

钢渣中游离氧化钙和氧化镁碳酸化反应

张妍¹, 常钧^{*1}, 何萍²

(1. 大连理工大学 土木工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 营口理工学院 化学与环境工程系, 辽宁 营口 115014)

摘要: 在 CO_2 含量为 99.9%, 压力为 0.2 MPa 条件下, 对钢渣粉进行碳酸化处理, 并作为水泥混合材料制成净浆试件, 对试件进行压蒸, 研究碳酸化反应时间对试件体积安定性的影响。结果表明, 随着碳酸化反应时间的延长, 钢渣中的硅酸盐、游离 CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和游离 MgO 等物质与 CO_2 气体进行反应, 主要生成 $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$ 。掺加未经碳酸化处理钢渣的试件, 压蒸后破坏严重; 掺加碳酸化反应 10 min 钢渣的试件膨胀率为 1.03%, 试件有明显裂纹; 掺加碳酸化反应 20 min 钢渣的试件膨胀率为 0.29%, 符合国家标准, 体积安定性合格。碳酸化处理 20 min 后, 钢渣中游离 CaO 含量由 2.54% 降至 0.84%, 游离 MgO 含量由 3.8% 降至 2.4%, 试块压蒸后未出现 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 镁离子以水化硅酸镁形式存在于无定形物中。

关键词: 钢渣; 碳酸化; 体积安定性; Rietveld 物相定量分析

中图分类号: TQ172.44 **文献标识码:** A **doi:** 10.7511/dllgxb201806012

0 引言

我国的钢渣排放量巨大, 但利用率很低, 钢渣的堆积占用了大量土地, 环境污染和资源浪费问题严重^[1]。将钢渣用于建筑材料中是目前钢渣的一种有效的利用形式。但是, 钢渣中含有的较多游离 CaO 和游离 MgO 导致钢渣体积安定性不良。用钢渣做骨料的路面和建筑结构, 几年后均出现了一定程度的膨胀, 存在安全隐患^[2-4]。

CO_2 捕集与封存 (CCS) 技术是为了应对全球气候变化, 减少化石能源使用产生的 CO_2 而出现的, 被视为近期最具潜力的减排技术之一^[5]。矿物存储是已知的唯一一种可以永久固定 CO_2 的技术, 反应生成的碳酸盐对环境没有负面影响^[6]。研究表明, 一些富含钙镁的固体废弃物可以代替天然矿石作为矿物碳酸化的原料^[7]。固体废弃物的碳酸化反应可以固定 CO_2 并消除其中的游离 CaO 和游离 MgO , 生成稳定的不溶性碳酸盐^[8-10]。可以用于碳酸化的固体废弃物主要包括钢渣、电石渣、废弃混凝土、水泥窑灰、垃圾焚化炉

灰、某些金属冶炼过程中产生的尾渣等^[8,11-12]。综上, 用碳酸化方法处理钢渣, 既能解决钢渣利用中的体积安定性问题, 又能够吸收 CO_2 。本文对钢渣粉进行不同时间的碳酸化处理, 并将处理前后的钢渣粉作为水泥混合材料, 测定其压蒸安定性, 以探究碳酸化处理对钢渣体积安定性的影响。

1 实验

1.1 原材料

实验所用钢渣为本溪钢铁集团的 BOF 钢渣, 水泥为大连小野田水泥有限公司 P·O 42.5R 水泥。钢渣和水泥的化学成分由 X 射线荧光光谱仪 (XRF-1800, Shimadzu, Japan) 测得, 如表 1 所示。钢渣的 XRD 图谱由 X 射线衍射仪 (Bruker D8 Advance Davinci Design) 测得, 如图 1 所示。

1.2 样品制备

1.2.1 碳酸化钢渣制备 将钢渣用球磨机粉磨后制得钢渣粉, 激光粒度分析仪 (NKT6200) 分析表明其 D_{10} 、 D_{50} 、 D_{90} 分别为 3.28、10.44、

表 1 水泥和钢渣的化学组成
Tab.1 Chemical composition of cement and steel slag

样品	w/ %								
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	SO ₃
钢渣	47.05	14.59	21.97	3.66	7.28	2.00	1.39	1.09	0.28
水泥	61.13	21.45	2.89	5.24	2.08	—	—	—	2.50

