

数字孪生系统在航站区管理上的应用

刘月

重庆江北国际机场有限公司，重庆 401120

DOI: 10.61369/IED.2024110009

摘 要： 本文以重庆江北机场 T3B 航站楼为例，深入探讨了数字孪生技术在智慧机场建设中的广泛应用，特别是其在航站楼管理方面的具体实施，涵盖了流程优化、人流密度监控、环境舒适度控制、异常行为识别、关键设备故障的早期诊断与预测，以及应急演练和智能决策支持。文章不仅展望了数字孪生技术的未来发展潜力，同时也审视了其在推广过程中遇到的技术挑战和实际难题。

关 键 词： 数字孪生技术；智慧机场；航站楼管理；应急演练；智能决策

Application of Digital Twin System in Airport Terminal Area Management

Liu Yue

Chongqing Jiangbei International Airport Co., Ltd. Chongqing 401120

Abstract： Taking the T3B terminal of Chongqing Jiangbei Airport as an example, this paper deeply explores the wide application of digital twin technology in the construction of smart airports, especially its specific implementation in terminal management. It covers process optimization, crowd density monitoring, environmental comfort control, abnormal behavior identification, early diagnosis and prediction of key equipment failures, as well as emergency drills and intelligent decision support. The article not only looks ahead to the future development potential of digital twin technology, but also examines the technical challenges and practical problems encountered in its promotion process.

Keywords： digital twin technology; smart airport; terminal management; emergency drills; intelligent decision-making

引言

近年来，人工智能、大数据、物联网、元宇宙等技术加速创新，日益融入经济社会发展各领域全过程，党的十八大以来，党中央高度重视发展数字经济，将其上升为国家战略。民用机场是数字经济发展的主要场景之一，智慧机场建设致力于将数字化与智能化赋能传统机场，推动民航产业高质量发展。智慧机场建设对于提升机场运行效率、助力区域交通与经济综合发展、规避安全风险等方面都有重大意义。

一、数字孪生与智慧机场相关概念

（一）数字孪生相关概念

数字孪生技术，是一种创新理念，旨在通过数字化手段打造物理实体或系统的精确虚拟映射，实现物理与虚拟世界的深度互动。此概念源于2003年，由美国密歇根大学的 Michael Grieves 教授提出的“信息镜像模型”，并在2011年正式命名为“数字孪生”^[1]。数字孪生技术融合物联网、大数据、云计算、仿真建模和人工智能，确保系统高效运行。自理论提出后，该技术已在制造业、航空航天、能源等领域广泛应用，并逐步拓展至智慧城市和交通。尽管技术发展迅速，但仍面临数据安全和模型精度的挑战。全球范围内，数字孪生技术的研究与应用正成为焦点，预示着其广泛且深远的影响。

（二）智慧机场相关概念

智慧机场的概念突破了传统机场的界限，融合了信息化、自动化、智能化、协同化和人性化的特点。它利用尖端信息技术实现对机场运营的实时监控和精确管理，显著提高了效率和品质。自动化设备和智能决策工具的运用，不仅优化了资源分配和流程，还促进了内部与外部机构的协作，以满足旅客不断增长的需求，打造更加舒适、便捷的旅行体验。

智慧机场建设的关键在于先进的信息技术基础设施，包括高速网络、大数据中心和智能感知设备，以及全面的运营管理系统。创新的服务模式和专业人才同样重要。智慧机场的目标是在保障安全的基础上，提升效率、服务和收益，增强竞争力和可持续发展，推动航空业与区域经济的共同发展。

