

绿色建筑材料在土木工程结构设计中的应用

邢金正

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】绿色节能是土木工程建设发展的必然要求，其中绿色建筑材料由于其良好的节能、环保、低碳性能在土木工程结构设计中得到广泛应用。本文对，现阶段土木工程结构设计中常用的各类绿色建筑材料的性能和应用进行分析，如高性能混凝土、再生骨料混凝土、绿色钢材、竹木复合材料及新型保温防水材料等，并结合工程实践案例对相关绿色建筑材料在结构体系中的具体应用策略、设计方法及效益进行深度探究。工程实践表明，绿色建筑材料能够有效降低土木工程中的能耗和污染，助力土木工程行业的绿色可持续发展。

【关键词】绿色建筑材料；土木工程；结构设计；应用分析

DOI:10.12417/2811-0528.25.022.078

引言

水泥、钢材、黏土砖等传统建筑材料在长期使用过程中，不仅需要消耗大量资源，还会产生大量碳排放，对自然生态环境造成影响。尤其现阶段面对资源短缺和气候变化的严峻挑战，土木工程行业正在积极向绿色低碳方向进行转型。

绿色建筑材料作为当下建筑行业发展的核心主题之一，其主要是利用各种绿色节能技术，尽可能降低材料生产和使用整个过程中的能耗。但是面对各种不同的绿色建筑材料，在土木工程结构设计中需要结合实际情况，合理进行各类材料的替换，不断创新设计理念和设计方法，在充分发挥绿色建筑材料节能环保特性的同时提升土木工程绿色施工水平和建造质量。

1 土木工程结构设计中常用的绿色建筑材料

近年来绿色建筑材料发展迅速，衍生出多种不同材质和性能的绿色建材，在土木工程结构设计中需要根据材料的力学性能、耐久性、工作性以及特定的环保属性进行合理选择和优化设计。现阶段常用的绿色建筑材料有以下几类。

1.1 高性能混凝土及其衍生材料

高性能混凝土（High-Performance Concrete, HPC）是作为绿色建筑材料体系中的重要组成部分，其核心是通过提升相关材料的性能和使用效率，间接降低资源和环境负荷。高性能混凝土采用低水胶比，并掺入大量工业废料如粉煤灰、矿渣粉、硅灰等作为矿物掺合料同时配合使用高效减水剂，由于增加了矿物掺合料的使用，所以水泥熟料的用量相对较低，而在混凝土中水泥作为碳足迹的主要来源，通过减少水泥用量，就可以降低工程建设中的碳排放^[1]。与此同时，高性能混凝土的力学性能和耐久性更强，其具有更高的抗压强度和弹性模量，所以在同步工程结构设计中可以以此为基础设计出更小的构件截面，从而减少混凝土总用量，减轻结构自重，降低基础负荷；

同时，在抗渗性能、抗碳化性和抗冻融性能方面，高性能混凝土也展现出极强的优势，以此为基础所形成的构筑物能够具备更长的使用寿命和耐久性，减少构筑物全生命周期内的维修、加固乃至重建的成本，有效降低长期碳排放和资源消耗。与此同时，随着高性能混凝土研究的不断增多，在此基础上也衍生出了更多种类的绿色混凝土种类，比如自密实混凝土（Self-Compacting Concrete, SCC），该类混凝土无需振捣，极其适用于密集配筋结构的浇筑，能够缩减工程量和施工成本。

1.2 再生骨料混凝土

再生骨料混凝土（Recycled Aggregate Concrete, RAC）是资源循环利用的典范，其将建筑垃圾中的废弃混凝土块经过破碎、清洗、分级后，部分或全部替代天然砂石作为混凝土的骨料。应用再生骨料混凝土直接消纳了巨量的建筑废弃物，减轻了填埋处置对土地资源的占用和环境污染，同时减少了对天然砂石资源的开采，保护了自然地貌和河流生态。

但是再生骨料混凝土的性能与天然骨料混凝土之间存在明显差异，由于废弃混凝土块在破碎过程中会产生大量微裂纹，所以再生骨料具有孔隙率高、吸水率大、强度偏低等特性，这些特性导致再生骨料混凝土的拌合物工作性、力学强度及长期耐久性通常低于同配比的普通混凝土^[2]。所以在结构设计中，设计人员必须充分考虑再生骨料混凝土在性能方面的折减情况，现行规范中一般限制再生骨料混凝土用于承受较高应力水平的承重构件，并且对其适用强度进行了明显规定，设计人员在采用再生混凝土时，可以通过降低设计强度值、调整配合比、采用低水胶比和掺加高效减水剂与矿物掺合料以改善其性能，确保设计方案满足相关工程建设要求和标准。

