

基于实时电价的智能用电系统

殷树刚¹, 张宇², 拜克明³

(1. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192; 2. 华北电力大学 工商管理学院, 北京市 昌平区 102206; 3. 新乡供电公司, 河南省 新乡市 453002)

A Smart Power Utilization System Based on Real-Time Electricity Prices

YIN Shu-gang¹, ZHANG Yu², BAI Ke-ming³

(1. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China;

2. School of Business Administration, North China Electric Power University, Changping District, Beijing 102206, China;

3. Xinxiang Power Supply Company, Xinxiang 453002, Henan Province, China)

ABSTRACT: The development course of smart power utilization technology in China is presented and the influences of electric price policy on smart power utilization are analyzed. A framework for smart power utilization system based on the real-time electricity prices is proposed and the functional requirements of each several parts of this system, including master station system, remote access, smart meters, local channels, interactive terminals, smart switchers and so on, are expounded, and the information flow of smart power utilization system is given. The differences between traditional power utilization mode and smart power utilization mode during the stage of real-time price are compared too.

KEY WORDS: smart power utilization; electricity pricing policy; real-time electricity price; smart meter

摘要: 介绍了我国智能用电技术的发展历程, 分析了电价政策对智能用电的影响, 提出了基于实时电价的智能用电系统框架, 阐述了系统各部分的功能需求, 包括主站系统、远程信道、智能电表、本地信道、互动终端、智能开关等, 给出了智能用电系统的信息流程。比较了实时电价阶段的智能用电与传统用电方式的不同。

关键词: 智能用电; 电价政策; 实时电价; 智能电表

0 引言

当前, 提高能源的使用效率, 开发可再生能源, 降低污染与温室气体排放, 是世界各国都关注并积极探索的重要课题^[1]。理想化的电力负荷需求对节能减排和人类社会发展低碳经济作用很大。智能用电的指导思想就是采用信息化手段, 利用价格杠杆, 通过互动化策略, 调动电力用户参与需方响应, 实现电力负荷需求的理想化^[2-3]。这也是“智能电网”

提出的重要技术背景之一。

受政策管理体制以及监管制度的制约, 我国智能用电的发展大致分为 3 个阶段: 用电负荷管理阶段、峰谷电价调节阶段、实时电价发布阶段(在建)。

20 世纪 80 年代初, 中国电力科学研究院在国内率先提出了用电负荷管理^[4-13]的概念, 这是中国智能用电思想的雏形。当时国内缺电严重, 用电负荷管理系统在用户超定量用电时, 首先采用声、光等报警手段提醒用户主动降低负荷, 如果告警无效, 才选择远程控制, 强制切负荷。因此用电负荷管理系统的实现改变了中国传统的用电管理理念, 强调了电力用户的主动参与。

20 世纪 90 年代, 原电力部东北电网公司开展了“峰谷电价”的试点工作, 取得试点工作经验后向全国推广。当时主要是在工业用户中推广该政策。最近几年, 江苏、上海等省市陆续在居民用户中推广该政策。实施峰谷电价, 电力企业可以通过价格调节作用, 让用户主动移峰填谷, 对电力负荷需求曲线的理想化贡献很大。峰谷电价的实施, 标志着随着改革开放的深入, 价格因素作为重要的优化配置资源的手段已经被电力企业所接受。

经过 20 多年的发展, 中国的智能用电目前已经走到了第 3 阶段。如何建设有中国特色的智能用电, 众说纷纭, 本文试图在这方面进行一些探讨。

1 智能用电与电价政策

目前我国的电价是受管制的, 管制下的电价无法真正反映电力供应与需求之间的关系, 从而导致电力企业在电力需求波动的时候, 缺乏有效的调节

手段，造成资源的巨大浪费。

理想化的电价形成机制应该是：电力企业根据电力供需状况以及电力供应中清洁能源的比例，实时制定并发布电价，通过价格杠杆调节电力用户的需求，实现电力负荷需求的理想化。因此，放松电价管制是建设智能用电的重要手段。

