

不同掺合料对高性能混凝土抗压强度的影响分析

李斌^{1,*}, 张云轶², 周星中¹, 来庆辉²

1 浙江立鹏建设有限公司, 浙江 温州 325700;

2 温州理工学院 建筑与能源工程学院 温州市韧性城市生命线工程智慧防护应急技术重点实验室,
浙江 温州 325035

摘要: 本文以 C15、C30、C55 三个典型强度等级的高性能混凝土为研究对象, 采用控制变量法, 系统研究粉煤灰和硅灰对混凝土抗压强度的影响规律。试验共制备 54 块 150mm×150mm×150mm 标准立方体试件, 通过电液伺服压力试验机测试 14d 和 28d 抗压强度。结果表明: 粉煤灰和硅灰均能提升混凝土的抗压强度, 相同掺量时硅灰比粉煤灰的提升效果好, 粉煤灰在龄期较短时提升效果明显, 龄期较长时, 提升效果减弱。研究成果可为高性能混凝土配合比设计及工程应用提供科学依据。

关键词: 高性能混凝土; 抗压强度; 粉煤灰; 硅灰

Analysis of the Influencing Factors on the Compressive Strength of High-Performance Concrete

Bin Li^{1,*}, Yunyi Zhang², Xingzhong Zhou¹, Qinghui Lai²

1. Zhejiang Lipeng Construction Co., Ltd., Wenzhou 325700, China;

2. Wenzhou Key Laboratory of Intelligent Lifeline Protection and Emergency Technology for Resilient City, College of Architecture and Energy Engineering, Wenzhou University of Technology, Wenzhou 325035, China

Abstract: This paper takes three typical strength grades of high-performance concrete (C15, C30, C55) as the research objects. By using the control variable method, it systematically studies the influence of fly ash and silica fume on the compressive strength of concrete. A total of 54 standard cubic test specimens with dimensions of 150mm×150mm×150mm were prepared. The compressive strength at 14 days and 28 days was tested using an electro-hydraulic servo pressure testing machine. The results show that both fly ash and silica fume can enhance the compressive strength of concrete. At the same dosage, the improvement effect of silica fume is better than that of fly ash. The improvement effect of fly ash is more obvious at shorter ages, while it weakens at longer ages. The research results can provide a scientific basis for the mix design and engineering application of high-performance concrete.

Keywords: High-performance concrete; Compressive strength; Fly ash; Silica fume

高性能混凝土在各类重大工程中应用越来越广泛, 其强度稳定性直接关系到整个工程的施工质量。通过准确识别并严格控制这些关键的影响因素, 能够有效降低因强度不足而引发的各种工程质量风险。对于提升土木工程的整体建设质量具有重要的现实意义^[1-2]。

不少专家系统探讨了不同水泥替代材料对高性能混凝土力学性能的影响, 结果表明在标准养护

条件下，掺入硅灰和矿渣可显著提升混凝土的抗压强度，且随着钢纤维掺量的增加，力学性能进一步改善^[3-4]。张丽萍等^[5]通过不同比例的橡胶粒子等比例代替普通混凝土的细骨料。在试件的制作过程中，使用不同掺量的橡胶粉等体积代替细集料，通过分析实验结果得到橡胶混凝土抗压强度随橡胶粉掺量的增加而减小,且在相同掺量情况下橡胶粉对混凝土的强度越大的混凝土的强度影响更大。郑晓东^[6]以粉煤灰替代水泥、尾矿砂替代细骨料，设计 4 种配合比，对进水塔混凝土进行抗冻融与抗压强度试验。结果表明单掺时粉煤灰 20%、尾矿砂 50%强度最高；复掺 10%粉煤灰和 25%尾矿砂时强度最高，且冻融后质量损失率和相对动弹性模量变化最小，抗冻融性能最优，为最佳掺量。机器学习与响应曲面法等现代统计方法得到广泛应用。王千里等^[7]为准确预测混凝土抗压强度，利用贝叶斯优化算法对极限梯度提升算法的超参数进行优化，以水泥、矿渣、粉煤灰、水、高效减水剂、粗骨料和细骨料等参数作为输入变量，以 28d 龄期的抗压强度作为预测目标，建立了 CCS 预测的混合 BO-XGBoost 模型。

