

文章编号: 1000 5013(2010)05-0580-06

中国股市跳跃行为的随机波动模型分析

高延巡, 胡日东, 苏桂芳

(华侨大学 经济与金融学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 基于上证综指样本数据, 探讨双跳跃随机波动模型并研究股市波动跳跃行为. 应用马尔科夫蒙特卡洛方法对模型参数进行估计, 通过残差正态检验比较各类随机波动模型刻画股市波动能力, 采用损失函数评价法和线性回归法, 评估其对上证综指波动的预测精度. 结果显示, 中国股市跳跃波动程度和强度较大, 对股市收益和波动均有显著影响; 在引入跳跃成分刻画股市异常波动行为后, 双跳跃模型显著提高股市收益波动率的估计精度与预测能力.

关键词: 跳跃; 杠杆效应; 随机波动模型; 马尔科夫蒙特卡洛方法; 上证综指

中图分类号: O 211.67; F 830.91

文献标识码: A

作为市场风险的度量, 对波动率的有效辨识是资产配置与投资策略、金融衍生品定价的前提, 也是金融机构日常风险管理的基础. 准确、有效地估计和预报波动率, 一直是金融学家所探讨的热点问题. 传统理论认为, 金融资产(股票或外汇)的交易价格具有“时间连续性”, 因此金融资产收益是稳定的. 但是, 最近有许多学者发现, 金融市场经常受到外在因素(如重要消息或突发事件)的冲击, 资产收益率就会在短时间内出现大幅波动, 即所谓的“跳跃”现象. 当市场存在跳跃现象时, 自回归条件异方差(ARCH)类模型估计的波动序列是不稳定的, 而随机波动(SV)类模型时变方差遵循某种不可观测的随机过程, 通过加入跳跃成分, 能有效地估计波动率. 目前, 国内学者对金融资产收益率的研究大部分局限于尖峰肥尾、长记忆性及杠杆效应特征分析, 较少涉及到资产收益的跳跃行为及其对波动率影响的实证研究. 周彦等^[1]采用具有跳跃连续时间随机波动模型对不同时期中国股市波动跳跃分析, 得出近期跳跃强度有所减弱. Duffie 等^[2]在 Heston^[3]提出的基本随机波动模型的基础上, 提出一类跳跃的波动模型(AJD 模型), 认为收益的跳跃行为及其呈现的聚群现象影响波动率, 并且这种反馈效应影响到资产收益的未来趋势. Eraker 等^[4]在此基础上进行相应调整得到 EJP 模型, 并研究美国股市, 则显著提高收益的拟合能力. 陈浪南等^[5]运用 EARIV-GARCH 模型对沪深股指数研究, 得出 B 股指数跳跃概率高于 A 股指数. 王春峰等^[6]应用 HAR-RV-CJ 模型对上证综指实现波动率预测, 得出离散跳跃方差不影响实现波动率预测. 本文对双跳跃随机波动模型与其他随机波动模型进行比较, 并评价各类模型在刻画金融资产的拟合与预测能力.

1 随机波动模型的建模分析

1.1 随机波动模型

引用 EJP 模型来研究上证综指的收益波动行为, 有

$$Y_{t+1} = Y_t + \mu + \sqrt{V_t} B_{t+1}^y + \xi_{t+1} N_{t+1}, \quad (1)$$

$$V_{t+1} = V_t + \kappa(\theta - V_t) + \alpha \sqrt{V_t} B_{t+1}^v + \xi_{t+1}^v N_{t+1}, \quad (2)$$

式(1), (2)中: Y_t 为 t 时刻资产的对数价格; V_t 描述 t 时刻的即时波动率; 参数 μ 度量资产的期望收益; θ 描述波动率的长期均值; κ 是波动率向长期均值修正的速率; α 衡量“波动的波动”; B_{t+1}^y 与 B_{t+1}^v 服从标

收稿日期: 2009-11-27

通信作者: 胡日东(1964), 男, 教授, 主要从事金融工程与金融管理的研究. E-mail: j_rdh@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(08BJL019); 华侨大学科研基金资助项目(09BS502)

