

电网设备监控信号综合智能分析技术及应用

随着电力行业的发展，电网设备数量和种类增加，信号监控工作也从单点监视转向综合化智能化监控。运用综合智能分析技术，为监控人员提供设备快速建模、信号自动验收及故障综合分析消除等辅助功能，提高工作效率，降低运行风险，更好地适应电网大运行体系建设的需求。

高尚¹ 吴奕² 唐元合¹ 朱海兵² 盛振明¹ 熊浩^{2/1}. 国电南瑞科技股份有限公司
2. 江苏省电力公司



高尚/中级工程师

关键词/Keywords

二次设备建模 ·
监控信号自动验收 ·
故障分析消除 ·

0 引言

随着电网规模不断扩大和“大运行”体系建设的深入推进，设备监控运行人员的工作压力也日益增大，监控人员面临的运行压力主要包括：新增一二次设备时大量建模工作，信号接入验收中繁琐的数据校核工作，日常运维中对异常告警的快速响应和对电网故障的准确分析。利用现代工业自动化和计算机辅助分析技术，从电力系统模型逻辑关系和历史数据中挖掘出有效信息，在设备建模、信号验收、监报告警和异常分析等监控运行人员日常工作的各个环节中实现自动或半自动的解决方案和辅助决策，并提供数据支撑，从而减少人工工作量，提高电网运行的安全与稳定性。

1 一二次设备快速建模

一次设备是指发、输、配电的主系统上所使用的设备，如发电机、变压器、断路器、隔离开关、母线、电力电缆和输电线路等。二次设备是指对一次设备的工作进行控制、保护、监察和测量的设备，如测量仪表、继电器、操作开关、按钮、自动控制设备、计算机、

信号设备、控制电缆以及提供这些设备能源的一些供电装置。设备正常运行时，监控人员需要监视一次设备量测和二次设备信号来辅助调度员监视电网安全稳定运行情况；设备异常告警时，监控人员需要通过对告警信号的分析，判断设备运行状态并采取措施保障设备运行正常；电网设备故障时，大量二次设备信号集中上送，调控人员在故障分析和快速恢复过程需要采取果断有效的措施。对监控基础信息及一二次设备监控的标准化建模，分析将这些保护信号和现场实际的一次设备及相应的保护动作有效地反映到调控系统中，是后续智能分析和辅助决策功能的前提和基础。在现行的电力系统中，一次设备建模已有成熟的方法体系，但二次设备建模尚缺乏有效的方法和工具，在数据库中建立一二次设备关联关系基本依赖监控人员的人工选择和操作^[1]。

本文设计的一二次设备快速建模方案通过分析现行电力监控系统中基础信号的类别和关系，建立一二次设备关联关系模板，并开发相应的快速建模工具，使得监控人员在为二次设备建模时可以迅速在系统中筛查出应与其建立关联关系的一次设备，实现建模、关联一次完成。

1.1 一二次设备关联关系模板

在现行电力系统中，对一次设备的分类已有成熟的方法，而二次设备通常统一分类为保护信号，没有更细节的模型分类。依据IEC61850、IEC61970标准中对二次设备数据模型的描述，结合调监〔2012〕303号《500 kV、220 kV变电站典型信息表（试行）》规范，对二次设备信号按照功能分类，如：一次设备

故障类、保护出口类、断路器液压机构类和测控装置类等。梳理现行系统中一二次设备信号间的逻辑关系，对同类型或同原因的二次设备信息进行分类，对每种一次设备可关联的二次设备进行枚举，形成一二次设备关联关系模板。

1.2 监控间隔模板

电气间隔是变电站中具有完善功能的电气单元，是包含一二次设备的一个完整回路。按照电网间隔类型的划分原理及方法，依据不同电压等级、不同接线方式以及包含不同类型的二次设备对系统中的间隔进行划分，分别建立典型间隔，并为其配置对应的一二次设备类型信息，形成典型间隔模板。确定一个间隔的类型，即可获得其应包含的一次设备和二次设备类型。

1.3 监控基础信息建模

在监控人员对基础设备信息进行建模时，以间隔为单位建立监控记录。按照间隔的实际电气组成为其选择间隔类型，通过监控间隔模板查询该类型应包含的一二次设备类型，再根据二次设备类型及设备名称模糊匹配等技术从系统中筛选得到该间隔应包括的设备信号，从而实现间隔中的一次设备、二次设备关联建模。

