

行为金融视角下的人民币汇率决定模型研究^①

李晓峰¹, 陈 华^{1 2}

(1. 厦门大学经济学院金融系, 厦门 361005; 2. 中国人民银行上海总部, 上海 200120)

摘要: 从行为金融的视角出发, 构建了包含央行干预、宏观经济基本面及微观个体异质性行为等决定因素的人民币汇率决定理论模型。基于这一模型, 利用 Unscented 卡尔曼滤波方法, 实证研究了汇改后人民币外汇市场上交易者的异质性行为特征及其对汇率变动的影响。其研究结果表明, 汇改后人民币外汇市场存在着显著的异质性交易者: 持有回归预期的基本面分析者和持有推断预期的技术分析者, 并且技术分析者的风险厌恶程度明显高于基本面分析者。在汇改后的主要时期内, 基本面分析者在外汇市场上占据了主导地位, 但在2009年4月以后, 外汇交易者对交易策略的选择陷入“迷茫”的状态。当2010年6月央行重启人民币汇率形成机制改革时, 技术分析者占据了主导地位, 其噪音交易给人民币带来了升值的压力。

关键词: 人民币汇率; 行为金融; Unscented 卡尔曼滤波

中图分类号: F830.92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2012)08-0072-12

0 引言

自2005年7月以来, 人民币汇率制度改革逐步深化提高了人民币汇率制度的灵活性, 使人民币汇率更好地反映外汇市场的供求变化, 初步实现了人民币汇率形成机制的市场化。尽管在2008年, 为了应对美国金融危机所带来的外部冲击, 我国采取了特殊的汇率稳定政策, 外汇市场的市场化改革步伐有所减缓。但是, 随着全球经济的复苏和我国经济增长的恢复, 以及人民币国际化战略的实施, 我国央行于2010年6月重新启动了人民币汇率市场化改革。毋庸置疑, 随着人民币国际化步伐的加快, 进一步推进人民币汇率形成机制的市场化改革, 将成为未来我国汇率政策的必然取向。

那么, 在人民币汇率的形成机制越来越趋于市场化的情况下, 一个值得思考和关注的前瞻性问题是, 在人民币汇率制度进一步改革乃至实现

真正的管理浮动汇率制后, 人民币汇率变动将呈现什么新特征? 将如何认识和预测市场化机制下人民币汇率的变动? 尤其是人民币外汇市场交易者的行为特征如何, 他们的行为将如何影响汇率的变化? 显然, 对这些问题的深入研究, 将为我国政府相关部门和外汇市场主体理解和把握汇改后人民币汇率的形成机理提供重要的理论和经验依据。

回顾汇率决定理论的发展, 布雷顿森林体系崩溃后, 汇率形成机制市场化带来的外汇“异象”使传统宏观汇率决定理论陷入了困境。随后, 研究者们一直致力于提出能够解释外汇“异象”和具有较好预测能力的汇率决定理论, 出现了各种理论模型, 其中基于行为金融视角的汇率决定理论摒弃了理性经济人的假设, 从非理性个体的假设出发, 立足于外汇市场交易者的心理、预期、交易行为及相互作用机制, 对外汇“异象”进行了很好的解释, 并且在样本外的预测方面明显优于其它

^① 收稿日期: 2010-08-20; 修订日期: 2011-05-27.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70873098); 教育部2011年“博士研究生学术新人”奖资助项目; 厦门大学2011年“优秀博士培养计划”资助项目.

作者简介: 李晓峰(1960—), 女, 福建莆田人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: xfli@xmu.edu.cn

汇率决定理论。

然而,国内现有对人民币汇率决定的研究,大多数仍然停留在传统的宏观研究视角^[1-2],或是不考虑经济理论基础,仅采用时间序列方法对人民币汇率的变动进行简单的拟合和预测^[3]。显然,在人民币汇率形成机制日益市场化的背景下,国内对人民币汇率决定的相关研究已在一定程度上滞后于经济现实的变化。为此,有学者已从微观交易者的行为特征对汇率影响的视角进行研究,如李晓峰和魏英辉^[4]从行为金融的角度出发,构建了基于交易者异质性假定、考虑央行干预的汇率模型,研究了央行不同干预方式的有效性。这对于在人民币汇率形成机制市场化改革背景下,中央银行外汇干预策略的选择具有一定的参考意义。然而,该研究还只是停留在对模型的模拟分析上,尚未能将行为金融视角下的汇率决定理论模型应用于我国外汇市场的经验研究。目前国内外类似研究成果尤为鲜见。本文基于微观个体的非理性预期假定(如预期异质性、不完美的认知能力、试错行为等),综合央行外汇干预、宏观经济基本面等宏观汇率决定因素,构建了基于行为金融视角的人民币汇率决定模型,并提出相应的实证检验方法,实证研究了汇改后我国外汇市场上交易者的异质性行为特征以及人民币汇率变动的微观因素,为理解汇改后人民币汇率的形成机理提供了新的研究视角和新的经验依据。

1 汇率决定理论的最新发展

自从布雷顿森林体系崩溃后,“就像汇率自身的波动一样,汇率决定理论也经历了大幅的波动”^[5]。Meese和Rogoff^[6]的实证研究表明,传统的汇率决定理论模型难以经受实证的检验,在样本外的预测方面,甚至明显地不如简单的随机游走模型。由此宣告了传统汇率理论模型的有效性,使得汇率决定理论的研究陷入了长久的困境。因此,自20世纪80年代以来,研究者试图从不同的分析视角,运用不同的分析方法,寻找汇率理论新的突破口,汇率决定理论进入了新的发展阶段。

在这一阶段的早期,研究者在传统汇率理论理性预期假定的框架下,对有效市场的假设前提

提出质疑,并相继提出了新闻模型、投机泡沫模型、比索问题以及风险补贴等新的理论解释。然而,这些理论仍然无法解释外汇市场上存在的诸多异象,如汇率脱离基本面所形成的“无关性之谜”;汇率的波动聚集效应;汇率收益率分布的厚尾现象以及外汇市场上技术分析者的盈利性问题等。因此,进入90年代后,人们开始摒弃理性预期的假设,将研究的重心从宏观层面转向微观层面,出现了具有微观基础的汇率宏观经济分析法^[7]和汇率决定的微观结构分析法。

具有微观基础的汇率宏观经济分析法,较之以前的分析更加贴近实际,但该方法仍旧是侧重于将宏观经济变量与汇率之间的关系作为主要研究内容,因而无法解释汇率的短期波动。20世纪90年代以来日益盛行的外汇市场微观结构理论主要以Lyons^[8]、Evans^[9]、Evans和Lyons^[10]的“订单流”研究为代表,关注的是信息在外汇市场中如何传播和处理,以及最终如何反映到汇率的波动上。国内学者丁剑平等^[11]也在这方面做了有益的探讨。虽然外汇市场微观结构理论能够合理地解释汇率的高交易量和波动性等特征,但却忽视了宏观经济基本面对汇率决定的重要影响,而且它只是从信息获取的角度区分了异质交易者,未考察交易者的主观预期对汇率变化的影响,因此未能更全面地揭示汇率变动的深层原因。

