

多级电力市场之间协调的模型与方法

尚金成¹, 黄永皓², 康重庆², 沈瑜², 夏清², 孟远景¹, 何南强¹

(1. 河南省电力公司调度通信中心, 河南省郑州市 450052; 2. 清华大学电机系, 北京市 100084)

摘要:在电力工业市场化运行过程中,年度/月度合约交易市场、日前市场、时前/实时平衡市场及辅助服务市场是并存的,而电力各个市场之间的衔接与协调一直是电力市场理论研究中的一个重要问题。目前国内外真正实现多级电力市场的情况并不多见,而对于经济性、安全性进行多级市场协调的研究也不够深入。为此,提出了多级市场之间协调的模型与方法,能够做到在保障电网安全稳定经济运行保证市场公平交易。

关键词:多级电力市场;滚动优化调度;协调;模型

中图分类号: TM73; F123.9

0 引言

从市场空间的角度,电力市场可划分为国家市场、大区市场、省级市场等;从市场类型的角度,电力市场有发电市场、输电市场、配电市场、售电市场;从时间的角度,电力市场可划分为期货/期权交易市场、合约市场^[1](例如年度、月度合约市场,包括双边交易)、日前交易市场^[2]、辅助服务交易市场^[3]、时前/实时平衡市场^[4]。

各级市场对组织安全、有效的电力市场的意义是非常明确的。事实上,年电量(含基数部分与合约部分)分配到各月以及月所有电量分配到各日是否合理,关系到未来电价是否平稳、电力生产是否平稳、日交易计划的制定能否为实时市场提供更多的安全充裕度和竞价空间。同样,日前市场是否为实时市场考虑得比较周到也关系到实时市场运行的平稳性。基于上述理由,本文提出多级市场的协调模型与方法。

1 多级电力市场的交易与协调

1.1 各级电力市场的定义

a. 合约市场:中长期合约是中长期实物交货合同,它可以通过竞价产生,也可以双边签订。市场有序、规避风险、稳定价格是中长期合约市场的作用。

b. 日前市场:落实中长期合同电量,组织日前竞价,通过竞争发现日前市场价格,制定满足电网安全和经济的机组开停计划。

c. 辅助服务市场:包括自动发电控制(AGC)机组的有功频率调整、旋转备用、非旋转备用、替代备

用、无功及电压支持、恢复及黑启动。通过竞争发现保证电力商品质量的市场价值。

d. 时前/实时平衡市场:组织实时不平衡市场,通过竞争发现实时市场价格。实时市场本质上是短期现货交易市场,当市场上发电不足以满足负荷需求时,日前现货竞价后还有发电能力的机组就有机会参加竞争,获得额外的发电出力;而日前获得出力的机组在市场发电过剩的情况下也可以买回出力,通过买卖差价获得盈利。实时市场中,当供需矛盾较大时可能会竞争到较高的电价,但发电厂所承担的风险也较大。发电厂根据电厂本身的生产能力和技术特点,在交易日前确定参与日前市场和实时市场的出力比例,以获得最大的效益。

1.2 多级电力市场的交易流程

多级电力市场的交易流程及电网安全校核机制如图 1 所示。

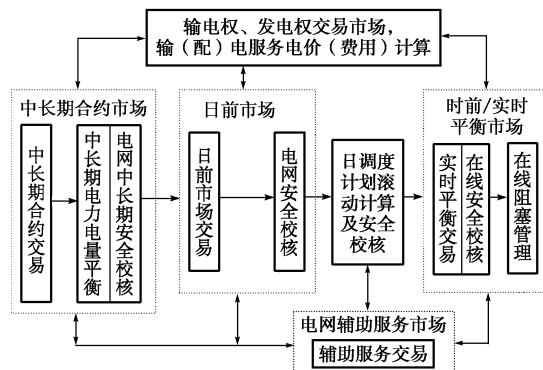


图 1 电力市场交易结构及电网安全校核机制
Fig. 1 Structure of multistage electricity trading market and grid security emendation mechanism

