

电网调度自动化主备系统间模型正确性校验技术方案

赵家庆¹, 赵裕啸², 丁宏恩¹, 张珂珩², 钱科军¹, 李春¹, 吕洋¹, 俞亮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: 基于电网调度自动化主调系统及集成时间序列数据库的电网调度自动化备调系统, 提出了两系统之间模型正确性校验的新策略。在分析关系数据库和时间序列数据库的核心技术的基础上, 对调度自动化主备系统间模型正确性校验技术进行了拓展性研究, 着重讨论了模型数据的存储结构、模型校验的技术架构和校验流程。成果已在智能电网调度技术支持系统苏州工程中得到了实际应用, 有效提高了主备系统间模型校验效率, 为精益化电网调度提供了技术支撑。

关键词: 模型校验; 时间序列数据库; 调度自动化; 主备系统; 数据补齐

Technical scheme for the verification of grid models between the active and standby systems in power dispatching automation system

ZHAO Jia-qing¹, ZHAO Yu-xiao², DING Hong-en¹, ZHANG Ke-heng², QIAN Ke-jun¹, LI Chun¹, Lü Yang¹, YU Liang¹

(1. State Grid Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China; 2. Realtime Database Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper proposes a new perspective for the verification of grid models between the active and standby systems of the power dispatching automation, and the latter is integrated with the real-time database. This paper analyses the technologies of the grid model verification between the active and standby system based on the key technologies of the relational database and the real-time database. It discusses in detail the changes in the data storage structure of grid models, the technological architecture of the verification of grid models and the validation process. The research results have obtained practical applications in the smart dispatching system of power systems of Suzhou. Practice shows that the technologies proposed significantly improve the efficiency of grid model verification between the active and standby system, as well as provide support for lean power dispatching.

Key words: grid model validation; realtime-database; dispatching automation; active-standby system; data complementation

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)19-0139-06

0 引言

近年来, 随着“大运行”体系的建设和电网调度监控一体化的推广, 地县级电网调度监控一体化系统面临的数据采集规模急剧上升, 对系统提出了更高的要求。全景保存电网运行所有细节继而进行精细化的分析应用已成为一种趋势。常规的调度自动化系统所采用的周期性历史数据保存方式已不能满足这种要求, 而通过实时变化采样, 记录整个电网运行变化的所有细节可以使系统的应用功能和水平得到大幅提升^[1-2]。

运用数学方法对调度自动化主备系统间模型的高频采集数据分别进行加工处理, 对结果进行可视化分析, 从而达到主备系统间模型正确性校验的目的。通过该校验方法, 可以快速精细化定位分析主

备系统模型间的差异, 从而有助于发现主备系统的运行异常或者系统故障。时间序列数据库专门用于处理具有时间序列特性的数据, 支持毫秒级高频率的采集数据存储, 具有数据周期存储和变化即存储两种数据存储机制, 以其海量数据高效存储和访问的显著特点, 很好地满足了调度自动化系统精益化调度^[3-7]的紧迫需求。

本文重点研究数据变化即存储后如何快速进行调度自动化主备系统间电网模型数据的快速校验分析, 提出了一种主备系统模型数据快速校验的方案, 辅助调度人员快速分析定位故障设备^[8]。该方案基于时间序列数据库, 有效提高了主备系统间模型校验效率, 为精益化电网调度提供了技术支撑。

1 基于时间序列数据库的电网模型

1.1 时间序列数据库

时间序列数据库是处理具有时间序列特性数

据的数据库管理系统，其主要特点在于有着极高的数据插入、数据查询检索效率。同时为了长时间存储海量历史数据，时间序列数据库还使用高效的有损压缩算法和无损压缩算法，使得数据所占的空间大大减少。本文将以前国产某时间序列数据库为例，简要分析如何结合时间序列数据库实现对调度监控自动化主备系统间模型进行正确性校验^[9-14]。

