

基于时标量测的电网实时预警关键技术方案

赵家庆¹, 唐 胜², 钱科军¹, 田 辉², 丁宏恩¹, 周 绮², 俞 瑜¹, 李 春¹, 王 鼎¹

(1. 国网苏州供电公司, 江苏 苏州 215004; 2. 江苏瑞中数据股份有限公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 时序数据库使记录带时标量测数据成为可能, 因此提出了基于时标量测的电网实时预警方案。该方案包含 4 个核心技术点, 即系统数据的分流处理、脚本驱动的告警规则定义与执行、基于运行历史数据挖掘的运行状态预测告警、告警结果精细化的展示以及多样化的辅助决策分析, 实现了电网模型数据与时标量测的实时数据、历史数据融合应用, 解决了电网量测跳变难以捕捉、告警准则单一、电网运行异常时缺乏预警手段等问题。所提方案在实际工程中的应用结果表明, 其提高了预警系统的准确性和有效性。

关键词: 电网; 调度自动化; 预警系统; 实时数据库; 时标量测; 模型; 数据融合; 数据处理

中图分类号: TM 734

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.10.026

0 引言

随着“大运行”体系的不断推进, 电网规模日益扩大^[1-2], 对电网安全运行以及供电可靠性的需求也越来越高^[3-4], 而告警系统作为监视、保障电网安全运行的重要工具, 在电网调度监控中起着举足轻重的作用^[5]。

近年来, 国内外针对电网安全告警开展了相关研究并取得了一定的进展^[6]。文献[6]从故障分析的角度分层分类别阐述了智能告警的内涵并对智能告警发展趋势进行了深入分析。另外在智能告警或预警应用方向也有相关的研究; 文献[7]总结了国内外预警系统的现状, 提出了一种大电网安全可靠运行的分级梯度预警预控方法; 文献[8]围绕智能告警、故障诊断和故障恢复等方面研究实现了服务地区电网的智能调度辅助决策系统; 文献[9]通过可视化提升、图形扩展以及多系统数据关联等手段开发了

在线可视化预警调度系统; 文献[10-11]阐述了电网动态监测专业下的预警与辅助决策系统的功能, 分析其应用效果并进行了功能展望; 文献[12]则在电力系统静态安全分析的方向上, 采用基于电压稳定指标的模糊聚类数学方法实现以节点载荷能力为核心的电压稳定指标预警分析方法。

上述智能告警、预警的研究成果大多是在当前调度运行系统模式下, 提出的解决告警系统某个或某类问题的方法或思想, 是对电网智能化安全运行的重要探索和实现, 在当前主流的调度自动化系统中能够满足基本的告警分析需求, 为电力生产运行提供了较全面可靠的支撑。但是上述研究成果中电网调度系统大多基于关系数据库, 其存储精度为分钟级, 导致在告警判断分析时, 很难获取电网真实的秒级历史数据, 即告警判断缺乏全面的数据支撑, 难以完成瞬时告警的捕捉、历史时刻告警的回溯分析, 且不能有效利用电网全息的海量历史数据进行实时

收稿日期: 2013-10-25; 修回日期: 2014-08-26

Sensitive factors affecting transmission capacity of large-scale UHV power supply system

QIN Bo, LI Xingyuan, HU Nan, LI Kuan

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The formula of equivalent damping coefficient considering the characteristics of sending-terminal is deduced and analyzed for single-machine system with load. The analytical results show that, the relative rotor degree and the electrical distance are the main factors affecting the damping characteristics of system and the equivalent damping coefficient is inversely proportional to both of them. Simulations are carried out in PSASP for Ximeng and Jinjie-Fugu large-scale UHV power supply systems, which, verifying the correctness of theoretical analysis, show that, the large-scale power supply system under $N-1$ or $N-2$ operating state grows the dynamic instability much easier than the normal power supply system. Suggestions for the operation of large-scale power supply system are given according to the theoretical analysis and simulative results.

Key words: UHV power transmission; large-scale power supply system; low-frequency oscillation; damping; electrical distance; transmitted power; sensitive factors; stability

告警分析以及预警分析,在电网规模日益扩大、电网运行可靠性要求日益提高的背景下,在原有基础上发展新的技术方案迫在眉睫。

近年来,时序数据库在电网中的集成应用使得高精度采样并全息记录电网运行过程中带有时标数据成为可能^[13-17]。因此,本文提出了一种基于时标量测的电网实时预警方案,有效地解决了量测跳变难以捕捉、告警规则单一、电网运行异常时缺乏有效预警手段等问题;并将其成功应用到地区智能电网调度控制系统中,将电网运行实时数据、全息历史数据以及电网模型数据三者融合,实现实时运行状态快速预警。

