

钢渣碳化及其对水泥砂浆性能影响的试验研究

栾宁, 殷鸣, 陈堃, 张航通, 朱宇超

(国网江苏省电力有限公司南京供电分公司, 江苏 南京 210000)

[摘要] 冶金工业和水泥工业是全球 CO₂ 排放的主要行业, 面临着巨大的“碳减排”挑战。钢渣是冶金工业产生的大宗固体废弃物, 在富 CO₂ 的环境下具有较高的碳化反应活性。本文以钢渣为主要原料, 研究钢渣在常温常压下的碳捕集能力, 制备了用于水泥行业的碳化钢渣掺合料, 并探索了其在水泥砂浆流动度、力学强度和微结构的影响。结果表明, 钢渣可在常温常压下捕集 CO₂, 钢渣的碳化增重最高可达 9.11%, 表明每吨钢渣可捕集约 90 kg CO₂; 经过碳化处理的钢渣由于表面形成了多孔碳化产物, 吸水率会增加, 因此会对水泥砂浆的流动度有一定的影响; 掺有碳化钢渣的水泥基材料结构更为致密, 水泥砂浆后期力学强度优于掺有未碳化钢渣的水泥基材料, 并且碳化增重率越高, 水泥砂浆的 28 d 抗压强度也越高。

[关键词] 钢渣; 碳捕集; 掺合料; 流动度; 力学强度; 碳化; 水泥; 固体废弃物

[中图分类号] TF4; X756 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2023)01-0107-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.01.014

0 引言

冶金工业和水泥工业是全球二氧化碳排放的主要行业^[1-2]。对于冶金行业来说, 将生产过程中排放的二氧化碳捕集、再利用是必由之路。对于水泥行业来说, 使用粉煤灰、矿渣微粉、石灰石等不同类型的辅助胶凝材料替代水泥熟料是减少水泥生产中 CO₂ 排放最直接、有效的途径, 并且优质的掺合料掺入水泥还可以改善水泥基材料的性能^[3]。因此, 探索能够捕集二氧化碳并再利用到水泥行业中的新型掺合料具有越来越重要的意义。

钢渣是冶金行业产生的大宗固体废弃物, 其产量占钢铁总产量的 15% ~ 20%^[4], 但利用率很低, 通常作为固体废弃物填埋或露天堆放, 我国钢渣累计堆存量超过 11 亿 t^[5], 这不仅占用了土地资源, 而且由于钢渣的高碱性和有害金属易浸出性, 严重影响

响自然环境和对人类健康造成了严重危害, 亟需开发新技术对钢渣进行环保资源化利用。从组成上来看, 钢渣可作为掺合料替代部分水泥, 但钢渣潜在安定性不良、水化活性低制约了其用作掺合料。钢渣中的含钙矿物如游离 CaO、硅酸钙等在富 CO₂ 的环境下具有较高的碳化反应活性^[6-8], 因此大多数学者将其用来封存 CO₂ 并制备建材制品, 如钢渣骨料、钢渣砖、钢渣混凝土等^[9-11]。针对冶金工业, 也有学者使用钢渣捕集高炉煤气中的 CO₂, 如李玲玲等^[12]以精炼渣为原材料制备了用于捕集高炉煤气中 CO₂ 的钙基材料, 该材料在 400 °C 时对高炉煤气中 CO₂ 的吸附量可达 19.1 mg/g。孔祥辉等^[13]研究了转炉钢渣在不同温度下对模拟高炉煤气中 CO₂ 的吸附能力, 结果表明, 在 550 °C 时每公斤转炉钢渣可吸附 7.062 g 二氧化碳。但是, 目前关于钢渣在常温常压下捕集 CO₂ 鲜有报道, 碳化钢渣用作水泥掺合料的研究较少。

本试验以钢渣为主要原料, 制备用于水泥行业的碳化钢渣掺合料, 研究钢渣在常温常压下捕集 CO₂ 的能力及其对水泥砂浆性能的影响。研究将为利用钢渣制备水泥工业用掺合料提供新途径, 也为利用冶金固废固化 CO₂、降低冶金行业碳排放提供技术参考和理论支撑。

[收稿日期] 2022-07-23 [修订日期] 2022-08-31

[录用日期] 2022-09-02 [出版日期] 2023-02-28

[作者简介] 栾宁(1978—), 男, 江苏南京人, 硕士, 高级工程师, 主要从事碳排放管理、碳捕集与利用、营销管理、信息化建设研究方面的工作。

[基金项目] 国家电网有限公司科技项目资助(J2021192)。

[引用格式] 栾宁, 殷鸣, 陈堃, 等. 钢渣碳化及其对水泥砂浆性能影响的试验研究[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(1): 107-113.

