

低碳理念下城市综合体绿色空间系统构建策略研究

刘宇航

上海现代建筑规划设计研究院有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i3.13654

[摘要] 本论文以现象学建筑学为哲学根基,以建筑物理环境调控为科学内核,构建低碳理念下城市综合体绿色空间系统的“认知-分析-设计-评价”全链条研究框架。通过解析空间形态与气候能量流的交互机制、土建构造的热工性能演进规律、被动式技术的系统集成逻辑,提出基于“气候现象学描述-物理场域建模-构造技术转译-行为能效耦合”的四维设计方法。研究突破传统技术叠加模式,建立绿色空间系统的低碳性能量化评价体系,为城市综合体的可持续设计提供兼具理论深度与实践操作性的方法论指引。

[关键词] 低碳理念; 城市综合体; 土建空间; 被动式节能; 现象学建筑学; 物理场域建模

中图分类号: V552+.4 **文献标识码:** A

Research on construction strategies of green space system in urban complex under the concept of low carbon

Yuhang Liu

Shanghai Modern Architectural Planning and Design Institute Co., LTD

[Abstract] This paper is grounded in phenomenological architecture and centers on the scientific core of physical environmental regulation in buildings. It constructs a comprehensive research framework for the "cognition-analysis-design-evaluation" chain of green space systems in urban complexes under low-carbon concepts. By analyzing the interaction mechanisms between spatial forms and climatic energy flows, the thermal performance evolution of civil construction, and the system integration logic of passive technologies, it proposes a four-dimensional design method based on "climatic phenomenological description-physical field modeling-construction technology translation-behavioral energy efficiency coupling." The study breaks through traditional technological superposition models and establishes a quantifiable evaluation system for the low-carbon nature of green space systems, providing a methodology that combines theoretical depth with practical operability for sustainable design in urban complexes.

[Key words] low carbon concept; urban complex; civil space; passive energy saving; phenomenological architecture; physical field modeling

1 低碳转型的空间哲学思辨

1.1 从“能源殖民”到“气候共生”的范式革命

工业革命以来,建筑空间作为能源消耗的“容器”,形成了“机械制冷+人工照明”的高碳依赖模式。据IEA数据,全球建筑运行阶段碳排放中,暖通空调占40%、照明占20%(2024)。城市综合体作为资本与技术密集型空间,其设计逻辑亟需从“征服自然”转向“气候共生”,通过土建空间的气候适应性重构,建立建筑与环境的能量平衡关系。

1.2 现象学建筑学的低碳认识论

现象学认为,空间体验与自然现象紧密相关。在低碳理念下,绿色空间应成为“气候现象的展示场”:视觉上,通过冬季阳光

透入中庭、夏季绿植遮阳形成的光影变化,让人感知季节更替;体感上,利用自然通风带来的温度变化(如皮肤感受到的微风凉爽),替代机械空调对环境的“强制控制”;生态上,雨水花园的水流声、植物的气味等多感官体验,让人直观感受低碳场景。这种设计让气候现象通过视觉、体感、生态等体验自然呈现,使绿色空间既实用又能让人亲近自然、理解低碳。

1.3 研究方法论: 物理场域建模与构造诗学的融合

本研究采用“定量分析+定性建构”的混合方法论:

1.3.1 物理场域建模: 运用Ladybug Tools、EnergyPlus等

软件,对太阳辐射、风场、热流进行数值模拟,建立空间形态与节能性能的参数关联。

1.3.2构造诗学：从材料质感(如透水砖的粗糙表面增强雨水渗透体验)、空间序列(如通风廊道的引导性设计)切入,实现技术理性与场所精神的统一。

2 绿色空间系统的低碳化认知框架

2.1建筑空间的能量代谢理论

本研究构建的绿色空间系统以自然能源禀赋为基础,通过“输入—转化—输出”三层架构实现气候适应性设计：输入层整合年均5000MJ/m²的太阳辐射、3–5m/s的年均风速及地下5m深处恒温15℃的地热能等可再生能源资源,形成低碳能量供给基础；转化层依托传热系数 $U \leq 0.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 的高性能围护结构(如复合保温墙体、Low-E中空玻璃)及叶面积指数 $\text{LAI} \geq 5$ 的立体绿化界面(如垂直绿墙、屋顶花园),实现对太阳辐射热、风能及地热能的高效捕获与转化——前者通过阻断热桥、减少冷损失提升能源利用率,后者借助植被蒸腾降温、叶片遮阳及气流引导优化微气候；输出层则聚焦人体舒适需求,通过能量转化后的系统调适,实现室内热环境(PMV-PPD指标控制在 ± 0.5 以内)、光环境(照度维持300–500lx适宜区间)及风环境(风速稳定在0.3–0.8m/s舒适范围)的精准优化,最终构建从自然能源输入到人居环境输出的低碳能量闭环系统。

本研究构建的循环体系以水资源、碳、废弃物三大维度为核心,形成系统性低碳技术闭环水资源循环：依托雨水收集效率 $\geq 90\%$ 的屋顶虹吸系统与渗透系数 $\geq 10^{-3} \text{ cm}/\text{s}$ 的生态铺装；碳循环依靠每m²年固碳量2.3kg(藤蔓+苔藓)的垂直绿墙复合植被系统；废弃物循环借助容积效率 $\geq 0.8 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 的地下密闭发酵仓实现厨余垃圾全量堆肥。

2.2被动式节能的技术演进逻辑

建筑节能技术从“单一构件”走向“系统集成”,经历三个阶段：1.0时代以单一构件(如遮阳百叶)应用为特征,典型案例为早期现代主义建筑,节能率10–15%；2.0时代发展为通风、遮阳、保温等多技术协同,德国被动房原型是代表,节能率达50–60%；3.0时代实现空间、技术与行为的耦合,如新加坡“超级树”综合体,节能率超70%。

绿色空间系统的技术集成需统筹时空双重维度：时间维度通过可调节通风口、活动遮阳与季节性植被配置实现动态气候响应,例如冬季关闭通风界面并启用相变蓄热墙体,夏季开启导风构造与蒸发冷却系统,年节能效率提升15%–20%；空间维度构建垂直梯度协同体系(屋顶光伏发电–中层空中花园碳汇–地面透水铺装径流调控)与水平向功能耦合网络(外围遮阳界面减少热辐射–中庭风压驱动空气对流–内庭导光井增强自然采光),通过时空耦合的动态调控机制,形成全年综合节能效率 $\geq 25\%$ 的立体低碳系统。

2.3绿色空间的现象学属性

2.3.1气候感知的空间叙事。春季：通过可开启天窗引入花香,自然通风路径串联商业动线与绿化庭院；夏季：垂直绿化墙面形成阴影走廊,喷雾系统营造体感降温3–5℃的“微气候隧道”；秋季：屋顶花园植被色彩变化提示季节更替,导光管将斜

射阳光引入地下商业空间；冬季：阳光透过Low-E玻璃加热中庭空气,形成温度比周边高2–3℃的“热力客厅”。

2.3.2身体尺度的节能体验。触觉：采用导热系数 $\leq 0.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的木塑复合材料座椅,避免金属材质的冬季冷感；听觉：流水景墙的白噪音(声压级30–40dB)掩盖机械通风噪音,提升空间舒适度；嗅觉：芳香植物(如迷迭香、薄荷)的挥发性物质,可使人体应激激素皮质醇降低15%(环境心理学研究,2023)。

3 现存问题的多维度解析

3.1空间形态的现象学断裂

3.1.1气候感知的碎片化。玻璃幕墙建筑缺乏遮阳过渡空间,夏季室内外温差达15℃以上,导致人体热适应能力退化；绿化空间与功能区域动线脱节,实测显示仅有23%的使用者会主动进入屋顶花园。

3.1.2能量流的非连续性。建筑进深 $> 20\text{m}$ 时,自然采光覆盖率 $< 30\%$,人工照明能耗占比超40%；通风廊道宽度 $< 2\text{m}$ 时,风速衰减至0.2m/s以下,机械通风开启时间增加50%。

