

面向智能电网的电力系统云计算

潘睿, 刘俊勇, 郭晓鸣

(四川大学电气信息学院智能电网四川省重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要: 针对电网规模的不断发展, 智能电网在电力系统的不断实现, 对电力系统处理器资源和储存资源的要求越来越高。提出了电力系统智能云, 智能云能够在现有处理器、储存设备不变的情况下利用系统内网整合电力系统现有的资源, 提高整个系统的计算储存能力和数据安全性, 减小系统扩建投资, 对于实现中国电力系统智能电网和超大规模计算提供了思路和有力的技术支持。

关键词: 云计算; 智能电网; 数字化变电站; 分布式; 超大规模计算; 智能云

Abstract: Aiming at the continuous development of power grid and the implementation of smart grid, the demands on processor and storage resource for power system are increased. The conception of smart cloud in power system is proposed. With the same processors and storage installations, smart cloud can integrate the existing resource in power system with system intranet to improve the computation and storage abilities and data security of the entire system, and can reduce the investment of system expansion as well. It provides a thought and technical supports for the implementation of smart grid and very large-scale computation.

Key words: cloud computing; smart grid; digital substation; distributed; very large-scale computing; smart cloud

中图分类号: TM74 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)增-0005-05

0 引言

美国 2001 年 EPRI 最早提出 “Intelligrid” (智能电网), 并开始研究, 欧洲 2005 年成立 “智能电网 (Smart Grids) 欧洲技术论坛”, 也将 “Smart Grids” 上升到战略地位展开研究。2006 年, 美国 IBM 公司提出的 “智能电网” 解决方案。根据 IBM 中国公司高级电力专家 Martin Hauske 的解释, 智能电网有 3 个层面的含义^[1]。中国能源专家武建东提出的 “互动电网”^[2]。互动电网, 英文为 Interactive Smart Grid, 它将智能电网的含义涵盖其中。互动电网定义为: 在开放和互联的信息模式基础上, 通过加载系统数字设备和升级电网网络管理系统, 实现发电、输电、供电、用电、客户售电、电网分级调度、综合服务等电力产业全流程的智能化、信息化、分级化互动管理, 是集合了产业革命、技术革命和管理革命的综合性的效率变革。它将再造电网的信息回路, 构建用户新型的反馈方式, 推动电网整体转型为节能基础设施, 提高能源效率, 降低客户成本, 减少温室气体排放, 创造电网价值的最大化。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 50977059)

文献 [3~5] 都是关于智能电网概念的描述, 所有的关于智能电网的描述都具有共同的思想: 提高整个电力系统信息网络系统收集、整合、分析、挖掘数据的能力; 实现整个电力系统的智能化、信息化、分级化互动管理; 构建一个低成本的电力系统设备和信息网络。针对这些构想, 将 “云计算” 引入电力系统, 通过建立电力系统智能云可以在现有电力设备基本不变的情况下, 利用中国电力系统内网建立智能云, 可以充分的整合系统内部的计算处理和储存资源, 极大提高电网数据处理和交互能力, 成为智能电网在中国实现有力的技术组成。

1 电力系统智能云分析

1.1 云计算基本原理

“云计算” 比较普遍的定义为: 云计算 (cloud computing) 是分布式处理、并行处理和网格计算的发展, 或者说是这些计算机科学概念的商业实现, 是基于网络的超级计算模式。云计算是虚拟化、效用计算、IaaS(基础设施即服务)、PaaS(平台即服务)、SaaS(软件即服务) 等概念混合演进并跃升的结果。

狭义 “云计算” 是指 IT 基础设施的交付和使用

模式,指通过网络以按需、易扩展的方式获得所需的资源(硬件、平台、软件)。提供资源的网络被称为“云”。“云”中的资源在使用者看来是可以无限扩展的,并且可以随时获取,按需使用,随时扩展,按使用付费。广义云计算是指服务的交付和使用模式,指通过网络以按需、易扩展的方式获得所需的服务。这种服务可以是 IT 和软件、互联网相关的,也可以是任意其他的服务。