1 试验

1.1 原材料

钢渣为江苏某钢铁厂提供,化学组成见表 1,钢

渣中主要含有 CaO、SiO₂、Fe₂O₃,还有少量的 MgO、Al₂O₃、MnO;水泥选用 P·Ⅱ 52.5 级,化学组成见表 1;二氧化碳为市售 99.9% 浓度的工业气体;标准砂为市售厦门艾思欧牌标准砂。

表 1 钢渣和水泥的化学组成(质量占比)

Table 1 Chemical compositions of steel slag and cement

原料	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	%
钢渣	38.23	18.92	9.62	15.75	6.81	1.79	0.12	0.05	3.55	3.26
水泥	62.04	20.84	5.23	3.70	1.67	—	0.19	0.75	—	1.82

1.2 试验方法

取 300 g 钢渣(比表面积约为 296 m²/kg,记为 SS)加入烧杯中,再加入 900 g 水,即液固比为 3:1,持续搅拌的同时通入浓度为 99.9% 的 CO₂,气体流量维持在 500 mL/min,试验在常温常压下进行。碳化 20 min 后将浆液抽滤,抽滤后的固体在 105 ℃ 下烘干 2 h,最后在行星式球磨机中粉磨 5 min,制得碳化钢渣掺合料,记为 CSS1。在相同试验条件下,将钢渣分别碳化 60 min、120 min,而后粉磨制得不同的钢渣掺合料,分别记为 CSS2、CSS3。另外,取比表面积约为 450 m²/kg 的钢渣粉在相同碳化条件下碳化 60 min,而后粉磨制得钢渣掺合料,记为 CSS4。

1.3 表征与测试

1) 钢渣粉碳化前后的矿物组成。采用日本理学公司生产的 D/max-2500 X 射线衍射仪(XRD)测定钢渣碳化前、后的矿物组成。

2) 钢渣粉的微观形貌。将未碳化的钢渣和碳化 60 min 的钢渣使用树脂固化后进行抛光处理,抛

光后的样品采用日本奥林巴斯公司生产的 OLS4000 激光共聚焦显微镜观察样品的微观形貌。

3) 钢渣粉的碳化增重率。钢渣粉的碳化增重率按照式(1)计算。

碳化增重率 = $(M_1 - M_0) / M_0$ (1)

式中:M₀为钢渣碳化前的重量;M₁为钢渣碳化烘干后的重量。

4) 水泥砂浆流动度及力学性能测试。对比组为纯水泥组(PC),分别将未碳化钢渣(SS)、CSS1、CSS2、CSS3、CSS4 以 30% 质量分数掺入水泥中并混合均匀。分别取各样品 450 g,各组试样按照水灰比 0.5、胶砂比 1:3 搅拌(试验配合比见表 2),参照《水泥胶砂流动度测定方法》(GB/T2419—2005)测试各组砂浆的流动度。砂浆成型 1 d 后脱模,在温度 20 ± 1 ℃,相对湿度不低于 90% 的环境下养护至指定龄期取出,参照《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 17671—1999)测试砂浆试件的抗折和抗压强度。各样品制备的水泥砂浆编号记为 PC、CSS、CCSS1、CCSS2、CCSS3、CCSS4。

表 2 水泥砂浆试验配合比

Table 2 Design of mix proportion of cement mortar

样品编号	水泥	SS	CSS1	CSS2	CSS3	CSS4	水	砂子
PC	450	—	—	—	—	—	225	1 350
CSS	315	135	—	—	—	—	225	1 350
CCSS1	315	—	135	—	—	—	225	1 350
CCSS2	315	—	—	135	—	—	225	1 350
CCSS3	315	—	—	—	135	—	225	1 350
CCSS4	315	—	—	—	—	135	225	1 350

