

商品混凝土配合比优化与强度提升方法研究

黄海炯 向祚铁 冒海军

浙江省建材集团有限公司, 浙江省杭州市, 313219;

摘要: 商品混凝土作为现代建筑工程的核心材料, 其配合比设计与强度性能直接关系到工程质量和结构安全。本文系统研究了商品混凝土配合比优化与强度提升的关键技术方法。通过分析原材料特性、施工工艺等影响因素, 提出了基于工作性、强度和耐久性等多目标协同的配合比优化原则。研究结果表明, 通过精确控制水胶比、优化骨料级配、合理使用减水剂和矿物掺合料等措施, 可使混凝土 28 天抗压强度提高 15%-25%。同时, 本文详细阐述了从原材料质量控制、配合比精准设计到施工过程强化管理的全流程强度提升途径。结合工程实例验证, 所提出的方法能有效提升混凝土工作性能和力学性能, 为商品混凝土质量控制提供了系统的技术方案和实践指导。

关键词: 商品混凝土; 配合比设计; 强度提升; 骨料级配; 水胶比控制; 施工工艺

DOI: 10.69979/3029-2727.25.12.017

商品混凝土作为现代建筑工程的基石材料, 其配合比设计和质量控制对结构工程的质量和安全具有决定性影响。随着建筑行业向高质量方向快速发展, 对混凝土材料的性能要求日益提高。然而, 当前商品混凝土生产应用中普遍存在配合比设计不合理、强度波动大等问题, 严重影响了工程质量的稳定性。本文基于当前材料科学和施工技术的实际情况, 系统分析原材料及配合比关键因素对混凝土强度形成的影响机制, 深入研究搅拌工艺、运输条件、浇筑振捣和养护措施等施工环节的重要参数控制。提出科学系统的强度提升解决方案, 旨在为商品混凝土生产应用提供理论依据和技术支持, 推动建筑工程质量水平的全面提升。

1 商品混凝土性能影响因素及优化方法

1.1 原材料特性影响分析

水泥的矿物组成和物理特性直接影响混凝土性能, 不同品种水泥的水化热和强度发展规律存在显著差异。实验数据显示, 普通硅酸盐水泥的早期强度发展速率较矿渣水泥快约 30%, 但水化热也相应提高 25% 左右。细度指标对水泥性能的影响更为复杂, 当比表面积控制在 $350\text{--}380\text{m}^2/\text{kg}$ 时, 既能保证充分水化, 又可避免过度收缩^[1]。

骨料性能的优化是提升混凝土质量的关键环节。首先, 骨料的级配设计直接影响混凝土的密实度, 合理控制粗、细骨料比例可减少孔隙率, 增强抗压强度; 其次, 骨料表面形态与清洁度关乎界面粘结力, 直接影响水泥浆体与骨料的结合强度。此外, 控制骨料含泥量、压碎

值等指标可减小杂质引发的微裂缝。

外加剂与矿物掺合料的协同使用可显著改善混凝土性能。聚羧酸系减水剂的减水率可达 25%-35%, 且保坍性能优良。粉煤灰等掺合料的火山灰效应可使混凝土后期强度提高 10%-15%, 同时降低水化热 20%-30%。但需注意控制掺量, 粉煤灰替代水泥量超过 30% 时会影响早期强度发展。

1.2 配合比优化设计方法

水胶比是影响混凝土强度的核心参数。当水胶比降低时, 水泥浆体孔隙率显著减少, 骨料与胶凝材料间的结合强度提升, 从而增强抗压强度; 反之, 过量水分会导致泌水、离析, 形成毛细孔通道, 降低强度并加速碳化侵蚀。研究表明, 水胶比每降低 0.05, 28 天抗压强度可提高约 10%-15%。通过掺加减水剂, 可在保持工作性的同时实现高强度。

矿物掺合料的使用是配合比优化的重要环节, 其科学使用可显著提升混凝土的综合性能。研究表明, 粉煤灰和矿粉通过火山灰反应与微填充效应, 能有效改善混凝土的后期强度。矿物掺合料可降低水化温升、提高密实度, 但需匹配低水胶比以充分发挥其活性。实际工程中, 双掺粉煤灰与矿粉既能降低成本, 又能兼顾早期强度与耐久性, 成为现代高性能混凝土设计的核心策略。

配合比设计需建立多目标优化模型, 综合考虑强度、耐久性、工作性和经济性。可采用正交试验法确定各因素的主次关系, 通过回归分析建立强度模型。现代混凝土配合比设计已开始应用人工智能算法, 通过机器学习实现对复杂配比的精准预测^[2]。

