

英美电力市场用户及调度成本覆盖的思考与启示

肖艳炜¹,高怡静²,李继红¹,林凯颖²,郑亚先³,王蓓蓓²

(1. 国网浙江省电力公司,杭州 310000;2. 东南大学 电气工程学院,南京 210096;
3. 中国电科院南京分院,南京 210008)

Reflection and enlightenment on customer and dispatch cost coverage of British and American electricity markets

XIAO Yan-wei¹,GAO Yi-jing²,LI Ji-hong¹,LIN Kai-ying²,ZHENG Ya-xian³,WANG Bei-bei²

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310000, China; 2. College of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 3. Nanjing Branch of Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

摘要:以英国电力库时期、NETA时期和美国PJM时期电力市场为例,分析对比三者在用电侧和调度的成本覆盖情况,并且分别从市场运营特点的整体性和3种交易模式在交易和费用制度的繁复程度上、市场的组织形式上、价格的稳定和导向性上、市场运行的透明度上的优劣势进一步分析不同电力市场的运营模式。最后结合我国的实际情况,提出我国电力市场建设方面的相关建议。

关键词:电力市场;成本覆盖;辅助服务

Abstract: POOL, NETA and PJM electricity markets are taken as examples to analyze the cost coverage in the process of electricity production. In the part of cost coverage, the cost generation and corresponding way of cost coverage is analyzed from two aspects: user and dispatch. Then the overall characteristics, advantages and disadvantages of the three transaction modes form the perspectives of the complexity of the transaction and charging system, the organization of the market, then stability and guidance of the price, and the transparency of the market operation are analyzed respectively. At last, on the basis of the research, the related suggestions are given, combined with the national conditions in China.

Key words: electricity market; cost coverage; auxiliary service

中图分类号:F416.61;TK018 文献标志码:C

1 英美电力市场用户侧成本覆盖比较

1.1 用户侧成本

用电侧在购买电能的同时,会根据系统调度员的指令调整负荷需求,负荷调整产生的相应费用可以得到补偿^[1]。

在英国电力库时期,需求侧可以向电力库提交愿意减少负荷的费用,其竞价和发电机组一样可以用于设定系统边际价格。由于减少负荷和增加发电具有同样的效果,因此需求侧可以看作额外的发电容量。如果需求侧已经被考虑在无约束发电计

划内,当供电商在对负荷进行自主调度时,需求侧不会得到补偿,但是需求侧的竞价会影响系统边际价格和上抬价格。如果需求侧竞价没有被考虑在无约束发电计划中,当需求侧竞价小于等于系统边际价格时,降低负荷可以得到相应的容量费用(USAV),即在容量费用的计算中用竞价代替了失负荷电价,获得的补偿为失负荷概率 $\times$ (失负荷电价-增量报价)。

英国NETA时期平衡机制中,系统调度员根据费用最小的原则,接受一些发电商或者供应商的增量报价(Bid)和减量报价(Offer),调整其发电负荷水平^[2]。用户提交的Offer是按照调度削减负荷时希望得到的补偿,最终这部分补偿以不平衡卖出价(SSP)的形式提供。

对于美国PJM电力市场,用电侧的负荷需求主要分为2部分:固定需求和价格敏感性需求^[3]。相较于出清量不随价格变化的前者,价格敏感性需求不仅会提供电能需求的数量,还会提供用户可接受的价格。当前节点边际价格(LMP)高于该价格时,这部分的电量需求将被取消,其实质是一种需求响应的方式。同时,除了物理上真实存在的负荷需求,日前市场虚拟报价也会在用电侧产生费用。

收稿日期:2018-08-02;修回日期:2018-10-08

基金项目:国家电网公司科技项目“省级电力现货市场运营推演平台研究与开发”(52110118000A)

