

## 智能调控主站应用时标量测的关键技术方案

赵家庆<sup>1</sup>, 丁宏恩<sup>1</sup>, 李汇群<sup>2</sup>, 高宗和<sup>3</sup>, 钱科军<sup>1</sup>, 张珂珩<sup>4</sup>, 葛以踊<sup>3</sup>

(1. 国网苏州供电公司, 江苏 苏州 215004; 2. 国网江苏省电力公司, 江苏 南京 210024;  
3. 国网南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061; 4. 江苏瑞中数据股份有限公司, 江苏 南京 210003)

**摘要:** 为了促进电网调度精益化和智能化发展, 新一代智能调控主站不断引入新技术来应对所面临的挑战。引入电网稳态时标量测的概念, 设计了时标量测在智能调控主站的应用方案, 并着重阐述了集成时间序列数据库的统一支撑平台、支持时标量测的实时监控、基于时标量测的状态估计和基于时间序列数据库的开放式综合数据平台等关键技术。成果已成功应用于苏州地级和江苏省级智能电网调度技术支持系统等试点工程, 满足各级调度机构智能调控主站的实际应用需求。

**关键词:** 智能电网; 精益调度; 智能调度; 智能调控主站; 时间序列数据库; 时标量测

### A key technical scheme of application of time stamped measurements in smart control centers

ZHAO Jia-qing<sup>1</sup>, DING Hong-en<sup>1</sup>, LI Hui-qun<sup>2</sup>, GAO Zong-he<sup>3</sup>, QIAN Ke-jun<sup>1</sup>, ZHANG Ke-heng<sup>4</sup>, GE Yi-yong<sup>3</sup>  
(1. State Grid Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China; 2. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China; 3. NARI Technology Development Co., Ltd., Nanjing 210061, China;  
4. China Realtime Database Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

**Abstract:** In order to promote the development of smart and lean dispatching, the new smart control center constantly introduces new technology to deal with the challenge. The paper systematically introduces the concept of time stamped measurements for steady state grid and then proposes a key technical scheme for application of time stamped measurements for smart control centers. Finally, some key technologies including unified application support platform integrated with time sequence database, supervisory control and data acquisition (SCADA) supported by time stamped measurements, state estimation based on time stamped measurements and open data platform based on time sequence database of the scheme are studied. The research result has been applied in pilot projects of smart grid dispatching technology support system in Suzhou City and Jiangsu Province, respectively.

**Key words:** smart grid; lean dispatching; smart dispatching; smart control center; time sequence database; time stamped measurements

中图分类号: TM734 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)15-0128-08

## 0 引言

智能电网对调度驾驭大电网的能力、进行大范围资源优化配置的能力提出了新的要求, 迫切需要

**基金项目:** 江苏省电力公司科技项目“实时数据库在大型地区电网中的应用研究”和“基于时标量测的电网调度监控预警与处置技术研究及应用”; 申请“时间序列数据库与智能电网调度技术支持系统的集成方法”(申请号 201110406422.5)、“基于时标量测的电网事故全景反演方法”(申请号 201310283786)、“基于时标量测的电能量积分方法”(申请号 201310283899)、“基于事件驱动的电网友障信息判断方法”(申请号 201210510787.7)等多项国家发明专利

开展智能调度的研究及建设<sup>[1-4]</sup>。为支持智能化的电网调度, 国家电网公司启动自主研发了具有国际领先水平的新一代智能电网调度技术支持系统(以下简称智能调控主站), 全面提升了电网精益调度和智能调度发展水平<sup>[5]</sup>。与传统调控主站相比, 智能调控主站的数据系统的特点包括:(1) 加强对电网动态信息采集、处理及应用, 数据来源主要为厂站相量量测装置(PMU)上送的相量量测;(2) 加强电网暂态信息采集、处理及应用, 数据来源主要包括继电保护子站、安全自动装置、故障录波装置上送的信号或文件;(3) 加强数据的可视化展示和共享发布, 构建了全景可视化展示平台和分布式综合数据共享平台;(4) 加强与智能变电站信息交互及应用,

数据来源主要包括智能变电站上送的设备监测信息、告警信息、图模信息、量测预辨识结果等<sup>[6-8]</sup>。

智能调控主站数据系统面临的挑战, 一是继续提高电网基础数据质量: (1) 量测准确性, 个别量测数据采集误差及传输错误, 影响实时监控及在线分析计算的精度; (2) 量测完整性, 个别量测数据无法获取, 影响量测的冗余度和系统的可观性;

