

电网规划运行数据库与集成管理平台的设计与实现

金小明¹, 吴鸿亮¹, 周保荣¹, 杨柳¹, 毕兆东², 俞秋阳²

(1. 南方电网科学研究院有限责任公司, 广东 广州 510080; 2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 电网规划设计和运行管理中, 需要使用电源规划、负荷预测、网络拓扑、电气参数等各类信息。目前这些数据存在统计口径不一致, 信息不完备等问题。为此, 提出了一种电网规划运行数据库与集成管理平台设计方案。该方案基于 C/S 软件架构, 采用 Oracle 数据库进行数据存储, 并以数据完备、减少冗余为原则进行了数据库的详细设计, 涵盖了电网规划和运行管理所需的各类信息。在完成数据库设计的基础上, 开发了集成管理平台, 该平台主要提供了数据管理与维护功能以及电力系统元件模型自定义和电网运行方式管理功能。该设计方案已在南方电网得以实现, 并作为后续各类高级应用的数据支撑和集成管理平台。

关键词: 电网规划; 运行方式; 元件参数; 数据库; 自定义建模; 管理平台

Design and implementation of integrated database management platform for power grid planning and operation

JIN Xiaoming¹, WU Hongliang¹, ZHOU Baorong¹, YANG Liu¹, BI Zhaodong², YU Qiuyang²

(1. China Southern Power Grid Science Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510080, China;
2. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: In the planning and operation of power grid, various types of data such as generation planning, load forecast, network topology, electrical parameters, etc. are needed. At present, the statistics of these data are from different sources. Incomplete information is also existed. Therefore, this paper puts forward a design scheme of an integrated database management platform for power grid planning and operation to solve this problem. The integrated database management platform is based on a distributed software architecture and Oracle database for data storage, which covers all the data requirements for power system planning and operation and provides user defined component models. The scheme has been implemented in China Southern Power Grid. The platform provides data interface for all kinds of advanced applications.

Key words: power grid planning; operation mode; element parameter; database; user defined modeling; management platform

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)15-0126-06

0 引言

近年来, 随着电网建设的快速推进, 新能源的广泛接入, 柔性输电技术的大量应用, 电网规划设计的业务范围不断扩展, 电网调度运行的难度加大, 面对这种趋势, 规划设计和调度运行人员必须在全面掌握电网信息的基础上借助各种高级应用工具, 分析解决问题。但实际情况是, 因为数据统计口径不一, 信息不完备等问题, 导致规划和运行的分析研究工作不能深入, 工作效率亟待提高。因此, 需要构建一体化的电网规划运行基础数据存储环境, 借助通信、数据库技术, 开发电网规划运行数据统

一管理软件, 建立面向规划运行高级应用软件的技术支撑平台。

业界建立类似系统的有益尝试从未间断, 近年来国内电力行业进行了大量的前期研究工作, 文献[1]从数据需求的角度对规划平台进行了较为详细的探讨。文献[2]对规划平台的软件架构进行了研究。文献[3-5]针对规划数据的管理与应用建设了类似的系统, 但仅局限于规划阶段的数据, 未涉及从规划到运行电网全生命周期的数据管理与维护功能。国外电力行业则主要采用 PSS/E、ETAP、IPSA 等高级应用软件进行电网规划工作, 这类软件均具有较为丰富的分析计算功能, 但数据维护管理的功

能相对欠缺^[6]。

本文在消化吸收已有成果的基础上, 针对电网规划和运行阶段的数据维护与管理设计了相应的数据库与集成管理平台建设方案, 该设计方案在南方电网得到初步的实现, 相应的软件系统已经基本开发完毕。本文介绍了该设计方案中所涉及的主要内容与关键技术。

1 架构设计

本文首先进行了电网规划运行数据库与集成管理平台的软件架构设计, 对比分析了 C/S、B/S 两种不同的软件结构。C/S 架构的软件能够满足客户端功能复杂的专业性应用, 安全性好^[7]; B/S 架构的软件开放性, 通用性强, 维护升级方便^[8]。

电网规划运行数据的维护与管理, 面向少量的专业用户, 信息安全性要求高, 人机交互操作频繁, 数据逻辑性复杂, 集成管理平台需接入各类高级应用软件, 综合考虑以上需求特点后, 本文采用 C/S 架构进行电网规划运行数据库与集成管理平台的方案设计。具体方案详述如下。

