



# 适应中国电力市场改革现状的输电权分配机制

甘子莘, 荆朝霞, 谢文锦, 刘煜, 潘湛华

(华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510641)

**摘 要:** 针对现货市场改革后不同发电主体之间利益分配变化较大的问题, 提出了一种实用的市场过渡方案。首先, 介绍中国中长期交易市场和现货市场的基本情况, 分析现货市场运行后可能存在的问题; 然后, 从福利分配和产权公平的角度, 提出通过分配金融输电权 (financial transmission right, FTR) 解决现有问题的市场改革过渡方案。该方案考虑现货市场改革前后输电权的所有关系, 根据输电权的基本理论, 将部分输电权分配给发电企业的输电权机制。通过 IEEE 14 节点算例对该方法有效性的验证表明, 该种机制可以在不影响市场效率的情况下缩小现货市场后不同发电企业之间的利益变化, 有利于市场的平稳过渡。

**关键词:** 金融输电权; 现货市场; 产权公平; 福利分配

**DOI:** 10.11930/j.issn.1004-9649.202003122

## 0 引言

自 2015 年电改 9 号文发布以来, 中国电力市场改革在中长期市场建设、售电市场建设、增量配网改革等多个领域取得了进展, 用户终端电价下降, 社会获得了巨大的红利。目前电力市场改革已经进入深水区: 一方面, 改革从中长期市场建设推进到现货市场建设; 另一方面, 改革的关注点逐渐从市场机制的建立到体制的改革以及市场效率的提高<sup>[1]</sup>。

电力市场改革的目标包括效率和公平两大方面。效率是指在有限的资源、技术和经济等约束情况下, 提高电力系统资源的配置效率, 最大限度满足电力用户的需求, 实现社会总福利的最大化; 公平是指社会总福利在不同市场参与者之间合理分配, 包括不同区域、不同环节 (发、输、配、售)、不同类型 (如火电与水电) 的市场参与者之间的分配。改革前后不同市场参与者福利变化过大, 常常是制约改革的重要因素。因此, 在电力市场改革的过程中应尽量避免改革后, 特别在改革初期不同市场参与者在福利分配上发生太大的变化<sup>[2]</sup>。

目前, 中国已有多个省份逐渐开展了现货电

能量市场改革, 通过市场竞争方式确定下一出清时段各发电机组的中标电量及价格。在现货市场机制下, 发电侧按所在节点的电价结算, 不同位置的发电机组将面临不同的价格; 市场按时段出清, 在满足机组运行约束、电网安全等约束下, 以社会福利最大化为优化目标确定机组出力曲线。交易需要在每个时段平衡, 不同位置的机组能够获得的市场电量受到电网阻塞的影响。出清电价和出清电量的变化将直接导致不同位置的机组发电利润产生很大变化。然而中国的发电企业投资时大都经过了国家的审批, 部分发电企业还承担了许多社会责任, 在计划发电的机制下能够保证不同位置的电厂的利润, 但市场改革后发电企业的全部电量通过市场竞价, 某些电厂因较高的历史成本无法通过电力市场的统一价格得到回收, 形成搁浅成本 (stranded cost), 使投资者的利益无法得到保证, 导致改革过程中出现了一定程度上的公平问题, 市场福利分配并不完全合理。因此, 需要研究制定一套合理的过渡方案, 保证改革的平稳推进。

解决福利分配的一种常用手段是产权的初始分配。电力市场中的发电权和输电权都是用来调整不同市场主体利益的工具。市场改革的本质是改革前后不同市场主体的责、权、利发生了变化。从权利的角度, 不同位置发电企业利润的变

收稿日期: 2020-03-18; 修回日期: 2021-02-07。



化本质上是因为现货市场改革使其发电权和输电权发生了变化。发电权的变化体现在由节能发电调度的计划安排方式转变为通过市场竞争获得的方式。输电权的变化体现在：在市场改革前，不同位置的发电企业的月度发电量计划基本能够保障，受到电网阻塞的影响较小。不同位置的发电企业的输电权大致相同。实施节点电价为基础的现货市场后，发电量受电网阻塞的影响较大，不同位置的发电企业的输电权会有较大不同。

输电权按权利类型可分为物理输电权和金融输电权<sup>[3]</sup>，目前大多数市场中的输电权均为金融输电权，本文后续提到的输电权也均指金融输电权<sup>[4]</sup>。金融输电权的基本定义是：赋予其持有者获得输电服务送达节点和注入节点间节点电价差对应的财务收益的权利<sup>[5-8]</sup>，从不同的角度可分为点到点输电权/基于关键支路的输电权、期权型输电权/责任型输电权等<sup>[9-10]</sup>。