1 基于时标量测的实时预警系统设计思想

完整、准确、及时、可靠的基础信息是电网监视、预警和辅助决策的基础^[18]。为了实现准确可靠的实时预警,本文立足于实时数据库存储的带有时标的电网量测数据,确立了基于时标量测实时预警的总体技术架构如图 1 所示。该架构采用关系数据库以及实时数据库作为混合数据源,包含新的实时数据入库处理、基于规则的告警、基于历史数据的预警以及前端可视化,在完成基础数据分流存储以及调度基本的告警系统功能的同时,综合加入了基于规则的联合告警以及基于历史数据的智能预警,满足不同的告警业务应用需求,形成一体化的电网实时预警

体系架构,新的预警模块可以插件的方式增加到该开放式的架构中。

在调度自动化系统中实现基于时标量测的实时预警有如下核心技术点。

a. 系统数据的分流处理。实现电网运行过程中所有带有时标的量测数据均通过数据采集与监视控制(SCADA)系统进行数据处理后存入实时数据库中,实现时标量测数据的全息记录,为后续的智能告警、预警以及其他电网业务应用提供全面的历史数据支撑。

b. 脚本驱动的告警规则定义与执行。实现从告警业务应用需求到规则脚本的平滑完整描述,使得无论是单一量测的多时刻数据组合判断,还是多个量测的数据组合判断,都可以通过配置告警判断规则的脚本实现。

c. 基于电网运行历史数据挖掘的运行状态预测告警。通过电网设备历史数据训练学习以及当前状态的运行数据,预测最贴近长期历史运行的状态数据,从而可以通过预测数据与实际数据的差距对比,发现电网设备的不良状况,最终实现预警。

d. 探索告警结果精细化的展示以及多样化的辅助决策分析。研究实现按照电网模型的告警/预警信息显示、告警相关量测前后一定时间段的数据对比分析以及对重要告警进行接线图和数据曲线的历史反演等功能。

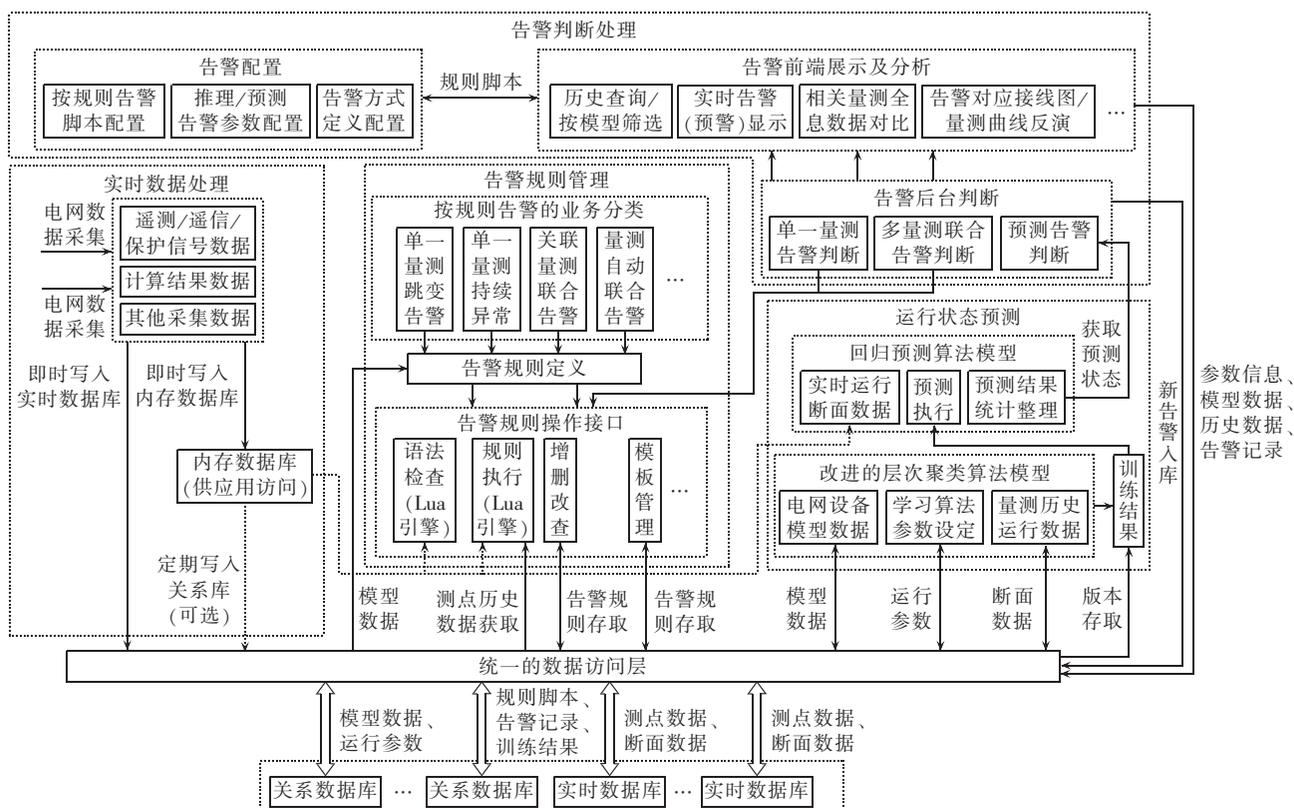


图 1 基于时标量测的实时预警体系架构

Fig.1 Architecture of real-time alarm system based on measurements with timestamp

