

新电改背景下输配电价测算及传导参数分析

陈松伟^{1,2}, 任洪波³, 余斌⁴

(1. 上海电力大学 经济与管理学院, 上海 200090; 2. 上海社会科学院 世界经济研究所, 上海 200020; 3. 上海电力大学 能源与机械工程学院, 上海 200090; 4. 上海市发展和改革委员会 价格管理处, 上海 200003)

摘要: 根据新一轮电力体制改革要求, 结合我国电力市场特点, 提出了电价的传导路径, 构建了不同电压等级、不同类型用户的电价传导模型, 确立了输配电成本在电价中的传导机制。根据“准许成本加合理收益”的总体要求, 提出了基于虚拟设备容量的成本分摊和基于电量的收益分配理念。基于上海电网 2015 年实际运行数据, 确定了不同电压等级、不同类型用户的成本与收益分配。同时, 以网损为因变量, 分析了其与交叉补贴、购电成本及售电价格间的传导关系。

关键词: 输配电价; 传导机制; 成本分摊; 收益分配; 网损

中图分类号: F 206 **文献标志码:** A

Calculation for Power Transmission and Distribution Price and Conduction Parameters Analysis Under the New Round of Electricity System Reform

CHEN Songwei^{1,2}, REN Hongbo³, YU Bin⁴

(1. College of Economics and Management, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China; 2. Institute of World Economy, Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200020, China; 3. College of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China; 4. Price Management Office, Shanghai Municipal Development & Reformation Commission, Shanghai 200003, China)

Abstract: According to the requirements of the new round of electricity system reform and the features of Chinese electricity market, the transmission route of electricity price was put forward, and a transmission model was developed in consideration of the different voltage levels and user types. The transmission mechanism of power transmission and distribution cost in electricity price was established. According to the overall requirements of “allowed cost and reasonable profit”, the cost allocation method based on virtual system capacity and the profit distribution method based on electricity amount were proposed. Based on the actual data of Shanghai Power Grid in 2015, the cost and profit distribution measures were determined for the different voltage levels and user types. In addition, taking the line loss as a dependent variable, its effects on the cross subsidy, the purchase cost and the sales price of electricity were examined.

Keywords: power transmission and distribution price; transmission mechanism; cost allocation; profit distribution; line loss

根据中共中央国务院《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发[2015]9号)精神,输配电价改革是近期电力体制改革的核心任务^[1]。上述文件及后续配套细则表明,输配电价属于政府定价范畴,但其定价机制尚未形成。为了明晰输配电价定价方法,国家发展改革委于2016年12月发布了《省级电网输配电价定价办法(试行)》,明确指出要按照“准许成本加合理收益”的原则核定输配电价,并提出了准许成本和准许收益的计算方法^[2]。

有鉴于输配电价改革在电价改革中的重要地位,关于输配电价的定价理论和方法也引起了国内外学者的广泛关注^[3-12]。具体而言,张粒子等^[9]提出了基于峰荷责任的输配电价定价方法,并针对可能面临的数据缺失问题,提出了有效的解决方案。李泽红等^[10]则针对输配电价制定中的加权平均资本收益率进行分析,旨在确定合理的投资回报率。陈凯等^[11]通过构建投资、电量和电价关系模型,定量分析了电网投资和电量增长对输配电价的影响。刘思强等^[12]则通过实证分析,提出了处理交叉补贴的建议方案。总体而言,既有研究大多侧重于从理论层面探讨输配电价的定价方法,缺乏具有针对性的实证分析。

本文立足于我国输配电价改革的基本原则,遵循相关计算准则,深入探讨了分电压等级、分用户类别的输配电价传导机制,提出了基于虚拟设备容量的成本分摊和基于电量的收益分配理念。同时,以上海电网2015年实际数据为例,对输配电价的传导机制进行定量测算。此外,以网损为因变量,分析了其与交叉补贴、购电成本及售电价格间的传导关系。

1 输配电价测算的基本理论和方法

1.1 输配电成本在电价中的传导机制

1.1.1 不同电压等级间的电价传导

假设输电网网架为500 kV双环网结构,220 kV电网解环运行,电网电量的传导路径如图1所示。其中, Q_{xs} 表示x电压等级的售出电量; Q_{xd} 表示x电压等级的损耗; Q_{xt} 表示从x电压等级