(3) 量测及时性, 部分量测数据上送时延长, 影响在线应用功能的实时性; (4) 量测同步性, 稳态量测不带时标, 不同途径获取的量测数据的时延差别较大, 影响了实时分析的精度, 也限制了对数据同时性要求较高应用功能的实现。二是大规模数据处理的问题日益严峻: (1) 存储规模问题, 量测采样点数以百万, 年采样数据存储规模从 GB 级到 TB 级; (2) 处理效率问题, 数据规模的增大带来了数据存储组织策略以及查询检索策略的复杂性; (3) 时标量测的存储及展示问题, 传统关系数据库无论是采样周期采样方式还是触发式采样方式都不易完成对时标量测的连续存储, 内存实时数据库缺乏对时标量测的描述, 存放不便, 图形和曲线工具都缺乏对时标量测的显示支持。

近年来, 通过 PMU、时间序列数据库及广域测量系统 (WAMS) 的应用实践, 时标量测逐步成为了电网量测信息中不可缺少的重要组成部分。WAMS 针对电网动态时标量测数据的应用已经取得了不少成果, 能够精细展示电网动态行为和捕捉电网动态异常, 实现了对电网动态监视和分析<sup>[9-11]</sup>。针对上述数据系统所面临的挑战, 结合上述智能调控主站数据系统的特点, 本文在 WAMS 引入和应用电网动态时标量测的基础上, 引入电网稳态时标量测的概念, 提出智能调控主站应用时标量测的关键技术方案, 在智能调控主站应用时间序列数据库、动态时标量测和稳态时标量测实现更加准确而全面地描述电网运行信息, 深化更多基于时标量测的上层应用功能。最后在苏州地区和江苏省级智能电网调度技术支持系统等试点工程中开展了成果的应用实践。

## 1 体系架构

### 1.1 稳态时标量测与时间序列数据库

传统调控主站接收到的厂站上送的稳态量测数据不带时标, 量测非同步和量测数据传输延时始终是数据误差的主要来源。所谓稳态时标量测, 就是加入时标信息的电网稳态量测数据。在智能调控主站数据系统中引入稳态时标量测将对传统调控主站稳态量测无时标的方式进行改进, 便于实现针对量测准确性、及时性和同步性的各种监视, 提高电

网基础数据质量, 使智能调控主站能获取具有统一时标的电网稳态、动态、暂态量测数据, 能为电力系统计算、分析提供严格意义上的统一断面数据, 实现更多对数据同时性要求较高的应用功能。

时间序列数据库存储的数据具有时序特征, 提供专门针对电网时标量测的存储组织, 解决时标量测的存储及展示问题; 先进的压缩算法, 支持较高的数据压缩比, 大大缩减磁盘占有空间, 能够应对海量规模数据的存储; 高效的检索策略, 写入和查询检索速度非常快。

总之, 可用于存储大规模时标量测的时间序列数据库能够应对大规模数据处理的问题, 适应电力系统特点和满足智能调控主站的实际需求。以下将基于稳态时标量测的概念, 充分利用时间序列数据库的特点, 设计时间序列数据库及时标量测在智能调控主站的应用方案。

### 1.2 应用方案设计

从硬件结构上看, 在智能调控主站分布的 3 个安全区中, 由于时间序列数据库可以运行在主流的各种硬件和操作系统平台上, 满足跨平台特性, 可在安全 I 区和 III 区分别新增 2 台时标量测应用服务器、2 台时间序列数据库服务器和 1 套磁盘阵列, 其中, 2 台时间序列数据库服务器共享 1 套磁盘阵列, 数据库服务器可以通过光纤存储交换机与磁盘阵列进行连接。

从软件结构上看, 引入时间序列数据库及时标量测的智能调控主站的核心部分为 4 个方面, 如图 1 所示。(1) 集成国产时间序列库的统一支撑平台: 新增时间序列数据库管理、时序数据采样、时序数据提交、时序数据查询、时序数据显示、时序数据 WEB 发布和时序数据库二次开发应用等服务; (2) 支持时标量测的基本应用: 着重实现支持时标量测的前置采集 (FES)、实时动态监控和实时稳态监控 (SCADA) 等应用; (3) 引入时标量测的高级应用: 在移植 WAMS 传统应用功能的基础上, 新增基于时标量测的状态估计、基于时标量测实时预警等应用; (4) 基于时间序列数据库的开放式综合数据平台: 智能调控主站安全 III 区引入时间序列数据库, 为电力企业调度自动化、配电自动化、负荷监控、电能量、设备在线监测等实时技术支持系统搭建一个综合数据平台。

下面将详述上述方案细节, 重点关注关键技术, 侧重增加或改进的内容, 相对成熟的智能调控主站支撑平台架构、基本应用功能和 WAMS 实时动态监控等传统应用功能将不再赘述。

