

输变电设备状态在线监测与故障诊断系统分析软件设计^①

刘 黎¹, 何文林¹, 刘 岩¹, 乐全明², 汪卫国³, 赵 勇⁴, 代栓青⁴

¹(浙江省电力试验研究院, 杭州 310014)

²(浙江省电力公司, 杭州 310007)

³(金华电业局, 金华 321001)

⁴(宁波理工监测科技股份有限公司, 宁波 315800)

摘 要: 输变电设备状态在线监测与故障诊断系统综合分析软件是一套以组件形式嵌入到信息一体化平台的应用系统。主要实现了对现场一次设备数据的实时监视、分析、预测、评估和故障诊断等功能, 同时还提供了组态管理、数据管理、系统配置、用户权限管理等完善的系统管理功能, 满足了信息一体化平台的各项功能需求。

关键词: 输变电设备; 智能电网; 在线监测; 故障诊断

Analysis Software Design of On-Line Monitoring and Fault Diagnosis System for Power Transmission Equipment

LIU Li¹, HE Wen-Lin¹, LIU Yan¹, LE Quan-Ming², WANG Wei-Guo³, ZHAO Yong⁴, DAI Shuan-Qing⁴

¹(Zhejiang Electric Power Test Research Institute, Hangzhou 310014, China)

²(Zhejiang Electric Power Corporation, Hangzhou 310007, China)

³(Jinhua Electric Power Bureau, Jinhua 321001, China)

⁴(Ningbo Ligong Online Monitoring Technology Co.Ltd., Ningbo 315800, China)

Abstract: The comprehensive analysis software of on-line monitoring and fault diagnosis system for power transmission equipment is a set of application system that embedded in the information integration platform. Analysis software implements those functions that real-time data monitoring, analysis, prediction, evaluation and fault diagnosis to on-site devices, at the same time it provides configuration management, data management, system configuration, user rights management and improve systems management capabilities, meeting the functional requirements for information integration platform.

Key words: power transmission equipment; smart grid; on-line monitoring; fault diagnosis

随着变电站智能化改造工程在我国的顺利进行, 输变电设备状态监测技术已成为实现智能变电站建设的关键支撑技术, 更是智能变电站建设的核心内容。因此, 输变电设备状态监测与故障诊断系统的建设对提高国家电网公司生产管理水平、加强状态监测检修辅助决策应用、推动智能电网建设具有积极而深远的意义。本文设计的在线监测与故障诊断系统综合分析软件可对现场设备采集到的数据进行分析处理, 给出设备运行状态评估方案和故障诊断结果, 为智能变电站提供了在线监测与故障诊断的整体分析方案^[1]。

1 系统整体物理架构

输变电设备状态在线监测与故障诊断系统是智能电网建设的重要内容, 它通过各种先进的传感技术、数字化技术、嵌入式计算机技术、广域分布的通信技术、在线监测技术以及故障诊断技术实现对各类电网设备运行状态的实时感知、监视、分析、预测和故障诊断。系统设备层包括智能变压器组件、智能断路器组件和容性设备智能组件。系统主要针对变压器温度及负荷、油中溶解气体、油中微水、套管绝缘、铁芯接地电流、局部放电、辅助设备(冷却风扇、油泵、

① 基金项目: 国家电网综合计划(ZDK048-2010)

收稿时间: 2010-11-30; 收到修改稿时间: 2010-12-30

瓦斯继电器、有载分接开关等)、断路器及 GIS 中 SF6 气体密度及微水、GIS 局部放电、断路器动作特性、GIS 室内 SF6 气体泄露、电流互感器及容性电压互感器绝缘、耦合电容器绝缘和避雷器绝缘等数据信息进行综合监测与评估。

2 系统综合分析软件设计

输变电状态监测与故障诊断系统综合分析软件开发采用面向对象技术和模块化设计,应用功能封装在可重用的组件模块中,各组件模块通过标准的接口相互连接,可以根据需要进行随意配置,具有可扩展性强、可重用性高等特点。软件整体功能模块如图 1 所示:

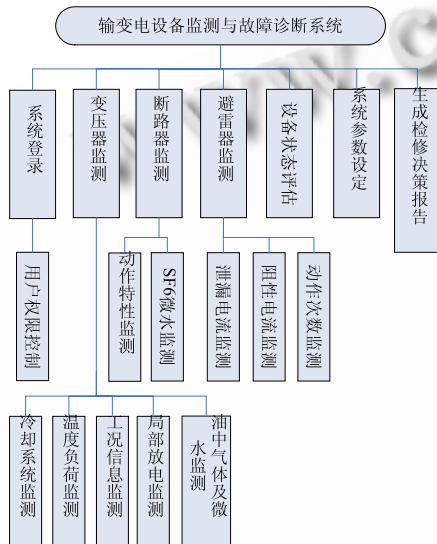


图 1 软件整体功能模块

2.1 综合分析软件在 S2SH 集成框架下的实现

输变电状态监测与故障诊断系统综合分析软件采用了基于 J2EE 的架构模式,综合浏览器/服务器(B/S)、客户机/服务器(C/S)模式各自的优势,构造了具有高可用性的混合模式综合应用,充分发挥各自的长处,具有安全可靠、灵活方便、效率高等优势。

综合分析软件的开发选择面向对象、类型安全的 Java 编程语言作为前台开发语言,选择最轻、最快、最具伸缩性的 Mysql 数据库管理系统作为后台数据库,基于 MVC 的设计模式,采用 Struts2+ Hibernate+ Spring 构建系统整体框架,结合 Ajax 异步存取技术以及 Ext 等当前开发新技术,实现了系统的整体功能,并创建了丰富多彩的 web 应用程序界面,如图 2 为本

分析软件的 S2SH 框架总体设计:

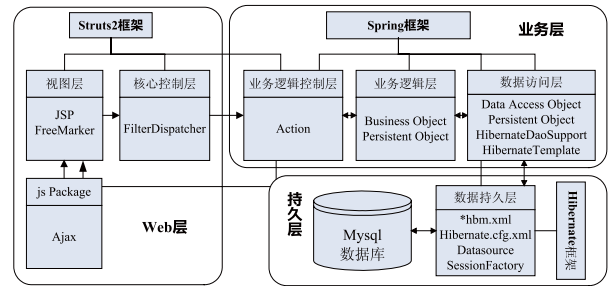


图 2 S2SH 框架总体设计

输变电状态监测与故障诊断系统综合分析软件在表现层使用 Struts2 来实现 MVC 模式,辅以基于 DWR 框架的 Ajax 技术丰富用户界面。Struts2 使用 web.xml 中定义的 FilterDispatcher 拦截到表现层提交的请求,通过读取 struts.xml 文件查找对应的 Action,找到其对应的 Action 类,向 Spring 请求其实例,调用 Action 实例中相应的 validate 方法,然后调用 Spring 注入的相应 Service 实例的业务方法,Service 实例再次调用 Spring 注入的 DAO 实例,逐级返回需要传递给表现层的值,然后根据逻辑视图名进行跳转,返回到表现层,展现响应^[2,3]。

2.2 综合分析软件数据通信设计

系统综合分析软件与底层 Server 端的数据通信采用异步非阻塞通信方式,该通信方式有效地解决了网络操作负荷较大的问题和网络中点对点的通信难题。异步通信编程技术可以在侦听的同时进行其他操作,实现了服务器与终端 Web 应用程序两部分并行、独立工作。系统数据通信流程图如图 3 所示。

2.3 系统登录

用户通过登录界面,进入输变电状态监测与故障诊断系统综合分析软件的首页。该模块主要用于验证用户的身份及密码,其界面如图 4 所示。

输入用户名和密码点击登录按钮,系统响应该按钮的 Click 事件,在数据库 MDS_USER 表中查询用户名和密码,核实用户的信息,最终完成判断用户合法性。系统用户信息在数据库中的存储采用了目前流行的 MD5 加密算法,MD5 算法是一种不可逆的加密算法,应用极为广泛,主要的应用领域包括数字签名、数据库中的信息加密以及通信信息的加密^[4]。MD5 加密算法的使用使本综合分析软件达到了更高的安全性