输送至下一电压等级的电量。以220 kV电网为例,根据能量守恒定律,各电量间的关系为

$$Q_{220t} = Q_{500t} - Q_{220s} - Q_{220d} \tag{1}$$

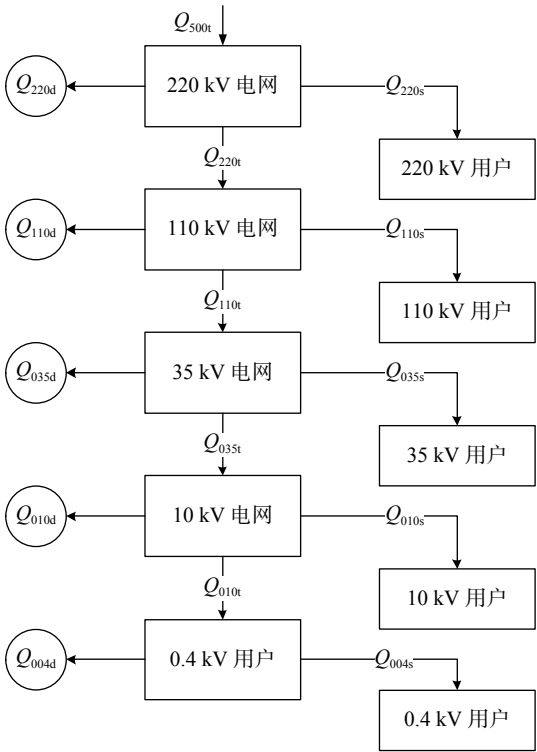


图1 电网输电电量的传导路径

Fig.1 Transmission route of power transmission and distribution

为说明电价在各电压等级电网间的纵向传递过程,本文提出了建立电压等级虚拟结算节点的构思,即将某电压等级构想为单一核算单位,从而使电价传导过程更加明晰,且易于理解。构建的虚拟核算单位命名为E220, E110, E35, E10, E04,其序号代表所在的电压等级。每个虚拟单位的售电价格均为政府定价,售电均价分别为P220, P110, P35, P10, P04,而传导至下一电压等级电量的电价实际是输配电费用,假设电度电价为T220, T110, T35, T10, T04,由此可得到各虚拟单位的总收益。以虚拟单位E110为例,该虚拟单位的收入M110t为

$$M_{110t} = P_{110s}Q_{110s} - P_{220s}Q_{220t} - P_{110s}Q_{110d} \tag{2}$$

1.1.2 不同用户类型间的电价传导

在同一电压等级中,各用户间会形成交叉补

贴, 以前述虚拟单位为例, 可以用公式说明交叉电价的计算过程。电价的传导与电网结构密切相关, 同一等级电网一般分区运行, 在同一分区中的某电压等级电网一般与上下级电网间通过多个变电站的多台主变联结。这些主变通常是电量计量的关口, 因此对于具有 J 个受电关口的虚拟单位, 其购电成本为

$$C = \sum_{n=1}^J Q_n C_n \quad (3)$$

式中: C 为购电总成本; Q_n 为第 n 个关口送入该电压等级的电量; C_n 为第 n 个关口的购电电价。

虚拟单位的收入也是通过关口计量完成的, 对于有 K 个售电关口的单位, 其总收入为

$$M = \sum_{i=1}^K Q_i P_i \quad (4)$$

式中: M 为售电总收入; Q_i 为第 i 个关口送出的该电压等级的电量; P_i 为第 i 个关口的销售电价。

基于上述成本与收入, 可得到该虚拟单位的总利润为

$$L = M - C - C_a Q_d \quad (5)$$

式中: L 为总利润; C_a 为平均购电价格; Q_d 为网损电量。

在实际执行中, 虚拟单位的总收入即为式(5)所示 M 。然而, 根据政府对电力公司电价改革政策, 电力公司的收入应当是输配电成本与合理利润及其他费用总和。按此思路, 就需要对输配电成本进行核算, 在成本核算的基础上才能较准确地测算出电价的传导过程。

