[文章编号] 1003－4684(2025)04-0107-06

基于模拟退火算法的期权定价研究

王可楚

(湖北工业大学理学院，湖北 武汉 430068)

[摘 要] 准确高效地建立股指期权定价模型是金融领域的重要研究问题。对于上海证券交易、深圳证券交易所和中国金融期货交易所的沪深 300ETF 期权，建立 Heston 期权定价模型，使用模拟退火算法估计模型参数，并进行期权定价。结果表明，Heston 模型的误差相较于 Black-Scholes 期权定价模型都有所降低，Heston 模型在看涨期权上的应用效果优于看跌期权，并且对于中国金融期货交易所的沪深 300 股指期权的定价效果更好。

[关键词] 期权定价；模拟退火算法；Black-Scholes 模型；Heston 模型

[中图分类号]：F224.0 [文献标识码] A

近年来，金融领域的衍生产品种类丰富。沪深 300ETF 期权于 2019 年 12 月 23 日，在上海证券交易所、深圳证券交易所和中国金融期货交易所正式上市交易。对这类股指期权进行准确定价，有利于广大投资者进行投资决策。

Black 和 Scholes 建立的 BS 模型广泛应用于欧式期权的定价[1]。但是 BS 模型的假设条件与现实交易市场有矛盾之处。BS 模型假定标的资产的价值是连续的，但在实际交易市场上，标的资产的价格会因为一些突发事件呈现跳跃性。并且该模型假设波动率与利率均为常数。由于以上限制，BS 模型在应用时会出现波动率微笑的问题，E Derman [2]。提出了一种刻画波动率微笑的方法。为了避免由于假设条件限制造成的预测结果偏差，国内外学者在标的资产分布、利率和波动率方面进行了改进。例如 Wang L[3]等利用分数布朗运动刻画标的资产的波动，Yao K 等[4]假定股票价格服从不确定微分方程，Gerber 等 [5]同时利用复合泊松过程构建期权定价模型。有研究者认为期权定价模型中利率并不是常数，会随时间发生改变，提出了随机利率模型，例如，Vasicek 模型[6]、Merton 模型[7]、Hull-White 模型[8]等。除此之外，有学者致力于研究改进 BS 模型中的常数波动率假设，例如，Scott 模型[9]、Heston 模型[10]、SABR 模型[11]等。

很多学者使用不同的方法，对于 Heston 期权定价模型的参数进行估计。Farshid Mehrdoust[12]等使用 Levenberg-Marquardt 方法，对 Heston 模型的参数进行估计，并且解得非线性最小化数值解，即局部最小值。同时 Mehrdoust[13]也使用遗传算法对双 Heston 期权定价模型进行校准。Yurong Xie[14]等人使用快速傅里叶变换对欧式脆弱期权进行定价估计，并且使用蒙特卡洛方法进行模拟。Sinem Kozplnar [15]等使用间断伽辽金有限元法研究欧式和美式期权的 Heston 期权定价模型。

本文以沪深 300ETF 期权为研究对象，选取深交所的嘉实沪深 300ETF 期权、上交所的华泰柏瑞沪深 300ETF 期权和中金所的沪深 300 股指期权的数据进行研究。选用 BS 模型和 Heston 模型进行定价研究，其中 Heston 模型使用模拟退火算法对 5 个参数进行估计。并比较不同行权价，不同到期日和不同看涨看跌类型的期权的定价效果。论证放松常数利率假设的 Heston 模型定价效果优于 BS 模型。

1 期权定价理论

1.1 BS 期权定价模型

Black-Scholes 期权定价模型的微分方程是：

$$\frac{\partial f}{\partial t}+rS_t\frac{\partial f}{\partial S_t}+\frac{1}{2}\sigma^2 S_t{}^2\frac{\partial^2 f}{\partial S_t{}^2}=rf \tag{1}$$

