

数字孪生技术在电子科技重大项目全流程可视化管理中的应用研究

吴晓霞

中国电子科技集团第三十八研究所

DOI:10.32629/pe.v3i6.17998

[摘要] 随着电子科技重大项目向高度复杂化、系统化方向发展,传统项目管理方法已难以满足全流程可视化、实时监控和精准决策的需求。数字孪生技术作为实现物理世界与信息世界交互融合的关键技术,为电子科技重大项目管理的创新提供了全新路径。本文基于数字孪生技术体系,深入探讨了其在电子科技重大项目全流程可视化管理中的应用架构、实施路径,以期为电子科技领域项目管理的数字化转型提供理论参考和实践指南。

[关键词] 数字孪生; 电子科技; 项目管理; 全流程可视化; 虚实交互

中图分类号: F416.63 **文献标识码:** A

Study on the Application of Digital Twin Technology in the Whole-Process Visual Management of Major Electronic Science and Technology Projects

Xiaoxia Wu

China Electronics Technology Group Corporation, 38th Research Institute

[Abstract] As major electronic science and technology projects move toward higher complexity and systematization, traditional project management methods can hardly meet the needs of whole-process visualization, real-time monitoring and precise decision-making. As a key technology for realizing the interactive integration of the physical world and the information world, digital twin technology provides a new path for the innovation of major electronic science and technology project management. Based on the digital twin technology system, this paper deeply explores its application architecture and implementation path in the whole-process visual management of major electronic science and technology projects, in order to provide theoretical reference and practical guidance for the digital transformation of project management in the field of electronic science and technology.

[Key words] Digital Twin; Electronic Science and Technology; Project Management; Whole-Process Visualization; Physical-Virtual Interaction

数字孪生技术自2010年由NASA正式提出以来,已从概念探索逐步走向产业化应用。其通过构建物理实体的数字化镜像,并利用实时数据驱动仿真过程,实现对物理实体的监测、预测和优化,为复杂系统的全生命周期管理提供了革命性手段。据工业和信息化部电子第五研究所的研究显示,数字孪生技术已成为新型工业化时代的核心使能技术,正重塑全球制造业、能源与城市治理的发展范式。在电子科技领域,数字孪生技术的应用潜力尤为显著,例如中国移动与复旦大学联合开发的“星地智生一体化数字孪生系统”,实现了卫星网络从设计、测试到部署运营的全流程数字化,仿真精度相较传统模式提升超过23.8%。

电子科技重大项目作为国家科技创新和产业发展的关键载体,具有技术密集、系统复杂、风险高等特点。这类项目通常涉及众多学科领域、大量硬件设备与复杂软件系统,且各组成部分之间存在高度的耦合关系。随着项目规模与复杂度的不断提升,传统依赖文档、会议和阶段性评审的项目管理方式已难以全面掌握项目状态、预测潜在风险和实现精细化管理。如何实现项目全流程的可视化监控、智能化决策和动态优化,成为电子科技项目管理领域亟待解决的核心问题。

1 数字孪生技术的概念内涵与核心特征

数字孪生是一种通过物理—信息映射实现虚实双向交互的

技术体系,其核心在于构建物理实体的数字化镜像模型,并通过多源数据的动态更新与仿真分析,实现对物理实体全生命周期的实时监测、预测与优化。从技术演进的角度看,数字孪生经历了从技术准备期(1960-2000年,以CAD/CAE为基础)、概念萌发期(2001-2010年,“信息镜像模型”提出)、技术突破期(2011-2020年,与物联网、大数据等技术融合)到认知增强期(2021年至今,结合生成式AI与区块链)的发展过程。

与传统仿真技术相比,数字孪生技术具有四大革新性特征:一是全生命周期覆盖,数字孪生贯穿物理实体从设计、制造、运维到报废的全过程,而非仅限于设计阶段;二是实时双向交互,通过传感器和通信技术实现物理状态与虚拟模型的同步更新,并可通过虚拟模型反馈控制物理实体;三是多源数据融合,整合几何、物理、行为规则等多维度数据,形成统一的数字线程;四是智能决策支持,基于AI算法对实时数据进行分析,提供预测性洞察和优化建议^[1]。

2 电子科技重大项目全流程管理痛点分析

2.1 信息孤岛问题突出,协同效率低下

电子科技重大项目参与主体众多,各参与方往往采用独立的管理系统与数据标准,导致项目数据分散存储于不同平台,形成“信息孤岛”。例如,研发设计阶段的技术数据、生产制造阶段的工艺数据、测试验证阶段的检测数据难以实现实时共享,不同参与方之间的信息传递存在延迟与偏差,导致协同工作中频繁出现重复劳动、沟通误解等问题,严重影响项目推进效率。