随着上世纪80年代行为金融理论的兴起,一些学者认为之前的汇率理论模型之所以不能很好解释外汇市场的诸多异象,正是由于缺乏对外汇市场异质交易者的心理、预期、交易行为及相互作用机制作深入研究。Frankel和Froot^[12]、Ito^[13]、Takagi^[14]、Allan和Taylor^[15]、MacDonald和Marsh^[16]等学者基于问卷调查所作的实证研究均证实了在外汇市场上交易者存在异质性预期。他们的研究发现,外汇市场中存在着具有推断预期特征的交易者或称技术分析者(chartist)和具有回归预期特征的交易者或称基本面分析者(fundamentalist)。技术分析者预期汇率将延续原有的变动趋势,而基本面分析者则预期汇率将回归到基本面汇率水平。

因此研究者开始将行为金融理论应用于汇率决定理论的研究。在较早的研究中,研究者还只是摒弃理性个体的假设,从更为贴近现实的有限理

性经济人的假设出发,在原有宏观经济模型的基础上引入汇率预期的异质性特征,比如 Frankel 和 Froot^[17]在弹性价格货币模型中假定存在3种交易者:技术分析者、基本面分析者和资产组合管理者,最终发现,汇率泡沫或者汇率对基本面的偏离,其实是资产组合管理者对外汇市场中技术分析者和基本面分析者所占比重变化的“认知”偏差所导致的结果。De Grauwe 和 Dewachter^[18]在货币模型中引入汇率预期异质性的非线性汇率动态过程,并采用数值模拟方法进行模拟分析,结果表明,该模型能够很好地拟合汇率的序列非平稳性以及以远期汇率替代汇率预期的有偏性。

近年来,研究者进一步关注外汇市场交易者的异质性预期的行为特征、相互作用和交互式的学习过程,比如:Neuberg 等^[19]将外汇市场交易主体划分为基本面分析者、噪声交易者(noise traders)、新闻交易者(news traders)和单纯交易者(naive traders)4种类型,利用基因算法模拟了交易者交互式的适应性学习过程,并考察交易者异质性预期对汇率动态变化的影响;De Grauwe 和 Grimaldi^[20]将交易者的交易策略区分为基本面分析与技术分析两种,并假设交易者将根据上一期交易策略的盈利情况来确定当期的交易策略,由此建立了内生性的汇率决定模型;Manzan 和 Westerhoff^[21]考虑了技术分析者和基本面分析者的相互作用,提出了一个更加完善的汇率决定模型。Bauer 等^[22]提出了不同汇率制度下基于预期异质性假定的汇率决定模型,很好地解释了汇率过度波动性、厚尾性和波动聚集等外汇“异象”。值得一提的是,De Grauwe 和 Grimaldi^[5]甚至将行为金融理论中的前景理论(prospect theory)应用于汇率决定的理论模型中,做出了开创性的研究。

综上所述,基于行为金融视角下的汇率决定理论模型,引入了更符合经验事实的预期异质性假定,立足于外汇市场异质性交易者的市场行为,但又不脱离传统的宏观汇率决定理论,从而对现实汇率的波动具有更强的解释和预测能力。

2 理论模型

交易者异质性是市场化机制下外汇市场的典型特征。那么,在汇率形成机制逐渐市场化的人民币外汇市场上是否也存在着异质性交易者呢?异质性交易者的行为对人民币汇率变动的的影响如何?本文假定在人民币外汇市场上存在基本面分析者(fundamentalist)和技术分析者(chartist)两类不同的交易者,据此构建行为金融视角下的人民币汇率决定理论模型,进而通过实证研究,来检验我国外汇市场上是否存在着异质性交易者以及对汇率变动的的影响。

根据行为金融理论,经济个体在理解复杂的外部世界时,并不像理性预期理论所假定的那样具有完美的认知能力,而是存在着认知问题(cognitive problem),即他们难以有效地获取和处理所面对的复杂信息。因此,在现实中他们往往采用简单的规则来指导其经济行为。于是,假定基本面分析者和技术分析者采用简单的预测规则进行交易,前者采用回归预期规则,后者采用推断预期规则。具体而言,基本面分析者是根据以往现实汇率水平和基本面汇率水平^②之差来预测未来的汇率变动,认为偏离基本面水平的现实汇率将会逐渐回归到基本面汇率水平,即

$$E_{f,t}(s_{t+1}) = s_{t-1} + \alpha(s_{t-1} - s_{t-1}^*) \quad (1)$$

其中: $\alpha < 0$; s_{t-1} 是 $t-1$ 期的现实汇率水平; s_{t-1}^* 是 $t-1$ 期的基本面汇率水平。值得注意的是,式(1)隐含着一个重要假设:当基本面分析者在 t 期预测 $t+1$ 期的现实汇率水平时,其可知的信息集为截止 $t-1$ 期的现实汇率和基本面汇率的有关信息^③,或者说,基本面分析者的上述预测先于 t 期汇率的最终形成^④。这一假设显然不同于以往传统宏观汇率模型中的理性预期假设,在传统的理性预期框架下,经济个体具有完美的认知能力,可

② 值得一提的是,基本面汇率(fundamental exchange rate)与均衡汇率(equilibrium exchange rate)的概念存在着本质的差别:基本面汇率是指与宏观经济基本面一致的汇率水平,即由宏观经济基本面所决定的汇率水平,相对应的概念是汇率对宏观经济基本面的“偏离”;而均衡汇率是指欲达到宏观经济内外均衡时汇率所应该达到的合意水平,相对应的概念是汇率的“失调”。

③ 同样,Hellwig^[24]、Blume 等^[25]、De Grauwe 和 Grimaldi^[5]也采用了如此设定。

④ 后文将会显示,其实是交易者在 t 期对 $t+1$ 期的现实汇率水平的预测以及相应的资产选择行为决定了 t 期汇率的形成。

以掌握 t 期的所有信息,由此对 t 期的现实汇率有着完全的认知.显然,与之相比较,本文上述假设更符合现实情况.

而技术分析者则采用推断预期的方式,即根据以往汇率的走势来预测未来汇率的走势,即

$$E_{c,t}(s_{t+1}) = s_{t-1} + \beta(s_{t-1} - s_{t-2}) \quad (2)$$

其中: $\beta > 0$ 经济含义是,技术分析者预期现实汇率将会延续以往的趋势,表现出“追涨杀跌”的行为特征.同样,技术分析者于期 t 对 $t+1$ 期的现实汇率水平的预测信息集为截止 $t-1$ 期的现实汇率的有关信息.由于此类预期形成方式忽略了任何有关宏观经济基本面的信息,因而技术分析者也被视为噪声交易者^[23].

