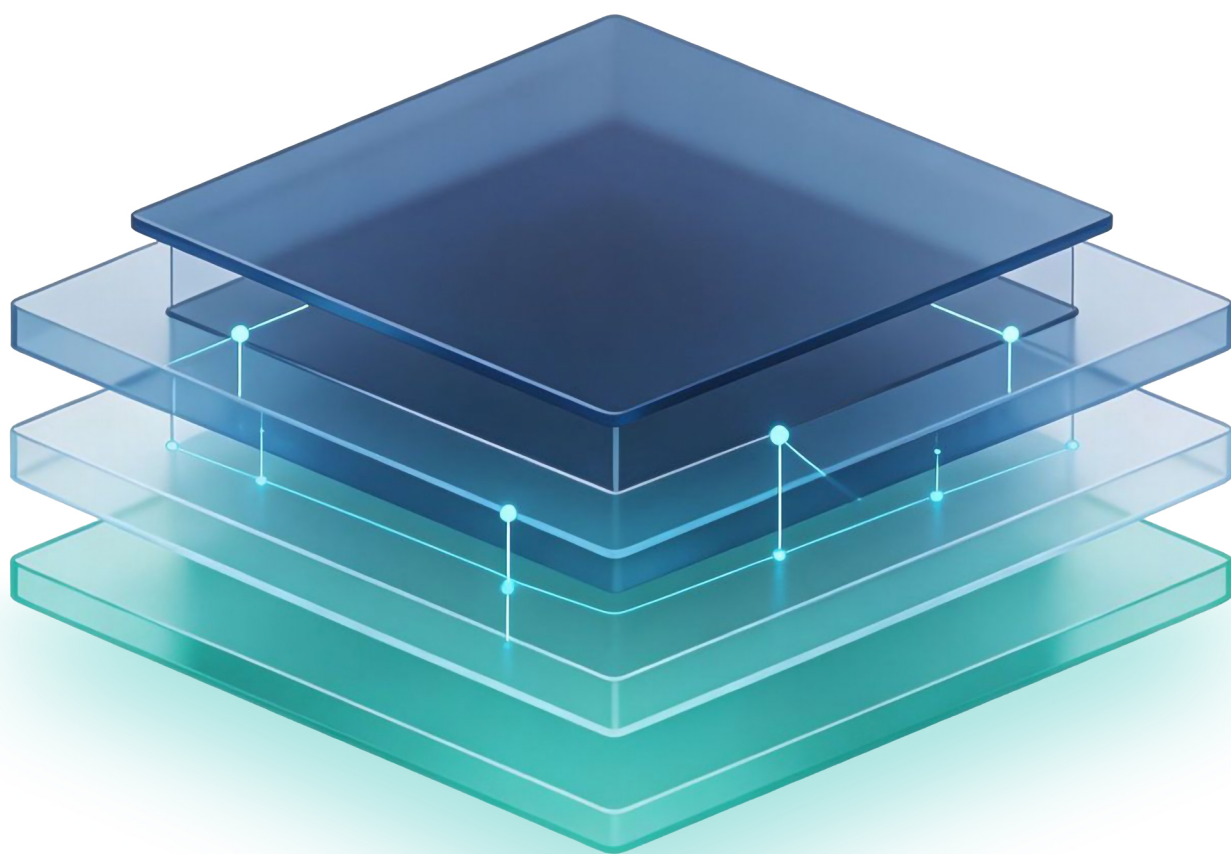


建筑空间智能运维技术白皮书

从人工经验到世界模型驱动运营革命

Version 1.0



目录

- 一、摘要
- 二、建筑运维现状与痛点
- 三、空间智能技术架构
- 四、核心产品能力
- 五、实测数据与效果
- 六、套餐体系与选型建议
- 七、行业趋势：碳排放双控下的建筑智能化路径
- 八、结论

一、摘要

建筑领域碳排放占全社会总量的28%以上，传统运维依赖人工经验和被动响应，存在数据孤岛、响应滞后、决策断层等系统性问题。本白皮书提出基于Spatial OS（空间智能操作系统）的建筑智能运维方案，通过“世界模型+Agent编排+控制安全”三层架构，实现从人工经验到世界模型驱动运营范式转换。Spatial OS构建建筑数字孪生的世界模型层，理解空间、设备、点位与业务的全域关系；通过Agent编排层实现自然语言到任务分解、工具调用的自主调度；结合S0-S5分级控制安全体系，确保系统可靠运行。实测表明，Spatial OS在典型商业建筑场景中实现暖通系统节能8%-25%，并配套M&V（测量与验证）方法论和“不达标退费”承诺，为建筑业主提供可量化、可信赖的能效服务。