目前关于金融输电权的研究主要集中在机制评估和实际应用效果方面。文献<sup>[9]</sup>介绍了点到点金融输电权和基于关键支路输电权的基本设计理论和拍卖交易机制，但对输电权的分配机制没有过多介绍。文献<sup>[10]</sup>对输电权的收益充裕度问题进行了深入研究，其主要观点是输电权的分配结果需要满足系统的同时可行性测试。文献<sup>[11-12]</sup>对输电权的发展历史进行了综述，对输电权的分配机制、交易机制、同时可行性测试、输电投资的影响等各个方面进行了评估，总结了直接分配和引入拍卖收益权这2种输电权的分配方式，提出引入拍卖收益权进行输电权的分配，有助于更好地管理金融输电权的同时可行性。文献<sup>[13-15]</sup>从输电阻塞管理的角度，对金融性输电权和物理性输电权进行了比较。文献<sup>[16]</sup>对输电权市场力的问题进行了讨论。实际应用方面，文献<sup>[17-18]</sup>对加州和PJM的输电权机制进行了介绍。文献<sup>[19-20]</sup>针对第一轮改革时华东电力市场的建设现状提出了未来华东电力市场发展金融输电权的设计方案，但主要是为了解决阻塞管理和风险规避的问题。上述文献对输电权的种类和分配机制、交易机制等进行了分析研究，但并没有结合中国电力市场的现状设计输电权的分配机制，以更好地兼顾市场改革过程中的效率和公平。

输电权作为一种财产权，其分配的基础是对

电网使用权利的定义<sup>[21]</sup>。美国电力市场中一般由用户缴纳输电费，因此将全部或大部分输电权分配给缴纳了输电费的输电用户（包括点到点用户和网络用户）<sup>[18,22]</sup>。从电网使用权利的角度，实施节点电价为基础的现货市场后，不同位置的发电企业的输电权利将会有较大不同。这种变化将带来一些社会问题。因此，在过渡期间，为了市场改革的平稳过渡，电网使用权利可以定义给发电侧。从阻塞风险的角度，目前中国大部分电力市场用户采用全省统一的结算参考点的电价结算；发电按照所在节点的电价结算，阻塞盈余分摊给所有用户，阻塞风险由发电侧承担<sup>[23-24]</sup>。为了解决发电侧阻塞风险的问题，可以将输电权分配给发电侧。

综合上述分析，本文提出一种将部分输电权分配给发电企业的机制，着眼于解决中国电力现货市场改革后不同发电主体之间利益分配变化较大的问题，并通过算例进行分析讨论。

## 1 中国电力现货市场改革概况及存在的问题

为了推进电力市场化改革进程，中国选择了8个地区作为第一批电力现货市场建设试点。目前，各试点地区都在稳步推进现货市场建设，发布了现货市场规则的征求意见稿，部分地区启动了试结算运行。试点地区现货市场采用节点电价机制，通过安全约束机组组合（SCUS）和安全约束经济调度（SCED）确定开机组合和分时出力曲线；用户按统一结算点电价结算，发电按所在节点电价结算。在市场初期，各试点地区对金融输电权的规定和研究较少，并未给出一个明确合理的输电权分配方式。

各试点地区初期现货市场的规则可以从多方面完善。本文主要从改革前后不同市场主体价格、利润的变化以及市场风险的角度分析现在市场规则下存在的问题以及进一步完善之处。

（1）发电侧的现货市场节点价格的波动风险无法完全规避。以广东为例，在广东电力市场规则中，中长期差价合约的基准价格为全网的统一参考节点的价格 $P_{av}$ 。结算公式为



$$M_g = P_m Q_m + Q_c (P_c - P_{av}) = P_c Q_c + P_m (Q_m - Q_c) + Q_c (P_m - P_{av}) \quad (1)$$

式中： $M_g$ 为发电企业中长期合约和现货市场收入； $P_m$ 、 $Q_m$ 分别为发电机所在节点日前市场出清电价、出清量； $Q_c$ 为中长期合约量； $P_c$ 为中长期合约价； $P_{av}$ 为日前市场统一结算点电价。

当 $Q_c = Q_m$ 时，式（1）为

$$M_g = P_c Q_c + Q_c (P_m - P_{av}) \quad (2)$$

从式（2）看出，系统没有阻塞，即 $P_m = P_{av}$ 时，发电商的收入是确定的，但当 $P_m \neq P_{av}$ 时，就增加了式（2）中第2项的部分收益。当 $P_m < P_{av}$ 时，该项为负，即发电商面临收益减少的风险。也就是说，由于中长期差价的基准价格不是电厂现货市场的上网电价，当系统发生阻塞时，电厂即使签订了差价合约，仍然无法将价格波动的风险完全规避。当所在节点的价格低于系统参考点的价格时，将面临收益减少的风险。

