

# 电力市场的目标、结构及中国电力市场建设的关键问题讨论

肖谦<sup>1</sup>, 喻芸<sup>2</sup>, 荆朝霞<sup>2\*</sup>

(1. 中国南方电网有限责任公司北京分公司, 北京市 朝阳区 100022; 2. 华南理工大学电力学院, 广东省 广州市 510640)

## Discussion on the Target and Structure of Electricity Market and the Key Issues in the Construction of China's Electricity Market

XIAO Qian<sup>1</sup>, YU Yun<sup>2</sup>, JING Zhaoxia<sup>2\*</sup>

(1. CSG Beijing Branch, Chaoyang District, Beijing, 100022, China; 2. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong Province, China)

**Abstract:** With China's electricity market reform gradually entering the deep water area, electricity market design faces many challenges, such as the difficulty in coordinating various objectives, inconsistent reform objectives at different reform stages, lack of integrity and systematizations in designing the market rules. Firstly, this paper makes a systematic analysis of the objectives of the electricity market reform, proposing the concept of ultimate goals and path goals. Then, by taking the social welfare distribution structure into consideration, a generalized concept of market structure is proposed. After that, considering China's national conditions, this paper discusses how to make the market and the government play a coordinated role through market design. Finally, analysis is presented and solutions are suggested to the issues of couplings between long-term and spot markets, between provincial and inter-provincial markets, and between planned and market mechanisms, which are currently faced by power market construction in China. This paper discusses some key problems in electricity market design from the perspective of economics, so as to help the market designers better understand various problems and find long-term and fundamental solutions to the key issues of electricity market reform.

**Keywords:** electricity market reform; market mechanism design; market objectives and routes; market structure

**摘 要:** 中国电力改革与市场化建设逐步进入深水区, 面临着多方面目标难以协调、不同阶段的改革目标不一致、电力市场设计缺乏整体性与系统性等问题。首先提出和分析了电力市场的终极目标和路径目标, 将社会福利分配结构纳入市场结构中形成广义的市场结构概念, 然后结合中国国情讨论了如何通过市场设计让市场和政府协调发挥作用, 最后对中国当前电力市场建设中的中长期与现货市场衔接、省内与省间市场衔接、计划与市场衔接等关键问题进行了分析, 并给

出了建议的解决思路。从经济学角度分析、讨论中国电力市场改革面临的一些关键问题, 旨在寻求长期的、根本性的解决机制, 为各地区电力市场设计提供参考。

**关键词:** 电力市场; 机制设计; 改革目标与路径; 市场结构

## 0 引言

中国新一轮的电力体制改革已全面展开, 在售电改革<sup>[1]</sup>、增量配网改革<sup>[2]</sup>、输配电定价<sup>[3]</sup>、现货市场<sup>[4-5]</sup>、跨省跨区市场<sup>[6]</sup>、辅助服务<sup>[7]</sup>、分布式电力市场<sup>[8-9]</sup>等多个方面展开研究, 并在交易机构建设、中长期市场建设、现货市场建设与试点运行等方面取得进展, 促进了可再生能源消纳<sup>[10]</sup>、用能成本降低等目标。但是, 中国电力市场建设中面临计划与市场并行、省内市场与省间市场同时发展、不同背景和不同成本机组同台竞价等复杂的环境, 有许多关键问题亟待解决<sup>[11-12]</sup>。

首先是缺乏系统性的顶层设计, 不同改革方案、市场规则之间缺乏协调、配合。电力市场是一个复杂的体系, 市场设计包括交易产品设计、交易组织方式、市场定价及市场监管等不同方面<sup>[13]</sup>, 每个方面都有多种选择。很多国家或地区都已经建立了竞争的电力市场, 但在市场设计上不完全相同<sup>[14]</sup>。每个国家、地区电力市场建设中都有其特殊的问题, 无法直接照搬任何一种市场模式。中国电力市场建设中提出了“分散式”和“集中式”两种模式, 但在实施上, 每个具体的市场规则如何选择, 能否把两种模式的规则进行组合, 仍缺乏理论指导。

其次是电力市场中政策性约束、搁浅成本、改革后福利分配变化等问题的处理方法有待优化。为了快速推进市场建设,常采用一些直观、简单的方法,缺乏对市场动态性、长期影响的分析,在一定程度上限制了市场红利的释放。例如,在供大于求的市场中为避免批发市场价格大幅降低而设置供需比,为避免现货市场价格波动引起风险而设置中长期交易比例,为避免不同市场主体利益变化过大而设置交易次序限制等。这些方法实现了预期的短期目标,但常常引起新的问题。

电力市场机制设计是一个系统的理论<sup>[13]</sup>,国际上这方面已经有比较多的研究。文献[15-16]分别对欧洲平衡市场和美国容量市场的设计目标、原则、标准和应用条件进行了深入的讨论;文献[13]、[17-19]对电力市场整体的机制设计进行了讨论,包括市场结构、市场体系、市场设计目标、市场监管等。这些研究给中国电力市场设计提供了丰富的设计理论和实践经验,但是这些研究大多基于某一个或一类(如欧洲或美国)市场,缺乏更大范围的系统性分析、比较;另一方面,中国电力市场有一些特殊问题,需要在市场设计时特别考虑。

电力市场研究中面临的问题,一类是偏技术层面问题,如快速出清算法<sup>[6]</sup>、电价准确计算方法<sup>[5]</sup>等;但更多是技术与经济耦合的问题,特别是中国电力市场建设中面临的关键问题,大多是涉及经济、政策层面的问题。从经济学角度对电力市场建设的关键问题进行基本概念的梳理和讨论,有助于深入理解相关问题,有助于电气、经济等不同学科基础的研究人员更有效地沟通,有益于从机制上寻找解决方案。

本文结合中国电力市场改革的现状,旨在从经济学角度分析电力市场改革的目标、电力市场的结构、实现市场和政府目标的方法等问题和关键影响因素,在此基础上深入讨论当前中国电力市场建设中面临的一些关键的问题,并提出解决思路。

