

的认识,促使本文对人民币外汇期权套保价值及套保策略进行研究。

国外学者在外汇期权领域所作的大量探索性工作可以概括为以下三个方面:

1) 对外汇期权与其它外汇衍生品套保效果的比较性研究。对于外汇远期与单一外汇期权的套保效果,结果较为统一,在大多数情况下外汇远期的套保效果更佳,外汇期权视市场情况和风险规避需求作为套保工具的有效补充^[2-5]。但对外汇远期与外汇期权组合的套保效率,却鲜有研究。对于外汇期货与外汇期权的比较性研究,结果分歧较大^[6-14]。

2) 对外汇期权理论定价模型的持续探讨。研究者不断改进对 Black-Scholes 模型的假设,充分考虑外汇市场随机波动、均值回复和跳跃等特征,使得理论定价模型得到不断完善,文献层出不穷,此不赘述。以上方法各有优劣,但是并不适合在随机规划框架下实现定价,因此有必要完善基于情景树的外汇期权定价理论。

3) 基于不同角度对外汇期权应用策略的探索。早期研究如 Steil^[15] 就 Black-Scholes 模型在外汇期权领域的应用做了大量探索性工作,此不赘述。Korn 和 Trautmann^[16] 在期望效用最大化框架下探讨了外汇期权使用策略,但是该模型没有考虑风险约束,仅适用于外汇投机者。Ghosh^[17] 研究了理性投资者如何利用外汇期权实现套利。就套保策略而言, Murtagh^[18] 建立了一个非线性规划模型,对套保率和期权执行价格的确定做了深入探讨。Gondzio 等^[19] 引入对 Delta、Vega 参数的控制,在随机波动市场中讨论期权套保策略。Wu 和 Sen^[20]、Ross^[21] 考虑了基于 Delta 和 Gamma 对冲限制的复制策略。Papahristodoulou^[22] 在一个单期线性规划模型下讨论了基于 Black-Scholes 公式中 5 个希腊字母中性的静态套保策略。Gao^[23] 将 Papahristodoulou^[22] 的模型做了进一步扩展,充分考虑了投资者的投资偏好,通过不断调整对 5 个希腊字母的风险控制实现预期的风险收益结构。Schyns 等^[24] 引入多周期线性规划模型实现了标的为某个单一指数的期权组合的最佳选择。

以上模型除了没有充分考虑外汇市场特点和国际资产配置问题本质外,仍存在 3 个问题。1) 疏于对未来市场和参数不确定性的考虑会降低期权组合套保效果; 2) 希腊参数度量的是期权价格

对时变参数的敏感度,基于静态观点对希腊参数的度量并不合理,在其基础上实施的风险管理有效性有待提高; 3) 忽略标的资产,最优策略制定仅局限于期权组合。Jorion^[25] 指出了分离资产配置和套保策略决策的做法相对于整体决策的局限性。他认为,在最优化标的资产配置后再使用套保组合控制风险将引起原最优资产组合风险结构的变化,从而影响投资组合收益,使得套保组合并非整体最优。因此有必要整体决策,同时决定资产最优配置比例及期权套保策略。

国内关于外汇期权的研究尚处于起步阶段,文献数量较少,主要包括两个方面。一方面是关于外汇期权组合风险价值度量工具和方法的研究,主要集中于各种非线性 VaR 度量模型,另一方面是关于外汇期权定价理论模型的研究,如张卫国等^[26-27] 和王平等^[28],此不赘述。而国内关于外汇衍生品的应用研究主要集中于外汇期货^[29-32]。关于外汇期权套保价值及策略研究的文献几乎为空白。

本文借鉴 Topaloglou 等^[4] 关于外汇远期的配置方法,克服 Papahristodoulou^[22] 和 Gao^[23] 静态模型未考虑金融市场随机波动和模型参数随时间变化的缺陷,采用离散情景树刻画不同资产收益率波动与币种间汇率波动的不确定性,建立了基于离散情景树的国际资产配置及外汇风险对冲的动态随机优化模型,将投资者对于国际资产配置和套保组合制定统一纳入动态模型中。同时建立了包含整体风险控制和后验优化风险再调整的外汇期权组合风险的综合管理机制,在此基础上深入讨论了引言部分提出的四个问题。

2 模型 I: 未考虑期权组合风险

模型 I 未考虑期权组合风险,仅涉及最优资产配置和相应套保组合的选择。本文引入 CVaR 指标来衡量投资组合的风险状况,以最小化投资风险的 CVaR 风险为目标,以投资者对于投资组合安全性、流动性和收益性要求为约束,对投资组合在国际市场上进行统一动态滚动配置,同时分别采用外汇远期和外汇期权构建相应的对冲头寸规避汇率风险。

2.1 变量说明

模型构建过程中涉及到的相关变量和符号说明如下。

集合	符号说明
C_0	投资币种集合
l	本币投资集合 $l \in C_0$
C	外币投资集合 $C = C_0 \setminus \{l\}$
I_c	币种 c 可能的投资资产集合 $i \in I_c$
N	情景树全部节点集合
n	情景树中一个代表性节点 $n \in N$
N_t	第 t 期的情景节点集合 $N_t \subset N, t = 1, 2, \dots, T$
$p(n)$	节点 n 的唯一紧邻上游父节点 $p(n) \in N, n \in N \setminus \{0\}$
S_n	节点 n 的所有紧邻下游子节点 $S_n \in N, n \in N \setminus \{N_T\}$
CO_c	币种 c 可能的外汇期权集合
p_n	节点 n 出现的概率 $p_n = 1/N_t, \forall n \in N_t, t = 1, 2, \dots, T$
自定义参数变量	
α	CVaR 显著性水平
μ	投资者目标收益率, 即最低收益要求
γ_{ic}	币种 c 资产 i 买卖的交易费用率
λ_c	外汇 c 交换的交易费用率
z	最优投资组合对应的 VaR 风险值
y_n	投资组合 CVaR 风险值超过 VaR 风险值的部分
确定性输入变量	
b_{ic}^0	币种 c 资产 i 在投资组合中的初始数量 $i \in I_c, c \in C$
p_{ic}^0	币种 c 资产 i 初始价格水平 $i \in I_c, c \in C$
e_c^0	币种 c 初始对人民币即期汇率值 $c \in C$
f_c^0	币种 c 初始对人民币远期汇率值 $c \in C$
V_0	以人民币表示的投资组合初始价值
k_j^0	期权 j 初始执行价格 $j \in CO_c, c \in C$
$cc(e_c^0, k_j^0)$	以即期汇率 e_c^0 为标的, k_j^0 为执行价格的看涨欧式期权价格 $j \in CO_c, c \in C$
$pc(e_c^0, k_j^0)$	以即期汇率 e_c^0 为标的, k_j^0 为执行价格的看跌欧式期权价格 $j \in CO_c, c \in C$
$pcc(e_c^0, k_j^0)$	以即期汇率 e_c^0 为标的, k_j^0 为执行价格的看涨欧式期权支付 $pcc(e_c^0, k_j^0) = \max(e_c^0 - k_j^0, 0), j \in CO_c, c \in C$
$ppc(e_c^0, k_j^0)$	以即期汇率 e_c^0 为标的, k_j^0 为执行价格的看跌欧式期权支付 $ppc(e_c^0, k_j^0) = \max(k_j^0 - e_c^0, 0), j \in CO_c, c \in C$
情景生成变量	
p_{ic}^n	节点 n 处币种 c 资产 i 价格水平 $i \in I_c, c \in C, n \in N \setminus \{0\}$
e_c^n	节点 n 处币种 c 对人民币即期汇率值 $c \in C, n \in N \setminus \{0\}$
f_c^n	节点 n 处币种 c 对人民币远期汇率值 $c \in C, n \in N \setminus \{0\}$
k_j^n	节点 n 处期权 j 执行价格 $j \in CO_c, c \in C, n \in N \setminus \{0\}$
$cc(e_c^n, k_j^n)$	节点 n 处以即期汇率 e_c^n 为标的, k_j^n 为执行价格的看涨欧式期权价格 $j \in CO_c, c \in C, n \in N \setminus \{0\}$
$pc(e_c^n, k_j^n)$	节点 n 处以即期汇率 e_c^n 为标的, k_j^n 为执行价格的看跌欧式期权价格 $j \in CO_c, c \in C, n \in N \setminus \{0\}$
$pcc(e_c^n, k_j^n)$	节点 n 处以即期汇率 e_c^n 为标的, k_j^n 为执行价格的看涨欧式期权支付 $pcc(e_c^n, k_j^n) = \max(e_c^n - k_j^n, 0), j \in CO_c, c \in C, n \in N \setminus \{0\}$
$ppc(e_c^n, k_j^n)$	节点 n 处以即期汇率 e_c^n 为标的, k_j^n 为执行价格的看跌欧式期权支付 $ppc(e_c^n, k_j^n) = \max(k_j^n - e_c^n, 0), j \in CO_c, c \in C, n \in N \setminus \{0\}$
决策变量	
u_{ic}^n	节点 n 处币种 c 资产 i 的买入量 $i \in I_c, c \in C, n \in N \setminus \{N_T\}$
v_{ic}^n	节点 n 处币种 c 资产 i 的卖出量 $i \in I_c, c \in C, n \in N \setminus \{N_T\}$
w_{ic}^n	节点 n 处币种 c 资产 i 的持有量 $i \in I_c, c \in C, n \in N \setminus \{N_T\}$
p_c^n	节点 n 处兑换为币种 c 所需要的人民币数量 $c \in C, n \in N \setminus \{N_T\}$
q_c^n	节点 n 处兑换为人民币所需要的币种 c 数量 $c \in C, n \in N \setminus \{N_T\}$
for_c^n	节点 n 处卖出币种 c 远期合约所得到的人民币数量 $c \in C, n \in N \setminus \{N_T\}$
$ncc(e_c^n, k_j^n)$	节点 n 处以即期汇率 e_c^n 为标的, k_j^n 为执行价格的看涨欧式期权的买入量; 若为负, 即为卖出量, $j \in CO_c, c \in C, n \in N \setminus \{N_T\}$
$npc(e_c^n, k_j^n)$	节点 n 处以即期汇率 e_c^n 为标的, k_j^n 为执行价格的看跌欧式期权的买入量; 若为负, 即为卖出量, $j \in CO_c, c \in C, n \in N \setminus \{N_T\}$
中间计算变量	
V_n	节点 n 处投资组合全部资产以人民币表示的价值 $n \in N_T$
R_n	节点 n 处投资组合收益率 $n \in N_T$
L_n	节点 n 处投资组合损失率 $n \in N_T$

