

换流站综合在线监测系统配置及接口研究

唐偲, 施世鸿

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 目前, 换流站内重要的一次设备, 如断路器、换流变、组合开关电器、避雷器等均配置了在线监测系统, 而每一套设备的在线监测系统都自成体系, 分散放置, 没有一个统一的后台系统, 各在线监测系统互不兼容, 互相之间信息的交流, 共享都十分困难, 同一个换流站内的多套在线监测系统在巡视、维护上都极为不便。文章对直流输电工程换流站内的在线监测系统进行归纳, 分析换流站各在线监测系统整合成综合监测系统的可行性, 为建设换流站一体化在线监测系统建立基础。

关键词: 换流站; 在线监测系统; 综合; 接口

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)02-0096-06

Research on Configuration and Interface of Integration Online-monitoring System of Converter Station

TANG Si, SHI Shihong

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Currently, the important devices in the converter station, such as circuit breakers, converter transformer, GIS, lightning arrester are configured with the online monitoring system, but set of equipment online-monitoring system has its own system, distributed widely and hasn't a unified back-end systems. Each online-monitoring systems is incompatible, the sharing and communication between each other is very difficult. In this paper, the integration on-line monitoring systems of converter station are summarized and analyzed. It is not only built on the integration of on-line monitoring system, but also integrated each on-line monitoring systems interface.

Key words: converter station; online-monitoring system; integrated; interface

综合在线监测系统的建立和运用, 促使传统意义上的在线监测系统从一个孤立的、静止的实验性系统过渡到全局的、网络化的、智能化的综合状态监测数据分析、诊断和服务管理系统^[1]。同时简化运行管理, 将其作为一个整体纳入到运行维护自动化的网络体系中。通过整合后的综合在线监测系统是一个全局状态信息的数据库, 一个设备状态信号的发布平台, 也是故障诊断、运行和检修维护的咨询管理平台。一方面在线监测系统可充分利用综合数据平台上的数据, 而不需要重复采集, 节约成本。另一方面, 在线监测的数据也可为换流站设备

状态预警分析等高级应用提供数据支撑。

目前, 直流工程中设备的在线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, 分散放置, 没有一个统一的后台系统, 使得同一个换流站内的多套在线监测系统需要巡视、维护。实现不同设备厂家、不同类型的在线监测统一接入, 将各种在线监测产品整合在即综合在线监测系统, 是在线监测系统的发展方向, 也是本文的研究目标。

1 直流工程设备在线监测配置

1.1 断路器状态在线监测系统

1.1.1 断路器故障情况

在电力系统中高压断路器数量多、检修量大、费用高, 有关统计表明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。断路器的解体大修, 既费时间, 费用也很高, 而且解体和重新装配会引起很多新的缺陷。目前, 国内电力断路器的主要故障情况为绝缘故障、机械故障、气体泄漏故障等。因此对于断路器这类设备, 应着重实现对绝缘、机械故障、SF₆ 气体的状态监测。

1.1.2 断路器状态在线监测的技术分析及应用^[2]

断路器状态在线监测的技术主要包括: 局部放电状态监测、SF₆ 气体特性状态监测、储能电机工作状态监测、机械和动作特性状态监测, 电寿命状态监测等, 见表 1。

建议在换流站内 330 kV 及以上电压等级断路器状态监测配置推荐如下:

1) 断路器 SF₆ 气体状态在线监测: 推荐配置 SF₆ 气体状态在线监测, 监测的参量建议为气体密度、压力, 可根据需要选择监测气体微水。

2) 断路器动作特性在线监测: 推荐配置断路器分合闸位置及分合闸线圈监测、储能电机监测; 有条件的情况下, 可选择配置部分成熟的动作特性在线监测, 如果产品不成熟, 建议不配置。

3) 断路器局放监测: 可根据安全可靠和经济合理选择配置在线或离线局放在线监测。

4) 断路器电寿命状态监测: 有条件的情况下, 可选择配置断路器电寿命状态监测, 如果产品不成熟, 建议不配置。

1.2 换流变状态在线监测系统^[3]

1.2.1 换流变故障情况

换流变设备的故障的初期往往是在设备内部发生的, 从目前换流站的实际运行情况来看, 换流变内部油色谱异常、套管渗漏油、接头发热、介质损耗因数超标、分接开关故障、铁芯故障是主要故障源。如果仍然沿用定期检测的模式, 很可能导致设备故障的扩大, 造成不必要的损失, 甚至导致大规模停电事故的发生。因此, 实现对换流变的状态在线监测是必要的, 也是今后的发展方向。