## 1 电力市场改革的目标

### 1.1 终极目标及路径目标的概念

电力市场改革的目标有很多方面,从相关文件、政策、市场规则中,可看到打破垄断、提高资源配置效率、促进可再生能源消纳等不同的目标表述。本文提出终极目标和路径目标的概念,以上目标都可以归到这两大类。

终极目标是指长期的、不变的目标,主要包括效率、公平、环保、安全等,是改革最终要实现的目标。路径目标是一种短期的、暂时的目标,是为了实现终极目标而制定的一些具体的实现方式,是在一定的政治、经济、技术条件下实现某个终极目标的途径<sup>[20]</sup>。当政治、经济、技术等条件发生变化时,已设定的路径目标可能偏离终极目标,此时必须结合变化及时调整路径目标,使其与终极目标保持一致。

例如,可再生能源全额消纳政策的终极目标是环保,但执行中会采用路径类目标代替,如提高可再生能源发电比例、降低弃电率等。虽然在可再生能源比例较低时两者一致,但随着可再生能源比例增加,仅提高可再生能源的比例可能反而会增加电力系统的整体碳排放。欧洲关于可再生能源优先发展的一些政策已经被证明在有些情况下增加而非降低了电力系统整体的碳排放<sup>[21]</sup>,表明了路径类目标和终极目标可能不一致。降低电价、放开发用电计划等其他路径类目标也存在类似情况。

### 1.2 终极目标的内容

最优化理论中的目标和约束可以相互转化,电力市场中的目标和约束同样可以转化。不同目标之间可能不一致甚至矛盾,如何兼顾不同的目标,是电力市场设计中面临的一个关键问题<sup>[22-23]</sup>。

1) 效率。电力市场改革的根本目标是提高电力系统资源的配置效率,实现社会福利最大化。效率包括短期效率和长期效率。

2) 公平。公平主要考虑社会福利在不同市场主体之间的分配<sup>[23]</sup>,即如何在不同进入时间、不同区域、发输配售不同环节、不同发电类型的市场参与者之间分配。公平和效率两个目标之间的协调是市场设计中最主要的问题之一。市场设计中可以将公平目标转变为约束,通过产权分配来解决福利分配方面的一些问题,包括输配电定价、输电权分配、政府授权发电和用电合约等形式。

3) 环保。广义上,环保也可认为是效率的一部分,但因环保问题的外部性,排放相关的市场、定价机制不完善,常将其作为电力市场中单独的一个目标。目前主要有两种解决思路,建立碳排放市场、绿证交易市场等额外市场或将可再生能源消纳等作为强约束<sup>[21]</sup>。

4) 供电安全、可靠性与电能质量。作为电力系统运行的首要约束条件,这些目标通常以约束的形式

出现,可以采用弹性约束<sup>[24-25]</sup>的形式,并通过惩罚因子的设置使其成为成本目标的一部分<sup>[26-27]</sup>。

5) 能源供给安全等战略目标。电力是关系国计民生的行业,电力市场改革不可避免会受到国家能源战略政策的影响,在市场设计中可以将其作为一种特殊的约束。这种目标造成的成本、不平衡资金应在尽量大的范围内分摊,减少对市场价格信号的影响。

## 2 电力市场结构

市场结构一般包括行业的技术经济特性和产业结构<sup>[13,18,28]</sup>。早期的产业组织理论将市场结构看为市场的外部环境,是影响市场结果的因素;近期的研究认为一部分市场结构为市场的内向因素,会受市场设计、市场竞争的影响而改变。电力市场设计中,市场结构也是影响相关设计决策非常重要的因素。美国早期电力市场设计中缺乏对市场结构的关注,造成了不必要的价格飙升,以及一些市场力问题<sup>[29]</sup>。

本文将社会福利分配结构也纳入市场结构中,形成广义的市场结构概念。

### 2.1 产业结构

产业结构指电力行业不同区域、不同环节的资产、业务之间的关系,包括所有权关系、运营权关系、财务关系、人事关系等方面,可以从垂直和水平两个维度进行分析<sup>[28]</sup>。

产业结构一方面是电力市场的边界条件,市场设计必须基于现有的产业结构;另一方面电力市场改革本身可以促进产业结构改变。

在很多国家,电力市场改革一般首先以强制改变相关的产业结构开始,主要目标有两个方面:垂直上打破一体化企业的垄断,在某些环节引入竞争;水平上取消、减弱市场的分割,形成更大的市场。在中国,第一轮改革中实现了厂网分开,本轮改革放开了售电侧竞争,打破了垂直垄断的产业结构;本轮电力市场改革首先以省级市场为主,然后通过构建全国统一电力市场解决省间市场分割的问题。目前中国电力市场改革面临的一个结构方面的主要困难是,发电侧的市场主体具有较高的垄断性,因此需要在市场设计中重点考虑。

### 2.2 技术经济特性

从源、网、荷3个方面分别分析电力市场中的市

场主体的技术经济特性。

电力市场设计中关注的电源技术经济特性包括调节能力(如启停、调峰调频)和成本特性两方面,这些特性将影响市场报价、出清、定价和结算机制的设计。例如,很多电力市场中的全成本回收(make whole payment)问题,就是为了解决发电启停、空载成本大的问题<sup>[30]</sup>。

输配电网的主要特性包括输送能力特性和输配成本特性。在电网不发生阻塞的情况下,不同节点的能量市场可看作一个市场,而在阻塞情况下,可以认为电网将能量市场分割成了多个相互关联的子市场。输配电网的特性将影响阻塞管理模式的选择<sup>[31]</sup>,选择分散式市场模式的国家大多具有较强的网架,阻塞问题不突出。

用户的重要特性之一是需求弹性。传统电力系统中用户的需求弹性非常小,很多市场设计基于这个条件。而实时计量技术、需求侧响应等能源互联网技术将大幅提高用户的需求弹性,这将促进相关市场体系、规则的修改。

### 2.3 社会福利分配结构

电力既是基本的生产资料,也是基本的生活资料,电力的价格、政策常受到相关政治、社会背景的影响,电力市场改革方案需要考虑改革前的福利分配情况及改革后各市场主体福利变化。