接下来分析外汇市场交易者的资产选择行为.显然,可投资的资产分为本币资产和外币资产.假定一个典型的外汇市场交易者在 t 期的可支配财富总量为 $W_{i,t}$ ($i = c, f$,下同).投资于无风险利率为 r_t^* 的外币资产的数量为 $d_{i,t}$,投资于无风险利率 r_t 的本币资产的数量则为 $W_{i,t} - s_t d_{i,t}$.期末财富总量变为 $W_{i,t+1}$. s_t 为直接标价法下的汇率, $W_{i,t}$ 以本币计价^⑤.不难得到以下等式

$$W_{i,t+1} = (1 + r_t^*) s_{t+1} d_{i,t} + (1 + r_t) (W_{i,t} - s_t d_{i,t}) \quad (3)$$

外汇市场交易者的目的是在两类资产上进行最优资产组合配置以实现期望效用的最大化.假设交易者的期望效用函数为

$$U_{i,t}(W_{i,t+1}) = E_{i,t}(W_{i,t+1}) - \frac{1}{2} \mu_i v_{i,t}(W_{i,t+1}) \quad (4)$$

即交易者的预期效用与其所获得的期望财富额 $W_{i,t+1}$ 呈正比,与财富额的方差 $v_{i,t}(W_{i,t+1})$ 为代表的风险成反比.其中 μ_i 为交易者 i 的风险厌恶系数.将式(3)代入式(4),整理化简,并令 $d_{i,t}$ 的一阶偏导等于零,可以得到各交易者的最优外币资产持有量为

$$d_{i,t} = \frac{(1 + r_t^*) E_{i,t}(s_{t+1}) - (1 + r_t) s_t}{\mu_i (1 + r_t^*)^2 v_{i,t}(s_{t+1})} \quad (5)$$

进一步假定交易者通过比较两类预期规则的事后盈利性所带来的效用,来决定下一期的交易

规则.试错式的选择机制是不确定环境下对信息不完全获知的个体所采用的最优办法^[3].在此情况下,外汇市场中使用不同预期规则的不同交易者所占的比例是关于各预期规则所能带来的利润的函数,即

$$\omega_{f,t} = \frac{e^{\pi_{f,t-2}}}{e^{\pi_{f,t-2}} + e^{\pi_{c,t-2}}} \quad (6)$$

$$\omega_{c,t} = \frac{e^{\pi_{c,t-2}}}{e^{\pi_{f,t-2}} + e^{\pi_{c,t-2}}} \quad (7)$$

式中 t 期 $\pi_{f,t-2}$ 、 $\pi_{c,t-2}$ 为经风险调整后的利润,因为采用不同预期规则所获得的利润存在着不确定性,那么交易者在评价和选择各预期规则的收益时,必然会考虑相应的风险,见下式

$$\pi_{i,t} = \pi_{i,t-1} - \frac{\mu_i v_{i,t}}{2} \quad (8)$$

式中 $\pi_{i,t}$ 为交易者 i 于 $t-1$ 期投资 t 期到期的利润.若考虑资金的时间成本,投资利润则为

$$\pi_{i,t} = W_{i,t+1} - (1 + r_t) W_{i,t} = [(1 + r_t^*) s_{t+1} - (1 + r_t) s_t] d_{i,t} \quad (9)$$

风险由各预期规则的预期误差来衡量

$$v_{i,t}(s_{t+1}) = [E_{i,t-2}(s_{t+1}) - s_{t-1}]^2 \quad (10)$$

将各市场交易者对外汇的需求加总,可得到总的外汇需求为

$$D_t = \omega_{f,t} d_{f,t} + \omega_{c,t} d_{c,t} \quad (11)$$

最终外汇市场的出清条件为总外汇需求等于总外汇供给,即

$$Z_t = D_t = \omega_{f,t} d_{f,t} + \omega_{c,t} d_{c,t} \quad (12)$$

将式(5)至(7)代入式(12),可得到 t 期的出清汇率为

$$s_t = \left(\frac{1 + r_t^*}{1 + r_t} \right) \frac{1}{\sum_{i=1}^2 \frac{\omega_{i,t}}{\mu_i (1 + r_t^*) v_{i,t}(s_{t+1})}} \times \left(\sum_{i=1}^2 \frac{E_{i,t}(s_{t+1}) \omega_{i,t}}{\mu_i (1 + r_t^*) v_{i,t}(s_{t+1})} - Z_t \right) \quad (13)$$

总外汇供给来源于两方面:第 1,来自于央行干预的外汇供给 V_t ;第 2,来自于经常账户的贸易净顺差 C_t ^⑥.于是,式(13)可进一步写为

⑤ 从现实的角度来看,投资者也可以投资于风险资产,如房地产、金融资产或实物资产,然而,考虑我国资本账户项目并未开放的事实,本文假定投资者仅能获得持有货币本身的无风险收益,即本文仅关注跨国投资的汇率风险.另外,引入风险资产将会使本文模型的分析复杂化.
⑥ 当 V_t 和 C_t 为正时,为外汇供给,为负时,为外汇需求.

$$s_t = \left(\frac{1+r_t^*}{1+r_t} \right) \frac{1}{\sum_{i=1}^2 \frac{\omega_{i,t}}{\mu_i(1+r_t^*)v_{i,t}(s_{t+1})}} \times \left(\sum_{i=1}^2 \frac{E_{i,t}(s_{t+1})\omega_{i,t}}{\mu_i(1+r_t^*)v_{i,t}(s_{t+1})} - \gamma_1 V_t - \gamma_2 C_t \right) \quad (14)$$

由此,本文建立了汇率决定的一般化方程.从式(14)可以看出,影响汇率决定的主要因素有以下3点.

第1,微观个体因素,包括微观个体的异质性预期及其风险厌恶特征.当其他因素不变时,市场交易者对汇率的预期对汇率的走势具有正向作用,当异质性交易者普遍预期汇率贬值(或升值)时,现实汇率将会贬值(或升值),而当异质性交易者对汇率的走势具有不同的看法时,则汇率的走势取决于两类交易者的力量对比:当基本面分析者占主导地位时,汇率变动将呈现出向基本面回归的趋势;而当技术分析者占主导地位时,汇率变动则延续以往的变动趋势.另外,从式(14)中可以看出,微观个体的风险厌恶特征是影响汇率变动的重要因素,但是由于影响机理比较复杂,难以辨明确切方向.

第2,宏观经济基本面因素,主要有经常账户差额 C_t 以及两国货币资产收益率 r_t, r_t^* . 当一国经常账户差额为顺差,即 $C_t > 0$ 时,外币贬值,本币升值, γ_2 为相应影响程度.显然,影响经常账户差额变动的其他宏观经济基本面因素,如各国的GDP、CPI、生产率水平、财政支出等因素,都会影响汇率的变动.当国外货币资产收益率提高,或国内货币资产收益率降低时,外币升值,本币贬值.

