

文章编号: 1000-8608(2019)03-0257-07

冷黏成球密实时间对碳酸化钢渣球形骨料性能影响

常 钧*, 于春阳

(大连理工大学 土木工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 以冷黏成球法制备的碳酸化钢渣球形骨料为研究对象, 分析了密实时间对钢渣球形骨料性质及碳酸化反应程度的影响。测试了不同密实时间下球形骨料碳酸化前后的表观密度、吸水率及孔隙率的变化规律, 通过 XRD、TG-DTG、MIP 等手段分析不同密实时间下球形骨料物相变化、碳酸化程度、孔结构的变化, 结果表明: 采用冷黏成球工艺制备钢渣球形骨料时, 密实时间对钢渣球形骨料的表观密度影响很小, 但球形骨料的吸水率随密实时间的增加下降明显。当密实时间从 5 min 增加到 30 min 时, 碳酸化前后球形骨料的吸水率分别下降了 29.5% 和 26.0%。钢渣球形骨料的强度主要来源于碳酸化反应, 且球形骨料的碳酸化反应程度和强度随密实时间的增加而下降。碳酸化前吸水率为 14.86% 的球形骨料碳酸化后强度最高, 为 6.1 MPa, 达到同等粒径天然碎石强度的 41%。碳酸化的进程是由外向内进行的, 球壳的碳酸化反应程度高于球心, 且碳酸化前球壳越致密, 球心的碳酸化反应程度越低。

关键词: 冷黏成球法; 钢渣; 碳酸化; 人造骨料

中图分类号:TQ178

文献标识码:A

doi:10.7511/dllgxb201903006

0 引言

骨料在混凝土中体积占比超过 60%。随着工程建设的快速发展, 天然骨料资源被大量消耗, 同时对天然骨料的过度开采也引发了一系列严重的生态破坏问题, 替代骨料的开发应用迫在眉睫。

人造骨料是一种品质可控、性能稳定的替代骨料^[1], 国内外人造骨料的制备方法普遍分为高温烧结法和冷黏成球法^[2-4]。前者使用黏土、页岩或其他固体废弃物造粒后经高温烧结制备出多孔轻质的陶粒骨料, 在混凝土中的应用已经有了广泛的研究^[5-6], 但其制备过程能耗高、污染大、不可持续。而后者以工业废灰、废渣为原料造粒成球, 通过复掺水泥、碱激发、碳酸化等固化手段赋予球形骨料以强度^[7-9], 有着产量大、能耗低、无二次污染的突出优势, 已成为人造骨料研究的新方向。

钢渣是炼钢过程中排出的废渣。因其成分不均匀且含有大量会导致其安定性不良的 $\text{f-CaO}/\text{MgO}$, 致使其应用受到了极大的限制, 大量的堆积占用了耕地, 对环境造成二次污染^[10]。而正因

其富含钙、镁, 钢渣具有很高的碳酸化活性, 可以在固定二氧化碳的同时消除钢渣体积安定性的问题, 同时制备建材制品^[11-12]。本文以磨细钢渣为原料, 通过使用冷黏成球法造粒, 再结合碳酸化养护方法制备钢渣球形骨料, 并探究冷黏成球密实时间对钢渣球形骨料性能及碳酸化程度的影响。

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, 化学组成见表 1。使用行星式球磨机(南京南大天尊电子有限公司 ND-7 型)进行粉磨, 粉磨后的钢

表 1 钢渣的化学组成

Tab. 1 Chemical composition of steel slag

| 组成 | w/% | 组成 | w/% |
|-------------------------|-------|-------------------------|------|
| CaO | 47.06 | Cr_2O_3 | 0.27 |
| SiO_2 | 14.59 | MnO | 2.00 |
| Fe_2O_3 | 21.97 | TiO_2 | 1.09 |
| MgO | 7.28 | SO_3 | 0.28 |
| Al_2O_3 | 3.66 | | |

