

考虑跳跃和杠杆效应的股市多分形波动率建模

张同辉, 苑莹, 庄新田

(东北大学工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 考虑股票市场中存在的跳跃行为和杠杆效应等特征, 在 HAR 模型基础上, 构建了一种新的多分形波动率模型. 以上证指数和深证成指每 5 min 高频数据为研究样本, 运用“模型信度设定”(MCS) 检验方法, 实证对比了各波动率模型在高波动和低波动两个子样本期对我国股市的预测能力. 实证研究结果表明, 所提出的多分形波动率测度指标及其计量模型具有较好的预测作用, 特别是在高(极端)波动时期其优势更为突出; 研究结果有望为金融风险(特别是极端风险)的管理与控制提供新思路与新方法.

关 键 词: 多分形波动率; 已实现波动率; 跳跃; 杠杆效应; 高频波动率模型

中图分类号: F 830.91

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2020)04-0594-05

Multifractal Volatility Modeling of Stock Market Considering Jumps and Leverage Effects

ZHANG Tong-hui, YUAN Ying, ZHUANG Xin-tian

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: YUAN Ying, E-mail: yyuan@mail.neu.edu.cn)

Abstract: Considering the jumping behaviors and leverage effects in the stock market, a new multifractal volatility model was constructed based on the HAR model. Taking 5 min high-frequency data of Shanghai composite index and Shenzhen component index as the research samples and using the test method of “model confidence set”(MCS), the prediction ability of each volatility model to China’s stock market in the two sub-samples of high volatility and low volatility was empirically compared. The results showed that the proposed multifractal volatility measure index and its measurement model have a good predictive function, especially in the period of high(extreme) volatility. The results are expected to provide new ideas and methods for the management and control of financial risks, in particular extreme risks.

Key words: multifractal volatility; realized volatility; jump; leverage effect; high-frequency volatility model

股票市场波动率的测度和预测一直是金融研究的重要课题, 其对投资组合配置、金融资产定价、市场风险管理等方面有着重要的理论意义和现实价值. 近年来, 基于高频数据研究股市价格波动成为学术界和实务界的广泛共识. Andersen 等^[1]首先提出基于日内高频数据的已实现波动率(RV)方法. 随后, Corsi^[2]将异质投资者划分为短期、中期和长期三类, 构建了异质自回归模型(HAR). 已实现波动率及 HAR 模型因其简便的

形式和良好的预测能力, 成为普遍使用的股市波动率测度及建模方法^[3-5].

随着研究的深入, 大量文献证实高频收益在日内近似连续的时间内可能出现突然的大幅波动, 即跳跃现象. 因此, 部分学者将已实现波动率进一步细分为不同统计特征的连续和跳跃波动两部分. Clements 等^[6]证实加入跳跃波动可以改善波动率模型的预测能力. Andersen 等^[7]通过建立 HAR-J 和 HAR-CJ 模型, 证实了跳跃对波动率

收稿日期: 2019-04-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71671030); 国家社会科学基金资助项目(18BJY238); 教育部人文社会科学基金资助项目(17YJCZH235); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N170606003, N180606001, N180614002).

作者简介: 张同辉(1989-), 男, 山东烟台人, 东北大学博士研究生; 苑莹(1980-), 女, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师; 庄新田(1956-), 男, 吉林四平人, 东北大学教授, 博士生导师.

预测的影响. 国内学者, 如宫晓莉等^[8]、瞿慧等^[9]、陈声利等^[10]基于中国市场数据, 明确了跳跃对现有波动率模型的改进作用.

与此同时, 收益率和波动率之间的非对称关系也被认为是深入研究 HAR 模型的另一个切入点. Corsi 等^[11]通过在 HAR 模型中增加收益率负向冲击的异质结构, 构建了 LHAR 模型. Zhu 等^[12]和 Duan 等^[13]将杠杆效应与 HAR 模型相结合, 证实新模型具有稳定的改进效力. 罗嘉雯等^[14]通过贝叶斯时变模型, 构建了包含杠杆效应在内的多个模型来提高动态模型的预测效果. Pan 等^[15]的研究结果表明, 杠杆效应对短期市场波动的影响要强于对长期波动的影响.

