

# 美国电力改革及对中国的启示

王德华 刘戒骄

**内容提要:**2002年中国电力体制改革实施以来,初步实现了厂网分离和发电环节市场主体多元化,但电力交易机制、开放电网公平接入、输配电价改革等深层次问题没有破解。本文深入分析美国电力改革的做法与近期进展,期望为推进中国新一轮电力体制改革提供有益借鉴。美国电力改革有二十多年的历史,在放开竞争性业务、电网无歧视开放等方面积累了丰富的经验。美国将电力产业垂直一体化垄断改造成可竞争性市场结构,组建区域输电组织,开放电网公开公平接入,健全市场交易机制,放松发电侧和售电侧的管制,引入各类企业进行竞争,市场绩效和企业竞争力得到增强。

**关键词:** 电力产业 改革 交易机制

**中图分类号:** F416.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7636(2017)11-0058-11

## 一、研究背景

美国是世界上最早进行电力改革的国家之一。20世纪90年代开始美国对发电、输电、售电环节进行分离,以消除电力行业垄断,促进市场竞争和技术进步。在电力体制改革之前,美国的电力市场基本是单一垄断的,即一个地区只有一个电力公司生产、输送、零售电力并负责系统的运行调度。经过二十年的探索,美国电力改革克服了一系列理论和实践上的困难,形成了比较成熟的市场运行机制,在引入竞争、遏制垄断等方面有不少经验教训。

美国电力改革是降低成本和提高社会福利的自然结果<sup>[1]</sup>。改革之后,发电效率提高<sup>[2]</sup>,如73家私有核电厂的生产效率得到提升<sup>[3]</sup>;改革降低了各州电力公司的运营费用,提高了运营效率<sup>[4]</sup>;多数情况下电力零售价格和成本均下降,改革取得明显收益<sup>[5]</sup>。虽然在某些电力市场,效率未有显著提升,但是随着市场成熟度的提高,效率也会逐渐提高<sup>[6]</sup>。改革也存在问题,如垂直一体化的分离改革会带来运营上和可靠性的问题<sup>[7]</sup>,因此改革必须要考虑行业的垂直结构,否则就起不到应有的效果<sup>[8]</sup>;改革使得电力设备制造商创新下降19.3%,创新质量也在下降<sup>[9]</sup>;电力产业放松管制短时期内可能导致区域污染加剧<sup>[10]</sup>;改革导致电力部门工资水平提高和就业减少<sup>[11]</sup>。美国电力改革成就巨大,但效果不如预期,对电价的影响要小于外部因素的影响<sup>[12]</sup>,一方面电力产业市场集中度在1981—1998年呈下降趋势,并未因改革发生显著改变<sup>[13]</sup>;另一方

收稿日期:2017-01-04

基金项目:中国社会科学院创新工程项目“垄断产业深化改革研究”(批准号 SKGJCX2013-03)

作者简介:王德华 江苏省社会科学院财贸研究所助理研究员,南京市,210004;

刘戒骄 中国社会科学院工业经济研究所研究员,博士生导师,北京,100044。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

面美国电力改革并未使消费者直接受益 改革州电价并未比未改革州电价显著降低<sup>[14]</sup>。国内对美国电力改革研究较少 仅有美国电力市场发展趋势和特点的分析<sup>[15]</sup>。

从以上研究可以看出 国外的研究更多关注美国电力行业重组和改革带来的效果和影响 且对美国电力改革效果的评价和看法存在分歧。中国电力行业经过连年集中建设和快速发展之后 改革滞后的问题十分突出 中国新一轮电力改革亟待借鉴先行改革国家的经验和教训 破解电力市场建设、电力交易机制、开放电网公平接入、输配电价改革、电价形成机制等深层次问题 形成与社会主义市场经济体制相适应的电力市场体制。本文立足于深入分析美国电力改革的做法 为中国新一轮电力改革提供他山之石。

## 二、美国电力改革的动因和依据

### 1. 美国电力改革的动因

基于对电力产业自然垄断特性的认识 为了对电力进行计划协调及保护消费者免于垄断势力的侵害 美国在 20 世纪 30 年代建立起对电力产业的管制机制 对运营程序、价格和进入进行全面控制。美国联邦政府 1935 年出台《公用事业法》,包括《公用事业控股公司法》( Public Utility Holding Company Act ,PUHCA) 和《联邦电力法》( Federal Power Act ,FPA) 。PUHCA 通过限制控股公司的运营重塑了美国电力产业 使垂直一体化的投资者所有公用事业公司( invest-owned utilities ,IOUs) 主要局限于一州之内运营 成为美国电力产业的基本经济单元。FPA 授予联邦机构对州际电力交易的管辖权 IOUs 的输电价格和批发贸易都受到联邦电力委员会及其继任者联邦能源监管委员会( Federal Energy Regulatory Commission ,FERC) 的管制 州际批发电力的零售也受 FERC 的管制 各州的管辖权限于本地区配电业务和州内输电业务。

到 20 世纪 70 年代之前 对电力产业的管制效果良好 规模经济的益处被充分挖掘 电力产业的平均成本一直在下降 社会福利稳步提高。但随着美国“滞涨时代”的来临 电力需求放缓 石油危机导致燃料价格上涨 加之《1969 年环境保护法案》和《1970 年空气清洁法案修正案》对排放标准严格限定 造成电力产业单位成本上升 电价上涨 管制带来的弊端开始显现: 由于信息不对称、管制俘获、服务成本定价机制等原因 成本增加 产业效率降低; 消费者受制于卖方垄断对电力供应商也无从选择。美国电力产业改革呼声渐起 这当中有三个因素起到了主要作用。

