

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190253

广东电力市场结算机制设计与实践

姚星安¹, 曾智健¹, 杨威¹, 吴敬慧¹, 杨柳¹, 钟海旺²

(1. 广东电力交易中心有限公司, 广东 广州 510030; 2. 清华大学, 北京 100084)

摘要: 电力市场结算的本质是市场成员之间的利益分配, 高效、准确的市场结算是保障电力市场稳健有序发展的重要基础。当前, 我国正全面推进电力体制改革, 广东作为国内电力市场改革的先行者, 在中长期市场结算实践中遇到诸多挑战。为此, 广东电力市场紧紧围绕收支平衡这一“主线”开展结算机制设计, 包括: 计划与市场解耦结算、“类区域市场”两级结算、发电侧双偏差结算、灵活多样的零售结算、发电权“刚柔并济”结算等。全面梳理了广东电力市场结算机制设计的思路和举措, 并对比分析了国内外偏差结算机制设计的特点。介绍了广东电力交易结算系统的特点, 对广东电力市场结算开展了实证分析。希望该研究能够为我国电力市场建设提供有益参考和借鉴。

关键词: 电力市场; 结算; 机制设计; 偏差

Electricity market settlement mechanism design and practice in Guangdong

YAO Xing'an¹, ZENG Zhijian¹, YANG Wei¹, WU Jinghui¹, YANG Liu¹, ZHONG Haiwang²

(1. Guangdong Power Exchange Ltd., Guangzhou 510030, China; 2. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The essence of the electricity market settlement is the distribution of the interests among market participants. Efficient and accurate settlement is the foundation of the steady and orderly development of the electricity market. Nowadays, China is pushing ahead comprehensive electricity market reform. As the pacesetter of the electricity market reform, Guangdong has faced many challenges in the mid-long term market settlement. Balanced budget is the main line of the Guangdong electricity market settlement mechanism design. The decoupling of the regulated market and the deregulated market settlement, two-level settlement of the immature regional market, deviation settlement in the generation side, flexible retail settlement, generation right settlement are adopted to achieve budget balance. The settlement mechanism of Guangdong electricity market is reviewed, the characteristics of deviation settlement mechanism design at home and abroad are compared and analyzed. Guangdong electricity trading system is introduced, and case studies are conducted on the settlement of Guangdong electricity market. Hope that this paper can provide beneficial references for the electricity market construction in China.

This work is supported by Science and Technology Project of China Southern Power Grid Ltd. (No. GDKJXM20173113) and National Natural Science Foundation of China (No. 51537005).

Key words: electricity market; settlement; mechanism design; imbalance

0 引言

当前, 我国正全面推进电力体制改革, 广东作为国内电力市场改革的先行者, 构建了相对完善的中长期市场交易体系和售电市场竞争格局, 市场总体运营情况良好, 市场规模稳步扩大, 市场主体活

跃多样, 市场交易平稳有序, 促进了西南富余水电消纳, 支撑了大范围能源资源的优化配置, 有效降低了社会用电成本, 释放了巨大的改革红利^[1]。

电力市场结算的本质是市场成员之间的利益分配。高效、准确的市场结算是保障电力市场稳健有序发展的重要基础^[2]。国外成熟电力市场对电力市场结算工作高度重视。美国 PJM、MISO 等区域电力市场建立了以节点边际电价、两部制结算为基础的批发市场结算机制^[3-4], 英国依托其市场体系建立

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目资助 (GDKJXM20173113); 国家自然科学基金项目资助 (51537005)

了不平衡结算机制^[5], 并在发展中不断修改完善。从国外成熟电力市场运营经验来看, 制定一套公平、科学、合理且具备良好可操作性的电力市场结算方法是市场运营成功的关键因素。国外学者对电力市场结算机制进行了很多深入的研究, 文献[6]对安大略电力市场开展研究, 得出单一实时市场结算方法会造成价格剧烈波动的结论; 文献[7]对 PJM 市场规则进行研究, 分析认为, 虚拟投标和两部制结算相结合, 能够使得日前市场价格和实时市场价格趋同; 文献[8]和[9]对按报价结算(Pay as bid)和按边际电价结算(Marginal Pricing)两种结算机制进行了比较。文献[10]比较了双结算电力系统中两种价格帽机制; 文献[11]和[12]分析了土耳其平衡结算机制的不足并提出相应的改进建议; 随着我国电改的推进, 国内也有不少学者对电力市场结算方法进行研究。文献[13]对比分析了英国、美国德州和北欧电力市场交易结算机制, 总结了 3 个市场中不平衡电量的结算方法及特点。文献[14]和[15]讨论了按照电网统一边际电价结算和按照电厂实际报价结算对电力市场的影响。文献[16]提出了一套适用于我国区域电力市场的竞争性交易电量的实用化结算算法。文献[17]介绍了云南电力市场结算的改革进程, 面对先算后补结算方式、管理模式、技术手段三方面的不足, 昆明交易中心从机制、管理、技术三个方面进行创新, 提高了结算的效率和准确性。不同省区电力市场在计划电量与市场电量的协调^[18]、电网安全稳定运行与市场经济效益的兼顾^[19-20]、不同市场主体的利益诉求等方面存在共性特征^[21-22], 但立足于解决市场建设实践中的切实痛点, 从市场机制设计的角度讨论结算的研究相对较少。

在逐步放开发用电计划、引入零售侧竞争等过程中, 广东在中长期电力市场结算的实践中遇到了诸多挑战, 其中既有全国普遍性的, 也有广东特色的, 包括: 计划与市场的协调、广东省内三个电网公司跨经营区结算、发用侧偏差的处理、售电公司一对多的结算以及发电权交易的结算等。

