

# 基于博弈论的保底服务供给模型研究

李 琥<sup>1</sup>,李冰洁<sup>1</sup>,赵宏大<sup>1</sup>,林凯颖<sup>2</sup>,王蓓蓓<sup>2</sup>

(1. 国网江苏省电力有限公司 经济技术研究院,南京 210008;2. 东南大学,南京 210096)

## Research on default service supply model based on game theory

LI Hu<sup>1</sup>, LI Bingjie<sup>1</sup>, ZHAO Hongda<sup>1</sup>, LIN Kaiying<sup>2</sup>, WANG Beibei<sup>2</sup>

(1. Economic Research Institute of Jiangsu State Grid Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210008, China;

2. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**摘要:**由于新进入售电公司的“吸脂效应”,原在位者保底服务的供应存在困难。在分析售电公司“吸脂效应”基础上,建立提供保底服务的原在位供电商和新进入供电商的供给需求函数,分别就城市地区统一定价和城市地区完全市场化两种模式建立博弈供给模型,并求解相应的均衡解。本模型对于新一轮电力体制下国内保底服务的规则设计具有一定参考价值。

**关键词:**保底服务;博弈模型;吸脂效应;统一定价;完全市场化

**Abstract:** Due to the existence of the “cream skimming” of the new company, the supply of default service from the original electricity company has become difficult. Based on the analysis of the “cream skimming”, this paper firstly establishes the supply-demand function of the original in-position power supplier that provides the default service and the new entry power supplier. Then we discuss two mechanisms, the unified pricing of the urban area and the complete marketization of the urban area separately. Finally, the game supply model is established and solve the equilibrium solution of the response. This model has certain referencing value for the rule design of domestic default service under the new round of power system.

**Key words:** default service; game model; cream skimming; unified pricing; complete marketization

中图分类号:TM73 文献标志码:A

## 0 引言

新一轮竞争性电力市场中,售电公司追求自身利益最大化,使得部分用户由于高成本等原因,未能获得竞争性电力公司提供的电力服务。为满足日常用电需求,该部分用户不得不求助于保底服务。但由于新进入电力公司“吸脂效应”的存在,原电力公司的保底服务供给困难。

针对保底服务的研究,目前国内外学者主要集中在调研和市场模拟上,基于“吸脂效应”下保底服务原供应商与新进入供应商之间市场均衡的研究较少。文献[1]—文献[3]利用市场调研的方式分析或对比国内外保底服务经验,提出保底服务规则设计的建议;文献[4]—文献[5]利用系统动力学、投资优化模型模拟保底服务运营投资,分别就保底服务整体投资、增量保底服务投资提出相关建议。上述文献中模型多利用调研或系统动力学等方法,少有文献从博弈论的方法研究具有竞争性质的保底服务供

应商和新进入售电公司的均衡关系。

本文建立保底服务的博弈供给模型分析保底服务领域的均衡关系。国内外博弈论在电力市场上的应用已经很成熟。文献[6]通过构建博弈均衡模型研究了电力库模式下不同节点电价下的市场均衡;文献[7]将风力发电机作为博弈的一方,研究其对于市场电价均衡的影响;文献[8]利用演化博弈分析传统供电商、新增售电商、用户在市场初级阶段的竞争关系;文献[9]对于不同市场主体建立不同的合作博弈、非合作博弈及演化模型,讨论三层博弈模型;文献[10]将不同区域中的不同电力零售商抽象为领头零售商和尾随零售商两类,建立Stackelberg博弈模型。

本文建立保底服务原在位供应商和新进入供应商的博弈供给模型,通过求解城市地区统一定价模式与完全市场化情况的纳什均衡,分析新进入公司和原在位公司盈亏情况受吸脂效应和城乡用户规模的影响。本文模型可为新一轮电力市场中保底服务的规则设计提供一定的借鉴意义。

