

随机跳跃强度与期权隐含风险溢价^①

陈森鑫, 武晨

(厦门大学经济学院金融系, 厦门 361005)

摘要: 基于随机波动率随机跳跃强度(SVSJ)的期权定价模型, 从时间序列性质与横截面期权定价两个角度对长达12年的S&P 500指数期权数据进行了研究. 实证结果发现: 只有短期虚值期权与短期平值期权中存在显著的跳跃风险溢价, 并且跳跃风险溢价远超过波动率风险溢价. 不同模型不同跳跃强度的设定都可以估计出显著的跳跃风险溢价, 虽然跳跃风险的方差在总风险的方差中所占比例较低, 但跳跃风险溢价在总风险溢价中所占的比例却大得多. 各模型在高波动时期的表现都要优于低波动时期, 其中SVSJ模型在所有模型中表现最好.

关键词: 波动率; 跳跃强度; 风险溢价; 期权

中图分类号: F830.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2018)04-0028-15

0 引言

大量事实表明随机波动性和价格跳跃是资产价格运动的内在特征, 但这些风险因子是否被定价, 如何被定价, 投资者对跳跃风险所要求的补偿是否不同于对波动率风险所要求的补偿, 股票整体风险溢价中跳跃风险溢价所占的比例究竟多大等问题, 无论是理论界还是实务界都尚未有统一的结论. 而了解这些风险因子, 不仅对了解资产价格的变动以及衍生品的定价有着重要的意义, 而且有助于了解投资者对于不同类型风险的反应和相应的投资决策.

已有不少学者就美国市场的跳跃风险溢价展开了系列研究, 例如: Pan^[1]利用期权和标的指数数据通过隐含状态广义矩方法(IS-GMM)对Bates^[2]的模型参数进行了估计, 发现在总方差中占据了97%左右的扩散风险只要求5.5%的风险回报, 而占据总风险不到3%的跳跃风险却要求3.5%的风险回报. Broadie等^[3]利用期权和标的指数的数据比较了SV模型、SVJ模型和SVCJ模

型的相对表现, 发现SVCJ模型的效果是最好的, 在SVCJ模型的设定下, 价格跳跃及波动率跳跃的风险溢价都是显著的和时变的, 在8%的总的股权风险溢价中跳跃风险溢价大约为3%. Santa-Clara和Yan^[4]假设波动率和跳跃都是随机的, 同样用期权和标的指数数据进行联合检验, 结果显示跳跃风险溢价和整体的股权风险溢价都具有很强的时变性, 样本期内股权风险溢价的变动范围为0.3%~54.9%, 而其中跳跃风险溢价平均而言占到了总风险溢价的一半以上, 更有甚者在危机时期跳跃风险溢价高达45.4%. Yan^[5]发现跳跃幅度与波动率微笑曲线的斜率正相关, 跳跃风险对于个股的横截面收益率有显著的预测力, 即跳跃风险的单位风险溢价显著. Bollerslev和Todorov^[6]利用跳跃的强度和大小构建了一个投资者担忧指数, 实证结果同样发现跳跃风险溢价的中位数为5.2%, 在整体股票风险溢价中占据了极为重要的部分. Neumann等^[7]也发现指数期权中隐含着显著的时变的跳跃风险溢价和方差风险溢价, 并且SVCJ模型的表现要优于SV模型和

① 收稿日期: 2016-05-27; 修订日期: 2017-07-10.

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(71301137); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(20720181004).

作者简介: 陈森鑫(1977—), 女, 福建福州人, 博士, 副教授. Email: cutecmx@163.com

SVJ 模型. 刘杨树等^[8]的研究表明跳跃风险对于 Delta 对冲的期权复制收益存在显著影响,但其影响不同期权(看涨和看跌)的内在途径和机理在不同时期(平时和危机时刻)都不相同.

就对中国市场的研究而言,陈浪南和孙坚强^[9]用混合 GARCH 跳跃模型对国内外一些重要指数的跳跃行为进行了研究,证实了条件波动率和跳跃行为的直接回馈效应,并发现跳跃行为存在时变特征和集聚效应.左浩苗和刘振涛^[10]采用非参数高频数据波动估计和跳跃识别方法,将指数波动中的连续成分和跳跃成分分离开来,发现已实现方差所代表的市场整体风险对收益率没有明显的解释力,但跳跃成分对收益率有显著的预测作用. Zhou 和 Zhu^[11]通过个股数据探讨了跳跃风险与股票横截面超额收益率之间的动态关系,实证结果发现在中国跳跃的风险价格显著为正.刘志东和许健强^[12]利用蒙特卡罗分析方法,对目前文献中八种不同跳跃检验方法的检验水平和检验功效进行综合比较分析,给出了在不同条件下各种模型的相对表现.总体而言,国内对于跳跃的研究更多集中在跳跃的侦测以及跳跃行为的刻画,少数涉及跳跃行为与收益率间风险收益关系的研究受限于国内缺乏足够长度的期权数据而只能利用股票现货市场的数据来进行研究,然而从股价变动中提取的跳跃信息属于已实现的跳跃(事后的信息),这与期权价格中所隐含的跳跃风险溢价(事前的信息)并不完全一致.

因此,本文主要基于 Santa-Clara 和 Yan^[4]的期权定价模型,对 S&P500 指数期权中所隐含的风险溢价进行研究.之所以选择这个模型一是因为该模型可以得到风险溢价的解析表达式,并且可以将风险溢价进一步分解为波动率风险溢价和跳跃风险溢价,从而可以对不同的风险溢价进行更深入细致的研究;二是因为通过对该模型参数进行限制,可以得到各种模型设定,包括随机波动率(SV)模型、随机波动率常数跳跃强度(SVCJ)模型、随机波动率及与波动率相关的跳跃强度(SVCSJ)模型、随机波动率随机跳跃强度(SVSJ)模型等,由此可以对模型设定进行相关的检验.

本文的主要贡献在于:首先,现有研究大多主观直接选择平值或者虚值期权进行研究,而事实上不同期限不同在值程度的期权中隐含的信息可能是不同的,因此本文将期权按照到期日的短、中、长,以及在值程度的实值、平值、虚值,分为九组分别提取波动率、跳跃强度以及风险溢价等相关信息,并进一步探讨了隐含跳跃强度、跳跃风险溢价在总风险溢价中占比与波动率偏斜之间的关系,从而拓展了该领域的研究.其次,现有研究往往没有考虑市场环境变化对各模型适应性和定价效率的影响.当样本期较短时,由于受当时市场状况的影响,估计的参数可能偏高或偏低,而本文的样本期长达 12 年,既包括了网络股泡沫破裂以及次贷危机爆发等市场波动较大的时期,也包括了市场相对平稳的阶段,因而结论更为可靠,而且不同的市场状态也为检验不同波动时期下模型的表现提供了难得的市场环境,在一定程度上弥补了该领域的研究空白.简言之,本文一方面从解释历史的角度出发,就期权隐含的波动率风险、跳跃风险进行了详细的研究,发现了关于跳跃风险及其风险溢价的有意思的结论;另一方面也从预测未来的角度出发,详细比较了不同波动率及跳跃风险设定的模型的定价效率,对各模型适应的期权在值程度、剩余期限、市场环境进行了充分的分析.

1 理论模型

假定股票价格 S 、瞬时波动率 Y 、跳跃强度的平方根 Z 服从如下的随机过程

$$dS = (r + \phi - \lambda\mu_Q)Sdt + YSdW_S + QSdN \quad (1)$$

$$dY = (\mu_Y + \kappa_Y Y)dt + \sigma_Y dW_Y \quad (2)$$

$$dZ = (\mu_Z + \kappa_Z Z)dt + \sigma_Z dW_Z \quad (3)$$

$$\ln(1 + Q) \sim N\left(\ln(1 + \mu_Q) - \frac{1}{2}\sigma_Q^2, \sigma_Q^2\right) \quad (4)$$

$$Prob(dN = 1) = \lambda dt, \lambda = Z^2 \quad (5)$$

$$\Sigma = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{SY} & \rho_{SZ} \\ \rho_{SY} & 1 & \rho_{YZ} \\ \rho_{SZ} & \rho_{YZ} & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中 W_s, W_y 和 W_z 为布朗运动 (常数相关系数矩阵为 Σ), Q 为百分比跳跃幅度, N 为泊松过程 (强度为 λ). r 为无风险利率 (常数), ϕ 为风险溢价, $\lambda\mu_Q$ 作为平均跳跃幅度对漂移率的调整. 瞬时方差 $V = Y^2$, μ_Y 为瞬时波动率的长期均值, κ_Y 为瞬时波动率的均值回复速度, σ_Y 为瞬时波动率的波动率. μ_Z 为瞬时跳跃强度的长期均值, κ_Z 为瞬时跳跃强度的均值回复速度, σ_Z 为瞬时跳跃强度的波动率. μ_Q 为跳跃幅度均值, σ_Q 为跳跃幅度的波动率. ρ 为状态变量间的相关系数.