本研究的主要目的是通过设计一系列的对比试验，分析粉煤灰、硅灰对混凝土抗压强度的具体影响分析，最终为工程实践中的配合比优化和质量控制工作，提供可靠的理论依据。

1 试验设计

为系统探究高性能混凝土抗压强度的影响因素，本章首先介绍了试验所用配合比设计及变量设定，明确了 C15、C30、C55 三个强度等级的基准配合比参数。每个等级设置一个基准配合比，并在此基础上对关键变量进行调整。主要配合比参数如表 1 所示：

表 1 配合比设计结果
Table 1 Design results of mix proportions

强度等级	水胶比	水泥	砂	碎石（mm）			水	钢纤维	外加剂	应用位置
				5-10	10-20	16-31.5				
C15	0.6	280	878	161	644	269	168		2.8	垫层等
C30	0.44	400	782	207	644	0	176		4.8	预制件
C55	0.29	531	725	200	802	0	154	60	8.0	桥面铺装

为研究不同掺合料的影响，每个强度等级均设置以下试验对照组：基准水泥用量的 5%和 10%等质量替换为粉煤灰；基准水泥用量的 5%和 10%等质量替换为硅灰。共制备 54 组标准立方体试件，测得 14d、28d 抗压强度。通过万能试验压力机加载获得混凝土抗压强度值。立方体抗压强度如式(1)计算：

$$f_{cu}=\frac{F}{A}$$

(1)

式中： f_{cu} ——立方体抗压强度；F——试件破坏荷载；A——试件承压面积。

2 粉煤灰对抗压强度的影响

从图 1 结果可以得出掺入粉煤灰对强度整体表现出提升效果。14 天龄期，掺合料为 5%，对于 C15、C30 和 C55 强度等级的混凝土抗压强度分别提高了 35%、10.6%、29.7%，平均提升 25.1%。在短期内混凝土提升效果越明显。掺入 10%后，对于 C15、C30 和 C55 强度等级的混凝土抗压强度分别提高了 33.7%、16.9%、42.1%，平均提升 30.2%。表明在短期内掺加粉煤灰后，可大量提升混凝土抗压强度，掺量 10%时能更好提升混凝土的抗压强度。

随着养护时间增长，28 天龄期，掺合料为 5%时，对于 C15、C30 和 C55 强度等级的混凝土抗

压强度分别提高了 -6.2%、7.9%和 4.0%，平均提升 1.9%，强度等级越大的混凝土提升效果有所下降；掺合料为 10%时，C15、C30 和 C55 强度等级的混凝土抗压强度分别提高了-8.4%、14.7%和 14.3%，平均提升 6.9%，因此综合评价可以得到，粉煤灰掺量 5%时在短期能极大提升混凝土强度，但从长远结果表明掺量 10%时能更好提升混凝土的抗压强度。

