



doi:10.11835/j.issn.1008-5831.2017.01.004

欢迎按以下格式引用:曾令鹤,吴文建,林莉.基于机会成本的终端用户可靠性电价测算[J].重庆大学学报(社会科学版),2017(1):35-40.

Citation Format: ZENG Linghe, WU Wenjian, LIN Li. Reliability pricing of the electricity end-users based on the opportunity cost[J]. Journal of Chongqing University(Social Science Edition), 2017(1):35-40.

基于机会成本的终端用户 可靠性电价测算

曾令鹤¹,吴文建²,林莉³

(1. 重庆大学经济与工商管理学院,重庆 400044;2. 重庆科技学院,重庆 401331;
3. 国家电网重庆市电力公司,重庆 400014)

摘要:文章基于可靠性电价“高质高价”的市场化原则,根据供电可靠率和限电序位表,运用机会成本的原理,设计出终端用户的加权可靠率指标,作为用户可靠性电价的成本分摊依据,从而构建出终端用户的可靠性电价测算模型。文章以国内某地区电网公司的实际数据,选取高中低不同可靠性的样本用户,测算了各类用户适用的可靠性电价。研究表明,实施终端用户可靠性电价的改革有助于提高整个社会的用电经济效益;测算结果对于中国优化销售电价结构的市场化改革具有实践上的参考价值。

关键词:可靠性电价;机会成本;加权可靠率

中图分类号:F062.4 文献标志码:A 文章编号:1008-5831(2017)01-0035-06

一、研究背景与文献综述

电价是中国电力行业市场化改革中相关利益方普遍关心的核心问题。随着改革的深入,关于终端销售电价改革的理论研究也越来越多,研究范围包括了从单一制电价、两部制电价、峰谷电价和丰枯电价、阶梯电价到可靠性电价等多种电价形式。其中,可靠性电价是理论界一直在探讨,但至今仍然没有执行的一种电价形式,其“高质高价”的指导思想,能充分体现中国电力行业改革中的市场化定价原则。

可靠性电价是电力公司为了满足不同电力用户对供电可靠性的不同要求,在合理分摊可靠性成本的基础上制定的差别电价。与其他电价形式不同,可靠性电价在其定价时更加注重电力用户的电能质量,供电可靠性越高的用户,其对应的电价也越高。

国外对电网可靠性的经济性研究较早。1991年,Siddiqi和Baughman首先提出可靠性电价的概念,从电力用户行为和福利效应的角度研究了备用容量和电网负荷之间的协调问题,认为把实时电价和可靠性电价结合以后才能达到最优^[1]。1995年,两人研究进一步深入,探讨了旋转备用机组的可靠性定价^[2]。几乎在同一时期,Narayan和Youssef,还有Guldmann基于发电机组的随机停运,提出了一个电力用户对可靠性需求偏好的定价模型^[3-4]。到了2000年,Alvarado以及Allen和Ilic对可靠性电价在市场管理和实际运营中的

修回日期:2016-06-26

基金项目:国家电网重庆市电力公司与重庆大学联合课题“基于可中断负荷管理的可靠性电价测算”

作者简介:曾令鹤(1970-),男,湖北洪湖人,重庆大学经济与工商管理学院讲师,博士研究生,主要从事电力技术经济研究,E-mail: zenglinghe@cqu.edu.cn;吴文建(1981-),女,陕西平定人,重庆科技学院讲师,博士,主要从事新能源政策研究。

基本概念与应用进行了综述^[5-6]。上述文献对备用容量、发电机组停运和电网负荷的研究,包括对电力市场的管理与实际运营,重点都集中于可靠性电价的供电侧。

2000年之后,国内外对可靠性与电价的研究越来越深入。大多数文献将供电侧与需求侧的可靠性电价结合在一起研究,探讨可靠性电价的形成机制。如:Benidris等人基于影子价格对电网运行的可靠性进行了敏感性分析^[7]。张钦等人研究了电力市场下基于分层可靠性服务的可靠性电价体系^[8]。李莉等人^[9]和李文中^[10]在考虑了可中断负荷的基础上,分别研究了可靠性风险的电价计算和可中断电价的补偿机制。上述文献结合发电商、电网公司和电力用户从影子价格、指标体系和可靠性电价的补偿机制方面进行了研究。

有一部分文献专注于研究发电侧市场的可靠性电价。如:Gu等人通过三个微电网和英国电网的实例,考虑电网的距离与效用等方面,研究了电网的可靠性与投资成本的关系^[11]。

