

# 智能电气设备在核电厂的应用研究

魏巍, 刘爱芬

(华龙国际核电技术有限公司, 北京 100036)

[摘要] 随着数字化、智能化的发展,智能电气设备应运而生。本文调研了智能电气设备的现状,分析了使用智能电气设备的智能配电方案优势。通过研究智能电气设备在核电厂的应用方案,分析了智能电气设备应用在核电厂的可行性,对在建和在运核电厂的电气智能化研究指引了方向。

[关键词] 智能电气设备;核电厂;应用;可行性

[中图分类号] TM63 [文献标志码] B [文章编号] 1003-8884(2022)05-0024-04

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.05.006

## 0 引言

随着科技的发展和用户对供电可靠性的要求越来越高,传统配电方案的保护不灵敏、操作维护复杂的问题越来越突显,核电厂对智能化电气设备的需求也越来越大<sup>[1-3]</sup>。目前,智能电气设备已经在铁路、医院、博物馆、机场、燃气轮机电厂、石化厂、煤炭工厂、污水处理厂等多个领域有所应用,反馈效果良好。为了提高核电厂的电气智能化水平,本文对智能电气设备在核电厂应用的可行性进行研究。

## 1 智能电气设备的现状分析

目前,中压智能电气设备有智能断路器和智能中压开关柜,低压智能电气设备有智能电机管理控制器、智能馈电线路保护控制器、智能电表、智能低压断路器和智能低压开关柜。用于采集智能电气设备数据的传感器可以外置在智能电气设备上,也可以集成到电气设备内部。智能本地控制系统可以使用现有集成的,也可以根据用户需求进行个性化定制。目前大环境下云平台是公有云平台。

## 2 使用智能电气设备的智能配电方案优势

使用智能电气设备的智能配电能够全方位改善

配电系统,通过对电气系统故障的预警、预防以及预测,实现预防性维护,整体提高运行维护的主动性;通过对设备的运行和内在状态进行实时追踪和分析,实时评估设备的健康状态,根据评估结果将维修工作从“预防”化为“预测”,从而预测设备的可持续性和换新需求;通过对设备数据信息的存档、能源使用效率管理等,提升能源运行效率、降低能源成本,全面提升运营体系整体的高效性。

## 3 智能电气设备应用方案

智能电气设备在核电厂的配电方案主要包括三个层级,分别为智能电气设备层、智能本地控制系统以及云平台,如图 1 所示。

### 3.1 智能电气设备层

#### (1)中压智能电气设备应用方案

中压配电系统采用智能中压断路器,通过内嵌式温度传感器对断路器进行温度采集和在线监测。智能中压断路器可对断路器的分合闸线圈、储能电机进行智能监测。在就地实时显示智能中压断路器的特性,包括断路器合分闸线圈波形、断路器合分闸线圈的电流和动作时间、断路器分合闸时间和速度及行程、断路器合分闸线圈的健康指数、储能电机储能电流波形、储能电机的电流和动作次数、储能电机的健康指数等。同时,将采集到的数据传输到智能本地控制系统中进行在线监测,通过对断路器合分闸线圈和储能电机历史操作数据趋势进行分析,能够快速、直观地掌握断路器的健康状态,并对断路器的健康趋势进行动态诊断。

[收稿日期] 2022-06-10

[作者简介] 魏巍(1987—),女,吉林辽源人,高级工程师,硕士,主要从事核电厂电气设计工作。

[引用格式] 魏巍,刘爱芬.智能电气设备在核电厂的应用研究[J].有色设备,2022,36(5):24-27.

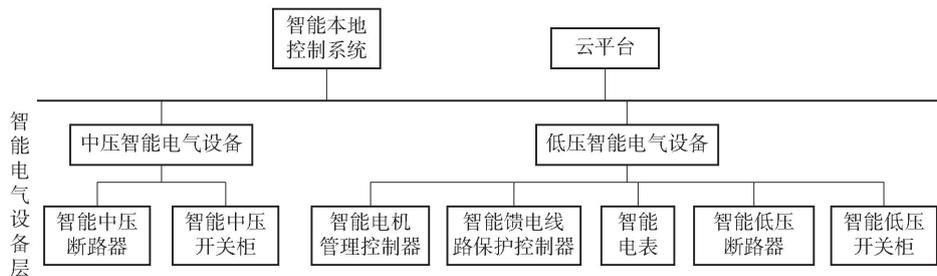


图1 智能电气设备配电方案

中压系统采用智能中压开关柜,通过内嵌式的温度传感器对母排、电缆等温度进行采集和在线监测。通过智能中压开关柜对断路器与开关柜的配合状态进行在线监测;通过柜内视频对手车和接地开关的位置进行在线监测;通过远程或就地控制对断路器的分合闸进行电动操作;通过直观的显示断路器剩余电寿命,对断路器的剩余电寿命进行在线监测;具有单独的弧光保护,通过电流弧光双重判据快速做出响应,快速切除故障;通过微机综保,对回路电流、电压等电气参量进行测量来实现多种保护;可对避雷器的泄露电流和放电次数进行在线监测。同时,将采集到的数据传输到智能本地控制系统中进行在线监测。

