

# 智能变电站继电保护在线监测系统设计与应用

文继锋<sup>1</sup>, 盛海华<sup>2</sup>, 周强<sup>1</sup>, 姜健宁<sup>2</sup>, 熊蕙<sup>1</sup>, 潘武略<sup>2</sup>

(1. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102; 2. 浙江省电力公司, 浙江 杭州 310007)

**摘要:**随着计算机技术和通信技术的发展,继电保护在线监测相关研究已经取得进展,可避免当前人工定期检验所带来的过剩维修的问题。提出了智能变电站继电保护及相关设备的在线监测系统级解决方案,定义了保护设备状态监测信息和传输方式,设计了智能变电站继电保护二次回路的物理链路和逻辑链路的在线监测方案。该方案在投运的新一代智能变电站进行了继电保护在线监测系统的工程化应用,实现了智能变电站继电保护装置以及二次回路在线监测,提高了智能变电站继电保护的运维水平。

**关键词:**智能变电站; 继电保护; 二次回路; 在线监测

**中图分类号:** TM76

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-0665(2015)01-0021-04

近年来,智能变电站的工程应用为继电保护系统的状态检修和智能诊断提供了良好的基础条件,将变电站中传统的不可在线检测的二次电缆变成为了可在线检测的光纤网络,同时继电保护设备的智能化程度不断提高,对装置关键信息的监视能力越来越强,为智能变电站继电保护系统在线监测和状态检修提供了良好基础。文献[1]提出通过获取设备状态信息、采用远程传动技术、以省级电网为单位广泛收集保护装置的家族性缺陷信息等要素构建检修体系结构。文献[2,3]研究了智能变电站网络通信诊断的方案,针对报文的通信特征进行网络报文的合法性判断和故障定位分析。文献[4]基于系统配置描述(SCD)文件,导出虚端子信息,进行虚回路静态分析检测。文献[5]分析了智能站组网方案,文献[6]设计了交换机在线监测系统,文献[7]重点研究了单一设备状态检修如何过渡到面向客户的系统状态检修。上述文献未详细涉及如何利用相关设备进行信息交互校验和提供系统级设备在线监测整体方案方面内容。针对智能变电站继电保护及相关设备的在线监测提出了系统级的解决方案,并在新一代智能变电站中实现了继电保护在线监测系统。

## 1 继电保护及相关设备状态监测

传统变电站继电保护装置只能发出“正常”或“异常”的状态信息,与之对应的检修模式是故障检修或定期检修,智能变电站继电保护及相关设备支持可连续监测关键模拟量的状态信息,并支持以通信的方式输出这些信息,状态信息监测子系统通过接收并缓存状态信息,识别并分析状态信息的长期变化规律,并结合装置损坏时的模拟量的状态特征,能够实现基于这些状态信息的继电保护状态检修。

### 1.1 状态监测信息

为实现智能变电站继电保护相关设备的状态监测

数据的综合利用,需要把相关设备的在线监测信息传输到计算机,以实现状态监测数据分析。可用于智能变电站继电保护状态检修监测的信息包括:

(1) 电源信息,电源电平输出。

(2) 温度信息,运行设备的内部工作温度、装置过程层光纤接口的温度。

(3) 光强信息,装置过程层光纤接口的发送光强、装置过程层光纤接口的接收光强。

(4) 统计信息,实际运行无故障时间、装置采样值(SV)统计信息、装置面向通用对象的变电站事件(GOOSE)统计信息等。

(5) 自检信息,装置硬件和回路自检信息等。

合并单元和智能终端可以输出如下信息用于状态监测:

(1) 温度信息,运行设备的内部工作温度、装置过程层光纤接口的温度。

(2) 光强信息,装置过程层光纤接口的发送光强、装置过程层光纤接口的接收光强等。

### 1.2 状态监测信息传输方式

实际工程应用中,由于合并单元和智能终端是划分到过程层网络,数据分析后台是划分到站控层网络,故其在线监测信息不能直接上传。可采用如下2种典型方式来实现相关数据的上传。

(1) 通过测控装置转发数据。如图1所示,在线监测信息通过GOOSE、SV网络配置(SMV)报文发送给测控装置,测控装置接收到报文后,将数据通过制造报文规范(MMS)报文上送给监测系统。