模型中, 股票价格、随机波动率和跳跃强度服从联合的二次跳跃扩散过程, 应用伊藤引理可得

$$dV = (\sigma_Y^2 + 2\mu_Y Y + 2\kappa_Y Y^2)dt + 2\sigma_Y Y dW_Y \quad (7)$$

$$d\lambda = (\sigma_Z^2 + 2\mu_Z Z + 2\kappa_Z Z^2)dt + 2\sigma_Z Z dW_Z \quad (8)$$

考虑一个有着财富 W 并把所有资产投资于股票的代表性投资者, 为了简化, 假定没有中间消费, 因此投资者选择一个最优的投资组合来最大化最终财富的效用

$$\max_w E_t [u(W_T, T)] \quad (9)$$

w 是投资于股票的财富的比例, T 是最终时间, u 是效用函数. 定义值方程

$$J(W_t, Y_t, Z_t, t) \equiv \max_w E_t [u(W_T, T)]$$

用下标表示 J 的偏导数, 根据 Merton^[13], 该值方程的解满足

$$0 = \max_w [J_t + \zeta(J)] \quad (10)$$

其中

$$\begin{aligned} \zeta(J) = & WJ_w(r + w\phi - w\lambda\mu_Q) + J_y(\mu_Y + \kappa_Y Y) + \\ & J_z(\mu_Z + \kappa_Z Z) + \frac{1}{2}w^2W^2J_{ww}Y^2 + \frac{1}{2}J_{yy}\sigma_Y^2 + \\ & \frac{1}{2}J_{zz}\sigma_Z^2 + wWJ_{wy}\rho_{sy}\sigma_Y Y + wWJ_{wz}\rho_{sz}\sigma_Z Y + \\ & J_{yz}\rho_{yz}\sigma_Y\sigma_Z + Z^2E_Q[\Delta J] \end{aligned}$$

在均衡时, 无风险资产的净供给为零, 因而投资者所有的资产都投资于股票市场, 即 $w = 1$. 式(10)

对 w 求微分并用 1 替换 w 得到风险溢价

$$\begin{aligned} \phi = & -\frac{J_{ww}WY^2}{J_w} - \rho_{sy}\sigma_Y \frac{J_{wy}Y}{J_w} - \rho_{sz}\sigma_Z \frac{J_{wz}Y}{J_w} - \\ & E\left[\frac{\Delta J_w}{J_w}Q\right]Z^2 \end{aligned} \quad (11)$$

其中

$$\Delta J_w = J_w(W(1+Q), Y, Z, t) - J_w(W, Y, Z, t)$$

可以看到风险溢价包含四个部分: 财富边际效用的方差, 财富边际效用分别与波动率、跳跃强度、跳跃幅度的协方差.

为了处理方便, 使用幂效用函数 $u = W_T^{1-\gamma}/(1-\gamma)$, 其中 $\gamma > 1$ 为投资者的常相对风险厌恶系数. 推导可得风险溢价是 Y 与 Z 的函数

$$\begin{aligned} \phi(Y, Z, \tau) = & \gamma Y^2 - \rho_{sy}\sigma_Y(B_Y + 2C_{yy}Y + 2C_{yz}Z)Y - \\ & \rho_{sz}\sigma_Z(B_Z + 2C_{yz}Y + 2C_{zz}Z)Y - \\ & [e^{-\gamma\ln(1+\mu_Q) + \frac{1}{2}\gamma(\gamma-1)\sigma_Q^2}(1 + \mu_Q - e^{\gamma\sigma_Q^2}) - \mu_Q]Z^2 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} = & \gamma Y^2 - (\rho_{sy}\sigma_Y \quad \rho_{sz}\sigma_Z)BY - \\ & 2(\rho_{sy}\sigma_Y \quad \rho_{sz}\sigma_Z) \begin{pmatrix} C_{yy} \\ C_{yz} \end{pmatrix} Y^2 - \\ & 2(\rho_{sy}\sigma_Y \quad \rho_{sz}\sigma_Z) \begin{pmatrix} C_{yz} \\ C_{zz} \end{pmatrix} YZ - \\ & [e^{-\gamma\ln(1+\mu_Q) + \frac{1}{2}\gamma(\gamma-1)\sigma_Q^2}(1 + \mu_Q - e^{\gamma\sigma_Q^2}) - \mu_Q]Z^2 \end{aligned} \quad (13)$$

其中 $\tau \equiv T - t$, $B(\tau) = \begin{pmatrix} B_Y \\ B_Z \end{pmatrix}$ 是 2×1 的矩阵函数,

$C(\tau) = \begin{pmatrix} C_{yy} & C_{yz} \\ C_{yz} & C_{zz} \end{pmatrix}$ 是 2×2 的对称矩阵函数, 初始

值都是 0, 并满足如下的常微分方程组

$$B' = (\Lambda^T + 2C\Gamma)B + 2C\Pi \quad (14)$$

$$C' = \Theta + C\Lambda + \Lambda^T C + 2C\Gamma C \quad (15)$$

其中

$$\Theta \equiv \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}\gamma(\gamma-1) & 0 \\ 0 & e^{-\gamma\ln(1+\mu_Q) + \frac{1}{2}\gamma(\gamma-1)\sigma_Q^2} \\ 0 & [\gamma(1 + \mu_Q) - (\gamma-1)e^{\gamma\sigma_Q^2}] - 1 \end{pmatrix}$$

$$\Pi \equiv \begin{pmatrix} \mu_Y \\ \mu_Z \end{pmatrix}$$

$$\Lambda \equiv \begin{pmatrix} \kappa_Y & 0 \\ 0 & \kappa_Z \end{pmatrix}$$

$$\Gamma \equiv \begin{pmatrix} \sigma_Y^2 & \rho_{yz}\sigma_Y\sigma_Z \\ \rho_{yz}\sigma_Y\sigma_Z & \sigma_Z^2 \end{pmatrix}$$

对于一个给定的风险厌恶系数 γ , 常微分方程组 (14) ~ 常微分方程组 (15) 可以很方便地解得. 在没有随机波动率与跳跃的特殊情形里, 风险溢价 (式 (12)) 只剩下第一项 $\gamma Y^2 = V$. 当没有随机波动率且跳跃强度是常数时, 风险溢价只剩下第一项与最后一项. 式 (12) 的中间两项体现了当 Y 和 Z 都是随机的时候, 投资机会转移的效应. 因此, 当波动率和跳跃强度都是随机的时候, 风险溢价 (式 (13)) 的前三项只包括 Y , 是对随机波动率的风险补偿; 最后一项只有 Z , 是对跳跃风险的补偿; 中间交叉项 YZ 则表示了波动率和跳跃风险的相互作用.