然而, 随着非线性科学的发展, 部分学者试图突破已实现波动率, 构建一种包含价格序列复杂特征的新方法. Wei 等^[16]首次提出多分形波动率及其计量模型, 实证比较了新模型与传统的 GARCH 和 SV 模型的预测效力. 之后, Chen 等^[17]和唐勇等^[18]在不同程度上对多分形波动率进行了改进. 魏宇等^[19]采用尺度参数调整方法降低非连续交易的信息缺失, 构造了新的多分形波动率. 与已实现波动率相比, 多分形波动率可以刻画复杂对象的非均匀和各向异性特征, 被认为是描述和解释金融市场复杂波动的有力工具^[20].

1 波动率测度方法及其计量模型

1.1 多分形波动率

本文在现有 MFV^[16], MVM^[19]等方法的基础上, 采用赋权已实现波动率 (WRV_t)^[21] 作为修正因子, 提出了新的多分形波动率测度方法 MVW_t, 定义如下:

$$MVW_t = \lambda_0 S_{\alpha,t}, \quad \lambda_0 = \frac{E(WRV_t)}{E(S_{\alpha,t})}. \quad (1)$$

式中, S_{α} 为日内多分形谱奇异指数 α ^[16] 的标准差.

此外, 通过现有研究^[18-19]和本文的实证结果发现, 多分形波动率对数序列不仅可以近似地用高斯动力学过程来描述, 而且能获得更好的拟合效果. 因此, 以下对多分形波动率序列的建模采用对数序列.

1.2 波动率建模方法

在 Corsi^[2]提出 HAR 模型后, Andersen 等^[7]和 Corsi 等^[11]分别从分解已实现波动率和引入杠杆效应两方面对模型进行改进, 构造了 HAR-J 模型和 LHAR 类模型. 因此, 本文在上述模型范式的

基础上, 分别建立了 4 种已实现波动率模型和 12 种多分形波动率模型. 以本文提出的多分形波动率 MVW 为例, 其 4 种波动率模型形式分别为

$$\begin{aligned} \text{HAR} - \ln \text{MVW} : \ln \text{MVW}_{t+1} = & \beta_0 + \beta_d \ln \text{MVW}_t + \\ & \beta_w \ln \text{MVW}_{t-5,t} + \beta_m \ln \text{MVW}_{t-22,t} + \varepsilon_{t+1}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{HAR} - \text{J} - \ln \text{MVW} : \ln \text{MVW}_{t+1} = & \beta_0 + \beta_d \ln \text{MVW}_t + \\ & \beta_w \ln \text{MVW}_{t-5,t} + \beta_m \ln \text{MVW}_{t-22,t} + \beta_j \text{MJ}_t + \varepsilon_{t+1}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{LHAR} - \ln \text{MVW} : \ln \text{MVW}_{t+1} = & \beta_0 + \beta_d \ln \text{MVW}_t + \\ & \beta_w \ln \text{MVW}_{t-5,t} + \beta_m \ln \text{MVW}_{t-22,t} + \beta_{ld} r_{t,t}^- + \beta_{lw} r_{t-5,t}^- + \\ & \beta_{lm} r_{t-22,t}^- + \varepsilon_{t+1}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{LHAR} - \text{J} - \ln \text{MVW} : \ln \text{MVW}_{t+1} = & \beta_0 + \beta_d \ln \text{MVW}_t + \\ & \beta_w \ln \text{MVW}_{t-5,t} + \beta_m \ln \text{MVW}_{t-22,t} + \beta_j \text{MJ}_t + \beta_{ld} r_{t,t}^- + \\ & \beta_{lw} r_{t-5,t}^- + \beta_{lm} r_{t-22,t}^- + \varepsilon_{t+1}. \end{aligned} \quad (5)$$