5) 掺钢渣的水泥基材料微结构测试。为研究钢渣对水泥基材料微结构的影响,分别取未碳化的钢渣和碳化 60 min 的钢渣以 30% 的质量分数掺入

水泥中,以水灰比 0.3 制备成净浆试件(试验配合比见表 3)。净浆成型 1 d 后脱模,在温度 20 ± 1 ℃,相对湿度不低于 90% 的环境下养护至 28 d 龄期取

出,取出后的样品立即浸泡在无水乙醇中终止水化。终止水化后的样品在 50 ℃ 下真空干燥 24 h 并使用扫描电镜观察样品的微观形貌。

表 3 水泥净浆试验配合比

Table 3 Design of mix proportion of cement paste

样品编号	水泥	SS	CSS2	水
CSS	280	120	—	120
CCSS2	280	—	120	120

2 结果与分析

2.1 钢渣碳化前、后的矿物组成

图 1 给出了未碳化钢渣和碳化钢渣的矿物组成。结果表明,未碳化钢渣含有硅灰石、硅酸钙、游离氧化钙、方镁石等矿物相。经过碳化后属于硅灰石、硅酸钙、游离氧化钙的衍射峰明显降低,出现了碳酸钙的衍射峰。并且随着反应时间的延长,碳酸钙的衍射峰明显升高。XRD 测试结果表明,钢渣中的硅酸钙、游离氧化钙等均能被碳化,并且生成碳酸钙。碳化过程中发生的主要化学反应见式(2)~(5)^[4]。

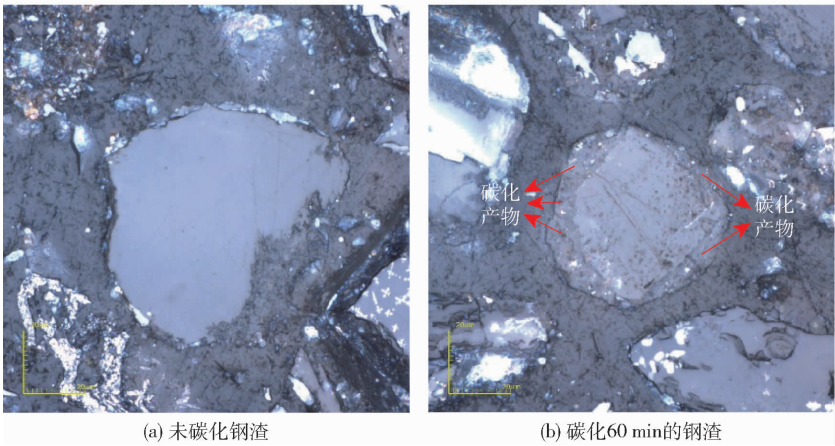
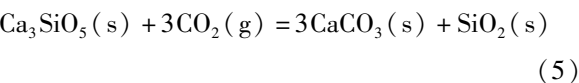
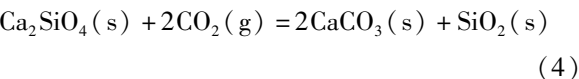
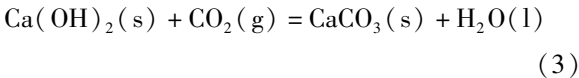
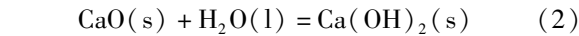


图 2 钢渣碳化前、后的微观形貌

Fig. 2 Micro-morphology of steel slag before and after carbonation

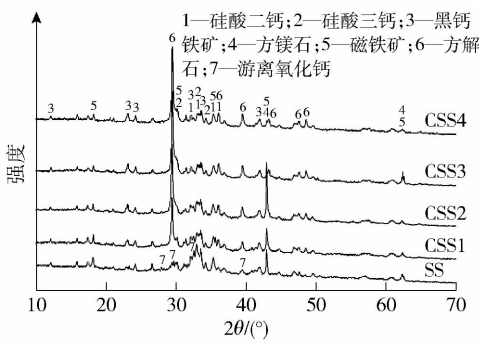


图 1 钢渣碳化前、后的矿物组成

Fig. 1 Mineral compositions of steel slag before and after carbonation

2.2 钢渣粉碳化前、后的微观形貌

图 2 给出了未碳化钢渣和碳化 60 min 钢渣的微观形貌。由图 2(a)可以看出,未碳化钢渣颗粒整体较为致密,边缘清晰完整。由图 2(b)可以看出,钢渣经过 60 min 碳化后其边缘生成了一圈碳化产物,该碳化产物相较于内部颜色不同且结构变得疏松,结合 XRD 测试结果可知,该产物为钢渣碳化后生成的碳酸钙。原因在于,向浆液中通入二氧化碳后,会生成大量的碳酸根,此时钢渣中的含钙矿物如游离氧化钙、硅酸钙等溶解并释放大量钙离子,钙离子会与碳酸根反应生成碳酸钙^[14-15]。

