

石灰石粉和铁尾矿粉对水泥抗氯离子渗透性能的影响

孙志磊^{1*}, 李 猛²

¹山东华森凤山建材有限公司, 山东 济南

²山东华森济美建材有限公司, 山东 济南

收稿日期: 2023年11月28日; 录用日期: 2024年1月9日; 发布日期: 2024年1月15日

摘 要

本文研究了石灰石粉、铁尾矿粉两种掺合料单掺或复掺时对普通硅酸盐水泥抗氯离子渗透性能的影响; 并利用SEM方法分析了不同龄期的净浆水化产物。研究表明: 在普通硅酸盐水泥浆体中, 加入掺合料石灰石粉或铁尾矿粉可以改善水泥浆体的致密性, 提高水泥抗氯离子渗透能力; 其作用效果为: 石灰石粉与铁尾矿粉复掺 > 铁尾矿粉 > 石灰石粉。

关键词

石灰石粉, 铁尾矿粉, 氯渗透性, SEM

Effect of Limestone Powder and Iron Tailings Powder on the Chloride Ion Permeation Resistance of Cement

Zhilei Sun^{1*}, Meng Li²

¹Shandong Huaseng Fengshan Building Materials Co., Ltd., Jinan Shandong

²Shandong Huasen Jimei Building Materials Co., Ltd., Jinan Shandong

Received: Nov. 28th, 2023; accepted: Jan. 9th, 2024; published: Jan. 15th, 2024

Abstract

In this paper, the effects of limestone powder and iron tailings powder on the resistance of ordi-

*第一作者。

nary Portland cement to chloride ion permeation are studied when mixed with single or compound admixture. The SEM method was used to analyze the purification and hydration products of different ages. The results show that in ordinary Portland cement slurry, adding admixture limestone powder or iron tailings powder can improve the compactness of cement slurry and improve the resistance of cement to chloride ion penetration. Its effect is: Limestone powder and iron tailings powder mixed with iron tailings powder > iron tailings powder > limestone powder.

Keywords

Limestone Powder, Iron Tailings Powder, Chlorine Permeability, SEM

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 前言

矿物掺合料或混合材在水泥或水泥砂浆或水泥制品或水泥混凝土中的应用已经非常成熟和相对广泛 [1] [2]。目前, 市场上使用较多的矿物掺合料或混合材主要有粉煤灰、矿粉、硅灰、石灰石粉、铁尾矿粉等, 这些掺合料或混合材等量取代部分水泥, 除可以降低原材料成本、减少环境负载、变废为保外, 还可以改善水泥或水泥砂浆或水泥制品或水泥混凝土的综合性能 [3] [4]。最近几年, 一些特殊工程(海峡工程、水下工程、高强泵送、港口、码头、机场, 等)对混凝土耐久性能要求高的工程逐渐增多, 有不少工程经常出现耐久性能不合格的事故, 全国乃至全世界, 都对高性能混凝土耐久性能进行管控和重视 [5] [6]。如何提高传统硅酸盐水泥的耐久性能, 特别是抗氯离子渗透性能, 提高水泥耐久性并力求达到节约能源、节省资源、保护环境的目的, 是水泥技术领域研究的重大问题 [7] [8]。

本文以水泥砂浆为研究对象, 研究两种掺合料石灰石粉和铁尾矿粉单掺或复掺对普通硅酸盐水泥砂浆抗氯渗透性能的影响, 以及对水泥净浆微观结构及性能的影响。

2. 试验原材料与试验方法、试验仪器

2.1. 试验原材料

试验所用的主要原料: 普通硅酸盐水泥(PO42.5), 比表面积 352 m²/kg, 安定性合格(试饼法), 标准稠度用水量 26.5%, 山东省济南市山水集团总厂产; 石灰石粉: 细度 2.6% (200 目), 比表面积 382 m²/kg, 密度 2.86 g/cm³, 碳酸钙含量 92.5%, Fe 含量约 0.14%, 山东省济南市章丘市某碎石场产; 铁尾矿粉: 细度 4.2% (200 目), 比表面积 375 m²/kg, 密度 3.24 g/cm³, 碳酸钙含量 91.1%, Fe 含量约 2.65%, 山东省济南市山钢集团产, 砂: ISO 标准砂; 水: 采用饮用水。普通硅酸盐水泥的化学成分见表 1 所示。

