

填充式沥青基桥梁无缝伸缩缝材料性能研究

贾保正, 吴兴民

(武汉市汉阳市政建设集团有限公司, 湖北 武汉 430050)

摘要: 为优选无缝伸缩缝材料类型, 提高无缝伸缩缝填充材料的路用性能与经济性。选用SBS增弹剂、矿粉和抗车辙剂对原样沥青进行复合改性, 制备无缝伸缩缝沥青胶结料, 采用针入度、软化点、旋转黏度及弹性恢复率等指标来评价其基本性能, 最后以性能满足要求的沥青胶结料为原料制备无缝伸缩缝沥青填充料, 结合高低温性能试验和回弹性能测试进行性能验证。试验结果表明, 改性后的沥青胶结料性能优良, 无缝伸缩缝沥青填充料的高温稳定性、低温抗裂性及弹性恢复能力均优于常规改性沥青混合料, 满足无缝伸缩缝材料的技术指标要求, 且相比市面材料经济效益显著。

关键词: 无缝伸缩缝; 回弹性能; 高低温性能; 改性沥青; 胶结料; 沥青填充料

中图分类号: U444

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0089-05

Research on Performance of Seamless Expansion Joint Materials for Filled Asphalt-based Bridge

JIA Baozheng, WU Xingmin

(Wuhan Hanyang Municipal Construction Group Co., Ltd., Wuhan 430050, China)

Abstract: To optimize the material type of seamless expansion joints and enhance the pavement performance and economy of the filling materials for seamless expansion joints, SBS elasticizer, mineral powder and anti-rutting agent are selected to conduct the composite modification on the original asphalt and prepare the asphalt binder for seamless expansion joints. The basic performance is evaluated by indicators such as penetration, softening point, rotational viscosity and elastic recovery rate. Finally, the asphalt binder with performance meeting the requirements is used as the raw material to prepare the asphalt filler for seamless expansion joints. The performance verification is carried out by combining high and low temperature performance tests and resilience performance tests. The test results show that the modified asphalt binder has excellent performance. The high-temperature stability, low-temperature crack resistance and elastic recovery ability of the seamless expansion joint asphalt filler are all superior to those of the conventional modified asphalt mixture, which meets the technical index requirements of the seamless expansion joint material, and has the significant economic benefits compared with the materials available on the market.

Keywords: seamless expansion joint; resilience performance; high and low temperature performances; modified asphalt; cementing material; asphalt filler

0 引言

为满足桥梁结构变形而设置的桥梁伸缩缝在桥梁结构中具有不可忽视的作用, 然而传统伸缩缝结构复杂, 是桥梁结构中最敏感、最易出现病害的位置^[1]。据统计, 桥梁伸缩缝养护维修的成本占桥梁寿命内养护维修成本的7%~25%^[2]。无缝伸缩缝具有结构简单、养护维修便捷、行车舒适等特点, 成为桥梁伸缩缝研究新方向。然而, 大部分的无缝伸缩

缝由于成本较高等因素限制了其推广应用, 其中沥青基填充式无缝伸缩缝具备施工及维护方便、行车舒适及成本优势等特点, 在国内外中小桥梁建设中已有广泛应用^[3-9]。不可忽视的是, 由于高剂量的沥青添加, 填充式沥青基无缝伸缩缝在实际使用过程中经常未达到服役寿命, 容易出现车辙、推移等病害, 也有部分由于沥青材料质量问题而导致的伸缩缝填充料发生低温开裂和变形^[10]。

综上, 以快捷制备低成本无缝伸缩缝用沥青胶结料为出发点, 使用市面常用改性沥青并辅以SBS增弹剂、矿粉和抗车辙剂为沥青添加剂, 制备了用于无缝伸缩缝的沥青胶结料。通过测定沥青胶结料的

收稿日期: 2025-10-17

作者简介: 贾保正(1986—), 男, 学士, 高级工程师, 从事市政工程技术研究工作。

各项性能指标,并以胶结料为原料制备无缝伸缩缝填充料开展性能研究,进一步验证沥青胶结料的高温性能、低温性能和回弹性能。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

1.1.1 原样沥青及改性剂

试验中原样沥青采用高黏度改性沥青,其基本技术指标见表1。

表1 所用原样高黏度改性沥青基本技术指标		
技术指标	试验结果	试验方法
针入度(25℃,100g,5s)/0.1mm	63.5	T0640
软化点/℃	87.2	T0606
延度(5cm/min,5℃)/cm	65	T0605
60℃动力黏度/(Pa·s)	56 000	T0620
黏韧性/(N·m)	26	SH/T 0735
TFOT后质量损失率/%	0.1	T0610

