

数字化设计驱动下的机场类建筑全生命周期管理研究

陈映帆

上海民航新时代机场设计研究院有限公司广州分公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010047

摘 要： 数字化设计以 BIM、参数化建模等作为核心，推动机场建筑全流程生命周期管理，整合设计、施工以及运维各个阶段的数据，破除信息障碍，提高协同效率与决策的科学性，减少成本并加强可持续发展能力。但是面临数据互操作性欠佳、信息安全隐患等难题，要通过标准化和技术融合来促进其规模化运用。

关 键 词： 数字化设计；机场建筑；全生命周期管理

Research on the Life-Cycle Management of Airport-Type Buildings Driven by Digital Design

Chen Yingfan

Shanghai Civil Aviation New Era Airport Design Research Institute Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Digital design is centered around technologies such as BIM and parametric modeling, aiming to enhance the entire lifecycle management of airport buildings. It integrates data from all stages of design, construction, and operation, eliminating information barriers, improving collaboration efficiency and the scientificity of decision-making, reducing costs, and strengthening sustainable development capabilities. However, it faces challenges such as poor data interoperability and information security risks. To promote its large-scale application, standardization and technological integration are necessary.

Keywords： digital design; airport buildings; life-cycle management

引言

机场建筑物作为大型且复杂的交通枢纽，其全生命周期的管理存在多专业协同障碍、信息传递迟缓等难题，传统模式难以符合现代航空运输对于效率和可持续性的要求。2022 年，住房和城乡建设部发布的《十四五建筑业发展规划》明确指出，促进建筑信息模型（BIM）、数字孪生等技术于工程全生命周期的集成运用，为以数字化设计驱动的机场管理创新提供政策引导。本研究专注数字化设计基础理论以及其于机场建筑全生命周期管理里的运用开展研究，分析 BIM 协同、参数化优化、物联网监控等技术的实践途径，研讨数据集成、信息安全等主要挑战，并且结合经济效益和环境影响评估，为机场建筑朝着智能、绿色、高效的全生命周期管理模式转变提供理论根据与实践参考。

一、数字化设计基础理论

（一）数字化设计的概念与关键技术

数字化设计是以数字技术作为核心，通过参数化建模、数据集成以及协同优化等方式，实现建筑设计从概念到施工甚至运维整个流程的数字化显示与管理，其本质在于把建筑信息转变为可计算、可共享的数字模型，为多专业协作与全生命周期决策提供支持^[1]。在核心构成技术里，建筑信息模型（BIM）身为数字化设计的基础承载，通过整合几何信息、材料特性、施工工艺等多方面数据，搭建建筑全要素的三维数字化模型，破除传统设计各

阶段信息分割的障碍；虚拟现实（VR）技术通过沉浸式可视化方法，把抽象的数字模型转变为可交互的虚拟场景，帮助设计团队在方案时期直观评估空间感受、优化功能布置，同时为业主和使用者提供更精确的决策参考。随着数字孪生、人工智能等技术的融入，数字化设计正从单纯的工具运用朝设计、建造、运维一体化的智能协作体系转变，其发展趋向表现为数据驱动的动态优化、跨学科的深度交融以及全生命周期的价值拓展，逐渐成为建筑行业数字化转型的核心动力。

（二）机场建筑设计中的应用背景

数字化设计基础理论于机场建筑设计里的应用背景，是因为

机场建筑具备大型复杂交通枢纽的特点，其设计包括功能流线、空间组织、结构系统、设备集成等多方面的协同需求，传统设计方式常常遭遇信息传递迟缓、专业间冲突频繁、方案迭代效能低下等状况^[2]。随着全球航空运输规模的不断扩大，机场建筑在运营效能、空间灵活性以及可持续性方面的需求逐渐提高。数字化设计通过参数化建模、BIM技术等方式，能够实现多专业信息的整合与实时共享，在方案设计阶段就能对人流模拟、能耗分析、结构优化等开展动态验证，进一步加强设计的精准度与协作效率。在此背景当中，数字化设计不只是成为处理机场建筑复杂性的技术方法，更促使设计思维由线性流程朝着协同化、数据驱动的模式进行转变，为后续全生命周期管理筑牢基础。