广东以推动电力市场改革平稳有序发展为宗旨, 坚持公平、公正的原则, 紧紧围绕收支平衡这一“主线”开展结算机制设计, 可归纳为计划与市场解耦结算、“类区域市场”两级结算、发电侧双偏差结算、灵活多样的零售结算、发电权“刚柔并济”结算等 5 个特点。本文全面梳理了广东电力市场结算机制设计的思路和举措, 并对比分析了国内外偏差结算机制设计的特点, 总结了广东电力交易结算系统的特点, 对广东电力市场结算开展了实证分析。希望本文能够为我国电力市场建设提供有益参考和借鉴。

1 广东电力市场结算机制设计原则

“源于市场、用于市场”是广东电力市场开展结算工作的核心原则, 因此收支平衡是广东电力市场结算机制设计的“主线”, 包括事前、事后两个部分^[23]。

事前通过结算规则设计保障收支平衡, 包括三个层面: 一是通过计划与市场解耦结算实现计划与市场部分各自的收支平衡, 保证计划与市场互不影响; 二是通过“类区域市场”两级结算实现各经营区的收支平衡; 三是通过双偏差结算实现市场部分发用双侧的收支平衡。

事后通过结余资金管理实现保障收支平衡。结余资金有两个来源: 一是四舍五入导致的不平衡电费; 二是市场主体的考核费用。结余资金用来支付必开电量等补贴费用, 每年按照收支平衡原则进行清算, 余额不足时按各发电企业应补偿金额等比例支付补贴费用。

为了最大限度降低结算风险, 根据中发 9 号文及其配套文件, 广东电力市场的电费收支工作仍然由电网企业负责, 广东电力交易中心负责出具市场化电费结算凭据^[24]。中长期市场环境下, 由于输配电价暂未核定, 电力市场交易采取价差模式。在价差模式下, 对于市场用户, 由所在地区供电局先按目录电价收取电费, 再退补价差电费; 对于售电公司, 由电网企业根据合同向其支付价差电费; 对于发电企业, 直接由所属电网公司在标杆电价基础下扣除价差电费进行结算。广东电力交易中心在提供发电侧结算凭证时直接全电价计费, 而提供用户侧结算凭证时按价差计费。广东电力市场结算现金流如图 1 所示。

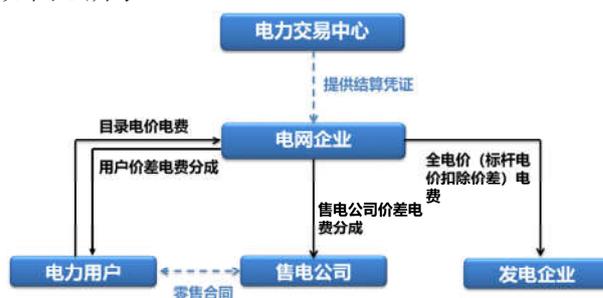


图 1 广东电力市场结算现金流

Fig. 1 Settlement cash flow of Guangdong power market

2 广东电力市场结算特点

广东电力市场现阶段有 4 个中长期市场交易品种, 分别为年度双边协商交易、年度合同电量集中交易、月度集中竞争交易和发电合同电量转让交易。

广东根据现有的交易品种设计结算机制^[25]。

本节将详细介绍广东电力市场计划与市场解耦结算、“类区域市场”两级结算、发电侧双偏差结算、灵活多样的零售结算、发电权“刚柔并济”结算等机制设计的特点。

2.1 计划与市场解耦结算(图 2)

为保障居民、农业、重要公用事业和公益性服务等用电,确保维护电网调峰调频和安全运行,确保可再生能源发电依照规划保障性收购,我国将在较长一段时期内维持计划与市场并存的格局。全省用电量分为市场用户电量(市场用户全电量参与市场交易)和非市场用户电量。发电量分为基数电量和市场电量,A类机组全部为基数电量,要在年内滚动刚性执行;B类机组分配部分基数电量,其余为市场电量。

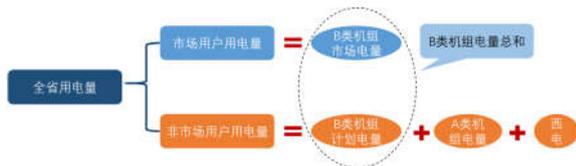


图 2 计划与市场解耦结算的模式

Fig. 2 Model of planning and market decoupling settlement

由于负荷预测偏差,非市场用户实际用电量与发电侧计划基数电量不等,若采用 B 类机组计划基数电量 100%刚性执行的结算方式,则可能造成部分电量以政府核定上网电价购买以市场电价卖出,或者以市场电价购买以目录电价卖出,不能真实地反映购电成本。

为此,广东电力市场设计了计划与市场解耦结算的机制。即在市场用户全电量参与市场交易的模式下,采用“以用定发”的方式,根据非市场用户用电量确定 B 类机组基数电量的实际交割电量,市场用户用电量等于 B 类机组市场电量,从而实现计划与市场的解耦,各自平衡结算。

具体计算方法如下(为便于理解,此处不考虑省外市场交易和关停基数转让的情况):第 1 步,计算全部 B 类机组月度实际总基数电量 $Q_{\text{总基数实际}}$;第 2 步,计算 B 类机组月度基数电量进度系数 $\beta_{\text{基数}}$;第 3 步,计算每个 B 类机组的实际基数电量及其月度基数电量收入 $R_{\text{基数}i}$ 。

$$Q_{\text{总基数实际}} = Q_{\text{总上网}} - Q_{\text{总市场实际}} \quad (1)$$

$$\beta_{\text{基数}} = Q_{\text{总基数实际}} / Q_{\text{总基数计划}} \quad (2)$$

$$R_{\text{基数}i} = (Q_{\text{基数计划}i} \times \beta_{\text{基数}}) \times P_{\text{基数}i} \quad (3)$$