2.3 钢渣粉的碳化增重率

图 3 为不同碳化时间和钢渣初始比表面积对钢渣粉碳化增重率的影响。由图可知,随着碳化时间和钢渣初始比表面积的增加,钢渣的碳化增重也随之增加。碳化 60 min 的钢渣碳化增重率比碳化

20 min 的增加了 2 倍多,这是因为随着碳化时间的增加,钢渣中的含钙矿物持续溶解并与溶液中的碳酸根反应生成大量碳酸钙。在碳化 60 min 后,钢渣的碳化增重率增长幅度减缓,这是因为钢渣在经过一定时间的碳化后,其表面会生成大量的碳化产物碳酸钙将原有的颗粒包裹住(图 2),当碳酸钙完全包覆住颗粒后,内部的可碳化组分很难再溶出,使得碳化效率逐渐降低。钢渣初始比表面积也会影响钢渣的碳化增重率,在相同的碳化条件下,比表面积约为 $450 \text{ m}^2/\text{kg}$ 的钢渣(CSS4)碳化增重率比 CSS2 增加了 20.8%。这是因为钢渣比表面积越大,粒径越小,与浆液中碳酸根接触的面积就越大,反应则更迅速、更充分^[16]。由于钢渣增重主要是因为与二氧化碳反应生成碳酸钙,因此可用钢渣的碳化增重率评价二氧化碳捕集量,在本试验条件下钢渣最大碳化增重率为 9.11%,表明每吨钢渣可捕集约 90 kg 二氧化碳。

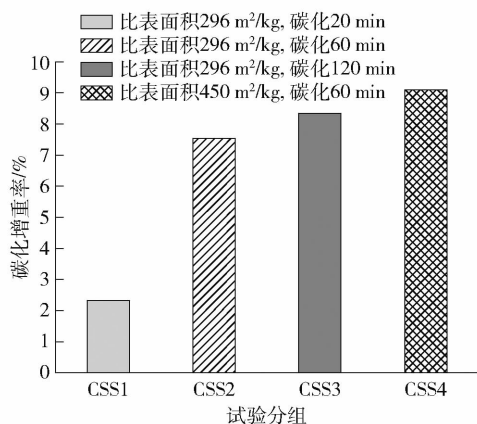


图 3 不同碳化条件对钢渣粉碳化增重率的影响

Fig. 3 Influence of different carbonation conditions on the carbonation weight gain rate of steel slag powder

2.4 碳化钢渣对水泥砂浆流动度的影响

分别将不同碳化增重的钢渣 150 g 掺入 350 g 水泥中,在温度为 $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度不低于 50% 的实验室中进行标准稠度用水量测定。图 4 给出了不同碳化增重钢渣掺入水泥后对水泥标准稠度用水量的影响。可以看出未碳化钢渣几乎不影响水泥的标准稠度用水量,而随着碳化增重率的升高,掺有碳化钢渣的水泥标准稠度用水量呈现逐渐增加的趋势,CSS4 组标准稠度用水量较 SS 组高了 0.044。这是因为钢渣经过碳化后会生成疏松多孔的碳化产物,增大比表面积^[14],使得吸水率增加,并且碳化增

重率越大,生成的碳化产物越多,吸水率越大。图 5 给出了不同碳化增重钢渣掺入水泥后对水泥砂浆流动度的影响。由图可知,纯水泥砂浆的流动度为 229 mm,将未碳化的钢渣 SS 掺入水泥后对砂浆的流动度影响不大。但是,将碳化后的钢渣掺入水泥后则会影响砂浆的流动度,并且水泥砂浆流动度与钢渣的碳化增重呈负相关,即钢渣碳化增重越大,其标准稠度用水量越高,对水泥砂浆流动度的影响越大。