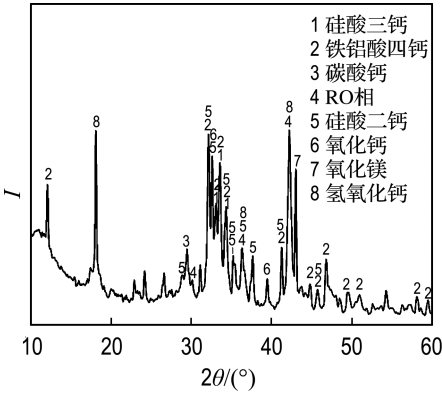


图 1 钢渣的 XRD 图谱
Fig.1 XRD pattern of steel slag

123.88 μm. 水泥比表面积自动测定仪(FBT-9)测得其比表面积为 483.58 m²/kg. 将钢渣粉与水按 0.1 水固比均匀混合^[13], 放入反应釜内, 在 CO₂ 含量 99.9%, 压力 0.2 MPa 条件下进行碳酸化处理, 碳酸化时间为 0、10、20、30 和 60 min. 随后, 将试样取出并干燥, 制得碳酸化钢渣粉, 分别记作 C0、C1、C2、C3 和 C4.

1.2.2 钢渣/水泥试件制备 以钢渣粉和水泥为胶凝材料, 按《水泥压蒸安定性试验方法》(GB/T 750—1992)制备 25 mm×25 mm×280 mm 净浆试件. 其中, 钢渣粉与水泥质量比为 1 : 1, 参考 GB/T 750—1992 通过优化得到水胶比为 0.3. 将掺加 C0、C1、C2、C3 和 C4 钢渣粉的试件依次记为 S0、S1、S2、S3 和 S4.

1.3 表 征

1.3.1 碳酸化增重率 称量碳酸化反应前干燥的钢渣质量, 记为 m₀; 碳酸化后将钢渣取出, 立即放入烘箱内, 在 105 ℃ 条件下烘干 24 h, 称量碳酸化后钢渣质量, 记为 m₁. 钢渣增重率按下式计算:

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \tag{1}$$

1.3.2 压蒸安定性 将水泥净浆试件初始长度记为 L₀, 压蒸后试件长度记为 L₁. 每组测试 3 个

试件, 取平均值作为该组的压蒸膨胀率, 试件的压蒸膨胀率按下式计算:

$$E = \frac{L_1 - L_0}{L} \times 100\% \tag{2}$$

其中 L 为试件有效长度, 250 mm.

1.3.3 化学滴定 参照《钢渣化学分析方法》(YB/T 140—2009)中游离 CaO 的测定方法, 将碳酸化处理前后钢渣中游离 CaO 溶出, 离心后取上层清液, 依次加入去离子水、盐酸、三乙醇胺、氢氧化钠溶液和适量钙指示剂, 用 EDTA 溶液滴定使溶液由红色变为蓝色, 记录消耗的 EDTA 溶液体积, 并计算出钢渣中的游离 CaO 含量.

1.3.4 综合热分析(TG/DTG) 将钢渣粉和压蒸后的试块研磨过 45 μm 筛, 105 ℃ 烘干至恒重. 采用 METTLER TOLEDO TG/DSC1 综合热分析仪对样品进行分析, 测试气氛为 N₂, 温度范围 50~1 000 ℃, 升温速率 10 ℃/min.

1.3.5 X-射线衍射分析(XRD) 将碳酸化处理前后的钢渣粉及压蒸前后试件进行粉磨、过 45 μm 筛, 采用 X 射线衍射仪(Cu 靶, 管电压 40 kV, 管电流 40 mA)对样品进行 XRD 测试, 测试单步长 0.02°, 单步时间 1 s, 2θ 角范围 5°~80°.

XRD 定性分析采用 Bruker DIFFRAC. EVA 软件, 检索数据库为 Crystallography Open Database 2013, 确定钢渣中各物相组成 COD 码见表 2^[14-24].

表 2 物相与 COD 码
Tab.2 Phase and COD codes

物相	COD 码	物相	COD 码
硅酸三钙	9008366	文石	2100187
铁铝酸四钙	1200009	方解石	9001297
硅酸二钙	9012791	氧化钙	1011327
RO 相	2300199	氧化镁	1011118
氢氧化钙	1008780	球霏石	9013565
氧化锌	9004180		

根据定性分析结果,进行 XRD 定量分析.利用 Rietveld 定量分析方法确定各物相在钢渣中的质量分数.