在此框架下, 得到了欧式看涨期权 (执行价格 K , 到期日 T) 的价格

$$f(S, Y, Z^*, t, K, T) = S - \frac{e^{-rT}}{2\pi} \times \int_{\frac{1}{2}-\infty}^{\frac{1}{2}+\infty} \frac{K^{ik+1}}{k^2 - ik} e^{-ik(rT + \ln S) + A^*(\tau) + B^*(\tau)TU^* + U^*TC^*(\tau)U^*} dk \quad (16)$$

其中符号右上角的 * 表示在风险调整测度下的参数值, $U^* \equiv \begin{pmatrix} Y \\ Z^* \end{pmatrix}$, $A^*(\tau)$ 是一个标量函数, A^* 、 B^* 、 C^* 初始值都是 0, 并满足如下常微分方程组

$$A^{*'} = \Pi^{*T} B^* + \frac{1}{2} B^{*T} \Gamma^* B^* + tr(\Gamma^* C^*) \quad (17)$$

$$B^{*'} = (A^{*T} + 2C^* \Gamma^*) B^* + 2C^* \Pi^* \quad (18)$$

$$C^{*'} = \Theta^* + C^* \Lambda^* + \Lambda^{*T} C^* + 2C^* \Gamma^* C^* \quad (19)$$

其中

$$\Theta^* \equiv \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}(k^2 - ik) & 0 \\ 0 & ik\mu_Q^* + e^{-ik\ln(1+\mu_Q^*) - \frac{1}{2}(k^2 - ik)\sigma_Q^2} - 1 \end{pmatrix}$$

$$\Pi^* \equiv \begin{pmatrix} \mu_Y^* \\ \mu_Z^* \end{pmatrix}$$

$$\Lambda^* \equiv \begin{pmatrix} \kappa_{YY}^* - ik\rho_{SY}\sigma_Y & \kappa_{YZ}^* \\ \kappa_{ZY}^* - ik\rho_{SZ}\sigma_Z^* & \kappa_{ZZ}^* \end{pmatrix}$$

$$\Gamma^* \equiv \begin{pmatrix} \sigma_Y^2 & \rho_{YZ}\sigma_Y\sigma_Z^* \\ \rho_{YZ}\sigma_Y\sigma_Z^* & \sigma_Z^{*2} \end{pmatrix}$$

2 实证分析

2.1 数据描述

S&P500 指数期权是目前全球市场交易最为活跃的期权品种之一, 因此本文以 S&P500 指数期权作为研究对象, 综合考虑数据的可获得性以及尽可能涵盖不同的市场状况, 本文的样本期定为 2000 年 11 月 15 日到 2012 年 5 月 23 日. 图 1 描绘了样本期内 S&P500 指数日对数收益率与 VIX 指数的走势. 从图中可以看到 2003 年之前的波动较为中等, 而 2003 年至 2007 年间波动较为温和, 2007 年金融危机开始之后波动变得比之前都更大. 因此, 总体而言, 本文的样本期涵盖了不同的市场状况, 具有较好的代表性.

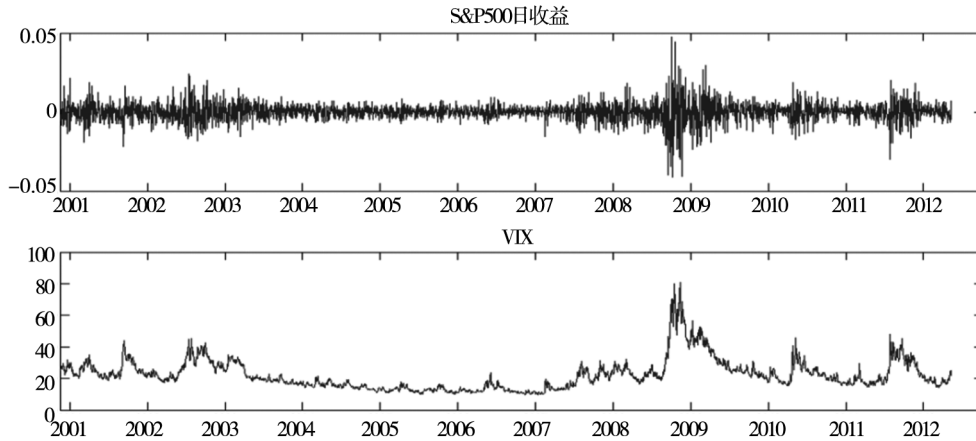


图 1 S&P500 指数日收益与 VIX 指数走势

Fig. 1 S&P 500 index returns and VIX

综合考虑参数估计的需要以及计算量,本文采用周数据进行研究,样本期内共 597 周. 为了避免周一和周五特殊的波动率效应,S&P500 指数数据、S&P500 指数期权数据以及美国国债收益率(作为无风险利率的基准)都采用周三下午收盘价为准. 出于流动性的考虑,只使用看跌期权,并在此基础上进行了进一步的筛选,剔除

没有交易量的期权、未平仓合约数小于 100 的期权、没有买卖报价的期权、买卖报价小于 0.125 美元的期权、以及距离到期日小于 10 天或大于 365 天的期权. 使用买卖报价的均值作为期权价格.

为了比较不同期权的性质,将期权按到期日与在值程度分为九组,见表 1.

表 1 S&P500 指数期权分组

Table 1 S&P 500 index options in groups

到期日	在值程度		
	$S/K e^{-rt} < 0.975$	$0.975 \leq S/K e^{-rt} \leq 1.025$	$S/K e^{-rt} > 1.025$
$T \leq 60$	短期实值期权(SI)	短期平值期权(SA)	短期虚值期权(SO)
$60 < T < 150$	中期实值期权(MI)	中期平值期权(MA)	中期虚值期权(MO)
$T \geq 150$	长期实值期权(LI)	长期平值期权(LA)	长期虚值期权(LO)

2.2 分组期权比较

2.2.1 参数估计

运用 Santa-Clara 和 Yan^[4] 的隐含状态拟极大似然估计方法(IS-QML),得到九组期权相关的参数估计结果见表 2.

对比这些参数,可以发现各组期权之间的差别还是比较大的. 首先,从波动率的参数来看,短期期权的波动率参数相差较大,例如短期实值期权的均值回复速度为 -24.241 0,而短期平值期权的均值回复速度仅为 -3.633 3. 其次,从跳跃强度的参数来看,各期权间的差异也较大:跳跃强度均值的符号有正有负,但是均值回复的速度都呈现出普遍较大的态势,而它的波动率相对于波动率的波动率而言都要大,这说明跳跃强度的波

动比波动率的波动要大得多. 再次,从跳跃幅度的参数来看,一个很明显的特点是从短期实值期权开始,一直到长期实值期权,估计出来的跳跃幅度的参数都非常非常小了,以至于保留四位小数只能看到 0. 也就是说从短期实值期权开始,期权对于跳跃已经不是那么敏感了. 而对短期虚值期权和短期平值期权来说,都存在均值为负的跳跃. 最后,从相关系数的参数来看,股价与波动率都存在负相关关系,相关系数基本上都在 -0.5 左右. 股价与跳跃强度的相关系数的符号不稳定,除了短期虚值期权表现出了强烈负相关(相关系数为 -0.612 4),其他组期权的相关系数绝对值都较小. 波动率与跳跃强度的相关系数大部分符号为正,但值都比较小.

表 2 分组期权参数估计结果

Table 2 Estimated parameters

	波动率			跳跃强度			跳跃幅度		相关系数		
	μ_Y	κ_Y	σ_Y	μ_Z	κ_Z	σ_Z	μ_Q	σ_Q	ρ_{SY}	ρ_{SZ}	ρ_{YZ}
SO	1.326 2	-8.054 0	0.431 4	6.628 7	-9.488 6	3.267 1	-0.078 3	0.111 4	-0.509 0	-0.612 4	0.241 0
SA	0.633 7	-3.633 3	0.319 6	-26.129 5	-33.099 4	5.278 7	-0.091 1	0.125 1	-0.825 6	0.012 3	0.052 2
SI	2.523 1	-24.241 0	1.429 1	23.647 8	-30.975 4	15.173 2	0.000 0	0.000 0	-0.229 2	-0.114 6	0.104 3
MO	0.855 3	-5.036 5	0.625 6	5.531 9	-16.951 1	3.846 8	0.000 0	0.000 0	-0.536 5	-0.251 6	0.333 7
MA	0.794 6	-4.682 0	0.547 5	-4.080 7	-40.368 6	8.420 2	0.000 0	0.000 0	-0.367 6	0.029 8	-0.083 1
MI	0.891 7	-12.037 3	1.227 2	-35.039 5	-23.602 7	17.555 4	0.000 0	0.000 0	-0.414 2	0.090 3	0.094 2
LO	0.613 0	-5.637 2	0.845 3	6.490 5	-22.546 2	4.603 6	0.000 0	0.000 0	-0.514 2	-0.165 7	0.088 2
LA	0.633 1	-5.479 1	0.820 4	2.192 6	-33.980 8	3.181 5	0.000 0	0.000 0	-0.466 5	0.027 9	0.078 1
LI	0.569 1	-3.935 3	0.526 4	-4.420 0	-29.210 3	5.975 6	0.000 0	0.000 0	-0.448 6	0.173 5	-0.383 1

从以上分析可以看出,短期虚值期权对跳跃是最敏感的,既可以检测出显著的负均值的跳跃,

也存在与股价高度相关的跳跃强度. 由此可知对跳跃的反映有两方面,一个是随机的跳跃时间,即

跳跃强度,另一个则是随机的跳跃幅度.上面的结果显示,对短期虚值和短期平值期权来说,人们既关心跳跃何时会发生,也关心究竟会有多大幅度的跳跃;但对于其他组期权,期权价格中反映不出对跳跃幅度的补偿,即当期期权期限拉长以后,人们更关心跳跃何时会发生,而不太关心究竟会有多大的跳跃.