2 关键技术方案

智能告警可分为基于规则、基于数据、基于模型以及基于推理等方向,如图 2 所示。

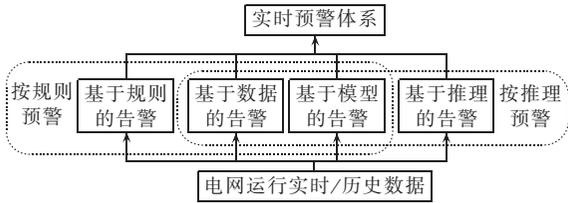


图 2 实时预警分类示意图

Fig.2 Schematic diagram of real-time alarm classification

本文以综合的实时预警为目标,弱化了各种分类之间的关系,将规则、模型、数据融合,达到按规则实时预警的目的,如对于电网中的某个设备,会有温度、功率因数、电压限值等多个限值规则,在运行过程中会有一系列的指标,需要计算后才可以进行判断,利用计算后的数据以及原始的实时和历史数据,本方案试图通过规则的完整脚本描述完成多个限值规则的结合,实现按规则实时预警;另外,本方案也将模型、数据、推理算法融合,达到按推理结果进行实时预警的目的。

2.1 系统数据的分流处理

常规的调度自动化系统中,前置机采集到的实时数据报文经 SCADA 系统处理后存入系统的内存数据库中,供系统的各种应用使用,而内存数据库中的数据按分钟级(如 5 min)周期存储到历史数据库即关系数据库中。笔者在前期工作^[13]中提出了集成实时数据库后的调度自动化系统的数据流,即关系数据库仍作为电网运行数据周期存储的载体,而实时数据库则并行地记录全息的带有时标的量测数据。为了实现全息存储并充分利用时标量测数据,在以上集成思想的基础上,提出如下技术创新点。

a. 按照 IEC61970 系列标准对电力系统公共信息模型(CIM)及应用程序接口规范^[19-20],在调度自动化系统中提供模型代理服务以及标准的模型访问接口,接口集成至统一的数据访问层中,服务则集成至调度自动化系统的平台服务层。服务完成电网模型的组织以及模型的具体量测与实时数据库测点的映射构建。该技术创新点的前提是:在调度自动化系统的模型数据库中已定义了系统实时采样量测与实时数据库中数据信息的映射关系,包括实时数据库中对应测点名称、压缩配置、数据有效时间等重要参数。

b. 调度自动化系统的实时数据处理模块根据创新点 **a** 中列出的时标量测在实时数据库中的关键信息,来自前置机的带有时标的量测数据预处理后存入实时数据库中,同时将数据存至内存数据库供系统原有应用在必要时访问。

c. 应用通过具体时标量测对应的实时数据库测点名称或创新点 **a** 中提及的模型访问接口得到存放在实时数据库中的量测数据,包括某个量测一段时间历史数据的获取、多个量测在某时刻的断面数据获取、某个模型某个时刻所有量测的数据获取等数据访问方式。图 3 是集成实时数据库的调度自动化系统数据流图。

