

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqfh.240988

低温沥青混合料在长隧道路面中的应用

栗聪思

[上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433]

摘要: 针对城市地下长隧道路面使用的需求,对上海市北横通道东段隧道内路面所用的新材料AC-20C的低温复合改性沥青混合料,从原材料、配合比设计、施工混合料气体排放、现场实体检测方面进行研究。根据不同级配、不同油石比分别确定其最佳混合料级配和最佳油石比,通过残留稳定度、动稳定度、冻融劈裂强度比、低温弯曲破坏应变试验评价沥青混合料的水稳定性、抗车辙能力和抗裂性能,同时通过对比低温和传统热拌沥青混合料生产能源消耗、排放的气体,分析节能减排情况。结果表明:此次配合比设计最佳油石比为4.2%,动稳定度 $\geq 2\ 400$ 次/mm,残留稳定度、冻融劈裂强度比、低温弯曲试验破坏应变以及现场压实度、渗水各项指标均符合设计要求,工程应用效果良好;拌和楼每生产1 t低温沥青混合料可节约0.9 m³天然气,且相关气体排放降低率均超40%,充分展现了低温环保改性沥青节能减排的理念。

关键词: 北横通道东段城市地下长隧道;低温复合改性沥青;沥青混合料;气体排放

中图分类号: U416.217

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0289-04

Application of Low-temperature Asphalt Mixture in Long Tunnel Pavement

LI Congsi

[Shanghai Road and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 200433, China]

Abstract: In view of the needs of urban underground long tunnel pavement, the new material AC-20C low-temperature composite modified asphalt mixture used in the tunnel pavement of the east section of Beiheng Passage is studied from the aspects of raw materials, mix proportion design, gas emission of construction mixture, and on-site physical detection. The optimal mixture gradation and optimal asphalt-aggregate ratio are determined according to different gradations and different asphalt-aggregate ratios. The water stability, rutting resistance and crack resistance of asphalt mixture are evaluated through the residual stability, dynamic stability, freeze-thaw splitting strength ratio and low-temperature bending failure strain test. At the same time, by comparing the energy consumption and gas emissions of low-temperature and traditional hot-mixed asphalt mixtures, the situation of energy conservation and emission reduction is analyzed. The results show that the optimal asphalt-aggregate ratio of this mix proportion design is 4.2%, the dynamic stability is $\geq 2\ 400$ times/mm, and the residual stability, freeze-thaw splitting strength ratio, low-temperature bending test failure strain, as well as on-site compaction degree and water seepage indicators all meet the design requirements, and the physical application effect is good. At the same time, for every ton of low-temperature asphalt mixture produced by the mixing plant, 0.9 cubic meters of natural gas can be saved, and the reduction rate of relevant gas emissions can reach more than 40%, which fully demonstrates the concept of energy conservation and emission reduction of low-temperature environmentally friendly modified asphalt.

Keywords: urban underground long tunnel in the east section of Beiheng Passage; low-temperature composite modified asphalt; asphalt mixture; gas emission

0 引言

目前低温沥青混凝土主要应用于我国北部、西北部冬季气温较低地区以及隧道面层施工,如山西

省韩口隧道、G219新藏公路工程、黑大公路宝泉至兰西段改扩建工程,均采用了试验段低温沥青混凝土施工,出料温度(140 \pm 5)℃,摊铺温度不低于120℃,从而节省了一定燃油费用,降低了成本^[1]。

且加入低温复合沥青拌和的混合料动稳定度对比原有沥青热拌后的混合料要有提升,高温性能优良^[2]。

通过对比传统热拌沥青混凝土,低温沥青混凝土拌和温度和摊铺温度可以降低30~50℃,能够有

收稿日期: 2024-09-25

基金项目: 上海市住房和城乡建设管理委员会科研项目(沪建科2023-002-053)

作者简介: 栗聪思(1991—),男,学士,工程师,从事公路工程施工管理工作。

效减少能源消耗和碳排放,消除现场烟雾弥漫的气味,基本实现无烟施工。对于隧道内部的路面摊铺,不仅可以改善施工环境,而且能增加空气透明度,施工安全性更加有保障^[1]。

上海市北横通道东段工程为城市地下低净空长隧道,作业空间有限,环境较封闭,是一个典型的低温沥青混合料实施项目。本文将根据该项目从混合料施工、气体排放、实体检测3个方面,对带阻燃性质的低温复合改性沥青混合料在中面层中的应用效果进行研究。

1 工程概况

隧道:该工程西起热河路接地点,东至双阳路接地点,地下道路上层全长6.69 km,下层全长6.86 km。暗埋段与盾构段交接处均设置盾构工作井,盾构段采用单管双层盾构法隧道形式,城市主干路上下层为单向3车道布置。隧道段 $V=60$ km/h。车道宽度3 m,限高3 m。二级江苏路匝道为1.15 km地下隧道。

