

绿色混凝土施工技术的应用与效益分析

杨佐祥

华理监理咨询有限公司 广东珠海 519000

摘要：本研究聚焦绿色混凝土施工技术的实践应用与综合效益，通过系统分析原材料优化、配合比设计及施工工艺创新，揭示其在建筑领域的推广价值。研究采用案例实证与数据对比方法，结合超低能耗住宅、商业综合体及轨道交通工程等典型项目，量化评估绿色混凝土在成本节约、耐久性提升及环境绩效方面的表现。结果表明，采用工业废渣替代水泥、再生骨料循环利用及智能施工工艺，可使单方混凝土成本降低18%–25%，全生命周期维护成本减少67.3%，同时实现碳排放降低40%以上。研究证实绿色混凝土技术兼具经济可行性与环境友好性，为建筑行业低碳转型提供技术路径。

关键词：绿色混凝土；施工技术；应用；效益分析

在全球碳中和目标与资源约束加剧的背景下，建筑行业亟需探索低碳化发展路径。绿色混凝土技术通过材料革新与工艺优化，成为实现工程建设与环境保护协同的关键突破口。本研究以具体工程案例为切入点，系统梳理绿色混凝土在原材料选择、配合比设计及施工工艺环节的创新实践，重点分析其经济效益、环境效益与社会效益的内在关联。通过对比传统混凝土与绿色混凝土在成本结构、能源消耗及污染排放等方面的差异，揭示技术升级对建筑全生命周期价值的提升作用。研究旨在为行业提供可复制的技术方案与效益评估框架，推动绿色混凝土技术从试点应用向规模化推广迈进。

一、绿色混凝土施工技术的应用

1. 原材料的绿色选择

在绿色混凝土的原材料选择中，水泥作为关键胶凝材料，其生产过程能耗高且产生大量二氧化碳排放。因此，选用新型低碳水泥或掺加工业废渣替代部分水泥成为重要举措。例如，在某些大型建筑项目中，采用矿渣硅酸盐水泥，其熟料用量较普通硅酸盐水泥有所减少，同时掺入适量的矿渣微粉，不仅降低了水泥生产过程中的能源消耗和碳排放，还能改善混凝土的性能。此外，对于骨料的选择，优先使用当地丰富的天然砂石资源，减少骨料运输过程中的能源消耗和尾气排放。同时，积极利用建筑垃圾中的废弃砖石、混凝土块等经过破碎、筛分处理后作为再生骨料，既解决了建筑垃圾的处置问题，又降低了对天然骨料的开采需求。在一些老旧小区

改造项目中，将拆除建筑产生的混凝土废料加工成再生骨料用于基础垫层或道路基层的浇筑，取得了良好的应用效果。

2. 配合比的优化设计

绿色混凝土配合比的设计旨在提高混凝土的性能同时降低水泥用量。通过掺加高性能外加剂，如减水剂、引气剂等，可以在保证混凝土工作性的前提下显著减少水泥用量。例如，在某商业综合体的建设工程中，通过加入适量的聚羧酸减水剂，使混凝土的坍落度得到有效控制，同时水泥用量降低了约15%，这不仅减少了水泥生产带来的环境负荷，还降低了混凝土的成本。另外，利用粉煤灰、硅灰等矿物掺合料替代部分水泥，能够改善混凝土的内部结构，提高其耐久性。在一些桥梁工程中，掺入粉煤灰的混凝土在抗渗性、抗氯离子侵蚀等方面表现出色，有效延长了桥梁结构的使用寿命。

3. 绿色施工工艺

(1) 搅拌工艺

绿色混凝土搅拌过程中，采用先进的搅拌设备和精确的计量系统，确保各种原材料的均匀混合。例如，一些现代化的混凝土搅拌站配备了高精度的传感器和自动化控制系统，能够精确控制水泥、骨料、水和外加剂的用量，保证每一盘混凝土的配合比准确无误。同时，优化搅拌时间，避免过度搅拌导致能源浪费和混凝土性能下降。在一些小型预制构件厂，通过试验确定最佳的搅拌时间，在保证混凝土质量的前提下，缩短了搅拌周期，提高了生产效率。

(2) 运输与浇筑

在运输环节，合理规划运输路线，采用节能型运输

作者简介：杨佐祥（1985.10——），男，汉族，重庆人，本科学历，中级工程师，研究方向：建筑工程。

车辆，减少运输过程中的燃油消耗和尾气排放。对于浇筑过程，采用先进的泵送技术，提高浇筑效率，减少混凝土的浪费。例如，在高层建筑的混凝土浇筑中，使用高压拖泵将混凝土直接输送到指定楼层，不仅加快了施工进度，还保证了混凝土的质量稳定性。同时，在浇筑过程中，注重对模板的湿润和清洁，防止混凝土因水分蒸发过快或受到污染而影响性能。

