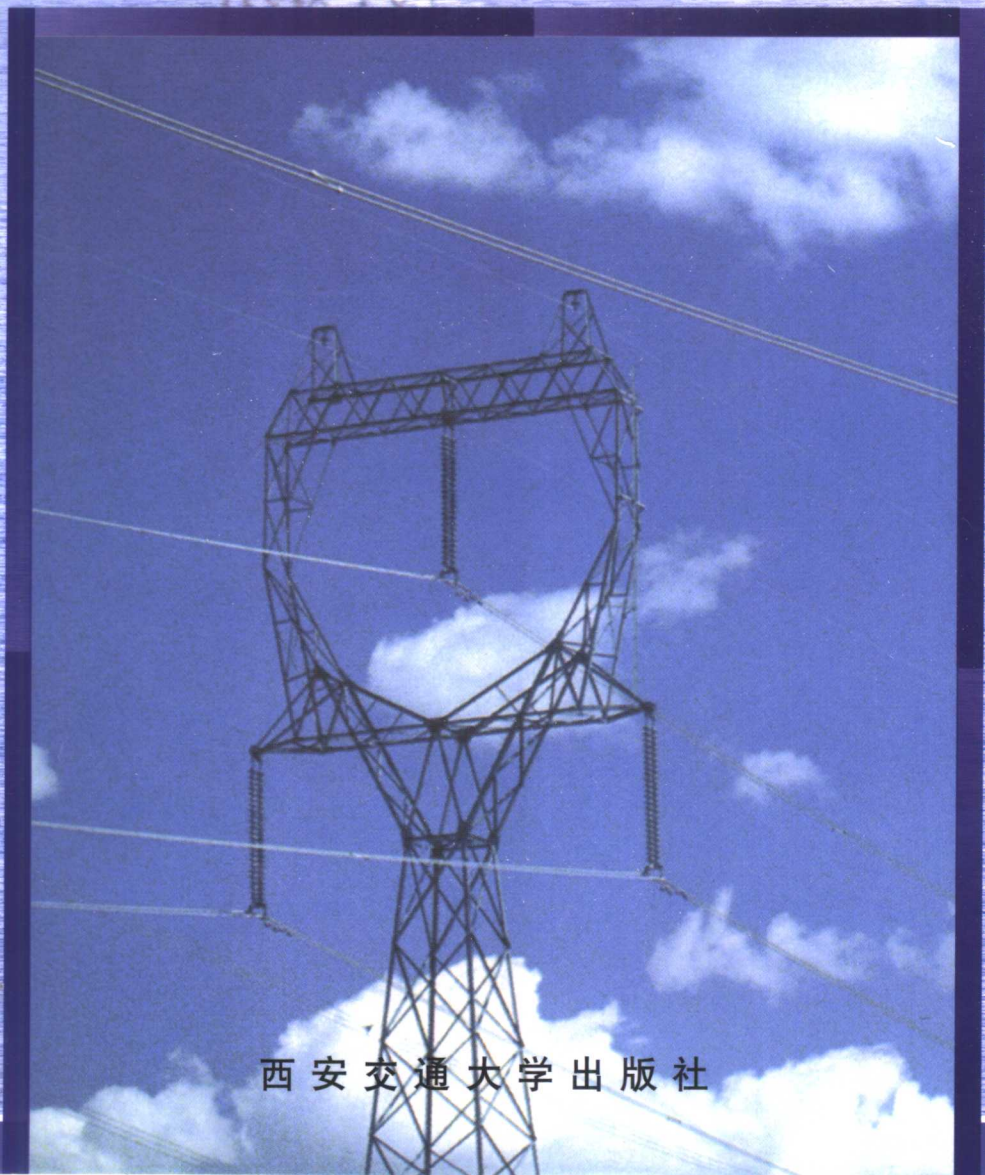


# 电力市场基础

王锡凡 王秀丽 陈皓勇



西安交通大学出版社

615

0

# 电力市场基础

王锡凡 王秀丽 陈皓勇

西安交通大学出版社

## 内容简介

电力市场化改革涉及的问题非常广泛和深刻,面对电力市场,广大的电力工作者不仅需要补充经济、金融方面的知识,还要全面审视和更新传统的电力运行理论和技术。本书介绍电力市场的基础知识和有关理论,重点讲述电力市场结构、电价体系、竞价模式、双边交易、输电费用;发输电企业在电力市场环境下的运营,电力市场技术支持系统等方面内容;同时也简要介绍了微观经济学及金融学的相关内容;此外本书对有关的重要理论和算法都有例题。本书可以作为电力系统管理和运行人员、电力市场研究人员、高校有关专业师生的教材或参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力市场基础/王锡凡,王秀丽,陈皓勇编著. —西安:西安交通大学出版社,2003.3  
ISBN 7-5605-1660-2

I. 电… II. ①王… ②王… ③陈… III. 电力工业-市场学-基本知识 IV. F407.615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 005897 号

\*

西安交通大学出版社出版发行  
(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)  
西安东江印务有限公司印装  
各地新华书店经销

\*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:13.625 字数:323 千字  
2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷  
印数:0 001~3 000 定价:26.00 元

