

# 人民币汇率决定的市场微观结构分析

陈浪南 林伟斌 欧阳永卫\*

**摘要** 本文基于当前人民币外汇市场制度特征,构建了一个央行频繁干预情形下的人民币汇率决定的市场微观结构模型。该模型描述了各类外汇市场参与者,即外汇指定交易银行、流动性需求者、流动性供给者以及中央银行等,在人民币汇率日内价格形成过程中的报价与交易策略。外汇市场参与主体的报价与交易策略共同决定了人民币汇率的形成。本文为人民币外汇市场参与者和监管当局初步打开了人民币汇率形成的“黑匣子”。

**关键词** 人民币汇率决定,市场微观结构,央行干预

## 一、引言

一直以来,主流的汇率决定理论是宏观汇率决定模型。20世纪70年代以前,汇率决定理论主要是考察商品市场的均衡,购买力平价是该类模型的代表。70年代以后,汇率决定的资产市场理论将汇率决定的视野拓展到资产市场,该类理论认为汇率是由宏观变量(如利率、货币供给、国际收支平衡等)决定的。但是,宏观汇率决定模型一般难于解释和预测汇率的中短期走势,各种宏观模型面临着不被实证检验支持的危险(Meese and Rogoff, 1983a, 1983b; Frankel and Rose, 1995)。

20世纪90年代兴起的外汇市场微观结构理论是对宏观汇率决定模型的重要补充。在宏观模型中,汇率被看作相对价格(它由宏观经济因素决定),而外汇市场微观结构理论则假定外汇投资者预期是多样化的,并认为指令流等市场微观结构变量是影响汇率行为的最主要因素之一(Lyons, 2001)。外汇市场微观结构理论的产生和发展对汇率价格决定和波动的解释富有很大的启发性,其分析汇率的视角由宏观基本因素转向考察外汇市场本身的实际情况,诸如从外汇市场结构、市场参与者的信息传递、投资者预期的异质性以及波

\* 陈浪南:中国立信风险管理研究院特约研究员,中山大学经济研究所、岭南学院;林伟斌:中山大学岭南学院;欧阳永卫:中国人民财产保险公司厦门分公司。通讯作者及地址:陈浪南,中山大学岭南学院,510275;电话:(020)84039498,13570115839;E-mail:lnscln@mail.sysu.edu.cn。本文为教育部人文社会科学重点研究基地(复旦大学世界经济研究所)重大项目(05JJJD790075)、国家自然科学基金项目(70473106,70541005,70673116)、上海立信会计学院中国立信风险管理研究院课题、中山大学“985工程”产业与区域发展研究创新基地,及广东省普通高校人文社会科学重点研究基地经费资助成果之一。感谢匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

动异质性等方面来研究汇率,这无疑是汇率经济学研究方法上的一个重要突破。

我国在2005年7月21日提出建立完善以市场供求为基础,参考一篮子货币进行调节、有管理的浮动汇率制度,并提高金融机构自主定价能力的汇率改革目标。为配合人民币汇率改革,央行相继推出了一系列汇率改革的配套措施。新时期人民币汇率形成机制的改革比较侧重于拓展外汇市场的广度和深度,以形成多种交易方式并存、分层有序的外汇市场体系,从而使得人民币汇率能够充分反映市场供求关系的变化,为“建立健全以市场供求为基础的、有管理的浮动汇率体制,保持人民币汇率在合理、均衡水平上的基本稳定”奠定基础。

在新时期人民币汇率形成机制改革和外汇市场建设过程中,OTC市场和电子撮合市场并存、做市商和交易会员并存,以及央行频繁干预的人民币外汇市场特征,为我们研究人民币汇率价格决定提供了新的契机。如何有创造性地将外汇市场微观结构理论运用于人民币汇率形成机制的研究,是亟待我国学者解决的难题。

## 二、文献回顾

对外汇市场微观结构理论有较大贡献的是 Evans 和 Lyons。Lyons (1995) 首次在马克兑美元的外汇市场上使用了微观结构模型进行实证研究,分别检验了指令流影响价格的存货机制和信息机制,实证结果非常显著,从而开创了外汇市场微观结构研究的先河。紧接着, Lyons (1997) 提出了著名的“烫手山芋”模型 (Hot Potato Model), 他认为交易商为了抵消新增加交易头寸的存货风险,会通过寻找合适的报价将这一部分头寸转移给其他交易商。通过这种“烫手山芋”效应,新增的交易头寸会不断地被传递给下一个交易商,从而最终的交易量要远远大于起初的交易。这种交易量放大现象依赖于市场微观结构的两个主要方面: 外汇市场的交易商结构和交易披露的透明度。关于交易披露透明度方面, Lyons (1996) 认为尽管高的市场透明度会加快信息融入价格的速度,但不利于经纪人管理风险。市场交易者最终会权衡出一个“最优”市场透明度,使得“烫手山芋”效应传递下去。

Evans and Lyons (2002a, 2002b) 创造性地将市场微观结构理论引入汇率决定的宏观模型中,提出了一个包括宏观变量(利率)和微观结构变量(指令流)的资产组合变动模型 (Portfolio Shifts Model, PSM)。他们认为投资者具有不同的预期,信息通过指令流被市场消化,指令流是汇率决定的微观基础。实证结果也进一步支持了市场微观结构变量能够很大程度上解释短期(日内)汇率走势的结论。Engle and West (2004a, 2004b)、Evans and Lyons (2005)、Cao *et al.* (2006) 则提出“Meese-Rogoff Redux”的命题,

他们主张利用基于市场微观结构的宏观模型来研究中短期汇率决定和预测，以回答 Meese and Rogoff (1983a, 1983b) 对汇率经济学提出的挑战。

近年来，外汇市场微观结构理论为央行干预下的汇率决定研究开拓了新的方向。

Dominguez (1998) 指出，信息影响汇率决定的行为过程是国际金融中最有意义的研究方向。以前的研究利用日数据和周数据，表明央行干预操作能影响汇率水平，但交易者如何获知这些操作、每日市场状态是否影响央行干预效果这些却鲜为人知。他利用即期外汇市场的高频数据，校正 (Calibrate) 央行干预操作与当时市场状况的关系。结果表明，一些交易者至少在信息公共披露之前的几个小时内已知道央行正在干预，央行在市场交易量很大且宏观信息公布的下一时刻进行干预的效果最佳。此外，市场对干预消息的反应会影响交易商的存货。

Vitale (1999) 提出了一个外汇市场干预的不对称信息模型。他假定央行借助外汇市场干预来确定汇率的中心平价。外汇市场的参与者通过收集指令流的信息，来形成和修正关于汇率基本价值的预期。研究结果表明，央行通过下达执行冲销干预的指令，能够影响市场参与者的汇率预期。Naranjo and Nimalendran (2000) 也使用不对称信息模型研究干预对即期外汇市场买卖价差的影响。他们认为，未被预期的央行干预会导致买卖价差的扩大。

Evans and Lyons (2000) 提出一个新的不对称信息模型。他们假定央行与公众之间存在信息不对称，投机者之间也存在信息不对称，并假定本国资产和外国资产不完全替代。他们认为，指令流具有信息效应，即无论指令流和额外的信息片断何时到达市场，汇率都会波动。本国资产和外国资产不完全替代的假设也意味着资产组合平衡渠道也是指令流信息效应的重要决定因素。

Souza (2001) 利用加拿大银行收集的日内交易数据考察外汇市场经纪人在外汇市场干预中所扮演的角色。结果发现，经纪人对央行的指令流和其他客户的指令流一视同仁，基于短期投机目的和基于分散风险动机的银行间交易也能够被清楚地识别，经纪人根据有信息含量的私有头寸来确定汇率走势。他进一步建议央行的干预操作应该迅速并且透明，从而保证信号（或预期）渠道的畅通。Scalia (2004) 则利用欧元外汇市场的日内报价和交易数据，对 Evans and Lyons (2002a) 的分析框架进行检验。

在国外汇率经济学研究方法进入一个新阶段的时候，国内学者也注意到这一新的研究领域，并把国外学者提出的理论及研究现状介绍到国内。文献主要包括：姜波克等 (2002)、孙立坚 (2002)、丁剑平 (2005)、黄杰鲲 (2006) 以及周华 (2006) 等等。

本文尝试在人民币汇率改革初步启动的时间点上，从市场微观结构的角度探讨我国特殊的汇率形成机制，即央行干预下的人民币汇率决定机制。特

别是从外汇市场微观结构角度出发,探讨日内汇率运动过程以及我国中央银行对人民币汇率的日内干预机制,为我国深化汇率制度改革提供理论依据和实践参考。本文以下的结构安排如下:第三部分是人民币外汇市场的交易流程;第四部分是模型假设;第五部分是模型的求解及解释;最后是结论。

### 三、我国外汇市场的日内交易流程

我国外汇市场包括银行间外汇市场(批发市场)和银行的柜台市场(零售市场)。外汇市场上有中央银行、 $n$ 个会员和大量的客户。根据交易动机,客户可分为流动性需求者和流动性供给者。流动性需求是指为满足流动性而持有外汇头寸,例如,出口制造商将美元转换成人民币以购买原材料,进口商将人民币转换成美元以购买进口品。流动性供给是指为获得外汇资产收益而策略性的持有外汇头寸,这种行为恰好为流动性需求者提供了外汇资产,例如,出口商推迟美元转换成人民币的结售汇,持有美元以获得美元升值带来的好处,进口商推迟人民币兑换美元的结售汇,持有人民币以获得人民币升值的好处。流动性供给还包括大量的热钱和黑市外汇资产。会员是指银行间外汇市场上的(非中央银行)会员,也称外汇交易指定银行,主要包括四大国有商业银行、部分股份制商业银行、外资银行以及非银行类金融机构等。会员在零售市场上向客户提出报价并与客户交易外汇资产,也在批发市场上向其他会员(包括央行)提出报价并交易外汇资产。中央银行也是银行间外汇市场上的会员,它会根据外汇市场的交易状况,适时入市干预,其主要目的是增强外汇市场流动性和稳定汇率价格。

