

增韧复合改性沥青抗裂下面层的设计与应用

韩绍宇

(广州市公路工程公司, 广东 广州 510075)

摘要: 针对广州气候高温多雨,路基顶面需要排水的情况,在不采用柔性基层的情况下,采用增韧复合改性沥青设计沥青下面层作为柔性抗裂功能层;通过与普通 ATB-25 的对比,分析了增韧复合改性 GATB-25 的性能,并采用该混合料对实际路面改造工程进行了耐久性和抗裂设计。

关键词: 公路;增韧复合改性沥青;改性沥青砼路面;柔性抗裂功能层

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)05-0085-05

据不完全统计,中国高等级公路中沥青路面占 80%~90%,其中 95%采用半刚性基层。半刚性基层的采用,客观上为路面在重载(超载)交通条件下贡献了更强大的(必要的)结构能力。但道路在通车一两年后普遍出现由于半刚性基层温缩或干缩裂缝带来的路表反射裂缝,对反射裂缝处理不及时或不得力极易因水的进入而造成结构崩溃。另一方面,半刚性基层和沥青层理化属性相差悬殊,在普通粘透层添加下易发生层间分离和间隙,而层间分离会根本性改变沥青层底部的受力条件,相关调查也发现沥青层底常发生非反射型疲劳裂缝。另外,刚柔层间出现间隙,雨水存留,在荷载作用下产生强大的动水压力,会诱发唧浆、失稳性车辙等严重早期病害。以建设长寿命道路为目标,必须针对上述问题采取相对性的材料和结构、界面处置措施,避免和延缓相关隐患的发生。

1 增韧型复合改性 GATB-25 性能分析

沥青底面层是路面结构层向行驶功能层过渡的关键层次,也是路面结构验算时弯拉疲劳应力的作用层次。但长期以来,其技术条件的特殊性未得到

足够重视,设计中普遍采用连续式粗级配,通常也不用改性沥青,导致底面层的抗疲劳能力在 3 个沥青层中最差。为弥补这一不足,通常在底面层和半刚性基层之间设置柔性基层(ATB-25/30),该措施虽然能在一定程度上延缓病害的发生,但不能根本性消除隐患。国外采用 ATB,通常也是与级配碎石底基层配合,与半刚性基层之上的工况根本不同。

为此,尝试从级配和胶结料两个角度提升底面层混合料的整体强度及耐疲劳能力。采用两阶段的间断级配 GATB-25, >9.5 mm 粗集料在 65%以上,严格控制 2.36~9.5 mm 集料和矿粉用量,最大限度预留胶结料的矿料间隙空间;沥青胶结料分别采用高粘度增韧复合改性沥青、SBS 改性沥青+0.3%~0.4%纤维,保证足够挂浆和必要的沥青油膜厚度;以普通沥青 ATB-25 作为常规方案进行对比。对 3 种混合料分别进行车辙试验和弯曲疲劳试验,分析增韧复合改性 GATB-25 的路用性能。

1.1 抗车辙性能

采用(30×30×8) cm 试模,按 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》对 3 种混合料进行车辙试验,结果见表 1。

表 1 车辙试验结果对比

| 混合料类型 | 试件编号 | 变形量/mm | | 动稳定度(次·mm ⁻¹) | |
|-----------------|------|----------------|----------------|---------------------------|-------|
| | | d ₁ | d ₂ | 试验值 | 平均值 |
| GATB-25(SBS 沥青) | 1 | 2.250 | 2.406 | 4 038 | 3 750 |
| | 2 | 2.538 | 2.720 | 3 461 | |
| GATB-25(增韧改性沥青) | 1 | 2.189 | 2.363 | 3 620 | 3 320 |
| | 2 | 2.283 | 2.499 | 3 020 | |
| ATB-25(70# 沥青) | 1 | 4.710 | 5.263 | 1 139 | 1 097 |
| | 2 | 4.825 | 5.423 | 1 054 | |

由表 1 可知:GATB-25 两种沥青混合料的动稳定度都大于 3 000 次/mm,明显高于普通 ATB-25 沥青混合料;SBS 改性沥青混合料的动稳定度略优于增韧改性沥青混合料,但其最终车辙深度大于增韧改性沥青混合料,说明二者抗车辙能力相差不大。

