

# Application of QR code inspection technology in maintenance of water conservancy and hydropower projects

Zhirong Xu Tao Zhu Zhikun Chen Hao Zhou

Hubei Gaoguan Reservoir Administration Bureau, Jingmen, Hubei, 431800, China

## Abstract

With the expansion of water conservancy and hydropower projects and the intensification of aging issues, traditional manual inspection methods have become inadequate for modern engineering maintenance due to inefficiency, data distortion, and delayed management. QR code technology, with its low cost, high capacity, and rapid recognition capabilities, provides a digital solution for engineering inspections. By encoding equipment information, inspection standards, and historical records onto QR code tags, combined with mobile terminals and cloud management platforms, this approach enables standardized inspection procedures, real-time data tracking, and visualized management. This paper first elaborates on the fundamental theories of QR code inspection technology, then analyzes the maintenance requirements of water conservancy and hydropower projects, followed by specific application designs. Finally, it validates the effectiveness through case studies, aiming to provide valuable references for related research.

## Keywords

QR code inspection technology; water conservancy and hydropower; engineering maintenance; technical application

## 二维码巡检技术在水利水电工程维修养护中的应用

徐智容 朱涛 陈志坤 周浩

湖北省高关水库管理局, 中国·湖北 荆门 431800

## 摘要

随着水利水电工程规模扩大与老化问题加剧,传统人工巡检模式因效率低、数据易失真、管理滞后等缺陷,已难以满足现代化工程维修养护需求。二维码技术凭借其低成本、大容量、快速识别等特性,为工程巡检提供了数字化解决方案。通过将设备信息、巡检标准与历史记录编码至二维码标签,结合移动终端与云端管理平台,可实现巡检流程标准化、数据实时化与管理可视化。本文先是具体阐述了二维码巡检技术基础理论,随后详细分析了水利水电工程维修养护需求,紧接着具体提出了二维码巡检技术的应用设计,最后通过具体工程案例验证了其有效性,以为为相关研究提供有益参考与借鉴。

## 关键词

二维码巡检技术; 水利水电; 工程维修养护; 技术应用

## 1 引言

水利水电工程作为国家基础设施的核心组成部分,承担着防洪、发电、灌溉等重任,其安全稳定运行直接关乎社会经济发展。然而,随着工程服役年限增长,设施老化、设备故障等问题日益突出,维修养护工作面临巨大挑战。传统巡检依赖人工纸质记录,存在信息传递滞后、数据易篡改、漏检风险高等缺陷,难以满足现代化工程管理需求。与此同时,物联网、大数据等技术的快速发展为工程巡检提供了新思路。二维码技术以其成本低、部署快、兼容性强等优势,成为解决巡检痛点的有效工具。本文聚焦二维码巡检技术在水利水电工程中的应用,通过分析传统模式局限性与技术适

配性,设计系统化解决方案,并结合实际工程验证其有效性,旨在为行业数字化转型提供理论支持与实践参考。

## 2 二维码巡检技术基础理论

### 2.1 二维码技术原理

二维码技术基于矩阵式编码原理,通过黑白模块的排列组合存储信息,核心编码标准如 QR Code、Data Matrix 等支持多类型数据嵌入。以 QR Code 为例,其结构包含定位图案、分隔符、格式信息及数据区,并采用 Reed-Solomon 纠错算法实现数据冗余,即使部分模块因污损或遮挡受损(如 V40 规格二维码的  $177 \times 177$  像素点中部分丢失),仍可恢复原始信息,理论组合数达  $2^{177}$ ,可存储 500 余汉字或 1108 字节数据,满足工程设备参数等复杂信息需求。识别过程依赖光学与计算机视觉技术,通过图像预处理、方向校正及模块检测完成解码,其抗污损能力源于冗余设计,即

【作者简介】徐智容(1976-),女,中国湖北天门人,本科,工程师,从事水利水电工程研究。

使 50% 模块受损仍可准确读取，在水利水电工程潮湿、腐蚀环境中能长期保持可读性。

## 2.2 系统架构设计

二维码巡检系统架构分为硬件、软件及网络三层：硬件层中，二维码标签采用 PET 或金属等耐候性材料，具备防水、防腐蚀及耐高温特性，关联设备唯一 ID 与巡检记录；移动终端以智能手机为主，集成扫码、拍照及定位功能，支持离线缓存与网络恢复后同步，部分场景配备专用巡检终端以增强稳定性；扫描设备涵盖手机摄像头与工业级扫码枪，满足不同场景需求。软件层包含数据管理平台，部署于云端或本地服务器，实现任务分配、异常预警及报表生成；巡检 APP 支持扫码调用信息、上传多媒体数据并集成 GPS 定位；数据库采用 MySQL 存储设备台账与巡检记录，支持快速检索。网络层通过 Wi-Fi、4G/5G 或蓝牙实现实时传输，离线数据暂存本地，云端存储依托阿里云等 IaaS 服务，确保数据安全与弹性扩展。