（2）市场改革前后发电侧的福利分配会发生较大的变化，不利于市场的平稳过渡。现货市场后，导致不同发电主体之间福利分配的变化原因有：①电量的影响。由于电网阻塞一般不会一直发生，现货市场前企业成交的月度电量可以在一个月进行调整，受网络约束影响不大。现货市场后，市场按时段出清，一些时段必然会发生阻塞，造成不同发电企业出力水平及收益的变化。②节点电价的影响。广东现货市场对发电侧采用节点电价机制，不同位置的电厂在现货市场中的结算价格不同。即使发电机组的月度总发电量相同，不同位置的机组的收益也会有较大的差别。

## 2 输电权分配机制设计

### 2.1 输电权分配模型

本文提出的输电权分配机制主要是从公平的角度解决现货市场后造成的不同发电企业之间福利变化过大的问题。输电权分配的原则是在不降低市场总体效率的前提下使改革前后总福利在不同市场主体之间（本文中即为发电企业）的分配变化尽量小。结合本文的问题，分别用总发电成本 and 不同发电企业改革前后利润变化的标准差来评估。

输电权的分配不会影响现货市场的出清结果，因此对市场的效率不会产生影响。基于此，本文提出输电权的分配模型以发电企业的利润变化的标准差最小为目标，即有

$$\min \sigma = \min \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta R_{i,t} - \Delta \bar{R}_t)^2} \quad (3)$$

式中： $\sigma$ 为利润变化标准差； $n$ 为机组总数； $\Delta R_{i,t}$ 为机组 $i$ 改革后的利润变化； $\Delta \bar{R}_t$ 为所有机组利润变化的平均值。

输电权分为责任型输电权和期权型输电权。当期权型输电权与阻塞潮流反方向时，输电权目标收益为0。

对责任型输电权有

$$\Delta R_{i,t} = R_{i,t}^r + F_{i,t} (\bar{J}_t - J_{i,t}) - R_{i,t}^m \quad (4)$$

对期权型输电权有

$$\Delta R_{i,t} = R_{i,t}^r + \max \{ F_{i,t} (\bar{J}_t - J_{i,t}), 0 \} - R_{i,t}^m \quad (5)$$

式中： $R_{i,t}^r$ 为机组 $i$ 在时段 $t$ 的现货市场收益； $\bar{J}_t$ 为时段 $t$ 的用户侧统一结算点电价； $J_{i,t}$ 为机组 $i$ 所在节点的时段 $t$ 的节点电价； $R_{i,t}^m$ 为采取计划发电模式（节能发电调度）下机组 $i$ 在时段 $t$ 的收益； $F_{i,t}$ 为机组 $i$ 在时段 $t$ 分配的输电权数量。

考虑模型求解的简便，可以将模型目标由标准差最小转换为机组利益变化绝对值最小。

对责任型输电权有

$$\min \Delta R_t = \min \sum_{i=1}^N |R_{i,t}^r + F_{i,t} (J_{i,t} - \bar{J}_t) - R_{i,t}^m| \quad (6)$$

对期权型输电权有

$$\min \Delta R_t = \min \sum_{i=1}^N |R_{i,t}^r + \max \{ F_{i,t} (\bar{J}_t - J_{i,t}), 0 \} - R_{i,t}^m| \quad (7)$$

需要考虑的约束条件如下。

（1）同时可行性测试。同时可行性测试是为了确保输电权的分配量不超过输电系统的容量约束，采用直流潮流模型计算。具体过程为：将分配给发电机组的输电权模拟成注入节点的发电机，功率大小为分配的输电权数量；将所有输电权分配的总量按照各负荷节点的负荷大小按比例再分配到各个节点。

机组出力约束条件描述为





$$P_{i,t}^{\min} \leq F_{i,t} \leq P_{i,t}^{\max} \quad (8)$$

式中： $P_{i,t}^{\max}$ 、 $P_{i,t}^{\min}$ 分别为机组出力上、下限。

线路潮流约束描述为

$$-P_l^{\max} \leq \sum_{i=1}^N G_{l-i} F_{i,t} - \sum_{k=1}^K G_{l-k} D_{k,t} \leq P_l^{\max} \quad (9)$$

式中： $P_l^{\max}$ 为线路 $l$ 的潮流传输极限； $G_{l-i}$ 为机组 $i$ 所在节点对线路 $l$ 的发电机输出功率转移分布因子； $N$ 为机组总数量； $G_{l-k}$ 为节点 $k$ 对线路 $l$ 的发电机输出功率转移分布因子； $D_{k,t}$ 为节点 $k$ 在时段 $t$ 分配到的母线负荷值； $K$ 为系统的节点数量。

