

原材料波动下混凝土性能稳定控制技术研究

陈武钊

广东金泰混凝土有限公司，广东 云浮 527300

DOI:10.61369/ERA.2025100003

摘 要： 本文围绕混凝土性能展开，探讨了水泥化学成分、砂石级配等原材料波动对其的影响及应对措施。介绍了多种检测技术、监测装置及算法模型，包括 X 射线衍射检测、微波传感监测等。还阐述了实验室智能化管理体系及配合比优化方法，最后通过工程验证和效益评估，强调了技术体系的工程价值和未来发展方向。

关 键 词： 混凝土性能；原材料波动；技术体系

Study on Stable Control Technology of Concrete Performance Under Fluctuation of Raw Materials

Chen Wuzhao

Guangdong Jintai Concrete Co., LTD., Yunfu, Guangdong 527300

Abstract： This article focuses on the performance of concrete, exploring the impact of fluctuations in raw materials such as cement chemical composition and sand and gravel gradation, along with the corresponding measures to address these issues. It introduces various testing technologies, monitoring devices, and algorithm models, including X-ray diffraction testing and microwave sensing monitoring. The article also discusses the intelligent management system of laboratories and methods for optimizing mix proportions. Finally, through engineering validation and benefit assessment, it highlights the engineering value and future development direction of the technical system.

Keywords： concrete performance; raw material fluctuation; technical system

引言

随着建筑行业的发展，对混凝土性能的要求日益提高。2022 年发布的相关建筑材料政策强调了确保混凝土质量稳定的重要性。水泥作为混凝土的关键原材料，其化学成分如氧化钙含量受产地影响，不同含量对混凝土性能影响显著。同时，天然砂石级配波动也影响混凝土性能。为保障混凝土质量，开发了如基于 X 射线衍射的检测技术、基于微波传感的监测装置等一系列新技术，还建立了多种模型和规范，包括原材料检测数据标准录入规范、原材料性能波动预警模型等，这些都为混凝土性能稳定控制提供了技术支撑和理论依据。

一、原材料波动对混凝土性能的影响机理

（一）水泥质量波动特征分析

不同产地的水泥化学成分存在差异，其中氧化钙含量的波动对混凝土性能影响显著。氧化钙是水泥熟料的主要成分之一，其含量直接影响水泥的水化过程。较高的氧化钙含量会加速水泥的水化反应，使混凝土早期强度发展较快，但可能导致后期强度增长缓慢甚至倒缩，这是因为过多的氧化钙在后期可能会引起体积膨胀等不良现象^[1]。相反，氧化钙含量较低时，水泥水化速度减慢，混凝土早期强度发展不足。此外，不同产地水泥中其他化学成分的差异也会协同影响水化过程，进而影响混凝土的强度发展和其他性能。

（二）骨料级配变化影响研究

天然砂石级配波动对混凝土性能具有显著影响。级配变化会

改变骨料的堆积状态，影响混凝土的空隙率。当级配不良时，空隙率增大，需更多的浆体填充，否则会降低密实度^[2]。同时，骨料级配影响混凝土的工作性。合理的级配能使骨料与浆体更好地相互作用，提供良好的流动性和可塑性，保证坍落度在合适范围。反之，不合理的级配可能导致坍落度异常，影响施工性能。通过对不同级配参数下混凝土性能的试验研究，可建立级配参数与坍落度的量化关系模型，为控制混凝土性能提供理论依据，以应对天然砂石级配波动带来的不利影响。

二、原材料快速检测技术体系构建

（一）水泥关键指标快速检测方法

开发基于 X 射线衍射的矿物组成快速检测技术，可精确分析水泥中的矿物成分^[3]。通过该技术能快速获取水泥中各种矿物的含

量及分布情况,为评估水泥质量提供关键数据。同时,建立SO₃含量与凝结时间的关联预测模型。由于SO₃含量对水泥的凝结时间有重要影响,通过大量实验数据和分析,确定两者之间的定量关系。这一模型能够根据水泥中SO₃的含量快速预测其凝结时间,从而在水泥生产和使用过程中,及时调整工艺参数,确保水泥性能符合要求,提高混凝土质量的稳定性。

（二）骨料含水率在线监测系统

设计基于微波传感的骨料含水率动态监测装置,该装置利用微波与物料中水分相互作用的原理,通过检测微波的传输特性变化来获取骨料的含水率信息。这种传感方式具有快速、准确、非接触等优点,能够实时反映骨料含水率的动态变化。同时,构建水分补偿算法的自适应调节模型,根据监测到的含水率数据,模型可以自动调整混凝土配合比中的用水量,以补偿骨料含水率波动对混凝土性能的影响。通过该监测系统和调节模型的协同作用,能够有效提高混凝土生产过程中对骨料含水率变化的应对能力,确保混凝土性能的稳定性^[4]。

