

数智化平台在热控设备故障预警中的应用实践

孙 健

江苏华电吴江热电有限公司 江苏 苏州 215221

【摘要】：数智化技术的发展为热控设备的安全运行提供了新的技术支撑。本研究围绕数智化平台在热控设备故障预警中的应用展开探讨，重点分析数据采集、状态监测、模型诊断与预测预警等关键环节的协同作用。研究通过构建基于多源数据融合的预警模型，实现对设备运行异常的早期识别，并提升故障预测的精度与稳定性。平台的可视化展示与智能推送机制有效缩短运维响应时间，改善传统热控运维依赖经验、诊断滞后等问题。应用结果表明，数智化平台能够在复杂工况下保持较高预警可靠性，为热控系统的安全、经济运行提供有力支撑，具有良好的推广价值。

【关键词】：数智化平台；热控设备；故障预警；数据融合；智能诊断

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.011

引言

热控设备在工业生产与能源系统中承担关键调节与保护作用，其运行可靠性直接影响整体系统的安全与效率。随着设备规模扩大与运行环境复杂化，传统依赖人工经验的故障识别方式已难以满足实时性和准确性的要求，预警滞后带来的风险不断增加。数智化平台的发展为解决这一问题提供了新的技术路径，通过实时数据采集、智能分析与可视化管控，能够更加全面地刻画设备状态并提前识别潜在异常。本研究聚焦数智化平台在热控设备故障预警中的应用实践，旨在探索其技术体系、关键方法与应用成效，为实现热控运维的智能化、主动化提供理论参考与实践支撑。

1 数智化技术融入热控设备运维的背景基础

数智化技术的快速发展为热控设备运维提供了新的体系支撑，使设备状态的获取方式、故障认知模式和运维决策逻辑出现了深层变革。传统热控设备依赖周期性点检与人工监测，数据的时效性与覆盖度有限，难以全面呈现设备运行特征，尤其在负荷波动大、工况变化频繁的场景中，隐性故障往往难以被及时识别，使系统处于被动维护状态。随着传感器技术、工业通信网络与实时数据处理能力的提升，热控设备的运行信息能够以高精度、连续化的方式采集并上传至统一的数据平台，为构建动态运行画像奠定基础。与此同时，大数据分析、机器学习和知识推理等方法能够对海量设备数据进行深度挖掘，通过多维度关联与趋势识别揭示潜在异常机理，使故障判断从经验驱动向数据驱动转变。

在能源与工业系统数字化需求不断增强的背景下，运维管理对实时监测、精准诊断与预测性维护的要求日益突出。热控设备作为系统中保持温度、压力、流量等关键参数稳定的重要单元，其运行可靠性直接影响整体生产的安全性与经济性^[1]。若仅依靠人工巡检与离散式监控，难以满足对复杂系统的全域监管要求，也无法有效支撑跨设备、跨工况的综合分析。因此，引入数智化技术构建多源数据融合平台成为提升运维质量的必然趋势。通过统一的数据架构与智能分析模型，平台能够实

现对阀门、执行机构、热交换单元等关键设备状态的持续监测，并根据运行规律形成可追溯、量化的诊断依据。

实时可视化技术和智能交互机制的应用进一步强化了运维的协同能力，使管理者能够清晰掌握系统的整体运行态势，及时识别风险点并调整控制策略。数智化平台不仅改善了传统热控运维中“信息孤岛”与响应滞后的问题，也推动设备管理从粗放式模式向精细化、预测性模式演进。随着平台在更多生产场景中深化应用，热控设备的管理体系正逐步向智能化方向升级，为构建高可靠、高效率的运行安全体系提供了坚实基础。

2 热控设备运行管理中的瓶颈表现

热控设备在长周期、高负荷的运行条件下，其状态变化往往具有隐蔽性与突发性，导致运维管理在实际应用中面临多重瓶颈。设备结构复杂、工作参数耦合紧密，使局部异常容易被整体工况掩盖，传统监测手段难以捕捉早期劣化特征。工厂内大量设备依赖人工巡检，监测频率有限，数据采集不连续，无法形成完整的动态曲线，导致运维人员难以基于历史趋势判断潜在故障的发展方向。部分关键部件如执行机构、调节阀与热交换元件在负载波动时会出现细微响应延迟或性能衰减，这类动态偏差缺乏可靠的数据记录手段，使设备健康度评估长期滞后。