第一个因素是对管制产业的研究和重新评价。20 世纪 60 年代起 以芝加哥学派为代表的经济学者对管制理论进行了研究 认为由于信息不对称和管制俘获等原因存在管制失灵 需要引入竞争机制提高受管制产业的效率 以降低成本和价格 增加全社会的福利。从 1978 年起 美国的航空、铁路、石油、天然气、电信等产业相继解除管制 这些产业的竞争程度提高 效率得到提升。放松管制的思想逐渐为美国相关的立法机构和管制机构所接受 相信竞争可以带给消费者更大的益处 而且竞争性的产业更易于促进技术创新。

美国各州电力价格差异是第二个因素。在管制机制下 各州的电力消费者只有一个电力供应商可供选择 没有讨价还价的能力。但是 各州的电价存在着很大差异 根据统计<sup>①</sup> 1995 年全美包括工业、商业和居民在内的所有部门平均电价为 6.9 美分/千瓦时 工业部门平均电价为 4.69 美分/千瓦时。但在新英格兰地区<sup>②</sup>、纽约州( NY)、新泽西州( NJ) 和加利福尼亚州( CA) 所有部门平均电价均超过 9 美分 加州电价是邻近俄勒冈州( OR) 的两倍多 而美国中部和西北部平均电价相对较低; 加州、新泽西州和除去缅因州的新英格

① 参见 EIA 1996 年报告《The Changing Structure of the Electric Power Industry: an Update》。

② 新英格兰地区包括缅因州( ME)、佛蒙特州( VT)、新罕布什尔州( NH)、马萨诸塞州( MA)、罗得岛州( RI) 和康涅狄格州( CT)。

兰地区,工业部门平均电价都超过7美分。美国西北部和五大湖地区工业部门平均电价较低,新泽西州工业部门平均电价比邻近纽约州高出46.4%。不均衡的电力价格势必引起那些高电价地区消费者的不满,尤其对于那些有着大宗电力消费的工业用户而言,他们有着较强的讨价还价能力,如果引入竞争机制,有多个电力供应商可供选择,就有很大的可能降低平均电价水平,这对工业用户而言意味着巨大的收益。

第三个因素是燃气轮机的技术进步支撑了美国电力改革。燃气轮机的技术进步重塑了电力生产技术的规模经济,不需要修建1000兆瓦的燃煤蒸汽电厂,联合循环燃气轮机发电400兆瓦规模就可达到最大效率,而且联合循环燃气电厂建设周期较短,只有1~3年。根据美国信息能源署(Energy Information Administration, EIA)的数据,在1996年,对于常规燃煤技术300兆瓦电厂的建造成本是1500美元/千瓦,对于联合循环燃气技术,同样规模电厂的建造成本为400美元/千瓦。EIA于1996年对两种电力生产技术在2000年和2015年的成本进行了预测,如表1所示,联合循环燃气轮机发电的资本成本、运营和维护成本以及总成本都要较常规燃煤发电技术低,只有燃料成本相对较高;联合循环燃气轮机发电热耗率也较低,表明其发电效率高,综合二者因素,未来采用联合循环燃气发电将占据主流。

表1 两种电力生产技术成本的预测 mills/KWH

成本类型	2000年		2015年	
	常规燃煤	联合循环燃气	常规燃煤	联合循环燃气
资本成本	26.41	11.24	26.18	7.00
运营和维护成本	10.72	4.82	10.72	4.82
燃料成本	13.58	23.35	7.42	24.38
总成本	50.72	39.41	44.32	36.20
热耗率 Btu/KWh	9 840	7 300	8 142	5 687

数据来源: EIA 1996年《年度能源展望》。

## 2. 美国电力改革的经济学依据

电力产业可分为上游网络环节和下游生产服务环节,不经过上游网络环节,下游厂商无法将产品和服务提供给用户。因此构建一个上下游两环节模型,假设电力市场上只有一家上游厂商和两家同质的下游厂商,产量分别为

$q_1$  和  $q_2$ , 电力需求为  $Q$ , 不考虑输电损耗, 则电力反需求函数为  $P(Q) = P(q_1 + q_2)$  且  $dP/dQ < 0$ 。令上游厂商边际成本为  $c_1$ , 固定成本为  $F$ , 则总成本为  $c_1 Q + F$ ; 下游厂商有着固定的边际成本, 均为  $c$ , 则总成本为  $c(q_1 + q_2)$ 。

在电力垂直一体化的情况下, 厂商利润  $\pi = P(Q)Q - c_1 Q - cQ - F$ , 厂商追求利润最大化, 其一阶条件为:  $P + \frac{dP}{dQ}Q = c_1 + c$ , 整理可得:

$$\frac{P - c_1 - c}{P} = \frac{dP}{dQ} \times \frac{Q}{P} \tag{1}$$

式(1)右侧为厂商需求弹性  $\varepsilon$  的倒数, 由此可得:

$$P = \frac{\varepsilon(c_1 + c)}{\varepsilon - 1} = \frac{\varepsilon c_1}{\varepsilon - 1} + \frac{\varepsilon c}{\varepsilon - 1} = P_u + P_d \tag{2}$$