(2) 通过网络分析仪直接转发数据。如图2所示,网络分析仪可捕获过程层在线监测信息报文,进行报文解析后,再通过MMS报文发送端口转发数据。

实际应用中可综合采用上述2种方式。状态检修需要的信息都是在设备运行过程中形成。对信息突变概率较少的状态信息,可以采用周期略长、相对缓慢的

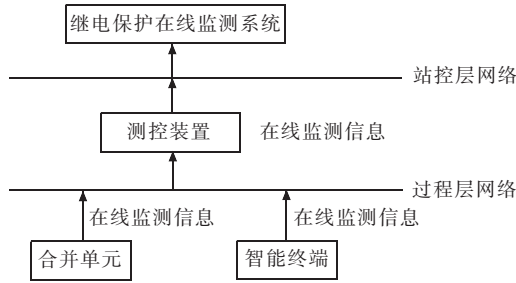


图1 过程层设备信息获取方式1

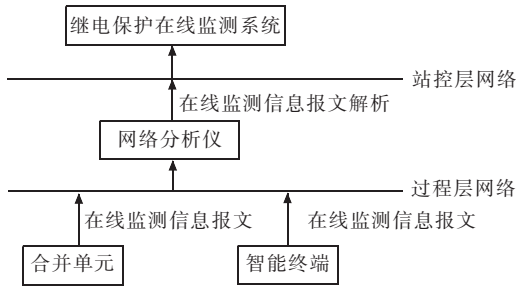


图2 过程层设备信息获取方式2

方式传输数据,例如全站继电保护设备每2h报送1次状态信息。而当变化量超过5%或分析状态有改变时,则实时报送1次。

### 1.3 状态检修监测应用实例

状态监测信息61850建模采用以下方式:在S1访问点下建立在线监测(MONT)逻辑设备,用逻辑节点类(lnClass)为温度监视逻辑节点(STMP)描述温度信息,用lnClass为电源监视逻辑节点(SVLT)描述电源电压信息,用lnClass为光强监视逻辑节点(SITY)描述光强信息,相关信息均添加到在线监视数据集(dsMONT)集中。

以装置内部温度为例,用STMP建模,其关键的数据对象类型(DO)有:Tmp对应当前装置温度,Wrn对应温度达到报警状态,Alm对应温度故障状态,Trip对应温度达到闭锁跳闸状态。装置本身设置有温度上限和温度下限门槛,当温度越限时,装置将发出对应的报警信息。同时继电保护在线监测系统可以获取装置内部和外部的温度数据,进行装置的温升判断,当装置温升超过门槛时,也可以发出报警信息,提前发现装置内部硬件故障导致的温度异常变化,为装置检修提供触发判据。

以过程层接收光强为例:首先为过程层接收光强设置上下限定值,光强越限时装置可以发出对应的告警信号。如图3所示,考虑到通信设备老化光强不断下降的特性(图形简化为线性模型,实际应用中可以根据已知曲线模拟),可以在继电保护在线监测系统中长期缓存装置的接收光纤数据,并分析其下降的趋势特性,在获得充足统计数据的基础上,可以预测光纤接收模块的损坏,提前安排设备检修。

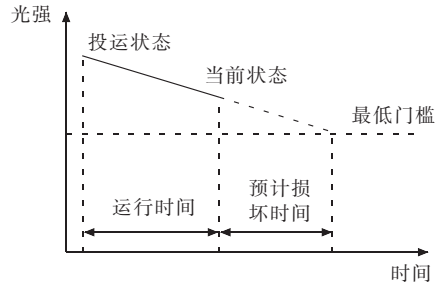


图3 接收光强监测原理

## 2 继电保护二次回路在线监测

智能变电站通过光纤的数字传输方式替代了传统变电站的电缆模拟量传输方式,可以通过正常运行情况下的通信数据交互来校验通信链路的物理通断和逻辑正确性,改变了以往电缆通信方式必须通过定检的方式进行校验。

智能变电站的二次回路在线监测包括物理链路通信状态和逻辑链路通信状态2种不同层次的内容。

### 2.1 物理链路通信在线监测

为了实现物理链路通信在线监测,需要明确智能变电站过程层设备的物理链路拓扑信息。无论采用组网通信方式,还是点对点通信方式,智能变电站继电保护系统的过程层通信方式都可以等效为图4所示。