---

发行科电话:(029)2668357,2667874

# 前 言

---

从 20 世纪 80 年代开始,世界上许多国家陆续进行了电力工业的市场化改革,其主要目标是打破传统电力工业垄断运营的模式,厂网分开,开放电网,实现竞争,进而降低发电成本,提高服务质量,促使电力工业健康发展。到目前为止,这种电力市场的改革还未能建立非常成功的样板,各种模式都还处于不断探索、不断完善的过程中。

1980 年以来,我国为了缓解长期电力短缺的局面,制定了一系列加快电力建设的政策措施,包括实行多家办电,形成了多元化投资渠道。这些措施取得了很大的成效,在“九五”期间缺电状况得到了明显缓解。在这种情况下,我国电力体制不适应社会主义市场经济体制的现象也日益凸现出来,电力体制改革和电力市场化运营已势在必行。2002 年底,电力行业被分解为两家电网公司和 5 家发电公司,这标志着我国电力市场化工作已正式启动。

百年来,电力行业一直在垄断机制下运营。面临市场机制的转变,广大电力工作人员希望尽快适应新的形势,促进改革,共同建造一个高效、经济、安全和充满活力的新型电力工业。为此,转变观念、更新知识就提上了紧急议事日程。

电力市场化改革涉及的问题非常广泛深刻。大的方面包括政治体制、市场经济结构、宏观控制策略等问题,深入到电力系统的经济运行、安全可靠运行诸多方面。面对电力市场,我们不仅要补充经济和金融方面的知识,学会用市场观点处理问题,还要全面审视传统电力行业运行技术、更新电力运行知识。本书就是为满足这一要求而编写的。

本书试图介绍电力市场的基础概念和基本理论。第 1 章介绍电力市场基本概念和应研究的新问题,以及国外电力市场改革的进展情况。第 2 章阐述微观经济学相关的概念,包括市场机制、短期成本及博弈论等基本知识。第 3 章从宏观控制的观点上讨论电能成本和电价体系等有关问题,给出了评估系统电能成本及电价的基本原理和方法。第 4 章论述实时电力市场的竞价模式,重点介绍了分时竞价模式和分段竞价模式,并给出了市场出清的基本算法。第 5 章研究发电系统在市场环境下的运营问题,包括发电厂商的竞价策略,机组组合问题以及备用市场问题。第 6 章讨论电力市场中的双边合同,涉及到期货、期权和风险规避的一些基本知识,并介绍了电力市场远期合同的特点及类型。第 7 章介绍了确定输电服务费用的原则和算法。第 8 章阐述了输电系统运营在电力市场中出现的一些新的概念,其中最优潮流、阻塞管理和可用传输能力等将对新的调度系统产生重大影响。第 9 章叙述电力市场技术支持系统,包括功能要求、总体结构、软硬件平台以及网络技术等。

本书作者在国家自然科学基金重点项目“我国电力市场的电价理论、交易机制及模拟研

究”(59937150)及高等学校学科博士点专项科研基金项目“电力市场环境下电力系统潮流分析的理论及算法”(1999669801)资助下对电力市场进行了较全面的研究。本书的部分内容反映了作者的研究成果,同时也吸收了国内外在这一领域的研究成果,在书中均已标明了相应的参考文献,在此对相关作者表示衷心感谢。

本书内容曾用在我校“电力市场”课程讲义中,已连续8届为研究生开课。本书就是在该讲义的基础上修编而成的。

电力市场运营机制相对于百年来电力行业垄断运营机制来说还是一个新事物,无论从经验上和理论上都很不成熟,在这种情况下要想写出一本系统阐述电力市场理论或全面总结电力改革经验的专著,无疑是非常困难的。因此,作者出版此书是为了满足当前培训工作的需要,期望随着世界范围内的电力改革的前进,我们研究和教学工作的深入,本书将得到不断完善。同时,热忱欢迎读者的批评和建议。

本书的第1,2,6,8章由王锡凡教授编写,第3,4,5,7章由王秀丽教授编写,第9章由陈皓勇博士编写。在编写过程中,浙江大学甘德强教授提出了宝贵意见,我校别朝红副教授、研究生张显、崔雅莉等给予了大力帮助,对此表示诚挚谢意。

作 者  
于西安交通大学

# 目 录

---

## 第 1 章 绪论

- 1.1 电力市场是各国电力工业改革的大趋势 ..... (1)
  - 1.1.1 世界各国电力市场化进程 ..... (1)
  - 1.1.2 我国的电力工业改革 ..... (2)
- 1.2 电力市场研究的问题 ..... (4)
  - 1.2.1 电力市场结构 ..... (4)
  - 1.2.2 电价理论 ..... (5)
  - 1.2.3 交易形式和竞价上网 ..... (6)
  - 1.2.4 电力市场条件下电力系统的可靠性问题 ..... (7)
  - 1.2.5 电力市场的分析与模拟 ..... (10)
- 1.3 国外电力市场综述 ..... (10)
  - 1.3.1 英格兰电力市场及其演变 ..... (10)
  - 1.3.2 美国的电力市场化道路 ..... (14)