标准。

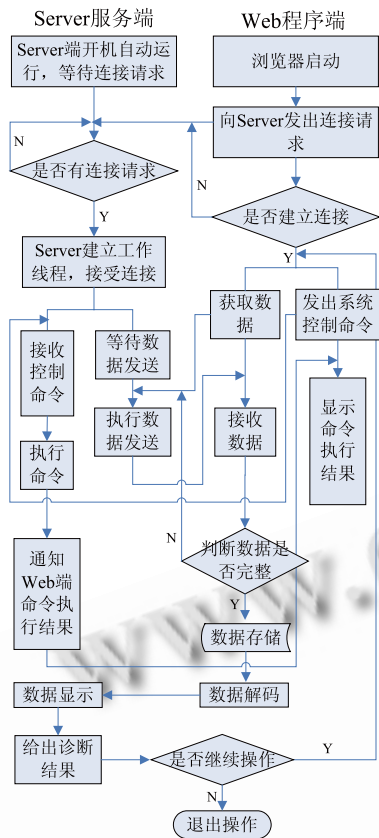


图 3 数据通信模块工作流程图



图 4 用户登录页面

2.4 智能变压器在线监测子系统设计

智能变压器在线监测子系统主要实现了对变压器油色谱在线监测；变压器局部放电在线监测；变压器冷却器智能控制单元及变压器温度、负荷及过载能力监测；变压器工况信息监测（包括铁芯接地电流、主油箱气体压力等）；非电量保护等监测功能^[5]。

2.4.1 油中气体及微水监测模块设计

变压器油中气体及微水监测采用色谱法实现油中溶解气体的检测，可检测 H₂、CO、CH₄、C₂H₄、C₂H₂、C₂H₆ 和 H₂O 等组分。实现了变压器油中溶解气体含

量的连续监测和记录，具有数据采集、分析处理和故障诊断等功能。该功能模块的设计为用户提供了实时数据显示、历史数据查询和原始谱图展示等功能。图 5 为各被气体实时数据柱状图显示：

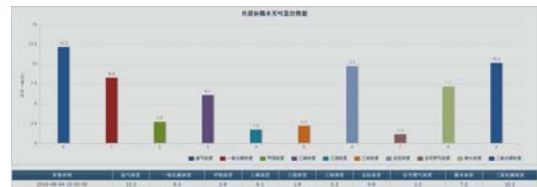


图 5 实时数据柱状图

分析软件提供了被测气体的原始谱图界面展示，横轴为各被检测气体的峰位，即采样时间，纵轴对应的是各气体的峰值。界面展示时，用户选择时间点，然后由界面通过后台向数据服务程序请求数据文件，数据服务程序将该文件存放在指定位置，由后台程序读取，并显示在页面上。图 6 和表 1 分别给出了一组采样数据及其对应的原始谱图：

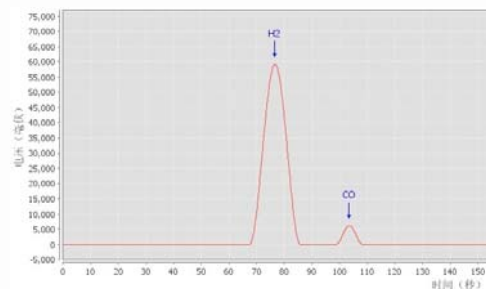


图 6 采样数据原始谱图

表 1 采样数据表

气体	峰位(秒)	峰值(毫伏)
H ₂	76.5	59137
CO	103.375	6098

模块中对被检测气体状态出现的异常，采取改良三比值法、大卫三角形法和立方体图示法三种诊断方法^[6]。多种诊断方法的综合使用，提高了系统对检测气体状态诊断的准确性，为用户提供了评估设备运行状态的有力依据。如图 7 为改良三比值法诊断图。