## 1 保底服务与吸脂效应

“吸脂”原指从新鲜牛奶提炼奶油时,将奶油从

收稿日期:2019-07-21;修回日期:2019-08-25

基金项目:江苏省电力公司管理咨询项目“新电改环境下电网公司公益性保底服务的运营策略”

This work is supported by Jiangsu State grid's management consulting project, the operation strategy of the public default service under the New Electricity Reform fund

牛奶中抽离,剩下杂质或较差成分。在产业营销中,吸脂效应指新进入市场的经营者仅经营利润较高的地区或产品,不经营利润较低甚至亏本地区或产品的现象<sup>[11]</sup>。新进入售电公司为追求利润,仅经营高获利区域或仅提供高获利的服务,不愿经营低获利区域或低获利服务(如图1)。吸脂效应将引发连锁反应:新进入市场的经营者压迫原来在位经营者的利润;基于利润目标的经济人理性,原在位企业可能放弃交叉补贴;最终导致保底服务供给困难<sup>[12]</sup>,贫困、偏远地区的消费者无法再享受同等服务。

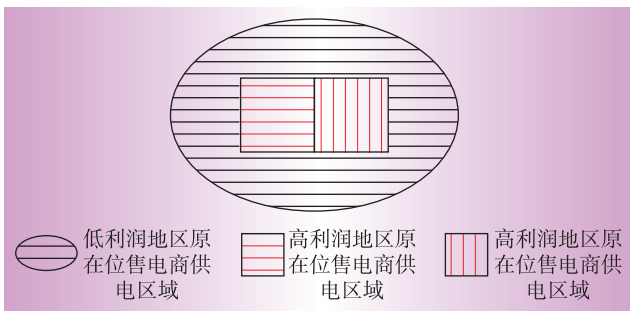


图1 电力售电侧吸脂效应图

Fig. 1 Cream skimming on the electricity selling side

## 2 保底服务基本供给需求函数模型

### 2.1 供应方生产函数模型

设电力生产边际成本为  $C_m$ , 用电量为  $q$ , 且  $A$ 、 $B$  均为常数, 则边际成本函数表达式形式为

$$C_m = Aq + B \quad (1)$$

式中:  $A$ 、 $B$  分别为各自电力公司的生产成本函数系数。

### 2.2 需求方需求函数模型

设电力公司报价为  $p$ ,  $d$ 、 $k$  为常数,  $k$  为需求弹性,  $k$  越大代表用户对电能的需求弹性越大。反需求函数为

$$p = d - kq \quad (2)$$

假设两家电力公司进入同一市场, 在报价不同, 且互相具有一定程度的替代性。两家电力公司的人均用电量分别为  $q_a$  和  $q_b$ , 报价分别为  $p_a$  和  $p_b$ 。  $k_1$  为本公司的替代系数,  $k_2$  为对方公司的替代系数, 两家电力公司的需求函数分别为

$$q_a = \frac{m}{2} - k_2 p_a + k_1 p_b \quad (3)$$

$$q_b = \frac{m}{2} - k_1 p_b + k_2 p_a \quad (4)$$

式中:  $m$  为常数。对于用户而言两家电力公司除报价外完全相同。若需求为弹性, 任一方提高价格, 自身售电量减少, 对方售电量增加, 且前者的幅度大于后者, 总用电量减少, 因此  $k_1 > k_2$ 。若需求为刚性, 则  $k_1 = k_2$ 。

### 2.3 基于边际报价的出清

反需求函数和边际成本函数交点即代表最终供需平衡的结果。交点横坐标代表供需平衡时的用电量, 纵坐标代表供需平衡时的价格。边际成本法指将此价格作为电力公司的最终报价。