但是，理想化的电价形成机制在实际实施的时候有很多问题，缺乏可操作性。即使是电价限制在某一区域内，也会造成电价种类太多，过于颗粒化的电价会使电力用户形成响应疲惫，进而影响响应的效果^[14-15]。过于颗粒化的电价同样会带来电价政策发布和计量的庞大的通信数据量，导致智能用电系统运行费用和建设费用猛增。

目前我国工业用户中普遍实施的峰谷电价时段划分策略是：以日为周期，在 24h 内根据时段的不同实施 3 种费率。这种时段划分策略难以完全适应负荷的变化。以北京地区为例，北京电网峰谷电价时段划分方案是：1) 峰段，10:00—15:00，18:00—21:00；2) 谷段，23:00—7:00；3) 平段，7:00—10:00，15:00—18:00，21:00—23:00。可是，2009 年 6 月 25 日 15:51，北京电网日最大负荷达到 12.440 GW^[16]。也就是说在当日日负荷需求达到极值的时候，电力企业对电力用户实施的电价策略却是平电价。因此必须改变峰谷电价采用的时段划分策略。

政府可以授权电力企业根据负荷预测的实际状况，灵活地制定峰谷电价日时段划分策略，只要其策略保证峰、平、谷时段的时间长度均等即可。在此条件下，电力企业出于追求利益最大化的考虑，制定的峰谷电价日时段划分策略就会具有很强的针对性。这种针对性对电力负荷需求的理想化以及社会节能减排意义重大。

灵活的峰谷电价日时段划分策略可以带来社会和企业的双赢。借鉴峰谷电价的制定方法，政府还应该考虑授权电力企业实施更多种类的分时电价。分时电价种类的增多，使电力企业对电力负荷需求进行更细致地调节成为可能。

2 基于实时电价的智能用电系统

2.1 智能用电系统组成

结合建设智能电网的实际需求，本文提出智能用电系统的框架结构见图 1，由主站系统、远程信道、智能电表、本地信道、互动终端、智能开关等主要部分组成。

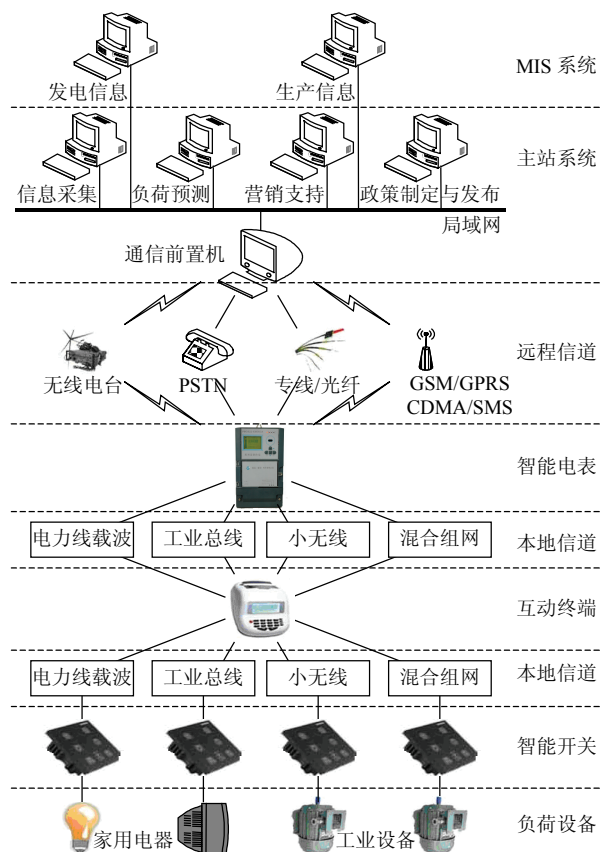


图 1 智能用电系统组成

Fig. 1 Framework of smart power utilization system

考虑到运行的经济性，居民用户智能用电系统在远程信道与智能电表之间有可能利用本地信道进行通信的集中和转发；从发展的角度看，居民用户智能用电系统中的智能开关有可能被智能家电所取代。

