

生态环保理念下的绿色建筑结构设计探讨

覃如意

成都华丰工程勘察设计有限公司南宁分公司, 广西 南宁 530000

[摘要]随着全球气候变暖趋势加剧, 建筑业由于其巨大的能耗贡献成为亟需进行绿色低碳发展的行业。以生态环保为基础理念的绿色建筑设计, 在满足基本的安全性和使用性的基础上更加强调对资源的循环利用以及环境的保护。本文围绕绿色建筑结构设计理念展开论述, 详细介绍了绿色建材的应用、节能结构体系、装配式建筑、可再生能源的一体化应用以及抗震性能提升等方面的技术手段以及节材设计、围护结构保温隔热、雨水收集与再利用等环保措施。研究显示, 采用多目标优化及协同设计方法可以使绿色建筑结构既满足安全要求又大幅减少碳排放以及资源消耗, 从而助力国家“双碳”战略实施。

[关键词]绿色建筑; 结构设计; 生态环保; 碳排放; 全生命周期

DOI: 10.64635/ja.2026.1057

中图分类号: TU201.5

文献标识码: A

A Discussion on Green Building Structural Design under the Concept of Ecological and Environmental Protection

Qin Ruyi

Nanning Branch, Chengdu Huafeng Engineering Investigation and Design Co., Ltd., Nanning 530000, Guangxi, China

Abstract: With the intensifying trend of global warming, the construction industry, due to its substantial contribution to energy consumption, has become an industry in urgent need of green and low-carbon development. Green building design based on the concept of ecological and environmental protection places greater emphasis on resource recycling and environmental conservation while meeting the basic requirements of safety and functionality. This paper discusses the design philosophy of green building structures and introduces in detail the technical approaches related to the application of green building materials, energy-efficient structural systems, prefabricated buildings, the integrated use of renewable energy, and seismic performance enhancement, as well as environmental protection measures such as material-saving design, thermal insulation of building envelopes, and rainwater harvesting and reuse. The study shows that the adoption of multi-objective optimization and collaborative design methods can enable green building structures to meet safety requirements while significantly reducing carbon emissions and resource consumption, thereby contributing to the implementation of China's "dual carbon" strategy.

Keywords: green building; structural design; ecological and environmental protection; carbon emissions; whole life cycle.

引言

随着全球对气候变化的关注日益增加, 建筑业可持续发展成为世界范围内的共识。据有关数据显示, 建筑业占全世界能耗的六分之一, 而二氧化碳排放量占到十分之一, 而在这些排放当中, 水泥、钢铁、混凝土等传统建材所造成的影响就高达 70% 左右。而且传统的粗放型施工方式消耗大量资源的同时也产生大量的建筑废弃物, 在美国, 每年就有大约 6 亿吨的建筑及拆迁废弃物产生, 相当于城市垃圾量的一倍多, 在此背景下, 把绿色理念引入建筑结构的设计中, 已经成为土木工程发展的趋势。绿色建筑设计

的重点是在保证结构安全可靠以及耐久的基础上, 尽可能降低对自然资源的需求及对环境的影响, 需要结构工程师在材料选用、布置方案、施工方法直至拆除等各方面都要有全面考虑。

1 生态环保理念下的绿色建筑结构设计原则分析

绿色建筑结构设计应符合整个寿命周期内生态友好的理念, 在整个过程中体现环保的思想, 包括规划、设计、施工、使用直到最后拆除再利用等各个环节。第一, 在资源节约方面, 尽可能少用材, 优先采用可再生、可再利用的材料并且考虑到该建筑物使用寿命结束后这些材料能

能够重新利用的价值。第二,在环境影响最小化上,尽量减少结构生产和施工以及之后运营维护过程中的碳排放量,同时也不能给周围造成太大的影响。第三,在健康舒适性上,保证室内的空气质量,禁止使用有害物质。此外,适应性和耐久性原则要求结构设计具有一定的空间功能性灵活性,以期增加建筑物寿命年限,减少由于改变用途而导致的过早拆除所带来的资源浪费等。它们之间相辅相成,是绿色建筑设计理念的重要体现。

