

水电竞价 理论与方法

Theory and Methodology

for

Hydropower Market Competition

吴世勇 马光文等 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

水电竞价



理论与方法

Theory and Methodology

for

Hydropower Market Competition

吴世勇 马光文等 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书较系统全面地介绍了水电厂商参与电力市场竞价的有关理论和方法。

全书分为4篇,共16章。第1篇简要介绍了发电侧电力市场情况,总结了国内外关于电力竞价理论的研究现状;第2篇介绍了博弈论基本概念、纳什均衡以及几类典型的博弈模型,分析了电力市场内竞争对手的市场力及其竞价策略,基于博弈论构建了水电厂商的多种竞价博弈模型;第3篇研究了市场出清电价理论,对市场出清电价变化规律进行了分析,提出了相应的电价预测模型;第4篇讨论了基于市场出清电价预测的水电竞价策略,主要包括单一水电站的竞价策略、梯级水电站群的竞价策略以及水电、火电并有独立发电企业的竞价策略。

本书适合电力企业相关人员及高等院校水利、电力等专业教师、研究生、高年级本科生阅读、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水电竞价理论与方法/吴世勇,马光文等著. —北京:中国电力出版社,2008

ISBN 978-7-5083-6677-7

I. 水… II. ①吴…②马… III. 水力发电-电力系统-经济管理-中国 IV. F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 005187 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008年3月第一版 2008年3月北京第一次印刷
710毫米×980毫米 16开本 20.25印张 343千字
印数0001—3000册 定价45.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

foreword

电力工业市场化改革的浪潮席卷全球，波及众多发达国家和发展中国家。国际上已有多个电力市场在运行之中。我国继东北、华东、南方电力市场的试点之后，竞价上网即将在全国展开。在电力市场环境下，发电商作为市场主体参与竞争，其收益在很大程度上取决于所采用的竞价策略。如何制订科学、合理的竞价策略，使经营收益最大化，是发电商必须密切关注的重大课题。同火电相比，水电竞价策略的制订要困难得多，除成本、电价以及市场因素外，水电的发电量还受不确定的天然来水，水库调节性能，综合利用要求，上下游水库电站之间水力、电力及不同投资主体经济联系等的影响。另外，对火电的竞价策略问题研究较多，而对水电的竞价策略问题研究甚少，更缺乏系统研究。因此，随着我国越来越多的水电企业参与电力市场竞价上网，基于水电自身特点，研究水电竞价理论和方法，具有十分重要的理论意义和生产应用价值。

本书内容由以下四篇组成：

第一篇——简要介绍了发电侧电力市场的运营模式、交易类型、竞价模式、竞价规则等，总结了目前国内外关于市场出清电价预测、发电商竞价策略、经济负荷分配算法等的研究现状。

第二篇——介绍了博弈论基本概念、纳什均衡以及几类典型的博弈模型；采用静态指标 HHI 法、动态指标 DHHI 法、MRR 分析法、LERNER 指标法以及综合指标法，分析了电力市场内竞争对手的市场力；分析了径流式电站、火电厂、有调节能力水电站的特点，针对各自的特点，对其竞价策略进行了分析；针对统一出清方式与 PAB 模式，分信息完全及不完全两种情况，基于博弈论构建了水电厂商单时段和竞价周期的竞价博弈模型。

第三篇——研究了市场出清电价理论，主要包括电价及其形成、实时上网电价的内涵、边际电价的涵义；对市场出清电价变化规律进行了分析；提出了基于时间序列分析的电价预测模型，基于计量经济学的电价预测模型，考虑影响因子的电价预测模型和基于组合思想的电价预测模型等。