渣微粉比表面积为 $483.58 \text{ m}^2/\text{g}$, 粒度分布如图 1 所示。

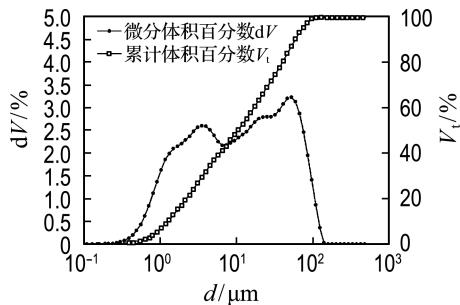


图 1 钢渣粒度分布

Fig. 1 Particle size distribution of steel slag

1.2 冷黏成球实验方法

冷黏成球法制备碳酸化钢渣球形骨料的工艺流程图如图 2 所示。

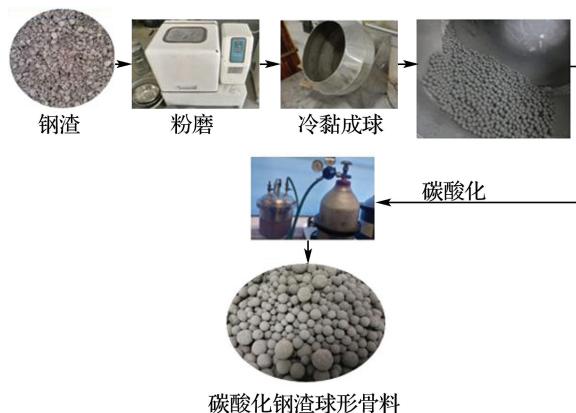


图 2 碳酸化钢渣球形骨料制备流程图

Fig. 2 Preparation flow chart of carbonated steel slag spherical aggregates

钢渣经行星式研磨机研磨后与水(水固比为 15%)在成球盘中进行冷黏成球^[13], 将成形后的钢渣球取出立即置于碳酸化反应釜中反应 2 h。为了探究成球密实时间对钢渣球形骨料性能及碳酸化程度的影响, 本文使用 4 kg 钢渣与 600 g 水在成球仪中(转速为 45 r/min, 角度为 45°)进行成球, 成球过程中交替加入钢渣粉和水, 时间为 5 min。成球完毕后仪器中约有球形骨料 1 500 枚, 粒径众数为 12 mm。通过继续运行仪器使已成形的球形骨料在成球仪中继续相互挤压摩擦, 进入挤压密实阶段, 并分别在密实阶段的第 5、10、15、20、30 min 时各取出粒径为(10 ± 2) mm 球形骨料 50 枚。再从各组取 25 枚放置于室温通风环境中静置, 标号为 C-5、C-10、C-15、C-20、C-

30。各组另 25 枚球形骨料立即放入碳酸化反应釜中进行碳酸化反应(采用 99.9% 的 CO₂, CO₂ 分压为 0.2 MPa, 碳酸化时间为 2 h)。碳酸化后标号为 TC-5、TC-10、TC-15、TC-20、TC-30。

1.3 表征

按照国家标准《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2011)中建设用骨料相关要求, 进行骨料的表观密度及吸水率的测试。

使用冲击破损能率表征未碳酸化球形骨料的强度。每组球形骨料取 20 枚逐一从 1.5 m 高处自由下落到 6 mm 厚的平滑钢板上, 观察记录破损能率。破损能率计算公式如下:

$$B_c = n_c / 20 \times 100\% \quad (1)$$

式中: B_c 为未碳酸化球形骨料的冲击破损能率(%), n_c 为未碳酸化球形骨料的冲击破损能率个数。

碳酸化后球形骨料的强度通过测试破碎单个骨料劈裂荷载来确定^[14], 见式(2)。试验骨料置于两个平行板之间, 在径直荷载下破碎(见图 3), 每组 20 枚, 加载速率为 0.05 mm/min。

$$\sigma = 2.8P / \pi X^2 \quad (2)$$

式中: σ 为人造骨料劈裂强度(MPa), X 为加载点之间的距离(mm), P 为劈裂荷载(N)。



图 3 单颗粒破碎试验装置

Fig. 3 Individual pellet crushing test setup

各组取两整球研磨过 80 μm 筛, 在 60 °C 真空干燥箱中烘干至恒重。使用德国 Bruker D8 Advance 达芬奇 X 射线衍射仪, 对物相进行分析(测试条件: 40 kV, 40 mA, 步长 0.01°, 扫描时间 0.2 s); 采用梅特勒-托利多 TGA/DSC1 型综合热分析仪对样品进行分析(测试气氛为 N₂, 测试温度为 50~1 000 °C, 升温速率为 10 K/min)。