## 3 城市地区强制统一定价的保底服务博弈供给模型及求解

设城市地区的定价为  $p_1$ , 人均用电量为  $q_1$ ,  $d_1$  为常数, 城市地区的反需求函数为

$$p_1 = d_1 - k_1 q_1 \quad (5)$$

设农村地区的定价为  $p_2$ , 人均用电量为  $q_2$ ,  $d_2$  为常数, 则农村地区的反需求函数为

$$p_2 = d_2 - k_2 q_2 \quad (6)$$

其中, 由于农村地区可接受的电价小于城市, 且多为刚需, 因此上述两式需满足条件

$$d_1 > d_2 \quad (7)$$

$$\frac{d_1}{k_1} > \frac{d_2}{k_2} \quad (8)$$

新进入电力公司每个客户的边际成本  $C_{m2}$  满足

$$C_{m2} = A_2 q_1 + B_2 \quad (9)$$

式中: 系数  $A_2$ 、 $B_2$  为常数, 设原电力公司每个客户的边际成本的城市部分为  $C_{m11}$ , 农村部分为  $C_{m12}$ , 且  $A_{11}$ 、 $A_{12}$ 、 $B_{11}$ 、 $B_{12}$  均为常数, 则  $C_{m11}$ 、 $C_{m12}$  满足

$$C_{m11} = A_{11} q_1 + B_{11} \quad (10)$$

$$C_{m12} = A_{12} q_2 + B_{12} \quad (11)$$

城市地区新进入电力公司需要交纳过网费, 原电力公司不需要, 且农村地区边际成本最高, 因此

$$B_{12} > B_2 > B_{11} \quad (12)$$

$$C_{m12} > C_{m2} > C_{m11} \quad (13)$$

如按边际成本法在城市地区定价, 新进入电力公司的价格会高于原公司。为了保证竞争性, 监管部门要求原电力公司把城市地区的定价提高到新进入公司相同的水平<sup>[13]</sup>。即  $p_1 = C_{m2}$ , 则有

$$q_1 = \frac{d_1 - B_2}{A_2 + k_1} \quad (14)$$

$$p_1 = \frac{A_2 d_1 + B_2 k_1}{A_2 + k_1} \quad (15)$$

设城市地区的客户数为  $N_1$ , 其中迁移到新进入电力公司的比例(吸脂强度)为  $\gamma$ , 其中  $0 < \gamma < 1$ , 即此时用电量由  $q_1$  变为  $\gamma N_1 q_1$ 。根据函数积分, 新进入电力公司的利润  $\pi_2$  可通过计算  $p_1$  和  $C_{m2}$  以及纵轴围成的三角形求得(如图2)。

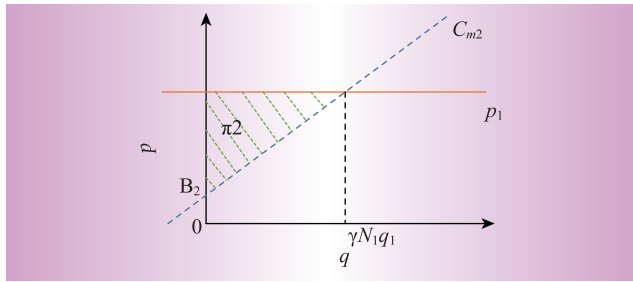


图2 新进入电力公司利润计算面积图

Fig. 2 Calculation area chart of new company

$$\begin{aligned}\pi_2 &= \frac{\gamma N_1}{2} (p_1 - B_2) q_1 \\ &= \frac{\gamma N_1 A_2 (d_1 - B_2)^2}{2(A_2 + k_1)^2}\end{aligned}\quad (16)$$

原公司城市部分利润  $\pi_{11}$  为

$$\pi_{11} = (1 - \gamma) N_1 (p_1 q_1 - \int_0^{q_1} C_{m11} dq_1) \quad (17)$$

即

$$\begin{aligned}\pi_{11} &= (1 - \gamma) N_1 \left[ \frac{(d_1 - B_2)(A_2 d_1 + B_2 k_1)}{(A_2 + k_1)^2} \right. \\ &\quad \left. - \frac{A_{11}(d_1 - B_2)^2}{2(A_2 + k_1)} - B_{11} \frac{d_1 - B_2}{A_2 + k_1} \right]\end{aligned}\quad (18)$$