第四篇——重点讨论了基于市场出清电价预测的水电竞价策略，主要包括单一水电站的竞价策略、梯级水电站群的竞价策略以及水电、火电并有独立发电企业的竞价策略。

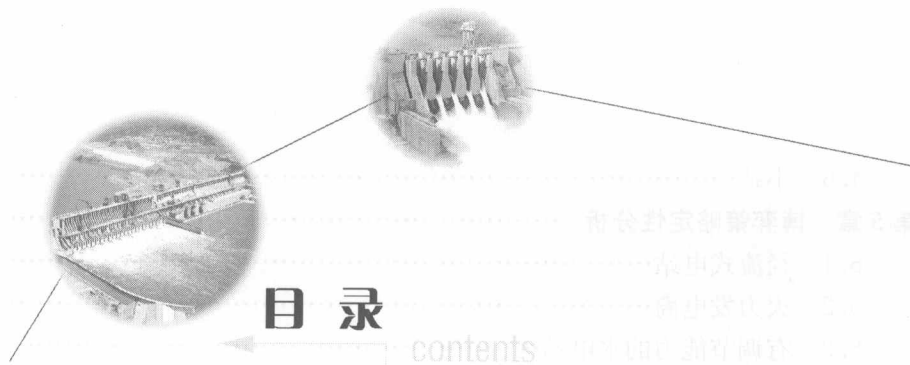
全书由吴世勇、马光文负责统稿、定稿。第一篇为电力市场与竞价理论研究现状，由吴世勇、王安文执笔；第二篇为基于博弈论的水电竞价理论与方法，由吴世勇、王黎执笔；第三篇为市场出清电价变化规律分析及预测研究，由马光文、左幸、杨道辉执笔；第四篇为基于市场出清电价预测的水电竞价策略，由左幸、刘治理、杨道辉执笔。

本书的研究得到国家自然科学基金雅砻江水电联合开发研究基金重点项目(50539140)“市场条件下流域梯级水电能源联合优化运行和管理的先进理论与方法”和美国能源基金会“中国可持续能源”(G—0610—08581)的资助。另外，书中的一些内容是作者近年来研究市场环境下发电企业竞价策略的总结。在研究过程中，得到了相关单位以及有关专家、同仁的大力支持，同时，本书也吸收了国内外专家学者在这一领域的最新研究成果，在此一并表示衷心的感谢。

由于电力市场正在建设完善中，尚有许多不确定因素，水电竞价理论与方法的研究具有一定的前瞻性，许多理论和方法尚处于研究探索之中，加之作者水平所限，书中不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者

2007年9月于四川大学



目 录

contents

前言

第 1 篇 电力市场与竞价理论研究现状

第 1 章 电力市场	3
1.1 电力市场概述	3
1.2 电力市场运营模式	4
1.3 发电侧电力市场交易类型	6
1.4 发电侧电力市场竞价模式	7
1.5 电力市场竞价规则.....	11
第 2 章 电力竞价理论研究现状	17
2.1 国内外关于预测电力市场出清价的研究现状.....	17
2.2 国内外关于竞价策略的研究现状.....	20
2.3 国内外关于经济负荷分配的研究算法.....	26

第 2 篇 基于博弈论的水电竞价理论与方法

第 3 章 博弈论	37
3.1 博弈论基本概念.....	37
3.2 纳什均衡.....	47
3.3 几类典型的博弈模型.....	49
第 4 章 基于市场力分析的市场参与者鉴定	56
4.1 静态指标法.....	56
4.2 动态指标法.....	59
4.3 机组必须运行率指标分析法.....	61
4.4 勒纳指标法.....	63
4.5 综合指标法.....	65

4.6	小结	67
第5章	博弈策略定性分析	69
5.1	径流式电站	69
5.2	火力发电商	69
5.3	有调节能力的水电站	70
第6章	基于完全信息静态博弈的水电竞价策略	80
6.1	成本函数	80
6.2	发电机组竞价上网报价曲线	86
6.3	ISO的购电目标	86
6.4	单时段博弈模型	88
6.5	竞价周期博弈模型	101
6.6	结论	113
第7章	基于不完全信息静态博弈的水电竞价策略	115
7.1	不完全信息统一出清结算单时段发电商竞价策略研究	115
7.2	不完全信息PAB单时段发电商竞价策略研究	121
7.3	不完全信息竞价周期发电商竞价策略研究	124
7.4	结论	133