安定性测试: 参照《钢渣化学分析方法》(YB/T 140—2009)滴定游离氧化钙含量, 并应用 YZF2-A 型水泥安定性试验用压蒸釜进行安定性

测试。测试时将试样放入压蒸釜，在216 °C， $p(H_2O)=2$ MPa的环境下对试样压蒸3 h后取出，观察试样外观是否有开裂或破碎现象。

使用AutoPore IV 9500型号(Micromeritics公司)的压汞仪对碳酸化后的球形骨料碎粒进行MIP(mercury intrusion porosimetry)测试，从而确定其孔隙率及孔径分布规律。测试时使用的碎粒质量约为1.5 g。

采用FEI Quanta 450型扫描电子显微镜对样品进行微观形貌观察，观测时电子显微镜的工作电压为20 kV。

2 结果与讨论

2.1 球形骨料的物理力学性能

图4为不同密实时间下球形骨料碳酸化前后的表观密度 ρ_a ，由图可知碳酸化后各组球形骨料的表观密度皆高于碳酸化前。

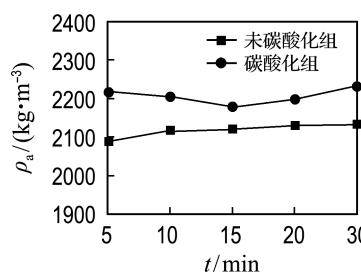


图4 不同密实时间下球形骨料碳酸化前后表观密度

Fig. 4 Apparent density of spherical aggregates before and after carbonation in different compacting time

这是因为碳酸化反应将钢渣中部分氧化物(主要为CaO、MgO)、氢氧化物(主要为Ca(OH)₂、Mg(OH)₂)转变成碳酸化物(CaCO₃与MgCO₃)填充在孔隙中产生了增重^[15]。值得注意的是未碳酸化的球形骨料持续密实30 min后与持续密实5 min相比，表观密度只有2.1%的微量增幅，碳酸化后各组球形骨料的表观密度在2 200 kg/m³附近波动。这与冷黏成球的工艺有关，本文采取交替加粉加水的成球工艺，致使球形骨料可密实的空间有限。

为了进一步探究密实时间对球形骨料开孔孔隙的影响，对比了各组球形骨料的吸水率C。图5为不同密实时间下球形骨料碳酸化前后各组吸水率。

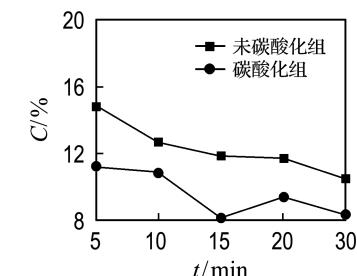


图5 不同密实时间下球形骨料碳酸化前后吸水率

Fig. 5 Water absorption ratio of spherical aggregates before and after carbonation in different compacting time

由图5可知，对于不同密实时间下成形的球形骨料，碳酸化均会降低其吸水率，这是由于在碳酸化反应过程中，C₂S、C₃S、Ca(OH)₂及f-CaO等矿物固化储存CO₂气体，生成较多的碳酸盐晶体，这些晶体成核、长大，填充试样的部分孔隙，促使试样结构更为致密^[16]。且随着密实时间的增加出现明显下降趋势，密实时间从5 min到30 min碳酸化前后分别下降了29.5%、26.0%。说明该工艺的密实时间对球形骨料的开孔孔隙率影响较大。

表2为不同密实时间下未碳酸化球形骨料的冲击破损率。由表2可知，未碳酸化球形骨料的冲击破损率随密实时间的增加出现了小幅下降，球形骨料碳酸化前近乎无强度，这是因为本文使用全钢渣组分成球，成球过程中几乎不发生水化，通过增加密实时间来增加强度的效果有限。

