

Influence of the Interfacial Transition Zone on the Mechanical Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate

Dedong Zhang

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

Received: May 7th, 2018; accepted: May 21st, 2018; published: May 28th, 2018

Abstract

Recycled aggregate contains unhydrated cement particles, which can make it exhibit gel activity when encountering water. In addition, recycled aggregate concrete has the characteristics of small density and high porosity. In the process of hydration, the moisture adsorbed in the pore of recycled aggregate will also play a role of internal curing, which will affect the structure of the ITZ. Based on this, this paper will study the influence of recycled aggregate on the mechanical behavior of concrete, and reveal the influence regularity on the mechanical properties of concrete.

Keywords

ITZ Recycled Aggregate, Mechanical Property

再生集料ITZ效应对混凝土力学性能的影响规律

张德东

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

收稿日期: 2018年5月7日; 录用日期: 2018年5月21日; 发布日期: 2018年5月28日

摘要

再生集料中含有未水化的水泥颗粒, 这使得再生集料在遇水时会表现出一定的凝胶活性。此外, 再生集料混凝土具有密度小、孔隙率高等特点, 在胶凝材料水化硬化过程中, 吸附在再生集料孔隙中的水分还

会起到内养护的作用,进而会对混凝土界面过渡区结构产生影响。基于此,本章对再生集料对混凝土力学行为的影响进行了深入研究,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规律。

关键词

界面过渡区再生集料,力学性能

Copyright © 2018 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

混凝土作为一种高度复杂、不均匀材料,其性能与组成、结构密切相关。早期混凝土模型将其描述为由集料与浆体两相体系组成的材料。然而,越来越多的研究发现,胶凝材料浆体并非匀质,浆体接近集料的区域部分(界面过渡区 ITZ)其组成与结构均不同于浆体。在多重因素共同作用下产生的 ITZ 具有孔隙率高、未水化水泥颗粒少、板状 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体粗大并在集料表面形成择优取向等特点[1] [2] [3] [4]。基于 ITZ 不同于硬化水泥浆体的微观组成及结构特征,使得它成为混凝土最薄弱的区域,因此对水泥基材料的整体性能会产生显著影响[5] [6] [7]。

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[8] [9]。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。

再生集料是指将废弃混凝土块经过破碎、清洗与分级后,形成一定级配的混凝土集料。由于再生集料混凝土中含有未水化的水泥颗粒,这使得再生集料在遇水时会表现出一定的凝胶活性。此外,再生集料混凝土具有密度小、孔隙率高等特点[10],在胶凝材料水化硬化过程中,吸附在再生集料孔隙中的水分还会起到内养护的作用,进而会对混凝土界面过渡区结构产生影响。再生集料的使用既能使有限的资源得以再利用,又解决了部分环保问题。这是发展绿色混凝土,实现建筑资源环境可持续发展的主要措施之一。基于此,本章对再生集料对混凝土力学行为的影响进行了深入研究,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和再生集料,表观密度分别为 2366 kg/m^3 和 2050 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,探索再生集料 ITZ 效应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

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	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. Comment 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 ³)	水泥(kg/m ³)	矿粉(kg/m ³)	水(kg/m ³)
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. Recycled aggregate concrete match ratio**表 3.** 再生集料混凝土配比

样品编号	集料体积掺量(%)	再生集料(kg/m ³)	水泥(kg/m ³)	矿粉(kg/m ³)	水(kg/m ³)
C-Z-0	0	-	1474.0	-	515.9
C-Z-15	15	357	1252.9	-	438.5
C-Z-30	30	714	1031.8	-	361.1
C-Z-45	45	1071	810.7	-	283.8
C-Z-60	60	1428	589.6	-	206.4
C-S-Z-0	0	-	934.7	503.3	503.3
C-S-Z-15	15	357	794.5	427.8	427.8
C-S-Z-30	30	714	654.3	352.3	352.3
C-S-Z-45	45	1071	514.1	276.8	276.8
C-S-Z-60	60	1428	373.9	201.3	201.3

注: C-Z-45 代表再生集料混凝土, 集料体积掺量 45%。C-S-Z-45 代表掺入矿粉的再生集料混凝土, 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℃ ± 2℃、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。