第3篇 市场出清电价变化规律分析及预测研究

第8章	市场出清电价理论	137
8.1	电价及其形成	137
8.2	实时上网电价的内涵	140
8.3	边际电价的涵义	142
第9章	市场出清电价变化规律分析	148
9.1	最大值、最小值出现的规律统计分析	148
9.2	出清电价序列的相关性分析	157
9.3	电价序列周期分析	159
9.4	影响电价的因素分析	160
第10章	基于时间序列分析的电价预测模型	161
10.1	时间序列的概念	161
10.2	模糊指数平滑电价预测模型	162
10.3	线性移动自回归电价预测模型	166
10.4	二次移动平均电价预测模型	169

10.5	滤波调整电价预测模型	172
10.6	基于均生函数的电价预测模型	175
第 11 章	基于计量经济学的电价预测模型	180
11.1	出清电价预测的三时点模型	180
11.2	电价预测的马尔柯夫模型	185
11.3	霍尔特—温特斯线性季节性模型	189
第 12 章	基于影响因子分析的电价预测模型	193
12.1	基于气象因素的 ANN 模型	194
12.2	相似年选择的节假日预测模型	196
12.3	模糊聚类与统计相关结合的预测模型	198
12.4	人工免疫系统小波网络预测模型	202
12.5	三角旋回支持向量机预测模型	207
12.6	电力市场中价格钉的分析和预测	212
12.7	基于粒子群算法的预测模型	214
第 13 章	基于组合思想的电价预测模型	220
13.1	组合电价预测模型基本框架	221
13.2	最优组合电价预测模型	222
13.3	线性移动联合指数平滑电价预测模型	224
13.4	电价预测的时段分离组合法	228

第 4 篇 基于市场出清电价预测的水电竞价策略

第 14 章	单一水电站的竞价策略	237
14.1	年度市场最优竞价策略	237
14.2	日前市场最优竞价策略	241
14.3	小结	245
第 15 章	梯级水电站群的竞价策略	246
15.1	梯级水电站发电优化模型	246
15.2	发电优化模型求解方法	249
15.3	竞价策略的制订	252
15.4	实例计算	255
第 16 章	水电、火电并有独立发电企业竞价策略	263
16.1	独立发电企业日前市场竞价策略	263

16.2 水电参与的经济负荷分配.....	281
16.3 火电参与的经济负荷分配.....	289
16.4 水电、火电共同参与的经济负荷分配.....	295

参考文献	303
-------------------	-----



第1篇

电力市场与竞价理论研究现状

水电竞价理论与方法

第一册

北京市档案馆编 北京出版社

电力市场

在全世界范围，电力工业正发生着深刻的变化。电力工业的改革目标在于提高电力生产效率，使电价形成机制合理化，提供高质量、更安全的电力产品，促进电力工业自身的良性发展，并使全社会从改革中得到更好的经济效益和社会效益。智利、阿根廷、英国、美国、澳大利亚等国的电力市场改革为其电力工业带来了活力，并激励了世界上其他各国的市场化发展。

1.1 电力市场概述

电力市场是电力的买方和卖方相互作用以决定其电价和电量的过程，是采用经济等手段，本着公平竞争、自愿互利的原则，对电力系统中发电、输电、配电、用户等各成员组织协调运行的管理机制和执行系统的总和。根据以上定义，电力市场首先是一种管理机制。这种机制与传统的行政命令机制不同，它主要采用经济的手段进行管理。所以电力市场的基本原则是“公平竞争、自愿互利”。同时，电力市场还是体现这种管理机制的执行系统，包括贸易场所、计量系统、计算机系统、通信系统等。

电力市场具有开放性、竞争性、计划性和协调性等基本特征。与传统垄断的电力系统相比，电力市场具有开放性和竞争性；与普通的商品市场相比，电力市场具有计划性和协调性。电力系统是相互紧密联系的，任一参与者的操作，均将对电力系统产生影响。所以要求电力市场中的电力生产、使用、交换具有计划性。同时由于电力系统要求随时做到供需平衡，所以要求电力市场的供应者之间、供应者与用户之间相互协调。

建立电力市场的主要目标是引入竞争、提高效率、降低电价、改善服务、持续发展。通过引入竞争机制，促使发电、输配电、电力销售各环节提高效率，降低成本，从而降低电价，提高供电可靠性，改善对用户的服务；利用市场的调节和激励机制，引导投资更趋合理化，促使资源优化和环境保护，形成持续发展的内在动力，逐步构成良性循环。电力市场具有显著的外在经济性，直接受益者是市场各参与者，间接受益者是全社会。

