

基于数字孪生技术的产业园区智慧运维管理研究与应用

文 / 王佳伟 上海临港新片区航空产业发展有限公司

摘要：为提高产业园区运维管理能力，本文着重探讨产业园区智慧运维管理中数字孪生技术的应用。介绍该技术特征，并且以上海某航空产业园为例介绍智慧运维管理内容，包括能耗管理、设施设备运维、安防管理、资产管理及客户服务。最后从物理园区数字化建模、虚实数据实时交互、虚拟模拟与决策优化三方面提出建议，并总结数字孪生技术应用效果，肯定了该技术对产业园区智慧运维管理具有应用价值。

关键词：数字孪生技术；产业园区；智慧运维管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.104

引言

在新一代信息技术与实体经济融合加深背景下，产业园区已从传统的“生产载体”向“智慧生态体”转型，特别是对于承载国家战略的高端产业园区而言，运维管理精准度、效率性、协同性，直接影响到产业发展保障能力。数字孪生技术通过打造“物理园区-虚拟映射-数据交互-决策优化”的闭环体系，打破传统运维管理体系中信息孤岛、被动响应、经验决策的痛点，为智慧园区运维管理提供核心技术支撑。上海某航空产业园作为国家大飞机战略的核心承载区，其运维管理除了要满足航空产业对高精度、高安全、高协同的特殊要求，还要兼顾大规模园区、多业态物业的统筹管理。本文以该园区作为探究重点，系统分析数字孪生技术在产业园区智慧运维管理中的应用逻辑、主要内容、应用效果，旨在为同类产业园区运维管理升级提供可借鉴参考。

一、数字孪生技术及其特点

数字孪生技术是指通过采集物理实体的几何特征、运行数据、环境参数等信息，在虚拟空间搭建与物理实体1:1映射、实时联动的数字镜像，依托大数据、AI、物联网等技术实现虚实交互、模拟分析、决策优化，从而反映物理实体运营的新一代信息技术，该项技术的核心为打造“物理世界-虚拟世界-数据链路”的闭环系统。数字孪生技术特点为：

(1) 精准映射性。数字孪生并非简单的3D建模，而是融合物理园区全要素、全状态的精准覆盖，大到园区地形地貌、地下管线走向，小到单台设备运行参数，虚拟孪生体均能与物理园区实现同步，数据传输延迟一般为毫秒级，实现实时映射目标，为运维决策提供真实数据基底。

(2) 实时联动性。在物理园区部署传感器、智能仪表等物联网感知节点，实时采集能耗、设备运行、安防等数据信息，经通信模块同步至虚拟孪生体。在虚拟空间制定运维方案可直接下发指令至物理园区执行终端，实现虚拟决策、物理执行的目标，有效解决传统运维管理中信息滞后、虚实脱节等问题。

(3) 模拟预测性。该特点是区别于传统监控技术的重要优势，虚拟孪生体基于历史数据、实时参数，搭建模拟分析模型，验证不同运维方案的可行性，帮助运维

团队提前规避风险或优化运营方案，实现主动优化、主动预防的目标。

二、项目背景与整体方案

上海某航空产业园规划总占地面积为24.7平方公里，核心定位为“围绕总装、服务总装、保障总装”，以产业聚集、配套升级的方式提升产业竞争力。在运维管理上，园区以智慧规划蓝图为指导，明确“广联互通、高效管理、智慧生活、柔性生产”四大目标，致力打造为国际一流航空产业智慧园区标杆。园区前五期开发项目已经成功落地，占地926亩，建筑面积约80万平方米，形成三类核心物业形态：(1) 航空研发办公楼，用于满足飞机设计、技术攻关等高端办公需求；(2) 专业厂房，适配飞机零部件加工、组装的精密操作场景；(3) 分拨仓库，保持航空器材恒温、防潮、安全存储、高效周转等要求。

针对大规模、多业态园区运维难的问题，园区以数据驱动运维为核心思路，搭建智慧运维管理平台。首先，整合当地园区地形、交通路网、地下管线等时空地理信息资源，以及设备运行数据、能耗数据、安防数据等园区物联网感知数据，打造统一的数据底座；其次，融合云计算、虚拟化、大数据、GIS集成等技术，建设数据可查、状态可视、故障可预警、决策可优化的完整运维体系，为园区全生命周期运维管理提供技术支撑。

