

电力市场设计方案的预评估

刘俊勇¹, 刘继春¹, 黄剑眉², 史作刚²

(1. 四川大学 电气信息学院, 四川 成都 610065;

2. 广东省电力设计研究院, 广东 广州 510600)

摘要: 目前电力市场正进行有序的建设,但由于涉及面大,且设计方案中的诸多设想缺乏评判依据和仿真工具,一般采用电力市场模拟运行的方式规避和纠正设计方案中的缺陷。在对南方电网电力市场技术支持系统研究基础上,提出在设计方案确定之前应先依据设计方案的各种情况和实际系统进行方案预评估,主要包括电网现状分析、交易与安全调度之间的关系评估、交易与参与方成本分析、辅助服务补偿评估、网损因子评估及销售电价与上网电价联动机制等内容。提出的预评估构想对一般电力市场设计方案的确定具有指导意义。

关键词: 电力市场; 预评估; 辅助服务; 成本分析; 网损

中图分类号: TM 73; F 123.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)08-0009-04

1 南方电力市场方案建设

由于电力市场涉及面大,且设计方案中的诸多设想缺乏评判依据和仿真工具^[1-4],一般采用电力市场模拟运行的方式规避和纠正设计方案中的缺陷。根据南方电网的实际情况^{①-⑤},南方电力市场建设方案分三个阶段进行,各阶段的主要特点分析如下。

a. 市场主体:第一阶段为南方电网公司、南方五省(区)电网公司、接入 500 kV 网架的常规火力发电企业和部分接入 220 kV 网架的常规火力发电企业、具备条件的新建机组、区外售电主体、大用户;第二阶段为南方电网公司及南方五省(区)电网公司、独立配售电企业、符合规定条件的发电企业(单机 100 MW 及以上火电机组、符合规定的核电机组和水电机组)、区外购售电主体、大用户;第三阶段为发电企业、电网经营企业、配售电企业、电能零售企业、用户。

b. 市场竞争种类:第一阶段为年度、月度竞争,省(区)间富余电量交易;第二阶段为长期、年度、月度、日前竞争,发电权、输电权交易等;第三阶段为长期、年度、月度、日前、实时平衡竞争,金融交易等。

c. 竞争电量:第一阶段为竞争电厂核定电量的 15%(根据实际情况适时调整),各省(区)电网富余量;第二阶段为逐步增加竞争电量比例;第三阶段为全电量。

d. 西电东送电量:第一阶段为按现行方式主要由计划形成;第二阶段为逐步减少计划电量所占比例,大部分交易由市场竞争形成;第三阶段为基本由市场竞争形成。

e. 辅助服务:第一阶段为建立辅助服务补偿机制;第二阶段为开展有偿辅助服务竞争;第三阶段为

建立完善的辅助服务竞争市场。

f. 电价机制:第一阶段为初步建立输配电价体系,建立销售电价与上网电价联动机制;第二阶段为继续完善输配电价体系、销售电价与上网电价联动机制;第三阶段为形成科学、完善的电价体系。

g. 用户侧市场:第一阶段为大用户直接购电;第二阶段为开展大用户、独立配售电企业与发电企业的双边交易;第三阶段为开放零售市场。

作为一个完整电力市场的设计步骤,建议利用所收集的数据进行南方电力市场设计方案的预评估分析,以应对市场实施运行时可能出现的问题。

a. 第一阶段中竞争电量对各省区的电力电量平衡影响不大,但在第二阶段中竞争电量影响各省区的电力电量平衡以及可能受到跨区送电的联络线安全约束,那么,各省区的竞争电量应为多大规模?

b. 第一阶段中竞价机组为火力发电机组,在方案中虽然设置了高峰、低谷、腰荷时段的电价竞争方式,但在丰水期、枯水期时可能受到本省、区内水力发电厂的启停机影响,则购电方并未真正得到便宜的电能,反而使电网的购电成本增加,另外谁为联络线潮流充当调整备用,所以须研究评估分析电网负荷特性、备用特性以及水、火电特性。

c. 竞价的第一阶段中各类电价的影响以及对发电方及配电方的成本分析,评估各自的效益。

d. 评估电网的输电能力及成本,测算网损因子对竞争电价的影响等。

本文提出六部分内容对以上方案作预评估^[5-10]。

① 国家电力监管委员会. 关于开展南方电力市场建设工作的通知(电监市场[2004]6号). 2004.