银行间外汇市场交易主体可自主选择 OTC 方式与撮合方式进行即期外汇交易,随着 OTC 方式的发展,客观上将形成分层的外汇市场体系,即具备实力的大机构之间相互进行大额交易,同时大机构承担做市商职能,为中小金融机构提供流动性,交易方式的多样化决定了银行间撮合市场收盘价不再具有广泛的代表性。我国在银行间外汇市场引入 OTC 方式的同时,也引入了做市商制度。做市商通过自身的连续报价和交易,为市场提供流动性,平滑市场价格波动,提高交易效率、分散风险,并通过买卖价差盈利。更为重要的是,做市商集中了市场供求信息,成为重要的定价中心。

根据制度规定和实现运行情况,将我国外汇市场的日内交易流程概况如下<sup>1</sup>:(1)每日开盘后,会员及其分支行在中间价附近提出外汇报价为客户提供结售汇和经纪服务,客户接受报价并将头寸转移给会员。(2)会员先将各分

<sup>1</sup> 细节可参考《银行间外汇市场人民币外汇即期交易规则(全文)》和《银行间外汇市场做市商指引(暂行)》等法律文件。

支行的内部总头寸轧平，并将多余的头寸在银行间外汇市场上同其他会员（包括央行）进行交易，可同时采用 OTC 方式和撮合方式。会员在实际交易过程中，会根据市场交易状况重新估计外汇走势并制定新的报价和交易策略。（3）由于会员对风险采取较为保守的态度以及受到最高持汇规模的限制，一般会在收市前将当天交易的净头寸平仓，即将当天的多余头寸以适当报价转移给风险承受能力较强的客户。（4）中央银行可以观测到整个外汇市场的净交易头寸，当净交易头寸超出中央银行预警范围时，央行进入市场进行干预，使得会员报价不超出涨跌幅限制，并使得市场保持充分的流动性。

将我国外汇市场的交易制度和交易流程抽象，本文对模型的交易流程作如下假定：每个交易日可分为四阶段：第一阶段是会员与客户（一般是流动性需求者）的交易，即流动性需求者出于对外汇资产的流动性需要<sup>2</sup>，以会员提出的报价向会员买卖外汇资产；第二阶段是会员利用第一阶段得到的私有信息，在银行间外汇市场上与其他会员进行交易，从而观测或估计到整个市场交易后的净头寸，以重新估计外汇报价；第三阶段是会员提出新报价在银行间外汇市场交易，中央银行根据第二阶段的交易结果，也可能进入市场，参与会员之间的交易；第四阶段是会员将当天所有交易的净头寸以适当价格转移给流动性供给者。

从交易机制上看：一方面，会员是充当流动性需求者和供给者的交易中介，同时供给并索要流动性，一旦会员无法很好地供给流动性时，中央银行入市干预从而稳定汇价和市场流动性。另一方面，会员们（包括有实力的做市商、大规模的金融机构、中小规模的金融机构等外汇交易指定银行或金融机构）以赢利为最终目的，策略性地选择 OTC 方式或撮合方式交易，提出有竞争力的报价以及交易规模。

从信息披露的机制上看：会员与流动性需求者交易过程中产生私有信息，其他会员无法观察他们的交易情况，会员可以根据该私有信息以建立（策略性）风险头寸并参与银行间市场交易，经过与其他会员的交易后，市场的总交易净头寸可以被会员们观测或估计到，会员会根据该公开信息重新更正报价和交易，因此在银行间外汇市场交易的第二和第三阶段是信息融入价格的过程，也称价格发现过程。

从交易规则上看，会员按以下规则进行报价与交易：（1）报价规则。（R1）会员在每阶段的报价都是瞬时、独立的；（R2）报价能够被市场的所有参与者观察到；（R3）每个会员只报一个价格，并愿意在此价格上买卖任何数量的外汇资产。（2）交易规则。（R4）每笔交易都是瞬时、独立的；（R5）会员

<sup>2</sup> 当然也可以是其他目的的交易，但主要是出自用汇的目的，即流动性需求。客户主要包括用汇的进出口企业、外汇资产投机者、外汇资产投资者、众多的中小规模流动性需求者。

可以同多个交易对手交易;(R6)相同报价的交易量相同,即提出相同报价的会员平分某个价格上成交的交易量。

我国外汇市场的交易制度要求各个会员能够独立、同时报价(simultaneous quote)(规则R1),这说明会员在同一时刻发生交易,其交易决策并不依赖于其他会员的交易信息。会员的报价能够被其他会员及客户观察到(规则R2),法律要求会员在报价上接受客户任意数量的交易(规则R3)。交易规则R4和R5意味着,会员在根据其他会员的报价提出买卖要求时,也接受了其他会员向它提出的买卖要求。交易规则R6是电子撮合系统撮合成交时的内在要求。

本文拟采用的同时交易模型(simultaneous trade model)比较符合上述六个规则,区别于序贯交易模型(sequential trade model, Glosten 和 Milgrom, 1985)以及批量模型(auction model, Kyle, 1985)。同时交易模型在技术层面上可视为一个(四阶段)动态不完全信息博弈。日内外汇交易的每一个阶段都是不完全信息静态博弈,外汇市场参与者都是同时交易(simultaneous trade),并无条件依赖于同一阶段其他人的信息。每一阶段市场参与者的报价和交易依赖于上一阶段结束后公开的信息以及私有信息,利用贝叶斯学习规则来更正判断和决策。<sup>3</sup>

上述是外汇市场的日内交易流程,为观察短期(日内)汇率决定提供了一个市场微观结构的角度。汇率决定的宏观模型大多主张“宏观经济变量的变动才是引起汇率变动的根本性原因”,而汇率决定的市场微观结构理论一方面赞同汇率决定宏观模型的主张,另一方面更加注重日内汇率决定的市场微观结构因素,以及由此导致的周内、月内的汇率变动(预测)机制。因此,利用外汇市场微观结构理论研究人民币汇率形成机制是方法论上的创新。

## 四、模型设定

### (一) 日内交易流程

假设市场上有两种资产——无风险资产和外汇资产,其中无风险资产的日收益 $r$ 和外汇资产的日收益 $R_t$ 都在第 $t$ 日最后一轮交易前(会员将多余头寸转移给客户的过程之前)实现<sup>4</sup>,外汇资产的日收益 $R_t$ 可代表第 $t$ 日宏观变量增量导致的外汇资产收益,如利率、货币发行量等。为方便模型求解,假设外汇资产的日收益 $R_t$ 服从正态分布,即 $R_t \sim N(0, \sigma_R^2)$ 。

<sup>3</sup> 本模型的“一个阶段”可视为发生一次交易时占用的时间,其测量单位是秒或分钟,而不是小时、天或周,与 Lyons(1996)的定义类似。

<sup>4</sup> 外汇资产日收益实现后,流动性供给者(策略性持有外汇资产头寸的客户)可以根据已实现的收益判断外汇资产价值。事实上,在任何一个阶段实现都不会影响模型结论(Lyons, 2001)。

日内交易流程和研究思路如图 1 所示，我们将具体分析每一阶段的报价和交易情形。



图 1 第  $t$  天的交易流程 (各变量省略下标  $t$ )

### 1. 第一阶段

每日开市后，流动性需求者在银行柜台向会员提出买卖要求，一个会员可与多个客户交易，但一个客户一般只选择一个会员交易，客户提出的买卖指令来自于流动性需求动机。第  $i$  个会员收到的客户净指令流为  $x_i$ ，并假设  $x_i \sim N(0, \sigma_{x_i}^2)$ 。 $x_i > 0 (< 0)$  是指客户的净买入 (卖出) 指令，即该会员的净卖出 (买入)。其他会员仅仅观察到第  $i$  个会员向客户提出的报价  $P_{i1}$ ，却无法观察到  $x_i$ ，这与现实相符，因为银行与客户的交易规模往往是商业机密。所有

会员收到的净头寸加总为  $X_t = \sum_{i=1}^n x_i$ ，就是流动性需求者资产组合的总头寸变动 (portfolio shifts)。

### 2. 第二和第三阶段

第二和第三阶段发生在每天的中间时段，是银行间外汇市场的价格发现过程。令  $T_{ij} (j=2, 3)$  表示第  $i$  个会员在第  $j$  阶段向其他会员提出的净指令流， $T_{ij} > 0 (< 0)$  是指该会员的净买入 (卖出) 指令。令  $T'_{ij} (j=2, 3)$  表示第  $i$  个会员在第  $j$  阶段接收到的其他会员所提出的净指令流， $T'_{ij} > 0 (< 0)$  是指其他会员向第  $i$  个会员的净买入 (卖出) 指令。报价规则 R1 和交易规则 R4、R5 意味着， $T_{ij}$  和  $T'_{ij}$  不相关， $T'_{ij}$  是第  $i$  个会员被动持有的头寸。令  $D_{ij} (j=2, 3)$  第  $i$  个会员在第  $j$  阶段的投机头寸，我们可以定义：

$$T_{i2} = D_{i2} + x_i + E[T'_{i2} | \Omega_{i2}], \quad (1)$$

$$T_{i3} = (D_{i3} - D_{i2}) + (T'_{i2} - E[T'_{i2} | \Omega_{i2}]) + E[T'_{i3} | \Omega_{i3}], \quad (2)$$

其中  $\Omega_{i2}$  和  $\Omega_{i3}$  分别表示第  $i$  个会员在第二和第三阶段的私有信息集。公式 (1) 表示第二阶段的净指令流包含三部分：投机头寸  $D_{i2}$ 、存货头寸  $x_i$  和  $E[T'_{i2} | \Omega_{i2}]$ 。投机头寸  $D_{ij}$  是由于第  $i$  个会员根据它在第一阶段与流动性需求者