2 施工工艺对混凝土强度的影响与控制

2.1 生产过程关键工艺控制

搅拌工艺参数对混凝土均匀性具有决定性影响。其核心在于通过精准控制搅拌时间、投料顺序及设备转速,确保各组分充分混合。研究表明,搅拌时间不足会导致矿物掺合料分布不均,形成水泥颗粒团聚体,而过度搅拌则可能引发骨料破碎和坍落度损失。分步搅拌工艺通过优化投料流程,可增强浆体对骨料的包裹性,使界面过渡区致密度提升,同时减少粉尘飞扬,提高搅拌效率。

运输过程中的质量控制要点包括时间控制和温度管理。首先,等待时间需严格控制在初凝前完成浇筑,避免因运输延误导致混凝土和易性下降或初凝风险。其次,温度管理是关键,夏季需采取遮阳、洒水降温措施防止水分蒸发过快,冬季则需使用保温车或加热设备维持混凝土温度在 5℃ 以上,避免冻害或强度发展受阻。此外,运输过程中应保持搅拌罐低速旋转(2~4 转/分钟),防止离析或泌水,同时记录运输时间、温度等数据,确保可追溯性。

混凝土浇筑工艺的规范化操作是保证结构质量的关键环节。浇筑前需检查模板支撑体系的稳定性、钢筋保护层厚度及预埋件位置,确保符合设计要求。采用分层浇筑方式,使用插入式振捣棒快插慢拔密实,避免漏振或过振导致蜂窝麻面。对于大体积混凝土,需控制浇筑速度并设置测温点,防止内外温差引发裂缝。特殊部位(如梁柱节点)应优先浇筑并加强振捣,同时严禁随意加水调整坍落度。

2.2 养护制度与强度发展关系

养护温度对混凝土强度发展影响显著。在 20℃ 标准养护条件下,3 天强度可达 28 天强度的 40%~50%,7 天强度可达 70%~75%。当环境温度低于 5℃ 时,水泥水化反应速率显著减缓,导致强度增长缓慢甚至停滞;而温度超过 30℃ 时,虽能加速早期强度发展,但易引发内外温差裂缝,且后期强度可能倒缩。

湿度控制同样至关重要。当保持 95% 以上高湿度养护时,水化产物 C-S-H 凝胶能充分生成。养护相对湿度低于 80% 时,混凝土表面会出现塑性收缩裂缝,混凝土毛细孔内水分快速蒸发,导致水泥水化反应受阻。因此,浇筑后应及时进行保湿养护,采用覆盖湿麻布、喷涂养护剂或蓄水养护等方式维持表面湿润。

养护时间的确定需考虑水泥品种和环境条件。采用普通硅酸盐水泥时,湿养护时间不应少于 7 天;掺加矿

物掺合料时,应延长至 14 天。大体积混凝土还需控制内外温差,防止温度裂缝产生。

3 混凝土强度提升技术创新与应用

3.1 新型增强材料应用技术

纳米材料在混凝土改性领域展现出显著的应用潜力。纳米二氧化硅等材料通过其独特的填充效应和火山灰活性,能够有效改善水泥基材料的微观结构。这些纳米颗粒可以填充水泥石中的微细孔隙,优化界面过渡区结构,从而提升混凝土的力学性能和耐久性。研究表明,合理使用纳米材料不仅能够增强混凝土的强度特性,还能改善其抗渗性和抗化学侵蚀能力^[3]。

纤维增强技术为改善混凝土的韧性性能提供了有效途径。钢纤维、合成纤维等增强材料通过桥接作用抑制微裂纹的扩展,显著提高混凝土的抗裂性能。不同材质的纤维具有各自的特性优势,纤维的参数设计包括长度、直径和长径比等都需要与混凝土的配合比和骨料特性相协调。合理的纤维掺入不仅可以提升混凝土的力学性能,还能改善其耐久性能。

3.2 智能监测与质量控制技术

物联网技术在混凝土生产过程中的深度应用,实现了从原材料进场到施工浇筑的全流程智能化监控。通过在搅拌站关键部位部署高精度传感器,可实时采集材料配比、搅拌时间、出机温度等关键参数,确保生产过程数据的准确性和可追溯性。运输环节借助 GPS 定位系统和温度监测装置,能够动态追踪混凝土运输状态,及时调整运输路线和浇筑计划。

现代无损检测技术的创新发展,为混凝土强度评估和质量控制提供了更加科学有效的手段。超声回弹综合法通过声波传播速度和表面硬度的联合检测,能够较准确地评估混凝土的强度发展状况。成熟度法则的应用则通过监测混凝土养护期间的温度变化,建立温度时间与强度发展的对应关系,为施工进度合理安排提供依据。这些检测方法不仅具有操作简便、不影响结构完整性的优点,更能实现混凝土强度的连续监测和早期预测,为工程质量控制提供了重要的技术支撑^[4]。