② 国家电力监管委员会. 电力市场运营基本规则(试行). 2003.

③ 国家电力监管委员会. 电力市场监管办法(试行). 2003.

④ 国家电力监管委员会. 电力市场技术支持系统技术规范(试行). 2003.

⑤ 中国南方电网有限公司. 中国南方电网调度管理暂行规定. 2003.

2 电网现状调查分析

电网现状主要从电网内各省、区的电源概况,电网状况,跨区、跨省电力电量交易情况,电网供需形势,电网主要特点进行分析。

a. 电网发、供电现状:发电、用电(用电量及其增长情况、行业用电分析)、拉闸限电情况(拉闸总次数、拉闸范围等)。

b. 电网负荷特性分析:包括年负荷特性(年最大负荷、丰平枯负荷特性)、日负荷特性(日负荷率、峰谷差、峰平谷电量分布特性)。

c. 电网骨干电厂分时电量统计分析:丰平枯发电量、峰平谷发电量分析。

d. 分时电量统计分析:丰平枯发电量、峰平谷发电量分析。

e. 电力供需形势预测:未来几年新增发电能力、用电增长预测、供需形势预测。

f. 目标预测:电力销售收入预测(最不理想方案、可能方案、争取方案)、丰枯电量结构预测、峰谷电量结构预测。

g. 电力市场的竞争力分析:电力市场调查(发电、电网、用电)、电价(骨干电厂上网电价、电网输电价、销售电价);竞争优势、劣势分析。

3 交易方式与安全调度间关系评估

为确保电网安全及交易的成功,须设计一套与不同建设阶段相适应的机制,其中包括:

a. 电网的安全现状(自动发电控制 AGC、备用容量、无功配置、切机、切负荷装置、继电保护安控装置等);

b. 受安全约束的电网传输能力,正常和 $N-1$ 故障下电网之间的最大传输能力;

c. 南方市场和各省区电网安全保障机制、运行方式、调度协调、实时平衡调度方式;

d. 交易流程对电网安全的影响评估,交易过程中的安全校核机制,实时平衡调度中的偏差控制方式,估算系统中对偏差的控制,对备用等的贡献补偿方式。

4 电力市场交易与参与方的成本分析评估

电力市场应是一个双赢的市场,因此目前的交易需对市场参与方进行评估:

a. 评估电网的购电成本、网络损耗在各时段的变化情况;

b. 评估参与竞价电厂的发电效益及成本付息情况,预测加大竞价电量的风险度;

c. 评估整个南方电力市场实施电力交易后的效益变化情况。

5 电力市场中辅助服务的补偿评估

第一期的建设方案中首先要建立辅助服务的补偿机制,补偿分析非常复杂,建议作如下评估。

a. 辅助服务的强制性和商业性论述及其具体实施划分原则。

b. 各项辅助服务功能的细分及对应的补偿原则应作详细研究,如:AGC 服务应划分到系统备用的范畴还是调频率和联络线潮流控制范畴;备用容量中旋转备用的瞬时备用和 10 min 备用如何处理;无功辅助服务中电厂机组提供的服务和电网其他无功电源提供服务的具体补偿办法。

c. 电网辅助服务市场的相应补偿对策及具体计费、处罚方法。研究辅助服务补偿的定价机制原则,充分比较论证双边合同、市场(投标)竞价、成本分析等各种定价原则,针对电网和电力市场的特点,就各项辅助服务功能提出了一套合理、可行的补偿(含奖励、惩罚)计算方法,以充分调动各参与者与辅助服务的积极性。

