

一种变压器油中溶解气体在线监测装置

李志军，宗起振，谢奇峰，唐平，张建学，陈正潮，褚莉
(江苏国电南自海吉科技有限公司，江苏 南京 210032)

摘 要：基于智能变电站规范要求新型变压器油中气体在线监测装置，有以下几点技术革新：一是现场自制载气技术，免除更换载气，减少了维护工作量。二是油气分离采用真空全脱气法，脱气率高且一致性好。三是两级温度控制，采用独特加热和保温措施，配合 PID 算法，精度达±0.1℃。四是智能监测单元采用 Vxworks 系统的嵌入式一体化平台，集成过程层和间隔层功能，采用 IEC61850 直接与站控层通信，应用嵌入式 WebServe 服务，解决了对监测装置的远程控制，提高了运行维护的管理水平。

关键词：IEC61850；WebServe；Vxworks；自制载气；真空全脱气法；智能户外柜

0 引言

智能电网是促进可再生能源发展、实现低碳经济的核心。智能变电站是伴随着智能电网的概念而出现的，是建设智能电网的重要基础和支撑^[1]。智能变电站强调一次设备智能化，实现运行设备状态的实时监测分析。依据监测获取的各种数据分析其运行状况，以决定何时检修，检修什么部件等，达到真正意义上的状态检修，从而最大程度地减少无谓检修及故障检修，实现电网设备可观测、可控制和自动化，保证电网更有效率地运行，进而才能实现智能电网的核心和目标。

为有效推进智能变电站建设的规范化，国家电网公司及其它相关单位先后编写了《智能变电站技术导则》、《高压设备智能化技术导则》、《变电设备在线监测系统技术导则》等规范，这要求传统的变压器油中溶解气体在线监测产品需进行升级改造，采用百兆及以上高速以太网作为通信网络和 IEC61850 通信标准，省去综合监测单元，直接与站端监测单元通信。结合计算模型上传综合监测单元可直接利用的标准化数据；接收并处理站端监测单元发出的控制命令，如计算模型参数下装、数据召唤、对时、强制重启等。并具有初步分析（如阈值、趋势等比较）、预警等各项功能。

1 设计关键技术

1.1 装置工作原理

工作原理图见图 1。监测装置自动获取油样，流过微水传感器室完成微水含量及油温检测，经油气分离单元得到混合特征气体进入六通阀的定量

管，在载气作用下流过色谱柱实现各组分逐个分离，气体检测单元按H₂、CO、CH₄、CO₂、C₂H₄、C₂H₂、C₂H₆出峰顺序分别将七种特征气体转换成电压信号。监测智能单元完成电压信号采集、检测流程控制、谱图算法分析和色谱标定、数据存储、故障诊断评估、通信管理等功能；其中色谱标定根据离线色谱仪器的标定数据进行定量分析，计算出各组分、总烃的含量及各自的增长率，再由故障诊断模块进行诊断，从而实现变压器故障的在线监测。也可将监测结果通过IEC61850 通信上传，经多参量、多诊断融合的变压器故障诊断专家系统实现变压器的综合故障诊断。

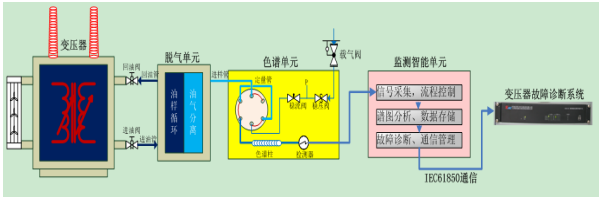


图 1 装置工作原理图

1.2 现场自制载气技术

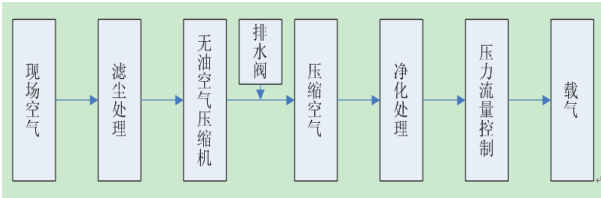


图 2 气体净化部分原理框图

目前同类产品基本采用购买高纯度氮气或氧气等作为载气，一般一年左右需更换，不仅成本高，也给运行和维护带来不便。本产品在运行现场利用

自然空气经过滤尘、压缩、稳压稳流等措施后获得干净、流速稳定的载气。

工作原理如图 2 所示, 首先现场空气经过滤尘装置后完成除尘处理, 通过无油空气压缩机完成制气。压缩空气中的水分通过排水阀对外排水; 使用分子筛、变色硅胶、活性炭等对压缩气体进行净化并通过稳压阀、稳流阀对气源的压力、流量进行控制, 从而得到载气。