本文主要研究的是需求侧市场,也就是终端电力用户的可靠性电价。这方面的研究主要有周平、杨海霞、邓阅等人,其中周平等人研究了适应电力市场运营环境的可靠性电价与赔偿机制,采用单一法和综合法,对终端用户的可靠性电价进行了计算^[12]。杨海霞等人在周平等人的基础上研究了计及指标权重的电力市场可靠性电价模型,采用用户调查、专家打分、供电单位打分等方式对3个可靠性指标进行两两比较,计算可靠性权重的指标,优化了可靠性成本的分摊系数^[13]。邓阅等人应用熵值法,提出以多个可靠性指标联合定价的可靠性电价,建立可靠性电价模型^[14]。上述文献对可靠性电价的计算方法进行了研究,没有运用实际数据对可靠性电价进行测算。

本文基于机会成本的经济学原理,在已有供电可靠率指标的基础上,根据现实中电网公司使用的限电序位表,重新构建了加权可靠率作为衡量用户供电可靠性的指标,以该指标作为供电可靠性成本的分摊依据,并以某地区电力用户为样本,对终端电力用户的可靠性电价进行了实际测算。

文中第二部分探讨了可靠性电价中机会成本的运用原理;第三部分构建可靠性电价的测算模型;第四部分对样本用户的可靠性电价进行测算;第五部分是全文总结。

二、可靠性电价中的机会成本

机会成本(Opportunity Cost,又称为择一成本、替代性成本)与会计成本不同,是指当把一定的经济资源用于生产某种产品时放弃的另一些产品生产上的最大收益。经济资源(如资金、技术或其他的生产要素)一旦被确定了一种利用方式,同时就排除了其他的利用方式,而失去的利用这些资源生产其他最佳替代品,或者说被舍弃掉选项中的最高价值者,即是这种资源利用方式的机会成本。对于资源的不同利用方式,运用机会成本进行分析,有利于作出最优的选择。

中国目前电力用户的终端电价大体是依据电力用户的用电成本制定的,反映了电力企业的供电成本。在电力企业的财务核算中,供电成本通常指会计成本,如从发电企业购电成本,电网企业的输电成本,供电进入千家万户中的输电和配电成本。可靠性电价的供电成本,是增加的成本,是供电企业为了提高电力用户的供电可靠性而额外增加的投入,包括电网的升级改造、备用机组的装机容量、外购电增加的成本以及人员管理经费的提高等,这些成本都需要在可靠性电价中进行分摊。

在终端电力用户可靠性电价的制定中,机会成本主要体现在两方面:其一,对电力用户而言,为了提高用电的可靠性需要支付更高的电费,因为一旦停电,造成的经济损失往往更大,这时,机会成本就产生了。当电力需求过大时,高可靠性用户的用电会优先得到保证,而低可靠性用户可能面临拉闸限电,支付高电费的机会成本就是停电带来的损失。由于支付了高的可靠性电价,避免了停电带来的更大损失。

其二,对全社会而言,电力用户的供电需求得不到满足,将会带来损失,但是电力企业提高供电可靠性需要增加相应的成本,而且当供电可靠性达到一定程度后,再提高供电可靠性所花费的成本将会超过停电损失。这时候,机会成本就产生了,电力公司为提高供电可靠性而增加的投入,其机会成本是电力用户的停电损失。

因此,电力企业在制定终端用户的可靠性电价时,应该在有限资源投入的基础上,通过电价水平的差

距,优先保证停电损失较大的电力用户的供电,并从全社会经济效益最大化的角度,合理确定发电和输配电的投资规模,进而优化销售电价结构,提高电能利用的社会经济效益。

依据机会成本的原理可知,要使全社会用电的经济效益最大化,就需要使全社会用电的机会成本最小,假定全社会所有电力用户的总数为 n ,则总的机会成本可以用下式表示:

$$\sum_{i=1}^n OC_i = OC_1 + OC_2 + \dots + OC_i + \dots + OC_n \quad (1)$$

式(1)中,全社会用电的机会成本为 $\sum_{i=1}^n OC_i$, OC_i 表示电力用户 i 的机会成本,式中, $i = 1 \dots n$,表示全社会不同可靠性需求的电力用户总数为 n 。

按照机会成本的原理,电网公司应该尽可能地评估本系统的供电可靠性和各类用户停电的机会成本,针对不同用户的具体需求制定合理的可靠性电价,按照帕累托原则,从资源优化配置、引导用户合理消费电力的角度,使全社会用电的总机会成本 $\sum_{i=1}^n OC_i$ 最小化和全社会的经济效益最大化。

