

零碳建筑设计方法与技术体系构建

王金凤 郭京琦 刘琳曼

中国五洲工程设计集团有限公司 北京 100053

摘要：在全球应对气候变化、积极推进碳中和目标的背景下，零碳建筑成为建筑行业可持续发展的重要方向。本文聚焦零碳建筑设计方法与技术体系构建，系统梳理零碳建筑的内涵与设计原则，深入分析其在规划布局、建筑围护结构、能源系统等方面的设计方法，并从可再生能源利用、高效节能技术、智能运维管理等维度构建零碳建筑技术体系。通过理论与实践相结合的研究方式，探讨当前零碳建筑发展面临的挑战与解决方案，旨在为推动零碳建筑的广泛应用和建筑行业的绿色转型提供理论参考与技术支持。

关键词：零碳建筑；设计方法；技术体系；碳中和；可持续发展

引言：随着全球工业化和城市化进程的加速，建筑行业已成为能源消耗和碳排放的重要领域，其运行阶段的能源消耗与碳排放占全球总量的较大比重，对生态环境造成了巨大压力。与此同时，全球气候变暖问题日益严峻，极端天气频发，严重威胁人类社会的生存与发展。在此背景下，“碳中和”目标的提出为建筑行业的绿色转型指明了方向，零碳建筑作为实现建筑领域碳中和的关键路径，受到了国内外学者和行业的广泛关注。

1 零碳建筑的时代背景与研究意义

1.1 全球气候变化与碳中和目标的紧迫性

近年来，全球气候变暖趋势加剧，冰川消融、海平面上升、极端气候事件频发，严重威胁人类生存环境与社会经济发展。据国际权威机构数据显示，大气中二氧化碳浓度已突破工业化前水平的50%，温室效应持续增强。在此背景下，全球多国积极响应，纷纷制定“碳中和”目标，旨在通过减少碳排放、增加碳吸收，实现大气中二氧化碳净零排放，缓解气候危机。碳中和目标的提出，不仅是全球生态保护的必然要求，更是人类可持续发展的关键抉择，推动各行业积极探索低碳转型路径。

1.2 零碳建筑的定义与核心特征

零碳建筑是指在建筑全生命周期内，通过优化设计、高效技术应用及可再生能源利用，使建筑产生的碳排放量与通过碳汇、碳抵消等方式中和的碳量达到平衡，实现净零碳排放的建筑。其核心特征体现在三个方

面：一是能源自给自足，充分利用太阳能、风能等可再生能源满足建筑运行需求；二是高效节能，通过先进的建筑围护结构、智能控制系统降低能耗；三是全生命周期减碳，从建材选用、施工工艺到运营管理，全方位减少碳排放，是建筑行业应对气候变化、实现碳中和目标的重要实践方向。

2 零碳建筑设计的理论框架与核心原则

2.1 全生命周期碳排放理论

全生命周期碳排放理论强调对建筑从建材生产、施工建造、运营使用到拆除回收的全过程进行碳足迹分析。在建材生产环节，水泥、钢材等高耗能材料的制备会产生大量碳排放，选用再生材料、低碳建材可显著降低初始碳排；施工阶段，施工机械燃油消耗、建筑垃圾处理等是碳排放的重要来源，优化施工工艺、减少资源浪费能有效控制碳排放量；运营过程中，建筑照明、供暖、制冷等能耗是碳排放的主要构成，通过节能技术与可再生能源利用可降低运行碳排；拆除回收阶段，合理规划建筑拆除与材料回收利用，可避免废弃物处理带来的额外碳排放。该理论为零碳建筑的系统减碳提供了科学框架。

2.2 能效优先与可再生能源整合原则

零碳建筑设计遵循“被动式设计优先，主动式技术补充”的协同逻辑。被动式设计通过优化建筑朝向、体型系数，采用高效保温隔热的围护结构，利用自然通风、采光等策略，从根源上降低建筑能耗需求。例如，南向开窗最大化利用太阳能，厚重的外墙减少热量传导，实现冬暖夏凉。在此基础上，主动式技术作为补充，引入光伏发电、风力发电、地源热泵等可再生能源系统，将太阳能、风能、地热能转化为建筑所需能源，满足剩余能耗需求。能效优先与可再生能源的整合，使

第一作者简介：王金凤（1987年—），女，汉族，陕西省榆林市人，大学本科，工程师。

第二作者简介：郭京琦（1994年—），女，汉族，山东省宁阳县人，大学本科，工程师。

第三作者简介：刘琳曼（1992年—），女，汉族，河北省石家庄市人，硕士研究生，工程师。

建筑在降低能耗的同时，实现能源的绿色供给，达成零碳目标。

2.3 气候适应性设计原则

气候适应性设计基于地域气候特征，制定差异化设计策略。在寒冷地区，重点加强建筑保温性能，采用双层或多层玻璃、高效保温墙体材料，优化建筑密闭性，减少热量散失；在炎热地区，注重遮阳与自然通风设计，通过设置遮阳构件、导风板，合理规划建筑布局形成穿堂风，降低空调使用频率。对于降水丰富地区，可设计雨水收集与回用系统，用于绿化灌溉、道路冲洗；干旱地区则需考虑节水器具应用与中水回用。这种因地制宜的设计方法，使建筑能够更好地适应自然气候条件，减少因对抗气候而产生的能源消耗，助力零碳建筑目标的实现。

