

粉煤灰掺量对船闸混凝土关键工程性能的综合影响

饶志刚¹, 韩雪松², 葛津宇², 嵇旭红¹, 虞冬冬¹

(1. 常州市港航事业发展中心, 江苏常州 213200; 2. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210029)

摘要: 为研究粉煤灰掺量对强度较低的 C25 船闸混凝土的性能影响规律, 针对不同粉煤灰掺量混凝土的工作性能、力学性能、体积稳定性和热学性能展开研究与分析。试验结果与分析表明, 在 8% ~ 15% 范围内, 提高 C25 混凝土中粉煤灰掺量可以有效提升混凝土各项性能以及耐久性, 对大体积船闸混凝土的抗裂和抗冲磨耐久性能有积极作用; 在大于 15% 的范围, 提高混凝土中粉煤灰掺量对强度较低的 C25 混凝土各项性能提升不明显。

关键词: 粉煤灰; 船闸混凝土; 力学性能; 体积稳定性; 耐久性

中图分类号: U641 **文献标识码:** A

文章编号: 1006—7973 (2023) 01—0116—03

船闸钢筋混凝土, 尤其是局部大体积混凝土结构, 在施工过程中包括裂缝超限^[1,2], 外观质量缺陷等问题的质量通病显得尤为突出, 船闸闸室墙大体积混凝土是其中的典型代表。船闸闸室墙由于混凝土设计强度低, 耐久性问题较为突出, 一般在投入使用 2 ~ 3 年后均出现不同程度的磨损破坏^[3]。闸室墙混凝土需具备抵抗船行波的冲刷和船体碰撞摩擦作用的能力, 其中对抵抗外在荷载的碰撞摩擦作用提出了较高的要求, 因而混凝土的设计、制备和后续使用过程中要尽量减少混凝土表面的裂缝的产生, 从而提高船闸结构的耐久性。

为改善闸室墙混凝土外观质量以及抗裂、抗冲磨耐久性能, 在不改变工程设计的前提下, 优化混凝土配合比配置不失为一种选择^[4]。粉煤灰是一种具有火山灰活性的材料, 在混凝土工程, 尤其是大体积水工混凝土工程中应用极为普遍, 是混凝土原料中用量最大的矿物掺

合料, 能够有效改善混凝土的工作性和耐久性^[5]。在混凝土加入粉煤灰对于混凝土的强度、抗渗性、耐磨性、塌落度、抗侵蚀性能都有所提升^[6-9]。因此本试验在保证混凝土强度 C25 的前提下, 调整粉煤灰掺量, 同时设计一组配合比掺减缩剂, 开展平行对比试验, 研究不同粉煤灰掺量对船闸混凝土各项性能的影响规律, 为船闸混凝土掺用粉煤灰方案提供依据。

1 船闸混凝土配合比优化设计

使用粉煤灰代替水泥用量对于环境和经济都有良好作用, 粉煤灰混凝土近些年应用更加普遍。通过改变水胶比和粉煤灰掺入量, 对船闸混凝土的各项性能进行研究。

1.1 原材料与配合比

设计船闸混凝土强度等级为 C25, 混凝土中粉煤灰

平台的周长约 100m, 降水井间隔 20m ~ 25m 设置一口深井, 井深 20m; 沿着船闸闸首、首节闸室宽缝内设置深井, 间距约 20m, 井深 10m。全闸共布置降水井 30 口。

明沟排水主要为基坑渗水、施工废水和大气降水等, 初期排水结束后, 在基坑底部四周开挖截排水干沟, 通过设置在基坑底部的集水井汇水抽排, 明沟排水由布置在集水井的潜水泵将积水抽排至基坑外的河道中。

另外, 在靠近淮安三站厂房、引河西侧及二线船闸主体结构东侧间隔 30m 设置回灌井, 根据观测井的水位变化情况实施进行回灌。

4 结论

通过对淮安四线船闸施工方案进行深入研究, 提出了在平原水网地区船闸扩容工程中针对周边水利设施众多, 建设场地相对局促情况下的基坑布置方案, 并不同部位选择适当的支护结构型式, 有效解决了施工方案空间受限、施工难度大的问题, 为其它类似船闸扩容工程提供了借鉴和参考。

参考文献:

[1] 江苏省交通运输厅, 江苏省发展和改革委员会. 江苏省干线航道网规划 (2017—2035 年) [R]. 2018

[2] 华设设计集团股份有限公司. 京杭运河淮安四线船闸工程工程可行性研究报告 [R]. 2022

掺量分别为胶凝材料总量的 8%、15%、25%，同时设计一组掺减缩剂配合比，以等强度设计配比，开展平行对比试验。船闸混凝土配合比见表 1：

表 1 船闸混凝土试验配合比设计

编号	水胶比	粉煤灰掺量 (%)	混凝土原材料用量 (kg/m ³)							
			水泥	粉煤灰	砂	小石	中石	水	减水剂	减缩剂
YF08	0.48	8	324	28	724	458	687	170	6.34	/
YF08B	0.48	8	324	28	724	458	687	170	5.28	7.05
YF15	0.46	15	315	56	714	452	678	170	6.66	/
YF25	0.42	25	306	102	660	454	682	170	7.74	/

