

绿色高性能混凝土与建筑工程材料的可持续发展

文 / 王冰杰 杭州台霓混凝土有限公司

摘要：随着科学技术发展速度不断加快，建筑工程中也涌现了大量新型环保技术及建材。通过将绿色高性能混凝土材料应用在建筑建设过程中，能够在保证工程施工质量的前提下降低对周边环境造成的不利影响，是建筑工程材料可持续发展重要趋势。对此，本文首先阐述绿色高性能混凝土概念，绿色高性能混凝土种类。结合建筑工程可持续发展要求，明确绿色高性能混凝土制备、生产要点，最后提出绿色高性能混凝土应用方向与发展路径，以供参考。
关键词：绿色高性能混凝土；建筑工程材料；可持续发展

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.016

引言

社会经济的快速发展使资源紧缺、环境污染问题更加严重。为实现建筑行业可持续发展目标，应积极使用绿色施工技术，优化建筑结构，选择适宜的绿色高性能混凝土材料，提升可再生资源利用率，确保建筑工程能够以最小资源投入换取最大化建设效益。

一、绿色高性能混凝土理论分析

（一）绿色高性能混凝土概念

绿色高性能混凝土概念于1998年首次提出，通过将高性能混凝土、环境保护、生态保护即可出去，发展概念结合在一起，在具备过程中减少水泥制备使用量，掺入大量工业废料作为活性掺合剂，在节约资源及能源的同时，提高混凝土材料耐久性，延长建筑工程，使用寿命。

（二）绿色高性能混凝土种类

第一，再生骨料混凝土。再生骨料混凝土就是将废弃混凝土、废弃砖块、废弃砂浆作为骨料。通过对这些废弃材料进行重新破碎、清洗与筛选分级处理，添加到混凝土中，代替部分或全部天然骨料。再生骨料混凝土材料性能与普通混凝土性能无明显差别，可更好满足现场施工要求，处理更多材料废弃物，降低建筑工程对环境造成的污染；

第二，环保型混凝土。依据材料种类，可将环保型混凝土进一步分为低碱混凝土、多孔混凝土、生态混凝土等多种类型。其中，低碱混凝土的pH值在12-13，能够避免腐蚀钢筋，延长混凝土构件使用寿命；多孔混凝土不含有细骨料，粗骨料由表面包裹的一层薄水泥浆黏结，使结构整体呈现出孔穴均匀分布的蜂窝状，具有透气性、透水性强等特征，被主要应用在对构件自重要求较高的建筑工程中；生态混凝土就是在混凝土构件上种植植物，如多孔混凝土中加入符合植物生长的养料与改善混凝土性能的外加剂，扩大绿化覆盖面，利用植物调节周边空气温度及湿度，维持生态平衡；

第三，机敏型混凝土。具备感觉与修复性能，是混凝土材料现代化发展的初级阶段，能够有效预防混凝土结构脆性破坏等风险，进一步提高混凝土结构的安全性与耐久性。机敏型混凝土包括自诊断智能混凝土、自调

节机敏混凝土、自我修复混凝土等多种类型。其中，自诊断智能混凝土的压敏性与温敏性更强，可以自主调节抵抗压力与温度；自调节机敏混凝土的电力效应、电热效应强，可以通过电力自调节的方式调整构件的电力效应与电热效应，控制混凝土构件温度，使混凝土自重蠕变；自修复机敏型混凝土克服了原混凝土结构开裂、数据与分布环境等缺陷，可在混凝土结构发生损伤的情况下自动利用修复材料恢复，进一步增强混凝土结构性能。

二、建筑工程可持续发展要求

（一）节能要求

在建筑工程中应首先规划土地资源，通过使用绿色施工材料以及合理施工技术手段，控制施工期间的资源浪费量。当前建筑工程逐渐趋向于高层化、大体量化发展，在施工环节的资源消耗量较大、会产生出大量的建筑垃圾的问题。因此在建筑工程施工过程中还需要时刻做好生态环境的保护工作，分析不同施工环节对生态环境造成的不利影响，实现人与自然和谐共处目标。

（二）科学性要求

建筑工程建设水平可以直接影响到城市化发展进程，因此在建筑工程实施环节需要遵循科学原则，做好施工前期规划工作，针对不同施工技术制定出专项可行的施工技术手段，确保绿色建筑工程施工工作能够始终处于保持高效实施状态。