二、建筑运维现状与痛点

当前建筑运维行业面临三大核心痛点，制约着建筑能效提升和碳排放降低的进程。

2.1 数据孤岛：系统林立，信息割裂

一栋典型的大型商业建筑内，BA系统、消防系统、安防系统、照明系统、电梯系统等子系统往往来自不同供应商，采用不同通信协议和数据标准。这些系统之间缺乏统一的数据共享机制，形成典型的“数据孤岛”现象。暖通空调（HVAC）作为建筑能耗的最大消耗者（约占总能耗的40%-60%），其可控变量超过200个，涉及温度、湿度、风速、冷热水流量、新风量、回风量等多个维度。然而，在数据孤岛格局下，运维人员无法获得跨系统的综合分析视角，导致大量的潜在节能空间被埋没。

2.2 响应滞后：从投诉到修复周期过长

传统运维模式下，设备故障的发现高度依赖于用户投诉。从用户感觉不适、发起投诉，到运维人员收到工单、赴现场排查、定位根因、执行修复，通常需要45至90分钟。对于大型商业综合体，这一周期可能更长。在这段时间内，不仅用户舒适度无法保障，故障设备还必然造成大量无效能耗。统计表明，暖通故障导致的商业建筑无效能耗每年超过4,500元/百平方米。随着建筑规模的增大，这一损失呈线性增长。

2.3 决策断层：经验依赖与知识流失

建筑运维长期以来高度依赖工程师的个人经验。资深运维工程师需要数年才能掌握一套复杂系统的调优技巧，而他们的知识往往难以系统化传承。当资深工程师离职或退休，大量的运维知识也随之流失。此外，HVAC系统运行时，全局次优能耗比最优值高出15%-30%，这是因为人工调优受限于以下因素：一是人的认知带宽无法同时处理200多个变量的实时变化；二是无法实时获取气象预测、电价信号、室内外热负荷等动态数据；三是缺乏对系统长期运行趋势的建模和预测能力。

三、空间智能技术架构

Spatial OS采用“世界模型+Agent编排+控制安全”三层架构，从底层数据建模到上层智能调度，形成完整的空间智能运维闭环。

3.1 世界模型层 (World Model Layer)

世界模型层是Spatial OS的认知底座，将建筑物理空间、设备系统和业务逻辑抽象为可计算的知识图谱。其核心能力包括：

- 空间关系建模：将建筑划分为楼层、区域、房间等空间单元，建立空间拓扑关系。例如，某楼层某区域的温度传感器与对应的空调末端、新风阀门形成空间关联。
- 设备图谱构建：为每一个设备建立数字孪生体，包含设备型号、参数规格、运行状态、维修记录、关联点位等信息。
- 业务逻辑映射：将运维管理流程、节能策略、用户行为等业务规则嵌入知识图谱，使设备调度不仅基于物理参数，还能理解业务优先级。
- 时序数据处理：通过标准化物模型接入IoT数据流，统一处理温度、湿度、流量、压力、功率等多模态时序数据，并进行数据清洗、异常检测和特征工程。

通过世界模型层，Spatial OS能够回答“某栋楼5层西北区域当前制冷负荷是多少”“哪个末端设备与当前投诉区域相关”“过去24小时某台空调机组运行效率变化趋势如何”等复杂空间查询。

3.2 Agent编排层 (Agent Orchestration Layer)

Agent编排层是Spatial OS的决策中枢，基于大语言模型和领域知识库实现自然语言理解与任务自主调度。其核心机制包括：

- 自然语言交互：运维人员可以通过日常语言与系统对话，无需掌握专业编程语言或SQL查询语法。例如“帮我查一下5楼有没有异常温区”或“对3号冷机做能效基线校准”。
- 任务分解与规划：接收用户意图后，Agent自动将复杂任务分解为可执行的子任务序列，并按依赖关系编排执行顺序。
- 工具调用：Agent拥有调用世界模型层API、设备控制接口、数据分析引擎等工具的权限，能够在授权范围内自主执行任务。
- 多Agent协作：不同的业务Agent（如DiagnosticsGpt负责故障诊断、EnergyGpt负责能效优化、OMGpt负责运维管理）可按需协同工作，共享上下文信息。