利用气体组分相对含量诊断设备故障的性质时，改良三比值法相对其它两种方法正判率较高，稳定性也好，因此，一般以改良三比值法来作为主要诊断依据。表 2 给出了本软件中改良三比值法诊断设备故障类型的判断标准。



图7 改良三比值诊断法

表2 改良三比值法诊断标准

编码组合			故障类型判断
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	
0	0	1	低温过热(低于 150℃)
	2	0	低温过热(150-300℃)
	2	1	中温过热(300-700℃)
	0,1,2	2	高温过热(高于 700℃)
	1	0	局部放电
1	0,1	0,1,2	低能放电
	2	0,1,2	低能放电兼过热
2	0,1	0,1,2	电弧放电
	2	0,1,2	电弧放电兼过热

如果被监测气体比值落在极限范围之外，而不对应于本表中的某个故障特征，可认为是混合故障或一种新的故障，可参考软件中给出的立法体图示法或者大卫三角法的故障诊断结果。

2.4.2 局部放电监测模块设计

变压器局部放电监测采用超高频法实现局部放电检测，对各监测点的局部放电信号进行采样，每次采样长度为 50 个工频周期，最短监测周期为 1 分钟，变压器局部放电监测对局部放电特征量进行分析，包含以下基本参量：最大放电量及放电相位，放电次数，平均放电量。如图 8 为软件中局部放电故障识别模块工作流程：

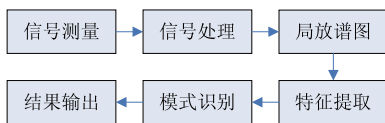


图8 局部放电故障识别流程

利用超高频法可以较全面地研究变压器绝缘系统

中局部放电特征，在未来的应用将有助于推动变压器局部放电检测理论和技术的发展，提高绝缘诊断的准确性和可靠性。图 9 为智能变压器局部放电故障识别结果图：

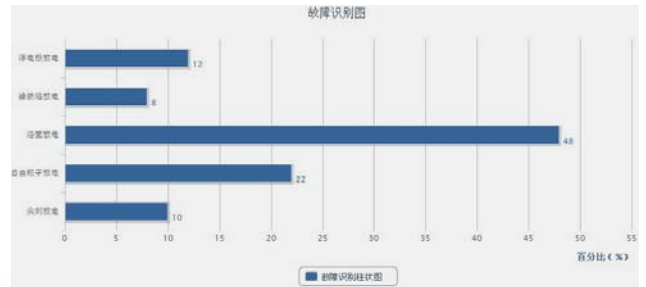


图9 局部放电故障识别图

2.4.3 冷却装置监测模块设计

冷却装置控制直接采集顶层油温和负荷电流，评估绕组的热点温度，通过就地控制器控制冷却装置，并将冷却装置的运行状态信息返回。冷却装置的状态评估以冷却效率 RTH（热阻）作为特征参量。正常状态时，RTH 是一个常数，当 RTH 增大并超过警戒值时，可以判定冷却系统发生了故障，这些故障一般由风扇和油泵故障所致。该模块主要为用户提供了查看变压器负荷电流、顶层油温等信息，并根据有关指标达到报警状态时，给出冷却器报警信息（如图 10 红色显示的风机）。如图 10 为冷却系统监测界面图：

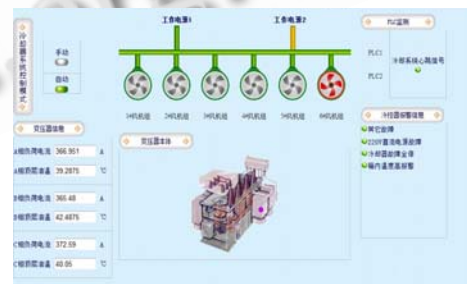


图10 冷却系统监测界面图

2.4.4 变压器工况信息监测模块设计

变压器工况信息监测包括环境温度、铁芯接地电流、主油箱气体压力等。利用高灵敏度电流传感器，不失真的采集变压器铁芯对地的泄漏电流信号，通过对电流信号的运算和处理，剔除杂波干扰信号，得到实际接地泄漏电流信息。本模块提供了显示实时数据柱状图与历史数据曲线图的功能。