（三）高效性要求

绿色建筑工程设计内容多，在建设过程中也应注重长期效益。控制施工管理成本，结合工程具体建设要求，制定工程进度计划，缩短工程建设周期，建设生态平衡建筑环境。

三、绿色高性能混凝土制备与生产

（一）绿色高性能混凝土制备

结合建筑工程施工要求，优化绿色高性能混凝土材料配合比。结合混凝土结构强度、耐腐蚀性、耐水性特征，适当调整混凝土中水泥、粗细骨料、矿物掺和料等比例，确保混凝土具备良好的工作性能。混凝土材料选择期间还应着重考虑施工现场环境特征。如施工现场湿度高，应选择具备良好防水性能的材料；施工所处区域冬季寒

冷，则应使用具有一定抗冻融效果的材料。混凝土材料入场前应检查材料质量检验报告、出厂合格证书，确保材料各项性能与具体施工要求相符。

通过在混凝土材料中添加外加剂，也能够有效改善混凝土性能，增强混凝土材料应用效果。具体来说，在混凝土材料中加入增强剂，可增强混凝土强度及耐久性；在混凝土材料中加入减水剂，可有效改善混凝土材料的流动性及可加工性，提升混凝土材料应用水平；针对混凝土拌合场地与施工现场距离较远问题，还可适当加入迟凝剂，延长混凝土初凝时间，增强混凝土施工时的灵活性，从根本上提升混凝土施工技术在工程施工中的应用水平。

为增强混凝土材料绿色环保性能，在材料制备过程中也应尽量使用水泥材料的代替品，如矿渣、粉煤灰、二氧化硅灰等，降低碳排放量及能源消耗量。如利用矿渣制备混凝土，在减少废弃物产量的同时，增强混凝土材料耐久性与力学性。

绿色高性能混凝土与掺合料的选用存在密切关联，通过在材料中加入硅灰、粉煤灰、矿渣等掺合料，改善混凝土材料整体流动性，进一步增强构件的强度与耐久性。在选择骨料时，可以适当增加再生骨料用量，节约混凝土材料制备成本。

项目	技术指标
比表面积 (m ² /kg)	≥400
细度 (0.045mm 方孔筛筛余) (%)	≤10
活性指数 (%)	7d: ≥70 28d: ≥90
流动度比 (%)	≥100
含水量 (%)	≤1.0
三氧化硫含量 (%)	≤3.0
氯离子含量 (%)	≤0.02
安定性	合格

图1 绿色高性能混凝土材料复合掺和料技术要求

(二) 绿色高性能混凝土生产工艺

绿色高性能混凝土材料是否符合建筑工程建设要求，也会受到混凝土生产工艺影响。在混凝土生产期间需结合生产标准、生产条件，运用有效工艺技术提升混凝土制备水平。优化混凝土配合比设计，提高绿色高性能混凝土材料配比重度，优化配合比设计方案，使混凝土材料强度、流动性及耐久性符合工程建设要求。

在混凝土拌制时加入适当的减水剂与粉煤灰，减少水泥用量。在施工条件允许的情况下也可适当加入大直径骨料，增强结构整体强度与承载力。注意在搅拌过程中，控制搅拌时间、搅拌顺序，提升绿色高性能混凝土均匀性、流动性。由于混凝土拌和现场与混凝土施工现场的距离普遍较远，为将施工时间控制在混凝土初凝时间内，应在内部加入适当的缓凝剂。确定外加剂用量，针对不同混凝土结构特征及浓度值，优化外加剂掺入标准，使混凝土各项材料性质符合地下混凝土施工要求。

控制混凝土固化环境，为绿色高性能混凝土提供具备适当湿度与温度的固化环境。结合工程建设要求，选择使用常规湿养护、蒸汽养护、化学养护手段，增强混凝土固化效果。

运用严格质量检测方式，确保绿色高性能混凝土制备、生产工作与预期目标一致。常用质量控制与检测方式主要分为原材料检测、混凝土抗压强度检测、流动性检测、耐久性能检测等。

