

考虑多时段 CVaR 的供电公司购电优化模型

吴 薇, 刘俊勇

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 电力市场环境下, 由于市场价格的不确定性和负荷需求的随机性, 供电公司面临在多个市场间购电时需要综合考虑风险和收益的权衡问题。单时段条件风险价值 (conditional value at risk, CVaR) 可以衡量单时段购电的风险和收益, 但购电过程是一个动态的优化问题, 因此将多时段 CVaR 风险收益模型应用于供电公司的购电组合中, 建立以风险最小化为目标的多市场购电组合优化模型。应用该模型, 对供电公司在多个时段多个市场的购电分配进行计算, 并利用该模型分析不同置信水平和期望收益对购电分配决策的影响。考虑到风险对未来投资收益的长期影响, 引入转移影响率, 将上一时段的风险转移到下一时段, 从而降低整体风险。算例结果表明了该方法的有效性, 从而为供电公司的购电决策及其风险评估提供新的思路。

关键词: 电力市场; 供电公司; 购电策略; 多时段条件风险价值; 风险转移

Abstract: In the power market for the uncertainty of market price and the randomness of load demand, the power supply companies need synthetically consider the balance between risks and revenues when purchasing electricity in a number of markets. Single-period conditional value at risk (CVaR) can only measure the risks and revenues of single period, but the process of purchasing electricity is a dynamic optimal problem. So the multi-period CVaR model is applied to the portfolio and optimal power purchasing portfolio model for multiple markets in which the minimum risk is the objective function is proposed. Using the model, the allocation in different periods and different markets can be calculated. Furthermore, the effect of different confidence level and expected revenues on purchasing strategy is analyzed. Taking into account of the long-term impact of risks on the future investment income, the risk-transferring rate is introduced in order to transfer the risks of one period to the next period and reduce the overall risks. The calculation results show the validity of the multi-period CVaR model and provide a new way for purchasing strategy and risk evaluation.

Key words: power market; power supply company; purchasing strategy; multi-period conditional value at risk; risk-transferring

中图分类号: F407.6 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2009)05-0005-05

0 引 言

随着电力市场化改革的深入, 中国电力市场运营正由发电竞争的模式发展并过渡到输配分开的模式。在输配分开的市场环境中, 供电公司将从垄断运营的电力工业体制中解捆并作为独立的市场主体参与竞争。供电公司代表用户先在电力批发市场购电, 再以受到管制的价格卖给用户, 承担着购电价格波动的风险。为了满足用户的电能需求同时又要规避风险, 供电公司需要综合考虑在不同时段不同市场的购电决策, 合理分配在各个交易市场中的电量, 以取得最大收益并分散风险。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (973 项目) (2004CB217905)

当前有多篇文献涉及电力市场的投资决策及风险管理, 但大部分研究都是针对发电商进行的, 而对于供电公司的购电决策及风险评估问题的研究还不多。文献 [6] 建立了购电的单目标规划, 讨论了购电量为确定量和随机量两种情况下的最优购电组合方案, 但未计及购电商在进行购电决策时所面临的决策风险。事实上, 电价及其相应的购电费用都是随机变量, 这些不确定性因素使得购电决策具有风险, 因此在构造电能分配策略时应计及风险。文献 [7] 针对作为价格接受者的购电商, 构造了其在计及风险时的购电分配策略方法, 兼顾收益和风险这两个有冲突的目标, 但是该方法采用方差来度量风险, 在计及风险时需要凭经验在期望值和方差值之间做适当加权折中, 无法得到对风险的显式描述, 而且用方差来描述

风险需要其收益服从正态分布,具有局限性。近年来,提出了大量计量风险的新方法^[8],如风险价值(VaR, value at risk)和条件风险价值(CVaR)方法,以便更准确地反映风险的本质特征。文献[9~10]利用期货、期权风险管理工具的风险价值 VaR 评估方法来分析发电商报价过程中的风险,该方法的优点是克服了均值-方差模型的两个缺陷,但 VaR 在投资组合收益不服从正态分布时,不满足一致性风险度量。CVaR 模型目前被广泛地用于组合投资问题的风险度量与控制,研究表明了 CVaR 模型要比 VaR 模型对组合投资的风险度量更有效。文献[11]以 CVaR 为风险度量指标,建立了供电公司电能分配问题的均值-CVaR 模型。该方法有效地克服了 VaR 投标组合的缺陷,但单时段 CVaR 模型一般用于研究单期静态风险变化情况,即只考虑某一时段的风险。事实上,购电决策过程是一个动态的优化问题,决策过程中常常呈现多期风险,因而对风险的度量也应该是动态的。

