

数字孪生技术在科技档案全生命周期管理中的应用研究

吕琪

连云港港口控股集团有限公司，江苏连云港，222042；

摘要：数字孪生技术在科技档案全生命周期管理中的应用研究，通过双向映射打破传统管理中物理与数字信息的割裂局限，系统分析其在生成、存储、利用、销毁各阶段的核心作用。研究依托多元数据融合、智能监测、知识图谱等技术，构建全维度数字镜像，实现档案精准采集建档、全流程管控及深度挖掘利用，形成从数据采集到智能决策的全链条支撑体系，有效提升管理效率，释放档案知识价值，为科技档案管理的智能化转型提供实践路径。

关键词：数字孪生技术；科技档案；全生命周期管理；应用

DOI：10.69979/3041-0673.26.05.072

引言

科技档案全生命周期管理是保障科研项目推进、技术成果传承的关键环节，当前传统管理模式存在数据采集不全面、存储环境管控被动、检索利用低效、销毁流程追溯不足等问题，难以适配新时代科技发展对档案管理的智能化需求。数字孪生技术的双向映射与动态联动特性，为破解上述困境提供了全新思路。本研究以科技档案全生命周期管理需求为导向，探索数字孪生技术的应用路径，通过构建全链条管理体系，实现档案管理从传统静态模式向智能动态模式的转型，提升档案管理的精准性与高效性。

1 数字孪生技术在科技档案全生命周期管理中的作用分析

数字孪生技术通过构建物理实体与虚拟模型的双向映射，为科技档案全生命周期管理提供了从数据采集到智能决策的全链条支撑，其核心价值在于打破传统档案管理中物理实体与数字信息割裂的局限，实现档案从三层存储、利用到消费全流程的动态管理。

在档案生成阶段，数字孪生技术通过多元数据融合构建起数字基因库，将多类非结构化数据与结构化信息进行整合，这种模式不仅能够完整记录档案生成的全流程，还可通过关联分析揭示技术演进的内在规律，为后续研发工作提供坚实的知识复用基础。

在存储阶段，数字孪生技术构建起三位一体的保护体系，通过在档案库房部署温湿度、光照、空气质量等各类传感器，系统能够实时监测存储环境参数并与虚拟模型联动调控，从而有效避免档案因环境因素受损。

在利用阶段，数字孪生技术实现了档案价值的深度挖掘与精准交付，传统检索方式依赖于单一的关键词匹配，而数字孪生技术支持基于技术特征、应用场景、关

联关系的多维检索，同时可根据用户行为数据优化档案推荐策略，例如为新入职的工程师推送基础规范类档案，为资深专家提供前沿技术动态。

在销毁阶段，数字孪生技术则建立了全流程追溯与风险评估机制，对于需要销毁的涉密档案，系统可模拟不同销毁方式的实施效果并选择最优方案，且在销毁完成后，系统能够自动生成包含时间、地点、操作人员、销毁方式等关键信息的数字凭证，以保证整个过程可追溯、责任清晰可界定。

2 数字孪生技术在科技档案全生命周期管理中的应用

2.1 精准采集与建档，构建全维度数字镜像

2.1.1 数据采集

精准采集作为构建全维度数字镜像的基础，要求企业通过多元数据融合技术实现科技档案原始信息的无损捕获，在此过程中企业需明确数据采集的边界范围，涵盖科技项目从立项、研发、测试到验收全流程产生的结构化数据与非结构化数据，并制定统一的数据采集规范，确定各类数据在格式、精度、时间戳等维度的一致性标准。为实现高效的数据采集，企业应部署自动化采集终端，如集成物联网传感器的智能设备可实时采集设备运行数据，自然语言处理技术则能自动提取技术文档中的关键信息，同时建立数据校验机制，通过逻辑验证、比较校验等方式剔除冗余或错误数据，最终形成涵盖科技档案全要素的数据采集体系，为后续建档工作提供可靠的数据源。

例如，港口企业以大型集装箱起重机科技档案为核心管理对象，明确数据采集边界范围覆盖起重机从立项论证、核心部件研发、整机装配调试到竣工验收全流程，同步制定统一数据采集规范，明确结构化数据中核心部

件尺寸精度保留至小数点后三位、运行参数采样频率为每秒2次,非结构化数据中文档格式统一为PDF/A、图纸格式为DWG且分辨率不低于300DPI的一致性标准。为实现高效采集,港口企业在起重机关键部位部署集成物联网传感器的智能监测终端,这些终端实时采集起升机构转速、大车行走轮压力、小车运行轨道平整度等设备运行数据,同时引入自然语言处理系统自动提取技术可行性研究报告、部件检测报告中的关键信息,包括材料型号、性能参数、实验结论等核心要素。企业同步建立数据校验机制,通过逻辑验证比对起重机电机功率与负载能力的匹配性,通过比较校验核对不同检测阶段同一部件尺寸数据的一致性,最终剔除冗余的重复检测数据与错误的参数录入数据,形成涵盖起重机科技档案全要素的数据源体系。