## 第 2 章 微观经济学基础

- 2.1 需求、供给和市场价格 ..... (19)
  - 2.1.1 市场需求与供给 ..... (19)
  - 2.1.2 市场机制及价格的决定 ..... (21)
- 2.2 短期生产成本 ..... (22)
- 2.3 市场类型 ..... (25)
  - 2.3.1 市场类型 ..... (25)
  - 2.3.2 完全竞争市场的市场价格 ..... (25)
  - 2.3.3 非竞争市场 ..... (26)
  - 2.3.4 具有市场力的竞争市场 ..... (28)
- 2.4 市场效率 ..... (29)
  - 2.4.1 消费者剩余和生产者剩余 ..... (29)
  - 2.4.2 政府控制导致效益的变化 ..... (30)
- 2.5 博弈论 ..... (32)
  - 2.5.1 博弈中的得益 ..... (33)
  - 2.5.2 博弈中的均衡 ..... (35)
  - 2.5.3 寡头垄断市场中的博弈和均衡 ..... (35)
  - 2.5.4 古诺模型 ..... (36)
  - 2.5.5 伯特兰德模型 ..... (38)

### 第3章 电能成本分析与电价

3.1 实时电价的基本概念	(39)
3.2 电能成本计算	(40)
3.2.1 等效持续负荷曲线的概念	(41)
3.2.2 纯火电系统的随机生产模拟过程	(42)
3.2.3 包含多个水电机组的随机生产模拟	(43)
3.2.4 系统可靠性指标及成本的计算	(45)
3.3 一种基于成本的电价制定方法	(45)
3.3.1 电能成本的构成	(46)
3.3.2 峰谷分时电价的确定	(47)

### 第4章 发电市场的竞价模式

4.1 概述	(50)
4.2 分时竞价模式	(53)
4.2.1 市场交易的一般模型	(53)
4.2.2 市场交易及定价过程	(54)
4.3 单边电力市场竞价模型框架	(55)
4.3.1 需求无弹性时发电厂商的行为及反应函数	(55)
4.3.2 需求有弹性时发电厂商的行为及反应函数	(57)
4.3.3 政府的调控措施	(58)
4.3.4 单边市场的竞价模型框架	(59)
4.4 简化竞价模式	(60)
4.4.1 简化竞价过程	(60)
4.4.2 辅助服务竞价	(62)
4.4.3 简化竞价模式的特点	(63)
4.5 分段竞价模式	(64)
4.5.1 分时竞价方式的弊端	(64)
4.5.2 分段竞价机制	(65)
4.5.3 两种竞价机制的比较	(67)
4.5.4 分段竞价电力市场的运营模式	(70)
4.6 发电市场交易与出清的动态排队法	(71)
4.6.1 动态排队法竞价模型	(72)
4.6.2 动态排队法的计算原理	(73)

### 第5章 电力市场环境下的发电系统运营

5.1 发电厂商的竞价策略	(75)
5.1.1 竞价策略分析	(75)
5.1.2 按成本分析进行报价	(76)
5.1.3 按博弈论进行竞价	(78)

5.2	机组组合问题	(80)
5.2.1	机组组合问题的数学模型	(81)
5.2.2	机组组合问题的拉格朗日松弛法	(82)
5.2.3	形成可行的开停机方案	(84)
5.3	备用市场	(85)
5.3.1	备用市场中的商品分类	(85)
5.3.2	备用市场的运营	(88)
5.3.3	备用效益评估算法	(89)
5.3.4	各类备用的出清模型	(90)
5.3.5	模型的求解方法	(92)

## 第6章 电力市场中的双边合同市场

6.1	概述	(95)
6.2	远期交易和期货交易	(96)
6.2.1	由远期交易到期货交易	(96)
6.2.2	期货交易的性质和功能	(97)
6.2.3	期货的套期保值策略和基差风险	(99)
6.3	期权交易	(101)
6.3.1	期权交易的基本概念	(101)
6.3.2	期权交易策略	(103)
6.4	电力双边合同的种类	(106)
6.4.1	电力差价合同	(106)
6.4.2	灵活电力远期合同	(107)
6.4.3	可选择远期合同	(107)
6.4.4	电力期货	(108)
6.5	电力远期合同的定价方法	(109)
6.5.1	风险调整价格作为远期合同价格的模型	(109)
6.5.2	基于实时电价变化规律的模型	(110)
6.5.3	基于发电边际成本预测的远期合同定价模型	(113)
6.6	电力期货合同的定价	(114)

## 第7章 输电费用

7.1	概述	(116)
7.2	输电费用的计算	(117)
7.2.1	输电费用的构成	(117)
7.2.2	输配电成本计算	(119)
7.3	输电费用的简单分摊方法	(122)
7.3.1	合同路径法	(123)
7.3.2	邮票法	(123)



7.3.3	边界潮流法	(124)
7.3.4	兆瓦-公里法	(124)
7.3.5	逐线计算法	(125)
7.4	输电费用分摊的潮流追踪方法	(126)
7.4.1	电流分解公理与网损分摊原则	(126)
7.4.2	网损分摊问题的数学模型	(128)
7.4.3	电力市场输电设备利用份额问题	(129)
7.4.4	图论方法	(131)