第3,政策干预因素.式(14)显示,当央行在外汇市场上买入外汇时,即外汇供给 $V_t < 0$ 时,外币将会升值,反之,则会贬值.式中还表明,央行干预 V_t 对汇率决定的效应还取决于 $\gamma_1, r_t, r_t^*, \omega_{i,t}, \mu_i, v_{i,t}(s_{t+1})$ 等变量.其中 $\gamma_1 \geq 0$, 代表了一国汇率制度的安排.在完全浮动汇率制度下(比如西方发达国家的汇率制度安排) $\gamma_1 = 0$, 此时该国汇率的决定完全由微观个体的市场行为和宏观经济

基本面决定,不存在央行干预的政策影响;在固定汇率制度下(比如2005年7月汇改之前我国的汇率制度安排) $\gamma_1 \rightarrow \infty$, 央行干预的政策因素对汇率的决定具有完全的决定作用,而微观个体的市场行为和宏观经济基本面等因素不具有任何决定作用;在管理浮动汇率制度下(比如我国当前的汇率制度安排) $0 < \gamma_1 < \infty$, 汇率由微观个体的市场行为、宏观经济基本面和央行干预等因素共同决定, γ_1 越小,意味着该国汇率决定的市场化程度越高.

3 实证方法:Unscented 卡尔曼滤波

在此部分,本文给出上述理论模型的估计方法和实证步骤.结合式(1)、(2)、(5)、(6)、(7)和(10),式(14)的汇率决定式子可以进一步写为汇率关于以下变量的函数

$$s_t = s_t(s_{t-1}, \delta_{t-2}, \delta_{t-3}, \delta_{t-4}, \delta_{t-5}, \delta_{t-6}, r_{t-1}^*, \delta_{t-3}^*, \delta_{t-5}^*, r_t^*, r_t, r_{t-2}, r_{t-2}, V_t, C_t) \quad (15)$$

对于基本面汇率 s_t^* , 由于本文的汇率决定理论模型是基于外汇市场交易者的最优资产配置行为而建立的,因此本文假定基本面分析者对基本面汇率水平 s_t^* 的估计依据是利率平价理论.在此假定下,基本面汇率 s_t^* 服从以下过程

$$\ln(s_t^*) = \ln(s_{t-1}^*) + \theta [\ln(1+r_t) - \ln(1+r_t^*)] \quad (16)$$

其中 θ 为基本面分析者根据两国货币资产收益率对基本面汇率的估计系数,可能为1,也可能不为1. θ 为1时,代表基本面分析者完全按照利率平价来估计基本面汇率水平, θ 不为1时,代表基本面分析者对按利率平价理论所估计得到基本面汇率水平进行了一定程度的调整.

在现实中,难以观测到式(16)的基本面汇率 s_t^* , 而只能观测到式(15)的现实汇率 s_t 和其历史信息,还有两国货币资产收益率、央行干预和经常账户顺差等经济信息.可见,式(15)和(16)分别构成了卡尔曼滤波模型的观测方程和状态方程.

但是,由于式(15)和(16)为非线性方程,传统的线性卡尔曼滤波方法不能适用,因此本文采用 Unscented 卡尔曼滤波方法^⑦。

将式(15)和(16)表示成卡尔曼滤波模型的状态空间形式

$$y_t = f(x_t, \mu_t, n_t) \quad (17)$$

$$x_t = h(x_{t-1}, \mu_t, w_t) \quad (18)$$

其中: y_t 为可观测的现实汇率 s_t ; x_t 为不可观测的基本面汇率 $(s_{t-1}^*, s_{t-2}^*, s_{t-3}^*, s_{t-4}^*, s_{t-5}^*)^T$; μ_t 为输入变量 $(s_{t-1}, s_{t-2}, s_{t-3}, s_{t-4}, s_{t-5}, s_{t-6}, r_t^*, r_{t-1}^*, r_{t-2}^*, r_{t-3}^*, V_t, C_t)^T$; n_t 为观测噪声; w_t 为状态变量生成过程中的状态噪声。式(17)的 f 代表输出观测模型,对应于式(15)外汇市场出清汇率的决定,式(18)的 h 代表状态转换模型,对应于式(16)基于利率平价的基本面汇率的决定。

在 UKF 方法中,对于非线性问题的解决,是采用 UT 变换(unscented transformation)的方法。UT 变换思想为:假若欲基于式(17)的 $y = f(x)$ 的非线性函数,根据 x 的均值 \bar{x} 和协方差 P_{xx} 来计算预测值 y 的均值 \bar{y} 和协方差 P_{yy} ,那么可选择一些点使得其样本均值和样本协方差分别为 \bar{x} 和 P_{xx} ,将其中每个点代入非线性函数得到变换后的点,相应的样本均值和样本协方差即为 \bar{y} 和 P_{yy} 。关于样本点的选择,均值为 \bar{x} 和协方差 P_{xx} 的 L 维随机变量 x 可以用 $2L + 1$ 个加权 sigma 点来选择。

具体而言,利用 UKF 方法估计式(17)和(18)的过程为:将状态变量、状态噪声变量和观测噪声变量合成 1 个变量考虑 $x_t^a = (x_t^T, w_t^T, n_t^T)^T$, $\bar{x}_{t|t}^a$ 和 $P_{t|t}^a$ 分别为 x_t^a 在 t 期的均值和方差,为了捕捉 x_t^a 的真实均值和方差,选取 n_a 个加权 sigma 点 $\varphi_i = \{W_i, \chi_i^a\}$,其中 $n_a = n_x + n_w + n_n$ 。

$$\chi_0^a = x_{t|t}^a,$$

$$\chi_{i,j|t}^a = x_{t|t}^a + (\sqrt{(n_a + \lambda) P_{t|t}^a})_i,$$

$$i = 1, \dots, n_x,$$

$$\chi_{i,j|t}^a = x_{t|t}^a - (\sqrt{(n_a + \lambda) P_{t|t}^a})_i,$$

$$i = n_x + 1, \dots, 2n_x,$$

$$W_0^{(m)} = \frac{\lambda}{n_a + \lambda}, W_0^{(c)} = \frac{\lambda}{n_a + \lambda} + (1 - \alpha^2 + \beta),$$

$$W_i^{(m)} = W_i^{(c)} = \frac{1}{2(n_x + \lambda)}$$

式中: $\lambda = \alpha^2(n_a + \kappa) - n_a$,其中 $\kappa \geq 0; 0 \leq \alpha \leq 1; \beta \geq 0; (\sqrt{(n_a + \lambda) P_{t|t}^a})_i$ 为 $(n_a + \lambda) P_{t|t}^a$ 的矩阵平方根的第 i 列向量。在本文实证中 $\kappa = 2, \alpha = 0.9, \beta = 2$ 。假设状态噪声 w_t 和观测噪声 n_t 分别服从方差为 Q 和 R 的正态分布。

