

# 高性能混凝土配比设计在实际工程中的应用及其影响分析

刘 涛

中交第一航务工程局有限公司 天津市 300461

**摘 要:** 高性能混凝土配比设计通过优化原材料组合和掺合料配比, 在防城港区2号泊位工程中实现显著的技术经济效益。通过设置基准组与渐进组和优化组的系统对照试验, 研究表明采用矿粉等掺合料取代40%水泥用量的C50高性能混凝土相比普通配比, 不仅保证力学性能和耐久性指标, 还在质量保障与经济效益和绿色发展等多个维度产生积极影响。实验数据显示优化配比后的混凝土7天抗压强度达到28天设计强度的99%以上, 氯离子渗透电通量控制在800C以内, 工作性能优异且外观质量良好, 这种配比设计在港口工程中的成功应用为类似工程提供重要参考。

**关键词:** 高性能混凝土; 配比设计; 多维度影响; 质量保障; 工程应用

## 引言

随着现代基础设施建设对混凝土性能要求的不断提升, 传统混凝土已难以满足复杂工程环境下的使用需求。高性能混凝土作为新一代建筑材料, 凭借其优异的力学性能与耐久性和工作性能, 在港口与桥梁及高层建筑等重要工程中得到广泛应用, 合理的配比设计是实现高性能混凝土各项优势的关键技术环节其影响不仅体现在性能提升方面, 更在经济效益和环境保护等多个维度发挥重要作用。

## 1 高性能混凝土配比设计的技术特点与质量保证

### 1.1 原材料选择与质量控制体系

防城港工程采用华润水泥P·O42.5普通硅酸盐水泥作为主胶凝材料, 其28天抗压强度达56.9MPa, 氯离子含量仅0.011%远低于0.06%的限值要求, 细集料选用防城港市山中石场机制砂, 细度模数2.7属中砂范围, 颗粒级配为II区, 表观密度2670kg/m<sup>3</sup>, 含泥量和泥块含量均为零。粗集料采用防城港碎石5-25mm连续级配, 表观密度2640kg/m<sup>3</sup>, 针片状颗粒含量4%, 压碎指标值7.2%, 各项指标均满足高性能混凝土要求。

原材料质量控制体系的建立是确保配比设计成功的基础保障<sup>[1]</sup>, 该工程建立从供应商资质审查与原材料进场检验及现场存储管理到使用前复检的全过程质量控制链条, 水泥储存采用密闭仓储设施避免受潮结块问题, 机制砂和碎石分仓堆放并设置有效的排水和防污染措施, 掺合料储存严格按照不同种类分别管理确保原材料质量的稳定性和一致性。

### 1.2 C50高性能混凝土配比方案的优化设计

依据JTS257-2-2012, 对C50高性能混凝土进行配合比设计优化。配比设计中充分考虑不同构件的受力特点

和环境条件, 预制构件由于可控制的养护条件, 重点优化早期强度发展和外观质量, 通过理论计算和试验验证相结合的方法确定最优的胶凝材料总量和水胶比范围<sup>[2]</sup>, 确保C50高性能混凝土在满足设计要求的同时实现经济性最优, 有效改善混凝土的工作性能和力学性能且各配比方案均实现性能与经济性的平衡<sup>[3]</sup>。为验证配比设计的优化效果, 研究设置系统的对照试验方案。赤沙码头2号泊位的预制构件(预制箱梁与预制板等)关键承力构件应用的都是C50高性能混凝土配比。针对C50高性能混凝土, 分别建立基准组(纯水泥配比)与渐进组(20%掺合料替代)和优化组(40%掺合料替代)进行性能对比, 所有对照组均采用相同原材料和试验条件确保结果的科学性和可比性。对照试验涵盖力学性能与耐久性指标和工作性能等多个维度, 通过定量分析不同配比参数对混凝土综合性能的影响规律, 为配比优化提供科学依据(见表1)。