准正态分布且 $\text{corr}(B_{t+1}^y, B_{t+1}^v) = \rho$ 当 $\rho < 0$ 时, 波动存在杠杆效应, 即资产价格的变化和波动之间的关系是非对称的, 资产价格的下跌往往导致较大的波动; N_{t+1} 是服从跳跃强度参数 λ 的泊松过程, 表示在单位时间内跳动的次数. 由于离散化的时间较短, Eraker 等^[4] 假定单位时间间隔内(通常为 1 d)只能发生一次跳跃, 因此泊松过程实际上退化为贝努里分布; ξ_{t+1}^y 与 ξ_{t+1}^v 分别反映收益和波动发生跳跃的幅度, 假定 $\xi_{t+1}^y \sim N(\mu_y, \sigma_y^2)$, $\xi_{t+1}^v \sim \exp(\mu_v)$, 参数 μ_y 影响收益的偏度, 当 $\mu_y < 0$, 则收益左偏; 当 σ_y^2 较大时, 则能更好地刻画收益尖峰肥尾的特性. 此时, 将 EJP 模型记为 SVIJ 模型, 且记该模型的参数集为 $\Theta = (\mu_y, \kappa, \theta, \sigma_v, \rho, \lambda, \mu_v, \mu_y, \sigma_y)$.

上述的 EJP 模型几乎涵盖国外学者提出的各类连续的随机波动模型, 去掉波动方程中的跳跃成分, 模型变为 Bate^[7] 和 Anderson 等^[8] 研究的单跳跃随机波动模型(SVMJ 模型). 当不加入跳跃成分时, 模型就退化为 Heston^[3] 提出的非对称随机波动模型(ASV 模型); 当 ASV 模型的参数 $\rho = 0$ 时, 模型为基本的随机波动模型(SV 模型).

1.2 马尔科夫蒙特卡洛方法

从计量角度上看, 无法直接得到 EJP 模型的似然函数, 而且存在较多潜在状态变量 $V_t, \xi_{t+1}^y, \xi_{t+1}^v, N_{t+1}$, 故只能通过高维积分计算得到. 为了克服这些困难, 采用基于贝叶斯原理的马尔科夫蒙特卡洛(MCMC)模拟方法来估计模型的参数. 其基本思想是: 通过对模型参数的后验分布抽样构造一个平稳分布的马尔科夫链, 然后基于此做出参数的各种统计推断.

下面仅给出 EJP 模型的似然函数, 有

$$P(Y|V, \xi^y, \xi^v, N, \Theta) \propto \prod_{t=0}^{T-1} \frac{1}{\alpha_t V_t \sqrt{1-\rho^2}} \times \exp\left[-\frac{1}{2\sqrt{1-\rho^2}}((B_{t+1}^y)^2 - 2\rho B_{t+1}^y \eta_{t+1} + (B_{t+1}^v)^2)\right]. \tag{3}$$

上式中: $B_{t+1}^y = \frac{(Y_{t+1} - Y_t - \frac{\mu_y}{\alpha_t} \xi_{t+1}^y N_{t+1})}{\sqrt{V_t}}$; $B_{t+1}^v = \frac{(V_{t+1} - V_t - \frac{\kappa(\theta - V_t) - \xi_{t+1}^v N_{t+1}}{\alpha_t})}{\sqrt{V_t}}$.

2 数据特征描述

采用 2003 年 1 月 2 日至 2006 年 6 月 1 日的 5 min 高频数据的上证综指为样本数据, 共 820 个交易日(数据来源于中国经济研究中心的股票市场高频数据库), 每个交易日有 48 个数据, 即 $N = 48, T = 820$, 共计 39 360 个. 设 $P_{t,0}$ 表示第 t 天的开盘价, $P_{t,48}$ 表示第 t 天的收盘价, 定义日收益率为

$$R_t = 100 \cdot (\ln(P_{t,48}) - \ln(P_{t-1,48})), \quad t = 2, \dots, 821. \tag{4}$$

同理, 定义第 t 天每 5 min 的高频数据收益率 $r_{t,n}$ 为

$$r_{t,n} = 100 \cdot (\ln(P_{t,n}) - \ln(P_{t,n-1})), \quad n = 1, \dots, 48. \tag{5}$$

根据 Anderson 等定义^[8], 则第 t 天的 5 min 高频数据的实现波动率 R_{V_t} 为

$$R_{V_t} = \sum_{n=1}^{48} r_{t,n}^2.$$

日收益平方及日收益的描述性统计, 如表 1 所示. 表 1 中: J-B 值为 Jarque-Bera 统计量; $Q(n)$ 为滞后 n 期的 Ljung-Box 的 Q 统计量; 置信水平为 1%; 标准正态分布的偏度为 0; 峰度值也为 0.