在各级交易过程中,要将中间交易结果送电力市场分析与评估(AAEM—analysis and

assessment of electricity market) 系统^[4,5]进行评估。AAEM 系统是对电力交易适应性评估的复杂软件系统,它对于给定的分析时段,根据负荷预测的结果和发电商申报的电价,以及网络运行状况的变更计划,在考虑电力传输约束的前提下,模拟未来的电力交易,预计和揭示未来市场的电价走势、电力供需平衡状况、电网安全运行隐患等,用以指导发电公司的市场竞争行为,并辅助市场交易与运行人员的调度和方式安排,发布其中不涉及各市场成员商业机密的那部分计算结果。AAEM 系统分为短期(日)AAEM、中期(月度)AAEM^[4,5]。

另外,为了更好地协调日调度计划与实时平衡调度,引入日调度计划滚动计算及安全校核(以下简称滚动优化调度或动态优化调度)功能,滚动优化调度是日前调度计划计算程序的拓展。滚动优化调度与日调度计划最大的区别就在于机组的初始状态和指定状态是根据电网中的实时情况在每次计算时更新的。这样每次滚动计算的结果都是根据电网当前的最新状态计算出来,有很强的实时性。每次滚动计算都会重算一遍当前时段至调度日最后一个时段的出力计划并进行安全校核,运算结果将被写回数据库,并刷新数据库中保存的运算结果。滚动优化调度可以全面考虑调度日剩余时段最新的负荷变化信息及设备事故安全约束对旋转备用的要求,电网及机组当前的最新运行状态、参调机组整体上的可行性和可靠性,作出能够顺利爬坡降谷的优化调度方案,协调不同时间级的调度问题。

1.3 多级电力市场的协调目标

将合约市场、日前市场、辅助服务市场和实时市场协调地组织起来,使安排的计划能够满足电力系统安全、稳定、经济运行的要求,使发电计划和潮流能保证时间上的连续性和空间分布的均匀性,为实时调度和系统应急提供一定的裕度,并尽量减少机组的开和停。在年度合约交易市场的组织过程中,要充分考虑到系统的安全性和充裕性。

2 年度市场与月度市场之间的协调

为了叙述方便,给出如下定义:

- a. 年度基数电量:根据上网合同直接确定,不属于竞价产生的电量。
- b. 年度合约交易电量:交易中心拿出系统全年电量的一定比例投放到年度合约市场上,各个机组分别竞争,最后得到机组的年度合约交易电量。
- c. 年度可分电量:年度基数电量与年度合约交易电量之和。
- d. 月度保有电量:年度可分电量首先被分解到

各月中,称为月度保有电量。

e. 月度合约交易电量:交易中心拿出系统全月电量的一定比例投放到月度合约市场上,各个电厂分别竞争,最后得到每个电厂的月度合约交易电量。

f. 月度可分电量:月度保有电量与月度合约交易电量之和。

g. 日合约电量:将月度可分电量分解到日,称为日合约电量。

年度与月度合约相互协调的内涵是:根据全年的负荷曲线、机组检修安排情况、水电机组来水情况,追求各月的月度保有电量与该月的总负荷电量的比值尽可能相等,以保证不同月份的电价尽可能平稳和实现供需平衡。

由于特殊原因造成的分配到月的月度保有电量需要结转的情况,对该月的月度保有电量向后面进行月间结转。

2.1 年度可分电量的月度分配问题

为了保证年度可分电量与月度交易计划的良好衔接,在月度合约交易之前应考虑年度可分电量在月度市场上的分配。为了解得到足够的裕度,可以采用结转预留因子的思路,其模型表述非常复杂,这里只介绍解决问题的具体思路。