1.2.2 换流变状态在线监测的技术分析及应用^[4]

确保换流变正常运行的主要部件包括: 绕组、铁心、绝缘油、冷却器及有载调节器(OLTC)。因此, 监控的关键参数包括油/纸的绝缘(包括绕组和变压器)、负载和运行状态、OLTC 故障, 见表 2。

建议换流站内 330 kV 及以上电压等级换流变压器状态监测配置推荐如下:

1) 换流变油中溶解气体及微水: 推荐配置换流变油中溶解气体及微水状态监测; 监测的参量建议为 9 种气体(O₂、N₂、H₂、CO、CO₂、CH₄、C₂H₄、C₂H₆、C₂H₂), 建议配置绝缘油中的微水含量在线监测。

2) 换流变本体油温、油位及绕组温度: 推荐配置换流变油温、油位及绕组温度等状态的在线监测。

3) 换流变压器局放: 可根据安全可靠和经济合理需要选择配置在线或离线局部放电监测。

4) 换流变压器铁芯接地电流: 可根据安全可靠选择配置铁芯接地电流监测。

5) 换流变压器套管绝缘状态: 建议监测套管内 SF₆ 气体密度。高压容性设备的介质损耗监测有条件的情况下可选择配置, 如果产品不成熟, 或对一次设备有影响, 建议不配置。

6) 换流变压器 OLTC 状态: 必要性不高, 建议不配置。

1.3 组合电器设备电气状态在线监测系统^[5]

1.3.1 组合电器设备故障情况

组合电器设备 HGIS/GIS 的常见故障大致可以分为以下两大类:

1) 与常规设备性质相同的故障, 如断路器操作机构故障等。

2) HGIS/GIS 的特有故障, 如 HGIS/GIS 绝缘系统故障等。这类故障的重大故障率为 0.1~0.2 次/(站·年)。一般认为, HGIS/GIS 的故障率比常规设备低一个数量级, 但是 GIS 事故后的平均停电检修时间则比常规设备要长。

运行经验表明, HGIS/GIS 设备的故障多发生在新设备投入运行的一年之内, 以后趋于平稳, 其故障形式主要表现在: SF₆ 气体泄漏、SF₆ 气体微水超标、HGIS/GIS 内部放电、液压机构出现渗漏油或打压频繁、内部元件(包括断路器、隔离开关、接地开关、避雷器、互感器、套管、母线等)故障。

1.3.2 组合电器状态在线监测的技术分析及应用

HGIS/GIS 的状态在线监测和普通断路器的状态在线监测要求和内容基本上是相同的, 其应用可行性见表 3。和断路器的状态监测相比, HGIS/GIS 的状态监测主要有两点不同:

表1 断路器状态在线监测技术及应用可行性

Table 1 The Feasibility of the Application in Circuit Breaker's Online-monitoring System

类别	局部放电状态监测	SF ₆ 气体状态监测	分合闸信息状态监测	储能电机状态监测	电寿命监测
技术	利用超高频法和超声法实现定量监测, 超高频法更为精确	技术成熟, 对气体密度、压力、微水等可实现定量监测	技术成熟, 包括分合闸时间、位置、线圈电流波形和故障信息	实现方式简单; 可定量进行监测	有相关产品, 并不成熟
成本	较高	适中	较低	较低	—
应用	有一定必要, 对绝缘状态的监测	主要故障点, 有必要。	断路器状态信息, 有必要。	断路器状态信息, 有一定必要。	有一定需要

表2 换流变状态在线监测技术及应用可行性

Table 2 The Feasibility of the Application in Converter Transformer's Online-monitoring System

类别	油溶解气体状态监测	变压器油温、油位	绕组温度状态监测	变压器铁芯接地状态监测	套管绝缘状态监测	局部放电状态监测	OLTC 状态监测
技术	技术成熟 油气分离时间较长、含微水含量监测	技术成熟、实现方式简单、油温含顶层、底层油温监测	技术成熟、利用光纤测温技术、间接测量法可以实现精确测量、在线测量	技术成熟、精度高、有源小电流传感器可实现对变压器铁芯接地的实时或定时准确监测	技术成熟、监测高压容性设备的介质损耗、套管电容、结合相对和绝对测量结果进行监测	技术成熟、主要利用超高频法定量监测	声学指纹和电机电流波形监测故障
成本	较中	较低	较低	较低	较高	较高	较低
应用	很有必要, 重要的监测手段	绝缘油状态信息的反应, 必要	关键部位状态信息, 有需要	主要故障点, 必要	非主要故障点, 必要性不高	绝缘性能监测, 不必要	必要性不高

