

# 钢渣沥青混合料路用特性研究综述

严秋冬<sup>1</sup> 李宗才<sup>2</sup> 古丽妮孜尔·阿卜来提<sup>1,\*</sup> 谢腾毫<sup>1</sup> 谢留阳<sup>1</sup>

1. 新疆农业大学交通与物流工程学院 新疆乌鲁木齐 830000

2. 山东金朝工程检测有限公司 山东济南 250101

**摘要:** 钢渣作为沥青路面集料为钢渣的综合利用提供了一条较好的资源化途径, 本文总结了钢渣的物理力学性能、化学成分与物相组成、体积安定性, 以及钢渣沥青混合料配合比设计要点, 最后对比分析了钢渣沥青混合料和天然沥青混合料之间的路用特性以及功能特性, 并对未来钢渣沥青混合料路面在新疆地区的应用进行了展望。

**关键词:** 理化特性; 钢渣沥青混合料; 路用性能; 功能特性

## 引言

道路建设过程中会消耗掉大量的建筑材料, 其中大部分都是自然资源。作为主要的路面建造元素, 天然石材是我国公路系统的重要组成部分。截至2021年底, 全国公路网络规模已经扩大到528.07万公里, 其中高速路网长度达到了16.91万公里, 而维护保养路段则高达80多万公里/年。因此, 路面建设的压力与日俱增, 对于大量使用天然石材的需求也日益增长。然而, 这种大规模的使用不仅可能导致未来的资源短缺问题, 而且还会严重影响生态环境。新疆钢渣物理指标满足现行规范技术要求, 且优于该地区常规碎、砾石指标, 具有一定工程级配, 可作为路面结构层集料进行规模化应用, 并且经济生态效益显著。所以, 钢渣集料替代天然集料实现了废弃资源的再利用, 减少对天然集料的过度开采, 更有利于公路建设绿色发展。

## 一、钢渣的理化特性及混合料配合比设计

钢渣的形貌特征和天然石料存在区别且具有更好的物理力学性能。相比于玄武岩和石灰岩, 钢渣具有更高的密度、吸水率、磨光值以及更小的压碎值<sup>[1]</sup>。此外, 钢渣的针状含量和孔隙率也较石灰岩和玄武岩低。钢渣在形成过程中各部分材料的收缩性不同, 导致其总有效孔隙率最大, 表面孔隙较多且边缘多呈明显的凸起状,

棱角更丰富。邱怀忠<sup>[2]</sup>等人利用JSM-5610LV扫描电子显微镜(SEM)观测钢渣微观形貌, 发现其表面粗糙且含有许多不规则形状, 含有许多微小孔隙, 孔隙结构丰富。

钢渣多为高碱性材料, 钢渣的矿物成分主要包括Ca(OH)<sub>2</sub>、Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>、CaO、MgO等与酸性沥青的粘附性优于传统集料。通过使用X射线荧光光谱仪, 韦武举<sup>[3]</sup>等人在研究中确定了钢铁废料的主要化学成份及比例, 包括CaO、FeO、SiO<sub>2</sub>、MgO、MnO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>, 并指出这些物质中的镁、铁、硅、铝、锰、钙是其最基本的构成部分。卢发亮<sup>[4]</sup>等人的研究关注了出炉后六个月的济钢转炉钢渣的化学构成, 结果显示它的f-CaO含量达到了2.1%, 符合用于道路铺设材料的标准规定。

祁昊<sup>[5]</sup>等人采用不同比例的钢渣替代了AC-16玄武岩胶粉来改善沥青混合料中的粗集料(包括10~20mm、5~20mm、3~20mm三种规格)的路用性能。通过对比各种测试结果并应用灰靶决策理论, 最终得出以58%的比例代替AC-16玄武岩胶粉是优化沥青混合料中5~20mm粗集料的最优选择。申铁军<sup>[6]</sup>利用GTM法设计了SMA-13型钢渣沥青混合料并进行了性能检验和现场实测, 发现其路用性能良好, 与马歇尔设计方法相比, 混合料的体积参数和油石比有差异。刘明金<sup>[7]</sup>等人利用正交试验优化了钢渣替代部分石灰岩的沥青混合料AC-13的体积参数。通过使用剪切实验与拉拔测试, 邓玉训<sup>[8]</sup>等人在他们的研究中探讨了加入钢渣的碎石封层配方的优化问题。他们选取了两个粒度区间: 5~10mm及10~15mm, 并将其中的30%替换成钢渣来调整碎石填充物。结果表