式中: $\ln \text{MVW}_t$, $\ln \text{MVW}_{t-5}$ 和 $\ln \text{MVW}_{t-22}$ 分别为日、周和月的多分形累积平均波动率; ε_{t+1} 为随机扰动项; $\text{MJ}_t = \max(\text{MVW}_t - \text{BPV}_t, 0)$, $\text{BPV}_t = u_1^{-2} \sum_{j=2}^M |r_{t,j-1}| |r_{t,j}|$, $u_1 = (2/\pi)^{0.5} = E(|Z|)$ 是标准正态分布随机变量 Z 绝对值的均值; $r_{t-h,t}^- = \min(r_{t-h,t}, 0)$, $r_{t-h,t}$ 为 $t-h$ 日的累计平均对数收益率. 其他已实现波动率模型及多分形波动率模型也如上述模型所示.

综上, 基于已实现波动率 (RV) 和 3 种多分形波动率 (MFV, MVM, MVW), 本文共得到了 4 种已实现波动率模型和 12 种多分形波动率模型.

2 实证结果

2.1 数据描述

本文采用上证指数和深证成指 2011 年 1 月 4 日至 2016 年 5 月 20 日 5 min 高频数据为研究样本. 样本区间基本涵盖了我国股市相对完整的牛熊市周期, 数据来源于 Wind 数据库. 为了研究不同市场态势下的各模型的预测能力, 本文以 2014 年 10 月 7 日为节点, 将样本划分为低波动 (样本期一) 和高波动 (样本期二) 两个子样本. 各序列在两个子样本的描述性统计见表 1.

从表 1 可以看出, 两个子样本的统计特征存在显著差异. 例如, 样本期二的均值和标准差显著高于样本期一时期, 而偏度和峰度则显著低于样本期一时期, 这说明样本序列在样本期二的波动性显著增强, 但是“有偏”和“尖峰”的形态则相对减弱. 总体来说, 大部分样本序列都表现出显著的“有偏”和“尖峰”的形态, 而且在滞后 5, 10 和 22 期内, 具有明显的自相关特征. ADF 单位根检验

结果表明,各序列都显著拒绝了存在单位根的原假设,表明各序列都是平稳的时间序列,可以直接进行分析和计量建模.

表 1 已实现波动率序列和多分形波动率序列的描述性统计
Table 1 Descriptive statistics of RV and MFV series

样本	上证指数				深证成指				
	lnRV	lnMFV	lnMVM	lnMVW	lnRV	lnMFV	lnMVM	lnMVW	
样本 期一	均值	-0.528	-0.199	-0.244	-0.600	0.032	0.336	0.290	-0.102
	标准差	0.584	0.900	0.916	0.916	0.573	0.855	0.876	0.876
	偏度	0.309	0.367	0.421	0.421	0.295	0.262	0.326	0.326
	峰度	4.022	3.083	3.183	3.183	3.661	2.918	3.005	3.005
	J-B	54.886 ***	21.033 ***	28.550 ***	28.550 ***	30.315 ***	10.881 ***	16.426 ***	16.425 ***
	Q(5)	8.907e2 ***	71.214 ***	69.646 ***	69.647 ***	9.400e2 ***	86.280 ***	83.452 ***	83.452 ***
	Q(10)	1.485e3 ***	1.450e2 ***	1.424e2 ***	1.424e2 ***	1.552e3 ***	1.862e2 ***	1.818e2 ***	1.818e2 ***
	Q(22)	2.222e2 ***	2.333e2 ***	2.292e2 ***	2.292e2 ***	2.333e3 ***	3.092e2 ***	3.017e2 ***	3.017e2 ***
ADF	-12.041 ***	-26.253 ***	-25.774 ***	-20.507 ***	-17.091 ***	-23.851 ***	-24.641 ***	-26.628 ***	
样本 期二	均值	0.841	0.952	0.924	0.569	1.047	1.196	1.169	0.776
	标准差	0.982	1.148	1.178	1.178	0.904	1.102	1.137	1.137
	偏度	0.400	0.162	0.202	0.202	0.493	0.142	0.186	0.186
	峰度	2.869	2.533	2.539	2.539	3.240	2.676	2.662	2.662
	J-B	10.540 **	5.180 *	6.025 **	6.025 **	16.542 ***	2.972	4.056	4.056
	Q(5)	7.550e2 ***	3.862e2 ***	3.798e2 ***	3.798e2 ***	6.021e2 ***	3.245e2 ***	3.183e2 ***	3.183e2 ***
	Q(10)	1.096e3 ***	5.773e2 ***	5.682e2 ***	5.682e2 ***	8.141e2 ***	4.728e2 ***	4.643e2 ***	4.643e2 ***
	Q(22)	1.481e3 ***	7.984e2 ***	7.835e2 ***	7.835e2 ***	1.014e3 ***	6.322e2 ***	6.209e2 ***	6.209e2 ***
ADF	-5.473 ***	-7.860 ***	-8.128 ***	-9.592 ***	-5.135 ***	-7.014 ***	-7.290 ***	-8.924 ***	