1.2 疲劳性能

采用应变控制方法进行疲劳试验,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%时沥青混合料产生疲劳破坏所需的加载次数即为疲劳寿命。试验温度为 $(15\pm 0.5)^\circ\text{C}$,加载频率为 $(10\pm 0.1)\text{ Hz}$,试件尺寸为 $(380\pm 6)\times(63.5\pm 6)\times(50\pm 6)\text{ mm}$ 。试件采用 HYLN-5 型沥青混合料振动轮碾成型机成型,使用气动加载,以模拟现场情况制作沥青试件。疲劳试验结果见表 2。

表 2 疲劳试验结果对比

| 混合料类型 | 应力控制水平/ $\mu\epsilon$ | 试件编号 | 初始模量/MPa | 疲劳寿命/次 | |
|-----------------|-----------------------|------|----------|---------|---------|
| | | | | 试验值 | 平均值 |
| GATB-25(SBS 沥青) | 400 | 1 | 3 984 | 160 350 | 172 020 |
| | | 2 | 4 921 | 183 690 | |
| | 600 | 1 | 5 147 | 66 540 | 70 695 |
| | | 2 | 4 836 | 74 850 | |
| GATB-25(增韧改性沥青) | 400 | 1 | 4 676 | 467 090 | 441 465 |
| | | 2 | 4 568 | 415 840 | |
| | 600 | 1 | 5 032 | 154 920 | 162 015 |
| | | 2 | 4 088 | 169 110 | |
| ATB-25(70# 沥青) | 400 | 1 | 6 577 | 21 010 | 23 385 |
| | | 2 | 3 952 | 25 760 | |
| | 600 | 1 | 7 453 | 3 030 | 3 305 |
| | | 2 | 6 542 | 3 580 | |

由表 2 可知:当应变控制水平为 400 $\mu\epsilon$ 时,GATB-25 增韧改性沥青混合料的疲劳寿命为 44 万多次,GATB-25 SBS 沥青混合料为 17 万多次,而普通 ATB-25 沥青混合料只有 2 万多次;应变控制水平为 600 $\mu\epsilon$ 时,GATB-25 两种沥青混合料的疲劳寿命都远远大于普通 ATB-25 沥青混合料,且 GATB-25 增韧改性沥青混合料的疲劳寿命是 SBS 沥青混合料的 2 倍多。此外,增韧改性沥青混合料的初始模量和 SBS 沥青混合料相当。整体上看,GATB-25 增韧改性沥青混合料的疲劳性能优于 GATB-25 SBS 沥青混合料。

2 增韧型复合改性 GATB-25 的应用

在国道 G106 从化段路面改造项目选取近鳌头段的 300 m 路段,在原水泥砼路面上铣刨掉旧沥青砼罩面层后,分 2 幅(12 m 宽)实施增韧型复合改性 GATB-25 试验路工程。试验路基层从下至上分别为 25 cm 石渣垫层、20 cm 6%水泥稳定石屑基层、25 cm 水泥砼路面,采用一级公路标准进行改造,设计速度 60 km/h。

2.1 试验路结构

如表 3 所示,下面层采用在 ATB 基础上改良的

表 3 试验路结构

| 结构层 | 混合料 | 厚度/ cm |
|-------|---|--------|
| 上面层 | — | — |
| 下面层 | 粗粒式增韧改性沥青砼断级配 GATB-25 | 8.0 |
| 防水粘结层 | 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 | — |

GATB-25 级配,为骨架半开级配,空隙率较大,可增强反射裂缝能力,同时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,填充和分散空隙,进一步增强疲劳和抗裂性能,提高结构层耐久性。

下面层和基层的粘结防水采用富沥青用量的碎石封层方案,充分填充下面层底部空隙,形成 0.8 cm 左右致密碎石沥青中间层,兼顾粘结、防水和抗滑动,且具有很强的抗反射裂缝能力。

2.1.1 半开级配富油抗裂结构层

下面层级配设计的思路是采用兼具结构性与功能性的沥青混合料。

(1) 选用间断半开级配提高混合料的结构稳定性,其依据为:1) 间断级配可使混合料具有粗骨料嵌挤结构,具有较高的结构稳定性;2) 间断级配提供的粗骨料间隙结构对沥青胶浆有较大的容纳空间;3) 采用半开级配,更易于压实,有利于提高改性剂的添加剂量;4) 半开级配及间断级配更便于调整细集料用量,提高聚合物改性沥青结合料的用量,增加结合料在集料表面的膜厚。

(2) 采用油膜厚度较大、低温粘韧性较强的胶结料,以提高低温延展能力、常温疲劳韧性,同时抗车辙能力达到改性沥青混合料的水平。类似的级配被普遍用于抗反射裂缝应力吸收层。

