

关于建筑工程高性能混凝土快速浇筑施工技术的研究

孙昊¹ 李晓磊¹ 杨可²

1. 北京首钢股份有限公司 北京 100000
2. 北京首钢鲁家山石灰石矿有限公司 北京 100000

摘要：随着城市化进程的迅猛加速推进，建筑工程量与日俱增，对施工效率和质量要求愈发严苛。本文聚焦建筑工程高性能混凝土快速浇筑施工技术展开研究。首先概述该技术的基本概念与重要意义，接着深入剖析其关键技术，涵盖原材料选择、配合比设计、搅拌运输、浇筑振捣及养护等方面。最后探讨其发展趋势，包括材料创新、智能设备应用、绿色环保理念深化以及施工工艺标准化等。旨在为建筑工程中高性能混凝土快速浇筑施工提供全面、系统的理论支持与实践指导，推动该技术不断进步与完善，提升建筑工程质量与效率。

关键词：建筑工程；高性能；混凝土；快速浇筑；施工技术

引言：在建筑工程领域，高性能混凝土凭借其高强度、高耐久性等优势，成为现代建筑结构的关键材料。随着建筑规模不断扩大、工期要求日益严格，高性能混凝土快速浇筑施工技术的重要性愈发凸显。传统的浇筑施工方式在效率、质量把控等方面逐渐难以满足现代建筑工程的需求。快速浇筑施工技术不仅能有效缩短工期，降低工程成本，还能减少对周边环境的影响。因此，深入研究建筑工程高性能混凝土快速浇筑施工技术，探索其关键要点与发展方向，对于推动建筑行业技术进步、保障工程质量具有至关重要的现实意义。

1 建筑工程高性能混凝土快速浇筑施工技术的概述

高性能混凝土（HPC）是以常规材料为基础，通过工艺升级制备的新型高技术混凝土，其核心特性在于低水胶比、高矿物掺合料用量及复掺外加剂，具备高强度、高耐久性、高工作性及优异的体积稳定性。在建筑工程中，快速浇筑技术是保障其性能发挥的关键环节，其核心目标是通过优化施工流程与工艺参数，实现混凝土高效、连续、密实地成型，同时满足现代工程对工期、质量与经济性的综合要求。该技术体系涵盖原材料控制、配合比设计、搅拌运输、浇筑振捣及养护等全流程。原材料需严格筛选低碱水泥、优质骨料及高效减水剂，配合比设计通过降低水胶比、掺入粉煤灰或硅灰等矿物掺合料，提升混凝土密实度与抗裂性。搅拌环节采用强制式搅拌机，通过延长搅拌时间确保均匀性；运输过程需控制罐车转速与时间，避免离析与坍落度损失。浇筑时采用分层连续作业，控制下料高度与浇筑速度，防止空气卷入；振捣采用高频插入式振捣器，通过快插慢拔、垂直点振工艺消除气泡，确保密实度。养护阶段则通过覆盖保湿、喷水或蒸汽养护等措施，控制温度与

湿度，减少塑性收缩裂缝，促进强度发展。该技术已广泛应用于高层建筑、桥梁、海洋工程等领域，显著提升了结构耐久性与施工效率，成为现代建筑工程高质量发展的核心支撑^[1]。

2 建筑工程高性能混凝土快速浇筑施工的关键技术

2.1 原材料选择与质量控制

高性能混凝土快速浇筑施工对原材料性能要求严苛，需从源头把控质量以保障混凝土综合性能。水泥宜选用低水化热、高早期强度的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，其强度等级不低于42.5级，且需严格控制氯离子、碱含量等有害成分，避免引发钢筋锈蚀或碱-骨料反应。矿物掺合料是提升混凝土耐久性的关键，粉煤灰应选用Ⅰ级或Ⅱ级低钙灰，矿渣粉需为S95级以上，二者复掺可优化颗粒级配，降低孔隙率；硅灰的火山灰活性高，掺入5%-10%可显著提高混凝土抗渗性与抗化学侵蚀能力。粗骨料宜采用级配良好、粒形方正的碎石，最大粒径不超过25mm，以减少浇筑阻力；细骨料应选用中砂，细度模数控制在2.6-3.0，含泥量低于1.5%，避免泥块堵塞混凝土内部孔隙。外加剂需与水泥相容性好，高效减水剂减水率不低于25%，缓凝剂需根据施工温度调整掺量，确保混凝土坍落度经时损失小于30mm/h，满足快速浇筑的流动性需求。所有原材料进场前均需复验，合格后方可使用，并建立动态追溯体系，保障质量稳定性。

2.2 配合比设计优化

高性能混凝土快速浇筑的配合比设计需兼顾流动性、强度与耐久性，并适应快速施工的工艺要求。首先，采用低水胶比（通常控制在0.25-0.35）是核心原则，通过高效减水剂与矿物掺合料的协同作用，在减少用水量的同时保证工作性，避免离析与泌水。胶凝材料总量