2.2 情景生成

现有关于资产配置动态均值—方差模型的研究均假设投资者准确知道与资产收益率相关的参数,从而忽略了参数不确定性对投资决策的影响.李仲飞和袁子甲^[33]表明参数不确定性对最优投资策略以及投资效果有较大的影响.而随机规划模型很好地解决了此问题.

在建立动态随机规划模型时,关键的一步是如何刻画金融资产未来收益变化的不确定性.以往研究通常假设资产价格或收益率服从某种特殊分布或某种随机过程,具有一定局限性.Kouwenberg^[34]和Topaloglou等^[35]等在研究投资组合问题时采用离散情景树的形式来模拟金融资产价格未来变化的可能路径,而不局限于某一特定分布或随机过程.实证结果表明,离散情景树能够更好地反应金融资产价格变动特征.因此本文采用离散情景树来描述金融资产价格的演进路径,如图1所示.

将所考察的投资区间平均分为 $t = 0, 1, \dots, T$, $t = 0$ 代表决策的时间起点,所有资产的价格及汇率水平是确定已知的, $t = T$ 代表决策的时间终点.从 $t = 1$ 到 $t = T$ 的各个时间点中的每一个节点 $n \in N_t$ 均表示在未来时刻 t 所有资产价格的一种可能的情况.从 $t = 1$ 到 $t = T$ 的各个时间点各自任取一个节点连接起来便形成一个分支,反映了未来不确定演进得一条可能的路径,如图1中黑色粗线所示.

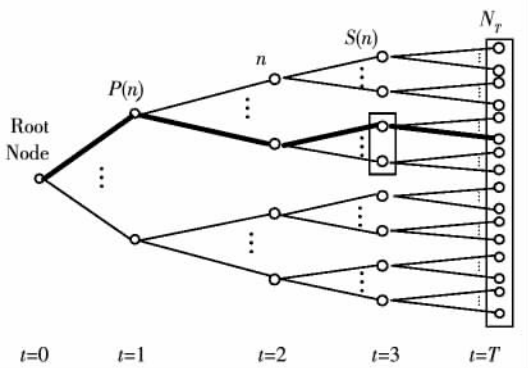


图1 离散情景树示意图

Fig. 1 Scenario tree

情景树生成方法非常丰富,此不赘述.本文根据Hoyland和Wallace^[36-37]提出的矩匹配方法

产生所需要的情景,并根据Klassen^[38]提出的套利机会发现方法排除了基于矩匹配生成情景数据时的套利机会.

2.3 外汇期权定价

在随机规划框架下,标的资产收益率分布由情景树确定,不再服从某种特定的分布或随机过程,因此基于标的资产服从某种分布或随机过程的传统的定价方法诸如Black-Scholes公式等不再适用.

令 e_t 为节点 n 处标的即期汇率水平, \bar{e}_{t+1} 为在期权到期时标的即期汇率水平, 则 $\bar{x}_{t+1} = \ln(\bar{e}_{t+1}) - \ln(e_t)$ 为即期汇率升水, 则 $\bar{e}_{t+1} = e_t \exp(\bar{x}_{t+1})$, 既即期汇率在期权到期时的条件分布依赖于即期汇率升水的条件分布, 而该分布不服从特定假设, 仅依赖于情景树生成. 在风险中性条件下, 节点 n 处以本币计价的、以即期汇率为标的、以 K 为执行价格欧式看涨期权价格可表示为

$$cc_t^n(e^t, K) = \exp(-r_t^d) E_t [\bar{e}_{t+1} - K]^+ = \exp(-r_t^d) \times \int_{\ln(K/e_t)}^{\infty} (e_t \exp(x) - K) f(x) dx \quad (1)$$

其中 $f(x)$ 正是即期汇率升水的条件分布, r_t^d 为本币市场无风险利率.

本文借鉴Corrado和Su^[39]的方法^③,用易处理的分布如对数正态分布的Gram-Charlier展开式逼近标的资产对数收益率密度函数,相当于正态分布概率密度函数加上造成偏离正态分布的调整项. Johnson等^[42]和Kolassa^[43]证明展开式的系数可由标的资产对数收益率序列的各阶矩导出.经验证据表明, Gram-Charlier展开的前四阶截断式即原正态分布密度函数加上偏度和峰度调整项可以较好地拟合标的资产对数收益率密度函数,具体表示如下

$$f(\omega) \approx \phi(\omega) - \frac{\gamma_1}{3!} D^3 \phi(\omega) + \frac{\gamma_2}{4!} D^4 \phi(\omega) \quad (2)$$

其中 $\phi(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{\omega^2}{2})$ 是标准正态概率分布密度函数, $\omega = \frac{\bar{x}_{t+1} - \mu}{\sigma}$ 为标准化的即期汇率升水变量, D^j 代表 $\phi(\omega)$ 的第 j 阶导数.

将式(2)代入式(1),即可得到节点 n 处以本

③ 该方法已经得到广泛应用,主要参考文献有Longstaff^[40], Madan和Milne^[41]和Topaloglou等^[4].