令  $p_2 = C_{m12}$ , 则有

$$q_2 = \frac{d_2 - B_{12}}{A_{12} + k_2} \quad (19)$$

$$p_2 = \frac{A_{12} d_2 + B_{12} k_2}{A_{12} + k_2} \quad (20)$$

(1) 当  $p_2 < p_1$  时, 对农村实行优惠的电价  $p_2$ , 根据积分, 原电力公司农村部分的利润  $\pi_{12}$  可通过  $p_2$  和  $C_{m12}$  对电量  $N_2 q_2$  积分得到, 为

$$\pi_{12} = \frac{N_2}{2} (p_2 - B_{12}) q_2 = \frac{N_2 A_{12} (d_2 - B_{12})^2}{2(A_{12} + k_2)^2} \quad (21)$$

此时原电力公司和新进入电力公司都必然盈利, 且新进入电力公司利润和  $\gamma$  正相关, 原电力公司利润和吸脂强度  $\gamma$  负相关。但在实际情况下, 这种情况很少见。

(2) 当  $p_2 > p_1$  时, 为保证公平性, 应以交叉补贴的形式对农村地区实行普遍服务, 电价和城市地区一样(即  $p_1 = p_2$ ), 则原电力公司农村部分的利润  $\pi_{12}$  为

$$\pi_{12} = N_{12} \int_0^{q_2^*} (p_1 - C_{m12}) dq_2 \quad (22)$$

其中  $q_2^*$  需满足

$$\frac{A_2 d_1 + B_2 k_1}{A_2 + k_1} = d_2 - k_2 q_2^* \quad (23)$$

原电力公司的总利润为  $\pi_{11} + \pi_{12}$ 。由于原公司城市部分利润  $\pi_{11} > 0$  恒成立, 因此

(1) 当  $\pi_{12} > 0$ , 原电力公司必然盈利, 且利润和吸脂强度  $\gamma$  负相关;

(2) 当  $\pi_{12} < 0$ , 且  $N_2$  相对  $N_1$  而言并不是很大时, 原电力公司利润和吸脂强度  $\gamma$  负相关, 则原电

力公司在吸脂强度  $\gamma$  较小时盈利, 吸脂强度  $\gamma$  较大时亏损;

(3) 当  $\pi_{12} < 0$ , 且  $N_2$  相对  $N_1$  而言非常大时, 则不论吸脂强度  $\gamma$  取何值, 原电力公司一定亏损, 需要政府补贴, 且吸脂强度  $\gamma$  越大, 原电力公司亏损越多。但不论何种情况, 新进入电力公司都必然盈利, 且利润和吸脂强度  $\gamma$  正相关。我国城市化已经达到一定水平, 所以  $N_2$  相对  $N_1$  而言非常大的情况一般只在极个别的落后地区才会出现。

#### 4 城市地区完全市场化下的保底服务博弈供给模型及求解

在城市地区, 部分用户迁移到新进入电力公司。为方便计算分析, 设原电力公司和新进入电力公司各自总用电量平均分给城市地区的每一个用户, 即每个用户同时从2家电力公司获得电能。

假设需求是弹性的, 根据式(3)、(4)、(10)、(11), 设原电力公司和新进入电力公司在城市地区的利润分别为  $\pi_1$  和  $\pi_2$ , 城市地区用户数为  $N_1$ , 农村地区用户数为  $N_2$ , 则  $\pi_1$  和  $\pi_2$  的表达式分别为