**基金项目:** 新疆农业大学交通运输工程校级重点学科开放课题(XJAUTE2022G08)

**通讯作者:** 古丽妮孜尔·阿卜来提, 助教, E-mail: gulnigarablat@xjau.edu.cn

明,这种方法可以使碎石封层的剪切强度和拉拔能力达到最优状态。

## 二、钢渣沥青混合料的性能

李冷雪<sup>[9]</sup>等人通过车辙试验对石灰岩沥青混合物、钢渣沥青混合物及改良型的沥青混合物进行了研究。结果显示,相较于石灰岩沥青混合物,钢渣和改良型钢渣沥青混合物的动态稳定性能提升了83.5%和51.6%。同样地,李林峰<sup>[10]</sup>的研究也采用了不同的钢渣比例来取代4.75至9.5毫米范围内的碎石作为原料制造出了AC-13型的钢渣沥青混合物。他通过车辆行驶产生的车辙现象检测了各种钢渣含量下的沥青混合物的动态稳定性能,发现在初始阶段,随着钢渣含量的上升,其动态稳定性能逐渐提高,但在达到一定程度之后开始下降。当钢渣的比例达到了60%的时候,这种新型沥青混合物的动态稳定性能表现最佳(DS=5732次/mm)。

王坤<sup>[11]</sup>研究发现,AC-13钢渣沥青混凝土相较于SMA-13玄武岩沥青混合料的冻融劈裂强度比(TSR)高出4.43%,浸水残留稳定度高出13.01%;而SUP型沥青混合料则分别高出7.38%、3.08%。Chen Wei<sup>[12]</sup>的研究结果表明,当钢渣含量从0到75%逐渐提高时,SMA-13钢渣沥青混合料的水稳定性能呈现出先上升再下降的变化趋势。其中,75%含量的钢渣能使其水稳性能达到最佳状态,对比常规沥青混合料,提升了约7.39个百分点。陈伟<sup>[13]</sup>等人中实验结果表明,他们成功地制造出了包含五个不同比例钢渣的SMA-13型沥青混合物并进行了低温弯曲测试。结果显示,随著钢渣含量的提升,钢渣与沥青混合物的最大弯拉应力呈现出递减趋势,而低温抗裂能力也相应减少,然而这种变化幅度相对较小。根据李林峰<sup>[10]</sup>的研究可知,随着钢渣含量上升,低温抗裂特性逐步减弱,但在替换率低于80%的时候,所有性能参数都符合规定标准。

通过使用间接拉伸疲劳测试设备MTS,陈亚杰<sup>[14]</sup>等人在PAC-05钢渣、石料沥青混合物及PAC-13钢渣、石料沥青混合物上进行了抗疲劳特性实验。他们采用了应力控制的方式并以正弦加载波作为试验条件,结果显示当两种混合物的公称最大粒度相同时,钢渣组合的疲劳耐久程度大约是石料组的三分之二。宁黎磊<sup>[15]</sup>研究发现,沥青种类相同时,钢渣沥青混凝土(L-S型)相较于石灰石沥青混凝土(L型)和花岗岩沥青混凝土(L-G型),其疲劳寿命、动态劈裂回弹模量最高。陈改霞<sup>[16]</sup>基于钢渣沥青混合物(SAM)的弯曲疲劳试验,发现玄武岩

