

[智能变电站]

智能变电站检测与诊断平台的研究与设计

文/张敬敏¹ 张吉坤¹ 张 帅²

1. 山东济宁圣地电业集团有限公司微山电力安装分公司；2. 济宁市光明电力服务有限责任公司微山分公司

研究基于电力物联网技术背景下电力变电站一次设备的运行和备投状态下的改造方案，通过对高压组合电器、配电网开关柜和进线主变压器增设信号传感器，适应于电力物联网环境下智能变电站检测与诊断平台；研究适应于电力物联网环境下智能变电站检测与诊断平台的二次设备，将二次回路可视化，建立二次设备全面监视的系统；对于在运行中容易出现故障的二次设备，通过实例验证，调用IED设备状态信息，用已有的设备运行故障档案建立设备的故障快速诊断系统。最终实现智能变电站内设备的全面感知和智能预警，解决人员数量不足和运检工作日益繁重的矛盾。

变电站是电网系统输配电过程的神经中枢，将电能运送到用电地点的过程中会经历“发、输、变、配、用”各个环节，电力系统的安全稳定是电网系统各个环节正常运行的保障，物联网技术在电网系统中的应用能够增强电网系统各个环节的坚强程度。

电力物联网环境下的智能变电站检测与诊断平台，不仅可以提高变电站的运维检修工作效率，还能使变电站内部设备安全可靠运行，提高电力系统的可靠性。通过构建电力物联网环境下的智能变电站检测与诊断平台，采用多种方式展示站内设备状态信息，结合变电站中其他信息化监控系统，使运维检修人员快速获取异常发生的原因和位置，尽快实施应对方案，减少设备损失，降低人员风险。与此同时，检测与诊断平台通过电力互联网实现远程化监控和集控化控制，减少现场电力班组的运维成本，在一定的程度上减少运行人员的工作强度以及检修班组的检修难度。

智能变电站需求设计

1. 智能变电站检测与诊断平台的需求

自国家电网第一批试点智能变电站投运后，智能变电站的雏形已显现出来。智能变电站对设备运行进行监测，实现设备的智能化运行。但由于系统较杂、功能单一，而且光电式互感器在运行过程中经常出现误发信号、链路中断等问题，有的智能变电站又被改造为传统变电站。如济宁地区的110 kV微湖变电站，是2009年使用光电互感器的数字化变电站，由于光电互感器设备可靠性得不到保障，变电站故障频发，且光电互感器及其配套设备的厂商已停产其系列产品，因此该单位运检部决定将微湖变电站改造为传统变电站。

2. 智能变电站设计方案

变电站一次设备智能化是智能变电站建设的第一步，由于变电站一次设备的自身绝缘难题，国家电网多次提出了建设智能变电站的新方案。截至目前，智能变电站的建设都是提升二次系统的智能化，

即智能终端、合并单元以及合智一体设备，例如电子式互感器+合并单元→电磁式互感器+模拟量输入式合并单元、智能断路器→传统断路器+开关量输入式智能终端。智能变电站过程层设备示意图如图1所示。

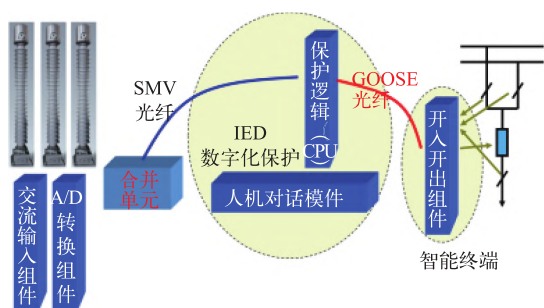


图1 智能变电站过程层设备示意图

3. 智能变电站的结构

依据IEC 61850，智能变电站整体结构采用分层体系结构，如图2所示。感知层利用传感器技术采集和处理数据，并通过边缘处理区域的计算任务，降低平台层服务器的计算压力。平台层与感知层之间的信息传递通过网络层实现，平台层利用云计算技术对数据进行处理，高效处理和管理物联网，为实现高级应用奠定基础。电网运营、生产、营销和管理等相关能源服务通过应用层实现，如电动车服务、微电网运营、停车场和能源管理等。