交易的私有信息  $x_i$  而产生的投机冲动。同时,该会员需要建立相反的存货头寸  $x_i$  以对冲它在第一阶段交易的头寸。会员也必须建立相反的存货头寸  $E[T'_{i2} | \Omega_{i2}]$  以对冲与其他会员被动发生的交易(由于该阶段无法确切知道  $T'_{i2}$ , 只能基于当前信息估计该头寸)。公式(2)表示第三阶段的净指令流包含三部分:为持有投机头寸  $D_{i3}$  而需增持的  $(D_{i3} - D_{i2})$ 、对冲上一阶段未预期到的被动持有头寸  $(T'_{i2} - E[T'_{i2} | \Omega_{i2}])$ , 以及对冲与其他会员被动发生的交易头寸  $E[T'_{i3} | \Omega_{i3}]$ 。

我国在批发市场(银行间外汇市场)上引入询价交易方式,同时保留撮合方式。银行间外汇市场交易主体既可选择以集中授信、集中竞价的撮合方式交易,也可选择以双边授信、双边清算的方式进行OTC方式交易。撮合方式比较公平、透明,所有指令流都在撮合系统排队等待,会员很容易找到最优价格以市价或限价成交,所有的交易者都可以从电子公告牌上发现批发市场上总的净交易头寸。相比之下,采取OTC方式的批发市场没有这样一个平台能帮助客户迅速找到提出最优报价的会员询价,会员难于发现其他会员的交易量,从而也难于发现市场上总的净交易头寸。

因此,本文在  $T_2 = \sum_{i=1}^n T_{i2}$  的基础上引入扰动项  $\bar{\epsilon}$ , 令  $\bar{\epsilon} \sim N(0, \Sigma_{\epsilon})$ ,  $\Sigma_{\epsilon}$  越大表示OTC市场的透明度越差。<sup>5</sup> 市场透明度的性质要求:尽管市场只发生  $T_2 = \sum_{i=1}^n T_{i2}$  的净交易头寸,但第二和第三阶段的任何信息都无助于精确观测  $T_2 = \sum_{i=1}^n T_{i2}$ , 第二阶段末期市场参与者只能观测到:

$$Z_2 = \sum_{i=1}^n T_{i2} + \bar{\epsilon}. \quad (3)$$

中央银行观察到  $Z_2$  后,评估  $Z_2$  对外汇价格和会员最高持汇规模的影响,决定是否入市进行反向操作  $I_3$  (当  $I_3 > 0$  时,央行卖出外汇资产;当  $I_3 < 0$  时,央行买入外汇资产;且要求  $|I_3| < |Z_2|$ )。第三阶段是会员风险的再分配过程,也是央行稳定外汇价格和增强市场流动性的关键步骤。在后面我们将发现,央行为了实现其目标,其干预  $I_3$  是被动的、内生的。 $Z_2$  被认为是外汇价格发现的信息来源(Lyons, 1996, 1997, 2001),会员们观察到  $Z_2$  后重新估计外汇价格和头寸持有策略,并进入第三阶段的交易。

<sup>5</sup> O'Hara(1995)把市场透明度界定为“市场参与者观测交易过程信息的能力”,这里的信息主要包括报价、交易量、指令流来源以及市场参与者身份。市场透明度通常分为交易前透明度和交易后透明度,交易前透明度的信息主要包括交易者身份或动机、买卖报价和数量,以及限价指令簿等;交易后透明度的信息主要包括过去交易信息的及时披露,如成交时间、成交量、身份等。本文的透明度专指交易后透明度,表示市场参与者进行决策时对上一期信息的加工能力(Lyons, 1996)。

### 3. 第四阶段

在第四阶段开始前，外汇资产的收益  $R_t$  业已实现，第三阶段市场净头寸  $Z_3 = \sum_{i=1}^n T_{i3} + \varepsilon$  和央行的干预量  $I_3$  都可以被观察到。会员不持有隔夜风险，它们必须将当天持有的净头寸转移给流动性供给者。假设流动性供给者有  $m$  个，且  $m \gg n$ ，尽管单个流动性供给者和单个会员拥有同样的风险厌恶系数，但所有的流动性供给者的总风险承受能力远远强于会员（因为  $m \gg n$ ）。只要有合适的价格，流动性供给者总愿意承担风险。因此第四阶段博弈的主导权掌握在流动性供给者手里，他们根据已有信息估计愿意接受的价格，会员为了市场出清将根据博弈结果，报出该价格。流动性供给者在第四阶段最优化效用函数的基础上持有最优头寸，它区别于流动性需求者的随机交易策略。

#### (二) 信息集

根据上述四个交易阶段，可以写出会员的私有信息集和公开信息集，它们是会员报价的信息来源：

$$\Omega_{i1} = \{\{P_{i1}\}_{i=1}^n\},$$

$$\Omega_{i2} = \{\{P_{i1}, P_{i2}\}_{i=1}^n, x_i\},$$

$$\Omega_{i3} = \{\{P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}\}_{i=1}^n, x_i, T_{i2}, T'_{i2}, Z_2\},$$

$$\Omega_{i4} = \{\{P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, P_{i4}\}_{i=1}^n, x_i, T_{i2}, T'_{i2}, Z_2, Z_3, T_{i3}, T'_{i3}, R_t, r, I_3\},$$

$$\Omega_1 = \{\{P_{i1}\}_{i=1}^n\},$$

$$\Omega_2 = \{\{P_{i1}, P_{i2}\}_{i=1}^n\},$$

$$\Omega_3 = \{\{P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}\}_{i=1}^n, Z_2\},$$

$$\Omega_4 = \{\{P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, P_{i4}\}_{i=1}^n, Z_2, Z_3, R_t, r, I_3\}.$$

前四个信息集  $\Omega_{ij}$  ( $j=1, 2, 3, 4$ ) 是第  $i$  个会员在第  $t$  天的四个交易阶段的信息集，一部分是公开信息  $\Omega_j$  ( $j=1, 2, 3, 4$ )，另一部分是私有信息。后四个信息集  $\Omega_j$  ( $j=1, 2, 3, 4$ ) 是所有参与者在第  $t$  天的四个交易阶段的公开信息集。

#### (三) 优化问题及市场出清

由于会员不持有隔夜风险头寸，只是面临当天的交易风险，当天的报价和交易策略的最优解就是整个生命周期的跨期优化问题的最优解。并假设日内会员的效用函数是负指数财富效用函数 (Lyons, 1996, 1997, 2001)：

$$\text{MAX}_{(P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, P_{i4}, D_{i2}, D_{i3})} E[-\exp(-\bar{\gamma}W_{i4}) \mid \Omega_{ij}],$$

$$\text{s. t. } W_{i4} = (W_{i0} + x_i P_{i1} + T'_{i2} P_{i2} + T'_{i3} P_{i3} - T_{i2} P'_{i2} - T_{i3} P'_{i3})(1+r) + (-x_i - T'_{i2} + T_{i2} - T'_{i3} + T_{i3})(P'_{i4} + R_t), \quad (4)$$

其中,  $\Omega_{ij} (j=1,2,3,4)$  是第  $i$  个会员在第  $t$  天的四个交易阶段的信息集,  $W_{i0}$  和  $W_{it}$  分别表示第  $i$  个会员的期初和期末财富;  $P_{ij} (j=1,2,3,4)$  表示第  $i$  个会员在第  $t$  天的四个交易阶段的报价, 而  $P'_{ij} (j=1, 2, 3, 4)$  则表示该会员所接受到的其他会员的报价。其他变量的定义 (诸如  $r, x_i, R_t, T_{ij}, T'_{ij}$  等) 与前文的式 (1)–(3) 相同。

流动性供给者的目标是优化跨期消费函数, 也假设他们的效用函数是跨期负指数消费效用函数 (O'Hara, 1995; Lyons, 1996, 1997, 2001):

$$U_t = \sum_{\tau=t}^{\infty} -\delta^{\tau-t} \exp(-\gamma c_{\tau}), \quad (5)$$

其中,  $c_{\tau}$  是第  $\tau$  期消费,  $\gamma$  是绝对风险厌恶系数,  $\delta$  是折现率 (为方便起见, 令  $\delta = \frac{1}{1+r}$ )。

第四阶段末期, 会员的净头寸为零, 流动性需求者的总头寸变动都被中央银行和流动性供给者吸收。令  $X_t = \sum_{i=1}^n x_i$  表示流动性需求者的总头寸变动 (portfolio shifts),  $I_3$  表示央行的干预量,  $d_4$  表示流动性供给者当天所吸收的总头寸。从而, 市场出清条件是:

$$d_4 + X_t + I_3 = 0. \quad (6)$$

令第  $t-1$  天的流动性供给者总头寸为  $h_{t-1}$ , 第  $t$  天的流动性供给者总头寸为:

$$h_t = h_{t-1} + d_4 = h_{t-1} - X_t - I_3. \quad (7)$$

## 五、模型的均衡解

### (一) 精炼贝叶斯均衡

本文的不完全动态博弈模型将采用精炼贝叶斯均衡的求解方法, 找出该模型的均衡状态。本模型的精炼贝叶斯均衡定义如下:

定义 上述动态不完全信息博弈有精炼贝叶斯均衡解 (perfect Bayesian equilibrium, PBE), 当且仅当:

(1) 外汇市场的所有参与者利用贝叶斯学习法则 (Bayesian learning law) 更新策略;

(2) 价格策略和交易策略  $(P, T)$  都是序贯理性的 (sequentially rational), 即给定任何其他策略  $(\bar{P}, \bar{T}) = \{(\bar{P}_j, \bar{T}_j), (P_{-j}, T_{-j})\}$ , 都使得

$$E\{U_i(P, T) \mid \Omega_i\} \geq E\{U_i(\bar{P}, \bar{T}) \mid \Omega_i\}. \quad (8)$$

