

# 粉煤灰对大体积混凝土综合性能的影响

赵文龙, 祁富辉, 吴超

(西南交通建设集团股份有限公司, 昆明 650500)

**摘要:** 为了缓解桥梁承台工程施工时大体积混凝土由于温度变化容易产生裂缝的问题, 开展大体积混凝土中单掺粉煤灰试验研究, 考察粉煤灰掺量对大体积混凝土工作性能、力学性能、温度变化性能以及耐久性能的影响。结果表明: 随着粉煤灰掺量的逐渐增大, 混凝土的坍落度和扩展度逐渐增大, 工作性能明显改善; 而抗压强度和抗拉强度有所减小, 力学性能有所减弱; 水化热和绝热温升逐渐减小, 降低了混凝土的早期放热量; 碳化深度逐渐增大, 碳化性能有所减弱; 电通量逐渐减小, 抗氯离子渗透性能有所增强。当粉煤灰的掺量在 10%~35% 之间时, 混凝土的工作性能、温度变化性能以及抗氯离子渗透性能均明显改善, 虽然力学性能以及碳化性能均有所减弱, 但仍能满足桥梁承台工程施工的要求。研究结果可为桥梁承台大体积混凝土中单掺粉煤灰配合比设计提供参考。

**关键词:** 大体积混凝土; 粉煤灰; 桥梁工程; 掺量; 温度变化; 力学性能

中图分类号: TU528; TU755 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249 (2026) 01-0075-06

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2026.01.014

## The Influence of Fly Ash on the Comprehensive Performance of Large Volume Concrete

ZHAO Wenlong, QI Fuhui, WU Chao

(Southwest Transportation Construction Group Co., Ltd., Kunming 650500, China)

**Abstract:** In order to alleviate the problem of cracks easily occurring in large volume concrete due to temperature changes during bridge pier construction, experimental research was conducted on the single addition of fly ash in large volume concrete. The influence of fly ash content on the workability, mechanical properties, temperature change properties, and durability of large volume concrete was investigated. The results show that with the gradual increase of fly ash content, the slump and expansion of concrete gradually increase, and the workability is significantly improved; However, the compressive strength and tensile strength have decreased, and the mechanical properties have weakened; The hydration heat and adiabatic temperature rise gradually decrease, reducing the early heat release of concrete; The carbonization depth gradually increases, and the carbonization performance weakens to some extent; The electric flux gradually decreases, and the resistance to chloride ion penetration is enhanced. When the dosage of fly ash is between 10% and 35%, the workability, temperature change performance, and resistance to chloride ion penetration of concrete are significantly improved. Although the mechanical and carbonation properties are weakened, they still meet the requirements of bridge pier construction. The research results can provide reference for the design of the mix proportion of single fly ash in large volume concrete for bridge abutments.

**Key words:** large volume concrete; fly ash; bridge engineering; dosage; temperature changes; mechanical properties

项目来源: 云南省重点研发计划项目 (202303AC100015)。

作者简介: 赵文龙 (1979—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 大体积混凝土施工质量控制和性能提升。

收稿日期: 2025-11-03

## 材料科学

## 0 引言

大体积混凝土结构的主要特点是体积尺寸大、水泥水化热释放集中,导致内部升温较快。这易造成较大的内外温差,可能引发更多的裂缝,影响结构的安全和使用寿命<sup>[1]</sup>。为了减少施工过程中大体积混凝土温度变化而产生裂缝的数量,需要对混凝土配制、养护以及矿物掺合料的选择进行严格把控,尤其是在混凝土的配制阶段,原材料以及矿物掺合料的选择对混凝土综合性能影响至关重要<sup>[2]</sup>。

