

# Key points of high performance concrete ratio optimization and supporting construction technology quality control

Jiaping Han

Wuwei Qilian Mountain Shangcong Co., Ltd., Wuwei, Gansu, 733000, China

## Abstract

High-performance concrete, as an important material in modern construction engineering, has been widely used in large-scale infrastructure, bridges, and high-rise buildings due to its excellent mechanical properties and durability. The performance of concrete is closely related to its mix design; therefore, optimizing the mix ratio is key to enhancing concrete performance. This paper first analyzes the main factors affecting the performance of high-performance concrete, explores common methods for mix optimization, and provides reasonable mix design schemes based on different engineering requirements. At the same time, it addresses potential quality issues during the construction process of high-performance concrete by proposing key points for construction process quality control, focusing on technical measures such as raw material control, mixing and pouring processes, and curing management. By optimizing these measures, the overall performance of high-performance concrete can be effectively improved, ensuring long-term stability and safety of the project. Finally, this paper combines practical cases to verify the positive impact of optimized mix ratios and quality control measures on the effectiveness of the project.

## Keywords

high performance concrete; mix ratio optimization; construction technology; quality control; engineering application

## 高性能混凝土配比优化及配套施工工艺质量控制要点

韩家静

武威祁连山商砼有限公司, 中国·甘肃 武威 733000

## 摘要

高性能混凝土作为现代建筑工程中的重要材料,因其优异的力学性能和耐久性,已广泛应用于大型基础设施、桥梁、高层建筑等工程中。混凝土的性能与其配比密切相关,因此,配比优化是提高混凝土性能的关键。本文首先分析了影响高性能混凝土性能的主要因素,探讨了常见的配比优化方法,并根据不同的工程要求给出了合理的配比设计方案。同时,针对高性能混凝土在施工过程中可能出现的质量问题,提出了相应的施工工艺质量控制要点,重点讨论了施工过程中的原材料控制、混合和浇筑工艺、养护管理等方面的技术措施。通过这些措施的优化,能够有效提高高性能混凝土的综合性能,确保工程的长期稳定性和安全性。最后,本文结合实际案例,验证了优化配比和质量控制措施对工程效果的积极影响。

## 关键词

高性能混凝土; 配比优化; 施工工艺; 质量控制; 工程应用

## 1 引言

随着建筑技术的不断进步,混凝土作为最基础的建筑材料,其性能的提高对现代建筑工程的质量和安全性起到了至关重要的作用。高性能混凝土(HPC)凭借其出色的强度、耐久性、抗渗性和抗冻性等特性,在现代高层建筑、桥梁、高速公路、隧道等基础设施建设中得到了广泛应用。高性能混凝土的质量不仅与其配比设计密切相关,还与施工工艺和施工过程中的质量控制息息相关。合理的配比优化和科学的施工工艺质量控制,能够有效提高高性能混凝土的工作性能

和耐久性,减少材料浪费和成本。本文将深入探讨高性能混凝土的配比优化方法以及配套施工工艺中的质量控制要点,旨在为相关工程提供理论指导和实践依据。

## 2 高性能混凝土的配比优化分析

随着建筑工程向高强度、大跨度和长寿命方向的发展,高性能混凝土(High Performance Concrete, HPC)因其优越的力学性能和耐久性能,越来越多地被应用于桥梁、高层建筑、核电站、海洋工程等重要结构中。与普通混凝土相比,高性能混凝土不仅要求更高的强度指标,还需满足耐久性、工作性、抗裂性等多重性能指标,这对其配合比设计提出了更高要求。科学合理的配比设计不仅决定了混凝土的力学性能和耐久性能,还影响施工的可操作性及后期维护成本。

