

Integrated Online Monitoring System for Power Transmission Project of Direct Current

Yongliang Cai¹, Chunchun Hu², Nianxue Luo², Qiansheng Zhao²

1. Extra-high voltage power transmission company, China Southern Power Grid, Guangzhou 510620, China

2. School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

[†]Email: chchhu@sgg.whu.edu.cn

Abstract

As the mature integrated scheme for various online monitoring systems of the electrical devices has not been formed currently, and mature integrated analysis software has also not been formed, it is very necessary to build an integrated system, which can be used to monitor running status of power transmission and transformation equipment, for developing the smart grid based on IEC61850 and Web Service techniques. This paper introduces the design idea, design framework, network topology structure, integrated model and implement function of the integrated platform based on the design and development methods of software engineering. And we specially focus on the modeling information of substation configuration based on IEC61850. The system can integrate multi-online monitoring systems belonged to the status monitoring of electrical devices of different manufactures, different communication protocol into the unified control platform. And its feasibility and effectiveness have been verified in Puer converter station in Nuozhadu project.

Keywords: Online Monitoring; System Design; Integrated System; IEC61850

直流输电工程在线监测集成综合系统研究

蔡永梁¹, 胡春春², 罗年学², 赵前胜²

1. 中国南方电网超高压输电公司, 广东 广州 510260

2. 武汉大学测绘学院, 湖北 武汉 430079

摘要: 由于目前多种电气设备在线监测系统还没有形成较为成熟的集成方案, 也没有一个统一集成的成熟处理和分析软件, 因而建立一套完整的基于 IEC61850 和 Web 服务技术的输变电设备的运行状态监测系统对于智能电网的建设是十分必要的。本文提出了在线监测集成综合系统的设计思路, 设计架构, 网络拓扑结构和集成模型, 以及集成平台的实现功能, 重点分析了基于 IEC61850 的变电站配置的建模信息。该系统能将不同厂商、不同通信协议的电气设备状态在线监测系统集成到统一的控制平台, 其可行性和有效性已在糯扎渡工程普洱换流站得到了验证。

关键词: 在线监测; 系统设计; 集成系统; IEC61850

引言

电气设备在线监测系统能够在不影响设备正常运行的前提下, 实时地对电气设备运行状态进行监测, 对故障类型和原因提供判别和在线诊断分析, 对故障位置进行初步定位。在线监测可以大大提高电气设备运行的可靠性, 延长设备维修保养周期, 提高设备利用率。国内外相继研制了不同类型的在线监测装置, 但多数监测装置的功能单一, 仅能对单一参数进行监测, 难以满足智能换流站对多功能、多参数的集中监测要求^[1]。在线监测装置存在的一些主要问题^[2]包括: 在线监测设备生产厂家多, 数据通信接口不统一; 不同的设备进行同一状态量的监测, 未进行资源整合; 未实现监测数据的共享等。

随着新的传感技术的应用、计算机技术、网络通信技术、人工智能技术的发展进步，高电压设备的状态监测和诊断有了长足的进展。越来越多的在线监测系统被应用与现场。目前国内变电站高压电气设备在线监测系统的分类^[3-4]包括：1) 变压器在线监测主要包括油中溶解气体分析、局部放电、铁芯接地电流等状态量的监测；2) 电容型设备在线监测；3) 避雷器的监测主要包括对泄漏电流和动作次数进行在线监测；4) 断路器在线监测主要包括气体密度及微水监测、局部放电监测和断路器动作特性监测。多套电气设备在线监测系统基本都属于单一功能监测系统，都有独立的数据采集单元、数据处理单元以及后台监视单元，设备监测信息比较分散，不利于统一的整体规划和资源管理，不方便运行人员监视、数据查阅及系统维护。现阶段国内没有对换流站中的在线监测系统进行统一的整理，也没有一套成熟的在线监测系统综合数据处理分析软件。针对这种现状，有必要对直流输电工程换流站内的在线监测系统进行集成、整合。文献[5]中对智能变电站二次设备集成方案进行了讨论，基于 IEC61850 可以解决在线监测装置通信协议不一致的问题^[4-6]。文献[6]中提出将 IEC 61850 引入到高压输电线路和变电设备的状态监测集成平台，用来解决异构状态在线监测装置和系统的接入与集成问题；文献[7]中提出了基于 IEC 61850 的在线监测集成技术解决方案，主要解决在线监测装置通信协议不一致的问题，但这些研究工作都未能进入实际工程实施阶段。如果能建立统一的数据平台，实现统一的监视后台系统，使工作人员在一个监测软件平台上能全面监测设备运行状态,从而实现对设备运行状况进行综合分析判断的目的，方便运行人员监视、分析和维护。这样一方面能减少在线监测后台的数量，提高设备利用率，降低运行人员巡视工作量，节约人力成本。同时另一方面可为设备状态检修提供全面技术依据，及时发现设备缺陷和异常征兆，确保设备安全运行，从而提高供电可靠性。在线监测综合集成系统的研究成果可以运用到在建的两渡直流输电工程中，同时也可以运用到已投运的直流输电工程优化改造上，为直流输电工程向数字化、智能化方向发展奠定基础。