## 第8章 电力市场环境下输电系统的运营

8.1	概述	(134)
8.2	最优潮流在电力市场中的应用	(136)
8.2.1	最优潮流与电力市场	(136)
8.2.2	基于最优潮流的实时电价分解模型	(137)
8.2.3	输电费用的计算	(139)
8.3	阻塞管理	(141)
8.3.1	基于最优潮流的阻塞管理方法	(142)
8.3.2	基于灵敏度分析的阻塞管理方法	(145)
8.4	输电系统可用传输能力(ATC)	(149)
8.4.1	可用传输能力概述	(149)
8.4.2	蒙特卡洛模拟法在 ATC 计算中的应用	(152)
8.4.3	应用灵敏度分析法计算 ATC	(153)
8.4.4	算例分析	(157)

## 第9章 电力市场技术支持系统

9.1	电力市场技术支持系统的总体结构和功能要求	(163)
9.1.1	电力市场技术支持系统的总体结构	(163)
9.1.2	电力市场技术支持系统总体功能要求	(164)
9.1.3	电力市场技术支持系统总体技术要求	(165)
9.2	电力市场技术支持系统各子系统结构及功能	(165)
9.2.1	能量管理系统(EMS)	(165)
9.2.2	交易管理系统(TMS)	(167)
9.2.3	电能量计量系统(TMRS)	(168)
9.2.4	电能量考核与结算系统(SBS)	(169)
9.2.5	合同管理系统(CMS)	(170)
9.2.6	报价处理系统(BPS)	(170)
9.2.7	市场分析与预测系统(MAFS)	(171)
9.2.8	即时信息系统(SIS)	(171)
9.2.9	报价辅助决策系统(BSS)	(172)

9.3	电力市场技术支持系统的软硬件平台 .....	(173)
9.3.1	操作系统 .....	(173)
9.3.2	数据库 .....	(175)
9.3.3	服务器 .....	(177)
9.3.4	存储系统 .....	(179)
9.4	网络技术与数据通信 .....	(180)
9.4.1	数据通信的基本原理 .....	(180)
9.4.2	局域网 .....	(181)
9.4.3	广域网 .....	(182)
9.4.4	协议与分层 .....	(183)
9.4.5	网络互联与 TCP/IP 协议 .....	(184)
9.4.6	IEC 通信协议和技术标准 .....	(185)
9.5	电力市场技术支持系统的应用开发 .....	(186)
9.5.1	电子商务的基本概念 .....	(187)
9.5.2	电子数据交换 EDI .....	(188)
9.5.3	可扩展标记语言 XML .....	(189)
9.5.4	信息系统的 3 层结构与 Web 应用 .....	(190)
9.5.5	网络安全技术 .....	(193)
9.5.6	电力市场技术支持系统的开发平台 .....	(194)
9.6	电力市场技术支持系统的实例分析 .....	(197)
9.6.1	总体结构及功能模块 .....	(197)
9.6.2	系统软硬件平台及网络配置 .....	(198)
9.6.3	主要子系统功能 .....	(200)

**参考文献**

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 电力市场是各国电力工业改革的大趋势

#### 1.1.1 世界各国电力市场化进程

近百年来,电力行业在世界各国都是传统的垄断性行业<sup>[1]</sup>。电力市场化的目的是打破垄断,促进竞争。这样必将会损害垄断行业本身的既得利益<sup>[2,3]</sup>。因此,电力行业是电力市场化改革的对象,而各国的政府或议会才是电力市场改革的推动者。走向电力市场的第一步几乎都是各国的政府或议会以立法的形式强制电力工业的重组。

实行电力市场化最早的国家是智利,起步于 20 世纪 70 年代末。其目的在于消除国有企业的腐败、低效和缺乏资金的状况。1982 年智利正式颁布了新电力法,以法律的形式确立了输电系统向所有发电厂及用户开放的原则,打破了地区垄断,正式启动了合同电力交易及实时电力交易的方式,把电力企业推向了竞争市场。

大家所熟知的英格兰电力市场化,开始于 1987 年 7 月撒切尔夫人政府颁布的《电力法》,并于 1990 年 4 月撤销了垄断经营的中央发电局(CEGB),把发电、输电、配售电的功能分开,按国家电网公司,3 个发电公司和 12 个地区售电公司的模式运作。

澳大利亚政府在 1991 年 7 月决定成立了国家电网局以推动电力市场。后来正式建立了国家电网管理委员会来监管电网运营。1992 年 12 月该委员会颁布了“国家电网规约”,规定了 3 万 kW 以上的发电厂和 1 万 kW 以上的用户都可以作为规约的成员单位自由地在国家电网进行交易。

瑞典的电力市场化过程开始于 1990 年,但关键性的一步是瑞典议会在 1994 年通过了新的电力法案,并于 1995 年元月颁布实施。

美国电力市场化由 1992 年乔治·布什总统批准的《能源法案》开始,以电网开放为标志。由于加利福尼亚州电价较高,因此各界人士对推动电力市场最积极,1995 年 12 月规定加州的电力行业最迟在 1998 年完成电力工业的重组。

