

基于数字化的建筑智慧运维

冯复汉，张增太

博锐尚格科技股份有限公司，北京 100192

DOI: 10.61369/TACS.2025110037

摘 要： 本文针对建筑智慧运维的现实困境，分析了资产信息不完整、设备风险失控、能源与碳管理粗放及机电系统低效运行等问题对“双碳”目标和建筑可持续发展的制约，提出数字化转型是关键破局路径。通过建立统一数据标准，依托数字孪生技术实现建筑实体与虚拟系统的深度融合，打通历史、实时与预测数据链，并在建设阶段推动“数字化交付”，确保数字化成果高保真、可维护且动态更新，从而支撑全生命周期管理。智能化应用可显著提升运维效率、降低碳排放，助力建筑从成本中心转向价值创造中心。未来，结合大数据与人工智能技术，数字化运维将拓展至更广场景，甚至推动建筑群平台化与共享化运营，为行业高质量发展提供新范式。

关 键 词： 数字化；智慧运维；建筑

Digitalization-Driven Intelligent Building Operations and Maintenance

Feng Fuhan, Zhang Zengtai

Persagy Technology Co.,Ltd., Beijing 100192

Abstract： This paper addresses the challenges in building smart operation and maintenance, including incomplete asset information, uncontrolled equipment risks, fragmented energy/carbon management, and inefficient mechanical systems, which hinder the "dual carbon" goals and sustainable building development. It proposes digital transformation as the core solution, emphasizing unified data standards, integration of physical buildings with digital twin systems to bridge historical, real-time, and predictive data, and "digital handover" during construction to ensure high-fidelity, maintainable, and dynamically updatable digital assets for lifecycle management. Intelligent applications can enhance O&M efficiency, reduce emissions, and transform buildings from cost centers to value generators. Future advancements in big data and AI will expand digital O&M applications, potentially enabling platform-based and shared operation models for building clusters, driving high-quality industry development.

Keywords： digitalization; smart operation and maintenance; building

一、建筑运维阶段的痛点与需求

（一）建筑资产信息不全面

一栋建筑在交付阶段会交付建筑施工图、结构施工图、设备施工图等。但由于工期等因素的影响，竣工图纸和现场可能会出现部分偏差。同时，在后续的建筑运营期间，不可避免的会对建筑的结构、电气、水路等进行改动，而这些改动，并不能在图纸上完全体现，导致图纸与现场的一致性越来越差^[1]。例如，我国西部省份的某超甲级写字楼，投入运营4年，建筑面积16万平方米，包括商场、酒店、写字楼等多种业态形式。该项目共有593份图纸对图纸与现场进行了详细核查，发现存在405条实图不符的问题^[2]。

（二）设备设施风险不可控

在建筑运营阶段，管理者对于建筑的最基本要求就是不出事故，即安全且保证品质的运行。这个要求看似简单，但由于建筑本体以及其所处环境的复杂性，要做到“完全无风险”是基本不可能的。比如常见的漏水风险，建筑物内的水的种类包括生活

水、中水、污水、空调水、消防水、雨水等等，和这些水相关的设备设施包括生活水泵、排污泵、消防泵、中水泵、冷却水泵、冷冻水泵、冷却塔、生活水箱、喷淋头……所以，如果想避免漏水风险的发生，原则上要把这些水相关的所有设备设施以及连接他们的管路都确保万无一失，否则就会导致由于漏水所带来的损失。

（三）能源与碳管理不精细

据统计，2022年我国建筑运行碳排放占比21.7%^[3]，相比2021年基本持平（21.6%）^[4]，建造碳排放占比26.6%，两者加起来占全国碳排放的48.3%！建筑领域双碳目标的实现是全国目标能否实现的关键。目前，建筑运营者都在试图提高能效，降低碳排放，但由于没有恰当的管理办法，部分管理组织中，并没有专业的人员来对能耗进行管理，能耗仍然居高不下，甚至由于无法完成能耗或者碳指标，出现被上级单位责罚的情况。

（四）机电系统运行不合理

当今的建筑，除了结构越来越极具特色外，其内部的机电系统也越来越复杂，虽然多数系统都配备了自控系统，但由于建设

期工作的瑕疵，或者后期的运维保障工作不到位，导致多数建筑自动化系统处于半瘫痪状态，需要人为的进行手动干预，好的还可以远程控制，有的还是需要人跑到现场进行开关等调控操作。据统计，26%的楼宇的自动化系统处于无法使用的状态^[6]。从而，机电系统的运行效率大大低于其设计效率，不但无法达到预期目标，甚至还会出现极大的浪费。