Agent编排层的核心设计原则是“人在环中 (Human-in-the-Loop)”——对于高风险操作，Agent生成建议方案后必须等待人工确认才能执行。

3.3 控制安全层 (Control Safety Layer)

控制安全层是Spatial OS的安全底板，确保智能系统在任何情况下都不会对建筑设备和人员安全构成威胁。采用S0-S5六级分级控制体系：

安全等级	名称	描述	操作权限
S0	完全手动	操作人员直接控制，系统仅提供信息展示	手动操作
S1	半自动建议	Agent生成建议，需人工确认后执行	建议+确认
S2	监督自动	Agent执行常规操作，重要操作需人工确认	自动+重点确认
S3	条件自治	Agent在预设边界内自主运行，超限自动回退	受控自治
S4	区间自治	Agent在安全区间内自主寻优，区间外降级	区间内自主
S5	全自治	Agent全面自主运行，持续自检，紧急隔离	完全自主

系统默认运行在S2级别（监督自动），对于节能优化等场景可提升至S4级别（区间自治），如需全自治运行则需经过严格的安全评估。每个安全级别的切换都会被记录到审计日志中。

四、核心产品能力

Spatial OS包含四大产品模块，分别覆盖故障诊断、能效优化、运维管理和碳综合服务，形成完整的建筑智能运维能力矩阵。

4.1 DiagnosticsGpt——智能故障诊断引擎

DiagnosticsGpt是基于空间世界模型的智能故障诊断工具，实现对建筑设备系统从故障感知到根因定位再到维修建议的全流程智能化管理。

核心能力：

- 实时异常检测：基于世界模型的时序数据流，通过多维度规则引擎和统计模型实时识别设备运行异常，检测范围覆盖温度偏离、压力超限、能效衰减、振动异常等数十种故障模式。
- 故障根因定位：利用空间知识图谱中的关联关系，自动追溯故障根源。例如，当某区域温度异常时，系统不仅报告该传感器异常，还能追溯至对应空调末端、冷源设备甚至冷却塔，判断是否为冷源侧性能衰减导致的连锁反应。
- 维修建议生成：结合设备档案和历史维修记录，针对不同故障类型给出分级维修建议——从远程参数调整到部件更换决策，并标注建议的紧急程度和预期处理时间。
- 故障知识库沉淀：每一次故障处理过程形成案例存入知识库，持续丰富系统的诊断经验，形成“越用越准”的正向循环。

4.2 EnergyGpt——能效优化与负荷预测引擎

EnergyGpt专注于建筑能效的提升，通过机器学习模型实现荷载预测、策略寻优和节能效果量化评估。

核心能力：

- 负荷预测：融合气象预报数据（温度、湿度、太阳辐射、风速）、历史运行数据、人员作息规律等多源数据，对未来24-72小时的建筑冷热负荷进行预测，预测精度可达90%以上。

- 能效优化策略：基于负荷预测结果，结合HVAC系统的设备特性曲线、电价信号（分时电价、需量电价），通过优化算法搜索全局最优控制策略集。策略覆盖冷冻水出水温度设定、冷却塔风机转速调节、空调末端风机变频控制、新风量优化等多个维度。
- 削峰填谷：利用建筑热惰性，在电价低谷期预冷/预热，在电价高峰期释放蓄能，有效降低电力需求量费用。
- 能效基线建立：对每栋建筑建立个性化的能效基线模型，作为后续节能效果对比的基准参照。

4.3 OMGpt——运维管理与工单引擎

OMGpt (Operations Management Gpt) 提供智能运维管理能力，覆盖工单管理、巡检调度、资产生命周期管理、KPI看板等功能。OMGpt通过Agent编排层与其他模块协作，实现“故障发现→自动诊断→工单派发→维修跟踪→效果验证”的闭环管理。

4.4 CarbonGpt——碳综合管理引擎

CarbonGpt提供建筑碳排放的监测、核算、报告和优化能力。支持按空间维度（建筑/楼层/区域）、时间维度（日/月/年）和设备维度（冷机/锅炉/照明）进行碳排放核算，自动生成符合相关标准的碳排放报告。CarbonGpt与EnergyGpt联动，可量化每个节能策略对应的碳减排量，为建筑参与碳交易或碳资产管理提供数据支撑。