## 2 集成时间序列数据库的统一支撑平台

### 2.1 采用时序数据库集群冗余备份技术的时间序列数据库的集成

基于面向服务架构（SOA）形式设计了集成时间序列库的智能调控主站统一支撑平台的结构，如图 2 所示。其中主要增加了时间序列数据库管理及

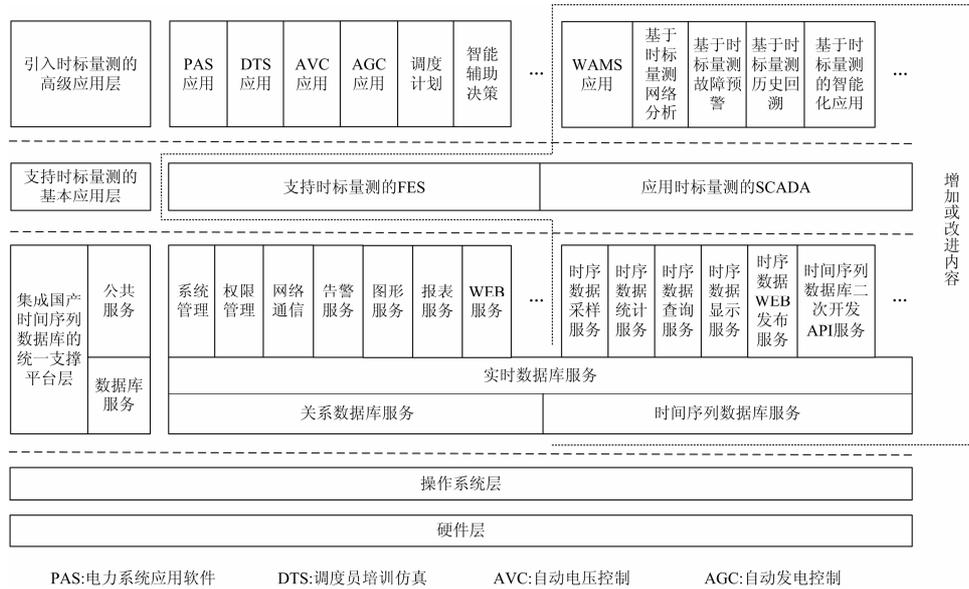


图 1 系统层次结构

Fig. 1 Software architecture

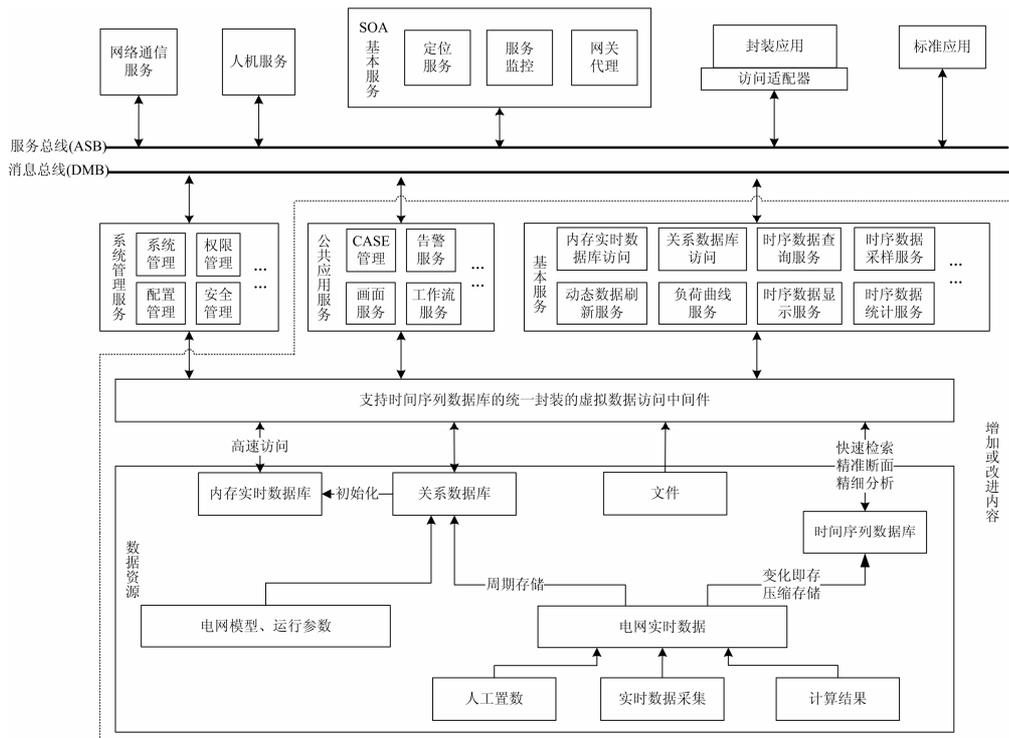


图 2 统一支撑平台的软件体系结构

Fig. 2 Architecture of support platform

时序数据的采样、统计、查询、显示、WEB 发布、二次开发 API 等服务, 使之支持时间序列数据库、关系数据库和内存实时数据库的混合存储环境。数据存储方面, 关系数据库用来存储电网模型以及静态参数, 并通过下装初始化内存实时库以满足应用对电网模型和静态参数的高速访问。时间序列数据库具有较高的压缩存储、快速检索性能和带有时标的的数据结构, 能够基于变化即采样的方式对电网海量、频繁变化的实时数据进行存储, 完整记录电网的运行轨迹, 是对系统中关系数据库按周期存储采样数据方式的重要补充。