作者简介:肖艳炜(1982),男,浙江衢州人,硕士,高级工程师,从事电力系统自动化监控运行与管理;高怡静(1995),女,江苏苏州人,硕士,主要研究方向为电力市场;李继红(1964),男,浙江宁波人,硕士,教授级高级工程师,主要从事电网调度运行与管理;林凯颖(1993),女,浙江温州人,博士,主要研究方向为电力市场;郑亚先(1982),男,江苏宿迁人,高级工程师,主要研究方向为电力系统优化、电力市场运营;王蓓蓓(1979),女,安徽蒙城人,副教授,博士生导师,主要研究方向为电力市场和需求侧管理。

市场买卖双方提供增量报价,当日日前LMP低于该报价时,响应PJM的调度增加发电量或者减少负荷。无论是价格敏感性需求还是减量报价,其最终的结算价格,还是按照日前市场的LMP。

1.2 用户侧成本覆盖总结

在英国电力库中,无约束发电计划外的需求侧在减少负荷后可以得到USAV的补偿。NETA通过不平衡量的结算价格对用户的自愿调整进行补偿,它的增减量报价机制相较于电力库时期更加灵活,可以对负荷进行上调或下调。PJM中则采用虚拟报价以及依据价格浮动出清量的需求响应进行用户侧的负荷调整。由于虚拟报价不需要参与者存在物理上的需求或者发电能力,用户还可以从日前实时的LMP差价中获利。表1为用电侧成本覆盖方式。

表1 用电侧成本覆盖方式

电力市场类型	收费方	付费方	费用形式
电力库	供电商	电力库	USAV
NETA	供电商	系统调度员	SSP
PJM	增量报价方	RTO	日前LMP
	供电商	RTO	日前LMP

2 英美电力市场调度成本覆盖比较

调度产生的费用主要包含日前计划与实际调度的偏差和辅助服务。日前计划与实际调度的偏差是由于需求及发电量与日前计划不同而需要再调度所产生的费用。辅助服务成本是为保证电力系统安全、稳定运行和电能质量需要而提供各种辅助服务所产生的费用。

2.1 日前计划与实际调度偏差

英国电力库时期,由于输电约束、机组运行状况的改变及负荷预测误差的存在,无约束的日前计划会使其与有约束的实际运行之间存在偏差。电力库以PPP的价格从发电商处购得电能,加上上抬价格(UPLIFT)得到最终的售电价格^[4]。在该部分上抬价格中考虑了电能加价,电能加价是计及负荷预测误差和机组可用性变化而要求发电商提供额外电能的费用。因此日前计划与实际调度偏差部分可以由UPLIFT覆盖,作为购电电价的一部分,由供电商支付给电力库。

NETA时期,不平衡电量在实际运营中也是存在的。电力交易商按合同购买电量和卖出电量之间存在差异;发电商实际发电量和计划出售电量之间存在差异;终端用户实际消费电量和供电商为其预购电量之间存在差异。对于日前计划与实际调度的偏差,市场采用不平衡结算来确保签订合同量

的顺利交付。在平衡机制中,发电商和供电商自愿地提供平衡服务,提交各自的增减量报价:Bid和Offer。在该报价水平下,发电商/供电商愿意按照市场调度员的指令对发电量/负荷量进行调整。在最终的不平衡结算中以不平衡卖出电价SSP和不平衡买入电价SBP结算,该部分差异产生的成本由不平衡电量的买入方支付^[5]。

美国PJM电力市场中,实时市场距离实际运行的时间较短,能够提供更加贴近实际运行的预测结果。因此,PJM的日前市场和实时市场采用双结算系统(two settlements)^[6]。日前市场出清结果用于日前计划的结算,实时计划与日前计划存在的差异按照实时LMP进行增量结算。需注意的是:日前市场的出清结果只用于结算,实时市场的出清结果用于结算和实时调度。由此可知,日前市场交易量与实时偏差产生的费用是由实时市场的LMP加以覆盖^[7]。

2.2 辅助服务

英国电力库时期,辅助服务主要有4类:频率控制支持、备用、电压/无功支持以及黑启动^[8]。这部分的费用同样包含于上抬价格UPLIFT中,因此,产生的辅助服务偏差费用在供电商向电力库购买电能时已经被覆盖。