如1.2节所述,福利分配结构指福利在不同进入时间、不同区域、不同环节、不同类型市场参与者之间的分配。改革前后电价体系有较大变化,如果福利分配变化过大,将不容易被社会接受或者引起一些社会问题。因此,一方面市场设计中市场模式的选择需要考虑改革前福利分配情况,另一方面应设置一定的过渡期处理、解决搁浅成本<sup>[32]</sup>。中国电力市场改革中有许多类似关键问题:如何解决改革后供大于求引起的电价大幅降低的情况,如何处理改革后燃煤机组、燃气机组发电量、利润等分配的变化,以及如何处理省间交易造成的不同省之间利益变化等。

## 3 如何通过市场设计实现市场的目标

电力市场的终极目标中,环保、安全通常以约束的形式出现,以下主要讨论效率和公平这两个目标。

电力市场下,资源配置主要通过市场化的方式进行,电力市场改革的首要目标就是要让市场在资源配

置中起决定性的作用。同时，政府必须要发挥作用，使得市场能平稳过渡，不同市场主体的利益分配合理、公平。

### 3.1 如何让市场更好发挥资源配置的作用

市场机制的核心特征之一是分散决策，所有市场主体以利润最大化为目标决策。理想情况下，市场可以促进分散决策下的总体社会福利最大化，但实现该目标要求竞争充分、信息对称、交易成本低等前提。本文结合中国电力市场的情况分析其关键影响因素。

1) 产品/服务划分科学、合理，反映供给和需求之间的交叉弹性。在发、输、配、售一体化的体制下，一个电力企业提供所有的电力服务，产品的时间、空间粒度也比较大。电力市场环境下，首先电力服务被分解为发电服务、输电服务（可进一步分为传输服务和辅助服务）、配电服务和售电服务，其次在现货市场下不同时间、不同位置的电力服务可以认为是不同的产品。对这些大量的不同类型的服务，如何进行组合/打包交易，是不同市场模式差别的一个重要方面，也会影响资源配置的效率<sup>[33-35]</sup>，可以分为多市场模式和多产品模式两类。多市场模式下，多种产品通过不同的市场独立交易和出清；多产品模式下，多种产品通过一个耦合的市场联合出清。例如，比较基于安全约束机组组合/经济调度的节点电价模式和基于无约束出清的统一电价模式，可认为前者是输电服务和电能量服务联合出清的多产品模式，后者是各自独立出清的多市场模式<sup>[36]</sup>，从输电服务的角度可以认为是输电服务隐式拍卖和显示拍卖的区别。再如，日前现货市场相当于组织了一个含多时段、多节点的多产品统一交易的市场，方便市场主体在报价中反映不同时段、不同空间之间的供给、需求之间的交叉弹性特性。电力市场设计中，采用多市场模式还是多产品模式，主要取决于产品之间供给和需求的耦合程度、联合出清的技术难度以及可以获得的效益。如果产品的供给和需求之间有较强的关联性且技术可行，采用多产品方式更容易实现资源的优化配置。

2) 价格信号准确，反映市场真实的供需情况。市场环境，所有市场主体进行决策的依据都是价格，如果市场价格是扭曲的，市场主体的决策也必将偏离最优决策，社会福利最大化的目标就无法实现。对应到电力市场设计中，现货市场的电价一定要反映实时的供需情况，否则无法对发、用市场主体形成正确的引导。当前中国电力市场中有两方面问题需要重点关

注：一是发电量的补贴对价格信号的扭曲，如对新能源和高成本机组的补贴；二是各种不平衡资金的分摊机制，要尽量减少这两方面对价格信号的影响。多产品市场模式下，定价还需要考虑一些公共成本的分摊问题，如公共电网设施成本如何分摊到不同位置的电网用户、发电启停成本如何分摊到不同的交易时段等<sup>[37-38]</sup>。

3) 市场体系合理，相关的产品、服务能低成本、自由流动。根据科斯定理<sup>[38-39]</sup>，在产权分配确定的情况下，不考虑交易成本，无论初始产权如何分配，最终都可以实现资源的最优配置。科斯定理实现的前提是各种资源能低成本、自由地交易和流动。市场体系设计应方便市场主体的交易、降低交易成本、利于资源的自由流动。

4) 市场竞争充分，市场主体无法控制市场价格。如果部分市场主体具有市场力，并有能力在市场中行使市场力，则市场的价格不能正确反映供需情况，市场无法实现资源的最优配置。根据市场结构的情况，需要配套一些市场力控制的方案<sup>[40]</sup>。首先要正确确定行使市场力的标准，例如，发电企业什么样的报价被认定为行使了市场力，即如何确定发电企业的价格基准，这需要协调考虑市场容量成本的回收机制等问题。例如，对于设计有容量市场、可以保证发电企业投资成本回收的市场，现货市场中的报价应仅考虑可变成成本，价格基准也应基于可变成成本；对于设计中没有容量市场，也没有其他的投资成本回收机制的市场，则应允许发电企业在报价中包含稀缺成本，大于可变成成本。如果发电行业在结构上不满足有效竞争的条件，则需要通过一些其他方案解决该问题，如强制签订较大量的中长期合同、对大型发电企业在商业运行上拆分等。

5) 进行有效的信息披露。市场机制发挥有效作用的前提是市场主体进行正确、科学决策，而市场主体进行决策的依据是市场信息。价格是最重要的市场信息，但电力市场中还需要有整体市场的供需情况、关键输电通道的情况等其他信息。不同的市场设计对信息披露的需求不一样。例如，在采用稀缺电价机制的澳大利亚等市场中，允许发电企业的报价中含稀缺成本，因此市场整体供需信息、价格信息的披露就特别重要；在有容量补偿机制的市场中，现货市场报价应主要基于其自身的发电成本，因此对市场信息披露要求低<sup>[41]</sup>。

