

压力处理技术对钢渣孔隙填充效果的影响

成娜¹, 赵之仲^{1*}, 王龙飞², 程道华¹

1. 山东交通学院交通土建工程学院, 山东 济南 250357; 2. 北京建筑大学土木与交通工程学院, 北京 102616

摘要:为解决钢渣孔隙率高、资源化利用效率较低等问题,提出一种微孔填充技术,基于气压驱动原理,优化钢渣孔隙内的气液置换过程,将水泥浆体高效稳定地注入钢渣微孔,在不同施压方式、施压时间、水灰比、试验温度和钢渣粒径下,测试钢渣填充后的质量增量,研究微孔填充技术对钢渣孔隙的影响规律。结果表明:随施压时间的增加,钢渣质量增量总体上增大,负压填充兼具安全与高效优势,在施压4 min时,负压填充的钢渣质量增量比正压增大20%,两种施压方式的最终填充质量趋于相同,约为0.45 g;水泥净浆的高黏度与较差的流动性使钢渣质量增量随水灰比的增大先减小后略增,水灰比为0.8时的钢渣质量增量为水灰比为2.0时的4.5倍;试验温度由25℃增至50℃会加速水泥水化团聚,钢渣质量增量减小37.5%,填充效率显著下降;钢渣粒径为>5~10 mm时填充效果最明显,质量增量为0.16 g。通过水泥产物填充钢渣孔隙,实现界面均质化,能显著降低孔隙率并提高气液置换效率。

关键词:微孔填充;正负压填充;孔隙率;质量增量

中图分类号:U416.216;U414

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2026)01-0080-07

引用格式:成娜,赵之仲,王龙飞,等.压力处理技术对钢渣孔隙填充效果的影响[J].山东交通学院学报,2026,34(1):80-86.

CHENG Na, ZHAO Zhizhong, WANG Longfei, et al. The influence of pressure treatment technology on the pore filling effect of steel slag[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2026, 34(1): 80-86.

0 引言

2024年我国粗钢产量为10.05亿t^[1],相应钢渣排放量约为1.45亿t。钢渣本身抗压强度及弹性模量较大,耐磨性能较好,常将其作为骨料代替碎石应用到道路建设中,但钢渣表面粗糙,孔隙率较高,对耐久性产生不利影响,限制了其应用效果^[2-4]。开展多孔钢渣改性研究,对提高钢渣资源化利用率、探索高值化利用途径具有重要的理论价值和工程意义^[5-8]。

当前关于钢渣微孔结构的功能化填充研究仍较匮乏,现有处置技术主要采用浸润式表面改性方法^[9-11]。传统浸润法依赖毛细作用,仅能实现钢渣表面孔洞的简单封堵,浸泡时间较长且填充率较低,未能充分开发利用钢渣自身丰富的多级孔隙结构特性,制约了将钢渣开发为高附加值功能材料(如吸附剂、储能载体)的规模化应用^[12-15]。现有方法大多通过薄膜涂层覆盖钢渣表面,本质上仍是将钢渣的表面孔隙视为亟待消除的缺陷。谢三元^[16]建立高压注浆模具仿真模型,揭示微孔树脂材料孔隙特性与注浆压力的关系,为工艺参数优化提供依据。张威等^[17]通过试验与理论分析,建立考虑孔隙壁面弯曲效应的二氧化硅-氮气吸附模型,揭示不同孔径材料的吸附特性与微孔填充机制。董从雷^[18]采用液体硅橡胶乳液

收稿日期:2025-05-13

基金项目:山东省自然科学基金面上项目(ZR2021ME207);山东省交通厅交通科技创新计划项目(2023B05-03)

第一作者简介:成娜(1999—),女,山东滨州人,硕士研究生,主要研究方向为交通基础设施建设,E-mail:2838364296@qq.com。

*通信作者简介:赵之仲(1978—),男,山东德州人,副教授,硕士研究生导师,工学博士,主要研究方向为路基路面工程、BIM技术等,E-mail:zhaozhizhong@sdjtu.edu.cn。

