

[变电站]

# 智能变电站在线监测现状及其工程应用

文/陕西倚力可工程设计有限公司青海分公司 李元宏

智能化变电站设备实现广泛的在线监测，使得设备状态检修更加科学可行。在智能化变电站中，可以有效地获取电网运行状态数据、各种智能电子装置的故障和动作信息及信号回路状态。智能化变电站设备检修策略从常规变电站设备的“定期检修”变成“状态检修”。

智能变电站在线监测系统是在线动态的变电站综合监测与故障诊断系统，可为智能变电站提供在线监测与故障诊断的整体解决方案。智能变电站在线监测系统可对变压器温度及负荷、变压器油中溶解气体、变压器油中微水、变压器套管绝缘、变压器铁心接地电流、变压器局部放电、变压器辅助设备（冷却风扇、油泵、气体继电器和有载分接开关）、断路器及GIS中SF<sub>6</sub>气体密度及微水、GIS局部放电、断路器动作特性、GIS室内SF<sub>6</sub>气体泄漏、SF<sub>6</sub>气体分解物、电流互感器及容性电压互感器绝缘、耦合电容器绝缘、避雷器绝缘、电缆温度和电缆局部放电等信息进行综合监测。智能变电站在线监测系统具有准确性高、可靠性高和互换性好等特点，不是现有在线监测系统在后台监测软件层面上的数据集成，而是按照统一的结构方式、通信标准和数据格式等层面的全面集成。

智能变电站在线监测系统依据获得的电力设备状态信息，采用基于多信息融合技术的综合故障诊断模型，结合设备的结构特性和参数、运行历史状态记录以及环境因素，对电力设备工作状态和剩余寿命作出评估；对已经发生、正在发生或可能发生的故障进行分析、判断和预报，明确故障的性质、类型、程度和原因，指出故障发

生和发展的趋势及其后果，提出控制故障发展和消除故障的有效对策，达到避免电力设备事故发生，保证设备安全、可靠和正常运行的目的。

智能变电站在线监测系统采用分层分布式结构，由现场监测子系统、系统服务器和客户端三大部分组成，如下图所示。

## 现场监测子系统

现场监测子系统包括智能变压器在线监测系统、GIS在线监测系统和避雷器绝缘在线监测系统。

### 1. 智能变压器在线监测系统

大型电力变压器的安全稳定运行日益受到各界的关注，尤其越来越多的大容量变压器进网运行，一旦变压器发生故障，将影响正常生产和人民的正常生活，而且大型变压器发生的停运和修复将带来很大的经济损失。在这种情况下实时监测变压器的绝缘数据，使变压器长期在受控状态下运行，避免造成变压器损坏，对变压器安全可靠运行具有一定现实意义。主变压器在线监测主要包括：油色谱、温度（光纤测温）、铁心接地、局部放电和套管介损监测。