(2) 收益充裕性约束。为了避免阻塞盈余和输电权收益不匹配导致的资金不平衡问题，增加收益充裕性约束。

对责任型输电权有

$$\sum_{i=1}^N F_{i,t} (\bar{J}_t - J_{i,t}) \leq M_t \quad (10)$$

对期权型输电权有

$$\sum_{i=1}^N \max \{ F_{i,t} (\bar{J}_t - J_{i,t}), 0 \} \leq M_t \quad (11)$$

式中： $M_t$ 为时段 $t$ 的阻塞盈余。

## 2.2 输电权分配模型求解

(1) 计算现货市场模式和计划发电模式下的机组收益以及现货市场的阻塞盈余。本文提出的输电权分配模型以机组发电收益变化最小为目标进行分配，首先根据市场出清和结算规则计算现货市场模式下的机组收益 $R_{i,t}^r$ 和计划模式下的机组收益 $R_{i,t}^m$ ，即有

$$R_{i,t}^r = Q_{i,t}^r (J_{i,t} - C_{i,t}) \quad (12)$$

$$R_{i,t}^m = Q_{i,t}^m (J_{i,t}^m - C_{i,t}) \quad (13)$$

式中： $Q_{i,t}^r$ 和 $Q_{i,t}^m$ 分别为现货市场模式下和改革前计划模式下机组 $i$ 在时段 $t$ 的发电量； $J_{i,t}$ 和 $J_{i,t}^m$ 分别为现货市场模式（日前市场出清价）下和计划模式下机组 $i$ 在时段 $t$ 的结算价格； $C_{i,t}$ 为机组 $i$ 的平均发电成本。

阻塞盈余计算公式为

$$M_t = L_t \bar{J}_t - \sum_{i=1}^N Q_{i,t}^r J_{i,t} \quad (14)$$

式中： $L_t$ 为时段 $t$ 的总用电量。

(2) 计算节点对线路的发电分布转移因子。

节点 $i$ 对线路 $l$ 的发电分布转移因子是指在节点 $i$ 增加单位发电功率，平衡节点增加单位负荷功率时，线路 $l$ 发生的潮流变化，采用直流潮流模型计算。

(3) 分配模型求解。输电权分配模型的目标是包含绝对值的线性函数。模型求解是一个含绝对值的线性规划问题。为了求解方便，将含绝对值的目标函数转换为一般的不含绝对值的线性函数，使模型成为一般的线性规划问题，再采用一般的线性规划方法求解。具体转换过程如下。

数学上，对任意的 $x$ ，存在 $u, v > 0$ ，满足 $x = u - v$ ； $|x| = u + v$ ，令：

$$\begin{cases} R_{i,t}^r + F_{i,t} (\bar{J}_t - J_{i,t}) - R_{i,t}^m = u_{i,t} + v_{i,t} \\ R_{i,t}^r + F_{i,t} (\bar{J}_t - J_{i,t}) - R_{i,t}^m = u_{i,t} - v_{i,t} \end{cases} \quad (15)$$

求解上述方程组，得

$$F_{i,t} = \frac{u_i - v_i + R_{i,t}^m - R_{i,t}^r}{(\bar{J}_t - J_{i,t})} = \frac{1}{(\bar{J}_t - J_{i,t})} u_i - \frac{1}{(\bar{J}_t - J_{i,t})} v_i + \frac{R_{i,t}^m - R_{i,t}^r}{(\bar{J}_t - J_{i,t})}$$

为了简化模型，记 $a_{i,t} = \frac{1}{(\bar{J}_t - J_{i,t})}$ ，将式(15)

代入原模型中，得

$$\min \Delta R_t = \min \sum_{i=1}^N (u_{i,t} + v_{i,t}) \quad (16)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} P_{i,t}^{\min} \leq a_{i,t} (u_{i,t} - v_{i,t} + R_{i,t}^m - R_{i,t}^r) \leq P_{i,t}^{\max} \\ -P_l^{\max} \leq \sum_{i=1}^N a_{i,t} G_{l-i} (u_{i,t} - v_{i,t} + R_{i,t}^m - R_{i,t}^r) - \\ \sum_{k=1}^K G_{l-k} D_{k,t} \leq P_l^{\max} \\ \sum_{i=1}^N (u_{i,t} - v_{i,t} + R_{i,t}^m - R_{i,t}^r) \leq M_t \\ u_{i,t}, v_{i,t} \geq 0 \end{cases} \quad (17)$$