表1 C50混凝土不同配比方案对照设计

试验组别	配比方案 (kg/m <sup>3</sup> )	掺合料替代率	水胶比
基准组	水泥455+水138+砂791+石1030+减水剂10.01	0%	0.30
渐进组	水泥364+矿粉91+水138+砂791+石1030+减水剂10.01	20%	0.30
优化组	水泥273+矿粉182+水138+砂791+石1030+减水剂10.01	40%	0.33

试验结果表明, 优化配比相比基准组在早期强度发展和长期耐久性方面均表现出显著优势, 验证了掺合料复合使用的技术可行性和经济合理性。

### 1.3 力学性能与耐久性指标的试验验证

不同强度等级的混凝土性能测试结果(见表2)。

表2 C50高性能混凝土性能测试结果

指标类型	基准组	渐进组	优化组	标准要求
7天抗压强度 (MPa)	51.2	55.8	58.6	-
28天抗压强度 (MPa)	59.8	64.1	66.0	≥ 59.0
56天电通量 (C)	1350	980	522.6	≤ 800
静力弹性模量 (MPa)	35600	36900	38100	≥ 34500

实验验证结果表明C50高性能混凝土达到设计要求，C50混凝土28天抗压强度66.0MPa，超出59.0MPa的设计值11.9%，7天强度58.6MPa已达到设计强度的99.3%。性能测试采用标准化的试验方法和严格的质量控制措施，试件制备严格按照标准要求进行，养护条件统一控制，测试设备定期校准确保数据的准确性和可比性，特别值得注意的是C50高性能混凝土的强度发展规律呈现出良好的一致性，早期强度增长迅速后期强度稳定，这为施工进度安排和质量控制提供可靠依据，工作性能方面坍落度控制在160-220mm范围内，泌水率为零，优化组混凝土和易性状态良好，凝结时间适宜为工程施工提供可靠保障。

## 2 分场景应用与效果验证

### 2.1 预制构件工程中的配比应用与性能表现

前期项目的预制构件采用C50高性能混凝土，应用于预制箱梁与预制板等关键承力构件，前期项目该预制构件所用C50混凝土配比中水泥用量273kg/m<sup>3</sup>，通过182kg/m<sup>3</sup>矿粉的等量替代，在保证高强度的同时降低水化热峰值减少预制构件内部温度应力。严格的温度和湿度控制与精确的计量系统及标准化的振捣工艺使得混凝土性能能够稳定发挥<sup>[4]</sup>，明确的质量控制指标确保预制构件的一致性和可靠性。

对照试验结果充分验证配比优化的技术优势，C50混凝土性能对比显示，优化组7天抗压强度58.6MPa比基准组51.2MPa提高14.5%，28天强度66.0MPa比基准组59.8MPa提高10.4%，早期强度发展明显加快。耐久性指标表现更为突出，优化组氯离子渗透电通量仅522.6C，相比基准组1350C降低61.3%，比渐进组980C降低46.6%，抗渗透能力显著提升，且随着掺合料替代率增加，混凝土密实性和抗渗性能持续改善（见图1）。

