

水利施工中混凝土配合比优化及性能影响分析

李科毅

(四川南充水利电力建筑勘察设计研究院, 四川 南充 637000)

摘要 水利工程混凝土结构承担挡水、防渗、承重等核心功能,其性能直接决定工程整体稳定性与使用寿命。混凝土配合比是影响其性能的核心因素,不合理的配合比易引发强度不足、耐久性差、经济性不佳等问题,难以适配水利工程复杂严苛的施工环境与长期运行要求。本文以某水库除险加固工程为依托,严格遵循《水工混凝土配合比设计规范》(DL/T 5330-2015)基本原则,梳理水利施工中混凝土配合比的设计要点与现存问题,从原材料选型、参数调整等方面提出优化方案,通过试验分析配合比优化对混凝土核心性能的影响,旨在为同类工程配合比优化提供参考。

关键词 水利施工; 混凝土配合比; 混凝土性能; 性能影响

中图分类号: TV544

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.034

0 引言

水利工程是国民经济和社会发展的基础性工程,涵盖水库、堤坝、水渠等各类结构,长期处于水下或潮湿环境,面临水流冲刷、渗透、冻融等多重作用。混凝土作为水利施工中应用最广泛的建筑材料,其性能直接关系到工程的安全运行和使用寿命。混凝土配合比即水泥、砂、石、水及外加剂等原材料的配比关系,直接决定混凝土强度、耐久性等核心性能,同时直接影响工程施工成本。《水工混凝土配合比设计规范》(DL/T 5330-2015)(以下简称《规范》)明确了水工混凝土配合比设计的核心原则,为配合比优化工作提供了根本遵循^[1]。

当前水利施工中,部分工程仍沿用传统经验法设计配合比,未结合工程实际工况与原材料特性开展针对性优化,导致混凝土强度达标率低、抗渗抗冻性能不足、施工和易性差等问题频发,不仅增加了工程维修养护成本,更埋下了安全隐患。因此,严格遵循《规范》要求开展配合比优化研究,探究配合比对混凝土各项性能的影响规律,兼具重要的理论意义与工程实践价值。

1 工程概况

本文依托某中型水库除险加固工程展开研究,该水库始建于1978年,以防洪、灌溉、供水为主要功能,总库容1200万 m^3 ,大坝为均质土坝,最大坝高28m,坝顶总长860m。本次除险加固内容主要包括大坝防渗

处理、溢洪道改造、输水洞修复及附属设施完善,工程混凝土总用量约8500 m^3 ,主要用于溢洪道闸室、输水洞衬砌及大坝护坡等部位^[2]。

工程所在区域为亚热带季风气候,降水集中在夏季,水文地质条件复杂,地下水水位较高,水质呈弱碱性,对混凝土存在一定侵蚀性。工程设计混凝土强度等级分为C25、C30、C35三级,其中溢洪道闸室与输水洞衬砌采用C35混凝土,大坝护坡采用C25混凝土,附属设施采用C30混凝土,所有混凝土均需满足抗渗、抗冻、抗冲耐磨等耐久性要求,适配水下潮湿及冻融交替的运行环境。

在施工过程中,传统配合比设计的混凝土出现和易性差、浇筑困难、后期强度达标率偏低、抗渗抗冻性能不达标等问题,严重影响施工进度与工程质量,亟需开展配合比优化工作。

2 水利施工中混凝土配合比优化分析

2.1 混凝土原材料选型优化

原材料质量是配合比优化的基础,结合本工程混凝土性能要求,对各类原材料开展针对性选型优化。水泥选用42.5级普通硅酸盐水泥,其强度高、凝结硬化速度适中、水化热较低,抗渗抗冻性能适配水利工程施工要求。细骨料选用当地天然中砂,细度模数2.2~3.0,含泥量 $\leq 2.0\%$,级配良好无杂质,可有效提升混凝土和易性与强度。粗骨料选用5~31.5mm连续级配碎石,含泥量 $\leq 1.0\%$,压碎值 $\leq 12\%$,颗粒

作者简介: 李科毅(1982-),男,专科,工程师,研究方向:水利工程质量检测。

坚硬洁净,可强化混凝土骨架结构,提升强度与耐久性。拌合用水采用符合标准的饮用水,无有害杂质,避免对混凝土性能产生不利影响。外加剂选用高效缓凝减水剂,减水率 $\geq 20\%$,缓凝时间 $6\sim 12\text{ h}$,可有效改善混凝土和易性,减少拌合用水量,降低水化热,防控裂缝产生,提升混凝土耐久性。

2.2 混凝土配合比参数优化

结合本工程选定的各类原材料,针对项目前期传统配合比设计暴露的性能短板,严格遵循《规范》基本原则,围绕泵送施工的核心工艺要求,对混凝土配合比核心参数开展系统性优化调整,确保混凝土工作性能、强度与耐久性满足工程建设要求,适配现场泵送施工的和易性与流动性需求^[3]。