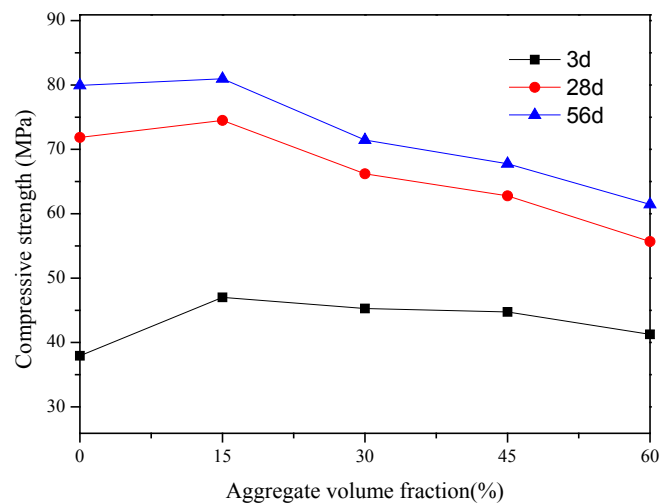


Figure 1. Compressive strength of ordinary aggregate concrete without admixture

图 1. 未掺加掺和料普通集料混凝土抗压强度

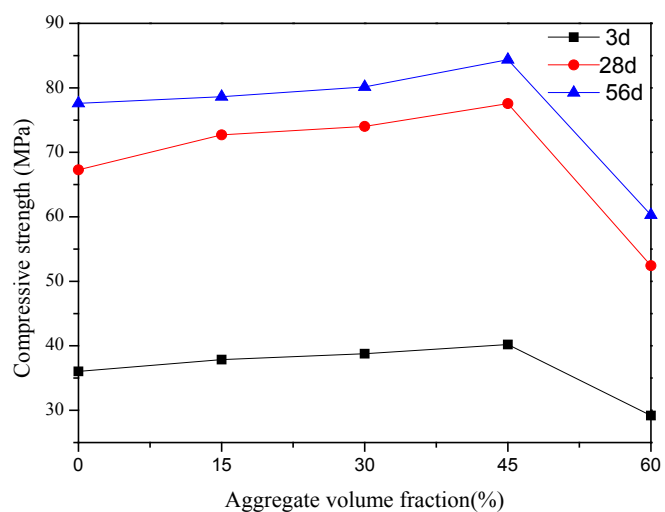


Figure 2. Compressive strength of ordinary aggregate concrete mixed with 35% mineral powder

图 2. 掺加 35%矿粉普通集料混凝土抗压强度

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3d、28d和56d抗压强度略增加后降低,并在集料体积掺量为15%时达到峰值。3d抗压强度在集料体积掺量为0时取得最低值,28d和56d的最低值均在体积掺量为60%。集料体积掺量从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,集料体积掺量由0增加到60%,3d、28d和56d抗压强度均先增加后降低,并同时集料体积掺量为45%时达到峰值。集料体积掺量由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. 再生集料对混凝土抗压强度的影响规律

实验根据表3配置成再生集料混凝土和掺加35%的矿粉的再生集料混凝土,抗压强度分别如图3至图6所示。

图3为未掺加掺和料的再生集料混凝土。由图可知,集料体积掺量由0增加到60%,3d抗压强度先增加后降低并在30%时达到峰值,之后强度降低;28d和56d抗压强度一直降低,并且强度变化相同。3d、28d和56d抗压强度的最低值均在60%时取的。

图4为不同龄期未掺加掺和料再生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:由图4(a)集料体积掺量为0增加到30%,混凝土3d抗压强度先上升后下降,再生集料混凝土在体积掺量为15%达到极值;基准混凝土的抗压强度则缓慢下降;再生集料混凝土的强度下降程度最大。由图4(b)和(c)知,集料体积掺量由0增加到60%,再生集料混凝土28d和56d抗压强度一直降低。

图5为掺加35%矿粉再生集料混凝土。由图可知,集料体积掺量由0增加到60%,3d、28d和56d抗压强度一直降低,三者均在集料体积掺量为0时取得最大值,60%时取得最小值。集料体积掺量由0增加到30%,3d强度缓慢下降。

图6为不同龄期的掺加35%矿粉再生集料混凝土抗压强度和基准混凝土抗压强度对比图。由图2.20(a)可知集料体积掺量由0增大到30%,矿粉再生集料混凝土3d抗压强度略小于普通集料混凝土抗压强度。

