

引用格式: 韦锋, 寇月, 张飞, 等. 硅酸钠改性煤矸石粗骨料混凝土力学性能研究[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2026, 45(1): 51-56. [WEI F, KOU Y, ZHANG F, et al. Study on mechanical properties of sodium silicate modified coal gangue coarse aggregate concrete[J]. Journal of Yan'an University(Natural Science Edition), 2026, 45(1): 51-56.] DOI: 10.13876/J.cnki.ydnse.250125

硅酸钠改性煤矸石粗骨料混凝土力学性能研究

韦锋^{1,2}, 寇月¹, 张飞¹, 连子龙¹, 李月丹¹, 汪涵¹

(1. 榆林学院 建筑工程学院, 陕西 榆林 719000; 2. 西安理工大学, 陕西 西安 710048)

摘要: 为实现陕北地区水土污染防治与工业固废资源化利用的协同治理。采用不同浓度(6%、8%、10%)的硅酸钠溶液对煤矸石粗骨料进行浸泡改性, 并以100%质量替代率制备煤矸石粗骨料混凝土, 以提升其物理与力学性能。结果表明, 硅酸钠浓度对煤矸石的改性效果具有显著影响, 8%硅酸钠处理后的骨料综合性能最优。与未改性煤矸石混凝土相比, 8%硅酸钠改性煤矸石混凝土28 d后抗压强度和劈裂抗拉强度分别达到31.6和3.6 MPa, 提升幅度分别为24.9%和56.5%。随着硅酸钠浓度的提高, 煤矸石粗骨料的表观密度呈先增大后降低趋势, 而吸水率和压碎指标则先增大后减小。硅酸钠主要通过填充骨料中的孔隙与微裂缝, 有效改善煤矸石表面的疏松结构和粗糙形态, 使其表面结构更加致密。正是这一微观结构的优化, 促成了材料宏观力学性能的显著提升。该研究为煤矸石粗骨料的改性与应用提供了新的思路, 有助于提升其工程适用性。

关键词: 改性煤矸石; 硅酸钠; 力学性能; 微观结构

中图分类号: TU528 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-602X(2026)01-0051-06

陕北地区煤炭开采过程中产生了大量煤矸石, 其长期堆放不仅占用土地资源, 还可能导致水体污染和生态破坏, 已成为制约区域可持续发展的重要环境问题^[1-2]。为减轻煤矸石堆存带来的负面影响, 实现其资源化利用势在必行^[3]。与此同时, 随着天然骨料资源日益紧缺、部分地区甚至出现枯竭迹象, 建筑行业迫切需要寻找可替代的骨料材料。而聚改性煤矸石粗骨料的制备, 不仅为其规模化、高效利用提供技术路径, 并为建筑材料行业提供可行的资源替代方案。煤矸石通过分选、破碎、筛分等工艺加工成骨料, 可以有效缓解天然石材开采带来的资源危机, 同时也减少环境污染^[4]。煤矸石片状结构, 且在破碎筛分的过程中不免造成许多微裂缝, 导致作为粗骨料制备混凝土的力学性能过低,

影响其实用性^[5-7]。因此, 煤矸石可以通过化学方法来改善其结构缺陷, 提升其在混凝土中的力学性能和实用性。比如, 刘晓阳等^[8]采用钛酸酯偶联剂(NDZ-201)对煤矸石进行改性; 景宏君等^[9]通过机械化学方法改善煤矸石的表面与结构特性; 李少平等^[10]利用在混凝土中内掺硅灰的方式实现对煤矸石的改性; MA等^[11]通过高温煅烧处理煤矸石用于制备碱激发混凝土; 左震^[12]则采用水泥基材料对煤矸石进行强化处理。采用化学、机械或矿物掺合料等多种途径均可在不同程度上提升煤矸石的材料性能。

为提升煤矸石在混凝土中的资源化利用率, 本研究在已有化学改性方法的基础上, 针对煤矸石粗骨料改性研究仍存在方法分散、体系不够完善的问

收稿日期: 2025-10-30

基金项目: 国家自然科学基金地区基金项目(52368041); 陕西省教育厅地方专项计划(24JC092); 陕西省科技厅面上项目(2024JC-YBMS-442); 榆林市科技局产学研项目(2023-CXY-100, 2023-CXY-125)