1.2 试验方法

本试验对船闸混凝土的配合比优化，在保持混凝土强度等级为 C25 的前提下调整配合比中粉煤灰掺量，同时设计一组掺减缩剂配合比进行平行试验。综合研究不同粉煤灰掺量的船闸混凝土工作性与施工质量相关性、力学性能、体积稳定性的发展规律，以评价强度等级 C25 的船闸混凝土的抗裂、抗冲磨耐久性能。

2 试验结果分析

2.1 混凝土力学性能

船闸混凝土在不同配合比中 7d、28d 和 60d 的混凝土抗压强度结果如图 1 所示。结果显示，通过调整水胶比，各配合比 28d 抗压强度均能满足 C25 设计要求。粉煤灰掺量较高的试验组 YF15 和 YF25，混凝土 60d 强度更高。混凝土中粉煤灰掺量从 8% 增加至 25% 的过程中，混凝土抗压强度整体呈现上升的趋势，粉煤灰掺量在 25% 时，其 28d 与 60d 的抗压强度均为最高强度。

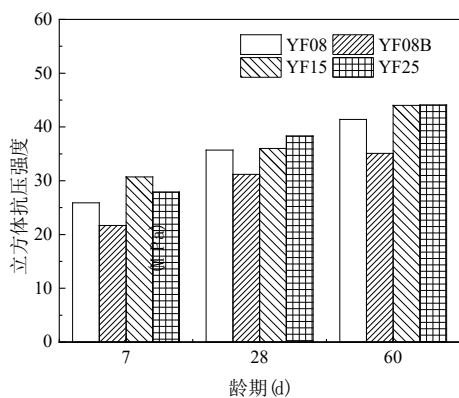


图 1 各龄期下立方体抗压强度

图 1 给出的粉煤灰掺量对混凝土抗压强度的影响规律可以看出，随着粉煤灰取代量的增加，混凝土早期强度逐渐减小，此结果与董振平等人^[11]的研究结果具有一致性。粉煤灰取代水泥，降低了胶凝材料中水泥的比例，导致早期水化速率变慢，水化产物减少。

粉煤灰对混凝土后期抗压强度的发展具有积极作用，从 YF15 组可以看出在 15% 粉煤灰掺量配合比下对混凝土 28d 龄期和 60d 龄期的抗压强度具有明显的促进作用。混凝土 60d 龄期的抗压强度 YF25> YF15> YF08。该 II 级粉煤灰比水泥拥有更大的比表面积，且含有高含量的无定形活性硅，能够发生火山灰反应，提高混凝土的抗压强度^[11]。

2.2 混凝土体积稳定性

混凝土干缩试验分为标准试验方法和 14d 湿养护方法两种方式，后一种方式与现场施工条件更为相似，试验结果更具有参考价值。不同粉煤灰掺量 C25 船闸混凝土的干缩变形试验结果（标准试验方式和 14d 湿养护方式）见图 2。图中数据显示。

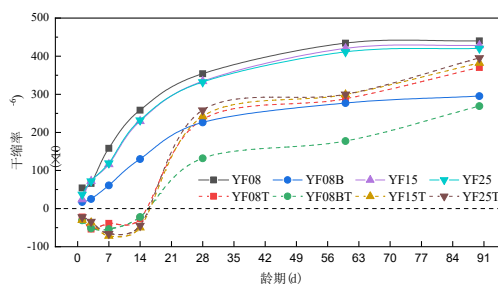


图 2 各配合比混凝土干缩率发展（图中虚线为“湿养”条件）

从图 3 中 YF08、YF15 和 YF25 三组反映的粉煤灰掺量对混凝土干缩的影响规律发现，各组试验混凝土的干缩与龄期具有近似幂函数关系，随着龄期的延长，试验组干缩均呈收敛趋势变化。影响混凝土的干缩主要因素有水胶比，浆体数量和水化速率^[5]。粉煤灰取代水泥后减少了胶材中水泥熟料数量，从而降低了水化反应的速度和程度，另外，粉煤灰的火山灰效应需要水泥的水化产物才能够激发，粉煤灰掺量增大，可以起到限制水泥浆体收缩的作用，因此增加粉煤灰的掺量能有效降低混凝土的收缩，提高混凝土的体积稳定性。