2.2 过程可视化程度低,管控能力不足

传统项目管理模式下,项目进度、质量、成本等关键指标多通过周期性报告、线下检查等方式获取,难以实现实时动态监控。对于研发设计中的技术瓶颈、生产制造中的工艺异常、测试验证中的性能问题等,往往只能在问题发生后进行事后处理,缺乏事前预警与事中干预能力。这种“被动式管理”模式导致项目风险管控难度大,容易出现进度延误、质量不达标等问题。

2.3 决策缺乏数据支撑,科学性不足

电子科技重大项目面临的不确定性因素较多,需要基于全面、实时的数据进行科学决策。但当前项目管理中,数据采集多为人工录入或分散采集,数据完整性与实时性难以保障,且缺乏有效的数据整合与分析工具。项目决策多依赖管理人员的经验判断,主观性较强,容易导致决策失误,影响项目目标的实现^[2]。

2.4 全生命周期追溯困难,责任界定模糊

电子科技重大项目全流程涉及大量的技术文档、工艺参数、测试数据等,传统管理模式下多以纸质文档或分散的电子文档形式存储,难以实现全生命周期数据的有效追溯。当项目出现质量问题或技术故障时,无法快速定位问题根源,导致责任界定模糊,影响问题的快速解决与后续改进。

3 数字孪生技术在全流程各阶段的可视化管理应用实践

3.1 立项阶段:可行性分析可视化

电子科技重大项目立项阶段的核心任务是开展技术可行性、经济可行性与风险可行性分析,为项目决策提供依据。传统可行性分析多依赖文档报告与专家经验判断,缺乏直观的数据分析与场景模拟支撑。数字孪生技术的应用的核心是构建项目虚拟场景模型,整合行业历史数据、技术发展趋势数据、市场需求数据等,实现可行性分析的可视化呈现。具体应用包括三个方面:一是技术路线可视化,通过虚拟模型模拟不同技术路线的实施过程与效果,直观展示各技术路线的技术难度、研发周期、资源需求等,为技术路线选择提供支撑;二是资源配置可视化,基于虚拟模型构建资源需求预测模型,可视化呈现项目所需的人力、物力、财力资源分布与需求时序,为资源配置方案优化提供依据;三是风险预警可视化,通过整合历史项目风险数据,构建风险预测模型,可视化呈现立项阶段可能面临的技术风险、市场风险、政策风险等,明确风险等级与影响范围,为风险应对方案制定提供支撑。通过立项阶段的可视化分析,能够有效提升可行性分析的科学与准确性,降低项目立项决策风险^[3]。例如,中国移动与复旦大学联合开发的“星地智生一体化数字孪生系统”,该系统可为卫星组网提供从设计、测试到部署运营的全流程数字化解决方案,具备全流程虚拟仿真能力,可完整模拟卫星网络从规划设计、研发测试到实际部署和运行管理全过程,这种“虚实交互”技术,解决了传统卫星测试验证依赖实体、受时空限制、周期长、成本高的难题,测试成本降低70%,测试效率提升30%。

3.2 研发设计阶段:协同设计与进度可视化

研发设计是电子科技重大项目的核心阶段,涉及多学科、多团队的协同工作,技术复杂度高、迭代频繁,传统管理模式容易出现设计冲突、进度滞后等问题。数字孪生技术的应用核心是构建协同设计虚拟平台,实现研发设计过程的可视化与协同化管理。具体应用包括三个方面:一是协同设计可视化,多团队基于统一的虚拟模型开展并行设计,实时共享设计数据与进度信息,通过虚拟模型进行设计方案的碰撞检测与冲突协调,避免后期设计变更;二是设计进度可视化,基于虚拟模型构建进度跟踪模型,可视化呈现各设计任务的完成进度、关键节点达成情况、滞后任务预警等,支持管理人员实时掌握研发设计进度;三是设计成果可视化,将抽象的设计方案转化为三维虚拟模型,直观展示产品的结构、性能、功能等,方便设计团队与其他参与方进行沟通评审,提升设计方案优化效率。通过研发设计阶段的可视化管理,能够有效打破团队壁垒,提升协同设计效率,缩短研发周期,降低设计成本。

3.3 生产制造阶段:过程监控与质量可视化

电子科技重大项目产品生产具有工艺复杂、精度要求高、批量小、定制化程度高等特点,传统生产管理模式难以实现对生产过程的精准管控。数字孪生技术的应用核心是构建生产过程虚拟映射模型,实现生产制造全流程的实时可视化监控。具体应用包括三个方面:一是生产过程可视化,通过物联网设备采集生产设备运行状态、工艺参数、物料流转等实时数据,在虚拟模型中实时映射生产过程,管理人员可通过可视化界面直观掌