二、机场建筑全生命周期管理概述

（一）全生命周期管理的定义与框架

机场建筑全流程周期管理是通过系统性理念，对机场从规划立项直至报废拆除的整个阶段开展统筹协调的管理方式，其主要在于破除各阶段的信息障碍，实现数据在规划、设计、施工、运营、维护各个环节的顺畅流转。此管理模式的理论方案以数字化技术作为连接，把规划时期的功能要求、设计时期的方案完善、施工时期的进度成本把控、运营时期的能效管理以及维护时期的预测性检修融合成有机整体。其中在规划环节要结合区域航空需求以及城市发展定位，确定机场的功能布局和规模参数；设计环节通过BIM等数字化手段建立三维信息模型，为后续环节提供数据支撑；施工环节依靠模型实现精准施工与资源调配；运营环节根据实时数据监测旅客流量、设备运行状况，优化服务流程；维护环节则运用模型的历史数据和传感器反馈，开展预防性维护^[3]。该框架重点各阶段的协同特性，通过数据的不断传递和迭代，提高机场建筑全生命周期的价值，为数字化设计驱动下的管理实践提供理论支持。

（二）机场建筑管理的特殊性

在机场建筑全生命周期管理的概述里，机场建筑管理的特殊之处在于它处于高安全标准和复杂人流动态需求的双重限制之下，全生命周期的各个阶段都面临着独特的挑战。机场作为人员高度聚集的交通枢纽，要符合航空安全、公共安全等多项标准，从设计环节的结构抗灾能力、安防系统规划，到运营环节的设施实时监测、应急响应体系，都要贯穿严谨的安全管控思路^[4]。人员流动的动态需求表现出明显的时空波动特性，例如节假日的高峰客流量和日常平峰的差别，这就要求建筑空间具备灵活适配的能力，这对规划时期的功能划分、施工时期的模块化建造以及运营时期的空间动态调节提出更高的标准。另外机场建筑的生命周期时长跨度大，从前期的规划直至后期的拆除更新，要兼顾长期的资产保值以及技术迭代适配，传统的管理模式很难应对多方面、动态化的管理要求，这凸显数字化手段介入的重要性。

三、数字化设计驱动的生命周期管理实践

（一）设计阶段应用整合

1. BIM技术在方案设计中的集成

BIM技术于机场建筑方案设计里开展集成，通过信息建模和冲突检测协同来提高设计的效率与精准度。BIM创建参数化三维模型，融合建筑、结构、机电等多专业数据，实现航站楼布局规划里的实时协同优化，降低信息偏差。冲突检查功能通过碰撞算法自动识别空间冲突情况，像管线和结构梁之间的碰撞，让问题在方案设计阶段就得以发现并处理，防止施工阶段出现被动返工现象。研究显示此功能能够让设计失误率下降约30%，设计时长缩短15%以上^[5]。这种集成化应用给后续全生命周期管理搭建基础，展现数字化设计的驱动效能。

2. 参数化设计的优化作用

在以数字化设计为驱动的生命周期管理实践里，设计环节的参数化设计优化功效在机场类建筑当中特别主要。参数化工具通过建立通过几何、性能和功能的关联模型，把机场布局里的主要变量（像航站楼分区面积、登机口数目、旅客流线节点等）转变为能够动态调节的参数，为布局优化提供量化决策支撑。就客流模拟而言，参数化模型能够整合通过Agent的仿真算法，通过输入旅客吞吐量、值机效率、安检通道数目等参数，实时模拟不同布局规划下的旅客流线拥堵状况、平均步行路程及等待时长，进一步迅速迭代出兼顾效率和体验的最佳方案。在提高空间利用率方面，参数化设计可结合BIM技术对机场功能空间（像商业区域、行李处理区）的大小、位置以及关联性展开参数化调节，通过算法自动生成多组布局方案，并且对比其空间利用效率指标（例如单位面积旅客承载量、功能区可达性），帮助设计团队在方案阶段精确平衡空间功能与运营需求。这一流程不但缩减传统设计里多次修改的时长，还通过数据驱动的决策途径提高机场布局的科学性和前瞻性，为后续施工、运营环节的高效管理筑牢基础^[6]。