在输电权的时段划分上，输电权的分配时段可以和市场出清时段不同。为了简化相关机制，市场初期可以将多个出清时段进行合并，以多个时段发电量的平均值来进行输电权的分配。期权型输电权分配模型求解过程类似，本文不再赘述。

## 3 算例分析

为了评估输电权机制的有效性，采用标准

IEEE 14 节点算例进行分析, 其结构如图 1 所示, 系统负荷曲线设置如图 2 所示。

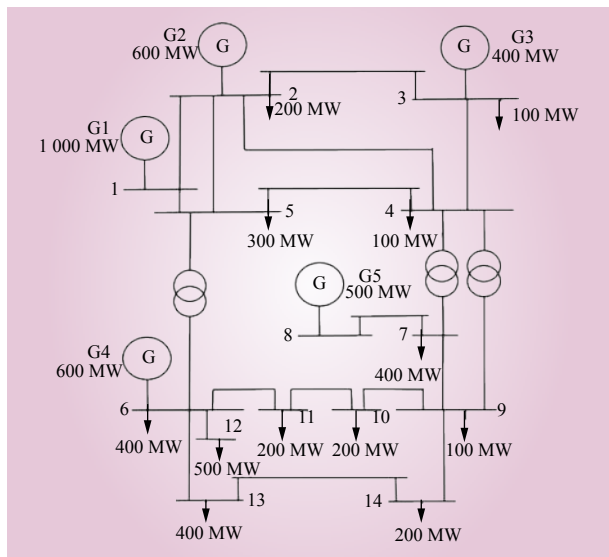


图 1 IEEE 14 节点系统结构  
Fig. 1 Diagram of IEEE 14 bus system

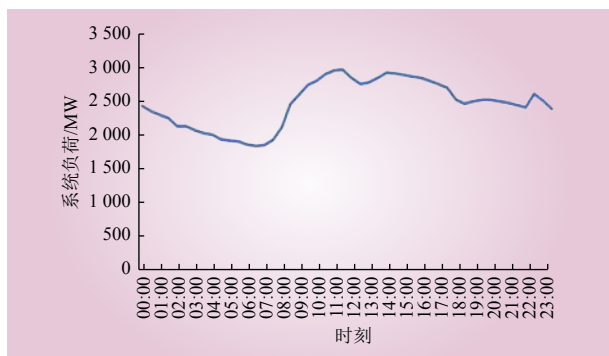


图 2 系统负荷曲线  
Fig. 2 System load curve of IEEE 14 bus system

各节点分时段的负荷根据图 1 中的负荷比例进行分配。

发电机组边际成本曲线设置如图 3 所示。

本算例假设机组按边际成本报价, 采用安全约束机组组合 (SCUS) 和安全约束经济调度 (SCED) 确定开机组合和分时出力曲线, 然后计算各机组在现货市场下的发电收益; 采用节能发电调度方式计算各机组在计划模式的发电收益。为简化分析, 输电权分配时段合并为 9 个时段, 然后分析现货市场有无发电侧分配输电权机制下发电侧收益变化标准差的情况, 计算结果如图 4~5 所示。

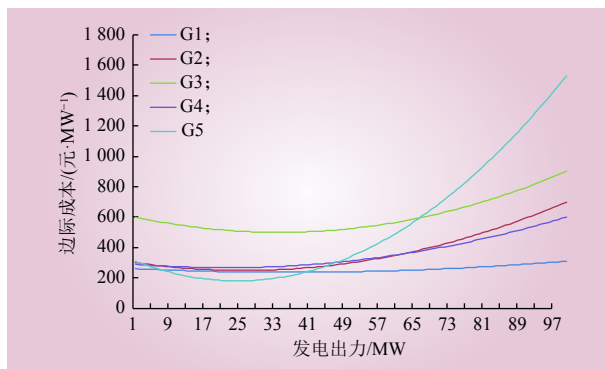


图 3 发电机组边际成本曲线  
Fig. 3 Marginal cost curve of the generator unit

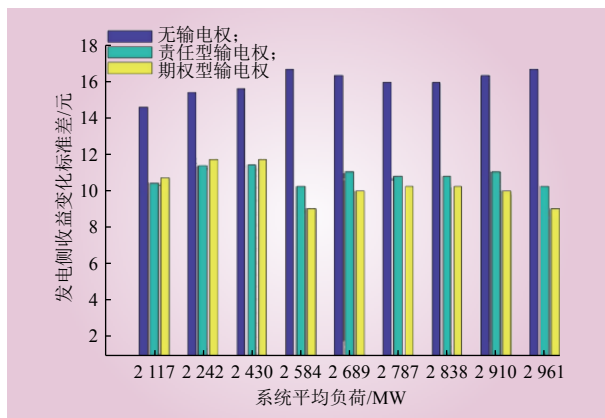


图 4 不同负荷水平下发电利润变化标准差  
Fig. 4 Standard deviation of generation revenue variation under different load levels

