

# 钢渣沥青混合料在河南高速公路养护工程中的应用研究

王韶鹏<sup>1</sup> 姬小祥<sup>2</sup> 李钰<sup>3</sup>

(1. 河南省高速公路联网管理中心 河南省郑州市 450040; 2. 河南交通职业技术学院 河南省郑州市 450006; 3. 河南交院工程技术集团有限公司 河南省郑州市 450052)

**摘要:** 本文依托南林高速养护工程, 通过对钢渣沥青混合料与玄武岩沥青混合料进行对比分析, 研究钢渣沥青混合料的路用性能。试验结果表明, 钢渣沥青混合料具有良好的高温稳定性, 其稳定度较玄武岩沥青混合料提升约 50%, 动稳定度与玄武岩沥青混合料相当; 钢渣沥青混合料的浸水残留稳定度、冻融劈裂强度比均优于玄武岩沥青混合料; 钢渣沥青混合料的低温弯曲试验指标均较玄武岩沥青混合料有所提升; 钢渣再生集料可代替玄武岩集料用于高速公路沥青面层施工。

**关键词:** 钢渣沥青混合料; 玄武岩沥青混合料; 高温稳定性; 水稳定性; 低温抗裂性。

## 引言

随着基础设施建设的快速发展, 工程对高品质石材的需求逐渐增加, 但高品质石材资源的日渐匮乏与环境保护对矿石开采的限制, 使工程建设与石料供应之间的矛盾日益突出。

钢渣作为冶炼行业的副产品, 年产量约为粗钢的 12%~15%。2021 年我国钢渣产量超过 1 亿吨, 但其综合利用率仅为 20%左右。钢渣的大量堆积带来严重的环境污染和资源浪费。

基于钢渣高强、耐磨等特性, 利用钢渣再生集料代替碎石生产沥青混合料, 不仅可以缓解高品质碎石资源紧缺带来的工程建设难题, 还能消耗大量钢渣, 解决钢渣堆积所造成的环境问题, 对建设资源节约型与环境友好型社会具有重要的现实意义。

本文依托南林高速养护工程, 通过对钢渣沥青混合料与玄武岩沥青混合料的性能进行对比分析, 研究钢渣沥青混合料的路用性能。

## 1 原材料与配合比设计

### 1.1 原材料

试验原材料包括钢渣再生集料、玄武岩碎石、沥青、矿粉、石屑。

钢渣再生集料为安阳某钢铁厂生产, 分为 5-10mm、10-15mm 两档。玄武岩产自河北邢台, 分为 5-10mm、10-15mm 两档。沥青采用山东某厂生产的 SBS 改性沥青 (I-D)。矿粉为 200 目石灰岩矿粉。石屑为 0-5mm 石灰岩石屑。原材料技术指标见表 1 与表 2。

表 1 钢渣与玄武岩技术指标

试验项目	规格	钢渣	玄武岩
表观密度 (g/cm <sup>3</sup> )	5-10mm	3.547	2.862
	10-15mm	3.541	2.987
吸水率 (%)	5-10mm	0.65	0.88
	10-15mm	0.73	0.80
压碎值 (%)	—	12.8	14.1
洛杉矶磨耗值 (%)	5-10mm	12.2	13.7
	10-15mm	9.4	11.4
与沥青粘附性	—	5	5
针片状含量 (%)	5-10mm	4.1	3.6
	10-15mm	5.5	5.8
磨光值 (%)	—	43	44

表 2 SBS 改性沥青 (I-D) 技术指标

检测项目	单位	试验结果
软化点	℃	76.5
延度 (5℃, 5cm/min)	cm	36
相对密度 (25℃)	—	1.031

### 1.2 配合比设计

依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011) 中的配合比设计方法进行试验配合比设计。为保证对比试验的有效性, 钢渣沥青混合料与玄武岩沥青混合料合成级配均按照规范规定中值进行设计, 详细数据见表 3。两组沥青混合料油石比均为 5.0%。