2.4.5 智能变压器过载能力估算

综合分析软件利用相关导则中推荐的温度计算用的数学模型及估算各种类型变压器的负载条件与寿命损失所用的负载表及负载图。根据变压器过载能力数据，结合环境温度、负荷、油温和绕组温度，建立变压器负荷动态智能监测系统。变压器过载能力估算流程如图 11 所示：

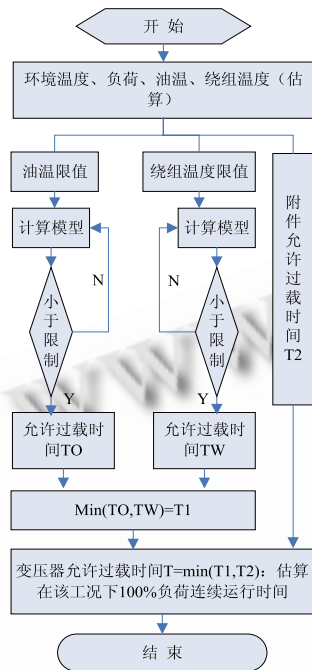


图 11 变压器过载能力估算流程图

2.4.6 智能变压器综合性能评估模型设计

综合分析软件通过对智能变压器上述各被监测参量进行实时监测、采集监测数据，结合相关分析导则，给出智能变压器运行状态综合诊断结果，如图 12 所示为智能变压器综合性能评估模型设计。

2.5 智能断路器在线监测子系统设计

智能断路器在线监测子系统主要实现了对 SF6 电力设备中的 SF6 气体密度微水监测、断路器动作特性监测等功能。

2.5.1 SF6 微水及密度监测模块设计

SF6 气体的密度和 SF6 微水含量对 SF6 电力设备的绝缘效果及运行状态有很大的影响，对 SF6 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^[7]。

系统中 SF6 微水及密度传感器检测到的 SF6 气体各参数经过 A/D 转换成数字量，再经过微处理器进行

补偿运算及处理，接着通过网络上传至智能处理器，经过处理后的数据通过输变电状态监测与故障诊断系统综合分析软件以图表的形式最终展现给用户，当有关指标达到报警状态时，给出报警信息，以保障设备和变电站整套系统的安全运行，图 13 给出了 SF6 气体各被监测参量历史数据曲线图。