（二）施工与运维阶段应用深化

1. 施工过程数字化监控

在数字化设计引领的机场类建筑全流程生命周期管理实践里，施工进度数字化监测通过物联网和传感器技术实现施工进度和质量的动态把控。机场建设项目由于规模较大、施工工艺复杂，常规监控方式容易因信息传递不及时，造成进度出现偏差或者产生质量隐患。而物联网技术通过在主要施工环节布置温度、压力、位移等传感器，实时收集混凝土浇筑、钢结构安装等施工工序的参数信息，再结合BIM模型搭建数字化孪生场景，让管理人员能够远程监控施工状况，并与设计基准数值进行对比，从而及时发现偏差^[7]。比如在航站楼主体结构建造时，传感器实时反馈钢筋绑扎间距以及混凝土初凝时刻，系统自动对不符合设计要求的工序发出预警，防止因返工导致工期延误；进度数据和BIM模型相联系，通过算法预估主要路径潜在的延误风险，辅助对资源配置进行调整。该种数字化监控方式把施工流程从事后检查转

变为事中干预,大幅降低人为差错与进度滞后情况,为机场建筑施工环节的高效管控提供技术支持。

2.智能运维管理策略

在数字化设计引领的机场运维工作里,智能运维方案通过数据驱动体系实现预测性维护以及能效管控。把设计阶段的 BIM 模型和物联网传感器数据进行融合,建立设备性能预测模型,预先识别故障风险,减少停机时间^[8]。系统根据人流密度、环境参数对 HVAC 以及能源调度进行动态调节,加强能效的精细化管控。此策略缩减故障处置时长,通过数据反馈对设计阶段的设备选取和空间布置进行优化,建立设计与运维的闭环体系,提高机场运营的稳定性和可持续发展能力。

四、挑战、影响与未来展望

(一)技术实施挑战分析

1.数据集成与互操作性问题

在以数字化设计为驱动的机场全生命周期管理里,数据集成和互操作性属于核心技术难题之一。不同阶段运用的 BIM、GIS、FM 等工具的数据格式存在差异(例如 IFC、DWG),使得数据难以在不同系统间流转,进一步形成信息孤岛。举例来说将 BIM 模型导入运维系统时,常常会由于不兼容的问题,导致信息出现丢失或者错位的情况,进一步对决策的准确性产生影响。应对此挑战要搭建标准化集成解决办法:打造通过 IFC 的统一数据交换方案,保证语义的一致性;引进中间件技术实现数据转换与映射;拟定机场数据交互准则,清楚接口标准,加强系统的互操作性,为全生命周期管控奠定数据基础^[9]。

2.信息安全与隐私风险

在数字化设计引领的机场全生命周期管理进程里,信息安全和隐私风险属于核心技术难题。全生命周期包括设计、建造、运维等多个阶段的敏感数据(例如 BIM 模型、设备运转、人流监测等),一旦发生泄露或被篡改,或许会引发物理安全方面的威胁以及公共风险。数字平台多终端接入使被攻击的可能性增大,同时跨国枢纽要符合 GDPR、我国《数据安全法》等合规规定。应对办法包含:搭建通过零信任方案的访问管控,对敏感数据进行加密存储和传输,引入区块链技术实现数据溯源与不可更改,并建立跨主体的合规管理体系,清楚数据责任界限。

(二)经济社会与环境影响

1.经济效益评估

在数字化设计引领下的机场类建筑全生命周期管理,在经济效益评估时,要对其在成本节省与投资回报方面的优势进行量化。通过参数化设计对空间布局 and 材料用量进行优化,能够让建材损耗率降低 15%–20%,使施工周期缩短 10%–15%,直接削减人力和时间成本。以某枢纽机场为实例,该机场航站楼运用 BIM 技术开展全流程管控,在设计环节提前察觉管线碰撞状况,防止施工阶段出现返工现象,节省成本逾 800 万元;在运营阶段通过数字化运维平台实现设备预测性维护,每年缩减停机检修时长 300 小时,在提高运营效率的同时使维护成本降低约 12%。在投

资回报情况中,数字化设计在前期投入时会增加 5%–8%,不过在全生命周期里综合成本会降低 20%–25%,投资回收期会缩短 1–2 年^[10]。除此之外数字化设计能够支持模块化预制构件的生产,减少施工现场的作业量,从而进一步降低建设成本。还可提高工程的质量,降低后期的维修频次,具备明显的长期经济效益。

