DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)08-0174-04

智慧电厂运行监测管理平台建设关键技术研究

徐仁虎，李 锟，刘旭东，陈雪峰，刘 鑫，何一峰，龙智睿

（国能浙江余姚燃气发电有限责任公司，浙江 宁波 315000）

摘 要：对电厂设备进行实时监测和故障预警是“智慧电厂”建设的核心任务之一。研究综合应用地理信息、三维可视化、虚拟仿真和人工智能等新一代信息技术，基于各类基础信息和电厂BIM数据，依托工业互联网和一体化的状态采集设备，构建智慧电厂运行监测管理平台。该平台实现了电厂运行的精细化、智能化和可视化管理，极大推动了电厂管理的智慧化发展。

关键词：物联网；智慧电厂；监控预警；智能决策

中图分类号：TP277 **文献标识码：**A **文章编号：**1003-7241(2025)08-0174-04

Research on Key Technologies of Smart Power Plant Operation Monitoring and Management Platform

XU Renhu, LI Kun, LIU Xudong, CHEN Xuefeng, LIU Xin, HE Yifeng, LONG Zhirui

(CHN Energy Zhejiang Branch Yuyao Power, Ningbo 315000, China)

Abstract: Real-time monitoring and fault prediction of power plant equipment are essential tasks in the construction of “smart power plants”. In this study, it integrates advanced technologies such as geographic information systems, 3D visualization, virtual simulation, and artificial intelligence. By combining various fundamental information and power plant BIM data, it establishes a smart power plant operation monitoring and management platform based on the industrial internet and integrated state acquisition devices. This platform achieves refined, intelligent, and visual management of power plant operations, driving the smart development of power plant management.

Keywords: internet of things; smart power plant; monitoring and warning; intelligent decision-making

0 引言

国民经济和社会发展“十四五”规划明确提出了推进产业数字化转型，实施“上云用数赋智”行动，以推动物联网和工业互联网的发展和应用。深入推进“智慧电厂”建设是国家在能源领域进行数字化转型和改革的重要举措。“智慧电厂”是充分利用5G、物联网、大数据分析、云计算、人工智能、虚拟现实等新型信息技术，对传统电厂进行系统性升级和重构，旨在建设更安全、高效、经济和环保的电厂现代化运营技术体系和管理模式。其中，对电厂设备进行实时监测和故障预警是建设“智慧电厂”的核心任务之一。

近年来，许多学者针对电厂设备状态数据采集、分析，设备在线实施生产运行优化，以及生产数据深层挖掘等问题展开了理论研究和探索实践。万震宇[1]从数据收集、智慧应用设计和信息交互等方面研究了智慧电厂的框架，并借助人工智能技术将工业物联网应用于工业设备与电力热力系统监控。赵俊杰等[2]基于泛在电力物联网技术设计了安全作业管控平台，旨在提升人员、设备、环境和制度全要素安全保障力度和安全管理效率。谢小鹏等[3]围绕电厂设备状态监测与故障预警展开了研究，设计了一套监测与预警系统，有效支撑了电厂的运营和管理工作。杨海寅等[4]运用相似性原理对电站设备进行建模，通过对监测分析设备相关参数，实时监测设备参数状态的变化，以预防设备故障的发生。另外，丁敏刚[5]、刘超[6]等学者围绕智慧巡检和智慧运行开展设计和研究。这些研究为智慧电厂运行监测管理提供了参考和借鉴。

本文围绕电厂设备全信息互联、设备状态数据精细化管理、厂区运行实时监测和深度分析、科学管理和智慧决策等方面展开研究。以实景三维、建筑信息模型(building information model，BIM)和物联网(internet of things，IoT)技术的融合为突破点，基于工业互联网技术搭建了“智慧电厂运行监测管理平台”。该平台实现了对电厂内视频、能耗、环境等物联网监测设备在数字孪生空间的实时接入、动态监测和智能分析，从而实现对电厂设备控制、监测、诊断、预测和预警。

*基金项目：国能浙江余姚燃气发电有限责任公司科技项目(10033803BE220013)

