

DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2020.06.011

文章编号:1672-3767(2020)06-0085-09

引用格式:刘美娟,孙秋霞,王向荣,等.赋权已实现波动率模型的改进及实证研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2020,39(6):85-93.

LIU Meijuan, SUN Qiuxia, WANG Xiangrong, et al. Improvement and empirical research on the weighted realized volatility[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2020, 39(6): 85-93.

赋权已实现波动率模型的改进及实证研究

刘美娟,孙秋霞,王向荣,冯佳伟

(山东科技大学 数学与系统科学学院, 山东 青岛 266590)

摘要:对比分析三类已实现波动率异质自回归模型,基于异质市场理论、赋权已实现波动率以及连续-跳跃成分的分,构建杠杆效用下带修正跳的隔夜赋权已实现波动率异质自回归模型。通过上证综指 5 min 数据,将带有隔夜波动率、杠杆效用、带修正跳的隔夜赋权已实现波动率异质自回归模型与已有的三类异质自回归模型进行比较。研究结果表明:杠杆效用下带修正跳的隔夜赋权已实现波动率异质自回归模型,由于同时考虑了杠杆效应、分离连续-跳跃成分以及隔夜波动率,因而具有相对较好的样本外预测能力,并且模型的样本内拟合效果也得到显著提升。

关键词:波动率;赋权已实现波动率模型;异质市场;损失函数;SPA 检验

中图分类号:G11

文献标志码:A

Improvement and empirical research on the weighted realized volatility model

LIU Meijuan, SUN Qiuxia, WANG Xiangrong, FENG Jiawei

(College of Mathematics and Systems Science, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Based on the theory of heterogeneous market, the weighted realized volatility and the separation of continuous-jump components, the leverage effect heterogeneous autoregressive model of weighted realized volatility with continuous-jump(LHAR-WAR-CJ-M) is constructed. With data of Shanghai Composite Index available in 5 minutes, the LHAR-WRV-CJ-M model with overnight fluctuation rate is compared with the three types of HAR model. The results show that the LHAR-WRV-CJ-M model with overnight volatility also considers the leverage effect and separates the continuous-jump components has the best extra sample prediction ability. In addition, and the in-sample fitting effect of the model has also been significantly improved.

Key words: volatility; weighted realized volatility model; heterogeneous market; loss function; SPA test

波动率在金融资产风险度量、投资组合管理等领域发挥着重要作用。波动率大致分为三类:基于低频数据的时变波动率、期权隐含波动率以及基于高频数据的已实现类波动率。在高频数据领域,Andersen 等^[1-2]做出了开创性的贡献,采用非参数方法,提出“已实现”波动率。由于已实现波动率能够反映更多价格信息,对市场波动率的刻画更为准确,引起广大金融学者的关注并得到相当数量的相关研究成果^[3-5]。高频数据波

收稿日期:2019-01-23

基金项目:山东科技大学科研创新团队支持计划项目(2015TDJH103)

作者简介:刘美娟(1977—),女,山东青岛人,讲师,博士研究生,主要研究方向为金融数学及随机控制。

孙秋霞(1976—),女,山东济宁人,副教授,博士,主要研究方向为系统工程、交通运输规划与管理,本文通信作者。

E-mail:qiuxiasun@sdust.edu.cn

动率的“已实现”测算方法属于非参数估计法,不需要假定服从某个分布,拥有比低频数据更多的交易信息,计算简便,但其结果会受到市场微观结构的限制。龚旭等^[6]在 HAR-RV 模型的基础上,运用 EMD 等方法将模型中的已实现波动率分解为高频已实现波动率、低频已实现波动率和趋势已实现波动率,并加入跳跃波动率成分。陈国进等^[7]通过提取正跳跃与负跳跃,研究连续运动部分的存在是否会“稀释”股价跳跃对波动率所产生的影响。孙洁^[8]考察了考虑跳跃和隔夜波动的中国股票市场波动率建模与预测问题,用“已实现”波动率度量上证综指和深证成指在交易时间内的波动率。肖敏等^[9]和瞿慧等^[10]分别就广义动态因子模型构建的个股隔夜波动率以及引入隔夜信息的已实现波动率进行了讨论。柳向东等^[11]通过已实现波动率和已实现双幂次变差对资产价格的连续性波动和跳跃波动进行建模,得到进行波动率短期预测的 HAR-lnRV 模型及 HAR-JV-CV 模型。孙秋霞等^[12]从计算方法、稳健性、有效性、日历效应等角度,比较十种高频数据“已实现”类波动率估计量,给出了针对不同市场结构选取相适应的高频波动率估计量的建议。本研究比较分析异质自回归 HAR-RV 模型以及三类经典的波动率 HAR 测算模型: HAR-RV-CJ 模型、LHAR-RV-CJ 模型和 LHAR-WRV-CJ 模型。基于文献^[12],结合异质市场理论、隔夜波动率的影响以及投资者交易行为的不对称性,提出赋权已实现波动率的 LHAR-WRV-CJ-M 模型,并对其性能开展实证研究。