在垄断的条件下, 厂商需求弹性就是电力需求弹性, 通常情况下电力需求弹性  $\varepsilon > 1$ , 因此  $\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} > 1$ , 电力价格大于厂商边际成本, 厂商获得垄断收益, 达不到帕累托效率。由此美国对垂直一体化的电力企业进行管制。美国对电力产业的管制为收益率管制, 定价为服务成本定价(cost of service), 但因为阿弗奇-约翰逊效应的存在, 管制导致了错误激励, 成本增加, 如企业宁愿采购昂贵的除硫设备而不是采购便宜的低硫燃

煤<sup>[16]</sup>; 生产效率下降, 如企业仍在运营本应关闭的发电厂<sup>[17]</sup>。

对电力产业进行垂直分离, 则上游市场为垄断结构, 下游市场为双寡头结构。上游厂商处于垄断地位, 需要进行管制, 以边际成本定价  $P_u = c_i$ , 达到帕累托效率。下游厂商放开竞争, 对下游厂商构建静态古诺模型, 对于厂商 1 来说, 其利润  $\pi_1 = [P_d(q_1 + q_2) - c]q_1$ , 对  $q_1$  求偏导, 则得到厂商 1 利润最大化的一阶条件为:

$$P_d(q_1 + q_2) + q_1 \frac{\partial P_d(q_1 + q_2)}{\partial q_1} = c \quad (3)$$

经整理可得:

$$\frac{P_d(q_1 + q_2) - c}{P_d(q_1 + q_2)} = \frac{q_1}{Q} \frac{[\partial P_d(q_1 + q_2) / \partial q_1] Q}{P_d(q_1 + q_2)} \quad (4)$$

式(4)中  $\frac{q_1}{Q}$  为厂商 1 的市场份额, 也即是勒纳指数, 以  $s_1$  表示; 根据定义  $dQ = dq_1 + dq_2$ ,  $q_2$  不变时  $dQ = dq_1$ , 由此  $\partial P(q_1 + q_2) / \partial q_1 = dP/dQ$ , 可得:

$$\frac{P_d - c}{P_d} = \frac{s_1}{\varepsilon} \quad (5)$$

由于下游厂商 1 和厂商 2 是同质厂商, 具有对称性, 因而平分市场份额, 所以由式(5)可得:

$$P_d' = \frac{\varepsilon c}{\varepsilon - 0.5} \quad (6)$$

将式(6)与式(2)比较可知:  $P_d' < P_d$ 。因此下游厂商放开竞争有助于降低电价, 增加社会福利。

当竞争条件下, 下游有  $n$  家厂商, 且每家厂商具有不同边际成本。对下游厂商构建静态古诺模型, 则有第  $i$  家厂商的利润为  $\pi_i = [P(q_i + Q_{-i}) - c_i]q_i$ , 其利润最大化条件为:

$$P(q_i + Q_{-i}) - c_i = -q_i \frac{\partial P(q_i + Q_{-i})}{\partial q_i} \quad (7)$$

对式(7)进行整理可得:

$$\frac{P - c_i}{P} = \frac{s_i}{\varepsilon} \quad (8)$$

对于电力产业下游来说, 电价决定于整个行业的平均边际成本, 因而有:

$$\frac{P - \bar{c}}{P} = \sum_{i=1}^n s_i \left( \frac{P - c_i}{P} \right) = \frac{\sum_{i=1}^n s_i^2}{\varepsilon} = \frac{H}{\varepsilon} \quad (9)$$

式(9)中  $H$  为赫芬达尔-赫希曼指数, 则下游厂商电力价格为:

$$P = \frac{\bar{c}}{1 - \frac{H}{\varepsilon}} \quad (10)$$

由式(10)可知, 当某个下游厂商采用先进技术, 使得边际成本下降, 相对于边际成本不变的厂商会增加其利润。因此, 电力市场发电侧和售电侧放开竞争, 会促使企业降低边际成本, 从而降低电力价格, 也会促使企业采用先进技术, 增强企业的创新能力。同时, 当  $H$  值增加时, 电价就会进一步偏离边际成本, 所以有必要抑制市场势力。

### 三、美国电力改革的标志事件

美国电力改革肇始于20世纪70年代。为了应对当时的能源危机,美国联邦政府于1978年出台了《公用事业管制政策法案》(Public Utility Regulatory Policies Act, PURPA),以促进电力产业提高能源使用效率。由此,作为一个新所有制类型,非公用事业公司被PURPA创造出来。非公用事业公司要符合PURPA订立的标准,可分为热电联产发电商和使用可再生能源的小型电力生产商,生产的电力规定由公用事业公司购买。作为节能型和环境友好型的电力生产商,非公用事业公司被认为是垄断的公用事业公司的竞争替代选择,越来越受到投资者的青睐,从1990年起其新增装机容量已经超过公用事业公司,1995年的装机容量已经达到70300兆瓦,占到当年全美总装机容量的9.1%。这对管制下的公用事业公司是一个冲击。

美国联邦政府于1992年通过《能源政策法案》(Energy Policy Act, EPACT),一是放松了PUHCA的限制,允许非公用事业公司进入电力批发市场,且不再受PURPA的标准限制;二是非公用事业公司的电力不再强制被公用事业公司购买;三是EPACT修正了FPA中的批发传输条款,包括独立电力生产商、公共电力公司、合作者所有电力公司、工业发电商等的任何电力生产商在批发电力市场上售卖电力,都可以要求拥有输电网的公用事业公司以公正合理的价格提供输电服务。由此,EPACT确立了发电、输电、配电分离的方针,启动了美国电力改革的进程。

