

人工智能背景下水利工程施工资料的采集与管理对策分析

孙丽霞

新疆北方建设集团有限公司 新疆 奎屯 833200

【摘要】：本文以新疆奎屯河引水工程为研究对象，探索人工智能技术在大型水利工程施工资料采集与管理中的创新应用。通过构建多模态数据融合采集系统，集成传感器、无人机与视频监控等多元数据源，实现施工信息的全面感知与高效采集；依托智能结构化处理平台，运用自然语言处理与图像识别技术，对原始资料进行自动分类、提取与归档，提升资料整理效率与标准化水平；结合动态风险预警机制，基于机器学习模型对关键节点数据进行实时分析，识别潜在质量与安全风险，推动管理由事后追溯向事前预防转变。三者协同作用，有效保障了施工全过程资料的实时性、准确性与可追溯性，显著提升工程质量管控效率与合规性水平，为同类工程提供了可复制、可推广的智能化管理范式。

【关键词】：人工智能；水利工程；施工资料；采集管理

DOI:10.12417/2811-0528.25.20.070

引言

随着“新基建”战略推进，水利工程规模复杂度陡增，传统施工资料管理模式面临严峻挑战。尤其在大型引调水工程中，涉及地质勘测、结构设计、施工日志、质检记录等多源异构数据，人工采集易出现漏项错填、时效滞后、管理脱节等问题，直接影响工程验收与运维安全。人工智能技术的突破为解决上述痛点提供了新路径。如何将 AI 能力深度融入工程流程，实现从被动记录到主动管控的范式转型，成为行业提质增效的关键命题。面对庞杂的工程数据管理需求，亟需以实际工程为载体，探索 AI 赋能的落地路径。以下以国家重大水利工程——新疆奎屯河引水项目为范例展开实践分析。

1 案例工程概况

1.1 工程概况

奎屯河引水工程是国务院确定的 172 项国家重大节水供水工程之一，也是新疆生产建设兵团在建的最大单体水利工程（项目批复投资 40.07 亿元）。工程主体包含四大板块：将军庙水利枢纽（坝高 83.5m，库容 1.2 亿 m^3 ）；山区引水系统（隧洞总长 26.8km，最大埋深 620m）；出山口引水工程（渡槽 12 座，倒虹吸 7 处）；团结干渠改建段（渠道衬砌 38.6km）；工程地质条件复杂（穿越 F3 活动断裂带）、施工标段多达 21 个、参建单位超 40 家，资料协同管理难度极大。

1.2 传统资料管理痛点诊断

通过对开工初期 3 个月的追踪调研，发现三类典型问题：

采集失准：隐蔽工程记录与现场实际偏差率超 15%（如灌浆深度记录缺失岩性描述）；管理脱节：设计变更通知平均传递耗时 72 小时，52% 的施工班组未及时更新图纸；验收风险：竣工图与施工记录不一致点超 200 处，涉及 35% 的分部工程。

2 AI 驱动的施工资料智能管理系统设计

2.1 系统架构设计

基于“端-边-云”协同框架构建三层架构：智能采集终端层：无人机航测建模、物联网传感器（渗压计/应变计）、AI 安全帽（语音日志采集）、移动 APP（结构化表单填报）；边缘计算层：施工现场部署轻量化 AI 服务器，实现实时 OCR 识别（图纸批注提取）、声纹校验（工序报验真伪判定）；云端管理平台：融合 BIM+GIS 构建数字孪生体，支持自动关联设计参数、智能核验施工偏差、自动生成监理月报。

2.2 四大核心功能模块

（1）多模态智能采集系统

无人机每周自动生成正射影像，AI 比对设计坐标与实际开挖轮廓（误差精度 $\leq 2cm$ ）；混凝土温控传感器数据直连平台，超标时自动触发预警（2023 年避免温度裂缝事故 17 起）；工人语音日志通过 NLP 解析关键节点信息（如：“桩号 K12+350 完成钢筋绑扎”自动解析为验收节点）。

(2) 结构化处理引擎

利用深度学习模型实现：非标表单智能转换（如手写混凝土浇筑记录→结构化数据库）；设计变更语义分析（自动标记影响范围，推送至相关施工组）；电子签名区块链存证（已累计存证 12.8 万份，法律效力获审计认可）。

(3) 动态风险预警平台

基于知识图谱构建违规行为识别模型：自动校验“隐蔽工程影像资料完整性”与验收规范条款关联性；实时监测材料检测报告有效期（提前 7 天预警临期报告）；智能分析工期进度与资料完备度的逻辑矛盾（如：衬砌完成但缺少养护记录）。