收稿日期：2023-10-25

1 思路和框架

1.1 总体思路

本研究的总体思路是综合应用地理信息、三维可视化、虚拟仿真、人工智能等技术，融合各类基础信息和电厂 BIM 数据，构建数字孪生的“智慧电厂”数字化底座。基于工业互联网，通过建立一体化的状态采集和评价设备，实现人、机、物有效连接，对电厂运行设备进行振动、温度、湿度、噪音、位移、开关状态、燃气、水浸、管道探伤等多维度监测，将数据实时与数字孪生电厂关联融合。通过大数据分析和智能推送，实现对电厂运行设备的远程监测、实时诊断、运行评价和状态预警，为实现电厂的智慧化管理和安全运行提供支撑。

1.2 系统框架

智慧电厂运行监测管理平台采用“物理分散、逻辑统一”的架构进行设计，包括物联网采集端、数据中台和结果展示端三个部分。物理采集端为一体化状态采集和评价设备，具备设备定位、多维信息采集、初步诊断等功能，并负责将采集的数据和初步诊断结果实时传输到数据中台。数据中台作为数据存储、计算、分析的核心部件，对采集设备回传的数据进行存储和计算，并根据结果结合专家诊断库和相关标准规范进行自动诊断、实时预警和动态提醒。结果呈现端包括移动端、PC 端、可视化大屏等多种终端，用于对采集端获取的监测信息、数据中台处理的分析结果等进行分类、分级展示，便于进行工作调度和指挥决策。具体系统架构图如图 1 所示。

1.3 功能设计

智慧电厂运行监测管理平台面向设备巡查检修人员、维护调度人员和管理决策人员三大用户群体。根据不同用户定位和业务需求，系统功能涵盖智能运检、智慧诊断、决策支持、指挥调度和系统维护五大模块，如图 2 所示。

（1）智能运检模块

通过监测终端，实现设备所处环境和状态的实时监测与诊断。该模块可实现对发电设备进行状态监测、故障预诊、预防性维护、状态检修提醒、设备报警等功能。借助采集机组实时在线监测数据，建立智能运行优化管控体系，对新监测数据和传统监测指标进行大数据和长周期分析，形成设备运行数据库。

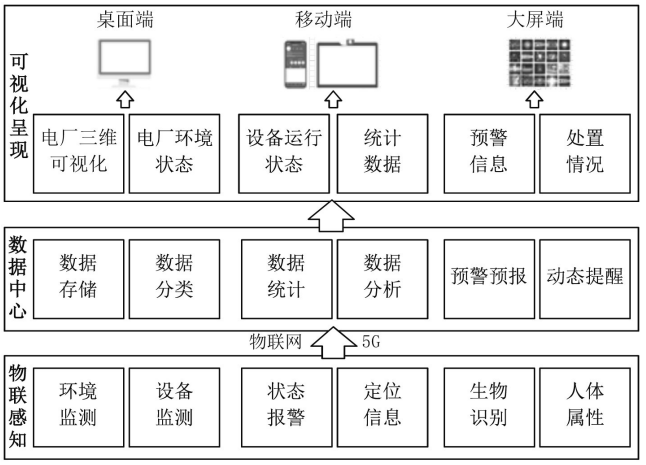


图 1 系统架构

（2）智慧诊断模块

该模块是监管平台的智慧中枢，主要负责对设备运行数据进行分析、评价和判断。功能包括数据分类统计、实时分析、风险预警和诊断报告等。通过监控振动、温度、湿度、噪音、位移、开关状态等参数，进行计算和分析，并与设备资料库、指标库和案例库比对，结合诊断知识、故障现象、行业标准和历史趋势，针对不同设备和故障设置阈值和诊断权重，形成自动诊断结论和诊断报告。

（3）决策支持模块

在智慧诊断结果的基础上，该模块进行判断和推演，形成具体的解决方案，功能包括动态故障仿真、故障追踪和解决方案推送。对关键机组进行 BIM 建模，实现动态化、可视化的关键机组故障仿真，为科学决策提供基础。根据长周期监测数据，结合各类故障生成相关因素，自动生成故障跟踪模型，追踪故障可能的源头，为故障检修提供参考。最终形成定制化的解决方案，技术人员进行修