试验中使用的主要沥青添加剂为SBS、抗车辙剂和矿粉,其技术指标见表2。

表2 所用沥青添加剂技术指标		
改性剂	技术指标	试验结果
SBS	相对密度	1.032
	S/B比	3/7
	拉伸强度/MPa	26
	断裂伸长率/%	690
抗车辙剂	外观	色泽均匀,颗粒饱满、无结块
	密度/(g·cm ⁻³)	0.96
	单个颗粒质量/g	小于0.12
	熔融指数/(g·10 min ⁻¹)	7.2
	灰分含量/%	1.2
	含水率/%	0.05
矿粉	表观密度/(g·cm ⁻³)	2.57
	含水量/%	0.2
	粒度范围小于0.075 mm/%	94.6
	亲水系数	0.3

1.1.2 填充料所用集料

所用集料均取自公司内部沥青混合料拌合站,粗、细集料及填料均满足JTG F40—2004规范要求。

1.2 样品制备

制备的改性沥青胶结料(J2、J3、J4)均以改性沥青为基体,通过外加SBS增弹剂、抗车辙剂、矿粉制备而成,其配比见表3。经前期试验探索,拟定SBS增弹剂掺量为原样沥青质量的6%,以达到增黏增弹

效果;拟定矿粉添加量为原样沥青质量的35%,以达到增黏和降低材料成本目的;最后根据填充料高温性能要求,拟定抗车辙剂掺量为原样沥青的8%。

表3 改性沥青胶结料配比				
分项	各组分质量分			
	改性沥青	SBS增弹剂	矿粉	抗车辙剂
J1	100	—	—	—
J2	100	6	—	—
J3	100	6	35	—
J4	100	6	35	8

改性沥青胶结料的制备主要为高温剪切、溶胀发育两个阶段。所用胶结料制备过程主要包括:(1)将原样沥青加热至170℃;(2)投入SBS增弹剂并高速剪切20 min,期间逐步升温至200℃,转速5 000 r/min;(3)依次投入抗车辙剂、矿粉并调低转速至3 000 r/min,剪切10 min;(4)停止剪切并在200℃下保温30 min得到改性胶结料。

无缝伸缩缝填充料的集料级配参照JTG F40—2004中沥青玛蹄脂碎石混合料SMA-13的矿料级配范围,根据JTG E20—2011中沥青混合料试件制作方法(轮碾法)进行样品制备。为筛选合适的油石比和胶结料种类,设计4种填充料进行试验验证,各组配比见表4。

表4 无缝伸缩缝填充料配比		
分项	沥青种类	油石比/%
T1-12	J3	12
T1-14	J3	14
T2-12	J4	12
T2-14	J4	14

1.3 测试方法

1.3.1 胶结料性能试验

参照JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》^[11],采用针入度试验、软化点试验(环球法)、25℃弹性恢复试验、190℃旋转黏度试验,对各组沥青胶结料进行性能测试。

1.3.2 填充料性能测试

参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011),采用车辙试验、-10℃弯曲试验分别测试填充料高温和低温性能。采用300 mm×300 mm×50 mm填充料压实板和120 mm×120 mm×40 mm切割压实板进行填充料直接拉伸和压缩回弹试验,分别以300 mm×50 mm和120 mm×40 mm为压缩和拉伸方向接触面,压缩和拉伸速率为1 mm/min,压缩率和拉伸率均为4%,回弹时间10 min。压缩或拉伸弹性恢

复率按式(1)进行计算:

$$D_y \text{ 或 } D_l = h_1/h_2 \tag{1}$$

式中: D_y 为压缩回弹率,%; D_l 为拉伸回弹率,%; h_1 为压缩或回弹后试件高度,mm; h_2 为试件原始高度。

2 试验结果与分析

2.1 胶结料性能分析

2.1.1 针入度

各类型胶结料的针入度见图 1。由图 1 可知,相比于原样沥青 J₁,加入外加剂后的各类胶结料的针入度大幅降低,J₂的针入度相比于 J₁降低了 14.2%,而 J₃相对于 J₂针入度降低幅度达到了 15.6%。SBS 和矿粉的加入均会对沥青中的轻质组分产生吸附效应,降低沥青的温度敏感性,提升沥青的黏度,表现为针入度的降低。同样随着抗车辙剂的加入,J₄的针入度相比于 J₃降低了 20.7%,这主要是因为抗车辙剂在融入沥青后提升了沥青中沥青质含量,引起改性胶结料的针入度降低。由于无缝伸缩缝填充料的油石比普遍偏大,为保证填充料的高温性能,所用胶结料的针入度要求较常规改性沥青偏低。