作者简介: 韦锋(1981—)男, 教授, 主要从事矿区环境岩土工程。E-mail: wf_889@yulinu.edu.cn

题,采用硅酸钠溶液对煤矸石粗骨料进行改性处理,以期构建更加稳定、有效的改性途径。试验以 100% 的质量替代率制备煤矸石粗骨料混凝土,系统探究了硅酸钠浓度对骨料自身物理力学性能及其混凝土宏观力学性能的影响规律。并综合运用 SEM 和 XRD 微观测试手段,重点观测水泥水化产物与界面过渡区(ITZ)的微观结构演变,旨在从微观尺度揭示硅酸钠的改性机理,建立其与宏观性能增强之间的内在关联。本研究为煤矸石粗骨料的改性与应用提供了新思路,有助于提升其工程适用性,并在一定程度上缓解天然骨料紧缺带来的压力。

1 改性煤矸石混凝土试验方案

1.1 试验原材料

试验所用煤矸石采自陕北地区大海则煤矿,成分见表 1。水泥采用 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥;拌合水使用城市生活用水;粗骨料采用粒径为 2.5~10 mm 连续级配煤矸石,其中 2.5~5 mm 粒径占比 10%,5~10 mm 粒径占比 90%;细骨料采用天然河砂,含水率为 2.2%。改性剂采用工业级硅酸钠,细度模数为 2.8;减水剂采用聚羧酸系高效减水剂,减水率约为 25%。

表 1 煤矸石成分分析表

化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	其他
含量/%	57.8	24.6	5.35	1.32	6.45	4.48

1.2 煤矸石改性方案

改性溶液配制:分别配制质量浓度为 6%、8%、10% 的硅酸钠改性溶液,配制过程中采用电子天平(精度 0.1 g)精准称量硅酸钠固体与拌合水,搅拌至硅酸钠完全溶解后静置 30 min,消除溶液气泡。

煤矸石浸泡处理:将破碎筛分后的煤矸石骨料分别投入不同浓度的改性溶液中,各组改性溶液液面均高于骨料表面 5 cm,确保骨料完全浸没;浸泡期间每隔 5 h 搅拌 1 次,促进溶液与骨料表面的充分接触反应,浸泡总时长统一设为 24 h。

改性煤矸石干燥处理:达到设定浸泡时间后,将煤矸石从溶液中捞出,置于室内干燥通风处自然晾干,晾干过程中定期翻动骨料,避免局部潮湿导致结块。如图 1 所示,改性煤矸石粗骨料表面均匀覆盖一层白色薄膜,触感质地较原状煤矸石更粗糙,且因表面薄膜的黏结作用,在晾晒后期表现出轻微易结团特性。



A. 原状煤矸石

B. 硅酸钠改性煤矸石

图 1 改性前后的煤矸石外貌

1.3 改性混凝土配合比设计与试样制备

依据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55—2011)制备配合比设计 C30 普通混凝土,水灰比为 2:5,具体参数如表 2 所示。按设计配合比称量各原材料后进行均匀混合搅拌,采用坍落度筒法测试拌合物工作性,所有组别坍落度控制在 160±20 mm。随后将新拌混凝土浇筑至 100 mm×100 mm×100 mm 的钢模并振实成型。共设置 5 个试验组,每组制备 16 个立方体试块,试块成型后静置 24 h 脱模,并置于标准养护条件下养护至规定龄期。

表 2 混凝土配合比 单位:kg/m³

试件编号	水	水泥	砂	天然碎石	煤矸石	粉煤灰	减水剂
N	199	430	855	1 038	0	67	11
M	199	430	855	0	1 038	67	11
SM-6%	199	430	855	0	1 038	67	11
SM-8%	199	430	855	0	1 038	67	11
SM-10%	199	430	855	0	1 038	67	11

