

# Influence of the Interfacial Transition Zone on the Mechanical Properties of Concrete Made with Steel Slag

Zhiqi Zhang

Shanghai Jianke Technical Assessment of Construction Co., Ltd., Shanghai  
Email: 807368909@qq.com

Received: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2017; accepted: Nov. 6<sup>th</sup>, 2017; published: Nov. 13<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Steel slag has similar mineral composition and certain hydraulic activity with Portland cement, which can potentially improve the interfacial transition zone of concrete. Based on this, this paper uses steel slag as aggregate to study its influence on mechanical behavior of concrete, in order to reveal the influence mechanism of ITZ effect of steel slag aggregate on mechanical properties of concrete.

## Keywords

ITZ, Steel Slag, Mechanical Property

---

# 钢渣集料ITZ效应对混凝土力学性能的影响规律

张峙琪

上海建科检验有限公司, 上海  
Email: 807368909@qq.com

收稿日期: 2017年10月23日; 录用日期: 2017年11月6日; 发布日期: 2017年11月13日

---

## 摘要

钢渣和硅酸盐水泥熟料具有相似的矿物组成, 具有一定的水硬活性, 会对混凝土的界面过渡区具有潜在的改善作用。基于此, 本文使用钢渣作集料来研究其对混凝土力学行为的影响规律, 以揭示钢渣集料的

界面过渡区效应对混凝土力学性能的影响机制。

## 关键词

界面过渡区, 固体废弃物, 力学性能

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

混凝土是当今应用最广泛的建筑材料, 它通常是以水泥为胶结材料, 以天然砂石为集料加水拌合, 经过浇筑成型、凝结硬化而成[1]。集料是混凝土的重要组成材料, 在混凝土中所占的体积甚至可高达约为 70%~80% [2]。它对混凝土许多重要的性能如强度、体积稳定性及耐久性都会产生重要的影响。集料的存在为水泥浆提供了可以填充且结构结实的骨架, 使得混凝土比单纯的水泥石具有更高的体积稳定性和更好的耐久性, 且集料的成本比水泥的低很多, 这使得混凝土材料的成本更加低廉[3]。

界面过渡区是混凝土中薄弱的环节[4] [5], 国内外学者通常掺入一定量不同细度或火山灰活性的固体废弃物掺和料来改善界面过渡区, 并取得了一定的效果[6] [7]。但掺和料在混凝土材料整体掺入量相对较少, 而集料(粗集料 + 细集料)占混凝土体积甚至可高达 70%~80%, 如果能选择合适的固体废弃物作集料, 并对混凝土材料宏观性能起到改善作用, 将会对混凝土材料的高性能化、绿色化发展做出重要贡献。

钢渣和硅酸盐水泥熟料具有相似的矿物组成, 具有一定的水硬活性[8], 如果将钢渣作为集料掺入混凝土中, 钢渣的水硬活性会对混凝土的界面过渡区具有潜在的改善作用[9]。基于此, 本章针对钢渣作集料, 深入研究其对混凝土力学行为的影响, 揭示固体废弃物作集料的界面过渡区效应对混凝土力学性能的影响机制。

## 2. 原材料及实验

### 2.1. 原材料及配比

实验所用水泥和掺和料分别为海螺 P.I 型 52.5 普通硅酸盐水泥和矿粉(S95), 矿粉体积参量为 35%, 化学组成见表 1。集料为粒径分布相似的普通集料、钢渣集料, 表观密度分别为  $2366 \text{ kg/m}^3$  和  $3520 \text{ kg/m}^3$ 。

实验主要通过调整配合比中集料体积掺量和矿粉来控制 ITZ 微观结构, 探索 ITZ 对混凝土力学性能的影响。按集料种类共设计配比见表 2、表 3, 实验采用水灰比 0.35。

### 2.2. 试样的制备与养护

按照混凝土设计配比, 准确称取原材料各组分质量, 采用机械搅拌将试样各组分均匀混合。然后把

Table 1. Chemical compositions of the raw material used in the test (wt%)

