

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.05.054

钢渣薄层罩面沥青混合料试验研究与工程应用

苏 凯

(上海城投研究总院,上海市 200031)

摘 要:研究钢渣薄层罩面沥青混合料的路用性能并在实体道路工程中进行应用。结果表明,钢渣强度和磨光值高,与沥青黏附性强,各项性能指标满足道路集料规范要求。以钢渣代替玄武岩集料制备的薄层罩面沥青混合料 SMA-10 和 OGFC-5 的马歇尔稳定度、水稳定性能及动稳定度等路用性能均满足规范要求,并表现出良好的抗变形、抗水损和耐久性能。钢渣薄层罩面实体工程施工应用顺利,路面质量和应用效果良好。

关键词:钢渣;薄层罩面;性能分析;工程应用

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)05-0214-03

0 引 言

钢渣作为炼钢企业的工业废渣,资源化利用率相对偏低。多数钢厂将钢渣采用露天堆放的方式存放,不仅占用了大量的土地资源,还对周边环境造成潜在污染风险^[1,2]。近年来,人们环保意识越来越强,如何实现钢渣等工业废渣的资源化利用已经成为国内外研究的重点。相关研究结果表明,在沥青混合料中采用钢渣替代天然石料是可行的^[3-6]。目前在高等级道路沥青路面建设与养护施工过程中,一般要求选用玄武岩、辉绿岩等磨光值高、与沥青黏附性较好的碱性矿料,以确保表面层具有良好的平整度、抗剪强度和摩擦系数等,进而提高行车安全与舒适性。但随着土石资源过度开发,使得一些地区的路面建设与养护施工需从外地大量购买优质石材,大大增加了施工成本。本文结合道路建设的实际需求,研究制备以钢渣替代传统集料的薄层罩面沥青混合料,分析其路用性能并在实体工程中得到应用验证,为钢渣在沥青路面中资源化应用提供技术支撑。

1 原材料与级配设计

1.1 原材料

根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)相关规定,对钢渣、玄武岩集料性能指标以及钢渣的游离氧化钙含量和浸水膨胀率进行测试。集料性能测试结果见表 1。

收稿日期: 2020-02-17

作者简介: 苏凯(1977—),男,博士,高级工程师,主要从事道路工程科研、咨询、管理工作。

表 1 集料性能指标测试结果

试验项目	钢渣			玄武岩			技术要求
	10-15	5-10	3-5	10-15	5-10	3-5	
针片状颗粒含量 /%	6.1	5.5	1.1	7.9	6.8	2.0	≤10
压碎值 /%	14.4	10.8	11.9	16.1	13.4	15.7	≤18
洛杉矶磨耗值 /%	13.0	11.3	12.8	17.3	18.1	19.2	≤28
吸水率 /%	1.17	1.52	1.91	0.68	0.72	1.10	≤2.0
磨光值	55	55	54	45	44	44	≥42
与沥青黏附性 (级)	5			4			≥4
游离氧化钙含量 /%	0.2			—			≤3.0
浸水膨胀率 /%	0.3			—			≤2.0

试验测试结果表明,钢渣的各项指标符合现行规范对路用集料的技术要求。钢渣的压碎值、磨耗值等指标与玄武岩性能相近,磨光值和与沥青黏附性指标显著高于玄武岩集料,表明钢渣在沥青路面表面层具备较好的应用优势。游离氧化钙容易导致钢渣体积不稳定^[7]。试验用的钢渣游离氧化钙含量低,浸水膨胀率符合现行规范的要求。

密级配沥青混合料中选择 SBS(I-D)改性沥青作结合料,开级配大空隙沥青混合料采用高黏改性沥青作结合料,其性能指标均符合现行规范的要求。

1.2 级配设计

试验选择 SMA-10 和 OGFC-5 两类沥青混合料进行研究,级配范围要求见表 2。

设计符合表 2 要求的矿料级配,并在 SMA-10 沥青混合料 5~15 mm 粗集料中掺加了 20%、40% 和 60% 的钢渣代替传统玄武岩,在 OGFC-5 沥青混合料的 3~5 mm 集料全部采用钢渣。依据马歇尔设计方法成型沥青混合料,在各项指标均满足规范要求下,确

表 2 混合料级配范围要求

筛孔尺寸 /mm	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-10	100	90~100	28~60	20~32	14~26	12~22	10~18	9~16	8~13
OGFC-5	100	100	15~50	8~30	5~12	4~10	4~8	4~7	3~6

定沥青混合料的最佳油石比(见表 3)。

表 3 混合料最佳油石比

混合料类型	粗集料中钢渣掺用量 /%	最佳油石比 /%
SMA-10	0	6.14
	20	6.22
	40	6.36
	60	6.61
OGFC-5	100	5.10