## (2) 低压智能电气设备应用方案

对于电动机回路,采用智能电机管理控制器来实现对低压电动机的控制、保护和监测。智能电机管理控制器可实现从简单到复杂的多种电动机启动方案,实现完善的保护功能,并可对电动机回路电气参量进行监测,包括电流、电压、功率因数、有功、视在功率、接地故障电流、电度、频率等。还可对热过载脱扣时间、热过载复位时间、电机状态、主开关状态等进行监控。另外,可记录电动机的运行时间、启动次数、脱扣次数、停机时间等,方便后期维护。智能电机管理控制器以以太网替代传统的硬接线,来减少控制连接电缆,实现高速和海量的数据传输。将采集到的数据传输到智能本地控制系统,对设备运行状况进行大数据分析,进而提高设备使用率和管理质量。即便在设备发生故障的情况下,也能在第一时间提供故障根本原因分析,可以缩短维护时间,从而有效地确保维持产能。智能电机管理控制器预留了扩展接口,用于后期可能增加的功能。

对于馈线回路,采用智能馈电线路保护控制器来实现对馈线回路的监测、保护和告警。智能馈电

线路保护控制器可实现对馈线回路的测量,包括电流、电压、频率、有功、无功、视在功率、功率因数、温度、有功电度量、无功电度量、视在电度量等。智能馈电线路保护控制器可实现对线路的保护功能,包括过电压、低电压、过流、接地故障、温度管理、漏电保护、通信中断、相序保护等。智能馈电线路保护控制器可监控开关量的状态、主开关的状态以及各功能的告警和脱扣。另外,还可显示维护信息,包括运行时间、停机时间、抽屉插拔次数、参数下载次数、干扰记录等。智能馈电线路保护控制器预留了扩展接口,用于后期可能增加的功能。

对于进线回路,采用智能电表对进线回路的电气参量进行测量,包括电流和电压的瞬时值、平均值、最大值和不平衡率、频率的瞬时值、平均值、最大值,有功、无功、视在功率、功率因数的瞬时值、平均值、最大值和负荷曲线、温度、有功电度量、无功电度量、视在电度量等。可在智能电表上显示电气参量,同时,将采集到的数据传输到智能本地控制系统中进行在线监测和存储。

低压智能配电方案采用智能低压断路器,通过内嵌式温度传感器对断路器进行温度采集和在线监测。在就地实时显示智能低压断路器相关的电气状态参量。同时,将采集到的数据传输到智能本地控制系统中进行在线监测,可快速、直观地掌握断路器的健康状态。

低压智能配电方案采用智能低压开关柜,通过柜内集成的温度控制系统,连续对抽屉内环境以及电气设备的温度进行在线监测,并将采集到的数据传输到智能本地控制系统,同时对于温度偏差进行计算,从而实现超温预警,及时发现潜在故障点。智能低压开关柜的故障抽屉无需断电即可更换,可减少断电时间,提高设备运行连续性和可靠性。智能低压开关柜可将综合能耗情况传输至智能本地控制

系统,进行能耗数据分析,方便用户优化能源使用,提高能源效率。

### 3.2 智能本地控制系统

本方案采用独立的智能本地控制系统来接收智能电气设备传输过来的数据,并进行处理和分析。智能本地控制系统具有能源效率管理、运行维护管理、电能质量管理和电气设备管理等功能。

#### (1) 能源效率管理

能源效率管理通过可视化的界面,按照负载类型、计量区域、不同工况等统计能耗,对能源使用情况进行分析,明确系统中的能源流向,快速找出系统中的用能大户,挖掘能效提高空间,从而优化能源效率及运营决策,以减少能耗达到节能的目的。可按照不同班次或不同设备生成能耗对标报告,以便进行统计和分析。

#### (2) 运行维护管理

运行维护管理系统显示系统单线图、柜面图、通讯网络构架图等,可查看电力系统运行状态、电气设备运行状态及参数、设备通讯状态等。在单线图及柜面图上,可查看断路器老化程度以及设备磨损程度,便于运行人员后期维护管理。远程图形界面控制开关的分合闸,使系统使用更加安全。可从通电设备的安全距离远程操作断路器,将潜在的电弧闪光风险降到最低。用户可自定义各电气设备的报警限值,实现对运维人员实时提醒及报警,减少突发事故带来的财产损失。系统可记录近期报警、近期事故以及近期事件,方便运行人员查阅。可根据时间、严重程度、设备状态、优先级等对告警进行过滤、分类和分析,并形成报警报告便于查阅。

通过智能监控取代人工定期巡检,可减少运维人力及时间成本,并提前预警设备故障,实现前瞻性维护,替代了事后维修模式,减少计划外停机时间,确保安全、可靠、持续的用电需求。