表3 两组沥青混合料合成级配

粒径 (mm)	通过率/%			
	级配上限	级配下限	钢渣沥青 混合料级 配	玄武岩沥青 混合料级配
19	100	100	100	100
16	100	100	100	100
13.2	100	90	97.0	97.3
9.5	85	68	74.9	74.6
4.75	68	38	44.4	44.3
2.36	50	24	30.9	29.4
1.18	38	15	21.7	21.4
0.6	28	10	15.0	15.9
0.3	20	7	11.1	11.0
0.15	15	5	8.3	7.7
0.075	8	4	6.4	5.7

2 试验方法及结果分析

试验参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)相关试验方法,利用马歇尔试验和车辙试验评价材料高温稳定性;利用浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验评价材料水稳定性;利用低温弯曲试验评价材料低温抗裂性。

2.1 高温稳定性

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)中的标准方法成型马歇尔试件与车辙试件,测定试件稳定度、流值与动稳定度。两组沥青混合料马歇尔试验与车辙试验结果如表4和表5所示。

表4 马歇尔试验结果

混合料	毛体积密度 (g/cm <sup>3</sup> )	稳定度 (kN)	流值 (mm)
钢渣沥青混合料	2.751	18.81	2.7
玄武岩沥青混合料	2.527	12.56	2.6

表5 车辙试验结果

类型	动稳定度 (次/mm)	平均值 (次/mm)	变异系数 (%)
钢渣沥青混合料	4200	4213	6.7
	4500		
	3938		
玄武岩沥青混合料	4200	4515	7.2
	4846		
	4500		

试验数据表明,钢渣沥青混合料稳定度较玄武岩沥青混合料提升约50%,而动稳定度较玄武岩沥青混合料有所降低,但相差不大。这说明钢渣沥青混合料具有良好的高温稳定性。分析原因,与玄武岩相比,钢渣的强度要高很多,压碎值有所提高,这使集料骨架有较高的抵抗外荷载能力;沥青粘附性相当保证了钢渣集料与沥青较好的粘结力。

2.2 水稳定性

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)中的标准方法成型马歇尔试件,然后分别进行浸水48h与冻融循环操作,测定试件残留稳定度与冻融劈裂强度比。两组沥青混合料浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验结果见表6和表7。

表6 浸水马歇尔试验结果

混合料	稳定度 (kN)	浸水后稳 定度(kN)	残留稳定 度
钢渣沥青混合料	18.81	17.16	91.0%
玄武岩沥青混合料	12.56	11.09	88.1%

表7 冻融劈裂试验结果

混合料	劈裂抗拉强度(MPa)		冻融劈裂 试验强度 比
	未受冻	受冻	
钢渣沥青混合料	1.251	1.041	83.2%
玄武岩沥青混合料	1.161	0.957	82.4%

试验数据表明,与玄武岩沥青混合料相比,钢渣沥青混合料浸水前后马歇尔稳定度绝对值和冻融前后劈裂强度绝对值提升约50%与10%;残留稳定度与冻融劈裂强度比也有所提升。这说明钢渣沥青混合料具有良好的水稳定性。分析原因,钢渣的沥青粘附性达到5级,与玄武岩相当,这使得水不易侵入钢渣与沥青之间;钢渣强度较玄武岩高很多,且表面存在孔隙、粗糙程度高,这使钢渣集料嵌挤能力提升很多,能够抵抗较大外荷载。

2.3 低温抗裂性

低温弯曲试验测定250mm×30mm×35mm棱柱型小梁试件在-10℃、加载速率为50mm/min条件下的破坏时弯拉强度、弯拉应变以及劲度模量。两组沥青混合料间接拉伸试验结果见表8。

试验数据表明,钢渣沥青混合料的弯拉强度、弯曲劲度模量、最大弯拉应变都较玄武岩沥青混合料有所提升。这说明钢渣沥青混合料能够承受更大的弯拉强度与弯拉应变,具有良好的低温抗裂性。分析原因,在级配、