电力市场设计要考虑动态性、整体性和长期性。电力市场设计从不同角度分类包括不同的环节，宏观

方面如批发市场和零售市场、物理市场和金融市场、远期市场和现货市场、能量市场和输配电服务市场等,微观方面如发电充裕度机制和市场力监控机制、输配电定价机制与阻塞管理机制等。不同环节之间会互相影响,相关机制设计时必须统筹考虑。同时,电力市场是一个动态的市场,市场主体策略会受到市场设计的影响,二者之间具有博弈性,电力市场具体机制的设计、市场均衡分析应考虑不同市场机制对市场主体激励的不同。另外,电力市场设计中还应统筹考虑长期目标和短期目标,避免造成短期目标和长期目标的不一致。

### 3.2 政府如何更好发挥作用

电力市场环境下,政府在经济活动中发挥作用的方式将发生很大的变化。计划体制下,政府直接通过安排生产、消费方案及对各种产品的定价影响经济,而市场环境下,必须改变政府发挥作用的方式<sup>[42]</sup>。

1) 政府首先要界定市场各方的责、权、利,可以通过相关“产权”的分配来实现一些政策性的目标。例如,可通过对一些市场主体免费分配输电权,避免现货市场运行后因节点电价造成阻塞费变化太大;通过与发电企业的政府授权合约<sup>[43]</sup>(即将优先发电、基数合同转化为政府授权合约)保证或限制发电企业的收益,在一定程度上影响市场的电能量价格;通过与用户签订的政府授权合约,保证在现货市场运行后不同类型用户的利益不发生过大变化。

2) 政府给各类市场主体的产权必须明确,划分方式合理,保证产权交易可以方便地进行,以实现资源优化配置目标。电力市场中有两类主要的产权:发用电权和输电权。产权明确的含义是与产权相关的标的、数量、价格、具体的权利类型(使用权、排他权、转让权、收益权等)明确且没有歧义,这是保证产权可以交易的基本条件。划分方式合理是指产权以合理的方式度量和定义。以发电权为例,优先发电、基数电量、政府授权合同都可以认为是政府给一些发电企业的一种发电权,不同的产权定义方法对市场的交易效率、流动性有很大的影响。例如,发电企业从政府授权合约分配得到的发电权不是电量数值、而是某个系数,如非市场用户总用电量的一个比例,与市场化合约的交易标的物的单位不同,该政府授权合约将无法与市场化合约交易,相当于人为将一个发电市场分割成了两个市场,影响市场的流动性和交易效率。

3) 政府授权合约一旦形成,必须严格执行,遵守

市场的相关规则,不能随意调整。政府可以通过对各种产权(包括量和价)的分配实现不同目标,但分配完成、形成合约后,不应更改,包括不能从一个交易时段滚动到另一个交易时段。电力市场中每个交易时段的电价不同,不同交易时段的电是不同的产品。因此,月度合同可以在一个月内滚动,但不能在月间滚动;现货交易时段为小时或更短,所有合同将电量分解到最小的交易时段,且不能在时段之间滚动。没有完成的交易按照偏差机制处理。

4) 在电力市场设计、规则制定方面,政府应建立能及时发现电力市场规则的漏洞并及时修正的动态完善机制。电力市场没有标准的模式,必须结合具体的市场结构和目标进行设计;电力市场是一个包括多个相互关联的具体规则的复杂体系,必须保证规则之间的一致性;市场规则是一种法律文本,必须保证规则的严谨性、科学性;电力市场面临复杂、多变的内外环境,可再生能源比例增高、能源系统构架变化、能源互联网技术发展等都将导致市场设计的变革。从国际经验看,美国、英国、澳大利亚等国家的电力市场改革已经进行了几十年,但相关机制还在不断改革、完善,以不断优化并适应电力系统转型新要求。中国电力市场改革也不可能一蹴而就,目前规则也并非没有漏洞,关键在于修正机制的效率。

## 4 中国电力市场建设的关键问题讨论

本轮中国电力市场改革自2015年开始,在中长期市场、零售市场、输配电价格监管等方面都取得了很大进展,2020年8个现货市场试点单位也已进行了不同方式的结算试运行,但是电力市场推进仍然面临很多难题,本节对这些涉及技术、经济和政策层面的问题进行分析并提出解决思路。

### 4.1 产品设计、市场体系和市场规则

本方面问题主要在技术层面,包括:①中长期交易产品和交易频次设计,如是否建设周市场、采用价差模式还是绝对价模式;②辅助服务市场设计,包括备用市场、调频市场和中国特有的调峰市场如何设计;③现货市场的交易组织和规则,如日前市场如何报价、出清和结算;④阻塞管理模式,采用事前还是事后的阻塞管理;⑤价格上下限设置、市场力控制、信息披露等监管设计。各国电力市场上述设计在原则上都是类似的,关注市场结构特性,通过比较定量成

本效益选择方案。为解决发电机组的启停和最小出力约束，中国电力市场单独设计了向下调节的调峰辅助服务市场，而欧美市场中没有调峰市场，由分时现货市场出清发挥调峰功能，并设置向下调节能力约束的惩罚因子。

## 4.2 中长期市场与现货市场的衔接

市场主体为了规避现货市场的价格风险，通常在现货市场之前提前签订远期合同以锁定价格。在欧美市场，这种远期合同与现货市场衔接的方式明确、成熟，即在签订时有明确的交割曲线和交割点信息，且与现货市场的交易时段、交割点的定义一致，可进行物理或金融交割。

与上述远期合同不同，目前中国很多地区在没有现货市场之前签订的中长期合同没有交割曲线和交割点等信息，因此面临“中长期市场与现货市场衔接”问题，即这些中长期合同如何进行曲线分解，如何处理未能完全执行的情况，如何分摊或分配这些合同交易在节点定价现货市场中产生的阻塞费或盈余。分3种情况建议如下。

1) 对现货市场以后签订的市场化中长期合同，必须有明确的交割曲线及交割点信息并严格执行，可根据具体市场规则选择物理或金融交割。如果发电和用电不在一个节点，应按现货市场的节点价差缴纳阻塞费。