对现有监控系统中已经建立的一次设备和二次设备模型，也可以通过为一次设备间隔选择间隔类型，通过名称匹配和类型筛选出应与其关联的二次设备模型，实现现有系统中一二次设备模型自动关联。

2 监控信号自动验收

一二次设备通过建模在电力系统数据库中建立了逻辑关系，其信号需要经过传动验收才可被采纳运用。基础信号验收的工作一般需要监控人员和变电站现场人员相互配合，现场人员对监控信号逐一施加模拟量，监控人员监视确认。一个变电站往往接入多个不同的监控中心，验收时需要切换不同的系统或由多名监控人员同时配合监视确认，接入信号的量测是否正确主要依赖人工判断，在大强度长时间的工作环境中，难免会出现疏漏和错误，会给电网安全运行带来一定的隐患。

目前，国内一些文献对远动验收的研究主要有对分布式远动验收的合理化建议^[2]、不停电的传

动方式论证^[3]等，未有针对监控信息自动验收的研究报告。本文设计了一种监控信息自动验收方法，通过优化验收工作流程，利用计算机技术对接入多个监控中心的监控设备信号同时进行数据一致性校核，提高了验收工作的效率和准确性。

2.1 多源监控信号自动验收方法

多源监控信号指一个变电站中设备的量测数据通过多路通道采用不同的通信方式接入到监控中心，或分别接入到不同的监控中心中（如主用调度系统和备用调度系统）。对多源监控信号的验收一般按通信通道逐一进行试验，监控人员通过人机工具监视其中一个通道的实时数据，由变电站现场人员对监控量测施加模拟量，监控人员核对监控中心系统接收的量测值是否与变电站端一致。一个通道确认完毕之后再切换另一个通道或监控子系统重复上述模拟校验步骤。

分析监控信号的验收流程不难发现，验收工作中可以优化的有：①归并重复的工作步骤，多源监控信号可以通过一次验收多个通道中的量测数据提高效率。②利用计算机辅助校核多个通信通道的量测数据是否一致，提高验收和监视时发现问题的效率和准确度。

利用计算机软件可以将多个数据源的数据并列展示并自动比较是否一致，对于一致的多路数据，监控人员只要监视其中一路即可确认验收；对于不一致的数据由软件提供告警方便监控人员排查。

2.2 数据一致性自动校验

多源监控信号是通过不同的通道采集到监控中心或多个系统中的，不同通道的通信方式和通信规约可能并不相同，不能直接使用通道的原始通信报文作为比较对象，应当由调度自动化系统中前置采集服务器上的通信软件处理通信报文后，将不同通道的报文都转化为“量测、数据”的一一对应关系后再校核不同通道的数据是否一致。

电力系统通信中，量测采集通常采用监控中心与变电站约定的“点号”作为通信中量测的标识，多源量测可能会出现同一量测在不同的通道中对应的点号不一致的情况，因此以点号为基础进行数据校验的方法存在一定的局限性。但在同一监控系统内，量测在数据库中的ID是唯一的，因此在比较前需要将每个通道中量测的点号转换

为量测的ID，再以量测ID为索引，比对多路通道中的实时数据。

监控中心通过不同的通信方式接收同一个量测时，还可能因通信传输速率不同导致量测变化有快有慢，在自动验收中，要考虑到通信时延不同造成的数据暂时不一致，减少过度“敏感”造成的误报。

综合考虑以上因素，本文设计了一种周期性获取同一量测的多路通道数据进行比较，多周期延迟告警的多源监控实时数据一致性校核方法。软件为观察的每一个信号量测设置一个不一致计数器，以一个固定周期观察各个通道的实时数据，按一定的比较策略进行一致性校验，对不满足多源数据一致条件的量测的计数器递增1；对满足多源数据一致条件的量测的计数器清零。当不一致计数器达到预设数量时，软件通过告警等方式提示监控人员予以关注。