1.3 油气分离技术

油气分离装置的脱气率对监测装置有着决定性的影响, 油气平衡时间和脱气率决定了监测的周期和检测下限; 油气分离的重现性决定了监测结果的可靠性。目前国内外的在线监测系统所用的油气分离方法的原理主要有: 平板高分子透气膜法、真空脱气法、动态顶空脱气法和中空纤维脱气法几种。平板高分子透气膜法存在脱气效率较低, 油气平衡时间较长、动态顶空脱气法存在油样脱气完后不能回收、中空纤维脱气法存在油泵循环油样时间长等不足。真空脱气法具有油气平衡时间短(一般为十几分钟)、脱气率达 95% 以上, 且脱气完成的油样不受污染, 能直接返回变压器本体等特点。

真空脱气法原理: 利用亨利定律在一定温度下(气体在液体中的饱和浓度与液面上该气体的平衡分压成正比), 一定体积溶解有气体的样品油被注入到脱气室, 借助真空搅拌作用, 使油中溶解气体迅速析出, 利用缸体活塞将析出的气体转移到集气室内。

监测装置采用真空全脱气法, 主要部件包括油缸、气缸、行程限位开关、液位开关、缓冲室、脱气室、压力传感器、电磁阀、气源等。流程设计近十次脱气-集气过程, 提高了脱气率, 保证每次脱气-集气过程真空度不变, 提高了重复性。采用进口气缸和油缸, 寿命超十万次以上。设计完备的回油安全保护功能, 确保杜绝任何情况下气体被带入变压器的可能。

1.4 温控系统设计

考虑到温度直接影响色谱柱的选择分离效果及检测器的灵敏度和稳定性。监测装置采用两级温度控制, 第一级采用机柜内置加热器、循环风扇, 双层保温结构(柜体内外壁之间填充阻燃保温棉), 确保柜内温度恒定在 10℃~50℃工作范围内。第二级控制色谱单元, 色谱单元主要包括色谱柱、气体检测器、定量管等。色谱柱的传统加热方式主要采用

烘箱、加热板、涂层、套管加热等方式, 存在体积大、升温速度慢、温度不均匀和升温快但降温慢等不足; 本监测装置色谱单元温控系统包括柱箱、铸炉、阻燃的保温棉、加热棒、循环风扇、温度传感器、高精度温控器。铸炉安装于柱箱内, 铸炉和柱箱之间填充阻燃的保温棉; 多支加热棒内嵌于铸炉壁内的不同方位, 对铸炉加热, 达到加热均匀且防止因个别加热棒损坏而导致无法加热。铸炉腔体内部安装循环风扇和温度传感器探头、加快热量平衡, 温度传感器探头检测内部温度后将信号提供给高精度温控器, 温控器依据设定温度采用 PID 温控调节控制加热棒。色谱单元温控精度达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 稳定性好, 提高了色谱柱和检测器的性能。

1.5 智能监测单元 IED

高集成化设计, 采用了基于实时多任务 Vxworks 操作系统的嵌入式一体化平台, 省去间隔层 IED, 直接与站控层通信。集成信号采集、流程控制、数据储存、色谱算法分析、故障诊断、通信管理及 IEC61850 通信等功能于一体的智能部件; 采用 19 英寸 2U 上架式标准机箱机构, 通信接口支持千兆光纤, 对时支持 IRIG-B 码和 IEEE 1588。

1.5.1 嵌入式 WebServe 的应用^[2]

随着嵌入式技术的发展和 Internet 的普及, 嵌入式 WebServe 的应用越来越广泛。用户只需在客户端通过 web 浏览器对嵌入式设备进行远程访问, 这为管理、控制和监视嵌入式设备提供了一种有效的法和途径^[3]。

Goahead webserver 是一款开放源代码的嵌入式 WEB 服务器程序^[4]。Web 服务器通过 HTTP 协议与浏览器进行通信, Webserver 在收到客户端的请求后, 与嵌入式应用模块交互, 实现对油中溶解气体监测装置参数的读取与设置, 同时动态创建页面, 实现装置状态、参数、曲线图在客户端浏览器中显示。