式中: $Q_{\text{总上网}}$ 为全部 B 类机组月度总上网电量; $Q_{\text{总市场实际}}$ 为全部市场用户的月度实际总用电量;

$Q_{\text{总基数计划}}$ 为月度计划总基数电量; $P_{\text{基数}i}$ 为政府核定上网电价。

计划与市场解耦结算的机制,有利于真正发挥市场调节供需的作用,有利于降低电力市场结算风险,有利于电力市场改革平稳推进。

尽管如此,计划与市场解耦结算的机制也有其不足之处。其一是结算复杂,B类机组结算受非市场用户影响,一旦某一非市场用户电量有误,可能需要对所有 B 类机组进行联动退补;其二是不具有可持续性,现阶段设置了一定的市场准入门槛,市场规模还不大,非市场用户用电量还能覆盖 A 类机组和西电的发电诉求,一旦市场逐步放开,非市场用户用电规模减小,只能逐步放开发电计划,B类机组甚至没有基数电量。因此,后续广东电力市场可以尝试采用设立平衡资金池的方法以实现市场运营机构的收支平衡。

2.2 “类区域市场”两级结算

与国内其他地区不同,广东电力市场内部划分成了广东电网有限责任公司、广州供电局有限公司、深圳供电局有限公司三个经营区,存在市场主体跨越三个经营区开展交易的情况。在这种情况下按经营区进行电费的收支,可能导致三家电网公司市场化交易电量收入与支出不平衡。为了维持发电企业、售电公司、大用户与电网公司的现有结算关系不变,广东结合广东电网趸售电量给广州供电局和深圳供电局的长期实践,抓住电网公司价差电费平衡的本质设计了两级结算的机制。

首先进行一级结算,即各电网公司首先对其经营区内的发电企业、用户进行结算,不区分市场成员参与的是其经营区内的交易还是跨经营区的交易;对于售电公司,按其从不同经营区代理用户获得的价差电费来划分,分别与三家电网公司进行结算。如图 3 所示,为了方便分析,假设只有广州供电局的电厂和深圳供电局的用户开展跨经营区交易。

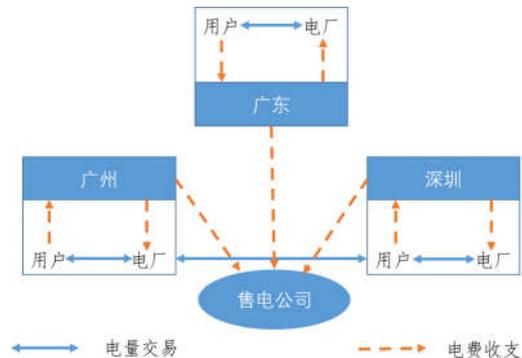


图 3 一级结算

Fig. 3 Primary settlement

然后进行二级结算, 计算广州(深圳)供电局网间平衡结算电费, 网间平衡电费每月与广东电网趸售给广州(深圳)供电局的电能量电费一起结算。广州(深圳)供电局统一通过与广东电网进行结算实现各自价差电费的收支平衡, 极大地简化了结算流程。

网间平衡电费的具体计算公式如式(4)所示。

$$R_{\text{广(深)网间平衡结算费}} = \sum R_{\text{广(深)发电企业价差电费}} - \sum R_{\text{广(深)用户、售电公司价差电费}} \quad (4)$$

理论上对每个经营区而言, 其价差电费都应该为 0, 如果进行一级结算后, 广州(深圳)供电局价差电费大于 0(上述价差电费值都是负的), 说明其在市场化交易电量的结算中多支付了钱, 则这部分钱应该由广东电网支付给广州(深圳)供电局; 反之则由广州(深圳)供电局支付给广东电网。

在图 3 所示的一级结算中, 假设只有广州供电局的电厂和深圳供电局的用户开展跨经营区交易, 则广州供电局多收了电厂侧的价差电费, 而深圳供电局多支付了用户侧价差电费, 则广东电网公司要从广州供电局收取相应的价差电费支付给深圳供电局。

这一机制维持了现有结算关系, 简单、易操作, 通过网间平衡结算, 简洁高效地实现了各经营区价差电费的收支平衡。这一做法也同样适用于现货市场环境(绝对电价模式下, 二级结算(图 4)中计算广州、深圳供电局市场化电费的收支情况, 不再是价差电费的收支情况), 同时也适用于增量配电网参与市场交易情况, 具有很大的推广价值, 可以为我国区域电力市场建设提供有益的启示。

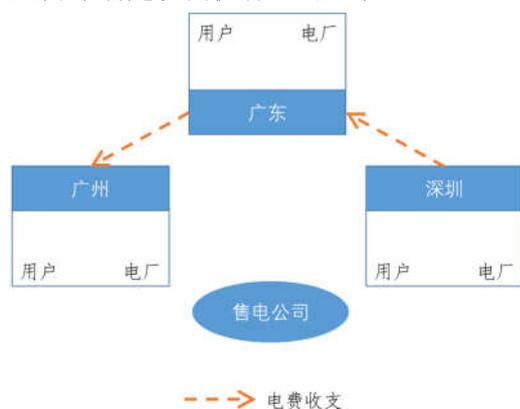


图 4 二级结算

Fig. 4 Secondary settlement

2.3 发电侧双偏差结算

由于负荷预测的偏差、机组和电网实际运行情况的变化, 实际执行电量与交易结果间将不可避免地产生偏差。广东电力市场根据引起偏差原因的不

同, 按照“谁引发, 谁承担”的原则, 设计了发电侧双偏差结算的机制。

引起偏差的原因有些是客观不可避免的(比如电网阻塞), 有些是主观可以改进的(比如负荷预测偏差), 为此, 广东电力市场将发电侧偏差分为偏差 1 和偏差 2, 并设计不同的价格进行结算。

