油膜厚度的能

力有限,即使在掺入 3‰纤维的帮助下,油石比也仅能达到 4.5%,即使将纤维算入胶结料,仍不及增韧复合改性沥青;在相同体积参数情况下,增韧复合改性沥青的油膜更稳定,没有 SBS 改性沥青+纤维方案所表现的发亮和析漏等情况,实际仍能进一步提

表 4 GATB-25 沥青混合料的体积指标

胶结料类型	毛体积密度/(g·cm ⁻³)	最佳油石比/%	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	马歇尔稳定度/kN
增韧改性沥青	2.263	5.0	10.4	20.0	47.8	7.28
SBS 改性沥青+纤维	2.265	4.8(含纤维)	10.6	19.6	45.8	8.95

高油膜厚度。

胶结料优选后的增韧型间断半开级配 GATB-25 的特点:骨架结构形成充分,空隙率较大且分散,有利于抵抗裂缝;采用以大油膜厚度为特征的增韧复合改性沥青作为胶结料,填充和区隔空隙,有利于抵抗弯拉疲劳作用,同时提高结构层的耐久性,其四点弯拉疲劳寿命相对于普通沥青 ATB-25 有数量级优势,相比于添加纤维的 SBS 改性沥青亦显著提高(见图 3)。

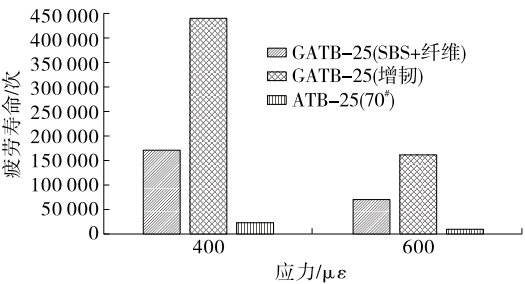


图 3 不同沥青混合料疲劳试验结果对比

另一方面,胶结料优选后的增韧型间断半开级配 GATB-25 的抗车辙能力等常规指标达到了改性沥青混合料的要求(见表 5),增韧改性沥青混合料的永久变形略小,SBS 改性沥青混合料的动稳定度略高,高温稳定性能两者相当。

表 6 为增韧改性沥青混合料 GATB-25 低温小梁弯拉试验结果,其破坏应变水平远超过一般改性沥青混合料。

表 5 不同沥青混合料车辙试验结果对比

混合料类型		动稳定度/(次·mm ⁻¹)		车辙变形/mm	
		d ₁	d ₂	d ₁	d ₂
GATB-25 (SBS + 纤维)	1	4 038	3 750	2.250	2.406
	2	3 461		2.538	2.720
GATB-25 (增韧改性)	1	3 620	3 320	2.189	2.363
	2	3 020		2.283	2.499
ATB-25 (70# 沥青)	1	1 139	1 097	4.710	5.263
	2	1 054		4.825	5.423

表 6 增韧改性 GATB-25 低温小梁弯拉试验结果

荷载/N	挠度/mm	破坏应变/με
944.1	1.00	5 190
655.1	0.75	4 510
593.2	0.59	3 100
351.2	0.95	5 000

4 试验路验证

为论证下面层和粘结层方案的工序、工艺和性能,在国道 G106 从化段路面改造项目选取近鳌头段的 300 m,铣刨原水泥砼路面旧沥青砼罩面层后,分两幅(12 m 宽)实施试验路,试验路结构方案见表 7。试验路实施过程中现场取样进行性能试验,并钻

表 7 试验路结构方案

位置	类型	厚度/cm
上面层	开放交通,暂不设置	—
下面层	粗粒式增韧改性沥青砼间断半开级配 GATB-25	8.0
防水粘结同步碎石封层	粘结防水碎石封层(高稠度改性沥青洒布量 2.5 kg/m ²)	0.8
旧水泥路面	板缝位置全部作抗裂贴处理	25.0