2.2 主站系统

智能用电主站系统包括用电信息采集、营销服务支持、负荷预测、电价策略制定和发布 4 个子系统。下面简要介绍各子系统的功能。

1) 用电信息采集子系统。电力企业通过对用户用电信息的自动采集和实时监视，及时掌握用户用电信息，提升市场分析能力；大量用户用电信息的采集和存储，为营销服务支持子系统和负荷预测子系统的正常运行提供了数据基础。

2) 营销服务支持子系统。为客户提供服务个性化、方式多样化、分析智能化以及高度集成化的全方位服务，包括节能分析、用能咨询、委托管理等；对企业采用流程驱动模式，实现营销业务办理自动化，主要包括业扩报装、抄表管理、电量电费、收费帐务、银电联网、电能计量、线损管理、购电管理、用电稽查、用电检查、需求侧管理等^[17]。

3) 负荷预测子系统。利用营销数据中心存储的大量用户用电信息,采用数据仓库、智能挖掘、联机分析等技术,以多维分析方式,精确地预测负荷,为企业制定有针对性的电价策略服务。

4) 电价策略制定和发布子系统。利用负荷预测子系统的预测结果,综合发电信息、输送能力等相关信息,制定出具有针对性的电价日时段策略并发布到所有电力用户,同时具有定期发布结算电量、电费和电量电费清单等功能。

电价策略制定和发布子系统采用排列组合的算法,生成所有满足政府监管方案的电价日时段划分策略,电力企业只须将预测的未来24h的电力负荷需求和供应的数据输入电价策略制定和发布子系统,系统即可自动筛选出最具有针对性的电价日时段划分策略并进行发布,借此进行用电负荷的智能调节。

采用电价日时段划分策略方案的主要好处是:海量数据的电价日时段划分策略完全能够弥补由于电价的细化程度不足导致的电力需求曲线与电力供应曲线之间的偏差;电价日时段划分策略的发布方案,可以大大降低智能用电对通信的实时性要求。

采用上述的电价日时段划分策略的方案还具有良好的扩展性:既可以满足目前需求(如果每天发布的电价日时段划分策略一致,并且将电价的种类减少到峰、平、谷3种,智能电表就可以满足现行峰谷电价的计量需求),又能够满足智能用电发展的需求(只需启动对电价种类或者电价日时段划分策略的多样化服务即可)。

电价日时段划分策略方案良好的扩展性,为电力企业分阶段、分步骤地建设智能用电提供了可能。

2.3 远程信道

远程信道主要功能是:上行信道用于传送智能电表和互动终端采集的用户用电信息;下行信道用于发布电力企业制定的电价日时段划分策略。还可通过远程信道下发或按照预先设定的时间定时抄读、自动上传预设数据。事件报警按照事先设置的事件实时监测,主动上报。考虑增值服务的需要,远程信道还可以为用户提供个性化的定制服务。

配用电侧通信手段是制约智能用电系统建设的主要瓶颈。考虑到各地经济发展水平的差异,智能用电系统远程信道需要灵活配置。对于在运行的线路,电力企业应综合考虑经济、技术、发展等因

素,综合评估现阶段可采用的技术(光纤、无线电台、电力线载波、公用信道等)后,加快建设;对新建的配网线路,电力企业可以考虑采用光纤复合相线(optical fiber composition phase conductor, OPPC)技术,在建设配电线路的同时同步建设远程信道。电力企业还应对可用于远程信道建设的新技术加大科研力度。