大型智能调度主站需要海量测点/计算点采样处理的能力, 而单台时序数据库服务器的处理能力是有限的, 这就需要通过时序数据库集群的方式解决海量数据采样的问题。海量采样数据可以分为多个采样数据集, 每个数据集的采样数据存入对应的时序数据库, 多个时序数据库无交集地覆盖所有采样点, 通过时序数据库集群形成一个逻辑可扩展的时序数据库池, 满足任意数据规模调度系统的历史数据存储需要。在横向上, 时序数据库以 2 个集群的形式出现; 在纵向上, 2 个时序数据库集群的对应单库存放内容完全一致, 互为备用。集群的冗余互备是动态的, 譬如第一个集群的时序数据库 1 故障, 第二个集群的时序数据库 2 故障, 系统会将第二个集群的时序数据库 1 和第一个集群的时序数据库 2、时序数据库 3、…、时序数据库  $n$  组成一个新的可用时序数据库集群, 从而保证了时序数据库集群最大程度的可用性, 应用感知不到时序数据库集群的单点故障及交叉故障。

应用支持方面, 避免上层应用对时间序列数据库的直接访问, 而是通过统一封装的虚拟数据访问中间件技术实现对时间序列数据库和关系数据库的统一访问和统一处理, 在保证功能完善的基础上, 尽量减少改动, 确保系统的稳定性。重点利用时间序列数据库大规范数据存储查询效率高和变化即存功能的特性, 实现其对电网全息历史运行信息的保存, 并为典型应用提供支持。

## 2.2 数据提交两级缓存技术和数据流的改变

稳态量测带时标信息后, 智能调控主站需要相应改进以充分利用时标量测。统一支撑平台的数据流中增加对时标信息的处理, 实现时标量测数据计算、存储和同时间断面获取等环节, 在不影响智能调控主站原有数据处理逻辑的情况下, 实现解析和处理带有时标的量测数据, 并变化即存入时间序列数据库, 充分保证量测数据的准确性、及时性和同步性, 实现对电网运行轨迹数据的全息存储, 并提

供同一时刻精准的电网数据断面, 可以方便地关联同一时刻的电网模型和电网图形, 为实现其他基于时标量测的应用功能提供基础条件。

数据提交服务使用共享内存队列与文件缓存相结合的两级缓存机制, 既能解决时序数据库高效提交的问题, 还可保证异常情况下历史数据保存的可靠性。正常情况下, 时序数据库提交线程会及时提交内存队列缓存中的请求, 并清空内存已提交缓存队列, 不会有信息写入文件缓存。但是当出现异常情况时(譬如时序数据库故障), 已用内存队列缓存长度超过阈值后, 内存转储线程将把内存队列缓存的信息写入文件缓存; 当异常情况处理后, 时序数据库提交线程将优先提交文件缓存的采样数据, 然后提交内存队列缓存的数据。

## 2.3 采用关键字/标签映射技术的时标量测的定义、查询和展示

智能调控主站用关键字表征数据点, 时序数据库通过标签号来表征, 因而需要一种调控主站与时序数据库采样点的映射方式, 如图 3 所示。



图 3 标签定义过程

Fig. 3 The process of tag definition

一些时序数据库的标签号是调度主站可以直接生成的(如 eDNA、Highsoon), 对于这种时序数据库, 直接由调度主站按照一定的策略生成不重复的标签号, 生成后直接通知时序数据库的标签定义过程, 标签定义过程在时序数据库中记录这个已定义的标签号。其他一些时序数据库的标签号是时序数据库内部生成的(如 PI), 譬如主备两个 PI 时序数据库, 对应同一个采样点的标签号可能都不一样。这就需要先借助数据服务端的标签定义服务产生一个唯一且主备库一致的标签名作为桥梁, 实现关键字到标签名的映射, 标签定义服务将标签名告诉时序数据库的标签定义过程, 时序数据库根据标签名产生内部的采样定义点和标签号。客户端可以通过标签定义服务向时序数据库的标签定义过程通过标签名取得时序数据库内的标签号。