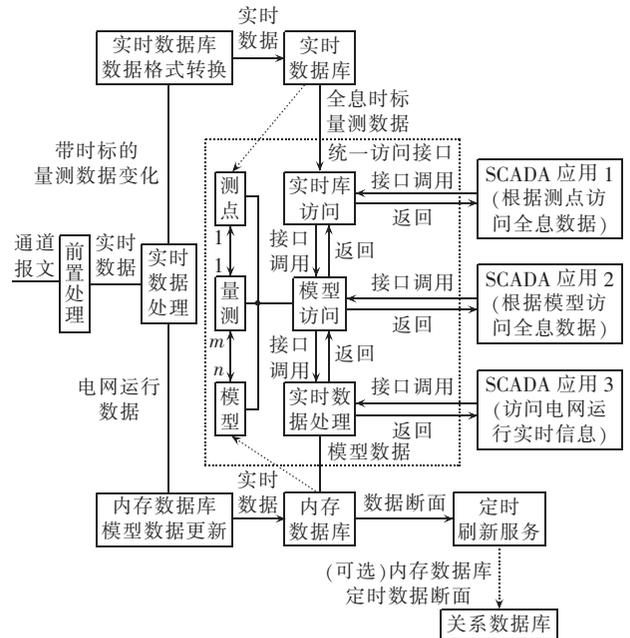


图 3 调度自动化系统的数据流

Fig.3 Data flow of dispatch automation system

图 3 中,虚线框外的部分是调度自动化系统集成实时数据库之后的数据流向,在处理实时数据之后,数据可能分为带时标的量测变化数据和电网运行实时数据 2 种流向,也可能是其中的一种流向;虚线框内则包含了实时数据库访问、模型访问、内存数据库访问等访问方式,这些方式都封装在数据统一访问层中;1、m、n 为设计时对要素如测点、量测、模型之间的映射关系的描述,如测点与量测的关系为 1:1,即 1 个量测对应 1 个测点;模型与量测间的关系为 $m:n$,即 1 个模型可能涉及 m 个量测,而 1 个量测可能为 n 个模型所用。

2.2 脚本驱动的告警规则定义与执行

调度自动化系统的告警业务需求是通过告警限值、开关变位等固有的告警定义方式实现的,这种方式能够满足对电网实时运行状态诊断判定的基本需求,但也存在诸多局限,如无法结合 1 个量测的多个时间点数据进行联合判断、多个量测之间数据的联合判断以及告警规则定义的灵活度差等。而常见的利用告警专家库中的专家知识进行告警的智能判断则依赖调控人员经验以及理论分析,且侧重于原因分析以及故障解决方法,在实际的告警判断环节没有明显的改进。本文集成 Lua 脚本引擎,将传统的告

警业务需求通过简便高效的规则脚本描述并定义,再通过后台服务执行脚本并对判断结果进行后台存储及前端展示通知的处理。图 4 是基于脚本驱动的告警判断流程示意图。

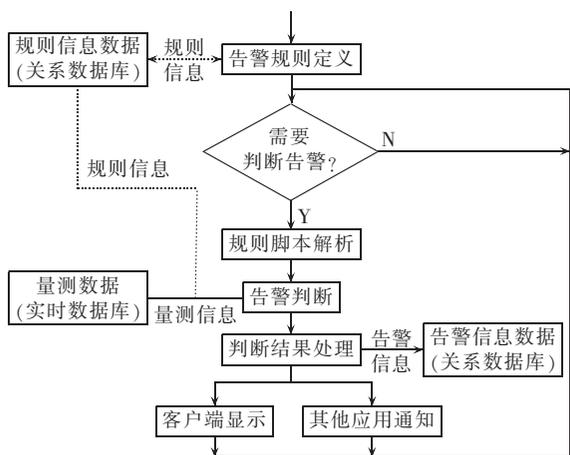


图 4 脚本驱动的告警判断流程示意图

Fig.4 Flowchart of script-driven alarm judgment

(1) 告警规则定义。

Lua 脚本是精简的脚本语言,运行速度快,且能够方便地嵌入 C/C++ 程序中^[21-22],其脚本引擎可以与主流的调度自动化系统无缝集成。本方案中的告警规则脚本使用 Lua 语法作为语法规则约束,利用其逻辑判断、循环、数学函数、字符串函数、自定义变量以及自定义函数等强大的逻辑设计功能^[23],首先完成调度自动化系统中模型访问函数、历史数据访问函数、实时数据访问函数的脚本封装,并扩展到 Lua 脚本引擎中,以此作为告警规则定义的基础;其次,在告警规则定义时,将电网模型可视化树结构,遥测限值设置、遥信变位设置、告警结果类型设置等集成到规则菜单中,告警规则定义时只需要将模型树中的量测项拖入配置框,再选择弹出的规则菜单项即可对电网带时标量测的告警完成基本的规则脚本生成,也可以基于告警规则脚本模板或人工编写脚本完成告警规则定义;最后,利用脚本引擎对脚本进行语法检查以及告警定义规则合法性检查。

(2) 后台执行及结果处理。

根据告警规则的配置,对于基本的告警,首先需要解析所有规则脚本得到每个脚本中涉及的量测,并向实时数据库订阅这些量测的实时数据,然后根据实时数据库的数据通知来持续地维护量测的实时数据,且当接收到量测的新数据通知时即对涉及到该量测实时数据的告警规则进行判断执行;而对于需要周期性判断的告警规则,则通过告警判断的后台程序根据时间进行告警判断。