表 1. 原材料化学组成(wt%)

	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	其他
水泥	63.12	18.73	4.94	3.99	1.02	-	3.07	2.12
矿粉	39.5	34.4	14.9	0.39	5.84	0.33	-	

**Table 2.** Common aggregate concrete match ratio  
**表 2.** 普通集料混凝土配比

样品编号	集料体积掺量(%)	普通集料(kg/m <sup>3</sup> )	水泥(kg/m <sup>3</sup> )	矿粉(kg/m <sup>3</sup> )	水(kg/m <sup>3</sup> )
C-A-0	0	-	1474.0	-	515.9
C-A-15	15	395.0	1252.9	-	438.5
C-A-30	30	789.9	1031.8	-	361.1
C-A-45	45	1184.9	810.7	-	283.8
C-A-60	60	1579.8	589.6	-	206.4
C-S-A-0	0	-	934.7	503.3	503.3
C-S-A-15	15	395.0	794.5	427.8	427.8
C-S-A-30	30	789.9	654.3	352.3	352.3
C-S-A-45	45	1184.9	514.1	276.8	276.8
C-S-A-60	60	1579.8	373.9	201.3	201.3

注: C-A-45 代表普通集料混凝土, 集料体积掺量 45%。C-S-A-45 代表掺入矿粉的普通集料混凝土, 矿粉体积掺量 35%, 集料体积掺量 45%。

**Table 3.** Steel slag aggregate concrete match ratio  
**表 3.** 钢渣集料混凝土配比

样品编号	集料体积掺量(%)	钢渣(kg/m <sup>3</sup> )	水泥(kg/m <sup>3</sup> )	矿粉(kg/m <sup>3</sup> )	水(kg/m <sup>3</sup> )
C-G-0	0	-	1474.0	-	515.9
C-G-15	15	528	1252.9	-	438.5
C-G-30	30	1056	1031.8	-	361.1
C-G-45	45	1584	810.7	-	283.8
C-G-60	60	2112	589.6	-	206.4
C-S-G-0	0	-	934.7	503.3	503.3
C-S-G-15	15	528	794.5	427.8	427.8
C-S-G-30	30	1056	654.3	352.3	352.3
C-S-G-45	45	1584	514.1	276.8	276.8
C-S-G-60	60	2112	373.9	201.3	201.3

注: C-A-45 代表普通集料混凝土, 集料体积掺量 45%。C-S-A-45 代表掺入矿粉的普通集料混凝土, 矿粉体积掺量 35%, 集料体积掺量 45%。

新拌混凝土装入到 40 mm × 40 mm × 160 mm 的试模中, 通过振动台成型试件。带模试样在 20°C ± 2°C、相对湿度 95% ± 5% 养护室中放置 24 h 后拆模, 继续养护到设定龄期后(3 d、28 d 和 56 d)分别测其抗压强度。

### 2.3. 力学性能

试样养护至规定龄期后取出(3 d、28 d 和 56 d), 测试其抗压强度和抗折强度。其中, 测试抗折强度时的加压速率为(50 ± 10)N/S, 测试抗压强度时的加压速率为(2400 ± 200)N/S。最终实验结果取六个试块的平均值。