2.4 智能电表

2.4.1 功能设计原则

作为智能用电系统的核心和基础,智能电表的功能设计必须考虑中国的国情,以及目前配用电侧通信信道的实际状况。智能电表的设计应遵循下面3个原则:考虑分布式能源的接入;考虑通信信道的实际承受能力;考虑用户互动的便捷性。

智能电表主要功能包括:计量功能、费率和时段功能、控制功能、预付费功能、数据存储功能、事件记录功能、用户加密功能等。

2.4.2 计量功能

目前我国普遍应用的单相电能表主要是计量电力用户的正向有功电量,三相多功能电能表具有计量正向有功电量、正向无功电量、正向有功最大需量、正向无功最大需量等功能。

考虑到分布式电源的灵活接入,智能电表应增加记录反向有功电量、反向无功电量、反向有功最大需量、反向无功最大需量等功能。

出于建设基于实时电价的智能用电系统考虑,在现阶段智能电表至少应该具有计量峰谷分时电能(总、尖、峰、平、谷)的功能,从长远来看,智能电表的计量功能不应仅仅满足实施峰谷分时电价的需要,还应满足实施更多费率分时电价的需要。

2.4.3 费率和时段功能

智能电表的费率和时段的划分和执行不是在智能电表本地存储后以日为周期循环执行,而是完全依靠智能用电系统主站下发,智能电表在 $D-1$ 日通过远程信道接收到电价时段划分策略后通知电力用户,并在 D 日0:00开始执行。

2.4.4 控制功能

远程控制功能是指电力企业可以通过智能用电系统主站对智能电表进行停、送电的操作。智能电表通过输出脉冲或电平开关信号控制表内继电器或表外负荷开关的方式来实现远程控制。

远程控制功能的主要作用是:对预付费用户,在用户欠费时电力企业可以实施停电;电力用户如

果更换供电服务商，被选择的供电服务商可以通过该功能为用户启动服务。

2.4.5 预付费功能

智能电表具有预付费功能，智能用电系统主站可以通过下发电费的方式，实现用户的预付费。

考虑到下发电费方式对数据信息安全的要求级别很高，参考国际信用卡消费的具体做法，建议不要采用此种方式进行实际结算，只是把此功能作为对用户及时续费的提醒和参考，最终的电费结算以智能用电系统主站的数据为准。

当智能电表内的剩余金额小于或等于系统所设的报警金额时，智能电表通过互动终端对电力用户进行提醒；当智能电表内的剩余金额为零或低于双方约定的透支门限金额时，智能电表可以利用控制功能对用户实施停电；当用户及时续费后，智能用电系统主站可通过远程信道控制智能电表恢复供电(如果是控制表外负荷开关的方式，智能电表解除对负荷开关合闸的限制，允许用户人工合闸)。

2.4.6 数据存储功能

海量的电价日时段划分策略，客观上可能带来电费纠纷。智能电表应以 15 min 为间隔，存储 3 个月内用户的所有计量信息；智能电表还应存储通过远程信道接收的 3 个月内电力企业下发的电价日时段划分策略。智能电表断电后，上述数据保存时间至少为 10 a。

智能电表还应该具有 2 个独立的数据存储区。

2.4.7 事件记录功能

智能电表存储 3 个月内通过远程信道成功接收的系统主站下发的日时段划分策略的事件代码；还应存储 3 个月内互动终端通过本地信道成功接收的电价日时段划分策略的事件代码。

考虑用电检查的需要，事件记录还包括：智能电表开表盖总次数以及最近 10 次开表盖的具体时间；智能电表开端钮盖总次数以及最近 10 次开端钮盖的具体时间等；智能电表需量清零的总次数以及最近 10 次需量清零的具体时间、操作员代码；智能电表最近 10 次远程控制拉闸和最近 10 次远程控制合闸事件发生的具体时间。