电力用户首先在停电损失和所支付电费之间选择合适的供电可靠性以及对应的电价水平,实现自身的经济效益最大化。然后,电网公司可以根据电力用户的供电可靠性需求,评估电网的供电可靠性与安全性,在电网升级改造投资和人员管理经费的投入中,从经济效益最大化的角度,在保证供电可靠性需求的前提下,确定最优的供电可靠性水平和投资成本。

三、可靠性电价测算模型

对于供电可靠性要求不同的终端电力用户,其停电的机会成本不同。按照机会成本法,对供电可靠性要求越高的用户,其停电的机会成本越大;对供电可靠性要求较低的用户,其停电的机会成本也较小。因此,用电可靠性不同的用户,其适用的可靠性电价也应该有所差别。为了衡量不同用户用电的可靠性差异,本文拟运用加权可靠率这一指标评价电力用户的用电可靠性差异。

(一) 加权可靠率

目前,衡量供电可靠性的指标主要有供电可靠率和失负荷概率比等指标,其中供电可靠率是指在统计期间内,对用户有效供电时间总小时数与统计期间小时数的比值,以 λ_i 表示 i 用户的供电可靠率,其计算公式为:

$$\lambda_i = \left(1 - \frac{\text{用户平均停电时间}}{\text{统计期间时间}}\right) \times 100\% \quad (2)$$

λ_i 表明在一定时期内用户不停电的概率。对于电力用户而言,供电可靠率是直观和便于观测的指标,是用户在统计期间内实际用电时间所占的比重。

在中国各地区的实际操作中,各类用户的优先供电机会往往更多地由限电序位表确定,限电序位表是电力系统发生局部或电网事故时,为保障电网安全、稳定运行而采取的拉闸限电方案。在某一时期,供电可靠率相同的用户,由于在限电序位表中的排位不同,其供电的可靠性是完全不同的。限电序位表示例见表1。

如表1所示,用户在限电序位表中的排序是根据该电力用户的行业和在经济社会中的重要性而确定的。在限电序位表中,首先按照供电可靠性,将用户划分为高中低三类,在每一类中,又按照 A、B、C、D 进行限电先后次序排位。

从停电的机会成本看,高可靠性用户的停电损失大,其中 D_1 用户的停电损失最大,低可靠性用户的停电损失较小,其中 A_3 用户的停电损失最小。当电网需要拉闸限电时,低可靠性的 A_3 用户最先限电,一般可靠性用户居中限电,高可靠性的 D_1 用户最后限电。

根据限电序位表,本文在供电可靠率的基础上,构建了加权可靠率指标,该指标在电网实际运行中,能

表1 限电序位表示例

| 用户 | 限电序位 |
|-------|-------------------|
| 高可靠性 | $D_1 C_1 B_1 A_1$ |
| 一般可靠性 | $D_2 C_2 B_2 A_2$ |
| 低可靠性 | $D_3 C_3 B_3 A_3$ |

更准确地衡量用户的供电可靠性,从而更加合理地分摊各类用户的可靠性成本,制定可靠性电价,达到优化销售电价的目的。

以 λ'_i 表示用户的加权可靠率,在现有用户可靠率 λ_i 数据的基础上,根据限电序位表,对应不同的用户赋予不同的权重 γ_i ,则加权可靠率 λ'_i 为:

$$\lambda'_i = \gamma_i \lambda_i \quad (3)$$

按照限电序位表 1 对不同可靠性用户可赋予不同的权重,如表 2 所示。

表 2 中,对于不同的极差比例(1%, 2%, 5%),高中低的电力用户都对应了不同的权重比例,采取电网实际运行中的样本用户数据,根据式(2)可计算出供电可靠率,再根据式(3)可计算出加权可靠率,具体的计算过程参看本文后面的测算实例计算结果表格。

(二)可靠性电价的测算公式

以加权可靠率作为可靠性成本的分摊和可靠性电价计算的依据,采用按比例分摊的原则,用户的可靠性电价 $P_i(\lambda'_i)$ 的计算公式如下:

$$P_i(\lambda'_i) = P_0 \times \frac{\lambda'_i}{\bar{\lambda}'_i} \quad (4)$$

或者如下式表示:

$$P_i(\lambda'_i) = \begin{cases} P_0 - |\Delta P_i| = \frac{\lambda'_i}{\bar{\lambda}'_i} P_0 & \lambda'_i \leq \bar{\lambda}'_i \\ P_0 & \lambda'_i = \bar{\lambda}'_i \\ P_0 + |\Delta P_i| = \frac{\lambda'_i}{\bar{\lambda}'_i} P_0 & \lambda'_i \geq \bar{\lambda}'_i \end{cases}$$