其中，S_t 为标的资产在 t 时刻的价格，f 是依赖于 S_t 的欧式期权的价格，r 为连续复利所计算的无风险利率，σ 为标的资产价格的波动率，为常数。

看涨期权和看跌期权的定价公式分别如公式(2)(3)所示：

$$c = S_0N(d_1)-Ke^{-rT}N(d_2) \tag{2}$$

[收稿日期] 2023－10－19

[第一作者] 王可楚(1998－)，女，湖北武汉人，湖北工业大学硕士研究生，研究方向为金融统计。

$$p = Ke^{-rT}N(-d_2) - S_0N(-d_1) \tag{3}$$

其中

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r+\sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \tag{4}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r-\sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T} \tag{5}$$

其中，c 为看涨期权的价格，p 为看跌期权的价格，K 为期权的执行价格，T 为期权到期日。

1.2 Heston 期权定价模型

BS 模型的常数波动率假设与现实交易市场有矛盾之处。Heston[16] 于 1993 年构建了一种随机波动率模型。在这个模型中，波动率不再是一个恒定的数，波动率的平方符合随机(CIR)过程。

Heston 模型假设标的资产价格服从布朗运动，并且波动率被看作一个随机过程。这个模型预设标的资产的价格 $S(t)$ 和方差 $v(t)$ 服从如下扩散过程：

$$\mathrm{d}S(t) = S(t)b(t)\mathrm{d}t + S(t)\sqrt{v(t)}\,\mathrm{d}z_1(t) \tag{6}$$

假定波动率 $v(t)$ 服从 OU 过程，标的价格和初始波动率 $v(0)$ 均满足以下动态方程：

$$\mathrm{d}v(t) = \kappa[\theta - v(t)]\mathrm{d}t + \sigma\sqrt{v(t)}\,\mathrm{d}z_2(t) \tag{7}$$

其中，$z_1(t)$ 和 $z_2(t)$ 是标准的维纳过程，相关系数为 ρ。假设 r，b，κ 和 ρ 都为常数。b 是标的资产的瞬时收益率，θ 是波动率的均值，κ 是波动率回复 θ 的强度参数。

对于欧式看涨期权，有：

$$f_C(S,v,t) = S(t)P_1 - Ke^{-r(T-t)}P_2 \tag{8}$$

其中，K 为执行价格，P_1 和 P_2 为风险中性概率，r 是无风险利率。风险中性概率函数的具体形式由公式(9)—(15)得到，P_1 和 P_2 的特征函数是：

$$f_j(x,v,t) = \exp[Q_j(T-t,\varphi) + R_j(T-t,\varphi)v + i\varphi x] \tag{9}$$

其中

$$Q_j(\tau;\varphi) = b\varphi i\tau + \frac{a}{\sigma^2}\left\{(b_j - \rho\sigma\varphi i + d)\tau - 2\ln[\frac{1-ge^{d\tau}}{1-g}]\right\} \tag{10}$$

$$R_j(\tau;\varphi) = \frac{b_j - \rho\sigma\varphi i + d}{\sigma^2}[\frac{1-e^{d\tau}}{1-ge^{d\tau}}] \tag{11}$$

$$g_j = \frac{b_j - \rho\sigma\varphi i + d}{b_j - \rho\sigma\varphi i - d} \tag{12}$$

$$d = \sqrt{(\rho\sigma\varphi i - b_j)^2 - \sigma^2(2u_j\varphi i - \varphi^2)} \tag{13}$$

由特征函数的反演公式得到 P_1 和 P_2。

$$P_j(x,v,T;\ln[K]) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\int_0^\infty \mathrm{Re}[\frac{e^{-i\varphi\ln[K]}f_j(x,v,T;\varphi)}{i\varphi}]d\varphi \tag{14}$$

其中，$\mathrm{Re}(\cdot)$ 表示取括号中参数的实部，i 是虚数单位。

$$u_1 = \frac{1}{2}, u_2 = -\frac{1}{2},$$

$$a = \kappa\theta, b_1 = \kappa + \lambda - \rho\theta, b_2 = \kappa + \lambda \tag{15}$$

为了简化分析，令 $\kappa^* = \kappa + \lambda$，$\theta^* = \dfrac{\kappa\theta}{\kappa+\lambda}$。因此在风险中性测度下，代表风险厌恶的参数 λ 为 0，参数由原来的 6 个简化为 5 个。