3 零碳建筑关键技术体系分类与机制

3.1 低碳建材与结构技术

低碳建材与结构技术通过革新材料生产工艺与应用方式降低建筑碳排放。低碳混凝土采用工业固废（如粉煤灰、矿渣）替代部分水泥，减少水泥生产过程中的高耗能碳排放；再生材料将废弃混凝土、金属、木材等回收处理后重新用于建筑，避免原生材料开采的能源消耗与碳排放；生物基材料以秸秆、竹纤维等可再生生物质为原料，利用其生长过程中吸收的二氧化碳实现碳储存。这些材料在结构应用中，结合装配式建筑技术，减少现场湿作业与建筑垃圾，进一步降低施工阶段碳排放，从源头构建零碳建筑的物质基础。

3.2 高效围护结构技术

高效围护结构技术聚焦于提升建筑隔热、保温与密封性能。动态隔热材料可根据环境温度变化调整热阻，夏季反射热量、冬季减少热量散失；气凝胶作为新型纳米级保温材料，导热系数极低，能大幅提升墙体、屋面保温效果；真空玻璃利用真空层阻断热传导，配合Low-E膜减少热辐射，显著增强门窗的隔热性能。这些新型围护系统与传统构造优化结合，形成高气密性、低传热系数的外围护结构，降低建筑通过围护结构的热量交换，减少空调、供暖系统的运行能耗，是实现建筑节能的关键技术路径。

3.3 可再生能源集成技术

可再生能源集成技术致力于将太阳能、地热能、风能等清洁能源高效融入建筑。光伏建筑一体化（BIPV）将太阳能电池板与建筑外立面、屋顶等部件结合，实现发电功能与建筑美学的统一，减少传统光伏设备的安装空间与成本；地源热泵利用地下恒温层的热量进行供热

与制冷，相比传统空调系统能效提升30%以上；小型风力发电机可根据建筑周边风环境合理布局，补充电力供应。通过对不同可再生能源的优化配置与协同运行，满足建筑全时段、全场景的能源需求，实现建筑能源自给自足。

3.4 智能能源管理与优化技术

智能能源管理与优化技术依托数字孪生和AI算法实现能源系统的精准调控。数字孪生技术通过构建建筑能源系统的虚拟模型，实时模拟与预测能源消耗、设备运行状态；AI算法则基于大量历史数据与实时监测信息，分析建筑用电、用能规律，动态调整空调、照明、电梯等设备的运行参数，实现能源按需供给。例如，在用电低谷时段储存多余电能，高峰时段释放；根据室内人员活动情况自动调节照明亮度与空调温度。这种智能化管理模式显著提升能源利用效率，降低建筑整体能耗与碳排放。

3.5 碳捕集与负排放技术

碳捕集与负排放技术是实现建筑零碳目标的前沿补充手段。建筑直接空气捕集（DAC）设备可安装于建筑内部或周边，直接从空气中吸附二氧化碳，并通过压缩、封存或转化为其他产品进行处理；生物炭封存技术将生物质材料高温裂解制成生物炭，埋入地下或用于建材生产，长期储存碳元素。这些技术虽处于发展阶段，但在建筑运行阶段碳排放难以完全消除的情况下，通过主动捕集与封存二氧化碳，实现建筑碳排放量的进一步降低，甚至达到负排放，为零碳建筑提供技术兜底保障。

4 零碳建筑设计方法论构建

4.1 基于性能目标的设计流程

基于性能目标的设计流程遵循从碳排放核算到技术选型的逆向设计路径。首先，明确建筑全生命周期的碳排放目标，结合地域、功能需求等因素，精确核算建材生产、施工建造、运营维护及拆除回收各阶段的碳排放量。随后，以目标为导向，反向推导所需的技术策略与设计方案，例如根据允许的碳排放量，选择低碳建材类型、确定可再生能源系统规模等。这种逆向设计打破传统正向设计的局限性，确保技术选型与设计决策紧密围绕零碳目标展开，实现设计成果与性能需求的高度契合，有效提升零碳建筑设计的精准性与科学性。

4.2 多目标优化设计模型

多目标优化设计模型采用兼顾能效、成本、舒适度的多维度权衡方法。在零碳建筑设计中，能效提升往往与成本投入存在矛盾，同时还需保障室内热舒适、光舒适等环境质量。该模型通过建立数学算法与评估体系，