集成时间序列数据库的统一支撑平台中增加了针对时序数据的采样定义、数据提交、数据查询等访问服务。与之对应, 调用这些访问服务, 实现时标量测的定义、查询和展示等模块。(1) 采样定义管理: 为实现电网遥信、遥测、保护信号的变化

即采样，通过采样定义服务访问时间序列数据库，完成时标量测数据采样点在时间序列数据库中的采样定义；(2) 采样数据查询：通过采样数据查询服务访问时间序列数据库，完成向时间序列数据库的时标量测数据的获取，并通过列表和曲线的方式展现出来；(3) 曲线展示：基于时间序列数据库访问服务实现时标量测曲线展示及修改，能够提供秒级步长查询、曲线拖拽修改和极值显示等功能；(4) 精准数据断面提供：时间序列数据库存储电网带有时标的实时和历史数据，能够满足大规模电力信息存储需求，基于时间序列数据库能够为其他应用提供精准的数据断面，为实现精益化调度功能提供支持。

### 3 支持时标量测的实时监控

#### 3.1 基于时标量测的计算和统计分析

在传统调控主站中，历史数据存储采用周期存储方式，存放在内存实时数据库中的实时数据，按照 1~5 min 的周期采样写入关系数据库中，难以真实记录和回溯电网历史状态。以公式计算电网负荷总加为例，常规方式计算出的总加值并不能变化即存入关系数据库中，通常由曲线显示的每日总加最大值并不一定是真实的最大值；其次参与公式计算的各分量数据均来自内存实时数据库，这些数据未必都存到关系数据库中，一旦回溯到该时刻，再取各分量历史数据进行计算，结果将与关系数据库所存计算结果不一致。

而支持时标量测的实时监控应用能够基于全息时标量测来进行计算和统计分析，不但可以准确捕捉和统计到任意时刻的实时计算值，而且可以很方便地回溯到任意历史时刻进行计算，实现计算结果的回溯分析，与原存储计算结果进行同步对比，验证计算的准确性、一致性，目前主要实现了如下功能：(1) 基于时标量测的系统总加计算，在进行系统总加计算时。各分量可以有统一的时间参考基准，提供基于统一时标的更为准确的电网统计数据，并对可疑计算分量快速定位和分析。(2) 基于时标量测的精准积分电量计算。基于电量关口变化即存的全息时标量测，借助更加真实的电网运行数据，采用常规积分算法进行的电量计算显然更加精准。

(3) 基于时标量测的在线网损计算。之前由于线路两端的量测时间基准无法统一，无法在线完成线路实时网损的计算，而时标量测的引入为此创造了条件。(4) 基于时标量测的极值统计分析。完成对任意测点历史任意时间段的极值统计，由于时间序列数据库中存储的数据是电网运行的全息数据，分析结果的时间精确到了秒级，相对于原先的分钟级，

极值的精度和真实度明显提高。(5) 基于时标量测的厂站基础量测数据质量的统计分析。数据源有状态估计厂站量测合格率、量测数据不刷新持续时间、量测死区归零状态及持续时间、量测不平衡状态及持续时间等，对电网基础数据进行智能分析，并提供符合用户实际使用需求的可视化展现及报表功能。

#### 3.2 引入全息稳态时标量测的综合智能告警

当电网发生异常或故障情况下，智能调控主站稳态、动态、暂态、预警等应用会发出大量告警信息，如表 1 所示。综合智能告警应用实现告警信息在线综合处理、显示和推理分析，提供告警信息统计和分析功能，对复杂故障进行智能推理。实现电力系统故障在线诊断，并以形象直观的方式展示分析结果，给调控员以准确、及时、简练的告警提示。

表 1 综合智能告警模块主要数据源

Table 1 Main data source of integrated intelligent alarm module

分类	告警信息	SCADA	WAMS	二次设备 在线监视	NAS/DSA
设备故障	线路故障	√	√	√	
	母线故障	√	√	√	
	变压器故障	√	√	√	
	发电机故障	√	√	√	
	直流设备故障	√		√	
	二次设备故障			√	
系统异常	电压越限	√	√		
	频率越限	√	√		
	潮流越限	√			
	低频振荡		√		
	相角差越限		√		
系统预警	独立网运行	√			
	静态安全分析				√
	短路电流计算				√
	暂态/动态/电压/频率稳定				√
计划偏差	联络线偏差	√			
	发电计划偏差	√			

综合智能告警应用核心点是实现在线综合故障诊断，电网故障时涉及状态量和电气量两者共同的变化，其中状态量的变化主要来自于稳态数据，包括遥信变位、SOE 动作信号、保护动作信号以及事故总等；电气量的变化主要来自于动态数据和暂态数据，包括电压、电流的突变。因此综合利用稳态、动态和暂态数据进行分析才能满足调度事故处