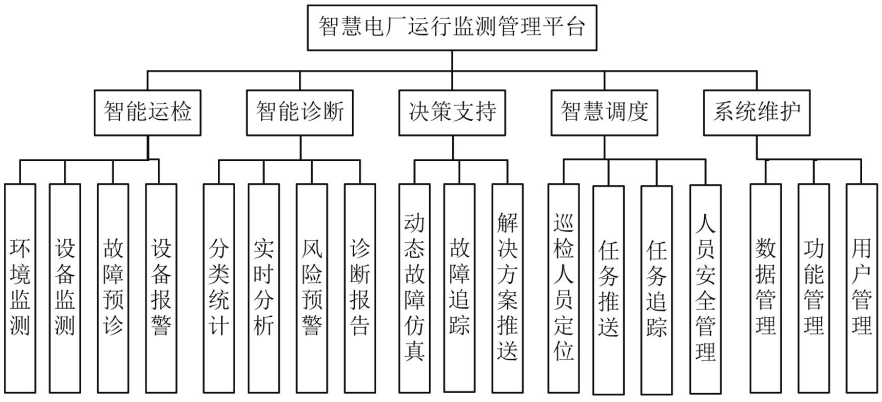


图 2 监测平台功能设计

改和确认后，推送给检修人员进行故障排除。

（4）指挥调度模块

该模块主要支持智慧电厂的运营管理，包括巡检人员定位、任务推送、任务跟踪和人员安全管理。以故障任务处置为对象，以任务订单形式自动生成、自动派送故障检修任务，实时跟踪任务处置进度和故障排除确认。监测检修人员在任务接受、故障处理、任务结束各阶段的位置和身体状态，实现故障处置和人员安全管理的双闭环。

（5）系统维护模块

该模块主要实现系统运行相关的数据调研、功能权限和用户权限的管理，保障系统软件层面的稳定运行。

2 关键技术和方法

2.1 多维度一体化监测与评价

本研究采用多种技术，如5G通信、MEMS传感器、NFC手持设备配置、ADC实时数据读取等，设计一套满足对电厂设备全维度状态实时监测需要的软硬件一体化监测和评价设备，实现对电厂环境和设备的同步监测。监测设备除集成各类传感器外，还集成微计算单元，对所采集数据与指标库进行实时比对分析，预测可能出现的紧急异常现象，并通过5G网络回传所采集的数据和分析评价结果。监测数据传输至数据中转站，经过计算分析单元进行数据处理分析，并将结果以任务单发送到手持设备。状态预评价数据通过5G网络直接传输到手持设备，为检修人员提供参考和定位信息。整体逻辑如图3所示。

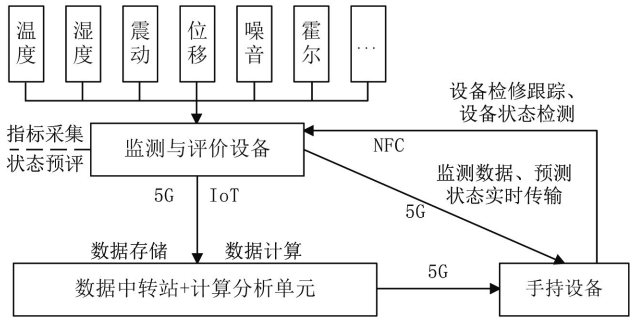


图3 一体化监测与评价逻辑

2.2 基于数字孪生的全信息关联

采用航空倾斜摄影测量、空中三角测量、计算机图像处理、精细三维建模等技术，构建实景三维场景，实现电厂物理空间信息的真实还原，建立数字化底座。本研究根据模型精细化程度划分为六个层级，包括模型类型、要素、属性、等级标准参考属性等，其中1-3级参照《城市信息模型（CIM）基础平台技术导则》CIM16-21级标准，4-6级参照《建筑信息模型设计交付标准（GB/T 51301-2018）》LOD1.0-4.0标准。在信息关联方面，通过对电厂机组、设备、传感器等精细化建模，并与电厂BIM进行关联、定位，实现对电厂环境信息、设备基础信息、监测状态信息等在数字孪生空间的实时接入和关联。采用面向对象的思路，通过三维坐标和精细定位建立各实体之间的空间拓扑关系[7]。对每个模型实体进行编码，通过编码关联模型实体和实体属性，最终建立了全信息的数字孪生底座。

