[购电策略]

基于风险评估的售电公司购电策略

文/国网山西省电力公司营销服务中心　王穆青　高　飞

面对购电市场的不确定性，为售电公司设计出一种基于条件风险价值评估的购电策略，通过条件风险价值评估对售电公司在不同购电交易环境下的组合购电策略进行风险管理，可获得最佳购电策略和方案，通过算例进行了验证。

随着我国新一轮电力体制改革的深化，组建售电公司参与开放性售电市场的现象越发普遍。在充分发挥电价指导作用与市场配置作用的前提下，售电公司将打破电网公司长期以来的统购统销，以竞争的方式重新定义电力市场。我国已进入及通过公示的售电公司达2 259家，完成工商注册的售电公司超过8 000家。但我国售电公司在电力市场中面临一系列的不确定性，购电策略也缺乏理论指导，需针对我国的电力市场环境提出适用于售电公司的购电策略。

风险评估理论

电力市场化的推进使得售电公司在电力中的各项交易行为与风险相伴。当前金融领域已开拓了众多的风险评估的方法，在合理的使用各种工具的情况下，可以实现对风险的有效管控。

1. 风险

风险是指一个事件由于因素的复杂性和变动性的影响使实际结果和预期结果发生背离而导致利益损失的可能性和不确定性。IEEE将风险定义为概率与后果的乘积，即在一定的时间与环境下，可能发生的结果对预期目标的偏离程度。

市场风险是指由基础资产市场价格的不利变动或急剧波动而导致的衍生工具价格或价值变动的风险。电力市场的风险是对电力市场中潜在的或存在的各种风险的统称。风险产生的过程如图1所示。在一定的时间与条件下，风险因素诱发产生风险事件，风险事件的发生会有一定概率引起风险主体收益减少或产生损失，如不加以评估与管控，会导致风险主体的实际结果与其预期目标相偏离，最终产生了风险。

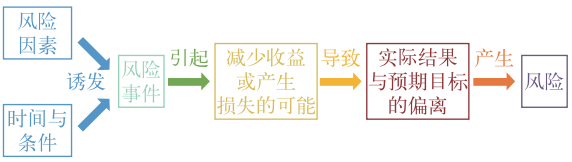

图1　风险产生的过程

2. 风险评估

风险评估是将风险量化可视的重要阶段，是对风险发生的概率及后果进行分析的重要过程。单一的数字并不能完整地描述一笔交易的全部情况，交易的好坏与交易的质量需要综合多个维度去分析。

风险的评估大致分为三种类型：传统风险评估，以方差及半方差为代表；现代风险评估，以风险价值评估为代表；内在一致风险评估，以条件风险价值评估为代表。

条件风险价值（CVaR）是度量企业经营活动所需资本数量的方法，可反映企业可准备承担的损失

额，CVaR是风险价值（VaR）的一种特例。

企业的高置信水平对应低风险偏好，通常企业将置信水平选择为95%置信度（5%的损失发生概率）、99%置信度（1%的损失发生概率）或99.9%置信度（0.1%的损失发生概率）。而置信区间作为选择变量，对应为超过企业准备承担的损失额度，通常拥有大量信用组合的企业置信区间较高，以避免耗尽自身信用资本。

CVaR的实际意义表示损失超过VaR的条件均值，代表超额损失的平均水平，CVaR可以直观地反映在损失超过VaR临界值时可能面临的潜在损失平均值的大小，也可以被称为平均短缺或平均超额损失。CVaR满足一致性公理，同时满足正齐次性、单调性、次可加性及传递不变性，与VaR相比CVaR的计算更加容易，表示意义更加直观，有利于投资者合理判断当前的投资策略。从应用领域来看，CVaR在金融风险评估方面有卓越的表现，可以广泛用于银行、对冲基金和监管部门等需对投资风险进行度量的企业，可直接作用于企业的投资组合优化、期货套期保值、市场风险评估及信息披露等方面。