《规范》明确,在满足强度、耐久性及其他要求的前提下,应选用合适的水胶比,同时宜选取最优砂率,且宜选用粒径较大的骨料及合适的级配比例。基于此,水胶比作为决定混凝土强度与抗渗耐久性的核心指标,针对传统配合比水胶比偏大引发的强度不足、抗渗性能不达标的问题,按不同强度等级精准下调水胶比,C25、C30、C35 混凝土水胶比分别由 0.65 、 0.60 、 0.55 优化至 0.58 、 0.55 、 0.50 ,同时满足《规范》中不同部位、不同强度等级混凝土的水胶比最大允许值及初选范围要求。

按优化后水胶比与强度要求,确定各等级混凝土胶凝材料用量分别为 340 kg/m^3 、 380 kg/m^3 、 420 kg/m^3 ,其中水泥占比控制在 $85\%\sim 90\%$,保障混凝土强度发展与长期耐久性。结合泵送工艺要求及《规范》最优砂率选取原则,将 C25、C30、C35 混凝土砂率分别调整至 42% 、 41% 、 40% ,同步优化粗细骨料用量,选用粒径 $5\sim 31.5\text{ mm}$ 的连续级配碎石,确保混凝土流动性与结构强度兼顾;外加剂掺量按胶凝材料总量的 $1.2\%\sim 1.5\%$ 控制,充分改善混凝土拌合物和易性,符合《规范》中通过外加剂改善混凝土性能的要求。

2.3 混凝土配合比优化流程

本工程混凝土配合比优化严格遵循《规范》规定的设计流程与要求,确保优化方案科学、合理、可行。首先,全面收集原材料相关资料,按标准完成水泥、掺合料、外加剂、粗细骨料及拌合用水的性能检测,明确各类材料的核心性能参数,确保原材料质量符合规范要求,为配合比优化提供准确的基础数据。其次,收集工程设计资料,明确混凝土强度、抗渗、抗冻等核心性能指标,以及拌制、运输、施工工艺对应的工作性要求,结合工程不同部位的性能需求,划定水胶比、胶凝材料用量、砂率等核心参数的合理范围。

按照《规范》核心步骤开展配合比设计:一是结合强度保证率要求确定配制强度,根据强度与耐久性要求选定水胶比;二是根据施工工作度要求与骨料最大粒径选定用水量和砂率;三是采用绝对体积法计算各组成材料用量;四是通过试验室试配与现场调整,确定最终配合比。试配环节设计 $3\sim 4$ 组不同配合比开展试验,检测拌合物工作性指标,针对试配问题调整参数并复配,直至满足设计要求;再通过复核试验验证混凝土各龄期抗压强度、抗渗、抗冻、抗冲耐磨等性能,最终筛选出性能达标、经济合理的配合比作为工程用配合比。在施工过程中,根据骨料含水量、超逊径等原材料状态变化,及时调整施工配合比,确保适配现场施工条件。

3 混凝土配合比性能影响分析

3.1 对混凝土强度的影响

混凝土配合比优化对其强度具有显著影响,核心在于严格遵循《规范》中强度保证率及标准差计算要求,通过调整水胶比等参数改善混凝土内部结构,提升强度性能。《规范》明确,混凝土配制强度需满足 95% 的强度保证率要求,需根据设计强度等级合理选取抗压强度标准差,无同品种混凝土强度统计资料时,按规范要求取值,施工中再根据现场强度统计结果动态调整。

试验选取工程中常用的 C25、C30、C35 三种强度等级混凝土,分别采用传统配合比和优化后配合比进行试配,成型标准试件,在标准养护条件下,检测 7 d 、 28 d 抗压强度,对比分析配合比优化对混凝土强度的影响。优化后三种强度等级混凝土的 7 d 、 28 d 抗压强度均明显提升,C25 混凝土 7 d 抗压强度提升 8.9% , 28 d 提升 10.3% ;C30 混凝土 7 d 提升 9.2% , 28 d 提升 10.8% ;C35 混凝土 7 d 提升 9.5% , 28 d 提升 11.2% ^[4]。

水胶比降低是强度提升的核心原因,优化后水胶比减小,且满足《规范》中不同强度等级混凝土的水胶比初选范围及最大允许值要求,水泥水化反应更充分,混凝土内部孔隙率减少,结构更致密,粘结力增强。胶凝材料用量的合理调整和骨料级配的优化,进一步增强了混凝土骨架作用,提升了混凝土整体强度,确保混凝土强度满足水利工程设计要求及《规范》的强度保证率规定。

3.2 对混凝土耐久性的影响

水利工程混凝土长期处于复杂水文环境中,耐久性是保障工程长期稳定运行的关键,配合比优化主要从抗渗、抗冻、抗侵蚀三个方面提升混凝土耐久性。

选取工程中应用最广泛的 C30 混凝土,采用传统配合比和优化后配合比进行耐久性试验,检测抗渗等级、抗冻等级及抗侵蚀性能,试验数据如表 1 所示。

表 1 不同配合比混凝土耐久性对比表

配合比类型	抗渗等级	抗冻等级	28 d 强度损失率 %	28 d 质量损失率 %
传统配合比	P6	F150	8.5	3.8
优化后配合比	P8	F200	4.2	1.9