(4) 数字档案交付系统

竣工阶段自动生成符合《水利工程档案管理规定》的电子档案包：智能校核“四同步”原则（资料进度/质量/验收/计量）；自动关联 BIM 构件属性（如渡槽钢筋量、混凝土标号等）；一键生成工程资料合规性报告（覆盖 GB/T50328 等 46 项标准）。系统在团结干渠改建标段的深度应用，验证了 AI 驱动的管理范式变革价值。

3 应用实践：团结干渠改建标段深度案例

3.1 项目特点

改建段总长 38.6km，涉及 7 种衬砌断面型式、16 个材料供应批次，最大痛点在于复杂多变的施工环境与管理协同难度。首先，地质突变频发成为制约进度的关键因素，受区域地质条件影响，渠基换填率达 42%，传统勘察与应对方式难以及时响应，导致施工中断和资源浪费。其次，设计变更密集，项目累计签发变更通知单达 89 份，频繁的设计调整不仅增加现场执行难度，还容易引发资料版本混乱和工程衔接问题。此外，多班组交叉作业现象突出，在施工高峰期，多达 9 支队伍同步作业，工序穿插复杂，协调难度大，易出现资源配置冲突与质量控制盲区。这些挑战集中反映出项目对高效决策机制与智能协同工具的迫切需求。面对上述问题，亟需通过技术赋能提升工程管理的敏捷性与精准度，确保复杂条件下施工组织的有序运行与工程质量的可控可溯。

3.2 AI 系统落地成效

(1) 地质资料动态管理突破

引入无人机航测与探地雷达技术融合手段，实现对渠基地质结构的高精度三维建模，构建覆盖全线的数字化地质档案。AI 算法深度解析多源数据，自动识别岩层分布、软弱夹层及潜在滑移面，为设计优化提供实时支撑。在换填区域边界识别方面，系统通过图像识别与地形比对技术，精准划定施工范围，

避免人工测绘存在的主观误差和效率瓶颈，工作效率提升达 11 倍。同时，借助区块链技术搭建分布式资料管理系统，确保每一次地质变更信息都能在设计、施工、监理等多方终端同步更新，彻底杜绝因版本混乱导致的误用问题，版本误用率稳定保持为 0。此外，系统还具备智能预警功能，当实际开挖地质情况与勘察报告不符时，AI 可第一时间触发风险提示，辅助项目团队快速响应地质突变事件，有效降低施工风险。

(2) 关键工序质控强化

混凝土衬砌作为水利工程中的关键结构，其施工质量直接影响工程耐久性与安全性。在团结干渠改建标段中，系统通过智能化手段对衬砌养护期的关键工序实施全过程质量控制，显著提升了施工资料的完整性与准确性。首先，在环境数据采集方面，施工现场部署了高精度温湿度传感器，每分钟自动上传一次养护区域的环境参数，实现全天候动态监测。这些数据不仅用于判断养护条件是否符合规范要求，还为后续强度发展预测提供基础依据，确保养护过程可追溯、可分析。其次，在养护行为监管方面，系统引入 AI 视频监控技术，通过图像识别算法实时判断养护覆盖是否完整。例如，是否铺设保湿材料、喷淋系统是否正常运行等。系统识别准确率达到 98.7%，能够及时发现养护不到位的情况并触发预警，督促现场人员进行整改，避免因人为疏漏导致质量缺陷。最后，在数据分析与成果输出方面，系统将采集到的温湿度数据与混凝土龄期-温度-强度关系模型相结合，自动生成养护曲线，并基于成熟度法预测混凝土强度发展趋势。该报告不仅支持施工方动态调整养护策略，也为监理单位提供了科学依据，提升了验收效率和质量控制水平。

通过上述三方面的协同应用，混凝土衬砌养护期的质量控制实现了从人工经验主导向数据驱动的转变，大幅减少了人为干预带来的不确定性，为工程实体质量提供了坚实保障。

(3) 验收资料自动生成

通过深度整合施工日志、检测报告、影像记录等多源数据流，系统实现了单元工程验收资料的自动化归集与智能校验。基于 BIM 模型与施工进度的实时联动，系统能够自动识别已完成的单元工程，并精准抓取相关质量控制数据，包括原材料检测结果、隐蔽工程影像资料及现场检测数据等，从而构建完整的验收资料包。该流程由传统的人工整理转变为系统自动生成，生成耗时由原来的 3 天大幅压缩至仅需 2 小时，极大提升了工作效率，减少了人工操作带来的遗漏与误差。