2 混合料性能评价

2.1 SMA-10 薄层罩面沥青混合料

(1)马歇尔稳定度和动稳定度

在设计级配和最佳油石比条件下成型试件,进行标准马歇尔稳定度和动稳定度试验,确定钢渣最佳掺量。钢渣 SMA-10 薄层罩面沥青混合料的稳定度测试结果见表 4。

表 4 混合料马歇尔稳定度试验结果

钢渣掺用量 /%	试件马歇尔稳定度 /kN	动稳定度 /(次·mm ⁻¹)
0	12.5	3 951
20	13.5	6 012
40	16.1	8 890
60	14.6	7 791
均值	14.73	6 661
规范要求	≥6.0	≥3 000

测试结果表明,掺用钢渣的沥青混合料 SMA-10 马歇尔稳定度和动稳定度性能指标均较未参加钢渣的普通玄武岩沥青混合料高,且远高于现行规范的要求。其中以钢渣掺用量为 40%的沥青混合料稳定度性能表现最佳。选择 40%为最佳钢渣掺用量,进行下一步性能评价。

(2)水稳定性

在钢渣掺量为 40%、设计级配和最佳油石比条件下成型马歇尔试件,进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验。试验结果见表 5。

表 5 钢渣 SMA-10 水稳定性试验结果

混合料类型	浸水马歇尔残留稳定度 /%	强度比 TSR /%
SMA-10(钢渣掺量 40%)	86.7	92.7
规范要求	≥85	≥80

试验结果表明,掺配钢渣 40%的薄层罩面沥青混合料 SMA-10 表现出较高的水稳定性,浸水马歇尔残留稳定度结果和冻融劈裂试验结果符合现行规范要求。

(3)抗滑性能

采用铺砂法测试钢渣沥青混合料 SMA-10 的构造深度,试验结果见表 6。

表 6 构造深度试验结果

混合料类型	摊铺直径 /mm	构造深度 /mm	规范要求 /mm
SMA-10(钢渣掺量 40%)	19.7	0.82	>0.55

试验结果表明,钢渣薄层罩面沥青混合料 SMA-10 的构造深度满足规范要求,表现出较好的抗滑性能。

(4)浸水膨胀率

将钢渣沥青混合料 SMA-10 浸水 10 d 后测试其体积变化情况,计算钢渣沥青混合料的体积膨胀率,结果见表 7。

表 7 浸水膨胀率试验结果

混合料类型	V ₁ /cm ³	V ₂ /cm ³	膨胀率 /%	规范要求 /%
SMA-10(钢渣掺量 40%)	524.37	529.13	0.91	≤1.5

试验结果表明,钢渣沥青混合料 SMA-10 的浸水膨胀率较小,符合现行规范的要求。试验用钢渣游离氧化钙含量仅为 0.2%,远小于规范不大于 3%的要求。另一方面,钢渣表面的多孔结构吸附较多沥青,在混合料内部形成结构沥青,阻止了水分浸入钢渣内部,进一步减小了混合料的膨胀性。

2.2 OGFC-5 薄层罩面沥青混合料

在设计级配及最佳沥青用量条件下成型马歇尔试件和车辙板试件,进行性能指标试验测试。

(1)混合料路用性能

钢渣 OGFC-5 薄层罩面沥青混合料的路用性能测试结果见表 8。

测试结果表明,钢渣 OGFC-5 薄层罩面沥青混合料的各项路用性能均符合现行规范的要求。其中,动稳定度、残留稳定度和冻融劈裂指标远超规范要求。

(2)耐久性能

小粒径沥青混合料的抗变形耐久性能是施工应用较为关注方面^[8,9]。试验采用汉堡车辙仪对钢渣

表8 钢渣 OGFC-5 路用性能指标测试结果

指标	钢渣 OGFC-5	规范要求
马歇尔稳定度 /kN	8.02	≥ 5.0
动稳定度 /(次·mm)	9 134	$\geq 5\ 000$
残留稳定度 /%	97.8	≥ 85
冻融劈裂强度比 /%	93.7	≥ 80
构造深度 /mm	1.20	≥ 0.55
渗水系数 /(L·min)	5 584	$\geq 5\ 000$
浸水膨胀率 /%	0.90	≤ 1.5