## (二) 会员日内均衡报价策略

求解对称 PBE 模型，我们首先考察均衡报价策略。命题 1 和命题 2 将给出均衡报价规则。

**命题 1** 上述动态不完全信息博弈有（对称）精炼贝叶斯均衡解的必要条件是：第一阶段所有会员有共同报价  $P_1$ ，且是第二阶段共同报价的无偏估计，即

$$P_{i1} = P_1 = E(P_2 \mid \Omega_1); \quad (9)$$

第二阶段所有会员有共同报价  $P_2$ ，且是第三阶段共同报价的无偏估计，即

$$P_{i2} = P_2 = E(P_3 \mid \Omega_2); \quad (10)$$

第三阶段所有会员有共同报价  $P_3$ ，是第四阶段共同报价的无偏估计与风险溢酬之和，即

$$P_3 = E\left(\frac{P_4}{1+r} \mid \Omega_3\right) + \lambda Z_2, \quad (11)$$

其中 
$$\lambda = \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2 \left(1 - \frac{E(\bar{\epsilon} \mid \Omega_3)}{Z_2} - \beta_2 \frac{E(I_3 \mid \Omega_3)}{Z_2}\right)}{(1+r)\eta\beta_2} > 0.$$

对命题 1 的直观理解是：第一阶段市场出清条件要求会员与客户的预期需求量之和为零。一旦第一阶段到第二阶段的预期报价增量不为 0，即  $P_1 - E(P_2 \mid \Omega_1) \neq 0$ ，则意味着会员的第一阶段需求量不会为零，但由于客户总头寸变动  $X_t = \sum_{i=1}^n x_i$  的期望为零，从而  $P_1 - E(P_2 \mid \Omega_1) \neq 0$  违背了市场出清条件，无法使得市场均衡。第二阶段报价是在银行间交易之前发生，报价所依赖的信息集与第一阶段相同，并没有新增的信息。在第二阶段预期第三阶段的价格变动时，第二阶段报价也应是第三阶段报价的无偏估计。

会员在第三阶段报价之前，已经发生  $T_{i2}$  的头寸，并观察到公共信息  $Z_2$ ，会员根据新增信息调整对外汇资产价格的估计，并进行第三阶段的报价。例如，当  $Z_2 < 0$ （会员第二阶段卖出外汇资产，此时中央银行反向操作，买入外汇资产，即  $I_3 < 0$  且  $|I_3| < |Z_2|$ ）时，意味着第一阶段客户卖出资产，而会员被迫持有多头，会员在第二阶段会卖出资产以对冲多头。由于会员不持有隔夜风险，流动性供给者最终承担流动性需求者卖出的资产，这意味着第四阶段会员将多余资产卖给流动性供给者，则要求会员在第三阶段持有多头。

为鼓励会员在第三阶段持有多头, 应有  $[P_4 - (1+r)P_3] = -(1+r)\lambda Z_2 > 0$  的风险溢酬, 此时要求  $\lambda > 0$ 。

当  $Z_2 > 0$  (会员第二阶段买入外汇资产, 此时中央银行反向操作, 卖出外汇资产, 即  $I_3 > 0$  且  $|I_3| < |Z_2|$ ) 时, 意味着第一阶段客户买入资产, 而会员被迫持有空头, 会员在第二阶段会买入资产以对冲空头。由于会员不持有隔夜风险, 流动性供给者最终承担流动性需求者买入的资产, 这意味着第四阶段会员将向流动性供给者购买外汇资产, 则要求会员在第三阶段持有空头。为鼓励会员在第三阶段持有空头, 应有  $[P_4 - (1+r)P_3] = -(1+r)\lambda Z_2 < 0$  的风险溢酬, 此时要求  $\lambda > 0$ 。

Lyons (1996) 认为市场透明度会影响到会员和流动性供给者承担价格风险的动机, 如果市场完全没有透明度, 策略交易的客户 (流动性供给者) 不愿意与会员分担价格风险, 从而导致会员无法转移隔夜风险头寸; 如果市场完全具有透明度, 盘中阶段的价格能够完全揭示指令流的信息含量, 会员有完全承担价格风险的动机, 流动性交易者在交易时会处在劣势。本文发现, 会员的风险溢酬项  $-(1+r)\lambda Z_2 = \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2(\beta_2 E(I_3 | \Omega_3) + E(\bar{\epsilon} | \Omega_3) - Z_2)}{n\beta_2}$  与市场透明度指标  $\bar{\epsilon}$  的条件期望呈正相关关系, 市场透明度较差时, 会员更容易获得高的风险溢酬, 但外汇资产的日内价格  $P_2$  和  $P_3$  更容易偏离资产价值, 即指令流信息融入价格的过程较为漫长, 这与 Lyons (1996) 的结论类似。

**命题 2** 上述动态不完全信息博弈存在一个均衡收盘价 (第四阶段报价), 该收盘价是流动性供给者外汇资产风险头寸的线性函数, 即

$$P_4 = -ah_t = -a(h_{t-1} - X - I_3). \quad (12)$$

第四交易阶段接近于收盘时间, 各种信息逐步被市场消化, 例如, 当日宏观变量变化而导致的外汇日收益业已实现, 市场参与者 (特别是银行会员) 根据私有信息重新调整估价。流动性供给者决定的第四阶段报价  $P_4$  与当天总头寸  $h_t$  呈反向关系, 意味着流动性供给者希望报价足够低 (维持较高的收益率), 才愿意持有这些头寸。

结合命题 1、命题 2 以及命题 3, 我们有

$$P_3 = E\left(\frac{P_4}{1+r} \mid \Omega_3\right) + \lambda Z_2 = \frac{-a\left[h_{t-1} - \frac{Z_2}{\beta_2} - E(I_3 \mid \Omega_3)\right]}{1+r} + \lambda Z_2, \quad (13)$$

$$P_2 = E(P_3 \mid \Omega_2) = -\frac{a(h_{t-1} - E(I_3 \mid \Omega_2))}{1+r}. \quad (14)$$

式 (13) 减去式 (14), 得

$$P_3 - P_2 = \left[\frac{a}{(1+r)\beta_2} + \lambda\right]Z_2 + \frac{a}{1+r} [E(I_3 \mid \Omega_3) - E(I_3 \mid \Omega_2)]$$

$$= \left[ \frac{a}{(1+r)\beta_2} + \lambda \right] Z_2, \quad (15)$$

$$[P_4 - (1+r)P_3] = -(1+r)\lambda Z_2. \quad (16)$$

可以发现，第三阶段报价和第二阶段报价之差  $P_3 - P_2$  与第二阶段银行间市场的总净头寸  $Z_2$  正相关，第四阶段报价和第三阶段报价之差  $P_4 - (1+r)P_3$  与第二阶段银行间市场的总净头寸  $Z_2$  负相关。

当  $Z_2 < 0$  (会员第二阶段卖出外汇资产，此时中央银行反向操作，买入外汇资产，即  $I_3 < 0$  且  $|I_3| < |Z_2|$ ) 时，意味着会员们发现整个市场在看跌资产价格，会员不得不调低第三阶段的报价，即  $P_3 - P_2 < 0$ ，所以  $P_3 - P_2$  与第二阶段银行间市场的总净头寸  $Z_2$  正相关。第三阶段会员持有多头，应有  $[P_4 - (1+r)P_3] > 0$  的风险溢酬以弥补持有多头的风险，所以  $P_4 - (1+r)P_3$  与第二阶段银行间市场的总净头寸  $Z_2$  负相关。

当  $Z_2 > 0$  (会员第二阶段买入外汇资产，此时中央银行反向操作，卖出外汇资产，即  $I_3 > 0$  且  $|I_3| < |Z_2|$ ) 时，意味着会员们发现整个市场在看涨资产价格，会员可以调高第三阶段的报价，即  $P_3 - P_2 > 0$ ，所以  $P_3 - P_2$  与第二阶段银行间市场的总净头寸  $Z_2$  正相关。第三阶段会员持有空头，应有  $[P_4 - (1+r)P_3] < 0$  的风险溢酬以弥补持有多头的风险，所以  $P_4 - (1+r)P_3$  与第二阶段银行间市场的总净头寸  $Z_2$  负相关。

总之，流动性需求者第一交易阶段的总头寸变动将最终转嫁给流动性供给者，会员与流动性需求者交易时获得的私有信息，通过会员在银行间市场交易过程中融入价格当中。外汇市场开盘阶段，银行报价的变化较为平稳，盘中第二阶段和第三阶段价格变化起伏较大，相对于盘中两个阶段的报价，第四阶段是日内报价的均值回复过程。

### (三) 会员日内均衡交易策略

**命题 3** 会员交易策略流  $\{T_{i2}, T_{i3}\}_{i=1}^n$  是上述动态不完全信息博弈的精炼贝叶斯均衡解，其中，

$$\begin{cases} T_{i2} = \beta_2 x_i, & \beta_2 \in \left(1, \frac{Z_2 - E(\tilde{\varepsilon} | \Omega_3)}{E(I_3 | \Omega_3)}\right), \\ T_{i3} = \beta_3 x_i, & (\beta_3 < 0). \end{cases} \quad (17)$$

通过求解 PBE，找出会员的均衡交易策略有助于帮助理解会员的报价规则。已知命题 1 和命题 2 的均衡价格是线性定价函数，类似地，由负指数效用函数和正态分布的随机变量也能得到线性的交易策略。尽管会员在第一阶段的零售市场上获得的客户交易头寸  $x_i$  和第二阶段的批发市场上获得的与其他会员的交易头寸  $T_{i2}$  都是它的私有信息，但在第二阶段末会员观测到的  $Z_2$  并无助于精确估计其他会员的净指令流  $Z_2 - T_{i2}$ ，因此，会员仍面临着选择最