2 生态环保理念下绿色建筑结构设计的关键技术

2.1 绿色建材在结构设计中的应用

选择绿色建材是绿色建筑的基础。目前,绿色建材研究及应用从单方面性能提升发展到多目标联合优化

的设计理念。高性能建材例如高强钢筋、高强混凝土可以通过减小构件截面达到直接节材的效果;而绿色低碳建材例如利用工业固体废弃物生产的矿物掺合料可以替代一定量水泥从而减少生产过程中产生的二氧化碳等温室气体。近年来,新的绿色复合材料快速发展,“eco-voxels”可重构建筑模块便是其中一种,其使用生物基聚对苯二甲酸丙二醇酯以及回收碳纤维复合而成,在与传统建造方式相比的情况下可降低20%~40%以上的温室气体排放。此外,纤维增强再生地聚合物混凝土也有一定研究,在最佳配比情况下,其抗压强度大于等于50MPa,且碳排放比同等强度普通混凝土减少约40%以上。这些建筑材料的应用使结构工程师有更多的选择。

表1 常见绿色建材的类型、特性与结构应用

建筑类型	主要代表材料	核心环保特性	结构设计应用场景
高性能建材	高强钢筋、高强混凝土	减少材料用量,降低结构自重	高层建筑柱、梁、大跨度结构构件
绿色低碳建材	矿物掺合料混凝土、地聚合物混凝土	利用工业废渣,降低水泥用量与碳排放	基础、楼板、非承重墙体
可再生/循环建材	再生骨料混凝土、再生钢材	减少建筑垃圾,节约原生资源	垫层、道路基层、非关键结构部位
生物基复合材料	生物基聚合物+再生纤维复合材料	部分原料可再生,全生命周期低碳	模块化墙板、非承重围护结构
固碳建材	碳化养护混凝土	主动吸收封存二氧化碳	砌块、铺装材料、景观构件

2.2 节能型结构体系选择与优化

结构体系的选择对整个建筑物所用材料以及碳排放量都有很大影响。近年来,高性能结构体系得到了快速发展。一种新的组合结构体系被提出来,那就是钢筋混凝土柱和横向变截面混合钢梁结合在一起,经过结构上的优化设计,在4m跨的建筑中,比传统的钢筋混凝土结构节省费用约6%,减排二氧化碳约16%,降低隐含能耗约11%^[1]。还有关于部分填充钢-混凝土组合结构的研究也说明,通

对过腹板两边设置中空的空间并在必要的地方填入少量混凝土的方式来布置材料,相比于普通的组合件,自重下降42%~50%,施工速度提高19%~22%。钢-混凝土组合结构、钢管混凝土结构等体系利用两种材料优点,在减轻自身重量基础上提高其承载力。而现代木结构以及工程木材产品由于其固碳作用受到重视。在结构选型时需要进行多目标优化设计,从安全性、经济性和环保性方面出发,确定最适宜该项目节能型结构。

表2 主要节能型结构体系的性能对比

结构体系类型	主要材料构成	节能减碳特性	抗震性能	工业化程度
高性能混凝土结构	高强混凝土、高强钢筋	截面减小,间接节材减碳	良好	较低(现浇为主)
钢结构	钢材(可循环)	可回收率高,自重轻,基础省	延性好,抗震优异	很高(工厂预制)
钢-混凝土组合结构	钢材+混凝土	发挥材料协同优势,综合碳排放适中	性能优越,刚度大	较高
预制装配式混凝土结构	混凝土、钢筋	现场湿作业少,施工节能	等同现浇,节点是关键	高
部分填充组合结构	钢材+混凝土+岩棉	自重降低42%~50%,材料优化分布	良好	较高
现代木结构	工程木、胶合木	固碳效应显著,全生命周期低碳	轻质高强,抗震好	高

2.3 装配式结构与工业化建造技术

装配式建造方式是实现绿色建筑结构设计的有效途径,在工厂进行构件生产,工地进行拼装,可以大大减少现场湿作业,降低施工扬尘、噪声等污染影响,装配式结

构便于构件标准化及模数化,节约材料,避免施工现场大量裁切造成浪费,更重要的是,模块化建筑可拆解、移动或者重新装修,从而减轻对于原始材料和能源消耗。“eco-voxels”模块化系统的研发人员称可以在不到一个