1.3 绿色钢材与新型金属材料

钢材作为可回收利用材料,其本身具有非常大的绿色节能潜力。而绿色钢材则是从生产过程的绿色低碳转型入手形成的一种新生产工艺,比如在转炉炼钢中,电弧炉短流程炼钢技术就可以通过降低能耗和二氧化碳排放,利用废钢作为原料降低生产成本,提高材料利用率。与此同时,现阶段高强度钢材在各方面性能方面具有更强的优势,与普通Q235、Q345钢材相比,Q460、Q550等高强度钢材屈服强度显著较高,在土木工程设计中通过高强度钢材可以在不降低结构承载力的情况下减小构件截面尺寸和厚度,进而减少钢材用量。钢材用量越少,所产生的资源消耗和碳排放也就越低,并且建筑自重的降低能够为下部结构和地基设计提供帮助^[3]。除此以外,耐候钢材由于其表面通过加入合金元素,能够形成致命稳定的保护层,在施工中无需涂装就可以具备良好的耐腐蚀性能,这样也有助于降低钢结构的防腐蚀成本和材料消耗。

1.4 竹木复合材料与现代工程木制品

木材是一种传统的可再生建筑材料,其生产过程的低能耗和碳储存能力备受青睐。现代工程木制品,如胶合木(Glulam)、交叉层压木材(Cross-Laminated Timber, CLT)、木基结构板等材料,通过胶粘结合压制的方式将各种木片制作成具有更高强度、更多规格和灵活性的竹木复合材料^[4]。以CLT板材为例,干裂材料具有较强的内刚度,可用于建造多层甚至高层的木结构或混合木结构建筑,并且木结构建筑在工厂预制生产,在施工现场产生的污染相对较少。尤其在现阶段竹木复合材料技术得到进一步发展,重组竹、胶合竹等竹基复合材料的性能可媲美硬木,为土木工程结构设计提供了更多选择,并且竹木材料能够将大气中的碳以固定型固态形式固定于建筑中,实现碳的长期封存。

1.5 新型保温与防水材料

建筑围护结构的保温隔热性能与建筑能耗密切相关,同时这也是评估建筑绿色性能的关键指标之一。高性能的保温材料应用,能够有效降低建筑在运营阶段的制冷、采暖能耗,比如岩棉、玻璃棉等无机保温材料由天然岩石或玻璃废料熔融纤维化制成,具有良好的防火、保温、吸声性能;而聚氨酯硬泡等有机保温材料则具有更低的导热系数,但是其在防火方面的效果相对较差^[5]。而在建筑防水层面,传统的沥青类卷材在使用中的污染较大,但是热塑性聚烯烃(TPO)、聚氯乙烯(PVC)防水卷材、聚合物水泥基防水涂料等新型防水材料不仅生产更为环保,同时还具有更可靠的耐久性和防水性能,且具有可回收利用价值,节能环保优势更明显。

2 绿色建筑材料在土木工程结构设计中应用策略

2.1 材料选择与结构性能匹配

随着材料技术的不断发展,绿色建筑材料呈现多元化特征,但是不同材料在力学性能、耐久性及施工适应性等方面都存在明显差异,所以在土木工程结构设计中必须做好材料的科学选择,确保材料性能与土木工程结构间获得最优匹配。

首先在初步设计阶段,设计人员应系统评估各类绿色建筑材料的性能,综合考量强度、弹性模量、收缩、徐变、疲劳性能和耐火极限等关键参数,确保所选材料

在满足环保要求的同时在结构形态、使用功能和设计年限等方面也符合工程实际需求。比如在超高层建筑中可采用高强钢材与高性能混凝土组合结构,通过材料的高比强度和高耐久性减轻自重、降低地震响应,以提升整体结构的抗震韧性与空间利用率;大跨桥梁则可选用耐候钢,凭借耐候钢良好的抗腐蚀能力和低维护特性,能够减少桥梁全生命周期内的维修频次与经济成本。其次,在具体工程应用中需要结合地域环境特点进一步细化材料性能指标,如沿海地区需重点考量氯离子渗透性能,寒冷地区则需关注抗冻融循环能力。只有做好材料与结构性能的协同设计,才能够实现绿色建筑高效、安全应用的重要基础。此外,随着材料科学的不断发展,如地聚合物混凝土等新型绿色建材也逐渐进入实践视野,其具有的独特环保属性和节能潜力,需要在结构设计中系统验证与推广应用。