1 波动率预测模型的演化综述及改进

1.1 HAR-RV 模型

基于有效市场理论, Müller 等^[13]修正了理性人假设,提出异质市场理论;张磊^[14]在此基础上对股市交易者的异质性行为进行分析。而 Corsi^[15]根据异质市场理论中投资者交易频率的不同,提出 HAR-RV 模型并建立回归关系:

$$RV_t^d = c + c_1 RV_{t-1}^d + c_2 RV_{t-1}^w + c_3 RV_{t-1}^m + \epsilon_t. \quad (1)$$

其中 ϵ_t 表示随机扰动项。该模型是关于已实现波动率的异质市场自回归模型,参数估计简便。

1.2 HAR-RV-CJ 模型

目前,我国金融市场个人投资者占比约为 80%。个人投资者受专业能力所限,易受市场情绪影响,进而产生非理性交易行为,使金融市场资产价格极易发生急剧波动。鉴于国内金融市场现状,样本区间内发生跳跃时已实现差波动率 RV 不再是积分波动率的一致估计量,需选取对于跳跃稳健的波动率估计量。故采用带有跳跃的非连续过程刻画波动率和分解波动率,使连续因素与跳跃因素分离是研究该金融市场的必须手段。

通过将可稳健性波动分离出连续和跳跃波动, Andersen 等^[16]对 HAR-RV 模型进行改进,构建 HAR-RV-CJ 模型:

$$RV_{t,t+h} = \alpha_0 + \alpha_d C_t + \alpha_w C_{t-5,t} + \alpha_m C_{t-22,t} + \beta_d J_t + \beta_w J_{t-5,t} + \beta_m J_{t-22,t} + \epsilon_{t,t+h}. \quad (2)$$

由于时间序列数据通常不服从正态分布,用对数已实现波动率和对数已实现波动率的跳跃成分来构建模型,更能提升预测模型的精度,波动率预测的长记忆性表现更好。故文献^[17]提出了对数形式的非线性模型:

$$\begin{aligned} \log(RV_{t,t+h}) = & \alpha_0 + \alpha_d \log(C_t) + \alpha_w \log(C_{t-5,t}) + \alpha_m \log(C_{t-22,t}) + \beta_d \log(J_t + 1) + \\ & \beta_w \log(J_{t-5,t} + 1) + \beta_m \log(J_{t-22,t} + 1) + \epsilon_{t,t+h}, \end{aligned} \quad (3)$$

其中: C_t 表示日已实现波动率 RV 的连续成分, $C_{t-5,t} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 C_{t-i+1}$ 表示周已实现波动率 RV 的连续成分,

$C_{t-22,t} = \frac{1}{22} \sum_{i=1}^{22} C_{t-i+1}$ 表示月已实现波动率 RV 的连续成分; J_t 表示日已实现波动率 RV 的跳跃成分, $J_{t-5,t} =$

$\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 J_{t-i+1}$ 表示周已实现波动率 RV 的跳跃成分, $J_{t-22,t} = \frac{1}{22} \sum_{i=1}^{22} J_{t-i+1}$ 表示月已实现波动率 RV 的跳跃成分; α_d 、 α_w 、 α_m 分别表示日、周、月连续成分对波动率的影响系数; β_d 、 β_w 、 β_m 分别表示日、周、月跳跃成分对波动率的影响系数。

1.3 LHAR-RV-CJ 模型

考虑好消息(正收益)和坏消息(负收益)对波动率的影响, Corsi 等^[18]构建了 LHAR-CJ 模型,研究不同

交易周期的负收益对波动率的影响。研究发现:负收益同波动率的自相关性质相似,对波动率的预测具有长记忆性,并且正、负收益对波动率带来的冲击大小不同。考虑到负收益具有杠杆效应,故在异质市场自回归模型 HAR-RV-CJ 中加入负收益率变量,提高对波动率的预测效果。构造对数形式的带有负收益变量的 LHAR-RV-CJ 模型:

$$\log(RV_{t,t+h}) = \alpha_0 + \alpha_d \log(C_t) + \alpha_w \log(C_{t-5,t}) + \alpha_m \log(C_{t-22,t}) + \beta_d \log(J_t + 1) + \beta_w \log(J_{t-5,t} + 1) + \beta_m \log(J_{t-22,t} + 1) + \gamma_d z_t^- + \gamma_w z_{t-5,t}^- + \gamma_m z_{t-22,t}^- + \epsilon_{t,t+h} \quad (4)$$