芯取样进行密度测试和 CT 扫描。现场钻芯的 CT 断面情况见图 4。

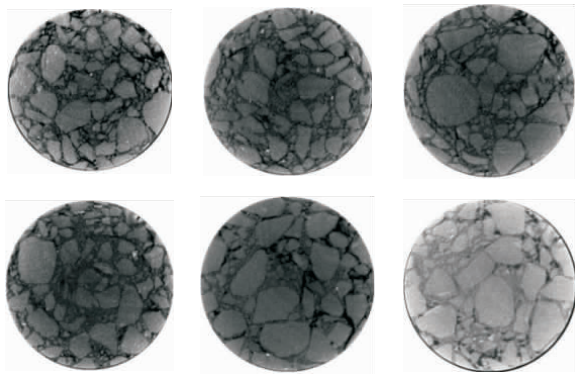


图 4 现场芯样的 CT 断面

由图 4 可知:压实后的混合料骨架形成非常充分,空隙分布高度分散,在断面位置大的开口空隙很少;细料稳定依附在粗料上,厚度方向未发生集料离析,显现出稳定的混合料骨架结构。

试验路实施情况如下:1) 增韧改性沥青采用常规改性沥青设备和物流系统生产和供应,过程顺畅,稳定性和供应效率满足一般工程需要。2) 混合料的拌和效率与常规改性沥青相当,高于添加纤维的

SBS 改性沥青,拌和和出料温度亦与 SBS 改性沥青混合料相当。3) 夏季高温 8 cm 沥青层降温速度慢,摊铺机速度可适当提高。胶轮参与复压的碾压效果好于全钢轮碾压组合。增韧改性 GATB-25 的碾压难度不大,密实状况好于预期,但局部存在过压。4) 钻芯取样呈现了理想的均匀性,CT 扫描和钻芯断面均呈现很好的骨架结构及级配在厚度和水平方向的稳定性,验证了级配和胶浆稳定性的预期。5) 生产配合比送样性能测试结果验证了前期工作结果,体现了好的疲劳和低温性能。6) 在未铺筑罩面且结构边缘没有排水通道的不利条件下直接开放重载交通,经过高温和雨季的考验,试验路未见车辙和水损坏等病害,也未观察到任何水泥板缝位置裂缝反射情况。

参考文献:

- [1] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

收稿日期:2017-10-10

(上接第 108 页)

同时关闭料仓、改性乳化沥青仓及填料仓,防止摊铺结束前混合料产生离析。

(3) 摊铺结束后,提起摊铺箱,及时开至路旁进行清理,尤其是摊铺箱及搅拌缸的清洁。

(4) 低噪音纤维微表处摊铺结束后,应及时观察现场摊铺情况,对摊铺起点、终点、横接缝、纵接缝等位置进行人工找平,对表面存在的过厚、过薄及刮痕等问题及时进行修补。另外,由于低噪音纤维微表处不同于普通微表处,其粘结料是由树脂及抽出油等物质合成,改性乳化沥青破乳后,其粘结料自身强度有限,为加强早期强度的形成、加快开放时间,可用小型胶轮压路机(2 t)在低噪音纤维微表处混合料达到初凝($>1.2 \text{ N} \cdot \text{m}$)后进行碾压。

5 结论

(1) 在稀浆混合料中添加纤维,无论是否增加沥青用量,都能提高混合料的粘结力、抗松散性能和高温性能。

(2) 由纤维、沥青和粉料组成的胶浆体系具有更高的粘韧性和内聚力,能提高混合料的抗水损性

能和低温抗裂性能。与微表处和纤维微表处相比,低噪音纤维微表处降低噪音效果明显。

(3) 通过在混合料中添加纤维来改变稀浆状态,以改善表面孔隙形态的方法对降低噪音没有什么效果。

(4) 与微表处、纤维微表处相比,低噪音纤维微表处的摩阻系数、纹理深度有一定降低,但仍远高于规范要求;低噪音纤维微表处、微表处和纤维微表处都不渗水,能提高路面的抗水损性能。

参考文献:

- [1] JTG/T F40—02—2005,微表处和稀浆封层技术指南[S].
- [2] 岳学军,马全胜,侯强.纤维微表处与普通微表处的性能对比[J].公路交通科技:应用技术版,2014(6).
- [3] 闫忠良,王莉,于建莹.低噪音微表处在高等级公路预防性养护中的应用[J].公路交通科技,2011,28(12).
- [4] 陈小雪,孙钢辉,石颖.纤维微表处混合料性能室内试验研究[J].公路交通科技,2011,28(12).
- [5] 弓锐.稀浆封层混合料可拌和时间室内试验研究[J].公路,2012(12).

收稿日期:2017-06-02