币计价的以即期汇率为标的 K 为执行价格欧式看涨期权价格

$$cc_i^n(e^t K) = e_t \exp(-r_t^f) N(d) - K \exp(-r_t^d) \times N(d - \sigma) + e_t \exp(-r_t^d) \phi(d) \sigma \times \left[\frac{\gamma_1}{3!} (2\sigma - d) - \frac{\gamma_2}{4!} (1 - d^2 + 3d\sigma - 3\sigma^2) \right] \quad (3)$$

其中 $d = \frac{\ln(e^t / K) - (r_t^f - r_t^d) + \sigma^2 / 2}{\sigma}$ $\phi(\cdot)$ 是

标准正态分布密度函数, $N(\cdot)$ 是标准正态分布累积分布函数, r_t^d, r_t^f 分别为本币和外币市场无风险

利率, $\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}$, $\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}$ 是偏度和峰度的 Fisher 参

数, μ_i 代表第 i 阶中心矩. 在实证分析中, 首先计算节点 $n + 1$ 处标的即期汇率的所有可能情景 S_n 的前四阶矩, 而其它参数(即期汇率水平 e^t , 执行价格 K , 无风险利率 r_t^d, r_t^f) 是确定的, 代入式(3) 即可得出节点 n 处欧式看涨期权价格. 相应的, 节点 n 处欧式看跌期权价格可由期权平价公式得出

$$pc_i^n(e^t K) = cc_i^n(e^t K) + K \exp(-r_t^d) - e_t \quad (4)$$

2.4 基本模型

本文将目标函数设定为如下线性形式, 具体过程参考 Rockafellar 和 Uryasev^[44-45].

$$\min CVaR_\alpha = z + \frac{1}{1 - \alpha} \sum_{n \in N_T} p_n \gamma_n \quad (5)$$

模型的约束条件包括:

1) 投资者要求的必要收益率条件

$$\sum_{n \in N_T} p_n R_n \geq \mu \quad (6)$$

式(6) 表示在整个投资期内, 投资组合的期望收益率不低于必要收益率 μ .

2) 配置前后各资产数量的动态平衡方程

$$w_{ic}^0 = b_{ic}^0 + u_{ic}^0 - v_{ic}^0, \forall c \in C_0, \forall i \in I_c \quad (7)$$

$$w_{ic}^0 = b_{ic}^0 + u_{ic}^0 - v_{ic}^0,$$

$$\forall c \in C_0, \forall i \in I_c, \forall n \in N \setminus \{N_T \cup 0\} \quad (8)$$

式(8) 表示除了初始期和最终期外的其它任何时期任一节点 n 处, 某资产调整后存量等于调整前存量加上净买入量. 式(7) 是式(8) 的初始平衡方程.

3) 配置前后各货币资金数量的动态平衡方程

a) 采用外汇远期对冲汇率风险

$$\sum_{c \in C} q_c^0 (1 - \lambda_c) = \sum_{c \in C} p_c^0 (1 + \lambda_c) \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I_c} v_{ic}^0 p_{ic}^0 (1 - \gamma_{ic}) + p_c^0 / e_c^0 = \sum_{i \in I_c} u_{ic}^0 p_{ic}^0 (1 + \gamma_{ic}) + q_c^0 / e_c^0 \quad (10)$$

$$\sum_{c \in C} (q_c^n (1 - \lambda_c) + for_c^{p(n)}) = \sum_{c \in C} p_c^n (1 + \lambda_c) \quad \forall n \in N \setminus \{N_T \cup 0\} \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I_c} v_{ic}^n p_{ic}^n (1 - \gamma_{ic}) + p_c^n / e_c^n = \sum_{i \in I_c} u_{ic}^n p_{ic}^n (1 + \gamma_{ic}) + q_c^n / e_c^n + for_c^{p(n)} / f_c^{p(n)}, \quad \forall c \in C, \forall n \in N \setminus \{N_T \cup 0\} \quad (12)$$

式(12) 分别表示除了初始期和最终期外的其它任何时期任一节点 n 处, 采用外汇远期对冲汇率风险时资金的来源(包括该币种相关市场上的资产出售所得和以人民币新兑换的该币种资金) 等于资金调整后的去向(包括该币种相关资产的购买, 用于兑换为人民币的该币种资金数量以及交易该币种外汇远期合约资金数量的支出). 式(10) 是式(12) 的初始平衡方程, 区别是初始阶段只有该币种外汇远期合约的签订而没有该币种外汇远期合约资金数量的实际流出. 式(9) 和式(11) 分别是初始期和除了初始期及最终期外的其它任何时期任一节点 n 处本币资产交易的自融资假设条件.

b) 采用外汇期权对冲汇率风险

$$\sum_{c \in C} q_c^0 (1 - \lambda_c) = \sum_{c \in C} p_c^0 (1 + \lambda_c) + \sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} npc(e_c^0 k_j^0) pc(e_c^0 k_j^0) + \sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} ncc(e_c^0 k_j^0) cc(e_c^0 k_j^0) \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I_c} v_{ic}^0 p_{ic}^0 (1 - \gamma_{ic}) + p_c^0 / e_c^0 = \sum_{i \in I_c} u_{ic}^0 p_{ic}^0 (1 + \gamma_{ic}) + q_c^0 / e_c^0 \quad (14)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} npc(e_c^{p(n)} k_j^{p(n)}) ppc(e_c^{p(n)} k_j^{p(n)}) + \sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} ncc(e_c^{p(n)} k_j^{p(n)}) pcc(e_c^{p(n)} k_j^{p(n)}) + \sum_{c \in C} q_c^n (1 - \lambda_c) = \sum_{c \in C} p_c^n (1 + \lambda_c) + \sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} npc(e_c^n k_j^n) pc(e_c^n k_j^n) + \sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} ncc(e_c^n k_j^n) cc(e_c^n k_j^n) \quad \forall c \in C, \forall n \in N \setminus \{N_T \cup 0\} \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I_c} v_{ic}^n p_{ic}^n (1 - \gamma_{ic}) + p_c^n / e_c^n =$$

$$\sum_{i \in I_c} u_{ic}^n p_{ic}^n (1 + \gamma_{ic}) + q_c^n / e_c^n ,$$

$$\forall c \in C, \forall n \in N \setminus \{N_T \cup 0\} \quad (16)$$

式(14)和式(16)分别表示初始期和除了初始期及最终期外的其它任何时期任一节点 n 处外币资金的来源等于调整后资金的支出. 式(15)表示在除了初始期和最终期外的其它任何时期任一节点 n 处本币的资金流量平衡. 资金的来源(包括其它外币兑换为人民币的数量和持有调整前外汇期权头寸所获得的收益)等于资金的去向(包括用于兑换外币的人民币数量和购买外汇期权的支出). 式(13)是式(15)的初始平衡方程, 区别在于初始阶段没有外汇期权收益.

4) 套保头寸建仓成本约束

a) 采用外汇远期对冲汇率风险

$$for_c^n \leq \sum_{m \in S(n)} p_m e_c^m \left(\sum_{i \in I_c} w_{ic}^m p_{ic}^m \right) ,$$

$$\forall c \in C, \forall n \in N \setminus N_T \quad (17)$$

$$\sum_{c \in C} for_c^n \leq \sum_{c \in C} \sum_{m \in S(n)} p_m e_c^m \left(\sum_{i \in I_c} w_{ic}^m p_{ic}^m \right) ,$$

$$\forall c \in C, \forall n \in N \setminus N_T \quad (18)$$

式(17)和式(18)均表示以人民币计价的用于构建外汇远期头寸的成本不超过投资组合的预期价值, 即外汇远期间用于套保而非投机行为.

b) 采用外汇期权对冲汇率风险

$$\sum_{j \in CO_c} npc(e_c^n k_j^n) pc(e_c^n k_j^n) + \sum_{j \in CO_c} ncc(e_c^n k_j^n) \times$$

$$cc(e_c^n k_j^n) \leq \sum_{m \in S(n)} p_m e_c^m \left(\sum_{i \in I_c} w_{ic}^m p_{ic}^m \right) ,$$

$$\forall c \in C, \forall n \in N \setminus N_T \quad (19)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} npc(e_c^n k_j^n) pc(e_c^n k_j^n) + \sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} ncc(e_c^n k_j^n) cc(e_c^n k_j^n) \leq$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{m \in S(n)} p_m e_c^m \left(\sum_{i \in I_c} w_{ic}^m p_{ic}^m \right) ,$$

$$\forall n \in N \setminus N_T \quad (20)$$

式(19)和式(20)均表示以人民币计价的用于构建外汇期权头寸的成本不超过投资组合的预期价值, 即外汇期权仅用于套保而非投机行为.