在上述研究的背景下,提出一种动态风险度量,考虑到风险对未来投资收益波动的长期影响,应用多时段 CVaR 来度量购电的动态风险,建立了在不同市场条件下供电公司多时段组合市场购电优化模型。采用规划软件 LINGO 编程实现,算例分析表明了所建立的购电模型的基本特征。

1 多时段动态风险度量

1.1 静态风险度量

VaR 作为金融领域广泛应用的一种风险度量指标,是指在正常的市场波动和给定的置信水平下,某一资产组合在未来特定时间段内的最大可能损失。VaR 之所以被广泛地应用,在于它用一个简单可以理解的数字来描述评估对象可能面临的风险程度,便于对风险管理结果做出直观判断。尽管 VaR 是目前风险管理的主流方法,但研究表明,将其应用在投资组合优化的问题上仍然存在很多缺陷。例如,它不满足一致性公理、缺乏次可加性,因此不能用于组合优化。作为对 VaR 不足的修正,文献[15]首次提出了基于条件风险价值 CVaR 的风险度量技术,它是指损失超过 VaR 的条件均值,代表了超额损失的平均水平,反映了损失超过 VaR 临界值时可能遭受的平均潜在损失的大小,更能体现潜在的风险价值。与 VaR 一样,

CVaR 不要求市场因子服从正态分布,且仅以减少下方损失为目标,因而在理论上被认为是优于方差的风险度量指标。同时,它是一致性风险计量,并且具有凸性。但是 CVaR 只考虑某一时间段的资产组合,一种基于固定投资期限的静态一致性风险度量。

1.2 多时段动态风险度量

单期静态风险度量只考虑单一时段资产的变化情况,即只考虑资产从 0 到 T 时刻的变化。现将固定期限分为 k 时段,设资产在 n 个市场中进行分配,对第 t 个时段进行分析,其基本原理如下。

设 $x_t = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tn})^T$ 为 n 种资产的投资比例向量,而 $y_t = (y_{t1}, y_{t2}, \dots, y_{tm})^T$ 为 m 维随机变量,表示市场的随机因素(如市场收益率),其分布密度函数为 $p(y)$ 。对于时段 t 设 $f_t(s_t, x_t, y_t)$ 为在决策变量 x_t 状态变量 s_t 下由 y_t 引起的损失函数。设 $x_t(s_t)$ 是在状态变量 s_t 下可能的决策变量的集合, s_t 的状态转移方程为

$$s_{t+1} = g_t(s_t, x_t) \quad (1)$$

式中, $t=1, 2, \dots, k-1, s_0=0$ 。

为方便计算,一种简单的状态转移方程是

$$s_{t+1} = x_t \quad (2)$$

设 $\psi(s_t, x_t)$ 为损失函数 $f_t(s_t, x_t, y_t)$ 的分布函数,则其不超过临界值 α 的分布函数为

$$\begin{aligned} \psi(s_t, x_t) &= P\{f_t(s_t, x_t, y_t) \leq \alpha\} \\ &= \int_{f_t(s_t, x_t, y_t) \leq \alpha} p(y) dy \end{aligned} \quad (3)$$

以 β 表示置信水平, $\alpha_\beta(x)$ 表示当投资组合为 x_t 时损失 $f_t(s_t, x_t, y_t)$ 所对应的 VaR 的值,其计算公式为

$$\alpha_\beta(s_t, x_t) = \min\{\alpha \in R \mid \psi_t(s_t, x_t, \alpha) \geq \beta\} \quad (4)$$