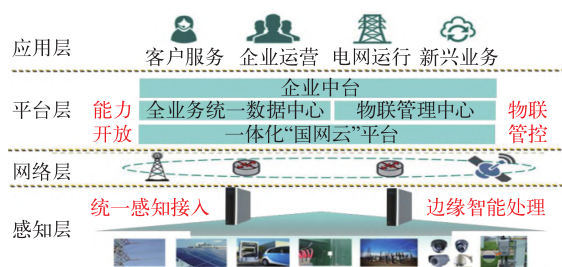


图2 智能变电站结构示意图

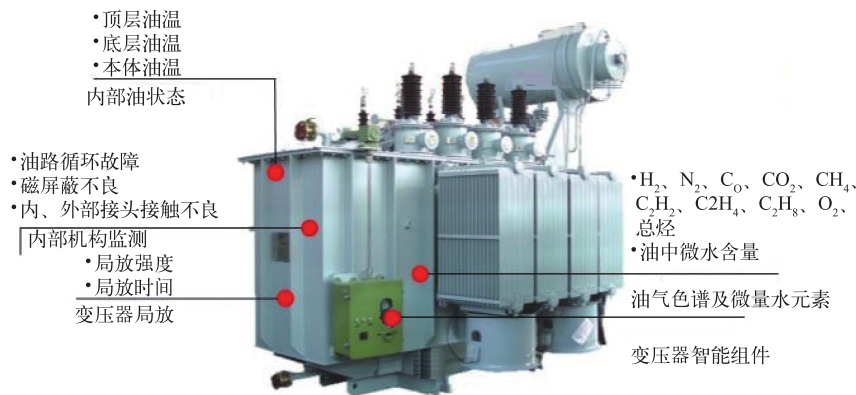


图3 主变压器智能组件分布图

一次设备智能化改造方法

1. 主变压器的改造

光纤传感器具有非常好的绝缘性和无源特性，将光纤传感器与主变压器高度结合，对变压器内部的绕组温度、机械振动、组件变形、油面高度、局部放电和局部压力等运行状态进行多点精准测量。同时，利用采用红外技术的变压器油气监测设备，实现对多种气体和微量水元素密度的快速精准监测。

正确选用传感器和组网方式，按照安全效益的原则确定需要监测的主变压器功能，选择可以真实灵敏地反映主变压器状态的监测项目，选用成熟可靠的传感器系统。目前，将主变压器的智能组件分为以下几种。

1) 主变压器油气色谱及微量水元素监测组件。

在主变压器本体增设双管道与油气色谱及微量水元素监测组件主机相连，采用基于非分散性红外技术（NDIR）的油气传感器，实现对多种指标气体和微量水元素的准确快速监测，且无须储气瓶，减少设备体积和后期维保工作量。

2) 在主变压器本体的二次控制室设置内部油状态监测组件。

将温度光纤传感器与主变压器绕组一起绕制。设置光栅串式温度传感器和点式温度传感器组合模式，对主变压器绕组各热点温度和内部纵向温度场分布进行连续监测，对主变压器的纵向温度场分布进行监测。

3) 在主变压器本体端子箱设置内部机械监测组件。

采用光纤传感器，将压力传感器安装在主变压器的每相绕组的上下压板的相对应位置，用来监测绕组发生的相对位移，判断绕组轴向受力的情况，对变压器内部机械状态进行监测。

主变压器智能组件分布如图3所示。

变压器智能组件支持各类通信规约接入，实现智能变电站IED设备的配置，提供IED模型文件；支持规约转换，将从主变压器本体监测的各类数据转换为IEC 61850标准规定的格式，并转发到智能变电站的站控层网络。变压器智能组件网络图如图4所示。