【作者简介】韩家静(1991-),男,中国甘肃武威人,助理工程师,从事建筑材料研究。

## 2.1 高性能混凝土的性能要求

高性能混凝土并非仅指强度提升，更强调其综合性能的优越性，其性能涵盖以下几个关键方面：

**强度性能：**强度是高性能混凝土最基本的要求，其抗压强度常超过 60 MPa，部分可达 100 MPa 以上。同时，良好的抗拉强度和抗剪强度对于抵抗结构在使用过程中产生的各类荷载也至关重要，特别是在抗震、抗冲击等结构中更显重要。

**耐久性：**耐久性是衡量混凝土长期服役能力的重要指标，主要包括抗渗性、抗冻性、抗碳化性和抗化学侵蚀能力。高性能混凝土通过降低水胶比和加入高活性矿物掺合料，可显著提高其致密性，从而抵御外界水分、氯离子和其他腐蚀性介质的侵入，延长结构寿命。

**工作性：**工作性是混凝土施工性能的综合体现，包括流动性、粘结性和保水性等指标。高性能混凝土常用于钢筋密集或复杂模板结构中，要求其具有良好的流动性和自密实性，便于浇筑和夯实。

**抗裂性：**由于高性能混凝土通常采用低水胶比，容易出现自收缩和温差裂缝，因此其抗裂性能亦需加强。通过优化材料组成、加入纤维增强材料以及控制施工养护条件，可有效提升其抗裂能力。

## 2.2 配比优化的基本原则

为了满足上述多项性能要求，高性能混凝土的配比优化需遵循以下基本原则：

**低水胶比原则：**水胶比是影响混凝土强度和耐久性的核心参数。通常高性能混凝土的水胶比控制在 0.25~0.40 之间。低水胶比能减少孔隙率，提高结构致密性和强度，但可能影响流动性，因此需通过外加剂辅助调节。

**高矿物掺合料比例原则：**矿物掺合料如粉煤灰、矿渣粉、硅灰等不仅可以部分替代水泥，降低水化热和材料成本，还能改善混凝土的后期强度和抗渗性。适量的掺合料能优化混凝土的微观结构，提高抗化学侵蚀能力。

**适当使用外加剂原则：**外加剂如高效减水剂、缓凝剂、膨胀剂等的使用是提升高性能混凝土性能的关键。高效减水剂可在低水胶比下保证良好的流动性，缓凝剂有助于控制水化热发展速率，避免早期开裂。

**优化骨料级配原则：**骨料的粒径、级配和颗粒形状直接影响混凝土的密实度和施工性能。合理的粗细骨料比例可减少空隙率，提高强度和泵送性能，同时减少水泥用量，实现性能与经济性的平衡 [1]。

## 2.3 常见的配比优化方法

针对高性能混凝土多性能、多目标的特性，配比设计方法逐渐向智能化、科学化方向发展。目前常用的几种优化方法如下：

**试配法：**试配法是最传统也是最直观的配比设计方法。通过选定若干个不同配比方案，制备试件进行强度、工作性等性能测试，比较实验结果后确定最优方案。其优点是数据

可靠、操作简便，但试验工作量大、周期长，适用于项目初期验证。

**数学模型法：**基于统计学或物理模型构建数学函数，分析各配合比参数与混凝土性能之间的函数关系，从而进行预测与优化。例如，通过响应面分析法 (RSM) 等优化技术，可在较少试验条件下获得合理配比，大幅提高设计效率。

**神经网络法 (ANN)：**随着人工智能的发展，神经网络在混凝土配比优化中的应用日益广泛。该方法通过输入大量历史实验数据，利用多层神经网络训练学习复杂的非线性关系，实现高性能混凝土性能的快速预测和最优配比自动推荐。其优势在于对多变量耦合关系建模能力强，尤其适合非线性、多目标的复杂系统。

**灰色关联分析与遗传算法：**灰色系统理论适用于信息不完全场景下的决策优化，可用于筛选对混凝土性能影响最大的变量。结合遗传算法等智能优化技术，可进一步搜索全局最优配比方案，在保证性能的同时实现经济性最优化。

## 3 高性能混凝土的配套施工工艺质量控制

### 3.1 原材料质量控制

高性能混凝土对原材料的质量要求远高于普通混凝土，因此，必须从源头抓起，严控材料的选择与检验。

#### 3.1.1 水泥控制

水泥是混凝土中最基本的胶结材料，其性能对混凝土的早期强度发展、粘结性和抗化学侵蚀能力有直接影响。应选用符合国家标准的高标号硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥，并避免使用已受潮或结块的水泥。水泥的强度等级、细度、比表面积等参数应定期检测，确保其性能稳定。

#### 3.1.2 骨料控制

骨料是混凝土中的骨架，其颗粒级配、清洁度、坚固性等指标均对混凝土的密实性和强度产生影响。细骨料应颗粒细度模数适中，级配合理，不应含有泥土、有机杂质或其他有害物质。粗骨料应粒径分布合理，形状尽量规整，避免片状、针状颗粒比例过高。施工中需定期检测骨料含水率，以调整施工用水量，防止实际水胶比偏差。

#### 3.1.3 矿物掺合料与外加剂控制

高性能混凝土广泛使用矿物掺合料如粉煤灰、矿粉、硅灰等，其活性、细度、含水率等均应符合相关规范。掺合料应具有良好的适应性，能够有效提高混凝土的工作性和后期强度。外加剂（如高效减水剂、缓凝剂）应来源可靠，性能稳定，使用前应通过小样测试，验证其对混凝土性能的影响，确保其与胶凝材料兼容。

### 3.2 混合与浇筑工艺控制

在施工环节，高性能混凝土的性能发挥极度依赖于科学的混合工艺和规范的浇筑操作。

#### 3.2.1 混合过程控制

为了保证混凝土组分的均匀性，必须严格控制搅拌顺序和时间。通常采用“双投法”或“分批加料法”，先加入

部分骨料和掺合料进行预搅,再分阶段加入外加剂和剩余材料,确保搅拌均匀、无团聚。搅拌时间需根据混凝土的坍落度和用料种类合理设定,避免搅拌时间过短导致原料分布不均,也防止过度搅拌引起水化反应提前、性能下降 [2]。