又以 $\Phi_\beta(x)$ 表示资产损失 $f_t(s_t, x_t, y_t)$ 不小于 $\alpha_\beta(x)$ 时的 CVaR 值。

$$\begin{aligned} \Phi_\beta(s_t, x_t) &= E[f_t(s_t, x_t, y_t) \mid f_t(s_t, x_t, y_t) \geq \alpha_\beta(s_t, x_t)] \\ &= \frac{1}{1-\beta} \int_{f_t(s_t, x_t, y_t) \geq \alpha_\beta(s_t, x_t)} f_t(s_t, x_t, y_t) p(y) dy \end{aligned} \quad (5)$$

由于上式中含有 VaR 函数 $\alpha_\beta(s_t, x_t)$ 项,而 $\alpha_\beta(s_t, x_t)$ 的解析表达式难以求出,文献[17~19]引入一个相对简单的函数。

$$F_\beta(s_t, x_t, \alpha) = \alpha + \frac{1}{1-\beta} \int_{\substack{y \in R \\ f_t(s_t, x_t, y_t) > \alpha}} [f_t(s_t, x_t, y_t) - \alpha]^+ p(y) dy \quad (6)$$

式中, $[f_t(s_t, x_t, y_t) - \alpha]^+$ 表示 $\max\{0, f_t(s_t, x_t, y_t) - \alpha\}$ 。

因此在实际计算中,通常基于上式确定资产的最

优组合系数向量 x_t 及相应的 CVaR 和 VaR 的值。

2 基于多时段 CVaR 的购电组合优化模型

市场环境下电力批发价格时有波动,但需求侧售电价格相对固定。供电公司一方面要进入批发市场购电,将面临现货市场价格的急剧变化;另一方面要为用户提供可靠的电力,却面对着固定的合同价格和零售价格以及不确定的负荷需求。发电侧和需求侧的相互影响和两侧电力价格的差异给供电公司带来很大的市场风险。对供电公司而言,在各个市场不同时段购电会有不同的收益率,因此,供电公司会将总资产分配到各个市场,采取不同的购电组合策略,将会获得不同的总收益,同时面临不同的损失风险。

将供电公司用户负荷需求看作总资产^[11],将其在各类市场购电并向用户销售后获得的利润看作投资回报,用动态风险度量的方法来建立供电公司的最优购电模型。在计及风险情况下的投资组合优化问题属于多目标随机优化问题,必须权衡利润最大化和风险最小化这两个冲突的目标。根据多目标优化理论,可将其中的一个目标(如总利润)约束在某一水平,求另一目标(如风险)的最优化,从而转化为单目标最优化问题,此时获得的最优解为原问题的有效解。这样,就以利润作为约束条件之一,最小化 CVaR 风险水平,建立基于 CVaR 风险度量指标的供电公司最优购电模型。

设 $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})^T$ 为供电公司在 t 时段的购电组合策略,其中:分量 x_{it} 表示在 i 市场所分配的比例; n 为市场数,满足 $x_{ij} \geq 0 (i=1, 2, \dots, n)$,且 $\sum_{i=1}^n x_{it} = 1$ 。设 y_t 表示第 i 个市场的收益率,则多元随机向量 $y_t = (y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{nt})^T$ 表示供电公司的组合收益率向量, $s_t = (s_{1t}, s_{2t}, \dots, s_{nt})^T$ 表示 t 时段的状态向量。 t 时段购电组合的平均回报率为 $\sum_{i=1}^n x_{it} y_{it}$,其相反数 $-\sum_{i=1}^n x_{it} y_{it}$ 即为平均损失率,则 t 时段 s 状态下购电组合的损失函数为

$$f_t(s_t, x_t, y_t) = \sum_{i=1}^n f_t(s_{it}, x_{it}, y_{it}) = -\sum_{i=1}^n (x_{it} + \lambda s_{it})^T y_{it} = (x_t + \lambda s_t)^T y_t \quad (7)$$

式中, $\lambda \in (0, 1)$ 为转移影响率; $-\lambda s_t^T y_t$ 为转移损失,则 $\lambda s_t^T y_t$ 为转移利润。将上一时段的投资组合作为下一时段的状态,一种简单的状态转移方程为

$$s_{t+1} = x_t \quad t = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

定义 t 时段购电组合的收益函数 $R(s_t, x_t, y_t)$, 则 $R(s_t, x_t, y_t) = (x_t + \lambda s_t)^T y_t$, 组合收益的均值为

$$E[R(s_t, x_t, y_t)] = E[(x_t + \lambda s_t)^T y_t] = (x_t + \lambda s_t)^T E[y_t] \quad (9)$$