Table 1. Chemical composition of ordinary Portland cement

表 1. 普通硅酸盐水泥的化学成分

品种	化学成分(w)/%									
	Loss	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₃
普通硅酸盐水泥	0.72	65.95	21.90	4.13	3.71	0.45	0.23	0.46	0.88	0.03

2.2. 试验方法

水泥砂浆试验按 ISO 标准进行, 其中: 水灰比为 0.50, 灰砂比为 1:3;

水泥净浆试验按 ISO 标准进行, 其中: 水灰比为 0.29;

氯离子渗透性试验按 NEL-KDU 型混凝土渗透性检测系统进行, 本文利用水泥砂浆进行试验测试, 其中: 水灰比为 0.50, 灰砂比为 1:3, 用 100 mm × 100 mm × 100 mm 试模成型, 标准养护到 28 d 以后, 切割成形状为 100 mm × 100 mm × 50 mm 试块, 然后用 4 mol/L 的氯离子溶液浸泡 24 h, 测氯离子扩散系数。

2.3. 试验仪器

净浆搅拌机、砂浆搅拌机、砂浆振动台、NEL-KDU 型氯离子渗透仪、万能实验压力机、抗压夹具、100 mm × 100 mm × 100 mm 试模等。

3. 结果和讨论

3.1. 石灰石粉和铁尾矿粉单掺对氯离子渗透性影响

表 2 是两种掺合料石灰石粉、铁尾矿粉单掺时, 对普通硅酸盐水泥砂浆(28 d)氯离子扩散系数的影响情况, 从表中可知: 在普通硅酸盐水泥中加入掺合料(石灰石粉或铁尾矿粉)后, 其普通硅酸盐水泥氯离子扩散系数都会有不同程度的变化; 随着掺合料(石灰石粉或铁尾矿粉)掺量的增加其氯离子扩散系数先逐渐降低而后逐渐增加; 单掺石灰石粉时, 当石灰石粉掺量为 15% 时, 其水泥氯离子扩散系数达到最小值; 单掺铁尾矿粉时, 当铁尾矿粉掺量为 20% 时, 其水泥氯离子扩散系数达到最小值。从表中数据还可以看出: 在相同掺量下, 掺铁尾矿粉的氯离子扩散系数比掺石灰石粉的氯离子扩散系数小。

Table 2. Effect of single mixing of limestone powder and iron tailings powder on the diffusion coefficient of chloride ion/ 10^{-14} m²/s

表 2. 石灰石粉和铁尾矿粉单掺对氯离子扩散系数影响/ 10^{-14} m²/s

掺合料 掺量/%	石灰石粉	铁尾矿粉
0	16.20	16.20
5	15.76	15.42
10	14.47	14.01
15	13.24	12.42
20	13.91	12.01
25	15.12	13.75
30	15.96	14.85
35	16.64	16.29
40	17.89	17.45

Table 3. Effect of remixing of limestone powder and iron tailings powder on the diffusion coefficient of chloride ion/ 10^{-14} m²/s

表 3. 石灰石粉和铁尾矿粉复掺对氯离子扩散系数影响/ 10^{-14} m²/s

掺合料 掺量/%	石灰石粉和铁尾矿粉复掺比例										
	10:0	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5	4:6	3:7	2:8	1:9	0:10
15	13.24	12.26	10.65	10.23	9.40	8.92	7.67	8.35	9.46	10.38	12.42