注:***,**和*分别表示在1%,5%和10%的显著性水平;J-B为Jarque-Bera统计量;Q(n)是滞后阶数为n的Ljung-Box Q统计量;ADF为Augmented Dickey-Fuller单位根检验.

2.2 波动率模型的样本外预测性能检验

本文采用“滑动时间窗”方法,将样本前 80% 划分为估计样本,后 20% 作为预测样本. 遵循 Hansen 等^[22]的建议,本文在 6 种损失函数指标 (MSE, HMSE, MAE, HMAE, QLIKE, R2LOG) 的基础上,通过“模型信度设定”(MCS)方法判断各模型的样本外预测精度. 为了更加清晰地展示检验结果,本文仅在表 2 中列出在两个子样本内至少取得一次最优检验值的模型检验结果.

由表 2 可知:①在通过检验的模型中,多分形波动率模型的数量要明显多于已实现波动率模型,而且多分形波动率模型 MCS 检验的 *p* 值也普遍高于已实现波动率模型. ②在样本期一中, HAR - lnMFV 模型的表现最为突出,在几乎所有检验统计标准下幸存,特别是在 MSE, MAE 和 HMAE 标准下获得了最小的损失函数值和最大的 MCS 检验的 *p* 值. 这一结果说明多分形波动率

测度方法及其波动率预测模型具有良好的样本外预测能力. ③在样本期二中, HAR - J - lnMVW 模型的样本外预测能力具有压倒性优势. 可能有两方面原因:其一, HAR - J - lnMVW 模型中的 MVW 指标对日内效应进行了修正,更加贴近真实波动率;其二,市场处于高波动时期,投资者交易的频繁使其受非预期信息冲击的影响更为显著,跳跃成分显著提高了模型的预测表现. 因此,本文提出的 MVW 测度方法及其 HAR - J - lnMVW 模型具有更为显著的样本外预测能力. ④跳跃和杠杆效应在两个子时期均对模型具有一定的改进作用. 具体来说:当市场处于平稳波动时期,市场中的持续性波动占据主导地位,二者的改进效力并不明显;当市场处于剧烈波动时期,跳跃成分和杠杆效应的改进效果得到大幅提升,而且跳跃具有比杠杆效应更强的改进效力.