根据约束程度的不同, 式(17)和式(19)要求对每一种币种套保头寸构建成本不超过相应币种的资产价值, 定义为类型 1. 式(18)和式(20)不区分币种, 考虑交叉套保的可能, 定义为类型 2.

5) 卖空限制条件

$$0 \leq v_{ic}^0 \leq b_{ic}^0, \forall c \in C, \forall i \in I_c \quad (21)$$

$$0 \leq v_{ic}^n \leq w_{ic}^{p(n)}, \forall c \in C, \forall i \in I_c ,$$

$$\forall n \in N \setminus \{N_T \cup 0\} \quad (22)$$

式(21)和式(22)表示不允许卖空.

6) 变量符号约定

$$u_{ic}^n \geq 0, w_{ic}^n \geq 0, \forall c \in C, \forall i \in I_c ,$$

$$\forall n \in N \setminus N_T \quad (23)$$

$$p_c^n \geq 0, q_c^n \geq 0, \forall c \in C, \forall n \in N \setminus N_T \quad (24)$$

式(23)表示资产的存量和买入量均不为负; 式(24)表示外汇市场上交易量恒不为负.

7) 投资组合价值、收益、损失与超额损失的度量

$$R_n = V_n / V_0 - 1, \forall n \in N_T \quad (25)$$

$$L_n = -R_n, \forall n \in N_T \quad (26)$$

$$y_n \geq L_n - z, y_n \geq 0, \forall n \in N_T \quad (27)$$

若采用外汇远期对冲汇率风险

$$V_n = \sum_{c \in C} for_c^{p(n)} + \sum_{c \in C} e_c^n \left(\sum_{i \in I_c} w_c^{p(n)} p_{ic}^n - for_c^{p(n)} / f_c^{p(n)} \right) ,$$

$$\forall n \in N_T \quad (28)$$

若采用外汇期权对冲汇率风险

$$V_n = \sum_{c \in C} e_c^n \left(\sum_{i \in I_c} w_c^{p(n)} p_{ic}^n \right) + \sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} npc(e_c^{p(n)} k_j^{p(n)}) \times$$

$$ppc(e_c^n k_j^n) + \sum_{c \in C} \sum_{j \in CO_c} ncc(e_c^{p(n)} k_j^{p(n)}) pcc(e_c^n k_j^n) ,$$

$$\forall n \in N_T \quad (29)$$

3 模型 II: 综合管理期权组合风险

期权的初衷是套期保值, 但是作为衍生金融产品也蕴涵着巨大风险. 《通知》要求开展外汇期权业务需健全期权产品交易风险管理制度和内部控制制度及适当的风险计量、管理和交易系统; 还要求应选择适当和公认的计量方法, 基于合理的、符合市场水平的假设前提和参数, 准确计量 Δ 头寸, 并将期权 Δ 头寸纳入结售汇综合头寸统一管理. 本部分将对此展开讨论, 在模型 I 的基础上进行改进, 将对期权 Δ 头寸的管理扩展到其它希腊参数, 实现期权组合风险的综合管理, 包括整体风险控制和后验优化风险再调整两个方面.

3.1 风险管理体系的构建

本文只考虑 Black-Scholes 公式中的 5 个希腊字母 $\Delta, \Gamma, \nu, \theta, \rho$. 每个希腊字母表示期权价格随

不同参数变化的灵敏度,代表对某一维度风险的度量. 其中 Δ 表示外汇期权价格对标的资产价格变动的敏感度, Γ 表示 Δ 对标的资产价格变动的敏感度: 如果 Γ 很小 Δ 随标的资产价格的变化就很慢; 如果 Γ 的绝对值较大 Δ 对标的资产的价格就相当敏感. v 表示期权价值关于标的资产波动率的变化率, 即当 v 的绝对值较高时, 期权的价值对波动率的微小变化非常敏感; 当 v 的绝对值较低时, 波动率对期权价值有相对小的冲击. Θ 是期权价值对时间变动的敏感度. ρ 度量期权价值对无风险利率的敏感度. 这样, 本文可以通过每个希腊字母从相应的维度度量期权头寸风险, 并通过管理这些希腊字母来控制期权头寸风险.

理论和实践都表明, 一个由期权及其标的资产构成的投资组合往往能有效地降低系统风险. 为此, 本文考虑为对冲币种 c 汇率风险任一节点 n 处由 m 个期权构成的期权组合 π , 令第 i 个期权多头数量为 ω_i , 第 i 个期权空头数量为 ω_{m+i} . 构成投资组合的各个期权相应的希腊参数可表示为

$$X_{c, \pi}^n = \sum_{i=1}^m \omega_i X_{c, i}^n - \sum_{i=1}^m \omega_{m+i} X_{c, i}^n$$

其中 X 分别代表 $\Delta, \Gamma, v, \Theta, \rho$. 相应的, 整个投资组合的希腊参数可表示为

$$X_{c, h}^n = X_{c, \pi}^n + X_{c, mn}^n$$

其中 X 分别代表 $\Delta, \Gamma, v, \Theta, \rho$; $X_{c, mn}^n$ 分别为未套保投资组合的相应的希腊参数.

3.2 整体风险控制

可以选择适当的期权多空数量使得整个投资组合的一个或几个希腊字母是风险中性的. 通过设定 $\Delta_{c, h}^n = 0$, 可以得到 Δ -中性的投资组合. 如果令 $\Delta_{c, h}^n = \Gamma_{c, h}^n = v_{c, h}^n = \Theta_{c, h}^n = \rho_{c, h}^n = 0$, 可得到基于全部希腊字母中性的投资组合^[22], 这样的组合被认为是具有高精度对抗风险能力.

但是, 一般情况下追求 5 个希腊字母中性的投资组合是没有意义的, 主要有 3 方面原因.

1) 希腊参数类型及重要程度不同. 比如, 由于无风险利率水平比较稳定, 相对于影响期权价值的其它因素来说, 期权价值对无风险利率变化的敏感程度 ρ 比较小. 因此, 在市场的实际操作中经常会忽略无风险利率变化对期权价格带来的影响. 又如, Θ 是与 Δ 不同类型的对冲参数, 时间变

量变动是确定的, 利用时间对期权组合的作用对冲风险没有意义. 再如, 随着期权合约到期时间的临近, 价内期权和价外期权的 Δ 值会发生歪曲, 价内期权的 Δ 值都接近于 1, 价外期权的 Δ 值都接近于 0, 对标的汇率价格均非常敏感. 此时 Γ 特别重要.

2) 基于 5 个希腊字母中性的投资组合不一定存在, 比如 Γ -中性和 v -中性期权组合在实际应用中很难达到.

3) 基于 5 个希腊字母中性的投资组合以降低收益率为代价的. 对于外汇期权的买方而言, v 值始终大于零, 说明标的汇率波动性的增加将提高外汇期权的价值, 投资者将会从价格波动率的上涨中获利; 相反, 对于外汇期权的卖方而言, 其 v 值始终为负, 则希望价格波动率下降. 因此, 投资者可以通过构建基于 Δ -中性的外汇期权策略从汇率波动率的变化中寻找盈利机会而不受即期汇率的影响.