3.2. 石灰石粉和铁尾矿粉复掺对氯离子渗透性影响

表 3 是两种掺合料石灰石粉、铁尾矿粉复掺时, 对普通硅酸盐水泥砂浆(28 d)氯离子扩散系数的影响情况, 两种掺合料复掺时的掺量固定为 15%。从表中可知: 与单掺石灰石粉或单掺铁尾矿粉相比, 石灰石粉和铁尾矿粉两者复掺后, 其普通硅酸盐水泥氯离子扩散系数变小, 且随着两种掺合料中铁尾矿粉比例的增加, 其普通硅酸盐水泥氯离子扩散系数更小, 即石灰石粉和铁尾矿粉两者复掺更能提高普通硅酸盐水泥的抗氯离子渗透能力; 从表中数值可以看出: 石灰石粉和铁尾矿粉的最佳复配比例为 4:6。

3.3. SEM 分析

分别对空白样(纯水泥)、掺 5% 石灰石粉、15% 石灰石、5% 铁尾矿粉、15% 铁尾矿粉、15% (石灰石粉 7:铁尾矿粉 3)、15% 石(灰石粉 4:铁尾矿粉 6), 7 个样品水化 28 d 进行 SEM 分析, 见图 1~7 所示。

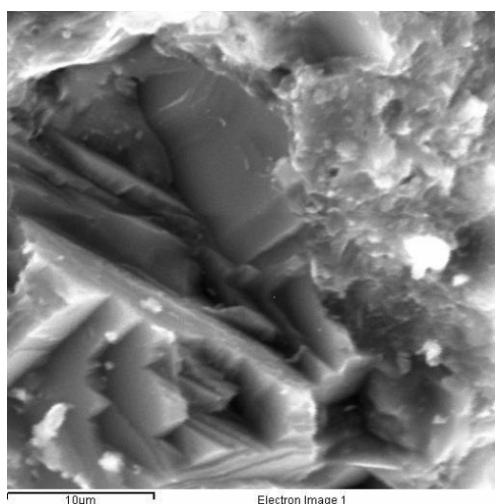


Figure 1. Blank sample (pure cement) was hydrated for 28 d

图 1. 空白样(纯水泥)水化 28 d

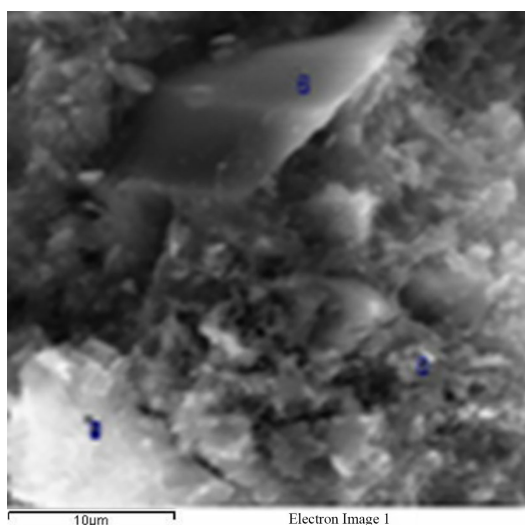


Figure 2. 5% limestone powder hydration 28 d