优净指令流  $T_{i2}$  的风险—收益权衡问题。

命题 1 和命题 2 告诉我们, 第三阶段报价和第二阶段报价之差  $P_3 - P_2$  与第二阶段银行间市场的总净头寸  $Z_2$  正相关, 第四阶段报价和第三阶段报价之差  $P_4 - (1+r)P_3$  与第二阶段银行间市场的总净头寸  $Z_2$  负相关。因此, 当第一阶段客户向会员提出净买入指令时 ( $x_i > 0$ ), 会员被迫持有空头头寸, 它根据已有的私有信息  $x_i > 0$ , 认为市场看涨外汇资产, 预期第三阶段报价将比第二阶段的报价高, 因此第二阶段将向其他会员买入外汇以弥补第一阶段的空头, 甚至持有部分投机头寸  $D_{i2}$  以期待第三阶段报价带来的收益, 即  $T_{i2} = \beta_2 x_i$ , 且  $\beta_2 > 1$ 。相反地, 它认为第四阶段报价将是第三阶段报价的回调, 因此会员将反向调整第三阶段的交易头寸以防止第四阶段报价的回调, 即  $\beta_3 < 0$ 。

当第一阶段客户向会员提出净卖出指令时 ( $x_i < 0$ ), 会员被迫持有多头头寸, 它根据已有的私有信息  $x_i < 0$ , 认为市场看跌外汇资产, 预期第三阶段报价将比第二阶段的报价低, 因此第二阶段将向其他会员卖出外汇以弥补第一阶段的多头, 甚至多卖出部分投机头寸  $D_{i2}$  以期待第三阶段报价带来的收益, 即  $T_{i2} = \beta_2 x_i$ , 且  $\beta_2 > 1$ 。相反地, 它认为第四阶段报价将是第三阶段报价的回调, 因此会员将反向调整第三阶段的交易头寸以防止第四阶段报价的回调, 即  $\beta_3 < 0$ 。

命题 1 至命题 3 表明: 尽管会员在不同阶段采取的交易策略不同, 交易行为具有保密性以及市场不具有完全透明度, 但在精炼贝叶斯均衡下, 其他市场参与者仍能从均衡解中, 找出该会员的报价和交易规则, 并预期其下一步的行动。同样, 中央银行也可以根据会员的均衡报价和交易决策来制定干预政策。

上述命题从模型上刻画了人民币汇率日内形成机制。在中国, 会员 (也称外汇指定银行) 必须严格按照外汇管理规定或凭外汇管理部门的核准件为企业客户办理结售汇业务, 并按照规定参与银行间外汇市场活动。会员在银行间外汇市场上几乎只从事结售汇周转头寸买卖, 活动内容较为单一, 大量的外汇交易仍集中在零售市场。在模型上表现为: 由于我国尚未实现资本项目可自由兑换, 对企业客户经常项目下的购汇仍需进行真实性审核, 并实行强制结售汇制度, 从而零售市场上所有会员收到的净头寸加总  $X_i = \sum_{i=1}^n x_i$ , 即流动性需求者资产组合的总头寸变动 (portfolio shifts) 较大。会员收到的存货头寸  $x_i$  也相应较大, 但由于最高持汇规模的限制, 会员最终会将大部分的结售汇头寸转移给央行; 相反, 会员的业务结构较为单一, 投机动机不强, 从而投机头寸  $D_{i2}$  也较小。

#### (四) 日内央行干预策略

命题 4 中央银行为了维护日内涨跌幅限制下市场有充分的流动性，必须被动地进行反向操作，即  $I_3$  由系统内生。

一方面，人民币实行的是“有管理的浮动汇率制”，它的本质是“可调整的钉住制” (adjustable peg)，中央银行对汇率的调整十分谨慎，基本上是重“钉住”轻“调整”，人民币汇率实际运行特征是固定汇率制。

另一方面，我国外汇市场制度安排人民币对美元汇率每日最高波幅为 0.5%，波幅限制相当严格，只要稍微有风吹草动（表现在流动性需求者的总

头寸变动  $X = \sum_{i=1}^n x_i$  可能出现大幅度变化），事前均衡价格就会超出涨跌幅限制，这里的事前均衡价格是指纯粹的市场均衡价格，即流动性需求者与供给者出价使市场出清的稳定点。但由于涨跌幅限制，会员的报价无法超越涨跌幅，此时市场出现有价无市的情况，流动性急剧下降。中央银行为了维护涨跌幅限制下市场有充分的流动性，必须入市反向操作。

如图 2 所示，横轴代表外汇交易量，纵轴代表汇率价格，A 点为前一个交易日的汇率价格  $EX$  和外汇交易量  $Q$  的事后均衡点。 $EX_1$  和  $EX_2$  分别是汇率的日波幅上限和下限。假设当日的需求曲线发生移动，新的均衡点 B 对应的汇率价格将超过汇率上限  $EX_1$ ，根据市场制度，买卖双方必须在  $EX_1$  下方交易，但由于  $EX_1$  不是卖方的理想价格水平，外汇供给几乎为零，使得市场流动性急剧下降。此时，央行必须被动参与交易，卖出外汇，将供给曲线右移至合适的位置，使得新的均衡点处在  $EX_1$  与  $EX_2$  之间，如 C 点。同样地，当供给线发生移动时（例如供给增加），新的均衡点 B 对应的汇率价格将超过汇率上限  $EX_1$ ，此时，央行必须被动参与交易，买入外汇，将需求曲线右移至合适的位置，使得新的均衡点处在  $EX_1$  与  $EX_2$  之间。

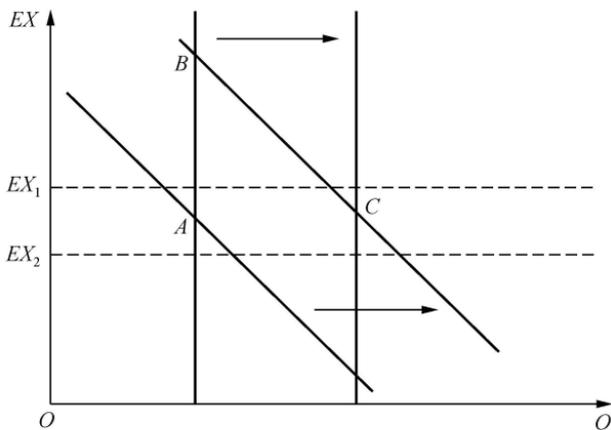


图 2 涨跌幅限制的均衡分析

央行使市场均衡的日常干预量为：

$$E(I_3 | \Omega_3) = \left( \frac{(1+r)n}{an - \bar{\gamma}\sigma_R^2} \right) P_3 + \left( \frac{an(h_{t-1} - X)}{an - \bar{\gamma}\sigma_R^2} \right) - \left( \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2}{\beta_2(an - \bar{\gamma}\sigma_R^2)} \right) (Z_2 - E(\varepsilon | \Omega_3)). \quad (18)$$

由于中央银行负有使  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$  稳定在涨跌幅限制内以及维护市场流动性充足的责任, 假设日内报价与上一天接近 (或者非常小的波幅), (18) 式意味着中央银行的干预量  $I_3$  由系统内生给定, 依赖于经济变量  $X$ ,  $Z_2$  以及变参数  $\beta_2$ ,  $\sigma_x^2(f)$ ,  $\varepsilon$  等, 其影响因素包括: 会员日内报价策略、会员第二阶段的交易策略、流动性需求者头寸的变动, 流动性供给者的上一期头寸以及市场透明度。在我国, 由于日内报价波动幅度限制在极小的范围内 (如  $\pm 0.5\%$ ), 以及会员最高持汇规模的限制, 央行与流动性供给者共同承担流动性需求者总头寸的变动。但由于我国对境内居民持汇限制较严, 流动性供给者的供给能力不足, 央行被迫承担流动性需求者总头寸变动的绝大部分。

从我国实际执行情况看, 央行干预已成为银行间外汇市场交易的重要部分, 控制了较大比例的外汇买卖, 左右了市场供求的基本格局。央行外汇干预的金额和数量直接影响到银行间外汇市场基准汇率的形成。就具体干预机制而言, 我国近年来主要采用冲销干预, 而且一般是事先钉住汇率 (如日内报价与上一天十分接近), 放开干预数量限制, 而不是事先固定干预数量, 让汇率波动。这个事实在模型中得到充分体现, 即中央银行的干预规模  $I_3$  由系统内生给定, 依赖于经济变量  $X$ ,  $Z_2$  以及变参数  $\beta_2$ ,  $\sigma_x^2(f)$ , 央行被动填补银行间外汇市场的供求缺口, 通过干预来出清市场。在干预时间方面, 央行必须不间断地频繁干预, 通过持续性干预来维持人民币汇率的稳定, 相比之下, 发达国家的外汇市场干预频率较小 (Chiu, 2003)。

## 六、结论及建议

本文在详细分析人民币外汇市场制度特征的基础上, 构建了一个有央行干预的人民币汇率决定的市场微观结构模型。通过对模型求解, 得出四个相关命题, 它们决定了人民币汇率价格的形成。根据这些命题, 我们给出如下结论:

(1) 在日内人民币汇率决定机制中, 存在均衡的日内会员报价策略。每阶段所有会员提出的报价是一致的, 即共同报价 (common quote)。前三个交易阶段的报价相同, 是第四阶段报价无偏估计与风险溢酬之和。第四阶段的均衡收盘价是流动性供给者外汇资产风险头寸的线性函数。这与人民币外汇市场的运行相符: 外汇市场开盘阶段, 银行报价的变化较为平稳, 市场的供求

双方通过指令流决定了报价的变化方向和程度；盘中阶段的银行间外汇市场上的价格变化较为明显，价格变化与市场预期同方向；相对于盘中阶段的报价，第四阶段的收盘价是价格的回调过程。