表 1 日收益平方及日收益的描述性统计

Tab. 1 Square and daily return rate descriptive statistics

参数	均值	标准差	偏度	峰度	J-B 值	$Q(5)$	$Q(15)$
R	0.031	1.282	0.694	2.427	269.47	6.872	14.34
R ²	1.642	3.486	8.589	121.9	520.608	20.94	28.28

由表 1 可知, 日收益 R 有明显的正偏度和峰度, 而日收益平方 R^2 表现出强烈的尖峰肥尾的特性; 两序列的正态分布统计量都很大, 强烈拒绝正态分布的假定; 同时, 日收益平方序列存在明显的自相关性, 说明中国股市波动存在显著的波动持续性特性.

3 随机波动类模型的实证结果比较分析

3.1 模型参数的估计

运用 R 2.8.0 软件, 将上述样本数据分别对上述各类 SV 模型进行参数估计和统计推断并作比较分析, 结果如表 2 所示. 表 2 中括号中的数值为参数的标准差.

从表 2 可以看出, 上述模型在刻画波动的杠杆效应后, 期望收益 μ 一致为负, 特别在描述跳跃后, 期望收益更小. 说明股市剔除杠杆效应及跳跃影响后, 市场预期行情表现为下跌趋势. 参数 ρ 表明波动率 V 与收益 R 之间存在较强的负相关关系, 收益率下跌较大往往引起比等幅度的上涨有更大的波动; 当发生跳跃后, 波动率调整到较高的水平(θ)而波动的持续性降低(κ). 跳跃强度参数 λ 反映中国股市每年大约发生 7 次(234×0.028) 跳跃, 远远大于欧美股市. 表明, 中国股票市场较不稳定, 容易受到消息及政策等外在因素的影响, 从而导致股市的大起大落.

表 2 随机波动模型的 MCMC 参数估计结果

Tab.2 Coefficients estimated results of stochastic volatility models by MCMC

参数	随机波动模型			
	SV 模型	ASV 模型	SVMJ 模型	SVIJ 模型
μ	0.020(0.052)	- 0.008(0.046)	- 0.023(0.045)	- 0.025(0.051)
θ	2.085(0.390)	1.933(0.398)	1.617 (0.374)	1.289(0.425)
κ	0.017(0.006)	0.016(0.005)	0.020 (0.007)	0.025(0.007)
σ_v	0.113(0.001)	0.124(0.001)	0.123(0.001)	0.127(0.002)
ρ	-	- 0.408(0.004)	- 0.397(0.006)	- 0.410(0.006)
μ_y	-	-	- 0.085(0.106)	- 0.080(0.107)
σ_y	-	-	4.031(0.044)	4.033(0.051)
λ	-	-	0.028(0.009)	0.031(0.007)
μ_e	-	-	-	2.698(0.453)

3.2 残差的正态性检验

通过对残差的统计特征分析, 来评价模型刻画股市的拟合能力. 各类随机波动模型的残差统计分析结果, 如表 3 所示. 表 3 中: $LM(12)$ 是滞后 12 阶的 ARCH 效应检验, “[]” 中数据为概率 p 值.