理实时性和全面性的要求<sup>[12]</sup>。具体实施步骤如图 4 所示。

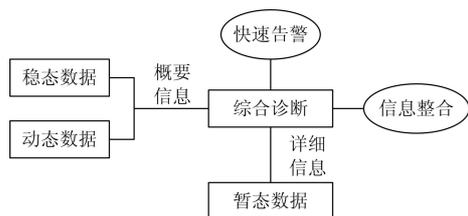


图 4 故障诊断综合分析逻辑框图

Fig. 4 Logic diagram of fault diagnosis comprehensive analysis

综合智能告警应用存在一个不易解决的问题：由于 PMU 装置布点不全，只具备部分可观测性，故障录波器虽已完全布点，但只有部分故障录波器实现了和调控中心的联网以及自动上传功能，因此在调控中心也只具备部分可观测性，只有稳态数据布点全且全部实时上传，只有利用稳态数据进行在线故障诊断，才可以实现对故障范围的全监视。但是由于稳态数据采样率低，绝大多数情况下只能利用状态量进行判断，因此对故障信息的分析只能局限于故障设备、故障时间、重合类型以及故障相的判别，且受限于保护故障跳闸方式，也只能粗略判别故障相，同时无法严格保证稳态数据、动态数据和暂态数据时标的精确一致。综合智能告警应用引入全息稳态时标量测后，在继续保持实时性好，监视范围全面的优点基础上，不但故障诊断准确率将大幅提高，还可以充分利用分相电压、电流等稳态电气量，实现故障相别的精确判断；同时引入稳态量测带上时标信息以后，为所用稳态数据、动态数据和暂态数据统一时标创造了条件，便于对故障进行精细化分析。

由于系统稳态历史数据存储采用周期存储方式，综合智能告警应用还存在一些难以解决的问题，一是冲击负荷、量测跳变以及潮流瞬间不平衡等短时事件告警信息不容易被捕捉，二是会出现告警信息与实际存储的当时历史数据不一致的问题，无法使用所存储历史数据回溯告警信息出现的全过程。综合智能告警应用引入全息稳态时标量测后，不但可以基于变化即存全息记录的时标量测捕捉电网短时事件，而且可以利用时间序列库存储的历史数据回溯生成告警信息，与存储的历史告警记录进行实时对比，验证电网短时事件捕捉正确性，解决告警回溯一致性问题。

综合智能告警应用在信息展示方面引入多主题的概念，为电网调度监控人员分析和查看电网运行告警提供更便捷的手段，以电网故障定位和分间

隔的告警信息为切入点，辅以间隔图、厂站图、量测数据曲线、电气设备参数、历史告警信息、操作记录以及检修记录等信息，达到以告警分析为中心的多维度、多主题综合展示的效果。实时告警信息列表可提供信息过滤、置顶、暂停刷新、按条件筛选等功能。潮流图上的故障定位以及分间隔告警信息，可在界面上进行接线图反演、曲线对比以及间隔对端的告警展示等功能。

### 3.3 基于时标量测的全景事故反演

事故反演应用指追忆一段时间内全息电网运行轨迹，能够快速获取电网一个或多个时间点的全断面的历史数据，结合图形显示、告警端等模块，实现完整真实地反演电网的事故过程。同样目前传统事故反演应用还只能进行基于关系数据库周期采样数据的电网事故情况的伪反演。

基于时标量测的全息事故反演应用基于时间序列数据库强大的断面数据访问支持，在智能调控主站中实现了对电网事故的全息反演。在进行事故反演时，可以进行任意时刻的精确反演，通过厂站图或潮流图能够进行事故的全过程回溯分析，准备判断事故原因和演变过程，为总结经验防止事故的再发生提供有力支持。该应用分为反演服务端，反演客户端，图形界面，告警端等模块。事故反演服务端负责接收事故反演客户端发送来的历史模型、断面下装请求消息，将相应的历史模型和断面下装到事故研究态下，同时需在反演过程中发送消息至图形和告警端，完成反演过程中的图形数据刷新和相应的告警提示。图 5 为基于时标量测的全息事故反演应用的结构示意图。