需根据强度等级与施工环境动态调整,例如C60及以上混凝土宜掺入20%-40%的粉煤灰或矿渣粉,以降低水化热并提升后期强度;硅灰掺量控制在5%-10%,可显著细化孔隙结构,增强抗氯离子渗透能力。砂率优化需平衡骨料堆积密度与浆体包裹性,一般取38%-45%,粗骨料采用二级配或三级配可减少空隙率,提升混凝土密实度。外加剂复配技术是关键,通过聚羧酸减水剂与缓凝剂、引气剂的复合使用,实现坍落度180-220mm且经时损失小于20mm/h,满足泵送与分层浇筑需求。此外,采用正交试验法对配合比进行多因素优化,可快速确定各组分最佳掺量,确保混凝土在快速施工中兼具高强度、高耐久性与优异的施工性能^[2]。

2.3 搅拌与运输技术

高性能混凝土快速浇筑的搅拌与运输环节需严格把控工艺参数,以保障混凝土均匀性与施工连续性。搅拌阶段应采用强制式双卧轴搅拌机,通过延长搅拌时间(较普通混凝土增加15-30秒)确保胶凝材料、骨料与外加剂充分混合,尤其需关注矿物掺合料(如粉煤灰、硅灰)的分散均匀性,避免结团影响性能。搅拌顺序宜遵循“砂→水泥→矿物掺合料→干拌30秒→加水及减水剂→湿拌60-90秒”的流程,以提升浆体包裹性。运输环节需选用密封性良好的罐车,并控制罐体转速(3-6转/分钟)与运输时间(不宜超过90分钟),防止混凝土离析或坍落度损失过大;夏季高温时,应采取罐体喷淋降温或添加缓凝剂等措施,确保入模温度不超过35℃。同时,运输路线需提前规划,避开交通拥堵路段,并配备备用罐车应对突发情况,保证现场连续供料。此外,采用物联网传感器实时监测混凝土状态(如温度、坍落度),并通过数据平台反馈至搅拌站,实现动态调整配合比或运输方案,确保混凝土性能始终满足快速浇筑要求。

2.4 浇筑与振捣技术

高性能混凝土快速浇筑需通过精准的工艺控制确保结构密实性与质量稳定性。浇筑前,需对模板、钢筋及预埋件进行全面检查,清除杂物并润湿模板,避免混凝土失水过快;同时,根据结构形式分层规划浇筑顺序,单层厚度宜控制在300-400mm,采用“斜面分层、薄层推进”方式,缩短混凝土暴露时间,防止冷缝产生。振捣环节需匹配混凝土流动性与钢筋密集程度:普通部位使用高频插入式振捣棒(频率 ≥ 10000 次/分钟),振捣间距不超过作用半径的1.5倍,插入下层混凝土50-100mm,快插慢拔至表面泛浆无气泡;钢筋密集区或薄壁结构可结合附着式振捣器或人工插钎辅助,确保密实度。振捣时间需严格把控,单点持续20-25秒,避免欠振(孔隙

率高)或过振(骨料下沉、离析)。此外,需注意环境适应性:夏季高温时,通过遮阳、喷淋降温控制入模温度;冬季则采取保温措施,防止冻害。泵送混凝土需控制泵压与速度,避免骨料破碎或浆体流失。浇筑完成后,及时进行二次抹压,闭合表面收缩裂缝,为后续养护创造良好条件,保障混凝土强度与耐久性。

2.5 养护技术

高性能混凝土养护是保障其强度发展与耐久性的关键环节,需根据混凝土性能、环境条件及结构特点制定针对性方案。早期养护需在初凝后立即覆盖保湿材料(如塑料薄膜、土工布),防止表面水分过快蒸发导致塑性收缩裂缝;对于大体积混凝土或高强混凝土,可在覆盖层上加铺麻袋或喷淋养护剂,形成持续保湿层,养护时间不少于14天。温度控制是重点:夏季高温时,通过搭设遮阳棚、喷洒水雾或埋设冷却水管等措施,将混凝土内部温度与环境温差控制在25℃以内,避免热应力开裂;冬季则需采用蓄热法(覆盖棉被、草帘)或电热毯加热,确保养护温度不低于5℃,防止冻胀破坏。对于掺有矿物掺合料或外加剂的混凝土,需延长养护周期至28天,以促进胶凝材料充分水化,提升后期强度与抗渗性。此外,可结合智能监测技术,在混凝土内部埋设温度、湿度传感器,实时反馈数据并自动调节养护参数,实现精准控温保湿。养护完成后,需逐步拆除覆盖物,避免快速干燥导致表面干缩裂缝,确保混凝土性能稳定发展。