基于条件风险价值评估购电策略的模型

设x为售电公司购电组合方案向量，维数为q，R表示在购电市场中发电商的报价方案，将x定义在R的范围内，即$x \in R^q$。y表示售电公司采用某种购电策略后产生的收益率向量，维数为m，其本质为市场的随机因素对损失产生的影响。采用收益率形式有利于在同一基准条件下比较不同购电策略产生的风险大小，y被定义为$y \in R^m$。

将$f(x, y)$设为售电公司使用某种购电策略的损失函数，式（1）与式（2）表示为售电公司的购电策略向量

$$x^{\mathrm{T}}=(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_q) \tag{1}$$

$$\sum_{i}^{q} x_i=1 \tag{2}$$

式中，x_i表示售电公司在某供电商中购电所占总购电量的比例；q表示售电公司选择进行购电的供电商数量。

式（3）表示在市场因素作用下售电公司在x^{T}购电策略下的收益向量

$$y^{\mathrm{T}}=(y_1, y_2, y_3, \cdots, y_q) \tag{3}$$

为简化计算，将收益相应地折算为收益率，即

$$y_i=(C-p_i)/C \tag{4}$$

式中，C表示售电公司在当前可接受的最大购电单位成本；p_i表示第i个参与购电交易的发电商给予的单位电价。

由式（4）可得售电公司收益率的均值与方差分别为

$$\mu_i=(C-\mu_{pi})/C \tag{5}$$

$$\sigma_i=\sigma_{pi}/C \tag{6}$$

式中，μ_i表示售电公司收益率均值；μ_{pi}表示第i个发电商单位电价均值；σ_i表示售电公司收益率均值；σ_{pi}表示第i个发电商单位电价均值。

由式（5）可得售电公司收益率向量为

$$\mu^{\mathrm{T}}=(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \ldots, \mu_q) \tag{7}$$

当收益率为负数时，即为售电公司在该种购电策略下产生的亏损，为更清晰地表示，将风险描述为正数，售电公司的购电损失函数可以表示为

$$f(x,y)=-x_1y_1x_2y_2x_3y_3 \ldots x_qy_q=-x^{\mathrm{T}}y \tag{8}$$

依据VaR的含义将y的联合概率密度函数设为$p(y)$，所以由市场因素y引起的售电公司损失的分布函数可以由式（9）表示为

$$F(x,a)=\int_{f(x,y)} p(y)\mathrm{d}y \tag{9}$$

式中，a表示售电公司的临界损失值；在确定的购电策略x与市场因素y的共同作用下F（x，a）表示售电公司损失累计的分布函数。

设β为置信度，售电公司在β置信度下的损失所对应的风险价值可表示为

$$VaR_\beta(x)=\min[a \in R; F(x,a) \geqslant \beta] \tag{10}$$

售电公司购电的条件风险价值是指在某个购电策略的损失超过给定的风险价值下该购电策略的平均损失值。在β置信度下，条件风险价值可表示为

$$\begin{aligned} CVaR_\beta(x) &= E\left[f(x,y) \mid f(x,y) \geqslant VaR_\beta(x)\right] \\ &= (1-\beta)^{-1}\int_{f(x,y)\geqslant VaR_\beta(x)} f(x,y)p(y)\mathrm{d}y \end{aligned} \tag{11}$$

式中，$E\left[f(x,y) \mid f(x,y) \geqslant VaR_\beta(x)\right]$表示在$\beta$置信度下，售电公司的购电策略的平均损失值，因含有风险价值函数的公式并不容易求得，可将式（11）进行线性化，可得

$$V(x,a)=a+(1-\beta)^{-1}\int_{y\in R^m}[f(x,y)-a]^+ p(y)\,\mathrm{d}y \tag{12}$$

式中，$[f(x, y)-a]^+$表示为$\max\{0, f(x, y)-a\}$。

由于式（12）中的市场因素概率密度$p(y)$不易求得，可以由历史数据模拟或蒙特卡洛等方法来进行数值估计。设y为多个样本值，式（12）变为

$$V'(x,a)=a+q^{-1}(1-\beta)^{-1}\sum_{k=1}^{q}[f(x,y_k)-a]^{+} \quad (13)$$

式中y_k表示选取了q组样本。

将式（8）代入式（13）可得

$$V'(x,a)=a+q^{-1}(1-\beta)^{-1}\sum_{k=1}^{q}[x^{\mathrm{T}}y_k-a]^{+} \quad (14)$$