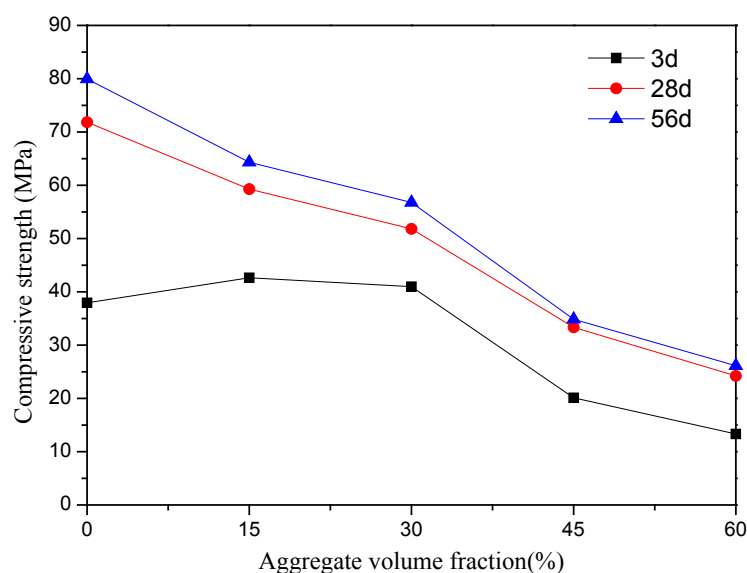


Figure 3. Compressive strength of recycled aggregate concrete without admixture

图3. 未掺加掺和料再生集料混凝土抗压强度

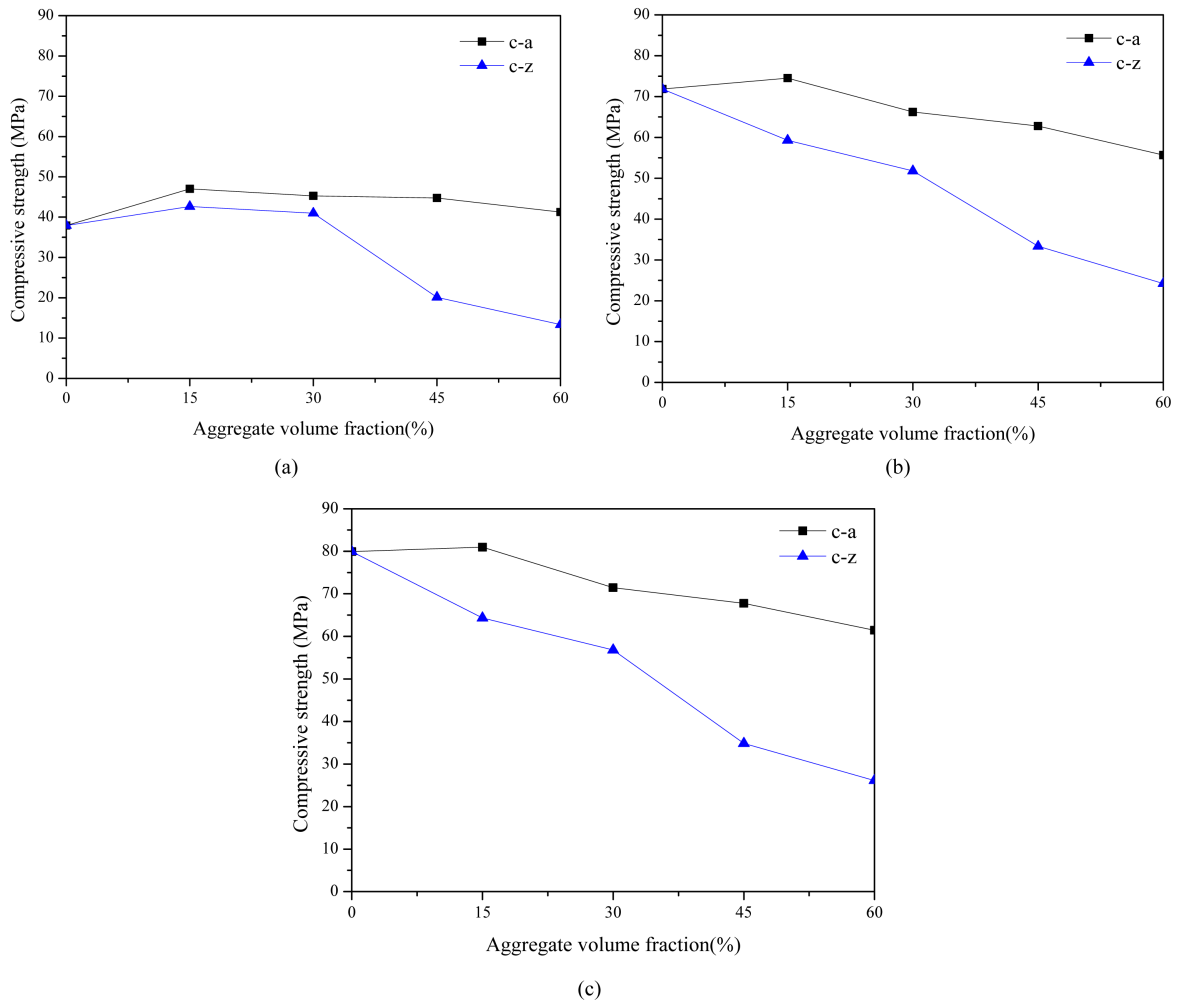


Figure 4. Compressive strength of recycled aggregate concrete without admixture: (a) 3 d; (b) 28 d; (c) 56 d
 图 4. 未掺加掺和料时不同龄期再生集料混凝土抗压强度: (a) 3 d; (b) 28 d; (c) 56 d

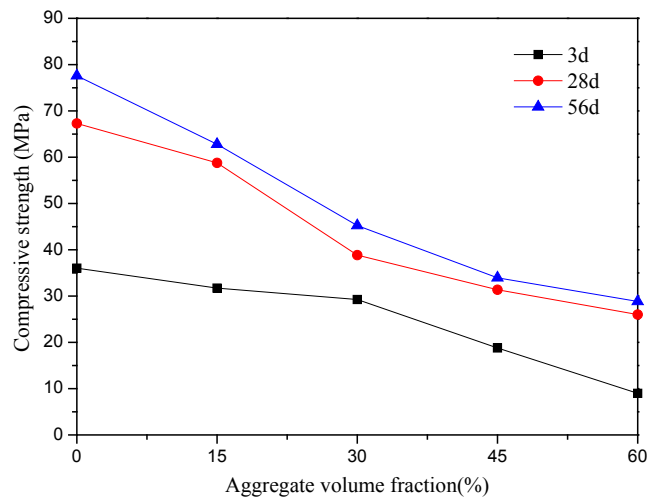


Figure 5. Compressive strength of recycled aggregate concrete mixed with 35% mineral powder
 图 5. 掺加 35%矿粉再生集料混凝土抗压强度