NETA时期,平衡机制下的辅助服务分为强制性辅助服务和商业化辅助服务。强制性辅助服务由持有经营许可证的发电商提供,如无功、频率响应等;商业化辅助服务由部分发电商根据双边协议自愿提供,如黑启动、快速启动等。

在美国PJM电力市场中,辅助服务是在固定的60 Hz频率下实现系统的供需平衡^[9]。辅助服务的手段主要有2种:调频和备用。调频用于控制负载和发电之间的微小失衡,发电机以调频出清价格(RMCP)来向负荷商(LSE)提供相应的调频服务;备用则是在大型发电机存在发电损失的情况下,补偿系统平衡,弥补发电缺陷导致的大规模供电断层。供电企业有一定的容量义务,因此供电企业会向备用市场购买一定的旋转备用容量,以旋转备用市场清算价格(SMCP)来支付相应的服务^[10]。

2.3 调度成本覆盖总结

在英国电力库时期,实时有约束的计划中,上抬价格综合考虑了电能加价和USAV 2个因素;在NETA时期,有较完善的不平衡量结算机制:自愿参与平衡服务的双方报价,最后按一定价格出清不平衡量;在美国PJM双结算系统中,用实时价格出清日前与实时的偏差部分。

电力库时期的上抬价格中包含辅助服务部分;NETA时期的辅助服务部分通过协议来进行;PJM以辅助服务市场对应的竞价结果,出售相应的辅助服务。表2为调度成本覆盖方式。

表2 调度成本覆盖方式

成本类型	电力市场类型	收费方	付费方	费用形式
日前计划与实际调度偏差	电力库	电力库	供电商	UPLIFT
	NETA	系统调度员	不平衡电量买入方	SSP
	PJM	系统调度员	发电商、供电商	实时LMP
辅助服务	电力库	电力库	供电商	UPLIFT
	NETA	发电商	国家电网公司	辅助服务协议
	PJM	发电商	RTO	RMCP、SMCP

3 英美电力市场总结

就电力生产环节而言,英国2个时期的电力市场和美国PJM电力市场各有特色。英国电力库时期,电力库可以看作是一个“中间商”,其从发电商处批发电能,再出售给供电商。其中的购售差价来自于日前无约束发电计划与实际运行的偏差,以及相应的辅助服务。

英国NETA时期最显著的特点是双边合同,如图1所示,在前期的合同市场,发电侧和负荷侧共同参与竞争确定了绝大部分的交易量。通过自愿参与平衡市场的市场成员报价,系统调度员重新进行调度,并且根据报价求加权平均值得到不平衡的结算电价。

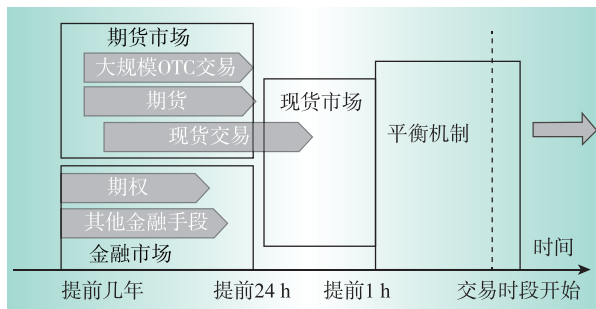


图1 NETA 日前与实时市场

美国PJM电力市场在日前和实时市场都采用全电量出清,根据不同时期的负荷预测结果,得到各自的发电计划和节点电价。日前市场的节点电价用以结算日前的交易量部分,实时市场的节点电价用以结算日前与实际运行偏差部分。其相应的交易时序图如图2所示。

就交易和费用制度的简易程度而言,电力库有明显的优势,NETA电力市场次之,最复杂的是PJM电力市场。电力库中,国家电网公司在日前制定发电计划时不考虑约束,只由最终的上抬价格来调整日前与实时有计划输电之间的偏差。NETA的双边