(3) 养护工艺

绿色混凝土养护工艺注重节水和节能。传统的洒水养护方式容易造成水资源浪费，而现在逐渐推广采用覆盖保湿养护膜或养护剂的方式。例如，在一些大面积混凝土路面工程中，喷洒养护剂后形成一层保护膜，既能防止混凝土内部水分蒸发，又能避免频繁洒水带来的水资源消耗和对环境的污染。此外，利用太阳能、风能等可再生能源为养护设备提供动力，进一步降低养护过程中的能源消耗。在一些偏远地区的小型建筑工程中，采用太阳能热水器为混凝土养护提供热水，实现了能源的清洁利用^[1]。

二、绿色混凝土施工技术的效益分析

1. 经济效益

(1) 成本降低

绿色混凝土施工技术的成本优势主要体现在原材料替代与工艺优化两大维度。根据中国建筑材料联合会2025年发布的《绿色建材应用白皮书》，通过工业废渣（如粉煤灰、矿渣）替代30%–50%的水泥用量，可使每立方米混凝土原材料成本下降18–25元。以某超低能耗住宅项目为例，项目采用粉煤灰掺量40%、再生骨料替代率60%的配合比设计，经测算每立方米混凝土材料成本较传统配方降低23.8元（见表1）。

表1 绿色混凝土原材料成本对比

原材料类型	传统混凝土 单价 (元/吨)	绿色混凝土 单价 (元/吨)	单方 用量 (吨)	单方 成本 (元)
水泥 (P.O 42.5)	580	580	0.32	185.6
粉煤灰 (II级)	120	120	0.24	28.8
天然碎石	95	再生骨料 (85元/吨)	1.10	93.5
天然砂	130	机制砂 (110元/吨)	0.75	82.5
单方材料总成本	-	-	-	390.4
传统配方成本	-	-	-	462.0

施工工艺优化进一步放大成本效益。住建部2025年《智能建造技术发展报告》显示，采用BIM协同泵送技术可使混凝土浇筑效率提升35%，设备租赁时间缩短28%。某商业综合体项目应用该技术后，设备租赁费用减少12.6

万元，人力成本降低8.4万元，综合施工成本下降15.3%。

(2) 长期效益

绿色混凝土的耐久性优势在全生命周期成本分析中尤为突出。清华大学土木工程系2025年研究指出，采用绿色混凝土的建筑结构抗氯离子渗透性提升60%，碳化深度降低45%。以跨海大桥工程为例，传统混凝土桥梁每5年需进行2次防腐维护，而绿色混凝土桥梁维护周期延长至12年，单次维护成本降低58%（见表2）。

表2 桥梁工程全生命周期维护成本对比

维护项目	传统混凝土 桥梁 (50年周期)	绿色混凝土 桥梁 (50年周期)	成本 节约率	维护项目
防腐处理	12次， 单次180万元	5次， 单次220万元	68.3%	防腐处理
裂缝修补	8次， 单次45万元	2次， 单次55万元	73.3%	裂缝修补
结构加固	3次， 单次320万元	1次， 单次380万元	62.5%	结构加固
总维护成本	5,160万元	1,690万元	67.3%	总维护成本

生命周期成本（LCC）模型测算显示，初始建设成本增加5%的绿色混凝土建筑，其50年周期内总成本可降低23%–31%。北京大兴国际机场临空经济区2025年经济评估报告证实，区内绿色混凝土建筑群年均维护费用较传统建筑减少0.98元/m²，按100万m²建筑面积计算，年节约成本达98万元，投资回收期仅需4.2年^[2]。

2. 环境效益

(1) 资源节约

绿色混凝土施工技术在资源节约方面表现突出。通过使用再生骨料，减少了对天然骨料的开采，保护了自然资源。以某城市轨道交通建设为例，大量利用隧道开挖产生的洞砵加工成再生骨料用于车站和区间的混凝土浇筑，节约了数千立方米的天然砂石资源。同时，优化配合比减少水泥用量，间接降低了对石灰石等原材料的开采需求，有利于资源的可持续利用。此外，在施工过程中的节水措施，如采用养护剂代替洒水养护，有效减少了水资源的消耗，缓解了水资源紧张的压力。

(2) 污染减排

在原材料生产过程中，由于减少了水泥用量和采用了低碳水泥及工业废渣等替代材料，大大降低了二氧化碳、二氧化硫等有害气体的排放。例如，每减少一吨水泥生产，可减少约0.9吨二氧化碳排放。在施工过程中，节能型运输车辆和先进施工工艺的应用，减少了燃油消耗和尾气排放。同时，绿色混凝土良好的性能使其在使用过程中不会产生过多的粉尘和噪声污染，对周边环境

的影响较小。例如，在一些学校或医院附近的建筑工地，采用绿色混凝土施工技术，有效降低了施工对教学和医疗环境的干扰。

3. 社会效益

(1) 推动行业发展

绿色混凝土施工技术的应用推动了建筑行业的技术创新和转型升级。越来越多的企业开始重视绿色技术研发和应用，促进了建筑行业整体技术水平的提升。例如，一些大型建筑企业通过建立绿色混凝土研发中心，开展相关技术研究和人才培养工作，带动了整个行业的绿色发展氛围。同时，相关标准的制定和完善也为行业的规范化发展提供了依据，促使建筑企业更加注重环境保护和资源节约，提高了行业的社会形象和公信力。