国际电力市场模式多种多样,但基本可分为两大类:①原来由政府统一垂直管理并经营电力系统的国家,其改革模式一般采取发电与电网分开,并逐步开发电力销售市场,而调度和市场运营机构仍与电网紧密结合,如英国、西班牙、阿根廷等;②原来政府不直接管理经营电力系统的国家,其改革模式一般是新成立独立的系统运行及电力交易机构,各电力公司仍可拥有电厂和电网,配电市场逐步开放,如美国、德国、日本等。

我国的电力体制改革可以概括为四个阶段:1985年~20世纪90年代初期的集资办电阶段,目的在于根除缺电和拉闸限电现象,解决最基本的电力短缺问题;90年代初~1997年,成立国家电力公司,实行企业改制和现代企业管理;1998年撤销电力工业部至2001年,实行“厂网分开、竞价上网”试点;2002年至今,新组建并成立了11家公司和国家电力监管委员会,标志着我国初级电力市场逐步启动和实施。

从国际国内电力工业的发展历程看,电力市场化是一种总体发展趋势。电力走向市场,就是要将电力工业纳入到市场经济的框架中,通过市场竞争资源,达到资源的最优配置。但电力的生产、运输又有其独特的特点:首先,电能不能大量储存,生产、运输、消费过程必须同时实现;其次,电力系统作为统一的、不可分割的系统,需要维持电压、频率的稳定,并保证在各种扰动下满足系统的安全性要求。所以电力市场建设又具有其独特性和复杂性,有许多问题世界各国都还没有很好地解决,处在一个探索完善的过程中。

1.2 电力市场运营模式

按照电力市场发展的过程,可以将电力市场运营模式大体分为垄断模式、发电侧竞争模式、输电网开放模式和零售竞争模式。

垄断模式集发电、输电、配电、零售为一体,将国家电力供应的全部或绝大部分由国家垄断经营或者合同与规范统一起来,形成垂直的一体化结构,消费者为广大的电力用户,是典型的完全垄断市场或者寡头垄断市场。该模式在电力建设初期,对于电力工业积累资金、大规模滚动发展、避免重复建设和统一电网规划,提高电力系统运行的稳定性具有重要的作用。但随着电力供应范围的扩大,电力供需矛盾的缓和,这种运营模式使电力行业缺乏提高效率的刺激,以至于经济效益低、投资效益低、运营效益低的弊端逐步暴露出来。

发电侧竞争模式是在输电与配电系统中实行垄断经营,但在发电领域引入竞争机制,并且发电商所发的电只能卖给一个购买者。在发电领域,允许多种

经济成分、多种所有制的电厂存在，可以把其统称为独立发电企业（Independent Power Producer, IPP），具有独立的经济、民事法人地位。

输电网开放模式是将发电、输电和配电相互分离，各发电厂根据“平等竞争、实力均衡”的原则组建成数家发电商竞价上网。输电网络成为电力交易的载体，对发电商、配电公司和大用户开放，并且允许配电公司、大用户直接从发电企业购买电力，通过输电网络予以输送或互联电网予以转运。与发电侧竞争模式相比，输电网开放模式在发电侧继续引入竞争机制的同时，允许配电公司、大用户选择供电伙伴。

零售竞争模式是电力市场的最高阶段，其发电、输电、配电和用户相互分离，各自成为独立平等的经济法人。发电商竞价上网，电力用户除可以向配电商（或零售商）购电外，还可以向网内的发电企业直接购电。本网的用户还可以通过输电商购互联电网的电，从而实现生产者的竞价上网和消费者对电力商品的有差异的购买。在该模式中，可以让市场调节决定电价，但由于电力产品的特殊性，还需要实行合约定价，同时逐步缩小政府的监管范围。