d. 辅助服务产生的费用最终由用户承担,体现费用的转移机制和相关激励机制,考虑辅助服务的目的由初期以补偿为主逐步向后期以竞争为主的特点。

5.1 AGC 机组

对于 AGC 机组,目的是考核其调节速率和精度。

a. 数日,连续时段内,各台投运 AGC 机组上升或下降控制命令和相应的调节容量数据。

b. AGC 机组容量占总装机容量的百分比。

c. AGC 机组的可调容量占全网统调最高负荷的百分比。

d. AGC 机组发电计划、日发电曲线。

e. 电网详细的 AGC 机组信息。

5.2 调频调峰

调频调峰的目的是确定调频、调峰机组容量占总负荷的百分比。

a. 电网日负荷预测数据。

b. 电网日发电计划。

c. 电网实际日发电数据。

以上 3 项需要进行数据分析,最好是近 3 年的数据,以便与实际吻合。

5.3 备用

对于备用,目的是确定目前备用容量占总负荷的百分比、事故备用利用量和出现的概率。

a. 电网目前确定备用容量的方法。

b. 水、火发电机组比例。

c. 近 3 年备用容量数据资料,包括负荷备用和事故备用容量数据。

d. 近 3 年内电网故障数据,包括发电机母线、变压器、线路事故统计数据,以便分析事故备用概率。

5.4 无功

对于无功,目的是评估电网的无功供应量,无功的实际作用,以及如何将补偿费用公正、公平地分摊给各无功辅助服务提供商。

a. 电网调度交易中心需要搜集数据,负荷预测将用于全网的有功分配、无功的经济调度。

b. 电网确定发电机的无功经济补偿范围,并确定无功电价。

c. 电网根据负荷预测数据确定出全网有功分配,

并进行以有功网损最小为目标的无功经济调度,确定各发电机的无功容量分配。

d. 确定发电机的效用容量以用于无功的补偿费用计算。

e. 把确定的效用容量数据和无功电价用于补偿费用的计算,得到各发电机的经济补偿费用,计算无功补偿的总费用。

f. 根据总无功费用数据,结合发电机的无功容量(或有功合同电量)计算各发电机的无功费用责任。

g. 根据发电机应得的无功补偿费用和应承担的费用责任,计算出发电机实际将获得的无功费用补偿。

6 费用因子评估

对于上网竞价的电厂附加网损因子及建立合理的输电价格和配电价格体系是电力市场交易的重要组成部分。由于输电网络是一个有损网络,发电机输出的电能输送到用户的过程中会产生损耗,如按照发电报价直接上网进行交易则存在问题,因为发电机和用户散布在电力网络中,位置各不相同,所以各发电机输出功率所引起的功率损耗是不一样的。而发电厂输出功率的计量点是在发电机的出口,这就意味着根据实际发电报价进行交易没有考虑各发电机输出功率所引起功率损耗的差异,或认为各发电机输出功率所引起的功率损耗是相同的,这对引起的系统功率损耗小的发电机而言是不公平的。若直接根据发电报价进行交易,可能会造成较多电厂中标,以及输电损耗增加的费用可能大于购电费用的节省,从而降低系统整体运行的经济性。

因此,上网交易前对发电报价进行网损修正成为发电侧电力市场中亟需解决的问题之一,同时也为下一步如何核定合理的输电费用奠定基础。要解决发电报价网损修正这一实际问题,须满足 5 个要求。

a. 合理:指对电价的修正与实际网损占系统总负荷的比例相适应。此外,报价修正总量与系统的总功率损失相等,即网损费用收支平衡。

b. 公平:对各电厂发电报价的修正力度横向比较与实际损耗分布情况相适应,使各发电厂易于接受。

c. 透明:各发电厂可清晰地掌握自身和其他发电厂发电报价的修正额度,以便制定合理的竞价策略,这意味着发电报价修正系数应能够在交易前被计算得到并予以公布。

d. 简单:即方法原理易于实现。

e. 一致性:计算结果对运行方式的变化不敏感,即当运行方式变化不显著时,报价修正系数也不应变化过大。

发电报价网损修正算法的选择相应地取决于输电损耗分摊算法的选择。目前实用方法主要有邮资法、边际/增量类方法和基于潮流追踪的比例分摊法三类,可从网损修正系数、发电报价修正力度、网损优化方向及网损费用收支平衡 4 个角度对损耗分摊算法进行对比分析。