图 1 云计算的发展过程



图 2 云计算概念的生成

云计算的基本原理是^[6],通过使计算分布在大量的分布式计算机上,而非本地计算机或远程服务器中,企业数据中心的运行将更与互联网相似。这使得企业能够将资源切换到需要的应用上,根据需求访问计算机和存储系统。它把存储在众多分布式计算机中的大量数据资源和处理器资源整合在一起协同工作。云计算是一种新的共享基础架构的方法,它可以将巨大的系统资源联合以提供各种不同的服务。这使得企业能够将资源切换到需要的当前应用上,根据需求提供处理器和存储资源。在云计算平台中的服务器可以是物理的服务器或者虚拟的服务器。高级的计算云通常包含一些其他计算资源,如存储区域网络、网络设备、防火墙以及其他安全设备等。

1.2 云计算与网格计算的区别

目前正在使用的网格计算技术是通过局域网或广域网提供的一系列分布式计算资源,而对终端用户或应用来讲,好像是一台大型虚拟计算机。通过在个人、组织和资源之间实现安全、协调的资源共享,来创建虚拟动态的组织。网格计算是分布式运算的一种

方法,不仅包括位置,而且还涵盖组织、硬件和软件,以提供无限的能力,使连接到网络的每个人都可以进行合作和访问信息。网格计算同样也是应用于分布式运算的一种方法,但是可以说从很多方面比较,云计算同网格计算都有很大不同^[9]。

表 1 云计算与网格计算的比较

	云计算	网格计算
资源分布	聚合分布资源,支持虚拟组织	资源相对集中,主要以数据中心的形式提供底层资源的使用,并不强调虚拟组织(VO)的概念
支持应用	支持广泛企业计算、Web应用,普适性更强	把分散的资源聚合起来,强调支持信息化的应用
异构性	承认异构,用镜像执行,或者提供服务的机制来解决异构性的问题	用中间件屏蔽异构系统,力图使用户面向同样的环境,把困难留在中间件,让中间件完成任务
作业服务	支持持久服务,用户可以利用云计算作为其部分 IT 基础设施,实现业务的托管和外包	用执行作业形式使用,在一个阶段内完成作用产生数据
面向应用	针对企业商业应用,商业模型比较清晰	更多地面向科研应用,商业模型不清晰
标准化程度	有标准化的协议和信任机制	无标准化,各家采用的技术架构也不同

1.3 智能云的提出

电力系统是具有分布参数的超级系统,由于电力本身的特点,电能不能大规模储存,发、输、配、用必须同时完成,电力生产控制要求实时性强、可靠性高,具有自然分布的特性,电力的生产管理也就自然形成了一整套“分级管理、分层控制、分布处理”的体系,多年的实践表明,这是电力系统内在的本质特征的体现^[10]。

“智能云”透过电力系统内网将庞大的计算处理自动拆分成小计算块,再交由多台服务器所组成的庞大系统进行计算分析,之后将处理结果返回给用户。通过智能云,极短的时间内可以处理巨大的信息,达到超级计算机的服务水平。通过分布计算,电力系统数据的运行与互联网相似,电力系统智能云能够根据应用切换资源,根据需求访问计算机和储存资源。智能云的目的是将运行的电网节点或单个计算机上的运算前移到系统内数量庞大的“智能云”内,由云来处理该点或计算机的请求。利用电力系统智能云不

在需要增强该点或计算机的额计算能力,而直接从“智能云”里面获得计算能力和资源,从而大大的提高整个系统各点的计算能力。

目前,各级电网都拥有一定的处理器资源和储存资源,智能云的实现关键在于不改变现有的计算机分布而能最大限度利用当前电力系统信息网络的物理架构,为当前的任务分配计算和储存资源。

2 电力系统智能云

2.1 智能云组成

中国现有电力系统的特点是电网分布的地域特征不同,网络的拓扑结构不同,电网的电气特点等将电网划分成多个子网,各子网的调度、运行、监控、保护、输配、营销由各子网中心负责,各中心拥有并维护着所辖电网的详细参数^[11]。各网络都针对所辖区域内的电网建立了较为详细的电力系统模型,而对相邻电网的模型则在一定程度上进行简化和等值,并在此系统模型的基础上进行计算机仿真,为电力调度、运行、监控、保护、输配、营销提供重要依据。这种简化等值的方法克服了由于中国地域辽阔而导致电力系统数据资源广域分布所带来的数据难以收集的困难,降低了系统仿真的复杂程度,但是简化等值模型的适用范围有限,智能云能较好地解决这一问题。

鉴于电力系统数据的敏感性和中国电力系统内网的完整性,在中国电力系统完全可以利用现有的系统内网的物理网络设备建立电力系统私有的云。利用这种云计算模式,电力系统完全控制云计算方式,这样的云储存和计算资源的访问可以完全由电力系统自己控制,而不是公用的云计算服务的提供商,相当于使用系统自己建立的内部云。