其中: $z_t^- = \frac{r_t^-}{\sqrt{RV_t}}$, $z_{t-5,t}^- = \sum_{i=1}^5 \frac{r_{t-i+1}^-}{\sqrt{RV_{t-i+1}}}$, $z_{t-22,t}^- = \sum_{i=1}^{22} \frac{r_{t-i+1}^-}{\sqrt{RV_{t-i+1}}}$ 分别表示经过已实现波动率 RV 标准化后的

日、周、月负收益率; $r_t^- = r_t I(r_t < 0)$, r_t 表示为日收益率, I 为示性函数, 当日收益率 $r_t < 0$ 时取值为 1, 反之则为 0, 这样示性函数刻画了正负收益的不对称性; γ_d 、 γ_w 、 γ_m 分别表示标准化后的日、周、月负收益对波动率的影响系数。该模型采用标准化后的负收益率, 使用已实现波动率 RV 的标准差标准化后的收益率正态性更加明显。

1.4 LHAR-WRV-CJ 模型

虽然 HAR-RV-CJ 模型分离了已实现波动率 RV 中的连续和跳跃成分, 但郭名媛等^[3]在已实现波动率 RV 的基础上消除日历效应, 提出赋权已实现波动率 WRV, 其有效性优于已实现波动率 RV。刘飞飞^[19]采用赋权已实现波动率 WRV 与已实现双幂次变差 RBV 之差作为跳跃方差的一致估计量, 提出 LHAR-WRV-CJ 模型, 该模型在预测效果上同时优于(2)式与(4)式所描述的 HAR-WRV-CJ 模型与 LHAR-RV-CJ 模型。通过对赋权已实现波动率 WRV 分离跳跃和连续成分, 最终得到对数形式的 LHAR-WRV-CJ 模型:

$$\log(WRV_{t,t+h}) = \alpha_0 + \alpha_d \log(C_t) + \alpha_w \log(C_{t-5,t}) + \alpha_m \log(C_{t-22,t}) + \beta_d \log(J_t + 1) + \beta_w \log(J_{t-5,t} + 1) + \beta_m \log(J_{t-22,t} + 1) + \gamma_d z_t^- + \gamma_w z_{t-5,t}^- + \gamma_m z_{t-22,t}^- + \epsilon_{t,t+h} \quad (5)$$

关于连续性波动的选择上, 用赋权已实现波动率 WRV 替换了原先的已实现波动率 RV, 模型的有效性得到了提升; 跳跃性波动方面也因为消除了日历效应的影响, 起到了减少跳跃方差误差的作用。

1.5 改进的 LHAR-WRV-CJ-M 模型

HAR-RV 模型仅考虑投资者的交易行为, 忽视了其他异质市场结构因素, 如投资者心理素质、风险偏好和认知水平等, 因而模型在预测市场方面存在缺陷。张小斐^[20]在 HAR 模型基础上加入心理因素和交易机制, 建立 HAR-L-M 模型, 证明该模型比 ARFIMA 和 HAR-RV 模型的预测效果更好。

鉴于市场交易机制下股市非 24 h 连续交易, 因而波动率应分为交易时间波动率与隔夜波动率。交易时间波动率即为已实现波动率 RV。闭市期间, 市场信息不断产生, 隔日开盘价格则会体现相应信息, 故需要考虑隔夜波动率。同时, 由于 GARCH 类模型样本外预测能力效果较好, 因而本研究选择 GARCH 模型衡量隔夜波动率, 将其加入 LHAR-WRV-CJ 模型, 形成 LHAR-WRV-CJ-M 模型。该模型对数形式:

$$\log(WRV_{t,t+h}) = \alpha_0 + \alpha_d \log(C_t) + \alpha_w \log(C_{t-5,t}) + \alpha_m \log(C_{t-22,t}) + \beta_d \log(J_t + 1) + \beta_w \log(J_{t-5,t} + 1) + \beta_m \log(J_{t-22,t} + 1) + \gamma_d z_t^- + \gamma_w z_{t-5,t}^- + \gamma_m z_{t-22,t}^- + \beta_M \log(\delta_M) + \epsilon_{t,t+h} \quad (6)$$

式中: α_d 、 α_w 、 α_m 分别表示日、周、月连续方差对波动率的影响系数, β_d 、 β_w 、 β_m 分别表示日、周、月跳跃方差对波动率的影响系数。一天的波动率分为已实现波动率 RV 和前一天闭市至当天开市期间的隔夜波动率, 其中隔夜波动率 δ_M 采用(1)式定义的 GARCH 模型估计。