运行管理中还普遍存在数据分散与系统孤立的问题，各监控系统之间缺乏统一的数据接口，参数标准不一致，导致同一设备的加工数据、监测数据与维保信息无法整合，难以支持跨设备、跨流程的综合分析。由于信息链条不完整，模型诊断与策略优化往往停留在局部层面，无法形成对全系统运行态势的准确判断^[2]。部分企业采用的报警逻辑仍基于固定阈值，当设备在复杂工况下出现缓变异常时，报警机制难以及时响应，而在工况扰动较大时又可能出现误报，影响运维判断的准确性。

此外，运维团队在设备管理中仍以经验驱动为主，专业人员需要长期积累才能形成较强的判断能力，这使得知识传递效

率低,面对复杂系统的多源数据时,人工难以快速识别关键参数变化与耦合关系。在缺乏智能辅助工具的情况下,故障处理仍呈现被动式特征,往往在故障已经影响系统稳定或生产效率下降后才开展修复。检修计划通常依赖固定周期安排,设备的真实健康状态难以得到量化评估,造成过度维护或不足维护并存的局面。随着生产规模扩大和自动化程度提高,热控设备对可靠性的要求进一步提升,而传统管理模式难以满足实时性、准确性与协同性的综合需求。这些瓶颈直接限制了故障预警能力,使热控系统在多工况、多设备协同运行环境下面临更高的不确定性,为构建智能化预警体系带来迫切需求。

3 面向故障预警的数智化平台构建路径

面向故障预警的数智化平台构建需以数据体系、算法体系与业务协同体系的深度融合为核心,通过多层结构共同支撑设备状态的实时感知与智能判断。平台搭建的关键在于构建统一的数据采集与传输架构,将温度、压力、流量、阀位、振动、功率等关键运行参数通过高精度传感器和工业通信网络持续汇聚,实现数据的标准化、结构化与时序化管理。多源数据在进入平台后需要经过滤波、降噪、特征提取与标签构建等处理,以提高模型训练与推理的有效性,使热控设备在不同工况下的运行状态能够被准确映射为可分析的数字特征。

在数据基础之上,引入智能诊断与预测算法是实现预警功能的核心环节。通过机器学习、深度学习、模式识别与知识库推理等方法,可构建多维度融合的设备健康评估模型。算法能够基于历史运行规律与实时数据流捕捉异常趋势,并对工况扰动进行自适应识别,从而降低误报率^[3]。为了应对热控设备动态特性强、参数耦合度高的特点,平台需要构建跨设备、跨回路的关联分析框架,利用特征权重分配、因果链推断与多模型协同机制刻画设备之间的联动关系,为复杂故障的根因识别提供技术支撑。

平台的结构设计不仅依赖模型能力,还需要具备面向现场应用的业务功能。运行监测界面需能够实现全流程可视化,将设备状态、健康指数、故障概率、趋势预测等结果以直观方式展示给运维人员,便于快速理解系统运行态势。告警机制应支持分级推送、场景化触发与动态阈值调整,使预警能根据不同负载与操作模式智能匹配相应规则。为便于运维闭环管理,平台还需集成员工操作记录、设备检修结果与故障库更新机制,使系统在长期运行中不断积累知识,提高诊断精度与自学习能力。在此路径下构建的数智化平台能够形成从数据采集、状态监测、智能诊断到预测预警的闭环体系,使热控设备的健康管理从经验式转向主动式与预测式。平台结构的逐步完善不仅增强了系统的实时响应能力,也为构建高可靠、可扩展的运维管理体系奠定技术基础,为热控设备实现长周期稳定运行提供重要支撑。

4 数智化预警平台的应用成效与实践体会

数智化预警平台在实际运行中展现出对热控设备全生命周期管理的显著促进作用,其价值主要体现在监测精度提升、故障识别速度加快以及运维流程优化等方面。通过高频数据采集与智能分析模型的结合,平台能够捕捉传统手段难以识别的早期异常特征,使设备健康状态的变化以可量化方式呈现。阀门响应迟滞、执行机构磨损、换热效率衰减等隐性问题的数据趋势中会被提前反映,为运维人员争取更多处置时间,避免异常进一步扩大成为严重故障。

智能模型的部署使平台能够针对复杂工况进行自适应分析,当系统处于负荷波动或参数扰动较大的条件时,算法可动态调整判断逻辑,从而减少误报与漏报。预警结果不仅包含异常类型,还可提供可能的原因链条和重要影响参数,使运维人员能够以更高效率确定排查方向^[4]。部分应用场景显示,平台在捕获热控系统微小偏差方面较人工巡检更为敏锐,设备故障的发现时间较过去提前多个周期,有效降低了系统停机概率。