薄层罩面 OGFC-5 的耐久性能进行了测试,结果如图 1 所示。

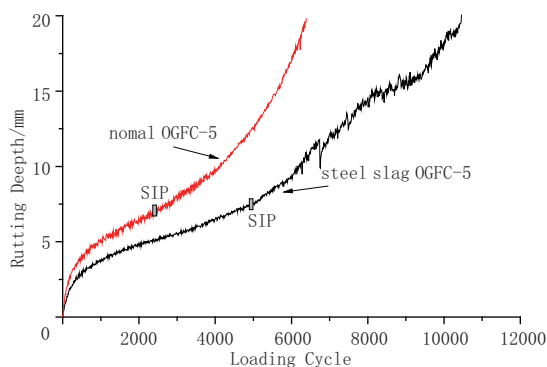


图1 钢渣 OGFC-5 与常规 OGFC-5 汉堡车辙曲线

试验结果表明,钢渣薄层罩面 OGFC-5 车辙发展明显缓于传统 OGFC-5 沥青混合料。钢渣 OGFC-5 混合料的剥落点 SIP 是传统 OGFC-5 混合料剥落点的 1.35 倍,说明钢渣 OGFC-5 的抗水损害能力和抗高温剥落性能更强。图 1 中剥落点 SIP 之后的剥落段,钢渣 OGFC-5 产生 1 mm 车辙需要 429 Cycles 轮载作用,而常规 OGFC-5 仅需要 191 Cycles。说明钢渣 OGFC-5 发生水损害后仍表现出较好的抗破坏能力。

3 工程应用

结合工程设计和钢渣材料实际情况,选择某市政道路进行 SMA-10 薄层罩面施工应用研究。该工程薄层罩面铺筑厚度为 20 mm,施工面积近 5 000 m²。

路面结构下面层采用 AC-25C 沥青混凝土,上面层采用 SMA-10 钢渣薄层罩面。混合料中钢渣掺量为 40%,如图 2 所示。

施工路面表面应平整、均匀,无明显划痕和轮迹,无松散和花白料;接缝紧密平整、顺直,整体施工效果良好。SMA-10 薄层罩面施工完成 1 年后跟踪观测结果表明,薄层路面应用效果良好,路面保持坚实平整,无明显病害。

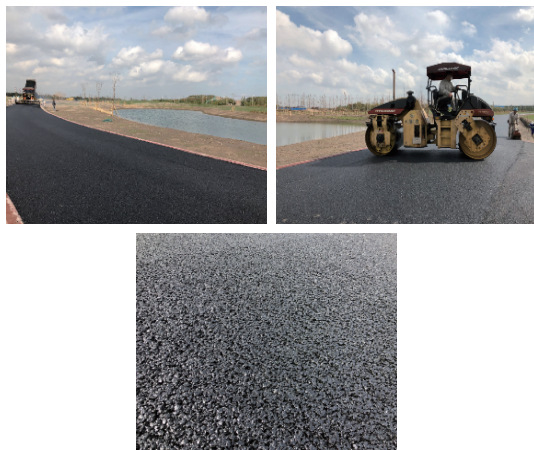


图2 钢渣薄层罩面 SMA-10 工程应用

4 结论

(1)钢渣的路用性能指标与优质玄武岩接近,符合现行规范对路用集料的性能要求。钢渣的磨光值和黏附性能优异,在沥青路面表面层具备较好应用前景。

(2)钢渣掺用量为 40%的钢渣薄层罩面 SMA-10 的高低温性能、水稳定性能和路面抗滑性能表现优异,同时具备较低的浸水膨胀率。

(3)采用钢渣为粗集料的 OGFC-5 沥青混合料的各项路用性能均满足现行规范要求,且抗变形和耐水损性能表现优异。

(4)钢渣薄层罩面 SMA-10 的实体工程施工应用顺利,路面质量和应用效果良好。钢渣薄层罩面在沥青路面建设与养护工程中具备较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 解英明,赵友权,赵旭章,等.钢渣混合料在城市道路改造中的应用[J].新疆钢铁,2019(1):383-388.
- [2] 许丁斌.钢渣沥青混合料的材料及性能研究[D].江苏南京:东南大学,2018.
- [3] 王显华.超粘磨耗层技术在南方湿热地区沥青路面预防性养护中的应用研究[D].广东广州:华南理工大学,2018.
- [4] 刘国威.新型钢渣沥青混凝土应用技术研究[D].陕西西安:西安建筑科技大学,2018.
- [5] 梁庆.超薄磨耗层在南友高速公路车辙病害治理中的应用研究[D].广西南宁:广西大学,2017.
- [6] 王雅婷.钢渣集料在沥青路面超薄抗滑磨耗层中的应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.
- [7] 邱怀申,杨超,吴少鹏,等.超薄磨耗层 SMA-5 钢渣沥青混合料性能研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2021,45(1):28-32.
- [8] 张强,胡力群,刘兴成.多掺量钢渣开级配沥青混合料性能研究[J].硅酸盐通报,2020,39(2):493-500.
- [9] 曹静.钢渣表面改性对沥青混合料疲劳耐久性的影响[J].新型建筑材料,2020,47(2):32-35,44.