$$\pi_1 = (p_1 q_1 - \int_0^{q_1} C_{m1} dq_1) N_1 \quad (24)$$

$$\pi_2 = (p_2 q_2 - \int_0^{q_2} C_{m2} dq_2) N_2 \quad (25)$$

联立上式可知  $\pi_1$  和  $\pi_2$  分别是关于原电力公司报价  $p_1$  和新进入公司报价  $p_2$  的二次函数。假设两家电力公司完全理性, 采取完全静态信息博弈(两家公司都清楚对方公司的成本函数)。根据伯川德模型基本结论, 由于原电力公司追求自身利润最大化, 由二次函数(抛物线)极值条件, 将  $p_2$  看作已知量, 有

$$p_1^* = \frac{a + 2k_2 p_2^* + A_1 a k_1 + 2A_1 k_1 k_2 p_2^* + 4B_1 k_1}{2A_1 k_1^2 + 4k_1} \quad (26)$$

同理, 新进入电力公司也追求自身利润最大化, 将  $p_1$  看作已知量, 故有

$$p_2^* = \frac{a + 2k_2 p_1^* + A_2 a k_1 + 2A_2 k_1 k_2 p_1^* + 4B_2 k_1}{2A_2 k_1^2 + 4k_1} \quad (27)$$

联立式(26)、(27), 得到两家电力公司报价的纳什均衡解, 进而求出纳什均衡情况下两家电力公司各自的利润。因用电量非负, 因此约束条件为

$$\frac{a}{2} - k_1 p_1 + k_2 p_2 \geq 0 \quad (28)$$

$$\frac{a}{2} - k_1 p_2 + k_2 p_1 \geq 0 \quad (29)$$

在农村地区, 由于供电成本高、用电量小, 新进入电力公司不愿为农村用户提供服务。设原电力公司在农村的报价为  $p_3$ , 人均用电量为  $q_3$ , 用户数为  $N_2$ , 边际成本为  $C_{m3}$ ,  $A_3$  和  $B_3$  为常数, 则  $C_{m3}$  的表达式为

$$C_{m3} = A_3 q_3 + B_3 \quad (30)$$

取  $d$  和  $k$  为常数,则农村地区的反需求函数为

$$p_3 = d - kq_3 \quad (31)$$

令  $p_3 = C_{m3}$ , 则有

$$q_3 = \frac{d - B_3}{A_3 + k} \quad (32)$$

$$p_3 = \frac{A_3 d + B_3 k}{A_3 + k} \quad (33)$$

(1) 当  $p_3 \leq p_1$  时,对农村实行优惠定价,即

$$\pi_3 = \frac{N_2}{2}(p_3 - B_3)q_3 = \frac{N_2 A_3 (d - B_3)^2}{2(A_3 + k)^2} \quad (34)$$

此时原电力公司必然盈利。

(2) 当  $p_3 > p_1$  时,为保证公平性,应以交叉补贴的形式对农村地区实行普遍服务,电价和城市地区一样(即  $p_3 = p_1$ ),则

$$\pi_3 = N_2 \int_0^{q_3^*} (p_1 - C_{m3}) dq_3 \quad (35)$$

其中  $q_3^*$  需满足的条件为

$$d - kq_3^* = p_1 \quad (36)$$

因此,若  $\pi_3$  为正,则原电力公司必然盈利;若  $\pi_3$  为负,则原电力公司有亏损的可能;且当  $N_2$  相对  $N_1$  而言非常大的时候,原电力公司必然亏损,需要政府补贴。

## 5 算例分析

当城市地区完全市场化时,在满足售电量为正前提下,借助伯川德模型的基本结论,可以确定两家电力公司在城市地区的报价和利润。本算例讨论当城市地区完全市场化时,研究己方替代系数  $k_1$ 、对方替代系数  $k_2$  的大小与两家售电公司各自的报价、利润之间的关系,并同时讨论城市用户数  $N_1$  和农村用户数  $N_2$  之比对售电公司盈亏的影响,仿真结果如表 1 所示。