注:N、M、SM-6%、SM-8%、SM-10%分别表示天然骨料混凝土、原状煤矸石混凝土、经 6%、8%、10% 浓度硅酸钠改性的煤矸石混凝土。

1.4 改性混凝土物理力学特性试验

根据《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685—2022)标准,对 5 组试验所用粗骨料进行表观密度、吸水率和压碎指标测试;并基于 5 组试验所用粗骨料制备的立方体试块,按 GB/T 50081—2019 标准测试混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度,对比不同改性浓度的影响;结合 SEM 与 XRD 分析微观结构变化,揭示硅酸钠改性机理。

2 结果分析

2.1 改性煤矸石粗骨料的物理力学性能

对天然骨料及改性前后的煤矸石粗骨料进行了表观密度、吸水率和压碎指标测试,其结果如表 3 所示。煤矸石骨料经浓度为 6%、8%、10% 的硅酸钠

溶液改性后,其表观密度较未改性分别提升了3.2%、4.5%、2.7%;吸水率分别下降了21.5%、27.3%、14.0%;压碎值分别下降了35.9%、42.7%、32.0%。改性煤矸石虽未达到天然骨料物理力学性能,但不同浓度的硅酸钠溶液均对煤矸石骨料物理性能有一定的改善作用。这一改善主要得益于硅酸钠中化合物的水解过程,其产物氢氧化钠释放出的氢氧根离子可循环催化反应,持续推动进程;同时,硅酸钠中含有的 $[\text{SiO}_3(\text{OH})_2]^{2-}$ 结构单元,显著促进了硅酸根阴离子之间的缩聚速率^[13]。硅酸钠在煤矸石颗粒表面形成的胶结性物质,有效填充了表面孔隙,增强了颗粒间的黏结力,提升整体的密实度和抗破碎能力。

在不同浓度条件下,改性效果存在一定差异。6%浓度硅酸钠溶液所形成的膜层覆盖较为均匀,但可能因浓度较低导致交联密度有限,部分区域填充不完整;10%浓度溶液虽可提供更多成膜物质,但可能因缩合速率过快致使膜层出现微裂纹或结构疏松,反而影响其致密性;而适宜浓度的硅酸钠溶液(8%)水解成的硅酸胶凝填充并胶结了煤矸石骨料部分孔隙和裂缝,降低了煤矸石骨料的吸水率,使得水泥的水化反应更充分^[14],从而持久抑制水分侵入,提升煤矸石骨料在建筑领域中的实用性。

表3 改性煤矸石粗骨料物理力学性能指标

煤矸石	表观密度/(kg/m ³)	吸水率/%	压碎值/%
天然骨料	2 338	7.3	8.2
煤矸石骨料	2 147	12.1	20.6
SM-6%	2 215	9.5	13.2
SM-8%	2 243	8.8	11.8
SM-10%	2 206	10.4	14.0

2.2 改性煤矸石混凝土宏观力学性能

2.2.1 抗压性能

图2展示了不同浓度硅酸钠溶液改性的煤矸石混凝土试件的抗压强度测试结果。可以看出,各配合比混凝土的抗压强度均随养护龄期增加而显著增长。3 d龄期时,混凝土抗压强度较低,这主要源于水泥水化尚处于早期阶段,水化产物不足,浆体与骨料间界面黏结尚未充分形成^[15]。随着龄期增长至14 d,水泥水化的持续深入促使浆体结构日趋密实,强化了其与骨料间的黏结性能,从而共同推动了混凝土抗压强度的显著提升。至28 d龄期时,水化反应已趋于完全,微观结构更为致密,抗压强

度发展至最高水平。

在硅酸钠改性浓度对混凝土抗压强度的影响研究中,采用6%浓度硅酸钠改性时,混凝土14 d龄期的抗压强度为27.4 MPa,较M提高了11.8%。这主要是由于较低浓度的硅酸钠可较为均匀地覆盖于煤矸石骨料表面,发挥微填充作用,有效改善其表面鳞片状结构,提升骨料表面密实度,同时优化浆体-骨料界面结构,促进了混凝土的早期强度增长,这一强化作用最终体现为28 d龄期时,SM-6%抗压强度为29.6 MPa,较基准组提升了16.6%。