### 3. 实验结果与讨论

#### 3.1. 普通集料混凝土抗压强度变化规律

实验根据表 2 配置成普通集料混凝土和掺加 35% 的矿粉的普通集料混凝土, 抗压强度分别如图 1 和图 2 所示。

图 1 为未掺加掺和料的普通混凝土。由图可知, 随着集料体积掺量由 0 增加到 60% 的过程中混凝土

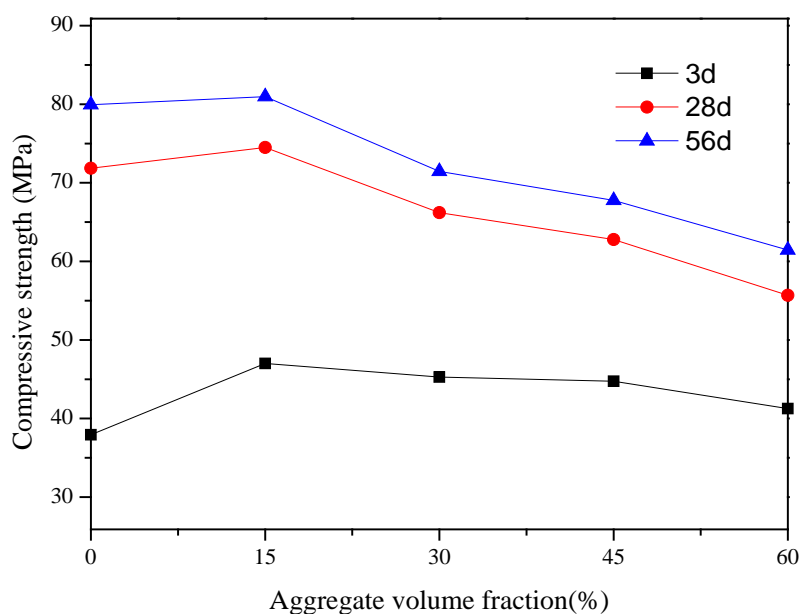


Figure 1. Compressive strength of ordinary aggregate concrete without admixture

图 1. 未掺加掺和料普通集料混凝土抗压强度

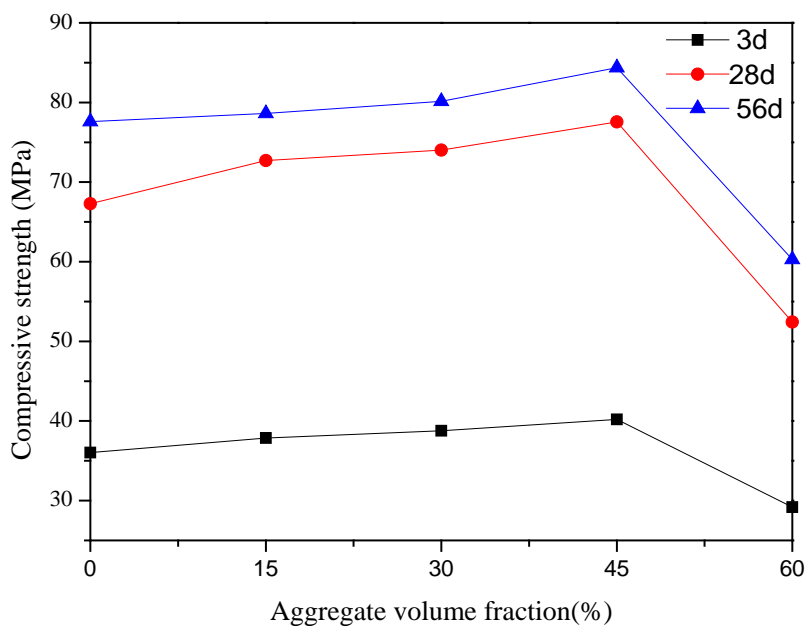


Figure 2. Compressive strength of ordinary aggregate concrete mixed with 35% mineral powder

图 2. 掺加 35% 矿粉普通集料混凝土抗压强度

3 d、28 d 和 56 d 抗压强度略增加后降低，并在集料体积参量为 15% 时达到峰值。3 d 抗压强度在集料体积参量为 0 时取得最低值，28 d 和 56 d 的最低值均在体积参量为 60%。集料体积参量从 45% 增加到 60%，抗压强度均在 45% 的时候出现缓降。

图 2 掺加 35% 的矿粉混凝土由图可知，集料体积参量由 0 增加到 60%，3 d、28 d 和 56 d 抗压强度均先增加后降低，并同时集料体积参量为 45% 时达到峰值。集料体积参量由 0 增加到 45% 时，抗压强度均缓慢增加，之后下跌。抗压强度最小值均出现在 60%。