监控信号校核主要是对变电站上送的遥测、遥信进行监视确认，根据数据类型不同，数据一致性判定策略也有一定的区别。

2.1.1 遥信一致性判定策略

遥信一致性判定策略为，所有通道的数据都一致为“分”或“合”时认为遥信一致；否则认为遥信不一致。

当某个的采集通道故障或者退出时，该通道的数据因不具有实时性，不参与一致性判定；当采集通道恢复后，该通道数据自动加入一致性判定。

2.1.2 遥测一致性判定策略

遥测一致性判定策略与遥信相同的是：采集通道异常时，该通道数据不参与一致性判定。

校验多个通道的遥测值是否一致时，由于各通道的实时数据变化有快有慢，不能通过直接比较是否相等判定一致性，应当以其差值或差值百分比作为判定依据。计算同一ID的遥测在不同通道中的数值差异百分比，当差异百分比大于预设阈值则判定为不一致。一些遥测的正常值数值较小（如绝对值在0~1），使用百分比方式去校验数据一致性往往会过于敏感。对于这些数据可以采用差异绝对值比较法来判定是否一致。

2.3 自动验收软件架构

为了比较同一个量测的多个源的实时数据，

需要将多个源的数据暂存在一个存储空间内，而监控中心考虑到系统健壮性的需求，往往将数据采集通道分布在多台前置采集服务器上，或是分别属于主备两个系统。在一台服务器上存储所有监控量测的所有通道的实时数据进行比较的方法既不符合实际约束条件，也不能满足未来系统规模扩展和量测数量增长的需求。

本文设计的监控信号自动验收方案是基于服务总线和客户端/服务器架构的。如图1所示，各前置采集服务器提供通道实时数据查询服务，客户端向各个通道所分布的服务器请求实时数据，并以ID为索引将各个通道的数据排列后再进行一致性比较。通道属于两个系统，一个系统内的客户端可以通过服务代理远程调用另一个系统中的实时数据查询服务。

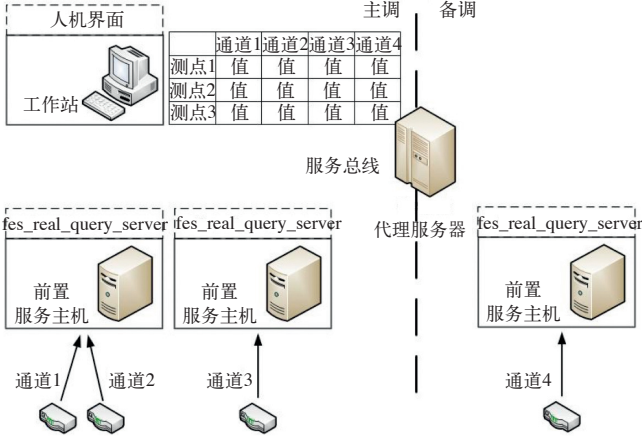


图1 自动验收软件架构图

在监控信号验收时，监控人员使用具有图形界面的工具，选择需要验收的变电站后即可自动开始数据一致性校验，所有的数据都实时取自各通道所在的采集服务器，除了微小的网络数据传输时延外没有其他的时间开销，保证了验收的实时性和有效性。

以计算机软件技术辅助监控人员验收监控信号可以大幅度降低人工工作量，以计算机自动比较数据一致性代替人工校核可以有效降低错误风险。

3 输变电设备过载监视与故障预案

监控人员的日常工作重心之一是对输变电设备运行状态进行实时监视，及时发现负载较高的设备，快速响应并进行有序准确的处理，消除异常状态，维持各设备的运行处于稳定状态。然而

人工监视方式并不能有效发现系统的各种问题^[4]，在实际工程中，通过为各类设备的量测设定限值来实时监视设备运行状态。利用设备状态在线报警技术^[5-6]，当量测数据逐渐接近限值或已超过限值时进行预警，同时根据监视厂站总加值与历史经验值是否一致，来初步判断电网运行状态是否正常。不同设备的状态预警之间过于独立，不能对多个预警联系分析，更难以提出准确的故障应对方案，如何分析当前电网运行状态，如何进行故障消除，更多的是依赖调度员的个人经验。

本文设计的故障预案将调度员的经验提炼转化为规则，在实时监视输变电设备运行状态的基础上，对各类预警综合分析，判断出当前电网状态是否需要进入故障处理，并给出处理预案。