制备水包油型疏水涂料,浸泡处理钢渣后,改性钢渣表现为良好的疏水性和低膨胀率,与沥青的黏附性增强且水稳定性提高。王川^[19]采取两种表面改性剂处理钢渣后,钢渣的抗水侵蚀胀裂性能提高,且仍保持较好的力学性能。陈宗武^[20]采用有机硅树脂表面处治钢渣,有效填充钢渣表面孔隙以及碳化层外侧颗粒堆积形成的空隙,密封钢渣表面,有效阻止水分渗入,改善体积安定性。采用表面涂层材料或表面改性剂对钢渣集料进行喷涂或浸泡,可在钢渣表面形成一层疏水性薄膜,阻止水分及其他诱发反应的成分进入,同时改变钢渣的表面孔隙结构和表面状态^[21-25]。表面处治技术在建筑材料领域取得显著成果,但对钢渣开放孔隙的处理和深度利用的研究较少^[26]。

为提高钢渣骨料的稳定性及在道路工程中的利用率,本文基于钢渣的多孔结构,采用压力驱动填充浆体的方法,通过破坏气液接触界面的表面张力加速气液置换过程,研究施压方式、施压时间、水灰比及试验温度等因素对钢渣填充效果的影响,以期提高钢渣表层开放孔隙的填充效率,为压力注浆技术在工程上的推广应用提供理论支撑。

1 原材料与试验设计

1.1 试验材料

试验原材料为存储 1 a 以上的钢渣,取样分析结果如表 1 所示。钢渣的孔隙结构包括开放孔隙和封闭孔隙,通过压汞法试验分析,测得粒径为 5~10 mm 的钢渣孔隙率为 12.36%。采用普通硅酸盐水泥 P·O 42.5 作为填充材料,水泥试验结果及性能满足规范^[27]要求,如表 2 所示。钢渣的主要矿物成分与水泥水化产物同属硅酸盐体系,水泥水化会进一步激发钢渣的活性,界面处及孔隙内部形成更致密的结构。所用水源为济南市长清区的饮用水。

表 1 钢渣取样分析结果

取样 编号	质量分数/%					
	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	f-CaO	Fe ₂ O ₃
1	44.71	8.18	13.14	2.56	1.00	30.85
2	39.64	10.16	10.70	1.92	1.20	19.68

表 2 水泥各性能指标检测结果

项目	安定性/ mm	凝结时间/min		标准 稠度 用水量/ 量/%	比表面积/ (m ² ·kg ⁻¹)	细度 (80 μm 筛余)/%	密度/ (kg·m ⁻³)	养护 28 d 干缩率/%	耐磨性/ (kg·m ⁻²)	抗折强度/ MPa		抗压强度/ MPa	
		初凝	终凝							3 d	28 d	3 d	28 d
试验结果	3.7	163	465	26	380	4.2	3 215	0.05	2.3	4.8	9.6	20.8	45.7
指标要求 ^[27]	≤5.0	≥45	≤600	≤30	300~400	≤10.0	≈3 100	≤0.10	≤3.0	≥4.0	≥6.5	≥17.0	≥42.5

1.2 试验仪器

采用 500 mL 微型磁力反应釜,该反应釜为高温高压型(240 ℃,6 MPa),适用于非酸性环境。采用 SCJ-40T 无油隔膜真空压力泵提供可调节负压,负压范围为-0.08~0 MPa,正压范围为 0~0.10 MPa,最大空载流量为 40 L/min。采用 ZEISS Sigma 500 型扫描电镜(scanning electron microscope,SEM)检测钢渣填充前后的表面形貌和微观结构。

1.3 试验方法

1) 水泥净浆预制

按水灰比分别为 0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8 和 2.0 的配比,分别称取一定质量的水泥和水,采用搅

拌机慢搅 60 s, 搅拌速度为 (140 ± 5) r/min, 停 15 s, 用刮刀刮下叶片水泥净浆, 继续快速搅拌 120 s, 搅拌速度为 (285 ± 10) r/min, 取下搅拌桶, 用湿抹布覆盖试样留存备用。