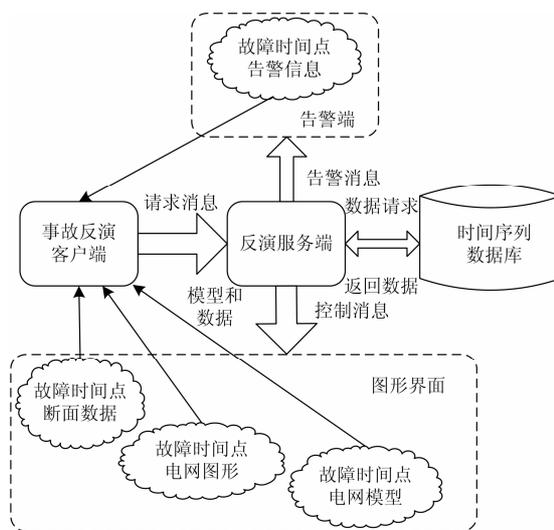


图 5 全息事故反演应用结构示意图

Fig. 5 Structure of panoramic power grid accident simulation

### 4 基于时标量测的状态估计

传统运行模式下，SCADA量测没有统一的时标，更新周期长，而且时延较大；PMU量测可以反映动态响应且时延较小，带有精确时标，即使通道传输存在时延也能保证时间断面的一致性<sup>[13-14]</sup>。无论是使用SCADA量测的状态估计，还是计及带时标信息的PMU量测的混合量测状态估计，计算使用的量测信息均来自内存实时数据库，为各个测点的最新量测值，没有考虑各测点的量测时标是否一致，无法找到协调和处理各量测量不同时延的有效方法，难以克服量测不同时对计算的不利影响。另外，一旦电网发生扰动，系统潮流和方式快速变化，由于常规状态估计的数据源和计算结果在时序上没有信息基准，也很难快速提供扰动期间和扰动后的电网状态。

依托时序数据库的精确历史数据保存，系统可以截取任意时刻的断面数据用于分析计算，突破原有分钟级CASE断面局限，并可联动CASE保存的历史模型、历史图形。基于时标量测的状态估计使用的量测信息均来自时间序列数据库，无论是基于带时标信息的SCADA量测的状态估计，还是计及带时标信息PMU量测的基于混合量测状态估计，都可以读取到严格意义上的同一时刻数据断面和模型断面进行分析计算。时序数据库和时标量测为电网扰动期间进行快速状态估计提供了数据基础，结合遥信信息，准备跟踪扰动后的量测变化，快速准确地提供扰动期间和扰动后的电网状态。

为尽可能多地读取到统一时标的电网量测数据，基于时标量测的状态估计可以设定所取几秒前的断面数据（具体秒数可以设定），在数据读取时，时间序列库通过数据拟合功能，为状态估计程序提供该时标下的统一数据源，如图6所示，时间序列库为状态估计提供竖线间的拟合数据。由于状态估计计算周期是分钟级，因此该方式完全满足时间周期方面的要求，具体情况如下。(1)当进行基于SCADA量测的状态估计时，SCADA稳态时标量测的时标信息将作为全网量测读取和结果展示的精确基准，从根本上避免了不同厂站、不同区域和不同类型通道的量测时延不同的影响，进一步提高了计算结果的精度和真实性；(2)当计及带时标信息PMU量测进行基于混合量测状态估计时，PMU量测可以根据所带时标信息与SCADA稳态时标量测完美结合，可以避免PMU量测数据与稳态量测数据时间上的不一致对计算精度造成的不利影响。

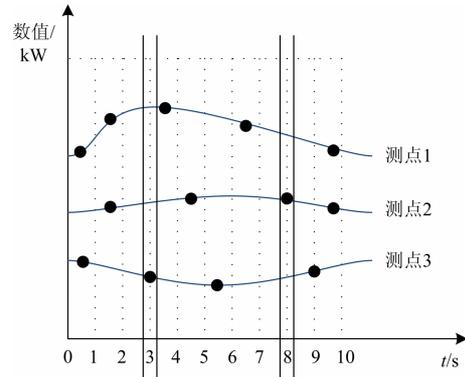


图6 时间序列数据库提供整秒的历史量测数据

Fig. 6 Time series database provides full second historical measurement data

### 5 基于时间序列数据库的开放式综合数据平台

目前，电力企业日常生产中所使用的调度自动化、配网自动化、负荷监控、电能量、设备在线监测等实时技术支持系统大都独立建设，信息缺乏共享体系，相关工作人员必需逐个调阅不同系统才能获取所需信息，急需建设一个集中的数据平台。

本文在智能调控主站的安全 III 区引入时间序列数据库，广泛采集、统一存储和高效分析电网各实时系统的数据，搭建底层实时控制系统与上层管理信息系统之间的桥梁，构建开放式综合数据平台，实现信息共享，消除信息孤岛。

通过内网将开放式综合数据平台在电力企业内部进行开放式发布，每一个使用开放式综合数据平台的用户，可以借助数据序列数据库提供的工具和接口对综合数据进行自定义处理、二次开发和个性化展示，可以方便地将使用者关心数据按照其所需方法进行处理和展示，能最大程度满足使用者的特有需求。积极推进开放式综合数据平台的应用和深化，使用者可以积极开发面向各专业的应用功能，内容可以涉及电网运行监视、电网经济运行、输变电设备在线监测、配电网线路故障巡视、电网辅助规划等领域，并应用成熟的组态工具对应用功能的分析结果进行智能可视化展示。