1.3.6 扫描电子显微镜(SEM) 采用美国 FEI 公司 Quanta 450 扫描电子显微镜对压蒸后的试块进行分析,观察其微观形貌.

2 结果与讨论

2.1 钢渣的压蒸安定性

将碳酸化反应前后钢渣质量按照式(1)进行计算,得到碳酸化试件的增重率(ω),如表 3 所示.

表 3 碳酸化反应不同时间钢渣的增重率

Tab.3 Weight gain of steel slag after different carbonation time

样品	碳酸化反应时间/min	$\omega/\%$
C0	0	0
C1	10	5.36
C2	20	8.63
C3	30	8.82
C4	60	9.42

由表 3 可知,随着碳酸化时间的延长,增重率增加.碳酸化反应 10 min 时,增重率仅为 5.36%;反应 20 min 后,增重率明显提高,达到 8.63%.碳酸化时间继续延长,增重率趋于平稳.研究表明,碳酸化反应在 20 min 以内增重速率较快,在 20 min 后仍在继续增加,但增重速率减缓.

将钢渣/水泥试件进行压蒸处理,研究试件的体积安定性,用比长仪测定试件压蒸前后的长度,由式(2)计算出不同碳酸化反应时间试件的压蒸膨胀率,结果如表 4 所示.

表 4 试件的压蒸膨胀率及外观

Tab.4 Expansion degree and appearance of autoclaved specimens

试件	压蒸膨胀率/%	试件外观
S0	1.89	试件破坏
S1	1.03	试件有裂纹
S2	0.29	无破坏
S3	0.36	无破坏
S4	0.34	无破坏

由表 4 可知,S0 膨胀率为 1.89%,钢渣试件

压蒸后严重破坏;S1 试件压蒸后膨胀率为 1.03%,表面有明显的裂纹;S2、S3 和 S4 膨胀率分别为 0.29%、0.36%、0.34%,试件压蒸后外观均无破坏.《水泥压蒸安定性试验方法》(GB/T 750—1992)规定:试件膨胀率小于 0.5%,安定性合格.研究表明,碳酸化反应时间在 20 min 以上,试件膨胀率均小于 0.5%,安定性合格.

2.2 游离 CaO 消解分析

2.2.1 TG 分析 钢渣碳酸化反应不同时间后的 TG/DTG 曲线如图 2 所示.

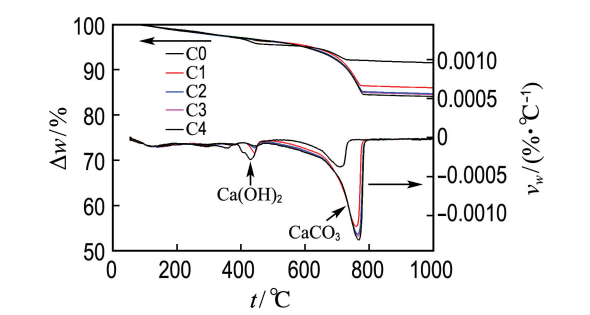


图 2 碳酸化反应不同时间钢渣的 TG/DTG 曲线

Fig.2 TG/DTG curves of steel slag after different carbonation time

从 DTG 曲线可以看出,400~500 °C 和 500~800 °C 有两段明显的失重,分别是由 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 CaCO_3 分解引起的.在 TG 曲线中计算出相应的失重百分率,进而根据 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 失去的 H_2O 和 CaCO_3 失去的 CO_2 质量分数,计算出 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 CaCO_3 的含量,结果见表 5.

表 5 碳酸化反应不同时间钢渣中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 CaCO_3 的含量

Tab.5 Content of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and CaCO_3 in steel slag after different carbonation time

样品	$w(\text{Ca}(\text{OH})_2)/\%$	$w(\text{CaCO}_3)/\%$
C0	4.38	7.68
C1	2.69	22.16
C2	2.22	25.10
C3	2.21	25.80
C4	2.22	26.86

由表 5 可知,随着碳酸化反应时间的延长, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的质量分数明显下降,未碳酸化的钢渣

中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量为 4.38%，反应 10 min 时， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量降至 2.69%，反应进行到 20 min 时， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量为 2.22%，且随着反应时间的继续延长基本保持恒定。未碳酸化的钢渣中 CaCO_3 含量为 7.68%，而反应 10 min 后钢渣中的 CaCO_3 含量增加至 22.16%，反应 20 min 时为 25.10%，而后增加较少。综上可知，碳酸化反应在 20 min 时基本完成。