a. 根据各月度省网负荷电量的中长期预测,扣除水电机组的总电量,计算出各月的电量分配比例因子。各月的分配比例系数之和为 1。

b. 考虑到月度机组检修天数,对该月电量的比例因子进行调整。

c. 由各月的电量比例因子(或各月结转预留因子),得出各月的分配因子,据此分配年合约电量。

d. 在具体处理过程中,分解方案可能有好几种,每种方案的处理结果均存到数据库中;将年度可分电量的月度分配结果送 AAEM 系统,看能否满足系统安全性和充裕性;经过评估后,才能确定一种最合理的分解方案,形成最终的有效合同,送合同管理模块。

e. 如果不能满足 AAEM 系统要求,则看有无结转电量,调整结转电量迭代;如果没有结转电量,则调整检修计划;再不行,则在月度交易中调整交易和分配方式。

2.2 月度竞价交易电量的制定

在月度竞价交易开始之前,根据交易月电量负荷预测结果、年度可分电量的月分配结果、上月的月度保有电量结转结果、上月的月度合约交易电量及完成情况和交易月的水电情况,确定交易月竞价交易电量。月交易电量与由年度可分电量分配到该月的总和应能满足 70%左右的负荷需求。

在月度交易过程中,将交易结果(连同年度可分电量在该月的分解电量)送 AAEM 系统,看能否满足系统安全性和充裕性,通过合同评估后,才能形成最终的有效合同,并送合同管理模块。无法通过 AAEM 系统的竞价交易合同要调整年度可分电量在该月的分解电量。

2.3 年度可分电量的结转方案

年度可分电量的月间结转,是指上一月度竞价交易申报日到当前月度竞价交易申报日之间的所有因调度原因造成的需结转的年度可分电量,结转到后继月份。年底 12 月份的年度竞价交易电量不结转,区分责任方并进行罚款或补偿。

年度可分电量结转方案有两种思路:①只向下一月(或第 3 个月)结转;②每次结转都是向后面所有月结转。

第 1 种方案不必考虑结转预留因子,直接由下一月(或第 3 个月)来承担;第 2 种方案向后面所有月结转都要考虑结转预留因子。

3 月度市场与日前市场之间的协调

由于各交易主体的合约电量与合约电价已经在年和月的竞价交易决策中确定,就日合约电量的分配决策问题而言,不在于如何进一步降低购电费用,而是追求竞价交易电量在空间和时间上的均匀性和日前市场价格的平稳性。竞价交易电量在时间上的均匀分布有利于机组连续开机,避免机组的频繁启动;空间上的均匀分布将使潮流分布均匀,保证足够的输电容量裕度留给日前市场。这既有利于电网的安全运行,又为日前市场准备了更大的竞价空间。日前市场价格的平稳性体现在:对负荷大的交易日,分配的竞价交易电量的数量也应该大。只有这样,才可能避免由于日前市场各日的竞价空间不平衡使得日前市场价格产生很大的波动。

月度合约交易市场的分配影响到了系统的 AGC 和备用机组的组织,为了给辅助服务市场留有更大的裕度,在月度合约交易市场中要单独考虑 AGC 和备用机组。

由于特殊原因(出于调度或实时调整考虑,导致分配到机组的合约电量减少)无法完成的月度竞价交易电量,在月内进行结转。注意:优先结转月度竞价交易电量,分配到该月的年度竞价交易电量如果最后无法月内结转,则进行月间结转。

3.1 竞价交易电量由月分解到日

分解到月的年度可分电量与月度竞价交易电量结合在一起,统一由月分解到日,分解的结果是机组各日的负荷电量。分解过程中要考虑:

a. 该月典型日(阴天和晴天)的负荷曲线、该月节假日的分布及其负荷曲线,以及该月水电大发时的情况。这样的考虑即使在系统低负荷情况下也不至于机组停机。

b. 将系统分为几个主要的虚拟负荷节点,维持这几个虚拟节点各日的总出力不变,虚拟节点内各机组不必维持其平衡性,但各日电量总和必须保证平衡。

c. 机组出力的安排要在最小开机出力到最大技术出力之间。考虑备用的情况,应尽量保证机组最大出力点不高于最大技术出力的 80%。由此,再按典型日负荷曲线的比例得到机组开机 1 d 应分得的负荷电量。