考虑到不同的投资者具有特定的风险收益偏好, 本文考虑灵活设定投资组合 5 个希腊字母值的上下限, 使得希腊字母值分别在可容许的范围内波动, 以降低期权价值对某些参数的敏感度同时不排除可能的盈利机会, 可表示为

$$X^L \leq X_{c, h} \leq X^U \tag{30}$$

其中 X 分别代表 $\Delta, \Gamma, v, \Theta, \rho$. 如果 $\Delta^L = \Delta^U = 0$, 恰好对应 Δ -中性, 不断增加 Δ^L, Δ^U 的绝对值可逐步放松对 Δ 的约束, 提升盈利空间, 若 $\Delta^L \rightarrow -\infty, \Delta^U \rightarrow +\infty$, 则该参数度量的风险被投资者所忽略. 其它希腊参数类似.

因此, 整体风险控制对外汇期权对冲汇率风险模型改进可以通过增加关于投资组合风险头寸的约束来实现, 定义为模型 II.1 表示如下

$$\begin{aligned} \min \quad & CVaR_\alpha = z + \frac{1}{1-\alpha} \sum_{n \in N_T} p_n y_n \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} \Delta^L \leq \Delta_{c, h}^n \leq \Delta^U \\ \Gamma^L \leq \Gamma_{c, h}^n \leq \Gamma^U \\ v^L \leq v_{c, h}^n \leq v^U, \forall c \in C, \forall n \in N \setminus N_T \\ \Theta^L \leq \Theta_{c, h}^n \leq \Theta^U \\ \rho^L \leq \rho_{c, h}^n \leq \rho^U \end{cases} \end{aligned}$$

及式(6) ~ 式(8), 式(13) ~ 式(16), 式(19) ~ 式(20), 式(21) ~ 式(27), 式(29).

本文所提出的整体风险控制, 一方面改进了

Papahristodoulou^[22] 的模型,基于投资者风险偏好调节 5 个希腊参数的变动范围,实现了盈利机会和风险控制的完美匹配,另一方面在多阶段随机规划模型框架下拓展了 Gao^[23] 的研究,充分考虑到金融市场未来不确定性和标的资产随机波动对希腊参数值的影响. 因此 Papahristodoulou^[22] 和 Gao^[23] 的模型是本文所提出的全面风险管理体系在单期静态条件下的特例, 本文是 Papahristodoulou^[22] 和 Gao^[23] 的模型在不确定环境下动态套保的推广.

3.3 后验优化风险再调整

为什么要考虑后验优化风险再调整?若投资者盲目乐观,必要收益率设定过高,则最优资产配置及期权套保策略会使得投资组合风险暴露头寸过大. 一旦市场状况大幅逆转,与投资者期望相违,会给投资者财富造成巨大损失,仅最小化 CVaR 值是不够的. 因此有必要对期权组合风险头寸进行后验优化再调整,适当降低投资组合收益率来满足投资者对风险的要求.

根据线性规划的理论,模型 1 中目标函数 CVaR 值随参数的变化而变化,会形成一系列仿射变换的超平面. 给定 CVaR 值满足 $CVaR^* \leq CVaR_0$,则由 $CVaR \leq CVaR_0$ 形成的半空间和模型 1 的可行解空间的交集是一个凸多面体 S_p ,且 S_p 中的每一点对应于一种资产配置和期权套保策略. 投资者只需要在 S_p 中寻找符合其风险约束条件的最优期权策略.

基于以上理论,拓展 Gao^[23] 的思路,后验优化风险再调整表示如下优化模型,定义为模型 II.2

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^n \phi_i [\lambda_i^{c,n} \theta_{2i-1}^{c,n} + (1 - \lambda_i^{c,n}) \theta_{2i}^{c,n}] \\ \text{s. t.} \quad & z + \frac{1}{1 - \alpha} \sum_{n \in N_T} p_n y_n \leq CVaR_0 \end{aligned}$$

及式(6) ~ 式(8),式(13) ~ 式(16),式(19) ~ 式(20),式(21) ~ 式(27),式(29)和式(30). 其中 $\phi_i (i = 1, 2, 3, 4, 5)$ 分别代表 5 个希腊参数 $\Delta, \Gamma, \nu, \theta, \rho$ 相应的权重,满足 $0 \leq \phi_i \leq 1$,

$$\sum_{i=1}^5 \phi_i = 1.$$

通过调整 5 个希腊参数相应的权重,可以得

到基于不同权重希腊参数组合风险约束的期权策略. 权重越大,表明投资者对该参数度量的风险厌恶程度越高. 特别的,如果 $\phi_i = \frac{1}{5}$,投资者对各影响投资组合价值的因素全面考量且关注程度相当;如果 $\phi_1 = 1, \phi_{2,3,4,5} = 0$,则投资者在制定期权策略时仅考虑投资组合 Δ 值的变动,即标的资产价格对投资组合价值的影响. 其它参数定义参考 Gao^[23].

4 实证研究

4.1 数据描述

本文实证分析从中国投资者角度出发,选取美元、欧元、英镑和日元 4 种货币作为国际投资的配置币种,并在其代表性股市场(S&P500,金融时报 1000, DAX30, 日经 225) 进行资产配置. 人民币对各货币汇率数据来源于 DataStream 数据库; 股指数据来源于万得资讯金融数据库; 美元、英镑、日元的无风险收益率由 3 个月期国库券收益率代表,欧元的无风险收益率由 3 个月期伦敦银行间拆借利率代表,人民币无风险收益率用 1 年期存款利率代表,上述利率数据来源于美联储网站; 以上时间序列均为日度数据,且仅保留所有市场都开放的日期的数据. 将上述日度数据取对数后再按月取平均转化成收益率月度数据.

其它参数设置如下: 预期收益率分别为 0%、1%、2% 和 3%, CVaR 的置信度为 99%, 定义 CVaR 时的辅助变量 Z 为 1%, 股指交易成本为 0.55%, 外汇交易成本为 0.1%.

4.2 外汇期权套保效果

4.2.1 收益风险结构比较

本文用正态分布拟合了目标收益率为 0% 时套保组合实际收益率分布情况. 如图 2 所示,不论是否分币种对套保头寸成本进行约束,外汇期权对投资组合收益风险结构改善效果显著均优于外汇远期. 其中动态最优策略效果最为明显,收益率均值增加且分布相对集中,左端尾厚程度降低且整体右移,大大降低了超额损失的可能性和幅度.

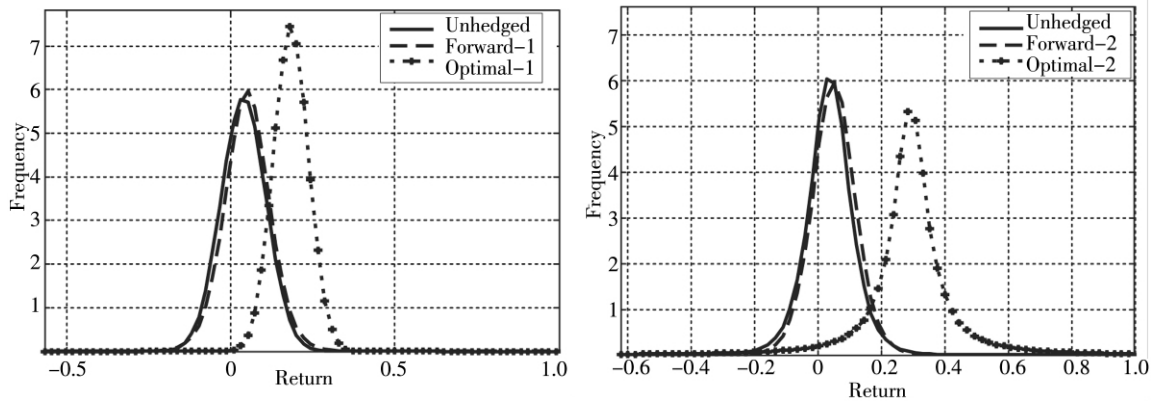


图 2 最优套保组合的收益率分布比较(左图为类型 1,右图为类型 2)

Fig. 2 Comparison of return distribution of optimal portfolios with currency options or forward contracts (type 1 for the left and type 2 for the right)

通过不断调整目标收益率得到相应的套保组合 CVaR 值,可以更为清楚看到外汇期权对投资组合风险的改善效果.如表 1 所示,若投资者设定更为激进的收益目标,外汇远期对风险改善程度有限,分别降低 34.72% 和 64.74%.而外汇

期权对尾部风险控制能力较高,若采用约束类型 1,降低程度提高至 83.64%;若采用约束类型 2,当目标收益率设定在 8% 的范围内时,外汇期权能严格控制投资组合的尾部风险,发生超额损失的可能性为 0.