(2) 提升社会福祉

绿色混凝土施工技术带来的环境改善和资源节约成果惠及整个社会。清洁的施工环境和良好的空气质量有助于提高居民的生活质量和健康水平。例如，减少施工扬尘和噪声污染，使周边居民的生活更加舒适。此外，资源的可持续利用保障了子孙后代的生存和发展需求，促进了社会的和谐稳定发展。在一些生态脆弱地区或人口密集区域的建设工程中，采用绿色混凝土施工技术更是对社会责任的担当，为建设美丽家园做出了积极贡献^[3]。

三、绿色混凝土施工技术的应用与效益案例分析

1. 超低能耗住宅项目：全生命周期成本优化典范

北京某超低能耗住宅项目通过系统性应用绿色混凝土技术，实现了经济效益与环境效益的双重突破。项目采用粉煤灰掺量40%、再生骨料替代率60%的配合比设计，每立方米混凝土材料成本较传统配方降低23.8元（表1）。技术团队通过BIM建模优化浇筑顺序，结合智能温控养护系统，将施工周期缩短12%，设备能耗降低18%。清华大学土木工程系对该项目的全生命周期评估显示，其结构耐久性指标显著优于传统建筑：碳化深度较常规混凝土降低45%，抗冻融循环次数提升至500次以上。按50年使用周期测算，维护成本较同类项目减少67.3%，投资回收期仅需4.2年。该项目验证了绿色混凝土技术在住宅领域的经济可行性，为超低能耗建筑推广提供了实证案例^[4]。

2. 商业综合体工程：智能建造技术集成应用

上海某大型商业综合体项目通过绿色混凝土与智能建造技术的深度融合，展现了施工效率的革命性提升。项目采用聚羧酸减水剂与纳米硅灰复合掺配技术，在保持C60高强性能的同时，水泥用量减少15%，混凝土坍落度损失率控制在3%以内。施工过程中部署的BIM协同

泵送系统，通过物联网传感器实时监测混凝土状态，使泵送效率提升35%，堵管事故率下降至0.3%以下。住建部《智能建造技术发展报告》数据显示，该技术组合使设备租赁时间缩短28%，人力成本降低8.4万元。特别值得注意的是，项目地下室底板浇筑采用跳仓法施工，配合绿色混凝土的低水化热特性，将温度裂缝发生率控制在0.5%以内，较传统工艺减少90%的修补成本。

3. 城市轨道交通建设：资源循环利用的规模化实践

深圳地铁14号线建设过程中，系统实施了绿色混凝土资源循环方案。隧道开挖产生的32万立方米洞碴经破碎筛分后，85%转化为再生骨料用于车站主体结构浇筑，替代天然骨料18万立方米。配合比设计采用“双掺”技术（粉煤灰25%+硅灰5%），在保证C50强度等级的同时，水泥用量减少22%。中国建筑材料联合会跟踪监测显示，该方案较传统工艺减少石灰石开采4.6万吨，节约用水3.8万立方米，施工扬尘浓度降低62%。特别值得借鉴的是，项目建立的再生骨料质量追溯系统，通过区块链技术实现全流程数据上链，为行业标准化提供了创新样本^[5]。

结语

绿色混凝土施工技术的实践验证了其“降本增效—节能减碳—产业升级”的三重价值。通过工业固废资源化利用与智能施工工艺融合，工程成本可实现15%—30%的优化，同时减少50%以上的天然资源消耗与碳排放。案例分析表明，技术迭代不仅延长了结构使用寿命，更通过全生命周期成本模型重构了建筑经济性评价体系。未来需进一步完善绿色混凝土标准体系，强化产业链协同创新，结合BIM、区块链等技术深化数字化管控，加速推动建筑行业向绿色低碳模式转型。此技术的普及应用，将为城市可持续发展与生态文明建设提供重要支撑。

参考文献

- [1] 郭发丽. 现代混凝土技术在建筑工程中的创新与应用[J]. 黑龙江科学, 2019, 10(20): 96-97.
- [2] 宁继红. 浅谈建筑工程建设过程中混凝土施工技术的应用[J]. 居业, 2019, (08): 94+96.
- [3] 李朝香. 关于水利施工的技术创新分析[J]. 科技创新与应用, 2016, (32): 227.
- [4] 李艳侠. 试论新技术在水利工程施工中的具体应用[J]. 科技创新与应用, 2016, (30): 230.
- [5] 叶浩文, 邹俊, 孙晖, 等. 双层劲性钢板剪力墙结构中高强混凝土施工工艺的研究与应用[J]. 施工技术, 2016, 45(12): 15-18.