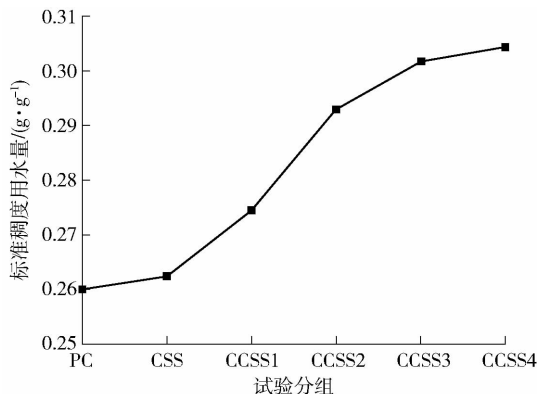


图 4 不同碳化增重钢渣粉对水泥标准稠度用水量的影响

Fig. 4 Influence of steel slag powder with different carbonation weight gains on the water requirement of cement normal consistency

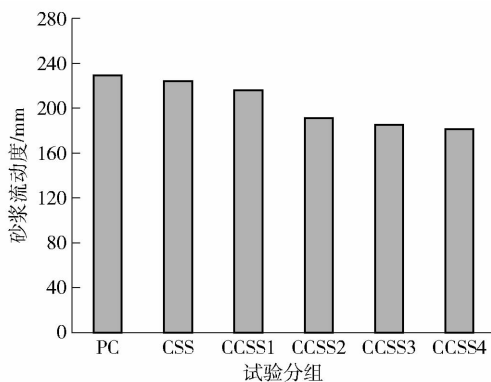


图 5 不同碳化增重钢渣粉对水泥砂浆流动度的影响

Fig. 5 Influence of steel slag powder with different carbonation weight gains on the fluidity of cement mortar

2.5 碳化钢渣对水泥砂浆力学性能的影响

分别将未碳化钢渣和不同碳化增重钢渣以

30% 质量分数掺入水泥中并混合均匀, 分别取各样品 450 g, 按照水灰比 0.5、胶砂比 1:3 搅拌制备试样 (试验配合比见表 2)。砂浆成型 1 d 后脱模, 在温度 20 ± 1 °C, 相对湿度不低于 90% 的环境下养护至指定龄期并测试砂浆试件的力学强度。图 6 给出了不同碳化处理钢渣掺入水泥后对水泥砂浆力学性能的影响。纯水泥砂浆的 3 d 抗折强度为 6.9 MPa, 抗压强度为 33.3 MPa, 未碳化的钢渣 SS 掺入水泥后明显降低了砂浆的抗折和抗压强度, 3 d 抗折强度为 5.3 MPa, 抗压强度为 22.5 MPa, 这表明未处理的钢渣不适宜直接用作矿物掺合料。相较于未碳化钢渣, 将碳化钢渣掺入水泥后, 砂浆 3 d 抗折和抗压强度均有一定增加, 掺有 CSS3 和 CSS4 的水泥砂浆 3 d 抗折强度与 SS 组砂浆相比分别提高了 9.4%、13.2%, 抗压强度分别提高了 13.3%、11.6%。在 28 d 龄期时, 碳化后的钢渣活性更高, 水泥砂浆强度有明显的提升。掺有 CSS3 和 CSS4 的水泥砂浆 28 d 抗压强度与 SS 组砂浆相比分别提高了 16.9%、22.2%。另外, 随着钢渣碳化增重的增加, 掺有碳化

钢渣的水泥砂浆抗折和抗压强度也逐渐增加。掺有碳化 60 min 的钢渣 (CSS4) 水泥砂浆 3 d、28 d 抗折强度较掺有未碳化钢渣 (SS) 的分别高 11.3%、14.8%, 3 d、28 d 抗压强度较掺有未碳化钢渣 (SS) 的分别高 12.0%、11.9%。