2.4.8 用户加密功能

考虑用电服务进一步市场化的需要，设置此功能。电能表需要通过密码验证后才能够接收电力企业发布的电价日时段划分策略并进行供电服务。

用户通过互动终端对智能电表加密，加密后的

电表不再供电。如果存在多个供电服务商，用户可以通过对智能电表编程加密的方法，来选择某个供电服务商。具体做法是：用户对智能电表加密后，通知选择的供电服务商密码，被选的供电服务商通过用户提供的密码，对智能电表进行启动，开始为用户提供用电服务。

需要特别注意的是：考虑到市场竞争的需要，用户更换新的供电服务商后，原供电服务商对该用户提供服务期间的所有信息对新供电服务商是保密的。因此智能电表应该至少有 2 个数据存储区，用户更换新的供电服务商后原供电服务商所有数据信息应该加密保存。

2.5 本地信道

互动营销、用户参与是智能用电的主要内容。

智能电表安装位置与用户的日常活动范围错位，会大大影响用户参与的程度，必须设置本地信道，及时将用户关心的信息(具体内容见互动终端)传递给用户。

目前可采用的本地信道主要有：小无线和电力线载波。小无线建议采用 Zigbee 技术，电力线载波可选择宽带载波和窄带载波。

2.6 互动终端

互动终端在结构上分为 4 部分，即控制模块、通信模块、人机对话模块(显示与键盘)以及电源模块等。

互动终端通过通信模块利用本地信道与智能电表进行通信，实时接收用户关心的信息，并通过人机对话模块的显示屏告知用户，互动终端发布的信息主要有：1) 用户目前执行的日时段划分策略；2) 用户目前执行的具体电价；3) 实时的电压、电流；4) 用户目前的碳排放量(考虑到未来实现碳排放交易的需要)；5) 用户目前剩余的电费(对预付费用户)。利用互动终端，电力企业还可以为用户提供增值服务：天气预报、视频监控、信息发布服务、安防报警、门禁控制、水/电/气一体化解决方案等。

除了上述功能外，互动终端还应该是用户用电范围内的所有电器的综合控制中心。互动终端具有键盘，用户通过编程可以设定用户用电范围内的所有电器参与营销互动的价格策略，并可通过本地信道按照用户编程设定的价格策略方案，自动控制电器。在现阶段，互动终端应该通过本地信道采用控制智能开关的方式实现智能用电。

互动终端还可以对电力用户各种设备的用电

情况进行智能分析，然后把结果传到电力用户的电脑中，使电力用户可以随时看到自己用电数据的构成，帮助用户对自己的用电设备制定适合自己的用电策略。

2.7 智能开关

智能开关(普通开关与本地信道融合)完全可以满足工业用户对智能用电的需求。

对居民用户智能用电系统而言，智能家电的普及不可能一蹴而就；在现阶段，智能开关可以通过本地信道接收互动终端的指令方式实现普通家电的智能用电。

从发展的角度看，未来的智能开关不仅仅是普通开关与本地信道的融合，还应该与各种传感器融合，智能开关本身就可以实现用电与控制的优化，并能为电力企业对各种用电设备的用能状况提供更多的基础数据。

3 智能用电系统特点

从智能用电系统各部分功能可知：基于实时电价发布的智能用电系统，信息化是基础，自动化是手段，互动化是高级应用，能源的高效使用是目的。信息化主要体现在信息采集、负荷预测、电价策略制定与发布等；自动化体现在互动终端遵从用户设定的价格策略，通过智能开关自动控制用电负荷来参与电力负荷的调节；用户对用电负荷设置不同的价格策略是互动化的重要体现。