采用 C/S 架构, 用户通过客户端应用程序与服务器端服务程序进行交互。方案架构如图 1 所示。

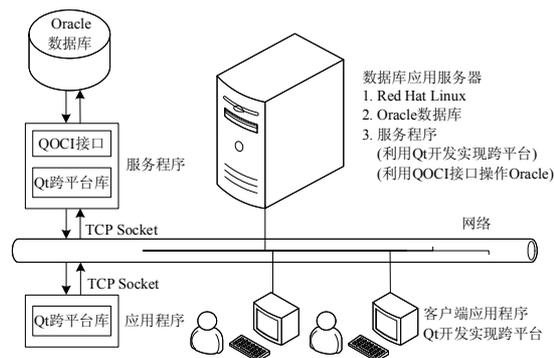


图 1 软件架构

Fig. 1 Diagram of the software architecture

本设计方案中的数据库应用服务器设置在区域电网调控中心或规划中心, 客户端应用程序安装在省级、地级电网调度中心和电网规划设计单位, 形成分布式的体系结构, 各级规划调度单位负责维护和管理各自业务范围内的数据, 最终由具有相应权限的区域电网调控中心或规划中心对全部数据进行整理、校核与发布, 以解决目前各方独立维护数据, 造成的数据统计口径不一致, 信息不完备的问题。

从安全性考虑, Linux 操作系统稳定性好, 不易受病毒攻击, 并且可以被允许放置于电力二次系统安全防护等级较高的 I 区和 II 区, 因此数据库应

用服务器操作系统采用 RedHat Enterprise Linux 5.8 的 64 位版本。数据库采用 Oracle 11g 企业版, 客户端可采用多种操作系统。

采用 Qt 开发服务器端服务程序和客户端应用程序。其中 Qt 是一个跨平台的 C++ 图形用户界面应用程序框架。它提供给应用程序开发者建立图形用户界面所需的所用功能, 其最大的特点是可以跨平台, 服务器端服务程序和客户端应用程序均可以使用 Qt 进行开发^[9]。

Qt 中的 QSql 模块实现了对数据库的完美支持, 这个模块是一组类的集合, 使用这个模块中的 Oracle 数据库驱动 QOCI 对 Oracle 数据库进行操作。今后如需要更改数据库类型, 可选择 QSql 模块中对应的数据库驱动, 不必重新编写代码, 提高了系统的通用性和扩展性。

服务器端服务程序利用 QOCI 接口实现对 Oracle 数据库的操作。客户端应用程序与服务器端服务程序通过 Qt 提供的 TCP 协议相关类的 Socket 进行交互通信。在特定应用需求下, 客户端应用程序也可利用 QOCI 接口直接访问 Oracle 数据, 这种方式提高了系统的灵活性和兼容性。

2 数据库设计

2.1 总体原则

根据需求分析, 本数据库既包含电网规划设计数据, 又包含电网运行管理数据。这两种数据既有联系又有区别。

电网规划数据, 种类繁多, 来源复杂, 冗余度高, 不一致性强, 需要整合最终形成几套典型电网运行方式信息。

电网运行数据, 确定性高, 来源唯一, 方式变化多, 数据量大, 数据的管理与存储是关键。

目前已有的其他电网数据库系统还未有将这两类数据很好结合在一起的先例, 本数据库的设计旨在提供一个合理性的方案来解决这一问题。

根据需求特点和设计目标, 首先制定本数据库设计的总体原则如下:

- 1) 整合电网各类规划和运行数据, 消除冗余, 保证数据的唯一性。
- 2) 以增量的方式对方式信息进行存储, 能体现不同方式之间的演化关系, 便于实现管理功能。
- 3) 采用统一的电网模型来关联规划与运行两类数据, 保证电网模型的可扩展性和数据的开放性, 为后续开发的各类高级应用提供数据支撑平台。

2.2 详细设计

依据总体设计原则, 在详细设计时将“电网规

划运行数据库”中存储的数据分为三类，这三类数据分别如下。

1) 电力系统元件参数类库表

电力系统元件参数类库表用于存储电网元件对象及其参数，以及各元件之间的拓扑连接关系，并通过地理从属关系、规划生效时段，例如投运日期、退役日期等信息组织起来。

数据库表中主要以母线名称、母线电压为联合主键/外键，将各种元件关联起来。同时将母线归并到相应的厂站，厂站归并到相应的网区，网区具有不同级别，相互之间具有从属关系。