取市场收益 y_t 的样本值 $y_t^1, y_t^2, \dots, y_t^q$, 式(9)的估计式为

$$F_\beta(s_t, x_t, \alpha) = \alpha + \frac{1}{q(1-\beta)} \sum_{j=1}^q [- (x_t + \lambda s_t)^T y_t^j - \alpha]^+ \quad (10)$$

式中, α 为一定置信水平和风险水平约束下的 VaR 值,即供电公司的单位最大可能损失;设虚拟变量 $z_j = [- (x_t + \lambda s_t)^T y_t^j - \alpha]^+ (j=1, 2, \dots, q)$, 则基于多时段风险度量的供电公司最优购电模型如下。

$$F_\beta(s_t, x_t, \alpha) = \alpha + \frac{1}{q(1-\beta)} \sum_{j=1}^q z_j \quad (11)$$

$$s_t \quad x_{it} \geq 0 \quad \sum_{i=1}^n x_{it} = 1 \quad (12)$$

$$z_j \geq 0 \quad z_j \geq - (x_t + \lambda s_t)^T y_t^j - \alpha \quad (13)$$

$$s_{t+1} = x_t \quad t = 1, 2, \dots, k \quad (14)$$

$$E[R(s_t, x_t, y_t)] \geq e \quad (15)$$

式中, e 为收益下界,且 $0 \leq e \leq 1$ 。

3 算例分析

在电力市场中,不同时段不同市场往往具有不同的价格波动特性和收益率随机波动的特性,下面将以供电公司在年度合约市场、月度合约市场、日前市场和实时市场这 4 个市场中购电为例,进行算例分析。同时将购电过程分为 4 个时段,当然也可以计算任意时段的优化分段电量。设 x_{1t}, x_{2t}, x_{3t} 和 x_{4t} 分别为 t 时段购电电量在 4 个市场的分配比例。模拟市场历史数据,根据优化模型(式(11)~式(15))进行计算。表 1 给出 4 个市场的收益率分布数据。

表 1 4 个市场的收益率分布数据

收益率 指标	实时 市场 y_1	日前 市场 y_2	月度合约 市场 y_3	年度合约 市场 y_4
均值	0.433 3	0.333 3	0.133 3	0.066 7
标准差	0.700 0	0.500 0	0.320 0	0.086 7

按正态分布随机产生了收益率的 100 组样本,作为模拟的市场历史数据: $y_t^q = (y_{1t}^q, y_{2t}^q, y_{3t}^q, y_{4t}^q)$, 其中 $q=1, 2, \dots, 100, t=1, 2, 3, 4$ 。采用规划软件 LINGO 对 $t=1$ 以及 $t=4$ 分别进行计算,结果如下。

1) $t=1$ 时,当置信水平 β 分别取 0.90 和 0.95,期望收益率下限取 0.2 和 0.3,将各项数据带入模型中分别进行计算,结果如表 2 所示。

由表 2 得到的是 1 个时段 4 个市场购电组合的比例和条件风险值,从结果中可以得出:

(1)当期望收益下限 e 固定时,随着 β 从 0.90 增大到 0.95 (风险规避程度的增加), $CVaR$ 随之增大,风险大的实时市场的份额减少,但日前和合同份额增大,说明供电公司希望增加在风险小的市场的投资来规避风险。

(2)当置信水平 β 固定时,随着期望收益下限从 0.2 增大到 0.3 (风险容忍程度的增加),实时市场的份额增大,合同市场的份额减少,说明供电公司为了获得高额回报,必须承受更大的风险。

(3)当期望收益下限 e 和置信水平 β 都固定时, $CVaR$ 的值都大于 VaR 的值,这是因为 $CVaR$ 度量的是超过 VaR 的平均损失,它比 VaR 更加稳健。