上述结果表明碳化处理的钢渣相较于未碳化处理的钢渣活性有一定的提升, 活性越高的钢渣掺入水泥后制备的水泥砂浆力学强度越高。这可能是因为钢渣经过碳化处理后会生成碳酸钙, 碳酸钙可以参与水泥水化, 与铝酸钙反应生成水化碳铝酸钙^[17-18], 从而增加水泥砂浆强度。另外有研究表明, 硅酸钙碳化后会生成无定型二氧化硅凝胶^[19], 无定型二氧化硅凝胶可能具有较高的火山灰反应活性^[20], 可与水泥水化产物氢氧化钙发生二次水化生成更多的胶凝组分, 使得掺有相应碳化钢渣的砂浆 28 d 抗压强度明显高于掺有未碳化钢渣的砂浆。这也是碳化增重越高, 碳化钢渣后期活性越好, 掺有相应碳化钢渣的水泥砂浆抗折和抗压强度越高的原因。

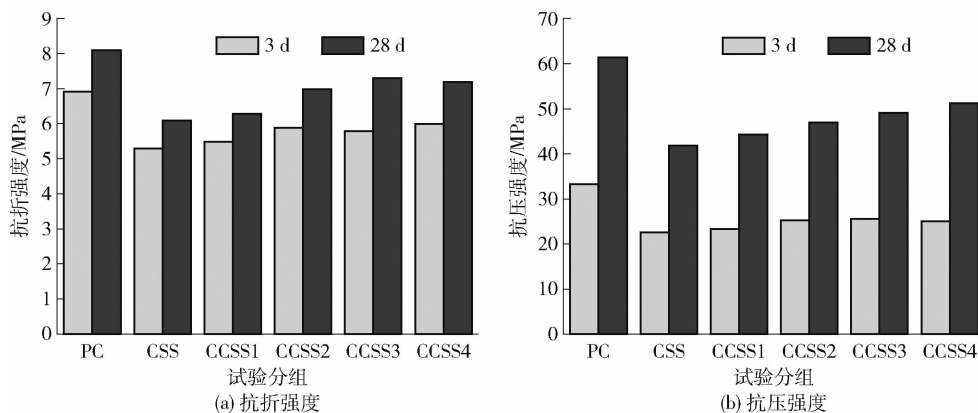


图 6 不同碳化增重钢渣粉对水泥砂浆力学性能的影响

Fig. 6 Influence of steel slag powder with different carbonation weight gains on the mechanical properties of cement mortar

2.6 钢渣对水泥基材料微结构的影响

图 7 给出了掺有未碳化钢渣和碳化钢渣水泥净浆的微观形貌。由图 7(a)可知, 掺有未碳化钢渣的水泥净浆水化 28 d 后钢渣颗粒与水泥基体间仍存在明显的界面, 并且水泥基体中存在较多的微裂纹和孔隙, 这可能是因为未碳化钢渣掺入水泥后减缓了石膏的消耗, 减少了体系中钙矾石的生成量, 并且增加了孔隙溶液中的 Ca^{2+} 浓度, 显著抑制了 C—S—H 的成核生长, 导致基体不致密^[21]。而掺有碳

化钢渣的水泥净浆基体较为致密, 钢渣颗粒与水泥基体间界面结合紧密, 基体中未见微裂纹, 仅有少量孔隙 (图 7(b)), 这是可能因为碳化钢渣中生成的碳酸钙和硅胶均能参与水泥水化, 从而强化了界面过渡区, 并且更多的水化产物填充到孔隙中使得基体结构更为致密。

3 结论

1) 钢渣经过碳化后表面会生成大量多孔的碳

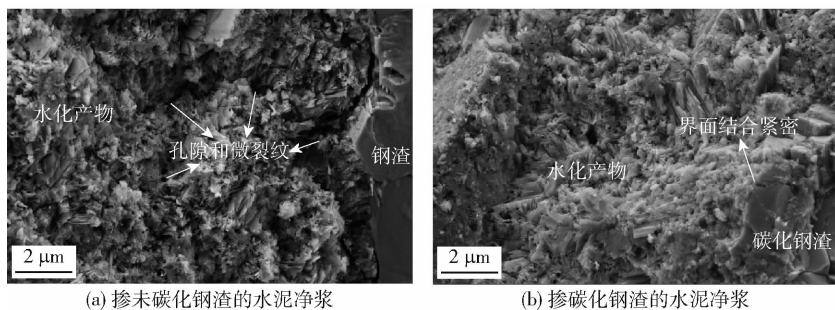


图7 钢渣对水泥基材料微结构的影响

Fig.7 Effect of steel slag on the microstructure of cement-based materials

化产物,主要成分为碳酸钙。随着碳化时间和钢渣比表面积的增加,钢渣的碳化增重率也逐渐增加。在本文试验条件下,钢渣的碳化增重率最大可达9.11%,表明每吨钢渣可捕集约90 kg 二氧化碳。