依据EPACT,1996年联邦能源监管委员会先后颁布第888号和第889号法令,要求所有拥有、控制和运营输电设施的公用事业公司,通过开放电网公开公平接入,促进电力批发市场的竞争,并鼓励成立独立系统运营商(independent system operator, ISO),以满足提供非歧视性(即不能采取有利于某些市场成员而不利于另外一些市场成员的做法)接入输电网的要求。ISO由几个输电集团组成,有些也包括联合电力系统,其职责是管理最终市场,平衡负荷与发电的实时市场,并促进公开接入和批发电力市场的竞争。1999年FERC发布了NO.2000法令,要求所有拥有输电网的公用事业公司加入区域输电组织(Regional Transmission Organization, RTO),将输电设施置于RTO的控制之下。RTO如同ISO一样,独立运营和管理输电网系统,每一个RTO和ISO都有能源和辅助服务市场,买家和卖家可以通过竞价购买或提供电力。

2005年8月,小布什政府签署《能源政策法案2005》(Energy Policy Act of 2005, EPA),重申推进电力改革的国家政策。此后,FERC连续发布法令,进一步明确改革方针(见表2)。NO.681法令确立了独立输电组织须给发电公司提供输电权利的指导方针。NO.890法令确保在非歧视性、公正和合理的基础上提供输电服务,以及在输电网运营中确保管制更有效率和更加透明。NO.1000法令确保公用事业公司提供的传输服务价格、期限和条件是公正合理的,不能过度歧视或有偏好性。NO.816法令对于公用事业公司在批发电力销售中的电能、容量和辅助服务中基于市场定价的政策和程序进行了细化。总之,美国电力改革是将输电环节作为自然垄断独立出来进行管制,促进发电侧与售电侧的竞争。

表2 美国电力市场改革大事记

年份	改革内容
1992年10月	总统签署EPACT,鼓励FERC通过输电网开放接入促进电力批发市场竞争
1996年	FERC发布NO.888等一系列法令,放开输电网的公开接入
1999年12月	FERC发布NO.2000法令,鼓励各类输电公司加入区域输电组织(RTO)
2003年11月	FERC发布NO.2004法令,制定了传输提供者的行为准则

表 2( 续)

年份	改革内容
2005 年 8 月	总统签署 EPA 重申致力于促进电力批发市场竞争的国家政策
2006 年 7 月	FERC 发布 NO. 681 和 NO. 679 法令 确立独立输电组织的指导方针和运营规则
2007 年 2 月	FERC 发布 NO. 890 法令 改革公开接入输电网的管制框架
2008 年 10 月	FERC 发布 NO. 719 法令 增强有组织批发电力市场的运营能力和提高市场竞争程度
2011 年 7 月	FERC 发布 NO. 1000 法令 改进公开接入传输费用( OATT) 传输计划程序和成本分配机制
2012 年 9 月	FERC 发布 NO. 768 法令 要求市场参与者实行价格透明
2015 年 10 月	FERC 发布 NO. 816 法令 细化了市场定价政策和程序

资料来源: 根据 FERC 相关资料整理。

#### 四、竞争性结构改造和电力市场的形成

##### 1. 结构重组遏制垄断促进竞争

在美国电力改革之前, 电力交易以双边交易为基础, 电力批发通过双边直接交易发生, 虽然具有很大的灵活性和自主性, 但竞争程度较低。每个州只有一个垂直一体化的公用事业公司, 集发电输电售电为一体, 在严格的管制下向用户提供用电服务( 见图 1)。1978 年后出现了非公用事业公司的电力生产者, 但必须将电卖给公用事业公司, 由公用事业公司通过电网传输, 最终销售到终端用户。美国电力改革后, 依然存在西北、西南、东南三个传统的区域电力批发市场。另外, 联邦体制的电力部门也是垂直一体化的, 如博纳维尔电力管理局、田纳西河谷管理局和西部区域电力管理局。

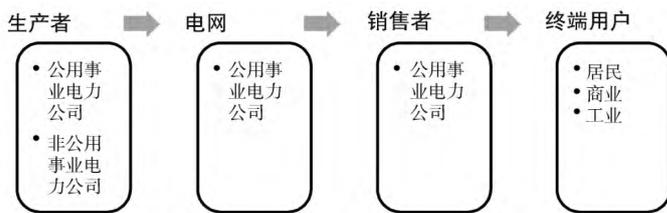


图 1 改革前美国电力产业结构(1996 年前)

表 3 美国 2015 年区域输电组织参数表

区域	会员数	发电能力 ( MW)	高峰需求 ( MW)	输电线路 ( 英里)	服务 州数	人口 ( 百万)
PJM	940 +	183 604	165 492	62 556	13 + D. C.	61
ISO - NE	400	31 000	28 130	8 500	6	14
NYISO	145	39 039	33 956	11 086	1	20
CAISO	100 +	60 000	50 000	26 000	1	30
MISO	413	177 520	127 125	65 800	15	42
SPP	93	78 935	45 301	56 142	14	18
ERCOT	1 400 +	77 000	69 621	46 500	1	24