d. AGC 机组的电量。要按最高负荷时段低于其最优调频基值点、最低负荷时段为最小技术出力的方式计算机组开机 1 d 应分得的负荷电量。

e. 非汛期时,水电厂的合约电量按其作为调频或备用机组来分配;汛期时,水电厂的合约电量按其作为调频机组或基荷机组来分配。

f. 竞价交易电量的分解要充分考虑到机组开机的连续性,机组最小停机时间作为强约束影响分解结果。停机次数少的方案优先。

g. 机组月度具体检修计划。

h. 将竞价交易电量的日分配结果送 AAEM 系统,看能否满足系统安全性和充裕性;通过合同评估后,才能形成最终的有效合同,并送合同管理模块。

i. 如果不能满足 AAEM 系统的要求,则看有无结转电量,调整结转电量迭代;如果没有结转电量,则调整机组检修计划或水电出力计划,使之满足系统安全性和充裕性的要求。

3.2 日合约电量分配到各时段

各机组月合约电量分配的结果是该月分到各日的合约电量,但还没有确定具体哪个时段该发多少电量。

由于在进行日前电量市场申报之前,应公布各电厂计划交易日的负荷预测信息和各时段的竞价空间,因此有必要将分配到日的合同电量再分配到各时段。

日合约电量向各时段分配的算法是,利用已有的负荷预测数据,扣除水电机组的强迫出力,得到剩余负荷曲线。将机组日电量按该曲线形状的比例分配到各时段,并保证最低负荷时段达到开机最小出力,最高负荷时段所有机组预留一定比例的备用。

由于月合约电量分配到日的过程中已经满足了 AAEM 系统的评估,而各机组又都按同样比例分配到各时段,所以各时段均能保持网络潮流的恒定性。

因此没有必要再进行各时段的 AAEM 评估。

各机组日合约电量分配到各时段的最终结果,在日前市场申报之前要公布给其所属的各发电企业,并按该月的年合约电量和月合约交易电量的比例发布该机组各时段的年合约电量出力和月合约电量出力。该日各时段合约总电量也要公布给各个发电企业。

4 辅助服务市场与有功市场的协调

4.1 有功日前市场与辅助服务市场的协调

AGC 辅助服务市场在有功日前市场之前进行。在参与 AGC 申报的 N 台 AGC 机组中,根据市场均衡理论、AGC 响应速率和 AGC 容量等约束条件,确定好购买 AGC 服务的 n 台机组和对应的购买容量,AGC 基值运行点是购买容量范围的中点。这 n 台机组按 AGC 市场给定的 AGC 基值曲线独立运行,其余没有购买 AGC 服务的机组自动进入有功市场进行竞争。AGC 容量有剩余的 AGC 机组也可以根据剩余 AGC 容量修正机组的可调出力范围,并送到有功市场参与竞争,这些额外竞争到的出力与原来 AGC 基值相叠加便是 AGC 机组的最终调频基值,并作为预调度计划曲线发布。

旋转备用市场在有功日前市场之后进行。在有功日前市场中,将系统总的正备用和负备用作为强约束来考虑,在机组组合和经济调度模块中做出的是能够满足系统正、负旋转备用的机组出力计划;另外,还要对系统的正备用容量做出足够的预留,以使得旋转备用的竞争更充分。在有功日前市场机组出力计划制定完毕后,根据市场均衡理论和机组的备用容量报价,得到满足系统各时段旋转备用需求的旋转备用交易结果。

非旋转备用市场的安排在旋转备用市场之后。由于旋转备用有较好的性能,也可采用统一备用的方式,即只公布系统总备用需求,由电厂对旋转备用和非旋转备用统一申报。先安排旋转备用市场,当旋转备用能满足系统备用要求时,不再考虑非旋转备用的交易;当旋转备用不能满足时,考虑购买非旋转备用。