在得到以上参数估计值的同时,也得到了波动率与跳跃强度的时间序列,表 3 是相应的描述

性统计.观察它们的最大值、最小值以及标准差可以发现,就波动率而言变化最稳定的是短期平值期权,而跳跃强度的变化相对都比较剧烈.同时对大多数期权来说,波动率都存在强烈的自相关,而跳跃强度则不然,只有短期虚值期权和中期实值期权的跳跃强度自相关性较高.当作为状态变量时,波动率与跳跃强度的相关性较低,但化为实际值时,相关性则明显提高了,尤其是虚值期权.

表 3 波动率与跳跃强度描述性统计

Table 3 Summary statistics of volatility and jump intensity

		均值	标准差	偏度	峰度	最大值	最小值	自相关	相关
SO	$\sqrt{V_t}$	0.165 6	0.199 0	2.842 5	13.533 1	1.359 8	0.004 4	0.781 1	0.442 6
	λ_t	3.459 5	5.083 5	3.025 8	20.127 9	53.933 9	0.000 0	0.511 1	
SA	$\sqrt{V_t}$	0.195 3	0.087 2	1.634 3	7.142 6	0.755 9	0.003 5	0.925 5	-0.234 8
	λ_t	1.241 5	1.231 6	2.919 2	15.537 8	9.659 4	0.000 0	0.170 1	
SI	$\sqrt{V_t}$	0.190 7	0.205 9	2.346 0	9.829 4	1.181 9	0.001 1	0.834 2	0.107 2
	λ_t	5.890 9	13.225 9	3.385 0	15.937 7	95.892 1	0.000 0	0.163 4	
MO	$\sqrt{V_t}$	0.206 5	0.178 7	1.224 3	5.040 3	0.965 5	0.002 6	0.942 8	0.425 0
	$\lambda_0 t$	0.647 3	1.052 5	4.863 1	37.821 6	11.626 8	0.000 0	0.300 4	
MA	$\sqrt{V_t}$	0.203 7	0.119 6	1.346 8	5.603 7	0.874 8	0.004 9	0.940 6	0.178 7
	λ_t	1.434 0	5.386 3	13.851 3	227.343 7	98.357 7	0.000 0	0.028 0	
MI	$\sqrt{V_t}$	0.198 1	0.232 3	2.313 1	8.673 0	1.283 9	0.002 5	0.933 9	0.803 2
	λ_t	10.565 4	14.862 5	1.915 2	7.383 4	95.252 5	0.000 0	0.735 5	
LO	$\sqrt{V_t}$	0.192 6	0.183 5	1.791 6	6.161 7	1.107 8	0.000 2	0.964 4	0.447 8
	λ_t	0.683 0	1.260 6	6.535 6	76.726 5	18.833 9	0.000 0	0.249 8	
LA	$\sqrt{V_t}$	0.217 7	0.193 6	1.764 1	6.263 7	1.024 1	0.003 2	0.958 5	0.138 7
	λ_t	0.247 4	1.203 3	17.607 5	354.597 6	26.070 6	0.000 0	0.029 1	
LI	$\sqrt{V_t}$	0.216 7	0.116 5	1.489 2	5.803 9	0.825 3	0.001 0	0.922 0	0.201 1
	λ_t	0.885 3	2.119 9	7.187 7	74.430 1	27.160 2	0.000	0.179 6	

图 2 刻画了短期期权的波动率与跳跃强度随时间的变化^②.为了方便进行对比,同时给出了一张 30 天平值期权的 BS 隐含波动率图(见图 3).就波动率而言,各组期权的波动率估计都是比较接近的,只存在一些尺度上的微小差异,而整个走势基本都是吻合的.就跳跃强度而言,各组期权都普遍存在时变的跳跃强度,但各组之间的差异非常大.首先,三种期限的虚值期权从图上都可以看出一个与波动率走势大致相同的跳跃强度,短期虚值期权的跳跃强度最大;其次,三种期限的平值期权的跳跃强度都是

相对来说最稳定的,实值期权的跳跃强度非常不稳定,而虚值期权的跳跃强度则比较符合现实.

2.2.2 风险溢价

有了参数估计值与波动率和跳跃强度,就可以利用式(13)计算风险溢价^③.图 4 刻画了短期期权的总风险溢价随时间的变化^④.九组期权的总风险溢价在趋势上基本没有什么差别,只在水平上有一些差别.

得益于模型,可以将总风险溢价分解为跳跃

② 由于篇幅有限,中期和长期期权的波动率与跳跃强度图可向作者索取.

③ 公式中与 Y 有关的项为波动率溢价,与 Z 有关的项为跳跃溢价,而 Y 和 Z 的交叉项由于实际计算出来的值非常小故忽略不计了.

④ 由于篇幅有限,中期和长期期权的总风险溢价图可向作者索取.

溢酬与波动率溢酬,并得到它们的时间序列.图5刻画了短期期权跳跃溢酬占总风险溢酬的百分比随时间的变化^⑤.九组期权中,只有短期虚值与短

期平值期权存在显著的跳跃溢酬,而且跳跃溢酬占的比例还相当大;但在其他组期权中跳跃溢酬几乎是不存在的.