表2 不同密实时间下未碳酸化球形骨料的冲击破损率

Tab. 2 Impact damage rate of uncarbonated spherical aggregates in different compacting time

| 组别 | 冲击破损率/% | 组别 | 冲击破损率/% |
|------|---------|------|---------|
| C-5 | 100 | C-20 | 90 |
| C-10 | 100 | C-30 | 75 |
| C-15 | 95 | | |

图6为不同密实时间下碳酸化球形骨料与同粒径天然碎石的强度对比。可见，碳酸化后的球形骨料强度随密实时间的增加呈现下降趋势。TC-5组强度最高，为6.10 MPa，其强度达到同粒径天然碎石强度的41%。当密实时间超过5 min以后，随着成球时间的增加，碳酸化球形骨料的强度逐渐减小。这是因为钢渣制品水化速率极慢，其强度主要来源于碳酸化反应^[17]，本文球形骨料强度

随密实时间的增加而下降,可能是由碳酸化程度随密实时间的增加而下降所导致的。

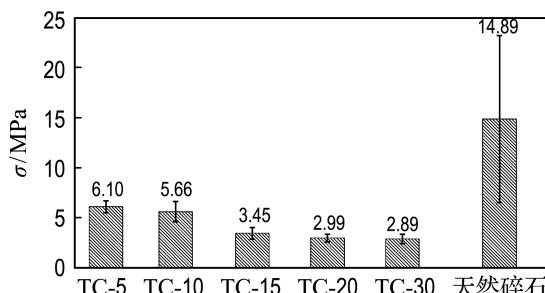
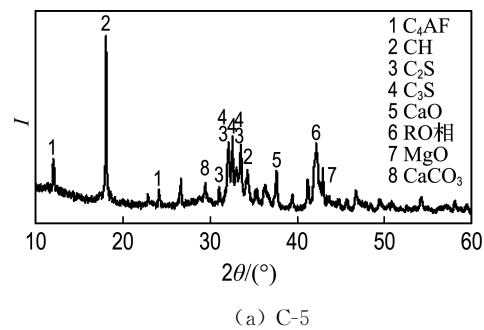


图 6 不同密实时间下球形骨料与天然碎石的强度

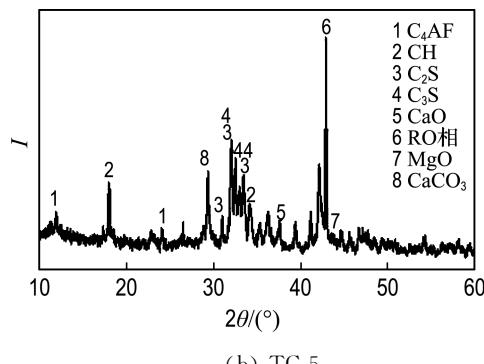
Fig. 6 Crushing strength of carbonated spherical aggregates in different compacting time and natural gravel

2.2 碳酸化养护对球形骨料组成和微观结构的影响

对 C-5 与 TC-5 组球形骨料进行 XRD 图谱分析,结果如图 7 所示。



(a) C-5



(b) TC-5

图 7 钢渣碳酸化前后的 XRD 图谱

Fig. 7 XRD patterns of steel slag before and after carbonation

由图 7 可知,钢渣的化学组成较复杂,主要有 C_4AF 、 CH 、 C_2S 、 C_3S 、 CaO 、 RO 相 (FeO 和 MgO 固溶体)、 MgO 和 CaCO_3 等矿物存在。碳酸化后

CH 、 CaO 和 MgO 衍射峰强度大幅下降, CaCO_3 的衍射峰强度大幅提高。对 C-5 与 TC-5 组球形骨料的 TG-DTG (thermogravimetry-derivative thermogravimetry) 分析结果如图 8 所示。400~500 °C 和 600~800 °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。由图可知 TC-5 相比 C-5 也出现了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量明显减少、 CaCO_3 含量明显增加的现象。这是因为碳酸化反应过程会消耗氧化物(主要为 CaO)、氢氧化物(主要为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$)产生碳酸化物(主要为 CaCO_3)填充孔隙, 使结构更加致密。这也是碳酸化养护能够使钢渣制品安定性得到改善、快速获得强度的原因^[16,18-19]。