数据来源: FERC。

电力改革后, 全美形成了 7 个有组织的区域性电力市场( RTO 市场)( 见表 3), 分别为宾夕法尼亚—新泽西—马里兰州( PJM)、新英格兰( ISO - NE)、纽约( NYISO)、加利福尼亚( CAISO)、大陆中部( MISO)、西南联合电力系统( SPP) 和德克萨斯( ERCOT)。这些市场由联邦能源监管委员会授权, 确保在这些区域内电力的可靠性供应、足够的输电基础设施和有竞争力的电力批发价格。典型的如 PJM 市场 2001 年被指定为 RTO, 包括哥伦比亚特区和 13 个州的全部或者部分, 拥有 940 多家会员, 服务人口 6 100 万。ERCOT 市场 1999 年成立, 只服务于德克萨斯州, 占到德州电力负荷的 90%, 有 2 400

万消费客户。德州电力市场的参与者超过1400家,包括消费者、合作社、发电商、电力营销商、零售电商、私有电力公司(输配电提供者)和市政电力公司。德州市场与其他市场不同,既主导电力批发市场,也有售电负责部门,尤其是售电侧2002年也放开竞争,目前发展成为北美最繁荣的电力市场。

美国电力改革后,产业结构发生了巨大的变化。在由RTO负责运营的市场中,输电环节与发电、配电环节是分离的,发电侧采取集中竞价交易,有的区域售电侧也采取集中竞价交易,统一协调,竞争程度较高。负荷服务公司(load-serving entities, LSEs)负责将电力提供给最终客户,LSEs在批发市场向电力生产商购买电力,在零售市场向消费者提供电力服务(图2)。电力来源有三种选择,一是负荷服务公司自有电厂发的电,二是通过签订双边交易合同购买的电,三是在RTO现货市场购买的电。随着市场不同,负荷服务公司的电力来源也不同,在ISO-NE、NYISO和CAISO市场,电力来源于双边交易和RTO市场的购买;在PJM、SPP和MISO市场,LSEs拥有相当数量的发电能力,因而电力来源三种选择都有。

美国电力行业重组和改革后,各种不同类型的公司纷纷涌入参与市场竞争。根据美国公共电力协会统计,到2015年底,在发电侧,美国拥有IOUs 189家,公共电力公司2013家,合作者所有电力公司877家,电力营销商有218家,联邦电力公司8家;按照电力消费者市场份额划分,2015年IOUs份额为68.4%,公共电力公司为14.5%,合作者所有电力公司为12.8%,电力营销商为4.3%。目前,全美大约有三分之二的人口生活在竞争性的电力市场中。在售电侧,LSEs可能是当地的公用事业电力公司或者竞争性零售商,电力消费者可以根据需求进行选择。因而,美国电力改革后,在发电侧和售电侧,竞争程度大大加强。如市场发育较为成熟、竞争程度较高的PJM电力市场,有发电公司246家,输电公司50家,配电公司51家,终端客户公司39家(拥有发电能力的零售终端用户),其他供应商542家(包括提供买电、卖电、传输服务等)。

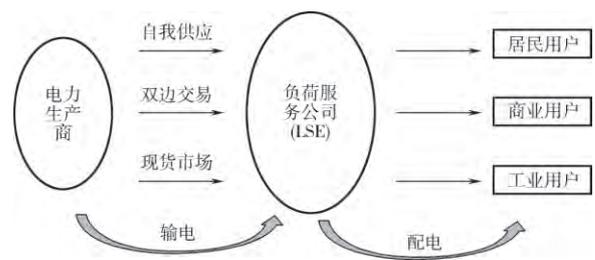


图2 改革后美国电力产业结构(1996年后)

## 2. 建立健全电力交易机制

建立电力市场的前提条件是电能可以像其他普通商品一样交易。在美国,将电力传输给消费者可以分为两个系统,一个是双边交易市场,交易双方都知道彼此身份和从事的业务,买卖双方自由协商签订双边交易合同,多数无须第三方参与,有的也可以通过经纪人或电子经纪平台达成交易,如洲际交易所。电能需求数量大且时间跨度长时一般采取这种双边交易方式。另一个是改革后建立的RTO运营的竞争性市场,通过市场做出运营决定。RTO一般采用标准合同形式,通过市场确定供应商和价格,适用于中短期数量较小的电能交易。这些市场包括能源市场、容量市场、辅助服务市场、金融输电权和虚拟交易。能源市场是最主要的市场,其包括日前能源市场和实时能源市场,95%的电力能源交易发生在日前能源市场,只有5%发生在实时能源市场,所有的RTO都有这两个市场。

日前能源市场在市场运营日之前的一天安排电力生产和消费,目的在于给予发电商和负荷服务公司充分的运营准备,基于需要预测和公司战略安排自身的活动。在日前能源市场中,能源的供应安排按照一天的每个时段被RTO编入可计算市场模型中,包括了RTO地理区域内的所有买家与卖家。模型基于通过电网从发电商传输给消费者的所需电流,评估市场参与者的竞价和报价,模型也必须考虑导致系统能力改变的因素,如天气因素、设备停电和用以保证电力可靠性的规则和程序等。发电商提供的供给报价和负荷服