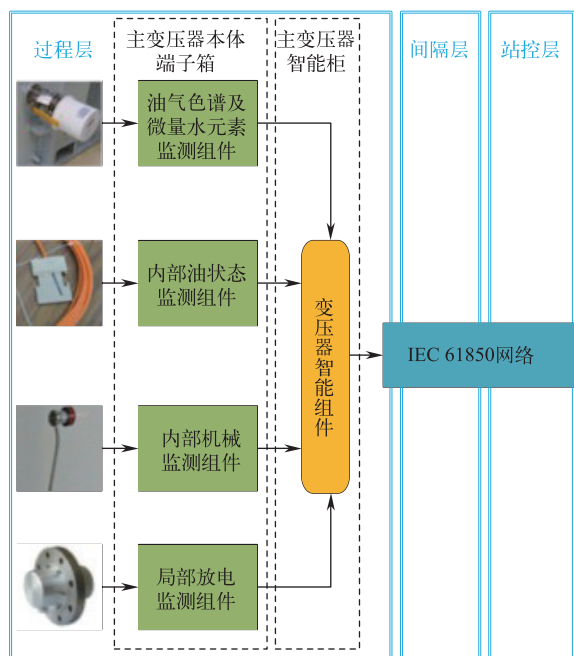


图4 变压器智能组件网络图

2. 高压组合电器的改造方法

采用SF₆和微量水元素集成传感器，实现对组合电器中SF₆状况的监测，并安装了雷电开关和避雷器在线监测装置。必须监控开关的机械特性，并实时监控开关的工作状态。

在变电站采用高压开关，每级电压（220 kV、110 kV）配备有相应电压等级的智能化高压开关。间隔组合中定义的高压转换方法是通过通信线路与高压电器智能元件相结合，支持本地监控模块，为实现高压组合状态的电气数据采集，高压组合智能元件支持各种通信协议接入，智能变电站IED设备配置，并提供IED模型文件；各种高压开关监测数据可以转换成IEC 61850标准格式，并传输到智能变电站控制层网络。高压组合电器在线监测组件分布如图5所示。

3. 开关柜的改造方法

金属铠装开关柜的主要故障包括热故障、绝缘故障及机械故障。绝大多数的绝缘故障和机械故障

也会以发热的形式表现出来。常见的开关柜发热的原因有以下五点：

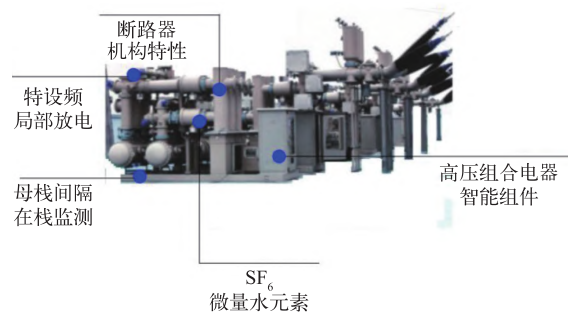


图5 高压组合电器在线监测组件分布图

- 1) 线路过载荷引起的温度上升。
- 2) 电缆压接头因安装工艺问题导致存在应力。
- 3) 母线过紧、导轨变形及触头磨损等导致的接触不良。
- 4) 制造工艺、材料不过关，弹簧、手车与柜体配合一致性不过关。
- 5) 母线电压互感器内部绝缘隐患引起的故障。

对温度进行实时监控，对预防故障、避免事故发生起到非常积极的作用。基于金属铠装开关柜内开关为手车结构，开关柜动静触头温度监测采用智能感知环。智能感知环可以实时监测开关触头的温度、位置及负载电流变化。电缆压接头的温度监测是由安装在开关柜电缆仓的一次电缆压接头电缆侧的温度、局部放电复合型传感器来完成的。

变电站内二次设备研究

IEC 61850标准中的二次电路是由统一的网络规范、安全性组成的。因此，没有额外的监测设备监测设备的在线状态。与传统变电站相比，母线电压模型的电路和设计有一定的差异。最大的差别在于利用光纤传输信息。另外，传统的变电站保护主要在控制箱和控制面板之间的接触，而在智能变电站中，GOOSE开关控制具有价值保护作用。因此，在智能变电站中，一二次设备的状态监测存在明显的差异：一次设备的监测由其他设备补充，二次设备的监测可以在没有其他监测设备的情况下进行。