将能效指标（如能耗强度、可再生能源利用率）、成本因素（初期投资、运维成本）、舒适度参数（温湿度、采光系数）纳入统一框架，进行量化分析与综合评价。例如，通过模拟不同设计方案下的能效提升幅度与成本增加比例，结合舒适度变化，寻找三者的最优平衡点，为设计师提供兼顾经济性与功能性的决策依据，避免因单一目标过度追求而导致其他性能失衡，实现零碳建筑的综合效益最大化。

4.3 参数化设计工具开发

参数化设计工具基于BIM/CIM平台，实现碳排放模拟与可视化分析。BIM（建筑信息模型）与CIM（城市信息模型）平台整合建筑全生命周期的几何信息、材料属性、设备参数等数据，结合碳排放计算模型，构建动态仿真系统。设计师可通过调整建筑朝向、围护结构构造、能源系统配置等参数，实时模拟不同设计方案下的碳排放量，并以可视化图表、三维模型等形式直观呈现结果。例如，在方案设计阶段，通过改变外墙保温材料厚度，系统立即显示能耗与碳排放变化趋势，辅助设计师快速优化设计。这种参数化工具不仅提升设计效率，还能实现从概念设计到施工运维的全流程碳排放管控，助力零碳建筑精准落地。

4.4 不确定性因素应对策略

不确定性因素应对策略针对气候预测、用户行为、技术迭代等变量开展敏感性分析。气候条件的变化会直接影响建筑能耗，如极端高温或低温天气可能增加空调与供暖需求；用户行为差异（如设备使用频率、作息习惯）也会导致实际能耗偏离设计预期；技术迭代则可能带来更高效的节能产品与减碳方案。通过建立不确定性分析模型，量化这些变量对零碳建筑性能的影响程度，识别关键敏感因素。例如，模拟不同气候预测情景下的建筑能耗波动，评估用户行为变化对能源需求的影响范围，提前预留技术升级接口。基于敏感性分析结果，制定弹性设计方案与动态调整策略，增强零碳建筑对未来不确定性的适应能力，保障零碳目标的长期稳定实现。

5 零碳建筑技术体系的协同与集成

5.1 能源系统层级化集成

能源系统层级化集成聚焦分布式能源网络与建筑微电网的协同优化。通过构建由光伏发电、风力发电、地源热泵等组成的分布式能源网络，实现能源的就近生产与利用；在此基础上，建筑微电网对各分布式能源进行统筹调度，结合储能系统，调节能源供需平衡，降低

对传统电网的依赖。层级化设计使能源系统从基础供能单元到整体调控形成有序架构，既保障建筑用能安全稳定，又提升可再生能源的利用效率，助力零碳建筑能源系统的高效运行。

5.2 空间功能与技术系统的耦合设计

空间功能与技术系统的耦合设计强调柔性空间布局对可再生能源波动的适应性。通过灵活划分建筑空间，为光伏板铺设、风力发电设备安装预留充足空间；同时，设计可调节的室内隔断与功能分区，使空间使用方式能随能源供需变化动态调整。例如，当光伏发电量充足时，可将部分空间转化为耗能设备运行区；能源不足时，调整为低能耗功能区。这种耦合设计打破空间与技术的界限，实现两者协同增效，增强建筑应对能源波动的能力。

5.3 数字化平台支撑下的全周期管理

数字化平台支撑下的全周期管理着力构建从设计、施工到运营的碳数据链贯通机制。利用BIM、物联网等技术，在设计阶段模拟碳排放并优化方案；施工过程中实时监测建材使用、设备安装的碳排放量；运营阶段采集能耗数据，分析碳排变化趋势。数字化平台将各阶段碳数据整合为完整链条，为管理者提供可视化决策依据，及时发现减碳薄弱环节并调整策略，确保零碳建筑全生命周期碳排放可控，实现持续稳定的零碳运行目标。

结语

零碳建筑设计方法与技术体系的构建，是建筑行业应对全球气候变化、实现碳中和目标的核心路径。本文系统梳理了从全生命周期碳排放理论到数字化全周期管理的零碳建筑关键要素，通过能效优先与可再生能源整合、多学科协同设计等原则，以及低碳建材应用、智能能源管理等技术，形成了科学且具有实践价值的零碳建筑解决方案。以后，需进一步加强技术创新与跨领域合作，降低零碳建筑实施门槛，完善政策与标准体系，推动零碳建筑从理论探索走向大规模应用，为全球生态环境改善与人类可持续发展注入新动力。

参考文献

- [1]张伟, 李娜.零碳建筑全生命周期碳排放核算模型与减排策略研究[J].建筑科学, 2023, 39(8):12-19.
- [2]中国建筑科学研究院.零碳建筑技术标准体系研究报告[R].北京:中国建筑工业出版社, 2021.
- [3]陈晨, 刘洋.数字化工具在零碳建筑设计中的应用与挑战[J].城市规划学刊, 2023(3):78-84.