2.1.2 增韧复合改性沥青技术

目前国内普遍采用的改性沥青主要有 PE 改性沥青、SBS 改性沥青等。其中 PE 改性沥青离析很快,必须现场供应。而 SBS 是单一组分合成高分子改性剂,SBS 改性沥青性能调整空间小,难以满足越来越多的功能性和定制化的材料需求。如常规 SBS 改性沥青油膜稳定性不足;在用于间断级配时,SBS 改性沥青需添加纤维和较多的矿粉来形成稳定的油膜,但这样会增加胶结料的脆性,对混合料抗裂和耐久性不利。

增韧改性沥青是采用接近热塑性弹性体的复合改性技术路径得到的新品种改性沥青,其胶结料所含弹性体比例大幅高于 SBS 改性沥青,油膜稳定性大幅提高、低温韧性显著增加、抗疲劳和裂缝能力显著增强,是富油抗裂混合料的恰当选项。增韧改性沥青具有如下特点:

(1) 复合改性在改性剂加工环节完成。采用常规 SBS 改性沥青生产装备,以非常接近的工艺条件、工艺时间即可完成增韧沥青的生产。所得增韧改性沥青成品的存储稳定性达到 SBS 改性沥青的技术要求,集中生产和工艺的物流对接与 SBS 改性沥青没有不同。

(2) 增韧改性沥青特别适合于间断级配和开级配。由于沥青油膜自稳定性很好,用于间断级配时

一般不需添加纤维稳定剂。

(3) 改性剂被充分细化分散,以网络化改性剂(不是俘获基质沥青的弹性体)方式稳定存在于沥青中,其流动性、工作性、成膜性、浸润性、粘附力均与添加纤维和较高矿粉的 SBS 改性沥青接近。

(4) 在同等造价水平下,增韧改性沥青的胶浆柔韧性更佳,体现在应变控制的疲劳寿命高于同造价的 SBS 改性沥青。

(5) 增韧改性沥青的高温分级不低,较高的油膜厚度并不会造成抗车辙能力问题,可达到改性沥青混合料的正常水平。

2.1.3 高稠沥青防水粘结碎石封层

采用洒布型高稠度改性沥青,采用智能热沥青洒布车施工,洒布温度为 180~190 °C,洒布量为 2.5 kg/m²。洒铺沥青后及时撒布碎石(采用沥青碎石同步洒布车为佳)。采用单一粒径(9.5~13.2 mm)的碎石,要求其干净、干燥,建议采用沥青预拌。碎石采用机械撒布,覆盖率 60% 以上,不超过 80%,且不得重叠。撒布碎石后用轮胎压路机或轻型钢轮压路机碾压 1~2 遍,碾压完成后将松散的集料扫除。

高稠沥青防水粘结碎石封层的作用:1) 老路面细小裂缝的封闭和充分粘结。沥青洒布高温作业,能有效封闭细小裂缝并与老路面充分结合,油膜与老路面的结合力可超过老路面本身强度。2) 对罩面底部空隙的填充和结合。罩面底部接触老路面降温快,较易产生压实不足,沥青在碎石和施工挤压下会重新融化上行,主动填充底部空隙并与罩面形成整体性粘结。3) 高稠度改性沥青能形成稳定的厚油膜,且粘结力和抗裂性能优秀,被挤压后将与碎石一起形成 8 mm 厚度,加上碎石平台能有效分散裂缝位置应力,裂缝很难穿透,即使罩面反射开裂,仍能保持雨水下行通道被切断。

2.2 施工过程抽检和工后检测

试验路所用混合料生产级配热料仓抽检筛分结果见表 4,混合料抽检结果见表 5,钻芯取样密度见表 6,渗水系数检测结果见表 7。

由表 6 可知:增韧改性沥青 GATB-25 的压实难度不大,骨架结构成型对压实功没有特别的要求;尽管压实度较高,但透水水平比密实级配的高(尽管表面构造内的侧向排水可能性大),这也是 GATB-25 间断半开级配的特点,只是需要慎重考虑层间的封水问题。另一方面,所有芯样的密度都是通过体积量测获得的,与马歇尔试件不同,现场钻芯试件

