

智能技术在水电厂电气自动化中的应用

王耀增

贵州北源电力股份有限公司 贵州 遵义 563402

摘要: 智能技术与水电厂电气自动化系统的融合遵循从感知到决策的递进逻辑,涵盖监控、控制与运维三大环节。在设备监控中,智能采集与预处理技术提升了参数准确性,异常识别与全生命周期监管实现了设备状态的主动掌握。在电气控制中,智能算法优化了机组启停、负荷调节及闭环控制品质,协同控制提升了多设备运行效率。在运维管理中,智能诊断预警、流程优化及可靠性提升技术增强了故障预防与快速响应能力,推动电气自动化系统向自适应、高可靠方向发展。

关键词: 智能技术;水电厂;电气自动化;应用

引言:水电厂电气自动化系统对可靠性、响应效率与运行经济性有着综合要求,传统控制手段在面对非线性、多约束及复杂工况时存在局限。智能控制算法、模式识别及知识驱动方法凭借自学习、自适应与鲁棒性等特性,为电气自动化系统提供了新的技术路径。智能技术与水电厂电气自动化系统在感知、分析、决策及执行层面实现融合,推动设备监控、电气控制及运维管理向智能化方向演进,有效提升了系统运行水平与管理效能。

1 智能技术在水电厂电气自动化中的应用基础

1.1 水电厂电气自动化的核心需求

水电厂电气自动化的核心需求主要体现在对系统可靠性、响应效率与运行经济性的综合要求上。电气自动化系统需要实时监测发电机组、开关设备及输电线路的运行状态,确保各设备在安全阈值内正常工作,并在异常发生时快速完成故障识别与隔离。系统必须具备对负荷变化的快速响应能力,根据电网需求动态调节发电出力,维持频率与电压的稳定。在数据层面,自动化系统要求对大量电气量与非电气量进行同步采集与处理,为运行决策提供准确依据。系统还需具备协调控制能力,整合不同设备间的动作逻辑,避免因局部操作引发全局扰动。随着自动化程度提高,对控制策略的自适应性和抗干扰能力也提出了更高要求。

1.2 适配水电厂电气自动化系统的智能技术类型及核心特性

适配水电厂电气自动化系统的智能技术主要包括智能控制算法、模式识别技术以及知识驱动的方法。智能控制算法能够处理非线性、时变及多约束条件下的控制问题,其核心特性在于不依赖精确数学模型即可实现系统状态的有效调节。模式识别技术擅长从高维运行数据中提取关键特征,用于设备状态分类与运行趋势判断,

具有对复杂信号模式的辨识能力。知识驱动的方法则通过结构化的经验信息辅助决策,能够在不确定环境下提供合理的控制建议^[1]。这些智能技术的共同特性包括自学习能力,即能够根据历史运行数据持续优化自身性能;自适应能力,可在工况变化时调整内部参数以维持系统稳定性;以及鲁棒性,在存在噪声或部分数据缺失情况下仍能保持有效工作。

1.3 智能技术与水电厂电气自动化系统的融合逻辑

智能技术与水电厂电气自动化系统的融合遵循从数据采集到决策执行的递进逻辑。首先,智能技术嵌入系统感知层,对原始电气信号进行特征增强与噪声抑制,提升动态监测的准确性与完整性。在此基础上,融合过程进入分析层,智能算法对运行数据进行实时处理,识别设备异常模式或工况变化趋势,并将分析结果转化为可供控制层使用的信息。随后在决策层,智能技术依据当前系统状态与历史运行经验,生成优化的控制指令或保护动作方案,替代或辅助传统固定逻辑的决策方式。最后在执行与反馈层面,系统将控制效果回传至智能模块,用于修正后续决策行为,形成闭环学习与优化机制。

2 智能技术在水电厂电气设备监控中的应用

2.1 电气设备运行参数的智能采集与预处理技术应用

电气设备运行参数的智能采集与预处理技术应用,解决了水电厂复杂环境下数据获取不准确与信息冗余的问题。水电厂电气设备在运行中产生大量连续变化的模拟量信号以及离散的状态量信号,这些信号在长距离传输过程中容易受到电磁场干扰而产生畸变。智能采集技术通过对采样频率的自适应调整,能够在不同工况条件下保持信号的完整性与一致性,避免因采样不足丢失关键特征或因采样过密产生数据堆积。在预处理阶段,智能算法对原始数据进行噪声滤除,识别并修正因传感器