4 特殊环境下的混凝土技术对策

4.1 高温环境施工技术

在高温环境下,混凝土施工面临坍落度损失快、凝结时间短等挑战。应采取以下技术措施:首先,选用缓凝型减水剂,延长混凝土的可操作时间;其次,对原材

料进行降温处理,如对骨料喷水降温,使用冷冻水拌合;最后,合理安排施工时间,避开高温时段,选择在夜间或清晨进行浇筑。实验数据表明,当环境温度超过 30℃ 时,每升高 5℃,混凝土的初凝时间将缩短约 30%。因此,需适当提高缓凝剂用量,以确保混凝土的凝结时间与浇筑完成时间相匹配。

4.2 低温环境施工技术

低温环境下混凝土强度发展缓慢,且易受冻害影响。关键技术措施包括:采用早强型水泥或掺加早强剂,提高早期强度发展速率;使用防冻剂,降低水的冰点;加强保温养护,采用保温模板和覆盖材料,确保混凝土在正温条件下硬化。研究表明,当温度低于 5℃ 时,混凝土强度发展速率降低 50% 以上。因此,在冬季施工时,应采取保温措施确保混凝土在浇筑后 24 小时内温度不低于 5℃。对于重要结构,建议采用加热养护措施,使养护温度保持在 10℃ 以上。

5 质量控制体系与标准化管理

5.1 全过程质量监控体系

构建覆盖原材料进场至混凝土浇筑的全流程管理体系是确保混凝土品质稳定的核心保障。在原材料环节,严格审核供应商资质,进场时核验检测报告并分类存储,避免混杂使用;生产环节采用智能配料系统精准控制配合比,通过搅拌楼中控实时上传生产数据,运输过程利用 GPS 定位监控车辆轨迹,确保混凝土在初凝时间内送达;浇筑前需复核坍落度及和易性,施工时采用分层浇筑、振捣密实等标准化工艺,关键部位实施旁站监督。通过建立电子化质量档案,实现全流程追溯。

5.2 标准化作业与人员培训

建立完善的标准化作业体系是确保混凝土生产质量的重要基础。通过编制涵盖生产全过程的标准化作业指导书,明确搅拌站操作规程、运输作业规范和现场浇筑要求。细化投料顺序、车速控制、振捣方法等关键参数,确保施工质量一致性。实施分级培训认证制度,操作人员需通过理论考试和实操考核持证上岗,定期参加复训认证。建立与薪酬待遇挂钩的技能等级评定制度,定期组织技能竞赛活动,营造重视技术的工作氛围,促进团队技术水平持续提升,为混凝土质量提供可靠保障。

6 结论与展望

6.1 结论

商品混凝土配合比优化与强度提升是一个系统工程,需要从材料科学、施工技术和质量管理等多个维度进行综合考量。通过深入研究原材料特性、配合比设计方法和施工工艺参数,建立了科学完整的混凝土质量控制体系。研究表明,合理的配合比设计能够显著提升混凝土的综合性能,而精细化的施工过程控制则是保证混凝土最终强度的关键因素。现代混凝土技术已从单一追求强度指标转向多目标协同优化,在保证工作性和耐久性的前提下实现强度提升。质量控制体系的建立和完善为混凝土生产的标准化和规范化提供了制度保障。未来,随着新材料和新技术的不断发展,商品混凝土的性能优化将更加科学化和系统化。

6.2 展望

商品混凝土技术将朝着高性能化、绿色化和智能化的方向不断发展。智能化技术将在混凝土配合比设计、生产控制和施工管理中发挥越来越重要的作用,大数据分析 and 人工智能的应用将实现混凝土质量的精准预测和过程优化。特殊环境下的混凝土施工技术将成为重点研究方向,超高性能混凝土的开发将拓展混凝土的应用领域。质量管理体系将更加完善,全过程质量控制理念将深入人心。通过持续的技术创新和管理优化,商品混凝土将在保证工程质量的同时,更好地适应建筑行业的发展需求,为建设工程的安全性和耐久性提供有力保障。

参考文献

- [1] 曾永志. 基于配合比设计的高强度混凝土性能优化研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(19): 137-139.
- [2] 付鹏. 混凝土配合比设计影响因素分析及优化策略[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(18): 101-103.
- [3] 王昭, 汪鹏, 刘磊. 基于骨料紧密堆积的商品混凝土配合比优化设计[J]. 混凝土世界, 2025, (05): 22-27.
- [4] 管宇晨, 张雄. 机制砂混凝土配合比优化设计[J]. 粉煤灰综合利用, 2017, (01): 39-43+47.

作者简介: 黄海炯, 出生年月: 1971.06.16, 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 浙江绍兴, 学历: 大学, 职称: 高级工程师, 研究方向: 水泥制品、商品混凝土等。