由此,UKF 卡尔曼滤波^⑧的预测过程为

$$\chi_{t+1|t}^x = h(\chi_{t|t}^x, \chi_{t|t}^w),$$

$$x_{t+1|t} = \sum_{i=1}^{2n_a+1} W_i^{(m)} \chi_{i,j+1|t}^x,$$

$$P_{t+1|t} = \sum_{i=1}^{2n_a+1} W_i^{(c)} \{ [\chi_{i,j+1|t}^x - x_{t+1|t}] \times [\chi_{i,j+1|t}^x - x_{t+1|t}]^T \} + Q,$$

$$\varphi_{t+1|t} = f(\chi_{t+1|t}^x, \chi_{t+1|t}^w),$$

$$y_{t+1|t} = \sum_{i=1}^{2n_a+1} W_i^{(m)} \varphi_{i,j+1|t}$$

校正过程为

$$P_{xy,t} = \sum_{i=1}^{2n_a+1} \{ W_i^{(c)} [\chi_{i,j+1|t}^x - x_{t+1|t}] \times [\varphi_{i,j+1|t} - y_{t+1|t}]^T \}$$

$$P_{yy,t} = \sum_{i=1}^{2n_a+1} \{ W_i^{(c)} [\varphi_{i,j+1|t} - y_{t+1|t}] \times [\varphi_{i,j+1|t} - y_{t+1|t}]^T \} + R$$

增益矩阵

$$K_{t+1} = P_{xy,t} P_{yy,t}^{-1},$$

$$x_{t+1|t+1} = x_{t+1|t} + K_{t+1}(y_t - y_{t+1|t}),$$

⑦ 存在着两种解决非线性问题的卡尔曼滤波方法:扩展式卡尔曼滤波方法(EKF)和 Unscented 卡尔曼滤波方法(UKF)。EKF 方法只是简单地用一阶近似将非线性模型线性化,然后再利用线性卡尔曼滤波方法,而 UKF 方法则通过设计少量的 sigma 点,根据 sigma 点经由非线性函数的传播,计算出状态变量的统计特性,不进行局部线性化,也不引入系统化误差。研究表明,同 EKF 相比,UKF 方法的滤波精度和稳定性非常好,几乎可以“重现”数据生成的原过程。相关研究可参见文献[26]。

⑧ 关于卡尔曼滤波的详细讨论可参见文献[27]。

$$P_{t+1|t+1} = P_{t+1|t} - K_{t+1} P_{yy,t} K_{t+1}^T$$

由此 y_t 的条件分布为

$$y_t | x_t, \Omega_{t-1} \sim N(y_{t+1|t}, P_{yy,t})$$

最终可构造样本对数似然函数为

$$\log L(\psi) = -T \log 2\pi - \frac{1}{2} \sum_t \log |P_{yy,t}| - \frac{1}{2} \sum_t [\log(y_t - y_{t+1|t})^T P_{yy,t} (y_t - y_{t+1|t})] \tag{19}$$

待估计的参数 ψ 为 $(\alpha, \beta, \mu_f, \mu_c, \gamma_1, \gamma_2, \theta, Q, R)$. 利用数值算法最大化该样本对数似然函数, 即可估计出各参数值, 进而得到式 (1) 至式 (14) 等相关变量值.

4 实证结果与分析

4.1 数据选取与处理

本文的研究样本区间为 2005 - 07 至 2010 - 09, 数据频度为月度. 人民币汇率 s_t 数据为人民币兑美元每月汇率中间价(直接标价法,下同), 来源于 WIND 数据库. 人民币货币资产收益率 r_t 以银行间 1 个月期债券抵押回购利率作为代表, 美元货币资产收益率 r_t^* 以美国 1 个月期国债利率作为代表. 数据均来源于 WIND 数据库. 我国央行干预因素以外汇储备增加额(月度) 予以衡量, 数据来源于 WIND 数据库. 经常账户净顺差以我国进出口差额(月度) 为代表, 数据来源于中经网数据库. 外汇储备增加额和进出口差额的数据单位为百亿美元.

4.2 模型的估计与检验

本文编写了与上述汇率决定理论模型相应的 Unscented 卡尔曼滤波估计程序, 估计软件为 Matlab7.6. 在估计过程中, 为了尽可能避免对数似然值出现局部最大化现象, 对于待估计的参数集 θ 的初始值, 本文并不是选取单一的初始值, 而是在每个参数的合理范围之内随机生成数值, 然后构成不同的参数集的初始值, 多次估计 Unscented 卡尔曼滤波模型, 以使式 (19) 的对数

似然值尽量达到最大.

对于模型的合适性检验, 本文分为两部分: 一是模型拟合度的检验, 采用残差的平均平方根和泰勒不等式系数作为检验统计量, 其中泰勒不等式系数的值范围为 0 至 1, 其值越小, 意味着拟合度越好; 二是对模型的拟合残差进行平稳性检验. 最终, 本文所估计得到的模型的拟合残差平方根为 0.14, 泰勒不等式系数为 0.01, 可见模型具有很好的拟合度. 拟合残差的平稳性检验结果显示, ADF 检验统计量值为 -3.44, 可以在 5% 的显著性水平上拒绝单位根原假设, 也就是说, 模型的拟合残差是平稳的, 这意味着本文对模型的估计是合理的.

4.3 估计结果与分析

表 1 给出了模型参数的估计值. 表中显示, 各参数的估计值都在 1% 的显著性水平上显著. 结果表明, 汇改后人民币外汇市场存在着显著的两类异质性预期者, 在基本面分析者的预期中, 偏离基本面汇率的现实汇率向基本面汇率的回归系数为负的 11.11, 而在技术分析者的预期中, 现实汇率对以往汇率趋势的延续系数为正的 15.76, 完全符合前文的经济理论假定. 在风险厌恶系数方面, 基本面分析者的风险厌恶系数为 0.23, 几乎为零, 技术分析者的风险厌恶系数为 5.96, 可见技术分析者更加厌恶风险, 而基本面分析者则倾向于风险中性, 本文认为, 该结果是符合经济直觉的: 技术分析者采用推断预期, 在市场行情好的时候, 技术分析者“追涨”, 而当市场一有“风吹草动”的时候, 技术分析者则“杀跌”, 可以说, 对于市场的变化, 技术分析者非常敏感, 表现出较高的风险厌恶特征, 而基本面分析者采用回归预期, 认为以往偏离基本面汇率的现实汇率将会回归到基本面汇率水平, 尤其是, 现实汇率对基本面汇率的偏离程度越高, 基本面分析者采用“反向”投资策略的意愿更强烈, 即使此时所面临的投资风险正在增加, 因此基本面分析者倾向于表现出较低的风险厌恶程度.