2) 组合压力填充设备

称取 (100.00 ± 0.15) g 洗净并干燥后的钢渣 84 份 (总质量超出阈值时, 选择性替换部分颗粒, 确保填充前质量相同, 排除质量对填充效果的干扰。), 压力组 12 份, 水灰比组 7 份, 温度组 6 份, 粒径组 3 份; 为保证试验数据的可靠性、可重复性和统计有效性, 均制备并测试 3 个平行样本, 最终结果取此 3 个样本数据的平均值消除偶然误差。将称取的钢渣放入聚四氟乙烯内衬, 将搅拌均匀的水泥净浆倒入内衬并完全没过钢渣。将内衬放入反应釜, 采用外夹式桌钳夹嵌紧釜体, 并旋紧釜盖, 使反应釜密封。将反应釜置入加热套底座, 并通过硅胶气管连接无油隔膜真空压力泵上所需接口。

3) 施压填充钢渣表面孔隙

接通反应釜与压力泵电源, 设置磁力搅拌转速、加热温度与时间等参数, 按计划的施压时间开启压力泵, 并开启联通一侧的阀门。施压完成后关闭阀门和压力泵静置一定时间, 保持反应釜内部压力为 0.08 MPa, 静置期间不中断磁力搅拌与加热。在设计试验方案时, 设置不同施压时间, 分析其对试验的影响。

4) 清洗钢渣表面水泥附着

钢渣填充完成后, 取出内衬并移出内部钢渣, 将钢渣均匀平铺于孔径为 1.18 mm 的标准筛中, 将盛装钢渣的筛网整体浸入水池, 以缓流水冲洗钢渣, 且手动振荡筛网, 持续冲洗, 直至目视表面无灰色水泥净浆残留附着物后, 继续冲洗 2 min, 冲洗完成后烘干钢渣, 待钢渣恢复至室温, 保存备用。压力填充试验流程如图 1 所示。



图 1 压力填充试验流程

5) 计算钢渣填充孔隙质量

称量填充后钢渣的质量, 精确至 0.01 g。

1.4 试验组设置

设计参数包括施压力方式 (压力泵压力)、施压 (静置填充) 时间、水灰比、试验温度、钢渣粒径等。依照控制变量法, 每组试验设置单一自变量, 调整自变量获得钢渣质量增量的变化数据。

采用正压和负压两种方式, 改变试验的施压时间, 分析压力条件对试验的影响。施压时长试验方案中, 正、负压施压时间分别为 1、2、3、4、5、7、10 min 时, 无需静置; 正、负压施压时间分别为 20、30、40、50、60 min 时, 填充静置 10 min。钢渣粒径为 5~10 mm, 试验温度为 25 ℃, 水泥净浆水灰比为 1.0。

浆体的稠度、流动性等因素直接影响填充试验的填充时间与效果。为探究填充浆液的流动性对填充试验的影响, 在反应釜内衬中放置搅拌转子, 使水泥净浆保持动态搅拌状态, 避免发生离析现象, 同时采用不同水灰比的水泥净浆控制流动性。水泥净浆水灰比分别为 0.8、1.0、1.1、1.2、1.3、1.4、1.5、1.7、2.0, 施压 10 min, 钢渣粒径为 5~10 mm, 试验温度为 25 ℃, 填充静置 10 min。

试验温度、钢渣粒径等因素通过改变水化进程、浆体流动度、多孔介质孔隙率等试验条件也可能影响试验结果。设计试验温度分别为 25、35、50 ℃, 施压 10 min, 钢渣粒径为 5~10 mm, 水泥净浆水灰比为 1.0, 填充静置 10 min。设计钢渣粒径分别为 3~5 mm、>5~10 mm、>10~15 mm, 施压 10 min, 试验温度为 25 ℃, 水泥净浆水灰比为 1.0, 填充静置 10 min。

2 试验结果分析

2.1 施压方式与施压时间

不同正、负压施压时间下,水泥净浆填充钢渣前后质量变化如表3所示。钢渣负压填充质量增幅与施压时间的关系曲线如图2所示,增幅是指负压填充前后钢渣质量增量与负压填充前钢渣质量之比。