漂移或瞬时干扰导致的异常数值。智能预处理技术还具备对多源信号的对齐与融合能力,将来自不同监测点且时间基准存在差异的数据整合为统一可用的序列。通过消除数据中的冗余信息与不一致成分,预处理环节显著提升了后续分析工作的效率与准确性,为设备状态监测奠定了可靠的数据基础。

2.2 设备运行状态的智能监测与异常识别

设备运行状态的智能监测与异常识别,实现了对水电厂电气设备健康水平的持续评估与潜在问题的早期发现。水电厂电气设备在长期服役过程中,其运行特征会随着负载变化、环境条件波动以及内部材料老化而发生渐进性改变,传统基于固定阈值的监测方式难以捕捉这种缓慢偏移。智能监测技术通过对连续运行数据的分析,建立设备在正常工作区域内的特征分布,并实时判断当前采集数据是否偏离该分布范围。在异常识别方面,智能方法不依赖单一参数的超限判断,而是综合分析多个相关参数之间的相对关系是否保持正常,从而发现单一指标难以反映的异常模式^[2]。当识别到特征偏离时,系统能够对异常程度进行量化评估,并区分该异常属于缓慢劣化、突发扰动还是传感器故障。这种监测与识别能力使运维人员能够及时掌握设备状态的动态变化,避免小问题积累演变为严重故障。

2.3 智能监控技术在电气设备全生命周期监管中的应用

智能监控技术在电气设备全生命周期监管中的应用,覆盖了设备从安装投运直至退役报废的完整时间跨度内的状态追踪与性能评估。水电厂电气设备在不同的服役阶段表现出不同的劣化规律与维护需求,传统的分段式管理方式难以形成对设备历史状态与当前能力的统一认知。智能监控技术通过建立每个设备的电子化履历档案,持续记录其关键参数的变化轨迹、每次维护操作的内容与效果以及运行中出现的异常事件。在全周期监管过程中,智能算法依据设备当前状态与历史数据,评估其剩余可用能力随运行时间的变化趋势,为制定维护计划与更新决策提供依据。智能监控支持对不同环境条件下运行的同类设备进行服役表现比较,识别设计与使用中的共性问题。随着设备运行时间的累积,智能技术不断更新对其性能衰退规律的认识,使全生命周期监管更加符合设备实际服役特征。

3 智能技术在水电厂电气控制中的应用

3.1 机组启停与负荷调节的智能控制实现

机组启停与负荷调节的智能控制实现,关注水电厂发电单元在状态转换与功率输出过程中的控制质量。机

组启停过程涉及多个阶段的顺序控制,包括从静止到并网以及从并网到脱离的完整操作序列,各阶段对速度、平稳性与安全性均有不同要求。智能控制技术能够依据系统当前工况与机组自身特性,动态调整启停过程中的控制指令,减少状态转换时的冲击与波动。在负荷调节方面,智能算法根据电网需求与机组运行限制,合理分配出力变化速率与幅度,避免因调节过快引发不稳定或因调节过慢影响响应效率^[3]。智能控制具备对机组实际响应行为的监测与修正能力,当实际输出与期望值出现偏差时及时调整后续控制量。这种实现方式使机组能够在不同工况条件下完成平稳启停与准确负荷跟踪。

3.2 电气系统闭环控制的智能化优化

电气系统闭环控制的智能化优化,旨在提升反馈控制系统的动态性能与稳态精度。水电厂电气闭环控制通常以电压、频率等关键电气量为调节目标,传统控制器的参数一旦设定便难以适应工况变化。智能优化技术能够在线分析闭环系统的响应特性,识别超调量、调节时间及稳态误差等性能指标的实际表现,并据此调整控制器的计算逻辑或内部参数。在系统扰动发生后,智能方法可快速评估扰动对闭环回路的影响程度,重新计算合适的控制作用以抑制波动。智能优化还关注多回路之间的耦合影响,避免各闭环控制环节在独立调节时产生相互干扰。通过持续监测控制效果并与预期目标进行比较,智能技术使闭环控制系统能够在长期运行中保持良好的调节品质,适应水电厂电气系统复杂多变的运行环境。

3.3 智能控制技术在水电厂电气系统协同运行中的应用

智能控制技术在水电厂电气系统协同运行中的应用,解决多设备、多单元之间的协调配合问题。水电厂电气系统包含发电机组、变压器、开关设备及无功补偿装置等多个组成部分,各设备在运行中存在电气联系与相互约束。智能控制技术通过建立系统级的协调机制,统一考虑各单元的当前状态、运行限制与控制目标,生成整体最优的控制分配方案。在多机组协同场景下,智能方法合理划分有功与无功出力,使各机组在其高效区内运行并满足系统侧的整体需求。在设备动作配合方面,智能控制确保不同设备之间的操作顺序与时序满足电气安全与运行平稳的要求。智能协同控制还具备对系统运行模式变化的适应能力,根据当前工况自动调整协调策略。这种协同应用有效提升了水电厂电气系统的整体运行效率与控制一致性。