图 9 为不同密实时间下各组球形骨料碳酸化后 TG-DTG 分析结果。

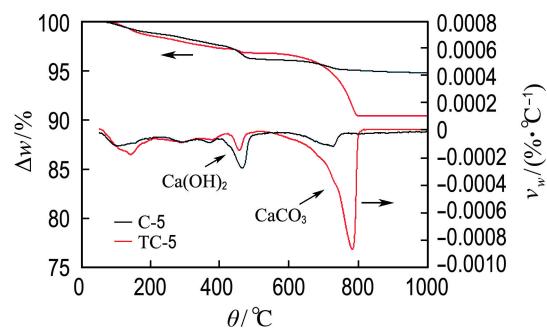


图 8 C-5 与 TC-5 组球形骨料 TG-DTG 曲线

Fig. 8 TG-DTG curves of C-5, TC-5 spherical aggregates

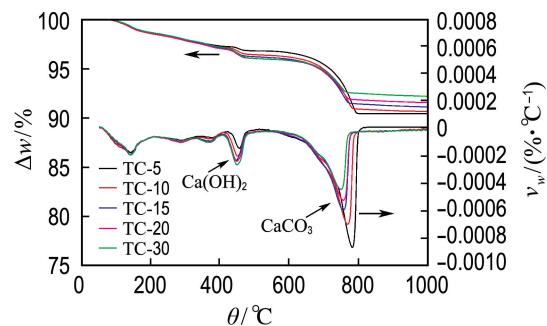


图 9 不同密实时间下球形骨料的 TG-DTG 曲线

Fig. 9 TG-DTG curves of carbonated steel slag spherical aggregates in different compacting time

根据 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 CaCO_3 分解失去 H_2O 和 CO_2 的质量分数算出 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 CaCO_3 含量, 并以 CaCO_3 的含量对各组碳酸化程度进行表征及对比分析^[20] (见表 3)。

表 3 不同密实时间下碳酸化后氢氧化钙和碳酸钙的含量

Tab. 3 Calcium hydroxide and calcium carbonate content in different compacting time after carbonation

| 组别 | $w/\%$ | |
|-------|-------------------|-----------------|
| | Ca(OH)_2 | CaCO_3 |
| TC-5 | 1.03 | 14.32 |
| TC-10 | 1.56 | 12.32 |
| TC-15 | 1.52 | 10.61 |
| TC-20 | 1.73 | 9.32 |
| TC-30 | 2.10 | 7.82 |

发现从 TC-5 到 TC-30 各组碳酸钙含量是递减的, TC-30 相比 TC-5 碳酸钙含量下降了 45%。说明随着密实时间的增加, 碳酸化程度是递减的, 与不同密实时间下碳酸化后球形骨料的吸水率及强度的变化规律一致。

表 4 为不同密实时间下碳酸化后球体及钢渣原料 f-CaO 滴定的结果及蒸压后外观, 其中未碳酸化钢渣原料的 f-CaO 含量为 1.83%, 碳酸化反应后各组 f-CaO 含量均有所下降。蒸压后 TC-15、TC-20、TC-30 组球体都发生严重的溃散破坏, TC-10 蒸压后表面有细纹, 只有 TC-5 蒸压后球体外观无破坏, 此时 f-CaO 含量为 0.31%。

表 4 不同密实时间下碳酸化后球体与未碳酸化的钢渣原料 f-CaO 含量与蒸压后外观

Tab. 4 f-CaO content and autoclaved appearance of carbonated pellets in different compacting time and uncarbonated steel slag raw materials

| 组别 | $w(\text{f-CaO})/\%$ | 蒸压后外观 |
|-------|----------------------|-------|
| TC-5 | 0.31 | 完好 |
| TC-10 | 0.63 | 裂纹 |
| TC-15 | 1.07 | 溃散 |
| TC-20 | 0.98 | 溃散 |
| TC-30 | 1.55 | 溃散 |
| 未碳酸化组 | 1.83 | 溃散 |