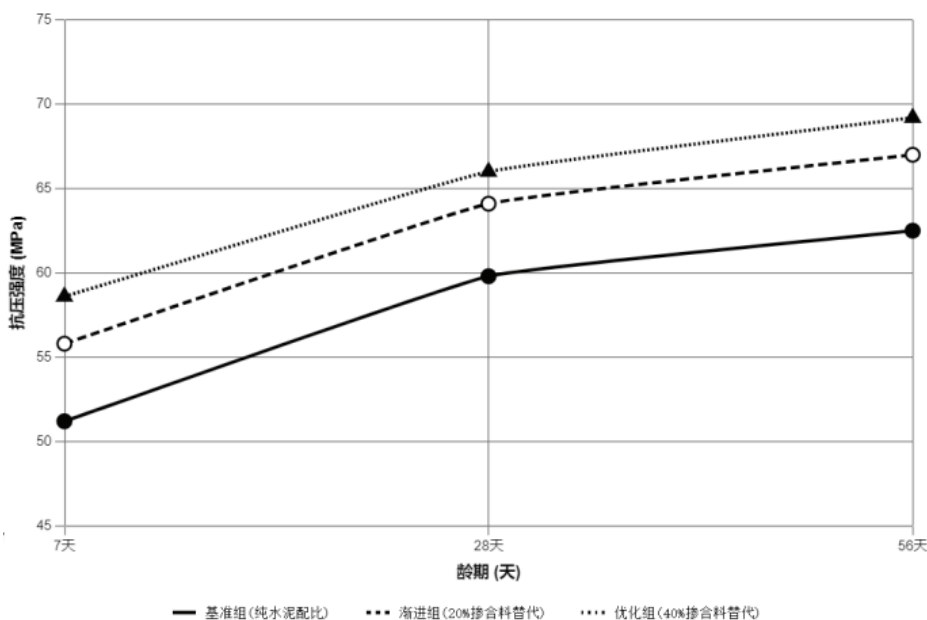


图1 不同配比方案下C50混凝土强度发展对照规律图

### 2.2 工程中预制构件的外观描述

预制构件外观无色差，色泽均匀，表面颜色一致，色泽自然一致；表面细腻光滑，线条流畅，无粗糙感，质感和纹理优良；平整度和光洁度良好，且赤沙码头2号泊位在混凝土外观评分中码头和引桥单位工程均获得95以上评分，获得广西省建设工程优质结构奖。

### 2.3 C50高性能混凝土实体检测质量

在施工过程自检中，百余次现场回弹检测中，合格

率均为100%；在接受广西省交科院抽检、外部质监单位抽检中，超声回弹检测中合格率均达到100%。质量稳定可靠，回弹值高且碳化低，提供了稳定的质量保证。

### 2.4 C50高性能混凝土长期性能跟踪验证

针对C50高性能混凝土在海洋环境下的长期稳定性，项目组开展为期180天的性能跟踪测试，重点验证其在氯离子侵蚀环境下的耐久性表现。56天氯离子渗透电通量测试结果显示，优化组电通量仅522.6C，相比800C的

标准限值降低34.7%，表明矿粉掺合料形成的致密孔结构有效阻隔氯离子渗透通道。碱总含量严格控制在 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ ，比 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 限值低16.7%，从源头预防碱骨料反应的发生风险。静力受压弹性模量达38100MPa，超出标准要求34500MPa达10.4%，验证了优化配比在保证强度的同时实现变形性能的协调统一。预制箱梁和预制板等关键构件在服役180天后的现场检测表明，混凝土表面无可见裂缝，钢筋保护层厚度符合设计要求，氯离子浓度分布曲线呈现显著的扩散衰减特征，距表面50mm处氯离子含量仅为0.08%，远低于钢筋锈蚀临界值0.15%为预制构件在复杂海洋环境下的长期服役提供可靠保障。

### 3 高性能混凝土配比设计的多维度影响分析

#### 3.1 质量保障与性能提升

质量保障体系的建立是配比设计成功实施的重要保证，该工程建立从配比设计验证与原材料质量控制及生产过程监控到成品检测的全链条质量管理体系，通过引入统计质量控制方法，实时监控混凝土性能指标的变化趋势及时发现和纠正偏差确保产品质量的稳定性，同时建立质量追溯机制，每批次混凝土都有完整的质量档案为后期质量分析和改进提供可靠依据。配比设计实现C50高性能混凝土综合性能的全面提升，力学性能方面C50混凝土7天抗压强度达到28天设计强度的99.3%，C50混凝土静力受压弹性模量达38100MPa，超出标准要求10.4%。耐久性指标表现更为突出，C50混凝土56天氯离子渗透电通量仅522.6C，比标准限值800C降低34.7%，碱总含量统一控制在 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ ，比 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 的限值低16.7%有效预防碱骨料反应。