### 3.2. 钢渣集料对混凝土抗压强度的影响规律

实验根据表 3 配置成钢渣集料混凝土和掺加 35% 的矿粉的钢渣集料混凝土，抗压强度分别如图 3~图 6 所示。

图 3 为未掺加掺和料的钢渣集料混凝土。由图可知，集料体积参量由 0 增加到 60%，3 d 抗压强度先增加后降低，并在 45% 时达到峰值。28 d 和 56 d 抗压强度均先降低后缓慢上升，同时在 45% 时达到峰值后强度降低。3 d 抗压强度在集料体积参量为 0 取得最小值；28 d 和 56 d 在 60% 取得最小值。

图 4 为不同龄期未掺加掺和料钢渣集料混凝土抗压强度与基准混凝土抗压强度对比图。由图可知，集料体积参量由 0 增大到 15%，3 d 抗压强度同时增加，之后基准混凝土强度逐渐降低，而钢渣集料混凝土强度则缓慢增大并在 45% 达到极值，之后降低；28 d 钢渣集料混凝土抗压强度的极值点在 45%，而基准混凝土的集料体积参量的极值点在 15%；56 d 钢渣集料混凝土抗压强度与 28 d 强度就有相同规律。

图 5 为掺加 35% 矿粉钢渣集料混凝土。由图可知，集料体积参量由 0 增加到 45%，3 d、28 d 和 56 d 抗压强度均缓慢上升，并在 45% 时达到峰值，之后强度下降。3 d、28 d 和 56 d 的最低值均在 60% 时。集料体积参量由 15% 增加到 45% 时，28 d 强度线最平缓。

图 6 为不同龄期的掺加 35% 矿粉钢渣集料混凝土抗压强度和基准混凝土抗压强度对比图。由图可知，集料体积参量由 0 增加到 30%，钢渣集料混凝土和基准混凝土 3 d 抗压强度同时增加，之后随着集料体积参量的增大钢渣集料混凝土强度相对于基准混凝土增加程度大，二者同时在集料体积参量为 45% 达到