4.2 时前/实时平衡市场与辅助服务市场的协调

机组在实时频率调整时,凡是计划购买 AGC 服务的机组,都必须根据电力调度中心的指令对系统联络线潮流进行控制和调整。AGC 机组在实时频率调整时,不按 AGC 优先顺序表调用,当系统频率发生变化时, n 台机组全部统一动作。当系统的 AGC 总容量不足或总跟踪能力不足时,对 AGC 市场中的剩余 AGC 机组按 AGC 优先顺序表中的排

序进行计划外购买,AGC 容量付费按该机组的报价进行单独结算。

系统在实时负荷调整时,按该时段的旋转备用优先顺序表按备用报价由低到高的次序调用机组。当系统在日前辅助服务市场中预购买的旋转备用能力不足时,对剩余旋转备用按该时段机组旋转备用报价排序进行计划外购买,旋转备用容量付费按机组报价进行单独结算。

5 日前市场与时前/实时平衡市场的协调^[4]

为了保证系统安全可靠运行,必须协调好日前市场与时前/实时平衡市场之间的关系,不仅要考虑本级市场的经济性和安全性,还必须为下级市场预留足够的调度控制空间。这样,在考虑主要不确定性因素的基础上,提前交易计划与实时调度过程之间就能够自然衔接、平缓过渡、井然有序,从而全面提高经济效益和社会效益。

为了协调日前市场与时前/实时平衡市场,引入交易计划的调度流畅性及调度流畅度指标^[4]。调度流畅性是交易计划适应不确定性因素的情况下调度和控制空间大小的性能;调度流畅度是交易计划的调度流畅性的度量指标。调度流畅度指标一般可采用以下评价标准。

在各节点的负荷增长模式一定、考虑发电和输电约束的条件下,调度流畅度可以用交易计划能够承受的系统总负荷增长的最大幅度来表征。在给定的交易计划基础上,若总负荷增长 D_{Δ} ,则按照固定比例将负荷增量分摊到各节点;若求得系统能够承受的最大负荷增长量 $D_{\Delta, \max}$,则流畅度指标 ζ 用下式表示:

$$\zeta = \frac{D_{\Delta, \max}}{D} \times 100\%$$

式中: D 为系统总负荷。

该标准下的流畅度指标与传统的负荷备用率在形式上相似,但是从特定意义上额外考虑了备用总量的分布特性,从而比传统的负荷备用率概念优越。流畅度指标 ζ 越大,说明多级市场之间越能够平稳过渡。

在评价系统能够承受的负荷增长幅度下,规定各节点的负荷增长模式给定。这一假设是有代表性的,因为对于一个特定的系统而言,负荷增长模式具有相对固定的规律。为简化起见,可以令负荷增长模式与各节点上的负荷成比例。

图 2 是利用调度流畅性进行日前市场与时前/实时平衡市场之间安全性、可靠性协调的示意图。

在日前市场中制定交易计划,并用最小流畅度

要求 ξ_{spec} 取代传统模型中的最小备用率约束。给出的开停机计划方案所决定的调度空间为 Ω_0 , 其流畅度 $\xi_0 > \xi_{\text{spec}}$; 同时给出经济分配方案 S_1, S_1 决定的调度空间为 Ω_1 , 其流畅度为 ξ_1 。

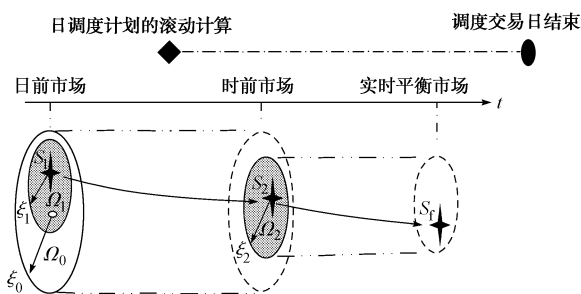


图2 日前市场与时前/实时平衡市场之间的安全性、可靠性协调

Fig. 2 Coordination of security and reliability between multistage electricity market