2 波动率预测模型的比较研究

比较分析 HAR-RV-CJ 模型、LHAR-RV-CJ 模型、LHAR-WRV-CJ 模型和 LHAR-WRV-CJ-M 模型。采集 2014.05.05—2017.03.03 期间上证指数 5 min 数据, 进行滚动时间窗口样本外预测。原样本数据为 692 天, 计算收益率和月波动率剔除 22 天, 样本长度变为 670 天, 将前 470 天作为训练集, 后 200 天作为验证集。对上述四种 HAR 类模型的性能运用三种损失函数(MAE、MSE、R2LOG)和具有 bootstrap 特性的高级预测能力 SPA 法进行效果评价。

2.1 数据的统计特征

下面通过统计数据分析连续性波动与离散性跳跃波动对已实现波动率和赋权已实现波动率的影响。

表1 已实现波动率与连续跳跃方差的统计特征

Tab. 1 Statistical characteristics of realized volatility and continuous jump variance

变量	均值	标准差	偏度	峰度	最大值	最小值
RV	2.491 0	4.601	4.555 2	29.074 5	40.367	0.078 0
logRV	0.016 7	1.295	0.391 8	2.469 1	3.698	-2.544 5
CRV	2.210 0	4.257	4.649 2	30.494 1	40.367	0.078 0
logCRV	-0.105 0	1.312	0.402 3	3.601 1	3.698	-2.544 0
JRV	0.639 0	1.115	6.764 6	63.291 1	8.365	0
log(JRV+1)	0.586 0	0.474	2.457 6	19.209 0	2.237	0

表2 赋权已实现波动率与连续跳跃方差的统计特征

Tab. 2 Statistical characteristics of realized volatility and continuous jump variance

变量	均值	标准差	偏度	峰度	最大值	最小值
WRV	2.424 2	4.326 7	4.555 2	29.074 5	36.350 6	0.082 2
logWRV	0.000 5	1.285 6	0.391 8	2.469 1	3.593 2	-2.499 2
CWRV	2.163 4	4.045 6	4.649 2	30.494 1	36.350 6	0.082 2
logCWRV	-0.144 7	1.304 6	0.402 3	3.601 1	3.593 2	-2.499 2
JWRV	0.524 4	0.797 7	6.764 6	63.291 1	6.906 2	0.031 1
log(JWRV+1)	0.344 5	0.348 9	2.457 6	19.209 0	2.067 6	0.030 6

表1对比表2可得:对数赋权已实现波动率 logWRV 的标准差小于对数已实现波动率 logRV 的标准差,前者有效性明显优于后者。表1中对数离散跳跃方差 log(JRV+1)的偏度和峰度远远大于表格中另外三种波动率,通过跳跃显著性检验的离散方差,能够刻画跳跃性波动及市场的极端异常情况,所以有非常高的峰值。670个交易日样本中,有34.03%发生显著跳跃。对于已实现波动率而言,连续性波动 CRV 的均值占已实现波动率 RV 均值的比例为88.73%,离散跳跃波动 JRV 的均值约占已实现波动率 RV 均值的比例为25.65%;对于赋权已实现波动率而言,连续性波动 CWRV 的均值占赋权已实现波动率 WRV 均值的比例为89.24%,离散跳跃波动 JWRV 的均值约占赋权已实现波动率 WRV 均值的比例为21.63%。通过对已实现波动率和赋权已实现波动率的离散跳跃成分分离,可以看出离散波动成分对波动率的影响较小,由此表明对波动率的预测主要由连续波动决定。

2.2 波动率预测模型参数估计

为得到稳健的回归结果,采用 Newey-West 方法,选取 $h=1, 5$ 和 22 天数据进行参数估计,分别表示对未来1天、1周和1月的波动率进行估计。表3~6分别给出了对数 HAR-RV-CJ 模型、对数 LHAR-RV-CJ 模型、对数 LHAR-WRV-CJ 模型和 LHAR-WRV-CJ-M 模型的回归结果。

由表3所列参数估计结果可知,对数日、周、月已实现波动率连续成分系数基本都显著,短期连续成分对不同周期上证综指波动率的估计结果在1%水平下显著,短期连续成分能够明显影响未来不同周期的波动率。而模型跳跃成分系数的显著性则不明显,对未来不同周期波动率的影响不大。回归结果表明:对数 HAR-RV-CJ 模型,能够刻画市场中的不同交易者行为的异质成分。

由表4可知,对数 LHAR-RV-CJ 模型中的对数日、周、月已实现波动率的连续成分显著不为0,标准化后负收益系数显著性程度非常高。数据表明:我国市场中散户众多,不对称效较为显著,负收益率对波动率的影响大于正收益率对波动率的影响;对数 LHAR-RV-CJ 模型的不同周期的拟合优度 R^2 均高于对数 HAR-RV-CJ 模型,拟合效果非常好,对数 LHAR-RV-CJ 模型优于对数 HAR-RV-CJ 模型。