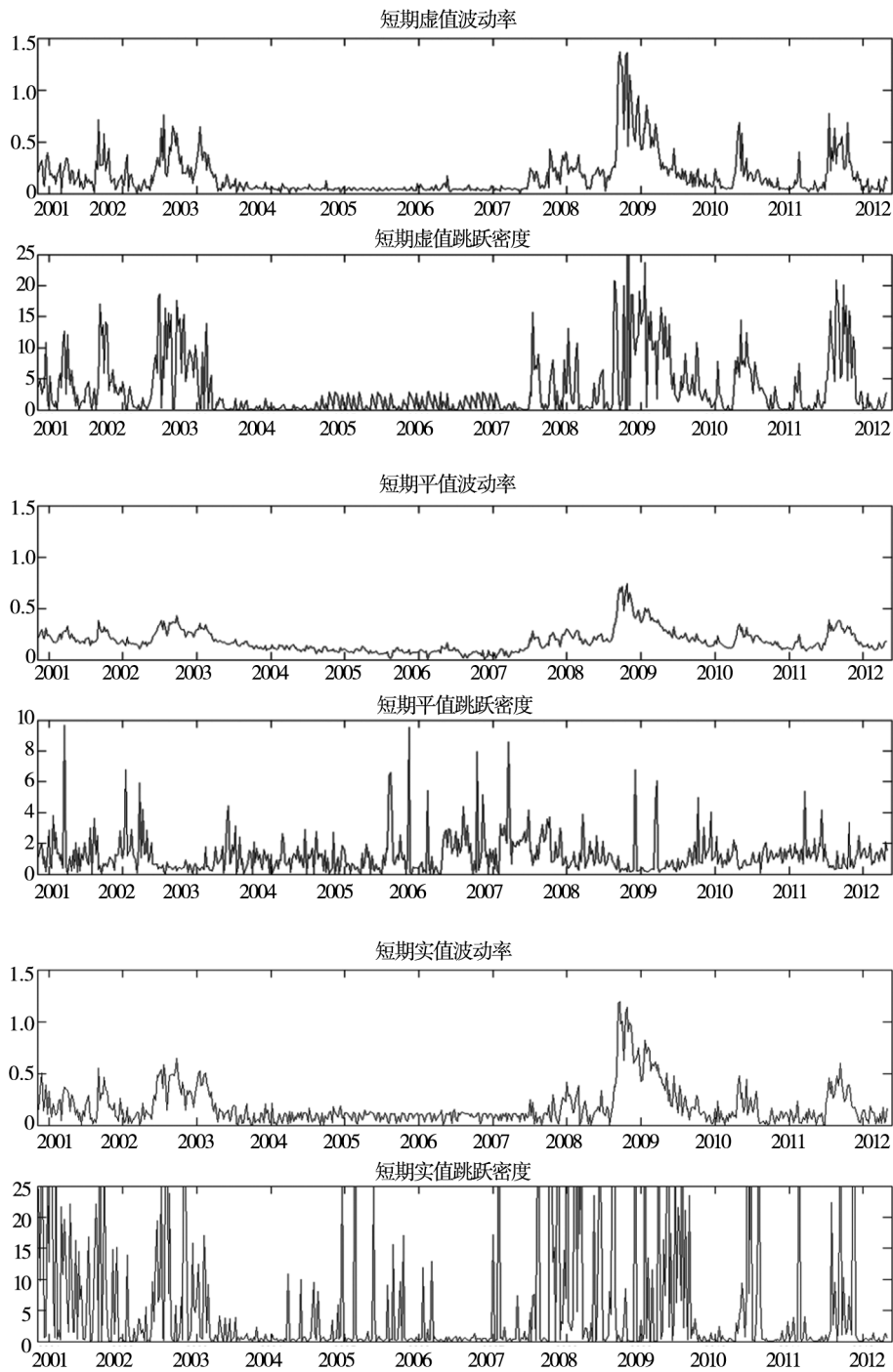


图2 短期期权波动率与跳跃强度

Fig. 2 Volatility and jump intensity of short-term options

⑤ 由于篇幅有限,中期和长期期权的跳跃风险溢酬占比图可向作者索取.

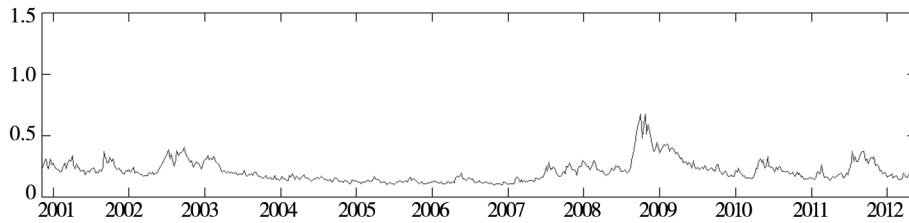


图 3 30 天平值期权 BS 隐含波动率
Fig. 3 BS implied volatility of 30 days at-the-money options

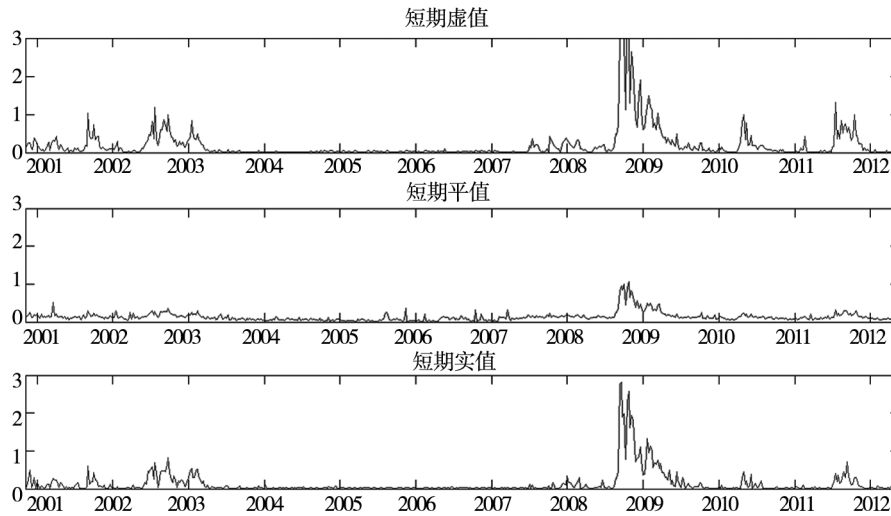


图 4 短期期权总风险溢价
Fig. 4 Equity premium of short-term options

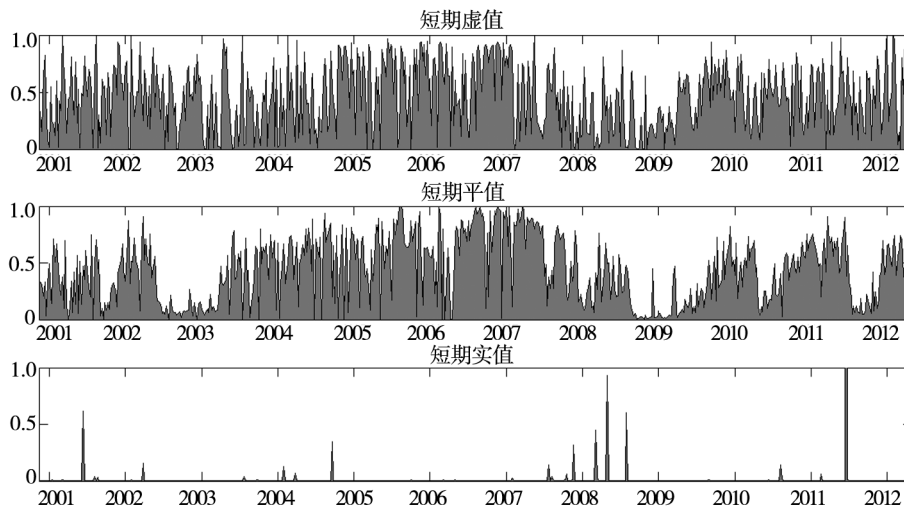


图 5 短期期权跳跃风险溢价占比
Fig. 5 The ratio of jump risk premium to equity premium for short-term options

从跳跃风险溢酬的分布特征来看,市场在对期权进行定价时,对于短期的价格跳跃风险给予了较大的关注,可以从以下两个方面来理解这个问题:

第一,从期限来看,考虑最极端的情况,由于对金融市场有显著影响的消息往往都是在对应的市场收盘之后才会发布,隔夜持仓的跳跃风险是最大的.从市场实践来看,短周期的交易策略大多

靠的是价格的波动来盈利,而价格的突然跳跃则往往可能给他们造成巨大的风险.交易周期越短,投资者越不愿意承受这种短期价格跳跃的风险,其对价格跳跃要求的风险溢价也就越高.而对长交易周期的投资者来说,在时间尺度拉长之后,价格的波动与跳跃的区别就没有那么明显了,它们都只是价格变化的一种表现形式,甚至于投资者把它们都同化为了价格的波动,因而在长时期期权中,跳跃风险溢酬的占比非常低,体现出来的主要是波动率风险溢价.

第二,从期权的在值程度来看,实值期权的交易更近似于现货,而价格跳跃风险对现货来说是双向的,而对期权来说却是单向的,期权的卖方要承受这一风险,因而在更近似于现货的实值期权中,价格跳跃风险与价格波动风险可能被同化了,投资者对他们要求的收益补偿最终只体现为一种类型,即波动率风险溢价.而对平值期权与虚值期权来说,特别是对于剩余期限较短的期权合约,价格跳跃所引起的收益变化是非常大的,因此在整个风险溢酬的分布中,跳跃风险溢酬占比也就比较高了.

2.2.3 波动率偏斜

有研究表明波动率微笑的斜率与波动率和股价的相关系数有关,但是在面对某些短期期权所呈现出的非常陡峭的波动率偏斜时,这个相关系数是没有能力解释的.因此一个可能的猜测是,是否短期期权的波动率偏斜与股价的跳跃是相关的.而前面的研究已经得到了波动率和跳跃强度的时间序列,因此接下来将要研究波动率偏斜与跳跃的关系.由于跳跃只在短期期权中较为显著,故这里只研究短期期权.

采用在值程度 1.10 的 30 天虚值看跌期权的 BS 隐含波动率减去在值程度 1.00 的 30 天平值看跌期权的 BS 隐含波动率作为波动率微笑的斜率的代理^⑥.从表 4 的回归结果可以看到:对于这三组期权,波动率微笑的斜率与波动率的关系都是显著的;对短期虚值与实值期权来说,波动率微笑的斜率与跳跃强度是显著相关的,但对平值期权则并不显著;对短期平值期权来说,跳跃溢酬在总风险溢酬中的占比与波动率微笑的斜率的关系是非常显著的,但对于虚值与实值期权并不显著.