表 1 模型参数估计值

Table 1 The results of model estimation

参数	α	β	μ_r	μ_c	γ_1	γ_2	θ
结果	- 11. 11 (0. 024)	15. 76 (0. 427)	0. 23 (0. 001)	5. 96 (0. 008)	8. 27 (0. 023)	3. 04 (0. 009)	0. 05 (0. 000)
p 值	< 0. 000 1	< 0. 000 1	< 0. 000 1	< 0. 000 1	< 0. 000 1	< 0. 000 1	< 0. 000 1

注: 括号内为相应参数估计值的标准差。

来自于央行干预的外汇供给对人民币汇率的影响系数 γ_1 为正的 8. 27, 数值并非很大, 符合我国采取管理浮动汇率制度安排的现实特征。来自于经常账户顺差的外汇供给的影响系数 γ_2 为正的 3. 04。可见模型的估计结果充分地反映了我国的经济事实: 为了减缓经常账户顺差所带来的人民币升值压力, 我国央行在外汇市场进行“买美元, 抛人民币”的外汇市场干预。最后 θ 估计值表明基本面分析者基于利率平价对基本面汇率水平的估计系数为正的 0. 05, 意味着基本面分析者在预期中对按利率平价理论所估计得到的基本面汇率水平进行了一定程度的调整, 而不是完全按照利率平价进行判断。

基于以上估计参数, 可以进一步计算出式 (1) 至式 (14) 的模型相关变量值。图 1 给出了基本面分析者“心目”中的基本面汇率水平 s_t^* , 图 2 给出了现实汇率对该基本面汇率水平的偏离程度 $s_t - s_t^*$ 。首先, 从图 1 可以看出, 在汇改后的最初阶段, 人民币兑美元的基本面汇率水平为 6. 99, 相较于基本面汇率水平, 美元币值明显高估, 高估程度达到 1. 2。从趋势来看, 在 2007 年 9 月之前, 基本面汇率水平呈下降趋势, 而在此之后, 基本面汇率水平则呈上升趋势。本文认为, 主要原因在于: 在 2007 年 9 月之前, 美元收益率高于人民币收益率, 且高出的程度呈下降趋势, 而到了 2007 年 9 月之后两国货币收益率出现了“倒挂”, 人民币收益率高于美元收益率, 且收益率之差在不断扩大 (见图 3), 由此导致基本面汇率水平于 2007 年 9 月出现结构性变化。进而, 图 2 表明, 在 2008 年 7 月份之前, 与基本面汇率水平相比, 美元币值处于高估的状态, 但是随着汇改后美元的不断贬值, 高估程度逐渐在减缓, 而到了 2008 年 7 月份以后, 美元的贬值有些过度, 导致美元币值出现一定程度的低估。

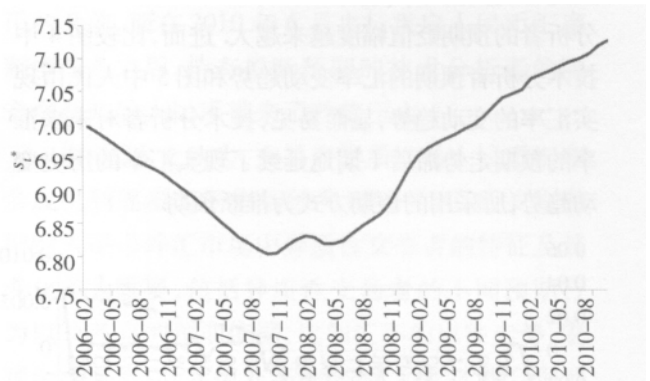


图 1 基本面汇率水平

Fig. 1 Fundamental level of CNY/USD

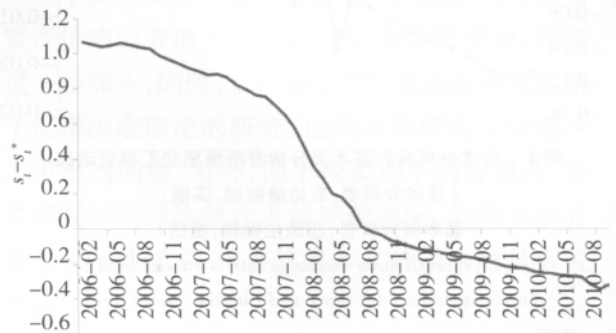


图 2 现实汇率对基本面汇率的偏离

Fig. 2 CNY/USD's deviation from its fundamental level

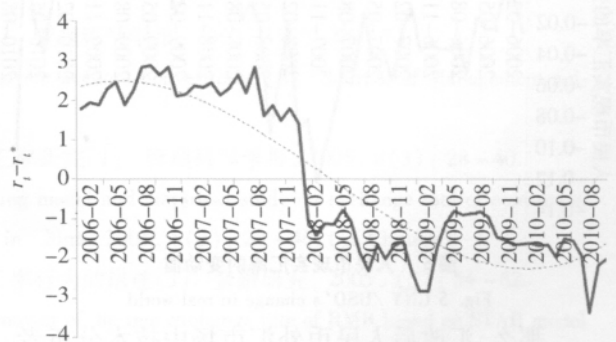


图 3 美元和人民币的货币收益率之差 (虚线为趋势线)

Fig. 3 Currency yield gap between USD and CNY (the trend line is dot)

图 4 给出了技术分析者和基本面分析者所预期的汇率变动值 $E_{i,t}(s_{t+1}) - s_{t-1}$ 。图中显示, 基本

面分析者持有明显的回归预期:在人民币币值低估的时间段,即2008年7月份之前,基本面分析者预期人民币升值,美元贬值。随着现实汇率向基本面汇率水平的靠近,基本面分析者的预期升值幅度越来越小,而在人民币币值高估的时间段,即2008年7月份之后,基本面分析者预期人民币贬值,美元升值,且随着现实汇率向基本面汇率水平的偏离,基本面分析者的预期贬值幅度越来越大。进而,比较图4中技术分析者预期的汇率变动趋势和图5中人民币现实汇率的变动趋势,显而易见,技术分析者对未来汇率的预期走势滞后1期地延续了现实汇率的历史变动趋势,所采用的预期方式为推断预期。

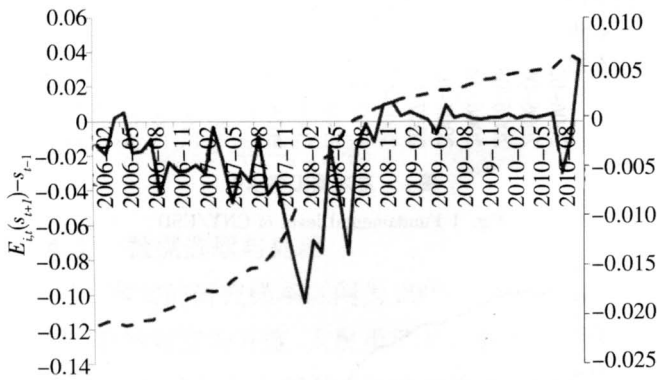


图4 技术分析者和基本面分析者所预期的汇率变动值
(技术分析者:右边坐标轴,实线;
基本面分析者:左边坐标轴,虚线)