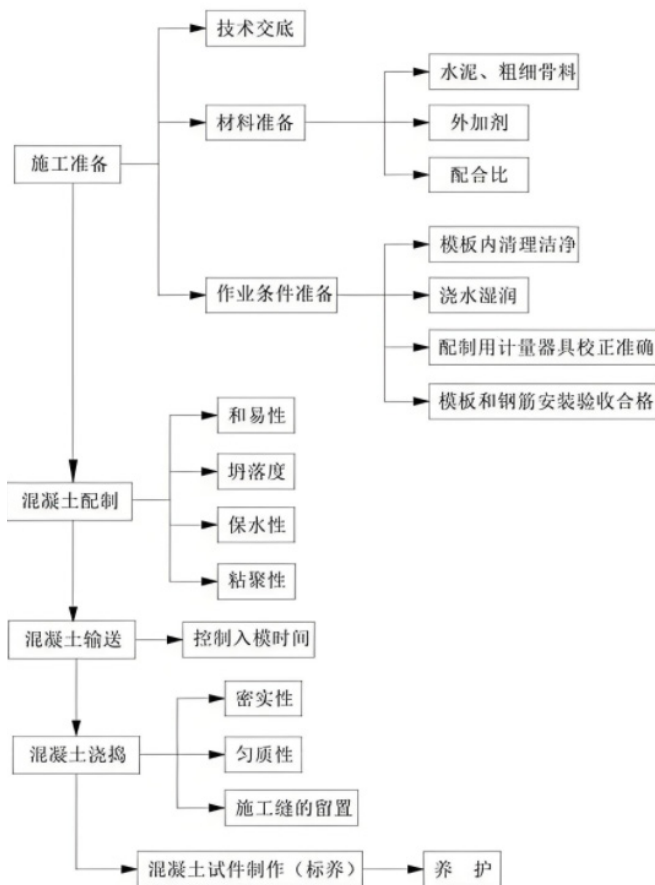


图2 绿色高性能混凝土材料施工流程

(三) 绿色高性能混凝土材料养护

混凝土施工中的保温养护环节，其重要性不容忽视，它的核心目的在于调控混凝土浇筑后的内外温差，以降低混凝土块体的自约束应力，为实现这一目标，相关施工人员必须精确控制混凝土浇筑块体的降温速率，从而有效利用混凝土的抗拉强度，以期达到抑制温度裂缝产生或进一步恶化的效果。在提升混凝土块体抵抗外约束力引发的抗裂性能方面，对混凝土的降温过程进行精细管理显得尤为重要，需延长混凝土降温时间，控制混凝土结构的温度应力。

四、绿色高性能混凝土应用方向

(一) 在结构工程中的应用

将绿色高性能混凝土材料应用在结构工程中，对提升工程施工质量、保证工程效益最大化具有重要意义。

具体来说,在高层建筑工程施工过程中,运用绿色高性能混凝土能够满足高层建筑对结构强度及耐久性的要求,借助混凝土材料增强结构承载力与抗震性能,为建筑用户提供安全可靠的生活空间。

在桥梁及隧道工程中使用绿色高性能混凝土,充分发挥出绿色高性能混凝土耐久性、抗腐蚀性特征,能够进一步延长桥梁、隧道使用寿命,满足桥梁隧道对结构强度、稳定性的要求。

在堤坝水利工程中,传统混凝土材料的抗渗能力较弱,在工程运营环节极易受到环境因素与人为因素影响出现结构破损问题,导致工程维护成本提高。通过将绿色高性能混凝土应用在堤坝水利工程中,能够进一步增强堤坝的稳定性与抗冲刷能力,有效延长工程使用寿命。

在节能建筑结构中使用高性能混凝土材料,运用混凝土的隔热性降低建筑运营期间的电力消耗量,减少对资源造成的不必要浪费。

(二) 在基础设施工程中的应用

城市基础设施是绿色高性能混凝土重要应用项目,通过发挥绿色高性能混凝土材料的环保性及优异性,能够有效增强基础设施工程建设期间的社会效益与生态效益。

在道路桥梁工程中使用绿色高性能混凝土材料,修筑路面与桥梁结构,能够满足道路及桥梁对承载力及抗冲刷能力的各项要求,增强道路桥梁构件使用寿命,减少道路与桥梁维护环节投入成本量。