2.2.2 化学滴定 图 3 为经过化学滴定测出的游离 CaO 含量图。

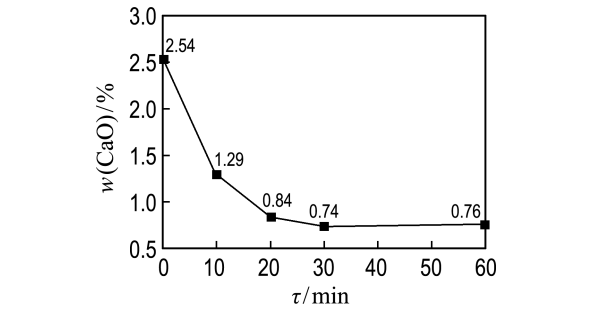


图 3 碳酸化反应不同时间钢渣内游离 CaO 含量
Fig. 3 Content of free CaO in steel slag after different carbonation time

结合表 3 和图 3 可知，游离 CaO 消解速度很快，碳酸化反应 10 min 后，钢渣增重率为 5.36%，此时游离 CaO 含量从 2.54% 降至 1.29%；反应 20 min，钢渣增重率达到 8.63%，游离 CaO 含量降至 0.84%；而后钢渣增重率缓慢上升，而游离 CaO 含量缓慢下降并稳定至 0.76% 左右。可见，钢渣中游离 CaO 碳酸化反应活性很高，反应 20 min 基本消解完全。

2.3 碳酸化对钢渣中镁离子的影响

图 4 给出了碳酸化反应不同时间钢渣的 XRD 图谱，由图可知碳酸化反应消耗了游离 MgO ，生成含镁方解石 ($\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$)，是沉淀过程中 Mg^{2+} 进入 CaCO_3 中形成的，其衍射峰与方解石的衍射峰重叠^[25]。

对不同碳酸化反应时间的钢渣进行 Rietveld 物相定量分析。以碳酸化反应 60 min 的钢渣粉为例，拟合效果及各物相含量结果如图 5 所示。

不同碳酸化反应时间的钢渣各物相含量计算结果如表 6 所示。其中 RO 相化学式为 $0.593\text{MgO} \cdot$

0.407FeO 。

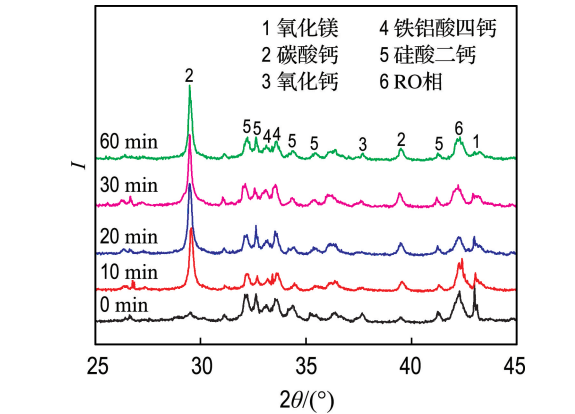


图 4 钢渣碳酸化前后 XRD 图谱
Fig. 4 XRD patterns of steel slag before and after carbonation

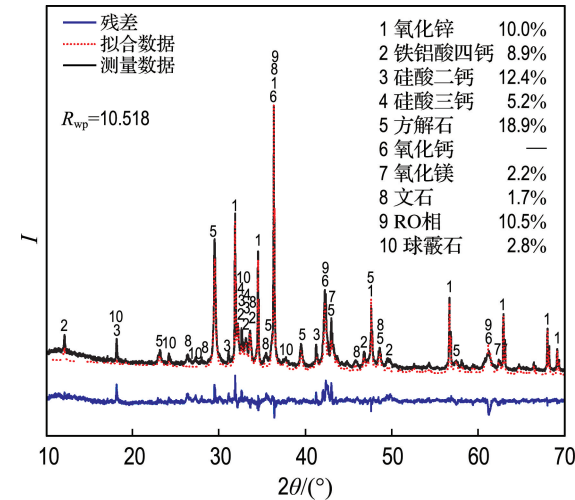


图 5 Rietveld 物相定量分析拟合效果
Fig. 5 Plot for Rietveld quantitative phase analysis

由计算结果可知，钢渣中镁离子主要有 RO 相和游离 MgO 两种存在形式，其中 RO 相对体积安定性无不良影响。当碳酸化反应进行到 20 min 时，游离 MgO 含量由 3.8% 降至 2.4%，同时钢渣中的硅酸盐相、游离 CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 也参与反应，生成含镁方解石 ($\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$)，含量为 20.3%，并伴有少量文石和球霰石生成。