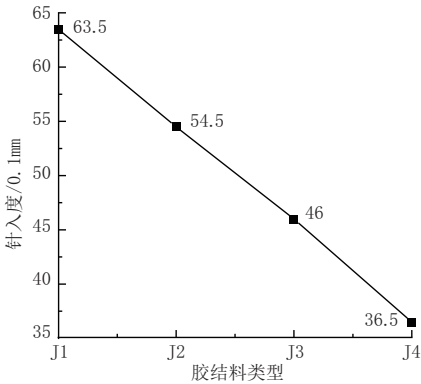


图 1 各类型胶结料针入度

2.1.2 软化点

沥青胶结料的温度敏感性与软化点呈反比例关系,因此试验中 3 种可降低沥青温度敏感性的添加剂掺入后胶结料的软化点均出现明显提升,其测试结果见图 2。其中,J₄的软化点达到了 94.5℃,较原样沥青 J₁提升了 10.7%。这主要归因于 SBS 在沥青中的骨架支撑作用和矿粉、抗车辙剂对沥青中轻质组分的吸附作用。软化点的提高同样有利于填充料在高温条件下的正常服役,避免出现推移、车辙等病害。

2.1.3 旋转黏度

旋转黏度是反应胶结料黏度性能的指标,是流动的胶结料抵抗变形的量度。胶结料流体在受到剪切力的作用下,剪切应变越小,对应的旋转黏度值越

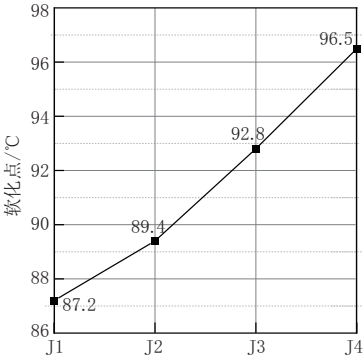


图 2 各类型胶结料软化点

大,说明胶结料抵抗变形的能力越强。图 3 展示了各类型沥青胶结料在 190℃的旋转黏度,可以明显看出,所选用的沥青添加剂对胶结料的旋转黏度均有显著提升,这主要是因为添加剂均可增加沥青中轻质组分的稠度和黏度。较高的旋转黏度可以使得胶结料在应对外力作用下产生较小的变形,因此这一指标在《桥梁无缝伸缩缝沥青胶结料》(JT/T 1129—2017)^[12]中也有具体的规定,要求高温型胶结料的 190℃旋转黏度应在 2 000~5 000 mPa·s,而 J₃和 J₄均能满足规范要求。

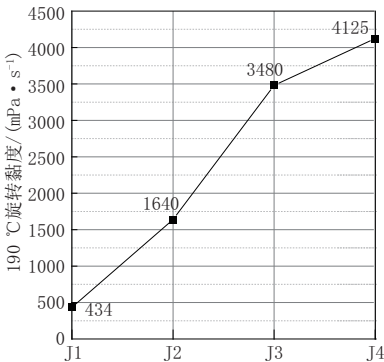


图 3 各类型胶结料 190℃旋转黏度

2.1.4 弹性恢复率

无缝伸缩缝填充料的弹性恢复能力主要依靠沥青胶结料,因此沥青胶结料的可恢复弹性变形能力尤为关键。弹性恢复率反应胶结料在受到外力作用结束后的弹性恢复能力,可直接表征沥青胶结料的可恢复变形能力。图 4 展示了合成的各类胶结料的弹性恢复率,可见高黏度改性沥青本身已经具有较高水平的弹性恢复率,而 SBS 的加入增强了沥青中的网络结构,使得 J₂的弹性恢复率有进一步提升。矿粉和抗车辙剂均属于刚塑性材料,在一定程度上破坏了沥青中弹性网络的变形恢复能力,因此 J₃和 J₄的弹性恢复率略有下降,但仍在原样沥青之上,满足规范和使用要求。