#### （1）变压器油色谱在线监测

变压器油中溶解气体分析是诊断充油电气设

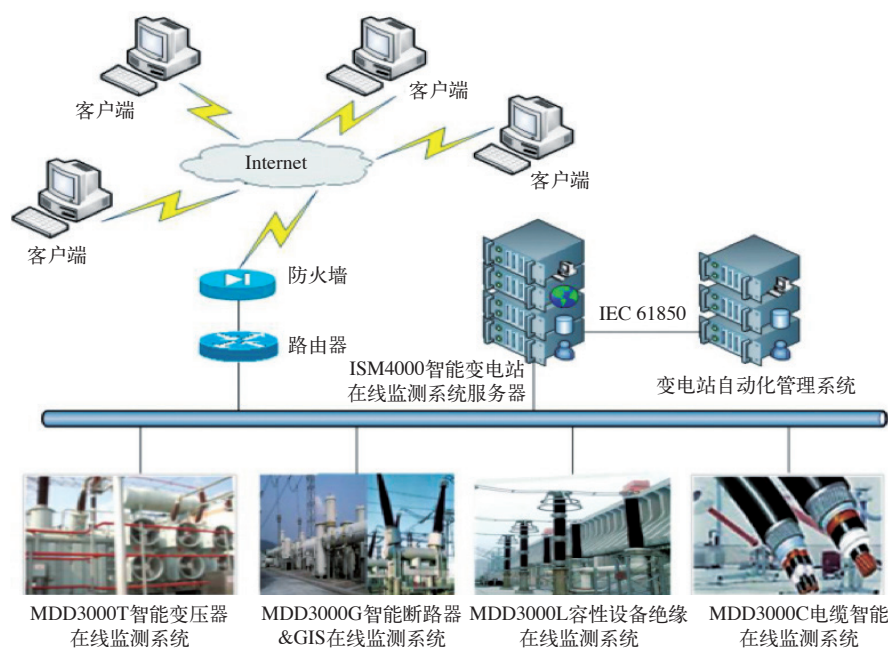


图 智能变电站在线监测系统

备最有效的方法之一，能够及早发现潜在性故障。由于实验室分析的取样周期较长，且存在脱气误差较大及耗时较多等问题，因此不能做到实时监测，及时发现潜伏性故障，很难满足安全生产和状态检修的要求。油色谱在线监测采用与实验室相同的气相色谱法。能够对变压器油中溶解故障气体进行实时持续色谱分析，可以监测预报变压器油中的7种故障气体，包括氢气（ $H_2$ ），二氧化碳（ $CO_2$ ），一氧化碳（ $CO$ ），甲烷（ $CH_4$ ），乙烯（ $C_2H_4$ ），乙烷（ $C_2H_6$ ）和乙炔（ $C_2H_2$ ）。

该系统目前已广泛应用于变压器的在线故障诊断中，并且建立起模式识别系统可实现故障的自动识别，是当前在变压器局部放电检测领域非常有效的方法。

### (2) 变压器光纤测温在线监测

变压器寿命的终结最主要因素是变压器运行时的绕组温度。传统的绕组温度指示仪（WTI）是利用“热像”原理间接测量绕组温度的仪表，安装在变压器油箱顶部感测顶层油温，WTI指示的温度是基于整个变压器的油箱内平均油温的变化，很难反映出绕组温度的快速变化。

光纤测温系统能实时直接地测量绕组热点温度，分布型光纤传感系统测温准确度可达 $1^\circ C$ ，非常适合于大型变压器绕组在线测量。其基本原理是将具有一定能量和宽度的激光脉冲耦合到光

纤，它在光纤中传输，同时不断产生背向信号。因背向散射光状态受到各点物理、化学效应调制，将散射回来的光波经检测器解调后，送入信号处理系统，便可获得各点温度信息，并且由光纤中光波的传输速度和背向光回波的时间对这些信息定位，这根光纤可达到数公里长，光纤可进入变压器绕组内。

### (3) 变压器铁心接地监测

变压器铁心是电—磁—电转换的重要环节，是变压器最重要的部件之一。变压器在运行中，因铁心叠装工艺欠佳、振动摩擦和导电杂质等原因，造成铁心匝间短路，而导致放电过热和多点接地故障。如果铁心或夹件有两点以上接地时，则接地点间会形成闭合回路，链接部分磁通，形成环流，产生局部过热，甚至烧坏铁心。在极端的情况下，会破坏绕组绝缘，造成变压器损坏。

由于变压器铁心接地电流的大小随铁心接地点多少和故障严重的程度而变化，因此，预防性维修中，国内外都把铁心接地电流作为诊断大型变压器铁心短路故障的特征量。对于铁心和上夹件分别引出油箱外接地变压器，可分别测出铁心和夹件对地的电流，如果二者相等，且数值在数安培以上时，铁心与夹件有连接点；如果后者远大于前者，且数值在数安培以上时，夹件有多点接地。

铁心或夹件接地电流数量级在几十毫安到几安培甚至更大，检测量程比较宽，主要是电阻性

电流,因此测量技术的实现相对比较容易,一般都作为变压器状态监测的常选项。对铁心接地电流的测量,被测的电流信号在变压器铁心接地引线利用穿心电流传感器取样测量。

#### (4) 变压器局部放电在线监测

局部放电既是设备绝缘老化的先兆,也是造成绝缘老化并最终发生绝缘击穿的一个重要原因。很多故障都可以从局部放电量和放电模式的变化中反映出来。

目前对变压器局部放电进行检测的方法主要是超高频(UHF)检测法。相对于以往的GIS局部放电检测技术,它具有抗干扰能力强,可以对局部放电源进行定位,可以识别不同的绝缘缺陷,灵敏度高,并能对变压器和GIS局部放电进行长期的在线监测。