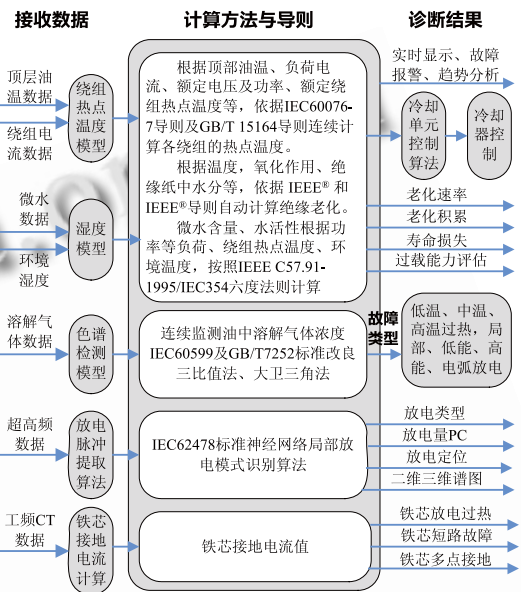


图 12 智能变压器综合性能评估模型设计图

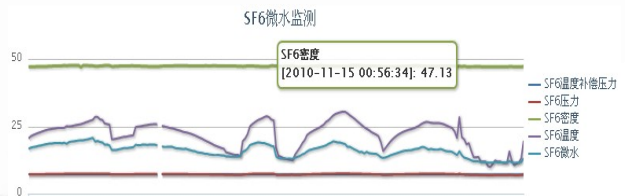


图 13 SF6 微水各参量历史曲线图

2.5.2 断路器动作特性监测模块设计

断路器动作特性监测智能组件采用同步采样技术，通过电流传感器采集一次回路的开断电流、分、合闸线圈电流、储能电机电流，通过辅助触点采集开关信号。

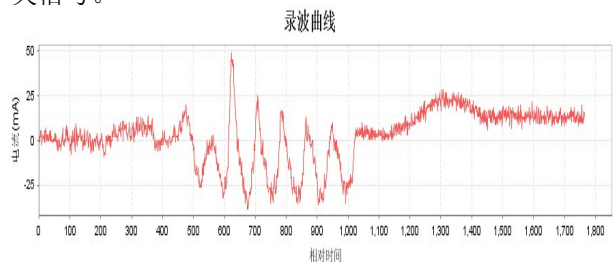


图 14 储能电机录波曲线

采集的信号通过录波分析完成对断路器机械特性状态监测和电寿命评估。图 14 是本模块展现的储能电机录波曲线图。

2.6 容性设备智能在线监测子系统设计

容性设备智能在线监测子系统主要实现了对避雷器泄漏电流、阻性电流和保护次数在线监测等监测功能。

避雷器绝缘监测采用基波法测量氧化锌避雷器的泄漏电流和阻性电流来实现动态监测避雷器的绝缘状况^[8]。被监测到的数据经过泄漏电流和阻性电流计算,并通过横向纵向比较、诊断、预警处理,处理后的结果数据和设备状态通过网络上传至容性设备智能在线监测子系统,从而实现避雷器绝缘状态的在线监测,将监测结果展现给用户。

3 系统综合分析软件技术特点

系统综合分析软件充分考虑电力系统的发展趋势,确保系统技术的前瞻性。在运行环境方面,系统基于 J2EE 架构模式,采用了面向对象动态建模技术和模块化设计方法,支持跨平台运行,提供数据交换、共享和协作的应用环境,支持数据的分布式维护与管理;在管理功能方面,系统提供了完善的管理功能,包括用户及权限管理、数据管理、组态管理、系统配置等;在操作方面,提供智能化、图形化的操作,可直接对系统的实时状态数据进行直观的展现,并且采用了基于设备对象的局部集成化展现方式,用户通过点击系统综合分析软件中某一输变电设备对象,可调用针对该设备的集成信息展现画面,其中集成了各类状态监测细节信息,并提供更为专业的针对该设备的状态分析、诊断、评价和预测等功能。

4 结语

本论文的撰写和文中所描述的输变电设备状态监测与故障诊断系统综合分析软件将经过整合的信息资源展现给用户,提供给用户最全面的全方位监测和故障诊断信息,大大提高了信息系统的易用性和效率,实现了信息展现一体化的建设目标。

另外,本论文撰写之前系统已成功运行于国家电网公司首批变电站智能化改造试点项目中,系统的稳定运行为国家电网公司智能变电站的建设提供了关键的技术支撑,对国家电网公司进一步加快智能电网建设起到了积极而深远的意义。

参考文献

- 1 王璐,王鹏.电气设备在线监测与状态检修技术.现代电力,2002,(5).
- 2 赵峰.基于 S2SHA 集成框架构建教师信息管理系统.信息技术,2010,(14).
- 3 李绍平,彭志平.一种基于 S2SH 的 Web 应用框架及实现方法.微型电脑应用,2009,25(5).
- 4 王楠,律方成,陈志业.应用 Web 技术远程监控变电站在线监测系统.高电压技术,2002,(9).
- 5 李娟.电力变压器状态监测与故障诊断的研究[学位论文].河海大学,2003.
- 6 袁泉.电力设备健康状态评估算法的设计与实现[学位论文].北京:华北电力大学,2003.
- 7 何航卫,林渡,朱德恒.电力设备状态监测系统及其远程网络通讯组件.电工电能新技术,2002(3).
- 8 王楠.电容型设备绝缘在线监测与故障诊断的研究[学位论文].保定:华北电力大学,2004.