当硅酸钠改性浓度提升至8%时,SM-8%在28 d龄期的抗压强度为29.9 MPa,较基准组提高了24.9%。这主要源于该浓度下硅酸钠的微填充效应与 $[\text{SiO}_3(\text{OH})_2]^{2-}$ 活性得以更充分展现:一方面有效填充煤矸石内部孔隙,细化孔隙结构;另一方面,硅酸钠中含有的 $[\text{SiO}_3(\text{OH})_2]^{2-}$ 促使硅酸根阴离子发生缩聚反应,加速了煤矸石与胶凝材料的水化进程,有助于早期强度的提升。然而,当硅酸钠浓度进一步增至10%时,混凝土抗压强度出现下降,SM-10%在28 d抗压强度为27.3 MPa,较SM-8%降低了13.6%。这是由于过高浓度的硅酸钠易发生团聚,形成的大尺寸团聚体难以均匀分布,致使其不仅无法有效填充孔隙和增强界面,反而在内部形成薄弱区,造成孔隙率上升与结构密实度下降,最终对强度产生不利影响^[16]。

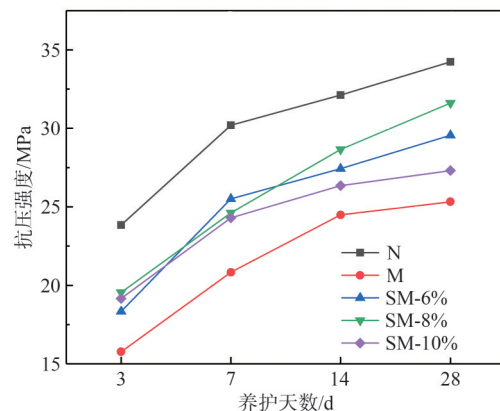


图2 改性的煤矸石混凝土试件的抗压强度

2.2.2 劈裂抗拉性能

图3对比展示了经不同浓度硅酸钠改性的煤矸石混凝土与基准组的劈裂抗拉性能结果。结果显示,该强度随龄期发展可分为三个阶段:3 d龄期时强度较低;至7 d进入快速发展期,增长率达到峰值,这主要源于水泥水化加速与界面粘接力显著增

强,从而大幅提升了抵抗变形的能力;14 d后增长率逐步放缓,至28 d时趋于稳定,表明内部结构已基本形成,水化反应趋于充分,抗拉性能进入稳定阶段。

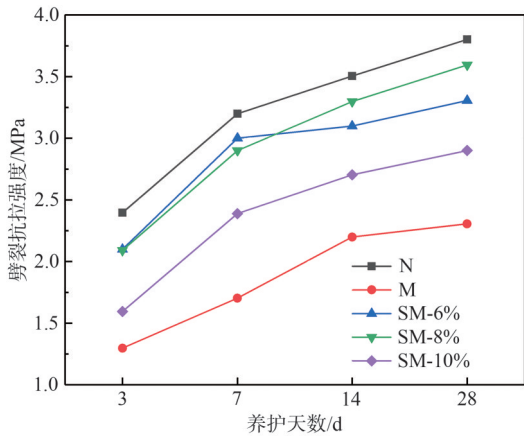


图3 改性的煤矸石混凝土的劈裂抗拉性能

在硅酸钠改性浓度对混凝土劈裂抗拉强度的影响研究中,SM-6%混凝土在3、28 d龄期的劈裂抗拉强度分别达到2.1、3.3 MPa,较M分别提高了61.5%和43.5%。这主要是由于硅酸钠附着于煤矸石表面,有效细化孔隙结构,减少大孔数量;但因浓度较低,其与煤矸石的交联密度有限,部分区域填充不充分,导致改性效果不及SM-8%。SM-8%混凝土在28 d时劈裂抗拉强度达到3.6 MPa,与N相当,较M提升56.5%。其原因在于适量硅酸钠浓度改性后可使煤矸石骨料内部孔隙和表面裂缝得到填充和修补,增强水泥浆体与骨料间的界面黏结强度,形成更牢固的界面过渡区,提高了骨料的密实度和强度,使得煤矸石混凝土的性能得到改善^[17]。

