

智能电网背景下变电运行智能化管控体系构建与实践

薛 瑞 薛攀峰

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古自治区 鄂尔多斯 010300

摘 要: 智能电网融合多种先进技术,具备高效、可靠等特性。变电运行智能化管控将智能化技术应用于变电各环节,以提升安全性等为目标,有多学科理论支撑。其体系构建包括系统分层、组件设计、信息集成共享、实时监控预警等。核心内容涵盖感知采集、监控预警、决策优化、协同管控。实践选取220kV变电站部署体系,结果显示运维效率、供电可靠性提升,经济性改善,管理水平提高,应用前景广阔。

关键词: 智能电网; 变电运行; 智能化管控体系

1 智能电网与变电运行智能化管控相关理论

1.1 智能电网的核心内涵

智能电网作为现代电力系统发展的重要方向,融合了先进的传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术等。其核心在于实现电力系统的智能化运行与管理,具备高效、可靠、安全、环保等诸多特性。从发电环节看,智能电网能够优化能源结构,提高可再生能源的接入与消纳能力,如风电、光伏发电等间歇性能源的合理利用。在输电环节,通过先进的监测设备与智能算法,可实时掌握线路运行状态,实现输电线路的智能巡检与故障快速定位,降低输电损耗,提高输电效率。配电环节中,智能电网能根据用户需求和电网实时状况,灵活调整配电方式,实现分布式电源的有效接入与协调控制,提升供电可靠性与电能质量^[1]。用电环节则强调与用户的互动,通过智能电表等设备,为用户提供详细的用电信息,引导用户合理用电,实现需求侧管理。智能电网还具备强大的自愈能力,能够在发生故障时快速隔离故障区域,恢复非故障区域的供电,保障电网的稳定运行。

1.2 变电运行智能化管控的基本概念

变电运行是电力系统中的关键环节,承担着电压变换、电能分配等重要任务。变电运行智能化管控是将智能化技术应用于变电运行的各个环节,实现对变电设备、运行状态、操作流程等的全面感知、实时监控、智能分析与优化决策。其目标是通过智能化手段提高变电运行的安全性、可靠性和经济性,降低运维成本,提升运维效率。智能化管控涵盖变电运行的日常巡检、设备维护、故障处理、操作票管理等多个方面,利用先进的传感器、物联网、大数据、人工智能等技术,实现对变电运行的全过程、全方位管理,使变电运行从传统的人工管理模式向智能化、自动化管理模式转变。

1.3 智能化管控的理论支撑

智能化管控的实现离不开多学科理论的支持。控制理论为智能化管控提供了基础框架,通过对变电运行系统的建模与分析,设计合适的控制器实现对系统状态的精确控制。例如,采用先进的自适应控制算法,能够根据变电设备运行工况的变化自动调整控制参数,确保设备始终运行在最佳状态。信息论则为数据的采集、传输、处理与存储提供了理论指导,确保变电运行过程中产生的大量数据能够准确、高效地传输与处理,为智能化决策提供可靠依据。人工智能理论中的机器学习、深度学习等技术,能够对变电设备的历史运行数据和实时监测数据进行分析挖掘,实现设备故障的早期预警与智能诊断。另外,系统论强调从整体角度看待变电运行系统,将各个子系统视为一个有机整体,通过优化各子系统之间的协同配合,实现整个变电运行系统的智能化管控。

2 变电运行智能化管控体系的构建

2.1 系统分层与智能化变电组件的设计

变电运行智能化管控体系通常采用分层架构设计,一般分为站控层、间隔层和过程层。站控层作为整个管控体系的上层,负责全站的数据汇总、分析与决策,实现与上级调度系统的信息交互。间隔层主要完成对本间隔内设备的监控与保护功能,通过采集间隔内设备的运行数据,进行初步处理与分析,并执行站控层下达的控制命令。过程层则直接与变电设备相连,通过安装各类传感器,实时采集设备的状态信息,如温度、压力、电流、电压等,并将这些信息上传至间隔层。智能化变电组件的设计是构建智能化管控体系的关键^[2]。例如,智能化断路器不仅具备传统断路器的分合闸功能,还能实时监测自身的机械特性、电气参数等,通过内置的智能算法判断设备状态,实现故障的早期预警与自动重合闸等智能操作。智能化变压器则安装了多种传感器,可实时