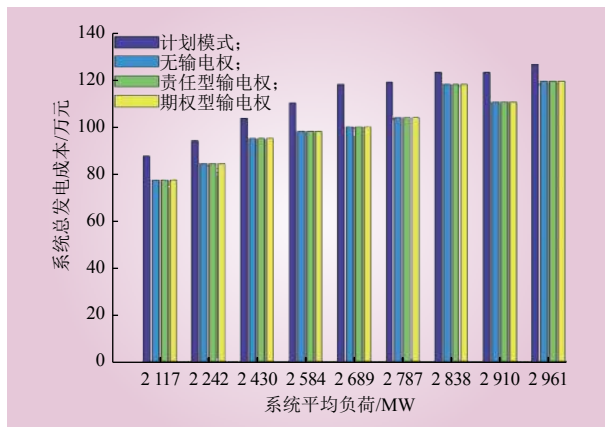


图 5 不同负荷水平下系统总发电成本  
Fig. 5 Generation cost under different load levels

从图 4~5 结果可以看出, 现货市场中引入发电侧的输电权分配机制, 可以同时实现效率和公平 2 个目标: 一方面, 在福利分配方面起到了缓解市场改革给各发电主体带来的利益变化, 有利于市场平稳推进; 另一方面, 该方式不会造成社



会总福利降低，保持了现货市场在运行优化方面的优势。在福利分配方面的效果与负荷情况、市场力情况、输电权类型的定义等有关，输电权分配中相关参数的设置需要在对电网具体情况进行更加深入的定量研究基础上确定。

将部分输电权分配给发电侧后的另外一个结果是发电侧的整体收益增加，用户总体的支付将增加。也就是说，部分社会福利从用户转移到了发电。但这实际上只是一个静态的结论。文献[23-24]的分析结果表明，市场主体在市场中的报价策略会受到市场规则影响，不同市场规则下的市场价格长期主要受到供需水平的影响。

具体到本文的方案，只要限制发电侧的总电价上限（包括输电权收益价格分量）不变，这种方法长期就不会对整体电价有大的影响，影响的主要是发电侧总福利在不同发电企业之间的分配方式。因为输电权的分配不会影响现货市场的出清结果，对市场的效率并不会产生影响，所以所提方法不会影响市场运行或者市场参与者的行为，也不会影响市场的激励相容。

## 4 结语

现货市场改革能够降低总发电成本，提高社会总福利，但也可能导致总福利在不同市场主体间的重新分配。

本文提出了一种基于发电的输电权分配方法，能够在不影响市场效率的情况下缩小现货市场后发电企业之间的福利分配变化，可以作为一种市场过渡的方案，再逐步把输电权都分配给缴纳输电费的市场主体，考虑到仅由用户缴纳输电费，因此后期应该将输电权分配给用户。

电力市场设计是一个系统化的工作，设计内容包括组织结构重构、交易产品设计、交易市场设计、交易规则设计、监管设计等不同环节，任何一方面规则的变动都需要考虑市场其他方面的影响。本文提出的输电权分配机制与输电定价机制、输电权利的定义有关，需要与输电定价改革相一致。建议在输电定价方面参考英国的做法，发电侧也缴纳一部分输电费，该输电费与其在电网中的位置相关，从而可以给发电投资提供与位置相关的经济信号。对发电企业分配的输电权，

可以逐渐从主要考虑搁浅成本问题转到考虑缴纳输电费的情况，在不同位置、缴纳了不同输电费的发电机组可以分配到不同的输电权。

本文仅提出了输电权分配的基本思路，后续还需要进行更加深入、定量的研究，包括考虑发电报价的动态性研究对整体电价水平的影响，未来分配机制的调整、与输配电价改革的结合、输电权类型的选择及相关参数的设置等。