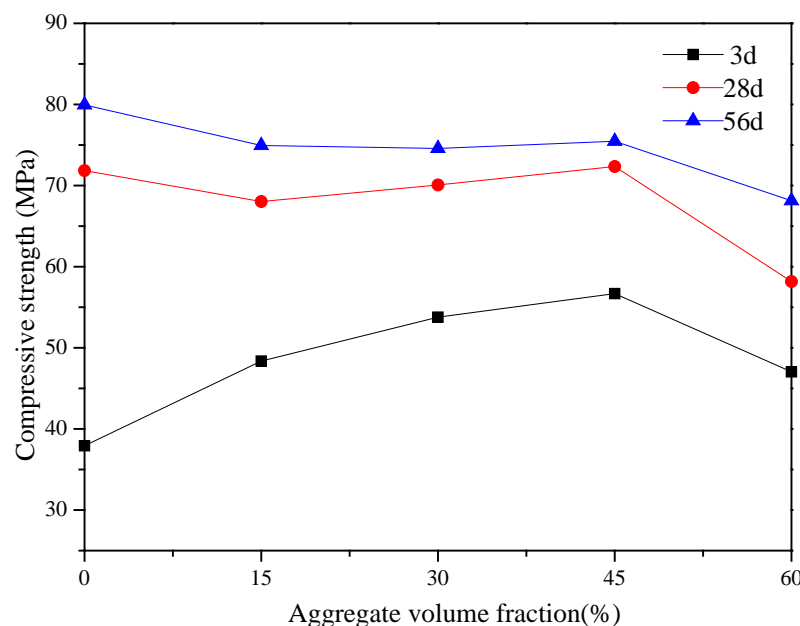
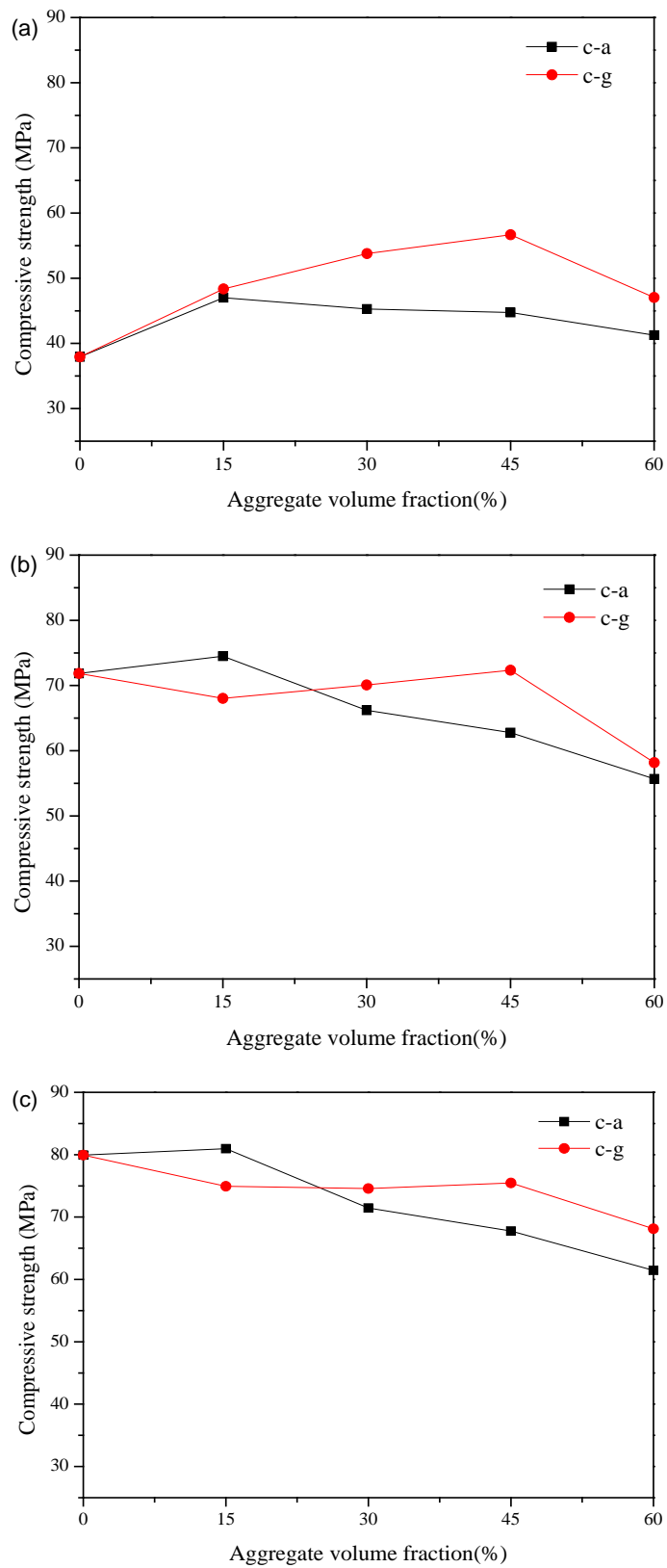


Figure 3. Compressive strength of steel slag aggregate concrete without admixture

图 3. 未掺加掺和料钢渣集料混凝土抗压强度



**Figure 4.** Compressive strength of steel slag aggregate concrete without admixture: (a) 3 d, (b) 28 d, (c) 56 d  
**图 4.** 未掺加掺和料时不同龄期钢渣集料混凝土抗压强度: (a) 3 d, (b) 28 d, (c) 56 d