根据相关资料调研分析<sup>[3-4]</sup>,粉煤灰的掺入能够有效降低大体积混凝土在早期配制过程中所产生的水化热和绝热温升<sup>[5]</sup>,有助于减少由于温度变化而产生的裂缝数量<sup>[6-7]</sup>。另外,粉煤灰的掺入还能有效改善大体积混凝土的工作性能<sup>[8]</sup>,有利于混凝土的泵送等施工过程<sup>[9-10]</sup>。高尚等<sup>[11]</sup>考察了不同粉煤灰掺量对混凝土工作性能和力学性能的影响,发现当粉煤灰的掺量为20%时,大体积混凝土现场施工效果较好,未出现明显的裂缝;方金宇等<sup>[12]</sup>开展了桥梁大体积混凝土中单掺粉煤灰应用效果研究,结果表明单掺粉煤灰制备的大体积混凝土成本较低,早期力学强度较高,未出现开裂现象,并且现场施工对设备的要求较低;任海<sup>[13]</sup>研究了粉煤灰掺入对桥梁工程大体积混凝土性能的影响,结果表明粉煤灰的掺入能显著减小混凝土的水化热,减小其内部应力变化幅度,避免出现较多的裂缝;张国勤<sup>[14]</sup>开展了粉煤灰对大体积混凝土质量的影响研究,结果认为粉煤灰的最优掺量为10%~20%;刘大为<sup>[15]</sup>研究了粉煤灰掺量对大体积混凝土温度变化、力学性能以及变形性能的影响,认为适量粉煤灰的掺入可以增大混凝土的绝热温升值,并且有效改善混凝土的力学性能和变形性能,现场应用效果较好。

因此,以某桥梁承台大体积混凝土和二级粉煤灰为研究对象,开展了粉煤灰掺量对大体积混凝土综合性能的影响试验研究,主要包括粉煤灰掺量对大体积混凝土工作性能、力学性能、温度变化性能以及耐久性能的影响,为桥梁工程大体积混凝土的高效应用提供一定的技术支持。

## 1 试验部分

## 1.1 主要试验材料及仪器

试验材料:水泥为P·O 42.5普通硅酸盐水泥;粉煤灰为二级粉煤灰(烧失量为6.52%,细度为22.0%,含水率为0.1%);细砂(细度模数为2.9)和碎石(连续级配为5~31 mm);减水剂为高效聚羧酸型减水剂。

试验仪器:混凝土搅拌装置、混凝土标准恒温恒湿养护箱、万能试验机、电子分析天平、混合反应微量热仪、混凝土绝热温升测定仪、混凝土碳化试验箱。

## 1.2 桥梁承台大体积混凝土配合比设计

根据目标桥梁承台建造设计要求,需要使用强度为C40的大体积混凝土进行施工,因此,选择固定碎石、细砂、减水剂的用量,将水胶比控制在0.35,砂率控制在40%,通过调整粉煤灰的掺量,对试验用大体积混凝土的配合比进行设计,结果见表1。

表1 混凝土配合比设计结果  
Table 1 Concrete mix design results

编号	水泥	水	粉煤灰	细砂	碎石	减水剂	粉煤灰
	材料用量/(kg/m <sup>3</sup> )						掺量/%
C-1	460	161		786	1 179	3.2	
C-2	414	161	46	786	1 179	3.2	10
C-3	391	161	69	786	1 179	3.2	15
C-4	368	161	92	786	1 179	3.2	20
C-5	345	161	115	786	1 179	3.2	25
C-6	322	161	138	786	1 179	3.2	30
C-7	299	161	161	786	1 179	3.2	35

## 1.3 试验方法

分别参照JTG 3420—2020《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》中水泥混凝土的拌合物工作性能试验、混凝土拌合物物理、化学性能试验、力学性能试验以及耐久性部分的规定,在不同混凝土配合比条件下,考察不同粉煤灰掺量对混凝土工作性能、力学性能、温度变化性能以及耐久性能的影响。