偏差 1 是指全部市场用户实际总用电量与市场合约用电量的偏差。由所有 B 类机组共同分摊, 按照机组上网电价与月度竞价出清价差代数和进行结算。由于偏差 1 是由市场用户负荷预测误差引起的, 因此, 这部分电费由市场用户承担。

偏差 2 是指发电厂实际上网电量与应结电量(机组实际基数电量加上市场合约电量再加上偏差 1)的偏差。偏差 2 是由电网运行状况等客观原因引起的, 因此考虑基于机组成本价进行结算。偏差 2 的电费在发电侧进行“自平衡”结算(即保证所有机组的偏差 2 电费之和为 0), 从而避免调度运行的变化对电费收支或用户利益产生影响。

在机组成本核定工作尚未完成的情况下, 参考月度集中竞价中同类型机组的报价, 去高去低后取平均值对应的全电价即为偏差 2 的结算价格。同时, 对偏差 2 的结算价格设置上限(即偏差 1 的结算价格)。若由于两个机组的类型不同造成偏差 2 的结算价格不同, 导致发电侧偏差 2 结算电费存在盈亏时, 由 B 类机组按照实际上网电量分摊, 从而实现偏差 2 的电费在发电侧“自平衡”。

发电机偏差电量结算如下所示(为简化分析, 没有考虑发电权转让):

$$R_{\text{偏差}} = R_{\text{偏差 1}} + R_{\text{偏差 2}} - R_{\text{偏差分摊}} \quad (5)$$

$$\beta_{\text{市场合约}} = Q_{\text{总市场实际}} / Q_{\text{总市场合约}} \quad (6)$$

$$R_{\text{偏差 1}} = [(Q_{\text{市场合约}} \times (\beta_{\text{市场合约}} - 1)) \times P_{\text{竞价}}] \quad (7)$$

$$R_{\text{偏差 2}} = [Q_{\text{上网}} - (Q_{\text{基数实际}} + Q_{\text{市场合约}} + Q_{\text{偏差 1}})] \times P_{\text{偏差}} \quad (8)$$

$$R_{\text{偏差分摊}} = R_{\text{总偏差 2}} \times Q_{\text{上网}} / Q_{\text{总上网}} \quad (9)$$

式中: $R_{\text{偏差}}$ 为机组的偏差电量收入; $R_{\text{偏差 1}}$ 为偏差 1 的收入, $R_{\text{偏差 2}}$ 为偏差 2 的收入; $R_{\text{偏差分摊}}$ 为偏差 2 的分摊费用; $Q_{\text{总市场合约}}$ 为月度总市场合约电量; $Q_{\text{市场合约}}$ 为机组月度合约电量; $P_{\text{竞价}}$ 为机组上网电价与月度竞价出清价差代数和; $Q_{\text{上网}}$ 为机组实际上网电量; $Q_{\text{基数实际}}$ 为机组实际基数电量; $Q_{\text{总上网}}$ 为所有 B 类机组总的实际上网电量; $Q_{\text{偏差 1}}$ 为偏差 1; $P_{\text{偏差}}$ 为偏差 2 的结算价格; $R_{\text{总偏差 2}}$ 为所有 B 类机组偏差 2 的总收入。

2.4 考核与免考核灵活兼容

偏差考核有利于促进中长期市场电量偏差逐步收敛, 实现中长期市场电量供需平衡自调节。广东电力市场的考核机制分为发电侧和用电侧两个部分。

发电侧的偏差考核主要包括两种情况。一种是发电企业因自身原因造成全厂非计划停运超过 5 天产生的负偏差 2，按照月度出清价差绝对值进行考核；另一种是对于申请强制成交的热电联产机组，若其预测的以热定电电量需求大于实际上网电量，对超过允许偏差范围(3%)的偏差电量进行考核，按 $2 \times (\text{政府核定上网电价} - \text{月度集中竞争交易成交价差的绝对值} - \text{偏差结算价格})$ 进行考核，若上述考核价格小于 0，则不予考核。这一机制可以有效规避热电联产机组利用自身物理约束刻意多报需求电量以谋取利益。

对用户侧的考核采用“需求考核+偏差考核”的双重考核机制。若月度竞价前用户申报月度需求小于年度长协分月电量，对其进行需求考核，考核价格为月度出清价差绝对值；当用户实际用电量与市场合约电量偏差绝对值超过 2%时，对其进行偏差考核，考核价格为 2 倍月度出清价差绝对值。通过双重考核机制，倒逼用户提高负荷预测精度，激励用户加强负荷管理，促进售电公司良性竞争，多措并举减少用户用电偏差，降低电网安全运行风险。此外，对用户进行“需求考核”，有利于交易中心精准把握未来市场走势，提升月度集中交易的有序性。

此外，为使结算机制兼具原则性与灵活性，广东电力市场引入了免考核的机制，即因政策因素、不可抗力、有序用电等造成的用户负偏差电量，免受考核，有效减轻了市场主体的考核电费负担。

2.5 灵活多样的零售结算

广东是首批售电改革试点之一，也是全国首个引入售电公司参与电力竞争交易的省份。截至 2018 年 10 月，已在广东电力市场交易系统注册登记的售电公司有 348 家。售电公司因其专业性和规模性，可以在其代理用户之间作调剂，从而极大地减少偏差考核费用，因此绝大部分用户选择通过售电公司代理购电。

广东零售市场鼓励多元化发展，零售合约模式灵活多样，为适应零售市场多元合约类型给结算工作带来的挑战，广东电力交易中心通过系统化梳理，将零售市场电费划分为固定回报、市场联动、偏差考核三个组成部分，每一部分设置了多种模式供售电公司和用户选择(固定回报对应的是年度双边协商电量，联动部分对应的是月度集中竞争电量，偏差考核对应批发市场偏差考核)。固定回报部分电费不受市场因素影响；市场联动部分电费与月度集中竞价出清价格挂钩；偏差考核电费是指售电公司对用户超出约定电量部分进行考核。这种机制设计的优势在于：固定回报部分可以帮助中小用户规避市