沥青、温度相同的条件下，沥青混合料的低温抗裂性主要受沥青含量、集料、沥青粘附能力等因素影响。本试验两组混合料沥青含量相同，两种集料的沥青粘附性均为5级，合成级配近似，但钢渣强度与粗糙程度稍高，因此钢渣沥青混合料低温抗裂性较玄武岩有所提升。表8 间接拉伸试验结果

混合料	破坏时抗弯拉强度 (MPa)	破坏时弯曲刚度模量 (MPa)	破坏时最大弯拉应变 ( $\mu\varepsilon$ )
钢渣沥青混合料	5.99	2204	2719
玄武岩沥青混合料	5.57	2064	2699

### 3 工程应用

本项目于2022年8月，在南林高速（安阳-林州段）养护修复工程进行AC-13C钢渣沥青混合料试验段铺筑。施工后，项目参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20-2011）与《公路沥青路面设计规范》（JTG D50-2006）相关要求对试验段路面性能进行检测，检测结果见表9。

表9 试验段路面性能检测结果

试验点	渗水系数 (ml/min)	构造深度 (mm)	摩擦系数 BPN
1#	15	0.60	63
2#	10	0.57	62
3#	15	0.60	65
4#	20	0.65	70
技术要求	$\leq 100$	$\geq 0.55$	$\geq 50$

由表中数据可知，试验段路用性能指标满足规范要求。这表明钢渣沥青混合料能够代替玄武岩沥青混合料用于沥青面层施工。

### 4 结论

(1) 钢渣再生集料具有良好的物理力学性能，压碎值、磨光值、磨耗值与玄武岩集料相当。

(2) 与玄武岩沥青混合料相比，钢渣沥青混合料稳定度提升约50%，动稳定度相差不大。

(3) 钢渣沥青混合料的浸水残留稳定度、冻融劈裂

强度比均优于玄武岩沥青混合料，具有良好的水稳定性。

(4) 钢渣沥青混合料的抗弯拉强度、弯曲刚度模量、最大弯拉应变均较玄武岩沥青混合料有所提升。

(5) 根据试验段施工情况，钢渣再生集料可代替玄武岩集料用于高速公路沥青面层施工。

### 参考文献

[1]林志平,肖光书,杨斌等. AC-20全钢渣集料沥青混凝土路用性能试验研究[J]. 南昌大学学报(工科版), 2021, 43(4):354-359.

[2]李冷雪,陈萌,高颖,蔡艳霞.改性钢渣沥青混合料性能研究[J]. 公路交通科技, 2022, 38(3):33-37.

[3]沈凡,庞若楠,韦国苏,卢吉.掺钢渣再生沥青混凝土的制备及路用性能研究[J]. 中外公路,2020, 40(3):231-237.

[4]吴少鹏,廖卫东,薛永杰,朱继东.钢渣 SMA-13在武黄大修工程中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 25(12):113-115.

[5]齐广和.钢渣沥青混合料在乌鲁木齐市政道路工程中的应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2014, (3):122-124.

[6]李超,陈宗武,谢君,吴少鹏,肖月.钢渣沥青混凝土技术及其应用研究进展[J]. 材料导报 A:综述篇, 2017, 31(2):86-95.

[7]谢君. 钢渣沥青混凝土的制备、性能与应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学,2013.

[8]姜从盛,彭波,李春,等. 钢渣作耐磨集料的研究[J]. 武汉理工大学学报, 2001,23(4):14.

### 基金项目:

1.中国交通教育研究会 2022-2024 年度教育科学研究课题(项目编号:JT2022YB446)

2.2022 年度河南省科技攻关计划(项目编号:222102320443)

3.河南交通职业技术学院 2023 年度校级科研项目(项目编号:2023-ZDXM-008)

作者简介:王韶鹏(1987-)男,工程师,主要从事道路材料、岩土工程方面的研究。