SM-10%混凝土在28 d的劈裂抗拉强度为2.9 MPa,虽相比于M有所提高,但均比SM-6%、SM-8%低,这是由于过量的硅酸钠因团聚在煤矸石骨

料表面形成覆盖层,削弱了界面黏结并导致ITZ增大。该薄弱区在弯曲荷载下易引发应力集中,成为裂缝萌生与扩展的起点,最终导致混凝土劈裂抗拉强度下降。

2.3 改性煤矸石混凝土微观结构特征

2.3.1 SEM分析

煤矸石混凝土改性前后SEM观测结果如图4所示。在未改性基准组中(图4A),煤矸石表面呈鳞片状疏松结构,界面区存在大量微裂纹与孔隙,致使黏结强度低而易破坏。当硅酸钠浓度为6%时(图4B),可观察到其表面鳞片结构减少,部分孔隙被填充,界面结构有所改善但附着效果仍不理想。随着硅酸钠浓度增加到8%(图4C),硅酸钠的填充效果更加明显,硅酸钠均匀地填充在煤矸石骨料表面,结构更为致密,微裂纹与孔隙显著减少,同时煤矸石骨料与水泥浆体间的界面黏结强度也得到大幅提升。水泥水化过程中产生的大量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与硅酸钠发生反应,生成硅酸钙凝胶,有效填充了煤矸石骨料表面的孔隙与裂缝;同时,硅酸钠可在骨料表面形成一层薄膜,改善其界面特性^[18]。硅酸钠溶液水解生成的硅酸凝胶能够有效填充并胶结煤矸石骨料内部的孔隙与裂缝,从而降低其吸水率,并为水泥水化反应的充分进行创造有利条件^[19]。如图5所示,附着于骨料表面的残余硅酸钠其水解产物可与水泥水化所产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 进一步反应,这一过程不仅加快了水化速率,同时生成的絮状水化硅酸钙(C-S-H)凝胶与针棒状钙矾石(Aft)晶体能够有效填充ITZ中的微观缺陷,增强骨料与胶凝基体间的结合力,进而提升界面区的密实程度并减小其厚度^[20]。在改性煤矸石混凝土制备过程中,煤矸石表面残留的硅酸钠与水泥浆接触后生成的C-S-H凝胶,也可促进水泥硬化,从而提升混凝土的早期强度。

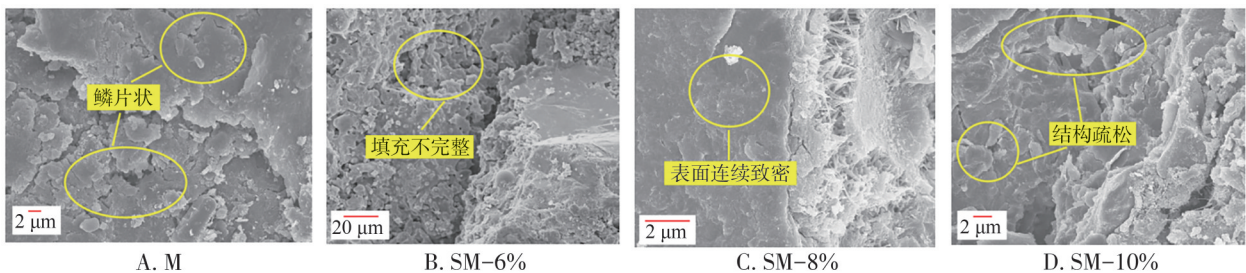


图4 不同浓度硅酸钠改性的煤矸石混凝土微观结构特征

2.3.2 XRD分析

为从化学角度揭示硅酸钠对煤矸石混凝土的改性机理,对养护28 d的N、M及SM-8%试样进行

了XRD分析,其水化产物的XRD图谱如图6所示。结合Jade软件^[21],各组物质主要为Aft、C-S-H、 SiO_2 、 CaCO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等。与未改性煤矸石混凝土