对于判断出的告警信息,主要有 3 种处理方式。

a. 告警信息入库。以告警时间以及告警配置别

名作为关键词,将告警信息存入关系数据库中,作为告警信息历史回溯分析的基础。

b. 预警系统统一客户端展示。将实时产生的告警信息推送至系统的客户端展示界面,实现对电网运行告警全面而及时的跟踪。

c. 其他应用的通知。告警判断处理后台提供根据告警类别进行告警订阅的功能,在新的告警信息产生时,即根据订阅情况向各应用进行信息分发推送。

2.3 运行状态预测告警

间隔是由若干相互关联的设备与设备之间的连线组成的设备集合,而将厂站内的断路器和刀闸按照其组成、功能、接线方式进行分组就得到了电网的间隔,间隔是调度监控人员进行电网业务管理、操作的重要组织形式。现有的告警系统中,未见以电网间隔作为告警分类依据的功能,本方案即以电网间隔中各量测的历史运行数据为基础,挖掘得到间隔历史运行模型;然后基于间隔历史运行模型,对间隔实时运行的状态进行判断,计算其与历史运行模型的差别以确定当前运行是否存在异常,同时定位间隔中各个分量对偏差的贡献程度,最终实现面向电网间隔及其相关量测的预测告警。

步骤 1: 间隔历史运行模型构建。

间隔历史运行模型构建采用层次聚类的思想。首先读取反映间隔正常运行的历史数据集,每组数据都由间隔的关键量测即有功 P 、无功 Q 、电流 I 及断路器状态 B 组成,称为间隔历史数据向量 (P, Q, I, B) ,从历史数据向量集中得到间隔历史运行的最大向量 $(P_{\max}, Q_{\max}, I_{\max}, 1)$ 以及最小向量 $(P_{\min}, Q_{\min}, I_{\min}, 0)$,将历史数据向量集标准化,标准化时断路器状态 B 不变,另外 3 个量测 P, Q, I 的标准化方式为:

$$(P', Q', I') = \frac{|(P, Q, I) - (P_{\min}, Q_{\min}, I_{\min})|}{|(P_{\max}, Q_{\max}, I_{\max}) - (P_{\min}, Q_{\min}, I_{\min})|}$$

然后根据模型构建的参数,包括对各历史向量聚类的初始范围向量、扩展范围向量,依次处理标准化后的数据向量 (P', Q', I') ,根据数据向量集的最大向量、最小向量将其标准化,第一个向量自成一个类模型,其后的向量根据其与各个类模型的距离差、类模型范围以及扩展范围确定是否需要与某个类模型结合,然后确定其所在的类模型(属于某个当前已有类模型或者自成一个新的类模型),直到所有间隔历史数据向量被处理一遍,至此得到若干个类模型,总称为间隔历史运行模型。图 5 是间隔历史运行模型构建的流程示意图。

步骤 2: 间隔当前状态预测告警。

间隔当前状态预测采用基于相似性的回归预测思想。在步骤 1 中产生的间隔历史运行模型已经覆盖了间隔几乎所有正常运行下的状态,包含多个聚

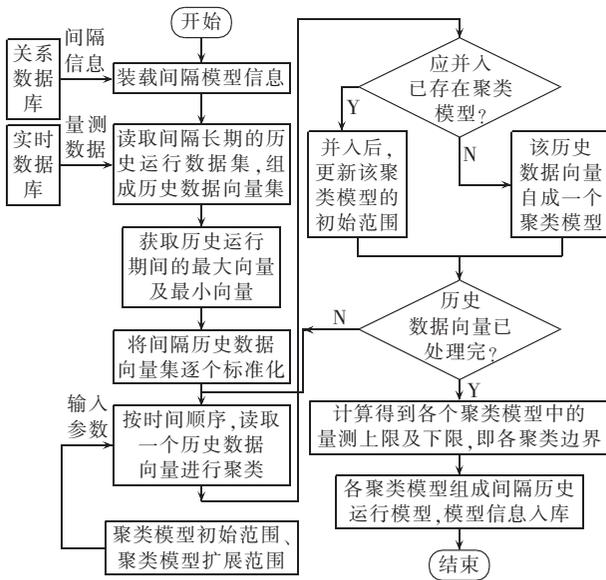


图 5 间隔历史运行模型构建的流程示意图

Fig.5 Development of historical operating model for bay

类模型即正常状态。在调度自动化系统实时运行中,根据采集得到的实时量测数据向量,得到与其距离最近的历史运行聚类模型即近似模型。在计算与每个历史模型的距离时,有如下准则。

a. 如果断路器状态为 1,那么只与断路器状态为 1 的历史模型计算距离;如果断路器状态为 0,则只与断路器状态为 0 的历史模型计算距离。

b. 如果量测实时值大于该模型的对应量测的上限值,那么该量测分量的距离为实时值减去模型对应分量的上限值。

c. 如果量测实时值在该模型的对应量测的上限值和下限值之间,那么该量测分量的距离为 0。

d. 如果量测实时值小于该模型的对应量测的下限值,那么该量测分量的距离为模型对应分量的下限值减去实时值。

然后根据确定的近似模型,计算得到该时刻间隔运行关键量测的预测值,除了断路器状态的预测值与实时值相同外,其他的量测预测值计算遵循如下准则:

a. 如果量测实时值大于近似模型对应量测的上限值,那么该量测当前状态预测值即为上限值;

b. 如果量测实时值在近似模型对应量测的上限值和下限值之间,那么该量测当前状态预测值即为其自身;

c. 如果量测实时值小于近似模型对应量测的下限值,那么该量测当前状态预测值即为下限值。

如果实时运行向量与预测向量的差大于设定的经验值,即预测向量与其近似模型的距离较大,那么说明此时该间隔出现了运行异常的情况,则求出每个量测对该异常的贡献程度以供偏差定位,同时进

行告警;如果该实时运行向量与预测向量相差较小,则认为此时该间隔运行状态正常。至此,完成间隔运行状态的预测告警。

2.4 预警方法融合

在本系统中,各预警方法如关联告警、运行状态预警等方法都为后台服务与前端界面服务 2 个插件,且均以松耦合的方式挂载在系统中。以运行状态预测告警算法为例,其后台模块以服务的形式挂载在告警后台判断的框架上,成为系统后台服务的一部分;前端界面则以智能电网调度控制系统中常见的信息监控画面、接线图以及关键潮流为中心,联动地挂接到前端展示框架中。通过此种松耦合的方式,本系统实现了多种调度业务预警方法的动态集成与融合。已集成的其他典型预警方法概述如下。

a. 状态估计质量预警。通过计算参数辨识,分析出状态估计可能受到的影响。该预警方法结合智能电网调度控制系统中状态估计结果、状态估计误差量序列以及计算参数结果改动记录,挖掘分析得出计算参数对状态估计结果的关联关系。在人为修改状态估计的计算参数时,可以预估出状态估计结果的质量,从而对改动参数的行为进行告警,最终实现对状态估计质量的预警。

b. 线路限值预警。在电网实际运行中,很可能出现新建线路通电,系统中仍未录入遥测量限值的情况,这可能会导致难以预估的事故。该预警方法结合电网模型与拓扑,识别出未定义限值的线路并告警,同时分析预测线路限值,并提供合理化的建议。

系统中多种告警、预警方法的融合,实现对电网关键运行状态的识别、预测乃至告警,再结合 3 种丰富的可视化展现,最终实现系统预警功能的贯通。

3 可视化

前端展示完成用户与基于时标量测的实时预警系统的交互。重点完成系统中告警配置、告警结果展示与查询、预警提醒等功能。具体内容包括:电网运行实时/历史数据以及电网模型查看;规则告警配置,包括规则告警判断执行的机制、规则脚本以及规则告警结果处理方式配置等;预测告警参数配置,包括历史运行聚类参数、预测告警参数配置以及预测告警结果处理方式配置等;结果展示包括实时/历史查询以及筛选、相关量测全息数据对比、对应电网接线图/量测曲线显示等,展示的手段包括颜色闪烁、数据表格、预警结果列表、丰富的脚本控件、电网接线图、量测趋势曲线、量测偏差雷达图、量测对偏差贡献率柱状图等,最终达到便捷配置系统参数、全面展示预警结果、丰富分析预警结果的目的。

4 工程实用

本文成果已在苏州智能电网调度控制系统中得

到了工程实际应用,在系统集成实时数据库作为实时数据存储载体的基础上,完成电网模型与时标量测的映射并对上层应用提供统一的模型访问接口。通过集成苏州电网模型、实时/历史运行数据、电网业务规则以及历史运行经验,以规则脚本描述、苏州电网历史数据学习与回归预测结合的手段实现了大型地区电网实时预警。图6为某间隔中有功分量在一段历史时间内实际值与预测值的对比示意图,该画面由预测告警信息跳转而来,图中 ΔP 为有功实际值 P_r 与预测值 P_f 的差值,可以清晰地指明间隔内有功分量对告警的影响情况。

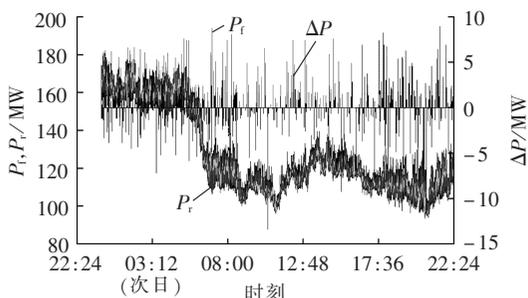


图6 某间隔的有功分量的预测值与实际结果的对比

Fig.6 Comparison between predicted and actual active powers for a bay

目前,本方案实现的各项功能运行稳定,并且经过工程应用中的不断优化,实时预警的准确性和有效性都有大幅提升。目前,系统已识别关联规则告警(如开关与遥测不一致、对端不平衡以及主变各侧遥测越限等关联告警)2836条、间隔运行状态异常预警729条、线路限值预警26条等告警信息,有效地辅助支撑了电网安全稳定运行。