## 参考文献：

- [1] 中共中央, 国务院. 中共中央、国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见 [EB/OL]. (2015-03-15)[2020-04-27]. [http://www.pkulaw.cn/fulltext\\_form.aspx?Db=chl&Gid=246115&keyword=中共中央、国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见&EncodingName=&Search\\_Mode=like](http://www.pkulaw.cn/fulltext_form.aspx?Db=chl&Gid=246115&keyword=中共中央、国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见&EncodingName=&Search_Mode=like).
- [2] 迈克尔·G. 波利特, 杨宗翰, 陈浩. 重构中国电力供应行业: 广东电力市场试点评价 [J]. 财经智库, 2018(6): 107-135, 144. POLLITT M G., YANG Zonghan, CHEN Hao. Reconstructing China's power supply industry: pilot evaluation of Guangdong power market[J]. Financial Minds, 2018(6): 107-135, 144.
- [3] 付慧颖, 周渝慧, 金鑫. 输电阻塞机会成本及风险规避机制 [J]. 东北电力技术, 2008, 29(5): 35-38. FU Huiying, ZHOU Yuhui, JIN Xin. On opportunity cost of transmission congestion and the mechanism of risk avoiding[J]. Northeast Electric Power Technology, 2008, 29(5): 35-38.
- [4] 陈雨果, 张轩, 罗钢, 等. 用户报量不报价模式下电力现货市场需求响应机制与方法 [J]. 电力系统自动化, 2019, 43(9): 179-186. CHEN Yuguo, ZHANG Xuan, LUO Gang, et al. Demand response mechanism and approach of electricity spot market in bidding mode without price on user side[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(9): 179-186.
- [5] 赵文猛, 周保荣, 毛田, 等. 大湾区电力现货市场建设路径及出清模型 [J]. 南方电网技术, 2020, 14(9): 90-96. ZHAO Wenmeng, ZHOU Baorong, MAO Tian, et al. Construction path and market clearing model of electricity spot market in greater bay area[J]. Southern Power System Technology, 2020, 14(9): 90-96.
- [6] 罗钢, 马辉, 陈晔, 等. 南方(以广东起步)电力现货市场模拟运行分析 [J]. 南方电网技术, 2018, 12(12): 49-54. LUO Gang, MA Hui, CHEN Ye, et al. Analysis of simulation operation of electricity spot market in Southern China(starting from





- Guangdong Province)[J]. *Southern Power System Technology*, 2018, 12(12): 49–54.
- [7] 周保荣, 黎小林, 赵文猛, 等. 南方区域电力市场模拟运行系统功能设计[J]. *南方电网技术*, 2020, 14(5): 65–73.
- ZHOU Baorong, LI Xiaolin, ZHAO Wenmeng, *et al.* Function design of southern regional electricity market simulation system[J]. *Southern Power System Technology*, 2020, 14(5): 65–73.
- [8] 孙可, 兰洲, 林振智, 等. 国际典型电力市场阻塞管理机制及其对中国的启示研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(12): 170–178.
- SUN Ke, LAN Zhou, LIN Zhenzhi, *et al.* Transmission congestion management mechanism of typical international power markets and possible guidance for China's power market[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(12): 170–178.
- [9] WILLIAM W H. Financial transmission rights, revenue adequacy and multi - settlement electricity markets[EB/OL]. (2013-03-18)[2020-06-30]. [https://www.hks.harvard.edu/fs/whogan/Hogan\\_FTR\\_Rev\\_Adequacy\\_031813.pdf/2013-3-18](https://www.hks.harvard.edu/fs/whogan/Hogan_FTR_Rev_Adequacy_031813.pdf/2013-3-18).
- [10] SARKAR V, KHAPARDE S A. A comprehensive assessment of the evolution of financial transmission rights[J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2008, 23(4): 1783–1795.
- [11] 马辉, 陈雨果, 陈晔, 等. 南方 (以广东起步) 电力现货市场机制设计[J]. *南方电网技术*, 2018, 12(12): 42–48.
- MA Hui, CHEN Yuguo, CHEN Ye, *et al.* Mechanism design of Southern China(starting from Guangdong Province)electric spot market[J]. *Southern Power System Technology*, 2018, 12(12): 42–48.
- [12] 陈雨果, 李嘉龙, 刘文涛, 等. 电力市场环境下发电计划关键技术综述[J]. *广东电力*, 2018, 31(6): 8–13.
- CHEN Yuguo, LI Jialong, LIU Wentao, *et al.* Overview on key technologies for generation scheduling under electric market environment[J]. *Guangdong Electric Power*, 2018, 31(6): 8–13.
- [13] 方军, 张永平, 魏萍, 等. 输电阻塞管理的新方法述评 (一): 基于潮流的可交易输电权[J]. *电网技术*, 2001, 25(7): 4–8.
- FANG Jun, ZHANG Yongping, WEI Ping, *et al.* A new market-based congestion management method: part 1: flow-based tradable transmission rights[J]. *Power System Technology*, 2001, 25(7): 4–8.
- [14] 张永平, 方军, 魏萍, 等. 输电阻塞管理的新方法述评 (二): 金融性输电权及与 FGR 之比较[J]. *电网技术*, 2001, 25(9): 16–20.
- ZHANG Yongping, FANG Jun, WEI Ping, *et al.* A new market-based congestion management method part ii: financial transmission rights and comparison with flowgate rights[J]. *Power System Technology*, 2001, 25(9): 16–20.
- [15] 赵永亮. 基于 LMP、FTR 及优先权调度的输电阻塞管理方法研究[D]. 北京: 华北电力大学 (北京), 2008.
- ZHAO Yongliang. The study on method of transmission congestion management based on LMP, FTR and priority dispatching[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2008.
- [16] JOSKOW P L, TIROLE J. Transmission rights and market power on electric power networks[J]. *The RAND Journal of Economics*, 2000, 31(3): 450.
- [17] BUSHNELL J. Transmission rights and market power[J]. *Electricity Journal*, 1999, 12(8): 77–85.
- [18] MA Xingwang, SUN D I, ROSENWALD G W, *et al.* Advanced financial transmission rights in the PJM market[C]//IEEE Power Engineering Society General Meeting. Toronto, 2003: 1031–1038.
- [19] 华月申, 严正, 黄涛, 等. 金融输电权应用于华东电力市场的探讨[J]. *电网技术*, 2009, 33(6): 72–77.
- HUA Yueshen, YAN Zheng, HUANG Tao, *et al.* Research on application of financial transmission right in East China electricity market[J]. *Power System Technology*, 2009, 33(6): 72–77.
- [20] 华月申. 金融输电权在阻塞管理中的应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- HUA Yueshen. Application of financial transmission right (FTR) in congestion management[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009.
- [21] WILLIAM W H. Electricity market design: the value of FTRs[C]//Platts 11th Annual Nodal Trader Conference. New York, NY, 2018.
- [22] PJM Interconnection. PJM manual 06: financial transmission right[EB/OL]. (2017-09-01)[2020-06-28]. <http://www.pjm.com/-/media/documents/manuals/m06.ashx>.
- [23] 朱继松. 新电改背景下的月度集中竞争市场机制评估[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- ZHU Jisong. Research on the assessment of monthly centralized bidding electricity market mechanism under the background of new electric power reform[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018.
- [24] 荆朝霞, 朱继松. 月度电量集中竞价市场规则的仿真实验分析[J]. *电力系统自动化*, 2017, 41(24): 42–48.
- JING Zhaoxia, ZHU Jisong. Simulation experiment analysis on market rules for monthly centralized bidding[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2017, 41(24): 42–48.