监测油温、油位、局放等参数，利用大数据分析技术对设备健康状况进行评估，为运维决策提供依据。

2.2 信息集成与共享机制

信息集成与共享是变电运行智能化管控体系的核心环节。由于变电运行过程中涉及大量来自不同设备、不同系统的数据，如何实现这些数据的有效集成与共享至关重要。通过建立统一的数据平台，采用标准化的数据接口与通信协议，将站控层、间隔层和过程层的数据进行汇聚与整合，消除信息孤岛。同时，利用数据挖掘与数据分析技术，对集成后的数据进行深度挖掘，提取有价值的信息，为智能化决策提供支持。信息共享机制的实现依赖于高速、可靠的通信网络。采用工业以太网、光纤通信等先进技术，构建高速、稳定的通信网络，确保数据能够实时、准确地传输。建立完善的信息安全保障体系，对数据进行加密处理，设置访问权限，防止数据泄露与非法访问，保障信息系统的安全稳定运行。

2.3 实时监控与预警系统的建立

实时监控与预警系统是变电运行智能化管控体系的重要组成部分。通过对变电设备运行状态的实时监测，及时发现设备异常与潜在故障，并发出预警信息，为运维人员提供决策支持。实时监控系統利用安装在设备上的各类传感器，实时采集设备的运行参数，并将这些参数传输至监控中心。监控中心通过可视化界面展示设备的实时运行状态，方便运维人员直观地了解设备情况。预警系统则基于实时监测数据，采用先进的算法模型对设备状态进行评估与预测。例如，利用神经网络算法对设备的历史故障数据与实时运行数据进行训练，建立设备故障预测模型，当设备运行参数出现异常时，能够及时发出预警信号，并给出故障类型、故障位置以及故障发展趋势等信息，以便运维人员提前采取措施，避免故障扩大，减少停电损失。

3 变电运行智能化管控体系核心内容

3.1 智能化感知与数据采集系统

智能化感知与数据采集系统是变电运行智能化管控的基础。该系统通过在变电设备上安装各种类型的传感器，如温度传感器、压力传感器、电流互感器、电压互感器等，实现对设备运行状态的全方位感知。传感器能够实时采集设备的温度、压力、电流、电压等物理参数，并将这些参数转换为电信号或数字信号进行传输。为了提高数据采集的准确性与可靠性，采用高精度、高稳定性的传感器，并定期对传感器进行校准与维护。同时利用无线传感网络技术，实现传感器之间的无线通信，减少布线工作量，提高系统的灵活性与可扩展性。

数据采集系统将采集到的数据进行初步处理与存储，并通过通信网络将数据上传至上级系统，为后续的监控、分析与决策提供数据支持。

3.2 智能化监控与预警系统

智能化监控与预警系统在变电运行智能化管控中发挥着关键作用。该系统不仅能够对变电设备的实时运行状态进行全面监控，还能通过数据分析与挖掘技术，对设备故障进行早期预警。监控系统采用分层分布式架构，实现对不同层次设备的监控与管理。通过可视化界面，运维人员可以实时查看设备的运行参数、状态信息以及历史数据，方便对设备运行状况进行评估与分析^[3]。预警系统则基于大数据分析机器学习算法，建立设备故障预测模型。通过对设备历史故障数据与实时运行数据的学习与分析，模型能够准确识别设备故障的早期特征，并在设备出现异常时及时发出预警信号。预警信号可以通过短信、邮件、声光报警等多种方式通知运维人员，以便及时采取措施进行处理，避免故障的发生或扩大。

3.3 智能化决策与优化系统

智能化决策与优化系统堪称变电运行智能化管控体系的“核心大脑”，在变电运行管理中发挥着不可替代的关键作用。该系统紧密依托实时监控数据与预警信息，深度融合专家知识库与前沿优化算法，为运维人员精准提供科学合理的决策建议。决策系统犹如一位经验丰富的“诊断专家”，能够对设备故障展开全面且细致的诊断与分析。它不仅可以精准确定故障类型、深入剖析故障原因，还能明确故障影响范围，并迅速制定出针对性强、切实可行的故障处理方案，为故障的快速排除提供有力指引。优化系统则聚焦于变电运行的各个环节进行全方位优化，涵盖设备运行参数优化、检修计划优化、负荷分配优化等。它通过建立严谨的数学模型，运用智能优化算法对模型进行高效求解，从而得出最优的运行方案。以设备检修计划优化为例，该系统会综合考量设备的运行状态、检修历史、负荷情况等多方面因素，科学合理地安排检修时间与检修项目。在确保设备始终处于可靠运行状态的同时，有效降低检修成本，大幅提高设备利用率，为变电运行的高效、稳定、经济运行提供坚实保障。