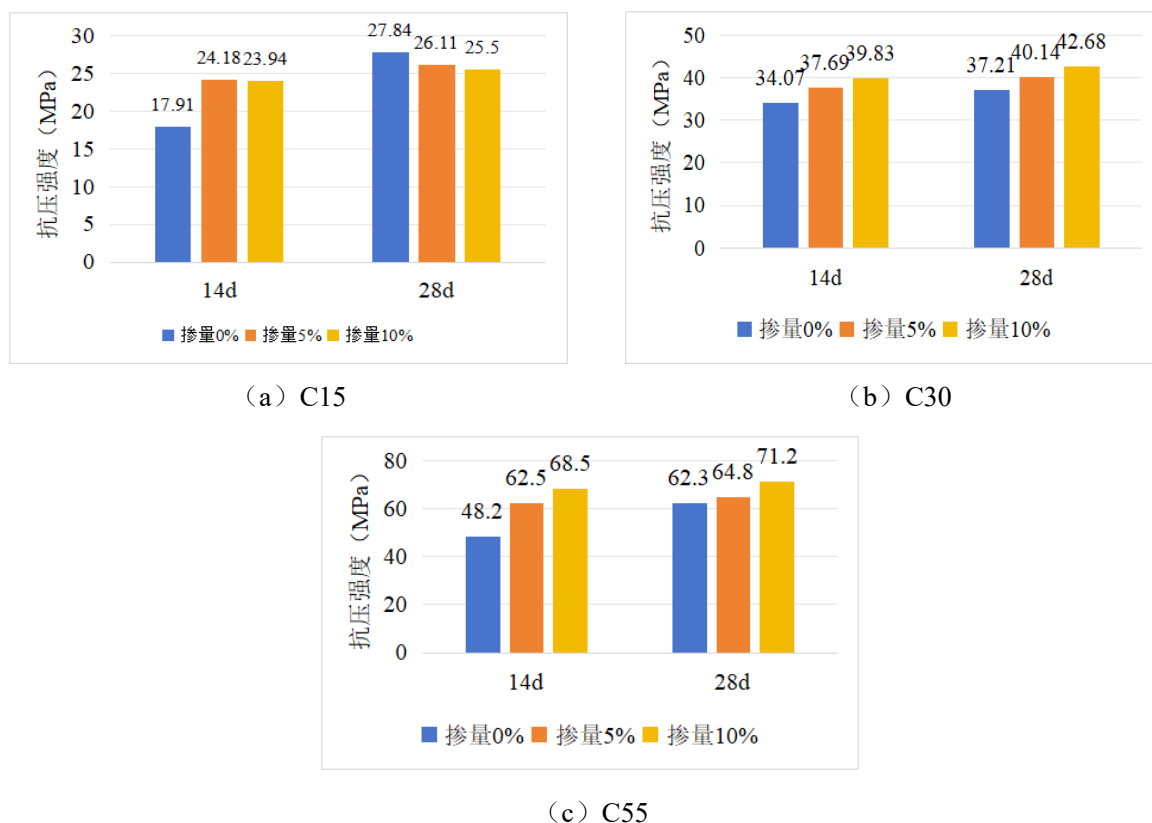


图 1 不同强度等级粉煤灰掺量对抗压强度影响结果

Fig. 1 Results of the effect of fly ash content at different strength grades on compressive strength

3 硅灰掺量对抗压强度的影响

对于不同强度等级硅灰掺量对抗压强度影响的结果如图 2 所示，图 2 中结果可以看出硅灰的掺入对强度整体表现出提升效果，且随掺量增加，后期强度提升趋势明显增强。14 天龄期，掺合料为 5%时，对于 C15、C30 和 C55 强度等级的混凝土抗压强度分别提高了 1.8%、8.6%、24.1%，平均提升 11.5%。表明在短期内强度等级越大的混凝土提升效果越明显。掺入 10%后，对于 C15、C30 和 C55 强度等级的混凝土抗压强度分别提高了 11.1%、13.1%、15.4%，平均提升 13.2%。表明在短期内硅灰掺量 10%时能更好提升混凝土的抗压强度。

随着养护时间增长，28 天龄期，掺合料为 5%时，对于 C15、C30 和 C55 强度等级的混凝土抗压强度分别提高了 2.8%、10.9%和 1.9%，平均提升 5.2%，强度等级越大的混凝土提升效果有所下降；掺合料为 10%时，C15、C30 和 C55 强度等级的混凝土抗压强度分别提高了 13.2%、11.7%和-2.4%，平均提升 7.5%，因此综合评价可以得到硅灰掺量 10%时能更好提升混凝土的抗压强度。