表 2 波动率模型的样本外预测值部分检验结果
Table 2 Prediction performance of volatility models

样本		上证指数						深证成指					
		MSE	HMSE	MAE	HMAE	QLIKE	R ² LOG	MSE	HMSE	MAE	HMAE	QLIKE	R ² LOG
样本 期一	HAR – lnMFV	0.808	2.487	0.792	0.373	7.379	4.789	0.568	8.459	0.481	0.597	17.500	13.893
	T_r	<u>(1.000)</u>	<u>(0.808)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.135)</u>	<u>(0.452)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.264)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.188)</u>	<u>(0.003)</u>
	T_{sq}	<u>(1.000)</u>	<u>(0.808)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.079)</u>	<u>(0.407)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.188)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.299)</u>	<u>(0.001)</u>
	HAR – lnMVW	1.608	2.848	1.195	0.761	0.077	6.464	1.167	8.375	0.898	0.627	3.733	5.969
	T_r	<u>(0.000)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.005)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.858)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.058)</u>	<u>(0.625)</u>	<u>(0.302)</u>
	T_{sq}	<u>(0.000)</u>	<u>(0.002)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.013)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.911)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.079)</u>	<u>(0.551)</u>	<u>(0.482)</u>
	HAR – J – lnMFV	0.823	2.486	0.803	0.374	8.374	4.553	0.572	8.462	0.485	0.598	7.130	13.955
	T_r	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.623)</u>	<u>(0.135)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.026)</u>	<u>(0.074)</u>	<u>(0.013)</u>	<u>(0.157)</u>	<u>(0.188)</u>	<u>(0.001)</u>
	T_{sq}	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.623)</u>	<u>(0.079)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.102)</u>	<u>(0.113)</u>	<u>(0.011)</u>	<u>(0.248)</u>	<u>(0.364)</u>	<u>(0.000)</u>
	HAR – J – lnMVW	1.633	2.860	1.206	0.775	0.087	6.535	1.178	8.374	0.905	0.626	7.179	6.085
	T_r	<u>(0.000)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.135)</u>	<u>(0.003)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.058)</u>	<u>(0.625)</u>	<u>(0.302)</u>
	T_{sq}	<u>(0.000)</u>	<u>(0.002)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.118)</u>	<u>(0.008)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.106)</u>	<u>(0.551)</u>	<u>(0.482)</u>
	LHAR – J – lnMVW	1.722	3.065	1.234	0.850	0.167	6.862	1.174	8.379	0.888	0.633	0.791	5.373
	T_r	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.135)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.846)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.058)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>
	T_{sq}	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.079)</u>	<u>(0.003)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.911)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.061)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>
样本 期二	HAR – J – lnMFV	0.808	2.508	0.723	1.103	1.469	9.821	1.163	5.602	0.901	1.818	0.950	7.668
	T_r	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.202)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.445)</u>	<u>(0.026)</u>
	T_{sq}	<u>(0.000)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.002)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.977)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.592)</u>	<u>(0.055)</u>
	HAR – J – lnMVW	0.534	0.971	0.606	0.644	1.625	9.996	0.726	2.828	0.701	1.175	5.533	6.507
	T_r	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.017)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.222)</u>	<u>(0.202)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.445)</u>	<u>(1.000)</u>
	T_{sq}	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.138)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.143)</u>	<u>(0.977)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.244)</u>	<u>(1.000)</u>
	LHAR – J – lnRV	0.694	2.325	0.638	0.922	9.929	9.529	1.046	5.674	0.802	1.600	1.277	6.846
	T_r	<u>(0.002)</u>	<u>(0.005)</u>	<u>(0.017)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.222)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.004)</u>	<u>(0.003)</u>	<u>(0.010)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.445)</u>	<u>(0.199)</u>
	T_{sq}	<u>(0.026)</u>	<u>(0.006)</u>	<u>(0.138)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.147)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.003)</u>	<u>(0.003)</u>	<u>(0.017)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.330)</u>	<u>(0.575)</u>
	LHAR – J – lnMVM	0.818	2.990	0.701	1.103	2.780	9.652	1.320	7.861	0.925	1.980	0.879	7.843
	T_r	<u>(0.001)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.253)</u>	<u>(0.995)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.020)</u>
	T_{sq}	<u>(0.002)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.032)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.274)</u>	<u>(0.998)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.001)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(0.000)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.018)</u>
	LHAR – J – lnMVW	0.565	1.345	0.594	0.685	1.813	9.735	0.869	4.262	0.730	1.342	12.450	7.347
	T_r	<u>(0.002)</u>	<u>(0.129)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.057)</u>	<u>(0.222)</u>	<u>(0.995)</u>	<u>(0.087)</u>	<u>(0.043)</u>	<u>(0.047)</u>	<u>(0.086)</u>	<u>(0.223)</u>	<u>(0.026)</u>
	T_{sq}	<u>(0.026)</u>	<u>(0.071)</u>	<u>(1.000)</u>	<u>(0.138)</u>	<u>(0.143)</u>	<u>(0.998)</u>	<u>(0.032)</u>	<u>(0.026)</u>	<u>(0.090)</u>	<u>(0.037)</u>	<u>(0.149)</u>	<u>(0.259)</u>

