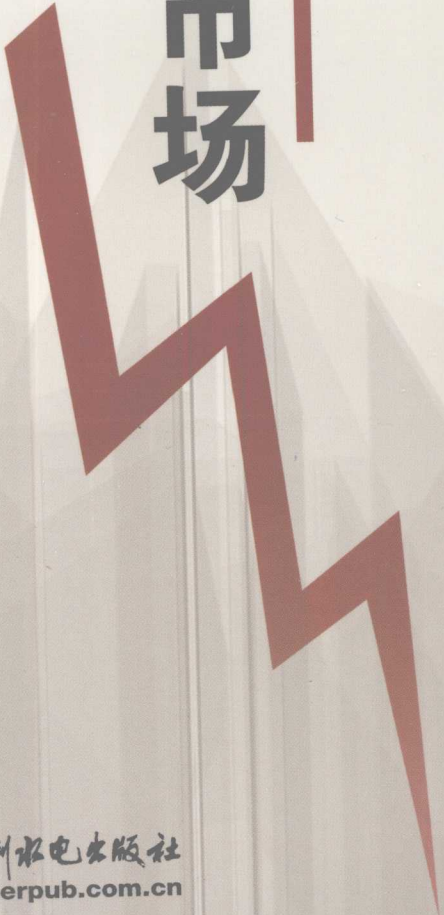


电力市场 均衡



Power Market Equilibrium

◎ 王承民 张启平 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电力市场均衡

王承民 张启平 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

定价：30.00元

内 容 提 要

本书内容主要包括电力市场基本原理、一般市场均衡、电力市场的定价模式、最基本的电力市场均衡、电力市场系统模拟、单商品电力市场的纳什均衡、电力市场的局部均衡、多商品电力市场的纳什均衡、电力市场的一般均衡、电力市场失灵与管制、电力市场评估、电力市场的长期竞争性均衡与交易比例。

本书可供电力企业管理人员阅读,也可供与电力活动相关的政府官员及相关工作者阅读,还可供高等院校相关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电力市场均衡/王承民,张启平著. —北京:中国水利
水电出版社,2008

ISBN 978-7-5084-5314-9

I. 电… II. ①王…②张… III. 电力工业—市场—均衡
理论 IV. F407.615

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 019948 号

书 名	电力市场均衡
作 者	王承民 张启平 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	880mm×1230mm 32 开本 5.125 印张 138 千字
版 次	2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	24.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

长期以来,由于电力产业被认为是一个具有较强自然垄断性的基础性产业而受到政府的严格管制,使电力系统处于一种完全垄断状态。电力企业基本上都采取发电、输电、配电一体化的垄断组织结构进行经营,这种垄断经营有力地促进了大型发电企业和大型输电企业的发展。然而,随着社会经济的发展和技术水平的提高,在这种经营模式中出现了很多不利于电力产业发展的问題,其中最普遍和突出的有:①企业缺乏活力,经济效率低下;②过于注重社会效益,忽略了经济效益;③技术创新动力不足,对新技术反映不敏感;④企业自我发展能力差;⑤没有改善服务的动力,服务质量问题严重等。这些问題促使电力产业的结构必须发生变化。

除上述原因之外,技术进步也是促进电力市场结构发生转变的重要原因。近年来,随着电力技术以及计算机、通信、自动控制、电子计量等高新技术的飞速发展,对电力行业也产生了巨大影响,为电力行业进行结构重组提供了有利的技术条件;另外,电力系统及市场理论的发展也为电力产业结构的变化提供了理论基础。

为了解决电力行业中存在的这些问題,20世纪90年代以来,世界上很多国家将竞争机制引入到电力系统中,以使古老的电力行业重新充满活力,从而推动电力系统的发展,我国从1998年开始在几个省市进行了电力市场的试点工作。在我国电力市场形成的初期,主要目标是积累经

验，探索出一条适合我国国情的电力市场运营机制。

本书作者有幸参与了我国电力市场的初期试点工作，并将在对电力市场的研究过程中，所形成的对电力市场的理解和观点，以《电力市场均衡》为题写出来供大家参考。需要强调的是，由于本人水平有限，书中的错误在所难免，希望广大读者能够批评指正。

在本书的写作过程中，很多老师和专家给予了帮助，并提出了宝贵的意见。因此，在此特别感谢上海交通大学的侯志俭老师、张焰老师和蒋传文老师；感谢辽宁省电力公司的金钟鹤同志、东北电网公司的张吉吉同志。