三、混凝土实验室智能化管理体系

（一）检测数据云端管理系统

1. 数据采集标准化流程

为建立原材料检测数据标准录入规范,实现试验数据的实时采集与分类存储,需从多方面着手。首先应确定统一的数据格式,包括各类原材料的基本信息、检测指标、检测方法及对应结果等,确保数据的完整性和准确性^[5]。在数据采集过程中,利用先进的传感器和自动化设备,减少人为误差,提高采集效率。同时,对采集的数据进行实时验证,不符合规范的数据及时提示并修正。对于分类存储,可依据原材料种类、检测项目等维度建立数据库结构,便于后续的数据查询、分析和应用,为混凝土性能稳定控制提供有力的数据支撑。

2. 大数据分析平台架构

在混凝土实验室智能化管理体系中,检测数据云端管理系统的大数据分析平台架构至关重要。基于Hadoop开发检测数据分析系统,Hadoop具有高效处理大规模数据的能力,能满足混凝土检测数据量大且复杂的需求^[6]。通过该系统可对原材料的各项检测数据进行收集、整理和分析。同时构建原材料性能波动预警模型,利用大数据分析技术挖掘数据中的潜在规律,当原材料性能出现波动时能及时发出预警。这有助于在原材料波动的情况下,提前采取措施调整混凝土配合比等,从而实现混凝土性能的稳定控制。

（二）试验环境智能监控系统

1. 温湿度联动控制装置

设计可编程环境控制模块,其核心在于利用先进的传感器技术和智能算法,实现对养护室内温湿度的精确感知与调控。通过在养护室内合理分布高精度温湿度传感器,实时获取环境数据,并将其传输至控制中心。控制中心依据预设的温湿度范围及波动阈值,运用智能算法进行数据分析和决策。当温湿度偏离设定值

时,控制模块自动启动相应的调节设备,如加热、制冷、加湿或除湿装置,实现温湿度的联动调节。这种精确的联动调节机制能够有效模拟不同环境条件,为混凝土试块提供稳定的养护环境,确保实验结果的准确性和可靠性,这对研究原材料波动下混凝土性能稳定控制技术具有重要意义^[7]。

2. 振动干扰监测与补偿

混凝土实验室智能化管理体系中的试验环境智能监控系统包含振动干扰监测与补偿部分。在试验过程中,外界振动会干扰试验结果,因此需开发试验台微振动监测系统。通过高精度传感器实时监测试验台的振动情况,获取振动的频率、振幅等关键数据。同时,建立力学测试结果的振动修正算法,利用监测到的数据对测试结果进行修正。该算法需考虑振动对混凝土试件内部结构的影响,以及对力学性能测试指标的干扰。通过这种方式,可有效降低振动干扰对试验结果的影响,提高试验数据的准确性和可靠性,为混凝土性能研究提供更精确的数据支持^[8]。

四、动态配合比优化设计方法

（一）响应面法参数优化模型

1. 多因素交互作用分析

Box-Behnken设计是一种常用的实验设计方法,可用于研究多个因素之间的交互影响规律。在混凝土配合比设计中,水胶比、砂率和矿物掺合料是影响混凝土性能的关键因素。通过Box-Behnken设计,可以系统地改变这些因素的水平,构建实验矩阵,并测量相应的混凝土性能指标。利用响应面法,可以建立混凝土性能与各因素之间的数学模型,从而分析各因素的主效应和交互效应。这种方法能够全面考虑多因素之间的复杂关系,为混凝土配合比的优化提供科学依据,以应对原材料波动带来的影响,确保混凝土性能的稳定性^[9]。

2. 目标函数构建与求解

建立兼顾工作性、强度和耐久性的多目标优化函数是关键。工作性可通过坍落度等指标衡量,强度需考虑抗压、抗折等强度值,耐久性涉及抗渗、抗冻等性能^[10]。对于工作性,可设定合适的坍落度范围作为约束条件;对于强度,根据设计要求确定强度等级对应的数值作为目标值;对于耐久性,同样依据工程环境设定抗渗、抗冻等级等要求。在此基础上,将这些目标综合考虑构建多目标优化函数。开发改进型遗传算法求解器来求解该函数,利用遗传算法的全局搜索能力和自适应特性,不断迭代优化,找到满足多目标要求的最优解,从而实现混凝土配合比的优化设计。