场风险；市场联动部分可以实现批发与零售侧的联动，将批发市场价格信号传导至零售侧；偏差考核部分可以将售电公司的偏差考核压力下沉到其代理的中小用户，激励用户精准预测及合理申报电量。

此外，为了降低结算风险，减少结算纠纷，由广东电力交易中心根据零售合同统一出具售电公司及其代理用户的结算依据，由电网公司收取零售用户的电费并支付售电公司的收益(代理用户应付电费总额与批发市场购电费总额的差值)，广东电力零售市场的结算流程如图 5 所示。

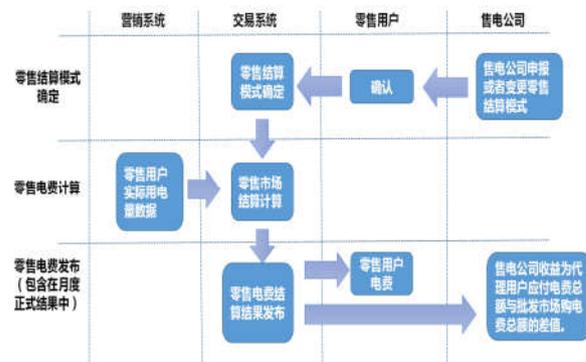


图 5 电力零售市场结算流程

Fig. 5 Settlement process of electricity retail market

2.6 发电权转让结算“刚柔并济”

二十世纪 90 年代末期及本世纪初期，广东经济快速发展，出现了较为严重的电荒，在新建大型发电机组项目受国家计划严格管控的情况下，广东在相对贫困的山区新建了一批小型燃煤机组，一方面提高全网的电力供应能力，另一方面扶持山区的经济社会发展。目前这批机组成为当地财政收入的主要来源。

然而，随着省内大批大容量机组投运，小型煤机煤耗高、燃料运费贵的劣势凸显，政府在制定年度发电计划时，为保持各地区经济发展相对均衡，通常会考虑倾斜政策，保证其一定的利用小时数，这不利于降低整体运行成本，不利于节能减排。

为此，广东电力市场开展了发电权转让交易。而在结算环节，为了促进各地区经济均衡发展，广东电力市场采取了“刚柔并济”的原则。

所谓发电权转让的“柔”是指，考虑到非市场用户实际用电量与计划用电量的偏差，结算时采取“以用定发”的原则，缩减所有参与发电权转让的 B 类机组的基数电量。

所谓发电权转让的“刚”是指，当淘汰机组作为基数电量出让方、省外水电机组作为基数电量受让方时，其发电权转让电量“刚”性执行，即在结

算时不缩减其基数电量。

在结算环节对发电权转让的区别对待, 有力支撑了各地区经济社会相对均衡发展。一方面, 有利于保障淘汰机组的利益, 促进淘汰机组进行发电权转让交易, 继承了非市场环境淘汰机组发电权转让模式; 另一方面, 将不平衡量在省内市场处理, 同时有利于促进可再生能源的消纳。

综上所述, 广东电力市场通过计划与市场解耦结算, 解决了计划与市场的协调问题; 通过“类区域市场”两级结算, 解决了在市场化环境下广东电网各经营区收支平衡(发用双侧价差平衡)的问题, 对区域市场的建设具有重要借鉴意义; 通过偏差结算, 保证了调度调控的相对灵活, 降低市场交易结果对电网运行的约束; 通过偏差考核, 能够激励用户提高负荷预测精度, 提高系统运行的安全可靠; 直接由交易中心开展灵活多样的零售侧结算, 有效管控零售侧结算的风险; 通过发电权转让“刚柔并济”, 有力支撑了各地区经济社会相对均衡发展, 促进了可再生能源的消纳。

3 国内外偏差结算机制对比分析

由于负荷预测的误差、发电机组的非计划停运、电网运行方式的变化, 电网运行不可避免地存在偏差。在现货市场建立以前, 如何对实时运行偏差进行结算是电力市场结算机制设计中不可或缺的关键一环。本节重点对比分析国内外电力市场的偏差结算机制与方法。

3.1 国内省级电力市场偏差结算机制

1) 四川

偏差大于零时按合同加权平均价结算, 若正偏差超过 5%, 超过 5%的偏差部分按本月预挂牌上调服务最高价 10%进行考核; 偏差小于零且超过-2%时, 超过-2%的偏差部分按系统下调电量补偿电价进行考核(若本月下调电量为 0, 则按本月预挂牌下调服务最高价的 10%支付偏差考核费用)。

2) 安徽

用户侧: 偏差大于零时按目录电价结算; 偏差小于零且超过-5%时, 超过-5%的偏差部分按照全省平均价差进行考核。

发电侧: 偏差大于零时按国家批复上网电价结算, 小于零时按全省平均价差进行考核。

3) 山东

偏差大于零时按合同加权平均价结算, 此外如果正偏差大于 6%, 超过 6%的偏差部分按其合同加权平均购电价的 5%支付偏差考核费用; 偏差小于零且超过-2%时, 超过-2%的偏差部分按系统下调

电量补偿电价进行考核(未调用下调服务时, 按其合同加权平均购电价的 15%支付)。

表 1 总结分析了国内部分省份的偏差结算机制。综上, 偏差部分结算大体有两种方式, 其一是按照目录电价结算, 其二是按市场合约加权平均价结算。偏差结算遵循的原则是发、用两侧保持一致。如果用户侧偏差按目录电价结算, 发电侧按标杆上网电价进行结算; 如果用户侧偏差按市场价结算, 发电侧也需要按市场价结算。如本文 2.3 节介绍, 广东与其他省份不同的是对发电侧的偏差进行了更精细的划分, 分为偏差 1 和偏差 2, 其中偏差 1 的价格与用户侧的偏差价格是相对应的, 为月度集中竞争交易中的合同价, 因此为了保障发、用两侧的一致性, 对于偏差 2 采取了“自平衡”的方法。