表 1 不同套保组合 CVaR 值比较

Table 1 Comparison of CVaR values of optimal portfolios with different hedging instruments

目标收益率	未套保	远期(最优策略)		期权(最优策略)	
		类型 1	类型 2	类型 1	类型 2
0%	0.072 7	0.063 8	0.033 2	0.017 8	0.010 0
1%	0.083 4	0.074 6	0.035 3	0.019 3	0.010 0
2%	0.105 9	0.080 3	0.039 9	0.020 5	0.010 0
3%	0.129 6	0.084 6	0.045 7	0.021 2	0.010 0

4.2.2 累积财富比较

本文计算了 1 单位国际资产在 2007 年 10 月至 2009 年 12 月期间分别采取未套保、外汇远期和不同策略的外汇期权对冲汇率风险得到的月度财富累积数据.图 3 结果显示,采用外汇期权对冲汇率风险的投资组合财富积累大于使用外汇远期对冲汇率风险的投资组合,且财富增长路径较平稳,升值空间大.其中无特定收益结构限制的最优策略套保效果表现显著,在市场复苏阶段能抢先捕捉盈利机会,大幅度提高收益水平,但在市场衰退阶段对于降低财富损失的效果弱于保护性看跌策略.

组合与无特定收益结构限制的最优外汇期权套保组合收益率的主要统计指标(包括几何均值、标

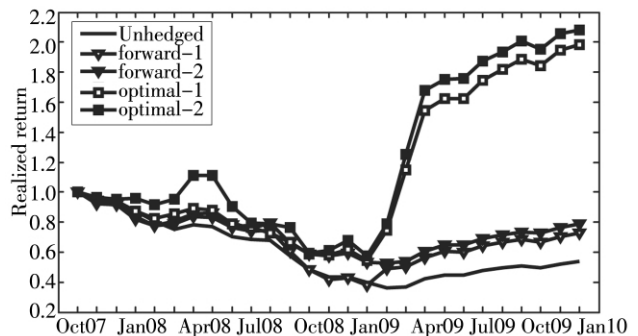


图 3 外汇远期与外汇期权套保组合财富累积比较

Fig. 3 Ex post realized returns of optimal portfolios with forward contracts and foreign currency options

表 2 给出了未套保投资组合、外汇远期套保

准差、夏普率、期权收益率和 UP_Ratio^④) ,发现外汇期权对投资组合改善效果显著高于外汇远期. 外汇期权套保组合夏普率分别提高至未套保组合的 4.87

和 5.97 倍 相较于外汇远期套保组合提高 57.61% 和 43.86%; UP_Ratio 分别是外汇远期套保组合 2.17 和 1.92 倍. 此外 外汇期权收益率相当可观.

表 2 不同套保组合收益率主要统计指标

Table 2 Statistical measures of realized returns with different hedging tactics

统计指标	基准	未套保	外汇远期	外汇期权					
				动态最优	熊市价差	虚值期权	实值期权	保护性看跌	
类型 1	几何均值	-0.023 8	-0.019 5	-0.012 2	0.026 4	-0.020 1	-0.009 3	-0.021 7	-0.005 5
	标准差	0.073 2	0.078 2	0.068 7	0.188 3	0.074 3	0.118 2	0.074 0	0.106 1
	夏普率	-	0.054 5	0.168 6	0.266 3	0.049 1	0.122 7	0.028 6	0.172 2
	期权收益率	-	-	-	1.331 1	0.770 6	0.788 0	0.607 1	0.898 8
	UP_ratio	-	-	0.730 6	1.585 0	1.115 4	1.236 7	1.004 4	1.220 9
类型 2	几何均值	-0.023 8	-0.019 5	-0.009 2	0.028 2	-0.017 7	-0.004 5	-0.018 2	-0.004 4
	标准差	0.073 2	0.078 2	0.0644 5	0.159 7	0.081 5	0.109 1	0.078 1	0.104 3
	夏普率	-	0.054 5	0.226 0	0.325 6	0.074 4	0.177 2	0.071 3	0.186 1
	期权收益率	-	-	-	1.670 5	1.090 2	1.202 3	0.769 2	1.296 1
	UP_ratio	-	-	0.950 2	1.828 7	1.150 0	1.261 9	1.009 1	1.267 3

注:按未套保(unhedged) ,使用外汇远期(forward) 和外汇期权对冲汇率风险比较了投资组合的收益率分布情况. 其中分策略对外汇期权的套保效果做了详细分析 ,主要包括保护性看跌(protective put) ,仅使用实值期权(ITM) ,仅使用虚值期权(OTM) ,熊市价差期权(bear spread) 和无特定收益结构限制的最优策略(optimal) .

4.3 基于整体风险控制的外汇期权套保效果

本部分对模型 II.1 结果进行分析 ,讨论考虑整体风险控制对外汇期权套保组合财富累积的影响. 结果表明 ,考虑整体风险控制后 ,虽然累积财富增长速率降低 ,但路径更为稳定 ,最大财富损失减少.

本文将随机动态规划模型基于 5 个希腊字母中性的最优策略与 Papahristodoulou^[22] 的静态策略做了详细比较. 如图 4 所示 ,不论对于 Δ - 中性还是 $\Delta - v$ 策略 ,随机动态规划模型显著优于静态模型 ,表现在累积财富市场下行阶段损失的减少以及在上行阶段的快速回复及巨大盈利空间. 以 $\Delta - v$ 策略为例 ,累积财富由损失幅度超过 20% 变为增长幅度接近 20% ,月度实际收益水平由 -1.08% 提高至 0.54% ,夏普率增加 70.35% ,套保效率提高 27.60% .

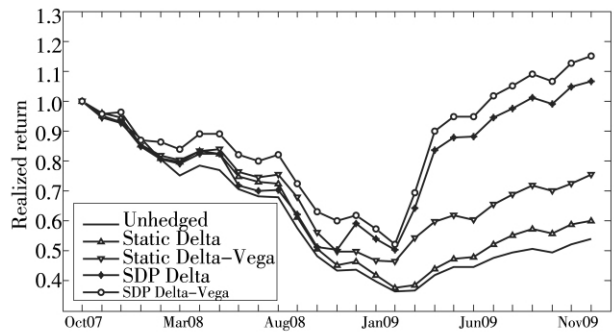


图 4 基于全面风险管理的外汇期权套保组合财富累积比较

Fig. 4 Expost realized returns of optimal portfolios with comprehensive risk management with alternative hedging strategies

同时本文将随机动态规划模型与传统的动态模型的 3 种策略做了对比 ,表 3 给出了未套保投资组合与分别采用静态、动态、随机规划对希腊组合进行控制的最优外汇期权套保组合收益率的主要统计指标. 结果表明月度实际收益率分别提高

④ UP_Ratio 由 Sortino 和 Meer^[46] 提出 ,代表在给定的基准收益率下资产组合的升值潜力与亏损风险的比值 ,该指标越大说明投资组合配置效果越好.