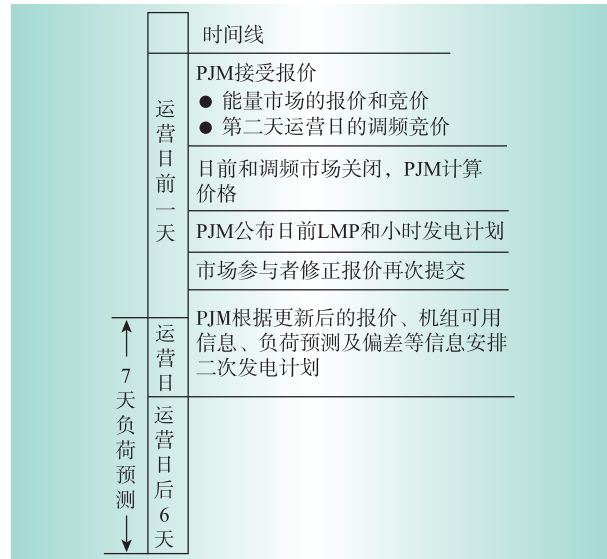


图2 PJM 日前与实时市场

合同报价较为简单,但是对于不平衡量的处理,需要经过平衡机制中的自愿参与竞价和最终的不平衡结算,相对而言增加了复杂度。在输配电方面,电力库和NETA时期都是统一收费,各部分的费用形式也较为明确。美国PJM电力市场的双结算系统对日前和实时偏差量分别以日前和实时2个节点电价出清。节点电价不是单纯的电能价格,还包含了阻塞和损耗的价格,增加了交易价格确定的复杂性。在输配电环节,PJM需要根据服务用户、输电请求时间的不同收取输电费用。

从市场的组织形式而言,NETA以及PJM电力市场的竞争性以及市场参与度更高。在历史发展阶段中,电力库市场存在于电力市场建设初期,因此其作为单边的市场,是由市场操作员统一管理的集中性交易,供电侧不直接参与电价的制定。过渡至NETA时期后,负荷侧对市场的影响力增加,双边的市场形式也增加了发电侧的竞争压力。美国PJM电力市场也是根据发电侧、需求侧的投标以及市场成员的双边交易计划来计算电价,同样综合考虑了供需双方的影响和竞争。

就价格的稳定和导向性而言,美国PJM市场有较为显著的优点。从历史数据来看,实时市场与日前市场的价格具有一致性,偏差较小。日前市场和实时调度采取相同的潮流模型和约束,释放的经济激励信号使2个价格趋于一致,保证了市场的健壮性。同时节点电价是一个较好的投资引导信号,使资源配置更加优化。电力库时期的日前无约束计划和单一化的上抬价格组合模式,使得电价的波动较大,对市场参与者而言存在较大风险。而NETA时期合同电量的先期结算加上少量的不平衡量出清,较电力库时期,更加有助于维护市场稳定。

从市场运行的透明度而言, NETA时期的电力市场加大了监管力度, 同时也涌现出较多信息服务机构, 与电力库时期相比, 增强了价格的透明度。美国 PJM 电力市场由于市场的开放竞争性、完善的电力监管模式, 相较电力库也有着更高的市场透明度。

4 对我国电力市场的启示

首先, 电力市场的成功运营, 需要达到一定的收支平衡。从发电、运输到配电的各环节, 需要以不同的费用支取方式覆盖各部分产生的成本, 并且考虑该收费方式的合理性。鉴于我国市场开放程度不高, 可以考虑在市场初级阶段参照英国电力市场的模式: 在输配电过程中采用固定、统一的收费制度, 发电侧和需求侧开放竞争, 采用固定和竞争相结合的成本收费方式。该种方式操作简单, 但可能带来市场透明度不高、竞争性不强以及交易模式单一等问题, 因此随着市场开放程度的加强, 后期可以考虑借鉴美国 PJM 电力市场的方法: 在发电侧设立相互独立的容量市场和电量市场, 进一步引入竞争。同时, 在输电侧根据不同的用户需求制定相应的费用标准, 使费用回收更加合理。