1.1.3 输配电成本的计算方法

对某一特定电压等级而言, 其输配电成本由两部分组成: 自身成本和积累上一电压等级的输配电成本。为此, 可根据电量分配的比例计算下一电压等级应该继承的输配电成本, 如图2所示。

220 kV 电压等级的输配电成本即为自身成本 C_1 。其电量 Q_{1-2} 部分输送给 110 kV 等级, Q_{1-1} 部分未送至下一电压等级。110 kV 电压等级的输配电成本由两部分组成, 一部分是自身成本 C_2 , 一部分是继承上一电压等级的输配电成本 C_{1-2} , 其计算式为

$$C_{1-2} = \frac{Q_{1-2}}{Q_1} C_1 \quad (6)$$

在 110 kV 电压等级, 其电量 Q_{2-3} 部分输送给 35 kV 电压等级, Q_{2-2} 部分以工商业用户直供电的

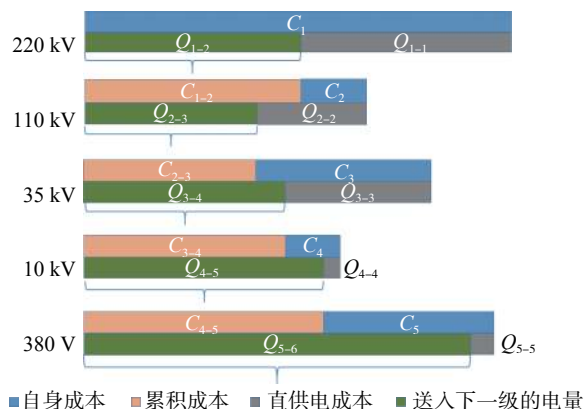


图2 电网输配电成本测算方法图解

Fig. 2 Calculating method for the cost of power transmission and distribution cost

形式直接送给用户。35 kV 电压等级积累上一级输配电成本 C_{2-3} 为

$$C_{2-3} = \frac{Q_{2-3}}{Q_2} (C_2 + C_{1-2}) \quad (7)$$

直供电部分应承担的输配电成本为 $(Q_{2-2}/Q_2) \cdot (C_2 + C_{1-2})$ 。以此类推可以得到 10 kV, 400 V 电压等级的输配电成本组成。以 400 V 电压等级为例, 计算居民用户应该承担的单位输配电成本为

$$C_{er} = \frac{(Q_{5-6}/Q_5)(C_5 + C_{4-5})}{Q_{5-6}} \quad (8)$$

400 V 电压等级直供电用户的单位输配电成本为

$$C_{ec} = \frac{(Q_{5-5}/Q_5)(C_5 + C_{4-5})}{Q_{5-5}} \quad (9)$$

据此可见, 根据该方法, 居民用户承担的输配电成本应该高于工商业用户所应承担的输配电成本; 且电压等级越低, 所应承担的输配电成本越多。体现在电价上, 即为居民用户的输配电价高于工商业用户的输配电价, 电压等级高的用户其输配电价低于电压等级低的用户。上述计算方法与网损的规律也一致, 即与电源的电气距离越远, 其输配电成本就越高。

1.2 输配电价测算的基本思路

根据国家“准许成本加合理收益”的总体要求, 输配电价传导机制中最为关键的因素就是准许收入部分。与输电电价的传导过程不同, 配电用户是电价传导的末梢, 按照我国目前体制, 所有电力用户的用电需求均以固定电价实时满足, 因此很难计算电价传导过程中前置环节对终端电价的影响。在电力公司运维成本不变条件下, 降低上网电价, 将会导致利润溢出。按照政府相关规定, 溢出利润将会汇入政府指定的专用账户,

这样对于电力公司而言,公司资产量将是公司总收入的基础,则电力公司的实际收入为

$$M_a = C_p + R_p \tag{10}$$

式中: M_a 为电力公司实际收入; C_p 为电力公司准许成本; R_p 为电力公司准许收益。

根据目前改革要求,输配电成本是输配电价形成的基础,而输配电成本的核心内容是有效的输配电资产。有效资产是指电网企业投资形成的、为提供输配电服务所需的、允许计提一定投资回报的资产,并分为一般性有效资产和政策性有效资产两类。由此可见,目前改革的方向更趋向于资产定价。