在时前市场中,根据实际需要,一般只需要修改经济分配方案。随着负荷预测和系统信息的更新,重新给出流畅度要求 $\xi_{\text{spec},2}$ 。一旦发现方案 S_1 决定的调度空间 Ω_1 不能满足未来调度的需要,而开停机计划方案的调度空间 Ω_0 能够满足其需要,即 $\xi_1 < \xi_{\text{spec},2} < \xi_0$,则在 Ω_0 中找到一个新的经济分配方案 S_2 ; S_2 决定的调度空间 Ω_2 应该能够应付未来负荷增长、线路和机组故障等扰动,即满足 $\xi_2 > \xi_{\text{spec},2}$ 。

最后,在实时调度阶段,实时监视负荷变化并做出决策,从预留的调度空间 Ω_2 中找到可行的最终运行方案 S_f 。

开停机计划的调度流畅性和经济分配方案的调度流畅性在时间跨度上是错开的,分别对交易计划的不同阶段进行评价。对于日前市场与时前/实时平衡市场之间的协调问题,开停机计划的调度流畅性与经济分配方案的调度流畅性将起到关键作用。

可见,由于日前市场的开停机计划预留了足够的有效备用分布,为以后的调度运行预留了足够的调度空间,可以尽量避免临时开机和切负荷之类的极端手段;另外,日前市场和时前市场给出的经济分配方案额外考虑到未来可能的系统扰动,可以在必要时转移到新的可行方案,确保系统安全、可靠运行。

另外,在电网调度运行中,参与负荷调节的发电机组的调节速率和调节容量的有限性,可能在跟踪负荷动态变化的过程中形成瓶颈制约的问题,导致系统供求不能平衡,这种供求不平衡的矛盾,可能导致系统调峰时功率升不上去,降谷时功率压不下来,系统频率过低或过高,联络线潮流出现异常等现象,使电能质量下降。为了解决上述问题,引入日调度计划滚动计算及安全校核(以下简称为滚动优化调

度或动态优化调度)功能。

滚动优化调度能够考虑负荷不同时段之间的联系,考虑负荷变化的趋势和不同区域负荷变化的差异对当前调度方案的要求和影响。在滚动优化调度中,一个时段的优化调度结果,是从上一时段的优化调度结果演变而来的,从各发电机组输出功率变化速率的角度看,这种演变是现实可行的;同时对于本日后续的可能的峰谷目标时段,本时段的优化调度结果能保证向前优化调度的顺利进行,也就是能够满足前方可能的各梯阶功率增量的需求和目标时段负荷水平的要求,可以说滚动优化调度是与系统调峰、调频和联络线调整密切相关的经济调度,它能够很好的协调系统的安全性、可靠性和经济性。

滚动优化调度的实现方式如下:

- 短期负荷预测滚动计算系统每隔 0.5 h 自动获取调度日剩余时段最新的负荷信息及天气预报信息,利用原来设置的预测方法和参数,自动计算 1 次,计算本日的后续时段的负荷预报值。
- 滚动优化调度每隔 0.5 h 自动计算 1 次,计算调度日的后续时段的发电计划并进行安全校核。
- 滚动优化调度计算程序启动后,从 EMS 实时库中获取当前时段所有机组的实际运行状态和出力作为机组的初始状态,并据此确定各台机组的指定状态。
- 滚动计算程序还将读入事先设定的机组各种基本数据,电网参数,实时申报数据(包括机组爬坡降谷速率等)作为计算的输入数据。
- 滚动优化调度计算系统中,数据的导入、计算的执行都由后台进程直接完成。
- 滚动优化调度计算由人工干预和自动循环二者结合起来完成。人工干预可以随时进行,并将干预的效果以数据方式保存到数据库中。

在非竞价的电网中,由于每次滚动计算都会重算一遍当前时段至调度日最后一个时段的出力计划并进行安全校核,使电网调度员可以了解调度日剩余时段参调机组在爬坡降谷整体上的可行性和可靠性,以及整个电网的运行趋势。通过滚动优化调度,使电厂操作人员能够了解电厂(机组)调度日剩余时段的发电趋势,以便在实时调度之前事先做好准备。由于滚动优化调度具有很强的实时性,因此,在实时调度阶段,绝大多数机组按照滚动优化调度的结果执行,只有少数机组参加负荷的不平衡调整。