图 3 中可以看出，相较于标准试验方法，在 14d 湿养护方法中，各配合比混凝土 14d 前混凝土表现为一定量的膨胀，原因是试件在发生水化反应的过程中，外部水分浸入骨料内，使得骨料水分增加，宏观上表现为试件体积的增大。因此，在实际施工过程中，加强混凝土早期的养护能够有效降低混凝土的干缩。

在试验过程中，测得各配合比混凝土的自生体积变形试验结果见图 4。从图中数据可以看出，各个配合比的混凝土早期呈现少量的膨胀趋势，在中后期均呈现收

缩趋势。且随着粉煤灰掺量的提升，混凝土后期的收缩趋势更为显著。

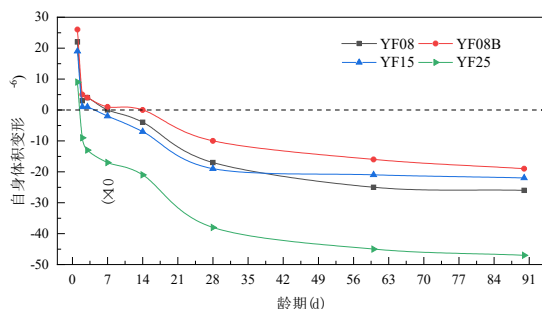


图3 各配合比混凝土的自生体积变形

混凝土的自身体积变形主要发生在混凝土成型后的早期，图3显示，不同粉煤灰掺量的混凝土3d前均有少量的膨胀，且龄期到90d时，自生体积变形均呈现略微收缩性。在8%~15%的粉煤灰掺量范围内，不同粉煤灰掺量对混凝土自生体积变形的影响不明显；在25%粉煤灰掺量时，试验组YF25其自生体积变化与较低粉煤灰掺量的YF08和YF15试验组相比，自生体积变化显著增大。

3 结论

(1) 提高粉煤灰掺量给混凝土强度带来的负面影响可通过适当降低水胶比来调整。在8%~15%范围内，提高C25混凝土中粉煤灰掺量可以有效提升混凝土各项性能以及耐久性，对大体积船闸混凝土的抗裂和抗冲磨耐久性能有积极作用。

(2) 加入粉煤灰使混凝土早期和后期干缩率略有下降。标准养护下混凝土的干缩与龄期具有近似幂函数关系，前60d粉煤灰对水化的抑制作用更加明显，达到90d龄期干缩率的95%以上，能有效地抑制混凝土的干缩。增加粉煤灰的掺量能有效降低混凝土的收缩，提高混凝土的体积稳定性。

(3) 采用14d湿养护后再采用标准试验方法养护的方式，14d前混凝土表现为一定量的膨胀，随后开始收缩，28d前的干缩率较标准试验方法有明显降低，平均下降27.9%，90d后干缩率与标准试验方法相比减少近10%。加强混凝土早期的养护可有效降低混凝土的干缩，防止混凝土塑性开裂。

参考文献：

- [1] SHENG Z B, DENG C L, XIONG J B. Concrete Cracking Control of Chamber wall in Jiepai Ship-lock Project[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 531(1): 012043.
- [2] 束荣. 船闸大体积混凝土裂缝控制施工技术措施[J]. 中国水运, 2019(10): 96-97.
- [3] 冯长伟, 李思胜, 秦鸿根, 等. 闸室墙混凝土抗冲击和耐撞磨性能的影响因素研究[J/OL]. 混凝土与水泥制品, 2008(02): 38-41.
- [4] 张波. 船闸大体积混凝土裂缝成因及预防措施分析[J]. 珠江水运, 2018(01): 85-86.
- [5] 余舟, 杨华全, 王磊, 等. 粉煤灰品质对混凝土性能影响试验研究[J]. 混凝土, 2019(12): 80-83.
- [6] 普少昌, 周喻, 张宏博, 等. 含铁尾矿粉和粉煤灰混凝土强度和耐久性研究[J]. 非金属矿, 2021, 44(06): 84-87+93.
- [7] 王德志, 陈振, 孟云芳. 氯盐冻融作用下粉煤灰混凝土抗渗抗冻性研究[J]. 人民黄河, 2017, 39(12): 131-133+138.
- [8] 郭林涛, 黄春霞, 杜应吉. HF粉煤灰混凝土抗冲耐磨试验研究[J]. 混凝土, 2010(10): 60-62.
- [9] 王群, 关宏洁, 严心娥. 超细粉煤灰粒径和掺量对混凝土力学性能的影响研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2018(05): 50-53.
- [10] 罗小博, 宋或, 郭启明, 等. 粉煤灰掺量对混凝土力学性能影响的试验研究[J]. 混凝土, 2021(08): 88-90+95.
- [11] SHI D S, MA Z, WU A L, etc. Study on Drying Shrinkage Properties of Concrete Using Blast Furnace Slag as Fine Aggregate[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 174-177: 539-544.