电价的形成实际是一个成本传递过程,国外一些发达国家在电力市场体系的自由定价实践中,形成了邮票法、合同路径法、边际潮流法、兆瓦-公里法、成本对应法、点费率等方法。上述方法的共同点是基于潮流、电量、功率进行价格传递,对于实时性现货电力市场较为适用,与我国电网的实情并不匹配。

在当前政府定价和以电力公司为中心进行电费结算及资金缓冲体制下,电价的传导过程并不清晰。然而,可以肯定的是,输配电价的成本是较为清楚的,而且售电的电价传导应当以电量为基础。然而,用电量是实时变化的,而且不同类型的用户年度、季度、月度的用电量并不稳定。因此,在现有条件下,难于通过电量数据进行输配电价的成本核算。电网的输配电成本主要与电网设备规模有关,纳入输配电价的成本应当包括投资和运维两个部分。另一方面,虽然用电量变化较大,但是从电网规划、建设、改造的原则和实践中,在大样本前提下设备容量能够反映出负荷、电量的分配关系。

为此,本文基于电价改革的基本要求,提出按照虚拟设备容量进行成本分摊,按照电量(负荷)进行收益分配的总体思路。

按照虚拟设备容量进行成本分摊具有以下3方面优点:

- a. 设备容量是资产的另外一种体现形式,能够反映成本定价的总体思路;
- b. 设备容量相对固定,不会因为潮流及用户电量的变化而出现复杂的计价方式;
- c. 按设备容量定价,与现有两部制电价的思路一致,便于和既有电价体系有机衔接。

按照电量(负荷)进行收益分配的优点体现在

以下3方面:

- a. 电量是盈利主要工具,能够反映出直接收入的情况,指标直观有效;
- b. 电量分配是设备效益的体现,可以消除运维单位盲目扩大资产的冲动;
- c. 按电量分摊收益,可为所有权与经营权分离奠定基础,为应对下一步改革开创先河。

2 上海电网输配电价估算

2.1 上海配电网现状及用户构成

本文以上海电网 2015 年情况为基础进行分析。调研表明,截至 2015 年底,上海电网共有 110 kV 变电站 160 座,变电容量 15 425 MVA,线路长度 2 576 km; 35 kV 变电站 645 座,变电容量 30 741 MVA,线路长度 14 468 km; 10 kV 变电容量 59 374 MVA,线路长度 61 674 km。

2015 年上海全社会用电量为 1 406 亿 kW·h,其中,上海电力公司售电总量为 1 206 亿 kW·h,占全社会用电量的 85%。如图 3 所示,工业用电售电量为 635 亿 kW·h,占电力公司全部售电量约 52%; 居民用电为 218 亿 kW·h,商业用电为 278 亿 kW·h,农业售电量仅为 6.8 亿 kW·h,此外还向外省售电 47.5 亿 kW·h。

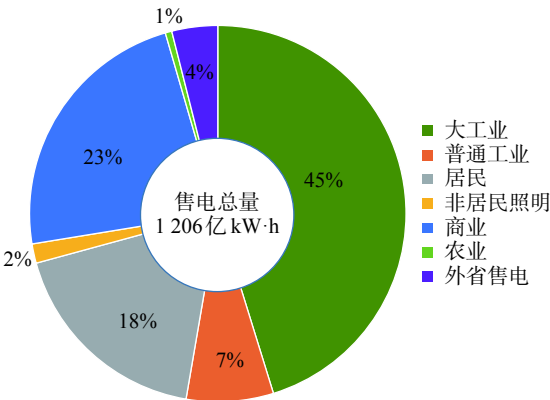


图 3 上海电网不同类型用户售电量占比
Fig.3 Power sales ratio of different user types in Shanghai power grid

2.2 上海电力公司有效资产

根据前述估算原则和方法,核算准许成本的前提是要核算有效资产。截至 2015 年末,上海电力公司初步核算的总资产原值为 2 600 亿元(含用户赠予资产),即使扣除 3 年内用户累积赠予资产,上海电力公司的净资产总额也可达到 1 300 亿元。以此资产内容为基础,可以估算上海电力公