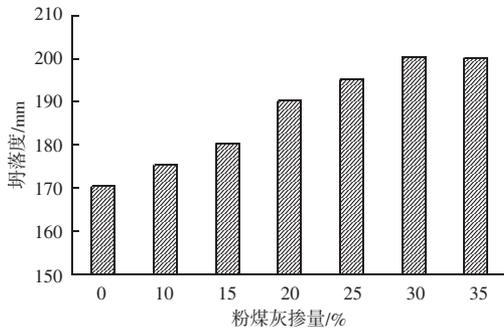
## 2 结果与讨论

## 2.1 粉煤灰掺量对混凝土工作性能的影响

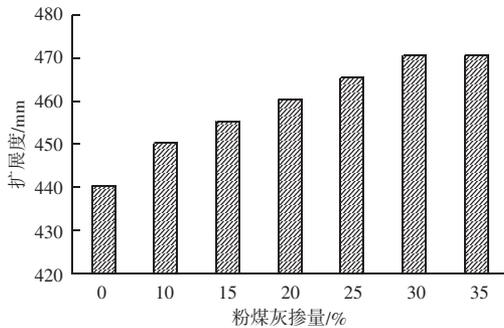
由图1(a)可知,随着粉煤灰掺量的逐渐增大,桥梁承台大体积混凝土的坍落度呈现出逐渐增大的趋势。当粉煤灰的掺量在10%~35%时,大体积混凝土

土的坍落度处在 175 ~ 200 mm 之间, 能够满足目标桥梁承台建造设计对大体积混凝土坍落度性能的要求。说明粉煤灰的掺入能够有效改善大体积混凝土的坍落度。

由图 1 (b) 可知, 随着粉煤灰掺量的逐渐增大, 桥梁承台大体积混凝土的扩展度也呈现出逐渐增大的趋势, 当粉煤灰的掺量在 10%~35% 时, 大体积混凝土的扩展度处在 450 ~ 470 mm 之间, 能够满足目标桥梁承台建造设计对大体积混凝土扩展度性能的要求。综合图 1 结果, 粉煤灰的掺入能够有效改善大体积混凝土的工作性能。



(a) 坍落度



(b) 扩展度

图 1 粉煤灰掺量对混凝土性能的影响

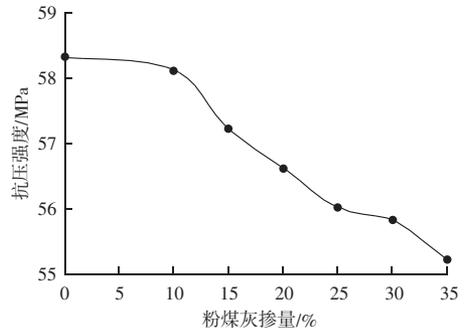
Fig. 1 The influence of fly ash content on concrete performance

## 2.2 粉煤灰掺量对混凝土力学性能的影响

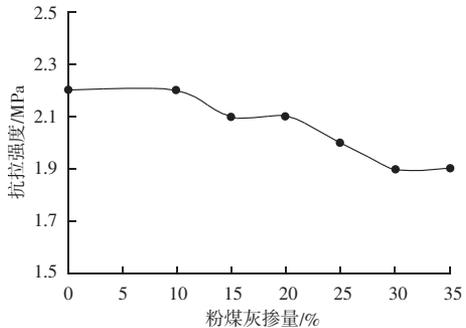
由图 2 (a) 可知, 随着粉煤灰掺量的逐渐增大, 桥梁承台大体积混凝土的抗压强度值有所降低, 但整体来看, 抗压强度降低的幅度并不大。当粉煤灰的掺量为 35% 时, 大体积混凝土养护 28 d 后的抗压强度仍可以达到 55.2 MPa, 与未掺粉煤灰时相比, 抗压强度仅降低了 5.3%, 降低的幅度并不大。掺入 35% 的粉煤灰后混凝土的抗压强度值也能满足目标桥梁承台建造设计对大体积混凝土力学性能的要求。