为得出易于计算的线性化模型，可将售电公司的购电策略风险评估模型变为

$$\min V'(x,a,z)=\min[a+q^{-1}(1-\beta)^{-1}\sum_{k=1}^{q}Z_k] \quad (15)$$

$$Z_k=[-x^{\mathrm{T}}y_k-a]^{+} \quad (16)$$

其相应的约束条件为

$$\sum_{i}^{q}x_i=1;x_i\geqslant 0 \quad (17)$$

$$Z_k\geqslant(-x^{\mathrm{T}}y_k-a) \quad (18)$$

$$Z_k\geqslant 0 \quad (19)$$

$$x^{\mathrm{T}}\mu\geqslant\delta \quad (20)$$

式中，δ表示为期望收益的下界，取值范围为$\delta\in[0,1]$。

式（17）表示购电比例非负且和为1，通过式（16）可得式（18）与式（19），式（20）表示售电公司购电期望收益，通过LINGO 11.0可编译式（15）～式（20）求得相应的售电比例、VaR和CVaR等值。

实例验证

我国电力市场依然处于改革中，为验证售电公司在不同购电策略下风险的评估，将对发电商的电价与售电公司的最大购电成本进行合理的假设。

表1中所假设的供电商1是低均值高方差的电价分布，表示销售电价较低，但波动性较大，当电量不能满足用电需求时，售电公司需要额外地从现货市场购买电力来补充，供电商1更近似于拥有较高补贴的风力发电商。供电商2的均值与方差均适中，大多数时间可以满足售电公司电量需求，供电商2更接近于火力或水力发电商。供电商3的均值较高但方差较小，基本可以满足售电公司的实时需求，供电商3更接近于现货市场中的旋转备用，可以及时地满足市场的需求，但价格较高。

表1　供电商电价分布数据

（单位：元/MW·h）

电价指标	供电商1	供电商2	供电商3
均值μ_{pi}	200	240	325
方差σ_{pi}	230	180	30

假设售电公司可接受的最大购电单位成本为350元/MW·h，依据式（5）与式（6）可得售电公司收益率的均值与方差见表2。

表2　售电公司收益分布数据

电价指标	供电商1	供电商2	供电商3
均值μ_{pi}	0.428 6	0.314 3	0.071 4
方差σ_{pi}	0.657 1	0.514 3	0.085 7

由正态分布随机产生了100组售电公司收益的样本，作为模拟电力市场的历史数据，置信度β分别取为0.95与0.99，售电公司收益率期望的下限值分别取为0.2与0.3，使用LINGO 11.0进行线性规划的计算结果见表3。

由表3可以看出，置信度与收益的期望对售电公司的购电策略有很大的影响。

表3　售电公司购电量分配与风险价值与条件风险价值

置信度β	期望收益率下界C	供电商1	供电商2	供电商3	VaR	CVaR
0.95	0.15	0.124 5	0.140 5	0.735 0	0.016 5	0.096 5
	0.20	0.192 3	0.246 6	0.561 1	0.068 5	0.132 3
	0.25	0.311 1	0.277 7	0.411 2	0.113 1	0.179 4
	0.30	0.379 9	0.382 4	0.237 7	0.177 3	0.237 4
	0.35	0.459 3	0.471 6	0.069 1	0.220 0	0.301 2
	0.40	0.750 0	0.250 0	0	0.326 3	0.449 0
0.99	0.15	0.094 6	0.184 5	0.720 9	0.144 4	0.144 4
	0.20	0.160 0	0.294 2	0.545 8	0.215 4	0.215 4
	0.25	0.225 4	0.403 8	0.370 8	0.286 3	0.286 3
	0.30	0.290 8	0.513 5	0.195 7	0.357 3	0.357 3
	0.35	0.356 2	0.623 2	0.020 6	0.428 3	0.428 3
	0.40	0.750 0	0.250 0	0	0.423 4	0.738 3