司输变电设备等固定资产总量约 2 000 亿元。

2.3 准许收益

本文参考国家电网公司发行企业债时公布的资产收益率进行估算。上海电力公司在国家电网公司各省市公司中的经营状况属于中上水平, 按照平均年化收益率 2.39% 进行保守估算, 可得到上海电力公司年度准许收益约为 47.8 亿元。

2.4 准许成本

将上海电力公司的成本划分为购电成本、设备成本以及固定成本 3 类。

a. 购电成本估算。

将 1 406 亿 kW · h 电量按照实际受电比例拆分为本地和市外, 其中市内能源按照传统能源和新能源进行区分, 市外能源按照传统能源和清洁能源进行区分, 电价按照电量平均进行估算, 可以得出 2015 年上海电力公司总购电成本约为 517 亿元, 见表 1。

表 1 上海电力公司 2015 年购电成本细分
Tab.1 Subdivision of the power purchase cost in Shanghai Electric Power Company in 2015

来源	能源种类	电量/亿 kW·h	价格/(元·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	购电成本/亿元
本地	传统能源	800	0.4	320
	新能源	20	0.6	12
市外	传统能源	236	0.35	80
	清洁能源	350	0.3	105
合计		1 406		517

b. 设备成本估算。

设备成本包括运维成本和计提折旧两部分。上海电力公司输变电资产中, 线路占比最高, 达到 1 009.7 亿元, 占资产总量 50% 左右; 变配电设备资产总量约 608.1 亿元, 占资产总量的 30% 左

右; 其他资产以构筑物为主, 约为 360 亿元。构筑物和线路资产的折旧年限至少为 30 年, 变电为 20 年, 按此残值 5% 计算, 上海电力公司输电线路资产年折旧率约为 9.05%, 变电资产年折旧率为 14.0%, 年度计提折旧引起成本估算值约为 140 亿元。此外, 2015 年, 上海电力公司的运维费约 25 亿元, 据此核算上海电网设备相关的年度成本约为 165 亿元。

c. 固定成本估算。

根据上海电力公司的实际情况, 输配电相关的会议、办公、广告、运输、营销等费用, 一般是较为固定的, 按照 2015 年情况, 大约为 46.8 亿元, 加上人工薪酬约 47 亿元, 共计 96 亿元。

2.5 收入情况

售电收入是电力公司最主要的收入来源, 2015 年上海电网售出电量约 1 206 亿 kW · h, 如果不分时按最高售电价(0.889 元/kW · h)卖出全部电量, 总收入可达 1 072 亿元; 如果不分时按最低售电价格(0.617 元/kW · h)卖出全部电量, 总收入应为 744 亿元。根据统计, 上海电力公司 2015 年实际售电收入为 783.8 亿元。

2.6 成本与收益分配

根据成本分摊与收益分配方法, 参考上海电力公司实际情况, 将固定成本、设备相关成本按照容量比例分摊至 10 kV 以上各电压等级, 然后再按照不同用户类型的售电量比例, 将同一电压等级的固定成本和设备成本分摊至相应用户类型。如表 2 所示, 测算结果表明, 除 500 kV 电压等级外, 各电压等级的测算值均在目前的电价范围内; 同时, 由于考虑交叉补贴的原因, 所测算电价呈现高压电价高、低压电价低的电价倒挂现象。

表 2 上海 2015 年成本电价测算
Tab.2 Electricity price of Shanghai in 2015

电压等级/kV	设备容量/MVA	成本分摊/亿元				收益分配/亿元				固定成本/亿元	设备成本/亿元	购电成本/亿元	收益/亿元	网损率/%	测算电价/(元·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)
		工业	商业	居民	其他	工业	商业	居民	其他						
500	26 900.0	18.9	8.4	6.5	2.5	0	0	0	18.9	13.4	23.0	88.0	18.9	7.4	3.2
220	60 663.0	42.6	18.9	14.8	5.7	247.8	0	0	0	30.2	51.8	159.3	247.8	7.4	0.9
110	15 424.5	10.8	4.8	3.8	1.5	63.0	0	0	0	7.7	13.2	61.5	63.0	5.8	1.3
35	30 740.7	21.6	9.6	7.5	2.9	162.8	0	0	0	15.3	26.3	90.4	162.8	5.8	0.8
10	59 374.2	41.7	18.5	14.4	5.6	59.6	139.2	87.1	4.7	29.5	50.7	204.6	290.7	6.7	0.6
合计	193 102.4	135.7	60.0	47.0	18.3	533.2	139.2	87.1	23.7	96.0	165.0	603.8	783.2		0.9

