

基于新材料的预拌混凝土设计及技术管理创新

程玉平

广东 佛山 528000

DOI:10.61369/UAID.2024110024

摘 要： 本文围绕基于新材料的预拌混凝土设计及技术管理创新展开，涵盖构建新型混凝土材料体系、多目标优化模型等多方面。阐述了其不同工程中的应用，进行成本效益分析，强调市场推广潜力，构建五级标准架构与管理规范创新，指出设计与技术管理成果及未来发展方向。

关 键 词： 新材料预拌混凝土；技术管理创新；工程应用

Innovation in Design and Technical Management of Pre mixed Concrete Based on New Materials

Cheng Yuping

Foshan, Guangdong 528000

Abstract： This article focuses on the design and technological management innovation of ready mixed concrete based on new materials, covering various aspects such as building a new concrete material system and multi-objective optimization models. Elaborated on its application in different projects, conducted cost-benefit analysis, emphasized market promotion potential, constructed a five level standard framework and innovative management norms, and pointed out the achievements and future development directions of design and technical management.

Keywords： new materials ready mixed concrete; technological management innovation; engineering application

引言

随着建筑行业对高性能、绿色环保材料需求的增长，基于新材料的预拌混凝土成为发展重点。2019年颁布的《绿色建材产品认证实施方案》大力推广绿色建材，为其创造有利环境。在此背景下，研究需系统解析新型胶凝组分协同作用机理，建立多尺度材料性能参数数据库，通过融合遗传算法与机器学习优化配合比设计。同时，在生产技术、低碳制备、技术管理、供应链管理等多方面创新，并在重大工程应用中积累经验，进行成本效益分析与市场推广，构建标准架构与创新管理规范，推动其向绿色、智能、高效方向发展。

一、基于新材料的预拌混凝土设计理论

（一）新型混凝土材料体系构建

在新型混凝土材料体系构建中，需系统解析矿物掺合料、纳米材料等新型胶凝组分的协同作用机理。矿物掺合料如粉煤灰、矿渣粉等，能改善混凝土工作性、耐久性及后期强度，纳米材料的高活性与小尺寸效应可填充孔隙、加速水化反应。深入研究这些材料在不同条件下的相互作用，明晰如何相互促进或制约，以实现最佳性能组合。通过大量试验与数据分析，建立多尺度材料性能参数数据库，涵盖从微观的颗粒尺寸、活性指数，到宏观的强度、耐久性指标等。这一数据库为新型混凝土材料体系设计提供数据支撑，使基于新材料的预拌混凝土设计更具科学性与精准性^[1]。

（二）配合比智能设计方法

开发融合遗传算法与机器学习的多目标优化模型，旨在有效

解决预拌混凝土强度、耐久性与工作性之间的设计矛盾。遗传算法可在复杂搜索空间中寻找最优解，机器学习则能从大量历史数据中挖掘规律^[2]。将两者融合，先利用机器学习对新材料相关数据进行分析，建立强度、耐久性和工作性与各材料参数的关系模型。再通过遗传算法对这些关系模型进行多目标优化，以确定满足强度、耐久性和工作性要求的最佳配合比参数。此方法能够充分考虑新材料特性，打破传统配合比设计仅靠经验或简单公式的局限，实现基于新材料的预拌混凝土配合比的智能、精准设计，为预拌混凝土在实际工程中的应用提供科学合理的配合比方案。

二、预拌混凝土生产技术体系创新

（一）智能化生产控制系统

在预拌混凝土生产技术体系创新中，智能化生产控制系统起着

关键作用。构建基于物联网的物料计量精准调控系统是其中的重要一环。通过该系统,利用物联网技术实现对生产过程中各种原料的实时监控与精准调控。系统能够对原料的称量进行精确把控,极大提升称量的准确性,达成原料称量误差 $\leq 0.5\%$ 的工艺控制要求。这一精确控制,使得预拌混凝土的质量稳定性显著提高,减少因原料称量偏差导致的质量问题。同时,智能化系统也能及时发现潜在的生产故障与异常,提前预警并提供解决方案,保障生产过程的高效与稳定,为预拌混凝土生产技术体系创新奠定坚实基础^[3]。

(二) 低碳制备关键技术

在预拌混凝土低碳制备关键技术方面,研究CO₂矿化养护工艺参数优化至关重要。CO₂矿化养护是实现低碳制备的重要途径,通过对诸如养护温度、CO₂浓度、养护时间等工艺参数的优化,能显著提升矿化效果。在此过程中,深入探究并建立碳吸收率与力学性能的量化关系模型^[4]。该模型可精准反映出随着碳吸收量的变化,预拌混凝土力学性能的改变规律。例如,较高的CO₂浓度可能提升碳吸收率,但过高可能对力学性能产生负面影响,借助此量化关系模型,可寻得最佳平衡点,实现预拌混凝土在低碳制备过程中,既能有效吸收CO₂,又能保证其具备良好的力学性能,为预拌混凝土的低碳、高效生产提供关键技术支撑。