(2) 在日内人民币汇率决定机制中，存在均衡的日内会员交易策略。在第二交易阶段，会员必须在银行间交易市场交易以弥补第一阶段的头寸变化，甚至持有部分投机头寸以期待第三阶段报价带来的收益。在第三交易阶段，会员将反向调整头寸以防止第四阶段报价的回调。尽管会员在不同阶段采取的交易策略不同，并且其交易行为具有保密性，但在精炼贝叶斯均衡下，其他市场参与者仍然可以从均衡解中找出该会员的报价和交易规则，并预期其下一步的行动。同样，中央银行也可以根据会员的均衡报价和交易决策来制定相应的干预政策。

(3) 流动性需求者头寸变动的信息进入会员的私有信息集后，通过会员的交易行为被揭示出来。会员充当流动性的中介者 (liquidity intermedia)，第一阶段流动性需求者的总头寸变动将最终转嫁给流动性供给者 (特别是中央银行)，汇率价格最终是由流动性需求者和供给者 (特别是中央银行) 决定。会员的风险溢酬项与市场透明度指标的条件期望呈正相关关系，市场透明度较差时，会员更容易获得高的风险溢酬，但外汇资产的日内价格  $P_2$  和  $P_3$  更容易偏离资产价值，即减缓指令流信息融入价格的速度。

(4) 中央银行的干预量由系统内生决定，其影响因素包括：会员日内报价策略、会员第二阶段的交易策略、流动性需求者头寸的变动，流动性供给者的上一期头寸以及市场透明度。在我国，由于日内报价波动幅度限制在极小的范围内 (如美元兑人民币汇率日波幅  $\pm 0.5\%$ )，以及会员最高持汇规模的限制，央行与流动性供给者共同承担流动性需求者总头寸的变动。但由于我国对境内居民持汇限制较严，流动性供给者的供给能力不足，央行被迫承担流动性需求者总头寸变动的绝大部分。

本文从市场微观结构角度，为市场参与者以及监管当局初步打开了人民币汇率形成的“黑匣子”。我国外汇监管当局可以参考本文所建立的微观结构模型，完善目前的人民币汇率形成机制。例如：(1) 在日内的银行会员报价和交易方面，放松涨跌幅限制和最高持汇规模限制，能够一方面使得银行会员在交易和持有外汇资产方面具有更大的主动性和灵活性，加强银行会员的自主定价能力；另一方面使得银行会员不仅仅只是充当流动性中介，而是更大作用地发挥做市商功能，发现价格和维护市场流动性。(2) 我国央行干预的内生性问题导致了巨大的干预成本和风险。根据本文对影响央行干预量的因素分析，要解决长期积累的根本性失衡问题，增强央行干预的主动性和降低干预成本，需要从以下两方面入手：第一，应该对资本流入和流出实行平衡管理，化解资本持续内流的压力。现行的资本跨境流动管理“轻流入，重流出”，即对资本流入管制较松，对资本流出管制较严，这是一种不对称的管理

模式。资本的持续流入导致央行被迫大量买入外汇,集中承担大量汇率风险,也导致大量热钱流入,投机人民币升值。我国应尽快摆脱对冲销干预的依赖,及时调整资本跨境流动管理政策,既要规范资本流入的管理,也要疏通资本流出的渠道。第二,推行“藏汇于民”的战略,通过扩大银行会员的最高持汇规模、放松日内汇率的波动幅度以及提高意愿结售汇率程度等手段,让民间能够吸纳部分的资本内流,从而加强流动性供给者的供给能力以及会员的持汇意愿,为央行分担更多的汇率风险。通过这两个途径,可以提高外汇流动性的供给能力,减轻央行的压力。(3)此外,要增强市场透明度,加强OTC交易方式的市场信息披露,使得信息更快、更准地融入价格,从而增强流动性供给者分担价格风险的意愿。

### 附录一(命题1的证明)

(一)根据报价规则R1—R3和交易规则R4—R6,所有会员进行不完全信息静态博弈,各个会员都可以观察到其他会员的报价,并在所提出的报价上愿意成交任意量的外汇资产,在第一、二、三阶段的贝叶斯均衡时,无套利原则要求所有的会员报价都应相同(或对称),称该报价为共同报价(common quote)。共同报价只能依赖于博弈各方共同观察到的公开信息(public information),前三阶段的公开信息为

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \{\{P_{i1}\}_{i=1}^n\}, \\ \Omega_2 &= \{\{P_{i1}, P_{i2}\}_{i=1}^n\}, \\ \Omega_3 &= \{\{P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}\}_{i=1}^n, Z_2\},\end{aligned}$$

从而共同报价  $P_1, P_2, P_3$  满足

$$\begin{cases} P_1 = P_{11} = P_{21} \cdots P_{n1} \cdots = P_{n1}, \\ P_2 = P_{12} = P_{22} \cdots P_{n2} \cdots = P_{n2}, \\ P_3 = P_{13} = P_{23} \cdots P_{n3} \cdots = P_{n3}. \end{cases}$$

(二)猜想会员效用函数的值函数为  $V_i = -\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_i - \phi h_i^2)$ , 其中  $W_i$  为当期财富,  $h_i$  为当期风险资产头寸(后面我们将证明该值函数成立)。以下证明报价策略  $P_{i1} = P_1 = E(P_2 | \Omega_1)$  是最优策略。

令  $\bar{P}_{i1} = P_1 \neq E(P_2 | \Omega_1)$ , 则期望效用函数  $E[U_i(\bar{P}_{i1})] = E[E[U_i(\bar{P}_{i1}) | \Omega_{i1}]]$  写成

$$\begin{aligned}E[-\alpha \exp(-\bar{\gamma}(\bar{P}_{i1} - P_2)x_i - \phi x_i^2)] \\ = E(E[-\alpha \exp(-\bar{\gamma}(\bar{P}_{i1} - P_2)x_i - \phi x_i^2) | \Omega_{i1}]),\end{aligned}\quad (A1)$$

令  $P_{i1} = P_1 = E(P_2 | \Omega_1)$ , 则期望效用函数  $E[U_i(P_{i1})] = E[E[U_i(P_{i1}) | \Omega_{i1}]]$  写成

$$\begin{aligned}E(E[-\alpha \exp(-\bar{\gamma}(E(P_2 | \Omega_1) - P_2)x_i - \phi x_i^2) | \Omega_{i1}]) \\ = E(E[-\alpha \exp(-\phi x_i^2) | \Omega_{i1}]).\end{aligned}\quad (A2)$$

因为  $x_i \sim N(0, \sigma_{xi}^2)$ ,  $E[\exp(x_i)] = \exp\left(\frac{1}{2}\sigma_{xi}^2\right)$ , 所以(A1)式比(A2)式多出来的  $-\bar{\gamma}(\bar{P}_{i1} - P_2)x_i$  项并未增加条件期望值,但增大了风险,从而(A1)式必然小于(A2)

式, 报价策略  $P_{i1} = P_1 = E(P_2 | \Omega_1)$  是序贯理性 (sequentially rational)。

(三) 以下证明  $P_{i2} = P_2 = E(P_3 | \Omega_2)$  成立。

对方程  $T_{i2} = D_{i2} + x_i + E[T'_{i2} | \Omega_{i2}]$  两边同取关于  $\Omega_2$  的条件期望并求和, 得

$$\sum_i^n E(T_{i2} | \Omega_2) = \sum_i^n E(D_{i2} | \Omega_2) + \sum_i^n E(x_i | \Omega_2) + \sum_i^n E[T'_{i2} | \Omega_2]. \quad (A3)$$

由于第二阶段仅仅是 (非央行) 会员之间的交易, 所有 (非央行) 会员流出的指令流总和与接收到的指令流总和应相等, 即  $\sum_i^n E(T_{i2} | \Omega_2) = \sum_i^n E[T'_{i2} | \Omega_2]$ , 从而

$$\sum_i^n E(D_{i2} | \Omega_2) + \sum_i^n E(x_i | \Omega_2) = 0. \quad (A4)$$

因为  $x_i \sim N(0, \sigma_{xi}^2)$ , 且  $\Omega_1 = \{\{P_{i1}\}_{i=1}^n\}$ 、 $\Omega_2 = \{\{P_{i1}, P_{i2}\}_{i=1}^n\}$ ,  $\Omega_2$  没有比  $\Omega_1$  增加任何可用于估计  $x_i$  的信息, 所以  $E(x_i | \Omega_2) = 0$ 。又因为导数  $D'_2 < 0$ , 从而  $E(D_{i2}(P_2) | \Omega_2) = 0 = E(D_{i2}(P_3) | \Omega_2)$  当且仅当  $P_2 = E(P_3 | \Omega_2)$ 。

(四) 由于  $\Omega_1 = \{\{P_{i1}\}_{i=1}^n\}$ 、 $\Omega_2 = \{\{P_{i1}, P_{i2}\}_{i=1}^n\}$ 、 $\Omega_3 = \{\{P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}\}_{i=1}^n, Z_2\}$ ,  $\Omega_3$  比  $\Omega_2$  和  $\Omega_1$  增加了可用于估计  $x_i$  的信息  $Z_2$ , 因此我们猜想  $P_3 = E\left(\frac{P_4}{1+r} | \Omega_3\right) + \lambda Z_2$  成立。

在第三阶段, 中央银行观察到  $Z_2$ , 为了维持或增强会员报价在涨跌幅范围内的市场流动性, 中央银行通过进入银行间市场进行反向操作, 从而影响会员的报价  $P_3$  稳定在涨跌幅范围内, 并且愿意成交。由于第三阶段是 (非央行) 会员以及央行之间的交易, 所以央行的头寸就是 (非央行) 会员流出的指令流总和与接收到的指令流总和之间的净值, 即

$$I_3 = \sum_{i=1}^n (T_{i3} - T'_{i3}) = \sum_{i=1}^n [D_{i3} + x_i + E(T'_{i3} | \Omega_{i3}) - T'_{i3}]. \quad (A5)$$