表 3 对数 HAR-RV-CJ 模型回归结果
Tab. 3 Regression results of log HAR-RV-CJ model

变量	h=1		h=5		h=22	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
α_0	0.060 *	0.040	0.213 ***	0.076	0.448 **	0.131
α_d	0.396 ***	0.046	0.320 ***	0.059	0.156 ***	0.037
α_w	0.178 **	0.070	0.011	0.097	0.098	0.122
α_m	0.402 ***	0.066	0.679 ***	0.105	0.813 ***	0.164
β_d	0.134 *	0.069	0.075 *	0.030	0.032	0.043
β_w	0.410 *	0.186	0.568 ***	0.026	0.109	0.056
β_m	-0.786 ***	0.239	-1.467 ***	0.368	-2.089 ***	0.544
R^2	0.794		0.809		0.796	

注:***、**、* 分别表示模型系数在 1%、5%、10%水平下显著。

表 4 对数 LHAR-RV-CJ 模型回归结果
Tab. 4 Regression results of log LHAR-RV-CJ model

变量	h=1		h=5		h=22	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
α_0	0.024	0.048	0.184 **	0.082	0.465 ***	0.132
α_d	0.357 ***	0.050	0.317 ***	0.068	0.177 ***	0.043
α_w	0.218 ***	0.069	0.027	0.096	0.092	0.120
α_m	0.398 ***	0.067	0.648 ***	0.105	0.789 ***	0.164
β_d	0.174 *	0.086	0.116 *	0.055	0.143 **	0.044
β_w	0.459 ***	0.173	0.647 ***	0.023	0.242	0.203
β_m	-0.811 **	0.266	-1.091 ***	0.442	-1.926 *	0.576
γ_d	-0.129 ***	0.048	-0.109 **	0.047	0.029	0.038
γ_w	0.120	0.092	0.072	0.148	0.180	0.137
γ_m	-0.082	0.247	0.985 **	0.388	0.419	0.414
R^2	0.796		0.812		0.800	

注:***、**、* 分别表示模型系数在 1%、5%、10%水平下显著。

表 5 结果显示:模型对未来一天已实现波动率的连续成分系数均非常显著,不同交易行为的叠加能够成功刻画市场的波动,中长期相对算起而言,对数周和月已实现波动率对波动的影响程度较高;短期日负收益率和中期的周负收益率杠杆效应明显,长期的月负收益率系数则不显著,这一现象表明市场的悲观情绪在中长期后逐步减弱。由模型的 R^2 可以看出,对数 LHAR-WRV-CJ 模型的拟合效果均优于对数 LHAR-RV-CJ 模型和对数 HAR-RV-CJ 模型。

表 6 中参数结果显示:从市场多个维度进行刻画的模型样本内拟合效果高于对数 HAR-RV-CJ 模型、对数 LHAR-RV-CJ 模型以及对数 LHAR-WRV-CJ 模型这三种模型,表明在对数 LHAR-WRV-CJ 模型基础上加入隔夜波动率因素后,模型性能得到了提升,能够从市场交易机制方面增加对波动率刻画的精度。与上述三种对数 HAR 模型相同的是,对于不同周期波动率的预测起主要影响的是连续成分,跳跃成分的效果并不显著。

表5 对数 LHAR-WRV-CJ 模型回归结果

Tab.5 Regression results of log LHAR-WRV-CJ model

变量	$h=1$		$h=5$		$h=22$	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
α_0	0.036	0.048	0.187**	0.087	0.478***	0.153
α_d	0.345***	0.052	0.312***	0.066	0.186***	0.043
α_w	0.223***	0.066	0.038	0.100	0.083	0.130
α_m	0.393***	0.062	0.623***	0.108	0.772***	0.184
β_d	0.152*	0.076	0.128*	0.053	0.154**	0.047
β_w	0.244	0.144	0.621**	0.240	0.264	0.263
β_m	-0.608**	0.237	-0.797	0.437	-1.484***	0.067
γ_d	-0.117**	0.045	-0.133*	0.043	0.032	0.037
γ_w	0.058	0.095	0.007	0.154	0.167	0.141
γ_m	0.316	0.248	1.254***	0.341	0.786***	0.387
R^2	0.797		0.814		0.796	