整个智能用电系统的信息流见图 2。

实时电价发布阶段的智能用电与传统的用电比，存在很大的不同，具体见表 1。

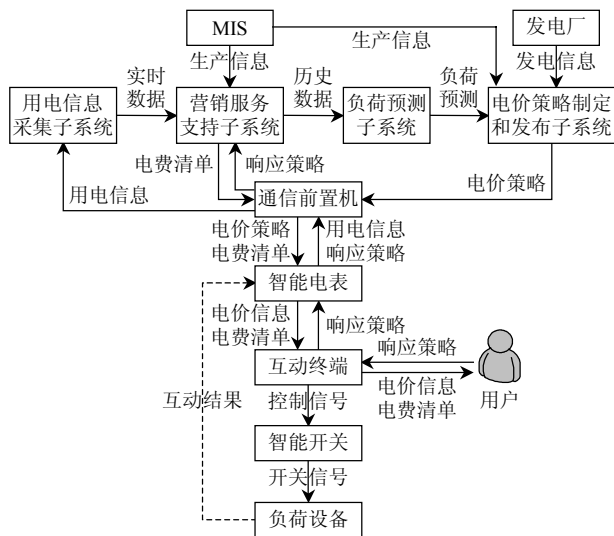


图 2 智能用电系统信息流图

Fig. 2 Information flow in smart power utilization system

表 1 不同阶段用电方式比较

Tab. 1 Comparison of power utilization style in different stages

比较内容	传统	智能用电方式		
	用电方式	负荷管理阶段	峰谷电价阶段	实时电价阶段
预付费	无	有	有	有
数据流	单向人工	单向自动	单向自动	双向自动
自动读表	无	有	有	有
控制功能	无	有	有	有
增值服务	无	无	无	有
分时电价	无	无	3 种	3 种或更多
时段划分策略	无	无	日循环	D-1 发布
用户参与方式	不参与	被动参与为主	主动参与	主动参与 自动参与
实现手段	输配电网建设	信息化 自动化	信息化 自动化	信息化 自动化 互动化
建设目的	能源供应	能源供应 负荷控制	能源供应 负荷平衡	能源供应 负荷平衡 高效利用
能源使用效率	一般	一般	较高	很高

4 结语

通过基于实时电价的智能用电系统建设，电力用户可以合理安排用电，减少电费支出；电力企业通过用户的互动参与，获得平稳的电力负荷，保证生产安全；政府和社会因为能源使用效率的提高，能够实现节能减排、保护环境。因此智能用电系统的建设，既需要电力企业自己的努力，更需要政府和广大电力用户的支持。

参考文献

[1] 康重庆, 陈启鑫, 夏清. 低碳电力技术的研究展望[J]. 电网技术, 2009, 33(2): 1-7.
Kang Chongqing, Chen Qixin, Xia Qing. Prospects of low-carbon electricity[J]. Power System Technology, 2009, 33(2): 1-7(in Chinese).

[2] 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): 1-7.
Chen Shuyong, Song Shufang, Li Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7(in Chinese).

[3] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能配电网[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(6): 14-16.
Yu Yixin. Intelli-D-Grid for the 21st century[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(6): 14-16(in Chinese).

[4] 李敬如, 胡兆光, 纪洪, 等. 北京地区用电需求侧管理及分析[J]. 电网技术, 1999, 23(2): 19-21.
Li Jingru, Hu Zhaoguang, Ji Hong, et al. Research and application of demand side management in Beijing region[J]. Power System Technology, 1999, 23(2): 19-21(in Chinese).

[5] 张永翔, 王俏文, 梁洪浩. 大客户负荷管理模式的研究[J]. 电网技术, 2004, 28(12): 39-41.
Zhang Yongxiang, Wang Qiaowen, Liang Honghao. A study of load management methodology for large consumers[J]. Power System