1 系统设计

由于目前尚未制定统一的标准，造成各个生产厂家的设备不能互联、互通，无法让换流站各类设备、各个厂家的监测系统组成一个统一的在线监测系统，且许多厂商提供的各种电力设备监测系统一般都有自己完整的后台数据库管理系统。如何能够将不同厂商的系统整合到统一的数据管理平台中是综合系统设计的关键问题。

各厂商的系统 and 综合监测数据平台之间通过接口组件实现整合的方式能保证各系统之间的松耦合性。这样的设计对各厂商来说，不用对已有产品做任何核心程序的改动，只需实现和综合监测系统数据平台对接的接口就能轻松地将自己的产品整合入平台，以便于推广应用。在线监测综合系统应该：1) 能实现全站电力设备状态信息的集中化管理，通过建立远方数据平台和站内数据平台，实现集中管理，分层控制，适应状态检修管理制度的要求；2) 规范换流站在线监测系统的数据建模标准、通信接口与规约，实现全网设备状态监测数据的共享，有效消除信息孤岛；3) 综合在线监测系统不仅要满足当前需求，还要有充分的扩展性和持续性。从信息的采集端来说，综合在线监测系统需要接入不同的监测装置，应能消除不同装置采集数据的模型和接口的障碍，让这些装置信息能够方便的接入。考虑系统接入多样性，采用先进的网络技术和数据通讯技术，数据建模及通信基于国际和行业相关通用标准，增强系统的可扩展性，并为远期接入其他新增应用提供统一的模型，满足“即插即用”的扩展要求。

1.1 系统设计架构

在线监测系统综合控制软件采用如图 1 所示的分层设计架构，分为支撑层、核心层和应用层三层，每一层使用其直接相邻的下面一层提供的服务，而不能跨层调用服务，这样确保每层的逻辑独立。如支撑层的改动只会影响核心层的数据接口，而应用层不会受其影响。支撑层包括换流变在线监测系统、GIL 在线监测系统、站用变在线监测系统和 GIS 在线监测系统，它们提供各设备的监测数据。核心层为综合数据中心，包括接入服务和数据处理两大功能，数据接口在该层实现。该层负责汇总各个厂商监测系统和综合平台数

据整合调用。综合监测平台和各厂商数据存储系统的通信交互是通过该层和位于厂商监测系统端，由厂商实现的“平台接口实现”组件共同完成的，两者之间的通信协议采用 IEC61850。IEC61850^[8-11]是基于网络通信平台的变电站自动化系统的国际标准，它不仅规范保护测控装置的模型和通信接口，而且还定义了数字式的智能式开关等一次设备的模型和通信接口，具有开放性、分层结构、可自我描述、完成性等特点。采用这样的通用标准可以确保使得各厂商不同产品能便捷、可靠地和综合数据平台集成。应用层为在线监测综合控制系统，完成综合监测数据获取、数据可视化、故障诊断和系统管理等功能。

这样的分层架构设计使得系统的物理部署也很灵活，可以根据具体的环境、项目规模选择不同的部署方式。部署的灵活性得益于架构中将不同的功能逻辑划分为相互松耦合的层，也就是说，具体部署时，上述三层中的核心层和应用层都可以单独部署到一台物理服务器中，也可以同时部署到同一台服务器中。当然，这样的方案需要保证物理服务器的性能能够支持，其带来的好处是减少物理服务器的投资和运维成本。