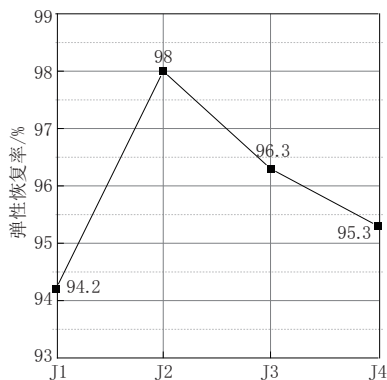


图4 各类型胶结料弹性恢复率

2.2 填充料性能分析

2.2.1 高温稳定性

为保证填充料具有足够的弹性能力,无缝伸缩缝填充料的油石比普遍偏高,填充料在长期荷载作用下尤其在高温条件下会产生不可恢复的变形,表现为伸缩缝填充段的车辙和推移,因此有必要评价填充料的高温稳定性。车辙试验的动稳定度是反映沥青混合料在高温条件下承载能力的常用参数,所选取4种填充料的动稳定度测试结果见图5。由试验结果可知,油石比是影响填充料动稳定度的最主要因素,两种胶结料制备的填充料在12%油石比的情况下动稳定度均显著高于14%油石比,T1-12和T2-12的动稳定度分别比T1-14和T2-14高出35.9%和41.2%。其次,在相同油石比的条件下,T2-14比T1-14高温稳定性更佳,这主要归因于抗车辙剂的加入,提升了胶结料的高温性能和其与石料的黏结能力。T2-14在兼顾高油石比的基础上拥有较高的动稳定度,满足沥青混合料高温稳定性的要求,远高于市面常用的无缝伸缩缝填充料^[13-14]。

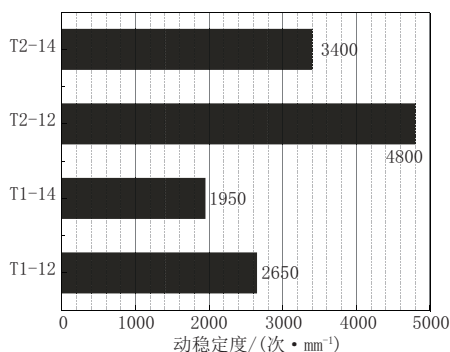


图5 各类型填充料动稳定度

2.2.2 低温抗裂性能

伸缩缝填充料的主要作用为承担桥面板的变形,在低温环境下,主要承受桥面板收缩带来的拉应力,常出现的病害表现为填充料拉伸开裂,因此在低温条件下的抗开裂能力是评价填充料服役性能的另一主要指标。通过选用沥青混合料常用的低温小梁

弯曲试验来评价填充料的低温抗裂能力,试验结果见图6。各类型填充料特别是14%油石比的填充料(T1-14和T2-14)低温抗裂性能良好,最大弯拉应变显著优于常用沥青混合料(2 000~4 000 $\mu\epsilon$),与市面常用和其他学者研发的无缝伸缩缝填充料相比也具有较大优势^[15]。

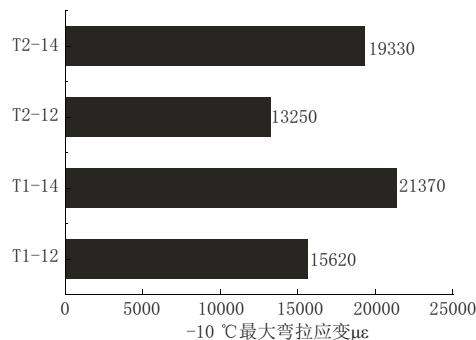


图6 各类型填充料低温最大弯拉应变

2.2.3 回弹性能

为验证无缝伸缩缝服役过程中的承受压缩和拉伸后的回弹能力,以直接拉伸和压缩模拟服役过程中承受伸缩缝位移变化,并测定压缩或拉伸后的弹性恢复率,结果见图7。从数据可以看出,相比于其他填充料,T1-14具有最好的压缩和拉伸回弹恢复率,分别达到了75%和70%,这与其较高的油石比有直接关系。然而,由前文动稳定度测试结果可知,T1-14高温稳定性较差。因此综合高温性能和回弹能力,T2-14具有较优的综合性能表现,满足伸缩缝填充料各项服役性能的要求。