Fig. 4 Expectation on exchange rate's change held by
Fundamentalist (dot line) and Chartist (solid line)

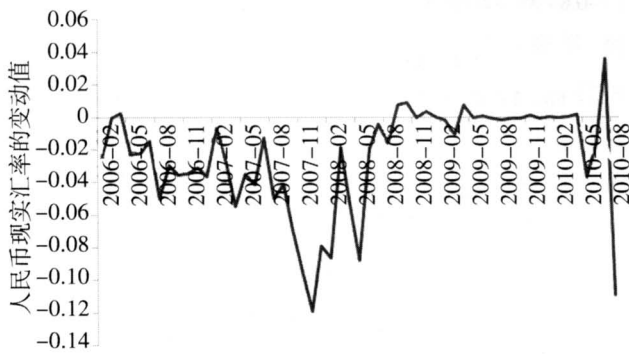


图5 人民币现实汇率的变动值

Fig. 5 CNY /USD's change in real world

那么,汇改后人民币外汇市场中技术分析者和基本面分析者所占的力量对比及其变化情况如何呢?图6和图7分别给出了两类交易者的各自比重。图中显示,在2006年10月份之前,人民币外汇市场中技术分析者占主导地位,换言之,在人民币

汇率升值的最初阶段,市场交易者主要采用推断预期,认为人民币汇率将会延续以往的升值趋势,此时人民币外汇市场的交易表现为噪音交易。而在2006-10~2009-03阶段,基本面分析者占据了主导地位,在此阶段,人民币汇率的升值并非是噪音交易的结果,而是归因于对人民币汇率走势持有回归性预期的基本面分析者的交易,这也表明在汇改以后主要的时期内,采取回归预期规则是对人民币汇率预期的最优策略,其盈利性要强于推断预期。在2009-04~2009-09间,外汇市场上两类交易者均未明显占据主导地位,外汇市场预期“轮流”地体现为回归预期和推断预期,这反映出了在汇率政策不明朗的情况下,市场交易者对人民币汇率的可能走势“捉摸不定”,由此使得他们在对汇率预期策略的选择上陷入“迷茫”的状态。然而,从2009年10月份开始,随着全球经济的逐步复苏,汇率政策越来越趋于明朗化,在此情况下,持有推断预期的技术分析者占据了人民币外汇市场的主导地位。

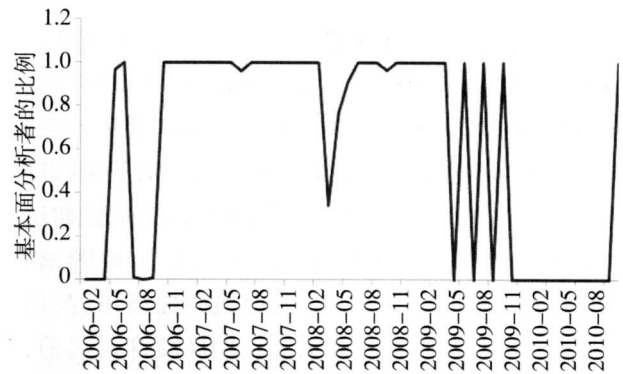


图6 人民币外汇市场中基本面分析者的比例

Fig. 6 Ratio of fundamentalist in RMB FX market

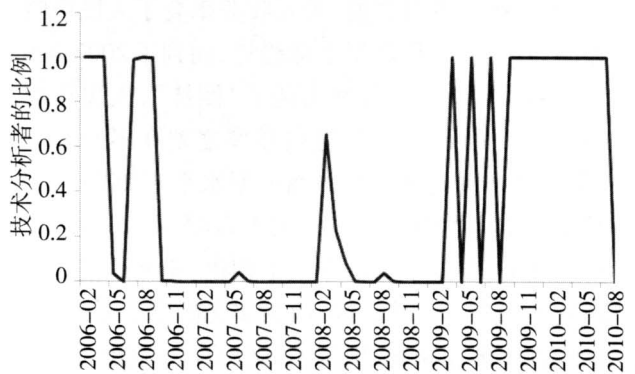


图7 人民币外汇市场中技术分析者的比例

Fig. 7 Ratio of chartist in RMB FX market

5 结束语

研究结果表明.

第1. 汇改后人民币外汇市场存在着显著的异质性预期者:持有回归预期的基本面分析者和持有推断预期的技术分析者,其中在基本面分析者的回归预期中回归系数为负的11.11,而在技术分析者的回归预期中延续系数为正的15.76. 比较而言,技术分析者的风险厌恶程度明显高于基本面分析者.

第2. 关于两类交易者的力量对比和变化情况. 在汇改后的初期阶段,技术分析者在人民币外汇市场中占据主导地位,外汇市场交易主要为噪音交易,而在随后的主要时间段里,持有回归预期的基本面分析者取代了技术分析者的主导地位,回归预期的盈利性明显强于推断预期. 在2009年4月以后,两类异质性交易者不断互相转化,外汇交易者对预期策略陷入“迷茫”的状态. 但是当汇率政策越来越趋于明朗化时,技术分析者从2009年10月开始在人民币外汇市场中占据主导地位.

第3. 决定人民币汇率的有3类因素:政策因素、宏观经济基本面因素和微观个体因素. 政策因素体现为央行干预,结果表明,我国央行对于降低

人民币升值压力的干预效果是有效的,减缓了人民币升值速度,而来自于经常账户顺差的经济基本面因素则带来了较高的升值压力,最后从微观个体的特征来看,在汇改后的一段时期内,基本面分析者对低估于基本汇率水平的人民币币值将会回归基本面的预期行为在一定程度上推动了人民币的升值,而在2010年6月央行重启人民币汇率制度改革之后,持有推断预期的技术分析者的噪音交易则给人民币带来了升值压力.

据此,本文认为,交易者异质性是人民币汇率形成机制逐步市场化后的典型特征,由此关注和把握人民币外汇市场中异质性交易者的特征及其变化尤为重要,包括异质性交易者的不同预期行为以及各自的预期依据,比如汇率的以往走势、宏观经济基本面、其他外部冲击等,以此才能合理地解释和预测人民币汇率的变动趋势.

本文的不足及进一步研究方向在于未将国内资产价格因素纳入汇率决定的理论模型中,有待进一步深入,同时,如何将更多行为金融理论应用于汇率决定理论的研究,也是未来研究中应进一步考虑的问题. 另外,限于现实样本的有限性,本文研究结论的稳健性可能受到影响,如果未来有更长时期的样本,将会使得本文的研究更具有说服力.