对于欧式看跌期权，根据期权平价公式有：

$$f_P(S,v,t) = f_C(S,v,t) + Ke^{-r(T-t)} - S(t) \tag{16}$$

其中 $f_C(S,v,t)$ 为欧式看涨期权的价格。

1.3 模拟退火算法

对于 Heston 模型 5 个参数的估计，本文以均方误差(MSE)最小为准则，采用优化算法进行估计。模拟退火算法(Simulated Annealing，SA)最初在 1953 年由 N. Metropolis 等学者[17] 首次提出。在 1983 年由 S. Kirkpatrick 等人[18] 成功将其应用于解决优化问题。此算法产生的原因在于物理学中的固态物质退火过程温度的变化规律与大部分的优化问题有着显著的相似性。模拟退火算法的运行过程是先从较高温度出发，然后逐渐降低温度，并在连续降温的过程中，借助概率原理在解空间中搜索目标函数的全局最优解。

模拟退火算法基本通过两层循环组成。在设定的初始化温度下，会随机产生出一个新的解，接着在当前解下计算目标函数的变动，评估这个变动值来决定是否采纳这个新解。如果初始温度设定较高，那么使目标函数有所上升的新解在开始阶段有较大几率被采纳，从而能跳脱出局部最小值。通过不断降低温度，算法最后可能会收敛到全局最优解。以下为具体的编程流程：

1)设定初始温度，令 $\widetilde{T} = T_0$，随机产生一个初始解 x_0，并计算对应的目标函数值 $E(x_0)$。

2)令 $\widetilde{T} = \varepsilon T_0$，其中 ε 取值为 0 到 1，代表温度降低的速率。

3)向现有解 x_i 添加随机扰动，以在其邻域内制造一个新的解 x_{i+1}，并算出相应的目标函数值 $E(x_{i+1})$，计算 $\Delta E = E(x_{i+1}) - E(x_i)$。

4)根据 Metropolis 准则，决定是否采纳新解，若 $\Delta < 0$，采纳新解作为现有解，否则根据某一概率来决定是否接受。

5)在设定的温度 $\widetilde{T}$ 下，对步骤 3 和 4 的扰动与接收过程重复实施 L 轮。

6)判断是否已达到最终设定的温度，如已达到，则算法结束，反之则重返第二步骤。

由于本文以 MSE 最小作为优化目标，所以在以上流程中的 $E(x_i)$ 表示的是 Heston 模型的期权估计价格与期权真实价格的 MSE。

2　实证结果分析

2.1　数据来源

本文将以深交所的嘉实沪深 300ETF 期权、上交所的华泰柏瑞沪深 300ETF 期权和中国金融期货交易所的沪深 300 股指期权的数据进行分析。其中 BS 模型与 Heston 模型建立部分使用的数据为到期时间为 2022 年 12 月的嘉实、华泰柏瑞和中金所沪深 300 股指期权，此部分数据均为看涨期权，数据来源于 WIND 数据库。稳健性分析部分增加到期日分别为 2022 年 6 月、2022 年 9 月和 2023 年 3 月的上交所的华泰柏瑞看涨期权与看跌期权数据，此部分数据来源于 CSMAR 数据库。由于中金所沪深 300 股指期权的合约乘数，与嘉实沪深 300ETF 期权和华泰柏瑞沪深 300ETF 期权不同，所以行权价差异较大。后面在进行期权定价时会根据合约乘数将行权价修改到一个量级。无风险利率为上海银行间隔夜拆借利率(SHIBOR 隔夜)。

对原始数据进行预处理部分，剔除了期权收盘价为空值的数据和标的资产价格为空值的数据之后，样本期权相关数据如表 1 所示。

表 1　部分期权样本数据

期权	样本量	标的资产价格	货币性	到期时间
嘉实沪深 300ETF	138	(3.57,4.53)	(1.02,1.29)	(14,164)
华泰柏瑞沪深 300ETF	151	(3.57,4.52)	(1.02,1.29)	(14,164)
中金所沪深 300 股指	149	(3.51,4.50)	(1.03,1.32)	(5,158)

其中货币性(*Moneyness*)指的是期权标的资产价格除以行权价。到期时间按照交易日核算。中金所期权样本数据已经根据合约乘数换算与嘉实沪深 300ETF 期权和华泰柏瑞沪深 300ETF 期权同量级。