平台的可视化能力为现场管理带来了明显便利。运维人员能够通过数字界面实时查看各设备的运行状态、健康指数和风险等级分布,调度中心也能基于系统整体态势做出更合理的运行调整。预警信息的分级推送机制让不同岗位能够接收到与自身职责匹配的提示,从而形成业务链条内的高效协同。与此同时,平台记录的预警日志、操作记录与维护结果构成了设备管理的重要数据资产,为后续的模式训练和运维策略优化提供持续支撑。在实践经验中,平台的应用不仅改善了设备运行的安全性,也促使运维模式逐步向风险预控和定制化维护转变。通过对典型故障的规律分析,管理者能够形成更合理的备件管理策略和检修计划,提高资源配置效率。平台在多个现场的运行情况表明,数智化手段能够在复杂热控场景中保持稳定可靠的预警能力,使设备管理从依赖经验向依赖科学数据和智能决策转型,为打造高效、可靠的热控系统提供了坚实支撑。

5 热控设备智能化预警体系的未来发展方向

热控设备智能化预警体系的发展趋势正朝着更高自主性、更强适应性和更深层的知识融合方向演进。随着数据源的类型持续扩展,未来的预警体系需要构建更加完善的全量数据采集网络,使设备运行数据、环境数据、工况数据以及维护活动信息形成稳定的互联结构。多维数据的深度融合将使设备状态画像更加精细化,使模型能够在更复杂、更动态的场景中保持高灵敏度。伴随边缘计算能力的增强,部分预警逻辑可下沉至设备侧,实现低延时、轻量化的实时诊断,以提升系统在极端或突发工况下的即时响应能力。

智能预警模型的演进将从传统统计与单一学习算法向多模型协同、自主学习与场景化智能方向升级。未来的模型不仅需要识别常见故障的模式特征,还需具备处理未知异常、组合

性故障与跨系统耦合异常的能力。通过引入强化学习、自监督学习和因果推理机制,模型能够在缺乏标注数据的条件下持续提升理解能力,使预警体系不再依赖大量人工经验。知识图谱技术的融合将使设备结构、工艺流程与故障机理形成逻辑关联,为复杂场景中的根因分析提供透明可解释的依据,使预警结果的可信度进一步提高。

管理模式的数字化演进也将推动预警体系向更全面的生态化方向发展。未来的系统需要实现设备诊断、维修计划、资源调度与运行策略之间的深度联动,使预警不再仅是风险提示,而是成为推动全流程优化的关键驱动力。通过构建预测性检修体系,设备健康状态能够主动指导维护策略的动态调整,减少无效检修,延长关键部件寿命^[5]。不同岗位人员可通过协同页面共享同一运行视图,提升跨部门响应效率,使预警从信息输出延伸为整体决策支持。

随着新技术的不断融入,热控设备预警体系的安全性与可靠性也将成为未来关注重点。数据安全、模型稳定性、系统冗余设计和自适应容错能力将在体系构建中占据更重要的位置,

使平台能够在高负载运行、网络波动或极端工况下保持连续的判断能力。此外,预警体系将在可扩展性设计上持续强化,通过模块化结构适配更多类型的热控设备,为不同规模、不同工艺特征的场景提供定制化智能解决方案。随着这一体系持续成熟,热控设备管理将迈向高度智能化的阶段,为工业运行的安全性、效率和可靠性带来更深远的提升。

6 结语

数智化技术的融入正在深刻改变热控设备的运行管理模式,使监测方式、诊断机制与维护策略都呈现出智能化、精细化的趋势。通过构建统一的数据体系与智能分析框架,设备状态得以被全面感知,潜在风险能够在早期阶段被精准识别,运维决策的科学性显著提升。实践表明,数智化预警平台不仅提高了故障发现的及时性,也增强了系统运行的稳定性与安全性,为运维体系带来了新的效率优势。面向未来,智能预警技术将在多源数据融合、自主学习、因果推理和协同管理方面持续深化,为热控设备构建更加可靠、高效的运行保障体系奠定坚实基础,并推动运维管理不断向智能化、高质量方向迈进。

参考文献:

- [1] 郭玮.热控设备常见故障及处理研究[J].造纸装备及材料,2024,53(01):30-32.
- [2] 王文岁,张超,银伟,等.电厂热控系统中热控保护装置故障研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(01):116-118.
- [3] 刘晨.DCS 控制系统在电厂热控设备维护中的优化应用[J].自动化应用,2025,66(21):21-23.
- [4] 张印.基于模糊神经网络的火力发电厂热控设备故障检测研究[J].电工技术,2024,(24):50-52.
- [5] 吕振华.关于电厂热控系统中热控保护装置的故障分析与保护[J].山东工业技术,2017,(16):222.