图 10 为 TC-5 组球体球心、球壳的 TG-DTG 分析结果。其中球壳样品取自球形骨料表面至距表面 3 mm 处, 球心样品取自球心至距球心半径 2 mm 处。

由图 10 可知在 500~800 °C 碳酸钙分解温度范围内, 球壳的质量损失大于球心, 说明球壳的碳酸化程度高于球心。图 11 为 TC-5 组球体球心、球壳的孔径分布图。

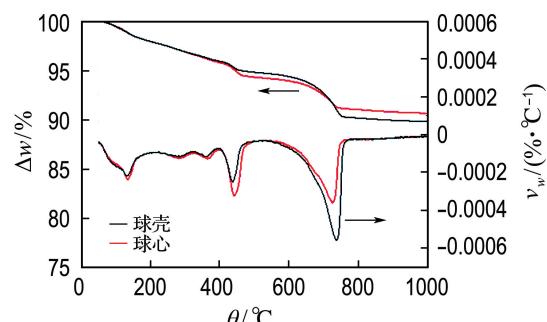


图 10 TC-5 组球体球心与球壳的 TG-DTG 曲线
Fig. 10 TG-DTG curves of TC-5 pellets center and shell

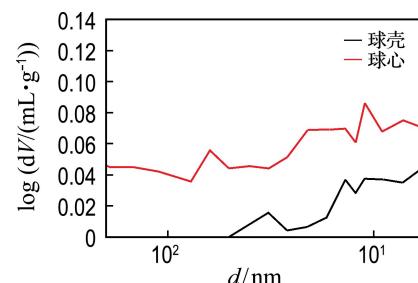


图 11 TC-5 组球体球心与球壳处的孔径分布
Fig. 11 Pore size distribution of TC-5 pellets center and shell

结合表 5 孔结构参数, 可知球壳、球心样品的累计进汞量分别为 0.073 1 和 0.181 6 mL/g, 球壳处累计进汞量仅为球心的 40%。球壳与球心处的孔隙率分别为 15.02% 和 42.75%。球壳处孔隙率相比球心降低了 65%。致密的球壳会增加 CO_2 气体进入球心的难度, 进而导致球心碳酸化反应程度偏低, 使球形骨料的劈裂强度降低。

表 5 TC-5 组球体球心与球壳压汞孔结构参数

Tab. 5 Mercury intrusion porosity results of TC-5 pellets center and shell

| 部位 | 累计进汞量/ (mL · g ⁻¹) | 孔隙率/% | 平均孔径/ nm | 表观密度/ (g · mL ⁻¹) |
|----|-----------------------------------|-------|-------------|----------------------------------|
| 球壳 | 0.073 1 | 15.02 | 38.7 | 2.419 9 |
| 球心 | 0.181 6 | 42.75 | 38.9 | 4.112 3 |

图 12 为 TC-5 组球体球心与球壳样品的 SEM 照片。由图可知, 碳酸化后球壳与球心处均生成簇生的颗粒状晶体, 且可以观察到球壳处生成晶体较多, 结晶较好。结合 XRD 图像可知该簇生的颗粒状晶体为 CaCO_3 晶体。