表 3 随机波动模型的残差统计分析

Tab.3 Statistical analysis of the residual errors of stochastic volatility models

参数	随机波动模型			
	SV 模型	ASV 模型	SVMJ 模型	SVIJ 模型
均值	0.001 9	0.015 0	0.013 3	0.024 0
标准差	0.814 3	0.850 6	0.835 8	0.883 5
偏度	0.472 5	0.405 7	0.195 2	0.100 7
峰度	1.027 8	0.862 0	0.051 7	0.008 8
J-B 值	67.415 0	48.52 7	5.350 6	1.399 6
$LM(12)$	8.816 6 [0.718 5]	8.912 8 [0.7104]	9.021 7 [0.7011]	9.218 3 [0.684 2]
$Q(5)$	6.363 9	6.133 5	5.524 0	6.463 9
$Q(10)$	14.375 0	14.683 0	14.919 0	21.579 0

如果模型的设定比较合理, 那么其标准化的残差应该近似满足独立的标准正态分布, 即

$$(Y_{t+1} - Y_t - \mu - \xi_{t+1}N_{t+1})/\sqrt{V_t} = B_{t+1}^y \simeq N(0, 1).$$

(6)

由表 3 可知, 与日收益平方序列相比, 各模型残差序列的偏度和峰度都有所降低, SVMJ 模型和 SVIJ 模型较接近于标准正态分布. 正态统计量 J-B 值表明, SV 模型与 ASV 模型的残差序列强烈拒绝标准正态分布假定, 说明 SV 模型与 ASV 模型的设定无法描述股市尖峰肥尾的特征, 模型存在误设; 而 SVMJ 模型与 SVIJ 模型较合理地刻画股市的波动特征.

标准化参数的独立性检验 Ljung-Box-Pierce 统计量与 ARCH 效应统一表明, 双跳跃 SVIJ 模型的标准化残差基本上满足正态分布与弱相关性假说, 模型设定较为合理.

各类随机波动模型的标准化残差序列的分位数-分位数(QQ)图,如图1所示.图1中: Q_S, Q_T 分别为样本分位数和标准正态分布分位数.从图1中可以证实,在加入跳跃项后,模型具有更高的拟合精度,能更好地捕捉股市异常波动行为.

