灯泡贯流式水电站AI巡检监视模式实践研究

罗满江

（广西国能水电开发有限公司，广西 梧州 543000）

摘 要 灯泡贯流式水电站受水头低、机组卧式布置、厂房空间狭长等特点影响，设备巡视点多面广、人工巡检劳动强度大、表计读数与跑冒滴漏等缺陷辨识一致性差。针对旺村电站传统人工巡检频次低、记录依赖人工、缺陷发现滞后等问题，本文以融合AI无人巡检为目标构建了由前端感知设备、AI分析平台和运检组织重构组成的AI巡检监视体系。实践表明，该系统部署80台各类摄像机和12台工业听诊器，支持9类AI识别模型，巡视频次由人工每班2次提升至系统每小时1次，运行组与巡检组分离实现了监视与操作的专业化分工，可为同类低水头灯泡贯流式水电站的智能化巡检优化提供参考。

关键词 灯泡贯流式水电站；AI巡检；智能监视；运检模式；设备状态感知

中图分类号：TK733；TP18 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.006

0 引言

随着水电智能化建设的推进，以人工智能、视频分析和状态感知为核心的智能巡检技术逐步替代传统人工巡视，成为水电站减人增效、提升安全水平的重要手段。灯泡贯流式水电站多布置于平原或丘陵地区的低水头径流式电站，机组采用卧式灯泡体结构，水轮机、发电机和辅机设备集中布置于狭长的厂房流道层，设备巡视通道狭窄、照明条件有限，长期依赖运行人员携带巡检仪逐点抄表、目视检查。旺村电站以融合AI无人巡检为目标引入AI巡检监视系统，对前端感知、AI分析和运检组织进行一体化设计，探索出一条适合灯泡贯流式电站特点的智能巡检路径，为同类存量电站的智能化升级提供技术保障。

1 工程概况与水电站传统巡检方式局限

1.1 旺村电站工程概况

旺村电站位于广西梧州桂江流域，安装3台单机容量20 MW的灯泡贯流式水轮发电机组，总装机容量60 MW，2013年投产发电。电站以发电为主，兼具防洪和航运调节功能。机组采用卧式灯泡贯流布置，发电机位于上游侧灯泡体内，水轮机位于下游侧，水流轴向通过灯泡体进入转轮。厂房分层布置流道层、发电机层和中控室，辅机设备包括技术供水、油压装置、压缩空气、渗漏排水和消防系统，设备分布沿厂房纵向展开，巡视路线长。每台机组对应一套辅机系统，三台机组并列布置后，巡检点沿厂房纵向重复排列，人工巡视需要逐机逐系统核对，巡视路线长、点位多。

1.2 传统人工巡检局限

优化前，电站运行人员按五班三倒方式值班，每班安排2次现场巡检，分别在交接班和班中进行。巡检人员沿流道层和发电机层逐点检查，读取温度计、压力表、液位计和电能表，目视检查有无漏油漏水、有无异响异味。这种方式在实际运行中暴露出明显不足。其一，巡检频次低，每日全场仅6次现场巡视，两小时间隔内设备异常无法及时发现。其二，灯泡体内设备空间狭小、噪声大，人员长期在高噪声环境下工作，劳动强度和职业健康风险较高。其三，表计读数和缺陷描述由人工填写，不同人员判断标准不一，数据难以纵向对比。其四，巡检记录以表格和纸质台账为主，缺乏对设备状态的连续跟踪，多数缺陷依靠经验判断，难以做到趋势预警。

2 灯泡贯流式水电站AI巡检系统总体架构与感知配置

2.1 系统总体架构

AI巡检系统采用“前端感知—边缘汇聚—平台分析—业务应用”四层架构[1]。前端由布置在厂房各层和户外开关站的摄像机、听诊器组成，负责图像和声音数据采集；边缘层由9面汇聚柜和1面屏柜组成，完成数据本地接入、光电转换和预处理；分析层由3台听诊器分析仓和AI服务器组成，运行视频结构化和声音识别算法；应用层将识别结果推送至运行监盘和

作者简介：罗满江（1998-），男，本科，助理工程师，研究方向：灯泡贯流式水电站电气运行及调度。

巡检闭环工单。系统与电站计算机监控系统相对独立，通过标准接口实现告警联动，不直接参与机组控制，保证监控系统安全。数据传输采用光纤环网为主、无线备份为辅的方式，前端设备就近接入汇聚柜，再经光纤上传至 AI 机房。图像数据在本地存储不少于规定周期，AI 识别结果以结构化数据形式存入历史数据库，支持按设备、按时间查询和趋势绘制。