2) $t=4$ 时,当置信水平 β 取 0.95,期望收益率下限分别取 0.2 和 0.3 时,重复上述计算,结果如表 3 所示。

由表 3 得到的是 4 个时段 4 个市场购电组合的比例和条件风险值,与表 2 相比,分 4 个时段的投资风险显然要比 1 个时段的投资风险小几倍。由表 3 可见,当 $e=0.2, \beta=0.95$ 时, $CVaR$ 值由单时段的 0.122 2 降为多时段的 0.045 5,整体风险水平降低。多时段 $CVaR$ 的组合优化模型可以对不同时段、不同市场情况对购电组合决策进行调整,通过改变在不同市场分配的电量比例来使风险最小。

考虑到风险对未来投资收益的长期影响,引入转移影响率 $\lambda, \lambda s^T y_t$ 为转移利润。若上个阶段的利润

增加,则下个阶段的转移利润也随着增加;若上个阶段的利润减少,则下个阶段的转移利润也随之减少。因此,每个阶段的投资会影响到下一个阶段的投资,通过在每一时段的期末改变各个市场的投资比例,将上一时段的风险转移到下一时段,从而使风险得到有效的控制。基于上述数据,代入式 (11)~式 (15) 进行计算,得到表 4 所示的计算结果。比较表 3 和表 4 可见,在相同的置信水平 $\beta=0.95$ 和期望收益 $e=0.2$ 下,随着转移影响率的增大,风险明显减小。供电公司在实时市场的份额减少,而在其他市场的总量增加,即供电公司可以通过改变电能分配策略来适应市场环境变化,满足期望收益约束的同时实现风险最小化。同时转移影响率的变化,也会引起投资比例发生变化。通过计算结果可知,不同时段组合投资的比例不一样,这表明多时段 $CVaR$ 优化模型能够反映不同的外部市场环境,给出相应的最优电能分配策略。可以通过组合投资和时段投资来分散控制风险,从而获得更大的收益。

为了得到组合期望收益率随风险值变化的曲线,改变约束中的期望收益率下限,重复上述计算,可得到如图 1 所示的有效前沿曲线。

由图 1 可以得到如下的结论。

1)有效前沿以下的区域为供电公司购电组合的可行域,域中的任意一点对应 1 组可行的购电组合。从图 1 可以看出,在相同期望收益下,有效前沿上的点对应的风险水平低于可行域其他点对应的风险水平;在相同风险水平下,有效前沿上的点对应的期望

表 2 单一时段的 VaR 和 CVaR 的值

收益下限 e	置信水平 β	x_{1t}	x_{2t}	x_{3t}	x_{4t}	VaR	CVaR
0.2	0.90	0.123 6	0.250 0	0.320 7	0.305 8	0.058 7	0.09 41
	0.95	0.118 0	0.264 4	0.293 3	0.324 2	0.073 4	0.122 2
0.3	0.90	0.271 9	0.425 7	0.302 4	0	0.128 5	0.205 7
	0.95	0.261 7	0.440 9	0.297 4	0	0.183 7	0.263 3

表 3 多时段的 VaR 和 CVaR

收益下限 e	时段 t	x_{1t}	x_{2t}	x_{3t}	x_{4t}	VaR	CVaR
0.2	1	0.298 6	0.066 7	0.090 6	0.544 0	0.157 6	0.158 0
	2	0.121 8	0.251 3	0.324 9	0.301 9	0.062 7	0.063 9
	3	0.113 1	0.267 0	0.310 2	0.309 7	0.077 7	0.079 4
	4	0.140 9	0.300 4	0.023 2	0.535 5	0.043 5	0.045 5
0.3	1	0.418 0	0.206 5	0.375 5	0	0.202 7	0.272 6
	2	0.188 4	0.550 9	0.260 7	0	0.225 8	0.226 2
	3	0.097 6	0.687 1	0.215 3	0	0.226 3	0.227 0
	4	0.282 8	0.486 3	0	0.231 0	0.146 1	0.148 3