2.可持续性与环境贡献

通过数字化设计驱动的机场类建筑全周期管理,采用资源优化策略可明显降低环境影响。在设计环节,BIM 技术融合建筑信息和环境数据,精确模拟各异方案的碳足迹及能源消耗情况,为低碳设计的决策提供支撑。在工程施工时期,数字化技术对材料运输路线和现场资源的分配进行优化,降低建筑垃圾的生成量。智能监测系统能够实时调节施工设备的能耗,提高能源的利用效能。在运营时期,通过物联网的建筑能源管理体系实现空调、照明等装置的动态调控,联合数字化运维平台对建筑性能开展持续评估,进一步进一步削减长期运营的能耗。这些措施能够明显降低机场建筑在整个生命周期里的碳排放量,同时通过资源的高效运用减轻对自然环境的压力,为建筑行业的可持续性发展提供实践方法。随着数字化技术的更新,未来能够进一步融合人工智能和大数据分析,实现资源优化策略的动态调控,提高机场建筑对环境变动的适应能力,促进绿色建筑标准在大型交通枢纽里的深入运用。

(三)未来发展趋势与路径

1.新兴技术融合应用

在数字化设计引领的机场类建筑全生命周期管理研究里,人工智能和物联网的融合运用正显示出强化决策支撑与自动化管控的庞大潜能。人工智能技术能够通过对机场运营数据开展深度分析,搭建动态决策模型,对航班调度、旅客流量分配以及资源配置进行优化,加强管理决策的精准度与时效性。物联网技术通过布置智能传感器网络,实现对机场建筑设施、设备状况以及环境参数的实时监控,为自动化管理提供数据支持。二者的结合会促使机场管理由被动应对向主动预判转变,比如根据物联网收集的设备运行数据,人工智能算法能够提前察觉潜在故障,启动预防性维护程序,减少运营风险和成本。未来随着 5G、边缘计算等技术不断发展,人工智能和物联网的协作会进一步深入,建立起更高效的智能管理体系,为机场类建筑的全生命周期管理提供更有力的技术支撑,促使机场运营模式朝着智能化、精细化的方向发展。

2.标准化与政策推动路径

在数字设计驱动的机场全流程生命周期管理里,行业标准的缺失以及政策支持的碎片化,是技术大规模应用的主要阻碍。不同项目运用的技术缺少统一的数据接口和交付准则,导致数据孤岛现象频繁出现。在此情况下,要促使行业协会建立包含数据格式、模型精度等方面的统一标准方案;政府要通过专项基金、税收优惠等激励办法,引导企业积极采用数字化技术。建立跨部门协作机制,把数字化需求融入项目审批与验收流程。标准化和政策共同作用,能够破除应用障碍,加快技术大规模推广,加强行业效益与可持续发展水平。

五、总结

在数字化设计的驱动之下，机场建筑开展全生命周期管理，通过参数化建模、BIM协同这类技术，实现设计时期的多方案优化、施工时期的进度与成本精确管控，还有运维时期的设施性能实时监测，明显提高项目全周期的效率与可持续性。研究表明数字化工具的深入运用能够有效破除各阶段的信息障碍，推动跨专业协作，减少资源损耗与运营风险。但是目前技术和管理的结合

仍然存在局限，像不同软件之间的数据交互准则不一致、运维时期数字化平台的兼容性欠佳，并且管理团队对数字化工具的运用能力尚需提高。未来的研究应进一步探寻政策方面的适配机制，例如拟定统一的数据交换准则与行业规范，同时推进技术改革，研发更具智能化的预测性维护算法与集成式管理平台，以此加强数字化设计在机场建筑全生命周期管理里的核心驱动效能，帮助机场建筑朝着更高效、智能、绿色的方向迈进。

参考文献

[1]王立阳.基于成本优化的全生命周期下智能产品设计开发研究[D].山东建筑大学,2023.
[2]胡秋.T企业实物资产全生命周期管理研究[D].扬州大学,2022.
[3]刘天如.B行政单位固定资产全生命周期管理研究[D].内蒙古科技大学,2023.
[4]张晋伟.Z市行政事业性固定资产全生命周期管理研究[D].山西大学,2022.
[5]王昊鑫.基于智慧互联的选煤设备全生命周期管理系统研究[D].中国矿业大学(江苏),2022.
[6]赵川.数字化视角下自制类测试装备全生命周期管理研究[J].中国设备工程,2022.
[7]张娟,张海龙,吴晋曙.数字化时期的医疗器械全生命周期管理实践[J].中国卫生产业,2022.
[8]王水玲,张冠乔,张帅,田少卫.基于数字孪生的预制建筑全生命周期管理应用研究[J].项目管理技术,2023.
[9]颜剑.数字孪生在建筑全生命周期管理中的应用研究[J].城市建筑,2023.
[10]张肖虎.新型绿色建筑工程的全生命周期管理及评价体系分析[J].砖瓦世界,2024.