注：***、**、* 分别表示模型系数在 1%、5%、10% 水平下显著。

表6 改进的对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型回归结果

Tab. 6 Regression results of modified log LHAR-WRV-CJ-M model

变量	$h=1$		$h=5$		$h=22$	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
α_0	0.096	1.270	0.231	0.021	0.607**	0.296
α_d	0.346***	0.052	0.312***	0.066	0.187***	0.043
α_w	0.225***	0.065	0.397***	0.100	0.086	0.131
α_m	0.376***	0.061	0.609***	0.110	0.724***	0.217
β_d	0.154*	0.076	0.029	0.054	0.019	0.049
β_w	0.445***	0.145	0.622***	0.239	0.267	0.258
β_m	-0.703**	0.314	-0.867	0.563	-0.268	0.708
γ_d	-0.118**	0.049	-0.014	0.043	0.027	0.036
γ_w	-0.205*	0.102	0.013	0.162	0.179	0.142
γ_m	-0.085	0.240	1.254***	0.340	0.796**	0.391
λ_d	0.149*	0.069	0.036	0.147	0.133	0.276
R^2	0.799		0.815		0.797	

注：***、**、* 分别表示模型系数在 1%、5%、10% 水平下显著。

3 波动率模型预测效果的比较

3.1 样本外预测效果图

图1~4分别对应数 HAR-RV-CJ 模型、对数 LHAR-RV-CJ 模型、对数 LHAR-WRV-CJ 模型以及对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型的滚动预测 200 天的预测值和真实值(LogRV 和 LogWRV)的对比结果。由图可以看出,考虑投资者不对称心理因素和负收益的杠杆效应的对数 LHAR-RV-CJ 模型的预测效果好于对数 HAR-RV-CJ 模型;采用赋权已实现波动率进行模型修正的对数 LHAR-WRV-CJ 模型的预测效果优于对数 LHAR-RV-CJ 模型,预测精度最佳。基于市场交易机制和投资者心理因素的带有隔夜波动率和负收益率的对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型,对市场的解释最好。

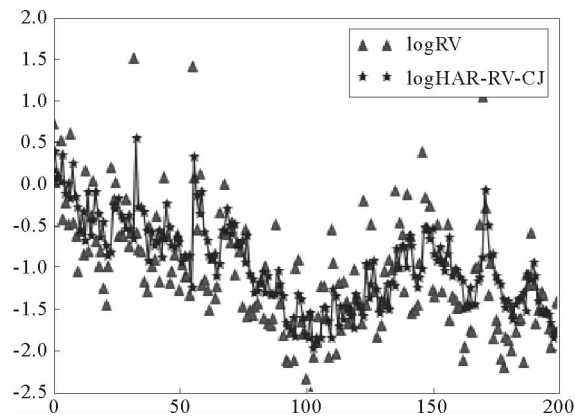


图 1 对数 HAR-RV-CJ 预测值 v.s.对数已实现波动率
Fig. 1 log HAR-RV-CJ model predictions v.s.logRV

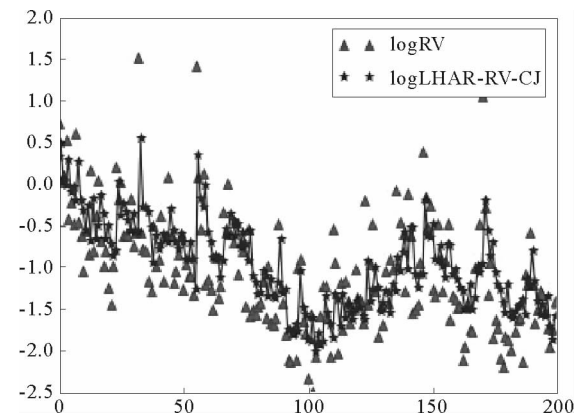


图 2 对数 LHAR-RV-CJ 预测值 v.s.对数已实现波动率
Fig. 2 log LHAR-RV-CJ model prediction v.s.logRV

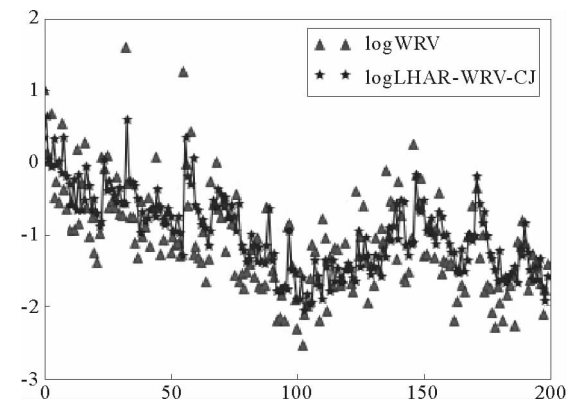


图 3 对数 LHAR-WRV-CJ 预测值 v.s.对数 WRV
Fig. 3 predicted-value of logLWC model v.s. logWRV