为了体现不同规划阶段的电网元件组成，引入“投产日期”和“退役日期”的概念，用于界定电网元件所处的规划阶段，所有独立的电气元件都具有这两个时间属性，表明该元件在电网中出现的时

间跨度。例如，2020年在某交流线路“投产日期”和“退役日期”的时间区间内，表明该交流线路出现在2020年规划网架中。

目前，元件参数类库表，主要涵盖了网区、厂站、母线、交流线、并联电容电抗器、串联电容电抗器、两卷变、三卷变、直流线、负荷、静止无功补偿器、零序互感、发电机、原动机调速器、励磁系统、PSS等电网元件模型。

2) 电力系统规划信息类库表

依据电网规划各项工作的数据需求，把规划信息数据分为七大类，即基础信息、国民经济指标信息、电力负荷预测类信息、电源规划类信息、可靠性类信息、运行模拟类信息、经济分析与评价信息及流域信息(图2)。

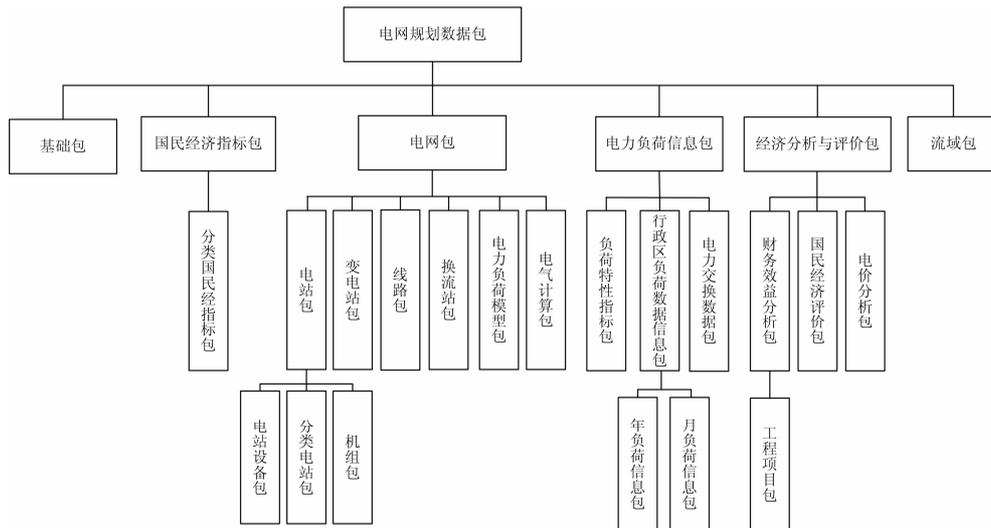


图2 电力系统规划信息包图

Fig. 2 Information package diagram of power system planning

3) 电力系统方式管理类库表

方式管理类库表中存储并管理电网运行方式信息，方式文件与电网运行规划数据库进行参数上的交互，根据数据库中的参数对方式文件中的参数进行更新维护，由编辑工具对方式文件和数据库中对应的参数进行修改，“电网规划运行数据库与集成管理平台”对这些方式文件进行管理与存储。

这三类数据的关系如图3所示，方式索引库用于管理方式文件；元件参数库用于与方式文件进行交互并更新方式文件中的参数，或由方式文件增加、修正元件参数库中的参数；规划信息类库表容纳电网规划所需的信息，并且根据需要将这与元件参数库进行关联。

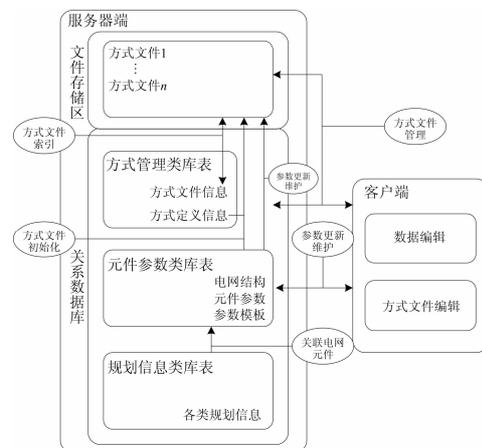


图3 数据库表关系图

Fig. 3 Three types of database tables

3 元件模型与模板

在电网规划和运行中需要利用各种元件的详细数学模型。电力系统的元件种类众多, 例如发电机、原动机、调速器、励磁系统、电力系统稳定器(PSS)等, 每一类元件的模型又分为不同的类型, 并且随着技术的发展, 模型的种类和数目还在不断的增加。