### 6 工程应用

本文成果已在苏州地区和江苏省级智能电网调度技术支持系统等试点工程中得到了实际应用，实现的各项功能运行稳定，能够满足各级调度机构智能调控主站的实际应用需求。实践证明时间序列数据库的应用能使得智能电网调度技术支持系统对数据的全息存储、精细化分析应用的能力有了大幅提

高。下一步研究重点是继续拓展全息时标量测在智能调控主站的应用范围和深度, 积极开展基于时标数据的采集技术、电网预警预控和电网经济运行分析等方面的探索性研究。

### 参考文献

- [1] 李兴源, 魏巍, 王渝红, 等. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 1-6.  
LI Xing-yuan, WEI Wei, WANG Yu-hong, et al. Study on the development and technology of strong smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 1-6.
- [2] 刘文, 杨慧霞, 祝斌. 智能电网技术标准系统研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(10): 120-126.  
LIU Wen, YANG Hui-xia, ZHU Bin. Review of research on smart grid technical standard system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(10): 120-126.
- [3] HAASE P. IntelliGrid: a smart network of power[J]. EPRI Journal, 2005: 17-25.
- [4] 张丽, 徐玉琴, 王增平, 等. 包含分布式电源的配电网无功优化[J]. 电工技术学报, 2011, 26(3): 168-174.  
ZHANG Li, XU Yu-qin, WANG Zeng-ping, et al. Reactive power optimization for distribution system with distributed generators[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(3): 168-174.
- [5] 国家电力调度通信中心. 智能电网调度技术支持系统建设框架[R]. 2009.
- [6] 施婕, 艾芊. 智能电网实现的若干关键技术问题研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(19): 1-4.  
SHI Jie, AI Qian. Research on several key technical problems in realization of smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(19): 1-4.
- [7] 汪际峰, 沈国荣. 大电网调度智能化的若干关键技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(1): 10-16.  
WANG Ji-feng, SHEN Guo-rong. Some key technical issues on intelligent power dispatching of bulk power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(1): 10-16.
- [8] 丁宏恩, 赵家庆, 苏大威, 等. 智能变电站和调控主站模型按需共享技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(22): 73-77.  
DING Hong-en, ZHAO Jia-qing, SU Da-wei, et al. Model sharing technologies on demand between smart substations and control centers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(22): 73-77.
- [9] 彭春华. 基于免疫BPSO算法与拓扑可观性的PMU最优配置[J]. 电工技术学报, 2008, 23(6): 119-124.  
PENG Chun-hua. Optimal PMU placement based on immune BPSO algorithm and topology observability[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(6): 119-124.
- [10] 黄军高, 王首顶, 凌强, 等. 时间序列数据库在地区电网调控一体化系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(23): 107-110.  
HUANG Jun-gao, WANG Shou-ding, LING Qiang, et al. Application of time sequence database in an integrated system for dispatch and control of regional power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(23): 107-110.
- [11] 高宗和, 戴则梅, 翟明玉, 等. 基于统一支撑平台的EMS与WAMS集成方案[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(16): 41-45.  
GAO Zong-he, DAI Ze-mei, ZHAI Ming-yu, et al. Integrative EMS and WAMS based on a unified support platform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(16): 41-45.
- [12] 闪鑫, 赵家庆, 张剑, 等. 基于三态数据的电网在线综合故障诊断[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 78-81.  
SHAN Xin, ZHAO Jia-qing, ZHANG Jian, et al. On-line comprehensive fault diagnosis of power grid based on three-state data[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(23): 78-81.
- [13] 赵红嘎, 薛禹胜, 高翔, 等. 量测量的时延差对状态估计的影响及其对策[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(21): 12-16.  
ZHAO Hong-ga, XUE Yu-sheng, GAO Xiang, et al. Impacts of the difference between measurement transmission delays on state estimation and the countermeasures[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(21): 12-16.
- [14] 李虹, 李卫国, 熊浩清. WAMS中计及量测函数非线性项的电力系统自适应动态状态估计[J]. 电工技术学报, 2010, 25(5): 155-161.  
LI Hong, LI Wei-guo, XIONG Hao-qing. Adaptive dynamic state estimation including nonlinearities of measurement function in WAMS[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(5): 155-161.

收稿日期: 2013-10-14; 修回日期: 2013-11-22

### 作者简介:

赵家庆(1963-), 男, 高级工程师, 长期从事电力系统自动化的研究开发、建设运行和技术管理工作;

丁宏恩(1982-), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 主要从事电网调度自动化与智能化相关技术研究; E-mail: hongending@163.com

李汇群(1963-), 男, 高级工程师, 主要从事电网调度自动化运行管理工作。