#### (5) 变压器套管介损在线监测

电力变压器的高压容性套管,按其结构和使用寿命来看,是变压器所有部件中最容易出故障的部件之一。

高压变压器套管一般在运行过程中易受到非常高的机械、电气应力以及热应力的影响,随着水分的渗入和绝缘油的品质降低,绝缘纸的老化以及过热都会导致高压套管绝缘品质的下降。这些套管的绝缘品质的改变通常都会引起套管介质损耗的改变,通过测量介质损耗 $\tan \delta$ ,可较为灵敏地发现电容性设备绝缘缺陷。

### 2. GIS在线监测系统

高压断路器和GIS是在输配电和变电领域都有着广泛和重要应用的电力设备。电力系统中,高压断路器数量多,检修量大,费用高。有关资料表明,变电站维护费用的一半以上是用在高压断路器上,而其中60%又是用于断路器的小修和例行检修上。另外据统计,10%的断路器故障是由于不正确的检修所致,断路器的大修完全解体,既浪费时间,费用也很高。对断路器的重要参数进行长期连续的在线监测,不仅可以提供设备现在的运行状态,而且还能分析各种重要参数的变化趋势,判断是否存在故障的先兆,从而延长设备的维修保养周期,提高设备的利用率,减少维修保养的费用,提高电力系统运行的安全可靠性及自动化程度。

由于GIS的全部元件都封闭在金属壳中,其早期故障较常规变电站更难发现,故障造成的损失也更大。为防止GIS内部故障的发生,随时掌握设

备的运行工况,发现设备的故障隐患,在线状态监测是非常必要的。对GIS进行在线状态监测是实现GIS状态维修的基础,可减小因定期维修而造成的损失,以及提高变电站的自动化水平。

高压断路器常见故障有:本体 $\text{SF}_6$ 气体泄漏、 $\text{SF}_6$ 气体水分含量超标和断路器操动机构故障。GIS常见故障有:本体 $\text{SF}_6$ 气体泄漏、 $\text{SF}_6$ 气体水分含量超标、盆式绝缘子闪络、载流回路接触不良过热和断路器操动机构故障。

$\text{SF}_6$ 气体的密度对 $\text{SF}_6$ 电力设备的绝缘效果有很大的影响,有资料统计表明, $\text{SF}_6$ 电力设备故障中,本体 $\text{SF}_6$ 气体泄漏引起的故障占38%;在 $\text{SF}_6$ 断路器等高压电气设备中,当 $\text{SF}_6$ 气体中的气相水含量达到一定程度时,在电弧或电晕作用下, $\text{SF}_6$ 气体分解物会经水解反应产生毒性,对设备产生化学腐蚀,易造成绝缘子或其他绝缘件闪络。

GIS的绝缘性能是确保其安全运行的重要条件。GIS设备中的金属微粒、粉末和水分等导电性杂质是引发GIS故障的重要原因。GIS存在导电性杂质时,因局部放电而发出不正常声音、振动,产生放电电荷、发光,产生分解气体等异常现象。局部放电往往是绝缘性故障的先兆和表现形式,对GIS进行局部放电在线监测,可及时掌握GIS绝缘缺陷发生与发展的情况。

在以 $\text{SF}_6$ 气体作为绝缘介质的电气设备中发生放电性和过热性故障时,会导致 $\text{SF}_6$ 气体分解,并同时和有关杂质气体发生化学反应,产生一系列新的杂质气体。 $\text{SF}_6$ 气体在GIS不同的故障下会分解出 $\text{SF}_4$ 、 $\text{C}_3\text{F}_8$ 、 $\text{SOF}_2$ 、 $\text{SOF}_4$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CF}_4$ 等中的一种或多种杂质气体,通过对这些杂质气体的检测来了解和判断设备中内部故障性质。

### 3. 避雷器绝缘在线监测系统

避雷器绝缘在线监测系统是高压交流电力系统中与避雷器配套使用的设备。该设备串接在避雷器接地回路中,设备中的电流互感器用于监测运行电压下通过避雷器的漏电流有效值,可以判断避雷器内部是否受潮,元件是否异常等情况;还可以记录避雷器在过电压下动作的次数。该系统适合不同电压等级电网中运行的避雷器,在线监测避雷器,充分增加电网运行安全。