3.2土建造作的技术伦理困境

绿色技术应用面临生态效益与空间品质的深层矛盾：材料层面,传统保温材料(如EPS泡沫)生产阶段碳排放高达800kgCO₂/m³,需20年运行方能抵消,而高反射率金属遮阳构件(光反射率 > 0.7)引发的眩光污染(眩光指数 > 28)违背生态伦理；构造层面,垂直绿化幕墙接缝的外露螺栓固件破坏立面连续性,雨水花园硬质混凝土驳岸阻隔水体自然渗透,暴露出生态技术应用中空间美学与工程逻辑的割裂,亟需通过精细化设计实现生态性能与空间体验的协同优化。

3.3被动式技术的认知偏差

绿色技术实施面临工具理性与空间感知的错位：自然通风系统过度聚焦节能指标,忽视中庭气流组织对社交行为的引导价值；导光管设计片面追求照度达标(300lx),却因眩光值 > 19 导致视觉疲劳。同时,性能评估体系存在短视缺陷,设计阶段标定的50%节能率在运行中衰减至32%,垂直绿墙因未计入植物生长周期,3年后遮阳效率下降40%,暴露出技术工具体化与生态过程动态性间的深层矛盾。

4 低碳空间系统的建构策略：从物理模型到现象学空间

4.1气候现象学导向的空间生成

4.1.1太阳轨迹的空间转译。绿色空间系统通过季节性调控实现气候适应：冬至日采用南向无遮挡玻璃幕墙形成“阳光陷阱”,结合内置电加热丝(功率 $\leq 15 \text{ W}/\text{m}^2$)提升中庭温度5–8℃并防止冷凝；夏至日部署东西向可旋转绿化模块(0–120°),依托底部低摩擦滚珠轴承(摩擦系数 ≤ 0.01)实现风驱自适应遮阳,通过时空耦合的被动式技术,全年综合节能效率提升18%–22%。

4.1.2风环境的现象学设计。穿堂风系统通过首层6–8m通风拱廊串联城市与庭院空间,结合水洗石铺装($R_a = 6.3 \mu\text{m}$)的地面触感增强气流感知；热压通风中庭采用3:1高宽比与锥形拔风塔(喉部风速 $\geq 2 \text{ m}/\text{s}$),配合穿孔吸声板($\text{NRC} = 0.75$)将通风噪音控

制在45dB以下,实现物理效能与空间体验的协同优化。

4.2 土建构造的生态技术革新

呼吸式围护结构体系采用三层复合构造:外层为30mm厚镂空陶板(孔隙率40%,遮阳系数0.4),形成空气导流通道;中间层是50mm相变材料层(相变温度22-26℃),可吸收日间热量夜间释放;内层为200mm再生混凝土墙(碳足迹较传统混凝土降低35%),表面喷涂光触媒涂料(甲醛降解率80%)。其性能表现为夏季室内温度波动 $\leq 3^{\circ}\text{C}$,空调启停频率降低60%。

垂直绿化承重体系由三部分构成:主体结构采用铝合金桁架(含钢量 $\leq 80\text{kg}/\text{m}^2$),节点配弹簧减震器(位移允许值 $\pm 5\text{mm}$);种植模块为蜂窝状陶土容器(吸水率20%),内置缓释肥胶囊(肥效持续12个月);安全设计包括防坠落网(网孔尺寸 $\leq 20\text{mm}$),风荷载设计值取 $1.5\text{kN}/\text{m}^2$ (基本风压 $0.55\text{kN}/\text{m}^2$,放大系数2.7)。

4.3 被动式技术的行为能效耦合

通过空间引导与智能控制耦合提升能效:设置可视化“气候仪表盘”驱动用户主动调节通风口,使自然通风使用率提升40%;智能系统运用神经模糊算法($\alpha = f(T_{\text{out}}, I, \text{RH}, v)$)动态调节遮阳百叶,配合人体红外感应通风装置(响应 $\leq 5\text{s}$),实现18%的额外节能增益。行为激励机制将临窗工位照度(每+100lx降低3%出错率)与绩效关联,形成空间感知与算法控制的闭环节能生态。