4 智能技术在水电厂电气系统运维中的应用

4.1 电气设备故障的智能诊断与预警技术应用

电气设备故障的智能诊断与预警技术应用,着眼于在故障形成初期提供准确的状态评估与风险提示。水电厂电气设备在长期运行中可能因绝缘性能下降、机械部件磨损或电气应力累积而出现功能衰退,这些早期变化往往幅值微弱且容易被正常运行波动所掩盖。智能诊断技术通过对设备运行参数的持续分析,提取与设备健康状况密切相关的特征量,并建立这些特征量在正常条件下的取值范围与相互关系。当实时数据中出现偏离该范围的趋势时,智能算法能够识别出潜在的异常模式,判断设备是否存在早期缺陷。在预警方面,智能技术根据特征量的变化速率与幅值,评估设备在未来一段时间内发生功能异常的可能性,并按照风险等级发出不同级别的提示。智能诊断还可以对异常类型进行初步归类,区分电气故障、机械问题或环境干扰所致的不同表现,为后续处理提供方向性指引。

4.2 运维流程的智能化优化与管控

运维流程的智能化优化与管控,旨在提升水电厂电气系统维护活动的组织效率与执行质量。水电厂电气系统的运维工作涉及日常巡检、定期测试、故障维修及备件更换等多个环节,各环节之间在时间安排与资源使用上存在相互制约。智能优化技术依据设备当前状态评估结果与历史维护记录,合理确定每项维护任务的必要性、优先级以及最佳执行窗口,避免过度维护造成资源浪费或因维护不足导致风险累积。在流程管控方面,智能技术对维护任务的全过程进行跟踪,记录每项操作的实际开始时间、完成时间以及执行过程中的关键数据,并与预定计划进行对比分析^[4]。当实际执行偏离计划时,系统能够识别偏差原因并建议调整后续任务的安排。智能方法还可以分析不同维护策略对设备长期运行表现的影响,辅助运维管理人员选择更为合适的维护模式,使运维流程更加规范且具有持续改进能力。

4.3 智能运维技术对电气系统运行可靠性的提升作用

智能运维技术对电气系统运行可靠性的提升作用,体现在故障预防、状态恢复及长期稳定性保持等多个方

面。水电厂电气系统的可靠性取决于其组成设备在连续运行中维持规定功能的能力,传统运维方式难以全面识别影响可靠性的各类潜在因素。智能运维技术通过持续监测设备运行参数与环境条件,识别可能导致性能下降的风险因素,并在其演变为实际故障之前采取干预措施,从而降低非计划停运事件的发生频率。在系统发生异常后,智能技术辅助快速定位问题设备与故障原因,缩短系统处于非健康状态的时间,减少异常对正常发电任务的干扰^[5]。智能运维支持对同类设备在不同运行条件下可靠性表现的比较,发现设计缺陷或使用不当造成的薄弱环节。通过对长期维护记录与设备响应数据的持续学习,智能技术不断优化维护策略,使电气系统在复杂多变的运行环境中保持较高的可用水平与运行一致性。

结束语:智能技术与水电厂电气自动化系统的深度融合,已在设备监控、电气控制及运维管理等环节形成系统性应用成效。智能采集与预处理提升了运行参数的准确性,智能监测与异常识别实现了设备状态的主动掌控。智能控制优化了机组启停、负荷调节及闭环控制品质,协同控制增强了多设备运行效率。智能诊断预警与流程优化技术有效提升了故障预防能力与响应速度。随着自学习、自适应等技术特性的持续发挥,智能技术将进一步推动水电厂电气自动化系统向高可靠、高效率方向发展。

参考文献

- [1]刘卫国.智能技术在水电厂电气自动化中的应用[J].中国高新科技,2025(1):128-130.
- [2]董万州,崇磊.智能技术在水电厂电气自动化中的应用[J].移动信息,2025,47(12):422-424.
- [3]何超,王冠琪.电气自动化技术在智能化水电厂设备运行管理中的应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(3):151-154.
- [4]尹磊磊,杨振,尹逊明.泵站电气自动化控制中的智能化技术应用研究[J].科技资讯,2026,24(4):43-45.
- [5]付万珊,周杰.PLC技术在水电厂电气自动化监控系统中的应用[J].轻工科技,2025,41(4):119-121+129.