表3 不同施压时间下钢渣正负压填充前后质量变化

施压 时间/min	钢渣质量/g				钢渣质量增量/g		正负压填充钢渣 质量增量之差/g
	正压填充前	正压填充后	负压填充前	负压填充后	正压填充	负压填充	
1	100.00	100.09	100.10	100.20	0.09	0.10	-0.01
2	100.00	100.11	100.00	100.11	0.11	0.11	0
3	100.02	100.12	100.00	100.11	0.10	0.11	-0.01
4	100.00	100.10	100.00	100.12	0.10	0.12	-0.02
5	100.07	100.18	100.11	100.22	0.11	0.11	0
7	100.01	100.13	100.03	100.16	0.12	0.13	-0.01
10	100.00	100.15	100.03	100.19	0.15	0.16	-0.01
20	100.00	100.21	100.02	100.26	0.21	0.24	-0.03
30	100.02	100.33	100.01	100.34	0.31	0.33	-0.02
40	100.04	100.42	100.02	100.42	0.38	0.41	-0.03
50	100.01	100.45	100.03	100.47	0.44	0.44	0
60	100.05	100.50	100.01	100.46	0.45	0.45	0

由表3可知:随施压时间的增加,钢渣质量增量总体上增大;负压填充的效果明显优于正压填充,在相同施压时间下,负压填充的钢渣质量增量更大,填充效果更好。

由图2可知:可将钢渣填充分为缓慢增大阶段(0~5 min)、中期快速增大阶段(>5~40 min)、饱和阶段(>40 min)3个阶段。初期阶段施压时间较短,水泥浆体需克服孔隙内气压阻力建立连续渗流通道,渗流路径尚未完全贯通,单位时间内进入孔隙的浆体量有限,钢渣质量增幅较平缓。中期快速增大阶段,施压时间延长促进气液置换路径形成,置换效率随之提高,水泥浆体持续稳定渗入孔隙,单位时间填充量显著增多,钢渣质量增幅进入快速上升期;进入饱和阶段后,孔隙逐渐接近饱和,流体难以进入孔隙,质量增量趋于稳定,增加施压时间对填充量的影响较小,填充速率接近0。正负施压试验的最终质量增量趋于相同,约为0.45 g。在正负两种压力驱动下,钢渣表层开放孔隙的填充效率明显不同,施压4 min时,负压填充的钢渣质量增量比正压填充增大20%。传统浸润法耗时较长(数小时至数十小时),涂层法需多次施工,填充效率均较低;两种方法的改性剂多滞留表层,利用率较低,成本较高。气压驱动法显著缩短工时,并将水泥净浆最大化的填充到钢渣孔隙内,大幅减少浪费,填充效率显著提高。

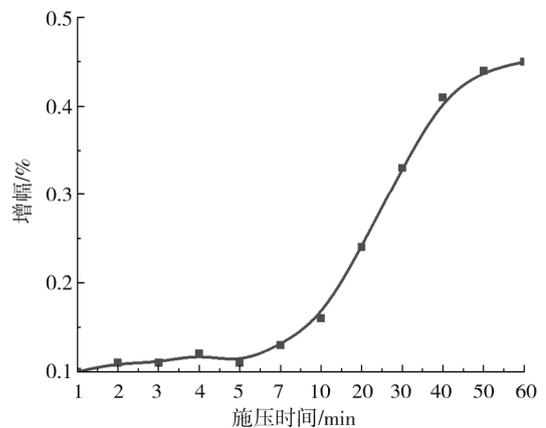


图2 钢渣负压填充质量增幅与施压时间的关系曲线

2.2 水灰比

改变水泥净浆的水灰比,控制填充浆体的流动性。钢渣质量增量随水泥净浆水灰比的变化见图3。

由图3可知:水灰比增大时,钢渣质量增量先减小后小幅增大再减小,水泥净浆的黏度减小,流动性显著增强;水灰比为0.8~1.2时,钢渣质量增量曲线的斜率变化最显著,水灰比为0.8时的钢渣质量增量是水灰比为2.0时的4.5倍。相同静置时间下,低水灰比的浆体有更多水泥颗粒留在孔隙内部,浆体的高黏度延长了颗粒悬浮时间,为颗粒在钢渣孔隙内部充分沉积并滞留创造条件。低水灰比下有限的水分加速了水泥早期水化,钢渣填充质量增大更明显;而高水灰比时,水泥净浆的流动性更好且黏度较低,可沉积水泥颗粒总量减少,水泥颗粒不能更多地进入和存留在钢渣表面较小的开放孔隙中,质量增量反而减小。