在竞价的电网中,日调度计划滚动计算结果是不向电厂发布的,电网调度交易员通过滚动优化调度的结果,掌握调度日剩余时段最新的负荷变化信息、参调机组在爬坡降谷整体上的可行性和可靠性以及整个电网的运行趋势,以便购买合适的电网平

衡服务(包括购买机组的上调出力、下调出力、AGC、运行备用、无功等),保证电网的安全稳定经济运行。

6 结语

本文提出了多级市场之间协调的模型与方法,一方面保证了市场运行的严肃性和市场交易的公平性;另一方面,从时空连续性的角度保证了系统运行的安全性和可靠性,为市场环境下电力系统运行的安全与经济协调奠定了基础。有关多级电力市场协调的详细内容,见参考文献[4,6]。

参考文献

- 1 黄永皓,尚金成,康重庆,等(Huang Yonghao, Shang Jincheng, Kang Chongqing, et al). 电力中长期合约交易市场的运作机制及模型(An Operation Mechanism and Model of Long and Middle-term Electricity Contract Trading Market). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(4): 24~28
- 2 黄永皓,尚金成,康重庆,等(Huang Yonghao, Shang Jincheng, Kang Chongqing, et al). 电力日前交易市场的运作机制及模型(An Operation Mechanism and Model of Electricity Day-ahead Trading Market). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(3): 23~27
- 3 黄永皓,尚金成,康重庆,等(Huang Yonghao, Shang Jincheng, Kang Chongqing, et al). 电力辅助服务交易市场的运作机制及

- 模型(An Operation Mechanism and Model of Electricity Ancillary Service Trading Market). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(2): 33~36
- 4 尚金成,黄永皓,夏清,等(Shang Jincheng, Huang Yonghao, Xia Qing, et al). 电力市场理论研究与应用(Research on Electricity Market Theory and Its Applications). 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 2002
 - 5 杨焱,康重庆,沈瑜,等(Yang Yan, Kang Chongqing, Shen Yu, et al). 电力市场分析与评估的初步模型及应用(Elementary Studies on Analysis and Assessment of Electricity Market). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(9): 36~40
 - 6 尚金成,黄永皓,康重庆,等(Shang Jincheng, Huang Yonghao, Kang Chongqing, et al). 电力市场技术支持系统设计与关键技术研究(Design and Key Technology of Electricity Market Operation System). 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 2002

尚金成(1966—),男,博士,主要从事电力系统(电网)优化调度、电力市场、电厂竞价上网辅助决策与风险评估等方面的研究与管理工。E-mail: shangjincheng@vip.sina.com

黄永皓(1962—),男,博士研究生,主要从事电力系统规划、电力系统生产及管理、电力市场等方面的研究与管理工。

康重庆(1969—),男,博士,副教授,研究方向为电力市场、电力系统规划、电力经济与信息技术、负荷预测等。

THE COORDINATION MODELS AND METHODS OF MULTISTAGE ELECTRICITY MARKET

Shang Jincheng¹, Huang Yonghao², Kang Chongqing², Shen Yu², Xia Qing², Meng Yuanjing¹, He Nanqiang¹

(1. Henan Province Electric Power Company, Zhengzhou 450052, China)

(2. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Year contract market, month contract market, day-ahead market, real-time market and ancillary service market are concurrent in the process of power industry deregulation. The coordination among these markets has always been an important issue in theoretical research. At present, the real multistage electricity markets are few, and the researches on the coordination of multistage electricity market for the economy and security of markets are superficial. This paper presents the models and methods of the coordination of multistage electricity market, which can guarantee the power grid security stability economic operation and the electricity market running smoothly.

Key words: multistage electricity markets; rolling optimal dispatching; coordination; model