1. 二次设备状态监测信息

智能变电站与常规变电站的二次系统的最大差异是，智能变电站二次系统的自检功能十分强大，采用光纤作为主要载体进行网络通信。

智能变电站中，检修压板回路、电源回路等信息也可以作为二次设备的状态监测信息。

2. 二次设备自身状态监测信息

在运行情况下，二次设备的自检信息主要有如下几个方面：

- 1) 二次设备运行异常类信息，包括定值数据错误、定值区错误、采样模块异常、保护出口异常、存储扇区健康状况、闪存擦写次数、软件看门狗动作和RAM存储出错。
- 2) 对装置电源板件输出装置的电源电平进行数据采集，当采集电压不在额定工作电压范围时，二次设备将发出电源电平警告。

3) 对元件运行的环境参数进行采集，比如二次设备容器的温湿度、系统处理器板件温度、光口板温度和光口模块温度等。

4) 远动管理机与网络分析类装置需要利用内存储存并分析大量信息数据，运算频率高，对装置的处理器的利用率、内存使用率和软盘响应时间进行监测。

3. 电源回路监测信息

电源回路是指装置电源回路及屏内回路，通过直流绝缘监测装置收集装置电源回路的信息，对整个电源回路状态进行完整监测。智能变电站主要二次设备状态监测信息见表1。

表1 智能变电站主要二次设备状态监测信息

二次设备类型	自身状态监测	通信运行状态监测	电源回路监测
保护装置	装置参数出错、系统配置出错 定值错误、出口异常 闪存擦写次数、存储扇区健康状况、程序自检错误 插件巡检诊断信息、电源插件输出电压 运行温度、机箱温湿度 RAM存储出错、软件看门狗动作、装置重启次数	发送光功率、接收光功率、误码率、光衰耗 报文中断次数，报文品质位、CRC校验错误数、数据集丢失帧数 网络负载、网络风暴、网络节点状况、丢包率 装置的 MMS 网通道状态	直流电源回路绝缘状态 直流电源正对地电压和直流电源负对地电压 硬触点开入直流电压异常
合并单元	装置参数出错、系统配置出错 闪存擦写次数、存储扇区健康状况、程序自检错误 插件巡检诊断信息、电源插件输出电压 运行温度、机箱温湿度 RAM存储出错、软件看门狗动作、装置重启次数 采集模块窜入直流告警	发送光功率、接收光功率、误码率、光衰耗 报文中断次数，报文品质位、CRC校验错误数、数据集丢失帧数 网络负载、网络风暴、网络节点状况、丢包率 双AD采样差值异常	直流电源回路绝缘状态 直流电源正对地电压和直流电源负对地电压 硬触点开入直流电压异常
智能终端	装置参数出错、系统配置出错 出口异常 闪存擦写次数、存储扇区健康状况、程序自检错误 插件巡检诊断信息、电源插件输出电压 运行温度、机箱温湿度 RAM存储出错、软件看门狗动作、装置重启次数	发送光功率、接收光功率、误码率、光衰耗 报文中断次数，报文品质位、CRC校验错误数、数据集丢失帧数 网络负载、网络风暴、网络节点状况、丢包率	直流电源回路绝缘状态 直流电源正对地电压和直流电源负对地电压 硬触点开入直流电压异常 控制回路断线告警

4. 二次回路可视化监测

传统变电站采用控制电缆在端子排接线形式组成二次回路，智能变电站采用光纤作为数据载体组成二次回路。光纤数据链路不局限于光纤直连的形式，还通过光纤网络交换机实现数据共享，网络化的二次回路可以大大节省光纤的敷设数量和施工难度。光纤数据链路的通断状态通过光口网络交换机、收发设备上传的自检数据进行自识别，与传统变电站只能对控制回路等安装继电器进行回路断线监视相比，智能变电站实现了实时监测，对二次系统的状态检查更加有效可靠。可视化系统控制图如图6所示。