2.3 试验温度

试验温度对钢渣质量增量的影响如图4所示。

由图4可知:随试验温度升高,钢渣质量增量减小。温度从25℃增至50℃时,钢渣的质量增量减小37.5%;从25℃增至35℃时,质量增量减小25%;从35℃增至45℃时,质量增量减小8.3%,原因是试验温度影响水泥的水化反应速度,温度升高会加速水化进程,凝结时间缩短,更快形成团聚的水泥颗粒,难以进入以单颗粒形态能进入的孔隙,可填充孔隙减少,填充效率与填充效果降低。建议控制填充试验温度,尽可能避免出现水泥颗粒因团聚而无法填充进入较小孔隙的现象,以免降低填充效率。

2.4 钢渣粒径

钢渣粒径对钢渣质量增量的影响如表4所示。

由表4可知,钢渣粒径对钢渣质量增量的影响无明显的规律性。填充效果应与孔隙率直接相关,孔隙分布均匀的多孔材料粒径与其孔隙率有较强的相关性,改变材料的粒径直接影响其孔隙率,进而影响填充效率。钢渣孔隙在空间分布上不均匀,每组钢渣样品的孔隙率差别较大,钢渣粒径不再与其孔隙率强相关。

2.5 钢渣微观分析

采用扫描电镜扫描钢渣表面,得到填充前、后钢渣表面的形貌、微观结构信息,如图5所示。

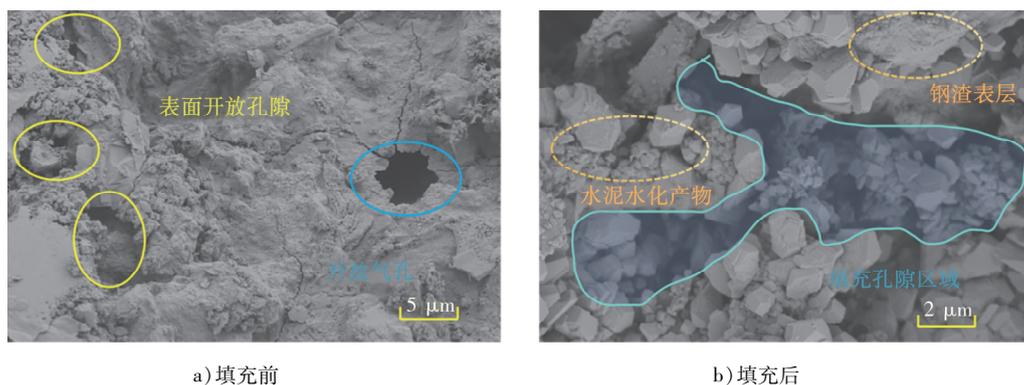


图5 填充前、后钢渣表面SEM图像

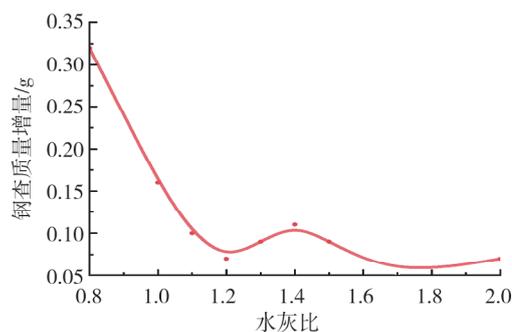


图3 水灰比对钢渣质量增量的影响

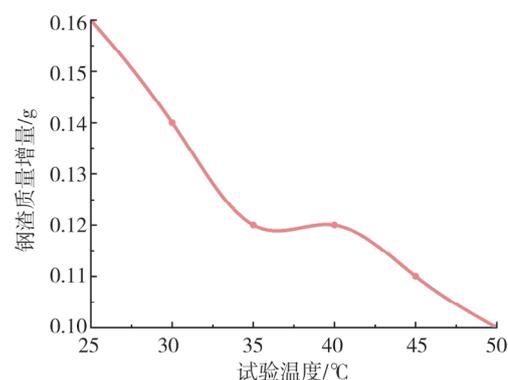


图4 试验温度对钢渣质量增量的影响

表4 不同钢渣粒径下的填充试验结果

钢渣粒径/mm	钢渣填充前质量/g	钢渣填充后质量/g	钢渣质量增量/g
3~5	100.00	100.10	0.10
>5~10	100.01	100.17	0.16
>10~15	100.68	100.80	0.12