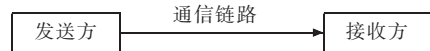


图4 通信等效模型

光纤通信的链路包括发送方光纤接口、点对点光纤、接收方光纤接口环节(其中发送方和接收方对应的设备,如保护装置、合并单元、智能终端和交换机)。

从设备损坏可能导致光纤网口通信异常的角度来划分过程层设备光纤网口构成,包括以下3个层次。

- (1) 整个装置。当装置电源出现异常时,将导致装置所有的光纤网络口通信出现异常。
- (2) 接口插件。当装置光纤接口插件出现异常时,将导致插件所有的光纤网络口通信出现异常。
- (3) 光纤接口。当装置单个光纤接口出现异常时,将导致该光纤接口通信出现异常。

光纤链路状态监视原理:如图5所示,光纤通信的监视功能是在接收方完成的,在光纤链路异常时,接收方将无法正常的接收数据,从而判断出光纤链路发生了异常,但是接收方实际上无法直接判断是链路的那个参与环节出现了问题,即无法定位到是发送方光纤接口、通信链路或者是接收方光纤接口发送了异常。

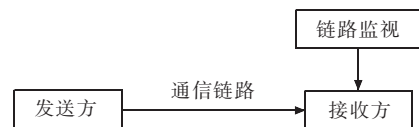


图5 通信链路监视示意

为了方便地实现光纤链路状态监视,接收设备发出的链路异常报警需要有明确的物理概念,一般采用针对发送设备的原则来定义。

实际应用过程中,过程层设备的光纤通信异常可能是插件异常或者是装置异常造成的,从而在设备异常过程中,整个变电站将有很多设备产生对应的链路异常信号,二次回路在线监测的一个主要功能就是综合全站的链路异常的告警信息以及过程层通信拓扑结构,统计故障发生概率,来定位哪个环节出现了故障。

在线监测系统后台实时接收到过程层设备的光纤链路异常信息,分析所有链路异常信息的发送端口和接收端口是否相同,并按照如下规则进行过程层链路异常定位。

(1) 当所有的光纤链路异常对应的发送端口(包括前向追溯的交换机交换端口)相同,则表明该数据发送端口、其对应的点对点光纤或接收端口出现了异常。例如,系统通信拓扑结构如图6所示,数据接收方1... $N$ 都发出了针对数据发送方的光纤链路出错,通过路由表追溯,就可以定位出错最大概率的环节是数据发送方和交换机之间的最小通信单元(包括发送、传输和接收环节)出现了异常(黑色粗体线条 $r$ )。

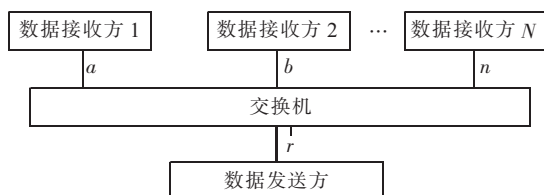


图6 链路故障定位示意图

(2) 当所有的光纤链路异常对应的发送插件(包括前向追溯的交换机模块)相同,则表明该数据发送插件出现了异常。

(3) 当所有的光纤链路异常对应的发送装置(包括前向追溯的交换机)相同,则表明该数据发送设备出现了异常。

(4) 如果是部分链路、端口发出异常信息,则采取如下步骤进行排查定位:

① 对过程层物理网络抽象建模,可以归纳出如下两类集合:插件端口集合(SLOT\_PORTS)、装置的端口集合(DEVICE\_PORTS);

② 分析GOOSE断链、SV断链的告警事件,解析告警事件,找到事件所属的信息组播地址(MAC)、应用标识(APPID)、源端口PORT、目标端口PORT,得到异常的路径集合和端口集合,统计集合中路径、端口出现的次数,计算某个端口、路径出现故障的概率,将故障概率最高的端口归到集合PORTS。