地面道路:西起热河路,东至双阳路,全长约6.99 km。道路段 $V=50$ km/h,车道宽度为3.25~3.5 m。

匝道:新建路4根进出口匝道,黄兴路2根匝道,200~600 m长度段 $V=40$ km/h,车道宽度为3.25~3.5 m。

该工程所需工作条件如下。

(1)环保。北横通道东段工程为城市地下低净空长隧道,沥青路面施工环境比较封闭,通风效果差。低温复合(环保型)改性沥青混合料施工相比传统热拌沥青混合料施工具有低污染、低能耗、低碳排放等特点,对人体危害小,能够有效保障一线施工人员的呼吸安全。

(2)低温。北横通道东段地下隧道作业空间有限,有效净空高3.2 m,传统料车无法进入施工,需要在隧道主线、匝道进出口设置短驳点,由小料车进入施工,因此混合料的温度会有一定幅度降低,无法保障摊铺温度符合相关要求。而低温复合(环保型)改性沥青混合料摊铺温度只需满足120~130℃即可,可以很好地满足摊铺要求。

2 工程材料性能分析

2.1 低温环保改性沥青

与改性沥青(SBS)相比,低温复合改性沥青针入度较小、软化点低且延度高,同时低温复合改性沥青弹性恢复率优于改性(SBS)沥青,表明低温时其具有更好的延展性和高弹性恢复率,适宜用于城市地下

长隧道工程,详见表1。

表1 低温复合改性沥青、改性(SBS)沥青检测结果

检测项目	技术要求	低温环保改性沥青	技术要求	改性(SBS)沥青
软化点/℃	≥42	79.5	≥60	91
针入度(100 g, 5 s, 15℃)/0.1 mm	20~60	22	40~60	56
延度(5 cm/min, 5℃)/cm	≥30	42	≥20	34
弹性恢复率(25℃)/%	≥75	98	≥75	93
RTFOT后(残留延度5℃)	≥15	29	≥15	22

2.2 集料、填料

北横通道东段隧道路面所用粗集料颗粒洁净、无污染、无风化,有足够的强度(压碎值和坚固性)、磨耗性能好(磨耗率);细集料干燥、洁净、无污染,且有一定的级配,无泥块、泥渣;矿粉(磨细石灰岩)无结块,要有较低的含水率,可以从仓内自由流出来。阻燃剂添加比列为沥青混合料总质量的0.3%。主要技术指标见表2。

表2 集料、填料主要技术指标

样品名称	参数	技术要求	检测方法
粗集料	针片状颗粒含量/%	≤12	JTG E42—2005
	小于0.075 mm颗粒含量/%	≤1	
	磨耗率/%	≤28	
	软弱颗粒含量/%	≤3	
	坚固性/%	≤12	
细集料	压碎值/%	≤26	JTG E42—2005
	砂当量/%	≥60	
	棱角性/s	≥30	
矿粉	亚甲蓝/(g·kg ⁻¹)	≤2.5	JTG 3430—2020
	亲水系数	<1	
	0.075筛孔通过率/%	85~100	
	含水率/%	≤1	
	塑性指数	<4	

2.3 混合料级配确定

根据矿料和填料的筛分结果,以及混合料工程设计级配范围要求,确定AC-20C低温复合改性沥青混合料的A、B、C3种初试级配^[3],三种试验级配料堆配合比组成见表3,试验混合物级配明细见表4。

表3 试验级配料堆配合比组成 单位:%

矿料	15~25 mm	5~15 mm	3~5 mm	0~3 mm	矿粉
级配A	31	33	13	21	2
级配B	29	32	14	23	2
级配C	27	31	15	25	2

按照JTG E20—2011规程进行马歇尔试验,芯样试模预热温度设置100℃,低温复合改性沥青加热温

表4 试验混合物级配明细表

筛孔	下列筛孔(方孔筛 mm)通过百分率/%											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配A	100	97.0	87.6	74.6	57.0	36.1	22.0	15.9	9.3	6.8	5.6	5.5
级配B	100	97.3	88.7	76.3	59.2	39.3	24.5	17.6	10.7	7.7	6.2	5.5
级配C	100	97.5	89.7	77.9	61.3	42.5	27.0	19.2	12.2	8.6	6.8	5.6
级配上限	100	100.0	92.0	80.0	72.0	56.0	44.0	33.0	24.0	17.0	13.0	7.0
级配下限	100	90.0	78.0	62.0	50.0	26.0	16.0	12.0	8.0	5.0	4.0	3.0