3.4 智能化协同管控机制

变电运行涉及多个部门、多个专业，需要各部门之间密切协同配合。智能化协同管控机制通过建立统一的信息平台与协同工作流程，实现各部门之间的信息共享与协同工作。例如，当设备出现故障时，监控系统及时发出预警信息，并通过信息平台将故障信息传递给检修

部门、运行部门等相关人员。检修部门根据故障信息制定检修方案,运行部门则根据检修方案调整运行方式,确保检修工作的顺利进行。同时智能化协同管控机制还支持远程协作与专家会诊。通过视频会议、远程桌面等技术,专家可以远程指导现场运维人员进行故障处理,提高故障处理效率与质量。另外,建立完善的绩效考核机制,对各部门在协同工作中的表现进行评估与考核,激励各部门积极参与协同工作,提高整个变电运行系统的智能化管控水平。

4 变电运行智能化管控体系实践应用

4.1 实践案例选取

选取某地区一座220kV变电站作为实践案例,该变电站承担着周边地区的重要供电任务,设备种类繁多,运行工况复杂。在传统管理模式,存在运维效率低、故障处理不及时等问题。为了提升变电站的运行管理水平,决定引入变电运行智能化管控体系。

4.2 智能化管控体系的部署与实施

在部署智能化管控体系时,首先对变电站的现有设备进行评估与改造,安装各类智能化传感器与监测设备,实现设备状态的实时感知与数据采集。同时搭建统一的数据平台与通信网络,将站控层、间隔层和过程层的数据进行集成与共享。在监控与预警系统方面,采用先进的监控软件与预警算法,建立设备故障预测模型,实现对设备故障的早期预警。决策与优化系统则结合专家知识库与优化算法,为运维人员提供决策支持与优化建议。协同管控机制通过建立信息平台与协同工作流程,实现各部门之间的信息共享与协同工作。

4.3 实践效果评估

经过一段时间的运行,对该变电站智能化管控体系的实践效果进行评估。在运维效率方面,智能化管控体系实现了设备状态的实时监测与预警,运维人员能够及时掌握设备运行状况,提前发现潜在故障,减少了设备

故障的发生次数与故障处理时间,运维效率显著提高。在供电可靠性方面,通过实时监控与优化调度,变电站能够根据负荷变化及时调整运行方式,避免了因设备故障或过载导致的停电事故,供电可靠性得到大幅提升^[4]。在经济性方面,智能化管控体系优化设备检修计划,降低检修成本,同时提高设备利用率,减少能源浪费,为企业带来显著的经济效益。另外,智能化管控体系还提高了变电站的管理水平,通过信息共享与协同工作机制,各部门之间的沟通与协作更加顺畅,工作效率与管理水平得到全面提升。实践证明,变电运行智能化管控体系在提高变电站运行管理水平、保障电网安全稳定运行方面具有显著优势,具有广阔的应用前景。

结束语

智能电网背景下变电运行智能化管控体系的构建与实践,是电力系统发展的必然趋势。通过分层架构设计、多系统协同以及先进技术应用,实现了变电运行的高效、安全与可靠管理。实践案例充分证明,该体系在提升运维效率、保障供电、降低成本等方面成效显著。未来,随着技术不断进步,变电运行智能化管控体系将持续完善,为智能电网的稳定运行和电力行业的可持续发展提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]董亚峰,白赓.智能电网背景下变电运行与调度自动化系统的融合与优化[J].电脑采购,2024(21):1-3.
- [2]吴海.智能电网背景下变电站继电保护系统的优化与设计[J].机械与电子控制工程,2025,7(7). DOI:10.37155/2717-5197-0707-36.
- [3]朱雨琦.智能化变电站的运行维护技术分析[J].科学与信息化,2023(16):19-21.
- [4]周维初.基于智能电网技术的变电运维自动化与协同优化策略研究[J].电气技术与经济,2025(3):264-266.