系统完成氧化锌避雷器套管泄漏电流、阻性电流、容性电流和计数器的击穿次数监测。

## 系统服务器

系统服务器具有单元配置、数据采集存储、IEC 61850规约、故障报警、故障诊断和Web服务器等功能。系统服务器控制和管理各监测单元并采集、存储在线监测数据,对电力设备的运行状况进行评价和分析,并对有关数据进行融合,建立电力设备运行与检修管理数据中心。

## 客户端

客户端具有监测数据浏览查询、趋势分析、报警、数据导出、数据备份恢复和报表打印等功能。在基于Web页面的监控平台下,用户可对电力设备的综合状态进行远程实时在线监测和诊断,制定维护和检修策略。

## 智能变电站在线监测系统的发展及建议

1) 进一步开发在线监测系统的综合分析功能,实现状态评价分析、设备寿命预估、故障及时诊断等高级应用功能。若要使变电站的智能化水平显著提高,则要对智能变电站在线监测系统

的智能评估系统进行完善,提高评估系统的准确性,减少专业技术人员的工作量。

2) 在线诊断现在还处于研究、试运行和积累经验阶段的阶段。发展绝缘在线监测和诊断技术,既需要对绝缘结构及其老化机理有深入的研究,也需应用传感、微电子等高新技术。它是具有交叉学科性质的一门新兴技术,也是当前智能电网发展的需要。

智能变电站监测系统信息检测全面,实现了由点到面的全方位检测,对每一个设备进行数据、报警采集,从整体进行分析、比较,其智能诊断与分析功能实现快速检测出有故障的设备及其所在线路,无需人工干预。智能变电站监测系统的建立和运用,使传统的状态监测从一个孤立的、参考性的系统过渡到全局的、网络化的和智能化的综合状态监测、数据分析、诊断和服务管理系统,为真正实现状态检修提供技术支撑,对于提高智能变电站运行、维护的经济效益有重要意义。EA

(收稿日期:2019.04.29)

(编辑:朱金凤)

## 西门子为Glitre Energi Nett建设支持电力物联网应用的数字化变电站

西门子将携手挪威配电系统运营商Glitre Energi Nett建设一座数字化变电站,在电网中针对物联网(IoT)分析和应用进行试点。Siprotec保护和控制系统及Sicam自动化装置已经具备物联网接入功能,将通过开放式标准通信协议OPC UA的PubSub模式连接到西门子基于云的开放式物联网操作系统MindSphere。Siprotec仪表板云应用将使以前不可访问的数据完全可用,并且首次在无需进行任何工程投入的情况下助力实现电网数据的云端处理。

该解决方案符合最严格的网络信息安全要求,可实现基于证书的端到端身份验证和加密。这将有助于进一步针对电网提高可靠性、优化效率并提升安全性。

由于电动汽车的日益增多以及相应充电基础设施的扩建,挪威电网的复杂性正越来越高。而对于电网运营商来说,其目标是优化资产和整个电网的使用,并在满足监管要求的同时以可持续的方式满足日益增长的需求。针对该电网物联网试点项目,西门子与Glitre Energi Nett正在开展密切合作,致力于改进数据获取与分析,通过及早发现现场问题和风险,提高电网的可靠性和可用性,通过状态监测降低维护成本,并在户外低温条件下扩大变电站额定容量。

西门子的供货范围包括Sicam SCC可视化系统、Sicam A8000控制器以及Siprotec 5保护和控制系统。此外,无线微型传感器将收集关键电力部件的温度数据。变电站自动化系统利用IEC 61850站点网络和OPC UA PubSub通信协议,与基于MindSphere的物联网应用Siprotec仪表板连接。另外,西门子还负责该解决方案的集成以及安装和调试。

“通过将电网资产联网,并在一个中心位置对数据进行整合、可视化和分析,西门子将帮助配电系统运营商提升数据访问和分析能力。”西门子智能基础设施集团数字电网事业部首席执行官Robert Klaffus表示,“我们将携手客户Glitre Energi Nett,在保证项目交付的同时以灵活的方法开发更多用例,这是依靠MindSphere这样具有多种分析功能的平台来处理数据所带来的另一优势:随时间推移为解决方案带来超出预期之外的价值,譬如通过监控开关振动情况来进行预防性维护。”

“Glitre Energi Nett一直在寻求新的解决方案以优化我们的运营和资产管理。”Glitre Energi Nett输电项目与维护业务项目经理Jan Helmen表示,“我们非常兴奋可以与西门子基于MindSphere开展合作,这一合作将在先进的物联网解决方案方面带给我们宝贵经验。”