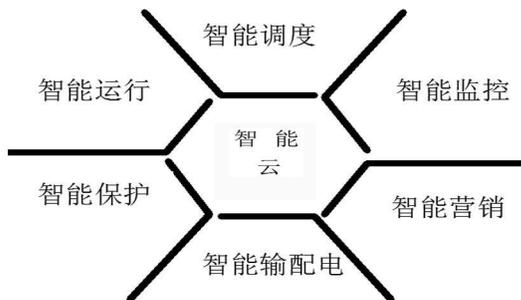


图 3 智能云的智能组成环节

面向智能电网的电力系统云计算就是为了实现智能电网各项智能模块而将云计算作为智能电网信

息交互的底层技术。智能云的组成包括:智能调度、智能运行、智能监控、智能保护,智能输配电。智能云就是智能电网各个智能环节信息整合、交互的技术实现。

2.2 智能云的服务体系

智能云不是单层的,而是一个多层服务的集合^[6]。底层是基础设施 (Infrastructure as a Service, IaaS),具有在特定服务质量约束的情况下提供计算机或数据中心的能力,使之能执行任意操作系统和软件。中间层是服务平台 (Platform as a Service, PaaS)。服务平台是在基础设施上加了一个用于给定应用的定制软件栈。其中包括操作系统和根据应用必须的服务。上层是应用程序 (Software as a Service SaaS),是计量服务,一个集中的系统部署软件在一台本地计算机上或者从智能云中远程运行的一个模型。

2.3 智能云技术体系

电力系统智能云通过集群应用、分布式计算等系统功能将电力系统内网络中的几乎所有网络和计算应用软件集合起来协同工作,共同对各级电网和计算机终端提供数据储存和计算服务。将集群功能、分布式处理等功能联合起来,通过软件接口,为电力系统各级电网和计算机终端提供智能云服务。

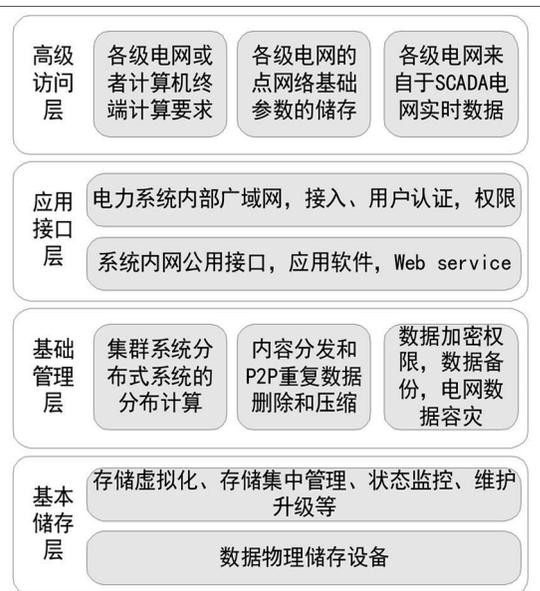


图 4 电力系统智能云的结构层次模型

电力系统智能云结构层次如下^[6]。

基本储存层:是电力系统智能云的储存基础。智能云储存中的存储设备大量分布在不同的地理位置,之间通过电力系统内部广域网连接在一起。

基础管理层:通过集群和分布式系统,实现智能

云中所有存储设备的协同工作,对外围提供强大的存储服务。

应用接口层:是智能云最灵活的部分,不同的各级电网可以根据需要、权限,提供不同的接口和服务。

高级访问层:任何级电网可以通过智能云公共接口来登录,获取计算需求。

2.4 智能云权限、冲突和安全机制

电力系统结构庞大,并且分布广,如果任何一个节点或者计算机终端的计算要求都提交到需求分配的总中心的话,中心压力很大,对网络速度要求很高,并且权限的判定也比较繁琐。在智能云体系的基础管理层中进行访问权限、冲突和安全机制的设置。