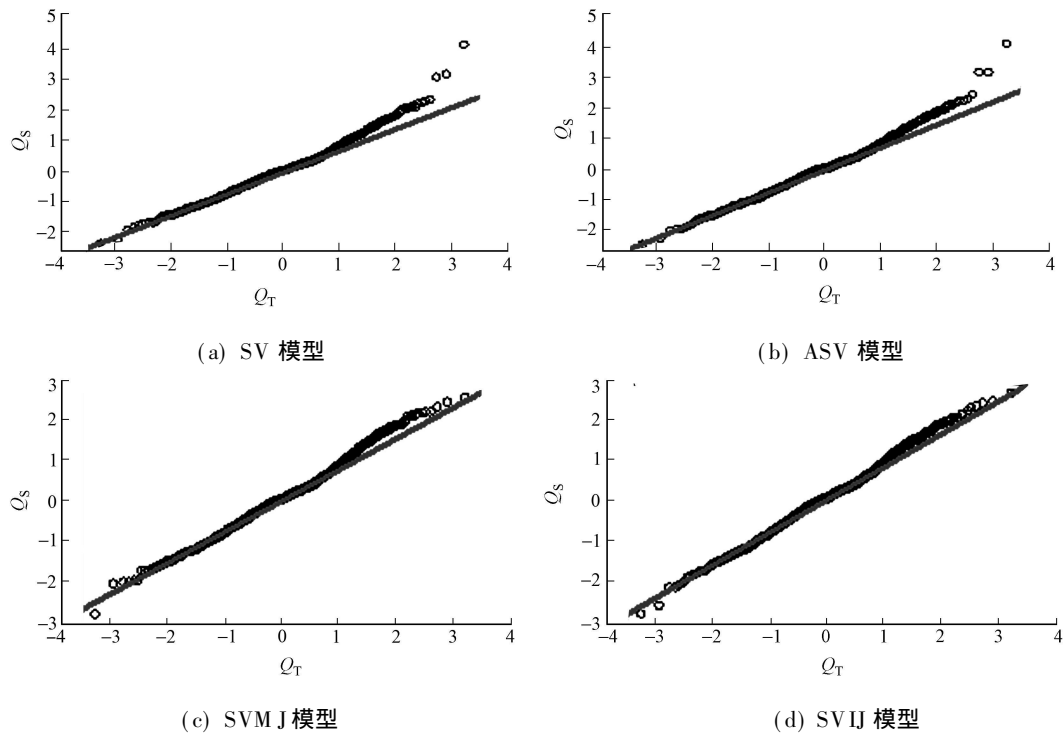


图1 随机波动模型的标准化残差序列 QQ 图

Fig.1 QQ plots of the standardized residuals of stochastic volatility models

3.3 预测精度的评价

评价各模型预测能力时,需要市场波动率的客观参考标准. Anderson 等^[8]研究表明,基于高频数据的实现波动率估计是真实市场波动率的一个较好的估计方法.以 5 min 的高频数据计算而得的实现波动率 R_V 作为市场波动率的代理,来衡量各模型的预测精度.首先,根据 Hansen 的建议^[3],采用平方平均误差 E_{MS} 和平均绝对误差 E_{MA} 两类损失函数进行评价.即

$$E_{MS} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (R_{V_i} - V_i)^2, \quad E_{MA} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T |R_{V_i} - V_i|.$$

(7)

其次,采用实现波动率序列 R_V 对事后波动率 V 进行回归.如果得到的判定系数 R^2 值较高,说明该模型对波动率的预测能力较强.其构造方程为

$$\ln(R_{V_i}) = \alpha + \beta \times \ln(V_i) + \varepsilon.$$

(8)

各类模型预测能力评价比较结果,如表4所示.从表4的预测统计量 E_{MA}, E_{MS} 可知,具有跳跃成分的 SVMJ 与 SVIJ 模型预测效果优于 ASV 与 SV 模型,反映杠杆效应的 ASV 模型略优于基本的 SV 模型;线性回归方法表明, SVMJ 模型的预测效果小于 ASV 与 SVIJ 模型.这是因为当收益发生巨大波动时, SVMJ 模型的均值方程中的跳跃成分已经刻画了这一状况,而波动序列中仅仅包含平稳波动序列,所以, SVMJ 模型的预测能力并不一定比 ASV 模型强.

表4 各类模型预测能力评价

Tab.4 Predictive ability evaluation of stochastic volatility models

模型	E_{MS}	E_{MA}	α	β	R^2
SV 模型	2.422	1.423	- 1.895(0.065)	1.973(0.077)	0.4197
ASV 模型	1.941	1.239	- 1.683(0.058)	1.951(0.077)	0.4380
SVMJ 模型	1.659	1.123	- 1.773(0.065)	2.322(0.098)	0.4224
SVIJ 模型	1.301	0.950	- 1.556(0.052)	2.441(0.096)	0.4435

双跳跃 SVIJ 模型将平稳的波动序列与跳跃分开.当资产收益没有出现巨大波动时,模型与 SVMJ

模型一样能描述平稳波动序列; 当出现跳跃现象时, 波动率从 V_t 瞬时增加到 $V_t + \xi_t^v$, 及时捕捉股市巨大波动行为. SVMJ 模型与 SVIJ 模型波动跳跃图, 如图 2 所示. 图 2 中: T 为研究数据段股市总共交易的天数; R 为日收益率; R_j 为跳跃收益率的跳跃大小; V 为波动序列; V_j 为波动的跳跃大小.

从图 2 可知, 跳跃对收益和波动具有较大影响, SVIJ 模型的波动序列相对小于 SVMJ 估计的序列, 证实了估计出来的波动序列不含有跳跃成分, 因此较好预测波动率未来的波动状况, 两种评价方法都证实双跳跃 SVIJ 模型具有较强的预测能力.