务公司的需求竞价必须在前日安排的早晨提交给 RTO。实时能源市场也称平衡市场,当被迫或意外停电或者输电有阻碍时,日前能源市场的安排电力负荷与实时负荷有差别,这就需要实时能源市场协调。实时能源市场按小时运营,每 5 分钟一个间隔。实时能源市场的电力价格相比日前能源市场,有着明显的不稳定性,这源于需求的不确定性、输电和发电的被迫中断和其他未知事件,而日前能源市场不受这些事件的影响,因而价格稳定。再者,实时能源市场容量较少,很可能导致供需不平衡,影响电价的上下波动。容量市场是 RTO 为保足够的发电储备来满足负荷与可靠性需求而设立的。这是因为负荷服务公司满足自身的储备责任,比较普遍的做法是自己发电或者与其他供应者进行双边交易。容量市场多为短期市场,期限为一个月,一个季度或者一年。金融输电权是一个合同,是当在日前能源市场中发生输电阻塞约束时,给予市场参与者的补偿或保护。

RTO 通过节点边际定价( locational marginal pricing ,LMP) 处理市场中的输电阻塞和稀缺性定价处理全系统电力储备短缺。LMP 由能源费用、阻塞费用和输电损失费用三部分组成,反映了在给定分配的发电商和输电系统限制情况下,电力负荷在特点节点的边际成本。如果没有输电约束或阻塞,则 LMP 在 RTO 区域内没有显著变化。输电阻塞发生在对于最低成本的发电商的传输容量不足时,结果就是选择一些成本较高的发电商以满足实际负荷需求。当出现传输阻塞时,最高的可变成本将分配给出现传输阻塞的区域内,所有卖者因其所处节点接受 LMP,所有买者也因其所处节点支付市场出清价格。全系统电力储备短缺由不能预料的高电力负荷或供电中断引起,也可能二者因素兼而有之。在电力短缺时期,为保证市场价格精确反映能源的价值,RTO 出台了四项应对措施,一般情况只采取一种。这四项措施:一是在突发事件时允许电力供应商的投标价格提高到正常水平以上,二是在突发事件时对需求竞价提高投标上限到现有水平以上,而保持供给竞价投标上限不变,三是针对运营储备建立价格结构,当运营储备短缺时提高价格,四是在突发事件时对所有供给和需求响应资源分配设定市场出清价格。

无论采用哪种交易方式,必须允许指数提供者调查交易方和出版实体产品与金融产品的价格指数,这些指数都是公开透明的。实体双边交易涉及电能从一点传输到另一点,这要求交易方预约输电容量以通过电网输电。输电公司需要提交可用的输电容量,并在开放接入同时信息系统( OASIS) 的网站提供服务。交易方在 OASIS 上预约输电容量,同时安排电力合同。当在平衡机构间预约转移电力时,交易一方应向电子标签承包商提交一个电子标签,承包商将处理标签并将其寄给标签中涉及的各方。这样可以确保电能的有序转移并提供给输电系统运营商所需信息以开始按需要消减。当输电系统条件发生变化,降低了输电系统的能力,则一些交易必须消减。

### 3. 制定规则抑制市场势力

美国的电力公司按所有制类型分为 IOUs( 投资者所有公用事业公司)、公共电力公司、合作者所有公用事业公司、联邦电力公司和电力营销商五类。联邦电力公司主要责任在于为合作者所有电力公司和其他公有电力公司提供服务;公共电力公司包括州和市政所有的电力公司以及公共电力区,作为公共服务机构,代表社区及其客户的利益;合作者所有电力公司主要为农村的居民所拥有,为这些地区提供电力供应;电力营销商不拥有任何发电、输电和配电设施,这四类电力公司不存在利用市场势力的可能。而 IOUs 大多数都提供发电、输电和配电服务,要为投资者赚取回报,并将利润分给股东作为分红或重新投资;这类公司在特定区域被允许服务独占,且有责任提供可靠的电力供应。IOUs 运营于美国的 49 个州,占据美国发电量和装机容量三分之二,并且拥有大约 70% 的全国高压输电线路。由于 IOUs 的规模和特性,因而具备利用市场势力操纵市场价格的能力,抑制市场势力主要针对 IOUs。

电力改革以后,美国的电力市场呈现全国分散化、地区集中化的格局,主要表现在发电公司的市场份额上。2014年,排名第一的杜克能源公司发电能力为52763兆瓦,仅为全美发电能力的4.9%,前四名(包括杜克能源、新纪元能源公司、南方公司和美国电力公司)的发电能力合计为182308兆瓦,占全美总发电能力的17%,全美前十名最大的电力公司的发电能力占全美的比重也不过为26%左右,集中度较低,从全国看是一个竞争性的格局。但是具体到各个区域发电市场来说,2004年前十名最大发电公司合计发电能力所占的份额,在CAISO为59%,MISO为60%,PJM为77%,ISO-NE为73%,NYISO为81%,ERCOT为78%,SPP为73%。相较于全国电力市场,市场集中度明显提高,到了各州层面,市场集中度还将进一步提高。近些年,美国电力行业的兼并重组多有发生,2014年IOUs的数量比1998年的239家减少了50家,这进一步提高了区域和州层面的市场集中度。对于零售电力来说,由于目前只有极少数州放开零售侧的竞争,多数州的电力分配和终端消费的集中度非常高,而从全国层面来看比较低。