（三）数字孪生在智慧机场实现的功能

数字孪生技术应用于智慧机场建设，旨在实现全面监测、流量动态管理、故障预测和紧急情况模拟。该技术通过数字化建模实时监控机场设施与运营，利用物联网收集关键数据，并通过可视化界面辅助管理层决策。它能实时分析人流量和设备使用，预测调控旅客、行李和航班流量，优化资源，减少等待，提升服务效率。同时，该平台还能模拟紧急情况，评估应急响应，增强机场的安全和应急处理能力。通过创建机场的虚拟模型，数字孪生可以模拟各种场景，在安全可控的环境中测试安全措施的有效性。这可以帮助识别系统的弱点，测试关键基础设施的弹性，并制定和完善事件响应计划。除了提高安全性，数字孪生还可以提高机场运营的效率 and 效果。通过分析来自不同来源和系统的数据，数字孪生可以识别出需要优化和改进的领域，使机场运营商能够做出明智的决定并对资源进行优先排序^[2]。

二、数字孪生在航站楼管理中的具体应用

（一）数字孪生系统在航站楼流程、人流密度的应用

重庆江北机场 T3B 航站楼的整体运行监测分析，得益于数字孪生技术的应用，实现了对现实机场的虚拟空间实时映射，为行李、廊桥、雷达、照明、电源等系统提供了一个数据驱动的可视化运行监管平台。

T3B 航站楼建筑面积约 35 万 m²，其建筑设计和功能布局为数字孪生技术的应用提供了丰富的数据基础。在功能分布上，L4 层设有两舱休息室、商业及景观露台；L3 层为国内出发候机区、商业及景观区；L2 层包含国内到达廊、候机区、中转厅及商业；L1 层有非正常航班候机厅、行李机房、能源中心等；B1 层设有捷运站台、综合管廊等多种设施^[3]。这些数据为数字孪生技术在机场运行监测中的应用提供了详细的基础信息。

数字孪生技术能够对机场设施设备进行实时量化监测，涵盖了设备运行状态、健康状态、流量状态、能耗监测等八大功能，确保了机场运营的透明化和高效化。特别是针对流量动态管控，数字孪生技术通过采集历史数据、票务信息以及红外传感器等人体信息监测数据，结合 T3B 航站楼的实际布局和旅客流程，实时更新模型，从而对人流量、车流量、物流进行精准预测与调控。例如，在国内出发候机区（L3 层）、国内到达廊（L2 层）等旅客密集区域，通过红外传感器监测人流量，结合票务信息预测不同时段的旅客流量变化，为机场管理提供精准的数据支持。基于系统的预测分析，机场管理部门可以提前获取高峰时期的值机、安检、排队等关键数据，如在航班集中出发的时段，提前预测 L4 层两舱休息室和 L3 层国内出发候机区的值机人数，合理安排工作人员，确保旅客快速办理手续，避免拥堵。

（二）数字孪生系统在航站楼舒适度管控上的应用

在现代机场管理中，分区域智能联动控制系统的应用，不仅提升了重庆江北机场 T3B 航站楼内的照明服务质量，也为节能减排工作提供了有力支持。在各个照明控制场景中，多台照度探测器分布在室内外关键位置，如 L4 层的两舱休息室、商业及景观露

台区域，L3 层的国内出发候机区、商业及景观区，L2 层的国内到达廊、候机区、中转厅及商业区域，L1 层的非正常航班候机厅、行李机房等区域以及 B1 层的捷运站台等区域，实时监测环境光线变化^[4]。系统根据探测器收集的数值，智能判断并及时开关照明设备，确保航站楼内光线充足、舒适，同时避免了能源的浪费。

管理者可以通过系统直观地查看照明开关情况，实时掌握各区域照明设备的运行状态。系统界面清晰地展示照明开关的数量，便于进行快速的数据查询和统计分析，从而优化照明布局，提高管理效率。

此外，为了进一步提升旅客的舒适度，机场在各主流程区域安装了舒适度收集装置。在人员密集的 L3 层国内出发候机区和 L2 层国内到达廊等区域，这些装置实时采集温度、湿度、空气质量等数据，并迅速传送到后台系统。预警报警系统的设置，则是另一项重要的智能管理措施。系统通过预设的数据标准，对收集到的数据进行实时监测^[5]。一旦数据超标，系统将立即发出预警提示，实现对舒适度的精准管理。