有效前沿是指同时满足相同风险水平的最大收益组合或相同收益预期下的最小风险组合的有效集。通过式（21）条件风险价值与预期收益率有效前沿如图5所示。

$$E(x)=x^{T}\mu \tag{21}$$

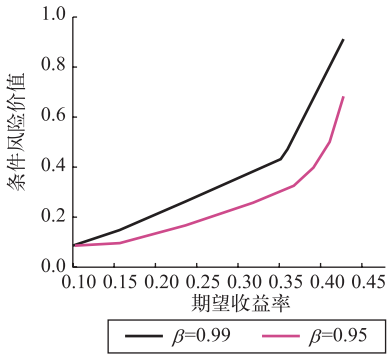

图2　条件风险价值与预期收益率有效前沿

由表3及图2可得如下结论：

1）在有效前沿曲线上侧为有效的购电组合策略，其以横坐标期望收益率相同时来看，在有效前沿上的条件风险价值最小，是在该期望收益率下的最优投资组合；以纵坐标条件风险价值相同时来看，在有效前沿上的期望收益率最大，是在该条件风险价值下的最优投资组合。

2）对比表3可以发现随着购电收益率的增长，售电公司从供电商3所购得的电力逐步减少，从供电商1及供电商2所购得的电力逐步增加。纵向对比0.95置信度与0.99置信度的不同购电策略，可以发现0.99置信度下售电公司更倾向于向供电商2购电，增长速度快于从供电商1购电。供电商2的均值大于供电商1而方差小于供电商1，说明0.99置信度下售电公司购电策略更加保守，属于风险厌恶型的购电方式，0.95置信度下售电公司的购电策略属于风险偏好型。

3）观察表3中的极端数据，在预期收益期望过高时会产生购电策略的畸形变化，售电公司完全终止从供电商3购电，同时逆趋势大幅减少供电商2购得的电力，而大幅增加从供电商1购得的电力。售电公司大幅放弃购电的可靠性而过分追求高的利润率会使售电公司的购电风险急剧增加，对售电公司产生重大的影响。

4）对比图2中曲线可发现在预期收益率增大时，条件风险价值也随之上升，并且两条曲线均会出现明显的拐点，售电公司购电组合的预期收益率超过某个定值时会出现条件风险的快速增长。

5）在不同置信度下两条曲线偏差较大。在相似的预期收益率下，0.99置信度的条件风险价值大于0.95置信度的条件风险价值，指在更加极端的情况下，售电公司的购电决策可能面临更大的风险。对比在相似条件风险价值下，0.99置信度的预期收益率远低于0.95置信度的预期收益率。0.99置信度的条件风险价值拐点也较0.95置信度的条件风险价值拐点靠前，即高风险来临更早。对比表3，在0.22条件风险价值附近，0.99置信度的预期收益率为0.2而0.95置信度的预期收益率为0.3，对比两组购电方案，0.99置信度的购电组合更加保守，高均值低方差的供电商3的购电占比更大。对于风险厌恶度较高的售电公司可以选择较高的置信度，减少波动，以便锁定风险；对于风险厌恶度较低的发电商，可以选用较低的置信度，以增加收益。

6）由图2可知在一定的购电市场中，售电公司的购电策略会有预期收益率的上下限，在给定的假设下，最小预期收益率为0.071 4，最大预期收益率为0.428 6，超过范围的运算均不收敛，即在一定的购电策略下，售电公司收益可控。

结论

目前，我国电力市场还处于起步阶段，许多关键技术与关键问题还在研究之中。在售电公司参与购售电交易方面，大多数售电公司的交易均属于中长期合同试点交易，完全自发、高效和实时的市场还未形成。在售电公司购售电交易策略方面，相关研究依然较少，并且应用于实际中的方案更是寥寥无几，相关研究应当切合电力市场改革发展的实际，为售电公司的建设提供进一步的支撑。条件风险价值是金融领域有效的风险评估与管理手段。本文通过模拟售电公司的购电交易，通过条件风险价值建模获得不同风险偏好的售电公司购电策略。同时采用有效前沿，可视化售电公司购电策略与风险间的关系。通过算例表明，售电公司可以采用条件风险价值对购电风险进行评估与管理。EA

（收稿日期2021-03-07）