度设置 170 °C,矿粉和集料加热温度设置 175 °C,混合料拌和温度设置 160 °C,击实温度设置 150 °C。根据工

程经验,按初试油石比 4.2% 制作级配 A、B、C 3 组马歇尔试件,测定空隙率等体积指标^[4],试验结果见表 5。

表5 3种级配沥青混合料马歇尔试验结果表

级配	稳定度/kN	流值/0.1 mm	空隙率/%	VMA/%	饱和度/%	毛体积相对密度	实测理论相对密度
A	12.95	3.1	5.8	16.7	65.3	2.402	2.549
B	12.64	3.9	4.9	16.1	69.6	2.421	2.547
C	11.98	4.1	3.7	15.1	75.5	2.450	2.545
技术要求	≥10	2~4.5	3~6	≥13	65~75	—	—

从试验结果可以看出级配 A、B 符合要求,根据经验,选择级配 B 作为目标级配。

2.4 最佳油石比确定

采用 5 种油石比,分别为 3.2%、3.7%、4.2%、4.7%、5.2%,按设计的矿料比例配料、加热、制件,进行马歇尔稳定度试验,试验结果见表 6。

根据表 6 不同油石比的马歇尔试验结果,可知最大稳定度、最大密度、空隙率范围中值、饱和度范围中值对应的 4 个油石比^[5],分别是 4.20%、4.21%、4.44% 和 4.18%,其平均值为 4.26%;根据图 1 马歇尔试验中的各项指标与油石比的关系图,可得出符合各项指标要求的油石比范围,为 3.97% ~ 4.40%,取中值 4.18%,两者平均值为 4.22%,根据经验取最佳油石比为 4.2%。

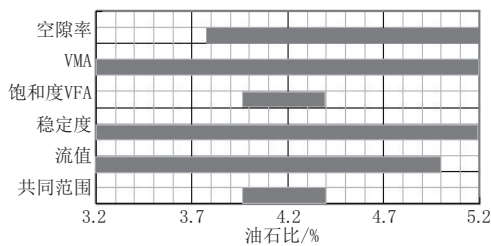


图1 稳定度、密度、流值、空隙率、VMA、饱和度与油石比的关系图(单位:%)

表6 设计配合比马歇尔稳定度试验结果表

级配类型	油石比/%	稳定度/kN	流值/0.1 mm	空隙率/%	VMA/%	饱和度/%	毛体积相对密度	实测理论相对密度
AC-20C	3.2	10.73	2.8	8.2	16.6	42.9	2.381	2.588
	3.7	11.82	3.3	6.3	16.3	57.5	2.403	2.567
	4.2	12.63	3.8	4.9	16.1	69.6	2.420	2.547
	4.7	12.07	4.2	3.9	16.8	80.0	2.405	2.528
	5.2	11.33	4.6	3.4	17.9	85.0	2.394	2.508
要求	—	≥10	2~4.5	3~6	≥13	65~75	—	—

2.5 混合料性能试验

根据上述目标最佳油石比,进行生产配合比设计后,生产 AC-20C 低温复合改性沥青混合料,试验检测结果见表 7。

AC-20C 低温复合改性沥青混合料实测结果表明动稳定度 7 006 次/mm,对比常规改性沥青混合料测试值要高很多,说明其具有更好的高温性能,具有更高的优势,且其余指标均符合技术要求^[6]。

3 工程应用效果

3.1 试验段范围

AC-20C 低温复合改性沥青混合料试验段选择上层隧道盾构段福梧区间 K12+760~K13+260,长 500 m,宽度 10 m,面积 5 000 m²,耗用 AC-20(低温沥青)约 500 t。

沥青混合料摊铺前,根据施工要求对工作面进行清扫,完成试验段工作面的抛丸工作、结构变形缝处理、黏层油施工(摊铺前 12 h 洒布)等前道工序^[7]。

3.2 施工情况对比结果

本次将从 AC-20C 低温复合改性沥青混合料和 AC-20C 改性沥青混合料的施工温度、节能情况、气

表7 混合料性能试验结果

检测项目	油石比/%	试验结果	技术要求
残留稳定度		86.1%	≥80%
劈裂强度比	4.2	82.4%	≥75%
动稳定度/(次·mm ⁻¹)		7 006	≥2 400
低温弯曲破坏应变 με		2 841	≥2 500

体排放检测3个方面进行对比,结果详见图2、表8至表10。根据隧道内部限高要求,大料车无法在隧道内部进行卸料作业,拌合站至隧道入口短驳点采用大料车进行运输,在短驳场地进行翻料,采用满足条件的小料车进行运输、作业,为此出料温度宜适当提高。