表 4 波动率微笑的斜率与波动率、隐含跳跃强度、跳跃溢酬占比的关系
Table 4 The slope of volatility smile, and implied diffusive volatility, implied jump intensity, the ratio of jump risk premium to equity premium

	短期虚值期权	短期平值期权	短期实值期权
波动率微笑的斜率与波动率	$Slope_t = \alpha + \beta \times Volatility_t + \varepsilon_t$		
截距项	0.080 8 ***	0.087 3 ***	0.082 0 ***
<i>Volatility</i>	-0.017 8 ***	-0.052 1 ***	-0.023 2 ***
<i>R-Square</i>	0.032 2	0.083 4	0.046 6
波动率微笑的斜率与隐含跳跃强度	$Slope_t = \alpha + \beta \times Intensity_t + \varepsilon_t$		
截距项	0.079 0 ***	0.076 7 ***	0.079 4 ***
<i>Intensity</i>	-0.000 4 **	0.000 9	-0.000 3 ***
<i>R-Square</i>	0.008 0	0.003 2	0.031 7
波动率微笑的斜率与跳跃溢酬占比	$Slope_t = \alpha + \beta \times Weight_t + \varepsilon_t$		
截距项	0.075 8 ***	0.068 2 ***	0.077 9 ***
<i>Weight</i>	0.004 4	0.022 4 ***	-0.000 9
<i>R-Square</i>	0.004 0	0.103 9	0.000 7

注:***、** 分别表示在 1%、5% 的置信水平下显著.

2.3 分模型比较

前面的研究都是基于随机波动率随机跳跃强度的模型,也就是说,依赖于关于跳跃强度的设

定.而知在之前的期权研究中,关于跳跃强度还有两种设定,一种是常数跳跃强度,另一种是跳跃强度是波动率的确定性的函数.那么为了更好的验

⑥ 由于没有准确符合条件的期权,在选择期权时都是选择最接近以上两个条件的期权.

证结果,需要对比其他的模型设定进行检验.观察本文所使用的模型的参数可以知道,通过对模型参数进行不同限制就可以得到其他的模型设定,具体如表 5 所示.表中为 0 的项目表示将这些参数设为 0.例如,如果将跟跳跃有关的参数都设为 0,就得到了随机波动率(SV)模型,以此类推.

2.3.1 参数估计与显著性检验

考虑到主要是短期虚值期权对跳跃比较敏感,以下只采用短期虚值期权进行估计,参数估计结果如表 6 所示.

从表中可以看到:波动率与股价存在显著的负相关,但是当加入跳跃之后,股价与波动率的负相关关系减弱了,被股价与跳跃强度的相关性所

替代.SVCSJ 与 SVSJ 得到的相关系数类似,都在 -0.5 左右.加入跳跃之后,波动率的波动相比之前要增加了,从它的均值回复速度以及波动率的波动率都可以看出来.同时,三种跳跃模型都检测出了负均值的跳跃,其中 SVCSJ 与 SVSJ 的结果近似,而 SVCJ 得到的跳跃幅度的波动率几乎是 SVCSJ 与 SVSJ 的两倍.因为跳跃实际是跳跃强度与跳跃幅度的综合,而 SVCJ 常数跳跃强度的设定使得跳跃的所有波动都体现在了跳跃幅度的波动上面.此外,由于 SV、SVCJ、SVCSJ 模型都可以看成是 SVSJ 模型的一个特例,无论从似然比检验的结果还是从全样本的定价误差来看,加入随机跳跃后模型的表现都是逐级改善的.

表 5 参数限定情况

Table 5 Parameters restrictions

		SV	SVCJ	SVCSJ	SVSJ
波动率	μ_Y				
	κ_Y				
	σ_Y				
跳跃	μ_Z	0	0		
	κ_Z	0	0		
	σ_Z	0	0		
	μ_Q	0			
	σ_Q	0			
交叉项	ρ_{SY}				
	ρ_{SZ}	0	0		
	ρ_{YZ}	0	0	1	
其他			Z 为常数	Z = k * Y	

表 6 各模型参数估计结果

Table 6 Parameters estimation for different models

		SV	SVCJ	SVCSJ	SVSJ
波动率	μ_Y	0.607 7	1.656 0	1.414 0	1.347 7
	κ_Y	-2.991 4	-9.103 1	-8.298 1	-8.033 5
	σ_Y	0.246 0	0.367 0	0.433 3	0.411 9
跳跃	μ_Z	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1.414 0</u>	6.613 9
	κ_Z	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>-8.298 1</u>	-9.477 4
	σ_Z	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0.433 3</u>	3.260 0
	μ_Q	<u>0</u>	-0.050 1	-0.070 6	-0.063 3
	σ_Q	<u>0</u>	0.210 3	0.105 9	0.101 4
交叉项	ρ_{SY}	-0.877 0	-0.813 8	-0.499 1	-0.502 6
	ρ_{SZ}	<u>0</u>	<u>0</u>	-0.499 1	-0.634 8
	ρ_{YZ}	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	0.228 6
其他			Z 为常数	Z = k * Y	
似然比检验			12.98 ***	15.5 ***	8.08 ***
RMSE (%)		2.44	2.41	1.36	1.21

注:表中加粗并有下划线表示限定的参数.***表示在 1%的置信水平下显著.

2.3.2 波动率与跳跃强度

与前面类似,也可以得到波动率与跳跃强度的时间序列(见图6).SV模型没有跳跃强度,SVCJ模型的跳跃强度是个常数,SVCJSJ和SVSJ模型隐含的跳跃强度则比较相近.

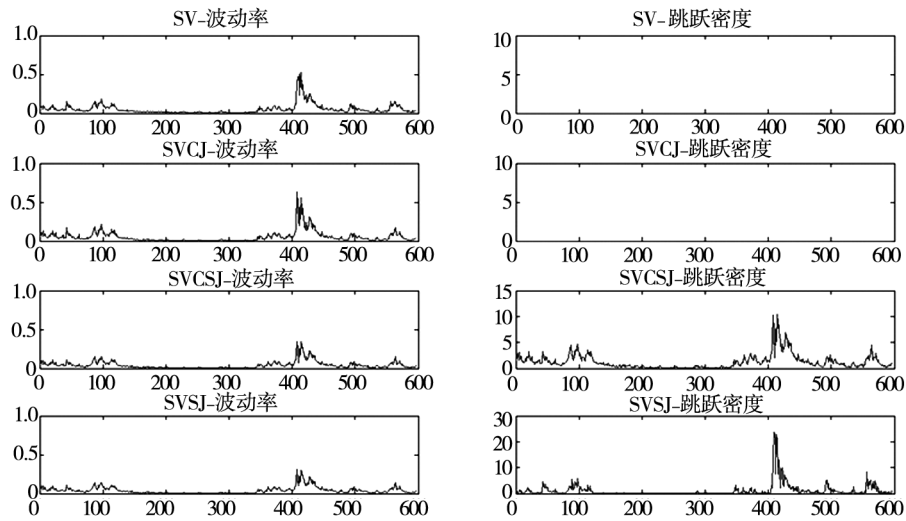


图6 不同模型设定的波动率和跳跃强度

Fig. 6 Volatility and jump intensity in different models

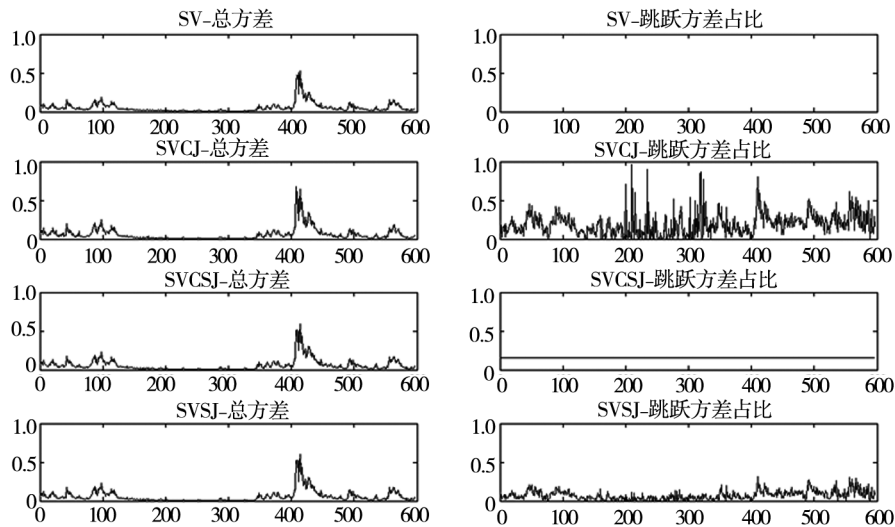


图7 不同模型设定的总方差和跳跃方差占比

Fig. 7 Total variance and the ratio of jump variance to total variance in different models

2.3.4 风险溢酬

同样的,可以得到总风险溢酬的分解(见图8).虽然跳跃的方差贡献平均来说只占总方差的不到20%,但是其在风险溢酬中的占比却远远高于此.并且可以看出在中间一段时间跳跃风险溢酬占比是比较高的,而这段时间恰恰是S&P500波动率最低最平缓的几年.也就是说,当整个市场的波动增大的时候,人们要求更多的波动率溢酬;

2.3.3 收益的总方差与跳跃方差

根据模型也可以得到股价波动的总方差,以及分解的波动率方差与跳跃强度的方差(见图7).从图中可见在SVCJSJ和SVSJ模型中,跳跃的方差占比一直都是非常稳定的.