2) 对现货市场以前签订的市场化中长期合同，应在公平原则下设计过渡方案，尽量在试运行的前一年告知市场主体，并签订有曲线合同。对于未约定曲线合同，由政府或市场运营机构制定尽量公平的分解方案，并以物理或金融方式严格执行，不能在不同交易时段之间滚动。对于采用节点定价的市场，可以免交阻塞费，或者将所有合同的阻塞费在市场主体间平均分配。

3) 对现货市场运行前由政府主导的中长期合同，如优先发电协议、基数发电合同等，可将物理性发电合同转化为金融性政府授权合约，并对其进行曲线分解、确定交割点，签订后不能改变。曲线分解和交割点确定的主要原则是公平、平稳过渡，不造成现货市场运行前后各市场主体利益大的变化，不需要保证一定能物理交割。

## 4.3 省内市场与省间市场的衔接

当前中国现货市场建设是以省级市场为主，在没

有全国统一现货市场的情况下，省内市场如何与跨省、跨区市场衔接，主要面临时序安排、安全约束、输配电价和偏差电量4方面问题。

1) 时序安排。电的物理特性使省内与省间市场无法完全解耦，且耦合受电网潮流约束，因此无法将两个市场简单合并在一起进行出清。两个市场必须按时序依次进行，即一个市场出清时以另一个市场之前的结果作为边界。通常可按如下时序安排：年度省间→年度省内→月度省间→月度省内→日前省间→日前省内→日内省间→日内省内。

2) 安全约束。在省内和省间市场依次出清时，如何评估另一个市场对电网可用容量的影响<sup>[44]</sup>成为关键问题。例如，在组织省内交易时，如何评估省间交易对省内关键线路或断面可用容量的影响；同样，在组织省间交易时，如何评估省内交易对省间关键线路或断面可用容量的影响。本文认为应建立用于跨省跨区交易的统一的网络模型，确定关键输电断面总可用容量及在各个市场可用容量的计算方法；同时，对于省间交易确定上、下网点或在多点间的分布系数。

3) 输配电价。跨省、跨区交易中如何考虑输配电价的影响<sup>[45-46]</sup>是必须研究的问题。中国当前跨省、跨区输电线路分为专项输电工程和公用输电工程，联网功能为主的专项输电工程按单一容量电价收费，其他输电工程电价中多是电量电价，即“一线一价”，且与输电量有关。针对交流联网电力系统在市场出清时的输配电价问题，已有专家学者提出了内嵌输电价格的出清方法<sup>[47]</sup>，其优点是现行输电定价机制衔接，但不足是无法实现区域间资源的最优配置。本文建议改变跨省、跨区输电定价中“一线一价”的方式，与考虑安全约束解决方法一致，建立跨地区统一输电定价模型<sup>[48]</sup>，将跨省、跨区输电成本分摊到各省级电网，采取点费率<sup>[49]</sup>的形式，使收费与具体的跨省跨区输电量无关。

4) 偏差电量。当省间交易因新能源消纳等原因临时改变了交易量和分解曲线时，会造成省内交易量的变化。例如，B省接受A省送电，在A省新能源大发、外送增多的时间段，如果B省电力市场中将A省的外送电作为边界条件，则省内电源的发电量将减少。本文建议所有跨省、跨区交易都应遵循市场原则，因上级调度和交易机构不是市场主体、而是市场主体的代理机构，因此各市场主体可将交易意愿通过预挂牌价格等形式提前告知调度和交易机构，实际市场中满足各方意愿的交易才可以成交，成交后根据事前约定的

价格结算。其中,若因电网安全原因需要对跨省跨区交易进行调整,首先根据是否具有物理输电权及物理输电的优先级进行调度,其次根据各方拥有的物理输电权、金融输电权及调度情况进行结算。具体如何调度和结算没有统一的规范,但应事先约定,并与输电定价机制相适应。例如,如果规定某些市场主体因缴纳了输电费等历史原因拥有物理的输电权,当线路发生阻塞,则不能直接进行裁减,而应通过分别在送、受端购买下调、上调服务来间接实现裁减效果;如果市场主体没有物理输电权,但事先购买或分配了金融输电权,则可以直接对交易进行裁减,但需要对金融输电权所有者支付阻塞盈余收益。

#### 4.4 计划与市场的衔接

目前中国还有部分发电、用电仍按照政府核定的价格结算、未进入市场,因此必须考虑计划如何与市场衔接问题:①如何解决计划发电(包括优先发电和基数发电)与非市场用电总量不匹配的问题;②如何解决计划发、用电造成的资金不平衡问题。上述问题随着发用电计划的逐渐放开越来越突出,在2020年现货市场结算试运行中,广东电力市场部分时段的计划发电量(基数电量)为负,山东电力市场产生了大量的不平衡资金。

当前解决计划发电与非市场用电不匹配的一种主流解决思路是“计划与市场解耦”<sup>[50-51]</sup>,即让计划发电量与计划用电量、市场发电量与市场用电量各自匹配,费用分别结算。电网承担因计划电的发电上网电价和用户目录电价不一致造成的不平衡费用,市场主体承担市场电的发电上网电价和用户购电价不一致造成的不平衡费用。由于政府核定输配电价时,一般会考虑未进入市场的发电和用户的价格情况,因此在计划发用电量、发用电结构基本没有变化时,可以保证电网获得比较固定的输配电费,其中发用电结构指不同上网电价的机组、不同目录电价的用户的构成情况。但当计划发用电量和结构发生较大变化,将造成电网收益不稳定。某些省份由于一些特殊原因,计划发电量占比较高,但大量用户进入市场,计划用电量占比非常低,用上述“计划与市场解耦”思路无法解决问题。

在计划电和市场电并存的情况下,资金不平衡本质上是由计划发用电价与市场化电价之间的差异造成的,无论计划发、用电量是否平衡,资金都有可能不平衡,因此不必通过采用事后调整计划发电数值的方

法使计划发、用电量匹配。计划发用电是一种政府行为,电网对其结算是执行政府政策,因此相关的资金不平衡问题应该通过政府性的基金、税收等方式解决。如果将不平衡资金的解决方案限于电力系统内部,则可以通过输配电价解决。输配电定价监管周期内,一般不更改定价机制,但价格水平可以按照规定的方式定期进行核算。