3.1 输变电设备过载监视

输变电过载监视主要包括母线、交流线路以及主变三类主网设备，对母线可从是否接地、电压是否越限及电压波动是否过大三个方面进行监视；对于交流线路，可监视其电流值是否超过额定电流；对于主网变压器，除了可以监视电流是否过载以外，还可监视功率是否过载。

如图2所示，对于母线设备，需要监视其电压越限及电压波动范围越限、母线可疑接地等异常状态。通过历史数据中每日母线电压计划动态计算实时限值。通过每日电压最大值与最小值差值以及实时差值监视方法，计算实时波动率。通过母线三相电压值实时监视母线运行状态，提示可疑接地状态。对于母线运行各类异常状态，在预案库中找到匹配信息，提示调节母线点压的方法，并生成操作序列，逐步执行以达到消除异常的目的。

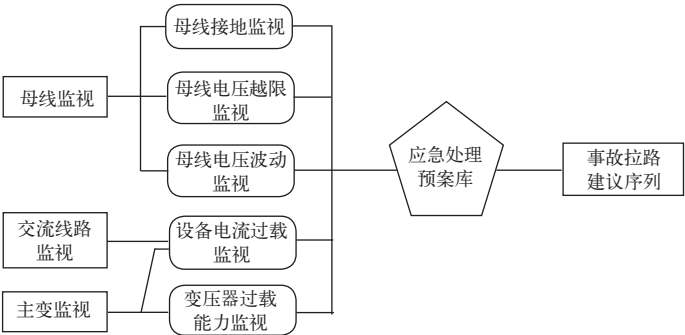


图2 过载监视与故障预案结构图

对于交流线段设备，输变电流过大会导致线路热损耗增大，实时监视电流过载，检测到过载时立即预警。

对于主网变压器设备，单个变压器运行故障可能导致站内其余变压器负荷过载，不及时处理可能造成设备损坏。通过预定义起始负荷倍数与过负荷倍数，实时监视主变功率，一旦发现负荷过载立即预警。

3.2 故障预案处理

故障预案库根据调度员的经验提取出故障判断的条件以及相应的处理拉路序列。当设备过载监视模块发出异常预警时，触发应急处理流程，在故障预案库中进行设备关键字匹配，取出对应的事故处理方案，向监控人员弹出事故告警及功率缺额状态下故障应急处理拉路序列，由监控人员手动或选择自动逐条进行远方控制操作，降低设备负载率，及时排除故障，恢复电网正常运行。