4.5 产品协同矩阵

场景	主导产品	协作产品	安全等级
空调末端温度异常	DiagnosticsGpt	OMGpt（派单）	S1
日间能效优化调度	EnergyGpt	CarbonGpt（碳核算）	S3
季度碳排放报告	CarbonGpt	EnergyGpt（数据源）	S0
预防性维护计划	OMGpt	DiagnosticsGpt（诊断数据）	S2
电力需量管理	EnergyGpt	OMGpt（告警）	S4

五、实测数据与效果

Spatial OS采用国际通行的IPMVP（国际性能测试与验证协议）框架，建立了严格的M&V（测量与验证）方法论，确保节能效果的量化过程科学、透明、可审计。

5.1 M&V方法论

M&V流程分为四个阶段：

阶段一——基线建立：收集改造前至少12个月（或不少于3个月的运行数据）的建筑运行数据，建立能效基线模型。基线模型需考虑室外天气、设备工况、入住率等影响因素，确保基线具有代表性。

阶段二——方案设计：基于基线分析，设计节能改造方案并通过EnergyGpt仿真验证预期效果。方案需明确边界条件（哪些系统纳入节能范围）和调整因子（不可控变量变化的处理方法）。

阶段三——实施与监测：在节能措施实施后，持续监测关键运行参数，采集周期不少于3个月（覆盖不同气候工况）。EnergyGpt实时对比实际运行数据与基线模型预测值，计算节能量。

阶段四——报告与审核：生成M&V报告，包含节能量计算、调整因子说明、不确定性分析等内容，供第三方审计验证。

5.2 实测范围与指标

在典型商业建筑场景中的应用表明，Spatial OS在暖通系统领域可实现8%-25%的节能效果。节能效果受以下因素影响：

影响因素	节能效果区间	说明
建筑类型	8%-18%	办公楼节能潜力低于商场/医院
气候区域	10%-25%	夏热冬冷地区潜力最大
设备现状	8%-22%	老旧设备节能空间更大
现有自动化水平	8%-15%	已有BA系统的提升空间相对收窄
运维管理水平	8%-20%	管理较粗放的建筑提升更显著

5.3 不达标退费承诺

Wuvee.Ai对Spatial OS的能效服务做出“不达标退费”的承诺：如果在合同约定的M&V周期内，实际节能效果未达到约定的最低节能率，将按照合同条款退还当期服务费用。这一承诺基于以下三点支撑：

第一，世界模型层确保了建筑数字孪生的精度，能效基线建立过程科学严谨；

第二，EnergyGpt的负荷预测和策略优化能力经过了大量项目验证，算法可靠性得到充分验证；

第三，S0-S5分级控制安全体系确保了节能策略的落地执行不会被人工干预随意覆盖。

六、套餐体系与选型建议

Spatial OS提供灵活的套餐体系，适配不同规模、不同需求的建筑运维场景。以下从适用场景、核心功能和服务内容三个维度进行对比分析。

套餐名称	适用建筑规模	核心功能
Starter 启航版	≤5,000㎡单体建筑	基础监控+DiagnosticsGpt基础版+OMGpt
Pro 专业版	5,000㎡-3万㎡	全模块+EnergyGpt标准版+S3控制
Enterprise 企业版	3万㎡-20万㎡	全模块+S4控制+碳管理+定制报告
Zero Carbon 零碳版	有碳管理需求的建筑	CarbonGpt深度版+碳核算+交易对接
Private Cloud 私有化	大型企业集团/园区	全栈私有化部署+全产品线
Agentic Ops 运维托管	全面托管运维需求	7×24运维+全Agent闭环管理

6.1 选型建议

- 小型单体建筑（≤5,000㎡）：Starter启航版即可满足基础运维和故障诊断需求，性价比突出。
- 中型商业建筑（5,000㎡-3万㎡）：Pro专业版提供完整的能效优化功能，投资回收期通常不超过12个月。
- 大型建筑或建筑群（3万㎡-20万㎡）：Enterprise企业版覆盖碳管理和定制化报告需求，适合有ESG披露需求的企业。
- 有碳中和目标的企业：Zero Carbon零碳版侧重碳资产管理，与能源管理形成双轮驱动。
- 数据安全敏感的大型企业：Private Cloud私有化方案满足本地化部署需求。
- 希望减少运维团队编制的企业：Agentic Ops运维托管实现全托管服务。