#### (3) 电能质量管理

电能质量管理可对电能质量进行实时监测,包括功率因数和总谐波畸变率等。对电能质量发生时间以及事件类型进行捕捉和记录,并生成电能质量波形报告、谐波报告、电能质量报告等。另外,可查阅近期发生的电压扰动事件、电压暂降事件、电压波动事件、过电压事件、欠电压事件、电压不平衡事件、电压闪变事件以及频率变化等。还可对电能质量治理设备(如无功补偿柜、滤波器等)以及柜内的电子

设备进行监测。通过电能质量管理,可远程实现高效电能管理策略。

#### (4) 电气设备管理

电气设备管理聚合了不同的电气设备,能够呈现电气设备的运行健康情况,还可以呈现关键设备信息及运行参数。实现对中压开关柜健康状态、中压断路器老化情况、低压配电柜健康状态、低压断路器老化情况等进行分析。

### 3.3 云平台

由于目前大环境下云平台是公有云平台,考虑到核电数据的安全问题,本方案采用专用云平台。智能电气设备采集到的数据通过核电厂无线通信5G网络传输到专用云平台。专用云平台提供了统一的设备管理、数据的收集以及分析能力,将从设备采集的数据统一汇聚在云平台上,进行存储和分析。专用云平台主要有监测、优化、管理和预测等功能。

## 4 智能电气设备应用的可行性分析

#### (1) 技术方面

目前,智能电气设备的产品较为成熟,功能也较为全面,能够满足核电厂的需求,而且在其他行业有众多成功应用的经验,效果反馈良好,故可将其应用在核电厂电气系统中。

#### (2) 经济方面

本方案前期投资成本高,但会带来多方面经济效益,如可减少计划外停电带来的损失,可降低能耗成本、运维成本、管理成本,可减少维修和运行人员的成本等。因此,经济上需要多方面综合考虑做出决策。

#### (3) 布置方面

**中压配电系统:**本方案中使用的智能中压断路器与传统中压断路器的尺寸相同,因此所占中压开关柜的空间不变,不会增加中压开关柜的数量。本方案中使用的智能中压开关柜与传统中压开关柜的尺寸相同,因此所占中压开关柜的布置空间不变。

**低压配电系统:**本方案中使用的智能电机管理器、智能馈电线路保护控制器、智能低压断路器和智能电表,所占低压开关柜抽屉的尺寸与原有配电方案相同,因此不会增加低压开关柜的数量。本方案中使用的智能低压开关柜与传统低压开关柜的尺寸相同,因此所占低压开关柜的布置空间不变。

智能本地控制系统与专用云平台共用一台设

备,该设备预留有传输 5G 的网络接口,在考虑布置方案时,需为智能本地控制系统的相关设备预留空间。

综上所述,电气设备布置方案可采用原有布置方案,所需布置空间不变,需预留智能本地控制系统相关设备的空间。

#### (4) 对其他专业的影响方面

本方案的智能电气设备在运行时所需环境温度为 5 ~ 35℃,原方案的电气设备在运行时所需环境温度为 5 ~ 35℃,因此对暖通专业没有影响;

本方案需为智能本地控制系统的相关设备预留空间,需土建专业配合在设计阶段对方案进行调整;

本方案考虑到后期可能需要将数据传输到主控室,需要仪控专业预留相关的接口。

#### (5) 存在的风险

对于在运核电厂,现有电气方案是否能够改造成智能化电气方案,存在技术风险。另外,需要为智能本地控制系统预留布置空间,现有布置方案是否有改造预留空间,存在风险。

对于新建核电厂,可直接采购智能电气设备,在设计阶段为智能本地控制系统预留空间,不存在风险。

## 5 结论

本文提出了智能电气设备在核电厂中的应用方案,分析了在技术方面、经济方面、布置方面、对其他专业的影响,对于在运核电厂存在一定的风险,但新建核电厂具备可行性。由于核电的特殊性,对安全要求较高,故可以先在核岛非安全级电气系统中应用,待智能电气设备通过核级鉴定并积累一定运行维护经验后,再逐步应用于核岛安全级电气系统。

#### [参考文献]

- [1] 夏万鹏. 核电厂非安全级配电设备的智能化趋势[J]. 电气时代, 2021(9): 15 - 21.
- [2] 杨强, 胡心宇. 田湾核电站设备管理智能化应用的研究与实践[J]. 电工技术, 2021(12): 41 - 44.
- [3] “华龙一号”数字化转型的实践与探索[J]. 中国核电, 2021(3): 334 - 338.

## Research on the Application of Intelligent Electrical Equipment in Nuclear Power Plants

WEI Wei, LIU Ai-fen

**Abstract:** Intelligent electrical equipment has emerged in the current trend of digitalization and intelligence. This paper investigates the status of intelligent electrical equipment and analyzes the advantages of intelligent power distribution schemes using intelligent electrical equipment. It analyzes the feasibility of applying intelligent electrical equipment in nuclear power plants through a study of the application scheme of intelligent electrical equipment in nuclear power plants, providing guidance for the direction of electrical intelligence research in nuclear power plants under construction and in operation.

**Key words:** intelligent electrical equipment; nuclear power plants; application; feasibility

▲