由于市场势力的存在,联邦能源监管委员会针对RTO和ISO运营的市场,制定了抑制市场势力程序,确保电力公司以边际成本竞价,形成竞争性价格。抑制市场势力程序的前提在于,在一个竞争性的电力批发市场,电力供应商的出价与其短期边际成本(包括机会成本)大致相等。如果一个电力供应商没有市场势力,在竞争的压力下,将以近于边际成本的价格参与竞价。如果一个电力供应商在程序下被认定有市场势力,其出价将被降低到参考价格水平。参考价格水平由内部市场监测机构提供,基于每个电力供应商的短期边际成本进行估算,并根据供应商信息和燃料价格指数进行定期更新。PJM和CAISO市场的参考价格水平为短期边际成本再加10%,而ISO-NE、MISO和NYISO市场仅包括短期边际成本。

抑制市场势力的方法有两种:一种是结构方法,主要用于PJM和CAISO市场;另一种是行为和影响力方法,主要用于ISO-NE、MISO和NYISO市场。结构方法在于设定预置条件,由于输电阻塞限制了邻近地区的竞争,预置条件为可缓解输电阻塞的电力供应商所有权的集中度。PJM市场采用“三个关键供电商测试”(three pivotal supplier test),如果能缓解给定阻塞的三个最大的供电商在缓解输电阻塞中共同处于关键地位,那么测试就失败,电力供应商的出价就会被降到其参考价格水平。CAISO市场采用的方法与之类似。行为和影响方法分为两步,第一步是行为测试,通过预设门槛看电力供应商的出价是否超过其参考价格水平;第二步是影响力测试,评估电力供应商的出价对电力市场出清价格的影响。如果电力供应商在行业测试和影响力测试中失败,它的出价将被降低到其参考价格水平。行为和影响方法同样运用输电阻塞测试某个地区对市场势力滥用的敏感性。通过上述两种方法,在RTO和ISO运营的市场,市场势力得到了有效的抑制。

## 五、对中国电力改革的启示

自2015年3月中共中央、国务院出台《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》以来,截至2016年11月7日,电改综合试点和售电侧改革试点范围已扩至26个省市区,基本涵盖了中国经济大省与用电负荷大省。电力体制改革综合试点涉及输配电价改革、电力交易机构组建、发用电计划放开、售电侧改革等深层次问题,售电侧改革仅是专项试点。目前看,新一轮电改已经取得初步成效,中国各省区均已建立电力交易市场,输配电价改革和售电侧改革降低了企业用电成本。但是,发电行业产能过剩,电力交易机制不成熟,电网市场功能界定模糊,输配电价市场体系不健全的现象依然存在,需要统筹加以解决。因此,对于电力市场建设,具有丰富经验的美国电力改革有极大的借鉴意义。

电力改革要从供给侧入手,提高企业竞争力。美国是从开放电网非歧视接入和促进发电侧竞争也就是电力供给侧入手,通过市场竞争降低生产成本,最终降低电价和提供更优质的服务。促进电力供给侧的竞

争更具有决定性意义,长远来看,可以促进企业提高技术水平,增强企业的生产潜力,进而增强国家的生产潜力。2016年以来,中国电力出现全行业下滑,产能过剩尤其是火电产能过剩,效益下降,发电量和电力价格均有不同程度的下跌,这与发电企业的低效率竞争不无关系。中国目前有发电企业超过3500家,中小发电企业占到绝大部分,市场集中度较低,且均为单一发电业务,同质化竞争严重。改革从电力供给侧入手,需要推动发电企业的兼并重组,减少无效竞争,逐步消减过剩产能;利用环境管制和提高排放标准限制高能耗火电的发展,促进企业创新,提高能源利用效率;允许发电企业发售一体,提高电力企业对市场的应变度和综合竞争能力。

完善电力交易规则,健全电力交易机制。市场交易规则是确保市场规范运营的根本保障。美国电力改革通过一系列法令,明确交易规则,确保无论在传统电力市场和竞争性市场,场外交易和双边交易,交易双方都有明确的规则可循。这有利于电力市场交易在公平公正的环境下进行,促进电力市场有序健康发展。同时,美国还通过制定相应的电力交易规则,抑制市场势力和促进可再生能源发电上网。目前,随着国家级北京电力交易中心和26家省级电力交易中心组建成立,中国电力市场交易体系基本形成,但中国的电力交易规则还处于探索之中,需要根据中国的国情相应完善。完善中国电力交易规则需要在确保电力市场的公平有序竞争、打破区域市场壁垒、促进可再生能源发电上网等方面着手,从售电竞争切入<sup>[18]</sup>,健全中国的电力交易机制。

加强对电网的管制,明确界定电网的业务和义务。作为网络产业的关键设施,电网企业如果有购电和售电业务,很难不利用其垄断地位获得垄断利益,这样既损害了厂网关系,又损害了消费者的利益。美国通过建立区域输电组织,加强对电网的管制。区域输电组织的职责主要在于确保电网可靠性、平衡电力供需、给发电商提供公平接入和运营竞争性非歧视性市场等,电网主要服务对象为电力生产企业和负荷服务公司,只为其提供传输服务,不能直接为终端用户服务。这样既有效地处理了厂网关系,又能发挥电网作为网络基础设施的角色,为竞争性市场的运营提供帮助。中国在深化电力市场改革中,应剥离电网的购电和售电职能,建立独立于电网的电力营销商,加强对电网的管制,保证其正常的传输服务收益,建立电网运营的电力交易市场,发挥电网在平衡电力供需中起到的关键作用。