图 6 为 S0 压蒸后的 XRD 图谱，图中 MgO 衍射峰 ($2\theta=37.1^\circ, 43.1^\circ, 62.5^\circ$) 消失，并未出现 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 特征峰 ($2\theta=18.6^\circ, 38.0^\circ, 51.0^\circ$)，表明钢渣中游离 MgO 在压蒸后并未形成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 。

表 6 碳酸化反应后钢渣中各物相含量

Tab. 6 Content of minerals in steel slag after different carbonation time

样品	w/%								
	方解石	文石	球霏石	氢氧化钙	氧化钙	硅酸三钙	硅酸二钙	氧化镁	RO 相
C0	4.8	0.8	1.4	2.7	2.5	11.8	23.1	3.8	16.6
C1	17.5	1.4	1.3	0.4	1.1	8.0	17.4	3.9	14.2
C2	20.3	1.6	1.5	—	0.9	7.1	16.3	2.4	14.0
C3	20.1	1.8	3.2	—	—	6.4	13.7	2.5	12.5
C4	20.9	1.9	3.1	—	—	5.8	13.8	2.5	11.7

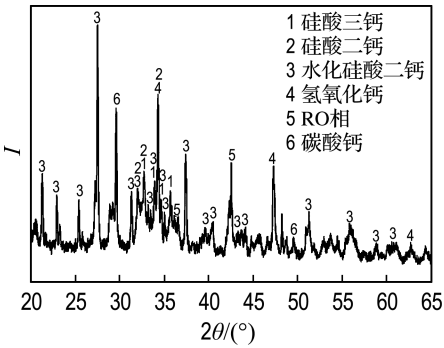
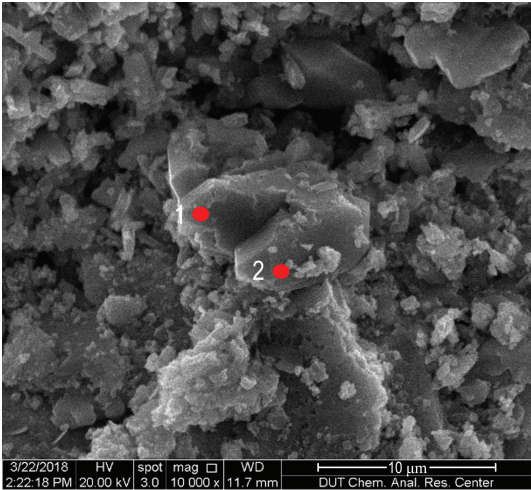


图 6 S0 压蒸后 XRD 图谱

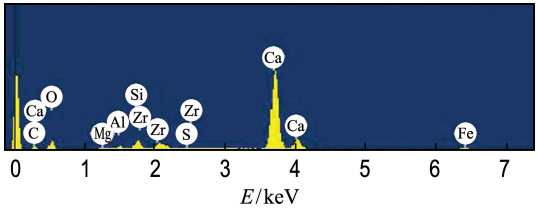
Fig. 6 XRD pattern of autoclaved S0

图 7(a)为 S0 扫描电子显微镜(SEM)照片,而图 7(b)、(c)分别为图 7(a)中 1、2 点的能谱(EDS).

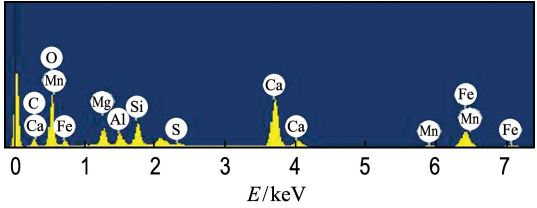
由图 7(a)可知,压蒸后试块中存在大量晶体,且在晶体表面附着有絮状物,结合图 7(b)1 点的 EDS 谱可知,该晶体为氢氧化钙,大量晶粒粗大的氢氧化钙堆积,体积膨胀,造成了试件的体积安定性不良;而 2 点的 EDS 谱显示,絮状物中含有较多的镁离子,说明方镁石水化后生成了无定形的水化硅酸镁,不影响试件的体积安定性.