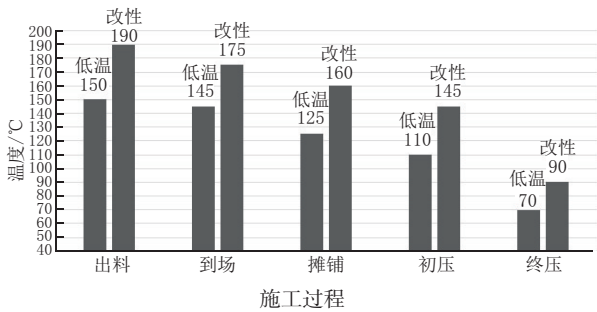


图2 低温复合改性沥青混合料与改性沥青混合料施工温度对比结果

表8 拌和楼天然气消耗统计对比表

混合料种类	生产吨位/t	天然气消耗总量/m ³	消耗值/(m ³ ·t ⁻¹)
低温+阻燃	500	2 208	4.42
SBS改性+阻燃	642	3 415	5.32

表9 室内沥青原材料 单位:mg/m³

类别	CO	SO ₂	H ₂ S	TVOC	
原材料	低温	2.71	2.00	2.21	3.10
	改性	5.82	4.61	6.14	9.20
气体排放降低率/%	53.4	56.6	64.0	66.3	

表10 室外混合料气体排放检测对比表 单位:mg/m³

类别	CO	NO	NO ₂	TVOC	
混合料	低温+阻燃	1.162	0.279	0.128	0.058
	改性+阻燃	2.345	0.545	0.247	0.115
气体排放降低率/%	50.4	48.8	48.2	49.6	

3.3 现场实体检测

AC-20C低温复合改性沥青混凝土试验段施工结束后,紧邻该段继续相同工艺施工了一段AC-20C改性沥青混凝土,施工结束第二天对两段进行现场检测,主要指标包括压实度、渗水。检测结果见表11。

4 结语

通过北横通道东段隧道AC-20C低温复合改性沥青混合料试验段的应用,研究了其混合料的油石

表11 现场检测结果明细表

检测项目	检测指标	检测结果	
		低温+阻燃	SBS改性+阻燃
外观	—	表面无油斑、轮迹,无明显离析现象,接缝紧密、平整、顺直	表面无油斑、轮迹,无明显离析现象,接缝紧密、平整、顺直
渗水/(mL·min ⁻¹)	≤60	47.6	42.7
压实度/%	≥98	99.2	98.7

比选择和路用性能,以及相关生产节能情况、有毒有害气体排放情况,得到以下结论。

(1)低温复合改性沥青延度42 cm、弹性恢复率98%,改性沥青(SBS)延度34 cm、弹性恢复率93%。两者对比,低温复合改性沥青具有更好的延展性和高弹性恢复率,完全能够满足混合料低温生产后的使用功能。

(2)低温沥青混合料性能分析结果显示,动稳定度7 006次/mm,比常规改性沥青混合料测试值要高的多,说明其具有更好的高温性能,具有更高的优势;同时残留稳定度试验结果为86.1%、冻融劈裂强度比为82.4%、低温弯曲破坏应变结果为2 841 με,均符合设计要求。表明针对北横通道东段隧道此次试验段所设计的AC-20C低温复合改性沥青混合料路面性能良好。

(3)通过低温沥青混合料与常规改性沥青混合料的施工温度、节能情况、生产气体排放的对比,结果显示低温沥青混合料生产温度、碾压温度要求更低,拌和楼每生产1 t混合料可节约0.9 m³天然气,且相关气体排放降低率均能达到40%以上,充分展现了低温环保改性沥青节能减排的理念。

(4)通过现场检测,试验段外观、渗水、压实度均符合设计要求,具有良好的稳定性及抗水损害性能。

参考文献:

- [1] 陈望平,富志鹏.温拌沥青混合料在高寒地区道路中的应用[J].山东交通科技,2014(5):48-50.
- [2] 耿欣.复合温拌阻燃沥青混合料在长大隧道中的应用研究[J].科学技术创新,2024(10):90-93.
- [3] 丁迎.温拌阻燃沥青混合料在隧道路面中的应用研究[J].辽宁省交通高等专科学校学报,2023,25(3):1-5.
- [4] 张家宁.温拌沥青混合料路用性能研究[J].交通世界,2023(14):42-44.
- [5] 李聪.沥青混合料面层配合比设计与研究[J].广东土木与建筑,2024,31(7):107-110.
- [6] 王斐.AC-13C温拌沥青混合料配合比及路用性能分析[J].江西建材,2023(9):255-256.
- [7] 山发军.公路工程沥青混凝土路面施工质量控制要点分析[J].运输经理世界,2024(19):64-66.