2.2　BS 期权定价模型结果分析

首先，对于嘉实、华泰柏瑞和中金所的沪深 300 股指期权，分别使用沪深 300ETF 期权的标的，即 300ETF 指数的 30 日历史波动率的均值作为 BS 模型的参数 σ，建立了 BS 模型。本实验中，BS 模型的主要参数如表 2 所示，均为常数。

表 2　BS 模型参数

期权	参数	估计值
嘉实沪深 300ETF	σ	0.2243
华泰柏瑞沪深 300ETF	σ	0.2213
中金所沪深 300 股指	σ	0.2413

对于三个交易所的沪深 300ETF 期权，分别建立 BS 模型，得到的结果如图 1—3 所示。从总体来看，BS 模型的预测值都偏高。并且在期权价格较低时，BS 模型的预测值与实际期权价格更加接近，会有更好的预测效果。其中 BS 模型在嘉实沪深 300ETF 期权和华泰柏瑞沪深 300ETF 期权数据上的应用效果更好，可以明确看到在中金所沪深 300 股指期权价格较高时，BS 模型的预测效果不理想。

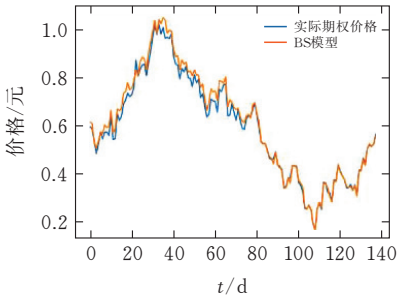

图 1　BS 模型应用于嘉实沪深 300ETF 期权结果

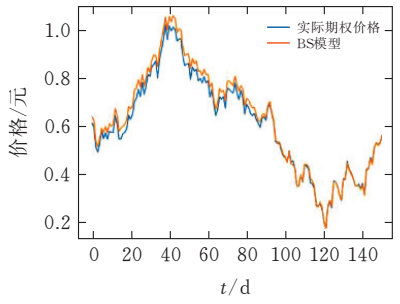

图 2　BS 模型应用于华泰柏瑞沪深 300ETF 期权结果

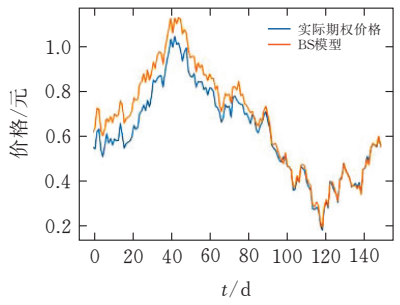

图 3　BS 模型应用于中金所沪深 300 股指期权结果

从表 3 中可以看出，嘉实沪深 300ETF 期权和华泰柏瑞沪深 300ETF 期权的预测效果会更好，MSE 分别为 0.0610% 和 0.0689%，而中金所沪深 300ETF 期权的 MSE 为 0.4697%。

表 3　BS 模型误差结果　　%

期权	MAPE	MAE	RMSE	MSE
嘉实沪深 300ETF	2.8536	1.8789	2.4689	0.0610
华泰柏瑞沪深 300ETF	3.2284	2.1557	2.6252	0.0689
中金所沪深 300 股指	7.9095	5.3217	6.8533	0.4697

2.3　Heston 期权定价模型结果分析

接下来建立 Heston 期权定价模型。最优解的选取标准是拟合的模型价格和期权真实价格误差最

小，通过非线性最小二乘法来进行参数估计。在本次实验中，首先计算期权的拟合价格和期权真实价格的均方误差，然后在整个参数空间中使其最小化。本次实验采用模拟退火算法，以 MSE 最小为准则，估计 Heston 模型的参数，得到 $V(0)$ 、κ 、θ 、σ 和 ρ 等五个参数估计值如表 4 所示。

表 4 Heston 模型参数

模型	参数	嘉实	华泰柏瑞	中金所
Heston	κ	0.0364	1.3406	0.0146
	θ	1.9937	0.6540	1.2855
	σ	0.1006	0.1351	0.0909
	ρ	0.0892	0.9048	0.0357
	$V(0)$	−0.4925	0.0606	−0.5790