5 结语

通过在苏州地区智能电网调度控制系统集成实时数据库,时标量测的应用价值得到了充分挖掘。本文探索并提出了基于时标量测的电网实时预警方案,使得电网告警的判断更切合实际电网业务规则,充分利用电网运行历史数据及实时数据的特点,也使得电网运行预警能更可靠,并充分辅助决策分析。

参考文献:

[1] 姚建国,杨胜春,高宗和,等. 电网调度自动化系统发展趋势展望[J]. 电力系统自动化,2007,31(13):7-11.
YAO Jianguo, YANG Shengchun, GAO Zonghe, et al. Development trend prospects of power dispatching automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(13): 7-11.

[2] 张伯明,孙宏斌,吴文传. 3维协调的新一代电网能量管理系统[J]. 电力系统自动化,2007,31(13):1-6.
ZHANG Bomng, SUN Hongbin, WU Wenchuan. New generation of EMS with 3-dimensional coordination[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(13): 1-6.

[3] 张强,张伯明,李鹏. 智能电网调度控制架构和概念发展述评[J].

电力自动化设备,2010,30(12):1-6.

ZHANG Qiang, ZHANG Bomng, LI Peng. Review of structure and concept evolution of dispatch and control system for smart grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(12): 1-6.

[4] 高亚静,温柏坚,吴文传,等. 智能电网环境下的省级EMS设计与关键技术[J]. 电力自动化设备,2012,32(8):135-140.
GAO Yajing, WEN Bojian, WU Wenchuan, et al. Provincial EMS in smart grid and its key technologies[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(8): 135-140.

[5] 杨洪耕,明娇,代海波. 地区电网智能告警系统的实现[J]. 电力系统及其自动化学报,2011,23(2):105-109.
YANG Honggeng, MING Jiao, DAI Haibo. Realization of intelligent alarm system for district power network[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2011, 23(2): 105-109.

[6] 刘莹,刘俊勇,张建明,等. 电网调度中的智能告警分类[J]. 电力自动化设备,2009,29(12):48-54.
LIU Ying, LIU Junyong, ZHANG Jianming, et al. Classification of intelligent warning for power system dispatch[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(12): 48-54.

[7] 王红印,张明亮,孙素琴,等. 大电网安全可靠运行4级梯度预警预控方法[J]. 电力系统自动化,2008,32(19):20-24.
WANG Hongyin, ZHANG Mingliang, SUN Suqin, et al. A four-grade forewarning and preventive control method for secure and reliable operation of large scale power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(19): 20-24.

[8] 徐希,张剑,孙世明. 地区电网智能调度辅助决策系统[J]. 电力系统自动化,2012,36(2):111-115.
XU Xi, ZHANG Jian, SUN Shiming. Assistant decision-making system for intelligent dispatching in regional power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(2): 111-115.

[9] 刘俊勇,陈金海,沈晓东,等. 电网在线可视化预警调度系统[J]. 电力自动化设备,2008,28(1):1-5.
LIU Junyong, CHEN Jinhai, SHEN Xiaodong, et al. Online visual dispatch and early warning system of power grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(1): 1-5.

[10] 王正风,谢大为,葛斐. 电网动态预警与辅助决策系统的研究与应用[J]. 华东电力,2009,37(9):1479-1482.
WANG Zhengfeng, XIE Dawei, GE Fei. Research and application of dynamic pre-alarm and decision making supporting systems for power grids[J]. East China Electric Power, 2009, 37(9): 1479-1482.

[11] 汪永华,王正风. 电网动态监测预警与辅助决策系统的应用与发展[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(10):71-74.
WANG Yonghua, WANG Zhengfeng. Application and development of dynamic monitoring preventive alarm and auxiliary decision system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(10): 71-74.

[12] 张菁,杨明皓. 基于模糊聚类的电力系统载荷能力安全预警方法[J]. 电力系统自动化,2007,31(22):31-35.
ZHANG Jing, YANG Minghao. Security forewarning method of maximum load capacity based on fuzzy clustering[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(22): 31-35.

[13] 张珂珩,季学纯,陈鹏. 动态信息数据库在EMS/WAMS系统中的应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(增刊):92-96.
ZHANG Keheng, JI Xuechun, CHEN Peng. Application of dynamic information database in EMS/WAMS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(Supplement): 92-96.