目前, 对元件参数的存储方法是: 针对每一类元件的每一类模型建立相应的存储结构, 确定参数个数, 参数顺序, 参数含义等信息。这种存储方法比较直观, 但存在通用性和扩展性差的缺点, 一旦模型发生修改, 必须修改相应的存储结构, 一旦出现新的模型, 必须建立新的存储结构。

因此, 在“电网规划运行数据库与集成管理平台”设计时, 针对电力系统元件复杂模型, 本文提出了模型模板的定义方法, 利用这种模型模板可以灵活定义各种模型, 即使是新的模型也可以很快建立相应的模型模板。在此基础上, 对所有元件不同种类的模型参数, 按照统一的存储格式进行存储, 在使用时依据其模型类型, 关联到相应的模型模板, 利用模型模板对参数的意义、格式、合理限值等信息进行解析。

结合图 4 进一步详细说明本设计方案中所采用的方法。

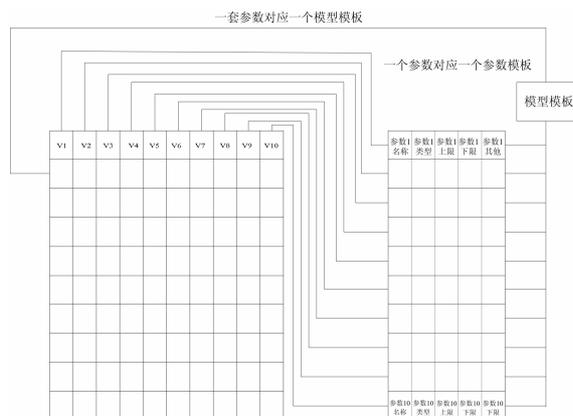


图 4 模型模板与参数关系图

Fig. 4 Relationship between the template and the parameters

(1) 模型模板的定义

给定模型所对应的电力系统元件类型, 如发电机、原动机、调速器、励磁系统、PSS 等。给定模型的具体类型信息, 如“IEEE 励磁模型 EA 型励磁”等信息。

(2) 参数模板的定义

给定参数模板所属的模型模板, 并至少定义以下信息: (a)参数的名称; (b)参数在模型中的序号; (c)参数的物理意义; (d)参数数据类型; (e)参数的格式; (f)参数的上限; (g)参数的下限; (h)参数的默认值。

以上元件模型模板、参数模板的定义可以使用关系型数据库、层次型数据库或者数据文件的形式加以实现。

(3) 参数统一存储格式

给定某一套参数所对应的模型模板类型, 例如某套参数对应的是“IEEE 励磁模型 EA 型励磁”。在此基础上按照参数的先后顺序存储参数数值或参数字符串。

(4) 模型参数解析

某一套模型参数, 依据其模型类型, 关联到与其对应的模型模板, 从而获取模型模板所包含的参数模板, 利用参数模板对每一参数进行解析, 从而获取参数的含义和其他相关信息。

这种模型自定义和参数统一存储的方法, 具有很强的通用性和扩展性, 应用领域十分广阔。

4 方式存储与表达

在“电网规划运行数据库与集成管理平台”设计中, 电网的运行方式的表达与存储是关键技术之一。在一个可供电气分析计算等高级应用使用的电网运行方式中包含诸多数据, 大致可分为以下几类: 网络拓扑、元件参数、元件检修信息、负荷信息、发电信息、无功补偿信息、主变分接头档位信息、计算控制信息。

其中对于不同的方式而言, 元件参数基本是相同的, 无需重复存储。同时, 两个相近的方式之间绝大部分信息是冗余的, 也无需重复存储。否则, 保存在数据库中的方式信息的冗余量必将大大增加, 浪费大量的存储容量, 并且降低检索速度。