表 1 国内部分省份偏差结算机制对比

Table 1 Comparison of deviation settlement mechanism in some provinces in China

省份	正偏差结算价格		正偏差考核		负偏差考核	
	发电侧	用户侧	考核裕度	考核价格	考核裕度	考核价格
四川	合同加权平均价	合同加权平均价	5%	预挂牌上调服务最高价的 10%	-2%	下调补偿价
安徽	批复上网电价	目录电价	—	—	-5%	全省平均价差
山东	合同加权平均价	合同加权平均价	6%	合同加权平均价的 5%	-2%	下调补偿价
广东	双偏差价格	月竞合同价	2%	2 倍的月竞出清价差	2%	2 倍的月竞出清价差

此外设置一个允许偏差裕度, 对于裕度外的偏差进行考核, 考核价与市场合约价或系统上下调服务电价有关。

3.2 英国电力市场偏差结算机制

我国中长期市场环境下, 中长期市场合约需要物理执行, 与英国电力市场有一定的相似之处, 因此本文对英国不平衡结算机制进行分析。

英国为了应对实时偏差问题, 设计了平衡机制, 日前市场主体会基于其签订的市场合约申报其次日的发用电曲线, 实时运行前市场主体还会申报其上下调报价, 在实际运行过程中调度机构会根据市场主体的报价信息, 以再调度成本最低为原则对电网进行平衡调度。事后由 ELEXON 进行不平衡结算。

不平衡电量=实测电量-(合约电量+平衡机制电量)

由于市场主体多发或少用电时，需要系统调用下调服务进行平衡，因此对于正的不平衡电量按照系统调用的最后 1 MW 下调量的价格向系统卖电。市场主体少发或多用电时，需要系统调用上调服务进行平衡，因此对于负的不平衡电量按照系统调用的最后 1 MW 上调量的价格结向系统买电。

这种不平衡电量的结算，将激励市场主体尽量按照交易计划发电或用电，避免不平衡电量的发生。

3.3 PJM 电力市场偏差结算机制

PJM 在进行现货市场出清时，不需要考虑金融性质的中长期合约，全电量出清。PJM 采用两部制结算机制：即对于日前出清电量按照日前节点电价进行结算，对于实际出力与日前出清结果的偏差按照实时出清节点电价进行结算。通过两部制结算一方面可以引导市场成员尽量按照日前出清的结果安排发用电计划，另一方面可以针对实时发生的变化进行微调，减少了电网实时运行的风险。

通过上述对比分析可以发现，对于实际运行和市场合约的偏差电量，国内外各市场根据各自市场特征设计了针对性的结算机制，引导市场成员尽量减少偏差电量的产生，从而减轻调度运行的压力。

4 广东电力市场交易结算技术支持系统

为全面支撑广东电力市场日益复杂的交易结算业务，广东电力交易中心组织开发了一个兼容性强、可拓展、易推广的结算技术支持系统。该系统采用敏捷开发模式，以应对市场建设初期快速变化的政策需求和规则调整。该系统兼具结算和分析功能，实现了多业务系统的互联互通，支持灵活的数据管理、灵活的零售合同管理、全方位的数据校核和多维度的报表分析，实现了全业务流程的线上管控，确保结算业务全环节的可控、可追溯。

4.1 多业务系统互联互通

广东电力交易结算技术支持系统实现了与调度系统、营销系统等外部系统的互联互通，确保数据同源、档案唯一。通过与调度系统的交互，便于交易中心及时获取计划电量和市场电量的实际执行情况；通过与营销系统的交互，便于交易中心对市场用户进行算费并出具结算依据，营销中心据此出具结算单并开展电费收支工作。

4.2 灵活的基础数据管理

为了灵活开展不同对象的结算工作，技术支持系统支撑灵活的档案管理功能。发电侧可以分为发电企业、发电单元、发电机组等进行档案管理；用

户侧可以分为企业、户号、计量点等进行档案管理。

为了适应结算规则的调整，广东电力交易结算系统支撑灵活的结算方案管理功能，在设计开发阶段预留了参数调整的接口，可以在不修改系统代码的情况下，通过结算方案和结算参数选择即可适应结算规则的变化。

4.3 灵活的零售合同管理

为了适应多元零售合同给结算带来的挑战，技术支持系统支撑灵活的零售合同管理功能。

广东最初的交易结算支持系统通过合同模式和计算方法的选择以实现零售合同的管理。合同模式包括量价联动模式和电费分配模式；计算方法包括固定价差、固定电费、阶梯单价、阶梯累进等。该方法在初期市场规模较小、零售合同种类单一的情况下，能满足交易结算需求。

随着零售侧用户规模的不断扩大，为了满足零售市场用户多样化需求，保障零售侧结算的高效准确，零售合同管理从最初的模式选择演变为量、价、费的自由组合，能高效准确地形成海量零售合同，极大地提升了零售合同结算的灵活性和包容性。

4.4 全方位数据校核

为了保证结算的准确率，交易结算技术支持系统支持全方位的数据校核，包括电量数据校核、电费校核和出单校核。电量数据校核，通过对营销系统传入的电量数据与历史数据作对比，分析同比和环比指标，核查是否有突变情况以判断电量数据的合理性；电费校核，从不同的维度采用不同的计算方法，横向对比电费，确保电费计算的准确性；出单校核，确保出单及时性和准确性，确保不漏单。