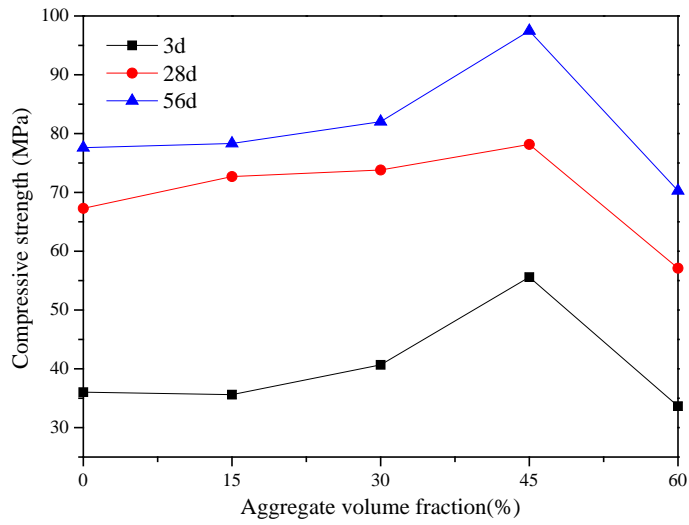
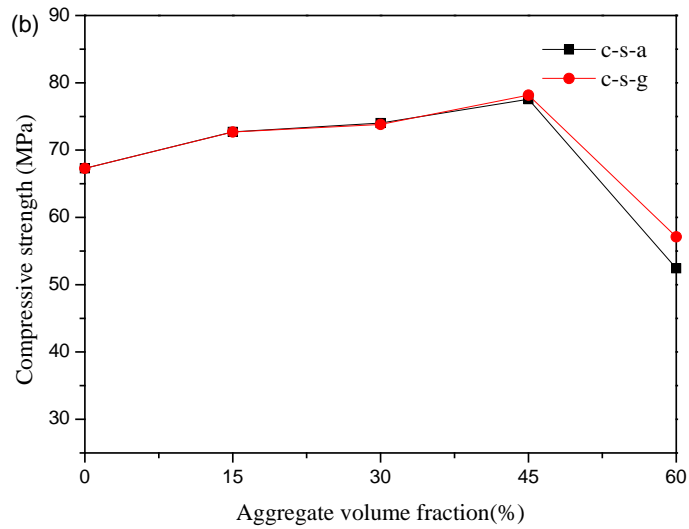
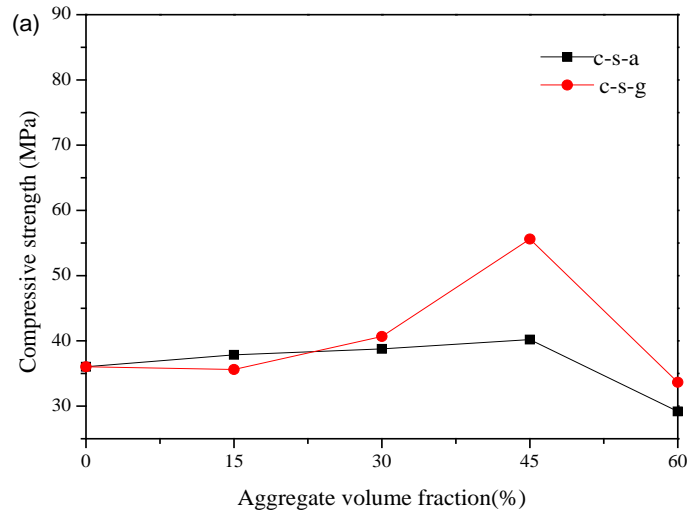
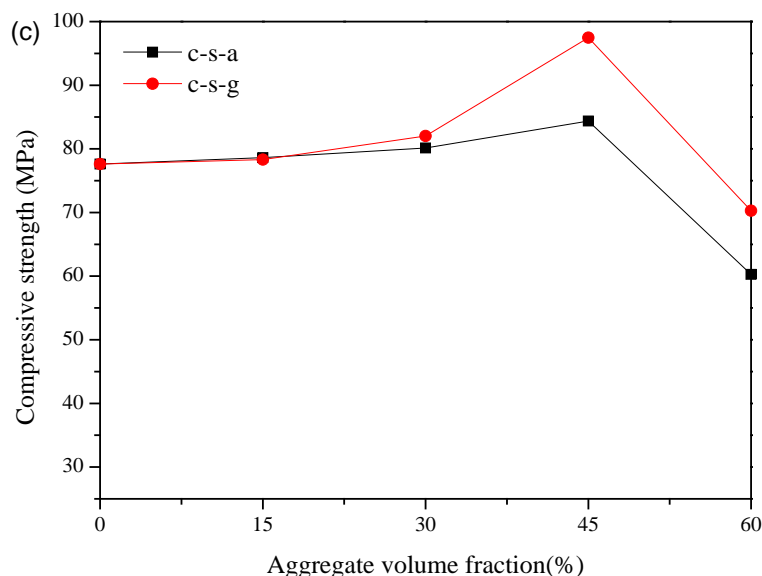