小时内完成整个建筑物建设工作,其模块化的优势既适用于地面建筑也有可能用于未来的空间探索中。国内企业也积极研究装配式结构创新,三一筑工 SPCS 结构技术体系以“空腔墙柱等效异构 边角后浇 面内作业”为技术思路,通过筑享云平台进行线上协同设计、生产和施工,数据驱动流水线智能化生产,达到工业化标准。其可重构性提高建筑用材寿命,是循环经济理论在建筑行业体现。

2.4 可再生能源与结构一体化设计

将可再生能源系统与建筑物相结合是提高建筑绿色性的有效途径。光伏建筑一体化是最具代表性的应用方式,将光伏组件安装在屋顶、墙面或者遮阳板上既可以实现发电又能起到隔热、美观的效果。有研究显示,光伏立面可以增加 25% 的太阳光吸收率从而为建筑带来更长久的可再生能源收益。而在项目实践中,华能沁北电厂对其大跨度弧形煤棚进行了光伏化改造,“随坡敷设”方案完美契合原有建筑形状,总装机规模为 15.57MW,25 年内预计发电量达到 3.92 亿 kW/h,每年可节省标准煤约 5000t,减排二氧化碳约为 1.58 万 t。结构设计需保证光伏组件安全固定以及受力传输,同时便于后期维护检修^[2]。而此种方式需建筑、结构、机电等各专业在设计初期共同配合完成,防止后期增加而产生的结构改动及浪费。

2.5 结构减震与抗震性能优化设计

绿色建筑结构安全是不能逾越的底线,在此基础上进一步提升抗震性能、应用减震措施有利于保护人民生命财产安全同时也符合可持续发展要求。通过隔震或消能减震方式增强建筑物整体抗震性能可以降低对构件进行加固程度从而节省钢材等资源同时减轻给环境带来负担。部分填充钢-混凝土组合结构消能减震体系研究取得一定进展开发出具有三维减振与多种耗能作用阻尼器以及中部部分填充钢-混凝土组合支撑解决了一般阻尼器只能在一个方向上耗能以及支撑容易发生局部屈曲问题。对于需加固旧楼则要尽可能采取节材、节能、环保方法进行加固。在新建筑物中,通过合理布置结构及构件尺寸可防止过多使用建筑材料。另外,开展可恢复功能抗震结构研究并加以应用,使得该类结构遭受地震破坏后能够方便地进行修复工作,减少大规模拆除重建所造成的资源浪费,有利于可持续发展。

3 绿色建筑结构设计中的节能与环保措施

3.1 结构节材设计与资源高效利用

节材是绿色建筑结构设计最直接的减碳途径。建筑、结构、设备及室内装修等应一次性完成,在装修前将所有

需要在建筑物构件上开设孔洞以及需安装的装修饰面固定件全部完成,避免装修时对已有的建筑构件进行凿孔、开洞或者拆改。这样不仅有利于保证建筑安全性能,而且还可以降低噪声污染、节约能源并减少建筑废弃物。在基础工程施工过程中也可以采用新技术达到很好的节材效果。中铁六局研制“可调节式可重复使用桩基钢筋笼支撑装置”,采用创新可调、可重复使用设计理念,在一根长 30m、直径 1.8m 桩基中,用传统方法需要消耗钢筋约 64.26m,但应用该装置后此部分钢筋完全可以省去,一台设备可在多个桩基之间进行周转,从根本上节约钢筋用量以及减少碳排放。

3.2 建筑围护结构节能优化

围护结构虽然不是主要受力构件,但是它与主体结构之间的连接方式却影响到整个建筑物的能耗。在结构设计时应当考虑围护结构与主体结构之间接缝处的热桥问题,防止由于钢构件或者混凝土穿过保温层导致热量散失。此外,还有由清华大学研发的一种可以调节室内光照及温度的主动式光热调控智能窗户,利用全薄膜电致变色器件,在不同的电压下可实现不同的工作状态转换,对于可见光以及近红外区间的透过率都可以进行大幅度的变化,最高可以达到 92% 以及 82%,而在北京夏天室外环境下使用时,这种智能窗户的降温功能可以使室内的温度比普通的商用窗户降低大约 14℃。

