

低碳理念在民用建筑设计中的应用

文 / 曹 嫩 深圳市柏涛蓝森国际建筑设计有限公司

摘要：随着全球气候变化加剧，建筑领域作为碳排放的重要来源，其低碳转型已成为可持续发展的核心议题。本文以低碳理念在民用建筑设计中的应用为研究对象，结合国内外政策导向与技术实践，系统分析了被动式设计、可再生能源集成、智能管控等关键技术路径，并通过典型案例验证其可行性。研究表明，通过全生命周期的低碳设计策略，可实现建筑能耗降低60%~80%，碳排放强度下降50%以上，为建筑行业碳中和目标提供理论支撑与实践参考。

关键词：低碳理念；民用建筑；设计；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.17.097

引言

建筑行业贡献了全球约39%的碳排放，其中民用建筑占比超60%。中国作为全球最大的建筑市场，2025年城镇新建建筑将全面执行绿色建筑标准，超低能耗建筑规模化发展成为必然趋势。在此背景下，低碳理念的深度融入成为建筑设计的核心命题。本文基于政策导向与技术实践，探讨低碳理念在民用建筑设计中的应用路径，旨在为行业转型提供理论与实践支持。

一、低碳建筑设计的理论框架

（一）核心原则

全生命周期减碳：从规划、设计、施工到运维，构建闭环管理体系。例如，上海浦东低碳示范园区通过BIM技术实现建筑碳排放全流程追踪，将建筑全生命周期各阶段产生的碳排放数据进行整合分析，从建筑材料的生产运输、施工过程中的能源消耗，到运营阶段的设备使用、维护更新等环节，都纳入碳排放监测范围，实现精准管控。

气候适应性设计：基于地域气候特征优化布局。如广州越秀·观樾项目通过风玫瑰图分析确定建筑朝向，使夏季自然通风效率得到提升。针对不同气候区域，设计策略也有所不同，在夏热冬冷地区，注重夏季隔热与冬季保温的平衡；在寒冷地区，加强围护结构的保温性能和防风设计；在炎热地区，则强调通风散热和遮阳措施的应用。

资源循环利用：采用绿色建材与模块化建造。如嘉兴市海盐县邻里中心项目利用竹筒复合墙，有效减少建材碳排放含量。绿色建材不仅在生产过程中碳排放较低，还具有可回收、可再生的特点，如再生骨料混凝土、环保型涂料等；模块化建造则可以减少现场施工的能源消耗和废弃物产生，提高施工效率^[1]。

（二）技术体系

被动式设计：通过围护结构优化降低能耗。被动式房屋的保温层厚度达200mm，气密性换气次数 <0.6 次/小时，节能率超90%。被动式设计还包括合理的建筑体型系数控制，避免复杂的建筑造型增加散热面积；以及高效的门窗系统设计，采用高性能的密封胶条和五金件，进一步提高门窗的气密性能。



图1 绿色建材与模块化建造概念图

可再生能源集成：光伏-建筑一体化（BIPV）与地源热泵技术广泛应用。嘉兴市海盐县邻里中心项目光伏系统年发电量7.69万kWh，减排CO₂66.5吨。除了常见的光伏和地源热泵，还可以结合其他可再生能源，如太阳能热水系统、生物质能利用等，根据当地资源条件进行综合配置，提高可再生能源的利用效率。

智能管控系统：基于物联网与AI的能耗管理。腾讯智慧建筑系统通过实时数据分析，实现办公大楼能耗降低20%~30%。智能管控系统可以实时监测建筑内各区域的能耗数据，包括电力、燃气、水等，通过人工智能算法对数据进行分析预测，自动调整设备运行参数，实现能源的优化分配和精准控制^[2]。

二、低碳建筑设计的关键技术路径

（一）被动式技术应用

围护结构优化：

高效保温：采用真空绝热板（VIP）与自保温墙体，导热系数 <0.025 W/(m·K)。真空绝热板具有优异的保温性能，但其制作工艺复杂，成本较高，在实际应用中需要考虑经济性和施工可行性；自保温墙体则可以与建筑结构一体化设计，减少施工工序，提高建筑的整体保温效果。

气密性提升：门窗采用三玻两腔Low-E玻璃，传热系数 ≤ 0.8 W/(m²·K)。同时，在门窗安装过程中，要注意缝隙的密封处理，采用专用的密封胶和密封条，确保门窗与墙体之间的气密性。

自然通风与采光：

风环境模拟：通过 CFD 技术优化建筑间距，如博鳌东屿岛项目利用智能风塔实现自然通风效率提升 40%。CFD 技术可以模拟不同季节、不同风向条件下建筑周围的风场分布，帮助设计师优化建筑布局和形态，引导自然风进入室内，提高室内通风效果。

采光设计：导光管与反光板结合，减少日间照明能耗 50%。导光管可以将室外的自然光引入室内较深处，解决传统采光方式难以覆盖区域的照明问题；反光板则可以将光线反射到需要照明的区域，提高光线的利用率^[3]。