系统的软件设计采用了多任务的思想, 把整个系统划分为数据存储模块、故障诊断模块、数据查询模块、在线监测模块和通信功能模块。系统软件框架如图 3 所示。

为了方便创建具有高度交互性的动态图形网页, Goahead 开发了一种嵌入式的脚本语言 Ejscript。Ejscript 是 JavaScript 的一个严格子集, 实现了其基本语言要素。立方体在网页中的显示如图 4 所示。

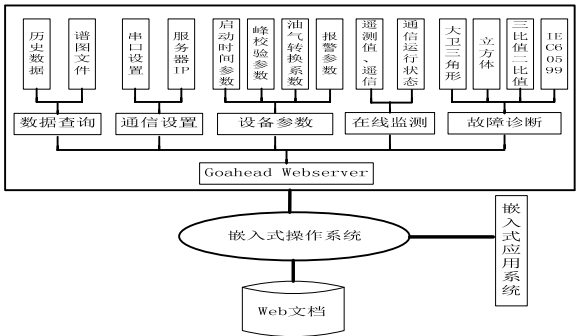


图 3 系统软件框架

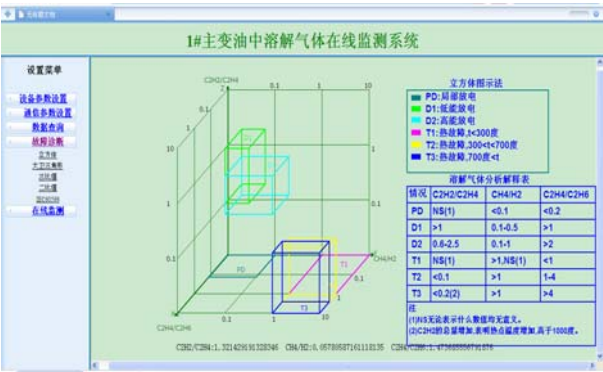


图 4 立方体网页

根据选中的谱图文件画出曲线图。曲线图在浏览器显示如图 5 所示。

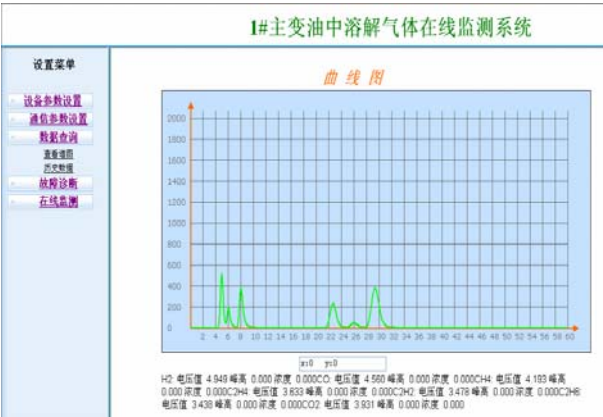


图 5 曲线图网页

由此可见，基于 Goahead webservice 技术较好地解决了对监测装置远程控制和监测能力，信息图形化、界面简洁友好、可维护性和可扩展性好，功能强大。能有效地降低装置的运行和维护费用,提高装置的管理水平。

1.5.2 基于 IEC 61850 通信

通信功能是 IED 的重要组成部分，基于 IEC61850 标准的各种应用在数字化变电站及智能电网领域快速发展，IEC61850 是第一个完全以实现变电站自动化系统中智能电子设备（Intelligent

Electronic Device，简称 IED）互操作性为主要目的通信标准体系，同时它也是建立数字化变电站的唯一国际标准 [5]。另一方面，IEC61850 具有完整的数据对象建模方法和一致的服务接口，使得不同厂家设备之间的数据交互、功能联合及互操作成为可能，加上其点对多点的交互通信模式非常适用于基于 IP 网络技术的系统 [6]。因此在本智能装置中采用基于 IEC 61850 通信、客户端/服务器模式，客户端提出服务请求，从执行该服务的服务器收到确认或响应。客户端也可以接收来自服务器的服务指示。在本装置中，SIML 的数据对象如图 6 所示。