二、数字化如何助力建筑智慧运维

（一）利用数字化建立真实建筑和计算机的联系

随着 BIM 技术的出现，通过建立建筑数据标准和应用数字孪生技术，可以把现实世界和计算机世界进行链接，让计算机理解真实建筑里的设备、空间、系统以及其之间的连接关系和服务关系，这样，计算机就可以像人一样去应用知识解决实际问题了。

首先我们需要建立一套适用于建筑的数字化标准，然后基于这套数据标准在计算机世界里构建数字孪生体，计算机面向这个数字孪生体来进行计算和分析^[6]。以上说到的这套数字化标准就是对建筑运维的业务抽象表达范式，其核心需要有较强的独立性，既不能受具体业务应用的个性化干扰，又不能受各类工程数据千差万别的数据形态的影响，从而将数据与业务进行隔离，起到了数据解耦的作用^[7]。

此外，还需要把人需求、感受、反馈和计算机建立联系，我们也可以通过事先录入需求、过程探测感受、事后收集反馈的方式，把这些现实中的人的感官进行数字化，统一成标准语意输入给计算机，从而全面实现建筑与计算机的联系。

（二）利用数字化建立过去、现在与未来的联系

作为建筑的管理者，所期望的，就是永远不发生事故。因此，我们需要利用数字化，让计算机帮管理组织把风险“盯”起来。

然后，在建筑的数字孪生体的基础上，针对每一类设备、每一类空间、每一种系统进行数据的采集，包括静态数据和动态数据，静态数据包括但不限于固定物理参数、实物照片、厂家信息等，动态数据包括但不限于实时运行数据、能耗数据、维修维保记录等，将这些数据与建筑数字孪生体上的对象属性互相绑定，这样，我们不但能通过孪生体随时查询其历史和现在的数据，最重要的是，因为计算机已经通过数字孪生，理解了建筑内的所有对象。比如某个房间，数字孪生告诉计算机这个房间有温度、湿度、二氧化碳浓度、面积等信息，同时，通过设备、系统和空间之间的链接关系，可以计算出，是哪些设备服务于这个空间。然后，通过模型预测算法，预测这些设备的未来数据趋势，预知设备异常概率极具升高，从而预测所服务房间的风险的发生概率，以便进行预防性措施，避免事故的发生。

（三）利用数字化建立知识经验与现场业务的联系

数字孪生技术可以将现场的设备、系统、空间以及他们之间的关系，与知识经验联系起来。首先，要把知识数字化，即把知识变成计算机能理解的信息，而不是传统的直接把文字录入到计算机里。具体做法是需要配合特定的知识生产平台，该平台 and 数字孪生的数据标准是打通的，内置了建筑设备、空间、系统的

数据表达标准，同时，对于日常巡检流程、问题排查流程、维修维护流程进行了模板式整理，录入时，只需要进行按照规则来选择填写就可以把知识转化成标准的计算机语言，从而打通了人和计算机之间的壁垒。

然后，具体项目实施的时候，把建筑进行数字化交付，通过数字孪生平台，就可以把平台里已经生产出来的知识与建筑孪生的设备、空间、系统进行连接，解决了现场和知识对应不上或者难于执行的问题。

知识的生产还会随着现场应用的深度而进行算法修正，如果有新的知识，还可以随时更新随时应用。只要在知识生产平台上加入新的知识，数字孪生平台上的所有项目都可以共享新知识的生产成果。从而避免了知识陈旧无人更新的问题。

（四）为了实现建筑的数字化运维，数字化交付必不可少

市面上大多数的建筑数字化或者数字孪生，仅仅停留在可视化上，比不是真正意义的数字化，数字化需要两个大前提：

首先，数据标准面向运维业务且标准统一；

其次，数字化成果易于维护且持续保真。二者缺一不可，否则无论投入再多，最终都沦落于无人使用的状态。

为什么要面向运维且标准统一？这就不得不说到传统的建筑运维系统，大多都是有标准组件库的，但是在建设期由现场项目经理来做编码和配置，在建筑交付阶段一次性交付完毕，而且，很多智能化系统是分不同供应商分期建立的，虽然有利于建设总包的管理，但在建筑运维阶段，就会带来很多麻烦，比如每个智能化系统的修改需要找到建设期的项目经理才能实现；再比如子系统和子系统之间的业务场景在运维期是融合在一起的，比如冷站和末端、视频和电梯等等，但由于建设期分子系统建设，这些业务都无法实现联动。