因此, 本设计方案提出, 利用“方式”、“方式版本”、“方式元件”3 个层次对象的关联关系来表达和存储某一个具体的电网运行方式信息。方式信息采取增量存储的策略, 指定某一电网运行方式的基础方式, 某一方式版本可以具有上一版本。对于某一方式的某一版本而言, 仅存储方式相对于基础方式和上一版本的增量部分, 以达到减少冗余, 节省存储空间, 提高数据检索速度的目的。这种方式存储的结构如图 5 所示。

方式 x 的最新版本 N_x 的方式信息由式(1)计算得出。方式元件的信息均以增量的形式进行存储, 且根据方式 1 至方式 x 、版本由低到高的顺序依次

覆盖，最终形成方式 x 的最新版本 N_x 。

$$\text{方式}x = \sum_{i=\text{方式}1}^{\text{方式}x} \left(\sum_{j=\text{版本}1}^{\text{版本}N_x} \left(\begin{matrix} \text{母线增量}_{(i,j)} + \text{线路增量}_{(i,j)} + \\ \text{主变增量}_{(i,j)} + \text{其他增量}_{(i,j)} \end{matrix} \right) \right) \quad (1)$$

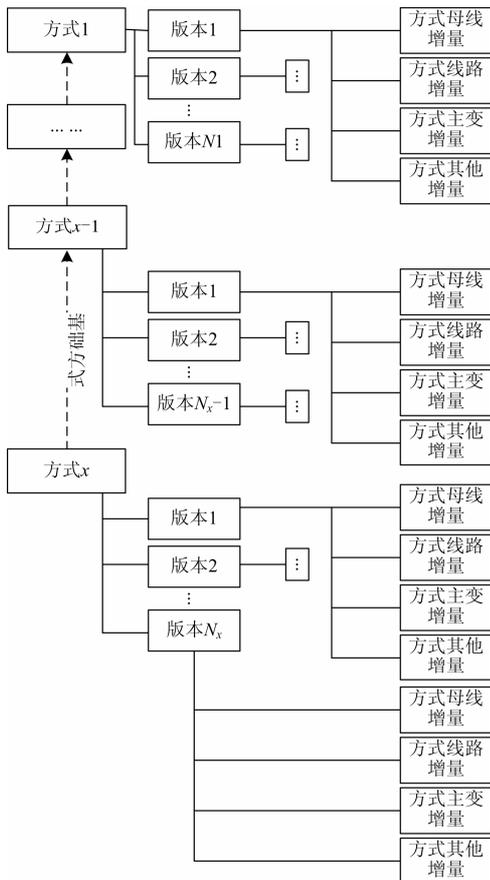


图 5 电网运行方式存储结构

Fig. 5 Storage structure of power grid operation mode

应用于“电网规划运行数据库与集成管理平台”的这种电网运行方式存储结构和合成方法除了具有节省存储空间，提高检索速度的优点之外，还具有可回溯性的特点。只要去除高版本的增量就可以逐一得到低级别的版本，对于方式的调整和管理具有良好的适应性。

5 系统实现

本文所提出的“电网规划运行数据库与集成管理平台”的设计方案已经在实际应用的得以实现。

该系统包括约 200 张数据库表，存储了南方电网五省区电网规划运行所需的各项数据，提供了数据管理与维护的通用工具；提供了电力系统元件自定义建模工具，使得用户能够自建新的元件模型，并将这些新模型的各套参数按统一格式进行存储。

该系统提供了方式存储与管理工具，能够定义新的电网运行方式，或者根据已有方式进行方式调整从而得到新的方式。方式的存储与合成采用了上文所述的方法，使得方式存储简洁，记录了方式的演进过程，具有可回溯性。

目前该系统建立在一台惠普 Z820 工作站上，Oracle 单机部署，系统主要硬件参数为 Intel Xeon E5-2643 双 CPU，24G 内存，在不同并发用户数量的情况下，系统运行性能测试数据如表 1、表 2 所示。

表 1 系统登录延时测试

Table 1 Test of system login delay

用户数	平均登录时间/s	最大登录时间/s	失败数
50	3.519	4.187	0
100	6.421	8.718	0

表 2 数据库服务器性能测试

Table 2 Performance test of database server

用户数	平均 CPU	内存占用/	平均
	占用/%	Mbytes	Disk Time/%
50	17.321	2 069.040	13.162
100	20.719	2 271.345	25.912