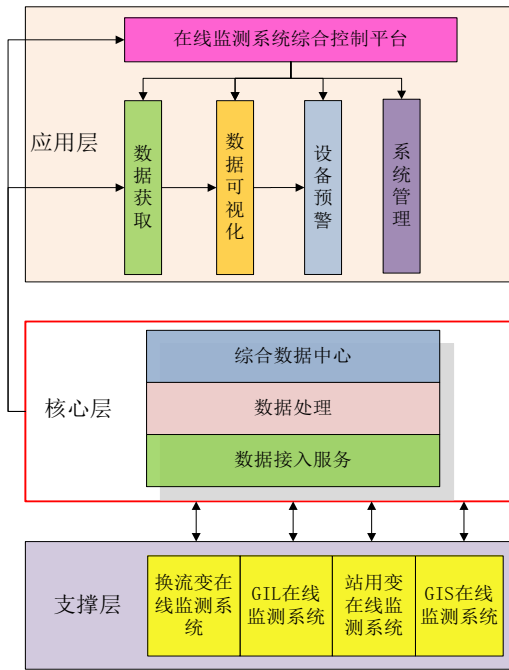


图 1 在线监测系统综合控制软件架构

1.2 网络拓扑结构和集成模型

直流输电工程在线监测综合系统仿真验证系统实施的网络拓扑结构如图 2 所示。综合监测单元用于接入常规在线监测装置，确保都与站端监测单元进行标准化数据通信，每一类监测设备的综合监测单元在站控层接入到集成控制平台^[12]。在线监测综合控制平台也采用这种集成模式，集成控制平台接入的在线监测系统包括换流变油色谱在线监测系统、站用变油色谱在线监测系统、GIL 微水密度和局放在线监测系统，以及 GIS SF6 在线监测系统；对于未支持 IEC61850 通信规约的在线监测系统，通过在前置 IED 安装规约转换器，并通过规约转换软件将 RS485 协议转换成 IEC61850 的协议，如 GIL 微水密度和局放在线监测，以及 GIS SF6 在线监测；对支持 IEC61850 规约的在线监测装置，如换流变油色谱和站用变油色谱监测，直接通过站控层接入在线监测系统综合控制平台。监测系统的通信模式遵循 IEC61850 的建模标准，以太网总线可以无缝接收 IEC61850 变电站在线监测系统 IED 所传输的数据。在线监测综合控制平台采用 IEC61850 通信协议通过综合数据网将在线监测系统数据上传至超高压公司运维自动化系统主站。

为了在不同制造厂商的 IED 设备配置工具以及系统配置工具间交换配置信息，进而实现互操作，综合控制平台实现了对整个换流站系统配置的定义，包括变电站模型、IED 模型和通信模型，集成了各监测设备的变电站配置描述如图 3 所示。其中，变电站的配置信息中包含了两个规约转换器（如图中红框所描述的 IED

信息，分别为 GIL 和 GIS 在线监测 IED 的规约转换器）、站用变油色谱监测和多台换流变油色谱监测的 IED 信息。每一个 IED 基本信息模型包括:Server（服务器）、Logical Device（逻辑设备）、Logical Node（逻辑节点）、Data Object（数据对象）和 Data Attribute（数据属性）。图 4 描述了一个油色谱在线监测 IED 中一个逻辑设备的基本信息，从图中可以看出，它包含了氢气、一氧化碳、二氧化碳、甲烷、乙炔等多个数据对象的信息。在线监测综合控制平台可根据换流站建模信息，实时接收各监测 IED 的状态参数,并通过开放数据库的方式将在线监测设备数据转发给综合控制软件系统，对外可提供 Web Service^[13-14]数据访问接口，以便于实现和外部系统的集成。