对 (A5) 两边同时取关于  $\Omega_3$  的条件期望, 得

$$\begin{aligned} E(I_3 | \Omega_3) &= \sum_{i=1}^n [E(D_{i3} | \Omega_3) + E(x_i | \Omega_3) + E(T'_{i3} | \Omega_3) - E(T'_{i3} | \Omega_3)] \\ &= \sum_{i=1}^n [E(D_{i3} | \Omega_3) + E(x_i | \Omega_3)]. \end{aligned} \quad (A6)$$

因为  $\Omega_3$  比  $\Omega_2$  和  $\Omega_1$  增加了可用于估计  $x_i$  的信息  $Z_2$ , 则  $E(x_i | \Omega_{i3}) \neq 0$ 。

市场透明度的性质要求, 尽管第二阶段末  $Z_2$  已实现 (被观测到), 但市场总净头寸的观测量  $\sum_i^n T_{i2}$  无法被精确观测到, 市场参与者任何阶段的信息集都无助于将  $Z_2 = \sum_i^n T_{i2} + \bar{\varepsilon}$  改善为  $\sum_i^n T_{i2}$ , 即  $E(\bar{\varepsilon} | \Omega_{i3}) \neq 0$ ,  $E(\bar{\varepsilon} | \Omega_3) \neq 0$ 。利用命题 3 (后面将证明) 以及会员同质而导致的对称性, 得

$$\begin{aligned} E(x_i | \Omega_3) &= E(x_i | Z_2) = E\left(x_i \mid \sum_i^n T_{i2} + \bar{\varepsilon}\right) \\ &= E\left(x_i \mid \sum_i^n \beta_2 x_i + \bar{\varepsilon}\right) = \frac{1}{n\beta_2} (Z_2 - E(\bar{\varepsilon} | \Omega_3)). \end{aligned} \quad (A7)$$

进一步, 利用 O'Hara (1995, pp. 156—158) 关于收益正态分布和负指数效用函数下的最优需求量的通用结论, 得到  $E(D_{i3} | \Omega_3) = \frac{E(P_4 + R_i - (1+r)P_3 | \Omega_3)}{\bar{\gamma}\sigma_R^2}$ 。又因为猜想  $P_3 = E\left(\frac{P_4}{1+r} | \Omega_3\right) + \lambda Z_2$  成立, 且  $R_i$  的分布独立于各阶段公共信息, 故

$$E(D_{i3} | \Omega_3) = -\frac{(1+r)\lambda Z_2}{\bar{\gamma}\sigma_R^2}. \quad (\text{A8})$$

将 (A7) 和 (A8) 式代入 (A6) 式, 解得

$$\frac{E(I_3 | \Omega_3)}{n} = \frac{1}{n\beta_2}(Z_2 - E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)) - \frac{(1+r)\lambda}{\bar{\gamma}\sigma_R^2} Z_2.$$

$$\text{可解得 } \lambda = \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2 \left(1 - \frac{E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)}{Z_2} - \beta_2 \frac{E(I_3 | \Omega_3)}{Z_2}\right)}{(1+r)n\beta_2}.$$

当  $Z_2 < 0$  (会员第二阶段卖出外汇资产, 此时中央银行反向操作, 买入外汇资产, 即  $I_3 < 0$  且  $|I_3| < |Z_2|$ ) 时, 意味着第一阶段客户卖出资产, 而会员被迫持有多头, 会员在第二阶段会卖出资产以对冲多头。由于会员不持有隔夜风险, 流动性供给者最终承担流动性需求者卖出的资产, 这意味着第四阶段会员将多余资产卖给流动性供给者, 则要求会员在第三阶段持有多头。为鼓励会员在第三阶段持有多头, 应有  $[P_4 - (1+r)P_3] = -(1+r)\lambda Z_2 > 0$  的风险溢酬, 此时要求  $\lambda > 0$ 。

当  $Z_2 > 0$  (会员第二阶段买入外汇资产, 此时中央银行反向操作, 卖出外汇资产, 即  $I_3 > 0$  且  $|I_3| < |Z_2|$ ) 时, 意味着第一阶段客户买入资产, 而会员被迫持有空头, 会员在第二阶段会买入资产以对冲空头。由于会员不持有隔夜风险, 流动性供给者最终承担流动性需求者买入的资产, 这意味着第四阶段会员将向流动性供给者购买外汇资产, 则要求会员在第三阶段持有空头。为鼓励会员在第三阶段持有空头, 应有  $[P_4 - (1+r)P_3] = -(1+r)\lambda Z_2$

$< 0$  的风险溢酬, 此时要求  $\lambda > 0$ 。另外, 由于  $\lambda = \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2 \left(1 - \frac{E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)}{Z_2} - \beta_2 \frac{E(I_3 | \Omega_3)}{Z_2}\right)}{(1+r)n\beta_2} > 0$ , 所

$$\text{以有 } \beta_2 < \frac{Z_2 - E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)}{E(I_3 | \Omega_3)}.$$

## 附录二 (命题 2 的证明)

会员不持有隔夜风险, 它们必须将当天持有的净头寸转移给流动性供给者。假设流动性供给者有  $m$  个, 且  $m \gg n$ , 尽管单个流动性供给者和单个会员拥有同样的风险厌恶系数, 但所有的流动性供给者的总风险承受能力远远强于会员 (因为  $m \gg n$ )。因此, 只要有合适的价格, 流动性供给者总愿意承担风险。可见第四阶段博弈的主导权掌握在流动性供给者手里, 他们根据已有信息估计愿意接受的价格, 会员为转移隔夜风险头寸, 只能按照流动性供给者的意愿价格报价。第四阶段的流动性供给者是在最优化效用函数基础上持有最优头寸, 它区别于第一阶段流动性需求者的随机交易。

流动性供给者的目标是优化跨期消费函数, 假设客户的效用函数是跨期负指数消费效用函数:

$$U_t = \sum_{\tau=t}^{\infty} -\delta^{-\tau} \exp(-\gamma c_{\tau}), \quad (\text{A9})$$

其中,  $c_t$  是第  $t$  期消费,  $\gamma$  是绝对风险厌恶系数,  $\delta$  是折现率(为方便起见, 令  $\delta = \frac{1}{1+r}$ )。

第四阶段末期, 会员的净头寸为零, 流动性需求者的总头寸变动都被中央银行和流动性供给者吸收。市场出清条件是:

$$d_4 + X + I_3 = 0. \quad (\text{A10})$$

令第  $t-1$  天的流动性供给者总头寸为  $h_{t-1}$ , 第  $t$  天的流动性供给者总头寸为:

$$h_t = h_{t-1} + d_4. \quad (\text{A11})$$

参考理性预期均衡模型 (Grossman and Stiglitz, 1980; O'Hara, 1995) 的建模思路, 首先假定流动性供给者的定价规则是线性函数  $P_4 = -ah_t$ , 并猜想值函数为  $V_t = -\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_t - \phi h_t^2)$ , 我们通过最优化流动性供给者的跨期负指数消费效用函数求出参数  $\alpha$ ,  $\bar{\gamma}$ ,  $\phi$ ,  $a$  的解析解, 并进一步证明  $P_4$  的解析式可简化为  $-ah_t$ 。

首先写出 Bellman 方程:

$$\begin{aligned} V_t &= \text{MAX}_{\{c_t, D_t\}} - \exp(-\gamma c_t) - \delta E_t[\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_{t+1} - \phi h_{t+1}^2)], \\ \text{s. t. } W_{t+1} &= (1+r)(W_t - c_t) + d_t[P_{t+1} + R_{t+1} - (1+r)P_t], \end{aligned} \quad (\text{A12})$$

其中,  $d_t$  表示流动性供给者当天增加的外汇资产头寸, 即市场出清条件的  $d_4$ 。

Bellman 方程 (A12) 对  $c_t$  的一阶导 FOC:

$$\gamma \exp(-\gamma c_t) = \delta \bar{\gamma} (1+r) E_t[\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_{t+1} - \phi h_{t+1}^2)]. \quad (\text{A13})$$

利用  $x_i \sim N(0, \sigma_x^2)$ ,  $R_i \sim N(0, \sigma_R^2)$ ,  $E[\exp(x_i)] = \exp(\frac{1}{2}\sigma_x^2)$ ,  $E[\exp(R_i)] = \exp(\frac{1}{2}\sigma_R^2)$ ,  $P_t = -ah_t$ ,  $P_{t+1} = -ah_{t+1}$ ,  $h_t = h_{t-1} + d_t$  等已知关系式, 将  $E_t[\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_{t+1} - \phi h_{t+1}^2)]$  展开, 得

$$\begin{aligned} E_t[\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_{t+1} - \phi h_{t+1}^2)] &= -(\sqrt{1+2n\sigma_x^2}\phi) \exp\left[-\bar{\gamma}(1+r)(W_t - c_t)\right. \\ &\quad \left. + \frac{\left(a\bar{\gamma}d_t + \frac{h_t}{n\sigma_x^2}\right)^2}{4\phi + \frac{2}{n\sigma_x^2}} + \left(\frac{\bar{\gamma}d_t^2\sigma_R^2}{2}\right) - (1+r)a\bar{\gamma}d_t h_t - \left(\frac{h_t^2}{2n\sigma_x^2}\right)\right]. \end{aligned}$$