表 1 不同替代系数、城乡比例对原、新售电公司的影响  
Table 1 Impact of the substitute coefficient and proportion between urban and rural areas on the original and new company

| $(k_1, k_2, N_1, N_2)$ | 原电力公司城市<br>报价 $p_1$ | 原电力公司农村<br>报价 $p_3$ | 新进入公司城市<br>报价 $p_2$ | 原电力公司<br>利润 | 新进入公司<br>利润 |
|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|-------------|
| (7,6,3,1)              | 4.69                | 4.40                | 4.77                | 41.80       | 30.60       |
| (8,6,3,1)              | 3.31                | 3.37                | 3.36                | 1.26        | 11.30       |
| (10,6,3,1)             | 2.09                | 2.09                | 2.12                | -63.10      | 2.09        |
| (10,8.5,3,1)           | 3.81                | 3.81                | 3.86                | 20.40       | 17.30       |
| (10,9,3,1)             | 4.56                | 4.40                | 4.62                | 39.90       | 28.60       |
| (10,8.5,2,2)           | 3.81                | 3.81                | 3.86                | -0.303      | 5.78        |

由表 1 可知,若农村地区单位用户利润为正,则

原电力公司必然盈利;若农村地区单位用户利润为负或等于 0,农村用户占比较低时原电力公司盈利,相反地,农村用户占比较高或两个替代系数相差较大时亏损,需财政补贴。但不论对于哪一方,己方公司对应的替代系数的增长,都和各自的利润以及城市地区的报价成负相关;对方公司对应的替代系数,都和各自的利润以及城市地区的报价成正相关。

## 6 结束语

本文在讨论了保底服务与吸脂效应的关系的基础上,建立了保底服务基本供应需求模型,并按照城市地区强制统一价格与否,分别建立博弈供给模型,并得到如下结论:

(1) 无论何种定价机制,新进入公司一定保证盈利。

(2) 城市地区强制统一定价时,原在位售电公司亏损出现在农村用户比例较大或吸脂效应较强时。

(3) 城市地区完全市场化时,原在位售电公司亏损出现在农村用户比例较大或替代系数差值较大时。

本文为了对模型进行简化,做了较多的建设,后续研究会进一步考虑减少简化条件,使得模型更加贴合实际情况。D

## 参考文献:

- [1] 齐新宇. 电力零售竞争中的普遍服务问题[J]. 当代财经, 2004(8): 83-86.  
QI Xinyu. Universal service issues in power retail competition[J]. Contemporary Finance & Economics, 2004(8): 83-86.
- [2] TSCHAMLER T. Designing competitive electric markets: the importance of default service and its pricing[J]. The Electricity Journal, 2000, 13(2): 75-82.
- [3] BARBOSE G, GOLDMAN C, NEENAN B. The role of demand response in default service pricing[J]. The Electricity Journal, 2006, 19(3): 64-74.
- [4] 林凯颖,王蓓蓓,朱寰,等. 电网公司保底服务运营的系统动力学分析[J/OL]. 电力系统及其自动化报: 1-10 (2019-04-28) [2019-07-21]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000137>.  
LIN Kaiying, WANG Beibei, ZHU Huan, et al. System dynamic analysis on operation of default service served by state grid[J/OL]. Proceedings of the CSU-EPSA: 1-10 (2019-04-28) [2019-07-21]. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000137>.
- [5] 陈立,王蓓蓓,黄俊辉,等. 电网公司保底服务实施后的增量配电网投资策略[J]. 电力系统自动化, 2018, 42

(20):38-44.

CHEN Li, WANG Beibei, HUANG Junhui, et al. Asset investment strategy adapting default service of incremental distribution network for grid companies [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(20):38-44.