3 建筑工程高性能混凝土快速浇筑施工技术的发展趋势

3.1 材料创新与性能提升

高性能混凝土材料正朝着多功能化与极端环境适应性方向突破。新型胶凝材料体系通过优化矿物掺合料组合(如纳米二氧化硅与偏高岭土复配),显著提升混凝土早期强度与抗裂性,同时降低水化热,减少温度裂缝风险。纤维增强技术从单一钢纤维向多尺度复合纤维(如聚丙烯纤维与玄武岩纤维混掺)发展,兼顾抗拉强度与韧性,满足复杂应力环境需求。自感知混凝土通过嵌入碳纤维或石墨烯,实现结构应变与损伤的实时监测,为智能建筑提供材料基础。耐久性提升方面,疏水型外加剂与表面涂层技术结合,赋予混凝土超疏水特性,有效抵御氯离子侵蚀与碳化作用,延长结构使用寿命。此外,轻质高强混凝土通过引入空心玻璃微珠或发泡工艺,在保持强度的同时降低自重,适用于大跨度结构与高层建筑,推动建筑形态向更灵活、高效的方向演进^[3]。

3.2 智能化施工设备与技术的应用

智能化技术正重构混凝土施工全流程。物联网传感器网络可实时监测混凝土温度、湿度、坍落度等关键参数，并通过AI算法动态调整配合比与施工工艺，确保质量稳定性。3D打印混凝土技术通过触变性优化与机器人路径规划，实现复杂结构（如曲面墙体、异形节点）的精准成型，减少模板使用与人工干预。智能振捣系统结合高频振动与压力感应技术，自动调节振捣频率与深度，消除人工振捣的盲区，提升密实度均匀性。无人机与机器人协同作业模式应用于高空或危险区域浇筑，降低安全风险。此外，数字孪生技术通过构建混凝土结构虚拟模型，模拟施工过程与长期性能演变，为优化设计、预测维护提供数据支持，推动施工从“经验驱动”向“数据驱动”转型。

3.3 绿色环保施工理念的深化

绿色施工理念贯穿混凝土全生命周期。原材料环节，再生骨料混凝土通过废混凝土破碎、筛分与强化处理，替代天然砂石，减少资源开采；工业固废（如矿渣、粉煤灰）掺量持续提升，降低水泥用量与碳排放。生产环节，全封闭搅拌站配备粉尘回收与噪音抑制系统，实现三废零排放；低碳水泥技术通过调整熟料矿物组成与碳化养护工艺，减少生产能耗。施工环节，透水混凝土路面与生态护坡技术结合，促进雨水下渗与植被生长，缓解城市热岛效应；光伏一体化混凝土表面集成薄膜太阳能电池，将建筑立面转化为清洁能源载体。废弃物处理环节，建筑垃圾分选与资源化技术实现混凝土块、钢筋、木材的高效回收，循环利用率达90%以上。此外，碳足迹追踪系统通过区块链技术记录全生命周期碳排放，为绿色建材认证与碳交易提供依据。

3.4 施工工艺与技术的标准化与规范化

标准化与规范化是高性能混凝土快速浇筑技术推广的关键。国家与行业层面，逐步完善高性能混凝土设计、施工与验收标准体系，明确原材料性能指标、配合比设计方

法、施工工艺控制要点及质量检验规则，消除区域与企业间技术差异。企业层面，通过BIM技术建立混凝土施工数字模型，模拟浇筑顺序、振捣路径与养护方案，优化施工组织设计；智能监控系统实时采集施工数据，与标准规范对比分析，自动预警偏差并生成整改指令，确保工艺合规性。培训与认证体系方面，推行混凝土工职业资格分级制度，强化施工人员对新材料、新设备的操作技能培训；建立第三方检测机构，对混凝土性能与施工质量进行独立评估，提升行业公信力。此外，国际标准对接加速，推动中国技术方案与ISO、ASTM等国际规范互认，为“一带一路”基建项目提供技术保障^[4]。

结束语

建筑工程高性能混凝土快速浇筑施工技术的研究，是推动建筑工业化、智能化与绿色化发展的关键路径。通过优化原材料选择、配合比设计、搅拌运输、浇筑振捣及养护等全流程技术，不仅显著提升了混凝土施工效率与结构性能，更有效缩短了工期、降低了能耗，为复杂工程与超高层建筑建设提供了技术支撑。未来，随着材料科学、智能装备与数字技术的深度融合，高性能混凝土快速浇筑技术将向更高效、更环保、更智能的方向演进，助力建筑行业实现“双碳”目标，推动城市建设的可持续高质量发展。

参考文献

- [1]王莉娜.建筑工程中高性能混凝土快速浇筑施工技术研究[J].水泥,2025,(06):110112.
- [2]杜鑫,张学伟,李世强,贾宇,李辉.高性能混凝土技术应用探究[J].城市建筑空间,2022,29(S2):490491.
- [3]李朝.高强高性能混凝土技术在房建工程施工中的应用研究[J].砖瓦,2021,(11):132133.
- [4]李金涛.大坝混凝土快速施工与温控防裂措施[J].科学技术创新,2020,(32):147148.