事故预案处理简要流程如图3所示，由3个子流程协同进行处理。

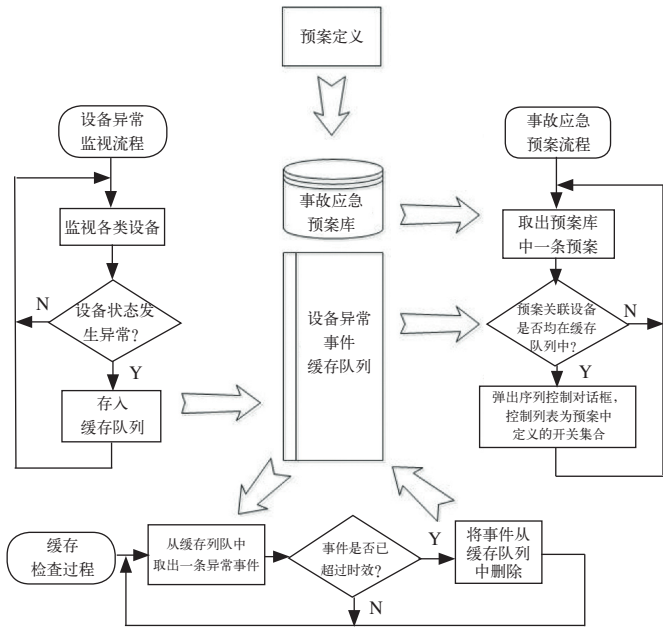


图3 故障预案处理流程图

3.2.1 设备异常监视流程

按上述类监视方法对母线、交流线段和变压器进行监视，发现异常时将其存入设备异常事件缓存队列中。存储内容包括设备类型和设备标识、异常类型、发生时间。

3.2.2 事故应急预案流程

逐条检查事故应急预案库中各预案，取出每

条预案关联的设备及相应的异常类型是否存在于异常事件缓存队列中。

3.2.3 缓存检查流程

检查异常事件缓存队列中各事件发生时间与当前时间差值是否超过设定时间，若超过则将其从缓存中移除，不再作为事故预案判断的依据。

通过对输变电设备运行状态实时监视、实时计算负荷，能够及时准确地发现异常状态，通过故障预案处理能够迅速提示故障处理方案，帮助调控人员及时调节负载率较大的设备，平衡各设备载荷，提高电网利用率，避免状态恶化引起设备损坏或功率缺额等严重故障。

4 多主题告警窗

告警窗是监控人员监视设备运行状态，获取异常消息的重要人机界面，在电网发生异常时，如何通过告警信息快速定位、分析及处理问题，是有效防止异常范围扩大、减少损失的关键因素。传统的监控信息告警窗采用分页模式、固化显示主题，无法直观总览电网监控信息概况，无法根据异常侧重点切换监视方式，无法有选择地重点监视异常信息，没有有效监控的辅助手段，不能更好地辅助调控人员掌控电网运行。

本文设计的多主题告警窗，如图4所示，通过系统预定义的监视条件，如：告警类型状态、调管责任区等，按告警等级分类实现多主题告警视窗，同时监视多个等级告警信息，有助于调度监控人员直观总览电网各类型异常信息，更好地辅助调控人员掌控电网运行。

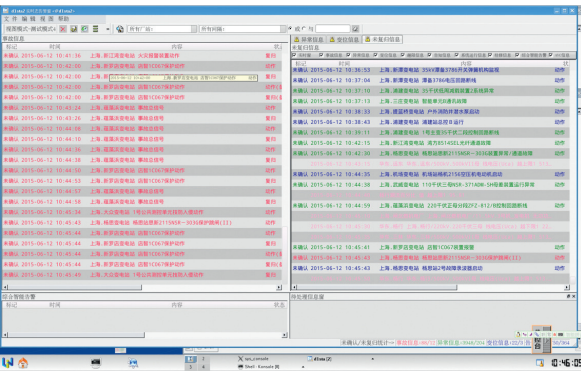


图4 多主题告警窗

多主题告警窗主题模式的定制与切换，解决了各级调度监控监视信息侧重点的不同、同级调控中

心不同专业监视侧重点不同及同专业不同运行情况监视侧重点变化等监视需求，提升了监控运行效率。

通过临时自定义条件动态生成Dashboard即时监视视窗，有针对性的独立监视部分重要信号，辅助监控运行人员监视重要或异常信息。

通过事故关联信息分析提取方法，有助于调度监控人员快速定位、分析及处理问题，防止因处理滞后而导致事故面扩大。

5 结束语

文中论述的设计方案已在江苏电网成功实践，通过结合综合智能分析技术和电力系统的历史经验，切实提高了电网设备监控信号建模、验收和异常监视与处理等各个环节的效率和准确性，降低了人工工作量，为监控人员提供了更方便、更灵活且更可靠的工作方式，为电网安全稳定运行提供更多保障。

参考文献

[1] 陈爱林, 耿明志, 张海东, 等. 智能变电站和主站共享建模的关键技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(9): 72-76.

[2] 潘鹏飞, 胡长捷, 周围. 分布式运动终端的验收内容和试验方法[J]. 供用电, 2008, 25(5): 29-31.

[3] 张继龙, 王潇. 一种变电站远动信息传动的办法[J]. 华东科技, 2012(4): 34-35.

[4] Wollenberg B F, Sakaguchi T. Artificial intelligence in power system operations[J]. Proceedings of the IEEE, 1987, 75(12): 1678-1685.

[5] 唐涛. 电力系统厂站自动化技术的发展与展望[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 92-97.

[6] 苏鹏声, 王欢. 电力系统设备状态监测与故障诊断技术分析[J]. 电力系统自动化, 2003(01): 61-65.

作者简介

高尚 (1986-), 女, 研究生, 中级工程师, 从事电力系统自动化软件研发工作。

(收稿日期: 2015-12-10) EA
(编辑: 崔文静)