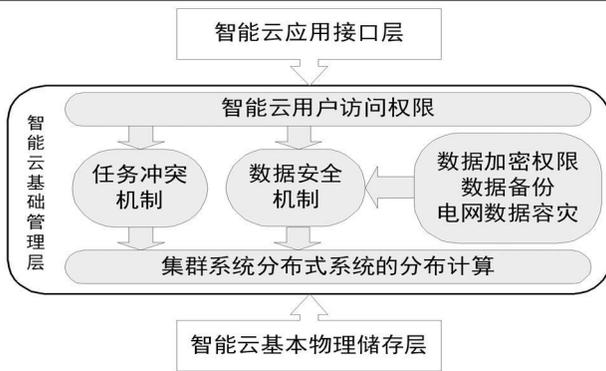


图 5 电力系统智能云的管理层机制

1)现有电力系统分级电网管理的层次很清晰,通过电网的级别建立主云和子云来限定权限和资源分配,从而减少系统内部不必要的权限管理和资源调配,是智能云的资源 and 权限更为合理。

当正常情况下,电力系统智能云中某级电网只能在间接本级和直接上一级的子云系统中获取资源。当出现紧急情况(如突发自然灾害)时,可以通过紧急调度的触发机制来获取更多级别的资源。

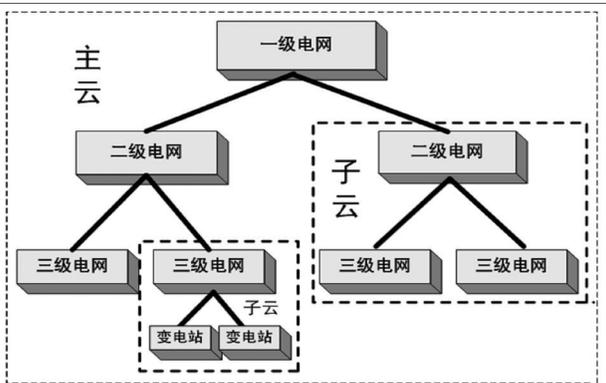


图 6 智能云访问权限机制结构关系实例

2)电力系统智能云中始终有多个任务同时提出资源申请,必须建立一个合理的任务分配和提交机

制,才能最大限度地利用云资源和避免网络的堵塞和任务的排队。首先,对整个系统内所有的任务进行分级,按照任务所属电网级别和任务紧急程度进行任务优先度分级;任务提出时,首先在本地对任务的资源需求进行分析,如果本地资源能够在本地或者以该级电网为云根的子云里在规定时间内完成时,该任务不向上级云资源提出资源请求;

不满足上面的情况时可以向同级的云提出资源请求,并且进行任务优先级进行比较,如果继续不满足,则向上级云提出资源请求,进行任务优先级排队。

以上只是初略方法,通过建立一个详细的任务分配机制可以逐步按照任务的需求获得智能云的任意资源,并且避免网络的阻塞,最大限度利用云资源。

3)智能云的数据安全是智能云实现的核心。通过数据加密权限、数据备份、电网数据容灾的建立完整的智能云的数据安全机制;电力系统内网是一个物理上完全独立的广域网,物理上的隔离保证了电力系统数据在网络上对于其他行业的安全保密性;同级的电网对数据没有访问权,但是数据可以在同级资源中进行加密的存储和计算;数据对上一级是完全可见的,也就说该级完全拥有下级所有的数据访问权。通过安全机制可以保护各级数据的安全,并且最大限度地提高资源的利用率。

2.5 智能云特点

1)良好的扩展性和经济性。即使建立电网中再小的节点或者计算机终端,需要配置显示器、硬盘、CPU、内存等一整套设备,并且确保其性能满足该节点或终端的计算和储存需要。但利用电力系统智能云,可能只需要一个现实设备,接入电力系统广域网,就可以根据权限实现计算和储存功能,而且不必担心自己购置的设备被淘汰,因为智能云所采用的硬件设备是系统核心节点单位负责维护和更新,这样电力系统在信息交互的这个层面就具有良好的扩展性和经济型。

2)强大的计算和存储能力。电力系统智能云将系统各节点和终端的计算和数据分布在大量的分布式计算机上,云海中成千上万的计算机提供强大的计算能力,针对中国巨大的电网规模和庞大的系统数据,智能云提供强大的计算和储存能力。

3)系统数据高安全性。在智能云中,数据集中存储,因而更容易实现安全监测。尤其针对电力系统安全 I 区,电力系统内部管理者对数据进行统一管

理、分配资源、均衡负载、部署软件、控制安全, 并进行可靠的安全实时监测, 从而最大限度地保证各级电网的数据安全和数据权限。

4) 计算和储存的虚拟化。虚拟化是电力系统智能云的技术基础, 它将底层的硬件, 包括服务器、存储与系统内网设备, 全面虚拟化, 以建立起一个共享的、可以按需分配的庞大的电力系统内部资源池。