- [6] RUIZ C, CONEJO A J. Pool strategy of a producer with endogenous formation of locational marginal prices [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2009, 24(4):1 855-1 866.
- [7] DAI T, QIAO W. Finding equilibria in the pool-based electricity market with strategic wind power producers and network constraints [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2016, 32(1):389-399.
- [8] 程乐峰, 余涛. 开放电力市场环境多群体非对称演化博弈的均衡稳定性典型场景分析 [J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(19):5 687-5 703, 5 926.  
CHENG Lefeng, YU Tao. Typical scenario analysis of equilibrium stability of multi-group asymmetric evolutionary games in the open and ever-growing electricity market [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(19):5 687-5 703, 5 926.
- [9] 张哲, 齐冬莲, 张建良. 三层博弈架构下的智能电网能量管理分布式优化方法 [J]. 电力建设, 2018, 39(10):28-36.  
ZHANG Zhe, QI Donglian, ZHANG Jianliang. Distributed optimization method for energy management in smart

grid based on three-level game model [J]. Electric Power Construction, 2018, 39(10):28-36.

- [10] 代业明, 高岩. 基于智能电网需求侧管理的多零售实时定价策略 [J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(25):4 244-4 249.  
DAI Yeming, GAO Yan. Real-time pricing strategy with multi-retailers based on demand-side management for the smart grid [J]. Proceedings of the CSEE, 2014. 34(25):4 244-4 249.
- [11] 陈建华. 中国电力普遍服务供给规制研究 [M]. 北京: 中国经济出版社, 2011.  
CHEN Jianhua. Research on China's electric power universal service supply regulation [M]. Beijing: China Economic Publishing House, 2011.
- [12] 齐新宇. 普遍服务与电力零售竞争改革 [J]. 产业经济研究, 2004(2):38-44.  
QI Xinyu. Universal aervice and power retail competition reform [J]. Industrial Economics Research, 2004(2):38-44.
- [13] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于推进售电侧改革的实施意见(中发[2015]9号) [Z]. 2015. 3.  
National development and reform commission. implementation opinions on promoting reform of power sales side (Zhong Fa [2015] No. 9) [Z]. 2015. 3.

(责任编辑 苗曦云)

(上接第58页)

## 参考文献:

- [1] 吕志鹏, 盛万兴, 刘海涛, 等. 虚拟同步机技术在电力系统中的应用与挑战 [J]. 中国电机工程学报, 2017(2):349-360.  
LV Zhipeng, SHENG Wanxing, LIU Haitao, et al. Application and challenge of virtual synchronous machine technology in power system [J]. Proceedings of the CSEE, 2017(2):349-360.
- [2] 阳建, 刘勇, 盘宏斌, 等. 基于虚拟同步机的微网逆变器无频差控制 [J]. 电网技术, 2016(7):2 001-2 008.  
YANG Jian, LIU Yong, PAN Hongbin, et al. Method of frequent deviation-free control of microgrid inverter based on virtual synchronous generator control [J]. Power System Technology, 2016(7):2 001-2 008.
- [3] 汤锦慧. 基于虚拟同步机控制的LCL型并网逆变器的研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2016.  
TANG Jinhui. Research on VSG-based grid-connected inverter with LCL filter [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [4] 陈秉乾, 庄圣贤. 基于虚拟同步机的微网逆变器并网

技术研究 [J]. 电力电子技术, 2017(3):39-42.

- CHEN Bingqian, ZHUANG Shengxian. Research on grid connected inverter based on virtual synchronous generator [J]. Power Electronics, 2017(3):39-42.
- [5] 李勇, 郭勇, 皇甫星星, 等. T型三电平逆变器的中点平衡建模与控制 [J]. 电力工程技术, 2017, 36(2):61-65.  
LI Yong, GUO Yong, HUANGFU Xingxing, et al. Modeling and control of neutral point voltage balancing for T-Type three-level inverters [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(2):61-65.
- [6] 刘其辉, 逮胜建. 参与微电网调频的电动汽车虚拟同步机充放电控制策略 [J]. 电力系统自动化, 2018, 42(9):171-179.  
LIU Qihui, LU Shengjian. Charging and discharging control strategy based on virtual synchronous machine for electrical vehicles participating in frequency [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(9):171-179.



### 作者简介:

季昆玉(1969), 男, 江苏泰州人, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化。

(责任编辑 水 鹤)