由图 2 (b) 可知, 随着粉煤灰掺量的逐渐增大,

桥梁承台大体积混凝土的抗拉强度值也有所降低, 但整体来看, 抗拉强度降低的幅度也不大, 当粉煤灰的掺量为 35% 时, 大体积混凝土养护 28 d 后的抗拉强度仍可以达到 1.8 MPa, 与未掺粉煤灰时相比, 抗拉强度仅降低了 13.6%, 降低的幅度也不大。掺入 35% 的粉煤灰后混凝土的抗拉强度值也能满足目标桥梁承台建造设计对大体积混凝土力学性能的要求。由上述结果可知, 粉煤灰的掺入一定程度上降低桥梁大体积混凝土的力学强度, 但控制粉煤灰掺量在 35% 以内时, 力学强度降低的幅度并不大, 能够满足施工要求。



(a) 28 d 抗压强度



(b) 28 d 抗折强度

图 2 粉煤灰掺量对混凝土强度的影响

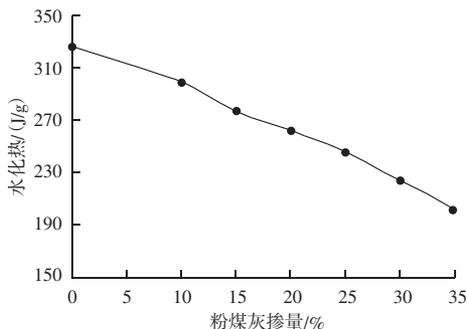
Fig. 2 The influence of fly ash content on strength of concrete

## 2.3 粉煤灰掺量对混凝土温度变化的影响

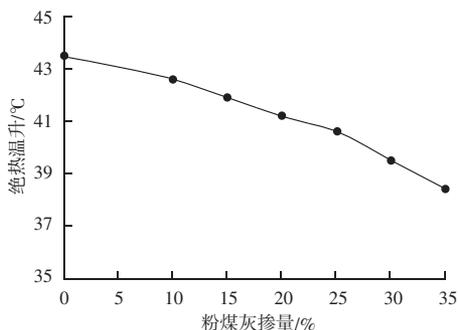
由图 3 可知, 随着粉煤灰掺量的逐渐增大, 桥梁承台大体积混凝土的水化热和绝热温升值均呈现出逐渐降低的趋势。当粉煤灰的掺量为 35% 时, 混凝土在 7 d 时的水化热和绝热温升值分别可降低至 205 J/g、38.4 °C, 与未掺粉煤灰的空白混凝土试件相比较, 水化热和绝热温升值分别降低了 37.1%、11.7%。粉煤灰的掺入能够明显降低混凝土材料在浇筑初期的水化放热量, 从而可以有效减少混凝土初期裂缝的形成, 有助于提高桥梁承台大体积混凝土

## 材料科学

的施工质量。



(a) 7 d 水化热



(b) 7 d 绝热温升

图3 粉煤灰掺量对混凝土温度变化的影响

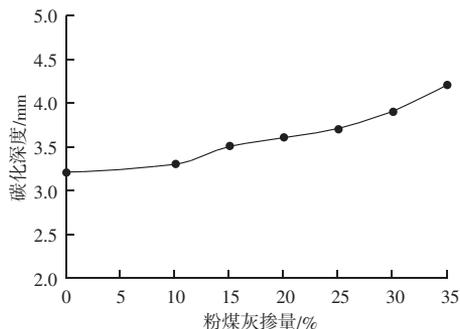
Fig. 3 The influence of fly ash content on the temperature change of concrete