综上所述,各国电力市场的推动者都是各国的政府或议会而不是电力行业本身。我国电力工业大都属于国有,现在的国家电力公司是国有企业,与国外私有电力公司性质有所区别。但作为一个企业,其主要目标还是以盈利为主,本身并无立法的权利和市场监管的职能。我国电力市场化的进程同样必须由中央政府来推动,主要包括立法和重组电力工业并建立有效的

监管体系。对此,电力工作者应以积极的态度去迎接这个挑战,从社会效益、国家的长远利益和电力事业健康发展的观点参与这个进程。

### 1.1.2 我国的电力工业改革<sup>[4]</sup>

当前,实现商业化运营、走向市场已成为我国电力工业改革的大趋势,其总体目标是:打破垄断,引入竞争,提高效率,降低成本,健全电价机制,优化资源配置,促进电力发展,构建政府监管下的政企分开、公平竞争、开放有序、健康发展的电力市场体系。

提高电力工业效益包括合理利用和分配资源,降低电能成本,增加企业收入。所有这些目标都和提高供电质量与可靠性紧密联系在一起,并且电力部门应向用户提供更多的选择,从而使整个社会效益极大化。企业效益的改善可以吸引更多的投资者参与电力工业的建设,使之走向健康发展和良性循环的道路<sup>[5]</sup>。

中国的改革开放使电力工业出现了产权多元化的局面。外资、合资、股份制、地方集资等多种办电形式的大量涌现,一方面对缓和电力供需矛盾起到了积极作用,另一方面也形成了利益主体多元化的局面。如何协调好投资各方的经济利益已成为一个非常敏感的问题。如果没有健全的市场机制和监管体系,对待不同产权的电厂,往往会出现两种倾向。一种是对系统内的电厂采取保护主义,不顾电厂的效率如何,优先保证其发电量,这样一来无疑会降低社会总体效益,损害了投资环境;另一种是为了吸引外资,给予其电厂种种优惠待遇,使其不承担风险便可以获得利润,这样必然会损害国家利益。只有走向电力市场才能平等互利协调好现有各投资方的利益,使投资者在承担一定风险的情况下有利可图。只有健康的电力市场才能进一步吸引外资,增加产出,从而有助于提高经济效益。

市场理论告诉我们,一个理想的完善的市场应满足以下条件:

- (1) 供应方的产品成本随着需求量而改变;
- (2) 需求方的需求量随着商品的价格而改变;
- (3) 自由买卖的市场机制;
- (4) 买方无垄断行为;
- (5) 卖方无垄断行为。

我国电力工业的运营和以上条件有很大的差距,发达的资本主义国家的电力工业已基本上满足以上前4个条件,唯独第5个条件尚不能满足。这是因为电力工业的发展历史使之在各国成为垄断性的行业。一般至少每个地区都有一个电力公司垄断着该地区的发电、输电、配电和售电业务。然而正是这种垄断损害了电力工业的效益,限制了电力工业的竞争,使其逐渐失去了活力。因此,从20世纪80年代以来,在世界范围内开始了电力工业改革的浪潮,其主要目的是打破这种垄断,开放电网,促进自由竞争。目前,虽然各国还在探索着适合自己国情的改革道路,但是已积累了一些成功的经验,并取得了很好的效益。

开放电网意味着打破传统电力工业所特有的发电、输电、配电的纵向一体化结构,使发电、输电、配电分离,使发电及配电都能在一个开放的电网上进行自由竞争。这种改革对电力工业带来强烈的冲击,对电力系统规划、运行、管理有深远的影响,不仅涉及电力工业本身运营,还涉及到法制、管理、经济等诸多领域。

近几年我国一些电网和省电业局在电力市场方面也做了一些有益的尝试。这些做法和最终的电力市场还有相当距离,有关理论体系也有待完善。目前电力体制不适应社会主义市场

经济体制的主要弊端表现在以下方面：

(1) 垄断经营管理的体制性缺陷日益明显。电力行业目前存在成本高、人员多、效率低等问题,服务质量有待进一步改善;厂网不分使发电环节难以形成公平竞争的环境,其他投资主体对发电调度不公的反映日益强烈;供电垄断使用户没有选择权,不利于改进服务质量。

(2) 省间市场壁垒阻碍电力资源优化配置。鼓励各省自行解决用电问题的方针曾经调动了地方办电的积极性,但在现行财税体制下,电力资源的配置出现了“分省平衡”和“地方保护”等问题,不利于跨省电力市场的形成和电力资源的优化配置,阻碍了国家“西电东送”战略的实施。

(3) 现行管理方式不适应发展要求。政府对电力行业的监管体系不健全,政企不分现象仍在一定程度存在;现行的以单个项目成本为基础的定价方式,脱离市场供需关系,不利于控制工程造价;农村电价过高,不利于农村生产生活条件的改善;电力环保法规不健全,不利于激励清洁能源的发展和污染的减排。

促进我国电力市场化发展的还有以下几个特殊因素：

(1) 我国经济发展不平衡,导致了负荷分布的不均匀。另外我国能源分布也极不均匀。水电基地集中于西南,火电基地集中于华北和西北。即使是在一个大区,通常也存在着不同省份的电力电量交换,如西北地区,水电集中于青海、甘肃,火电集中于陕西、宁夏,每年水火电交换电量很多。我国电力系统目前通过省网或跨省电网的互联,已经形成了具有不同特点的大规模电力系统。因而互联电网的功率交换和电能交易已经势在必行。互联电网的功率交换必然会涉及各省的经济效益。传统的计划经济采用行政命令的手段规定省间的功率交换,往往不能兼顾各方的利益,挫伤了各方的积极性。为此,只有在电力市场化的基础上,遵循平等互利的原则,按照经济准则实行电力电量交易,才能充分发挥各方的积极性。