③ 如果 $PORTS=$ SLOT\_PORTS,则插件故障概率最高。如果 $PORTS=$ DEVICE\_PORTS则装置出现

的故障概率最高,否则交换机对应的端口故障概率最高,还需通过简单网络管理协议(SNMP)定位是交换机的哪个光纤网口故障或是交换机故障。

④ 运行人员根据分析出的故障发生概率的大小依次对相应的设备进行排查。

## 2.2 逻辑链路通信在线监测

智能变电站中,二次回路的整个生效过程是:先形成SCD文件,再导出装置可识别的配置文件,然后装置解析配置文件,并发送和接收对应报文,解析数据。配置文件的循环冗余校验(CRC)机制能确保下载到装置的配置文件和SCD文件的一致性,但无法保证装置解析配置文件的正确性,所以除了物理链路通信在线监测外,智能变电站过程层通信网络还需要进行网络通信内容有效性的在线监测,用来确保实际工程装置生效的过程层通信配置和SCD的集成配置完全一致。

按照IEC 61850标准要求,过程层GOOSE和SV在数据交换过程中,不仅交换通信数据,还交换配置数据,这为逻辑链路通信的在线监测创造了条件。过程层装置间通过GOOSE、SV报文交互的应用信息可以用(MAC,APPID)来唯一标识,交互关系在SCD文件中进行详细描述,SCD文件中定义了如下信息:

(1) 发送端GOOSE、SV报告控制块,以及报告控制块对应的数据集(DataSet)。

(2) 接收端Inputs关联了发送端数据详细信息。

(3) GOOSE、SV发送时对应的MAC、APPID等信息。

通过上述3组信息,在线监测系统在导入SCD文件后,读取GOOSE网络配置(GSE)、SMV、DataSet以及功能约束数据属性(FCDA)内容,构建FCDA与GSE、SMV的关联关系,并检索通信(Communication)节点,构建GSE、SMV对应的网络配置信息,检索GOOSE输入(GOIN)、SV输入(SVIN)为前缀的LN中的Inputs信息,得到发送者的FCDA以及接收者的插件、端口信息,可以构建过程层收发装置拓扑结构以及信息虚回路表。

目前主要厂家装置对GOOSE和SV配置均可进行在线校对,当发现发送配置和接收配置不匹配时能发出告警信号。在此基础上再验证发送的配置和SCD集成配置是否一致,就可以在逻辑上验证智能站相关装置的发送配置、接收配置与SCD集成配置的一致性,逻辑链路在线监测结构如图7所示。

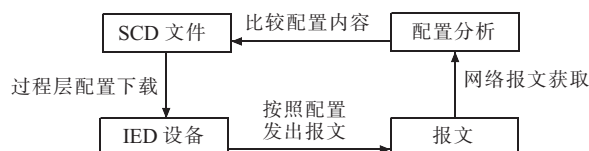


图7 逻辑链路在线监测示意图



在图7中,SCD工具将SCD文件中的GOOSE、SV配置信息形成配置文本,下载到装置。装置读取配置文本,发送相关数据集内容。在线监测系统通过网络分析仪周期抓包,获取过程层GOOSE和SV报文,可重构出配置内容,分析报文中的SCD相关配置信息,与SCD文件中的对应配置信息进行对比,发现异常时发出告警信号。

GOOSE报文校验内容如表1所示,包括控制块的通用信息和通信参数两大类,共5个信息项。SV报文校验内容如表2所示,包括3个信息项。

表1 GOOSE报文校验内容

信息类别	信息项	信息示例
控制块通用信息	控制块 GocbRef	PT1GOLD2/LLN0\$GOS\$gocb0
	GOOSE 标识	PT1GOLD2/LLN0\$GOS\$gocb0
	数据集 DatSet	PT1GOLD2/LLN0\$dsGOOSE0
控制块通信参数	组播地址	01-0C-CD-01-00-27
	应用标识	0027

表2 SV报文校验内容

信息类别	信息项	信息示例
控制块通用信息	SV 标识	PL1GOLD/LLN0\$GOS\$msvcb0
控制块通信参数	组播地址	01-0C-CD-04-01-60
	应用标识	4160

### 3 工程应用

在2013年度投运的220 kV北京未来城和110 kV武汉未来城新一代智能变电站中,投运了南瑞继保研发的智能变电站继电保护在线监测系统,该系统架构如图8所示。状态监测系统的实施流程为:

(1) 通过配置工具导入SCD文件,将光强、温度等在线监测信息提取录入数据库,建立保护状态监测模型。

(2) 通过画图工具,在画面上绘制展示保护装置的在线监测信息;配置监测信息的上下限值,当监测信息越限时进行越限告警。

(3) 和装置建立MMS连接,实时接收智能站相关装置的在线监测数据。

(4) 装置侧的遥信量、遥测量以MMS报告采用实时上送方式,条件触发产生的装置在线监测相关数据录波文件(简称状态信息文件)通过MMS文件传输服务方式。

(5) 后台通过解析SCD/CID文件,并抓取网络报文,进行状态对比分析。

(6) 数据告警和查询分析:遥信量变化可告警;遥测量可进行越限报警入库,并支持历史查询和展示历史库中的趋势曲线;状态信息文件则通过专用工具进行特征提取和的状态分析。

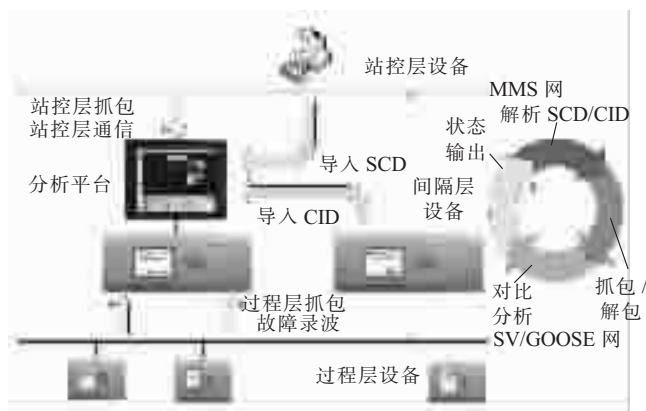


图8 智能变电站继电保护状态监测系统

### 4 结束语

智能变电站继电保护状态检修研究项目的开展,可最大限度地提高电力设备的利用率,减少设备停电时间;降低误碰、误接线、误整定事故的概率,提高变电站保护系统的运行可靠性,保证电网的可靠运行;对降低检修过程中人、财、物的浪费,提高企业经济效益也具有重要意义。文中提出了智能变电站继电保护状态检修监测的关键信息,给出了状态数据的最佳传输方式,阐述了继电保护二次回路物理链路和逻辑链路的在线监测原理和实施方式,并介绍了实际工程应用的监测流程,有利于智能变电站继电保护在线监测的推广应用。后续工作是,在智能变电站继电保护在线监测系统的基础上,结合传统变电站的继电保护评价规程中的评价要求,研究如何进一步提升智能变电站继电保护状态检修的水平。

#### 参考文献:

- [1] 韩平,赵勇. 继电保护状态检修的实用化尝试[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(19):92-95.
- [2] 许伟国,张亮. 数字化变电站网络通信在线故障诊断系统的设计与应用[J]. 电力自动化设备,2010,30(6):121-124.
- [3] 许伟国,张亮. 智能变电站网络通信状态监测与故障分析[J]. 浙江电力,2012(4):8-10.
- [4] 刘彬,林俊. 数字化变电站虚回路智能检测软件开发与应用[J]. 广西电力,2011,34(2):5-7.
- [5] 樊陈,倪益民. 智能变电站过程层组网方案分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(18):67-71.
- [6] 徐勇,陆玉军,张雷. 智能变电站网络交换机在线监测设计与实现[J]. 江苏电机工程,2014,33(2):52-55.
- [7] 汤宗亮,衡思坤,韦海荣. 电网设备系统检修策略[J]. 江苏电机工程,2014,33(3):53-55.

#### 作者简介:

文继锋(1978),男,江西萍乡人,高级工程师,从事电力系统继电保护、嵌入式平台软件研发和管理工作;  
盛海华(1967),男,浙江嘉兴人,高级工程师,从事继电保护运行管理工作;