相比,改性煤矸石混凝土中AFt和C-S-H凝胶等水化产物的特征衍射峰强度显著增强,同时 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 特征峰明显减弱,这一现象揭示了浸泡改性工艺对混凝土水化过程的深度优化机制。从反应机理层面分析,通过浸泡处理的煤矸石粗骨料表面及孔隙中留存的硅酸钠在混凝土拌合与养护过程中持续释放,提供了碱性微环境,显著提升了ITZ的反应效率,释放的硅酸盐组分与水泥浆体中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生界面火山灰反应,加速了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的消耗并生成更多C-S-H凝胶;同时,溶出的铝酸盐组分与体系中的石膏及 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应促进了AFt在界面区的定向结晶。这种由表及里的活化效应不仅优化了 Ca_2SiO_4 等胶凝组分的水化进程,更通过改善骨料-浆体界面化学相容性显著提升了水化产物总量。结合SEM可见,改性组中煤矸石骨料边缘水化产物致密,C-S-H凝胶呈连续网状结构在界面区延伸发展,AFt晶体在孔隙中填充,骨料与浆体间ITZ结构实现从疏松多孔变为致密牢固。硅酸钠浸泡改性通过促进煤矸石混凝土中水化产物的生成,揭示了提升其宏观性能的作用机理,为相关应用奠定了理论基础。

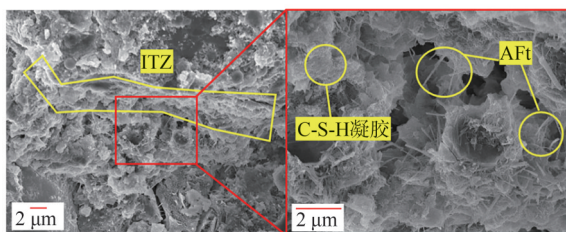


图5 改性煤矸石混凝土微观产物

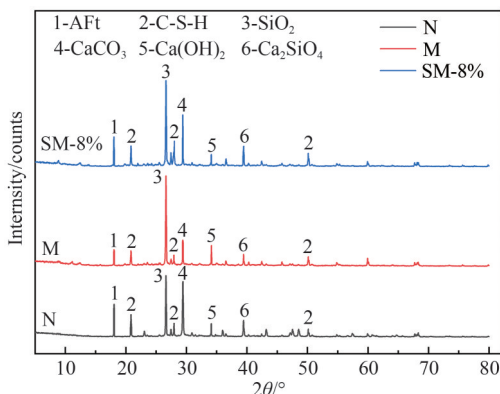


图6 水化产物XRD图谱

3 结论

1) 硅酸钠溶液可有效改善煤矸石粗骨料的物理性能,随着硅酸钠浓度的增大,煤矸石粗骨料的

表观密度呈先增大后降低的趋势,吸水率和压碎指标呈先增大后减小的趋势。

2) 采用浓度为8%的硅酸钠溶液改性煤矸石粗骨料,其混凝土抗压强度、劈裂抗拉强度均最佳,10%浓度的硅酸钠改性煤矸石相比于6%、8%浓度的硅酸钠改性效果下降。

3) 硅酸钠通过填充煤矸石的孔隙与微裂缝,使其表面结构实现致密化。这一微观结构的改善是材料宏观力学性能显著增强的直接原因。

参考文献:

- [1] 仲国龙, 邓小伟, 房朝军, 等. 煤矸石资源化利用现状及发展趋势[J]. 煤炭学报, 2025, 50(S2): 1153-1168.
- [2] 史全林, 龙力华, 杨前, 等. 煤矸石在绿色矿山建设中的规模化利用技术研究进展[J]. 煤田地质与勘探, 2025, 53(3): 113-125.
- [3] GAO S, ZHANG S M, GUO L H. Application of coal gangue as a coarse aggregate in green concrete production: a review[J]. Materials, 2021, 14(22): 6803.
- [4] 朱磊, 古文哲, 何志伟, 等. 煤矸石综合利用现状及高值化利用途径探索: 以中国中煤能源集团有限公司为例[J]. 煤炭科学技术, 2025, 53(6): 104-124.
- [5] 李先海, 程伟, 韦世琪, 等. 贵州某煤矸石矿物学特征及胶凝活性激发研究[J]. 非金属矿, 2021, 44(6): 1-4.
- [6] 王亮, 王志伟. 煤矸石细骨料混凝土强度及耐久性能研究[J]. 混凝土, 2018(3): 153-155.
- [7] 白国良, 吴斌, 刘瀚卿. 煤矸石骨料特征对混凝土损伤演化的影响机理研究[J]. 建筑结构学报, 2025, 46(12): 244-254.
- [8] 刘晓阳, 马扶宸, 樊东焱, 等. 煤矸石的表面改性及对复合材料性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(4): 15-20.
- [9] 景宏君, 郭美蓉, 单俊伟, 等. 硅灰改性全煤矸石粗骨料混凝土力学性能和微观结构研究[J]. 功能材料, 2025, 56(2): 2018-2027.
- [10] 李少平, 单俊伟, 刘小芹, 等. 低温环境下硅灰改性煤矸石混凝土孔隙结构演变[J]. 硅酸盐通报, 2024, 43(9): 3262-3272.
- [11] MA H Q, ZHU H G, WU C, et al. Study on compressive strength and durability of alkali-activated coal gangue-slag concrete and its mechanism[J]. Powder Technology, 2020, 368(1): 1-12.
- [12] 左震. 煤矸石粗集料强化及对混凝土力学性能的影响[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2022.
- [13] 王聪. 碱激发胶凝材料的性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [14] 肖前慧, 曹学明, 秦卿, 等. 化学溶液改性煤矸石粗骨料