(2) 近年来随着电力工业的发展和国民经济结构的调整,我国电力供需形势发生了新的变化,电力供需矛盾趋于缓和。虽然目前这种供需平衡还很脆弱,是一种低用电水平下的饱和。但是这种供需矛盾的变化引起了电力部门前所未有的销售困难,并冲击了电力企业的经营思想。电力企业由电力和用户的管理者,转变为电力经营者和用户的服务者。其职能已由分配电力和限制用电转变到搞好需求侧管理和鼓励用户用电上来。为了促进电力销售,一些供电企业自觉或不自觉地开始探索市场经济条件下供电企业的工作模式,不断转变思想,按市场经济规律来加强电力调度、检修工作,加快城乡电网的建设和改造,提高服务水平。电力企业的这种促销行为,在客观上加快了其进入电力市场的步伐。因此,电力供需形式的新变化为电力市场化的到来起到了推波助澜的作用。

(3) 互联电网的不同区域在不同时间的发电成本有差异,让边际成本低的区域向成本高的区域供电,不仅可以节约现有资源,还能使参与交易的区域从中获得经济效益。电力市场的运行机制又可以促进联网效益的实现,公平竞争的环境有利于市场成员在电力市场交易机构中进行自由贸易,以获得较高的经济效益。交易计划的制定关系到能否实现全网的经济效益最优,而利益能否合理分配会影响到交易成员的积极性。

第十个五年计划期间,我国电力体制改革的主要任务是:实施厂网分开,重组发电和电网企业;实行竞价上网,建立电力市场运行规则和政府监管体系,初步建立竞争、开放的区域电力市场,实行新的电价机制;制定发电排放的环保折价标准,形成激励清洁能源发展的新机制;开展发电企业向大用户直接供电的试点工作,改变电网企业独家购买电力的格局;继续推进农村

电力管理体制的改革。

2002 年底,国家电力公司已重组为两家电网公司和 5 家发电公司,标志着我国电力市场化改革已进入到实质性阶段。

## 1.2 电力市场研究的问题

目前,电力工业的改革席卷全球。不同的国家以不同的原因推动着电力商业化的进程。改革有许多模式,各不相同,且这些模式也处在不断改进之中。

我国的电力工业商业化运营的目标是提高效益,改善服务,增加活力。我国处于社会主义初级阶段,改革的起点和国外不同。在未来几十年我们的目标是实现社会主义市场经济,其特征是以社会主义公有制企业为基础,在国家宏观调控下实现资源的优化配置。因此,我国电力工业改革的终点和国外也不会完全相同,照搬任何现成的外国模式都是不可取的。

近几年我国一些地区在电力市场化方面做了一些有益的尝试,并获得了一定的经济效益。但是在电力市场的结构方面,在电价体系和交易机制方面缺乏必要的理论基础。这就阻碍了改革的进一步深入。本节将对以上问题进行简要的讨论,提出有关我国电力市场需要研究的问题。

### 1.2.1 电力市场结构

目前各国电力工业商业化运营的共同之处是厂网分开,但输电网服务这一部分的商业化运营机制各不相同,而这正是各国电力市场最具特色的部分,也是电力市场不同于其他商品市场的关键部分<sup>[1]</sup>。输电网服务要素主要包括电能交易中心 PX(Power Exchange),独立调度 ISO(Independent System Operator),输电设备拥有者 TO(Transmission Owner),辅助服务 AS(Ancillary Service)和发电协调 SC(Scheduler Coordinator)。这些要素的不同组合就形成了不同的电力市场结构。以下对这 5 个组成要素进行简单介绍。

#### 1) 电能交易 PX

PX 的主要职能是提供一个电能供求双方交易的场所。交易期限可以涉及 1h 到 12 个月。最常见的是一日前的电能交易,但应辅以 1~2h 的交易和几个月的交易。PX 的最简单的形式可能是用信息板的形式使电能的供求方签订双边合同。但 PX 也可以作为一个交易竞价中心,按供求曲线确定市场出清价,并以出清价作为电能交易结算的依据。采取这种方法可促使竞价者在市场上报价以接近其边际费用。

#### 2) 独立调度 ISO

ISO 对电力系统进行操作并对所有输电系统用户提供服务。对 ISO 的基本要求是不从发电和负荷市场获得经济利益。在大多数情况下,独立调度也包含不拥有输变电设备,和从不从这些设备中获得经济利益。但 ISO 的责、权、利在不同电力市场结构中是不一样的。