(a) SEM 照片



(b) EDS 谱(1 点)



(c) EDS 谱(2 点)

图 7 S0 压蒸后的 SEM 照片及 EDS 谱

Fig. 7 SEM photographs and EDS patterns of autoclaved S0

3 结 论

(1)在 CO₂ 含量为 99.9%,压力为 0.2 MPa,水固比为 0.1 条件下,对 D10、D50、D90 分别为 3.28、10.44、123.88 μm,比表面积为 483.58

m²/kg 的钢渣粉进行碳酸化处理;随着碳酸化反应时间的延长,试件的压蒸膨胀率持续减小.掺加未碳酸化钢渣的试件压蒸膨胀率为 1.89%,碳酸化反应 20 min 后,压蒸膨胀率降至 0.29%,小于 0.5%,符合国家标准,体积安定性合格.

(2)碳酸化反应 20 min 时,钢渣增重8.63%,此时游离 CaO 含量由 2.54%降至 0.84%,游离 MgO 含量由 3.8%降至 2.4%。钢渣中的游离 MgO 压蒸后并未形成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$,而是以水化硅酸镁的形式存在于无定形物中,对试块的体积安定性无不良影响。

(3)钢渣中的硅酸盐、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、游离 CaO 和游离 MgO 等物质持续与 CO_2 进行反应,生成大量含镁方解石($\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$),同时生成少量文石和球霏石。

参考文献:

- [1] 赵计辉,阎培渝. 钢渣的体积安定性问题及稳定化处理的国内研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2017, **36**(2):477-484.
ZHAO Jihui, YAN Peiyu. Volume stability and stabilization treatment of steel slag in China [J]. **Bulletin of the Chinese Ceramic Society**, 2017, **36**(2):477-484. (in Chinese)
- [2] 张亚梅,李保亮. 用钢渣作骨料引起的混凝土工程开裂问题案例分析[J]. 混凝土世界, 2016(6):22-25.
ZHANG Yamei, LI Baoliang. Case study on crack problem of concrete engineering caused by steel slag as aggregate [J]. **Building Decoration Materials World**, 2016(6):22-25. (in Chinese)
- [3] ABU-EISHAH S I, EL-DIEB A S, BEDIR M S. Performance of concrete mixtures made with electric arc furnace (EAF) steel slag aggregate produced in the Arabian Gulf region [J]. **Construction and Building Materials**, 2012, **34**:249-256.
- [4] ANASTASIOU E, GEORGIADIS FILIKAS K, STEFANIDOU M. Utilization of fine recycled aggregates in concrete with fly ash and steel slag [J]. **Construction and Building Materials**, 2014, **50**:154-161.
- [5] BOOT-HANDFORD M E, ABANADES J C, ANTHONY E J, *et al.* Carbon capture and storage update [J]. **Energy & Environmental Science**, 2014, **7**(1):130-189.
- [6] GERDEMANN S J, O'CONNOR W K, DAHLIN D C, *et al.* Ex situ aqueous mineral carbonation [J]. **Environmental Science & Technology**, 2007, **41**(7):2587-2593.
- [7] SANNA A, DRI M, HALL M R, *et al.* Waste materials for carbon capture and storage by mineralisation (CCSM) - A UK perspective [J]. **Applied Energy**, 2012, **99**:545-554.
- [8] PAN Shuyuan, ADHIKARI R, CHEN Yihung, *et al.* Integrated and innovative steel slag utilization for iron reclamation, green material production and CO_2 fixation via accelerated carbonation [J]. **Journal of Cleaner Production**, 2016, **137**:617-631.
- [9] PAN Shuyuan, CHIANG P C, CHEN Y H, *et al.* Ex situ CO_2 capture by carbonation of steelmaking slag coupled with metalworking wastewater in a rotating packed bed [J]. **Environmental Science & Technology**, 2013, **47**(7):3308-3315.
- [10] PAN Shuyuan, CHANG E E, CHIANG Penchi. CO_2 capture by accelerated carbonation of alkaline wastes: A review on its principles and applications [J]. **Aerosol and Air Quality Research**, 2012, **12**(5):770-791.
- [11] HUIJGEN W J J, COMANS R N J. Carbon dioxide sequestration by mineral carbonation: literature review [R]. Petten: Energy Research Centre of the Netherlands ECN, 2003.
- [12] 包炜军,李会泉,张 懿. 温室气体 CO_2 矿物碳酸化固定研究进展[J]. 化工学报, 2007, **58**(1):1-9.
BAO Weijun, LI Huiquan, ZHANG Yi. Progress in carbon dioxide sequestration by mineral carbonation [J]. **Journal of Chemical Industry and Engineering (China)**, 2007, **58**(1):1-9. (in Chinese)
- [13] 吴昊泽,张林菊,叶正茂,等. 水分对钢渣碳化的影响[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2009, **23**(3):221-224.
WU Haoze, ZHANG Linju, YE Zhengmao, *et al.* Influence of moisture content on steel slag carbonization [J]. **Journal of University of Jinan (Science and Technology)**, 2009, **23**(3):221-224. (in Chinese)
- [14] NISHI F, TAKEUCHI Y, MAKI I. Tricalcium silicate $\text{Ca}_3\text{O}[\text{SiO}_4]$: The monoclinic superstructure [J]. **Zeitschrift für Kristallographie**, 1985, **172**:297-314.
- [15] CASPI E N, POKROY B, LEE P L, *et al.* On the structure of aragonite [J]. **Acta Crystallographica Section B**, 2005, **61**(2):129-132.