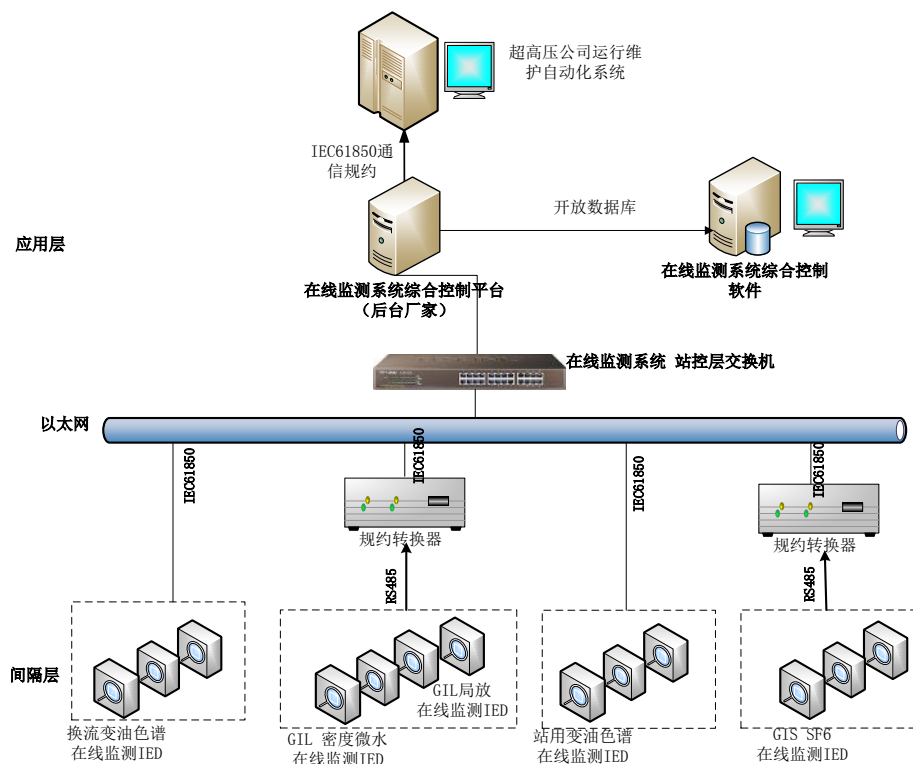


图 2 在线监测综合系统仿真验证试验平台网络拓扑结构图

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<SCL xmlns="http://www.iec.ch/61850/2003/SCL" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" revision="A" version="2007">
  <Header id="SHR" nameStructure="IEDName" toolID="EASYSO">
    <History>...</History>
  </Header>
  <Substation name="普洱换流站">...</Substation>
  <Communication>...</Communication>
  <IED desc="规约转换器" type="N2GIS" name="N2GIS" manufacturer="GDNZ" configVersion="1.0">...</IED>
  <IED name="SY_UDN501_2" type="SY_UDN502" desc="油色谱在线监测" manufacturer="思源电气" configVersion="1.0">...</IED>
  <IED name="SY_UDN501_1" type="SY_UDN501" desc="油色谱在线监测" manufacturer="思源电气" configVersion="1.0">...</IED>
  <IED name="SHSY" desc="上海瑞清规约转换器" manufacturer="DIGIGRID" configVersion="1.0">...</IED>
  <IED name="MT6000_44" desc="极 II 022B换流变A相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_50" desc="极 II 022B换流变B相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_54" desc="极 II 022B换流变C相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_70" desc="极 II 021B换流变A相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_41" desc="极 II 021B换流变B相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_72" desc="极 II 021B换流变C相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_53" desc="极 I 013B换流变A相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_47" desc="极 I 013B换流变B相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_55" desc="极 I 013B换流变C相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_46" desc="极 I 014B换流变A相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_56" desc="极 I 014B换流变B相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_43" desc="极 I 014B换流变C相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_52" desc="极 II 024B换流变A相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_48" desc="极 II 024B换流变B相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_45" desc="极 II 024B换流变C相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_51" desc="极 II 023B换流变A相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_40" desc="极 II 023B换流变B相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <IED name="MT6000_57" desc="极 II 023B换流变C相油色谱在" type="MT6000" manufacturer="HuaPeng" configVersion="1.1">...</IED>
  <DataTypeTemplates>...</DataTypeTemplates>
</SCL>
```

图 3 普洱换流站配置描述信息