对象名称 ^①	CDC ^②	说明 ^③	M/O ^④
MoDevConf ^⑤	SPS ^⑥	IED 与监测设备通信异常 ^⑦	M ^⑧
SupDevRun ^⑤	SPS ^⑥	监测设备运行异常 ^⑦	M ^⑧
Mst ^⑤	MV ^⑥	微水 ^⑦	M ^⑧
H2ppm ^⑤	MV ^⑥	氢气测量量 (ppm) ^⑦	M ^⑧
N2ppm ^⑤	MV ^⑥	氮气测量量 (ppm) ^⑦	O ^⑧
COppm ^⑤	MV ^⑥	一氧化碳测量量 (ppm) ^⑦	M ^⑧
CO2ppm ^⑤	MV ^⑥	二氧化碳测量量 (ppm) ^⑦	M ^⑧
CH4ppm ^⑤	MV ^⑥	甲烷测量量 (ppm) ^⑦	M ^⑧
C2H2ppm ^⑤	MV ^⑥	乙炔测量量 (ppm) ^⑦	M ^⑧
C2H4ppm ^⑤	MV ^⑥	乙烯测量量 (ppm) ^⑦	M ^⑧
C2H6ppm ^⑤	MV ^⑥	乙烷测量量 (ppm) ^⑦	M ^⑧

图 6 SIML 数据对象

1.6 智能型户外机柜

为适应新一代智能变电站需求，国电南自自主研制开发了 TDC 05 智能型户外机柜。机柜主体采用双层不锈钢壳体，并扩展了高、中、低端及尺寸系列设计方案，其中采用的迷宫式防水技术、电缆沟采风技术、自动滤网除尘技术、智能温湿度控制技术 4 项先进技术。该产品能在极端户外高低温气候条件下有效保障柜内电子设备处于正常的工作状态下稳定运行，自动柜内环境数据记录并实时上传及滤网除尘免维护等技术满足了变电站高度智能化的新趋势。此外，该产品还通过了防护 IP56 等级试验、盐雾防腐试验、EMC 二级屏蔽效能的试验及户外极端高低温试验，达到了国内同行及国外同类产品的最高水平。

本监测装置采用 TDC 05 智能型户外机柜设计，柜体尺寸：800（长）mm×600（宽）mm×1500（高）mm，采用 304 不锈钢，表面拉丝处理。配有恒温除湿系统，具有温度自调节功能，环境适应强，可确保装置在户外-40℃～+65℃的环境温度下正常运行。现场运行实物图如图 7 所示。



图7 监测装置现场运行实物图

2 结论

本文详细介绍了基于智能变电站规范要求的监测装置设计的关键技术(已获国家发明专利1项,实用新型专利4项),本监测装置已在多个智能变电站应用,用户反映良好,便于运行部门及时掌握变压器的运行状况,发现和跟踪变压器存在的潜伏性故障,为开展变压器状态检修提供有力的支持;于2011年12月顺利通过中国电力企业联合会组织的产品鉴定会,整体技术达到国际先进水平,其中采

用压缩空气现场制造载气和采用真空脱气油气分离的气相色谱技术达到国际领先水平。目前装置应用的故障诊断模块包括 IEC60599 标准的立方体图示法、大卫三角形、改良三比值、二比值等算法,还需进一步丰富,结合现场多台长期运行的装置数据来逐步完善变压器故障诊断专家系统。

参考文献:

- [1] 张沛超,高翔.智能变电站[J].电气技术,2010(8):4-10.
- [2] 宗起振,贺枫,李志军.基于 GoAhe 在线监测系统设计与应用[J].计算机与现代化.
- [3] 雷涛,郝福珍.嵌入式 WebServer 的研究与实现[J].计算机工程与设计,2006,27(16):2292-2295.
- [4] 王向群,渠毅,徐沛平.GoAhead WebServer 在以太网交换机中的应用[J].现代电子技术,2011,34(22):105-107.
- [5] 蹇芳,李建泉,吴小云.基于 IEC 61850 标准的微电网监控系统[J].大功率变流计算,2012(2):30-33,58.
- [6] 凌万水,刘东,陆一鸣,等.基于 IEC 61850 的智能分布式馈线自动化模型[J].电力系统自动化,2012,36(6):90-95.

作者简介:

李志军(1981-),男,湖南茶陵人,工程师,重庆大学工程硕士在读,主要研究方向为电气设备状态在线监测与故障诊断, E-mail: lzj_nzkj@126.com;

宗起振(1976-),男,山东济宁人,工程师,工学硕士,主要研究方向为计算机图形图像处理;

谢奇峰(1965-),男,湖南邵东人,高级工程师,主要研究方向为高电压与绝缘技术。