对于三个交易所的沪深 300ETF 期权，分别建立 Heston 模型，结果如图 4—6 所示。

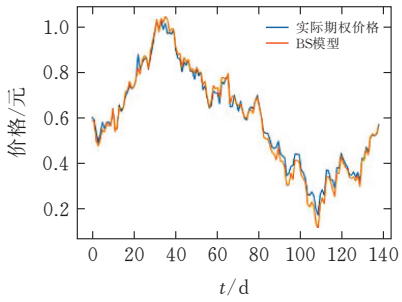

图 4 Heston 模型应用于嘉实沪深 300ETF 期权结果

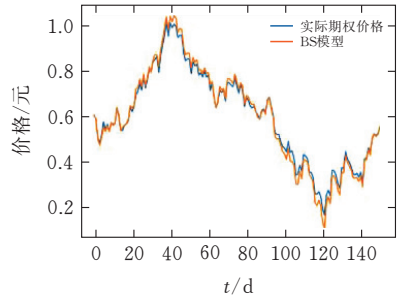

图 5 Heston 模型应用于华泰柏瑞沪深 300ETF 期权结果

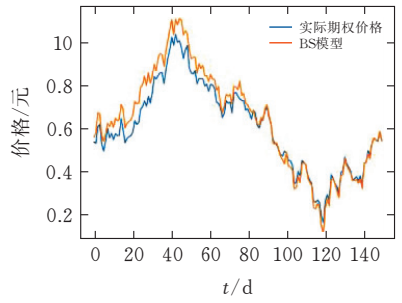

图 6 Heston 模型应用于中金所沪深 300 股指期权结果

可以看到 Heston 模型应用于嘉实沪深 300ETF 期权和华泰柏瑞沪深 300ETF 期权的效果较好，预测值与实际值的图形基本重合。Heston 模型应用于中金所沪深 300ETF 期权的结果也比 BS 模型效果更好，预测值和真实值之间的差异更小了。

从表 5 中也能看出，对于三个交易所沪深 300ETF 期权价格的预测误差都相应的减少了。嘉实沪深 300ETF 期权、华泰柏瑞沪深 300ETF 期权和中国金融期货交易所的沪深 300ETF 期权的 MSE 分别降低了 0.66%、34.11%和 43.37%。

表 5 Heston 模型误差结果 %

期权	MAPE	MAE	RMSE	MSE
嘉实沪深 300ETF	4.4248	1.9546	2.4610	0.0606
华泰柏瑞沪深 300ETF	3.8329	1.7672	2.1305	0.0454
中金所沪深 300 股指	6.4380	4.0746	5.1571	0.2660

2.4 稳健性分析

为了探究 Heston 模型在平值期权和虚值期权上的表现效果，本文根据货币性的取值范围，选取了不同行权价的到期日为 2022 年 12 月的深交所的嘉实沪深 300ETF 期权、上交所的华泰柏瑞沪深 300ETF 期权和中国金融期货交易所的沪深 300 股指期权数据进行研究。

表 6 展示了 BS 模型和 Heston 模型应用于不同行权价的看涨期权的定价结果。

表 6 不同行权价的模型比较结果

期权	行权价	货币性	BS 模型 MSE/%	Hesten 模型 MSE/%
嘉实沪深 300ETF	3.5	(1.02,1.29)	0.0610	0.0454
	4.0	(0.89,1.13)	0.1047	0.0689
	4.6	(0.78,0.98)	0.1436	0.0885
华泰柏瑞沪深 300ETF	3.5	(1.02,1.29	0.0689	0.0606
	4.0	(0.89,1.13)	0.0531	0.0485
	4.6	(0.78,0.98)	0.0865	0.0687
中金所沪深 300 股指	3400	(1.03,1.32)	0.4697	0.2660
	4000	(0.88,1.16)	0.7310	0.3201
	4600	(0.76,1.08)	0.9610	0.5417