2.1.2 全维度建档

全维度建档需以原始数据集为基础,企业可借助数字孪生技术构建科技档案的虚拟映射模型,在此环节企业要定义档案的维度框架,包括技术维度、管理维度、应用维度,并明确各维度的数据映射规则;在实践操作中,企业可采取分层建模模式,底层为数据层,将采集的原始数据按维度分类存储;中层为模型层,通过数据关联算法建立维度间的动态关系,如技术参数与实验结果的因果关系、项目进度与资源投入的匹配关系等;顶层为应用层,基于模型开发可视化界面,支持用户通过交互操作查询档案的任意维度信息。建档过程中还需注重对模型进行动态更新,通过实时数据接入与定期模型优化,确保数字镜像与物理档案的同步性。

例如,港口企业以采集的大型集装箱起重机全流程数据为基础,借助数字孪生技术构建该类科技档案的虚拟映射模型,同时定义档案维度框架包含技术维度、管理维度与应用维度,明确技术维度对应起重机核心部件参数、装配工艺等数据,管理维度对应项目立项批复文件、资源投入明细等数据,应用维度对应不同工况下的运行效率数据,并制定各维度数据映射规则。在实践操作中,企业采取分层建模模式,底层数据层将采集的原始数据按维度分类存储,其中技术维度数据存储于专用工程数据库、管理维度数据接入企业ERP系统数据库;中层模型层通过关联算法建立维度间动态关系,如通过数据挖掘算法构建起升机构转速与能耗的因果关系,通过匹配算法建立项目进度与钢材、电机等资源投入的对应关系;顶层应用层基于模型开发可视化管理界面,支持用户通过点击交互查询起重机任意核心部件的技术参数、对应采购合同信息及不同负载工况下的运

行数据。建档过程中,企业通过实时接入起重机运行监测终端的动态数据,结合每月一次的模型优化工作,确保数字镜像与物理档案及实际设备运行状态的同步性。

2.2 全流程管控,推动管理效率迭代升级

2.2.1 全流程规划

全流程规划是数字孪生技术推动科技档案管理效能提升的起点,企业需构建覆盖档案全生命周期的标准化管理框架,在此过程中要明确管理流程的边界,从档案生成、存储、利用到销毁的各个环节均需定义清晰的规范指标,其中生成阶段要明确数据采集精度标准和格式要求,存储阶段则需界定存储介质的性能参数与备份策略。企业应开发流程配套工具,通过可视化界面将管理规范转化为可执行的流程模板,支持用户根据实际需求调整流程节点与流转规则,并建立流程版本管理机制,确保每次流程优化均能被完整记录且可追溯;在流程规划过程中还需注重对流程进行闭环管控,保证每个环节的输出都能作为下一环节的输入,例如存储环节需将档案的元数据自动归集并同步至利用环节,避免出现信息断层。

例如,港口企业围绕大型集装箱起重机科技档案全生命周期构建标准化管理框架,其中生成阶段明确数据采集精度需符合核心部件尺寸误差不超过 $\pm 0.02\text{mm}$ 的标准,技术文档格式需包含标准化元数据字段;存储阶段界定采用分布式存储服务器,服务器读写速度不低于1GB/s,同时制定“本地+异地”双备份策略,异地备份节点距离主存储节点不小于50公里。企业开发流程配套可视化管理工具,将各环节管理规范转化为可执行的流程模板,模板中预设档案生成环节的参数校验节点、存储环节的备份触发节点等关键节点,支持档案管理人员根据起重机技改项目等实际需求调整流程节点顺序与流转规则。企业同步建立流程版本管理机制,为每次流程优化生成唯一版本编号,记录优化内容、优化原因及优化实施人员等信息,确保流程优化过程可追溯;在流程规划中构建闭环管控体系,存储环节通过系统接口将档案元数据自动归集至利用环节的检索数据库,利用环节将档案借阅记录同步反馈至存储环节的权限管理模块,避免信息断层。

2.2.2 引入动态监控

完成全流程规划后,企业应引入动态监控策略,借助数字孪生技术实现管理过程的实时感知与异常预警,首要任务是部署监控指标体系,涵盖流程效率、数据质量、资源利用率等核心维度,并为每个指标设定合理的阈值范围;随后需在流程体系中植入监控平台,通过数