三、智慧运维管理主要内容

(一) 能耗管理

航空产业园的专业厂房、研发办公楼、恒温恒湿库房及冷库对照明、空调、精密设备供电需求极高，且能耗波动直接关乎生产计划、设备运行状态。运维管理平台能耗管理主要内容为：(1) 在厂房车间、办公楼宇、仓库等区域布设智能水表、电表、燃气表、能耗传感器等装置，用于实时采集各区域、各设备能耗参数，数据传输频率为1min/次，保证能耗监测无遗漏；(2) 借助大数据技术建立“设备类型-生产负荷-能耗标准”的关联模型，自动识别能耗异常，并实时推送预警信息到运维平台；(3) 生成多维度能耗表，包含日/周/月能耗趋势、各物业业态能耗占比、重点设备能耗排名，为后续园区节能改造提供依据。

(二) 设施设备运维

园区当前接入建筑基础设施、运营配套设备、智慧感知设备等总计超 3000 件。如图 12 所示，平台采用全生命周期运维模式，为每台设备建立电子档案，记录设备型号、运行状态、维护周期、历史故障等信息。同时，针对园区冷库、恒温恒湿库及办公楼宇集中供暖的高标

准管控要求，借助物联网传感器实时监测设备运行参数，一旦参数超出设定阈值，系统自动触发预警信息，并推送至消控中心、运维控制室及运维人员手机 App 上，确定故障位置、故障类型、维修建议。通过线上“故障报修-派单-维修-验收-归档”全运维流程，实现全流程可追溯，避免报修拖延、维保记录缺失等情况。

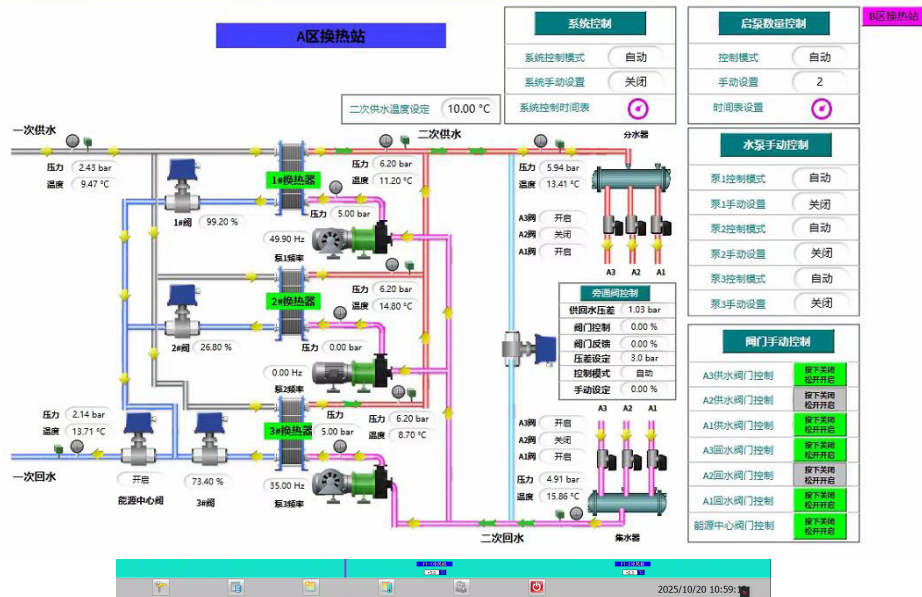


图 1 园区库房及办公楼宇 24 小时温湿度管理平台示意图

(三) 安防管理

园区涉及企业核心零件存储、研发数据保密等敏感场景，要求安防管理实现无死角监控、异常快速处置、人员车辆精准管控等目标。平台搭建“人防+技防+智防”三维安防体系：(1) 人员管理，采用人脸识别门禁系统，区分员工、访客、施工员身份，员工通过人脸识别通行，访客需登记信息且关联被访人员确认后，自动生成临时通行权限，将通行记录自动同步至平台。(2) 车辆管理，园区出入口设置车牌识别系统，自动识别车辆类型，货运车需登记货物信息并经安检后通过。(3) 区域监控，园区公共区域、厂房车间、仓库等重要区域部署高清摄像头，结合 AI 智能分析技术识别异常行为，如人员翻越围墙、车辆违规停放、人群聚集、异常火点等，异常信息实时推送至安防值班室，实现“异常发现-预警-处置”全流程秒级响应。