（二）实时补偿调整算法开发

1. 波动因子识别与权重分配

构建原材料波动影响因子体系需综合考虑多种因素。从原材料的物理性能如颗粒大小、形状,到化学特性如化学成分含量等,均可能影响混凝土性能。同时,环境因素如温度、湿度以及施工工艺参数也应纳入该体系。熵权法是确定各参数调整优先级的有效方法。通过计算各因子的信息熵,能客观反映其提供的信

息量大小，从而确定权重。信息熵越大，表明该因子不确定性越大，权重应相应降低。根据权重可明确各参数在配合比调整中的优先级，以便在原材料波动时，优先调整关键参数，确保混凝土性能稳定。

2. 动态配合比调整策略

基于模糊控制理论，建立原料性能与配合比之间的模糊关系模型。通过传感器实时监测原材料的关键性能指标，如含水量、颗粒级配等。将监测数据输入到模糊控制器中，模糊控制器依据预设的模糊规则进行推理计算。这些规则是基于大量实验数据和工程经验总结得出的，能够准确反映原料性能变化对配合比的影响。根据推理结果，自动调整水泥、水、砂石等原材料的用量比例，实现配合比的动态优化。同时，算法要考虑到不同原材料之间的交互作用以及对混凝土工作性、强度等性能的综合影响，确保在原料波动情况下混凝土性能的稳定。

（三）工程验证与效果评估

1. 试点工程应用分析

选择典型工程项目进行技术验证。在试点工程应用中，严格按照动态配合比优化设计方法进行混凝土配合比的调整。通过对实际工程中使用的混凝土进行强度检测，统计强度合格率。同时，计算离散系数改进值，以评估混凝土性能的稳定性的。结果显示，采用该技术后，强度合格率达到显著提高，达到了预期的标准。离散系数改进值也表明混凝土强度的离散程度明显降低，性能更加稳定。这充分验证了在原材料波动下，该动态配合比优化设计方法能够有效控制混凝土性能，确保工程质量。

2. 全寿命周期效益评估

建立全寿命周期效益评估模型，综合考虑技术应用对混凝土结构从建设到运营维护各阶段的影响。从材料角度，分析动态配合比优化设计在原材料波动下对材料节约的贡献，通过实际工程数据对比，量化因配合比优化而减少的原材料浪费。从质量提升方面，评估其对混凝土性能稳定性的增强效果，以及由此带来的结构耐久性提升和维修成本降低。考虑结构在全寿命周期内的安全性和可靠性，结合经济因素，如建设成本、运营成本和维修成本等，以货币形式量化技术应用带来的综合效益，为技术的推广和进一步优化提供经济决策依据。

五、总结

本研究系统总结了原材料检测、实验室管理和配合比优化技术的集成创新成果。通过精准的原材料检测，能更好地把控质量源头；科学的实验室管理确保了实验数据的准确性和可靠性；合理的配合比优化技术则直接提升了混凝土的性能。这些成果构建的技术体系在提升混凝土质量稳定性方面具有显著的工程价值，能有效应对原材料波动带来的影响，保障工程质量。未来，在智能制造和人工智能融合方面具有发展方向，可进一步探索利用智能技术实现更高效的原材料检测、更精准的配合比设计以及更科学的实验室管理，推动混凝土性能稳定控制技术不断发展。

参考文献

[1] 唐晓萍. 化工原材料价格波动下 A 企业成本控制研究 [D]. 广西大学, 2022.
[2] 姜梅英. 卵石机制砂颗粒级配混凝土性能影响及微观结构分析 [D]. 广西大学, 2021.
[3] 黄森宝. 新型无碱速凝剂对混凝土性能及孔结构影响的研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
[4] 杨发. 振动及真空搅拌对混凝土孔结构及性能影响的机理研究 [D]. 长安大学, 2022.
[5] 吕炎. 再生骨料化学强化及其对混凝土力学性能的影响研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2022.
[6] 游元德. 探讨混凝土原材料对混凝土性能的影响与检测控制 [J]. 绿色环保建材, 2019, (02): 18-19.
[7] 贾正. 探讨混凝土原材料对混凝土性能的影响与检测控制 [J]. 门窗, 2019, (20): 181.
[8] 靳璐. 混凝土原材料对水利工程混凝土性能的影响与检测控制 [J]. 黑龙江水利科技, 2022, 50(02): 73-74+123.
[9] 拜生智. 原材料对预拌混凝土性能的影响及质量控制要点 [J]. 广东建材, 2022, 38(09): 67-70.
[10] 杨菲. 探讨混凝土原材料对混凝土性能的影响与检测控制 [J]. 佛山陶瓷, 2022, 32(12): 86-88.