## 2.4 粉煤灰掺量对混凝土耐久性能的影响

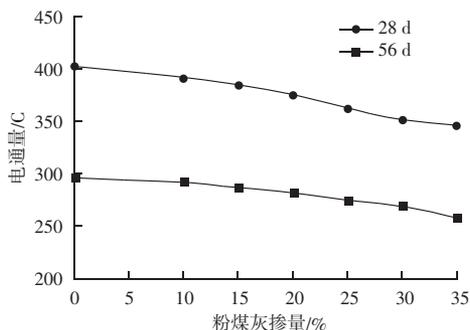
由图4(a)可知,随着粉煤灰掺量的逐渐增大,桥梁承台大体积混凝土的碳化深度呈现出逐渐增大的趋势。当粉煤灰的掺量为35%时,混凝土28 d碳化深度为4.2 mm,与未掺入粉煤灰的空白混凝土试件相比,碳化深度增大了31.3%,但仍低于5 mm。粉煤灰的掺入会在一定程度上加剧桥梁承台大体积混凝土的碳化程度。但是综合来看,掺入粉煤灰的混凝土仍能满足目标桥梁承台建造设计对大体积混凝土碳化性能的要求。

由图4(b)可知,随着粉煤灰掺量的逐渐增大,桥梁承台大体积混凝土的电通量均呈现出逐渐减小的趋势。当粉煤灰的掺量为35%时,混凝土养护28、56 d时的电通量分别低至345、257 C,与未掺粉煤灰时相比明显降低。这是由于粉煤灰的加入能够一定程度上提高大体积混凝土的密实度,使内部孔隙结构得到改善,从而降低了氯离子的渗透性能,使电通量有所下降。因此,从抗氯离子渗透性能的角度出发,粉煤灰的掺入可以有效提高桥梁大体积混凝土

土的耐久性能。



(a) 28 d 碳化深度



(b) 电通量

图4 粉煤灰掺量对混凝土耐久性能的影响

Fig. 4 The influence of fly ash content on the durability performance of concrete

## 3 结论

以某桥梁承台大体积混凝土和二级粉煤灰为研究对象,重点评价了粉煤灰掺量对大体积混凝土工作性能、力学性能、温度变化性能以及耐久性能的影响,主要得出如下结论:

(1) 粉煤灰的掺入能够有效改善桥梁承台大体积混凝土的工作性能,当粉煤灰的掺量在10%~35%之间时,混凝土的坍落度和扩展度均比较高,可以满足目标桥梁承台大体积混凝土施工的要求。

(2) 粉煤灰的掺入可使桥梁承台大体积混凝土的力学性能有所减弱,当粉煤灰的掺量为35%时,混凝土的抗压强度和抗拉强度仍分别可以达到55.2、1.8 MPa,抗压强度和抗拉强度降低的幅度均不大。

(3) 粉煤灰的掺入能够有效降低桥梁承台大体积混凝土的水化热和绝热温升值,控制混凝土的初期放热量。当粉煤灰的掺量为35%时,可使水化热和绝热温升值分别降低37.1%、11.7%。

(4) 粉煤灰的掺入可使桥梁承台大体积混凝土

的碳化性能有所减弱, 但可使其抗氯离子渗透率性能有所增强。当粉煤灰的掺量为 35% 时, 混凝土 28 d 的碳化深度为 4.2 mm, 仍能满足目标桥梁承台大体积混凝土施工的要求; 混凝土 28、56 d 时的电通量分别低至 345、257 C, 抗氯离子渗透能力较强。

### 参 考 文 献

[1] 蒲桦文. 桥梁工程中混凝土施工技术及其裂缝防治措施 [J]. 交通科技与管理, 2025, 6 (14): 100-102.

[2] 李月玲. 桥梁承台大体积混凝土裂缝控制技术 [J]. 交通世界, 2025 (26): 164-166.

[3] 谢金龙, 杜永红, 郭士熊, 等. 矿物掺合料对大体积混凝土性能的影响研究 [J]. 混凝土世界, 2025 (1): 37-40.

[4] 陈丰. 粉煤灰对大体积混凝土水化热速率影响的研究 [J]. 江西建材, 2023 (5): 55-57.