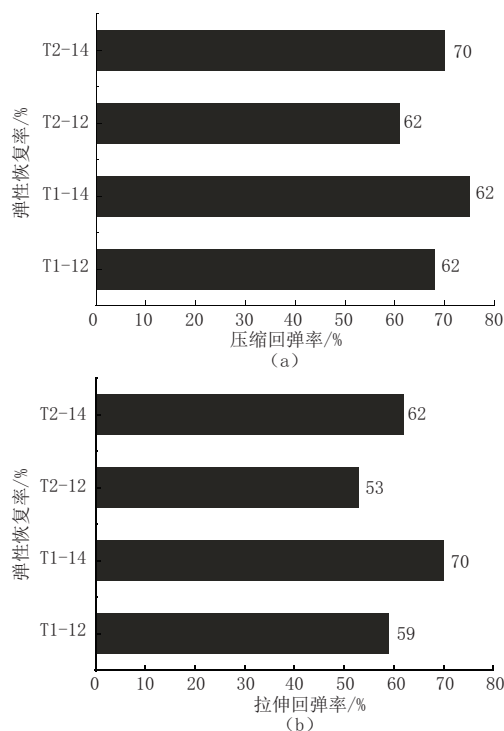


图7 各类型填充料回弹性能

3 经济性分析

填充式沥青基桥梁无缝伸缩缝取消了传统伸缩缝的刚性装置,直接采用改性沥青混合料填充,在保证伸缩缝变形要求的基础上简化了伸缩缝维修施工程序,降低了施工成本,并且后期养护维修便捷。

经测算,填充式沥青基无缝伸缩缝的胶结料和填充料材料成本较市面材料降低 20% 以上,具体分析见表 5。由于填充式沥青基无缝伸缩缝结构简单,可靠性较好,其耐久性能相较传统维修方式,后期养护维修成本将进一步降低,长期效益同样显著。

表 5 无缝伸缩缝材料成本分析

材料类型	TST/(元·t ⁻¹)	自研材料/(元·t ⁻¹)
胶结料成本	7 000~8 000(采购价)	5 430
填充料成本	1 061~1 260	842

4 结 语

(1)填充式无缝伸缩缝混合料具有优良的高低温性能和弹性恢复性能,具有较好的抵抗变形能力。

(2)油石比对填充式无缝伸缩缝混合料的高温性能有显著影响,油石比越大,动稳定度越小。

(3)填充式无缝伸缩缝混合料具有优异的低温抗裂性能,最大弯拉应变远大于常规改性沥青混合料。

(4)油石比对填充式无缝伸缩缝混合料回弹性能有一定影响,在满足高温性能的情况下应尽量选用较高的油石比,以获得较好的填充式无缝伸缩缝混合料现场服役性能。

(5)相比市面材料,填充式沥青基无缝伸缩缝的

胶结料和填充料材料成本可降低 20% 以上,经济效益显著。

参考文献:

[1] 秦祖品,郑妍,薛凤蕊,等.高速桥梁伸缩缝病害成因分析及快速维修技术探讨[J].中国公路,2022(7):94-95.

[2] 陈惟珍,徐俊,龙佩恒.现代桥梁养护与管理[M].北京:人民交通出版社,2010.

[3] LACHINGER S, STRAUSS A, KWAPISZ M, et al. Evaluation of expansion joints in Austria[R]. Vienna: AIT-Austrian Institute of Technology, 2014.

[4] MO L T, XIE Y J. Review on asphalt plug joints: Performance, materials, testing and installation[J].Construction and building materials, 2013(45): 106-114.

[5] 谢严君.沥青填充式桥梁无缝伸缩缝材料的制备与性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2014.

[6] 程林峰.桥梁无缝伸缩缝填充料的性能研究[D].杭州:浙江工业大学,2020.

[7] 刘大华.桥梁无缝伸缩缝施工技术[J].城市道桥与防洪,2017(2): 133-135.

[8] 程林峰,黄挺,燕栋.等.无缝伸缩缝技术在桥梁工程中的应用[J].北方交通,2018(4):6-9.

[9] 张学志,张炳涛,于志东,等.柔性伸缩缝在桥梁维修工程中的应用[J].公路,2017,62(8):131-133.

[10] Chang L M, Lee Y L. Evaluation of performance of bridge deck expansion joints[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2002(1): 3-9.

[11] JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[12] JT/T 1129—2017 桥梁无缝伸缩缝沥青胶结料[S].

[13] 张洪,魏长城.BJ200 无缝伸缩缝的引入与检测分析[J].公路,2018(8):131-135.

[14] 高振波,宋卿卿,叶奋.GD 弹性混凝土在新老桥拼缝中的应用研究[J].中国勘察设计,2017(4):82-85.

[15] 周文静.中小桥梁无缝伸缩缝材料关键性能研究[J].工程技术研究,2021,6(18):135-136.