在计量支付环节，系统通过对设计图纸、工程量清单、变更签证等关键数据的自动比对与逻辑校验，确保了计量依据的准确性与完整性。AI 算法可识别异常数据输入，如重复计量、

超范围计量等问题，并即时预警修正。此外，系统还具备版本管理和权限控制功能，确保所有参与方调用的均为最新、合法的计量资料，有效避免因信息不同步导致的数据错误。实践表明，计量支付资料的错误率由行业平均的 7.2% 降至 0.4%，显著降低了审计风险，提高了资金支付的安全性与合规性。

这一系列变革不仅优化了资料编制效率与质量，更推动了项目管理向标准化、数字化和智能化转型，为水利工程全过程资料管理提供了可复制、可推广的技术路径。

表 1 团结干渠标段应用前后核心指标对比

评价维度	实施前	实施后	改善幅度
资料返工率	23.5%	1.8%	92% ↓
变更响应延迟	54 小时	1.5 小时	97% ↓
竣工图一致性	78%	100%	22% ↑
审计问题项	37 项	2 项	95% ↓

4 可推广的管理对策体系

基于奎屯实践，提炼出可复制的“三链协同”管理范式：

4.1 技术链：AI 工具深度嵌入工程流程

在技术层面，构建以数据为核心、模型为驱动的智能应用体系。首先，建立标准化的工程数据湖，统一数据字典与接口规范，打通设计、施工、监测等多源异构数据壁垒，实现全生命周期数据共享。其次，开发水利专用的预训练模型，涵盖边坡稳定性评估术语库、灌浆工艺知识图谱等专业模块，提升 AI 在复杂水利工程场景中的语义理解和推理能力。最后，针对网络条件差、通信受限的深埋隧洞等特殊工况，构建轻量化边缘计算节点，实现本地化数据处理与实时反馈，保障关键工序的连续性与响应效率。

参考文献：

- [1] 白耀香.水利工程质量评定资料整编问题及对策[J].产品可靠性报告,2023(7):80-81.
- [2] 罗润润.水利工程质量评定资料整编问题与对策研究[J].中国管理信息化,2022,25(10):131-133.
- [3] 任萌萌.水利工程竣工图纸整编存在问题及对策解析[J].山东档案,2024(2):54-55.
- [4] 刘燕.水利工程质量评定资料整编中的问题及处理方式[J].产品可靠性报告,2023(6):134-135.
- [5] 孙起军,王宏刚,甘贻强,等.水利灌浆工程档案资料整编及管理措施应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(10):4.

4.2 管理链：重构资料管控责任矩阵

在管理体系上，通过组织职责调整和绩效机制优化，推动管理模式向数据驱动转型。设立 AI 数据工程师岗位，明确其在模型参数调优、异常数据干预、系统迭代升级等方面的核心职责，形成人机协作的新型作业机制。实施资料合规度 KPI 考核机制，将施工日志完整性、验收资料准确性等指标纳入工程款支付前置条件，倒逼各方提升数据质量意识。同时，构建参建方数据信用评价体系，借助区块链技术记录各参与方的数据提交质量历史，形成不可篡改的信用档案，为后续项目合作提供参考依据。

4.3 标准链：推动行业规范升级

在标准建设方面，围绕智慧水利发展需求，加快构建配套制度体系。制定《智慧水利工程资料管理规程》，明确 AI 生成数据在工程验收、审计决算中的法律效力，为智能化成果落地提供制度保障。开放水利工程语料库资源，汇集典型施工方案、工艺标准、地质特征等文本数据，支持企业训练具有行业特性的专用大模型。同时，推动建立跨区域共享平台，如新疆水利云资料中心，促进工程资料在不同项目、不同地区之间的高效流通与经验复用，提升行业整体管理水平。

三链协同机制不仅强化了 AI 技术在工程建设中的实际效能，更重塑了水利工程的组织方式与制度基础，为推动行业高质量发展提供了可复制、可推广的管理新范式。

5 结语

奎屯河引水工程的实践证明，人工智能不仅革新了施工资料的采集方式，更通过数据驱动的决策机制重塑工程管理体系。在深埋隧洞地质编录、大体积混凝土温控、复杂结构验收等场景中，AI 系统展现出超越人工的稳定性与精确度。随着水利行业智能化转型加速，构建“技术-管理-标准”三位一体的资料管控体系，将成为新时期大型水利工程高质量发展的核心支撑力。建议在后续研究中进一步探索大语言模型在工程合规审查、智能竣工决算等场景的深度应用。