由图5所示:未经填充处理的钢渣微观形貌较丰富,为典型的多级孔结构体系,钢渣表面形貌较粗糙,有较多开放孔隙和不规则的大气孔形态;水泥净浆填充处理的钢渣微观结构仍保持复合形貌的轮廓,水泥水化产物(主要为C—S—H凝胶及钙矾石晶体)通过渗透沉积机制选择性填充表面孔隙,形成梯度化复合界面层。填充过的钢渣表面开放孔隙显著减少,部分开放孔隙被水泥净浆封堵,多孔钢渣表面形成梯度覆盖层,实现孔隙入口钝化与界面均质化,表面更平整。通过压力填充处理,钢渣的孔隙率减小,气液置换效率提高。

3 结论

将钢渣与水泥净浆在一定压力下充分加热搅拌,研究钢渣在不同施压方式、施压时间、水灰比、试验温度、钢渣粒径等条件下的填充效果。

1) 负压填充效果显著优于正压填充。负压条件下,浆体渗透效率提高,施压4 min时,负压填充的钢渣质量增量比正压填充增大20%。钢渣质量增量与施压时间关系曲线整体呈3个阶段:缓慢增大阶段(0~5 min)、中期快速增大阶段(>5~40 min)、饱和阶段(>40 min)。两种施压方式的最终填充质量趋于相同,质量增量约为0.45 g。

2) 低水灰比(0.8~1.0)水泥净浆填充效果更优,静置填充10 min,水灰比为0.8时的钢渣质量增量是水灰比为2.0时的4.5倍。低水灰比浆体黏度高、流动性差,有利于颗粒滞留于孔隙内部;水灰比较高时,水泥颗粒的沉积量减少,水泥无法有效渗透并附着在钢渣的细小孔隙表面,钢渣质量增量减小。

3) 试验温度升高(25℃增至50℃)能加速水泥水化反应,导致颗粒团聚,较难以单颗粒形态进入孔隙,可填充的孔隙减少,填充效率与填充效果降低。试验温度为50℃时的钢渣质量增量比试验温度为25℃时减小37.5%;钢渣粒径对钢渣质量增量没有明显的规律性影响。

4) 通过钢渣表面的形貌、微观结构分析表明:原始钢渣呈多级孔结构和粗糙表面;经负压填充处理后,水泥水化产物填充部分孔隙,实现孔隙入口钝化与界面均质化,显著降低孔隙率,提高气液置换效率。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国2024年国民经济和社会发展统计公报[R/OL]. (2025-02-28)[2025-05-10]. HTML. https://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202502/t20250228_1958817.html.
- [2] 彭伟, 苏正, 王振杰. 钢渣综合利用研究现状[J]. 现代矿业, 2024, 40(2): 157-161.
- [3] 刁江, 谷文凤, 陶浩然, 等. 钢渣的一次处理技术及综合利用研究进展[J]. 中国粉体技术, 2025, 31(3): 168-178.
- [4] 郝以党, 王会刚, 吴龙, 等. 双碳目标下钢渣处理技术综述及展望[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(6): 67-73.
- [5] 符嘉成, 孙福华. 钢渣基多孔吸附材料的制备及在重金属废水处理中的应用研究[J]. 化学工程与装备, 2024(11): 14-17.
- [6] 孙式霜, 杨海娥. 钢渣粉替代水泥配制RPC的试验研究[J]. 山东交通学院学报, 2011, 19(3): 61-65.
- [7] 张林林. 钢渣沥青混合料体积膨胀性抑制机理与路用性能研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2024.
- [8] 龚磊, 秦拥军, 田元, 等. 冻融循环作用下沙漠沙钢渣混凝土损伤模型研究[J]. 金属矿山, 2025(3): 286-291.
- [9] 郝龙龙, 余涛, 关鹏. 钢渣集料表面改性及其在沥青混凝土中的应用[J]. 中国建材科技, 2023, 32(1): 106-110.
- [10] 刘明金, 邓卓浩, 柯望, 等. 4种钢渣表面处理技术的对比试验研究[J]. 公路与汽运, 2022(6): 49-54.
- [11] 陈萌. 聚合物表面改性钢渣及其混合料的性能研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2022.
- [12] 曹建宁, 高颖, 白良义. 表面改性处理对钢渣及其混合料性能影响研究[J]. 公路交通技术, 2022, 38(2): 1-6.
- [13] 李鑫. 陈化/表面处治工艺对钢渣及其沥青混合料性能影响研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2022.
- [14] 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.
- [15] ZHAO L, XIA Y R, FEI H L, et al. Modification effect and mechanism of steel slag using multiple interface modifiers based on stearic acid coupling agent[J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2025, 32(6): 1555-1567.
- [16] 谢三元. 陶瓷高压注浆模具性能分析与改进方法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2020.
- [17] 张威, 吴春梅, 涂为, 等. 多孔介质孔隙吸附填充过程与团聚演化机制研究[J]. 工程热物理学报, 2024, 45(12):