（二）可再生能源系统集成

光伏技术：

建筑光伏一体化：重庆国际生物城项目光伏覆盖率超 60%，年发电量 1625 万 kWh。建筑光伏一体化不仅要考虑光伏板的发电效率，还要注重其与建筑外观的融合，使其成为建筑的一部分，而不是简单的附加物。可以采用光伏瓦、光伏幕墙等形式，在满足建筑美观要求的同时实现光伏发电功能。

光储直柔：博鳌近零碳示范区采用全钒液流储能系统，实现电力供需动态平衡。光储直柔技术可以将光伏发电、储能、直流配电和柔性控制相结合，提高电力系统的稳定性和灵活性，减少对传统电网的依赖。

地源热泵：

夏热冬暖地区应用土壤源热泵，能效比(COP)达 4.5，较传统空调节能 40%。地源热泵系统的设计需要考虑土壤的热物性、地下换热器的布置方式等因素，以确保系统的高效运行。同时，还可以与其他能源系统相结合，如太阳能辅助地源热泵系统，进一步提高能源利用效率。

（三）智能低碳管控

能耗监测：

建筑能源管理系统(BEMS)实时采集数据，如海南希格纳斯国际潜水中心项目通过智能电表实现分项能耗分析。能耗监测系统可以对建筑内的各类设备进行实时监测，包括空调、照明、电梯、给排水等，采集设备的运行参数和能耗数据，为能源管理提供准确的依据。

AI 优化控制：

腾讯微瓴能效系统通过机器学习算法，动态调整空调与照明参数，降低运行能耗 15%。AI 优化控制可以根据不同的场景和需求，自动调整设备的运行模式和参数，如根据室内人员数量和活动情况调整空调的温度和风量，根据室外光照强度自动调节照明亮度等。

三、典型案例分析

（一）国内案例：重庆国际生物城配套公寓

技术亮点：

采用“生物细胞”形态设计，体形系数 <0.25 ，减少热损失。该建筑的外形设计灵感来源于生物细胞，通过独特的造型和布局，降低了建筑的散热面积，提高了建筑的保温性能。

高效新风热回收系统，热回收率 $>80%$ ，年节能

32.5kWh/m²。新风热回收系统可以在引入室外新鲜空气的同时，回收室内排出空气的热量或冷量，减少空调系统的能耗。

效益评估：

运行阶段年节约约 1625 万 kWh，减排 CO₂ 排放 1.3W 余吨。通过采用一系列低碳技术和措施，该建筑在运行过程中实现了显著的节能减碳效果。

增量成本约 800-1200 元/m²，虽然该建筑的建设成本比传统建筑有所增加，但从长期来看，通过节能效益的积累，投资可以在较短时间内收回。该项目有效地推动了建筑行业在低碳技术方面的发展与创新。

（二）国际案例：美国孟菲斯城市复兴零碳改造项目

创新实践：

改造旧商业建筑，采用光伏+空气源热泵，实现净零能耗。该项目将一座废弃的商业建筑进行改造，通过安装大量的光伏板和高效的空气源热泵系统，满足了建筑的能源需求，实现了零碳排放。

年能源节省成本超过 9600 美元，预测投资回收期 <10 年。通过对旧建筑的改造和可再生能源的应用，该建筑不仅实现了环保目标，还带来了显著的经济效益。

经验启示：

存量建筑改造潜力巨大，需结合地域资源优化技术路径。对于存量建筑的改造，要充分考虑当地的气候条件、资源状况和建筑现状，选择合适的低碳技术和改造方案，以实现最佳的节能减碳效果。

四、挑战与对策

（一）技术瓶颈

高成本制约：超低能耗建筑增量成本占比 20%-25%，需政策补贴与技术创新降低成本。目前，一些低碳技术和产品的成本较高，如高性能的保温材料、光伏组件、储能设备等，这使得低碳建筑的建设成本大幅增加。政府可以通过制定补贴政策、税收优惠等措施，鼓励企业采用低碳技术和产品；同时，科研机构和企业应加强技术创新，提高生产效率，降低生产成本。

技术集成复杂：多系统协同需跨学科合作，如霍尼韦尔智慧建筑系统整合机电与弱电技术。低碳建筑涉及多个技术系统，如被动式围护结构、可再生能源系统、智能管控系统等，这些系统之间需要进行有效的集成和协同工作。这就需要建筑、能源、电气、自动化等多个学科的专业人员进行合作，共同解决技术集成过程中出现的问题。

（二）政策与市场障碍

标准体系不完善：需加快制定近零能耗建筑设计规范，如《博鳌近零碳示范区创建技术标准》。目前，我国在低碳建筑领域的标准体系还不够完善，缺乏统一的设计、施工和验收标准，这给低碳建筑的推广和应用带来了一定的困难。相关部门应加快制定和完善低碳建筑标准体系，为低碳建筑的发展提供技术支撑。

公众认知不足：通过碳普惠机制提升参与度，如浦东新区碳积分政策。许多公众对低碳建筑的概念和优势了解不足，缺乏对低碳建筑的认同感和接受度。政府和企业可以通过开展宣传教育活动、建立碳普惠机制等方式，提高公众对低碳建筑的认知和参与度。