注：表中数字为损失函数值，每种损失函数下的最小值用加粗表示；表中括号内数字为进行了 10 000 次 Bootstrap 模拟的 MCS 检验 p 值， p 值大于 0.1（加粗和下划线的数字）表示对应模型通过 MCS 检验； T_r 和 T_{sq} 分别为范围统计量（range statistic）和半二次方统计量（semi-quadratic statistic）。

3 结 论

1) 对已有的多分形波动率测度方法进行了改进,提出了新的多分形波动率测度方法(MVW).在 HAR 类模型范式的基础上,构建了多分形波动率预测模型,并考察了跳跃和杠杆效应对波动率预测模型的影响.

2) 实证结果表明,多分形波动率作为不同于已实现波动率的新方法,在波动率预测的应用中具有一定优势,特别是在市场的高波动时期,其优势更加明显,这为刻画金融市场波动的复杂性特征提供了新的可能.此外,基于多分形波动率构建的计量模型可以灵活地描述金融市场长记忆性、厚尾分布、杠杆效应等“典型事实”,在金融资产定价及风险监管等应用方面也存在诸多可能.因此,本文的研究结果对金融市场波动率的精准刻画及对金融风险的定量描述和预测都具有一定的理论意义和实际应用价值.

参考文献:

[1] Andersen T G, Bollerslev T. Answering the skeptics: yes, standard volatility models do provide accurate forecasts[J]. *International Economic Review*,1998,39(4):885-905.

[2] Corsi F. A simple approximate long-memory model of realized volatility[J]. *Journal of Financial Econometrics*,2009,7(2):174-196.

[3] Tian F, Yang K, Chen L. Realized volatility forecasting of agricultural commodity futures using the HAR model with time-varying sparsity [J]. *International Journal of Forecasting*,2017,33(1):132-152.

[4] 陈声利,关涛,李一军.基于跳跃、好坏波动率与百度指数的股指期货波动率预测[J]. *系统工程理论与实践*,2018,38(2):299-316.

(Chen Sheng-li, Guan Tao, Li Yi-jun. Forecasting realized volatility of Chinese stock index futures based on jumps, good-bad volatility and Baidu index [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*,2018,38(2):299-316.)

[5] Peng H, Chen R, Mei D, et al. Forecasting the realized volatility of the Chinese stock market: do the G7 stock markets help? [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*,2018,501(1):78-85.

[6] Clements A, Liao Y. Forecasting the variance of stock index returns using jumps and cojumps[J]. *International Journal of Forecasting*,2017,33(3):729-742.

[7] Andersen T G, Bollerslev T, Diebold F X. Roughing it up: including jump components in the measurement, modeling, and forecasting of return volatility[J]. *Review of Economics & Statistics*,2007,89(4):701-720.

[8] 宫晓莉,庄新田.调和稳定 Lévy 过程驱动的双重跳跃模型及期权应用[J]. *系统管理学报*,2017,25(6):1089-1096.