根据前期的需求分析，本设计方案主要应用于南方电网以及下属省级和地级电网调度运行和规划设计单位，在这种应用场景下，并发用户数在 50 个以下，因此测试系统的性能能够满足目前的应用需求，并且该系统作为数据平台，已经向负荷预测和电源运行模拟两种高级应用软件提供了数据接口和集成环境，未来还将接入电网规划运行所需的其他高级应用功能。

6 结论

贯穿整个生命周期的电网规划运行数据的统一维护与管理平台是业界一直期望实现的应用系统。本文在对各类规划运行高级应用的数据需求进行分析的基础上，提出了“电网规划运行数据库与集成管理平台”的设计方案。

该方案包括了软件架构设计、数据库表设计，元件模型自定义与通用存储方法设计，电网运行方式存储与管理方法的设计等关键技术，并在南方电网中得到实际运用，构成了一个完整的软件系统。该系统整合了南方五省区电网的规划运行数据，并与部分高级应用功能实现对接，未来将为更多的高级应用功能提供统一数据，应用前景十分广阔。

参考文献

[1] 姜腊林, 金小明, 龙鹏飞. 电力系统规划数据平台的

- 数据设计[J]. 电力科学与技术学报, 2012, 27(1): 92-96.
JIANG Lalin, JIN Xiaoming, LONG Pengfei. Design of power system planning data platform[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2012, 27(1): 92-96.
- [2] 黄平, 陶伟, 刘学. 电网规划研究平台的框架设计[J]. 能源技术经济, 2010, 22(3): 10-17.
HUANG Ping, TAO Wei, LIU Xue. Framework design of power grid planning and research platform[J]. Electric Power Technologic Economics, 2010, 22(3): 10-17.
- [3] 傅旭, 杨攀峰, 李冰寒. 西北电力规划决策支持系统设计及开发[J]. 陕西电力, 2011, 39(2): 71-74.
FU Xu, YANG Panfeng, LI Binghan. Design and development of Northwest Power Grid planning decision support system[J]. Shanxi Electric Power, 2011, 39(2): 71-74.
- [4] 李芳, 陈勇, 张松树. 大电网统一数据库建设相关技术研究[J]. 电网技术, 2013, 37(2): 417-424.
LI Fang, CHEN Yong, ZHANG Songshu. Research on construction of unified database of large-scale power grid[J]. Power System Technology, 2013, 37(2): 417-424.
- [5] 周鲲鹏, 方仍存, 颜炯. 电网规划智能辅助决策系统的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(3): 77-82.
ZHOU Kunpeng, FANG Rengcun, YAN Jiong. Design and implementation of an intelligent decision-making system for power grid planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(3): 77-82.
- [6] 黄平, 李晖, 李隽. 国外电网规划的侧重点比较和启示[J]. 电力技术经济, 2009, 21(3): 38-42.
HUANG Ping, LI Hui, LI Jun. Comparison and revelations of power grid planning outside China[J]. Electric Power Technologic Economics, 2009, 21(3): 38-42.
- [7] 周佃民, 廖培金, 甘志, 等. 多层 C/S 环境下地区电网运行管理系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2000, 28(1): 41-42.
ZHOU Dianmin, LIAO Peijin, GAN Zhi, et al. Design and analysis of regional power system operation management system based on multitier distributed client/server application[J]. Power System Protection and Control, 2000, 28(1): 41-42.
- [8] 张节潭, 黄志诚, 韦化. 基于 B/S 模式的电力系统分析软件[J]. 电力系统保护与控制, 2005, 33(17): 35-38.
ZHANG Jietan, HUANG Zhicheng, WEI Hua. Analysis software of electric power system based on B/S mode[J]. Power System Protection and Control, 2005, 33(17): 35-38.
- [9] 周启文, 游大海, 邓鹏. 基于多平台电力监控组态软件的开发[J]. 电力系统保护与控制, 2006, 34(1): 58-61.
ZHOU Qiwen, YOU Dahai, DENG Peng. Development of power system SCADA software based on multiplatform[J]. Power System Protection and Control, 2006, 34(1): 58-61.

收稿日期: 2014-10-20; 修回日期: 2014-12-29

作者简介:

金小明(1963-), 男, 教授级高级工程师, 主要研究方向为电力系统规划与直流输电技术;

吴鸿亮(1981-), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为电网后评价和经济评价研究;

俞秋阳(1980-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统稳定分析控制研究和相关软件开发工作。E-mail: yuqy@nrec.com

(编辑 姜新丽)