另外,现货市场下的计划发用电还存在阻塞费结算的问题。在采用节点定价的现货市场中,计划发用电的上网点和下网点如果不完全相同,应按双边合同缴纳阻塞费。实际市场设计中,可以认为计划电是现货市场以前的用户,电费中已包含输配电费,可以不用额外缴纳阻塞费,但这可能会造成市场化的总阻塞盈余为负,所以市场规则中应事先规定相关不平衡资金的分摊方法。

#### 4.5 政策性目标与市场目标的协调

电力是关系国计民生的行业,电力市场必然受到政府政策的影响。在电力市场建设/市场机制设计中,政策性目标与市场目标如何协调是多方关注焦点。

例如,在当前经济环境下,政府出台了针对一些具体行业降低电价的要求,这与价格反映电能真实价值的电力市场原则不一致。同时,在现货市场电价随市场波动,必然会出现一些时段电价上涨,无法满足降价要求。

考虑到降价政策只是一种短期的、临时性目标政策,关注的核心仍应是用户的总成本,可采用如下思路实现两者的协调。

现货市场的价格应尽量准确反映实时供需的情况,引导优化的电力生产和消费。

政府的降价目标具体可以通过输配电价调整和政府授权合约两种方式实现。前者直接降低输配电价、即降低输配电企业的利润率;后者降低政府与发电企业金融性授权合约中的价格、即降低发电企业的利润率,根据以前的计划电量及控制市场力等目标确定数量,根据政府降价要求在核定上网电价的基础上再降低一定幅度。

根据科斯定理,如允许发电企业自由转让政府授权合约,应可实现发电资源的最优配置,可认为现货市场是实时的发电权转让交易。

从长期来看,输配电价和政府授权合约价格的调整会影响电网、电源的投资,因此政府降电价政策不应是一个长期的政策,在相关经济环境改善后应尽快



减少直接干涉价格的政策。

#### 4.6 不同类型机组的同台竞价

不同类型的市场参与者在同一市场中同台竞价是市场的基本原理,而造成当前电力市场中所谓的“不同类型机组同台竞价”问题的原因是:①市场设计不完整、不完善,市场价格不能反映市场主体全部的价值,例如机组的快速调节价值、备用价值等;②不同历史阶段投运的机组有不同的上网电价,有些机组已经将大部分容量成本回收,而有些尚有大量容量成本尚未回收,这些不同的机组如何公平参与市场<sup>[23]</sup>;③部分机组承担了一些社会责任,如供热、能源安全、环保等,造成发电成本较高,如何使其公平参与市场。

目前的解决方法主要包括建立容量补偿机制、进行电量补贴、政府授权合约,实际市场中也可将多种方法组合。本文认为,应该区分原因、采用不同的方法解决,但基本原则是不能影响电力市场发挥资源优化配置作用<sup>[50]</sup>。其中,如果采用基于电量的补贴方式,需要评估其对市场主体的报价策略、市场出清及市场效率的影响。

### 5 结语

中国本轮电力市场的建设取得了很大的成效,但深化改革也面临很多难题,实践中倾向于采用可以快速解决近期难题的实用方法,但这些方法往往会牺牲市场效率。如果这些临时性、过渡性的解决方案造成发电调度经济性恶化、发电成本升高等极端情况,使改革后的总福利减少,就可能成为市场改革失败的导火索。

本文从电力市场的目标 and 市场结构出发,结合中国当前电力市场建设现状对电力市场设计中的产品设计、交易组织、定价机制、政府管制等内容和设计要点进行了系统的讨论,旨在从经济学层面对相关问题进行分析、探索,剖析出现各问题的本质原因,提出从根本上解决问题的思路和方法。

电力市场设计不是纯粹的技术问题,没有统一的、标准的答案,最优方法与预期目标、市场结构等有很大关系。电力市场需要顶层设计,不同地区可以有不同设计,关键是市场中的不同环节要相互协调、一致,应考虑系统的博弈性、动态性,考虑短期的、局部的路径目标对长期的、整体的终极目标的影响。

希望本文的讨论可以对各地区的电力市场设计起到参考作用,促进电气、经济多学科学者的沟通、交流。

### 参考文献

- [1] 李道强, 乔松博, 庄晓丹, 等. 顺价模式下浙江售电市场关键问题研究[J]. 电网技术, 2020, 44(8): 2830-2836.  
LI Daoqiang, QIAO Songbo, ZHUANG Xiaodan, et al. Key problems of Zhejiang provincial electricity market with sequential-pricing mechanism[J]. Power System Technology, 2020, 44(8): 2830-2836(in Chinese).
- [2] 黄李明, 杨素, 屠俊明, 等. 增量配电业务改革试点关键问题[J]. 中国电力, 2017, 50(7): 1-4.  
HUANG Liming, YANG Su, TU Junming, et al. Key issues for pilot reform of incremental distribution network business[J]. Electric Power, 2017, 50(7): 1-4(in Chinese).
- [3] 张粒子, 叶红豆, 陈逍潇. 基于峰荷责任的输配电价定价方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(14): 92-98.  
ZHANG Lizi, YE Hongdou, CHEN Xiaoxiao. Transmission and distribution pricing method based on peak-load pricing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(14): 92-98(in Chinese).
- [4] 张馨瑜, 陈启鑫, 葛睿, 等. 考虑灵活块交易的电力现货市场出清模型[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(24): 35-41.  
ZHANG Xinyu, CHEN Qixin, GE Rui, et al. Clearing model of electricity spot market considering flexible block orders[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24): 35-41(in Chinese).
- [5] SCHIRO D A, ZHENG T X, ZHAO F, et al. Convex hull pricing in electricity markets: formulation, analysis, and implementation challenges[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2016, 31(5): 4068-4075.
- [6] 郑亚先, 程海花, 杨争林, 等. 计及清洁能源的跨省交易路径优化建模与算法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(24): 112-119.  
ZHENG Yaxian, CHENG Haihua, YANG Zhenglin, et al. Path-optimized modeling and algorithm for trans-regional and trans-provincial electricity trading considering clean energy[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24): 112-119(in Chinese).
- [7] 胡朝阳, 毕晓亮, 王珂, 等. 促进负备用跨省调剂的华东电力调峰辅助服务市场设计[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(5): 175-182.  
HU Zhaoyang, BI Xiaoliang, WANG Ke, et al. Design of peak regulation auxiliary service market for East China power grid to promote inter-provincial sharing of negative reserve[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(5): 175-182(in Chinese).
- [8] 窦春霞, 贾星蓓, 李恒. 基于多智能体的微电网中分布式发电的市场博弈竞标发电[J]. 电网技术, 2016, 40(2): 579-