7.71、3.92、4.37 倍, 夏普率分别增加 59.31%、38.20%、42.43%, 套保效率分别提升 34.26%、22.09%、3.62%。这一结果佐证了未考虑金融市场

未来不确定性及随机波动性对最优资产配置及期权套保策略的影响, 证实了基于情景树对未来市场状态及时变参数进行刻画的必要性和有效性。

表 3 基于全面风险管理的不同策略外汇期权套保组合收益率主要统计指标

Table 3 Statistical measures of realized returns with comprehensive risk management with alternative hedging strategies

	中性策略	实际收益率	夏普率	套保率	套保效率 1	套保效率 2
基准	-0.023 8	-	-	-	-	-
静态	Δ	-0.019 5	0.054 5	0.574 7	0.356 8	0.607 4
	$\Delta - v$	-0.010 8	0.174 7	0.590 2	0.491 9	0.425 6
	全部希腊字母	-0.002 6	0.143 9	0.567 8	0.258 0	-0.098 1
动态	$\Delta - v$	0.000 7	0.186 8	0.616 7	0.578 5	-0.239 9
	$\Delta - \Gamma$	0.001 3	0.240 3	0.671 6	0.516 1	-0.279 3
	$\Delta - \Theta$	0.001 9	0.247 7	0.671 7	0.494 1	-0.458 0
随机规划	$\Delta - v$	0.005 4	0.297 6	0.925 1	0.776 7	-0.583 3
	$\Delta - \Gamma$	0.005 1	0.332 1	0.753 1	0.630 1	-0.328 6
	$\Delta - \Theta$	0.008 3	0.352 8	0.722 3	0.512 0	-0.510 5
	全部希腊字母	0.002 5	0.252 4	0.965 4	0.567 8	-0.393 9

4.4 考虑后验优化风险再调整的外汇期权套保效果

本部分对基于后验优化风险调整的不同约束范围的外汇期权套保组合财富累积进行比较。结果显示, 分别不断放松对 Γ, v, Θ 的风险约束并结合后验优化再调整, 使得在市场下行阶段累积财

富损失大大降低, 同时在上行阶段增长大幅稳步增加。表 4 详细列出了其收益率主要统计指标, 结果表明基于后验优化再调整不断放松风险约束后, 各指标均得到显著改善。因此, 模型 II.2 可以作为套保组合后验优化风险调整的参考方案。

表 4 基于后验优化风险调整的不同约束范围外汇期权套保组合收益率主要统计指标

Table 4 Statistical measures of realized returns with post-optimality adjustment by alternative risk bounds

统计指标		中性	约束范围 1	约束范围 2	约束范围 3	约束范围 4	约束范围 5
Γ	几何均值	0.008 8	0.030 4	0.044 3	0.071 3	0.066 3	0.075 8
	标准差	0.088 1	0.135 1	0.178 3	0.252 8	0.193 4	0.248 3
	夏普率	0.369 8	0.401 2	0.382 1	0.376 2	0.466 0	0.401 2
	UP_ratio	1.094 0	1.762 8	1.992 0	2.926 8	2.584 7	2.929 8
v	几何均值	0.011 3	0.010 2	0.015 6	0.024 3	0.029 1	0.027 3
	标准差	0.120 2	0.105 9	0.139 2	0.153 6	0.166 5	0.127 9
	夏普率	0.292 1	0.321 4	0.283 0	0.313 2	0.317 9	0.399 1
	UP_ratio	1.237 4	1.418 8	1.289 8	1.474 8	1.522 4	2.507 5
Θ	几何均值	0.012 5	0.015 8	0.016 3	0.033 3	0.051 1	0.066 6
	标准差	0.096 0	0.109 6	0.108 7	0.116 6	0.184 7	0.202 1
	夏普率	0.378 0	0.361 5	0.369 0	0.490 2	0.405 4	0.447 0
	UP_ratio	1.236 2	1.353 5	1.408 2	2.464 9	2.732 9	3.261 3

5 结束语

本文提出了外汇期权国际资产配置多阶段随机规划模型,系统深入研究了外汇期权的最优套保策略和综合风险管理。其学术贡献是:1) 在基于矩匹配方法生成的离散情景树中,同时考虑不同资产收益率的随机波动与汇率的随机波动,通过多阶段随机规划模型同时实现标的资产优化配置和最佳套保策略选择;2) 引入偏度和峰度对外汇期权价值影响的调整项,基于情景树改进了外汇期权理论定价模型;3) 借鉴 Papahristodoulou^[22]和 Gao^[23]以静态模型综合考虑参数敏感度的思路,在动态随机环境下实现以希腊字母度量的外汇期权全部敏感度的综合风险管理。

本文针对人民币外汇期权进行实证分析。实证结果表明:1) 通过加入人民币外汇期权多阶段

随机规划模型能够有效配置国际资产并实现汇率风险的弹性对冲;2) 单一期权套保效率并不优于外汇远期,但是基于动态调整的外汇期权组合套保效率、累积收益率、月度收益率几何均值、夏普率及 UP_ratio 等主要统计指标显著优于外汇远期投资组合,且在市场下行阶段财富损失降低,在市场上行阶段盈利能力提升;3) 对于人民币外汇期权全部敏感度的综合风险管理在整个投资期能够显著提高套期保值效率。

基于以上结论,本文提出如下政策建议:在国际贸易与国际投资中,企业和银行应当运用外汇期权工具实施外汇风险的综合管理。一方面应当形成人民币外汇期权的组合运作理念,即选择期权组合而非单个期权实施汇率风险管理;另一方面应建立人民币外汇期权组合的综合风险管理理念,建立与完善人民币外汇期权风险计量方法、风险反馈渠道和期权组合的动态调整机制。

参考文献:

- [1] 黄寿峰,陈浪南. 人民币汇率、升值预期与外汇储备相关性研究[J]. 管理科学学报,2011,14(3): 60-72.
Huang Shoufeng, Chen Langnan. Investigations on the relationships among RMB exchange rate, RMB appreciation expectations and foreign exchange reserves[J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(3): 60-72. (in Chinese)
- [2] Ware R, Winter R. Forward markets, currency options and the hedging of foreign exchange risk[J]. Journal of International Economics, 1988, 25(3-4): 291-302.
- [3] Eun C S, Resnick B G. International equity investment with selective hedging strategies[J]. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 1997, 7(1): 21-42.
- [4] Topaloglou N, Vladimirov H, Zenios S A. A dynamic stochastic programming model for international portfolio management[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 185(3): 1501-1524.
- [5] Maurer R, Valiani S. Hedging the exchange rate risk in international portfolio diversification: Currency forwards versus currency options[J]. Managerial Finance, 2007, 33(9): 667-692.
- [6] Hsin C W, Kuo J, Lee C F. A new measure to compare the hedging effectiveness of foreign currency futures versus options[J]. Journal of Futures Markets, 1994, 14(6): 685-707.
- [7] DeMaskey A L. A comparison of the effectiveness of currency futures and currency options in the context of foreign exchange risk management[J]. Managerial Finance, 1995, 21(4): 40-51.
- [8] Chang E C, Wong K P. Cross-hedging with currency options and futures[J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 2003, 38: 555-574.
- [9] Chang S K, Shanker L. Hedging effectiveness of currency options and currency futures[J]. Journal of Futures Markets, 1986, 6(2): 289-305.
- [10] Benet B A, Luft C F. Hedge performance of SPX index options and S&P500 futures[J]. Journal of Futures Markets, 1995, 15(6): 691-717.
- [11] Adams J, Montesi C J. Major Issues Related to Hedge Accounting[M]. Newark: Financial Accounting Standard Board, 1995.