编者

2008年2月19日

目 录

前言

第 1 章	电力市场基本原理	1
	1.1 一般市场	1
	1.2 电力系统特点	4
	1.3 电力市场本质	8
第 2 章	一般市场均衡	19
	2.1 市场参与者行为	19
	2.2 纳什均衡	22
	2.3 竞争性均衡	25
	2.4 纳什均衡与竞争性均衡的对比	32
第 3 章	电力市场的定价模式	33
	3.1 市场价格形成机制	33
	3.2 传统的电价理论	33
	3.3 会计成本定价	37
	3.4 边际成本定价	41
	3.5 影子价格	46
第 4 章	最基本的电力市场均衡	47
	4.1 最简单电力市场的决策	47
	4.2 最简单电力市场的模拟	53
	4.3 不同均衡的比较	57
	4.4 电力市场的定价模式与均衡	58
	4.5 等报价方法	60

第 5 章	电力市场系统模拟	62
	5.1 单商品电力市场的决策模型	62
	5.2 考虑无功功率的多商品电力市场决策模型	65
	5.3 与电力系统经济运行模型的区别	67
第 6 章	单商品电力市场的纳什均衡	69
	6.1 市场拍卖人决策	69
	6.2 市场参与者行为	71
	6.3 纳什均衡所存在的问题	73
	6.4 发电公司的报价策略	75
	6.5 纳什均衡与实时电价理论	76
	6.6 电力系统市场化与经济运行的差别	76
第 7 章	电力市场的局部均衡	79
	7.1 概述	79
	7.2 考虑网损情况下的电力市场局部均衡	80
	7.3 考虑阻塞情况下的电力市场局部均衡	86
	7.4 电力市场的局部均衡	90
	7.5 修正等报价方法	92
	7.6 关于边际成本定价	96
第 8 章	多商品电力市场的纳什均衡	97
	8.1 辅助服务	97
	8.2 发电公司行为	98
	8.3 市场拍卖人决策	100
第 9 章	电力市场的一般均衡	105
	9.1 两商品电力市场的一般均衡	105
	9.2 多商品电力市场的一般均衡	110
	9.3 与节点电价理论的区别	112
	9.4 修正等报价方法	112

第 10 章	电力市场失灵与管制	117
	10.1 市场效率与失灵	117
	10.2 电力市场失灵	121
	10.3 市场失灵的数学描述	128
	10.4 市场失灵的抑制措施	131
第 11 章	电力市场评估	140
	11.1 基础理论	140
	11.2 电力市场的宏观评估指标	142
	11.3 电力市场的微观评估指标	144
第 12 章	电力市场的长期竞争性均衡与交易比例	149
	12.1 长期电力市场	149
	12.2 电力市场的交易比例	151
	参考文献	156

第1章

电力市场基本原理

电力市场是电力行业市场，是经济学中的市场原理与电力系统运行规律相结合的产物。电力市场既服从一般市场的基本规律，也有其特殊性。

1.1 一般市场

1.1.1 微观经济学原理

许多学科是在不同层次上进行分类的，经济学也在各种层次上进行研究。传统的经济学被划分为两个层次的领域，即宏观经济学领域和微观经济学领域。微观经济学研究的是企业如何做出决策，以及他们在某个市场上的相互交易；而宏观经济学研究的则是整体经济现象。例如，一个微观经济学家可以研究租金控制对纽约住房的影响，外国竞争对美国汽车行业的影响等；一个宏观经济学家可以研究美国联邦政府借债的影响，经济中失业率随时间推移的变动，或者提高国民生活水平增长的不同政策。

从经济学的定义中可以看出，当以电力市场为研究对象时，研究的是某个行业的市场状况，而不是整体经济现象。因此，电力市场研究涉及更多的是微观经济学原理。

关于微观经济学方面的基础知识很多，在此不可能一一进行阐述。从微观经济学的定义中可以看出，微观经济学中的核

心问题是市场理论，即市场参与者们如何在市场中进行竞争的问题。这也是为什么电力市场与微观经济学原理结合紧密的主要原因。因为，从经济学的角度来说，市场竞争是通过价值规律来发挥作用的，在市场竞争过程中，获胜可以得到较大的市场利益，而失败也会造成一定的损失。从福利经济学的角度出发，这种损失也是社会的损失。因此，这种损失必然是巨大的；而在宏观经济学的角度上，则可以忽略。

1.1.2 市场的定义

市场的概念对我们来说并不陌生，日常生活中要天天与市场打交道。究竟什么是市场？经济学最关心的是交易活动如何影响和决定商品的价格，按照这个意义，可以对市场作出这样的定义：市场是影响商品价格的所有买者和卖者，这些买卖双方频繁的交流活动，使相同商品的价格趋于一致。