式(4)中: $\bar{\lambda}'_i = \sum_{i=1}^n \lambda'_i / n$ 为总体样本用户的平均加权供电可靠率,是所有电力用户加权可靠率的平均值,因此,如果某电力用户 i 的加权可靠率等于平均加权可靠率,即 $\lambda'_i = \bar{\lambda}'_i$ 时,则该用户所应分摊的可靠性成本将等于所有用户可靠性成本的平均值,记此成本为平均成本 C_0 ,那么其对应的可靠性电价将等于平均可靠性电价。

(三)调整电价的计算

根据式(4)可计算出所有电力用户对应的可靠性电价,该电价与现实中执行电价之间的差,即为需要调整的电价。

将平均加权可靠率 $\bar{\lambda}'_i$ 记为基准可靠率,其对应的成本 C_0 记为基准成本,其对应的可靠性电价记为基准可靠性电价 P_0 ,则有: $P_0 = C_0$ 。

P_0 即为现在没有实施可靠性电价时,各用户所支付的可靠性成本,电力用户之间无差别地承担了相同的可靠性成本。

实施可靠性电价改革后,用户 i 需要调整的电价,其计算公式为:

$$\Delta P_i = P_i - P_0 \quad (5)$$

即该用户适用的可靠性电价 P_i 减去现行的执行电价 P_0 。

四、可靠性电价测算模型的应用实例

选取中国西南某地区电力公司所辖的电力用户作为样本用户的来源,在电压等级为 10KV 的用户中,按

表 2 加权可靠率中不同可靠性用户赋予的权重示例

| 用户 | 限电序位 | 权重比例 | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 级差 1% | 级差 2% | 级差 5% |
| 高可靠性 | D_1 | 100% | 100% | 100% |
| | C_1 | 99% | 98% | 95% |
| | B_1 | 98% | 96% | 90% |
| | A_1 | 97% | 94% | 85% |
| 一般可靠性 | D_2 | 96% | 92% | 80% |
| | C_2 | 95% | 90% | 75% |
| | B_2 | 94% | 88% | 70% |
| | A_2 | 93% | 86% | 65% |
| 低可靠性 | D_3 | 92% | 84% | 60% |
| | C_3 | 91% | 82% | 55% |
| | B_3 | 90% | 80% | 50% |
| | A_3 | 89% | 78% | 45% |

照高中低可靠性分三类,每类用户中抽取 30 个样本,每个样本采集 2011 - 2013 年的实际运行数据,得到测算结果如表 3 所示。

表 3 10KV 样本用户的可靠性电价测算结果

| 用户 | 限电序位 | λ_i | γ_i | $\lambda'_i = \gamma_i \lambda_i$ | $\lambda'_i / \overline{\lambda'_i}$ | $P_i(\lambda'_i) = P_0 \times (\lambda'_i / \overline{\lambda'_i})$ (元/千瓦时,右同) | $\Delta P_i = P_i - P_0$ |
|-------|-------|-------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 高可靠性 | D_1 | 99.89% | 100% | 99.89% | 138.05% | 0.30 | 0.08 |
| | C_1 | 100.00% | 95% | 95% | 131.29% | 0.29 | 0.07 |
| | B_1 | 99.91% | 90% | 89.92% | 124.27% | 0.27 | 0.05 |
| | A_1 | 99.73% | 85% | 84.77% | 117.15% | 0.26 | 0.04 |
| 一般可靠性 | D_2 | 99.94% | 80% | 79.95% | 110.49% | 0.24 | 0.02 |
| | C_2 | 99.67% | 75% | 74.75% | 103.31% | 0.23 | 0.01 |
| | B_2 | 99.80% | 70% | 69.86% | 96.55% | 0.21 | -0.01 |
| | A_2 | 99.49% | 65% | 64.67% | 89.37% | 0.20 | -0.02 |
| 低可靠性 | D_3 | 99.90% | 60% | 59.94% | 82.84% | 0.18 | -0.04 |
| | C_3 | 99.93% | 55% | 54.96% | 75.96% | 0.17 | -0.05 |
| | B_3 | 99.62% | 50% | 49.81% | 68.84% | 0.15 | -0.07 |
| | A_3 | 99.51% | 45% | 44.78% | 61.89% | 0.14 | -0.08 |

表 3 中,权重 γ_i 是参考限电序位表中用户 i 的排位次序,按照 5% 的极差对不同用户赋予权重而得到,其中, $\overline{\lambda'_i} = 72.36\%$ 。