## 参考文献:

- [1] 赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2004:71-75.
- [2] 戴熙杰. 直流输电基础[M]. 北京:水利电力出版社, 1990:133-138.
- [3] 谢菁,陈平. 直流输电线路行波故障测距系统[J]. 山东理工大学学报, 2006, 20(3):47-50.
- [4] 宋国兵,周德生,焦在滨,等. 一种直流输电线路故障测距新原理[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(24):57-61.
- [5] 陶利国,许云峰. 采用数字技术的小电流接地选线和故障定位装置[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(7):86-90.
- [6] 许小兵,董丽金,袁栋. 智能变电站小电流接地选线装置的研究与实现[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(5):55-58.
- [7] 任建文,孙文武,周明,等. 基于数学形态学的配电网单相接地故障暂态选线算法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(1):70-75.
- [8] 董新洲,毕见广. 配电线路暂态行波的分析 and 接地选线研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(4):1-6.
- [9] 付颖,罗隆福,童泽,等. 直流输电控制器低压限流环节的研究[J]. 高电压技术, 2008, 34(6):1110-1114.
- [10] 韩昆仑,蔡泽祥,徐敏,等. 直流线路行波保护特征量动态特性与整定研究网[J]. 电网技术, 2013, 37(1):255-260.
- [11] 宋国兵,高淑萍,蔡新雷,等. 高压直流输电线路继电保护技术综述[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(22):123-129.
- [12] 陈仕龙,张杰,毕贵红,等. 基于小波分析的特高压直流输电线路双端电压暂态保护[J]. 电网技术, 2013, 37(10):2720-2725.
- [13] 于洋,刘建,哈恒旭,等. 双极高压直流输电线路行波差动保护原理及方案[J]. 南方电网技术, 2011, 5(2):40-44.
- [14] 雒铮,朱韬析. 直流线路后备保护研究[J]. 广东输电与变电技术, 2010, 12(6):1-6.

## 作者简介:

张栋(1977),男,江苏盐城人,工程师,从事电力系统及自动化研究工作;

杨建明(1984),男,湖南茶陵人,工程师,从事高压直流输电系统控制保护研究工作;

卢宇(1979),男,湖北荆州人,高级工程师,从事高压直流输电系统控制保护研究工作;

吴林平(1980),男,安徽安庆人,高级工程师,从事高压直流输电系统控制保护研究工作;

赵文强(1985),男,湖北鄂州人,工程师,从事高压直流输电系统控制保护研究工作。

## The Fault Line Selection Strategy for HVDC Parallel Line

ZHANG Dong, YANG Jianming, LU Yu, WU Linping, ZHAO Wenqiang

(Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** In order to decrease transmission losses, double-line parallel operation mode is adopted in some high voltage direct transmission (HVDC) projects. However, only one line fault locator is configured due to the investment consideration and the limit of mounting position. Aiming at solving this problem, a fault line selection strategy is proposed based on the AC fault line selection experience and the analysis of the characteristic of DC line fault. The strategy is divided into transient fault line selection, rectifier steady fault selection and inverter steady fault selection. The proposed strategy is validated by real-time digital simulator (RTDS) system.

**Key words:** high voltage direct transmission; double-line parallel operation; characteristic of DC line fault; fault line selection

(上接第 24 页)

周强(1979),男,湖北武穴人,工程师,从事嵌入式平台软件研发工作;

姜健宁(1955),男,山东潍坊人,高级工程师,从事继电保护运行管理工作;

熊蕙(1977),女,湖北武汉人,工程师,从事嵌入式平台工具软件研发工作;

潘武略(1981),男,山东烟台人,工程师,从事继电保护运行管理工作。

## Design and Application of Relay Protection On-line Monitoring System in the Intelligent Substation

WEN Jifeng<sup>1</sup>, SHENG Haihua<sup>2</sup>, ZHOU Qiang<sup>1</sup>, JIANG Jianning<sup>2</sup>, XIONG Hui<sup>1</sup>, PAN Wulue<sup>2</sup>

(1. Nanjing Nari-Relays Electric Co.Ltd., Nanjing 211102, China;

2. Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007, China)

**Abstract:** With the development of computer and communication technology, investigation of on-line monitoring for relay protection system has made important progress, and could solve the over-maintenance problem caused by the traditional time-based maintenance approach. The paper promotes system-level solutions for on-line monitoring of relay protection system and related device in the intelligent substation, defines state-detecting information of protecting device and corresponding transmission mode, and designs on-line monitoring scheme for physical link and logic link of secondary circuit in relay protection system. Finally, engineering application of on-line monitoring for relay protection system in the intelligent substation shows that the solution can accomplish on-line monitoring on relay protection device and secondary circuit, which effectively increases the reliability of relay protection system.

**Key words:** intelligent substation; relay protection; secondary circuit; on-line monitoring