（三）对策建议

强化政策激励：

对超低能耗建筑给予容积率奖励与税收优惠。政府可以对采用超低能耗技术的建筑给予一定的容积率奖励，鼓励开发商建设低碳建筑；同时，对低碳建筑的建设和运营给予税收优惠，降低企业的成本压力。

推广绿色金融产品，如碳债券与绿色信贷。金融机构可以开发多样化的绿色金融产品，为低碳建筑项目提供资金支持，降低项目的融资成本。

技术创新突破：

研发低成本光伏材料与高效储能技术。科研机构和企业应加大对光伏材料和储能技术的研发投入，提高光伏电池的转换效率，降低储能设备的成本，提高可再生能源的稳定性和可靠性。

推动建筑信息模型（BIM）与数字孪生技术应用。BIM技术可以实现建筑全生命周期的信息化管理，数字孪生技术可以对建筑进行实时模拟和优化，两者的结合可以提高低碳建筑的设计、施工和运维效率。

公众教育普及：

开展低碳建筑科普活动，如“绿色建筑开放日”。通过组织公众参观低碳建筑项目、举办讲座和培训等方式，向公众普及低碳建筑的知识和理念，提高公众的环保意识。

建立碳足迹公示平台，增强社会监督。建立碳足迹公示平台，将建筑的碳排放数据进行公开，接受社会监督，促使企业和个人积极采取低碳行动。

五、低碳建筑设计的前沿发展与跨界融合

（一）智能建造与低碳设计协同

随着数字技术的发展，智能建造技术与低碳建筑设计的融合成为新趋势。3D打印建筑技术通过精准控制材料用量，减少建筑材料浪费，降低施工阶段碳排放。例如，上海张江科学城的3D打印建筑项目，相比传统建造方式减少了20%的建筑材料损耗。此外，机器人施工技术能够提高施工精度和效率，降低人工操作带来的能源浪费与碳排放。智能建造与低碳设计的协同，不仅优化了建筑生产过程，还为低碳建筑大规模、高质量发展提供了技术保障。

（二）低碳社区规划与建筑集群效应

从单体建筑低碳设计向低碳社区规划延伸，能够发挥建筑集群的协同效应。低碳社区通过合理的功能布局，缩短居民日常出行距离，减少交通碳排放。在空间规划上，采用“15分钟生活圈”理念，将居住、商业、教育、医

疗等功能高度混合，如杭州亚运村通过高密度的社区规划，使90%的生活需求可在步行范围内满足，减少机动车出行频次。同时，构建多层次的慢行交通系统，设置连续的自行车道与生态步道，并配备共享交通工具站点，深圳光明科学城低碳社区通过完善的慢行网络，使非机动车出行比例提升至65%。

在能源管理方面，低碳社区采用区域能源共享系统，整合太阳能、地热能等可再生能源，实现能源的统一供应与调配。社区级微电网技术成为核心，通过储能装置与智能控制平台，实现能源在不同建筑间的动态流转。例如，深圳光明科学城低碳社区构建的区域微电网，采用分布式光伏与地源热泵相结合的方式，将多余电力储存于锂电池组，夜间再输送至负荷较高的建筑，实现社区内建筑之间的能源互补，可再生能源自给率达到35%。同时，社区引入能源互联网技术，通过区块链实现能源交易与结算，激发用户参与节能的积极性。

（三）低碳建筑与城市更新融合

在城市更新进程中，将低碳理念融入老旧建筑改造具有重要意义。除了对建筑本身进行节能改造，还可通过加装光伏设备、优化建筑外立面等方式，提升建筑的低碳性能。同时，城市更新项目可结合周边公共设施的低碳化升级，如建设新能源充电桩、推广低碳公共交通等，形成区域低碳发展合力。例如，北京首钢园区的改造项目，不仅对工业建筑进行了低碳化改造，还配套建设了绿色交通体系和可再生能源设施，成为城市更新与低碳发展融合的典范。

结语

低碳理念在民用建筑设计中的应用是实现“双碳”目标的关键路径。通过被动式设计、可再生能源集成与智能管控技术的深度融合，可显著降低建筑能耗与碳排放。随着智能建造、低碳社区规划等前沿领域的发展，以及低碳建筑与城市更新的深度融合，建筑行业的低碳转型将迈向新的阶段。未来需持续加强政策引导、技术创新与公众参与，推动建筑行业向零碳转型。建议优先在经济发达地区开展近零能耗建筑规模化示范，形成可复制的技术标准与商业模式，为全球建筑低碳发展提供中国方案。

参考文献

- [1] 韩明, 孙豪, 王杰, 等. 绿色施工理念在超高层建筑中的实践与创新[J]. 新城建科技, 2025, (03): 73-75.
- [2] 潘迪迪. 绿色建筑理念在现代建筑室内设计中的实践应用[J]. 居舍, 2025, (09): 7-9.
- [3] 黄超, 杨晓. 绿色低碳理念在居住区设计中的应用[J]. 居舍, 2025, (09): 121-122+126.

作者简介：曹嫩，1987年9月，女，河南，本科，中级工程师，研究方向：绿色低碳与可持续发展。