表 4 转移率对 VaR 和 CVaR 的影响

转移率 λ	时段 t	x_{1t}	x_{2t}	x_{3t}	x_{4t}	VaR	CVaR
0.3	1	0.296 6	0.068 8	0.094 5	0.540 1	0.157 8	0.157 8
	2	0.175 0	0.197 1	0.249 1	0.378 8	0.042 9	0.090 7
	3	0.132 6	0.244 4	0.293 4	0.329 6	0.055 1	0.057 9
	4	0.146 3	0.269 8	0.116 2	0.467 7	0.025 3	0.040 0
0.5	1	0.288 3	0.077 0	0.106 1	0.528 5	0.154 5	0.161 8
	2	0.198 6	0.180 1	0.209 9	0.411 4	0.033 6	0.046 2
	3	0.164 6	0.202 1	0.286 4	0.346 9	0.036 3	0.052 6
	4	0.156 4	0.245 7	0.157 1	0.440 8	0.017 5	0.028 9

收益大于可行域其他点对应的期望收益,即最优组合点在有效前沿上。

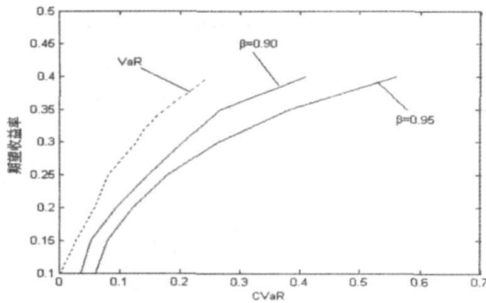


图 1 VaR 和 CVaR 的有效前沿

- 有效前沿曲线是单调递增的,说明在有效前沿曲线上,风险随期望收益的增加而变大。
- 当置信水平 β 增大时,有效前沿曲线右移。说明提高置信水平,在相同的期望收益水平下,风险就越大。

4 结 论

以多时段 CVaR 为风险度量指标,综合考虑风险和收益的均衡问题,研究了供电公司不同时段在年度合约市场、月度合约市场、日前市场和实时市场之间的购电分配方案,建立了在一定期望收益下风险最小的最优购电组合优化模型。供电公司可以根据其风险的承受能力以及市场波动情况,在一定的置信水平及期望收益下限下,确定其在不同时段、不同市场的购电比例。计算结果表明:

1)供电公司针对风险的态度不同(置信水平不同),其收益也不同。对于厌恶风险的购电商来说,可以选择较高的置信水平,增大合同市场的分配比例,以便能锁定风险;而对于喜好风险的购电商来说,可以设置较低的置信水平,使得实时市场比例加大,获得更大的收益回报。

2)一般的 CVaR 模型只用于研究单期资产的变

化情况,是基于固定投资期限的风险度量。然而供电公司购电过程中常常呈现多期风险,即动态风险。多时段 CVaR 是动态风险度量,它不断调整影响风险的因数,从而控制风险。多时段 CVaR 值低于单期 CVaR,这是由于上一段投资的风险被有效地转移到下一时段,明显地降低了风险。

因此,所提的模型和方法可行有效,可以为供电公司在不同时段及不同市场购电比例优化分配和风险评估提供新的工具和思路。

参考文献

- [1] Daniel S Kirschen. Demand-side view of electricity markets[J]. IEEE Trans on Power Systems 2003, 18(2): 520-527.
- [2] 张显,王锡凡. 电力金融市场综述[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(20): 1-10.
- [3] 赵豫,于尔铿. 电力零售市场研究:(一)充满竞争的电力零售市场[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(9): 20-24.
- [4] 张钦,王锡凡,王建国,等. 电力市场下需求响应研究综述[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(3): 97-106.
- [5] 国家电力监管委员会. 输电监管[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
- [6] Yan H, Yan H, Zhang H. Demand allocation analysis for energy purchasers in deregulated energy markets[C]. In: International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies Proceedings London, UK, 2000: 344-348.
- [7] 刘亚安,管晓宏,薛禹胜. Price-taker在两个电力市场中的交易决策(一)购电商的策略[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 13-15.
- [8] 乔瑞·菲利普. VaR: 风险价值——金融风险管理新标准[M]. 张海鱼,译. 北京:中信出版社, 2000.
- [9] Dahlgren R, Liu C C, Lawarree J. Risk assessment in energy trading[J]. IEEE Trans on Power Systems 2003, 18

(下转第 28 页)

6 结 论

对稳态补偿差动判据、时域补偿差动判据和贝瑞隆差动判据在 1000 kV 特高压输电线路上的应用进行了研究。结果表明:

稳态补偿判据能有效地补偿稳态电容电流,但对暂态电容电流不能补偿;时域补偿判据对稳态和暂态电容电流都有较好的补偿,由于基于集中参数 Π 模型,对暂态电容电流不能完全补偿;贝瑞隆差动判据基于分布参数模型,能完全补偿稳态和暂态电容电流。

稳态补偿判据和时域补偿判据在区内故障时带过渡电阻能力不高;贝瑞隆差动判据带过渡电阻能力很强。

时域补偿判据只需传送经补偿后的电流值,对通信要求不高;贝瑞隆差动判据要用相邻的两个采样点数据进行计算,所以对采样频率要求很高,而且需要传送两端的电压电流采样值,对通信的要求也很高,在采样和通信都满足要求的情况下,采用贝瑞隆差动判据是一个很好的选择。

参考文献

[1] 陈德树,唐萃,尹项根,等.特高压交流输电继电保护及
(2); 503—511.

[10] Canuso E, Diconato M, Minoia A, et al. Supplier risk analysis in the day-ahead electricity market [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 153(3): 335—341.

[11] 谢俊,陈星莺.构造供电公司最优电能分配策略的 CVaR 方法 [J]. 现代电力, 2007, 24(2): 44—48.

[12] 刘嘉佳,刘俊勇.计及动态一致性风险度量的水电短期优化调度 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(10): 94—99.

[13] 张富强,周浩.电力市场金融风险分析——分析法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2004, 16(3): 23—28.

[14] 林辉,何建敏. VaR 在投资组合应用中存在的缺陷与 CVaR 模型 [J]. 财贸经济, 2003, 12: 46—69.

[15] Rockafellar R T, Uryasev S. Optimization of conditional value at risk [J]. Journal of Risk, 2000, 2(3): 21—41.

[16] 孟志青,虞晓芬,蒋敏,等.基于动态 CVaR 模型的房地产组合投资的风险度量与控制策略 [J]. 系统工程理

相关问题 [J]. 继电器, 2007, 35(5): 1—3.

[2] 李瑞生,索南加乐. 750 kV 输电线路的特殊问题及其对线路保护的影响 [J]. 继电器, 2006, 34(3): 1—4.

[3] 伍叶凯,邹东霞. 电容电流对差动保护的影响及补偿方案 [J]. 继电器, 1997, 25(4): 4—8.

[4] 索南加乐,张恽宁,齐军,等. Π 模型时域电容电流补偿的电流差动保护研究 [J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(5): 12—18.

[5] 吴通华,郑玉平,朱晓彤. 基于暂态电容电流补偿的线路差动保护 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(12): 61—67.

[6] 郭征,贺家李. 输电线纵联差动保护新原理 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(11): 1—5.

[7] 和敬涵,范瑜,薄志谦等. 基于对称分量变换的暂态电流极性方向比较保护算法 [J]. 电工技术学报, 2007, 22(2): 116—120.

[8] Z Y, Xu Z Q, Du L, Ran eto. A Current Differential Relay for a 1000-kV UHV Transmission Line [J]. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, 2007, 22(3).

作者简介:

桑丙玉 (1983—),女,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

喻 奇 (1984—),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

(收稿日期: 2009—06—10)

(上接第 9 页)

[17] 陈金龙,张维. CVaR 与投资组合优化统一模型 [J]. 系统工程理论方法应用, 2002, 11(1): 68—71.

[18] 蒋敏,胡奇英,孟志青. 基于权值的多阶段风险值证券组合问题研究 [J]. 管理工程学报, 2006, 20(3): 38—40.

[19] 张兴平,陈玲,武润莲. 加权 CVaR 下的发电商多时段投标组合模型 [D]. 中国电机工程学报, 2008, 28(16): 79—83.

[20] 王壬,尚金成,冯畅,等. 基于 CVaR 风险计量指标的发电商投资组合策略及模型 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(14): 5—9.

作者简介:
吴 薇 (1986—),女,硕士研究生,研究方向为电力市场。
刘俊勇 (1963—),男,教授,博士生导师,研究方向为电力市场、灵活交流输电及电力系统可视化等。
(收稿日期: 2009—06—10)