在数据处理方面，时间序列数据库采用“测点名称”这一标识符来标识所存储的数据，每一个数据都由三部分组成：时标、值以及质量码，其数据格式如图 1 所示。

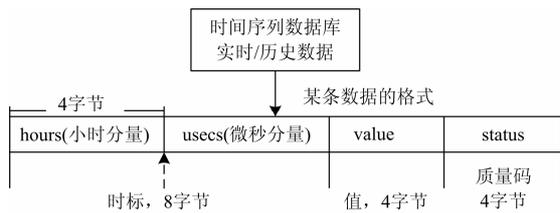


图 1 某时间序列数据库数据格式示意图

Fig. 1 Schematic of the data format in highsoon database

基于上面的“三元”式数据结构，时间序列数据库采用了有损和无损混合压缩算法对数据进行平滑、高效压缩，开发质量码存储，支持跨平台数据处理、每秒百万的数据提交效率以及每秒数十万的数据查询效率。实时数据库支持原始值、插值和阶梯值三种数据检索模式，满足对历史数据查询的多样化需求。实时数据库在数据处理上的这些特性为与大型地区智能电网调度技术支持系统^[15]的集成奠定了基础。

1.2 模型数据存储

在调度自动化系统中使用时间序列数据库，主备系统数据特别是电网模型的数据存储架构发生了较大变化。常规的电网调度监控系统中电网模型的存储主要依赖于关系数据库。使用关系数据库存储实时采样数据具有以下三点局限性：

- (1) 不支持对实时数据的实时变化采样；
- (2) 不支持海量数据的高效存储和检索；
- (3) 不具备数据压缩功能，存储海量数据需要很大的磁盘空间。

采用时间序列数据库与关系数据库联合存储数据，就可以充分利用各自核心功能，有力支撑精益化调度。采用时间序列数据库的调度自动化系统的数据存储架构如图 2 所示。

其中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数据结构，能够基于变化即采样的方式对电网海量变换频繁的实时数据进行存储，完整记录电网的运行轨迹。

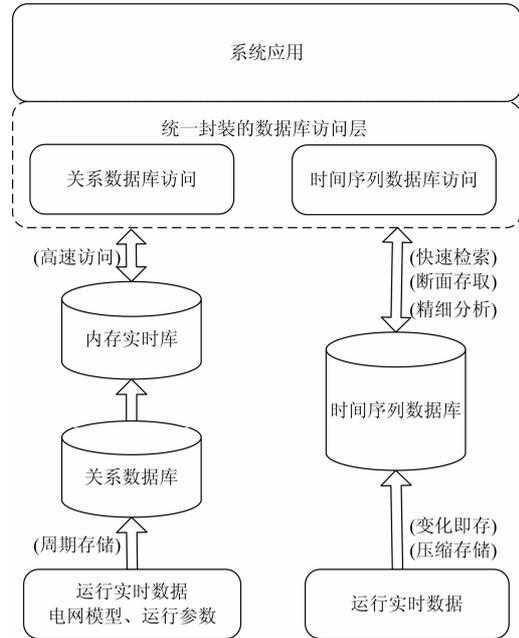


图 2 采用时间序列数据库的调度自动化系统的数据存储架构

Fig. 2 Data storage structure based on realtime database in the power dispatching automation system

采用这种数据存储架构主要有以下三点优势：

- a. 通过虚拟访问层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，保证功能完善的基础上，尽量减少改动，确保系统的稳定性。
- b. 充分利用时间序列数据库海量数据存储查询效率高和变化即存功能的特性，实现其对电网全息运行历史信息保存。
- c. 使用关系数据库存储电网模型关系及模型与时间序列数据库测点的映射关系，从而建立电网模型与数据的关系。

2 主备系统模型数据校验

2.1 模型校验原则

在调度自动化系统中，主调系统前置机除了会向主调系统写入数据还会通过数据通道向备调系统发送相同数据，但是在数据传送过程中往往由于数据通道或者接收设备解析故障等原因导致主备系统的模型数据在进行曲线或者列表对比分析时经常发现明显差异，其偏差已经超过合理范围，如图 3 所示。

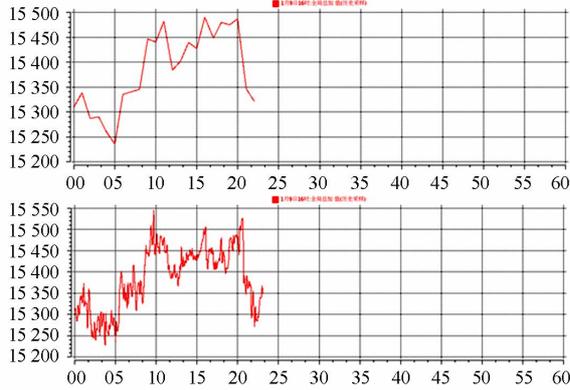


图3 主备系统模型数据的差异对比

Fig. 3 A comparison between modeling data of active and standby systems

图3为某主备系统模型某测点的数据曲线的对比图, 两幅图的横坐标表示某段时间范围等间隔的时刻, 纵坐标表示测点的值。从图中我们可以看到上下两条曲线图总的变化趋势是一致的, 但是在某些时刻的取值会有明显的差异。