应用酚酞法发现 TC-30 组碳酸化反应仅在表面发生。球形骨料碳酸化前仅有吸水率的差异, 即各组球体开孔孔隙率不同。同时碳酸化反应受

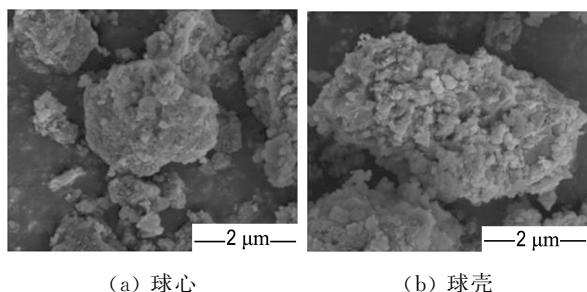


图 12 TC-5 组球体球心与球壳的 SEM 照片

Fig. 12 SEM photographs of TC-5 pellets center and shell

扩散控制,碳酸化过程中表面会生成排列致密的 CaCO_3 晶体层,阻碍 CO_2 气体进一步的扩散^[21]。碳酸化程度随开孔孔隙率(吸水率)的下降而下降。这说明冷黏成球制备碳酸化钢渣球形骨料需要考虑成球的密实时间,增加密实时间可以降低球形骨料的吸水率,但过低的吸水率会牺牲球形骨料的碳酸化反应程度,影响骨料性能。

3 结 论

(1)采用冷黏成球工艺制备钢渣球形骨料,密实时间对钢渣球形骨料的表观密度影响很小,但球形骨料的吸水率随密实时间的增加下降明显。当密实时间从 5 min 增加到 30 min 时,碳酸化前后球形骨料的吸水率分别下降了 29.5% 和 26.0%。

(2)钢渣球形骨料的强度主要来源于碳酸化反应,且球形骨料的碳酸化反应程度和强度随密实时间的增加而下降。针对本文工艺制备的碳酸化钢渣球形骨料在密实时间为 5 min,碳酸化前吸水率为 14.86% 时,碳酸化程度最高,强度最高,为 6.1 MPa,达到同等粒径天然碎石强度的 41%。相比之下密实时间为 10 min 的碳酸化球形骨料同样具有较高的碳酸化程度与强度,且吸水率得到了下降,但蒸压后仍有微小细纹。综合考虑,该工艺制备碳酸化球形骨料最佳的密实时间为 5~10 min,最长不得超过 10 min。

(3)球形骨料中发生的碳酸化反应受扩散控制。碳酸化反应是由外向内进行的,球壳的碳酸化反应程度高于球心。碳酸化反应前球壳越致密,球心的碳酸化反应程度越低。

参 考 文 献 :

- [1] HACHANI M I, KRIKER A, SEGHIRI M. Experimental study and comparison between the use of natural and artificial coarse aggregate in concrete mixture [J]. *Energy Procedia*, 2017, **119**:182-191.
- [2] GESOGLU M, GUNEVISI E, MAHMOOD S F, et al. Recycling ground granulated blast furnace slag as cold bonded artificial aggregate partially used in self-compacting concrete [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, **235**:352-358.
- [3] THOMAS J, HARILAL B. Properties of cold bonded quarry dust coarse aggregates and its use in concrete [J]. *Cement and Concrete Composites*, 2015, **62**:67-75.
- [4] COLANGELO F, MESSINA F, CIOFFI R. Recycling of MSWI fly ash by means of cementitious double step cold bonding pelletization: Technological assessment for the production of lightweight artificial aggregates [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2015, **299**:181-191.
- [5] CERNY V, KOCHANOVÁ M, DROCHYTKA R. Possibilities of lightweight high strength concrete production from sintered fly ash aggregate [J]. *Procedia Engineering*, 2017, **195**:9-16.
- [6] CHEESEMAN C R, MAKINDE A, BETHANIS S. Properties of lightweight aggregate produced by rapid sintering of incinerator bottom ash [J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2005, **43**(2):147-162.
- [7] BAYKAL G, DOVEN A G. Utilization of fly ash by pelletization process: theory, application areas and research results [J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2000, **30**(1):59-77.
- [8] STROKOVA V, ZHERNOVSKY I, OGURTSOVA Y, et al. Artificial aggregates based on granulated reactive silica powders [J]. *Advanced Powder Technology*, 2014, **25**(3):1076-1081.
- [9] ZHENG Lei, WANG Wei, SHI Yunchun. The effects of alkaline dosage and Si/Al ratio on the immobilization of heavy metals in municipal solid waste incineration fly ash-based geopolymer [J]. *Chemosphere*, 2010, **79**(6):665-671.
- [10] 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.
- [11] ROSTAMI V, SHAO Yixin, BOYD A J, et al. Microstructure of cement paste subject to early carbonation curing [J]. *Cement and Concrete Research*, 2012, **42**(1):186-193.
- [12] SANJUÁN M Á, ESTÉVEZ E, ARGIZ C, et al. Effect of curing time on granulated blast-furnace slag cement mortars carbonation [J]. *Cement and Concrete Composites*, 2018, **90**:257-265.