- 混凝土强化机理研究[J]. 混凝土, 2025(7): 140-144+151.
- [15] 李少伟, 周梅, 张莉敏. 自燃煤矸石粗骨料特性及其对混凝土性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2020, 23(2): 334-340+380.
- [16] 司政, 司智博, 黄灵芝, 等. 改性再生混凝土力学性能的试验研究[J]. 建筑科学, 2022, 38(11): 82-89.
- [17] LIU X Y, XIE X, LIU R D, et al. Research on the durability of nano-SiO₂ and sodium silicate co-modified recycled coarse aggregate (RCA) concrete [J]. Construction and Building Materials, 2023, 378: 131185.
- [18] 李建新, 谢朵超, 周双喜, 等. 工程渣土再生粗骨料表面改性及抗碳化研究[J]. 水泥, 2025(6): 79-84.
- [19] 王二成, 于莲皓, 姜新佩, 等. 化学溶液预处理再生粗骨料对再生混凝土改性的影响[J]. 硅酸盐通报, 2022, 41(12): 4310-4317+4323.
- [20] 达则晓丽. 废弃混凝土再生骨料表面改性的强化试验[J]. 科技资讯, 2023, 21(8): 87-90.
- [21] ZHAO G W, GUO M Z, CUI J F, et al. Partially-exposed cast in-situ concrete degradation induced by internal-external sulfate and magnesium multiple coupled attack [J]. Construction and Building Materials, 2021, 294: 123560.
- [责任编辑 张 香]

Study on mechanical properties of sodium silicate modified coal gangue coarse aggregate concrete

WEI Feng^{1,2}, KOU Yue¹, ZHANG Fei¹, LIAN Zilong¹, LI Yuedan¹, WANG Han¹

(1. Architectural Engineering Institute, Yulin University, Yulin 719000; 2. College of Water Resources and Hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: To achieve the coordinated management of water and soil pollution prevention and control and industrial solid waste resource utilization in the northern Shaanxi region, coal gangue coarse aggregates were modified by soaking in sodium silicate solutions of different concentrations (6%, 8%, and 10%), and coal gangue coarse aggregate concrete was prepared with a 100% mass replacement rate to enhance its physical and mechanical properties. The results show that the concentration of sodium silicate has a significant impact on the modification effect of coal gangue. The comprehensive performance of the aggregates treated with 8% sodium silicate is the best. Compared with the unmodified coal gangue concrete, the 28-day compressive strength and splitting tensile strength of the 8% sodium silicate-modified coal gangue concrete reached 31.6 and 3.6 MPa, respectively, with increases of 24.9% and 56.5%. With the increase in sodium silicate concentration, the apparent density of the coal gangue coarse aggregates first increases and then decreases, while the water absorption rate and crushing index first increase and then decrease. Sodium silicate mainly fills the pores and micro-cracks in the aggregates, effectively improving the loose structure and rough morphology of the coal gangue surface, making it more compact. It is this microstructure optimization that leads to a significant improvement in the macroscopic mechanical properties of the material. This study provides a new approach for the modification and application of coal gangue coarse aggregates, which is conducive to enhancing their engineering applicability.

Key words: modified coal gangue; sodium silicate; mechanical properties; microstructure