为了表达图3所示的模型数据差异, 我们采用数据校验中经常使用的绝对偏差和相对偏差指标校验主备系统模型数据的差异。其中, 绝对误差定义为备用系统模型中设备对应的时间序列数据库中测点某时刻的值与主系统相同设备测点相同时刻值的差值; 相对误差定义为绝对误差与主系统模型中设备对应的时间序列数据库中测点该时刻值的比率。

2.2 模型校验技术架构

在调度自动化主备系统间模型发现差异, 要求调控人员能迅速校验模型数据, 快速定位出现问题的测点、发生时间及其对应物理设备。在综合利用时间序列数据库和关系数据库的基础上, 本文提出了一种高效的模型校验方案, 其技术架构如图4所示。模型校验技术架构分为四层。

数据存储层。包含关系数据库和时间序列数据库, 关系数据库存储模型关系及模型与测点的映射关系; 主备系统各部署一套时间序列数据库分别存储主备系统模型中所有测点数据。

统一数据访问层。统一访问处理关系数据库和时间序列数据库数据。

数据校验层。包含模型解析、数据校验和数据校验三个子模块功能。模型解析模块根据模型关系及模型与测点的映射关系解析模型中包含的时间序列数据库中的测点集合; 数据处理层根据校验规则及校验时间范围分别获取主备系统模型所有测点在该时间范围内的数据, 并对数据进行分类、补齐等

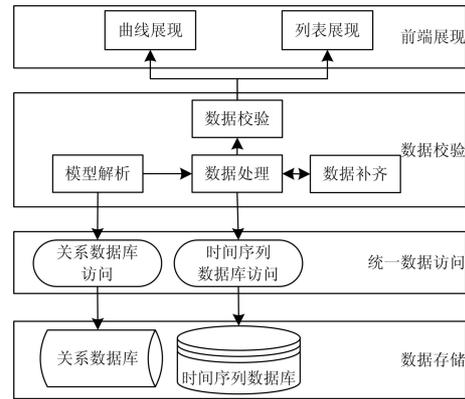


图4 主备系统模型校验技术架构

Fig. 4 Schematic of the verification technology between models of active and standby systems

处理; 数据校验模块对处理后的主备系统模型包含的所有测点的数据进行绝对偏差和相对偏差计算。

前端展现层。按照测点维度对主备系统模型测点在设定时间范围内的每个数据的绝对偏差和相对偏差进行拟合曲线展示或者曲线列表展示。

2.3 模型校验流程

主备系统模型数据校验包含模型解析、数据检索、数据处理、数据补齐及数据校验几个步骤, 其校验流程图如图5所示。

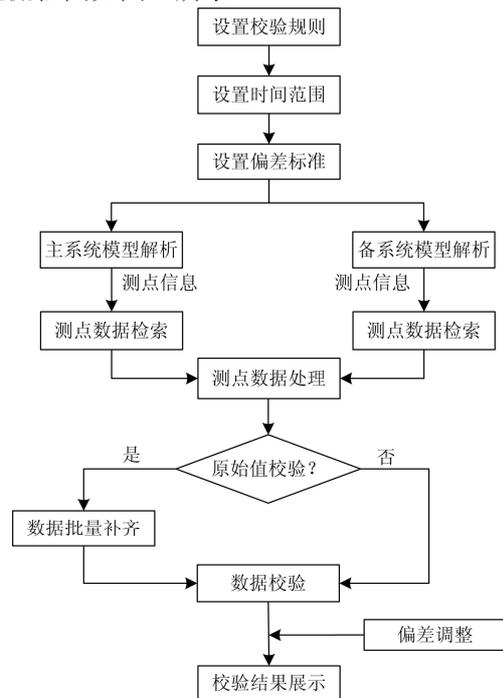


图5 主备系统模型校验流程

Fig. 5 Flow chart of the verification between models of active and standby systems