- [13] SRB J, RŮŽÍČKOVÁ Z. **Pelletization of Fines** [M]. New York: Elsevier, 1988:16135-16138.
- [14] KOCKAL N U, OZTURAN T. Effects of lightweight fly ash aggregate properties on the behavior of lightweight concretes [J]. **Journal of Hazardous Materials**, 2010, **179**(1/2/3):954-965.
- [15] MO Liwu, ZHANG Feng, DENG Min. Mechanical performance and microstructure of the calcium carbonate binders produced by carbonating steel slag paste under CO₂ curing [J]. **Cement and Concrete Research**, 2016, **88**:217-226.
- [16] 常 钧, 吴昊泽. 钢渣碳化机理研究 [J]. 硅酸盐学报, 2010, **38**(7):1185-1190.
CHANG Jun , WU Haoze. Study on carbonation mechanism of steel slag [J]. **Journal of the Chinese Ceramic Society**, 2010, **38** (7): 1185-1190. (in Chinese)
- [17] JANG J G, KIM G M, KIM H J, et al. Review on recent advances in CO₂ utilization and sequestration technologies in cement-based materials [J]. **Construction and Building Materials**, 2016, **127**: 762-773.
- [18] MONKMAN S, SHAO Yixin. Integration of carbon sequestration into curing process of precast concrete [J]. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 2010, **37**(2):302-310.
- [19] BOONE M A, NIELSEN P, DE KOCK T, et al. Monitoring of stainless-steel slag carbonation using X-ray computed microtomography [J]. **Environmental Science and Technology**, 2014, **48**(1):674-680.
- [20] GHOULEH Z, GUTHRIE R I L, SHAO Yixin. High-strength KOBM steel slag binder activated by carbonation [J]. **Construction and Building Materials**, 2015, **99**:175-183.
- [21] 常 钧, 房延凤, 李 勇. 钙硅比对水化硅酸钙加速碳化的影响 [J]. 硅酸盐学报, 2014, **42**(11):1377-1382.
CHANG Jun, FANG Yanfeng, LI Yong. Effects of calcium to silicon ratios on accelerating carbonation of calcium silicate hydrate [J]. **Journal of the Chinese Ceramic Society**, 2014, **42**(11):1377-1382. (in Chinese)

Effect of compacting time on properties of carbonated spherical steel slag aggregates prepared by cold bonding pelletization

CHANG Jun*, YU Chunyang

(School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Taking the spherical aggregate of carbonated steel slag prepared by cold bonding pelletization as research object, the effect of compacting time on the properties and carbonation degree of spherical aggregates made by carbonated steel slag was investigated. Changes of apparent density, water absorption ratio and porosity of spheres before and after carbonation in different compacting time were tested. Variation of phase, carbonation degree and pore structure in different compacting time were respectively characterized by XRD, TG-DTG and MIP. Results show that the apparent density of spherical steel slag aggregates prepared by cold bonding pelletization is rarely affected by the compacting time, but the water absorption decreases obviously with increasing of the compacting time. When the compacting time increases from 5 min to 30 min, the water absorption of spherical aggregate decreases by 29.5% and 26.0% before and after carbonation, respectively. Strength of spherical steel slag aggregate mainly comes from carbonation reaction, and the degree of carbonation reaction and strength of spherical aggregate decrease with compacting time increasing. The spherical aggregate with 14.86% water absorption before carbonation has the highest strength after carbonation, which is 6.1 MPa, reaching 41% of strength of natural gravel with the same particle size. Process of carbonation is carried out from outside to inside. Degree of carbonation reaction of spherical shell is higher than that of spherical center. Denser spherical shell before carbonation leads to lower degree of carbonation reaction of spherical center.

Key words: cold bonding pelletization; steel slag; carbonation; artificial aggregate