5) 资源动态扩展、分配。系统信息网的各种资源可以按需分配和自动增长, 而上层的数据及应用可以根据级别和重要程度的不同, 搭配出各种互相隔离的应用, 形成一个服务导向的内部智能云架构。

6) 电力系统智能化。由于电力系统智能云的建立, 基于系统海量数据的数据挖掘技术来获得大量的系统知识。海量的数据加上海量的分析大于知识。

3 基于智能云的数字化变电站实例

电力系统数字化变电站是由智能化一次设备和网络化二次设备分层构建, 建立在 IEC61850 通信规范基础上, 能够实现变电站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站。由于数字化变电站和智能云的特点, 两者相结合可以实现基于智能云的电力系统数字化变电站^[12]。

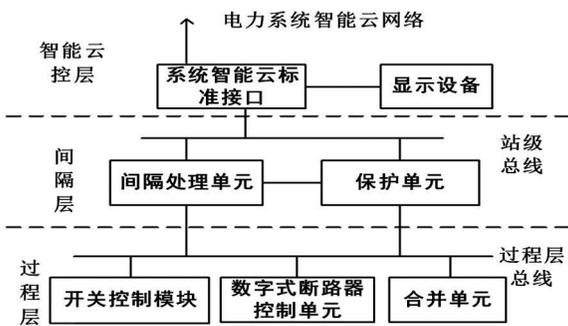


图 7 基于智能云的数字化变电站分层分布结构示意图

根据 IEC 61850 标准的描述, 结合系统的智能云结构, 基于智能云的数字化变电站的一、二次设备可以分为三层: 站网控层, 间隔层, 过程层。过程层主要是指变电站内的变压器和断路器、隔离开关等一次设备。变电站在基于智能云的数字化系统主要指间隔层和站网控层。间隔层一般按断路器间隔划分, 具有测量、控制元件或继电保护元件。间隔层由各种不同间隔的装置组成, 这些装置直接通过局域网或者串行总线与智能云控层联系; 也可设有数据管理机或保护

管理机, 分别管理各测量、监视元件和各保护元件, 然后集中由数据管理机和保护管理机与智能云控层通信。智能云控层包括本地的显示设备和智能云接口等, 实现与智能云的数据流的互动。

基于 IEC 61850 标准的数字化变电站确立了电力系统智能云变电站的建模标准, 采用面向对象建模技术、软件复用技术、高速以太网技术、嵌入式系统技术和嵌入式实时操作系统 RTOS (Real Time Operation System) 技术, 以及 XML 技术等, 体现了“软件总线”的概念, 实现软件领域的“即插即用”。满足了电力系统智能云的实时性、可靠性要求, 有效地解决了异构系统间的信息互通、数据内容与显示分离、自定义性和可扩展性等问题, 使得数字化变电站分层分布式方案的实施具备了可靠的技术基础。

基于智能云的电力系统数字化变电站主要包括两部分: 一是对原有的变电站进行数字化改造; 二是随着电网建设需求新建数字化变电站。

变电站一次设备中常规的继电器及其逻辑回路被可程序代替, 常规的强电模拟信号和控制电缆被光电数字和光纤代替。并且一次设备实现了故障的自动检测、诊断、信息上传, 减少了停电检修的机率, 提高了电网运行可靠性^[13]。

变电站内常规的二次设备, 同期操作装置以及正在发展中的在线状态检测装置等全部基于标准化、模块化的微处理器设计制造, 设备之间的连接全部采用高速的网络通信, 二次设备不再出现常规功能装置重复的 1/0 现场接口, 通过网络真正实现数据共享、资源共享, 常规的功能装置在这里变成了逻辑的功能模块。

目前, 传统变电站的综合自动系统虽然基本实现了计算机化和网络化, 但是由于缺乏统一的通信规约标准, 设备间互操作性差, 很难实现全站设备信息及操作一体化; 而基于智能云的数字化变电站采用的 IEC 61850 标准对站内智能电子设备的信息描述与访问方法都进行了全面的定义和规范, 形成了统一的通信规约平台, 设备间可实现无缝连接, 具有互操作性, 便于维护和更新, 减少投运时间, 提高工作效率。

4 智能云在电力系统的展望

根据电力系统的基本特点, 智能云的建立不能完
(下转第 37 页)

- [27] 郭栋,李啸骢,郭袞,等.励磁与 SMES 协调控制中的静态偏移问题 [J].电力系统及其自动化学报, 2006, 18(3): 38-41, 63.
- [28] 李啸骢,郭栋,韦化,等.超导磁储能与发电机励磁的多指标非线性协调控制 [J].中国电机工程学报, 2007, 27(28): 29-33.