表3 组合电器状态在线监测技术及应用可行性

Table 3 The Feasibility of the Application in GIS's Online-monitoring System

类别	SF ₆ 气体状态监测	断路器动作特性	局放监测	SF ₆ 气体泄漏
技术	技术成熟、成本适中、可监测 SF ₆ 气体密度、压力、微水	技术成熟、推荐配置分合闸信息、储能电机的状态监测	利用超高频法和超声法实现定量监测, 超高频法更为精确	户内 GIS 设备的气体泄漏监测, 技术成熟
成本	较中	适低	较高	较低
应用	有必要	有一定必要	有一定必要, 需经济技术比较	必配

1) 增加隔离开关、接地开关、快速开关设备的状态监测, 状态检测量由整个 GIS 设备统一处理。

2) 对于户内 HGIS/GIS 配电装置, 应考虑增加 SF₆ 气体泄露的监测, 即环境中 SF₆ 气体的状态监测, 这一点主要是为保证检修或临时巡检人员的安全。建议在换流站内 330 kV 及以上电压等级 GIS 设备状态监测配置推荐如下:

1) SF₆ 气体状态在线监测: 推荐配置 SF₆ 气体状态在线监测, 监测的参量建议为气体密度、压力以及气体微水。

2) 断路器动作特性在线监测: 推荐配置断路器分合闸位置及分合闸线圈监测、储能电机监测; 有条件的情况下, 可选择配置部分成熟的动作特性在线监测, 如果产品不成熟, 建议不配置。

3) 局放监测: 可根据安全可靠和经济合理选择配置在线或离线局放在线监测。

4) SF₆ 气体泄漏监测: 对于户内 GIS, 建议配

置 SF₆ 气体环境泄漏在线监测。

GIS 组合电器的状态在线监测可参考断路器的状态在线监测的配置。由于 SF₆ 气体是一种强烈性质的温室气体, 其温室效应是 CO₂ 气体的上万倍, 如果发生泄漏, 会对环境造成很大的影响, 因此对于户内 GIS, 进行 SF₆ 气体环境泄漏监测是必要的。

1.4 避雷器状态在线监测系统^[6]

1.4.1 避雷器故障情况

因氧化锌避雷器 (MOA) 无串联间隙, 在运行中长期直接承受电力系统运行电压的作用, 阀片将逐渐产生劣化, 因结构不良导致密封不严, 使阀片在运行中容易受潮, 阀片受潮后泄漏电流增大又会加剧劣化, 从而进一步导致泄漏电流增大, 泄漏电流中的阻性电流分量使阀片温度上升, 产生有功损耗, 形成热崩溃, 严重时将导致 MOA 损坏或爆炸, 进而引发大面积停电事故。

对氧化锌避雷器实施状态在线监测, 可及早发现和排除故障, 避免发生氧化锌避雷器爆炸; 同时可对氧化锌避雷器泄漏电流及动作次数进行统计并实现数据远传, 从而有效及时地检测氧化锌避雷器内部缺陷, 尤其是阀体受潮、内部元件老化等。

1.4.2 避雷器状态在线监测的技术分析及应用^[7]

避雷器状态在线监测的技术主要包括: 全电流监测法、三次谐波法、消除容性电流法、基次谐波法、光纤传感技术等, 其应用可行性见表 4。

建议在换流站内避雷器状态监测配置推荐如下:

1) 尽管避雷器泄漏电流、阀片温度和动作次数的监测单价成本都不高, 但考虑到整个站内的避雷器数量较多, 如果全部避雷器均配置状态在线监测, 则需增加约 100 万元~200 万元的成本。因此, 建议仅为换流站内直流场及阀厅内的避雷器配置状态在线监测设备。

2) 避雷器泄漏电流: 推荐配置避雷器泄露电流状态在线监测, 对全电流进行监测, 经济条件允许时, 建议能够消除容性电流对阻性电流进行监测, 较好地反应避雷器的实际运行状况。