- a. 设置校验条件，包括校验时间范围、校验规则及校验偏差标准，其中校验规则包括原始值校验和采样值校验两种校验规则。
- b. 选择要校验的电网模型，根据关系数据库中存储的模型关系及模型中设备与实时库测点的映射关系，获取模型映射的测点集合。
- c. 根据测点集合、校验时间范围及校验规则分别到主调系统和备调系统实时库中批量检索所有测点数据。
- d. 将主备系统模型数据按照测点名匹配，测点名相同的数据划分为一组，形成多组数据。对每组内两个测点的数据按照时间序列排序，形成有序数据队列。
- e. 如果校验规则为原始值校验，则需要获取每组数据两个同名测点数据时间戳的最大集合，并使用数据补齐算法分别对两个测点没有数据的时间戳填补数值，从而形成两个顺序完全一致的时间序列数据，但是每个时间戳的数值有可能会存在差别。
- f. 对每组时间序列数据进行绝对偏差和相对偏差计算，计算结果按照测点维度通过曲线、列表等多种形式展示。偏差值超过偏差标准的测点时间戳数据会突出显示。允许调整偏差标准分析校验结果。

3 主备系统模型校验关键技术

3.1 模型校验规则

模型校验规则就是校验模型的数据获取规则。本文提出的模型校验技术方案中提供了两种模型校验规则，分别是原始值校验和采样值校验。

原始值校验：检索模型测点在指定时间范围内所有真实历史数据进行校验。

采样值校验：按照设置的采样时间步长，在指定时间范围内等时间间隔获取采样数据进行校验，包括插值采样和阶梯采样两种模式。

原始值与采样值的区别如图6所示。

如图6所示，上面的曲线绘制的是某个测点的原始值曲线，原始值用圆圈突出显示；下面的曲线中，既有原始值也有采样值，采样值为从 t_1 时刻开始等时间间隔 Δt 进行采样，原始值为较小的黑圆点，比如 t_5 、 t_6 时刻的原始值，采样值为用圆圈突出显示的加粗的黑色圆点，部分采样值和原始值重合比如在时刻 t_1 、 t_2 、 t_3 等时刻。

由原始值和采样值的区别可知，如果校验规则为采样值校验，则每组两个测点的时间戳序列完全相同且都有采样，不需要数据补齐即可进行模型校验；而如果采用原始值校验规则，由于两个测点原

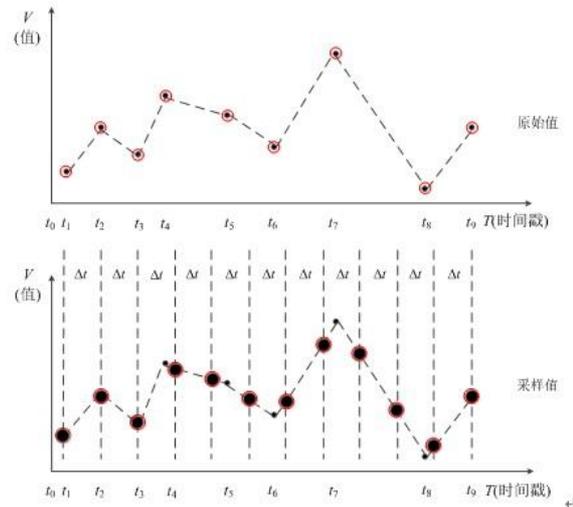


图6 原始值与采样值的差异

Fig. 6 Difference between original values and sampled values

始值的时间戳序列有可能出现差异，所以获取时间戳最大集合后，需要对空时间戳进行数据补齐。

3.2 模型数据补齐

如果校验规则为原始值校验，则需要使用数据补齐算法进行数据补齐。数据补齐算法提供了插值补齐和阶梯值补齐两种数据补齐算法，同时支持自定义补齐算法。

插值补齐：获取当前时间戳前最近历史值和后最近历史值，根据两值连线斜率计算该时间戳值。

阶梯值补齐：获取当前时间戳前最近历史值作为当前时间戳历史值。

两种数据补齐算法在实际应用中都有其实际意义，同时还支持自定义数据补齐算法，根据实际需求选择合适的数据补齐算法可提高模型校验准确率。图7给出了插值补齐算法、阶梯值补齐算法和一种自定义数据补齐算法的区别。

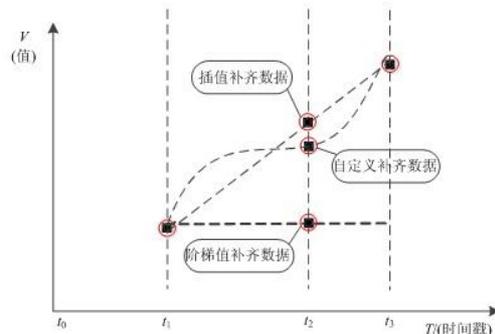


图7 插值补齐、阶梯值补齐与一种自定义补齐区别
Fig. 7 Difference of interpolation filled, ladder filled and customer filled