由于我国电力工业历史上的沿革和当前的实际，我国处在电力市场初期阶段——发电侧竞争模式阶段，其主要特点如下：

(1) 发电侧电力市场。我国电力市场的改革取向是“厂网分开、竞价上网”即将电网经营企业拥有的发电厂与电网分开，建立规范的、具有独立法人地位的发电实体，市场仅对发电侧开放。发电侧电力市场的市场主体是各独立发电企业与电网经营企业，电网经营企业负责组织各发电商间的竞争，政府负责对电力市场进行监督管理。与英国、澳大利亚等国的电力市场不同，我国现阶段电力市场继续保持输、配一体的管理模式，保留供电营业区，每个供电营业区有一个指定的供电机构向终端用户供电。

(2) 单一购买者模式。我国现行发电侧电力市场的模式是“1+N”模式，“1”是指电力市场的单一购买者，即电网经营企业；“N”是指参与市场竞争的各个独立发电企业。用户不与发电厂签订购电合同，由电网经营企业采用趸售或零售的方式供电。在这种模式下，电网经营企业必须每时每刻做到供需平衡，并收购所有电力，以保证对用户供电。这种管理方式与国际上发、输、配电完全分开的模式相比，电网经营企业责任较大。为了防范供电不足或购电电价过高的风险，电网经营企业须与发电商签订一定数量的长期合同。

(3) 调度与市场交易一体化的运行方式。国际上电力市场的运行有两种方式：①美国加州 ISO（Independent System Operator）与 PX（Power Exchange）方式，即电网运行调度与市场交易分离；②大多数电力市场所采用的

调度与市场交易一体化的方式。我国由于电网本身的特点,采用后一种市场运行方式。在这种运行方式下,调度部门作为电网经营企业的核心,须坚持“公平、公正、公开”的“三公”原则。同时,须加强外部监管力度。

1.3 发电侧电力市场交易类型

发电侧电力市场就是在发电侧引入竞争机制,允许多种所有制形式电厂存在,具有独立法人资格的发电商各自承担电厂经营风险,参与发电市场上网电量的竞争,从而实现电网调度的公平、公正、公开和发电企业之间的平等竞争,促进发电企业提高效率、加强管理、优化电力资源配置,在改革过程中逐步调整好电力企业与社会之间、电力企业之间的经济关系,以最终达到提高效率、降低销售电价、使社会受益的目的。它是电力行业从垄断经营走向商业性市场化经营的第一步。

发电侧电力市场的交易类型一般分为长期合同交易、现货交易、实时交易、辅助服务交易。

(1) 长期合同交易。在单一购买者模式下的发电侧电力市场,组织发电商竞争的电网经营企业担负着保证向用户供电的义务。电网经营企业为了防止严重缺电或电价急剧升高的风险,与发电商签订一定数量的长期合同。各发电商保留原有合同的 80% 左右的电量,作为电力市场的长期合同。这种长期合同是原合同的延续,随着市场的发展与完善,其比例将逐渐减小,并最终由市场决定的长期交易合同所取代。

(2) 现货交易。指按照发电机组的报价,提前一天确定的次日发电计划。现货交易主要采用两种方式:①将长期合同看作是一个经济合同而非物理合同,在编制第二天发电计划时,按照各发电厂的申报数据,编制交易计划,如果现货市场的发电计划与长期合同不一致,采用经济手段进行补偿;②将长期合同看作是物理合同,长期合同确定的电量在现货市场首先安排,其余部分作为交易电量编制计划。

(3) 实时交易。指在交易日当天确定的发电计划。由于电力工业的特点,要求发电与负荷实时平衡。不管采用什么方式,由于存在负荷预测误差及系统运行状况的变化,提前一天编制的发电计划与实际负荷需求间存在差异,需要实时调整发电计划,为此,须建立实时交易市场。实时交易的作用有两方面:①作为长期合同和现货交易的补充,在负荷预测与实际负荷出现偏差后,达到发电与负荷平衡的目的;②实时交易可以提高竞争的力度。英国电力市场正在

进行第二次改革，其中一项重要内容就是增加实时交易。在我国，由于处于从传统的管理方式向市场经济转变的初始阶段，同时受电力市场技术支持系统的约束，实时交易仅作为长期合同和现货交易的一种补充。