(四) 资产管理及客户服务

园区资产包含物业资产、实物资产，在资产管理中，平台借助 GIS 地图与资产信息关联，对资产及物业去化情况展开可视化。虚拟地图上点击某办公楼或设备，即可查看基本信息、使用状态、租赁情况等，方便园区对入园企业进行统一查询、盘点。在客户服务上，开发园区服务小程序，实现线上“报事报修”“场馆预约”等功能，平台自动分配对接人员，实时更新需求处理进度，客户可随时查询，服务响应时间 ≤ 30min。

四、数字孪生技术的产业园区智慧运维管理及其应用

(一) 物理园区数字化建模：构建孪生基础

建模内容包含：(1) 地理空间建模，基于当地时空地理信息数据，结合园区建设期数字模型，建设含有地形地貌、道路路网、地下管线、建筑外观、内部结构的三维地理模型，模型精度达厘米级，清晰呈现办公楼楼层分布、厂房车间分布、管线走向等信息。(2) 设备数字化建模，针对园区上千台设施设备，通过采集外观特征、设备接口协议、运行参数阈值等信息，搭建设备数字孪生体，通过物联网协议将虚拟设备与物理设备关联，实时呈现物理设备运行状态向虚拟设备实时同步。(3) 物业数据建模，园区能耗、运维记录、安防、资产、客户需求等数据整合，搭建统一数据标准，将业务数据和地理模型、设备模型关联，点击虚拟对象即可查看全量数据。

(二) 虚实数据实时交互：实现状态可视

项目基于设备网络搭建“数据传输-处理-展示”闭环体系，实现物理园区状态在虚拟空间上实时映射，运维人员无需到现场巡查即可掌握园区状况。3 在数据传输上园区共部署上千个物联网感知点，包括智能仪表、传感器、摄像头，实时采集园区能耗、设备运行、安防、环境等数据，通过设备网络上传至云计算平台，传输延迟 ≤ 100ms，确保数据实时传输。在数据处理上，以大数据分析引擎采集原始数据，经过清洗、整合、分析，剔除无效数据、提取关键信息，数据处理后同步至虚拟

孪生体。在数据展示上,搭建数字孪生运维指挥中心,在大屏幕上呈现虚拟园区,人员在屏幕上通过缩放、定位、旋转等操作查看园区任意区域、设备状态,切实实现“园区运维一张图”。

(三) 虚拟模拟与决策优化:提升运维效能

基于虚拟孪生技术的运维管理平台除了能映射园区情况,还具备预测预警、决策优化功能,为园区运维管理实现主动管理提供支撑。主要应用场景为:

1. 设备故障预警与模拟维修。园区运维平台根据大数据分析引擎结合设备历史故障数据、维修维保记录、运行参数态势,做好备品备件的采购与准备,一旦监测到物理设备运行异常,虚拟设备同步显示预警状态;运维人员在数字孪生空间中快速定位故障位置,调阅产品参数、分析故障原因,后台仓储部门协调工具与备件,

以免现场出现故障原因不明、拆解步骤错误、备件缺失问题,提升运维效率,缩短设备停机时间。

2. 能耗优化模拟。借助数字孪生技术搭建“空调温度-设备运行状态-能耗”模拟模型,通过推荐策略后台BA远程测试不同温度下能耗变化、设备运行稳定性,响应及时,减少工程人员投入,多策略快速迭代最终确定最优温度范围,快速获取当期能耗数据。不仅能有效降低能耗,降低园区运营能耗,同步确定设施设备最佳运营功率,延长设施设备使用寿命。