市场可以用一句简单的语言来描述，即市场是某种商品或劳务的一群买者和卖者。

任何市场都离不开买者和卖者以及他们之间的交易活动，缺少其中任何一个，市场都无法形成，三者并存才形成市场。因此，买卖双方及其交易构成了市场的基本要素。

1.1.3 市场的特点

我们通常所说的市场是指一般市场，也就是普通的日用品市场。之所以称为一般市场，是与电力市场这种行业市场的概念比较而言的，一般市场具有所有市场的共性，当然也包括电力市场，而电力市场是其中的一个特例。关于市场研究方面，关心的问题是市场是如何运作的以及市场参与者的行为，这也是研究电力市场首先要理解的问题。

从社会经济发展的历史过程来看，市场的产生是社会生产达到了一定程度，出现了剩余劳动，进一步在物品交换基础上发展而来的，而当市场发展到一定程度，才出现政府的各种宏

观控制行为。也就是说,整个经济的发展是由微观到宏观的,市场是微观经济领域的核心内容。一般市场具有如下特点:

(1) 市场都是竞争的。而对于一个完全竞争的市场必须是市场上有足够多的参与者,市场参与者提供的商品是相同的,以及市场参与者可以自由的出入等。

(2) 市场配置资源是有效率的。市场配置资源是通过竞争来实现的,在完全竞争的市场上,当达到均衡状态时,市场的效率可以达到最大化。

(3) 市场具有一定的外部性,而且这种外部性可能导致市场失灵。当然,还有其他导致市场失灵的因素。市场失灵意味着市场不能有效的配置资源,这是我们所不愿意看到的。因此,有时候需要对市场进行一定的管制,避免市场失灵。

(4) 市场上的参与者都是以自己的效益最大化为目标的。

其中,竞争是一般市场的主要特点,普通市场的日用品正是通过竞争来配置资源的。

1.1.4 市场的竞争性

市场上的参与者,只有买方和卖方,即供求双方。买卖双方分别构成了市场的供给和需求关系,供给和需求的相互作用即产生竞争。竞争的市场有以下特点:

(1) 市场上有很多买者和卖者。

(2) 各个卖者提供的物品大体上是相同的。

(3) 企业可以自由的进入市场。

通常市场上有多个参与者,当参与者的数量较大时,任意一个参与者的行为对市场的影响较小,买者和卖者必须接受市场决定的价格,此时的市场参与者称为价格接受者,此时的市场称为完全竞争的市场。但是,也有很多市场,其参与者的数量有限,形成一定的垄断行为,此时市场参与者的行为可能影响市场价格,这种市场不是完全竞争的市场。可以用两个特征来定义完全竞争的市场:

(1) 所提供销售的物品是完全相同的。

(2) 买者和卖者非常多，以至于没有一个买者和卖者可以影响市场的价格。

但是许多市场不是完全竞争的，一些市场只有一个卖者，这个卖者决定价格，这个卖者被称为垄断。其他的市场介于完全竞争和垄断之间，当一个市场上有几个卖者时，而且这些卖者并不是主动地进行竞争，这种市场被称为寡头。一些市场提供略有差别产品的竞争，由于产品不是完全相同的，每个卖者都有决定自己产品价格的能力，这种市场被称为垄断竞争。

1.2 电力系统特点

1.2.1 电力系统特点

电力系统是电力生产者和用户通过电力网络连接起来的一个整体。也就是说，在电力系统中除了电力生产者和用户之外，电力网络也是一个关键的环节，是电力的载体。电力系统具有如下的特点：

(1) 电力是不可存储的。电力的不可储存性也是电力生产的最基本特征，这就要求电力的生产需要时时同电力的消费相平衡。

(2) 电力网络是统一的整体，要求电力生产具有高度的协调性。这种高度的协调性是指在电力生产、输送和消耗之间存在密切协调关系，任何不协调行为的存在都会造成电力系统不稳定，使电力供应中断、电力系统瘫痪，这种高度的协调性要求必须对电力系统进行强有力的管制。

(3) 电力网络具有损耗和阻塞的特点。由于电力传输线路和变压器等设备具有电阻和电抗，因此在电力传输过程中存在一定的损耗；此外，由于受热稳定限制，电力传输设备都具有传输容量极限，超过此传输容量极限将导致电力传输设备的损