4.5 多维度报表分析

广东电力交易中心不仅注重结算业务本身，也同样重视对结算大数据的分析工作。为此，在技术支持系统中，开发了多维度的报表分析功能，从网公司、省公司、省政府、地方政府、媒体、电厂这 6 个层面，根据各方需求的不同，提取系统中不同的关键字段进行统计分析，有利各方更好地开展相关工作，促进电力市场的良好发展。

5 实证分析

本文以广东电力市场 2017 至 2018 年的实际数据为例，对广东电力市场结算机制设计及应用效果开展实证分析。

5.1 市场交易电量

从表2可以看出近两年市场交易规模稳步增加，2017 年年度交易电量为 837 亿 kW·h，2018 年增长为 1 094 亿 kW·h(其中年度双边协商交易电量为 998

亿 kW·h, 年度集中交易电量为 96 亿 kW·h); 2017 年月竞电量为 319.6 亿 kW·h, 2018 年月竞电量为 477.9 亿 kW·h; 2017 年发电合同转让电量为 82.6 亿 kW·h, 2018 年发电合同转让电量为 133.8 亿 kW·h。大部分市场电量交易都在年度完成。

表 2 近两年市场交易电量

Table 2 Market transaction quantity in recent two years

	亿 kW·h		
	年度交易	月竞	发电合同转让
2017 年	837	319.6	82.6
2018 年	1 094	477.9	133.8

5.2 价差情况

图 6 和图 7 分别表示 2017 年和 2018 年各月价差情况。对比两图可以发现, 市场经过一段时间的运行, 月度集中竞价价差趋于稳定, 且稳定大于年度交易价差, 这说明市场主体报价趋于理性, 通过年度交易获得的利润要大于月度交易。



图 6 2017 年每月价差情况

Fig. 6 Monthly spread in 2017

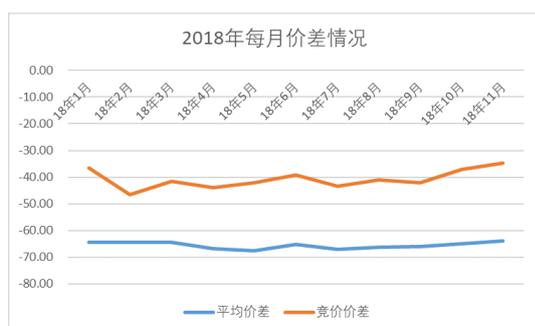


图 7 2018 年每月价差情况

Fig. 7 Monthly spread in 2018

5.3 结算总体情况

2017 年发电侧总让利 73.4 亿元, 其中: 价差电费让利 75.2 亿元(煤机 67.5 亿元, 气机 7.7 亿元), 必开补贴收益 2.4 亿元, 考核费用 0.5 亿元。用户侧总获利 71.3 亿元, 其中: 售电公司净获利 12.7 亿元;

用户获利 58.6 亿元, 平均价差 51.8 厘/kW·h; 用电侧考核费用 3.6 亿元。其中, 用户与售电公司分成比例约为 8: 2。供应侧让利及用户获利规模位居全国各省前列。

需求侧企业全年市场收益为正的 127 家, 为负的 20 家, 应缴资金合计 0.65 亿元。其中全年因用电量差错、发电偏差价格调整、台风免考核、去产能免考核等事项进行了追退补, 合计退还给电厂电费 1.1 亿元, 退还给售电公司 0.24 亿元。

5.4 偏差情况

1) 市场整体需求预测情况

2017 年共有 62 家电厂、11 家大用户、136 家售电公司(代理 4 562 家零售用户)参与 2017 年 1—12 月的市场化交易结算。全年市场交易成交电量 1 157 亿 kW·h, 剔除长协调减量后实际成交电量 1 141 亿 kW·h, 全年实际用电量 1 131 亿 kW·h, 市场电量完成率 99%。月度总市场电量正负偏差均不超过 5%, 市场整体需求预测较为精准, 如图 8。

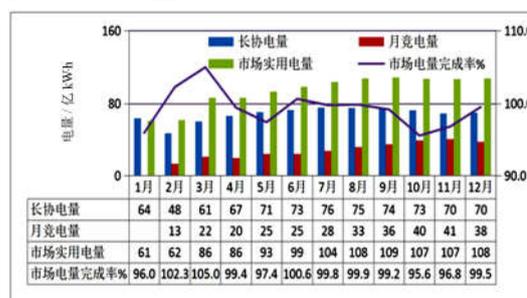


图 8 2017 年市场整体需求预测情况

Fig. 8 Overall market demand forecast for 2017

2) 售电公司偏差控制情况

售电公司全年各月偏差率平均值为 8%(按绝对值计算), 全年偏差控制水平呈“两头高, 中间低”的态势。主要是售电公司逐步适应偏差考核规则, 偏差率平均值逐步下降并维持在 7%左右; 随着年底节假日及订单方面的影响, 用电需求控制难度增加, 偏差率呈现翘尾现象。

6 结论

高效、准确的结算是保障电力市场稳健有序发展的重要基础。广东电力市场紧紧围绕收支平衡这一“主线”、兼顾市场各方利益及相关政策需求, 开展了独具特色的市场结算机制设计, 本文将其归纳为 5 个特点: 计划与市场解耦结算、“类区域市场”两级结算、发电侧双偏差结算、灵活多样的零售结算、发电权“刚柔并济”结算等。广东电力市场采用敏捷开发的方式构建了电力市场结算系统, 有力

支撑了中长期交易的高效、准确结算。本文全面梳理了广东电力市场结算机制设计的思路、举措和实践经验,并将国内结算机制进行了对比分析,期待本文的工作为我国电力市场建设提供有益参考和借鉴。