- 586.
- DOU Chunxia, JIA Xingbei, LI Heng. Multi-agent-system-based market bidding strategy for distributed generation in microgrid[J]. *Power System Technology*, 2016, 40(2): 579-586(in Chinese).
- [9] 单兰晴, 孔王维, 顾承红, 等. 配电系统运营商在配网电力市场发展进程中的角色与功能演化初探[J]. *全球能源互联网*, 2020, 3(1): 70-78.
- SHAN Lanqing, KONG Wangwei, GU Chenghong, et al. Roles and functions of distribution system operators in local electricity market development[J]. *Journal of Global Energy Interconnection*, 2020, 3(1): 70-78(in Chinese).
- [10] 王彩霞, 雷雪姣, 刘力华, 等. 市场过渡期促进中国新能源消纳的短期交易机制设计[J]. *全球能源互联网*, 2018, 1(5): 565-573.
- WANG Caixia, LEI Xuejiao, LIU Lihua, et al. Design of Short-term Renewable Energy Integration Mechanism in the Electricity Market Transition Period[J]. *Journal of Global Energy Interconnection*, 2018, 1(5): 565-573(in Chinese).
- [11] 丁一, 谢开, 庞博, 等. 中国特色、全国统一的电力市场关键问题研究(1): 国外市场启示、比对与建议[J]. *电网技术*, 2020, 44(7): 2401-2410.
- DING Yi, XIE Kai, PANG Bo, et al. Key issues of national unified electricity market with Chinese characteristics(1): enlightenment, comparison and suggestions from foreign countries[J]. *Power System Technology*, 2020, 44(7): 2401-2410(in Chinese).
- [12] 张显, 史连军. 中国电力市场未来研究方向及关键技术[J]. *电力系统自动化*, 2020, 44(16): 1-11.
- ZHANG Xian, SHI Lianjun. Future research areas and key technologies of electricity market in China[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2020, 44(16): 1-11(in Chinese).
- [13] STOFT S. *Power System Economics: Designing Markets for Electricity*[M]. Wiley-IEEE Press, 2002.
- [14] IMRAN K, KOCKAR I. A technical comparison of wholesale electricity markets in North America and Europe[J]. *Electric Power Systems Research*, 2014, 108(3): 59-67.
- [15] VAN DER VEEN R A C, HAKVOORT R A. The electricity balancing market: Exploring the design challenge[J]. *Utilities Policy*, 2016, 43: 186-194.
- [16] BATLLE C, PÉREZ-ARRIAGA I J. Design criteria for implementing a capacity mechanism in deregulated electricity markets[J]. *Utilities Policy*, 2008, 16(3): 184-193.
- [17] KIRSCHEN D, STRBAC G. *Fundamentals of power system economics*[M]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [18] 朱治中, 于尔铿, 刘亚芳, 等. 电力市场的效率问题[J]. *电力系统自动化*, 2005, 29(13): 1-4.
- ZHU Zhizhong, YU Erkeng, LIU Yafang, et al. Efficiency of electricity market[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2005, 29(13): 1-4(in Chinese).
- [19] CRAMTON P. Electricity market design[J]. *Oxford Review of Economic Policy*, 2017, 33(4): 589-612.
- [20] 金乐琴. 能源结构转型的目标与路径: 美国、德国的比较及启示[J]. *经济问题探索*, 2016(2): 166-172.
- [21] MÄNTYSAARI P. *EU electricity trade law*[M]. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- [22] 郑新业. 突破“不可能三角”: 中国能源革命的缘起、目标与实现路径[M]. 科学出版社, 2016.
- [23] 詹姆斯·E.米德. 效率、平等和财产所有权[M]. 沈国华, 译. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [24] 舒畅, 钟海旺, 夏清, 等. 约束条件弹性化的月度电力市场机制设计[J]. *中国电机工程学报*, 2016, 36(3): 587-595.
- SHU Chang, ZHONG Haiwang, XIA Qing, et al. Monthly electricity market design based on constraint relaxation[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2016, 36(3): 587-595(in Chinese).
- [25] AL-ABDULLAH Y M, SALLOUM A, HEDMAN K W, et al. Analyzing the impacts of constraint relaxation practices in electric energy markets[J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2016, 31(4): 2566-2577.
- [26] Flamm A, Scott D. Electricity Balancing Significant Code Review—Final Policy Decision[J/OL]. Office of Gas and Electricity Markets (Ofgem), 2014.
- [27] 刘广一, 陈乃仕, 蒲天骄, 等. 电能调频和运行备用同时优化的数学模型与结算价格分析[J]. *电力系统自动化*, 2014, 38(13): 71-78.
- LIU Guangyi, CHEN Naishi, PU Tianjiao, et al. Mathematical model and clearing price analysis of Co-optimization of energy regulation and operating reserves[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2014, 38(13): 71-78(in Chinese).
- [28] 让·梯若尔. 产业组织理论[M]. 张维迎, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2015.
- [29] WOO C K, LLOYD D, TISHLER A. Electricity market reform failures: UK, Norway, Alberta and California[J]. *Energy Policy*, 2003, 31(11): 1103-1115.
- [30] Gribik P R, Hogan W W, Pope S L. Market-clearing electricity prices and energy uplift[EB/OL]. (2007) [2018-07-10]. [https://sites.hks.harvard.edu/fs/whogan/Gribik\\_Hogan\\_Pope\\_Price\\_Uplift\\_123107.pdf](https://sites.hks.harvard.edu/fs/whogan/Gribik_Hogan_Pope_Price_Uplift_123107.pdf).
- [31] 陈玮, 荆朝霞, 丁军策, 等. 电力市场中能量定价和输配电定价之间的协调[J]. *中国科技纵横*, 2019, (3): 164-166.
- [32] WOO C K, LLOYD D, KARIMOV R, et al. Stranded cost recovery in electricity market reforms in the US[J]. *Energy*, 2003, 28(1): 1-14.
- [33] 夏清, 陈启鑫, 谢开, 等. 中国特色、全国统一的电力市场关键问题研究(2): 我国跨区跨省电力交易市场的发展途径、交易品种与政策建议[J]. *电网技术*, 2020, 44(8): 2801-2808.
- XIA Qing, CHEN Qixin, XIE Kai, et al. Key issues of national unified electricity market with Chinese characteristics(2): development path, trading varieties and policy recommendations for inter-regional and inter-provincial