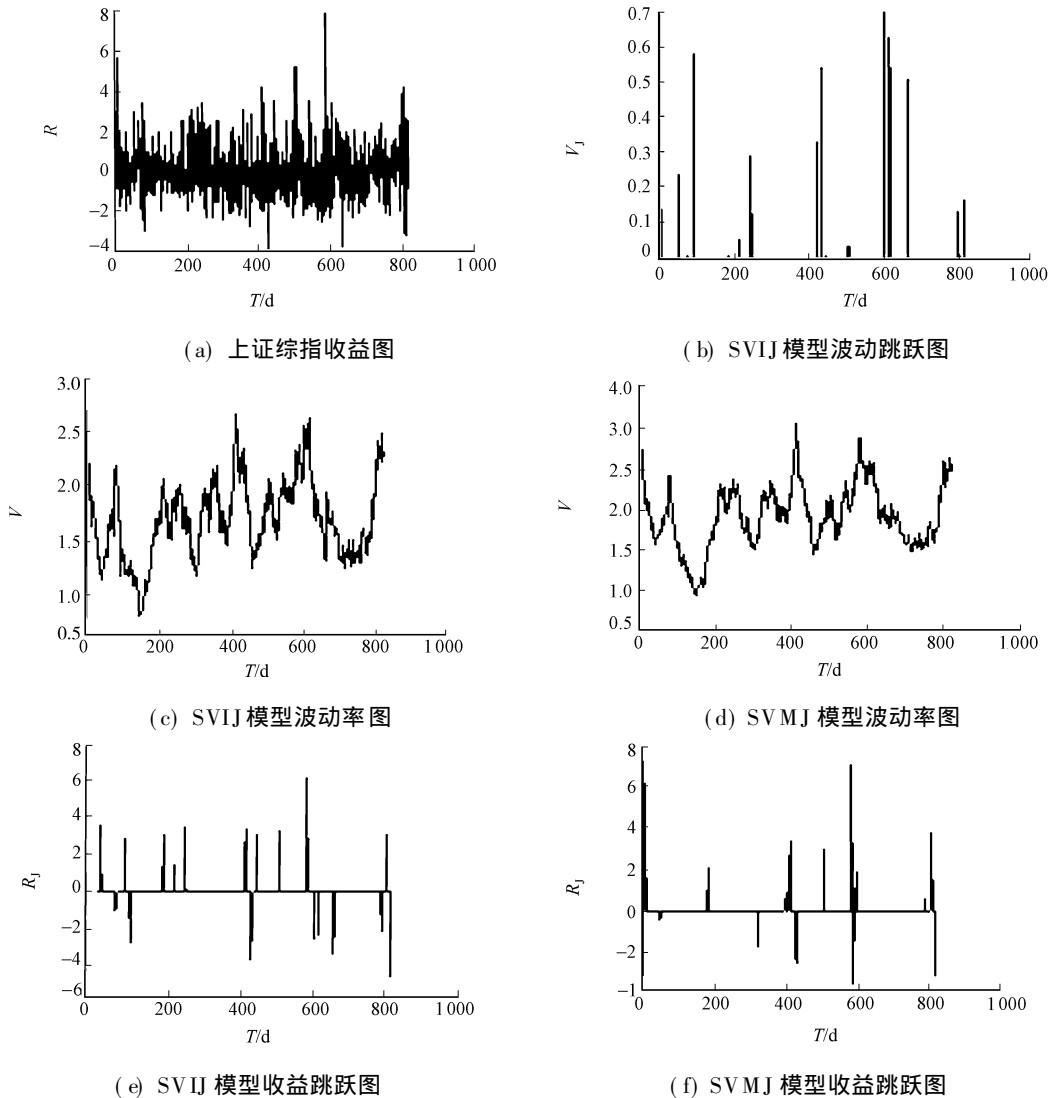


图 2 SVMJ 模型与 SVIJ 模型波动跳跃图

Fig.2 Volatility and jump plots of SVMJ and SVIJ models

4 中国股市跳跃特征分析

与欧美国家相比, 中国股市起步较晚, 市场不规范, 股票市场易受政策或消息等外界因素的影响, 股市经常出现较大波动. 因此, 跳跃现象成为中国股市的一个重要特征. 通过对上证综指的实证研究及图 2 说明, 当国家出台相关政策或出现非典等外在因素时, 收益出现较大波动, 跳跃明显, 规模较大.