```
<LN xmlns:ext="www.sin-tech.cn" desc="11T11 A相/油气" inClass="SIML" lnType="SYDG_MEAS_SIML" prefix="" inst="1" ext-uri="1234567890123456789012345" ext:devId="123456789012345678901">
  <DOI name="H2" desc="11T11 A相/油气/氢气"...</DOI>
  <DOI name="CO" desc="11T11 A相/油气/一氧化碳"...</DOI>
  <DOI name="CO2" desc="11T11 A相/油气/二氧化碳"...</DOI>
  <DOI name="CH4" desc="11T11 A相/油气/甲烷"...</DOI>
  <DOI name="C2H2" desc="11T11 A相/油气/乙炔"...</DOI>
  <DOI name="C2H4" desc="11T11 A相/油气/乙烯"...</DOI>
  <DOI name="C2H6" desc="11T11 A相/油气/乙烷"...</DOI>
  <DOI name="MicWat" desc="11T11 A相/油气/微水"...</DOI>
  <DOI name="TotHyd" desc="11T11 A相/油气/总烃"...</DOI>
  <DOI name="H2Alm" desc="11T11 A相/油气/氢气"...</DOI>
  <DOI name="COAlm" desc="11T11 A相/油气/一氧化碳"...</DOI>
  <DOI name="CO2Alm" desc="11T11 A相/油气/二氧化碳"...</DOI>
  <DOI name="CH4Alm" desc="11T11 A相/油气/甲烷"...</DOI>
  <DOI name="C2H2Alm" desc="11T11 A相/油气/乙炔"...</DOI>
  <DOI name="C2H4Alm" desc="11T11 A相/油气/乙烯"...</DOI>
  <DOI name="C2H6Alm" desc="11T11 A相/油气/乙烷"...</DOI>
  <DOI name="MicWatAlm" desc="11T11 A相/油气/微水"...</DOI>
  <DOI name="TotHydAlm" desc="11T11 A相/油气/总烃"...</DOI>
  <DOI name="McDevConF" desc="11T11 A相/油气/在线监测"...</DOI>
</LN>
```

图 4 站用变油色谱监测 IED 描述信息

2 系统实现

2.1 系统集成系统的数据可视化

通过 Web 服务器发布监测数据，以图和表的形式将其可视化，如生成设备状态参数列表和变化趋势曲线等，以实现对各设备的状态监测。如图 5 所示，在线监测综合系统主界面集中反映了多种类型设备监测的系统，包括换流变油色谱的实时监测、站用变油色谱、GIS SF6 气体微水密度监测以及 GIL 的微水密度和局放实时监测。功能菜单包括了实时数据、历史数据、报表分析、实时告警等，点击相应的选项能进入相应的功能页面，如果用户是一个管理员，还可以登录到系统管理页面。

2.2 电力设备树

电力设备树显示在图 6 中，主要按站内设备逻辑功能连接组成电力设备树，根节点是全站，次级节点是电力设备，包括变压器，断路器等，末级节点是监测设备，这里的监测设备不完全对应物理上的设备，而是按监测功能分类。



图 5 在线监测综合系统主页面

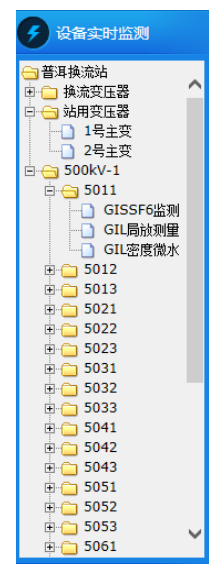


图 6 在线监测综合系统电力设备树

2.3 实时数据监测

实时数据监测主要包括变压器油色谱监测，GIS 的 SF6 气体和，GIL 微水密度和局放等参数的监测。目

前国内大多采用色谱法对变压器油中溶解气体与微水含量的实现连续监测和记录，可检测组分包括 H_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 、 C_2H_6 、 O_2 和 H_2O 等。故障油中气体的组成、含量和产气速率成为分析和诊断变压器内故障存在、发展以及性质的重要依据^[15]。

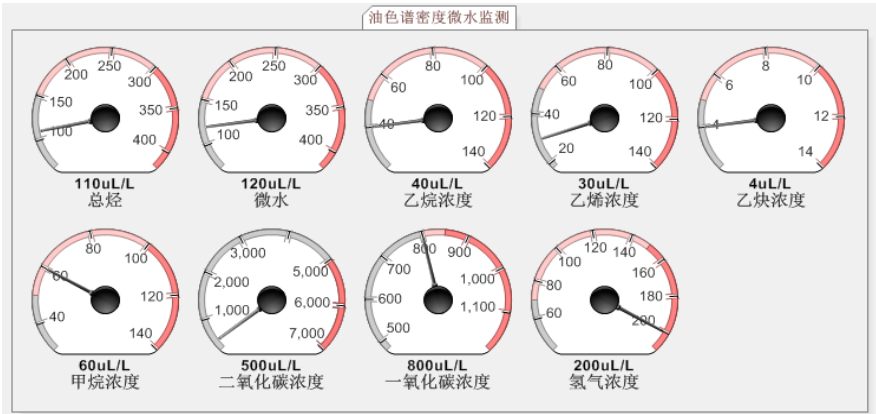


图 7 油色谱仪表盘实时监测数据

对于 SF_6 气体密度微水监测、断路器动作特性监测、局部放电监测等功能， SF_6 气体的密度和 SF_6 微水含量对 SF_6 电力设备的绝缘效果及运行状态有很大的影响，对 SF_6 气体的密度和微水含量实行在线监测，以实现水分的合理控制，对保证电气设备的安全稳定运行具有重要的作用。局部放电特征信息包含：最大放电量、放电相位（如可能）、单位时间放电次数等。

实时数据模块可为用户显示设备当前的实时数据。例如，当点选主变一设备树下的油色谱及微水监测及平台功能中的实时数据时，可以通过仪表盘的方式（如图 7 所示）显示实时数据。

2.4 历史数据分析