[14] 雷霆,黄太贵,袁林. 动态信息数据库在调度自动化系统中的应

- 用[J]. 电力系统自动化,2007,31(增刊):106-110.
- LEI Ting,HUANG Taigui,YUAN Lin. Application of dynamic database in dispatching automation systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(Supplement):106-110.
- [15] 黄海峰,张珂珩,张鸿,等. 电力系统动态信息数据库关键技术[J]. 计算机应用,2011,31(6):1681-1684.
- HUANG Haifeng,ZHANG Keheng,ZHANG Hong,et al. Key technologies of dynamic information database for power systems[J]. Journal of Computer Applications,2011,31(6):1681-1684.
- [16] 王德文,肖磊,肖凯. 智能变电站海量在线监测数据处理方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(8):142-148.
- WANG Dewen,XIAO Lei,XIAO Kai. Processing of massive online monitoring data in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(8):142-148.
- [17] 蒋宏图,袁越,杨昕霖. 智能变电站一体化信息平台的设计[J]. 电力自动化设备,2011,31(8):131-134.
- JIANG Hongtu,YUAN Yue,YANG Xinlin. Design of integrated information platform of smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(8):131-134.
- [18] 赵家庆,季侃,孙大雁,等. 电网调度省地一体化试点工程关键技术[J]. 电力系统自动化,2012,36(23):120-125.
- ZHAO Jiaqing,JI Kan,SUN Dayan,et al. A key technology scheme of pilot projects for provincial and local integrated power grid dispatch[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(23):120-125.
- [19] IEC. IEC61970 Energy management system application program interface:part 1 CCAPI guidelines preliminary draft[S]. Geneva, Switzerland;IEC,2003.
- [20] IEC. IEC61970 Energy management system application program interface:part 301 Common Information Model(CIM) draft revision 5[S]. Geneva,Switzerland;IEC,1999.
- [21] 邓正阳,陈和平,苏鹏. 动态脚本语言 Lua 与 C++ 交互方法的研究与实现[J]. 计算机系统应用,2010,19(5):198-201.
- DENG Zhengyang,CHEN Heping,SU Peng. Research and realization of Lua and C++ cross-method[J]. Computer Systems & Applications,2010,19(5):198-201.
- [22] 吕明倍,李炜. IDP 平台中轻量级业务框架[J]. 计算机系统应用,2012,21(3):9-13.
- LÜ Mingbei,LI Wei. Lightweight business framework in IDP[J]. Computer Systems & Applications,2012,21(3):9-13.
- [23] 刘孟觉,李冰,胡波,等. 轨道交通综合监控系统在线联动功能研究[J]. 计算机测量与控制,2012,20(11):2959-2964.
- LIU Mengjue,LI Bing,HU Bo,et al. Research on on-line linkage function in ISCS of rail transit[J]. Computer Measurement & Control,2012,20(11):2959-2964.

作者简介:



赵家庆

赵家庆(1963—),男,江苏苏州人,研究级高级工程师,主要研究方向为电力系统自动化的研究开发、建设运行和技术管理;

唐胜(1987—),男,江苏泗阳人,工程师,主要研究方向为电网调度自动化与数据库技术;

钱科军(1981—),男,江苏苏州人,博士,主要研究方向为电力系统自动化系统研发和管理、可再生能源发电并网、智能电网与电动汽车(E-mail: kejunqian@163.com);

田辉(1984—),男,河南温县人,工程师,硕士,主要研究方向为电网调度自动化与数据库技术;

丁宏恩(1982—),男,河南商丘人,工程师,硕士,主要研究方向为电网调度自动化与智能化相关技术。

Key technologies of real-time alarm system based on measurements with timestamp

ZHAO Jiaqing¹,TANG Sheng²,QIAN Kejun¹,TIAN Hui²,DING Hongen¹,ZHOU Qi²,
YU Yu¹,LI Chun¹,WANG Ding¹

(1. State Grid Suzhou Power Supply Company,Suzhou 215004,China;

2. China Realtime Database Co.,Ltd.,Nanjing 210003,China)

Abstract: Since the time-sequence database stores the measurements with timestamp,a real-time grid alarm scheme based on the measurements with timestamp is proposed,which contains four key technologies:the shunt processing of system data,the script-driven definition and execution of alarm rules,the operating state alarm based on historical data mining,the detailed alarm display and diversified supplementary decision-making analysis. It realizes the fusion and application of grid model data,real-time measurements with timestamp and historical data,and the technical improvements,such as the capture of measurement jump, the enrichment of alarming rules,the supplementary alarm means for abnormal grid states,etc. The application of the proposed scheme in actual projects verifies its correctness and effectiveness.

Key words: electric power grid; dispatch automation; alarm systems; real-time database; measurement with timestamp; models; data fusion; data processing