而在市场平缓的时候,人们要求更多的跳跃溢酬.从结果来看,跳跃风险的风险价格要远高于波动率风险的风险价格,同样幅度的价格波动与同样幅度的价格跳跃对投资者来说显然是不同的.在价格连续波动的市场中,投资者有充分的时间、机会进行交易,不论是在什么样的价格趋势中,都可以迅速地、以较合理的价格买入或者卖出.但是,倘若价格的波动不那么连续,偶尔会发生价格的

跳跃,则对投资者来说,即使这样的情形不经常发生,但是其造成的潜在的交易成本、损失可能是非

常高的,人们必然会对这种风险要求更高的风险报酬.

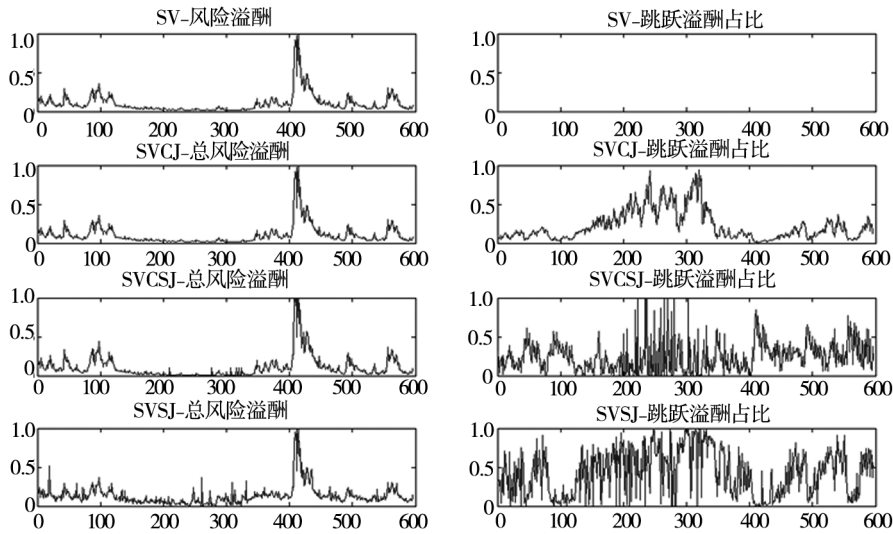


图 8 不同模型设定的总风险溢价和跳跃风险溢价占比

Fig. 8 Equity premium and the ratio of jump risk premium to equity premium in different models

2.4 样本外定价效果

前面的分析都属于时间序列的分析,但期权定价时需要考虑的另外一个重要的方面是横截面期权的定价效率,因此,为了更好的评价各个模型的表现,同时也为了研究在具有不同波动特征的时期模型的相对表现,下面将进行样本外定价效果的检验.

参考 Rapach 等^[14],以及 Lin 等^[15]的做法,样本外预测采用移动窗口的方法,即使用最近过去 1 年的数据来估计样本内参数值,然后对样本外 4 周的期权进行定价误差检验,并每隔 4 周进行滚动预测.期权定价误差采用的是实际期权价格的 BS 隐含波动率与理论期权价格的 BS 隐含波动率之差.

同时根据 30 天平值期权的 BS 隐含波动率水平将样本外区间划分为了低波动时期与高波动时期.

不考虑到期日与在值程度的样本外的定价效果见表 7.从表中可以看到一个很明显的特征是:对所有的模型来说,高波动时期的定价效果都要好于低波动时期的定价效果.相对来说改进较大的是 SVCJ 模型,高波动时期的定价误差相对于低波动时期改进了 38.64%,而另外两个跳跃模型的改进是相对最小的.但是同时,SVCJ 模型在低波动时期的表现也是最差的,这也就意味着在低波动时期,常数的跳跃强度可能是不合理的.模型之间进行比较,无论是高波动时期还是低波动时期表现最好的都是 SVSJ 模型.

表 7 样本外初步定价效果检验

Table 7 Examination of pricing efficiency in different model specifications

RMSE(%)	全部时期	低波动时期	高波动时期
SV	2.48	2.89	2.08
SVCJ	2.49	3.08	1.89
SVCSJ	1.39	1.42	1.35
SVSJ	1.30	1.39	1.20

注:由于数据从 2000 年 11 月 15 日开始,故第一个样本外预测的起始日为 2001 年 11 月 29 日,截止日为 2001 年 12 月 26 日.全部时期指 2001 年 11 月 29 日至 2012 年 5 月 23 日.低波动时期指 2001 年 11 月 29 日至 2007 年 2 月 26 日,高波动时期指 2007 年 2 月 27 日至 2012 年 5 月 23 日.

2.4.1 期权分组定价效果

为了更加细致的分析不同模型设定的期权定价效率,下文将样本期权按照到期日与在值程度

进行分组,分别计算它们的定价误差.具体结果如表 8 所示.首先,对于短期期权,虚值期权的定价误差是最小的.加入跳跃之后,对实值期权的定价

改进最多,其中 SVSJ 模型相对于 SV 模型减少了 67.36%;对平值期权的改进程度与虚值期权的改进程度接近. 模型之间 SVSJ 模型表现最好. 其次,对于中期期权,总体上仍是虚值期权的定价效率最

高. 加入跳跃之后同样是对实值期权的改进最大. 模型之间 SVSJ 模型仍然表现最好. 最后,对于长期期权,与前面的结果相反,加入跳跃之后定价效果最好的是实值期权. 但是 SVSJ 模型仍然优于其他模型.

表 8 期权分组定价效果检验

Table 8 Examination of pricing efficiency in different model specifications for different options

RMSE(%)		实值	平值	虚值
短期期权	SV	3.37	2.07	1.03
	SVCJ	2.35	1.97	1.15
	SVCSJ	1.16	1.58	0.70
	SVSJ	1.10	1.48	0.67
中期期权	SV	2.87	1.67	1.78
	SVCJ	3.12	1.86	2.19
	SVCSJ	1.21	1.66	1.13
	SVSJ	1.07	1.55	1.00
长期期权	SV	3.36	3.33	2.88
	SVCJ	3.90	2.48	3.35
	SVCSJ	1.31	2.17	1.57
	SVSJ	1.30	2.03	1.46

2.4.2 不同波动时期期权分组定价效果

2001 年至 2007 年 30 天平值期权的 BS 隐含波动率的均值为 0.19,而 2007 年至 2012 年 30 天平值期权的 BS 隐含波动率的均值为 0.33,可以看出两个区间的波动性相差是比较大的. 而模型可能在不同的波动区间内表现出不同的特点,例如是不是对某些模型的偏好是由于所选区间的关系,因此下文进一步检验了不同模型在不同波动时期的定价效果(见表 9).

就低波动时期而言,首先,对于短期期权,仍

然是虚值期权的定价误差最小. 加入跳跃之后,对实值期权的定价改进最大. 模型间相对表现最好的是 SVSJ,最差的是 SVCJ. 其次,对于中期期权,加入跳跃之后对实值期权与虚值期权的定价都有超过 50%的改进,但对平值期权反而增加了定价误差. 模型间 SVSJ 模型相对表现最好, SVCJ 表现最差. 最后,对于长期期权,整体定价误差都有明显的上升. 相对来说 SVSJ 表现最好, SVCJ 表现最差. 因此,总的来说在低波动区间定价误差最小的是 SVSJ 模型,定价误差最大的是 SVCJ 模型.