### 3.2.2 浇筑操作控制

高性能混凝土通常流动性较强,但仍需防止离析、泌水等质量问题。浇筑过程中,宜使用专业的混凝土泵车和传输设备,确保连续作业,减少中途停顿引发的冷缝问题。下料时应避免自由落差过大,以防混凝土分层。模板和钢筋结构应密实可靠,确保混凝土填充均匀。必要时使用插入式或附着式振捣棒,排除气泡,增强密实性,提升结构整体性。

## 3.3 养护管理

科学的养护管理是高性能混凝土最终形成理想结构性能的重要保障环节。

### 3.3.1 湿润养护

由于高性能混凝土水胶比低,易出现自干缩和早期裂缝,因此需及时进行湿润养护,避免水分过快蒸发。常见的养护方式包括喷水、覆盖湿麻布、设置塑料膜或喷洒养护剂等,以维持表面湿度,防止裂纹发生 [3]。

### 3.3.2 温度控制

温度是影响水化反应速率和结构收缩程度的关键因素。在炎热或寒冷环境中,需采取保温或升温措施,防止因温差过大导致裂缝产生。必要时可设置保温层、加热毯,或选择在气温适中时段进行施工与养护。

### 3.3.3 养护周期控制

高性能混凝土的养护时间应长于普通混凝土,通常不少于 7 天,对于大体积或暴露在恶劣环境中的结构,建议延长至 14 天以上。养护期间应持续监测湿度与温度变化,确保混凝土性能按设计要求稳步提升。

## 4 高性能混凝土施工质量控制的难点与对策

在高性能混凝土施工过程中,影响施工质量的因素众多,其中施工环境、人员素质与管理水平、材料采购与运输等方面尤为关键。高性能混凝土对施工条件的敏感性远高于普通混凝土,因此,必须对施工全过程实施严格控制,确保其不同条件下仍能达到预期性能。

### 4.1 施工环境的影响

高性能混凝土的性能形成依赖于良好的养护环境,温度、湿度、风速等自然条件都会对其质量产生显著影响。在高温环境下,混凝土中的水分蒸发加快,极易导致早期干缩裂缝,影响后期强度发展;而在低温环境中,水化反应缓慢,混凝土早期强度难以满足结构施工进度要求,甚至出现冻害风险。湿度过低还会造成混凝土表层失水过快,产生表面龟裂。对此,应根据气候条件合理安排施工时间,炎热天气下

采用遮阳、喷雾保湿等措施,寒冷天气下采取加热保温、延长养护周期等方法,确保混凝土在适宜环境中凝结硬化 [4]。

### 4.2 人员素质与管理问题

高性能混凝土施工技术复杂,要求施工人员具备更高的技术水平和操作规范意识。然而,在实际施工中,一些项目因人员培训不足、施工经验缺乏,导致配比执行偏差、施工工艺控制不严,进而影响混凝土性能。项目管理中还存在责任不明、流程不清等问题,增加了施工过程中的质量隐患。为提升施工质量,应建立健全的培训制度与岗位考核机制,确保从操作工人到现场管理人员均掌握高性能混凝土的施工要点与质量控制方法。同时,应加强技术交底和施工过程监控,建立完善的责任追溯体系。

### 4.3 材料采购与运输控制

高性能混凝土对原材料的性能要求极高,其质量控制应从采购源头抓起。水泥、骨料、矿物掺合料、外加剂等必须符合国家标准,采购前应提供合格证和检测报告,施工单位还应定期对进场材料进行复检。运输过程中要防止水泥受潮结块,骨料混入杂质或级配变化,外加剂因高温、低温引起性能衰退等问题。对于粉状材料,应使用专用密封容器运输,防止吸湿变质;液体外加剂应在恒温条件下运输和储存,确保其化学性能稳定。通过规范化、制度化材料采购与运输过程,可有效保障混凝土性能的一致性与可靠性 [5]。

## 5 结语

高性能混凝土的配比优化及施工工艺质量控制是确保建筑工程质量和耐久性的关键。通过优化配比设计,合理控制原材料质量、混合工艺和施工过程中的各个环节,能够有效提高混凝土的综合性能,确保工程的长期稳定性。本文通过对高性能混凝土配比优化和施工工艺的研究,提出了切实可行的质量控制措施,为工程实践提供了理论支持。未来,随着技术的发展和施工管理水平的不断提高,高性能混凝土将在更多领域得到广泛应用,为现代建筑提供更加坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 张冲.高性能混凝土在建筑施工中的应用[J].居舍,2024,(35):53-55.
- [2] 李廷川.高性能混凝土施工技术在公路工程中的应用[J].运输经理世界,2024,(21):49-51.
- [3] 张鸿鹤.钢桥面板-高性能混凝土组合铺装结构界面试验研究[D].重庆交通大学,2024.
- [4] 李磊,陈佩,金显龙,等.高性能混凝土技术在工业建筑工程中的实际应用[J].四川建材,2023,49(12):5-7.
- [5] 江舟,程自强.公路桥梁施工中高性能混凝土的应用[J].黑龙江交通科技,2023,46(08):104-106.