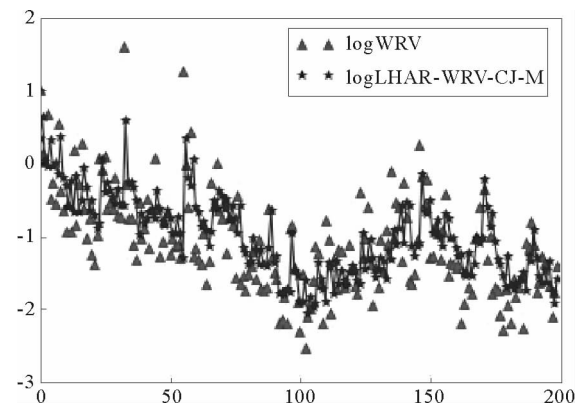


图 4 对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型预测值 v.s.对数 WRV
Fig. 4 predicted-value of logLWCM model v.s. logWRV

3.2 样本外预测评价分析

下面采用损失函数法和 SPA 检验法评价模型预测精度。

使用损失函数法计算出的数值越小,模型预测效果越好。表 7 数据表明,改进的对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型在三种损失函数下测算数值均最小,预测效果最好。

而 SPA 检验的值越大,基准模型的预测越好。设定 $B=10\,000$ 次重复取样,以对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型为基准模型,在 MAE、MSE、R2LOG 损失函数下均有最大的 p 值。虽然对数 LHAR-WRV-CJ 模型与对数 LHAR-RV-CJ 模型在三种损失函数下预测效果优于经典的对数 HAR-RV-CJ 模型,但与对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型相比,其 SPA 检验的 p 值不高,故预测的准确性效果低于对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型。

表 7 三种损失函数评价结果

Tab. 7 Evaluation results of loss function

损失函数	M1	M2	M3	M4
MAE	0.453 8(4)	0.445 4(3)	0.440 5(2)	0.435 9(1)
MSE	0.338 5(4)	0.336 1(3)	0.331 9(2)	0.328 5(1)
R2LOG	0.915 3(4)	0.833 8(3)	0.602 7(2)	0.593 1(1)

注:M1 为对数 HAR-RV-CJ 模型,M2 为对数 LHAR-RV-CJ 模型,M3 为对数 LHAR-WRV-CJ 模型,M4 为对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型。括号内数值表示排名。

4 结论

通过分析三类 HAR-RV 模型,在 LHAR-WRV-CJ 模型基础上构建了加入隔夜波动率和负收益率的对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型。利用跳跃统计量对样本期间内的跳跃次数进行显著性检验,将已实现波动率和赋权已实现波动率分为连续波动和跳跃波动,比较已实现波动率 RV、赋权已实现波动率 WRV 的统计特征。实证研究发现:①连续性波动占已实现波动率的主体部分,连续性波动相对跳跃性波动其影响更大;②波动率预测模型的短期系数较为显著,中长期对波动率的影响并不明显;③通过使用三种损失函数进行 SPA 检验,检验结果表明:对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型的预测精度优于已有的 HAR-RV-CJ 模型、LHAR-RV-CJ 模型和 LHAR-WRV-CJ 模型。

参考文献:

- [1]ANDERSEN T G,BOLLERSLEV T,JUN Cai.Intraday and interday volatility in the Japanese stock market[J].Journal of International Markets,Institutions and Money,2000,10:107-130.
- [2]ANDERSEN T G,Bollerslev T,Diebol F X.Modeling and forecasting realized volatility[J].Econometrica,2003,71(2):579-592.
- [3]郭名媛,张世英.赋权已实现及其长记忆性,最优频率选择[J].系统工程学报,2006,21(6):568-573.
GUO Mingyuan,ZHANG Shiyong.Weighted realized volatility and its long memory and optimal frequency[J].Journal of Systems Engineering,2006,21(6):568-573.
- [4]陈国进,刘晓群,谢沛霖,等.已实现跳跃波动与中国股市风险溢价研究—基于股票组合视角[J].管理科学学报,2016,19(6):98-113.
CHEN Guojin,LIU Xiaoqun,XIE Peilin,et al.Realized jump volatility components and portfolio risk premium in Chinese stock market[J].Journal of Management Sciences in China,2016,19(6):98-113.
- [5]ALITAB D,BORMETTI G,CORSI F,et al.A realized volatility approach to option pricing with continuous and jump variance components[J].Decisions in Economics and Finance,2019,42:639-664.
- [6]龚旭,文凤华,黄创霞,等.HAR-RV-EMD-J 模型及其对金融资产波动率的预测研究[J].管理评论,2017,29(1):19-32.
GONG Xu,WEN Fenghua,HUANG Chuangxia,et al.The HAR-RV-EMD-J model and its application to forecasting the volatility of financial assets[J].Management Review,2017,29(1):19-32.
- [7]陈国进,丁杰,赵向琴.“坏”跳跃、“好”跳跃与高频波动率预测[J].管理科学,2018,31(6):3-16.
CHEN Guojin,DING Jie,ZHAO Xiangqin.“Bad”jumps,“Good”jumps and high-frequency volatility forecasting[J].Journal of Management Science,2018,31(6):3-16.
- [8]孙洁.考虑跳跃和隔夜波动的中国股票市场波动率建模与预测[J].中国管理科学,2014,22(6):114-124.
SUN Jie.Modeling and forecasting the volatility of China stock market considering the impact of jump and overnight variance[J].Chinese Journal of Management Science,2014,22(6):114-124.
- [9]肖敏,李灿,江涛.隔夜波动率的估计[J].江西师范大学学报(自然科学版)2017,41(3):271-279.