表 4 试验路沥青混合料生产级配热料仓抽检筛分结果

| 粒径/mm | 通过以下筛孔(mm)的质量百分率/% | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | 31.5 | 26.5 | 19 | 16 | 13.2 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| 23~30 | 100 | 97.9 | 2.3 | 1.1 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 18~23 | 100 | 100.0 | 59.8 | 5.6 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 12~18 | 100 | 100.0 | 100.0 | 88.0 | 36.7 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6~12 | 100 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.8 | 63.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4~6 | 100 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 96.0 | 12.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 0~4 | 100 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.0 | 88.6 | 70.4 | 49.4 | 25.3 | 14.1 | 6.7 |
| 矿粉 | 100 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.7 | 93.7 | 83.7 |

表 5 试验路施工生产沥青混合料抽检结果

| 检测日期 | 沥青用量/% | | 密度/(g·cm ⁻³) | | 毛体积 相对 密度 | 空隙 率/% | 矿料间 隙率/% | 饱和 度/% | 稳定 度/kN | 流值/ mm | 浸水残 留稳定 度/% | 冻融劈 裂强度 比/% |
|------|--------|-----|--------------------------|-------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|-------------------|-------------------|
| | 外掺 | 内掺 | 理论 | 实测 | | | | | | | | |
| 6—18 | 5.6 | 5.6 | 2.509 | 2.248 | 2.647 | 8.6 | 17.8 | 51.4 | 11.03 | 2.52 | — | — |
| 6—19 | 5.3 | 5.3 | 2.477 | 2.248 | 2.647 | 9.0 | 19.1 | 53.1 | 12.87 | 2.33 | 81.7 | 78.6 |

表 6 试验路钻芯取样密实度

| 压实方式 | 测点 | 体积/cm ³ | 路面试件 干重/g | 路面密度/ (g·cm ⁻³) | 路面空隙 率/% | 路面压实度/% | |
|------|----|--------------------|--------------|--------------------------------|-------------|---------|-------|
| | | | | | | 理论 | 实测 |
| 钢轮压实 | 1 | 369.3 | 851.4 | 2.305 | 6.9 | 93.1 | 102.2 |
| | 2 | 497.2 | 1 144.8 | 2.303 | 7.0 | 93.0 | 102.1 |
| | 3 | 316.2 | 725.6 | 2.293 | 7.4 | 92.6 | 101.7 |
| | 4 | 438.8 | 969.8 | 2.209 | 10.8 | 89.2 | 98.0 |
| 胶轮压实 | 1 | 393.3 | 916.5 | 2.329 | 6.0 | 94.0 | 103.3 |
| | 2 | 363.7 | 871.9 | 2.395 | 3.3 | 96.7 | 106.2 |
| | 3 | 396.6 | 914.9 | 2.307 | 6.9 | 93.1 | 102.3 |

注:最大理论密度 2.477 g/cm³;马歇尔试验密度 2.255 g/cm³。

表 7 试验路渗水系数检测结果

| 测点 | 渗水系数/ (mL·min ⁻¹) | | 测点 | 渗水系数/ (mL·min ⁻¹) | |
|----|----------------------------------|------|----|----------------------------------|-------|
| | 胶轮压实 | 钢轮压实 | | 胶轮压实 | 钢轮压实 |
| 1 | 57 | 308 | 4 | 533 | 113 |
| 2 | 197 | 17 | 5 | 267 | 1 000 |
| 3 | 160 | 126 | 6 | 200 | 585 |

的侧面和底部被切割,最多只有顶面保留构造,可能会影响体积密度值,这也可能是导致压实度超百的原因。未来需补充室内对比工作,定量分析切割对 8 cm 高度钻块的体积法密度的影响。

广州工地按生产配合比配料送料,油石比为 5.4%,在上海实验室拌和成型试件进行疲劳试验,

结果见表 8。芯样的骨架结构见图 1,芯样内部 CT 扫描结果见图 2,可见芯样形成了良好的骨架结构。

表 8 试验路疲劳试验结果

| 应力控制 水平/ $\mu\epsilon$ | 试件 编号 | 初始模 量/MPa | 疲劳寿命/次 | |
|---------------------------|----------|--------------|---------|---------|
| | | | 试验值 | 平均值 |
| 400 | 1 | 4 422 | 293 410 | 247 140 |
| | 2 | 4 944 | 235 460 | |
| | 3 | 5 130 | 213 140 | |
| | 4 | 4 852 | 246 550 | |
| 600 | 1 | 5 317 | 48 670 | 42 180 |
| | 2 | 5 123 | 35 690 | |
| | 3 | 5 330 | 44 760 | |
| | 4 | 5 622 | 39 600 | |