参考文献

- [1] 石帮松, 张靖, 李博文, 等. 多类型售电公司共存下竞价售电的市场均衡研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(5): 62-67.
SHI Bangsong, ZHANG Jing, LI Bowen, et al. Market equilibrium study on multiple types of electric power retailers bidding[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(5): 62-67.
- [2] 王雁凌, 张粒子, 杨以涵. 边际电价结算和发电方报价价格结算竞价机制的经济分析[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 4-17.
WANG Yanling, ZHANG Lizi, YANG Yihan. An economic analysis of competition mechanisms for system-margin-pricing and pay-as-bid[J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 4-17.
- [3] PJM. Market settlements reporting system (MSRS) [EB/OL]. [2016-09-27]. <https://www.pjm.com/training/training-material.aspx>.
- [4] MISO. Business practices manuals[EB/OL]. [2016-09-27]. <https://www.misoenergy.org/legal/business-practice-manuals/>.
- [5] ELEXON. Section Q: balancing mechanism activities [EB/OL]. [2016-12-30]. https://www.elxon.co.uk/wp-content/uploads/2016/11/Section_Q_v27.0.pdf.
- [6] ZAREIPOUR H, BHATTACHARYA K, CAIZARES C A. Electricity market price volatility: the case of Ontario[J]. Energy Policy, 2007, 35(9): 4739-4748.
- [7] OTT A L. Experience with PJM market operation, system design, and implementation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18(2): 528-534.
- [8] REN Y, GALIANA F D. Pay-as-bid versus marginal pricing-part I: strategic generator offers[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4): 1771-1776.
- [9] REN Y, GALIANA F D. Pay-as-bid versus marginal pricing-part II: market behavior under strategic generator offers[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4): 1777-1783.
- [10] YAO J, OREN S S, ADLER I. Two-settlement electricity markets with price caps and cournot generation firms[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 181(3): 1279-1296.
- [11] ERDOGDU E. A paper on the unsettled question of Turkish electricity market: balancing and settlement system (part I) [J]. Applied Energy 2010, 87(1): 251-258.
- [12] Camadan, E.; Erten, I. E. An evaluation of the transitional turkish electricity balancing and settlement market: lessons for the future[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011, 15 (2), 1325-1334.
- [13] 周明, 严宇, 丁琪, 等. 国外典型电力市场交易结算机制及对中国的启示[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(20): 1-8.
ZHOU Ming, YAN Yu, DING Qi, et al. Transaction and settlement mechanism for foreign representative power markets and its enlightenment for Chinese power market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(20): 1-8.
- [14] 周佃民, 翟桥柱, 管晓宏. 电力市场结算规则对交易结果的影响[J]. 电网技术, 2002, 26(7): 38-41.
ZHOU Dianmin, ZHAI Qiaozhu, GUAN Xiaohong. Influences of market settlement on transaction result in electricity market[J]. Power System Technology, 2002, 26(7): 38-41.
- [15] 江健健, 康重庆, 赵傲, 等. 电力市场中不同电价结算方式的分析与比较[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(3): 389-392.
JIANG Jianjian, KANG Chongqing, ZHAO Jing, et al. Two pricing principles for the electricity market[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2003, 43(3): 389-392.
- [16] 张森林. 区域电力市场交易电量结算模式的实用化研究[J]. 电网技术, 2008, 32(3): 56-61.
ZHANG Senlin. Practical research on settlement model of transacted electricity quantity in regional electricity market[J]. Power System Technology, 2008, 32(3): 56-61.
- [17] 王雪晋, 吴滇宁, 李维劼. 云南电力市场化结算的变革和演进[J]. 中国电力企业管理, 2017(31): 22-24.
- [18] 赵晋泉, 胡佳, 王珂, 等. 一种日前发电调度与日前分时电价联合优化模型[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(9): 56-63.
ZHAO Jinquan, HU Jia, WANG Ke, et al. A joint optimization model of day-ahead generation scheduling and day-ahead time-of-use price[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(9): 56-63.
- [19] 谭振飞, 阮广春, 钟海旺, 等. 适应交易机构相对独立的双边交易安全预校核方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(10): 106-113.
TAN Zhenfei, RUAN Guangchun, ZHONG Haiwang, et al. Security pre-check method of bilateral trading adapted to independence of power exchange[J]. Automation of

- Electric Power Systems, 2018, 42(10): 106-113.
- [20] 舒畅, 钟海旺, 夏清, 等. 约束条件弹性化的月度电力市场机制设计[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(3): 587-595.
SHU Chang, ZHONG Haiwang, XIA Qing, et al. Monthly electricity market design based on constraint relaxation[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(3): 587-595.
- [21] 曾嘉志, 赵雄飞, 李静, 等. 用电侧市场放开下的电力市场多主体博弈[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(24): 129-136.
ZENG Jiazhi, ZHAO Xiongfei, LI Jing, et al. Game among multiple entities in electricity market with liberalization of power demand side market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24): 129-136.
- [22] 李刚, 刘继春, 魏震波, 等. 含分布式电源接入的市场多主体博弈分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(19): 1-9.
LI Gang, LIU Jichun, WEI Zhenbo, et al. Analysis of game among multi-agents in electrical power market with integration of distributed generation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(19): 1-9.
- [23] 中共中央国务院. 中共中央国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见[Z]. 北京: 中共中央国务院, 2015.
- [24] 国家发展改革委, 国家能源局. 国家发展改革委 国家能源局关于电力交易机构组建和规范运行的实施意见[Z]. 北京: 国家发展改革委, 国家能源局, 2015.
- [25] 南方能源监管局, 广东省经济和信息化委, 广东省发展改革委. 广东电力交易基本规则(试行)[Z]. 广州, 2017.

收稿日期: 2019-03-08; 修回日期: 2019-06-06

作者简介:

姚星安(1979—), 男, 通信作者, 硕士, 经济师, 研究方向为电力市场、电力金融衍生品; E-mail: duanpian@tsintergy.com

曾智健(1968—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力市场交易;

杨威(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力市场、电网运行方式。

(编辑 葛艳娜)