## 2.3 关键技术

二维码巡检系统的关键技术涵盖生成加密、数据采集与大数据分析三大领域：在二维码生成与加密方面，动态活码通过 URL 链接实现内容实时更新，避免重复制作标签；加密防伪采用 AES 或 RSA 算法对标签数据加密，结合数字签名技术确保数据来源可信；权限控制基于 RBAC 模型分配用户组操作权限，保障数据安全。移动端数据采集支持多模态交互，集成扫码、拍照、录音及定位功能，可全面记录设备状态；实时传输协议通过 HTTP/HTTPS 或 MQTT 实现低延迟上传，并针对弱网环境优化数据包与重传机制。大数据分析利用 Elasticsearch 或 Hive 构建数据仓库，支持多维度统计与故障预测，结合 ECharts 或 Tableau 可视化看板，动态呈现巡检进度与异常分布，为管理层提供决策支持。

## 3 水利水电工程维修养护需求分析

### 3.1 工程特点与巡检难点

水利水电工程设施分布广泛且环境复杂，巡检场景涵盖大坝、水闸、渠道、泵站及发电设备等多元领域。以大坝为例，其结构安全监测需精准捕捉坝体位移、渗流压力及应力应变等核心参数；渠道巡检则需重点关注沿线渗漏、泥沙淤积及护坡稳定性<sup>[1]</sup>。环境复杂性进一步加大巡检难度：大坝周边常受强风、暴雨等极端天气侵袭，渠道沿线易被植被遮挡或泥沙堵塞，水闸设备则需长期耐受潮湿、腐蚀性环境。此外，巡检内容涉及结构安全（如裂缝宽度、混凝土碳化深度）、设备运行（如水轮机振动、闸门启闭力）及渗漏监测（如绕坝渗流、接触渗漏）等多维度指标，对巡检人员跨专业能力要求极高，传统人工巡检模式难以实现全面、精准覆盖。

### 3.2 传统巡检模式的问题

传统巡检模式依赖纸质记录与人工判断，存在多重弊端：其一，数据管理低效，纸质台账易因潮湿、破损丢失信息，

且需人工二次录入系统，更新严重滞后，如某水库纸质巡检记录从现场填写到系统录入平均耗时 3 天，导致异常响应延迟；其二，巡检质量难以保障，人工效率受经验、体力限制，漏检率较高，研究表明大坝巡检漏检率可达 15%-20%，偏远渠道或夜间场景更甚；其三，决策支持缺失，管理层无法实时获取数据，需依赖定期会议汇总信息。此外，该模式缺乏路径优化，易造成资源浪费。

### 3.3 二维码技术的适配性

二维码技术凭借“一物一码”机制，高度适配水利水电工程巡检需求。在信息获取上，扫描设备二维码可快速获取设备台账、历史维修记录及当前巡检标准，如某水库应用后，巡检人员获取信息的时间从 10 分钟大幅缩短至 10 秒<sup>[2]</sup>。在流程管理方面，二维码与巡检 APP 绑定，强制按预设流程操作，避免漏检与顺序错误，系统自动记录巡检信息形成溯源链，某渠道巡检案例中，流程标准化使覆盖率提升至 98%，异常上报响应时间缩至 2 小时内。此外，二维码标签采用耐候性材料，能耐受极端温差、高湿度及紫外线，适应户外环境，某大坝标签浸泡 30 天后仍可正常扫描，数据完整率达 100%。

## 4 二维码巡检技术的应用设计

### 4.1 应用场景设计

二维码巡检技术凭借“一物一码”机制，深度渗透至水利水电工程全流程管理。在设备标识管理上，为水轮机、闸门、传感器等核心设备生成唯一二维码标签，集成基础信息、技术参数与历史维修记录，规避人工查阅图纸的低效与误差。巡检任务分配与路径规划环节，系统依据设备风险等级和地理位置自动生成任务清单，通过算法优化路径，像针对偏远渠道规划“由近及远”的顺序，结合 GPS 定位确保按路线执行，减少漏检。当巡检中发现异常，扫码后通过移动端填写故障描述、上传多媒体资料，系统自动生成维修工单并推送至相关人员。

### 4.2 系统功能模块

系统依托三大核心模块，推动水利水电工程巡检全流程数字化升级。标签生成与绑定模块支持设备信息批量导入，自动生成含加密信息的二维码标签，精准绑定设备台账、巡检标准及关联文档<sup>[3]</sup>。以某大坝渗压计为例，标签绑定后，巡检人员扫码即可直观查看安装位置、监测频率及历史数据趋势图，信息获取高效准确。移动巡检模块集成扫码、拍照、定位与表单填写功能，支持离线巡检与数据同步，系统自动弹出巡检表单引导操作，并强制上传现场照片。

### 4.3 实施流程

二维码巡检技术的有效落地依赖标准化实施流程。首先，在二维码标签制作与部署环节，需选用 304 不锈钢、PET 等耐候性材料，确保标签能耐受极端温差、高湿度及紫外线，部署时根据设备类型采用螺栓固定、防水胶粘贴等