ISO 的主要职责包括:运行方式制定、适时调度、系统监控、在线安全分析、市场管理以及经营辅助服务。

#### 3) 输变电设备拥有者 TO

电力市场条件下输变电设备应对所有用户开放。为了形成公平透明的竞争市场,应有一

个独立的 ISO 来调度输电系统并向所有用户提供输电服务。但输变电设备的维修、操作仍属于输变电设备业主的业务。

输变电业主主要考虑输变电规划和在新的环境下进行市场分析。后者包括输电系统阻塞的收入、一次和二次输变电设备使用权以及输变电基础设备在通讯等其他市场的收入。

#### 4) 辅助服务 AS

AS 提供输电系统支持服务以保证电力系统可靠运行。实际上, AS 主要提供有功和无功电源, 使输电系统安全稳定运行。

根据市场结构的不同, 辅助服务的交易可在 PX 或/和 ISO 中进行。辅助服务可捆绑在一起成套提供, 也可以分开提供。英国的国家电网公司 NGC 属于前一种类型, 而美国电力市场多属于后一种类型, 即辅助服务可以由用户自己提供或由 ISO 提供。

由输电用户自己提供的辅助服务包括: 调节备用、旋转备用、辅助备用(非旋转备用)及电能不平衡的消除等。

如果用户不能自己保证, 则必须向 ISO 购买。以下两种辅助服务必须向 ISO 购买: 无功/电压支持和系统控制/再调度。

#### 5) 发电协调 SC

SC 把电能供求双方撮合在一起, 而不必遵从 PX 的规则。PX 也可以看作是一个受管制的 SC。SC 以分散的方式促进电能供求进行交易。发电协调者通常需要传统的开停机优化软件和市场分析、竞价策略以及合同优化等配备的分析软件。

根据上述的 5 项输电职能, 可以在电力市场形成 5 种类型的机构, 比如美国的加州电力市场; 但也可以将其中一些职能结合起来形成较少类型的机构, 比如挪威将 ISO 和 TO 结合; 英格兰将 PX, ISO 和 TO 结合, 由 NGC 负责, 等等。

一般来说, 输电网职能分类愈细对电力市场的竞争、透明度和公平性愈有利。但在管理、硬件和软件方面都会带来一些问题。如何构成适合我国情况的电力市场, 使之适于过渡、易于操作、利于竞争、便于监督, 这个问题是电力企业改革需要论证的关键问题。为了我国电力工业改革的顺利进行, 尽快开展这一领域的研究具有重要的现实意义。

## 1.2.2 电价理论

电价理论是电力市场的核心理论之一。国外电力市场的理论研究起源于 20 世纪 80 年代末期学者对实时电价的研究<sup>[1]</sup>, 从理论上证明了实时电价对合理配置资源的有效性。电价理论的研究应分为两个部分, 即电能成本分析(电价预测)和电力市场中的电价形成机制。电能成本分析是电价预测的基础, 对于电力市场的宏观控制、优化电力资源配置有决定性的影响。但电价的形成最终要通过市场机制形成。从理想市场运行来看, 电力市场的出清电价应与电力系统电能的边际成本相对应。

电能成本的研究可分为短期电能成本分析与长期电能成本分析。电能短期成本分析的核心是电力系统优化调度、随机生产模拟及开停机计划的问题。在我国, 燃煤火电机组占总装机的 70% 以上, 其启停不仅需要几个小时, 而且需要很大的启停费用。在进行电能成本分析时, 不考虑启停问题, 就不可能得到运行的优化, 也达不到优化资源的目的。不考虑机组带负荷的爬坡能力甚至不能保证供电的可靠性。然而计及这些因素的电能成本分析理论和算法目前还

未成熟。电能长期成本分析除了运行方式及开停机计划优化之外,还要考虑电源的优化规划与输电系统的优化规划。在电力市场条件下,电源规划与电网规划的目标发生了变化。在可行性研究时必须增加投入产出分析,这又不能不涉及未来电价预测的问题。此外,作为规划标准的可靠性指标也必须得到电力市场参与者的认可。这些问题的研究在国内外都处于刚刚起步的阶段。

输电及其他辅助服务的度量和定价是电力市场理论研究中比较薄弱的环节,目前只有一些框架式的分析。如何从资源配置和公平公开的原则上具体量化这些服务,以及相应的定价原则还没有成熟的理论。输电或转运服务的分析给电力系统分析乃至电路理论研究带来巨大的挑战。这一领域的研究需要对潮流或电流的追踪分析问题有突破性进展。

电价方面的研究主要有以下几方面的内容:

- (1) 电能成本:包括水火电调度、随机生产模拟、发电机组的开停机优化、日运行方式优化;
- (2) 输电成本:包括输变电设备利用份额、网损分摊、带安全约束的最优潮流、输电阻塞问题等;
- (3) 辅助服务的成本:主要包括各种备用容量、能量平衡、AGC、无功及电压调节等服务成本的量化研究;
- (4) 电力市场环境下的规划:包括确定系统可靠性指标的机理、电源的投入产出分析、专项输电项目及扩容输电项目的论证及投资分摊等。