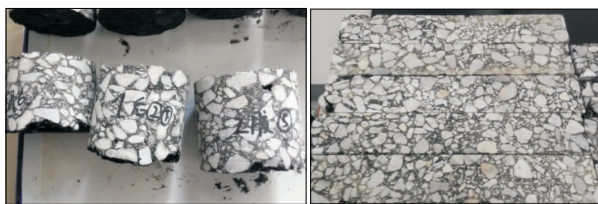


图 1 增韧复合改性沥青 GATB-25 形成的骨架

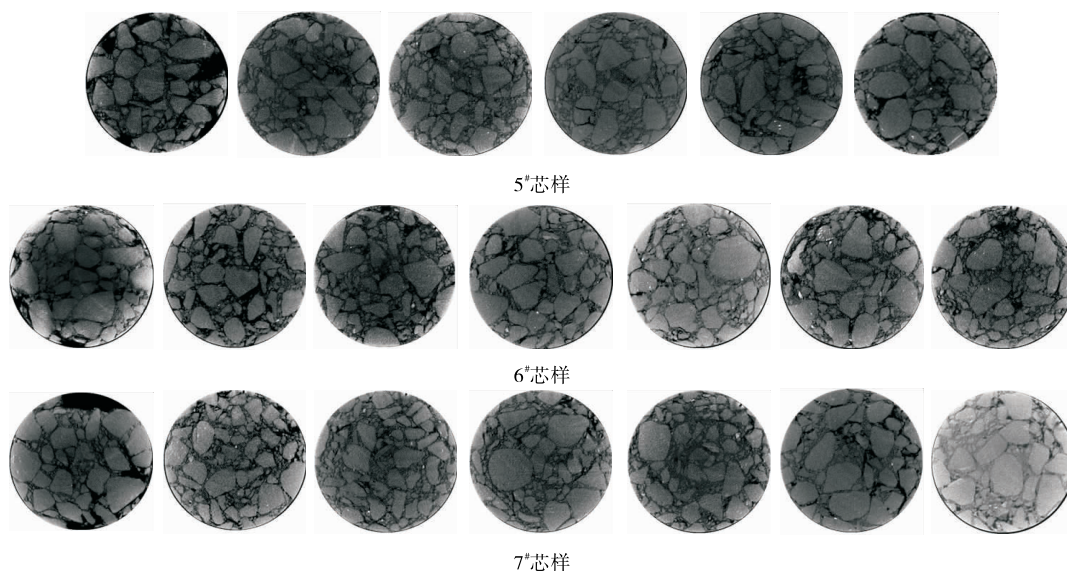


图 2 增韧复合改性沥青 GATB-25 芯样的内部结构

3 结语

该文进行了增韧复合改性沥青 GATB-25 配合比设计,并对其基本力学性能和路用性能进行试验,结果表明用该混合料设计的结构层具有良好的使用性能,适用于沥青中间层,能兼顾粘结、防水和抗滑动,具有很强的抗反射裂缝能力,且增韧复合改性沥青 GATB-25 的疲劳性能优于 GATB-25 SBS 改性沥青混合料。

参考文献:

- [1] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [3] 魏建国,李云龙,南秋彩,等.下面层不同离析下沥青混合料路用寿命评[J].公路与汽运,2015(2).
- [4] 姚新宇,彭华,周胜波.旧沥青路面新建半刚性路面结构合理性分析[J].公路与汽运,2016(6).

收稿日期:2017-05-31

(上接第 84 页)

实践的进一步验证。

参考文献:

- [1] 邓卫东,张兴强,陈波,等.路基不均匀沉降对沥青路面受力变形影响的有限元分析[J].中国公路学报,2004,17(1).
- [2] 郭庆国.关于粗粒土抗剪强度特性的试验研究[J].水利学报,1987,18(5).
- [3] 陈希哲.粗粒土的强度与咬合力的试验研究[J].工程力

学,1994,11(4).

- [4] 张嘎,张建民.粗颗粒土的应力应变特性及其数学描述研究[J].岩土力学,2004,25(10).
- [5] 李振,李鹏.粗粒土直接剪切试验抗剪强度指标变化规律[J].防渗技术,2002,8(1).
- [6] 聂志红,刘群,宋晓东,等.高速铁路砂质板岩粗粒土填料蠕变特性试验研究[J].铁道科学与工程学报,2013,10(3).

收稿日期:2017-04-05