方式，并记录位置坐标，如某大坝的二维码标签浸泡30天后仍可正常扫描，数据完整无损。其次，巡检人员培训与权限配置至关重要，通过系统操作培训使其掌握扫码、表单填写及异常上报流程，同时基于RBAC模型配置差异化权限，确保各层级人员职责分明<sup>[4]</sup>。

## 5 案例分析与实践验证

选取国内某大型水库作为案例分析与实践验证的研究对象。此水库功能多元，不仅承担着城市供水重任，保障居民生活与工业生产的用水需求，还肩负农业灌溉使命，为广袤农田输送生命之源，同时在防洪方面发挥着关键作用，守护着周边地区的安全。其灌区覆盖范围极为广泛，分布着众多灌溉渠道、分水闸、节制闸等水利设施。这些设施相互关联、协同运作，构成了典型的复杂水利系统。正因如此，该水库成为验证相关管理技术或系统有效性的理想之选，能为水利管理领域的实践与发展提供极具价值的参考。

### 5.1 实施过程

实施过程有序推进。系统部署环节，紧密结合水库及灌区的地理布局、设施分布与管理需求，精心规划并搭建起综合监测与管理系统，将水库枢纽与灌区所辖范围的工程建筑物细化成一千多个元素点位。并在关键的重要的易被损坏的点位设置了APP二维巡检码，运行管理人员通过扫码就可以实现对工程运行情况的检查，助力巡查精准发现问题，以便于及时解决问题，实现维修养护的闭环管理。标签安装时，针对灌区内分水闸等各类水利设施，安装具有唯一标识的二维码标签，其具备良好的耐水性与耐腐蚀性，能适应复杂环境，安装位置兼顾便于识别扫描与不影响设施运行。人员操作培训方面，组织管理人员参与，通过理论讲解与实际操作结合，让其掌握系统功能等操作，提升工作效率。

在工程维修养护中，该水库大胆实践，积极探索，启用“二维码巡检”，保障维修养护过程；凭借“运维管理元素化、运维目标标准化、运维手段科学化、运维队伍专业化、运维考核绩效化”等“五化”标准，着力提升工程维修养护水平；依靠“以人定岗，以岗定责，以责定分，以分定效”的工作模式，巩固工程维修养护效果，有力保障了国家粮食安全、“荆楚安澜”和灌区库区群众增收致富。

### 5.2 效果对比

在巡检效率上，时间方面，实施前人工逐个检查设施，全面巡检耗时久；实施后借助系统实时数据与二维码标签定

位，巡检更具针对性，时间大幅缩短。人力成本上，实施前为保质量需较多人力；实施后系统自动化与高效巡检减少人力需求，降低成本。数据准确性上，实施前人工测量记录易有误差；实施后传感器自动采集并准确传输数据，错误率降低。管理决策上，故障响应速度加快，系统实时监测，异常即报警，缩短响应时间；维修计划更科学，系统依运行数据与维修记录提供依据，提高了设施可靠性与寿命。

### 5.3 问题与改进

在项目推进中存在一些问题与相应改进措施。环境干扰方面，水下设备扫码困难凸显，灌区水下分水闸等设施安装二维码标签后，受水流、水质影响，扫码设备难准确识别信息；同时，水库及灌区环境复杂，高温、高湿、强电磁干扰等情况，影响传感器和二维码标签正常运行。针对这些问题，采取了一系列解决方案：研发采用耐候性强的二维码标签，适应恶劣环境以稳定读取信息；开发水下扫码机器人等辅助扫描工具，提高水下扫码成功率；对传感器和电子标签进行抗干扰设计，运用屏蔽技术、滤波算法等，降低强电磁干扰，保证数据准确采集传输。

## 6 结论与展望

综上所述，在水利水电工程维修养护领域，二维码巡检技术展现出显著优势。其凭借低成本、高兼容性以及“一物一码”的精准管理特性，有效攻克了传统巡检模式效率低下、数据易失真、管理滞后等难题。经系统化应用设计与实际工程案例验证，该技术大幅提升了巡检效率，增强了数据准确性，也使管理决策更具科学性，为工程安全稳定运行筑牢了坚实根基。展望未来，该技术有望进一步与物联网、AI技术深度融合，达成设备状态智能预测与自主巡检；还能拓展至跨区域工程群的协同管理，推动行业数字化转型迈向更高水平。

### 参考文献

- [1] 刘培林,秦增江.水利工程维修养护技术创新研究[J].治淮,2025,(04):42-43.
- [2] 李威,马欢,姜君仁.设备二维码点巡检系统的开发与应用研究[J].中国设备工程,2024,(S2):85-87.
- [3] 王澜,刘翌,周知辉.水利工程维修养护对策与探讨[J].湖南水利水电,2024,(04):108-110.
- [4] 匡春英,郑全兴.基于二维码档案系统巡检水厂设备的探讨[J].供水技术,2019,13(06):58-60.