2003 年 1 月 6 日, 超级大盘股中国联通、招商银行、中国石化等同时在历史最低价启动, 引发行情的激烈波动; 2003 年 4 月, “非典” 流行, 股市行情出现跌落; 2004 年 2 月 2 日, 《国务院关于推进资本市场改革开放和稳定发展的若干意见》出台, 股指跃过 2003 年的 1 650 点高点继续上行; 2004 年 8 月 31 日, 大盘震荡下探逼近 1 300 点, 证监会发布通知暂停发行新股, IPO 定价制度酝酿重大变更, 将推广首发询价制度, 大盘当日涨 1.72%; 2005 年 1 月 24 日, 印花税当日起由千分之二下调为千分之一, 大盘涨

1.73%; 2005 年 5 月 9 日, 股权分置改造试点正式启动, 上证指数当日再创新低, 大跌 2.44%; 2005 年 6 月 6 日, 证监会推出《上市公司回购社会公众股份管理办法(试行)》, 股指跌破千点; 2005 年 9 月 5 日, 《上市公司股权分置改革管理办法》正式出台, 大盘由 998 反弹至 1223 点后回落筑底; 2006 年 5 月 8 日, “五一”长假后首个交易日, 上证指数大涨 3.95%。

另外, 当股市出现正跳跃之后往往出现负跳跃, 说明中国股市的投机成分较大, 缺乏理性的长期资本投资。即每当出现利好消息时, 市场表现为非理性疯涨, 之后便陷入低迷状态。

5 结论

运用各类 SV 模型对中国股市的跳跃行为等特征进行实证研究, 结果表明, 杠杆效应与跳跃是中国股市的重要特征。引入杠杆效应与跳跃成分的双跳跃 SVIJ 模型, 在对波动率的拟合精度、刻画股市的动态行为特征的表现, 以及对股市波动率的预测能力等方面都显著提高。

中国股市容易受到消息及政策等外在因素的影响, 跳跃强度远大于欧美的股市。中国股市投机成分较大, 缺乏理性的长期资本投资, 当股市出现利好的正跳跃波动之后往往出现负跳跃波动; 而在双跳跃 SVIJ 模型中引入跳跃成分之后, 跳跃成分解释了股市的巨大波动行为。

参考文献:

- [1] 周彦, 张世英, 张彤. 跳跃连续时间 SV 模型建模及实证研究[J]. 系统管理学报, 2007, 16(5): 531-536.
- [2] DUFFIE D, PAN J, SINGLETON K J. Transform analysis and asset pricing for affine jump-diffusions[J]. Econometrica, 2000, 68(6): 1343-1376.
- [3] HESTON S. A closed-form solution for options with stochastic volatility with applications to bond and currency options[J]. Review of Financial Studies, 1993, 6(2): 327-343.
- [4] ERAKER B, JOHANNES M, POLSON N. The impact of jumps in volatility and returns[J]. Journal of Finance, 2003, 58(3): 1269-1300.
- [5] 陈浪南, 童汉飞, 洪如明, 等. 波动率研究[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2008: 183-219.
- [6] 王春峰, 姚宁, 房振明, 等. 中国股市已实现波动率的跳跃行为研究[J]. 系统工程, 2008, 26(2): 1-6.
- [7] BATES D. Jumps and stochastic volatility: Exchange rate processes implicit in deutschemark options[J]. Review of Financial Studies, 1996, 9(1): 69-107.
- [8] ANDERSON T G, BOLLERSLEV T. Answering the skeptics: Yes, standard volatility models do provide accurate forecasts[J]. International Economic Review, 1998, 39(4): 885-905.

Analysis of the Stochastic Volatility Models about the Jump Behavior in Chinese Stock Market

GAO Yan-xun, HU Ri-dong, SU Zhi-fang

(College of Economics and Finance, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: On the basis of Shanghai composite index, the double-jump stochastic volatility model and the jump behavior of stock market have been discussed in this paper. Estimating the models through Markov Chain Monte Carlo methods, comparing the stock market volatility in the stochastic models by the normal residual test and evaluating prediction precision of the Shanghai composite index volatility by using the loss function method and the linear regression method, we get a result which shows that the waving range and jumping intensity in Chinese stock market are larger, which greatly affects on income and wave of the stock market; that the double-jump stochastic volatility model obviously improves the estimation precision and the prediction ability after introducing the jump into describing the abnormal volatility.

Keywords: jump; leverage effect; stochastic volatility model; Markov Chain Monte Carlo methods; Shanghai composite index

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 司福成)