（三）数字孪生系统在航站楼异常人员、行为的识别上的应用

在现代重庆江北机场 T3B 航站楼的管理中，智能监控系统通过分析异常行为、动作和穿着，有效地识别出潜在的安全隐患。该系统能够录入人员信息或运营图片，便于查询和检索旅客在楼内的行动轨迹，大幅提升了工作效率。此外，后台存储的数据包括常旅客、推销员、拾荒者等人员的图片，一旦这些人员进入航站楼，系统便能迅速识别并发出提醒，加大监管力度，从而提高旅客的满意度。

对于员工行为不规范，如在 T3B 航站楼内超出规定范围拉客、推销等行为，系统将进行实时抓拍，并通过语音预警提示管理人员。这种实时的监控和预警机制，使得航站楼内异常人员的活动得到有效监管。一旦出现旅客在诸如 L3 层国内出发候机区摔倒、在 L2 层国内到达廊翻越栏杆、靠近空防区域、在 L4 层景观露台高空抛物等异常行为和动作，系统将立即发出语音提示，便于工作人员及时作出处置，确保航站楼的安全与秩序。

（四）重要设备故障诊断与预测

基于数字孪生技术的故障诊断系统，为重庆江北机场 T3B 航站楼的行李运输系统、无人值守廊桥、值机系统等关键设施提供了高效的监管手段。该系统通过预先对智能设备的运行模式、常见故障类型、设备组成和结构特点进行深入分析，构建了精确的数字模型。以行李运输系统为例，其复杂的传送机构、多个分拣节点等设备组成部分以及在高峰时段高负荷运行的模式特点，都被纳入模型分析范围^[6]。这些模型包括实际系统建模、影响机理建模和故障建模，通过合理安排多维传感器，如在行李运输系统的关键传送节点、值机系统的操作终端等位置布置传感器，并利用有限状态机对模型进行实时修正，实现了对智能设备故障的精确诊断和预测。

数字孪生故障诊断系统具备六大功能：设备故障诊断、设备寿命预测、设备早期故障预报、故障注入预演练、自动解决方案注入演练、生成智能决策故障解决方案。当系统监测到潜在故障

时，能够立即发出预警，提醒维护人员采取行动。例如，在航班高峰期，若行李运输系统出现异常趋势，系统及时预警，维护人员可提前介入，避免故障发生造成行李积压，影响旅客行程。

（五）数字孪生平台应用于紧急演练和基于历史数据的智能决策

在重庆江北机场 T3B 航站楼的运营管理中，数字孪生技术通过对现实机场的精确模拟，积累了丰富的历史紧急状态经验。T3B 航站楼其独特的建筑结构和复杂的功能布局使得紧急状况的应对更具挑战性。数字孪生系统在紧急状况演练与智能决策方面，涵盖了四大关键功能：智慧消防、恶劣天气应对、大面积停电应对以及紧急迫降应对^[7]。

在智慧消防方面，系统在 T3B 航站楼的各个区域，均配备了先进的火警监测设备，能够实时监测火警信号。一旦发生火灾，系统凭借对航站楼内部结构的精准模拟，迅速定位火灾点，无论是在人员密集的候机区还是设备集中的机房区域，都能精准定位。随后自动启动灭火程序，确保火情得到及时控制，保障旅客和机场设施的安全。

面对恶劣天气，数字孪生系统接入气象数据，结合 T3B 航站楼周边地形地貌以及跑道的布局等信息，能够准确预测可能对航班起降造成的影响。在大面积停电的情况下，数字孪生系统对 T3B 航站楼内众多电力设施进行精确建模，包括照明系统、行李运输系统、设备机房等关键电力设施^[8]。停电发生时，系统能够迅速识别关键电力设施，根据其机场运营的重要程度，指导恢复电力供应的优先顺序，如优先恢复空管设备、行李运输系统、旅客候机区照明等关键设施的电力供应，最小化停电对机场运营的影响，保障机场的基本运营功能。