(Gong Xiao-li, Zhuang Xin-tian. Option pricing of a double jump model driven by tempered stable Lévy processes and its application[J]. *Journal of Systems & Management*,2017,25(6):1089-1096.)

[9] 瞿慧,程思逸.考虑成分股联跳与宏观信息发布的沪深 300

指数已实现波动率模型研究[J]. *中国管理科学*,2016,24(12):10-19.

(Qu Hui, Cheng Si-yi. The role of cojumps and macro announcements in forecasting the realized volatility of Chinese CSI 300 index[J]. *Chinese Journal of Management Science*,2016,24(12):10-19.)

[10] 陈声利,李一军,关涛.基于四次幂差修正 HAR 模型的股指期货波动率预测[J]. *中国管理科学*,2018,26(1):57-71.

(Chen Sheng-li, Li Yi-jun, Guan Tao. Forecasting realized volatility of Chinese stock index futures based on approved HAR models with median realized quarticity [J]. *Chinese Journal of Management Science*,2018,26(1):57-71.)

[11] Corsi F, Renò R. Discrete-time volatility forecasting with persistent leverage effect and the link with continuous-time volatility modeling [J]. *Journal of Business & Economic Statistics*,2012,30(3):368-380.

[12] Zhu X, Zhang H, Zhong M. Volatility forecasting using high frequency data: the role of after-hours information and leverage effects[J]. *Resources Policy*,2017,54:58-70.

[13] Duan Y, Chen W, Zeng Q, et al. Leverage effect, economic policy uncertainty and realized volatility with regime switching [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*,2018,493(1):148-154.

[14] 罗嘉雯,陈浪南.基于贝叶斯因子模型金融高频波动率预测研究[J]. *管理科学学报*,2017,20(8):13-26.

(Luo Jia-wen, Chen Lang-nan. High-frequency volatility forecast of financial futures based on Bayesian factor model [J]. *Journal of Management Sciences in China*,2017,20(8):13-26.)

[15] Pan Z, Liu L. Forecasting stock return volatility: a comparison between the roles of short-term and long-term leverage effects [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*,2018,492(1):168-180.

[16] Wei Y, Wang P. Forecasting volatility of SSEC in Chinese stock market using multifractal analysis [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*,2008,387(7):1585-1592.

[17] Chen H, Wu C. Forecasting volatility in Shanghai and Shenzhen markets based on multifractal analysis[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*,2011,390(16):2926-2935.

[18] 唐勇,陈艳茹.考虑杠杆效应的多重分形波动建模:基于中国股指的实证分析[J]. *系统工程学报*,2015,30(1):94-103.

(Tang Yong, Chen Yan-ru. Multifractal volatility modeling considering the leverage effect: an empirical analysis from China stock index[J]. *Journal of Systems Engineering*,2015,30(1):94-103.)

[19] 魏宇,马锋,黄登仕.多分形波动率预测模型及其 MCS 检验[J]. *管理科学学报*,2015,18(8):61-72.

(Wei Yu, Ma Feng, Huang Deng-shi. Multi-fractal volatility forecasting model and its MCS test [J]. *Journal of Management Sciences in China*,2015,18(8):61-72.)

[20] Tao Q, Wei Y, Liu J, et al. Modeling and forecasting multifractal volatility established upon the heterogeneous market hypothesis[J]. *International Review of Economics & Finance*,2018,54:143-153.

[21] 郭名媛,张世英.赋权已实现波动及其长记忆性,最优频率选择[J]. *系统工程学报*,2006,21(6):568-573.

(Guo Ming-yuan, Zhang Shi-ying. Weighted realized volatility and its long memory and optimal frequency [J]. *Journal of Systems Engineering*,2006,21(6):568-573.)

[22] Hansen P R, Lunde A, Nason J M. The model confidence set [J]. *Econometrica*,2011,79(2):453-497.