2)未碳化钢渣掺入水泥后不会影响水泥砂浆的流动度,但是经过碳化处理的钢渣由于表面形成了多孔碳化产物,增大了比表面积,吸水率会增加,因此在掺入水泥后会对水泥砂浆的流动度有一定的影响。

3)掺有碳化钢渣的水泥净浆结构更为致密,并且水泥砂浆后期抗折、抗压强度均优于掺有未碳化钢渣的,且碳化增重率越高,水泥砂浆的28 d抗压强度越高。掺有碳化60 min的钢渣(CSS4)水泥砂浆3 d、28 d抗折强度较掺有未碳化钢渣(SS)的分别高11.3%、14.8%,3 d、28 d抗压强度较掺有未碳化钢渣(SS)的分别高12.0%、11.9%。

[参考文献]

- [1] 王满仓,陈瑞英.“碳达峰,碳中和”对我国铜工业发展的影响[J].中国有色冶金,2021,50(6):1-4.
WANG Mancang, Chen Ruiying. Influence of “carbon peak, carbon neutralization” on the development of copper industry in China [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2021, 50(6):1-4.
- [2] 魏军晓,耿元波,沈镭,等.中国水泥生产与碳排放现状分析[J].环境科学与技术,2015,38(8):80-86.
WEI Junxiao, GENG Yuanbo, SHEN Lei, et al. Analysis of Chinese cement production and CO₂ emission [J]. Environmental Science and Technology, 2015, 38(8):80-86.
- [3] 周岳,周健,唐孟雄,等.粉煤灰和矿渣粉对混凝土抗氯离子渗透和抗碳化性能的影响[J].混凝土,2021(7):60-64.
ZHOU Yue, ZHOU Jian, TANG Mengxiong, et al. Influences of fly ash and slag powder on the chloride penetration resistance and carbonation resistance of concrete [J]. Concrete, 2021(7):60-64.
- [4] 王爱国,何懋灿,莫立武,等.碳化养护钢渣制备建筑材料的

研究进展[J].材料导报,2019,33(17):2939-2948.

WANG Aiguo, HE Maocan, MO Liwu, et al. Research progress of building materials prepared from the carbonized curing steel slag [J]. Materials Review, 2019, 33(17):2939-2948.

- [5] 王吉凤,付恒毅,闫晓彤,等.钢渣综合利用研究现状[J].中国有色冶金,2021,50(6):77-82.
WANG Jifeng, FU Hengyi, YAN Xiaotong, et al. Research status of comprehensive utilization of steel slag [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2021, 50(6):77-82.
- [6] HUMBERT P S, CASTRO-GOMES J P, SAVASTANO H. Clinker-free CO₂ cured steel slag based binder: Optimal conditions and potential applications [J]. Construction and Building Materials, 2019, 210:413-421.
- [7] 罗乃将,朱宝贵,顾红霞,等.碳化养护制备高强钢渣砖的研究[J].新型建筑材料,2020,47(5):71-74.
LUO Naijiang, ZHU Baogui, GU Hongxia, et al. Study on the preparation of high strength steel slag brick by carbonation curing [J]. New Building Materials, 2020, 47(5):71-74.
- [8] CHANG J, ZHANG X, GU Y Y, et al. Effects of pozzolanic reaction on carbonation degree and strength of steel slag compacts containing zeolite [J]. Construction and Building Materials, 2021, 277(3):122334.
- [9] HOU G, YAN Z, SUN J, et al. Microstructure and mechanical properties of CO₂-cured steel slag brick in pilot-scale [J]. Construction and Building Materials, 2020, 271(9):121581.
- [10] 张丰,莫立武,邓敏.碳化养护对钢渣混凝土强度和体积稳定性的影响[J].硅酸盐学报,2016,44(5):640-646.
ZHANG Feng, MO Liwu, DENG Min. Effect of carbonation curing on mechanical strength and volume stability of steel slag concrete [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2016, 44(5):640-646.
- [11] 史迪,叶家元,张文生,等.钢渣碳化砖的碱激发-碳化协同作用机制[J].钢铁研究学报,2021,33(11):1127-1133.
SHI Di, YE Jiayuan, ZHANG Wensheng, et al. Synergistic mechanisms of alkali-activation and carbonation of carbonated steel slag bricks [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2021, 33(11):1127-1133.