表1 数字电厂模型分级表

类型	要素	属性	等级标准
地理框架模型	DEM、DOM、DSM	区位、坐标、高程;道路、环境等	CIM16-17
厂区模型	厂区模型	名称、成立时间、能级、营业范围、地址、电话等	CIM18-19
厂房、车间模型	厂房、车间等室内外模型	名称、位置、面积、功能、温度、湿度等	CIM20-21
机组模型	设备机组、机房等	名称、位置、功能、型号、功率、转速、负荷、温度、震动、开关状态等	LOD1.0
机组模块模型	机组功能模块	名称、用途、所属机组、性能、温度、震动、位移、开关状态等	LOD2.0
①机组零部件模型 ②监测设备	①核心零部件 ②监测设备、摄像头等	①名称、用途、所属机组、所属部件、厂商、性能、状态等 ②设备位置、类型、状态、监测数据	L0D3.0-0.4

2.3 设备故障仿真和动态追踪

设备故障可概括为两种情形，一种是因为设备自身状态导致的故障，如异常操作、设备老化、零部件损坏、超负荷运转等，这类故障可通过对设备运行状态进行直接监测判断；另一种故障则可能由相关联设备状态或者运行参数叠加传导产生，若仅排除表象故障[8]，未从源头解决这类问题，后续相同情况依旧可能发生，因此需要开展故障仿真和动态追踪，从源头排除故障。针对以上情况，本研究提出了一种基于C5.0决策树算法的潜藏故障追踪模型。通过历史数据作为训练样本，以故障传导机制为出发点，结合专家诊断经验，利用C5.0算法建立了故障分类标准和条件判断依据，实现了故障仿真和预判。同时针对由潜藏故障产生的问题能够提供追踪和判断的参考。计算公式[9]为

设训练样本集中有 m 个独立类 C_i，i=1，2，…，m，R_i 为数据集 S 中属于 C_i 的子集，用 R_i 表示 R_i 中的元组数量，则集合 S 在分类中的期望值可表示为

$$I(r_1,r_2,\ldots r_m),=-\sum_{i=1}^{m} p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

式中，p_i 表示任意样本属于 C_i 的概率；$p_i=r_i/|S|$，$|S|$为训练样本集中的元组。设 A 表示属性，共有 v 个不同的值{a_1，a_2，…，a_v}，则根据 A 把样本集划分成 v 个子集。令 S_j 为数据集 S 中的属性，取值为 a_j 的子集，i=1，2，…，v。在分类中，如果 A 决策属性，则可以将样本集划分到不同分支中。若用 S_{ij} 表示 S_j 子集中属于 C_i 类的元组的数据，那么

A对于C_i，i=1，2，…，m的熵的计算式为

$$E(A)=\sum_{j\text{-}i}^{v}\frac{S_{1j}+\cdots+S_{mj}}{|S|}I(S_{1j}+\cdots+S_{mj}) \quad (2)$$

$$W_j=\frac{S_{1j}+\cdots+S_{mj}}{|S|} \quad (3)$$

式中，W_j为S_j在S中的比重，可以作为S_j的权重。式中，A的每个取值对C_i的期望为

$$I(S_{1j}+\ldots+S_{mj})=-\sum_{i=1}^{m}p_{ij}\log_2(p_{ij}) \quad (4)$$

式中，$P_{ij}=S_{ij}/|S_j|$，表示S_j中属于C_i的比重。

通过以上计算得到A作为决策分类属性的度量值，也称信息增益为

$$Gain(A)=I(r_1,r_2,.....r_m)\text{-}E(A) \quad (5)$$

由于信息增益在把样本集划分为更小的子集时，对变量的取值存在着一定偏差，为了减少这种偏差，利用以下公式计算得到：

$$Split\ Info(S,v)=\sum_{i\text{-}1}^{m}\frac{|S_i|}{|S|}\times\log_2\frac{|S_i|}{|S|} \quad (6)$$