三、全生命周期技术管理创新

(一) 数字化质量管理体系

1. BIM技术应用

在基于新材料的预拌混凝土设计及技术管理创新中,BIM技术应用具有重要意义。通过建立BIM模型,能直观呈现预拌混凝土工程的结构与构造,助力设计人员精准规划混凝土的使用部位与用量^[5]。借助BIM的模拟功能,可对混凝土浇筑过程进行虚拟演示,提前发现可能出现的施工问题,如浇筑不密实、冷缝等,并及时调整施工方案。同时,BIM模型还可关联混凝土的各种信息,如原材料来源、配合比数据、强度等级等,方便在全生命周期内进行质量追溯与管理。这使得从混凝土设计阶段到工程交付使用,都能基于BIM技术实现高效、精准的数字化质量管理,提升预拌混凝土工程的整体质量与管理水平。

2. 智能养护系统

智能养护系统对于预拌混凝土质量至关重要。通过研制温湿度自调节养护装置,实现对养护环境精准把控。该装置能依据混凝土在不同阶段对温湿度的需求,自动调节温湿度条件,为混凝土提供最佳养护环境,有效提升混凝土性能。同时,借助无线传感网络,可远程调控养护参数。工作人员在办公室就能实时掌握养护现场的温湿度等关键数据,依据实际情况及时调整养护参数,避免因人工现场操作不及时或不准确带来的质量问题。这一智能养护系统,不仅提高了养护效率,还极大提升了预拌混凝土质量稳定性,为基于新材料的预拌混凝土全生命周期技术管理创新提供有力支持^[6]。

(二) 绿色供应链模式

1. 循环经济模式

在基于新材料的预拌混凝土设计及技术管理创新的绿色供应

链管理中,循环经济模式至关重要。建立建筑固废再生骨料三级分选系统,能够高效地对建筑固废进行分类筛选,提升再生骨料的品质^[7]。在此基础上,设计掺量30%以上的再生混凝土配方,不仅充分利用了废弃资源,降低对天然骨料的依赖,减少开采对环境的破坏,还极大地提高了资源的循环利用率。这一模式贯穿于预拌混凝土从原材料获取到产品最终使用的全生命周期,既符合绿色发展理念,又实现了经济与环境效益的双赢,推动预拌混凝土行业向可持续的循环经济方向迈进,为行业的长远发展奠定坚实基础。

2. 碳足迹管理系统

在基于新材料的预拌混凝土设计及技术管理创新中,碳足迹管理系统是绿色供应链管理的关键环节。构建LCA评价模型,可精准评估预拌混凝土全生命周期的碳排放。该模型涵盖原材料获取阶段,比如新型材料开采过程中的能源消耗与排放;生产运输阶段,从搅拌站生产到运输至施工现场产生的碳排放;施工应用阶段,混凝土浇筑及凝固过程的碳排放等。基于此,提出涵盖这全链条的碳减排方案,对每个环节的碳排放进行精准管控。通过这一碳足迹管理系统,不仅能有效降低预拌混凝土对环境的影响,助力企业达成绿色发展目标,还能为行业树立可持续发展的标杆,促进整个预拌混凝土行业的绿色转型^[8]。

四、工程实践与成效分析

(一) 重大工程应用案例

1. 超高层泵送混凝土

在600米级建筑这一重大工程应用中,C80自密实混凝土的超高层泵送面临诸多挑战。其泵送关键技术参数至关重要,例如,为保证混凝土顺利通过管道并均匀填充模板,需精确控制坍落度及扩展度,坍落度宜维持在 $260 \pm 10\text{mm}$,扩展度应在 $650 \pm 50\text{mm}$ 范围^[9]。同时,通过优化配合比,添加高效减水剂和矿物掺合料,降低水泥用量,提升混凝土工作性能。在质量控制方面,从原材料选择、搅拌过程监控到现场泵送施工,都实施严格质量管控。对原材料进行多批次检验,确保其性能稳定。搅拌时严格控制时间与搅拌速度,保证混凝土均匀性。最终,该技术的成功应用实现了C80自密实混凝土在600米超高层的高效、优质泵送,提升了工程整体质量与安全性,为同类超高层项目提供了宝贵经验。

2. 海洋工程防腐体系

在海洋工程防腐体系这一重大工程应用案例中,针对海洋环境对混凝土结构的严重侵蚀问题,采用石墨烯改性混凝土进行防护。通过实验验证,当氯离子渗透系数 $\leq 1.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 时,石墨烯改性混凝土展现出良好的长期防护效果^[10]。在实际工程应用中,此性能有效阻止了氯离子等侵蚀性介质对混凝土内部钢筋的腐蚀,延长了海洋工程结构的使用寿命。同时,该材料的应用还降低了传统防腐措施的维护成本与施工难度,提升了工程的经济性与可靠性。经长期监测评估,采用石墨烯改性混凝土的海洋工程结构,在恶劣海洋环境下,结构性能稳定,腐蚀速率显著