参考文献:

- [1]魏巍贤. 经常项目可兑换条件下的人民币汇率模型研究[J]. 管理科学学报,2000,3(1):66-72.
Wei Weixian. Study on modeling RMB exchange rate under current account convertibility[J]. Journal of Management Sciences in China,2000,3(1):66-72. (in Chinese)
- [2]刘纪显,陈建梁,张宗益. 汇率定价模型及人民币兑美元汇率研究[J]. 管理科学学报,2005,8(3):28-40.
Liu Jixian, Chen Jianliang, Zhang Zongyi. Exchange rate pricing model and empirical study on exchange rate of conversion from RMB to US dollars[J]. Journal of Management Sciences in China,2005,8(3):28-40. (in Chinese)
- [3]谢赤,戴克维,刘潭秋. 基于STAR模型的人民币实际汇率行为的描述[J]. 金融研究,2005,(5):54-62.
Xie Chi, Dai Kewei, Liu Tanqiu. The study on the dynamic behavior of the real exchange rate of RMB based on STAR model[J]. Research of Finance,2005,(5):54-62. (in Chinese)
- [4]李晓峰,魏英辉. 基于行为金融理论的中央银行外汇干预策略研究[J]. 南开经济研究,2009,(1):3-21.
Li Xiaofeng, Wei Yinghui. The study on the central bank foreign exchange intervention strategy based on the behavior financial model[J]. Nan Kai Economic Studies,2009,(1):3-21. (in Chinese)
- [5]De Grauwe P, Grimaldi M. The Exchange Rate in Behavioral Finance Framework[M]. Princeton: Princeton University

Press, 2006.

- [6] Meese R A, Rogoff K. Empirical exchange rate models of the seventies: Do they fit out of sample? [J]. *Journal of International Economics*, 1983, 14(1/2): 3–24.
- [7] Obstfeld M, Rogoff K S. Exchange rate dynamics redux [J]. *Journal of Political Economy*, 1995, 103(3): 624–660.
- [8] Lyons R K. Test of microstructural hypotheses in the foreign exchange market [J]. *Journal of Financial Economics*, 1995, 39(2/3): 321–351.
- [9] Evans M. FX trading and exchange rate dynamics [J]. *Journal of Finance*, 2002, 57(6): 2405–2447.
- [10] Evans M, Lyons R K. Order flow and exchange rate dynamics [J]. *Journal of Political Economy*, 2002, 110(1): 170–180.
- [11] 丁剑平, 俞君钰, 张景煜. 从外汇市场微观结构视角看中央银行入市交易效果 [J]. *管理世界*, 2006, (7): 15–21.
Ding Jianping, Yu Juntai, Zhang Jingyu. The effects of central bank intervention transactions from the perspective of foreign exchange market microstructure theory [J]. *Management World*, 2006, (7): 15–21. (in Chinese)
- [12] Frankel J A, Froot K A. Chartists, fundamentalists, and trading in the foreign exchange market [J]. *American Economic Review*, 1990, 80(2): 181–185.
- [13] Ito T. Foreign exchange rate expectation: Micro survey data [J]. *American Economic Review*, 1990, 80(3): 434–449.
- [14] Takagi Shinji. Exchange rate expectations: A survey of survey studies [J]. *IMF Staff Papers*, 1991, 38(1): 156–183.
- [15] Allen H, Taylor M P. Chartist, noise and fundamentals in the London foreign exchange market [J]. *Economic Journal*, 1990, 100(400): 49–59.
- [16] MacDonald R, Marsh I W. Currency forecasters are heterogeneous: Confirmation and consequences [J]. *Journal of International Money and Finance*, 1996, 15(5): 665–685.
- [17] Frankel J A, Froot K A. Chartists, fundamentalists and the demand for dollars [J]. Cambridge: NBER, 1991, No. R1655.
- [18] De Grauwe P, Dewachter H. A chaotic model of the exchange rate: The role of fundamentalists and chartists [J]. *Open Economies Review*, 1993, 4(4): 351–379.
- [19] Neuberger L, Louargant C, Protin P. From heterogeneous expectations to exchange rate dynamics [J]. Luxembourg: SCE, 2004, No. 310.
- [20] De Grauwe P, Grimaldi M. The exchange rate and its fundamentals in a complex world [J]. *Review of International Economics*, 2005, 13(3): 549–575.
- [21] Manzan S, Westerhoff F. Heterogeneous expectation, exchange rate dynamics and predictability [J]. *Journal of Economic Behavior*, 2007, 64(1): 111–128.
- [22] Bauer C, De Grauwe P, Reitz S. Exchange rate dynamics in a target zone: A heterogeneous expectations approach [R]. Frankfurt: Deutsche Bundesbank Discussion Paper, 2008, No. 05/2007.
- [23] De Long J B, Shleifer A, Summers L, et al. Noise trade risk in financial markets [J]. *Journal of Political Economy*, 1990, 42: 557–581.
- [24] Hellwig M. Rational expectations equilibrium with conditioning on past prices: A mean-variance example [J]. *Journal of Economic Theory*, 1982, 26: 279–312.
- [25] Blume L, Easley D, O'Hara M. Market statistics and technical analysis: The role of volume [J]. *Journal of Finance*, 1994, 49: 153–181.
- [26] Julier S, Uhlmann J. Unscented filtering and nonlinear transformation [J]. *IEEE Review*, 2004, 92(3): 401–422.
- [27] Hamilton J D. *Time Series Analysis* [M]. Princeton: Princeton University Press, 1994.

Modeling RMB exchange rate determination from the perspective of behavioral finance

*LI Xiao-feng*¹, *CHEN Hua*^{1 2}

1. Department of Finance, School of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Shanghai Head Office, The People's Bank of China, Shanghai 200120, China

Abstract: From the perspective of behavioral finance, this paper models the determination model of RMB exchange rate with consideration of factors like central bank intervention, macroeconomic fundamentals and micro-individual heterogeneity behavior. Based on the model, this paper applies unscented Kalman filter method to study the traders' heterogeneity behavior in RMB foreign exchange market after the reform of RMB foreign exchange rate regime in 2005, as well as the influence of traders behavior on exchange rate fluctuation. The results showed that remarkable traders' heterogeneity existed in RMB foreign exchange market after the reform, and that there are two categories of traders—Fundamentalists with regressive expectation and Chartists with extrapolating expectation. The results show that the Chartists are more risk averse than the Fundamentalists that dominated in the market most of the time after the reform. However, the choice of trading strategies for the trades was uncertain after April 2009. Chartist dominated in the market, whose and their noisy trade put pressure on RMB appreciation when China Central Bank restarted the reform of RMB foreign exchange rate regime in July 2010.

Key words: RMB exchange rate; behavioral finance; Unscented Kalman filter