坏,所以说,电力网络具有阻塞的特点。

(4) 电力产业具有一定的规模经济性。这种规模经济性使进入和退出电力系统具有一定的壁垒,不利于吸引投资和促使电力生产者维护电力设施,对电力系统的发展不利。

(5) 电力生产具有外部性。外部性是指电力生产对人类生存的外部环境所带来的损害,主要是指电力生产给环境带来的污染。

(6) 电力需求具有普遍性和多变性。人们对电力的需求不仅具有较大的随机性,而且分布的面积很广,这种随机性给电力生产带来很大的困难,使电力系统必须保持一定的生产和输送余量。

在上述特点中,特点(1)是电力商品所特有的;特点(2)和特点(3)是与电力网络密切相关的;而特点(4)~(6)是与电力的生产和消费、电力的生产者和消费者相关联的。

1.2.2 电力系统运行

由于上述特点,决定了电力系统的运行要满足经济性、安全性、稳定性和可靠性的要求。

电力系统的经济性是指电力系统的运行应该尽可能地节约一次能源和二次能源,一次能源是用来发电的煤、水以及核能等,而二次能源是指电力,节约二次能源也就是要降低网络损耗。电力系统运行的安全性主要是指电力设备的安全性,是电力设备安全运行所必须符合的一些条件,这也是电力系统会产生阻塞的主要原因。电力系统运行的稳定性是因为电力网络是一个统一的整体,如果电力生产的发、输、配、用等几个环节不能协调工作,将造成电力系统解列和瘫痪。电力系统运行的可靠性是指电力的生产和传输必须保留一定的裕量,以备故障情况下的电力供应。

1.2.2.1 数学描述

由于电力系统的运行必须要满足经济性、安全性、稳定性、

可靠性的要求, 可以将其描述成一个优化问题, 用如下的数学模型来表示, 目标函数为:

$$\min f(x, u) \quad (1.1)$$

满足约束:

$$g(x, u) = 0 \quad (1.2)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (1.3)$$

式中: x 为状态变量, 与电力网络的描述有关, 一般是节点的电压和相角或支路电流; u 为控制变量, 一般是节点注入的有功功率和无功功率; $f(x, u)$ 为目标函数, 是以发电成本 (即耗煤量) 最小为目标的, 代表了电力系统运行的经济性; $g(x, u)$ 为等式约束, 表示电力网络方程, 也就是电力系统的功率平衡方程, 即潮流方程; $h(x, u)$ 为不等式约束, 一般表示电力系统资源限制或者安全性限制, 电力系统运行的安全性、稳定性和可靠性的要求也是通过不等式约束体现出来的。

由于函数 f, g, h 一般是非线性的, 所以上述问题为一个非线性规划问题。

1.2.2.2 库恩—塔克条件

对于上述非线性规划问题, 一般来说很难找到其最优解, 大部分计算方法都是通过求解其一阶最优性条件——库恩—塔克条件来进行的。库恩—塔克条件是非线性规划问题取得最优解的必要条件, 但不是充分条件, 找到库恩—塔克条件的解以后, 起码找到了非线性规划问题的局优解。库恩—塔克条件可以描述如下:

$$\frac{\partial f}{\partial x} + \beta^T \frac{\partial g}{\partial x} + \gamma^T \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (1.4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial u} + \beta^T \frac{\partial g}{\partial u} + \gamma^T \frac{\partial h}{\partial u} = 0 \quad (1.5)$$

$$g(x, u) = 0 \quad (1.6)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (1.7)$$

$$\gamma^T h(x, u) = 0 \quad (1.8)$$

式中: β 、 γ 分别为对应等式约束和不等式约束的拉格朗日乘子。式 (1.7) 也称为互补松弛条件, 即不等式约束的等号成立时, 相对应的拉格朗日乘子不为 0; 否则, 拉格朗日乘子 $\gamma=0$ 。由此可见, 对应不等式约束的拉格朗日乘子具有突变的特点, 这给计算非线性规划问题带来了一定的困难。

1.2.2.3 计算方法

对于非线性规划问题的计算方法很多, 大致可以分为牛顿法和梯度法两大类。

在求解非线性规划问题时, 牛顿法将库恩—塔克条件作为一组非线性方程组, 用牛顿迭代方法进行求解。但是对于式 (1.7) 和式 (1.8) 两个方程是很难考虑的, 一般采取其他方法来确定对应不等式约束的拉格朗日乘子, 如内点法、惩罚函数法等。牛顿法是解非线性方程组的典型方法, 具有二次收敛特性。

梯度法是将上述库恩—塔克条件分解来进行计算的, 通常认为式 (1.4) 和式 (1.5) 不会同时满足, 而认为式 (1.4) 是首先成立的。计算过程如下:

- (1) 令 $m=0$, 给定控制变量初值 $u^{(m)}$ 。
- (2) 计算方程 (1.6), 得到状态变量 $x^{(m)}$ 。
- (3) 根据方程 (1.4), 求解拉格朗日乘子:

$$\beta^T = - \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^{-1} \left(\gamma^T \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial x} \right)$$

- (4) 根据方程 (1.5) 确定偏差:

$$\Delta u = \frac{\partial f}{\partial u} + \beta^T \frac{\partial g}{\partial u} + \gamma^T \frac{\partial h}{\partial u}$$

- (5) 令 $m=m+1$, 对控制变量进行修正: $u^{(m+1)} = u^{(m)} + K\Delta u$, 返回步骤 (2)。

式中: K 为步长, 可以按照无约束优化问题的一维搜索技术进行确定, 即按照确定的 Δu 、 β 、 γ 等, 形成增广的拉格朗日函数:



$$\min f[x^{(m)}, u^{(m)} + K\Delta u] + \beta^T g[x^{(m)}, u^{(m)} + K\Delta u] + \gamma^T [x^{(m)}, u^{(m)} + K\Delta u] \quad (1.9)$$

在式 (1.9) 中, 除了 K 之外, 其余都是确定的, 利用一维搜索技术确定最优的 K 即可。

梯度最优潮流算法更加能够体现电力系统计算的特点, 因为是以潮流计算为基础的, 但是梯度法只具有线性收敛特性, 不如牛顿法收敛性好。

1.3 电力市场本质

1.3.1 电力市场的产生

市场的产生和发展既是一个必然的历史产物, 同时又是主观世界认识客观世界并改造客观世界的一个过程。也就是说, 市场的产生是社会生产发展的必然结果, 而市场的发展则是人们通过对经济规律的不断认识而逐渐完成的。世界历史的发展已经证明, 市场及市场的充分发展和不断完善, 是社会发展的必然经历的历史阶段。

在古代社会中, 随着原始公有制经济的解体, 形成交换的三大因素随之确定, 即生产力的发展、社会分工的出现和私有制的产生。生产力的发展表现在生产工具的改进和剩余产品的出现; 社会分工的出现表现在人们可以从事某一专门的职业赖以谋生; 私有制的产生使得人们有权处置剩余产品。随着交换规模的不断扩大, 市场也就愈加扩大了。

由上可见, 市场是社会生产力发展到一定阶段的产物。电力市场的产生也是存在一定根源的。在美国, 电力市场是自然形成的, 也是随着电力行业的发展、与电力相关的商品出现剩余而出现的。美国以外的其他国家, 长期以来, 由于电力产业被认为是一个具有较强自然垄断性的基础性产业而受到政府的严格管制, 使电力系统处于一种完全垄断状态, 电力企业基本

上都采取发、输、配一体化垄断的组织结构进行经营,这种垄断经营有力地促进了大型发电企业和大型输电企业的发展。然而,随着社会经济的发展和技术水平的提高,在这种电力经营模式中出现了很多不利于电力产业发展的问題,其中最为普遍和突出的问題有:

- (1) 企业缺乏活力,经济效率低下。
- (2) 过于注重社会效益,忽略了经济效益。
- (3) 技术创新动力不足,对新技术反应不敏感。
- (4) 企业自我发展能力差。
- (5) 没有改善服务的动力,服务质量问题严重等。

这些问題促使电力产业的结构发生变化。

同世界其他国家相比,中国的电力产业不仅同样存在上述问題,而且在某些方面表现得更为严重,据统计,1985~1996年的12年间,中国电力产业资金利税率下降了54.58%;资金利税率下降了9%;而售电价格却上涨了13%,大大高于同期工业品价格上涨243%,零售物价上涨195%的幅度。以人均发电量为指标的电力产业劳动效率从1985年人均27.28kW·h增加到1996年的47.28kW·h,增长了72.68%,年均增长6.6%,但同期整个工业劳动力的人均产值却增长了5.16倍,年平均增长46.9%,扣除价格上涨的因素也远远大于电力产业的增长速度。另外,据中国消费者协会1996年的调查,有40%的消费者对电力部门的服务不满意,认为其不能按规定办事。所有这些问题都促使中国的电力企业必须进行改革。

除上述原因之外,技术进步也是促进电力市场结构发生转变的重要原因,近年来,随着电力技术以及计算机、通信、自动控制、电子计量等高新技术的飞速发展,对电力行业也产生了巨大影响,为电力行业进行结构重组提供了有利的技术条件。另外,电力系统计算及市场理论的发展也为电力产业结构的变化提供了理论基础。

为了解决电力行业中存在的这些问题,20世纪90年代以