3) 避雷器动作次数: 推荐配置避雷器动作次数状态在线监测。

4) 避雷器阀片温度: 有条件的情况下, 可配置避雷器阀片温度在线监测。

2 综合在线监测系统接口研究^[8]

2.1 综合在线监测系统的接口方式

换流站综合在线监测系统监测主机平台布置在主控楼; 各监测子系统模块, 配置于一次设备侧, 包含智能组件及传感器; 相互之间通过单独组网的方式进行连接并交互。换流站高压设备终端监测采集装置包括换流变、断路器、避雷器、容性设备、绝缘子、蓄电池等在线监测采集装置, 各采集装置在功能上相互独立, 因此需要将各个采集装置的数

据上传到一个统一的处理平台, 这需要研究各子系统接入的接口。

IED(Intelligent Electronic Device) 作为在线监测的关键设备可以在换流站综合在线监测系统平台上发挥巨大的作用, 在各个独立的设备采集装置接驳 IED, 这样可以实现不同的通信接口和规约转换, 数据模型生成或转换。目前大部分在线监测集成厂家的后台系统与其前端采集模块之间大多通过 IED 实现通信连接, 见图 1。

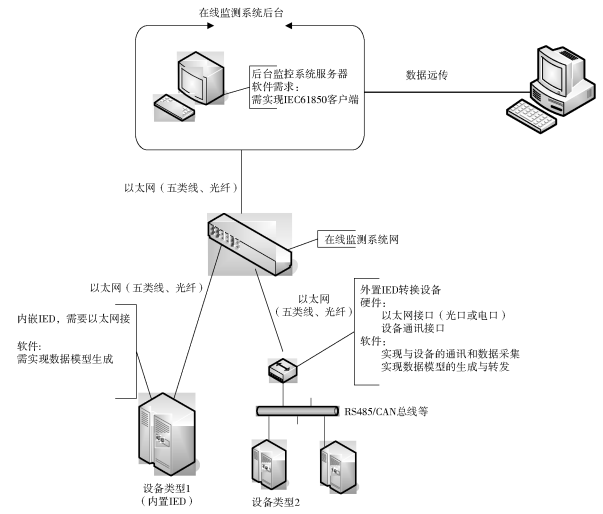


图 1 综合在线监测系统接口示意图

Fig. 1 Figure of Integrated Online Monitoring System Interface

对于集成 IED 的在线监测系统, 直接通过光纤或者以太网接到单独的在线监测网再接入综合在线监测系统, 对于没有内置 IED 的在线监测系统可以通过进行硬件升级连接 IED, 并开发系统配置软件接到在线监测网接入综合在线监测系统。

目前 IED 设备之间主要是串行通信, 在 OSI (Open System Interconnect Reference Model) 参考模型的规范下, 大多数厂家制造的 IED 都是以 RS-232 或 RS-485 为接口标准。RS-485 因为其自身的优点目前在电力工业中慢慢的替代了 RS-232 作为

表 4 避雷器状态在线监测技术及应用可行性

Table 4 Feasibility of the Application in Arrester's Online-monitoring System

	避雷器泄漏电流				阀片温度	动作次数	
方法	全电流监测法	三次谐波法	消除容性电流法	基次谐波法	光纤传感技术		
技术	技术成熟; 适用于受潮劣化的判断	测量灵敏度高; 精度高, 可信度高	能较好反应 MOA 的实际运行状况	测量精度高, 可信度高	技术成本低, 实现难度小; 精确度高	户内 GIS 设备气体泄漏监测, 技术成熟	
成本		单套较低, 整套较高			较高	较低	
应用		对避雷器故障的最直接的监测, 很有必要				信息不如泄漏监测丰富, 有一定必要	对避雷器动作的最直接的监测, 有必要

一个主流的接口，所以换流站综合在线监测系统的采集装置接口采用 RS-485 作为接口。

2.2 综合在线监测系统的通信规约^[1]

Modbus 协议是应用于电子控制器上的一种通用语言。通过此协议，控制器相互之间、控制器经由网络(例如以太网)和其它设备之间可以通信。它已经成为一通用工业标准。有了它，不同厂商生产的控制设备可以连成工业网络，进行集中监控。目前这个协议已广泛经被国内外电力行业及工控行业作为系统集成的标准，因此本项目采用的方案单个生产厂家的 IED 与其在线监测系统后台或者是数据处理单元的通信规约可以采用 Modbus-485 通信规约。