- electricity markets[J]. Power System Technology, 2020, 44(8): 2801-2808(in Chinese).
- [34] 苏素. 产品定价的理论与方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2001.
- [35] 詹姆斯·A·莫里斯. 福利、政府激励与税收[M]. 王俊, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2013: 118-130.
- [36] 陈中飞. 考虑输电权的输电定价机制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [37] 房欣欣, 杨知方, 余娟, 等. 节点电价的理论剖析与拓展[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(2): 379-390.
- FANG Xinxin, YANG Zhifang, YU Juan, et al. Theoretical analysis and extension of locational marginal price[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(2): 379-390(in Chinese).
- [38] COASE R H. The problem of social cost[J]. The Journal of Law and Economics, 1960, 3: 1-44.
- [39] FRISCHMANN B M, MARCIANO A. UnderstandingThe problem of social cost[J]. Journal of Institutional Economics, 2015, 11(2): 329-352.
- [40] 陈青, 杨骏伟, 黄远明, 等. 国外电力市场中市场力监测与缓解机制综述[J]. 南方电网技术, 2018, 12(12): 9-15.
- CHEN Qing, YANG Junwei, HUANG Yuanming, et al. Review on market power monitoring and mitigation mechanisms in foreign electricity markets[J]. Southern Power System Technology, 2018, 12(12): 9-15(in Chinese).
- [41] 喻芸, 荆朝霞, 陈雨果, 等. 电力市场环境典型发电容量充裕性机制及对我国的启示[J]. 电网技术, 2019, 43(8): 2734-2742.
- YU Yun, JING (ChaoZhao)(Xia), CHEN Yuguo, et al. Typical generation resource adequacy mechanism in electricity market and enlightenment to China[J]. Power System Technology, 2019, 43(8): 2734-2742(in Chinese).
- [42] 张维迎, 林毅夫. 政府的边界[M]. 北京: 民主与建设出版社, 2017.
- [43] 骆子雅, 季天瑶, 荆朝霞, 等. 电力差价合约机制设计与应用[J]. 电网技术, 2019, 43(8): 2743-2751.
- LUO Ziya, JI Tianyao, JING (ChaoZhao)(Xia), et al. Design and application of contract for difference in electricity market[J]. Power System Technology, 2019, 43(8): 2743-2751(in Chinese).
- [44] 曾丹, 杨争林, 冯树海, 等. 交直流混联电网下基于 ATC 的省间交易优化出清建模[J/OL]. 电网技术. <https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2020.0111>
- [45] 张森林, 孙延明. 南方电网西电东送两部制输电定价机制探讨[J]. 电力与能源, 2014, 35(3): 233-236.
- ZHANG Senlin, SUN Yanming. To investigate the two-part tariff modes of power transmission from west to east in CSG[J]. Power & Energy, 2014, 35(3): 233-236(in Chinese).
- [46] 丛野, 张粒子, 陶文斌. 计及电力现货市场竞争效率的输电定价机制量化评价方法[J/OL]. 中国电机工程学报. <https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.191549>.
- [47] 彭超逸, 顾慧杰, 朱文, 等. 交直流混联区域电网现货市场出清模型研究[J]. 电网技术, 2020, 44(1): 323-331.
- PENG Chaoyi, GU Huijie, ZHU Wen, et al. Study on spot market clearing model of regional power grid considering AC/DC hybrid connection[J]. Power System Technology, 2020, 44(1): 323-331(in Chinese).
- [48] 黄海涛, 杨冬, 贺敏. 计及可靠性的跨地区交易统一输电定价模型[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(17): 51-59.
- HUANG Haitao, YANG Dong, HE Min. Unified transmission pricing model for cross-regional electricity trading considering reliability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(17): 51-59(in Chinese).
- [49] 陈政, 冷媛, 辜炜德, 等. 基于点费率的跨省区输电定价机制[J]. 中国电力, 2020, 53 (9): 81-89.
- CHEN Zheng, LENG Yuan, GU Weide, et al. Trans-provincial transmission pricing mechanism based on point rate[J]. Electric Power, 2020, 53(9): 81-89.(in Chinese).
- [50] 郑新业. 现代能源经济体系建设: 体制改革与政策组合[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [51] 赵珍玉, 辜唯朕, 陈雨果, 等. 双轨制下的电力市场不平衡资金分析[J]. 中国电力, 2020, 53 (9): 47-54.
- ZHAO Zhenyu, GU Weizhen, CHEN Yuguo, et al. Unbalanced funds analysis under the background of coexistence of planning and market[J]. Electric Power, 2020, 53(9): 47-54(in Chinese).

收稿日期: 2020-08-16; 修回日期: 2020-09-01。



肖谦

#### 作者简介:

肖谦 (1974), 男, 硕士, 研究方向为能源经济、电力风险管理、管理决策。

喻芸 (1995), 女, 硕士, 研究方向为电力市场。

荆朝霞 (1975), 女, 教授, 博导, 研究方向为电力市场、综合能源、电力系统规划运行。通信作者, E-mail: zxjing@scut.edu.cn。

(责任编辑 张鹏)