作者简介:

李勇 (1983-), 男, 硕士研究生. 主要从事电力系统稳定与控制的研究。

刘俊勇 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力市场、电力系统可视化及电力系统稳定与控制等方面的研究。

(收稿日期: 2009-10-10)

(上接第 10 页)

全的效仿普通的云计算,而是要构建适合电力系统现有信息网络架构的电力智能云。

(1) 电力系统结构庞大, 并且分布广, 如果任何一个小节点或者计算机终端的计算要求都提交到需求分配的总中心的话, 中心压力很大, 并且权限的判断也比较繁琐。但是电力系统分级管理的层次很清晰, 通过级别建立主云和子云来限定权限和资源分配, 从而减少系统内部不必要的权限管理和资源调配, 是智能云的资源 and 权限更为合理。

(2) 目前, 电力系统已经有比较完整系统内部网络的物理架构和分布在整个电网各级的计算和储存资源, 只要通过软件和接口, 就能在现有的设备上建立电力系统智能云。

(3) 当前, 电力系统的发展很快, 电网扩建很迅速。以前的扩建都需要很大的投资在处理器和储存设备上。而在电力系统智能云的体系架构下扩建电网, 信息设备只需要要很小的投资, 只需要投资显示和外设, 这样可以大大节省硬件投资。

5 结 论

电力系统智能云的提出和建立, 将对整个电力系统信息交互、计算和储存带来巨大的影响。通过智能云的建立, 在完全不改变现有系统内网和设备的情况下, 最大限度挖掘系统现有计算和储存资源能力, 提高当前系统的整体性能。并且通过基于智能云的数字化变电站, 极大的提高了电网在智能云下的可扩展性, 为虚拟变电站的实现提供的新方法, 减少了电网扩建的大量投资, 为智能电网在我国的建立和实现提供强有力的技术支持。

参考文献

[1] IBM 论坛 2009, 点亮智慧的地球 [EB/OL]. <http://www>

-900. [ibm.com/cn/forum2009/wisdom_shtn1](http://www.ibm.com/cn/forum2009/wisdom_shtn1)

- [2] 武建东. 全面推互动电网革命 拉动经济创新转型 [EB/OL]. 2009-02-03. <http://www.chinapower.com.cn/article/1146/art1146899.asp>
- [3] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.
- [4] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述 [J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-5.
- [5] 钟金, 郑睿敏, 杨卫红, 等. 建设信息时代的智能电网 [J]. 电网技术, 2009, 33(13): 12-18.
- [6] 李雅轩, 杨春晖, 田军夏. 中小企业信息化建设的计算模式——云计算 [J]. 河北企业, 2009, (6): 70.
- [7] 王龙, 万振凯. 基于服务架构的云计算研究和实现 [J]. 计算机与数字工程, 2009, 37(7): 88-91.
- [8] 张敏, 陈云海, 林立宇. 带耐心运营商云计算数据中的构建分析 [J]. 规划与建设, 2009, (6): 100-106.
- [9] 高岚岚. 云计算与网格计算的深入比较 [J]. 海峡科技, 2009, (2): 56-57.
- [10] 辛耀中. 电力信息化几个问题的探讨 [J]. 电力信息化, 2003, 1(3): 20-23.
- [11] 张伟, 沈沉, 卢强. 电力网格技术初探 (一) [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 1-4.
- [12] 王璐, 王步华, 宋丽君, 等. 基于 IECQ61850 的数字化变电站的研究与应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(28): 91-94.
- [13] 丁书文, 史志鸿. 数字化变电站的几个关键技术问题 [J]. 继电器, 2008, 36(10): 53-56.

作者简介:

潘睿 (1984-), 男, 四川成都人, 硕士研究生. 主要研究方向为电力系统稳定与控制、电力系统新技术。

刘俊勇 (1963-), 男, 四川成都人, 教授, 博士生导师. 主要从事电力市场、分布式发电、灵活输电与电力系统可视化等方面的研究。

(收稿日期: 2009-11-04)