2.2 结构体系与材料一体化设计

绿色建筑材料的应用必须建立在土木工程建筑结构整体需求的基础之上,因此在土木结构设计中需要打破传统材料约束,发展适应绿色建材特点的新型结构形式与节点连接技术。比如在木结构或混合结构中,可采用交叉层压木材(CLT)作为主要竖向和水平承重构件,以此来充分发挥该类材料预制化、装配化的优势,大幅减少现场湿作业和建筑垃圾,提高施工质量与速度。同时,在设计中还需要充分考虑不同绿色建材在温湿度变化下的变形特性及其随时间发展的材料行为差异,如竹木材料的吸湿膨胀、再生混凝土的长期收缩等,通过构造设计、连接释放或材料改性等方式避免因变形不协调引起的开裂、应力集中或功能失效。除此以外,新型复合构件和混合节点的一体化设计也是土木工程结构设计的热点和关键,如钢—再生混凝土组合梁、FRP加固竹木构件等设计方法都能够提高建筑结构的整体效能和资源利用率,但是在一体化设计中,必须从结构整体性能出发

统筹考虑材料、构件与系统之间的相互作用,通过计算分析、试验验证及实景模拟等方法确保设计的合理性和科学性。

2.3 全过程控制与性能保障

绿色建筑材料的应用需要全面覆盖设计、施工、运维等各个过程,各环节都必须进行严格的技术管理。在土木工程结构设计阶段,除了应明确材料的力学与环保指标外,还需要详细指出相对应的施工工艺参数和验收标准,如再生骨料混凝土的骨料替代率、拌合顺序、浇筑温度和养护制度等,防止因施工偏差导致耐久性下降。此外,在工程实施过程中还可以借助BIM技术构建包含材料碳足迹、强度发展及热工参数的数字孪生模型,为工程设计和碳排放评估提供便利;而在运营阶段,应结合监测数据定期评估材料实际性能,制定相应的节能减排策略,从而形成土木工程从设计到拆除的全生命周期绿色性能闭环管理。为实现这一目标,项目参与各方需强化协同,构建涵盖设计、生产、施工及运维的一体化信息管理平台,做好整个施工过程的协同共享。

3 土木工程结构设计中绿色建筑材料的发展趋势

随着材料科技的不断发展,绿色建筑材料发展逐渐呈现高性能化、复合化、智能化和标准化的深度融合趋势。第一,绿色建筑材料的性能不断提升,如绿色钢材向更高强度与耐蚀性发展、竹木材料通过改性处理增强耐火抗湿能力等,同时,纤维增强复合材料(FRP)、3D打印混凝土等已经逐步应用于

复杂受力构件和特种结构的设计制作,进一步推动建造模式的创新和改革。第二,绿色建材标准体系日趋完善,会逐渐形成材料分类、性能评价、应用技术规程的标准体系和数据库,为土木工程结构设计的选型和碳排放提供更可靠依据。与此同时,随着绿色建材和智能建造技术的不断发展,二者之间的融合研究也成为当下的热点和关键,通过在材料中嵌入传感软件能够实现对建筑构件应力、变形与损伤的实时感知,为工程建设和运维管理提供依据参考。第三,随着建筑领域多学科交叉融合趋势的不断加快,绿色建筑材料会得到进一步的发展和创新,生物启发材料、自修复材料等新兴方向能够为土木工程结构设计提供新的解决方案,推动土木工程步入更加绿色化、智能化的高质量发展新阶段。

4 结语

绿色建筑材料能够有效提升土木工程的绿色节能效果,实现土木工程行业的可持续发展。但是针对各种不同的绿色建筑材料,在土木工程设计中应从实际入手合理根据材料性能进行设计优化,以发挥各种绿色建筑材料的性能和作用。随着绿色建筑材料的不断发展,在今后土木工程设计中应持续进行各类新材料、新技术的实践探索,更好促进土木工程的绿色低碳发展。

参考文献:

- [1] 武俊梅.高性能混凝土在建筑施工中的应用与发展[J].水泥,2025,(07):137-139.
- [2] 岳晓东.高性能再生混凝土在绿色智能建筑结构中的应用[J].山西建筑,2025,51(05):30-32+39.
- [3] 石永久,余香林,班慧勇.高性能结构钢材应用技术研究与进展[J].钢结构(中英文),2024,39(10):97-104.
- [4] 蔡晓亮.绿色建筑材料在土木工程施工中的应用探讨[J].陶瓷,2025,(06):200-202.
- [5] 马亚兰.低碳建筑材料的创新与可持续发展路径探讨[J].居舍,2025,(12):81-83.