3.3 雨水收集与生态循环系统设计

雨水收集及利用系统是绿色建筑节水手段之一。屋面雨水收集需从结构上考虑屋顶坡度、集水沟位置以及储水池重量等。生态屋顶或者绿色屋面除了能起到延缓径流外还能提高建筑物保温效果,但是也需要在结构上增加种植土、植物以及蓄水量带来的重量并做防水及防根穿刺措施^[3]。在实际应用中,铜川市牡丹园片区雨洪利用及生态修复项目设计有“智能调控-梯级净化-生态融合”雨水综合利用体系,在此基础上设置可调堰对雨水进行分层调控,雨水消能稳流之后流入双调蓄池进行分层储存,之后再流入前置塘-人工湿地组合式净化区,在这里依靠植被以及微生物共同作用对于污染物进行进一步降解。

3.4 建筑废弃物减量化与再利用设计

建筑废弃物减量化要从设计源头做起,在设计上尽可能使用模数化、标准化的设计方式以避免由于规格不同造成施工现场切割产生的建筑废弃物;对于无法避免的建筑废弃物,则应当考虑对其进行分类回收以及二次使用。“无废工地”第一例:深圳观澜公共文化中心,在设计之初就

摒弃传统施工中的“先污染后治理”，利用 BIM 进行各专业的协调配合，提前发现管道冲突，设备管道、单元式幕墙等均尽可能地在工厂进行预制加工，从而减少现场湿作业，提出了“每万平方米建筑废弃物排放量低于 200t，资源化利用率达到 40%”的要求。对于资源化利用，现场桩基桩头破碎用作基础碎石垫层，基坑支护钢筋混凝土内支撑拆卸后破碎用作场地回填，钢筋作为废品回收加工成马凳、排水沟盖板等构件再次使用，废弃混凝土及砖块送至工厂加工成再生骨料，在制砖、再生混凝土等领域应用。

4 绿色建筑结构设计的管理与评价体系

绿色建筑结构设计顺利进行，离不开良好的管理体系以及合理的评价机制的支持，在管理上，需要有多个专业的配合。绿色建筑设计是以以建筑师为主导的性能化设计及协同设计，而 LEED 采用了“整合设计流程”，规定所有的项目成员必须从早期的设计开始就包括建筑师、工程师、建筑师、能源、材料、水等多个方面的人员参与进来，形成一个跨专业的合作小组。中国的《绿色建筑评价标准》也将标准的要求分成不同的专业，要求评审组是由不同专业的专家组成的，“资源节约”一节中对再生骨料的应用要由结构工程师和材料科学家来评定，“健康舒适”的部分是需要由室内设计师和公共卫生专家来进行评分。这就要求结构工程师要在项目开始时就参与进来与其他专业一起确定绿色性能目标并且在整个设计过程中不断改进。而在评价方法上，我国《绿色建筑评价标准》中对于结构设计也有相应规定如节材与材料资源利用、结构优化、高性能材料应用等。而国外的 LEED、BREEAM 等也有绿色结构设计的评价标准。目前碳排放量已经成为衡量一个

项目是否达到绿色标准的一个重要参考因素，在结构设计时要对建筑材料生产和运输、施工以及后期拆除产生的碳排放进行估算以此来作为设计方案选择的标准。

5 结语

生态环保理念下的绿色建筑结构设计，是应对气候变化、促进行业可持续发展的有效手段。本论文认为，绿色建材应用为结构减碳提供物质基础，节能结构体系优化从源头降低资源消耗，装配式技术提升建造环保性，可再生能源一体化丰富功能内涵，抗震设计保证整个寿命期内的安全。而在具体做法上，节材设计、围护结构配合使用、雨水收集以及废弃物再利用构成一个完整的体系。而随着新技术如新型材料以及数字技术的发展，未来将会出现更多针对不同目标的全寿命周期方法来满足使用者的需求，在安全、经济性和环境保护之间找到最佳解决方案。循环经济理念使结构设计朝可拆解、可循环的方向发展，为人与自然和谐共处做出积极贡献。

[参考文献]

- [1]朱国靖,郭亨.基于生态环保理念下绿色建筑设计研究[J].建设科技,2025(02),13-16.
- [2]刘波.基于生态环保理念的绿色建筑设计研究[J].中国建筑装饰装修,2022(15): 105-107.
- [3]农色花.基于生态环保理念的建筑设计研究[J].美术馆,2023,4(04):115-117.

作者简介：覃如意（1986.08—），毕业院校：东莞理工学院，所学专业：土木工程，当前就职单位：成都华丰工程勘察设计院有限公司南宁分公司，职务：结构工程师，职称级别：工程师。