图 2. 掺 5% 石灰石粉水化 28 d

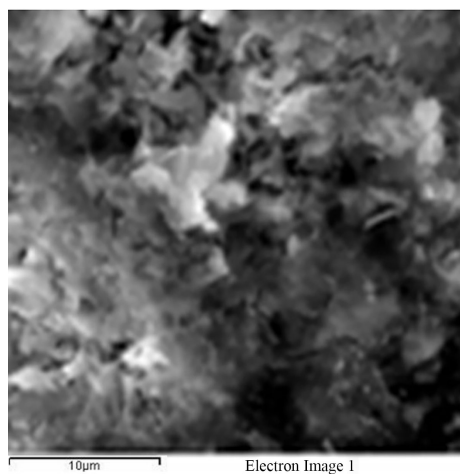


Figure 3. 15% limestone powder hydration 28 d
图 3. 掺 15% 石灰石粉水化 28 d

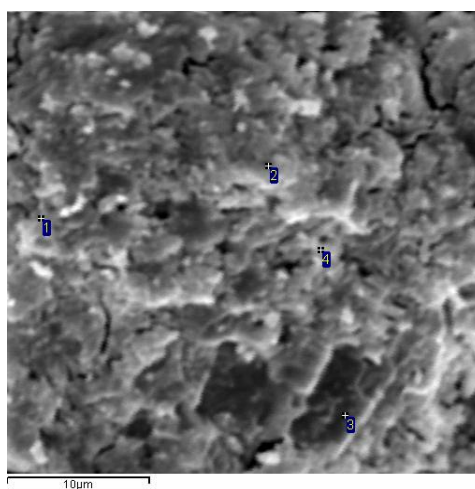


Figure 4. 5% iron tailings 28 d
图 4. 掺 5% 铁尾矿粉水化 28 d

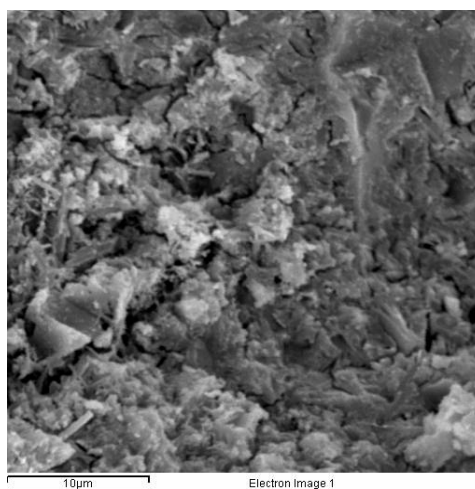


Figure 5. 15% iron tailings 28 d
图 5. 掺 15% 铁尾矿粉水化 28 d

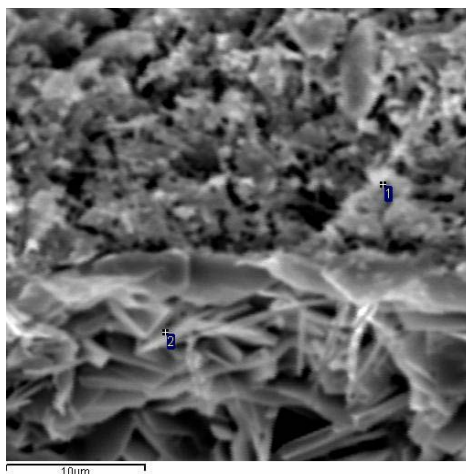


Figure 6. 15% (limestone powder 7: iron tailings powder 3) hydration 28 d
图 6. 15% (石灰石粉 7:铁尾矿粉 3)水化 28 d

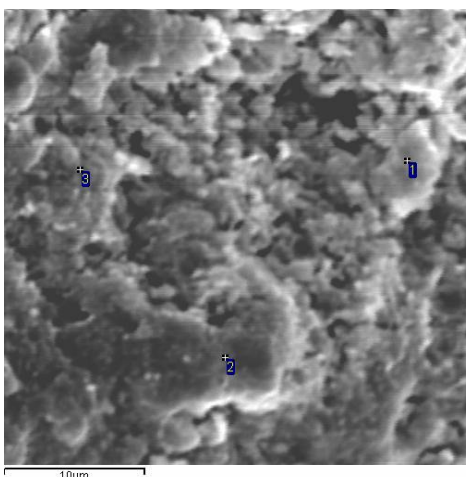


Figure 7. 15% (limestone powder 4: iron tailings powder 6) hydration 28 d
图 7. 15% (石灰石粉 4:铁尾矿粉 6)水化 28 d