其次, 电力市场中较为重要的一环是合理设置计划运行和实际运行之间偏差量的出清机制。计划运行阶段的电量交易用于稳定价格, 偏差量平衡阶段则是使交易更加接近实时的供需情况。当前广东、江苏等地基于电量的双边/集中交易市场, 已从如何考虑调度日前计划的安全校核因素顺利过渡到全电量的现货市场运行模式, 其中不平衡环节的处理是一个非常值得关注的问题, 建议从原有的计划电到市场电的过渡持续时间尽可能长些, 给调度的调节裕度尽可能大些, 这样更有助于电力工业的安全可靠生产, 从而在此基础上平滑过渡到考虑市场因素的资源高效配置。

最后, 市场从建立到完善, 必须丰富金融工具和交易品种, 加强对资源配置的引导。以现货市场阻塞为例, 这是市场交易到物理运行的必经环节, 如何为交易双方提供避险工具, 从而降低交易成本是一个非常值得关注的问题。PJM 市场中金融输电权的存在, 就是规避阻塞风险的一种手段, 它可以使所有市场参与者传输能量时能得到收费的确定性, 同时分配阻塞盈余。除此以外, 诸如美国 PJM 市场中虚拟报价形式的设立, 可以使交易参与方免于风险, 有利于市场的健康发展, 同时也可以实现日前和实时市场的套利。建议参照国外模式, 引入差价合约、金融输电权等多种金融避险工具, 允许更多的套利者参与市场交易, 从而帮助规避风险。

5 结论

本文以英国电力库时期、NETA 时期以及美国 PJM 电力市场为例, 从用电和调度 2 个角度具体分析了不同市场机制下成本的覆盖方式, 通过不同环节的费用产生和收取的分析, 对英美两国电能交易的过程和方式有了深入的了解。在此基础上, 本文从整体和多个角度分析了 3 个电力市场的特点: 电力库时期是集中性的日前市场; NETA 时期引入双边合同, 并通过平衡制度调整合约与实际运行的偏差量; 美国 PJM 采用日前市场与实时市场相结合的方式进行全电量出清。由于市场规则的设置, 三者 in 收费结算制度、市场组织形式、价格引导作用以及市场透明度等方面, 存在相应的优劣势。通过详细的比较与分析, 英美费用收取方式的设置以及不平衡电量的结算为我国电力市场的建设提供了参考作用。D

参考文献:

- [1] Buirski D. British electricity trading and transmission arrangements [J]. International Electric Power for China, 2004, 8(4): 15-24.
- [2] Wolak F, Patrick R H. The impact of market rules and market structure on the price determination process in the england and wales electricity market [J]. Social Science Electronic Publishing, 2001, 22(3): 27-62.
- [3] Ott A L. Experience with PJM market operation, system design and implementation [J]. Power Systems IEEE Transactions on, 2003, 18(2): 528-534.
- [4] 王兴, 宋永华, 徐贵光. 英国新电力市场模式中的平衡调度机制 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(12): 4-8.
- [5] Cheung K W, Shamsollahi P, Sun D, et al. Energy and ancillary service dispatch for the interim ISO New England electricity market [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(3): 968-974.
- [6] Ott A L. Development of smart dispatch tools in the PJM market [C]// Power and Energy Society General Meeting. IEEE, 2011: 1-3.
- [7] 国家电力调度通信中心. 美国电力市场与调度运行 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [8] Švigir N, Kuzle I, Bošnjak D. Ancillary Services in Deregulated Power Systems [C]// Wseas International Conference / Jose Zamanilovo. 2008: 537-546.
- [9] PJM Interconnection. Balancing Operations [EB/OL] [2017-11-12] (2018-05-12). <http://www.pjm.com/-/media/documents/manuals/m12.ashx>.
- [10] Vehviläinen I, Keppo J. Managing electricity market price risk [J]. European Journal of Operational Research, 2003, 145(1): 136-147.

(本栏责任编辑 水 鹤)