在港口码头建设过程中,港口、码头设施、地面等工程都使用到绿色、高性能混凝土材料。由于绿色高性能混凝土具有良好的强度与稳定性能,也可以使码头及公共设施始终处于安全可靠运行状态。

在隧道与地下工程施工过程中,绿色高性能混凝土材料的应用能够满足隧道地下结构对围岩、基础承载力的需求。运用材料的耐久性、抗渗性能优势,化解地下水压力、化学侵蚀问题。

在轨道及交通建设环节,铁路道床、轨道基底与站台等结构也可积极使用绿色高性能混凝土材料,借助混凝土中的抗裂性能、抗冲刷能力,降低车辆振动、冲击荷载对混凝土结构造成的不利影响,推动轨道交通行业可持续发展进程。

五、绿色高性能混凝土发展路径

(一) 控制材料造价

绿色建筑工程建设工作不得以约束发展空间、降低建筑物服务标准为前提,而是需要借助绿色材料、节能技术手段,提高资源利用率。节能建筑不仅需要考量一次建造造价,还需要分析建筑运营环节消耗的造价。虽然绿色高性能混凝土材料会导致工程建设成本增加,但绿色高性能混凝土材料应用的成本在总建设成本中占10%的情况下,都可以有效收回成本,保障工程建设经济效益。为充分发挥节能建筑材料应用优势,管理部门

应采用合理方式控制材料造价。一方面,在工程建设环节做好节能项目造价分析工作。通过对比不同方案、价值工程,有效控制工程建设造价;另一方面,转变原有静态造价控制思路,在节能建筑工程建设环节选用绿色高性能混凝土材料,以最小投入换取最大化建设收益,推动建筑工程节能发展进程。

(二) 使用低碳材料与绿色施工工艺

绿色高性能混凝土主要由水泥、骨料、粉煤灰、过筛砂组成。为满足低碳环保目标,可使用粉煤灰等低碳材料代替部分水泥材料,减少混凝土在配置、搅拌与浇筑环节的二氧化碳排放量。使用可循环利用的优质骨料也可减少废弃物,控制总生产成本。

原混凝土生产工艺会释放大量对空气环境造成不利影响的废弃物,因此需积极使用高效绿色施工工艺与施工设备,使废料能够被综合利用。如借助流水线作业、多次混合作业方法,提高绿色低碳混凝土生产效率。

结语

总而言之,为使建筑行业更好适应低碳经济发展需求,在建筑工程实施环节应积极使用绿色施工技术手段,有效减少施工期间的能源消耗量,选择绿色高性能混凝土材料,做好资源循环利用工作,节约工程施工成本,增强工程建设全过程综合效益。由于绿色高性能混凝土材料尚处于发展阶段,还需深入研究混凝土材料特性,从社会可持续发展角度做好绿色高性能混凝土材料的研发工作,为建设高品质、高性能建筑工程提供重要保障。

参考文献

- [1] 祝明,戴玉钊. 土木建筑工程中的高性能混凝土和绿色材料[J]. 建材发展导向, 2024, 22(12): 4-6.
- [2] 黄宽. 绿色高性能混凝土应用研究[J]. 房地产世界, 2024, (10): 128-130.
- [3] 米婷婷. 绿色高性能混凝土材料及其应用研究[J]. 陶瓷, 2023, (09): 208-210.
- [4] 张春龙. 绿色高性能混凝土材料研究[J]. 居舍, 2023, (13): 66-68.
- [5] 林庆. 土木工程中绿色高性能混凝土材料的应用与改进[J]. 居舍, 2023, (11): 43-46.
- [6] 钱芳芳. 土木建筑材料中的高性能混凝土材料和绿色材料[J]. 合成材料老化与应用, 2022, 51(04): 157-159.
- [7] 王利莉. 绿色高性能混凝土材料及其应用研究[J]. 合成材料老化与应用, 2022, 51(02): 133-135.
- [8] 王宏利. 绿色高性能混凝土材料的研究[J]. 四川水泥, 2022, (01): 5-6.
- [9] 付春梅. 土木建筑材料中的高性能混凝土材料和绿色材料的研究[J]. 居舍, 2021, (16): 31-32.
- [10] 张慧, 张超. 土木建筑材料中的高性能混凝土材料和绿色材料[J]. 粘接, 2021, 45(01): 111-114+145.