Figure 5. Compressive strength of steel slag aggregate concrete mixed with 35% mineral powder  
图 5. 掺加 35% 矿粉钢渣集料混凝土抗压强度





**Figure 6.** Compressive strength of steel slag aggregate concrete with 35% mineral powder: (a) 3 d, (b) 28 d, (c) 56 d

**图 6.** 掺加 35% 矿粉不同龄期钢渣集料混凝土抗压强度: (a) 3 d, (b) 28 d, (c) 56 d

极值，之后强度降低，二者同时在 60% 取得最低值；钢渣集料混凝土和基准混凝土 28 d 抗压强度具有相同变化规律；集料体积掺量由 0 增大到 30%，钢渣集料混凝土和基准混凝土 56 d 抗压强度具有相同变化规律，由 30% 增加到 45%，二者同时增大，之后同时降低，在 60% 处取得最小值。

#### 4. 结论

1) 集料体积掺量由 0 增加到 60%，普通集料混凝土 3 d、28 d 和 56 d 抗压强度均先增加后降低，并同时在集料体积掺量为 15% 时达到峰值；35% 矿粉的普通集料混凝土 3 d、28 d 和 56 d 抗压强度具有相同规律，不同的是峰值在 45% 时取得。

2) 未掺加掺和料的钢渣集料混凝土中随着集料体积掺量由 0 增加到 60%，3 d 抗压强度先增加后降低，并在 45% 时达到峰值。28 d 和 56 d 抗压强度均先降低后缓慢上升，也在 45% 时达到峰值，之后强度降低；

3) 掺加 35% 矿粉的钢渣集料混凝土中集料体积掺量由 0 增加到 60%，3 d、28 d 和 56 d 抗压强度均缓慢上升，并在集料体积掺量在 45% 时达到峰值之后强度下降。

#### 参考文献 (References)

- [1] 吴中伟, 廉慧珍. 高性能混凝土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- [2] 黄士元. 近代混凝土技术[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998.
- [3] Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. (2006) *Microstructure and Properties of Hardened Concrete*. McGraw-Hill, New York.
- [4] Tuefekci, M. and Demirbas, A. (1997) Evaluation of Steel Furnace Slags as Cement Additives. *Cement and Concrete Research*, **27**, 1713-1717. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00158-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00158-0)
- [5] 宫武伦, 仲晓林. 钢渣掺合料对混凝土的调节作用[J]. 建筑技术开发, 1996(3): 25-26.
- [6] 马秉东, 陈春雷, 等. 磨细钢渣作泵送混凝土掺合料的性能[J]. 建筑技术开发, 2000, 27(5): 30-32.
- [7] Neville, A.M. (1995) *Properties of Concrete*. Longman Group Ltd., London.



- [8] 姜从盛, 丁庆军, 等. 钢渣的理化性能及其综合利用技术发展趋势[J]. 建材世界, 2002, 23(3): 3-5.
- [9] Hisham, Q., Faisal, S. and Ibrahim, A. (2009) Use of Low CaO Unprocessed Steel Slag in Concrete as Fine Aggregate. *Construction and Building Materials*, **23**, 1118.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)