[5] 郭巧玲. C40 超大体积混凝土配合比设计优化及工程应用 [J]. 江西建材, 2023 (7): 185-187, 191.

[6] 江厚亮, 周天应, 尹长权. 粉煤灰-硅灰对大体积混凝土力学性能的影响 [J]. 四川建筑科学研究, 2025, 51 (2): 80-85.

[7] 刘林田, 林家兴, 杨彤薇, 等. 掺粉煤灰、石灰粉对大体积混凝土水化热性能影响分析 [J]. 建筑技术开发, 2025, 52 (3): 142-144.

[8] 陈祥花, 劳国威, 郑述芳, 等. 粉煤灰掺量对全再生粗骨料自密实混凝土工作性能的影响 [J]. 硅酸盐通报, 2025, 44 (2): 531-539.

[9] 王森, 王苍丽. 粉煤灰掺量对引气混凝土抗硫酸盐侵蚀能力的影响 [J]. 化学与粘合, 2023, 45 (5): 469-472.

[10] 甄景新. 粉煤灰品质和掺量对公路工程纤维混凝土综合性能的影响 [J]. 粉煤灰综合利用, 2024, 38 (2): 22-26.

[11] 高尚, 周昊. II 级粉煤灰在高性能、大体积混凝土中应用的实例探讨 [J]. 公路, 2019, 64 (9): 120-122.

[12] 方金宇, 肖侑坪. 单掺粉煤灰配合比在桥梁大体积混凝土承台中的应用 [J]. 四川建筑, 2022, 42 (6): 257-258.

[13] 任海. 桥梁大体积混凝土中掺加粉煤灰的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2017, 40 (1): 69-70.

[14] 张国勤. 大体积混凝土施工配合比中粉煤灰最优掺量 [J]. 建材与装饰, 2020 (20): 44, 46.

[15] 刘大为. 粉煤灰掺量对水工大体积混凝土性能的影响 [D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016.

### (上接第 74 页)

[10] 胡萍. 粉煤灰对高性能混凝土抗裂性能的影响研究 [J]. 砖瓦, 2023 (12): 53-55.

[11] 陈广升. 碱激发粉煤灰-高炉矿渣粉固化铸造废砂用作路基填料研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2025, 39 (4): 117-122.

[12] 王金歌. 粉煤灰和矿渣复合掺料对高性能混凝土力学性能和耐久性的影响 [J]. 科学技术创新, 2024 (11): 185-188.

[13] 高鹏, 陈星, 王维, 等. 粉煤灰不同掺量对高性能混凝土耐久性影响研究 [J]. 粘接, 2024, 51 (2): 80-83.

[14] 刘丹, 杜应吉. 大掺量粉煤灰混凝土力学性能试验研究 [J]. 人民黄河, 2011, 33 (10): 88-90.

[15] 张兴龙. 高掺量粉煤灰混凝土力学性能试验研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2025, 39 (2): 49-53.

[16] 丁大伟, 郭子涵, 张伟, 等. 粉煤灰和钢纤维对超高性能混凝土抗冲磨性能的影响 [J]. 硅酸盐通报, 2024, 43 (10): 3585-3594.

[17] 刘超群, 朱泽文, 代力, 等. 粉煤灰基超高性能混凝土配合比优化研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2024, 38 (3): 11-15.

[18] 段玉东, 李明霞. 粉煤灰中不同 CaO 含量对水泥浆体安定性及抗裂性的影响研究 [J]. 水利水电技术 (中英文), 2025, 56 (增刊 1): 847-851.

[19] GB 175—2023 通用硅酸盐水泥 [S].

[20] JGJ 63—2006 混凝土用水标准 [S].

[21] GB/T 50082—2024 混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准 [S].

[22] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration; ASTM C1202-12 [S]. West Conshohocken: ASTM International, 2012.

[23] GB/T 31387—2025 超高性能混凝土 [S].

[24] GB/T 50476—2019 混凝土结构耐久性设计标准 [S].