#### 3.2 经济效益与施工效率

掺合料替代策略带来显著的经济效益，40%的水泥替代率直接降低原材料成本，以前期项目预制构件所用C50高性能混凝土为例， $182\text{kg}/\text{m}^3$ 矿粉替代等量水泥，按市场价格差异计算每立方米混凝土可节约成本约45元，施工效率提升主要体现在前期项目预制构件的养护周期缩短，C50混凝土7天强度已达设计强度的99.3%，预制构件可提前3-5天脱模加快生产周期。水化热控制效果显著降低裂缝风险，C50高性能混凝土大体积构件温度峰值较基准组降低8-12℃，有效避免温度应力裂缝的产生减少后期修复成本，为工程建设的投资回报率提升做出重要贡献，且施工要求符合JTG/T 3650-2020要求。

#### 3.3 绿色发展与可持续性

绿色发展理念在配比设计中的体现不仅是对工业废料的利用，更重要的是实现建筑材料生产和使用过程的生态化。通过减少高能耗水泥的使用量，降低建材生产过程中的能源消耗和温室气体排放，通过提升混凝土

耐久性延长结构使用寿命，减少重建和拆除产生的建筑垃圾，通过优化施工性能减少施工过程中的材料浪费和设备能耗实现全过程的绿色化管理，以该工程为例，总计消耗矿粉约13800吨与粉煤灰约7600吨，相当于处理11700吨工业固废减少环境负担。40%的水泥替代率显著降低混凝土生产过程中的碳排放，水泥生产每吨约产生0.85吨 $\text{CO}_2$ ，矿粉和粉煤灰的碳排放因子仅为水泥的10-15%，估算该工程可减少碳排放约6800吨。结构耐久性提升带来的可持续效应更为深远，抗氯离子渗透能力的增强可延长海工结构使用寿命并减少重建需求。

### 结语

高性能混凝土配比设计在防城港区赤沙码头2号泊位工程中的成功应用充分证明其技术先进性和实用价值，通过系统的原材料优选与科学的掺合料配比和严格的质量控制实现混凝土性能的全面提升。对照试验数据表明优化配比设计相比基准组不仅确保各强度等级混凝土的力学性能和耐久性要求，还在质量保障与经济效益和绿色发展等多个维度取得显著成效，特别是40%水泥替代率的实现和优异的抗氯离子渗透性能为海洋环境下的混凝土工程提供可靠保障，这些对照研究成果对推动高性能混凝土技术发展和工程应用具有重要意义，为类似工程的配比设计提供科学依据和实践参考。

### 参考文献

- [1] 林文字.超高性能混凝土在桥梁加固与新建工程中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2025(6): 076-079.
- [2] 吴涛.道路与桥梁工程中的高性能混凝土应用研究[J].中国科技期刊数据库工业A, 2025(3): 170-173.
- [3] 白永忠.高性能混凝土技术在复杂结构工程中的应用与质量控制[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2025(1): 065-068.
- [4] 陆宏德.高性能混凝土在高层建筑施工中的应用与性能优化研究[J].佛山陶瓷, 2025, 35(4): 57-59.
- [5] 曹冬明, 王永超.高性能混凝土在预制构件生产中的应用与性能评估[J].建设科技, 2025(14): 49-51+92.
- [6] 胡军.高性能混凝土在结构设计中的应用研究[J].佛山陶瓷, 2025, 35(1): 68-70.
- [7] 巫德贞.高性能混凝土配比设计技术及其强度提升研究[J].佛山陶瓷, 2025, 35(1): 25-27.
- [8] 张晓波.桥梁工程机制砂高性能混凝土的配制及应用[J].四川水泥, 2024(11): 14-16.