如图7所示, 某测点在 t_1 和 t_3 两个时刻的历史值黑色圆点表示并用圆圈突出显示。 t_2 时刻没有历史值, 我们采用不同的数据补齐算法为其填补历史值并用黑色圆点表示, 圆圈突出显示。从上之下分别对应插值补齐、自定义补齐和阶梯补齐的历史值。根据实际情况选择对应的数据补齐算法, 本方案中, 由于测点数据在其发生变化之前一直保持上一时刻历史值, 所以采用的是阶梯值补齐算法。

3.3 模型数据处理

时间序列数据库支持根据起止时间和时间步长批量获取测点采样值。

如果校验规则选择采样值校验, 可以直接通过该功能获取该测点在主备系统时间序列数据库中的指定时间范围及步长的采样数据集合, 进行相对误差和绝对误差计算。

如果校验规则选择原始值校验, 首先需要使用时间序列数据库的批量历史值获取功能分别获取该测点在主备系统时间序列数据库指定时间范围的历史数据集合。

由于测点在主备实时库中历史数据的时间戳可能会有差异, 所以需要对该测点的两组历史数据按照图8测点数据的处理流程进行处理。

如图8所示, 首先获取测点两组数据的最大去重有序时间戳集合; 然后根据每组数据的时间戳进行分类, 有数据和无数据的时间戳分别归为一类, 并保持类别中时间戳的有序性; 运用数据补齐算法对两组数据中无数据的时间戳队列进行批量数据补齐, 选择数据补齐算法时需考虑测点的物理意义; 最后将每组数据中的两类时序数据队列按照最大时间戳集合序列重新合并, 进行相对误差和绝对误差计算。

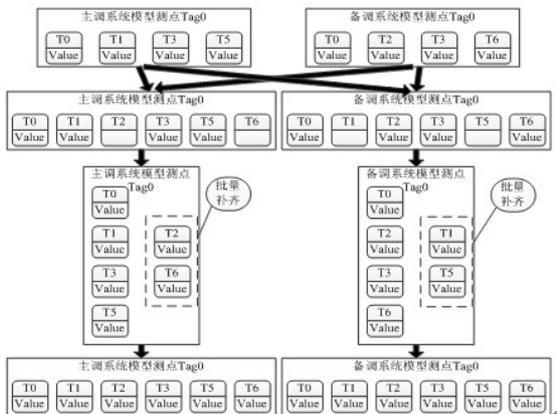


图8 测点数据处理流程

Fig. 8 Processing flow of point data

4 工程实用

本文成果已在智能电网调度技术支持系统苏州工程中得到了实际应用, 实现了调度自动化主备系统间模型的快速高效校验, 有力支撑了智能电网调度技术支持系统实现精益化调度。图9为调度自动化主备系统间模型校验结果展示。

时间	OPEN3000系统数据	DS5000系统数据	绝对偏差	相对偏差(百分比)	数据分量
2011-11-15 10:00:00	2667.72	2749.51	81.7815	3.07%	查看分量对比
2011-11-15 10:05:00	2687.85	2658.73	-29.116	-1.08%	查看分量对比
2011-11-15 10:10:00	2707.84	2754.28	46.4456	1.72%	查看分量对比
2011-11-15 10:15:00	2739.55	2779.66	40.1128	1.46%	查看分量对比
2011-11-15 10:20:00	2834.94	2767.88	-47.0615	-1.67%	查看分量对比
2011-11-15 10:25:00	2794.43	2689.52	-104.912	-3.75%	查看分量对比
2011-11-15 10:30:00	2811.25	2978.11	166.853	5.94%	查看分量对比
2011-11-15 10:35:00	2733.61	2918.52	184.905	6.76%	查看分量对比
2011-11-15 10:40:00	2731.36	2739.36	8.0098	0.29%	查看分量对比
2011-11-15 10:45:00	2842.02	2729	-113.02	-3.98%	查看分量对比
2011-11-15 10:50:00	2760.88	2716.89	-43.9875	-1.59%	查看分量对比
2011-11-15 10:55:00	2720.13	2734.59	14.4602	0.53%	查看分量对比
2011-11-15 11:00:00	2705.25	2757.75	52.4939	1.94%	查看分量对比