表 8 SPA 检验评价结果

Tab. 8 SPA test results

损失函数	基准模型	对比模型			
		M1	M2	M3	M4
MAE	M1		0.057	0.04	0.012
	M2	0.943		0.196	0.124
	M3	0.96	0.804		0.204
	M4	<u>0.988</u>	<u>0.876</u>	<u>0.796</u>	
MSE	M1		0.386	0.268	0.227
	M2	0.614		0.281	0.246
	M3	0.732	0.719		0.31
	M4	<u>0.773</u>	<u>0.754</u>	<u>0.689</u>	
R2LOG	M1		0.388	0.16	0.156
	M2	0.612		0.206	0.202
	M3	0.84	0.794		0.286
	M4	<u>0.844</u>	<u>0.798</u>	0.714	

注:M1 为对数 HAR-RV-CJ 模型,M2 为对数 LHAR-RV-CJ 模型,M3 为对数 LHAR-WRV-CJ 模型,M4 为对数 LHAR-WRV-CJ-M 模型,下划线表示在某种损失函数下预测效果最好的模型。

- XIAO Min, LI Can, JIANG Tao. The estimation of the overnight volatility[J]. Journal of Jiangxi Normal University(Natural Science), 2017, 41(3): 271-279.
- [10] 瞿慧, 柯杰. 引入隔夜信息的已实现波动率[J]. 系统工程, 2017, 35(4): 25-33.
- QU Hui, KE Jie. Overnight information and realized volatility[J]. System Engineering, 2017, 35(4): 25-33.
- [11] 柳向东, 李文健. 金融高频数据跳跃波动研究—基于大数据核函数支持向量机的方法[J]. 统计与信息论坛, 2018, 33(9): 23-30.
- LIU Xiangdong, LI Wenjian. Study on jump volatility of financial high frequency data: Base on the method of big-data kernel functions SVM[J]. Statistic & Information Forum, 2018, 33(9): 23-30.
- [12] 孙秋霞, 冯佳伟. 已实现类波动测算方法的比较与实证分析[J]. 山东科技大学学报(社会科学版), 2017, 19(5): 78-85.
- SUN Qiuxia, FENG Jiawei. Comparison and empirical analysis of measurement methods of realized volatility[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Social Science), 2017, 19(5): 78-85.
- [13] MÜLLER U A, DACOROGNA M M, DAVE R D, et al. Fractals and intrinsic time: A challenge to econometricians[C]// The International AEA Conference on Real Time Econometrics, Luxembourg, Oct. 14-15, 1993: 1-23.
- [14] 张磊. 中国股市交易者行为研究—基于股票交易者异质性的分析[J]. 价格理论与实践, 2018, 7: 87-90.
- ZHANG Lei. Research on trader behavior in China's stock market: Based on the analysis of stock trader heterogeneity[J]. Price: Theory & Practice, 2018, 7: 87-90.
- [15] CORSI F. A simple approximate long-memory model of realized volatility[J]. Journal of Financial Econometrics, 2009, 7(2): 174-196.
- [16] ANDERSEN T G, DOBREV D, SCHAUMBUR E. Jump-robust volatility estimation using nearest neighbor truncation[J]. Journal of Econometrics, 2012, 169(1): 75-93.
- [17] 西村有作. 基于高频数据的中国股市波动率研究[M]. 北京: 对外经济贸易大学出版社, 2014: 105-113.
- [18] CORSI F, RENO R. Discrete-time volatility forecasting with persistent leverage effect and the link with continuous-time volatility modeling[J]. Journal of Business and Economic Statistics, 2012, 30(3): 368-380.
- [19] 刘飞飞. 中国期权市场波动的跳跃性与杠杆效应研究[D]. 大连: 东北财经大学, 2015: 49-68.
- LIU Feifei. The study on Leap and leverage effect of Chinese option market and its expand models evidence on the Shanghai 50ETF high-frequency data[D]. Dalian: Dongbei University of Finance and Economics, 2015: 49-68.
- [20] 张小斐. 异质金融市场驱动的已实现波动率计量模型[J]. 数量经济技术经济研究, 2011, 9(3): 140-143.
- ZHANG Xiaofei. A new realized volatility model driven by heterogeneous finance market[J]. 2011, 9(3): 140-143.

(责任编辑: 刘西奎)