纤维(BF)的加筋、阻裂作用提高了SAM的疲劳寿命。

## 结论

新疆地域辽阔,交通基础设施建设需求大,钢渣沥青混合料的应用将有助于提高道路建设质量和使用寿命,降低道路维护成本。通过技术创新与政策扶持,可望实现钢渣处理工艺的升级,确保集料品质稳定,符合高等级道路建设标准。结合新疆特殊的地理气候考量,优化配合比设计,将提升混合料的耐候性和长期性能。建立完善的钢渣循环利用体系,结合地方政府的积极引导和市场机制,将促进钢渣沥青混合料的规模化应用,减轻对自然集料的依赖,推动绿色基础设施建设,实现环境与经济的双赢。此外,钢渣沥青混合料的广泛应用可以推动新疆钢铁行业和交通建设行业循环经济的发展,解决新疆首府周边钢铁企业产生的钢渣固废造成的占地和污染问题,加速钢渣资源化转型,为新疆乃至全国的可持续发展贡献力量。

## 参考文献

- [1] 刘焯. 钢渣粉基沥青混合料的性能评价与提升机理[J]. 山东大学学报(工学版), 2023, 53(01): 32-38+48.
- [2] 邱怀中, 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(01): 28-32.
- [3] 韦武举, 徐金玉, 郑炳锋等. 基于不同陈化工艺的水泥稳定钢渣基层试验研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2021, 45(06): 1169-1172+1178.
- [4] 卢发亮, 李晋. 济钢转炉钢渣沥青混合料路用性能研究[J]. 中外公路, 2013, 33(04): 259-263. DOI: 10.14048/j.issn.1671-2579.2013.04.068.
- [5] 祁昊, 郭莹莹, 王岚. 基于灰靶决策理论的钢渣沥青混合料最佳掺量研究[J]. 公路, 2023, 68(02): 265-273.
- [6] 申铁军. 基于GTM设计方法的钢渣沥青混凝土试验研究[J]. 内蒙古公路与运输, 2022(05): 18-22. DOI: 10.19332/j.cnki.1005-0574.2022.05.005.
- [7] 刘明金, 柯望, 李闯民. 掺钢渣沥青混合料AC-13配合比优化设计[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2021, 18(01): 24-32. DOI: 10.19951/j.cnki.cslgdxxbzk.2021.01.004.
- [8] 邓玉训, 张韬宇, 琚贵安等. 掺钢渣碎石封层的配合比设计与路用性能[J]. 筑路机械与施工机械化,

2019, 36 (06): 55-60.

[9]李冷雪,陈萌,高颖等.改性钢渣沥青混合料性能研究[J].公路交通技术,2022,38(03):33-37.DOI:10.13607/j.cnki.gljt.2022.03.006.

[10]李林峰.掺钢渣沥青混合料路用性能研究[J].西部交通科技,2022, No.174(01):34-36+69.DOI:10.13282/j.cnki.wccst.2022.01.010.

[11]王坤.钢渣沥青混凝土水稳定性能研究[J].现代交通技术,2021,18(06):12-16.

[12]Chen Wei,Wei Jincheng,Xu Xizhong,Zhang Xiaomeng,Han Wenyang,Yan Xiangpeng,Hu Guiling,Lu Zizhao. Study on the Optimum Steel Slag Content of SMA-13 Asphalt Mixes Based on Road Performance[J]. Coatings,2021,11(12).

[13]陈伟,韦金城,徐希忠等.不同钢渣掺量的沥青玛蹄脂碎石混合料路用性能[J].科学技术与工程,2022,22(21):9331-9338.

[14]陈亚杰,郑晓光.钢渣透水沥青混合料性能及应用研究[J].上海公路,2022, No.164(01):100-104+110+145.

[15]肖光书.AC-16钢渣沥青混凝土配合比与路用性能试验研究[J].路基工程,2021, No.219(06):123-130.DOI:10.13379/j.issn.1003-8825.202102017.

[16]宁黎磊.钢渣对沥青混凝土性能提升研究[J].湖南交通科技,2022,48(01):37-41+129.[1]

[17]陈改霞,尹艳平,罗要飞.玄武岩纤维对钢渣沥青混合料性能影响研究[J].硅酸盐通报,2022,41(02):657-666.DOI:10.16552/j.cnki.issn1001-1625.2022.02.013.