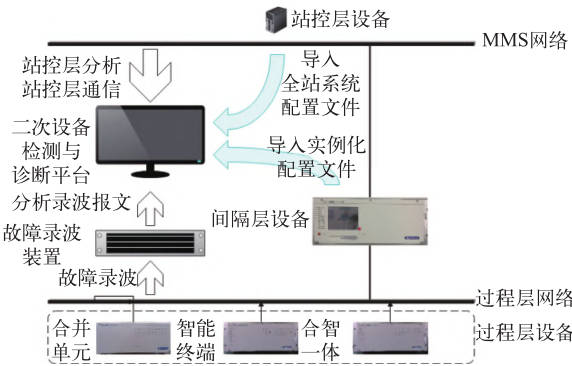


图6 可视化系统控制图

5. 通信物理链路在线监测

根据标准智能变电站配置文件，智能变电站二

次设备的通信取决于数据传输的实时性和可靠性的具体要求。二次设备之间有直接连接和网络连接两种通信方式,物理连接拓扑如图7所示。

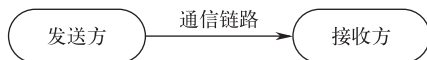


图7 智能变电站过程层设备通信方式

通过总结各智能变电站的运维数据发现,二次设备的光纤通信异常是主要的运行故障之一,如收发板故障、光纤弯曲角度过大和光纤配线架法兰接触不良等。采用软件结构定义光纤通信物理链路端口信息和光纤链路异常信息,程序为

```
Struct
{
    PORT source: 发送端口
    PORT route1-N: 交换机交换端口
    PORT destination: 接收端口
}
光纤数据结构:
Struct
{
    fiber:// 光纤编号
    device://装置编号
    slot://模块(插件)编号
} PORT
```

在智能变电站实际运行情况下,站内二次设备的自身状态监测信息通过站内网络接入二次设备检测与诊断平台系统。在建立智能变电站实例模型的情况下,二次设备检测与诊断平台系统在完成二次回路查看的基础上实现故障诊断的功能。

结束语

本文详细阐述了智能变电站的定义、结构和主要特征,详细分析了物联网技术和智能电网之间的内在联系以及智能变电站中物联网技术的运用前景。研究基于物联网的智能变电站检测与诊断平

台,对智能变电站进行完整监测,完成一次设备的监测和二次智能设备的故障诊断,为进一步研究提供理论依据。将各类一次设备的监测数据提供给智能变电站的网络,在站控层搭建设备故障诊断系统,实现一次设备的全面感知、故障分析告警,并结合预设的一次设备数据自动生成检修建议,实现电力物联网环境下一次设备的检测与诊断。**EA**

(收稿日期:2023-06-01)

参考文献

- [1] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009(8): 5-11.
- [2] 唐标, 李婷, 李博, 等. 基于边缘计算的变电站内智能布控数据分析与展示[J]. 电气应用, 2021, 40(2): 79-84.
- [3] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力, 2008, 41(6): 19-22.
- [4] 曾鸣, 王雨晴, 李明珠, 等. 泛在电力物联网体系架构及实施方案初探[J]. 陕西电力, 2019, 47(4): 1-7, 58.
- [5] 张立静、盛戈崑、江秀臣. 泛在电力物联网在变电站的应用分析与研究展望[J]. 高压电器, 2020, 56(9): 1-10.
- [6] 张彩友, 邹晖, 冯正伟, 等. 500 kV变电站电力物联网应用技术研究[J]. 浙江电力, 2019, 38(8): 17-22.
- [7] 方晶晶, 常海青. 泛在电力物联网在智能变电站中的应用与展望[J]. 电工电气, 2020(4): 1-6.
- [8] 苏麟, 孙纯军, 褚农. 智能变电站过程层网络构建方案研究[J]. 电力系统通信, 2010, 31(7): 10-13.
- [9] 罗微, 谭锡林, 蔡莹, 等. 面向智能电网的自适应调度管理机制研究[J]. 电气应用, 2021, 40(12): 56-60, 65.