由表 1 可知,优化后混凝土抗渗等级由 P6 提升至 P8,抗渗性能明显增强,这是因为水胶比降低,混凝土内部孔隙减少,连通孔隙率降低,有效阻挡水分渗透。抗冻等级由 F150 提升至 F200,抗冻性能显著提升,优化后的配合比通过掺入高效缓凝减水剂,改善混凝土内部结构,减少冻融循环过程中内部水分结冰产生的膨胀应力,降低混凝土破坏概率。在抗侵蚀性能方面,优化后混凝土在弱碱性侵蚀环境中,28 d 强度损失率由 8.5% 降至 4.2%,质量损失率由 3.8% 降至 1.9%,抗侵蚀能力明显提升,胶凝材料用量的优化和骨料级配的改善,增强了混凝土内部结构的致密性,减少侵蚀介质对混凝土的破坏。

3.3 对混凝土工作性的影响

混凝土工作性直接影响施工浇筑质量和效率,配合比优化通过调整砂率、外加剂用量、骨料级配等参数,显著改善混凝土工作性。试验选取三种强度等级混凝土,分别检测传统配合比和优化后配合比混凝土的坍落度、扩展度、凝结时间及泌水率,分析配合比优化对工作性的影响。

优化后,三种强度等级混凝土的坍落度均控制在 120 ~ 160 mm 之间,符合水利施工浇筑要求,相比传统配合比,坍落度波动范围减小,流动性更稳定。扩展度由传统配合比的 350 ~ 400 mm 提升至 450 ~ 500 mm,混凝土流动性和扩散性更好,便于浇筑密实,尤其适用于输水洞衬砌、溢洪道闸室等复杂部位施工。凝结时间优化合理,初凝时间控制在 8 ~ 10 h,终凝时间控制在 12 ~ 14 h,避免初凝过快导致浇筑困难,终凝过慢影响后续施工进度。泌水率由传统配合比的 2.5% ~ 3.0% 降至 1.0% ~ 1.5%,混凝土保水性和黏聚性明显提升,有效避免浇筑过程中出现离析泌水现象,减少混凝土内部蜂窝麻面等缺陷,提升浇筑质量。

3.4 对混凝土经济性的影响

配合比优化在提升混凝土各项性能的同时,有效提升工程经济性,通过优化原材料用量,降低混凝土

拌合成本。结合工程实际混凝土用量 8 500 m³,分别计算传统配合比和优化后配合比的原材料用量及单方成本,分析配合比优化对经济性的影响^[5]。

优化后,水泥用量相比传统配合比减少 5% ~ 8%,C25 混凝土单方水泥用量减少 20 kg,C30 减少 25 kg,C35 减少 30 kg,水泥作为混凝土中成本较高的原材料,用量减少显著降低单方成本。外加剂用量虽略有增加,但总体胶凝材料用量优化后,单方外加剂成本增加幅度较小,远低于水泥用量减少带来的成本节约。砂石子用量优化后,单方用量略有调整,但选用当地易得骨料,运输成本未增加,且骨料级配优化减少了骨料浪费。

经计算,优化后混凝土单方成本相比传统配合比降低 8 ~ 12 元,工程总混凝土成本节约 7.6 ~ 10.2 万元,同时混凝土性能提升,减少后期维修养护成本,进一步提升工程整体经济性,实现工程质量和经济效益的双重提升。

4 结束语

水利施工中混凝土配合比优化,是提升混凝土性能、保障工程质量的关键举措,也是控制工程成本、提升经济效益的重要途径,其核心在于严格遵循《水工混凝土配合比设计规范》的基本原则,落实强度保证率等核心要求。本文结合某水库除险加固工程实际,开展了混凝土配合比优化及性能影响分析,从原材料选型、参数调整、设计流程等方面构建了针对性优化方案,通过试验验证了优化方案对混凝土强度、耐久性、工作性及经济性的提升效果。未来可结合不同水利工程的工况条件与性能要求,适配新型原材料与外加剂,进一步完善配合比优化方法,为水利工程高质量建设提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 张朋虎. 水利水电工程中的混凝土施工技术与管理控制研究[J]. 水上安全,2025(23):188-190.
- [2] 姜军委,郑建花. 水利工程混凝土施工裂缝成因分析与智能温控防裂技术[J]. 智慧中国,2025(11):53-54.
- [3] 钱桂花. 水利施工中混凝土防裂缝施工技术应用分析[J]. 散装水泥,2024(05):85-87.
- [4] 陈刚. 水利工程喷射混凝土配合比设计与施工工艺试验[J]. 四川水泥,2024(03):161-164,167.
- [5] 李凤来. 水利枢纽工程面板混凝土配合比与施工技术分析[J]. 黑龙江水利科技,2022,50(10):50-53,75.