由表 6 可以看出，Heston 模型应用于实值期权、平值期权和虚值期权的误差均小于 BS 模型。总体来看使用 Heston 模型对看涨期权进行定价是可行的。

为了进一步探究 Heston 模型在看涨期权和看跌期权上的应用效果，本文从上交所的华泰柏瑞沪深 300ETF 期权数据中选取了不同到期时间和行权价的看涨期权和看跌期权，测试 Heston 模型在看涨期权和看跌期权上的应用效果。

从表 7 和表 8 中可以看出，Heston 模型在看涨期权上的表现优于其在看跌期权上的表现，并且 Heston 模型的误差均小于 BS 模型的误差。Heston 模型放宽了 BS 模型的常数波动率假设，假定波动率的平方符合随机过程，更能有效进行期权定价。

表 7　看涨期权的模型比较结果

到期时间	认购认沽	行权价	货币性	BS 模型 MSE/%	Heston 模型 MSE/%
202206	认购	4.1	(0.92,1.13)	0.0600	0.0519
		4.4	(0.86,1.11)	0.0829%	0.0689%
		5.0	(0.76,1.00)	0.1395%	0.0933%
202209	认购	4.0	(0.95,1.13)	0.0426%	0.0452%
		4.3	(0.88,1.08)	0.0632%	0.0377%
		4.7	(0.80,0.99)	0.0867%	0.0461%
202303	认购	3.6	(0.99,1.15)	0.0468%	0.0422%
		3.9	(0.91,1.10)	0.0634%	0.0849%
		4.3	(0.83,0.99)	0.0659%	0.0307%

表 8　看跌期权的模型比较结果

到期时间	认购认沽	行权价	货币性	BS 模型 MSE/%	Heston 模型 MSE/%
202206	认沽	4.1	(0.92,1.13)	0.1498%	0.1480%
		4.4	(0.86,1.11)	0.1364%	0.1107%
		5.0	(0.76,1.00)	0.1399%	0.0710%
202209	认沽	4.0	(0.95,1.13)	0.1309%	0.1275%
		4.3	(0.88,1.08)	0.1506%	0.1590%
		4.7	(0.80,0.99)	0.1444%	0.0692%
202303	认沽	3.6	(0.99,1.15)	0.1684%	0.1304%
		3.9	(0.91,1.10)	0.1712%	0.1656%
		4.3	(0.83,0.99)	0.1546%	0.0721%

3　结论

本文选取三个交易所上市的沪深 300 股指期权的数据，分别使用 BS 模型和 Heston 模型进行期权定价研究，并探究在不同行权价不同到期日的看涨期权与看跌期权上的应用效果。结果表明使用模拟退火算法估计参数的 Heston 期权定价模型的误差均小于常数波动率的 BS 期权定价模型，Heston 模型在看涨期权上的应用效果优于看跌期权。其中对于中国金融期货交易所的沪深 300 股指期权的定价误差降低得更多，效果更好。使用模拟退火算法对于 Heston 期权定价模型进行参数估计，更有可能找到全局最优解，降低定价误差，以指导投资者进行投资决策。

本文的研究也有不足之处，只考虑了股指期权和欧式期权。后续研究还会考虑其他类型的期权。此外，对于高频交易数据的研究，以及引入深度学习算法进行参数估计都是未来值得深入研究的内容。

[参 考 文 献]

[1] FISCHER BLACK, MYRON SCHOLES. The pricing of options and corporate liabilities[J]. Journal of Political Economy, 1973, 81(3): 637-654.

[2] E. DERMAN. Regimes of Volatility [J]. Risk, 1999: 55-59

[3] WANG L, ZHANG R, YANG L, et al. Pricing geometric Asian rainbow options under fractional Brownian motion[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2018, 494: 8-16.

[4] YAO, KAI. Uncertain contour process and its application in stock model with floating interest rate[J]. Fuzzy Optimization & Decision Making, 2015, 14(4): 399-424.

[5] GERBER H U, MICHAUD F, SHIU E S W. Pricing Russian options with the compound Poisson process. [J]. Insurance Mathematics & Economics, 1995, 17(1): 79-79.

[6] HOMING CHEN, CHENG-FENG HU. A relaxed cutting plane algorithm for solving the Vasicek-type forward interest rate model [J]. European Journal of Operational Research. 2009, 204(2): 343-354.