(4) 辅助服务交易。这种交易是电力市场中重要的交易方式之一。辅助服务的内容主要包括调频、调峰、无功与黑启动。目前，辅助服务指标的量化、辅助服务成本的计算以及付费等比较复杂，国际上各国电力市场的做法也不尽相同。在我国现有电网结构比较薄弱的条件下，为保证电网运行安全，基本没考虑辅助服务交易，采用由调度指定、无偿提供的方式。

1.4 发电侧电力市场竞价模式

随着发电侧电力市场的实行，独立发电企业与电网公司之间建立了平等的经济关系，行政隶属关系不复存在。电网公司不直接向发电企业下达行政命令，涉及生产、经营上的各种问题主要通过合同、协议来解决。为此，在建立和开放发电市场时，应按照建立现代企业制度的要求，贯彻竞争、效益、资源优化配置的原则和科学管理的原则，从而调动各方面办电的积极性，广泛吸纳国内外资金用于电源建设，以满足不断增长的工农业生产和人们生活对用电的需求。同时，要按照“公平、公正、公开、有序”的市场准则，形成发电竞价上网的机制。

发电竞价上网须以实现最大范围内的资源优化配置为目标，在保证电网安全稳定运行的基础上，以最小的购电成本，满足负荷需求。发电侧电力市场的竞价主要包括限价竞争、两部制电价、差价合约和当量电价等模式。

1.4.1 限价竞争模式

为解决好新老电厂还本付息的电价差异，减少市场初期各发电企业在收益上的风险，又不失竞争的环境，在建立电力市场的初期，可建立有限竞争的市场体系。有限竞争的一种主要方式是限价竞争。

一、最高、最低限价

最高、最低限价是对价格的绝对值进行限制，防止电价失控。

对各发电机组设置限价，有利于解决成本差异的问题，发电商的自由度小，是非常有限的竞争，且市场体系不开放，公平性差。限价又分为分组限价和统一限价。

分组限价需要解决合理分组以及各个电厂在分组过程中的归属组别的界定问题。

统一限价市场竞争空间虽然加大,但成本差异的问题将更加突出,综合上网电价将可能大幅上涨。

二、最高、最低涨跌幅度限制

对电价的变化速度、变化范围进行限制。最高涨跌幅度限制有效控制市场价格的波动幅度和速度。

电价的联动性防止在电力供不应求时非正常涨价,在供过于求时非正常降价。但在电力供应长期紧张或长期有较大富余时实效不大,发电厂将通过逐渐涨价或者逐渐降价抬高或降低电价。

三、两种限价方式的协调

最高涨跌幅度限制的限价模式是一种有效的联动机制,限制价格波动幅度和速度;最高、最低价格限制价格波动的范围。在需要限价的环境中两种限价方式可协调使用。

1.4.2 基于两部制电价的竞价模式

两部制电价的概念为解决成本差异提供了一种新的思路。两部制电价将电价分为容量电价和电量电价。容量电价不参与竞争,按机组可用率和容量成本确定;电量电价通过市场竞争产生。这既不影响新建电厂还本付息,又兼顾老厂利益,从而可实现平稳过渡。

容量电价考虑以下几个原则:

- (1) 新建电厂时,容量造价要通过招标确定。
- (2) 只对部分容量电价进行补偿。
- (3) 按照平均容量电价进行补偿。
- (4) 容量电价计算根据年终机组平均利用小时数计算,如果实际利用小时数超过平均利用小时数,对超出的部分不予补偿;如果实际利用小时数小于平均利用小时数,也按平均利用小时数计算。
- (5) 同类新机组的补偿容量电价=同类新机组平均容量电价×(同类老机组的平均燃料成本/同类新机组的平均燃料成本-1),或者,同类新机组的补偿容量电价=同类新机组的平均容量电价×(1+政府调控系数)。
- (6) 对应不同类型的机组,补偿容量电价不一样,以体现政府的产业政策。

该补偿方法具有以下几个特点:有效避免了机组造价的攀升,使得投资方在新投入电源时进行成本控制;在各类机组之间实现平等,同等条件的机组可以得到同样的补偿,促使发电厂提高效益、降低成本;透明公开,能避免在核定成本时暗箱操作。