复盘及五、应用效益

数字孪生技术在上海某航空产业园智慧运维管理中的应用,在效率、成本、安全、服务方面均表现出显著效益,具体效益如表1所示。

表1 基于数字孪生技术的产业园智慧运维管理效益

效益维度	应用前状态	应用后状态	提升/降低幅度	年均效益
运维效率	设备故障平均响应时间2h,维修平均耗时8h;资产盘点需15d	设备故障平均响应时间30min,维修平均耗时3h;资产盘点需6d	故障响应效率提升75%,维修效率提升62.5%,盘点效率提升60%	-提升维修响应效率
成本控制	设备故障率8%,年均设备维修费用约180万元;年均能耗费用约700万元;年均应急演练成本约8万元	设备故障率降至3%,年均设备维修费用95万元;年均能耗费用580万元;年均应急演练成本1.5万元	设备故障率降低62.5%,维修费用降低47.2%,能耗费用降低17.1%,演练成本降低81.25%	节省成本约211.5万元
安全保障	安防异常人工识别,平均发现时长5min,识别准确率70%;每年发生10-20起特殊入侵事件(如外来人员违规进入、人员聚集等)	AI+数字孪生自动识别,异常发现时长≤10s,识别准确率95%以上;系统启用2年来未发生不明人员闯入/聚集事件	异常发现效率提升96.7%,识别准确率提升35.7%,特殊入侵事件发生率降至0	避免安全损失
客户服务	客户需求平均响应时间2h,服务满意度85%;客户报修闭环率90%	客户需求平均响应时间30min,服务满意度98%;客户报修闭环率98%	响应效率提升75%,满意度提升15.3%,闭环率提升8%	提升服务响应效率

在间接效益方面,搭建基于数字孪生技术的园区智慧运维管理体系,能有效强化园区的产业承载能力。以高精度运维保障,提高对航空相关企业的吸引力,提升园区入住率,增加园区产值;园区数字孪生及小程序应用已经成为当地高端产业园区智慧运维管理的“标杆”,为其他航空、汽车、重装等大规产业提供可参考案例产业园区。

结语

综上所述,上海某航空产业园运维管理并非体系建设中,通过构建“物理-虚拟-物理”联动的运维体系,一改“分散、被动、经验驱动”的传统运维模式弊端,实现“统筹、主动、数据驱动”一体化管理模式,不仅能有效满足高端产业对运维“高精度、高安全、高协同”的需求,还能实现“降本、增效、提质”的运维目标。未来,数字孪生技术与其他新型技术(云计算、AI、5G)融合逐步加深,产业园区智慧运维也将不断朝向“全生命周期自主优化”方向发展,例如结合园区开发计划,模拟新增建筑、设备对现有运维体系的影响,优化规划方案;借助AI自主学习技术,提前预测设备故障、智能调度运维流程等。总之,基于数字孪生技术的产业园区智慧运维管理能力,是未来产业园区从大规模开发建设者,到优质运营服务提供商转变的核心竞争力。

参考文献:

- [1] 洪文彬. 智慧产业园区标准厂房的绿色建筑技术集成研究——以三明中关村智慧产业园区为例[J]. 城市建筑, 2025, 22(18): 138-141.
- [2] 汤佳明. 基于实景三维的智慧园区建设策略的研究——以广佛产业园为例[J]. 城市建筑, 2025, 22(15): 116-119+124.
- [3] 邓海春, 徐海明. 智慧城市视域下的大数据产业园区经济发展模式探讨[J]. 绿色建造与智能建筑, 2025, (08): 163-166.
- [4] 杨天举. 绿色、产业与空间协同发展助推产业园区转型升级[J]. 中国勘察设计, 2025, (07): 72-75.
- [5] 吴昌贤. 基于物联网技术的智慧园区系统开发与应用[J]. 北京测绘, 2025, 39(04): 423-428. 陈强, 姜华. 智慧农业理念下水稻产业园区高效管理模式的探索[J]. 北方水稻, 2025, 55(04): 105-107.
- [6] 邓擎旗, 禹晨. 试论数字孪生在建筑智慧运维系统中的应用[J]. 智慧中国, 2025, (05): 116-117.
- [7] 卫慧. 智慧产业园区建筑运维系统设计与开发[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(35): 71-73.