7 销售电价与上网电价联动机制

电价理论涉及到发、输、配电和用户等环节。其中,用户零售电价将用户和零售供电商联系起来,它对平衡零售市场供求关系,调节用户需求弹性起到了重要作用。批发市场电价则把各发电商和购电商联系起来,通过发电竞价和购电竞价使不同条件下的电力生产成本得到及时体现。公平合理的电价能够提供正确的经济信号,调节经济运行,实现社会资源的优化配置。在完全竞争的市场中,批发市场电价和零售电价均不应受到限制,否则就会降低市场效率。目前,由于经济、技术、甚至社会影响等各种原因,在配电侧实行实时电价尚不能普遍为用户所接受,因此配电侧在引入竞争后零售电价与批发市场电价存在不同步的问题。加州电力市场危机中由于冻结了零售电价,同时要求供电公司从竞争的批发市场中购电,导致两家较大的供电公司破产。“冻结零售电价”使电价的杠杆作用在零售侧受到了人为的阻碍,无法通过价格调节用户需求;实行电价联动被认为是避免产生电力市场危机的有效措施之一。

针对批发市场存在长、短期市场分别购电的模式,具体分析配电公司的运营成本和影响配电公司收益的主要风险因素,确定配电公司兼顾收益和风险的效用函数,提出计及成本变化的最优分时零售电价模型。

分时零售电价作为负荷管理的一种手段,已经在实践中得到了运用,主要是通过不同时段实行不同电价,鼓励用户进行负荷调整以改善负荷曲线形状,即实现“移峰填谷”,最终达到减少电力部门运行和投资费用的目的。在电力市场初期,实行实时零售电价还不能为多数用户所接受,因此借助分时电价方法实现零售电价与批发电价的联动更具现实意义。它通过向用户及时提供尽可能准确的经济信号,使配电公司实现收益最大化和风险最小化。

在时段划分上,传统的用户分时电价一般分为峰、平、谷三个时段,负荷曲线是划分时段的重要依据。结合电力市场条件将分时电价时段划分为 24 小时。用实际的分时电价方法将全天按峰、平、谷划分为三个时段。在市场条件下,由于批发市场电价实时变化,理论上分时零售电价时段越短越能反映生产成本的变化,考虑到各方面的因素,如果分时电价仍按峰、平、谷划分,则购电成本曲线或批发市场电价曲线应作为划分时段的参考依据。分时零售电价是指配电公司根据成本确定的用户平均分时零售电价水平,区别于最终销售电价。最终销售电价是在分时零售电价水平的基础上,根据用户负荷率、电压等级、可靠性等进行加价,同时进行相应的会计成本分摊,将分时零售电价中未考虑的其他成本(如运行成本、人工费用等)计入最终销售电价中以回收成本。

利用分时电价实现电价联动,不仅可以及时将电力生产成本变化的信息传递给用户,而且避免了零售电价的大幅波动;得出的最优分时电价为配电公司制定各类用户的具体销售电价提供有益的参考。

通过以上分析,可以评估:

- a. 上网电价的波动如何影响销售电价;
- b. 上网电价的突变分量如何体现在销售电价的分时电价中;
- c. 电网在上网电价波动时风险评估。

8 结论

本文在对南方电力市场方案研究的基础上提出了有针对性的分阶段实施的预评估内容。值得指出的是这些内容仅是预评估计划中的一部分,一些重要的议题如:水、火电竞价方式,输电费用,实时调度及阻塞管理,市场力,大用户直供,省、市配套系统功能划分直至标准电力市场设计等诸多问题尚未在本文中涉及。电力市场设计方案预评估应成为实施电力市场的一个重要步骤。

参考文献:

- [1] CONTRERAS J, CANDILES O, IGNACIO J, *et al.* Auction design in day-ahead electricity market(republished)[J]. **IEEE Trans. on Power Systems**, 2001, 16(3): 409-417.
- [2] POST D L, COPPINGER S S, SHEBLE G B, *et al.* Application of auction as a price mechanism for the interchange of electric power[J]. **IEEE Trans. on Power Systems**, 1995, 10(3): 1580-1584.
- [3] DEKRAJANGPETCH S, SHEBLE G B. Structures and formulations for electric power auctions[J]. **Electric Power System Research**, 2000, 54(3): 159-167.
- [4] GUAN Xiao-hong, HO Yu-chi(Larry), LAI Fei. An ordinal optimization based bidding strategy for electric power suppliers in the daily energy market[J]. **IEEE Trans. on Power Systems**, 2001, 16(4): 788-797.
- [5] 孔飘红, 刘俊勇, 潘蕾蕾, 等. 基于统一补偿的无功电力市场[J]. 电网技术, 2004, 28(15): 16-20.
KONG Piao-hong, LIU Jun-yong, PAN Lei-lei, *et al.* Auxiliary reactive power market based on global optimal compensation [J]. **Power System Technology**, 2004, 28(15): 16-20.
- [6] 陈晓林, 刘俊勇, 宋永华, 等. 阻塞管理和电压安全[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(8): 5-8.
CHEN Xiao-lin, LIU Jun-yong, SONG Yong-hua, *et al.* Congestion management and voltage security[J]. **Electric Power Automation Equipment**, 2004, 24(8): 5-8.
- [7] 刘俊勇, 段登伟, 吴集光. 国外配电侧电力市场的模式、运行及对我国配电侧市场化改革的启示[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(7): 7-14.
LIU Jun-yong, DUAN Deng-wei, WU Ji-guang. Models and operation of distribution market in several countries and suggestions for distribution side deregulation in China[J]. **Electric Power Automation Equipment**, 2004, 24(7): 7-14.
- [8] 段登伟, 刘俊勇, 吴集光. 计及风险的配电公司最优分时零售电价模型[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(3): 8-12.
DUAN Deng-wei, LIU Jun-yong, WU Ji-guang. Optimal TOU retail pricing models for distribution utility with risk management[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2005, 29(3): 8-12.
- [9] 牛怀平, 刘俊勇, 吴集光. 一种新的两部制无功定价方法[J]. 电网技术, 2005, 29(7): 1-6.
NIU Huai-ping, LIU Jun-yong, WU Ji-guang. A new method to draw up two-part tariff for reactive power[J]. **Power System Technology**, 2005, 29(7): 1-6.
- [10] 蒋浩, 刘俊勇. 电力市场中的输电损耗分配算法研究[D]. 成都: 四川大学, 2001.
JIANG Hao, LIU Jun-yong. Research on allocation of transmission losses in power market[J]. Chengdu: Sichuan University, 2001.

(责任编辑: 李育燕)

作者简介:

刘俊勇(1963-), 男, 四川成都人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事电力市场、电压无功分析、灵活交流输电系统方面的研究(E-mail: starword@mail.sc.cninfo.net);

刘继春(1975-), 男, 四川成都人, 博士研究生, 主要从事电力市场方面的研究;

黄剑眉(1972-), 女, 浙江东阳人, 高级工程师, 主要从事电网自动化设计;

史作刚(1967-), 男, 贵州贵阳人, 高级工程师, 主要从事电网自动化设计。

Pre-assessment of power market design

LIU Jun-yong¹, LIU Ji-chun¹, HUANG Jian-mei², SHI Zuo-gang²

(1. College of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Guangdong Electricity Research and Design Institute, Guangzhou 510600, China)

Abstract: Power market is being built all round in China. Power market design faces many difficulties, in which various technologies involve and the design of power market lacks of judgment and simulation tools as well to observe whether the design is reasonable or not. In general, power markets employ the test-operation mode in order to hedge and correct the shortcoming of power market design. Pre-assessment method is proposed to judge power market design including: current situation analysis of power grid, evaluation of relationship between dispatch center and trade center, analysis of participants' cost, assessment of ancillary service compensation mechanism, calculation of loss factors and mutual action mechanism of bidding price and sale price. The proposed method is a structure and guide to determination of power market design.

This project is supported by National Key Basic Research(973 Plan) of China(2004CB217905).

Key words: power market; pre-assessment; ancillary service; cost analysis; power loss