为什么要易于维护且持续保真？建筑在运行的几十年中不可能一直不变，设备的更迭、空间的拆合都是时常发生的，这需要智能楼宇系统跟随建筑的变化而不断变化，如果系统的维护过于复杂，不但会增加建筑运维的成本，甚至因为更新不及时导致系统无法与现场匹配，而运维人员在使用时认为系统发生了故障，再加上厂商维保不及时，最终导致智能楼宇系统再也无人使用，造成永久性浪费。

三、数字化在建筑运维领域的应用价值体现

（一）数字化建筑运维对“双碳”的价值

建筑助力“双碳”目标，其中最大的问题是如何让建筑内的用能设备能够够按照国家“碳”目标来调整运行策略。按照《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中的要求，到2030年非化石能源占一次能源消费比重达到25%左右，到2060年这一比例要求达到80%以上。那么，当电网上的电大多来自太阳能和风能等非化石能源时，发电侧就不能像现在火力发电这样，根据需求来生产电能，而是要根据太阳、风等可再生能源的能量变化，来改变人类对电的需求策略。

所以，建筑的用电设备如何高效运行，同时能够适应新的能

源结构，消纳实时变化的可再生能源，是实现双碳目标的重要研究方向，数字智能技术也成为是建筑实现双碳目标的关键，通过数据收集与监测、数据分析与预测、智能控制与优化、能源效率提升以及可再生能源整合等手段，为实现能源低碳升级提供了强有力的支持^[8]。

（二）数字化建筑运维对资产管理价值

随着我国房地产行业进入“下半场”，如何确保存量建筑资产的价值稳中有升，成为各个企业的重要任务。当建筑资产价格不能再像上一周期的疯狂增长，建筑资产的所有者们就开始思考通过什么样的管理手段，才能让自己手里的资产生命更长、运行品质更好、资产价值持续增长^[9]。数字化的智慧建筑运维，可以记录建筑全生命周期的运行数据，通过数据和人工智能与管理组织的协作，不断优化建筑的运维策略，确保建筑设施设备的高质量运行，从而助力建筑资产所产生的租金或者服务价值稳中有升，同时，由于对建筑资产的全生命周期的高质量管理，能够延长建

筑的使用寿命，自然就提高了建筑资产价值^[10]。

四、数字化在建筑运维领域的未来展望

随着大数据分析和人工智能技术的不断演进，在数字化的基础上，可以应用于更多的建筑运维场景，甚至借助数字化技术，进一步优化工作流程，在一定区域内，实现建筑群运维的平台经济和共享经济，大幅提高生产效率。在双碳目标方面，为了适应“动态碳排放责任因子”的实时性，对建筑机电设备的运行调节提出了更高的要求，需要大量数据预测，并不断计算需求和供给的匹配度，需要数字化作为算法的先决条件。

综上，为了实现建筑数字化运维，数字化智慧运维系统一定建立在一套能够对建筑进行成本可控、运维可持续的数字化交付的工作方法基础之上，这样才能让数字化助力建筑智慧运维。

参考文献

[1] 牛聪. 基于 BIM 的大型商业建筑运维管理应用研究 [D]. 重庆大学, 2020.DOI: 10.27670/d.cnki.gcqdu.2020.003295.
[2] 武慧敏, 高平. BIM 在建筑项目物业空间管理中的应用 [J]. 项目管理技术, 2015, 13(10): 57–63.
[3] 中国建筑节能协会、重庆大学. 2024 中国城乡建设领域碳排放研究报告, 2024.
[4] 中国建筑节能协会、重庆大学. 2023 中国建筑与城市基础设施碳排放研究报告, 2023.
[5] 中国建筑科学研究院有限公司. 2021 建筑智能化应用现状调研白皮书.
[6] 沈启, 任晓欣, 吴若枫, 等. BIM 视角下的建筑运维数据标准化方法与实践 [J]. 中国标准化, 2019, (13): 150–156.
[7] 林霞, 杨虹. BIM 技术在设施管理中的研究与应用 [J]. 资源信息与工程, 2018, 33(04): 133–134.DOI: 10.19534/j.cnki.zyxygc.2018.04.066.
[8] 苏鼎丁. 浅谈大型建筑的数字化运维管理 [J]. 绿色建造与智能建筑, 2024, (10): 90–93.
[9] 张悦. 基于 BIM 的公共建筑运维管理系统研究 [D]. 苏州科技大学, 2021.DOI: 10.27748/d.cnki.gszzkj.2021.000340.
[10] 刘杰, 唐世超, 王志强. 融合体验高效——基于 BIM 的运维管理系统构建 [J]. 智能建筑, 2021, (01): 61–64.