- Technology, 2004, 28(12): 39-41(in Chinese).
- [6] 曾祥君, Li K K, Chan W L, 等. 低电压用户需求侧管理的自动化网络设计[J]. 电网技术, 2002, 26(11): 41-45.
Zeng Xiangjun, K. K. Li, W. L. Chan. Design of automatic network for demand side management of low voltage consumers[J]. Power System Technology, 2002, 26(11): 41-45(in Chinese).
- [7] 周明, 李庚银, 倪以信. 电力市场下电力需求侧管理实施机制初探[J]. 电网技术, 2005, 29(5): 6-11.
Zhou Ming, Li Gengyin, Ni Yixin. A preliminary research on implementation mechanism of demand side management under electricity market[J]. Power System Technology, 2005, 29(5): 6-11(in Chinese).
- [8] 谭亲跃, 王少荣, 程时杰. 电力需求侧管理(PDSM)综述[J]. 继电器, 2005, 33(17): 79-84.
Tan Qinyue, Wang Shaorong, Cheng Shijie. Survey on power demand side management[J]. Relay, 2005, 33(17): 79-84(in Chinese).
- [9] 胡江溢, 王鹤, 周昭茂. 电力需求侧管理的国际经验及对我国的启示[J]. 电网技术, 2007, 31(18): 10-14.
Hu Jiangyi, Wang He, Zhou Zhaomao. International experience of power demand side management and enlightenment to China[J]. Power System Technology, 2007, 31(18): 10-14(in Chinese).
- [10] 秦开宇, 杨军, 周文健. 基于远程用电实时监测的电力用户需求侧管理支持系统[J]. 中国电力, 2004, 37(8): 76-78.
Qin Kaiyu, Yang Jun, Zhou Wenjian. International experience of power demand side management and enlightenment to China[J]. Electric Power, 2004, 37(8): 76-78(in Chinese).
- [11] 李晖, 康重庆, 夏清. 考虑用户满意度的需求侧管理价格决策模型[J]. 电网技术, 2004, 28(23): 1-6.
Li Hui, Kang Chongqing, Xia Qing. Price based decision making for demand side management considering customer satisfaction index[J]. Power System Technology, 2004, 28(23): 1-6(in Chinese).
- [12] 王明俊. 市场环境下的负荷管理和需求侧管理[J]. 电网技术, 2005, 29(5): 1-5.
Wang Mingjun. Load management and demand side management in electricity market environment[J]. Power System Technology, 2005, 29(5): 1-5(in Chinese).
- [13] 赵亮. 新形势下的电力负荷管理系统[J]. 电力需求侧管理, 2003, 5(4): 35-37.
Zhao Liang. Power load management system under new situation[J]. Power Demand Side Management, 2003, 5(4): 35-37(in Chinese).
- [14] 唐捷, 任震, 胡秀珍. 一种可操作的需求侧管理峰谷分时电价定价方法[J]. 电网技术, 2005, 29(22): 71-75.
Tang Jie, Ren Zhen, Hu Xiuzhen. An operable peak-valley time-of-use tariff setting method for demand side management[J]. Power System Technology, 2005, 29(22): 71-75(in Chinese).
- [15] 吴杰康, 任震, 黄雯莹, 等. 在全面开放的电力市场中用户用电管理及其策略[J]. 电网技术, 2001, 25(8): 50-53.
Wu Jiekang, Ren Zhen, Huang Wenying, et al. Customer management of electric energy use and its strategy in fully open electricity market[J]. Power System Technology, 2001, 25(8): 50-53(in Chinese).
- [16] <http://www.cec.org.cn/html/news/2009/6/26/2009626144469566.html>.
- [17] 刘运龙, 刘继东, 殷树刚, 等. 山东电力营销技术支持系统的设计与实现[J]. 中国电力, 2008, 41(3): 75-80.
Liu Yunlong, Liu Jidong, Yin Shugang, et al. Design and implementation of Shandong electric power marketing technology supporting system[J]. Electric Power, 2008, 41(3): 75-80(in Chinese).



殷树刚

收稿日期: 2009-08-18。

作者简介:

殷树刚(1968—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 目前从事需求侧管理的研究工作, E-mail: yshg@epri.ac.cn;

张宇(1968—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 从事技术经济研究工作;

拜克明(1963—), 男, 高级经济师, 从事营销技术管理工作。

(责任编辑 李兰欣)