3 算例合理性及传导特性分析

为阐明前述价格分摊方法的合理性及价格传

导的实质, 本文以网损为因变量进行拓展分析, 其边界条件的设定如下:

a. 售电量恒定。本文分析传导机制过程中,

售电量保持不变。电网实际情况与此相同，由于电能消费是实时完成，因此发电用电平衡是“天生”的自然边界。需要说明的是，售电量并不受电网控制，而是由用户需求决定。

b. 成本分摊假定。本文在分析电价传导机制过程中，对于电力公司的成本费用按照容量进行分摊，用户分类相关系数利用电量进行拆分。上述成本分摊方法是基于电能传递的基本概念假定的，虽然无法给出定量依据，但是从理念上具备合理性。

c. 真实数据基础。本文采用的总量数据与上海市电力公司真实数据接近，因此从分析的真实性来看，是一种由表及里的分析，形成的价格传导系数，具有一定的工程应用价值。

d. 网损作为因变量。本文在因变量调整时，采取了调整网损作为因变量，这种调整方法与实际相近。由于售电环节基本采用政府定价机制，且可能长期存在，因此直接调整价格的研究与实际不符。本文通过变化网损，分析影响定价因素的方法相对合理。

3.1 网损与交叉补贴的传导关系

本文所测算的居民类用户的分摊成本约为54亿元，而根据居民实际售电量结合上海电网采购平均价计算，购电成本约76亿元左右。据此可得出上海居民电费的交叉补贴约为0.103元/kW·h。上述数值与网损情况、购电价格等因素密切相关。如图4所示，随着35 kV网架网损率上升，居民获得的交叉补贴额度逐渐下降。换言之，随着电网公司不遗余力地降低网损，居民类用户将享有更多的补贴，这一结果与电网公司社会责任是一致的。但也说明，降低网损的过程中，最大获益者是成本倒挂的用户。

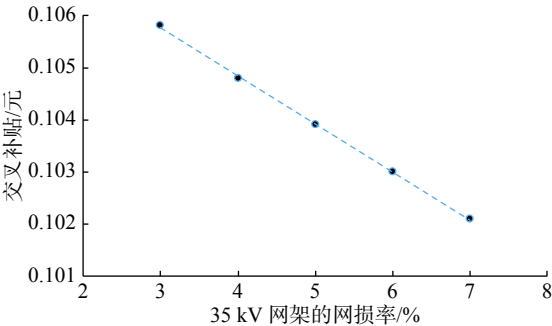


图4 网损引发的交叉补贴变化

Fig. 4 Change of cross subsidy caused by line loss

3.2 网损与购电成本的关系

由于用电需求由用户决定，而且售电价格由政府制定，因此用电量是一大致确定值。在这一前提下，网损变化会导致总购电量变化，进而影响购电成本，从而影响定价。按照本文假设的网损条件，由于网损引起购电成本的变化情况如图5所示。售电量一定的前提下，如果网损增加，则意味着需要购买更多电量，才能满足用电需求，显然购电成本也会上升，进而会对电力价格造成影响。

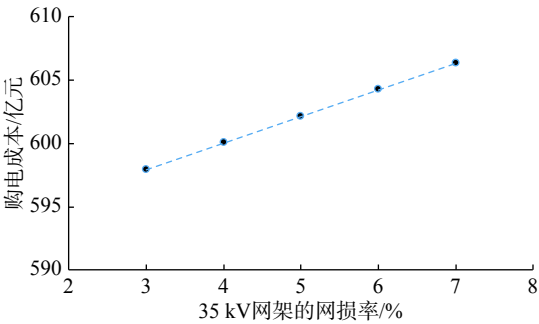


图5 网损引发的购电成本变化

Fig.5 Change of electricity purchase cost caused by line loss

3.3 网损与售电价格的关系

虽然目前售电价格是确定的，但是根据电力体制改革的精神和已经开展的输配电价改革试点的经验，输配电价格的确定建立在准许成本和准许收益的基础上。如前文所述，本文根据国网公司企业债的收益率对上海电网准许收益水平进行预估，并在成本按容量分摊的基础上，对各电压等级的理论电价进行测算。测算过程中，充分考虑了网损引起的成本变化在不同电压等级间传递的规律，这样就能够建立起网损与电价间的关系，同时也揭示了价格传导的一般过程，测算结果如图6所示。