三、数字孪生技术的未来展望与挑战

（一）未来展望

展望未来，数字孪生技术的融合与创新将是智慧机场发展的关键。与 5G 和区块链技术的结合将确保数据传输的实时性和安全

性，同时，人工智能的融入将极大提升模型的自主学习与决策能力。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术的集成，将进一步提高机场服务的互动性和效率。在应用层面，数字孪生技术将有力支撑机场的能源管理、设施规划以及商业运营，实现资源的优化配置和成本的有效降低。其广泛部署将引领智慧机场运营模式的革新，推动全生命周期的数字化管理，促进内部与外部机构之间的协同合作，构建一个高度一体化生态系统。

（二）面临的挑战

数字孪生技术在智慧机场的构建中展现出巨大的应用潜力，然而，其广泛采纳的道路上布满了挑战。创建一个精确无误的数字孪生模型是至关重要的，同时，确保数据的准确性与安全性、融合来自不同源头的异构数据，以及提升模型的即时响应能力，这些都是亟待解决的技术难题^[9]。数字孪生技术的高昂部署成本对于中小型机场而言，无疑构成了财务上的重大挑战，因此，如何巧妙地规划预算和资源配置变得尤为关键。在投资决策过程中，准确评估技术的实际效益是决定性的因素。

另一方面，人才的短缺也成为数字孪生技术推广的一道门槛。目前，迫切需要培养一批既精通技术又擅长管理的复合型人才，他们的存在将有力推动技术的深度开发与广泛运用^[10]。只有逐一攻克这些难题，数字孪生技术才能在智慧机场的建设中大放异彩，为机场的智能化升级注入强大的动力。

四、结束语

数字孪生技术在智慧机场的塑造之旅中展现出前所未有的潜力，尽管它面临着一系列复杂的挑战，但其在机场运营管理方面所带来的创新和效率增益已经十分显著。它将为旅客精心营造一个更加安全、便捷、舒适的旅行环境，不仅优化了出行体验，也提升了机场的整体服务水平和运营效能。展望未来，数字孪生技术的广泛应用将引领智慧机场的发展潮流，实现资源的高效配置，推动航空业的可持续发展，最终成就一个智能化、高效率、人性化的航空旅行新时代。

参考文献

[1] 韦安强. 智慧机场建设中的政府监管问题研究 [D]. 北京邮电大学, 2023.DOI:10.26969/d.cnki.gbydu.2023.000694.
[2] 苏豪. 基于数字孪生的机场信息系统安全性研究 [D]. 中国民用航空飞行学院, 2023.DOI:10.27722/d.cnki.gzgmh.2023.000247.
[3] 张小琴, 李彬. 数字孪生技术在智慧机场建设中的应用 [J]. 智能城市, 2022, 8(11): 34–36.DOI: 10.19301/j.cnki.zncs.2022.11.012.
[4] 杨海, 孔为敏. 数字孪生技术在机场建设中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2022, (16): 237–242.
[5] 雷榭淦. 数字孪生技术在智慧机场建设中的应用初探 [J]. 中国勘察设计, 2022, (06): 92–94.
[6] 雷榭淦. 数字孪生技术助力智慧机场建设 [J]. 中国建设信息化, 2022, (10): 46–49.
[7] 康永. 数字孪生技术在智慧机场建设中的应用综述 [J]. 科技和产业, 2022, 22(05): 255–261.
[8] 吴付标. 基础设施已成数字孪生应用大场景——纵览基础设施大会 2021 年会观察（下篇）[J]. 中国勘察设计, 2022, (02): 100–103.
[9] 陈根土, 钟娟娟. 数字化技术在智慧机场中的应用 [J]. 长江信息通信, 2022, 35(01): 140–143.
[10] 邓超. 美兰智慧机场建设思路分析 [J]. 工程技术研究, 2021, 6(13): 253–254.DOI:10.19537/j.cnki.2096–2789.2021.13.120.