可靠性电价中的平均成本,即基准可靠性单位成本 $C_0 = 0.22$ 元/千瓦时,是由电力公司财务部在平均成本定价和盈亏平衡的前提下,在现行电价的成本中,将可靠性成本单独分离计算得到的。

根据测算结果,进行终端用户的可靠性电价改革,其调整电价为:(1)将高可靠性用户的电价,在现有执行电价的基础上,上调 0.04 至 0.08 元/千瓦时;(2)将一般可靠性用户的电价,在现有执行电价的基础上,上下浮动 0.02 元/千瓦时;(3)将低可靠性用户的电价,在现有执行电价的基础上,减少 0.04 至 0.08 元/千瓦时对其进行补贴。

五、结论与展望

本文从机会成本的角度来测算和设计可靠性电价,这对于降低中国终端用户使用电能的成本,提升整个社会的用电经济效益,具有重要的意义。关于终端用户的可靠性电价测算,对比文献[12]、文献[13]和文献[14],本文在社会经济福利最大化的标准下,构建加权可靠率指标,并用实例进行了测算,使可靠性电价的实施在实践中更具有可操作性。

随着新能源和智能电网的发展,电网公司在提升供电可靠性的投资与挖潜改造方面,将在未来面临越来越多的挑战。新型终端电力用户的出现,如电动汽车用户,会对电网的可靠性与安全性造成冲击。对于新型用户的用电成本和适用电价测算,本文基于机会成本的终端用户可靠性电价测算方法,具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] SIDDIQI S N, BAUGHMAN M L. Reliability differentiated real-time pricing of electricity[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1993, 8 (2): 548 - 554.
- [2] SIDDIQI S N, BAUGHMAN M L. Reliability differentiated pricing of spinning reserve[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1995, 10 (3): 1211 - 1218.

- [3] NARAYAN S R, YOUSSEF A H. Economic analysis of reliability differentiated service[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1991, 6(2): 858 – 871.
- [4] YOUSSEF A H, JEAN M G. Reliability pricing of electric power service: A probabilistic production cost modeling approach[J]. Energy, 1996, 21(2): 87 – 97.
- [5] ALVARADO F. The relationship between reliability and market design: Where are we?[R]. NSF/DOE/EPRI Workshop: Future Research Directions for Complex Interactive Electric Networks, Washington D. C, November 16 and 17, 2000.
- [6] ERIC H A, MARIJA D I. Reserve market for power systems reliability [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(1): 228 – 233.
- [7] BENIDRIS M, ELSAIAH S, MITRA J. Sensitivity analysis in composite system reliability using weighted shadow prices[C]//IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2011: 1 – 6.
- [8] 张钦, 白建华, 陈立斌. 电力市场下基于分层可靠性服务的可靠性电价体系研究[J]. 电网技术, 2011, 35(12): 165 – 170.
- [9] 李莉, 谭忠富, 王建军, 等. 可中断负荷参与备用市场下的可靠性风险电价计算模型[J]. 电网技术, 2009, 33(4): 81 – 87.
- [10] 李文中. 可中断电价补偿资金问题研究[J]. 中大管理研究, 2013, 8(4): 123 – 140.
- [11] GU C H, WU J Z, LI F R. Reliability-based distribution network pricing[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2012, 27(3): 1646 – 1655.
- [12] 周平, 谢开贵, 周家启, 等. 适应电力市场运营环境的可靠性电价与赔偿机制[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(21): 6 – 11.
- [13] 杨海霞, 谢开贵, 曹侃, 等. 计及指标权重的电力市场可靠性电价模型[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 67 – 73.
- [14] 邓阅, 田丽, 高来鑫. 基于熵值法的电力市场可靠性电价模型[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2012, 30(5): 80 – 83.

Reliability pricing of the electricity end-users based on the opportunity cost

ZENG Linghe¹, WU Wenjian², LIN Li³

(1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;

2. Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, P. R. China;

3. State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 400014, P. R. China)

Abstract: According to the reliability rate of power supply and the table of load limiting order, this article designs the weighted reliability rate as the cost-sharing index of an electricity end-user, builds a reliability pricing model of the electricity end-users based on the economic principle of opportunity cost and the market principle “high quality and high price”. The study selects the different reliability samples from a domestic local grid company, collects the users’ actual data and calculates the electricity price of various reliability users. The research shows that the reliability pricing of the electricity end-users helps to improve the whole social economic efficiency. The calculating results can be referred to the market-oriented reform of existing terminal electricity price system in China.

Key words: reliability pricing; opportunity cost; weighted reliability rate

(责任编辑 傅旭东)