- 3587-3593.
- [18] 董从雷. 钢渣表面疏水膨胀抑制机理及混合料性能[D]. 南京:东南大学,2019.
- [19] 王川. 钢渣表面改性工艺及改性钢渣沥青混合料性能研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2018.
- [20] 陈宗武. 钢渣理化特性及其沥青混凝土性能研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2017.
- [21] 房延凤,王丹,王晴,等. 碳酸化钢渣及其在建筑材料中的应用现状[J]. 材料导报,2020,34(3):132-138.
- [22] 孙鹏飞,房延凤,刘存顺,等. 碳酸化预处理钢渣体积安定性和水化活性的影响[J]. 混凝土,2020(9):69-72.
- [23] LIU K Q, OSTADHASSAN M, KONG L Y. Fractal and multifractal characteristics of pore throats in the Bakken Shale [J]. *Transport in Porous Media*, 2019, 126(3):579-598.
- [24] 马骁,谢雪鹏,叶雄伟,等. 基于氮气吸附法的钙基地聚合物孔隙结构分形特征[J]. 材料导报,2019,33(12):1989-1994.
- [25] 陈诵英,孙子罕,丁云杰,等. 吸附与催化[M]. 郑州:河南科学技术出版社,2001.
- [26] 张威,吴春梅,涂为,等. 多孔介质孔隙吸附填充过程与团簇演化机制研究[J]. 工程热物理学报,2024,45(12):3587-3593.
- [27] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程: JTG 3420—2020[S]. 北京:人民交通出版社,2021.

The influence of pressure treatment technology on the pore filling effect of steel slag

*CHENG Na*¹, *ZHAO Zhizhong*^{1*}, *WANG Longfei*², *CHENG Daohua*¹

1. School of Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China;

2. School of Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102616, China

Abstract: To address the issues of high porosity and low resource utilization efficiency of steel slag, a micropore filling technology is proposed. Based on the principle of pneumatic driving, the gas-liquid replacement process within the pores of steel slag is optimized, allowing the cement slurry to be efficiently and stably injected into the micropores of the steel slag. The quality increment of the steel slag before and after filling is tested under different pressure application methods, pressure application times, water-cement ratios, experimental temperatures, and steel slag particle sizes, studying the impact of micropore filling technology on the porosity of steel slag. The results indicate that with an increase in pressure application time, the overall mass increment of the steel slag increases. Negative pressure filling offers both safety and efficiency advantages; at 4 minutes of pressure application, the mass increment of steel slag filled under negative pressure is 20% greater than that of positive pressure. The final filling quality of the two pressure application methods tends to be the same, approximately 0.45 g. The high viscosity and poor fluidity of the cement slurry cause the mass increment of the steel slag to initially decrease and then slightly increase as the water-cement ratio increases. When the water-cement ratio is 0.8, the mass increment of the steel slag is 4.5 times than that at a water-cement ratio of 2.0. Increasing the experimental temperature from 25 °C to 50 °C accelerates the hydration agglomeration of the cement, resulting in a 37.5% decrease in the mass increment of the steel slag and a significant reduction in filling efficiency. The filling effect is most pronounced when the steel slag particle size is >5-10 mm, with a mass increment of 0.16 g. By filling the pores of the steel slag with cement products, interfacial homogenization can be achieved, significantly reducing porosity and improving gas-liquid replacement efficiency.

Keywords: micro-pore filling; positive and negative pressure filling; porosity; mass increment

(责任编辑:王惠)