作者简介:



甘子莘 (1996—), 男, 硕士研究生, 从事电力市场研究, E-mail: 530723572@qq.com;

荆朝霞 (1975—), 女, 通信作者, 博士, 教授, 博士

生导师, 从事电力市场、电动汽车、电力系统运行与控制、综合能源系统研究, E-mail: zxjing@scut.edu.cn.

(责任编辑 李博)

## Financial Transmission Right Mechanism and Its Application in China Electricity Market

GAN Zishen, JING Zhaoxia, XIE Wenjin, LIU Yu, PAN Zhanhua

(School of Electrical Power Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

**Abstract:** The electricity spot market reform in China has led to a significant change in revenues for different power generation entities. Aiming at this problem, this paper proposes a practical market transition scheme. Firstly, the paper introduces the basic situation of long-term electricity transaction market and spot market in China, and analyzes the possible problems after the operation of spot market. And then, from the perspective of equity property rights and welfare distribution, a transition scheme for electricity market reform is proposed to solve the existing problems through allocating financial transmission rights (FTRs). In the proposed scheme, based on the FTRs before and after spot market reform, a new FTR mechanism is proposed according to the basic theory of FTR, which is to allocate a part of FTRs to the power generation enterprises. A case study of an IEEE-14 bus system was carried out to verify the effectiveness of the proposed scheme, which shows that the proposed mechanism can reduce the revenue changes between different power generation enterprises without affecting the market efficiency, and is conducive to the smooth transition of the electricity market.

**Keywords:** financial transmission right; spot market; equity property rights; welfare distribution

(上接第 43 页)

## Operating Mechanism of Australian Electric Financial Derivatives Market and Its Implications for Electricity Market Construction in China

LENG Yuan, GU Weide

(Energy Development Research Institute, CSG, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** For the countries with electricity market-orientation, electric financial derivatives transactions have been introduced into the market construction, and the electric financial derivatives have been attracted more and more attentions as an important market risk management tool. By taking the Australian electric financial market as an example, this research introduces its market development process, market organization and typical products with special stress on analyzing the electricity swap, futures and options, and summarizes the experiences of the country's market operation. Based on the current situation of electricity market in China, we propose the implications of Australia's experiences for improving China's electricity market construction in six aspects, including market system, market access, product design, transaction organization, settlement mechanism and risk prevention.

This work is supported by Science and Technology Project of China Southern Power Grid (No.ZBKJXM20180377).

**Keywords:** electric financial derivatives market; spot market; Australia; implication