数据偏差较大, 点击右侧按钮可以查看详细

图9 主备系统间模型正确性校验结果展示

Fig. 9 Validation results between master and slave system model

通过设置开始时间、结束时间及时间步长, 我们可以查看任意时间段及任意步长的主备系统间模型正确性校验结果。如果某一时刻主备系统模型数据存在异常, 系统会将计算结果标红突出显示, 并可以查看历史数据对比明细。通过改变步长, 我们可以更加精细化校验主备系统模型, 可以迅速定位设备故障及发生时间并及时进行相应处理, 从而保证主备系统运行的可靠性和准确性。

目前本文实现的各项功能运行稳定, 能够满足大型地区电网调度自动化的实际应用需求。

5 结语

模型校验是电力调度自动化系统中一种重要的数据异常预防机制。设计合理的模型校验技术方案, 可以有效提高模型校验的效率及可靠性, 快速定位坏数据及设备故障。通过在智能电网调度支持系统苏州工程中的实践证明, 时间序列数据库的加入使得主备系统模型校验速度和准确性有了大幅提高, 为精益化调度提供技术保障。

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 Jian-guo, YANG Sheng-chun, GAO Zong-he, et al.

- Development trend prospects of power dispatching automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(13): 7-11.
- [2] 杜贵和, 王正风. 智能电网调度一体化设计与研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(15): 127-131.
DU Gui-he, WANG Zheng-feng. Design and research on power network dispatching integration of smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(15): 127-131.
- [3] 林榕, 王永红, 张会贤, 等. 智能调度一体化系统在河北南网的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(2): 151-155.
LIN Rong, WANG Yong-hong, ZHANG Hui-xian, et al. Application of integrated system of intelligent dispatch and centralized control in Hebei Southern Power Grid[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(2): 151-155.
- [4] 姜宪国, 王增平, 李琛, 等. 区域自治式后备保护分区方案[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 234-241.
JIANG Xian-guo, WANG Zeng-ping, LI Chen, et al. Zoning scheme of regional autonomy backup protection[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 234-241.
- [5] 刘蓓, 汪飒, 陈春, 等. 和声算法在含DG配电网故障定位中的应用[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5): 280-286.
LIU Bei, WANG Feng, CHEN Chun, et al. Harmony search algorithm for solving fault location in distribution networks with DG[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(5): 280-286.
- [6] 宋晓通, 谭震宇. 计及无功充裕度的电力系统可靠性评估与规划[J]. 电工技术学报, 2009, 24(5): 169-176.
SONG Xiao-tong, TAN Zhen-yu. Power system reliability evaluation under reactive power adequacy constraints[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(5): 169-176.
- [7] 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 Hai-feng, ZHANG Ke-heng, ZHANG Hong, et al. Key technologies of dynamic information database for power systems[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(6): 1681-1684.
- [8] 赵家庆, 季胜鹏, 钱科军, 等. 基于事件驱动机制的电网事件快速捕捉方案[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(23): 103-108.
ZHAO Jia-qing, JI Sheng-peng, QIAN Ke-jun, et al. Detection of power system events based on event-driven mechanism[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(23): 103-108.
- [9] 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 Ke-heng, JI Xue-chun, CHEN Peng. Application of dynamic information database in EMS/WAMS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(S): 92-96.
- [10] 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 Tai-gui, YUAN Lin. Application of dynamic database in dispatching automation systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(S): 106-110.
- [11] 方明霞. PI数据库在浙江电网的应用现状与展望[J]. 浙江电力, 2010(4): 51-54.
FANG Ming-xia. Application situation and prospect of PI in Zhejiang Power Grid[J]. Zhejiang Electric Power, 2011(4): 51-54.
- [12] IEC 61970-1 energy management system application program interface (EMS-API), part 1: guidelines and general requirements[S]. 2005.
- [13] IEC 61970-301 energy management system application program interface (EMS-API), part 301: common information model (CIM) base[S]. 2009.
- [14] ZHANG X P. A framework for operation and control of smart grids with distributed generation[C] // 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2008.
- [15] 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.

收稿日期: 2013-12-31; 修回日期: 2014-06-12

作者简介:

赵家庆 (1963-), 男, 本科, 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;

赵裕啸 (1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电网调度自动化与数据库软件开发工作;

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