据接口实时采集各流程环节的运行数据,并与预设阈值进行比对,当数据超出阈值时自动触发预警机制,如通过邮件、短信或系统弹窗通知相关责任人;监控过程中还需注重数据的可视化呈现,通过仪表盘、趋势图等形式直观展示管理状态,帮助用户快速定位问题环节。

2.3 深度挖掘与利用,释放档案知识价值

2.3.1 知识图谱建构

知识图谱建构是最大限度发挥档案知识价值的基础,企业需通过语义关联技术将分层档案数据转化为结构化的知识网络,在此过程中要明确知识图谱的构建范围,涵盖科技档案中的技术原理、工艺流程、实验数据、应用场景等核心要素,并定义各要素间的语义关系类型,如因果关联、包含关系、从属关系等。紧接着,企业应开发语义解析工具,通过自然语言处理技术结合既定的知识图谱要素指标,整合档案文本中的实体与关系,例如从技术报告中识别材料性能与温度的因果关系,同时建立人工校验机制,由领域专家对自动提取的结果进行审核验证,确保知识图谱的准确性;建构过程中还需加强对图谱扩展性的管控,通过开放接口支持新档案数据动态接入,并即时更新语义关系模型,以适应技术发展带来的知识演变。

例如,港口企业以大型集装箱起重机科技档案为核心构建知识图谱,明确图谱构建范围涵盖起重机技术原理、核心部件装配工艺流程、不同工况下的实验数据、港口装卸作业应用场景等核心要素,同时定义各要素间的语义关系类型,包括核心部件与装配工艺的包含关系、实验数据与运行工况的因果关系、技术原理与应用场景的从属关系等。企业开发专属语义解析工具,通过自然语言处理技术结合既定的知识图谱要素指标,整合起重机技术报告、实验记录等档案文本中的实体与关系,从起重机液压系统技术报告中识别液压泵型号与系统工作压力的匹配关系,从不同负载实验记录中提取起升重量与电机能耗的因果关系。企业同步建立人工校验机制,由港口机械工程领域专家组成校验团队,对自动提取的实体关系进行审核验证,对解析偏差的液压系统压力与流量的关系数据进行修正,对遗漏的核心部件装配顺序关系进行补充,确保知识图谱的准确性。建构过程中,企业通过开放数据接口支持起重机技改项目产生的新档案数据动态接入知识图谱,同时即时更新语义关系模型,将技改后新增的节能部件与原有传动系统的关联关系纳入图谱体系,适应技术升级带来的知识演变。

2.3.2 智能检索

智能检索是释放档案知识价值的重要媒介,核心在于通过知识图谱实现检索需求的精准匹配与知识推荐,企业应引入先进的检索算法,将传统关键词匹配升级为基于语义的向量检索,即将用户输入的检索需求转化为语义向量,在知识图谱中匹配具有相似语义的节点;为提高检索效率,还需基于知识图谱开发多维度检索界面,支持用户通过技术领域、应用场景、时间范围等条件组合从知识图谱中筛选档案知识;此过程中要同步建立检索反馈机制,记录用户检索行为与结果满意度,结合机器学习算法持续优化检索模型。

3 结束语

总体来说,数字孪生技术与科技档案全生命周期管理的融合实践,不仅构建起全链条智能化管理体系,更重塑了档案管理的价值逻辑。这种融合突破传统管理的技术瓶颈,实现档案从数据存储向知识服务的深度转型,为科研创新提供坚实的知识支撑。未来档案管理可依托这一融合框架,进一步拓展技术应用边界,强化多领域数据协同能力,推动管理体系向更具适应性、前瞻性的智能生态演进,为科技成果的传承与转化提供更有力的保障。

参考文献

- [1]李运静.基于关联规则的档案数字化信息资源分类及共享[J].电脑编程技巧与维护,2025,(12):105-108. DOI:10.16184/j.cnki.comprg.2025.12.019.
- [2]罗传祥,殷敏婕.科技档案赋能科研诚信建设:角色定位、现实困境与优化路径[J].兰台世界,2025,(12):124-128. DOI:10.16565/j.cnki.1006-7744.2025.12.28.
- [3]王巍.企业档案馆(室)档案工作的制度化及实践[J].现代企业,2025,(12):66-68.
- [4]石永光.科技档案在科技成果转化中的应用探讨[J].办公室业务,2025,(22):73-75.
- [5]郭娜.科技档案在机场建设中的作用分析[J].办公室业务,2025,(22):76-78.

作者简介:吕琪,出生年月:1989年10月,性别:女,民族:汉族,籍贯:江苏省连云港市,学历:大学本科,职称:馆员,研究方向:企业档案管理,单位:连云港港口控股集团有限公司。