从图6可以看出，随着35 kV电网网损率的增加，其电价逐渐提高，这是由于本电压等级成本迅速上升造成的。从图中还发现，220，110，10 kV电网的测算电价呈下降趋势，这是由于随着35 kV电网网损增加，其分摊购电成本增加，而其他电压等级的电网分摊成本下降造成的。此外，各电压等级的综合电价也呈上升趋势，这说明网损上升导致总体成本上升，电价也需要提高，这与理论预测相符。

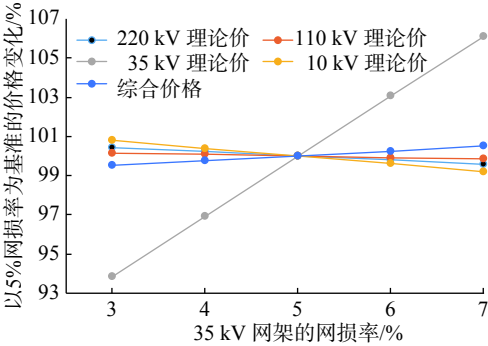


图 6 35 kV 电网网损率与测算电价间的关系
Fig.6 Relationship between the line loss rate of 35 kV grid and the electricity price

4 结 论

作为电力产品价值链的中间环节，输配电价核算是新阶段电力体制改革的重点任务。本文综合考虑我国当前电力体制现状，根据不同电压等级虚拟单位理念，建立了输配电价在不同电压等级、不同类型用户间的传递关系，提出了按照虚拟设备容量进行成本分摊，按照电量(负荷)进行收益分配的总体测算思路。基于上海电网 2015 年实际运行数据，确定了不同电压等级、不同类型用户的成本与收益分配。同时，以网损为因变量，分析了其与交叉补贴、购电成本及售电价格的传导关系，明确了降低网损对电网公司及不同类型用户收益的影响度。

参考文献:

[1] 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[Z]. 北京: 国务院, 2015.

[2] 国家发展改革委员会. 省级电网输配电价定价办法(试行)[Z]. 北京: 发改委, 2016.

[3] 吴成然, 陈鑫, 刘忠. 输配电价测算中的遗憾[J]. 大众用电, 2017(8): 10–11.

[4] 熊素玉. 基于输配电价改革的电网企业成本核算研究[J]. 中国新技术新产品, 2017(9): 134–135.

[5] 田冠初. 基于输配电价改革的电网企业分电压等级成本核算研究[J]. 中国总会计师, 2017(2): 118–119.

[6] 齐友发. 基于输配电价改革的电网企业成本核算研究[J]. 中国管理信息化, 2016, 19(20): 9–10, 14.

[7] 张文月, 张立岩, 刘树勇, 等. 大用户直接交易输配电价测算方法分析[J]. 天津经济, 2014(11): 52–55.

[8] 韩勇, 田闻旭, 谭忠富. 基于长期边际成本的不同电压等级输配电价定价模型及其应用[J]. 电网技术, 2011, 35(7): 175–180.

[9] 张粒子, 叶红豆, 陈道潇. 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.

[10] 李泽红, 郑金燕. 输配电价制定中加权平均资本收益率问题研究[J]. 财会通讯, 2017(8): 72–75.

[11] 陈凯, 李效臻, 黄康任. 输配电价改革: 电价、电量与投资关系研究[J]. 价格理论与实践, 2017(4): 52–55.

[12] 刘思强, 叶泽, 于从文, 等. 我国分压分类电价交叉补贴程度及处理方式研究——基于天津市输配电价水平测算的实证分析[J]. 价格理论与实践, 2016(5): 65–68.

(编辑: 董 伟)