表 9 不同波动时期期权分组定价效果检验

Table 9 Examination of pricing efficiency in different model specifications and different volatility periods for different options

RMSE(%)		低波动时期			高波动时期		
		实值	平值	虚值	实值	平值	虚值
短期期权	SV	3.50	1.80	1.16	3.23	2.34	0.91
	SVCJ	2.97	1.98	1.39	1.72	1.96	0.90
	SVCSJ	0.91	1.52	0.67	1.41	1.64	0.73
	SVSJ	1.32	1.60	0.62	0.88	1.36	0.72
中期期权	SV	3.63	1.30	2.23	2.12	2.04	1.33
	SVCJ	4.16	2.01	2.83	2.08	1.72	1.55
	SVCSJ	1.19	1.75	1.16	1.23	1.56	1.09
	SVSJ	1.09	1.54	1.03	1.04	1.56	0.97
长期期权	SV	4.51	4.18	3.70	2.20	2.47	2.06
	SVCJ	5.34	2.59	4.43	2.47	2.37	2.27
	SVCSJ	1.28	2.45	1.89	1.35	1.89	1.25
	SVSJ	1.55	2.18	1.60	1.06	1.89	1.32

就高波动时期而言,首先,对于短期期权,虚值期权的定价误差是最小的.加入跳跃之后,对实值期权的定价改进最大.模型间 SVSJ 模型表现最好.其次,对于中期期权,加入跳跃之后仍然是对实值期权的改进较大,平值期权定价误差最大.模型间 SVSJ 模型表现最好.最后,对于长期期权,加入跳跃之后实值期权的定价误差反而最小,平值期权的表现仍然最差.模型间 SVSJ 模型仍然表现最好.因此,总的来说在高波动区间定价误差最小的仍是 SVSJ 模型.

3 结束语

本文首先将期权按照到期日和在值程度分为九组,利用 Santa-Clara 和 Yan^[4] 随机波动率随机跳跃强度的期权定价模型分别估计出了每组期权的隐含波动率、跳跃强度、波动率风险溢价以及跳跃风险溢价的时间序列.实证发现:1)不同到期日不同在值程度的期权隐含的波动率是比较接近的,但隐含的跳跃强度则存在较大的差异.从期权到期日来看,长期期权跳跃强度的均值显著低于短期期权.从在值程度来看,虚值期权的跳跃强度与资产价格存在显著的负相关关系,且这种相关关系随着到期日的增加而减弱;而实值、平值期权的跳跃强度与资产价格之间的相关关系在方向上呈现一种不稳定性,在数量上也比较低.2)只在短期虚值期权与短期平值期权的估计中存在均值显著为负的跳跃,其他组期权跳跃均值的估计非

常接近于零.3)尽管九组期权隐含的总风险溢酬在时间趋势和量上都比较接近,但只有短期虚值期权与短期平值期权中存在显著的跳跃风险溢酬,并且跳跃风险溢酬远超过波动率风险溢酬,这说明人们在短期内对跳跃所要求的风险补偿是比较高的,而在长期几乎不对跳跃要求补偿.(4)短期平值期权中跳跃风险溢酬占总风险溢酬的比例与波动率微笑的斜率高度相关,也就是说当波动率微笑越陡峭,人们对跳跃风险要求的回报所占的比例也就越高.

接着,本文通过对模型参数进行不同限定,分别得到 SV 模型, SVCJ 模型, SVCSJ 模型和 SVSJ 模型下的期权隐含波动率、隐含跳跃强度、波动率风险溢酬以及跳跃风险溢价的时间序列.实证结果表明不同的跳跃强度的设定都可以估计出显著的跳跃风险溢酬.虽然跳跃风险的方差在总风险的方差中所占的比例较低,但跳跃风险溢酬在总风险溢酬中所占的比例却远远超出这个值,说明人们对跳跃风险要求的补偿是很不同于波动率的.

最后,为了对前面的结果有更好的佐证,本文对上述四种模型设定进行了样本外横截面期权定价效率的检验并区分了不同的波动区间,结果发现:1)各模型在高波动时期的定价效率要优于低波动时期.2)尽管加入跳跃能够显著改善实值期权的定价效率,但定价效率最高的仍是虚值期权.3)从模型的横向比较来看,SVSJ 模型表现最好.

参考文献:

- [1] Pan J. The jump-risk premia implicit in options: Evidence from an integrated time-series study[J]. *Journal of Financial Economics*, 2002, 63(1): 3-50.
- [2] Bates D S. Post-'87 crash fears in the S&P500 futures option market[J]. *Journal of Econometrics*, 2000, 94(1): 181-238.
- [3] Broadie M, Chernov M, Johannes M. Model specification and risk premia: Evidence from futures options[J]. *The Journal of Finance*, 2007, 62(3): 1453-1490.
- [4] Santa-Clara P, Yan S. Crashes, volatility, and the equity premium: Lessons from S&P500 options[J]. *The Review of Economic Statistics*, 2010, 92(2): 435-451.
- [5] Yan S. Jump risk, stock returns, and slope of implied volatility smile[J]. *Journal of Financial Economics*, 2011, 99(1): 216-233.
- [6] Bollerslev T, Todorov V. Tails, fears, and risk premia[J]. *The Journal of Finance*, 2011, 66(6): 2165-2211.
- [7] Neumann M, Prokopcuk M, Simen C W. Jump and variance risk premia in the S&P500[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2016, 69: 72-83.

- [8] 刘杨树, 郑振龙, 陈 蓉. 跳跃风险如何影响期权复制收益? ——基于多维跳跃扩散的模型与证据[J]. 管理科学学报, 2016, 19(6): 74–86.
Liu Yangshu, Zheng Zhenlong, Chen Rong. How does jump risk affect the Delta hedge gain? Evidence from multi-dimension jump diffusion model[J]. Journal of Management Sciences in China, 2016, 19(6): 74–86. (in Chinese)
- [9] 陈浪南, 孙坚强. 股票市场资产收益的跳跃行为研究[J]. 经济研究, 2010, (4): 54–66.
Chen Langnan, Sun Jianqiang. Jump dynamics in stock returns[J]. Economic Research Journal, 2010, (4): 54–66. (in Chinese)
- [10] 左浩苗, 刘振涛. 跳跃风险度量及其在风险-收益关系检验中的应用[J]. 金融研究, 2011, (10): 170–184.
Zuo Haomiao, Liu Zhen tao. Jump risk measurement and its application in the test of the relationship between risk and return[J]. Journal of Financial Research, 2011, (10): 170–184. (in Chinese)
- [11] Zhou H, Zhu J Q. Jump risk and cross section of stock returns: Evidence from China's stock market[J]. Journal of Economics and Finance, 2011, 35(3): 309–331.
- [12] 刘志东, 许健强. 基于蒙特卡洛模拟的金融资产价格跳跃非参数检验方法比较研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, (3): 128–145.
Liu Zhidong, Xu Jianqiang. A comprehensive Monte Carlo simulation comparison of nonparametric tests for jumps in the prices of financial assets[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2016, (3): 128–145. (in Chinese)
- [13] Merton R C. An intertemporal capital asset pricing model[J]. Econometrica, 1973, 41(5): 867–887.
- [14] Rapach D E, Strauss J K, Zhou G. Out-of-sample equity premium prediction: Combination forecasts and links to the real economy[J]. The Review of Financial Studies, 2010, 23(2): 821–862.
- [15] Lin H, Wu C, Zhou G. Forecasting corporate bond returns with a large set of predictors: An iterated combination approach [J]. Management Science, 2017.

Stochastic jump intensity and option implied risk premiums

CHEN Miao-xin, WU Chen

Department of Finance, School of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: Based on a stochastic volatility and stochastic jump intensity (SVSJ) option pricing model, this paper gives a thorough study of the S&P 500 index options. The empirical results show that significant jump premiums only exist in short term out-of-the-money options and short term at-the-money options, and the jump premium is much larger than the volatility premium. With different model specifications, the paper finds that although the contribution of jump variances to the total variance is quite small, jump premium accounts for a large proportion of total risk premium. For all model specifications, all the model perform better in high volatility periods than in low volatility periods. Among these models, the SVSJ model has the greatest pricing efficiency.

Key words: volatility; jump intensity; risk premium; options