七、行业趋势：碳排放双控下的建筑智能化路径

2024年8月，国务院发布重要政策，推动能源消费结构从能耗双控向碳排放双控转变。这一政策转向对整个建筑行业的运维管理模式产生深远影响。

7.1 碳市场扩围加速

2025年，全国碳市场已扩围至水泥、电解铝、钢铁等高耗能行业。根据政策路线图，建筑行业预计在2028年至2030年间被正式纳入全国碳市场。这意味着，届时建筑面积超过一定门槛的建筑将被强制要求进行碳排放核算、报告和履约。对于建筑业主而言，从现在开始布局碳排放管理能力，既是应对监管需求的前瞻性投资，更是在碳资产定价权博弈中获取先发优势的战略选择。整个建筑运行环节的碳排放总量约21亿吨CO₂/年，占全社会比重约28%，建筑领域碳排放双控的推进将对相关行业产生深远影响。

7.2 建筑运维的智能化拐点

在碳排放双控的政策框架下，建筑运维正从“成本中心”向“价值中心”转变。传统建筑运维的核心任务是维持设备正常运行，支出被视为经营成本。而在碳约束下，能效优化和碳减排直接转化为可量化的经济效益：

- 节电产生直接电费节省；
- 碳减排量可在碳市场交易获取收益；

- 能效提升降低设备损耗，延长设备寿命；
- 智能运维减少人工巡检频次，降低人力成本；
- 碳排放合规避免处罚风险。

综合测算，对于一栋10万平方米的商业建筑，通过Spatial OS实现15%的节能率，每年节约电费约50-80万元，叠加碳交易收益预期，综合经济效益显著。

7.3 从能耗监测到碳排放空间智能

目前大部分建筑的智能化水平仍停留在“能耗监测”阶段——即通过智能电表、水表等计量设备展示能耗数据，系统缺乏分析和决策能力。未来的方向是由被动监测向主动运营转变：

- 第一阶段（当前）：能耗数据采集与可视化展示；
- 第二阶段（1-2年内）：基于世界模型的故障诊断与能效基线建立；
- 第三阶段（2-3年内）：Agent驱动的自动能效优化与碳管理闭环；
- 第四阶段（3-5年内）：多建筑协同的虚拟电厂与碳资产管理。

Spatial OS的三层架构设计已前瞻性地覆盖了第二至第四阶段的能力需求，使建筑运维团队可以按需、分阶段地开启智能化升级。

八、结论

建筑运维正经历从人工经验驱动到数据智能驱动的范式转换。全国建筑运行碳排放约21亿吨CO₂/年，占全社会比重约28%，建筑领域智能化升级不仅关乎企业运营效益，更关乎国家碳中和目标的实现。

Spatial OS通过“世界模型+Agent编排+控制安全”三层架构，为建筑运维提供了完整的技术底座。世界模型层构建了空间的认知图谱，使机器能够理解建筑中每个设备、每个点位、每个区域的关联关系；Agent编排层将这种理解转化为可执行的智能调度，让自然语言交互成为运维的默认范式；控制安全层以S0-S5六级分级体系确保智能系统在任何情况下都不会突破安全边界。

四大产品模块——DiagnosticsGpt（故障诊断）、EnergyGpt（能效优化）、OMGpt（运维管理）、CarbonGpt（碳管理）——覆盖了从故障排除到节能优化再到碳资产管理的全链条需求。实测验证节能效果达到8%-25%区间，并配套“M&V方法论+不达标退费”的承诺机制，确保效果可量化、可审计、有保障。

面向2028-2030年建筑行业纳入全国碳市场的政策节点，建筑业主应从现在开始部署碳排放管理基础设施。Spatial OS提供灵活的套餐体系，从3.6万/年的Starter启航版到整套赋能方案，适配不同规模、不同需求的建筑运营场景。

效果说话，不玩概念。空间智能运营，效果才是第一。



扫码获取更多方案



以空间智能运营 | 让城市更具价值

福建五维发展集团有限公司

Tel: 400-0039-395 **Mob:** 183 5018 3333 **E-mail:** Bs@wuvee.com **Web:** www.wuvee.com



官方公众号
@五维发展集团



视频号
@五维发展集团



抖音号
@五维发展集团



知乎
@五维发展集团



微博
@五维发展集团



小红书
@五维发展集团



头条
@五维发展集团