此规约定义了一个控制器能认识使用的消息结构，而不管它们是经过何种网络进行通信的。它描述了一控制器请求访问其它设备的过程，是否回应来自其它设备的请求，以及怎样侦测错误并记录。它制定了消息域格局和内容的公共格式。

当在 Modbus 网络上通信时，此规约决定了每个控制器须要知道它们的设备地址，识别按地址发来的消息，决定要产生何种行动。如果需要回应，控制器将生成反馈信息并用 Modbus 协议发出。在其它网络上，包含了 Modbus 协议的消息转换为在此网络上使用的帧或包结构。这种转换也扩展了根据具体的网络解决节地址、路由路径及错误检测的方法。

一般的接口在总线上只允许连接 1 个收发器，即单站能力。而 RS-485 接口在总线上是允许连接多达 128 个收发器。即具有多站能力，这样用户可以利用单一的 RS-485 接口方便地建立起过程层 IED 与在线监测后台的网络。这样就可以利用 Modbus-485 通信规约使得各生产厂家的在线监测

IED 接入其子系统后台或者是管理单元。

IEC61850 作为数字化变电站的标准规约，具有统一、规范、自描述、易扩展等特点，解决了目前传统换流站规约种类繁多，互不兼容，难以扩展等特点，在线监测系统根据 IEC61850 规约进行建模也将成为未来的一个趋势。采用该标准还可使换流站自动化设备具有自描述、自诊断和即插即用的特性，极大的方便了系统的集成，降低了换流站综合在线监测系统的工程调试与集成费用。

3 换流站综合在线监测系统方案设计

3.1 换流站综合在线监测系统配置方案

整合后的综合在线监测系统是一个全局状态信息的数据库，一个设备状态信号的发布平台，也是故障诊断、运行和检修维护的咨询管理平台。一方面在线监测系统可充分利用综合数据平台上的数据，而不需要重复采集，节约成本。另一方面，在线监测的数据也可为换流站设备状态预警分析等高级应用提供数据支撑，见表 5。

3.2 综合在线监测系统接口及规约整合方案^[9]

3.2.1 接口整合方案

考虑到当前技术条件下部分厂家的在线监测系统规约不开放等技术壁垒，以及部分厂家的 IED 不支持 IEC61850 等现实问题，换流站综合在线监测系统采用如下接口方式：

综合在线监测系统后台与各厂家监测后台之间的通信采用 RJ45 接口，基于 IEC61850 规约，建立独立的在线监测网络进行通信。综合在线监测后台访问各厂家后台数据库的方式获取数据。各厂家在线监测后台均基于 IEC61850 标准进行建模。其后

表 5 换流站综合在线监测系统的配置表

Table 5 The Configuration of Converter Station Integration Online-monitoring System

断路器		变压器类		组合电器		避雷器	
监测项目	配置建议	监测项目	配置建议	监测项目	配置建议	监测项目	配置建议
局放	△	油色谱	√	SF6 气体状态	√	泄漏电流	√
SF6 气体状态	√	油温、油位	√	CB 动作特性	△	阀片温度	△
分合闸信息	√	绕组温度	√	局放	△	动作次数	√
储能电机状态	√	铁芯接地	√	SF6 气体泄漏	√	—	—
电寿命状态	×	套管绝缘	△	—	—	—	—
—	—	局放	△	—	—	—	—
—	—	OLTC 状态	×	—	—	—	—

注：√ 为推荐配置；× 为不配置；△ 为需经过论证比较。

台与就地监测 IED 之间采用 RS485 光纤通信或 IEC61850 以太网光纤通信, 也可采用厂家内部规约通信。

各厂家后台与其就地监测 IED 之间可采用厂家内部模型建模, 只要其后台与全站综合后台之间采用 IEC61850 标准建模即可。

3.2.2 规约整合方案^[10]

鉴于换流站各种高压设备的在线监测系统生产厂家很多, 综合 Modbus-485 通信规约及 IEC61850 的特点使得不同生产厂家的在线监测系统组成一个综合在线监测系统, 具体如下:

各个生产厂家的在线监测子系统后台和换流站综合在线监测系统平台采用以太网口、通过 IEC61850 通信规约进行通信, 对于目前不支持 IEC61850 的设备通过规约转换装置转换成 IEC61850, 统一向综合在线监测系统传输信息, 然后由主控单元结合数据库、专家系统完成对各项监测参数的运算, 推测出设备运行健康状况, 进而向维修决策系统提供依据。各在线监测子系统后台通过总线方式接入在现场的各监测 IED 装置, 可采用双网, 以提高系统可靠性。各厂家的子后台与各厂家就地监测子系统之间采用 RS-485 接口, 遵守 Modbus-485 通信规约, 也可采用各厂家内部的私有规约与接口形式。

4 结论

本文分析了换流站中各一次设备在线监测单元的配置原则。期望通过 IEC61850 规约, 建设综合在线监测系统平台, 通过与各厂家监测后台之间的通信, 获取各厂家后台数据库的数据。这样既解决了当前技术条件下部分厂家的在线监测系统规约不开放等技术壁垒, 又可解决全站在线监测系统统一建模统一接入的问题。

参考文献:

- [1] 刘剑锋. 基于虚拟仪器和 IEC61850 标准的变电站设备在线监测系统的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学电气与电子工程学院, 2008.
LIU Jianfeng. Research on On-line Monitoring System of Substationpower Equipment Based on Virtual Instrument & IEC61850 Standard [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2008.
- [2] 杜剑光. 基于 IEC61850 标准的断路器在线监测装置 [J]. 华东电力, 2009, 37(7): 1080-1083.

- DU Jianguang. IEC61850-based On-line Monitoring Device for Circuit Breaker [J]. East China Electric Power, 2009, 37(7): 1080-1083.
- [3] 欧小冬, 王艳萍. 变压器绝缘在线监测系统的应用 [J]. 变压器, 2008, 45(1): 66-68.
OU Xiaodong, WANG Yanping. Application of Transformer Insulationon-line Monitoring System [J]. Transformer, 2008, 45(1): 66-68.
- [4] 许坤, 周建华, 茹秋实, 等. 变压器油中溶解气体在线监测技术发展展望 [J]. 高电压技术, 2005, 31(8): 30-35.
XU Kun, ZHOU Jianhua, RU Qiushi, et al. Development and Prospect of Transformer Oil Dissolved Gas On-line Monitoring Technology [J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(8): 30-35.
- [5] 李文书, 徐国政, 关永刚, 等. IEC61850 标准在 GIS 在线监测系统中的应用探讨 [J]. 高压电器, 2005, 41(5): 347-350.
LI Wenshu, XU Guozheng, GUAN Yonggang, et al. Study on The IEC61850 Standard Applied to The On-line Monitoring of GIS [J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(5): 347-350.
- [6] 李喜平. 基于 GPRS 的氧化锌避雷器远程监测系统 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学电气与电子工程学院, 2009.
LI Xiping. The Remote Monitoring System for Zinc Oxide Arrester Based on GPRS [D]. Harbin: Harbin University of Science & Technology, 2009.
- [7] 杨小平, 李盛涛, 张磊. 基于 RS-485 总线的金属氧化物避雷器在线监测系统的研究 [J]. 电瓷避雷器, 2003(5): 29-33.
YANG Xiaoping, LI Shengtao, ZHANG Lei. On-line Monitoring System for Metal Oxide Arresters Based on RS-485 Bus [J]. Insulators and Surge Arresters, 2003(5): 29-33.
- [8] 成永红, 陈玉, 孟永鹏, 等. 变电站电力设备绝缘综合在线监测系统的开发 [J]. 高电压技术, 2007(8): 61-65.
CHENG Yonghong, CHEN Yu, MENG Yongpeng, et al. Development of The Integrated Onl Ine-monitoring System for The Insulation of Power Equipment in The Transformer Substation [J]. High Voltage Engineering, 2007(8): 61-65.
- [9] 王德文, 阎春雨. 变电站在线监测系统的一体化建模与模型维护 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37(23): 78-82.
WANG Dewen, YAN Chunyu. Integrated Modeling and Online Monitoring System Substation Maintenance [J]. Automation Of Electric Power Systems, 2013, 37(23): 78-82.
- [10] 王德文, 邸剑, 张长明. 变电站状态监测 IED 的 IEC61850 信息建模与实现 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36(3): 79-85.
WANG Dewen, DI Jian, ZHANG Changming. Conformance Testing of IEC61850 in Substation On-line Monitoring System [J]. Automation Of Electric Power Systems, 2012, 36(3): 79-85.