历史数据分析模块主要提供不同时间段对应的监测数值来进行趋势分析，并给出趋势曲线图。如图 8 所示的油色谱的趋势分析图。其中横坐标为监测时间，纵坐标为监测值。通过统计各油中溶解气体含量的数据，将各监测时间点的数值联系起来得到该趋势曲线图，不同颜色代表了不同油中溶解气体。

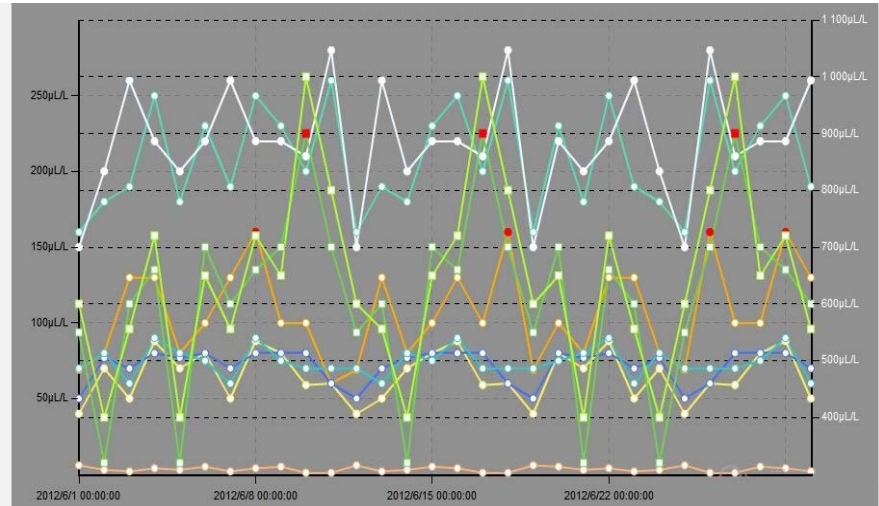


图 8 油色谱监测数据的趋势分析图

2.5 报表分析

报表分析可以为每一类设备提供日报表、月报表和任意阶段的历史报表等。如图 9 所示的换流变油色谱监测日报表，系统将从数据库的监测表中查询当日的监测数据，并将数据整理为日报表的形式输出给用户。

极1013B换流变A相-油色谱监测-日报表

当前日期：2014-03-28

时段	氢气浓度 (uL/L)	一氧化碳 浓度(uL/L)	甲烷浓度 (uL/L)	乙炔浓度 (uL/L)	乙烯浓度 (uL/L)	乙烷浓度 (uL/L)	二氧化碳 浓度(uL/L)	总烃(uL/L)	微水(uL/L)
0时	0.97	36.53	0.93	0	0	0	69.32	0.93	2.22
1时									
2时									
3时									
4时									
5时									
6时									
7时									
8时									
9时									
10时									
11时									
12时									
13时									
14时									
15时									
16时									
17时									
18时									
19时									
20时									
21时									
22时									
23时									
最大值	0.97	36.53	0.93	0	0	0	69.32	0.93	2.22
最大值时段	0时	0时	0时	0时	0时	0时	0时	0时	0时

图 9 油色谱监测日报表

2.6 实时告警

设备发生故障前，随着缺陷的产生和发展，会出现各种前期征兆，根据监测特征量值的变化，即可判断设备是否存在异常，从而及时进行处理。而预警中的阈值报警是根据在线监测状态参量变化情况，对于超出状态评价导则规定范围的劣化指标进行报警，根据不同的类别和等级及时向各级管理人员发布预警信息。进入监测告警后，在界面的左侧通过点击相应电力设备可以查看其告警信息，亦可点击各监测设备，查看各监测设备采集到的详细告警信息。

3 结论

目前，变电站的大多数电气设备在线监测系统主要是具有单一基本功能的监控系统，具有自己独立的数据获取、数据处理和后台监控装置，造成电气设备的监控信息分散，不利于资源的管理和规划，而且也不利于系统的运行和维护。因此建立基于 IEC 61850 和 WebService 的输变电设备状态监测集成平台是非常必要的，它可以将不同厂商、不同通信协议的输变电状态在线监测系统集成整合到综合集成控制平台。本文介绍了集成平台的设计框架、网络拓扑结构、集成模式和实现功能，该平台已经应用于直流输电工程中的换流变电站在线监测系统中，其可行性和有效性得到了验证。

REFERENCES

- [1] Mou longhua, Shi Lin, Xu Xunfeng and Liu Xiaoming. Modeling and design of on-line monitoring system of intelligent converter transformer [J]. in: Proc. CSU-EPSA, 2013, 25(1): 24-28
- [2] Ma Zhi. Design and Implementation of Condition Monitoring System for Power Transmission Equipments [D]. M. S. Thesis, Xiamen University, 2014
- [3] Liu Yu, Xu Yuxiang, Yu Zheng, Shang Yong. Deployment of the on-line monitoring system in the 750kv smart substation[J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26(2): 40-45
- [4] Qian Yong. The research situation and prospect of partial discharge online monitoring based on UHF [J]. Grid technology, 2005, 29 (1): 40-43
- [5] Ni Yimin, Yang Yu, Fan Chen, et al. Discussion on integration of secondary devices in smart substations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(3): 194-199