- [12]Lien D ,Tse Y K. Hedging downside risk: Futures vs. options[J]. *International Review of Economics & Finance* ,2001 , 10(2) : 159 – 169.
- [13]Albuquerque R. Optimal currency hedging[J]. *Global Finance Journal* ,2007 ,18(1) : 16 – 33.
- [14]Hancock G D ,Weise P D. Competing derivative equity instruments: Empirical evidence on hedged portfolio performance [J]. *Journal of Futures Markets* ,1994 ,14: 421 – 436.
- [15]Steil B. Currency options and the optimal hedging of contingent foreign exchange exposure [J]. *Economica* ,1993 ,60 (240) : 413 – 431.
- [16]Korn R ,Trautmann S. Optimal control of option portfolios and applications [J]. *OR Spectrum* ,1999 ,21(1 – 2) : 123 – 146.
- [17]Ghosh D K. Covered arbitrage with currency options: A theoretical analysis [J]. *Global Finance Journal* ,2005 ,16(1) : 86 – 98.
- [18]Murtagh B A. Optimal use of currency options [J]. *Omega* ,1989 ,17(2) : 189 – 192.
- [19]Gondzio J ,Kouwenberg R ,Vorst T. Hedging options under transaction costs and stochastic volatility [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control* ,2003 ,27(6) : 1045 – 1068.
- [20]Wu J ,Sen S. A stochastic programming model for currency option hedging [J]. *Annals of Operational Research* ,2000 , 100(1 – 4) : 227 – 250.
- [21]Ross S M. *An Elementary Introduction to Mathematical Finance: Options and Other Topics* [M]. Beijing: China Machine Press ,2004.
- [22]Papahristodoulou C. Option strategies with linear programming [J]. *European Journal of Operational Research* ,2004 ,157 (1) : 246 – 256.
- [23]Gao P W. Options strategies with the risk adjustment [J]. *European Journal of Operational Research* ,2009 ,192(3) : 975 – 980.
- [24]Schyns M ,Crama Y ,Hübner G. Optimal selection of a portfolio of options under Value-at-Risk constraints: A scenario approach [J]. *Annals of Operations Research* ,2010 ,181(1) : 683 – 708.
- [25]Jorion P. Mean-variance analysis of currency overlays [J]. *Financial Analyst Journal* ,1994 ,50 (3) : 48 – 56.
- [26]张卫国,肖炜麟,徐维军,等. 跳跃分形过程下欧式汇率期权定价 [J]. *中国管理科学* ,2008 ,16(3) : 57 – 61.
Zhang Weiguo ,Xiao Weilin ,Xu Weijun ,et al. Pricing European foreign currency option under jump fraction Brownian motion [J]. *Chinese Journal of Management Science* ,2008 ,16(3) : 57 – 61. (in Chinese)
- [27]张卫国,肖炜麟,徐维军,等. 分数布朗运动下欧式汇率期权的定价 [J]. *系统工程理论与实践* ,2009 ,29(6) : 68 – 76.
Zhang Weiguo ,Xiao Weilin ,Xu Weijun ,et al. Pricing European currency options in a fractional Brownian environment [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice* ,2009 ,29(6) : 68 – 76. (in Chinese)
- [28]王 平,王垣苏,黄运成. 支持向量回归方法的跳跃扩散汇率期权定价 [J]. *管理工程学报* ,2011 ,25(1) : 134 – 139.
Wang Ping ,Wang Yuansu ,Huang Yuncheng. Pricing jump-diffusion currency options with support vector regression [J]. *Journal of Industrial Engineering /Engineering Management* ,2011 ,25(1) : 134 – 139. (in Chinese)
- [29]梁建峰,陈健平,刘京军. 基于 Copula-GARCH 方法的 LPM 套期保值研究 [J]. *系统工程学报* ,2011 ,26(5) : 636 – 641.
Liang Jianfeng ,Chen JianPing ,Liu Jingjun. Hedging with LPM based on Copula-GARCH method [J]. *Journal of Systems Engineering* ,2011 ,26(5) : 636 – 641. (in Chinese)
- [30]赵光军,迟国泰,杨中原. 基于极端风险控制的多品种期货套期保值模型 [J]. *系统工程学报* ,2010 ,25(2) : 228 – 234.
Zhao Guangjun ,Chi Guotai ,Yang Zhongyuan. Multi-futures hedging decision model based on controlling extreme risk [J]. *Journal of Systems Engineering* ,2010 ,25(2) : 228 – 234. (in Chinese)
- [31]迟国泰,于 超,杨万武. 多种期货对多种现货的最优套期保值决策模型 [J]. *系统工程学报* ,2010 ,25(1) : 50 – 54.
Chi Guotai ,Yu Chao ,Yang Wanwu. Optimal decision-making model of hedging for multi-commodity to multi-commodity [J]. *Journal of Systems Engineering* ,2010 ,25(1) : 50 – 54. (in Chinese)
- [32]付剑茹,张宗成. 时变最优套期保值比估计及比较研究——基于卡尔曼滤波在状态空间模型中的应用 [J]. *管理科学学报* ,2010 ,13(12) : 23 – 33.

- Fu Jianru, Zhang Zongcheng. Evaluation and comparison of time-variant optimal hedging ratio: Based on the use of Kalman filter in state space model [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(12): 23–33. (in Chinese)
- [33] 李仲飞, 袁子甲. 参数不确定性下资产配置的动态均值-方差模型 [J]. *管理科学学报*, 2010, 13(12): 1–9.
Li Zhongfei, Yuan Zijia. A dynamic mean-variance model of portfolio selection under parameter uncertainty [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(12): 1–9. (in Chinese)
- [34] Kouwenberg R. Scenario generation and stochastic programming models for asset liability management [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 134(2): 279–292.
- [35] Topaloglou N, Vladimirov H, Zenios S A. Pricing options on scenario trees [J]. *Journal of Banking & Finance*, 2008, 32(2): 283–298.
- [36] Hoyland K, Wallace S W. Generating scenario trees for multi-stage decision problems [J]. *Management Science*, 2001, 47(2): 295–307.
- [37] Hoyland K, Kaut M, Wallace S W. A heuristic for generating scenario trees for multi-stage decision problems [J]. *Computational Optimization and Application*, 2003, 24(2–3): 295–307.
- [38] Klassen P. Comment on generating scenario trees for multistage decisions problems [J]. *Management Science*, 2002, 48(11): 1512–1516.
- [39] Corrado C J, Su T. Skewness and kurtosis in S&P500 index returns implied by option prices [J]. *The Journal of Financial Research*, 1996, 19(2): 175–192.
- [40] Longstaff F. Options pricing and the martingale restriction [J]. *Review of Financial Studies*, 1995, 8(4): 1091–1124.
- [41] Madan D, Milne F. Contingent claims valued and hedged by pricing and investing in a basis [J]. *Mathematical Finance*, 1994, 4(3): 223–245.
- [42] Johnson N, Kotz S, Balakrishnan N. *Continuous Univariate Distributions* [M]. New York: Wiley, 1994.
- [43] Kolassa J. *Series Approximation Methods in Statistics* [M]. New York: Springer-Verlag, 1994.
- [44] Rockafellar R T, Uryasev S. Optimization of conditional Value-at-Risk [J]. *The Journal of Risk*, 2000, 2(3): 21–41.
- [45] Rockafellar R T, Uryasev S. Conditional Value-at-Risk for general loss distribution [J]. *Journal of Banking and Finance*, 2002, 26(7): 1443–1471.
- [46] Sortino F A, Meer R V. Downside risk: Capturing what's at stake in investment situations [J]. *Journal of Portfolio Management*, 1991, 17(4): 27–31.

The hedging value and strategy of RMB foreign currency options: Based on the perspective of stochastic programming

YIN Li-bo, HAN Li-yan

School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract: This paper proposes a multi-stage stochastic programming model for optimal currency risk hedging strategy in FX options with comprehensive risk management. In our analysis, the comprehensive risk management can be achieved by overall control on all Greek letters and can be adjusted by post-optimality analysis to suit the needs of the market change based on fine-designed scenario trees. We also address the debate about the comparative effectiveness between forwards and options. Extensive empirical analyses show that the judicious selection of option trading strategies with suitable payoff patterns can obtain higher portfolio returns than that of forwards. We also show that our approach with comprehensive risk management could improve hedge performances considerably compared to traditional hedging strategies while achieving efficient risk control and adjustment.

Key words: RMB foreign currency options; hedging value; hedging strategies; stochastic programming; comprehensive risk management; overall risk control; post-optimality adjustment