从图 1 可知：未加掺合料(石灰石粉或铁尾矿粉)时，试样水化 28 d 时有大量凝胶、氢氧化钙、部分未水化的水泥熟料颗粒，且分布不均匀。而在图 2~7 中，当在普通硅酸盐水泥加入掺合料后，水化 28 d 时，氢氧化钙和未水化熟料颗粒明显减少，凝胶数量明显增多，还有少量钙矾石产生，且分布比较均匀，颗粒之间连结较未加掺合料的水泥硬化浆体致密；对比图 2~7，还可以发现：掺 15% 石灰石粉的结构密实性较掺 5% 石灰石粉的好；掺 15% 铁尾矿粉的结构密实性较掺 5% 铁尾矿粉的好；掺 15% (石灰石粉 4:铁尾矿粉 6)的结构密实性较 15% (石灰石粉 7:铁尾矿粉 3)的好；与单掺石灰石粉或单掺铁尾矿粉相比，石灰石粉与铁尾矿粉两者复掺时结构更为密实。主要原因：单掺石灰石粉也好，单掺铁尾矿粉也好，随着掺合料的增加(石灰石粉或铁尾矿粉)，其混凝土结构更加密实(填充效果、集料效应、分散效应、活性效果，等)；即掺合料(石灰石粉或铁尾矿粉) 15% 的效果较 5% 的效果好；石灰石粉与铁尾矿粉相比，铁尾矿粉的填充效果、分散效果、集料效果、活性效果都优于石灰石粉，当两者掺合料复掺时，加上两者的叠加效果、互补效果，比单掺效果更好，所以，当铁尾矿粉也石灰石粉复掺时：铁尾矿粉的比例高的效果较好，即复掺(石灰石粉 4:铁尾矿粉 6)的结构密实性较复掺(石灰石粉 7:铁尾矿粉 3)的好。

4. 结论

1) 针对氯离子渗透性能而言, 随着掺合料(石灰石粉或铁尾矿粉)掺量的增加其氯离子扩散系数先逐渐降低而后逐渐增加; 单掺石灰石粉的最佳掺量为 15% 时; 单掺铁尾矿粉的最佳掺量为 20%; 两者掺合料的效果对比: 铁尾矿粉优于石灰石粉。

2) 与单掺石灰石粉或单掺铁尾矿粉相比, 两种掺合料(石灰石粉和铁尾矿粉)复掺的效果更好, 且石灰石粉和铁尾矿粉最佳复配比例为 4:6。

3) 在普通硅酸盐水泥中加入掺合料(石灰石粉或铁尾矿粉)后, 其水泥浆体微观结构得到改善, 结构致密化, 石灰石粉和铁尾矿粉两者复掺时效果最佳, 单掺铁尾矿粉的效果次子, 单掺石灰石粉的效果最差。

参考文献

- [1] 张仁磊. 混凝土抗渗性能现场检测技术研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- [2] 黄天勇, 章银祥, 陈旭峰, 阎培渝. 铁尾矿砂在干混砂浆中的应用研究综述[J]. 混凝土, 2017(9): 133-135.
- [3] 黄洋洋, 齐砚勇, 邓磊. ZnO 对硅酸盐水泥熟料矿物组成影响的研究[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(5): 1567-1572.
- [4] 刘晓林. 硅灰对混凝土性能的影响[J]. 建筑设计, 2015(1): 14-17.
- [5] 胡文龙, 刘赞群, 裴敏. 引气剂对硫铝酸盐水泥混凝土硫酸盐结晶破坏的影响[J]. 材料导报, 2019, 33(S1): 239-243.
- [6] 李瑞敏, 马卫华. 铁尾矿砂混凝土研究现状及展望[J]. 山西建筑, 2015, 4(15): 107-108.
- [7] 杨昊, 王全磊, 郑逢时. 粉煤灰、石灰石粉对水泥基材料防渗抗裂性能的影响 [J]. 赤峰学院学报, 2014, 30(2): 49-51.
- [8] 张凯, 康洪震. 铁尾矿砂混凝土试配试验研究[J]. 科技资讯, 2015, 13(22): 59-60.