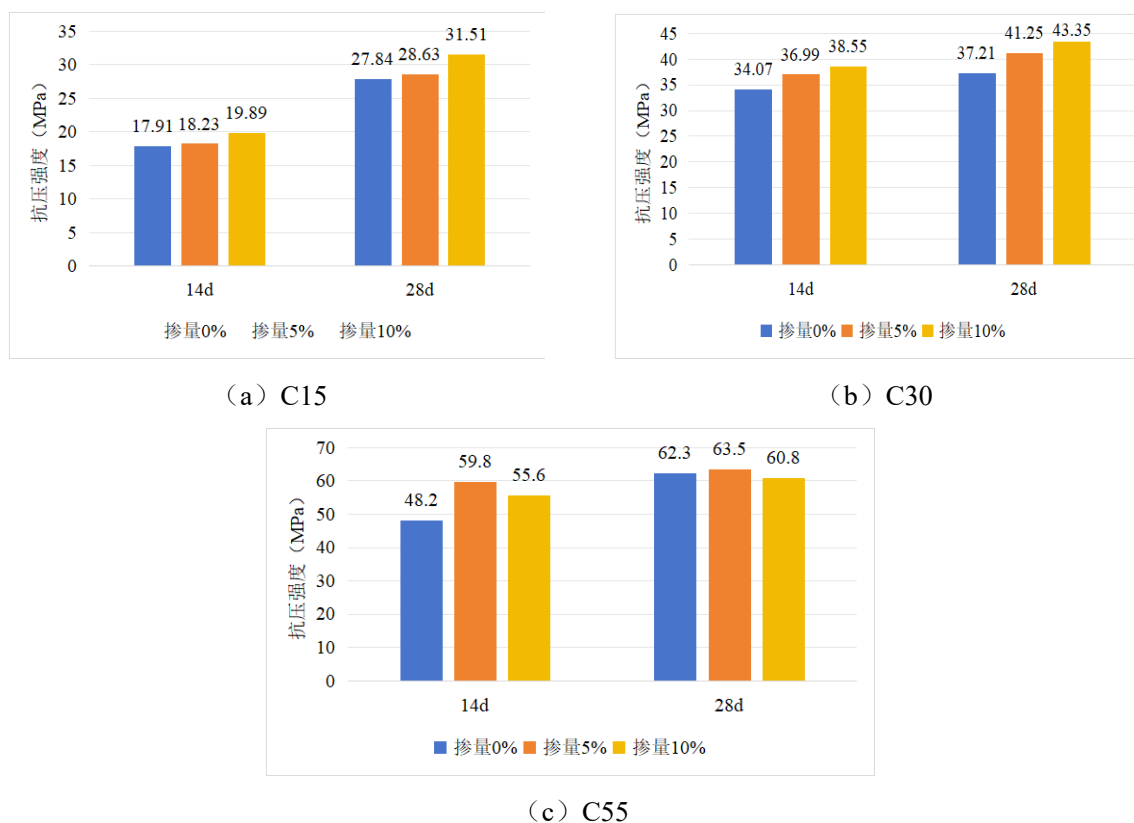


图2 不同强度等级硅灰掺量对抗压强度影响结果

Fig. 2. Results of the effect of silica fume content at different strength grades on compressive strength

4 结论

本章通过控制变量试验,系统研究了粉煤灰、硅灰对高性能混凝土抗压强度的影响规律,结果表明,粉煤灰和硅灰均能提升混凝土的抗压强度,相同掺量时硅灰比粉煤灰的提升效果好;掺加粉煤灰和硅灰后,在龄期较短时提升效果明显,龄期较长时,提升效果减弱。研究成果可为高性能混凝土配合比设计及工程应用提供科学依据。

参考文献

- [1] 尹玉明. 高性能混凝土在超高层建筑结构中的应用[J]. 建材发展导向, 2026, 24(17): 7-9.
- [2] 沈会娟. 高性能混凝土建筑材料耐久性提升研究[J]. 全面腐蚀控制, 2026, 40(8): 285-287.
- [3] 代晓峰. 不同掺合料对混凝土抗压强度的影响研究[J]. 中国水泥, 2025, (8): 89-91.
- [4] 周丽娜, 张泽敏, 马财龙, 等. 矿物掺合料混凝土抗压强度关键影响因素分析[J]. 水利科学与寒区工程, 2023, 6(2): 10-14.
- [5] 张雨萍, 郭强, 苟祎波, 等. 废旧轮胎胶粉混凝土的研制和性能测试[J]. 四川水泥, 2021, (6): 79-80.
- [6] 郑晓东, 陈子寒, 郭书亮. 复掺掺合料进水塔混凝土抗冻融性机理研究[J]. 水利科技与经济, 2021, 27(12): 83-90.
- [7] 王千里, 王正大, 刘慧蕴, 等. 基于混合 BO-XGBoost 模型的混凝土抗压强度预测[J]. 铁道科学与工程学报, 2026, 1-11.

基金项目: 洞头区科技计划项目(G2025Y03)。

^{1,*}第1作者&通讯作者简介: 李斌(1982-), 本科, 高级工程师, 主要从事智能建造方面的研究, Email: 693526509@qq.com。