建立健全输配电价市场体系,放开电力定价。美国电力改革后,在有组织的电力批发市场进行竞价交易,建立了竞争性市场交易机制。这个机制主要通过日前能源市场和实时能源市场,辅之以容量市场、辅助服务市场、金融输电权等,构建了一个完整的交易平台,为电力卖家和买家提供了一个公开、公平、公正的交易场所。输配电价改革并非仅是单独核定输配电价,而是能源市场辅之以专项服务市场和辅助服务市场等,并依此制定相应的价格。而中国当前的输配电价体系,并未建立起相应的专项市场和辅助市场,定价机制未能区分和细分,未完全形成市场化定价机制<sup>[19]</sup>,容易造成电力资源的不合理利用,甚至影响电力的可靠性运行。因而,建立健全中国的输配电价市场体系,提高市场对电力资源的配置效率,放开电力定价才能真正达成改革的目的。

#### 参考文献:

- [1] WILLNER J, GRÖNBLOM S. Reforming a network industry: consequences for cost efficiency and welfare [J]. *International Review of Applied Economics* 2013 27(2): 265 - 284.
- [2] FABRIZIO K R, ROSE N L, WOLFRAM C D. Do markets reduce costs? Assessing the impact of regulatory restructuring on U. S. electric generation efficiency [J]. *The American Economic Review* 2007 97(4): 1250 - 1277.

- [3]ZHANG F. Does electricity restructuring work? Evidence from the US nuclear energy industry[J]. The Journal of Industrial Economics 2007 55(3): 397-418.
- [4]MARKIEWICZ K,ROSE N,WOLFRAM C. Has restructuring improved operating efficiency at US electricity generating plants? [Z]. CSEM WP 2004.
- [5]KWOKA J E. Restructuring the U. S. electric power sector: a review of recent Studies[J]. Review of Industrial Organization 2008 32(3): 165-196.
- [6]ARCINIEGAS I ,BARRETT C ,MARATHE A. Assessing the efficiency of US electricity markets[J]. Utilities Policy 2003 11(2): 75-86.
- [7]MICHAELS R J. Vertical integration and the restructuring of the U. S. electricity industry [Z]. Policy Analysis No. 572 2006.
- [8]BUSHNELL J ,MANSUR E ,SARAVIA C. Vertical Arrangements ,market structure and competition: an analysis of restructured U. S. electricity markets[J]. The American Economic Review 2008 98(1): 237-266.
- [9]SANYAL P ,GHOSH S. Product market competition and upstream innovation: evidence from the US electricity market deregulation [J]. The Review of Economics and Statistics 2013 95(1): 237-254.
- [10]PALMER K ,BURTRAW D. Electricity restructuring and regional air pollution[J]. Resource and Energy Economics 1997 19(1-2): 139-174.
- [11]NIEDERJOHN M S. Regulatory reform and labor outcomes in the US electricity sector [J]. Monthly Labor Review 2003 126(5): 10-19.
- [12]BORENSTEIN S ,BUSHNELL J. The U. S. electricity industry after 20 years of restructuring [J]. Annual Review of Economics 2015 7: 437-463.
- [13]KAMERSCHEN D R ,KLEIN P G ,PORTER D V. Market structure in the U. S. electricity industry: a long-term perspective [J]. Energy Economics , 2005 27(5): 731-751.
- [14]BLUMSACK S A ,APT J ,LAVE L B. Lessons from the failure of US electricity restructuring [J]. The Electricity Journal 2006 19(2): 15-32.
- [15]许子智 曾鸣. 美国电力市场发展分析及对我国电力市场建设的启示 [J]. 电网技术 2011(6): 161-166.
- [16]CICALA S. When does regulation distort costs? Lessons from fuel procurement in US electricity generation [J]. The American Economic Review , 2015 105(1): 411-444.
- [17]JOSKOW P L. Restructuring ,competition and regulatory reform in the U. S. electricity sector [J]. The Journal of Economic Perspectives 1997 11(3): 119-138.
- [18]付强. 垄断结构嵌入下的增长实现机制与转型路径研究——以电力产业为例的分析 [J]. 理论探讨 2016(5): 94-99.
- [19]杨春桃. 制度创新、结构调整和电力低碳发展 [J]. 经济与管理研究 2016(7): 37-46.

## US Electricity Reform Practice and Its Inspiration to China

WANG Dehua<sup>1</sup> ,LIU Jiejiao<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Provincial Academy of Social Sciences ,Nanjing 210004;

2. Institute of Industrial Economics of CASS ,Beijing 100044)

**Abstract:** Since electricity system reform of China in 2002 ,the separation of plants and networks and a diversity of generation firms are preliminarily realized. However ,there are still many underlying problems such as electricity trading mechanism ,open and fair access ,transmission and distribution price reform. This paper deeply analyzed the practice of electricity reform in the United States and the recent progress ,and hoped to provide useful experience for Chinese new round of electricity reform. America has experienced reform of the electricity market for twenty years ,and has accumulated rich experience in open competition ,open and fair access transmission and electricity regulation. During American electricity industry reform ,the vertically integrated monopoly was transformed into a competitive market structure. Through organizing regional transmission organization and open and fair access transmission ,perfecting the market transaction mechanism ,deregulating the generation side and the sale side ,and introducing various types of enterprises to competition ,market performance and the enterprise's competitiveness were enhanced in American electricity market.

**Keywords:** electricity industry; reform; trading mechanism

责任编辑:魏小奋