- [6] Wang Dewen, Zhu Yongli and Wang Yan. Condition monitoring and integrating platform for power transmission and

transformation equipment based on IEC 61850 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(13): 43-47

- [7] Li Xiaofeng, Liu Juan, Qin Shaoxian, et al. Key technology for power transmission and transformation equipments' online monitoring system based on IEC61850 [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36 (12): 3041-3046
- [8] Miao Peiqing, Tang Xinjian, Du Fengqing, et al. Modeling method of interaction system for intelligent GIS based on IEC61850 [J]. Advanced Materials Research, 2013, 718-720: 2163-2170
- [9] Geng Baohong, Wang Zhiming, Ge Weichun etc., The application of IEC61850 standard in the online monitoring system of the smart substation [C] // Proc.IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia, 2012
- [10] Liu Jianfeng. Research on on-line monitoring system of substation power equipment based on virtual instrument&IEC61850 standard [D]. P.HD. Thesis, Huazhong University of Science& Technology, 2008
- [11] Xu Pengfei, The study based on IEC61850 integrated substation automation [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 203:161-166
- [12] Wang Dewen and Yan Chunyu. Integrated modeling and model maintenance of on-line monitoring system in substation [J]. Automation of Electric Power Sytems, 2013, 37(23): 78-82
- [13] Xuezhen Niu, Fuan Wen, Yanlian Sun. Research and Design on Virtual Experiment System Integration Based on Webservice [C] // Proc. the 5th International Conference on Information Technology in Education, 2014
- [14] Wang Guowei, Zhang Zhibin and Xue Manjun, A solution for management information systems integration based on Webservice[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2012, 138: 1601-1608.
- [15] Yang Tingfang. Study on new techniques of online monitoring and fault diagnosis for power transformer [D]. P.HD. Thesis, Huazhong University of Science and Technology, 2008

【作者简介】



¹ 蔡永梁（1977-），男，汉，硕士研究生，高级工程师，高压直流工程直流控制保护方面的研究与管理，毕业于浙江大学电气工程学院。
Email: cai_yongliang@126.com



³ 罗年学（1965-），男，汉，博士，教授，计算机相关应用，毕业于武汉大学。
Email: nxluo@sgg.whu.edu.cn



² 胡春春（1978-），女，汉，博士，讲师，计算机相关应用，毕业于武汉大学。
Email: chchhu@sgg.whu.edu.cn



⁴ 赵前胜（1981-），男，汉，博士，讲师，计算机相关应用，毕业于武汉大学。
Email: qszhao@sgg.whu.edu.cn