4.4 低碳性能的量化评价体系

在绿色空间的评估体系中,全生命周期评价(LCA)模型与现象学评价指标发挥着关键作用。全生命周期评价模型($\text{LCA} = \sum_{i=1}^n (C_{\text{material}, i} + C_{\text{construction}, i} + C_{\text{operation}, i} + C_{\text{demolition}, i})$)涵盖了从材料生产到建筑拆除的全过程。在材料生产阶段,优先选用运输距离 $\leq 500\text{km}$ 的本地建材,可有效降低20-30%的碳足迹;运营阶段设置精度达 $\pm 2\%$ 的能耗监测系统,能实时追踪绿色空间的节能贡献率。现象学评价指标则从用户体验角度出发,气候感知度通过问卷调研,要求用户对四季气候变化的感知清晰度量表评分 ≥ 4 分;身体舒适度借助Kestrel气象站实测PMV值,确保达标率 $\geq 90\%$;生态参与度通过记录用户年均参与绿地养护 ≥ 4 次/人的频次,反映低碳行为的养成程度。这些评价工具和指标共同助力全面、科学地评估绿色空间的环境效益与可持续性。

5 结论:低碳空间的现象学重构

5.1 研究的哲学超越

本研究超越传统“技术-效率”导向的低碳设计,建立以“人的气候体验”为核心的现象学设计范式。绿色空间系统不再是单纯的节能工具,而是成为“气候现象的诠释者”——通过空间形态的气候叙事、构造细节的感知强化、技术系统的行为耦合,使人在日常体验中建立与自然的能量对话,实现低碳理念从“强制规范”到“自觉意识”的转变。

5.2 技术体系的创新突破

5.2.1 构造技术:提出“呼吸式围护结构”“立体绿化承重体系”等新型构造模式,突破传统技术的功能割裂;

5.2.2 设计工具:创建“气候现象学描述—物理场域建模—构造技术转译”的参数化设计流程,让抽象理念到具体构造实现精准映射。

5.2.3 评价体系:建立涵盖LCA量化指标和现象学体验指标的双维度评价模型,改变现有标准对人文价值关注不足的问题。

5.3 未来研究的拓展方向

5.3.1 生物仿生学应用:根据蜂巢独特的热缓冲结构获得灵感,开发出具有自适应气候功能的多孔建筑表皮。能敏锐感知外界气候的变化,可以为建筑的内部创造更加舒适稳定的环境。

5.3.2 数字孪生技术:利用先进的技术为绿色空间系统打造精准的虚拟镜像,实时预测植物生长与设备运行对节能性能的影响;实现对绿色空间的智能化、精细化管理。

5.3.3 低碳教育空间:在城市综合体中设置“气候实验室”,设置互动装置来展示能量流动的原理,让公众在亲身参与和互动体验的过程中,不知不觉地培养公民的低碳意识,进而成为低碳生活的倡导者和践行者。

[参考文献]

[1]Heidegger M. Building Dwelling Thinking[M]. New York: HarperCollins, 1971.

[2]胡塞尔. 欧洲科学的危机与先验现象学[M]. 北京:商务印书馆, 2017.

[3]International Energy Agency(IEA). World Energy Outlook 2024[R]. Paris: IEA, 2024.

[4]中国建筑科学研究院. 建筑环境与能源应用工程设计规范(GB50736-2012)[S]. 北京:中国计划出版社, 2012.

[5]柳亦春. 现象学与建筑设计[J]. 时代建筑, 2022(4): 24-31.

[6]王建国. 城市综合体设计的生态转向[J]. 建筑学报, 2023(7): 1-9.

[7]ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ANSI/ASHRAE Standard 55-2017)[S]. Atlanta: ASHRAE, 2017.

[8]李道增. 环境行为学概论[M]. 北京:清华大学出版社, 2020: 124-156.

[9]德国被动房研究所. 被动房设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2023: 234-289.

[10]张彤. 复合构造——可持续建筑的技术诗学[M]. 南京:东南大学出版社, 2021: 345-387.

作者简介:

刘宇航(1994--),男,汉族,河南商丘人,硕士研究生,研究方向:公共建筑设计。