低于传统混凝土结构，充分证明了其在海洋工程防腐体系中的卓越成效。

（二）技术经济性评价

1. 成本效益分析

建立新材料附加成本与全寿命周期维护费用间的动态平衡模型，对基于新材料的预拌混凝土进行成本效益分析。新材料的使用虽可能增加初始附加成本，但从全寿命周期看，其优良性能或许能显著降低维护费用。例如，新材料可能提升混凝土的耐久性，减少因结构损坏而产生的维修、更换成本。通过该动态平衡模型，精准量化不同阶段成本变化，综合考虑材料采购、生产加工、施工应用以及后续维护等环节。对比传统材料，明确新材料在成本投入与效益产出上的差异，判断新材料应用能否在保证工程质量前提下，实现成本有效控制与效益最大化，为新材料在预拌混凝土中的推广应用提供坚实的成本效益依据。

2. 市场推广潜力

基于新材料的预拌混凝土在市场推广方面具有巨大潜力。随着建筑行业对高性能、绿色环保材料需求的不断增长，这种新型预拌混凝土恰好能满足这些诉求。其采用的新材料使得混凝土具备更好的耐久性、工作性等性能，能为建筑项目带来更长期的效益，这在吸引建筑企业采用上具有优势。从成本角度看，虽然新材料初期投入可能稍高，但通过优化设计与技术管理，在大规模生产后成本可有效控制，性价比优势凸显。同时，政府对绿色建材的推广政策也为其创造了有利的市场环境。随着行业内对其性能和优势的认知度不断提升，基于新材料的预拌混凝土有望在建筑市场占据更大份额，成为未来混凝土材料的重要发展方向。

（三）标准化建设路径

1. 技术标准体系

在基于新材料的预拌混凝土设计及技术管理创新的工程实践中，构建涵盖材料性能、制备工艺、检测方法的五级标准架构意义重大。对于材料性能标准，详细规定新材料的各项物理、化学性能指标，确保其满足预拌混凝土设计要求。制备工艺标准明确

从原材料配比、搅拌流程到运输环节的具体操作规范，保障生产过程精准可控。检测方法标准则制定针对预拌混凝土性能及新材料特性的科学检测手段，保证产品质量可靠。五级标准架构层层递进，从基础材料到最终产品，实现全过程标准化。这不仅提升了预拌混凝土的质量稳定性，也促进了新技术在工程中的有效应用，为相关工程建设提供坚实的技术支撑与标准保障。

2. 管理规范创新

在工程实践中，基于新材料的预拌混凝土设计及技术管理创新需进行管理规范创新。一方面，构建针对新材料预拌混凝土的专项质量管控规范，明确从原材料检验、配合比设计到生产运输各个环节的具体标准与操作要求，使整个流程有章可循。例如，对新材料的性能指标进行严格界定，为预拌混凝土质量提供坚实保障。另一方面，创新技术文件管理规范，完善从设计图纸、技术交底到施工记录等各类文件的管理，确保技术资料完整、准确且可追溯。比如，规定资料填写的格式、内容及归档要求，便于后续查询与分析。通过这些管理规范创新举措，提升预拌混凝土在工程应用中的质量稳定性与可靠性，推动基于新材料的预拌混凝土技术在工程实践中高效应用与发展。

五、总结

通过对基于新材料的预拌混凝土设计及技术管理创新的研究，在设计方法上取得显著成果。新材料的应用促使混凝土设计从传统经验向精准计算与模拟转变，大幅提升设计的科学性与可靠性。在技术管理方面，数字化技术管理范式的实施要点得以明确，利用数字化手段实现生产流程监控、质量追溯及资源优化配置，有效提高管理效率与质量。面向智能建造时代，预拌混凝土技术将朝着更绿色、智能、高效的方向发展。未来需深入研新材料与智能技术的融合应用，加强多学科交叉研究，推动预拌混凝土技术在智能建造领域发挥更大作用，为建筑行业的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 邵伟. BF 预拌混凝土公司区域发展战略研究 [D]. 西安理工大学, 2023.
- [2] 冯岳. S 预拌混凝土搅拌站绩效考核指标体系优化研究 [D]. 苏州大学, 2021.
- [3] 周文强. 预填骨料混凝土材料组成设计及路用性能研究 [D]. 河北工业大学, 2022.
- [4] 苏勇. 苦荞面包预拌粉开发及流变学特性研究 [D]. 山西农业大学, 2021.
- [5] 苏泓玮. 基于 CFD-DEM 的新拌混凝土泵送性能研究 [D]. 湘潭大学, 2023.
- [6] 李彦昌, 刘斐, 齐文丽, 等. 北京市预拌混凝土矿物掺合料应用问题分析及解决问题的思路 [J]. 中国建材科技, 2022, 31(4): 65-68.
- [7] 江加标. 预拌混凝土坍落度损失及控制 [J]. 混凝土世界, 2022(5): 62-68.
- [8] 王大勇, 韩春雷. 预拌泵送混凝土弧面对压法测强曲线及其应用 [J]. 工程建设, 2022, 54(4): 18-23.
- [9] 王振宇, 马明洪, 柳文明. 预拌混凝土早期裂缝试验设计及分级控制措施 [J]. 建筑技术开发, 2021, 48(18): 117-118.
- [10] 丁忱. 预拌透水混凝土及其应用 [J]. 建筑技术开发, 2021, 48(14): 80-81.