从而可以得到增益率（Gain Ratio）：

$$GainRatio=\frac{Gain(S,v)}{Split\ Info(S,v)} \quad (7)$$

通过决策树构建故障追踪判断规则，如图4所示。其中设备状态包括温度、湿度、震动等，设备a状态用a_1表示，为数值区间。决策树表示根据历史样本、专家经验得到可能出现故障A的条件，即情况一，当设备a的状态在a_1范围，设备c的状态在c_1、c_2，可能会出现故障A的情况；情况二，当设备b的状态在b_1，设备a的状态为时a_2、a_3，可能出现故障A的情况。

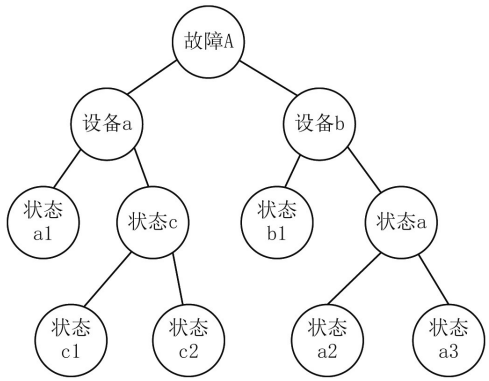


图4 故障追踪判断规则示意图

3 结束语

本研究基于工业物联网、大数据、人工智能等多项信息技术，构建了智慧的生产管理模式，实现了传统电厂数据管理从静态向动态、由单维向多维的转变，形成了更透彻感知、更广泛互联、更智能决策和更安全可靠的服务平台。该研究成果在浙江余姚燃气电厂、舟山六横电厂等项目中成功推广应用，取得了显著成效。通过服务于电厂的精细化、智能化、可视化管理，实现了业务数据的共享和交换，促使电厂各部门之间通力合作，实现了信息的互联互通和多角度、全方位的智慧决策，推动了电厂管理的智慧化发展。下一步，可深入研究预警阈值的科学设置方法和算法模型效率优化等方面，以减少“无警误报”和“有警不报”的情况，实现海量信息高速自动分析和专项场景的高效诊断。通过持续改进和优化智慧电厂系统，不断提升其可靠性和稳定性，以满足电厂智慧管理的不断发展和创新需求。同时，也建议在实际应用中充分考虑信息安全和隐私保护问题，确保智慧电厂系统的数据和信息不受未授权访问和恶意攻击。通过以上改进和优化，能更好地支撑电厂的运营和管理，提升生产效率和安全管理水平，推动整个电厂行业的智能化发展。

参考文献：

[1] 万震宇. 智慧电厂转型升级中人工智能技术的应用[J]. 现代商贸工业，2020，41(25)：157-158.

[2] 赵俊杰，冯树臣，马克，等. 基于泛在电力物联网技术的智慧电厂安全管控一体化应用[J]. 能源科技，2020，18(5)：1-6.

[3] 谢小鹏，林玥廷，林英明. 火电厂设备状态监测与故障预警的研究[J]. 华电技术，2018，40(6)：7-9.

[4] 杨海寅，倪新宇，茅大钧，等. 基于多数据融合的电厂设备故障预警[J]. 电力科学与技术学报，2018，33(4)：161-167.

[5] 丁敏刚. 智慧电厂中的设备巡检系统设计与实现[J]. 集成电路应用，2023，40(5)：73-75.

[6] 刘超，王丰建. 智能运行系统在智慧电厂的应用探讨[J]. 电站系统工程，2023，39(2)：77-78.

[7] 郭靖琪，李常生，付荣之，等. 基于源荷不确定性的虚拟电厂负荷优化调度方法[J]. 自动化技术与应用，2023，42(10)：73-76.

[8] 李松浓，晏尧，向菲，等. 光伏直流系统故障电弧检测方法研究综述[J]. 电测与仪表，2024，61(2)：10-16.

[9] 周志华. 机器学习[M]. 北京：清华大学出版社，2016.

作者简介：徐仁虎（1977—），男，高级工程师，研究方向：基于5G网络下工业物联网、AI技术多系统融合的智能智慧生产管理深化应用。

通信作者：龙智睿（1984—），男，工程师，从事热控自动化、智慧电厂、基于5G网络下工业物联网、AI技术多系统融合的智能智慧生产管理深化应用及研究相关工作。