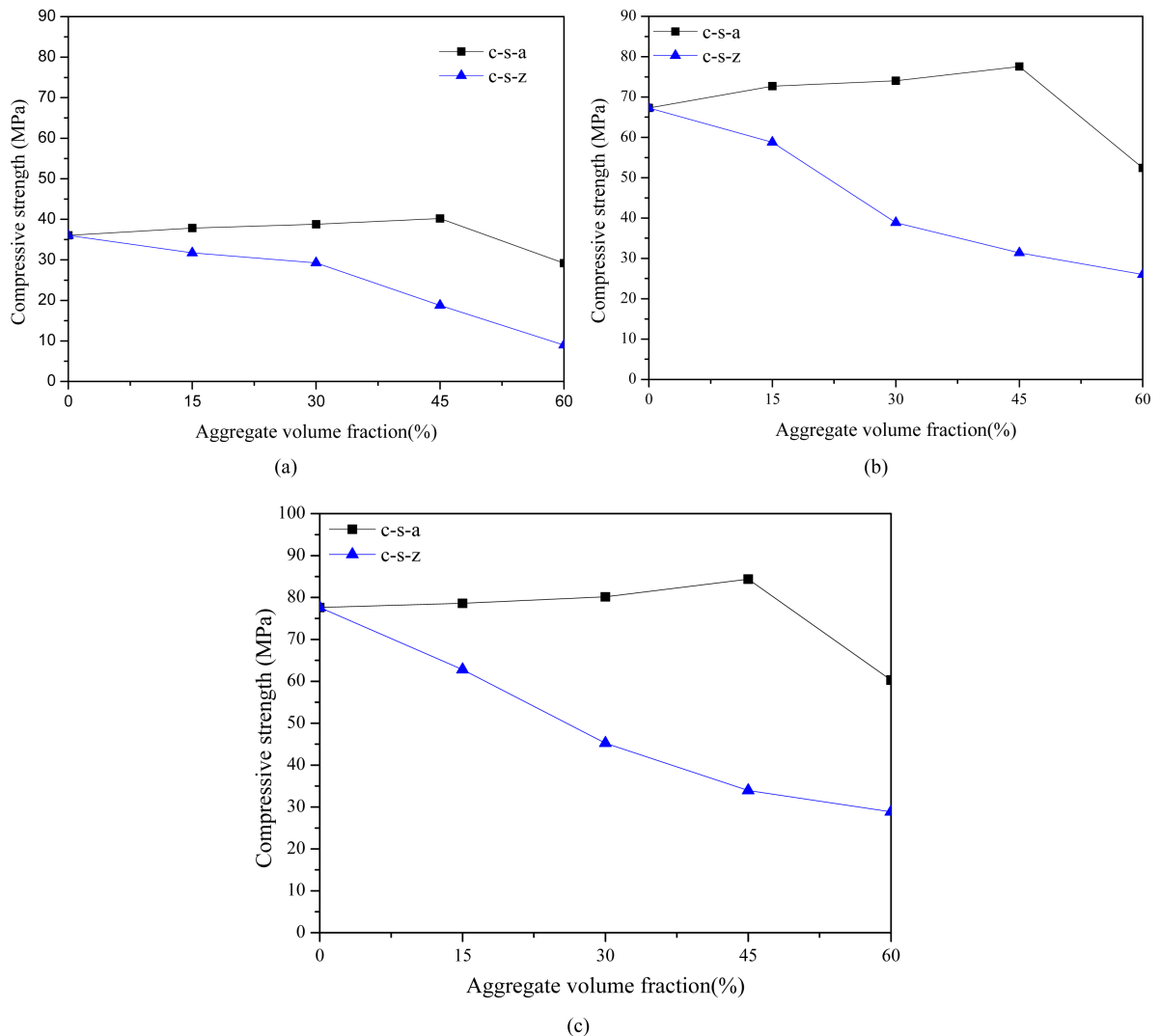


Figure 6. Compressive strength of recycled aggregate concrete with 35% mineral powder: (a) 3 d; (b) 28 d; (c) 56 d
图 6. 掺加 35%矿粉不同龄期再生集料混凝土抗压强度: (a) 3 d; (b) 28 d; (c) 56 d

随着集料体积掺量的增加, 差值越来越大。二者强度同时在集料体积参量为 60% 得到最低值。由图 6(b) 矿粉再生集料混凝土随着集料体积掺量的增加 28 d 抗压强度一直降低, 并且与普通集料混凝土强度差值越来越大。由图 6(c) 可知集料体积掺量由 0 增加到 45%, 普通集料混凝土强度缓慢上升, 而再生集料混凝土的强度随着集料体积掺量的增加而降低。

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, 并同时在集料体积参量为 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) 未掺加掺和料的再生集料混凝土, 集料体积掺量由 0 增加到 60%, 3 d 抗压强度先增加后降低, 在 15% 时取得峰值, 28 d 和 56 d 抗压强度一直降低;
- 3) 掺加 35% 矿粉的再生集料混凝土的 3 d、28 d 和 56 d 抗压强度均一直降低。

参考文献

- [1] Wong, H., Head, M. and Buenfeld, N. (2006) Pore Segmentation of Cement-Based Materials from Backscattered Electron Images. *Cement and Concrete Research*, **36**, 1083-1090. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.10.006>
- [2] Diamond, S. and Huang, J. (2001) The ITZ in Concrete—A Different View Based on Image Analysis and SEM Observations. *Cement and Concrete Composites*, **23**, 179-188. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00065-2)
- [3] 陈露一, 郑志河, 邵慧权, 等. 混凝土界面过渡区不均匀特性研究[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(9): 211-213.
- [4] 陈惠苏, 孙伟, S. Piet. 水泥基复合材料集料与浆体界面研究综述(二): 界面微观结构的形成劣化机理及其影响因素[J]. 硅酸盐学报, 2004, 32(1): 70-79.
- [5] Duan, P., Shui, Z., Chen, W. and Shen, C. (2013) Enhancing Microstructure and Durability of Concrete from Ground Granulated Blast Furnace Slag and Metakaolin as Cement Replacement Materials. *Journal of Materials Research and Technology*, **2**, 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.03.010>
- [6] Cwirzen, A. and Penttala, V. (2005) Aggregate-Cement Paste Transition Zone Properties Affecting the Salt-Frost Damage of High-Performance Concretes. *Cement and Concrete Research*, **35**, 671-679. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.009>
- [7] Poon, C., Kou, S. and Lam, L. (2006) Compressive Strength, Chloride Diffusivity and Pore Structure of High Performance Metakaolin and Silica Fume Concrete. *Construction and Building Materials*, **20**, 858-865. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.07.001>
- [8] 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.
- [9] Neville, A.M. (1995) Properties of Concrete. Long Man Group Ltd., London.
- [10] Harutyunyan, V., Abovyan, E., Monteiro, P., Mkrtychyan, V. and Balyan, M. (2000) Microstrain Distribution in Calcium Hydroxide Present in the Interfacial Transition Zone. *Cement and Concrete Research*, **30**, 709-713. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00230-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00230-1)

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