[7] MERTON R C. Option pricing when underlying stock returns are discontinuous[J]. Journal of Financial Economics, 1976, 3(1-2): 125-144.

[8] FAZLOLLAH SOLEYMANI, BEHZAD NEMATI SARAY. Pricing the financial Heston-Hull-White model with arbitrary correlation factors via an adaptive FDM [J]. Computers and Mathematics with Applications. 2018, 77(4): 1107-1123.

[9] SCOTT JOSLIN. Can unspanned stochastic volatility models explain the cross section of bond volatilities? [J]. Management Science. 2017, 64(4): 1477-1488.

[10] M. C. RECCHIONI, Y. SUN. An explicitly solvable Heston model with stochastic interest rate [J]. European Journal of Operational Research. 2016, 246(1): 359-377.

[11] GULISASHVILI A, HORVATH B, JACQUIER A J. Mass at zero and small-strike implied volatility expansion in the SABR model[J]. Quantitative Finance, 2015(3): 1-13.

[12] FARSHID MEHRDOUST, IDIN NOORANI, ABDELOUAHED HAMDI. Two-factor Heston model equipped with regime-switching: American option pricing and model calibration by Levenberg-Marquard optimization algorithm[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2023(204): 660-678.

[13] FARSHID MEHRDOUST, IDIN NOORANI, ABDELOUAHED HAMDI. Calibration of the double Heston model and an analytical formula in pricing American put option[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2021(392): 113422.

[14] YURONG XIE, GUOHE DENG. Vulnerable European option pricing in a Markov regime-switching Heston model with stochastic interest rate[J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2022(156): 111896.

[15] SINEM KOZPLNAR, MURAT UZUNCA, BÜLENT KARASöZEN. Pricing European and American options

under Heston model using discontinuous Galerkin finite elements[J].Mathematics and Computers in Simulation,2020(177): 568-587.
[16] STEVEN L. HESTON. A closed form solution for options with stochastic volatility[J]. The Review of Financial Studies, 1993, 6(2),327-343.
[17] METROPOLIS N, ROSENBLUTH A, ROSENBLUTH M, et al. Equation of State Calculations by Fast Computing Machines [J]Journal of Chemistry and Physics,1953(21):1087-1092.
[18] KIRKPATRICK S, JRCDG, VECCHI MP. Optimization by Simulated Annealing [J]Science, 1983(220): 671-680.

Option Pricing Based on Simulated Annealing Algorithm

WANG Kechu
(*School of Science, Hubei Univ. of Tech., Wuhan* 430068, *China*)

Abstract: Accurately and efficiently establishing stock index option pricing models is an important research issue in the financial field. For Shanghai Stock Exchange, Shenzhen Stock Exchange, and China Financial Futures Exchange's CSI 300 ETF options, a Heston option pricing model was established, model parameters were estimated by using simulated annealing algorithm, and option pricing was performed. The results indicate that the Heston model has lower errors compared to the Black Scholes option pricing model, performs better on call options than on put options and has better pricing performance for the Shanghai and Shenzhen 300 stock index options on the China Financial Futures Exchange.

Keywords: option pricing; simulated annealing algorithm; Black-Scholes; Heston

[责任编校: 闫 品]

(上接第 100 页)

Research on the Coordination between Higher Education and Economy from the Perspective of High-quality Development

WANG Xuesong, LI Gang
(*School of Science, Hubei Univ. of Tech., Wuhan* 430068,*China*)

Abstract: To promote the common development of education and economy is an inevitable requirement to achieve high-quality development. Taking 31 provinces (autonomous regions and municipalities directly under the central government) of our country as the research object, the time span is from 2011 to 2020, the coupling degree of coordination was measured by using entropy method and coupling degree of coordination model, and the influencing factors of coupling degree of coordination were explored by using spatial Dubin Panel Tobit model. The results show that economic development level, degree of fiscal decentralization, urbanization rate and marketization level are significantly positive to the coupling coordination degree, which all promote the coupling coordination degree, and the degree of fiscal decentralization is an important engine to improve the level of coupling and coordination between higher education and high-quality economic development.

Keywords: higher education; economy; high-quality development; coupling coordination; spatial Dubin panel Tobit model

[责任编校: 闫 品]