握生产进度、设备运行情况、物料供应状态等;二是质量管控可视化,基于生产过程实时数据与质量检测数据,构建质量分析模型,可视化呈现产品质量分布、质量缺陷位置、缺陷产生原因等,实现质量问题的实时预警与快速定位;三是工艺优化可视化,通过虚拟模型模拟不同工艺参数组合的生产效果,可视化呈现工艺参数对产品质量、生产效率的影响,为工艺参数优化提供支撑^[4]。浙江大有实业有限公司临平分公司、杭州市临平区供电公司和江苏星湖科技有限公司联合研究的基于人工智能预建点云的配电场景空间孪生技术,可实现现场巡检和故障处理效率提升38%,对应成本降低30%。该技术以“数据采集-智能建模-全息应用”为核心,打造智慧配网全流程数字化数字孪生应用体系,通过AI预建点云引擎,无需依赖昂贵的UE5技术,快速实现实景点云数据匹配拟合,建模成本较传统降低50%以上。通过生产制造阶段的可视化管理,能够有效提升生产过程管控精度,降低产品缺陷率,提高生产效率。

3.4 测试验证阶段: 测试数据与结果可视化

测试验证是确保电子科技重大项目产品性能达标、可靠性合格的关键环节,涉及大量的测试项目、测试数据与测试场景,传统管理模式难以实现测试数据的有效整合与分析。数字孪生技术的应用核心是构建测试验证虚拟仿真平台,实现测试过程与结果的可视化管理。具体应用包括三个方面:一是测试场景可视化,基于虚拟模型构建多样化的测试场景,模拟产品在不同环境、不同工况下的运行状态,减少物理测试场景的搭建成本;二是测试数据可视化,实时采集测试过程中的各项性能数据、可靠性数据,通过可视化图表呈现数据变化趋势、数据分布特征,支持测试人员快速发现异常数据;三是测试结果可视化,将测试数据与预设标准进行对比分析,可视化呈现产品是否达标、达标程度、存在的差距等,为产品改进提供直观依据。

3.5 交付运维阶段: 运维状态与故障预警可视化

电子科技重大项目产品交付后,往往需要长期的运维支持,确保产品稳定运行,传统运维管理模式多为“被动维修”,难以实现故障的提前预警与快速处理。数字孪生技术的应用核心是构建产品运维虚拟模型,实现运维过程的可视化与预测性管理。具体应用包括三个方面:一是运行状态可视化,通过物联网设备采集产品运行过程中的实时数据,在虚拟模型中实时映射产品运行状态、性能参数变化等,方便运维人员实时监控产品运行情

况;二是故障预警可视化,基于产品运行数据与历史故障数据,构建故障预测模型,可视化呈现产品可能出现的故障类型、故障位置、发生概率等,实现故障提前预警;三是维修方案可视化,针对预警的故障或已发生的故障,通过虚拟模型模拟维修过程,可视化呈现维修步骤、所需工具、维修时长等,为运维人员提供直观的维修指导,提升维修效率。例如,东方电子为广东电网量身打造的数智化调度运行保供电系统,展示了数字孪生技术在运维服务阶段的应用价值。该系统集成数字孪生与风险预警技术,覆盖95座赛事场馆,通过数字孪生模型,运维人员可远程实时掌握设备运行状态,精准开展故障诊断。当线路出现异常时,系统能在1秒内自动隔离故障,毫秒级恢复非故障区域供电,支持多种自愈模式,确保关键负荷“零闪动”。这种基于数字孪生的智能运维能力,为大型活动提供了可靠的电力保障,也为电子科技重大项目的运维管理提供了借鉴。

4 结语

数字孪生技术作为一种新型数字化技术,通过构建物理实体与虚拟模型的实时映射,实现了项目全流程的可视化与数据驱动管理,为解决电子科技重大项目管理痛点提供了有效路径。同时,数字孪生技术在电子科技重大项目全流程管理中的应用仍面临技术、管理、安全等多方面挑战,需要通过技术研发、机制完善、人才培养、安全防护等多维度措施加以解决。未来,随着技术的不断进步与实践的不断深入,数字孪生技术将在电子科技重大项目管理中发挥更大的作用,推动项目管理模式的持续创新。

[参考文献]

- [1]马佳佳,李蓉蓉.基于大数据和数字孪生的传感器智能仿真测试系统研究[J].现代信息科技,2025,9(20):194-198.
- [2]王超,刘兵.数字孪生技术在智慧电厂安全管理中的应用[J].东北电力技术,2025,46(01):5-8.
- [3]田思思,王永圣,罗强,等.数字孪生驱动的电子技术实验混合教学改革[J].实验室研究与探索,2024,43(11):148-152.
- [4]支撑数字经济高质量发展——数字人才“养成记”[J].大社会,2024,(05):12-15.

作者简介:

吴晓霞(1981--),女,回族,安徽省合肥市人,本科,高级工程师,文章方向:项目管理,经济运行管理、综合管理。