- [16] COLVILLE A A, GELLER S. The crystal structure of brownmillerite, $\text{Ca}_2\text{FeAlO}_5$ [J]. **Acta Crystallographica Section B**, 1971, **27** (12): 2311-2315.
- [17] PAQUETTE J, REEDER R J. Single-crystal X-ray structure refinements of two biogenic magnesian calcite crystals [J]. **American Mineralogist**, 1990, **75**:1151-1158.
- [18] TSURUMI T, HIRANO Y, KATO H, *et al.* Crystal structure and hydration of belite [J]. **Ceramic Transactions**, 1994, **40**:19-25.
- [19] GERLACH W. Die gitterstruktur der erdalkalioxyde [J]. **Zeitschrift für Physik**, 1922, **9**: 184-192.
- [20] WOOD I G, VOČADLO L, DOBSON D P, *et al.* Thermoelastic properties of magnesiowüstite, $(\text{Mg}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{O}$: determination of the Anderson-Grüneisen parameter by time-of-flight neutron powder diffraction at simultaneous high pressures and temperatures [J]. **Journal of Applied Crystallography**, 2008, **41**:886-896.
- [21] SCHIEBOLD E. Crystal structure [J]. **Zeitschrift für Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie**, 1927, **56**:430.
- [22] BUSING W R, LEVY H A. Neutron diffraction study of calcium hydroxide [J]. **Journal of Chemical Physics**, 1957, **26**:563-568
- [23] WANG Jianwei, BECKER U. Structure and carbonate orientation of vaterite (CaCO_3) [J]. **American Mineralogist**, 2009, **94**:380-386.
- [24] KIHARA K, DONNAY G. Anharmonic thermal vibrations in ZnO [J]. **Canadian Mineralogist**, 1985, **23**:647-654.
- [25] 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. (in Chinese)

Carbonation reaction of free CaO and MgO in steel slag

ZHANG Yan¹, CHANG Jun^{*1}, HE Ping²

(1. School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Department of Chemical and Environmental Engineering, Yingkou 115014, China)

Abstract: Under the condition of CO_2 content of 99.9% and pressure of 0.2 MPa, the steel slag powder is carbonized and used as partial replacements of Portland cement to prepare a pure pulp test piece. The samples are then autoclaved to investigate the influence of carbonation time on the volume stability of the samples. The results show that the carbonation time facilitates the carbonation reaction, the silicate, free CaO, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and free MgO in the steel slag can be reacted with CO_2 gas, and the products of carbonation are mainly $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$. After autoclaved, the sample with steel slag uncarbonated is broken completely. The sample with steel slag carbonated for 10 minutes is cracked and the expansion degree is 1.03%. However, the expansion degree of the sample with steel slag carbonated for 20 minutes is 0.29%, which meets the national standards, the volume stability is qualified. In the steel slag carbonated for 20 minutes, the content of free CaO decreases from 2.54% to 0.84%, the content of free MgO decreases from 3.8% to 2.4%. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ is not found in the autoclaved samples, because Mg^{2+} exists in the amorphous in the form of hydrated magnesium silicate.

Key words: steel slag; carbonation; volume stability; Rietveld quantitative phase analysis