[12] 李玲玲, 陈韧, 张作良, 等. 精炼渣钙组分乙酸浸出制备钙基 CO₂ 吸附材料[J]. 钢铁研究学报, 2020, 32(7): 550 – 555.
LI Lingling, CHEN Ren, ZHANG Zuoliang, et al. Preparation of calcium-based CO₂ adsorbent by acetic acid leaching of calcium component from refining slag [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2020, 32(7): 550 – 555.

[13] 孔祥辉, 陈韧, 李玲玲, 等. 转炉渣吸附 CO₂ 反应研究[J]. 炼钢, 2019, 35(2): 66 – 69, 74.
KONG Xianghui, CHEN Ren, LI Lingling, et al. Study on CO₂ adsorption reaction of converter slag [J]. Steelmaking, 2019, 35(2): 66 – 69, 74.

[14] LIU P, ZHONG J K, ZHANG M, et al. Effect of CO₂ treatment on the microstructure and properties of steel slag supplementary cementitious materials [J]. Construction and Building Materials, 2021, 309:125171.

[15] MO L, YANG S, HUANG B, et al. Preparation, microstructure and property of carbonated artificial steel slag aggregate used in concrete [J]. Cement and Concrete Composites, 2020, 113: 103715.

[16] LIU G, SCHOLLBACH K, LAAN S, et al. Recycling and utilization of high volume converter steel slag into CO₂ activated mortars-The role of slag particle size [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2020, 160:104883.

[17] CAMILETTI J, SOLIMAN A M, NEHDI M L. Effect of nano-calcium carbonate on early-age properties of ultra-high-performance concrete [J]. Magazine of Concrete Research, 2013, 65(5):297 – 307.

[18] MA J, YU Z, SHI H, et al. Long-term hydration behavior and pore structure development of cement-limestone binary system [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2021, 143(1):843 – 852.

[19] 刘松辉, 管学茂, 邱满, 等. 通过加速碳化激发 γ-C₂S 矿物的活性[J]. 硅酸盐学报, 2016, 44(5):658 – 662.
LIU Songhui, GUAN Xuemao, QIU Man, et al. Activation of γ-C₂S mineral by accelerated carbonation [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2016, 44(5):658 – 662.

[20] LIU G, SCHOLLBACH K, LI P, et al. Valorization of converter steel slag into eco-friendly ultra-high performance concrete by ambient CO₂ pre-treatment [J]. Construction and Building Materials, 2021, 280(7): 122580.

[21] ZHUANG S, WANG Q. Inhibition mechanisms of steel slag on the early-age hydration of cement[J]. Cement and Concrete Research, 140:106283.

Experimental study on carbonation of steel slag and its influence on the properties of cement mortar

LUAN Ning, YIN Ming, CHEN Kun, ZHANG Hangtong, ZHU Yuchao
(State Grid Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210000, China)

Abstract: Metallurgical and cement industries were the main industries of CO₂ emission in the world, and has been faced a huge challenge of “carbon emission reduction”. Steel slag, a solid waste produced by metallurgical industry, has high carbonation reactivity into a CO₂-rich environment. In this paper, the CO₂ capturing capacity of steel slag under room temperature and atmospheric pressure was explored. Carbonated steel slag admixture for cement industry was prepared. And its influences on the fluidity, mechanical properties and microstructures of cement-based materials were investigated. The results showed that the carbonation weight gain of steel slag could reach 9.11%, indicating that about 90 kg CO₂ could be captured by per ton of steel slag. Due to the porous microstructures of carbonated steel slag, the water absorption rate was increased, which had a certain impact on the fluidity of cement mortar. The mechanical strength of cement mortars mixed with carbonated steel slag was better than that of mixed with non-carbonated steel slag, and the higher the carbonation weight gain, the higher the 28 d compressive strength of cement mortar.

Key words: steel slag; carbon capture; admixture; fluidity; mechanical properties; carbonation; cement; solid waste