### 1.2.3 交易形式和竞价上网

电力交易可采取双边合同和竞价上网的形式。一般电力市场都包含这两种形式的交易;但是电力市场以何种形式为主,或这两种形式各占多大份额,应该根据具体情况进行分析。英格兰电力市场在这方面的经验对我们有一定参考价值。1990年4月英国电力工业私有化开始了电力市场化的进程,其特点是主要电力交易通过NGC的Pool以竞价的形式进行的。1997年10月电力监管机构遵从政府的要求,对上述Pool的经营模式进行了审查。1998年10月英国能源部长宣布将进行根本的市场变革,支持监管机构提出的新交易体系方案。新方案将促使电力交易与其他商品交易有更多的共同之处,尽可能去除电力市场中的不合理现象。根据新方案,电力交易将主要在“远期合同市场”和“期货市场”中进行。而接近实际运行的“短期双边市场”将提前一天滚动开市,通过公开屏幕进行交易。在新方案中,NGC的作用可能仅限于占交易份额很小的“平衡市场”。

美国电力市场中竞价上网是电力交易的重要形式。最近我国电力行业“厂网分开,竞价上网”的呼声很高,但“老电老价,新电新价”以及发、输电设备差异极大的还贷状况使以竞价上网作为主要的电力交易形式有一定困难。因此我国这两种交易形式应各占多大比例是电力市场规划值得研究的问题。

竞价上网的方式和竞价策略是电力市场理论中的一个难点<sup>[6]</sup>,有很强的随机性和实时性要求。该问题不仅与电力市场的经济效益有关,而且直接影响电力系统的安全性和可靠性。对一个发电厂商来说,竞价决策和其运行优化有密切关系,其竞争目标是要获取最大利润。发电厂商如何制定最优竞价策略,以及PX如何模拟和选择发电厂商以使电力用户的电能费用最小化的问题将涉及到随机优化的模型和算法。从目前的研究情况来看,无论从理论上还是



算法上都远没有满足实际电力市场竞争上网的需要,急需开发新型高效的模型和算法。

#### 1.2.4 电力市场条件下电力系统的可靠性问题

电力市场环境下的商业行为对电力系统可靠性可能产生影响;反过来,电力系统可靠性的规则也会对电力市场竞争产生影响。因此,建立合理的可靠性准则对于保证系统安全运行及电力市场的有效公平竞争都是我们需要研究和解决的问题。

在电力市场条件下,原先在垄断运行情况下的系统可靠性指标应予以重新考虑。特别是整个电力系统的可靠性指标应分为与发电有关的可靠性指标和与输电系统有关的可靠性指标两类。

在引入竞争机制后,扩建或新建发电机组将由垄断电力部门的决策转向分散的发电公司的决策。在竞争的电力市场条件下,发电公司只在新机组能带来利润时才会投资,这一点和其他行业一样,因为发电公司主要关心的是赢利。

与过去的垄断经营相比,在市场环境下对一个发电项目的评估更加直截了当,但也可能更困难一些(因为对投资者来说风险较高)。与过去按可靠性要求进行多电源的电源优化不同,竞争的发电公司主要考虑回报问题。因此在电力市场情况下对未来电力需求及希望达到的可靠性并未直接处理,只是间接通过它们对电价产生影响。

这一结论表明了,在竞争市场条件下,与发电系统有关的可靠性是由电能价格来维持的。发电商受利益驱动,并不按发电可靠性标准约束去维持可靠性。

同样,输电系统的发展以及系统互联等也都是由投入产出分析决定的。作为输变电设备的所有者,只有在其投资有较好回报的情况下才会筹建新的工程项目。在这种条件下必须量化可靠性的效益,并能公平分配这些效益才可能调动各方面积极性,使电网建设更趋合理。

我国要实现社会主义市场经济,必须保证国家的全局和长远的效益,因此在电力工业的发展上应充分发挥宏观控制的作用。为此首先要重视进行中长期电源和电网的优化规划,并通过经济杠杆引导电源布局和网络布局尽量靠近这些目标。其次要制定科学合理的可靠性准则,使之成为实行监控的主要依据。

在电力市场条件下,用户可任意选择供电者以双边交易的形式确定发电和用电的模式,因此系统潮流可能与预测的很不一样。新的运行问题由此产生,并可能导致输电阻塞、电压崩溃及不稳定等问题。关键在于要有强有力的在线分析软件去发现隐患。大多数电力调度在过去没有用在线软件的紧迫感:如采用最优潮流计算、输电限制、机组开停组合优化、电压崩溃分析、可输送容量等软件。为了维持系统安全运行,调度员必须要安排足够的辅助服务,如运行备用、无功支持及负荷调节。这种运行模式和垄断条件的情况完全不同。

阻塞是电力市场条件下网络运行的一个核心问题。电力市场的交易一般有两种形式,即双边交易和竞价上网(即联营交易)。从市场经济学的观点来看,双边交易最能体现市场自由竞争的效益;但这种交易模式会给电力系统的统一调度带来困难。最突出的问题就是电力网络某些部分可能趋于功率极限,而使电力系统运行承受很大的风险,这就是电力市场环境下电力系统的阻塞问题。缓解电力网络的阻塞是保证电力市场环境下电力系统安全运行的关键,无论从缓解手段、预防策略及分析方法上都应进行研究。

在垄断环境下,整个电力系统的发电、输电、配电是统一管理和统一调度的,运行方式安排相对比较简单,系统运行的安全可靠容易得到保证。在电力市场环境下,电力交易瞬息万变,