2.2 前端感知设备配置

针对灯泡贯流式电站设备分布特点，前端感知设备按“表计可读、状态可见、异响可听”的原则配置。表计密集的柜面采用微距摄像机对准表盘，实现仪表自动读数；主通道和设备区采用变焦枪型摄像机进行大范围监视；对温度敏感的主变、发电机轴承和油管路采用热成像设备；对易发生渗漏的部位采用专用球机监视；灯泡体内和辅机设备区布置本安型工业听诊器采集设备运行声音[2]。表 1 列出了主要前端感知设备的配置及监测内容。

在布点原则方面，微距摄像机优先覆盖必须人工读数的关键表计，热成像优先覆盖轴承、油路和电气接头等温度敏感点，听诊器优先覆盖灯泡体和易产生异音的转动设备。设备选型兼顾防潮、防尘和抗干扰要求，适应厂房潮湿和电磁环境[3]。

表 1 旺村电站 AI 巡检系统前端感知设备主要配置

设备类型	数量 / 台	主要监测内容
变焦枪型摄像机	26	主通道、设备区大范围监视与细节放大
微距表计摄像机	31	温度计、压力表、液位计等表盘读数
半球摄像机	6	厂房通道、楼梯间等区域监视
热成像筒型摄像机	8	发电机轴承、油管路温度异常监测
热成像球型摄像机	5	主变、开关柜等关键设备测温
跑冒滴漏球机	4	油管路、水管路渗漏监视
本安型工业听诊器	12	灯泡体、辅机设备运行声音采集
合计	92	覆盖流道层、发电机层及户外开关站

2.3 AI 识别模型与功能

AI 分析平台部署 9 类识别模型，覆盖电站主要巡检项目。视觉类模型包括：表计读数识别，自动读取指针式和数字式仪表并换算工程量，与额定范围比较后判断是否越限；“跑冒滴漏”识别，通过图像对比判断油迹、水迹蔓延范围；人员违章识别，检测未戴安全帽、越限闯入和现场操作不规范；设备状态识别，判断指示灯、开关分合位置和闸阀开闭状态；热成像温升识别，在背景温度中识别异常温升点并标记位置。声学类模型基于听诊器数据，提取频谱特征，识别轴承异响、水力振动和阀门内漏等异常声音[4]。

平台对每帧图像和声音进行自动分析，识别结果以结构化数据存储，并对越限项目自动生成告警和工单。与传统人工巡检相比，AI 识别不依赖人员经验，判断标准统一，可实现 7×24 小时连续监视；对常规项目形成趋势曲线后，还能发现缓慢劣化的苗头，把事后告警前移为趋势预警。

模型上线前，电站组织运维人员对现场样本进行了标注和校准：表计读数模型用一个检修周期内的人工读数作为真值进行比对，热成像模型按不同季节和工况建立背景温度库，声学模型在机组停机、空载和带负荷等典型工况下采集声音样本建立基准。模型投运后按季度进行复核，对误报集中的点位调整识别区域和灵敏度，使识别结果逐步贴近现场实际[5]。

3 灯泡贯流式水电站运检模式重构与闭环管理

3.1 组织机构与人员配置

融合 AI 无人巡检模式后，电站将运行值班与设备巡检职能分离，组建运行组和巡检组两个运行小组。运行组配置 5 人，维持五班三倒，负责机组监视、远程操作和负荷调整，人员集中于运行调度班；巡检组配置 4 人，实行 24 小时不定时响应制度，负责现场设备核查、工单处置和定期维护。电站保留运行调度班（分设运行与巡检岗位），通过 AI 监视系统远程上传设备状态，实现少人值守。两组之间通过工单系统衔接：AI 平台发现异常后自动派发工单至巡检组，巡检组现场核实后反馈结果，运行组根据反馈调整监盘重点。

3.2 巡视频次与闭环流程

AI 巡检系统投运后，常规巡视由系统自动完成，巡视频次由人工每班 2 次提升至系统每小时 1 次，每

日全场巡视由约6次增加至24次。系统对表计读数、温度和渗漏进行连续采集，越限自动告警；对未越限的常规项目形成趋势曲线，供运行和检修人员分析。闭环流程为：前端设备采集数据，AI平台识别并判断，异常项生成工单推送至巡检组，巡检组现场核查并处置，结果回传平台归档。该流程将“人工发现—人工记录—人工派发”转变为“系统发现—自动派发—现场核实”，大幅缩短异常响应时间。系统投运前后每日巡视频次的对比如图1所示。

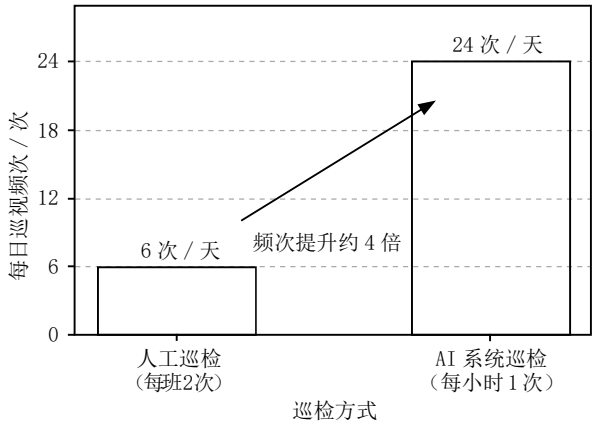

图1 旺村电站AI巡检系统投运前后每日巡视频

3.3 运行监视与现场巡检的协同

AI巡检监视模式下，电站建立“现场核实、监盘研判”的协同关系：运行组在运行调度班通过AI平台和监控系统对全厂设备进行集中监盘，对共性告警进行研判；巡检组在现场负责AI告警的最终核实和设备操作。AI系统生成的结构化数据和告警记录统一归档，作为电站运行分析和检修计划编制的依据。这种模式既保证了设备监视的连续性，又保证了现场处置的及时性，也为后续深化数据应用积累了基础。

4 灯泡贯流式水电站AI巡检监视模式实践分析

4.1 应用成效

从应用情况看，AI巡检监视模式取得了明显成效。一是巡视频次大幅提升，每日由6次增至24次，设备状态监视更加连续；二是人工劳动强度降低，运行人员从高频现场巡检中解放出来，转向监盘分析和异常处置；三是缺陷发现及时性提高，“跑冒滴漏”、温度异常和异响等问题在越限后较短时间内即被识别并派发工单；四是数据可追溯，表计读数和告警记录自动归档，为设备状态分析和检修决策提供了连续数据；五是管理效率提升，AI平台自动生成巡检报表，值班人员无需人工汇总抄表数据，工单闭环情况可在线统计，交接班由“口头交代+纸质记录”转变为“系统数据+工单记录”，交接内容更加客观完整。

4.2 应用问题分析

AI巡检监视模式实践中存在需要完善的环节。微距表计摄像机受表盘污渍、反光和照明影响，读数精度需要定期校验；热成像识别受环境温度变化干扰，温升阈值需按季节和工况调整；声学识别模型在机组不同负荷下的特征差异较大，需要持续积累样本优化模型；AI告警与人工判断之间存在误报和漏报，巡检组现场核实是闭环的必要环节。后续应通过模型迭代、阈值优化和现场样本积累，进一步提高识别准确率，降低无效工单数量，使AI巡检从“辅助监视”逐步走向“预警分析”。同时，随着运行数据和缺陷案例持续积累，可将AI识别结果与设备检修台账关联，逐步建立基于状态的检修策略，把巡检数据转化为检修计划编制和备件储备的依据，使智能巡检的价值从安全监视延伸到生产管理。

5 结束语

旺村电站的实践表明，灯泡贯流式水电站引入AI巡检监视系统，关键不在于单纯增加摄像机数量，而在于前端感知、AI分析与运检组织的协同设计。针对灯泡体卧式布置、厂房狭长、表计密集的特点，合理配置变焦、微距、热成像和声学等多元感知设备，构建统一的AI识别平台，并配套运行组与巡检组分离的运检模式，能够在较低人员配置下实现高频次、连续化的设备状态监视。该模式为同类低水头灯泡贯流式水电站的智能化优化提供了可复制的技术路径和组织经验，也为水电行业少人值守的推进提供了实践参考。未来将持续优化模型和阈值，深化数据应用，进一步释放智能巡检的安全效益和管理效益。

参考文献：

[1] 贾青龙,周文,秦新盛,等.智能巡检机器人在大型水电站中的应用[J].电子技术,2023,52(08):280-281.
[2] 蒲鸥,袁柏秋,陈绍南,等.水电站智能化巡检技术研究进展与展望[J].广西电力,2023,46(06):67-73,80.
[3] 赵书田,赵尕娟.无人机自动巡检技术在积石峡水电站的应用研究[J].水电站机电技术,2025,48(09):69-73,78.
[4] 胡航,闵四海,王利新,等.智能巡检无人机在水电站巡检中的应用探索[J].大电机技术,2026(S1):95-99.
[5] 张旭,南文姝.基于人工智能的水电站智能化巡检技术研究[J].电气技术与经济,2026(01):28-30.