Bellman 方程 (A12) 可重新表达为:

$$\begin{aligned} -\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_t - \phi h_t^2)_t &= -\exp(-\gamma c_t^*) - \delta E_t[\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_{t+1} - \phi h_{t+1}^2)], \\ \alpha \exp(-\bar{\gamma}W_t - \phi h_t^2)_t &= \left(\frac{\delta \bar{\gamma} (1+r)}{\gamma} + \delta\right) E_t[\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_{t+1} - \phi h_{t+1}^2)], \end{aligned}$$

$$\alpha \exp(-\bar{\gamma}W_t - \psi h_t^2)_t = \left( \frac{\delta \bar{\gamma}(1+r)}{\gamma} + \delta \right) \times \left\{ -(\sqrt{1+2n\sigma_x^2\psi}) \exp \left[ -\bar{\gamma}(1+r)(W_t - c_t) \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\left( a\bar{\gamma}d_t + \frac{h_t}{n\sigma_x^2} \right)^2}{4\psi + \frac{2}{n\sigma_x^2}} + \dots + \left( \frac{\bar{\gamma}d_t^2\sigma_R^2}{2} \right) - (1+r)a\bar{\gamma}d_t h_t - \left( \frac{h_t^2}{2n\sigma_x^2} \right) \right] \right\}$$

整理方程右边, 使其与左边的项对齐, 得

$$\bar{\gamma} = \left( \frac{r}{1+r} \right) \gamma, \quad (A14)$$

$$\psi = \frac{1}{2n\sigma_x^2} + a(1+r)\bar{\gamma} - \left[ \frac{\left( a\bar{\gamma} + \frac{1}{n\sigma_x^2} \right) [(1+r)a - \sigma_R^2\bar{\gamma}]}{2a} \right] - \left( \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2}{2} \right), \quad (A15)$$

$$\alpha = \left( \frac{\bar{\gamma}}{\gamma} \alpha \sqrt{1+2n\sigma_x^2\psi} \right)^{\frac{1}{1+r}} + \left( \frac{\bar{\gamma}}{\gamma} \alpha \sqrt{1+2n\sigma_x^2\psi} \right)^{\frac{r}{1+r}} \left( \frac{\alpha}{1+r} \sqrt{1+2n\sigma_x^2\psi} \right). \quad (A16)$$

很容易证明, 当  $\gamma$  (风险厌恶系数) 足够小时,  $\bar{\gamma}$ ,  $\psi$ ,  $\alpha$  有正解。

Bellman 方程 (A12) 对  $d_t$  的一阶导数 FOC:

$$d_t = \left[ \frac{a(1+r) - \left( \frac{a}{n\sigma_x^2} \right) \left( 2\psi + \frac{1}{n\sigma_x^2} \right)^{-1}}{\sigma_R^2\bar{\gamma} + a^2\bar{\gamma} \left( 2\psi + \frac{1}{n\sigma_x^2} \right)^{-1}} \right] h_t. \quad (A17)$$

假设流动性供给者有  $m$  个, 市场出清条件为  $md_t = h_t$ , 即

$$1 = \left[ \frac{a(1+r) - \left( \frac{a}{n\sigma_x^2} \right) \left( 2\psi + \frac{1}{n\sigma_x^2} \right)^{-1}}{\sigma_R^2\bar{\gamma} + a^2\bar{\gamma} \left( 2\psi + \frac{1}{n\sigma_x^2} \right)^{-1}} \right] m. \quad (A18)$$

从而  $a^2\bar{\gamma} - ma \left( \frac{r}{n\sigma_x^2} + 2\psi + 2r\psi \right) + \left( \frac{1}{n\sigma_x^2} + 2\psi \right) \bar{\gamma}\sigma_R^2 = 0$ , 容易证明  $a$  有正解。

根据理性预期均衡模型 (Grossman and Stiglitz, 1980; O'Hara, 1995) 给出的存在性命题, 指数形式的值函数  $V_t = -a \exp(-\bar{\gamma}W_t - \psi h_t^2)$  以及随机变量服从正态分布的假设, 能够保证线性定价函数  $P_t = -ah_t$  成立。

### 附录三 (命题 3 的证明)

由于会员不持有隔夜风险的头寸, 只是面临当天的交易风险, 因此当天的报价和交易策略的最优解就是整个生命周期的跨期优化问题的最优解。假设日内效用函数是负指数财富效用函数:

$$\begin{aligned} & \text{MAX}_{(P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, P_{i4}, D_{i2}, D_{i3})} E[-\exp(-\bar{\gamma}W_{i4}) | \Omega_{i1}], \\ \text{s. t. } & W_{i4} = (W_{i0} + x_i P_{i1} + T'_{i2} P_{i2} + T'_{i3} P_{i3} - T_{i2} P'_{i2} - T_{i3} P'_{i3})(1+r) \\ & + (-x_i - T'_{i2} + T_{i2} - T'_{i3} + T_{i3})(P'_{i4} + R_t). \end{aligned} \quad (A19)$$

由于第四阶段的报价主要取决于流动性供给者的决策，会员在博弈过程中并不掌握主动权，因此会员日内优化问题实际上是关于投机头寸  $D_{i2}$ ， $D_{i3}$  的两阶段动态规划问题。

(一) 先考虑第三阶段：公共信息集  $\Omega_3 = \{ \{ P_{i1}, P_{i2}, P_{i3} \}_{i=1}^n, Z_2 \}$ ，再次利用 O'Hara (1995, pp. 156—158) 关于收益正态分布和负指数效用函数下的需求量的通用结论，得

$$E(D_{i3} | \Omega_3) = \frac{E(P_4 + R_t - (1+r)P_3 | \Omega_3)}{\bar{\gamma}\sigma_R^2} = \frac{E(P_4 - (1+r)P_3 | \Omega_3)}{\bar{\gamma}\sigma_R^2}. \quad (\text{A20})$$

由命题 1、命题 2 以及市场出清条件可知：

$$\begin{aligned} P_3 &= E\left(\frac{P_4}{1+r} | \Omega_3\right) + \lambda Z_2 \\ &= E\left(\frac{-a[h_{t-1} - X - I_3]}{1+r} | \Omega_3\right) + \lambda Z_2 \\ &= \frac{-a\left[h_{t-1} - \frac{Z_2 - E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)}{\beta_2} - E(I_3 | \Omega_3)\right]}{1+r} + \lambda Z_2, \end{aligned} \quad (\text{A21})$$

$$P_4 = -a\left[h_{t-1} - x_i - \frac{Z_2 - E(\bar{\epsilon} | \Omega_3) - T_2 - I_3}{\beta_2}\right]. \quad (\text{A22})$$

从而，有

$$P_4 - (1+r)P_3 = a\left[x_i - \frac{T_2}{\beta_2} + I_3 - E(I_3 | \Omega_3)\right] - (1+r)\lambda Z_2. \quad (\text{A23})$$

则

$$E(D_{i3} | \Omega_3) = \frac{E(P_4 - (1+r)P_3 | \Omega_{i3})}{\bar{\gamma}\sigma_R^2} = \frac{\left[a\left(x_i - \frac{T_2}{\beta_2}\right) - (1+r)\lambda Z_2\right]}{\bar{\gamma}\sigma_R^2}. \quad (\text{A24})$$

(二) 考虑第二阶段：忽略与  $D_{i2}$  无关的项，我们将会员的优化问题 (A19) 简写为：

$$\begin{aligned} \text{MAX}_{(D_{i2})} E[-\exp(-\bar{\gamma}(1+r)(D_{i2} - T'_{i2})(P_3 - P_2) \\ - (P_4 - (1+r)P_3)\sigma_R^{-2}(P_4 + R_t - (1+r)P_3)) | \Omega_{i2}]. \end{aligned}$$

利用服从正态分布的随机变量  $R_t$  矩生成函数，上式的最后一项

$$\begin{aligned} &E[-\exp(-(P_4 - (1+r)P_3)\sigma_R^{-2}(P_4 + R_t - (1+r)P_3)) | \Omega_{i2}] \\ &= E[-\exp(-(P_4 - (1+r)P_3)^2\sigma_R^{-2} - (P_4 - (1+r)P_3)\sigma_R^{-2}R_t) | \Omega_{i2}] \\ &= E\left[-\exp\left(- (P_4 - (1+r)P_3)^2\sigma_R^{-2} + (P_4 - (1+r)P_3)^2 \frac{1}{2}\sigma_R^{-2}\right) | \Omega_{i2}\right] \\ &= E\left[-\exp\left(-\frac{(P_4 - (1+r)P_3)^2}{2\sigma_R^2}\right) | \Omega_{i2}\right]. \end{aligned}$$

从而优化问题重写为：

$$\text{Max}_{(D_{i2})} E \left[ -\exp \left( -\bar{\gamma}(1+r)(D_{i2} - T'_{i2})(P_3 - P_2) - \frac{(P_4 - (1+r)P_3)^2}{2\sigma_R^2} \right) \mid \Omega_{i2} \right].$$

上述优化问题的目标函数依赖于随机变量  $P_3$ , 下一步考虑将  $(P_3 - P_2)$  和  $T'_{i2}$  转换为关于随机变量  $Z_2$  的函数。

由命题 1、命题 2 以及市场出清条件可知:

$$P_3 = E \left( \frac{P_4}{1+r} \mid \Omega_3 \right) + \lambda Z_2 = -\frac{a \left[ h_{r-1} - \frac{Z_2}{\beta_2} - E(I_3 \mid \Omega_3) \right]}{1+r} + \lambda Z_2, \quad (\text{A25})$$

$$P_2 = E(P_3 \mid \Omega_2) = -\frac{a(h_{r-1} - E(I_3 \mid \Omega_2))}{1+r}. \quad (\text{A26})$$

从而, 有

$$\begin{aligned} P_3 - P_2 &= \left[ \frac{a}{(1+r)\beta_2} + \lambda \right] Z_2 + \frac{a}{1+r} [E(I_3 \mid \Omega_3) - E(I_3 \mid \Omega_2)] \\ &= \left[ \frac{a}{(1+r)\beta_2} + \lambda \right] Z_2. \end{aligned} \quad (\text{A27})$$

由会员同质性导致的对称性以及交易规则 (R6) 可知, 第二阶段银行间外汇市场可观测的净头寸  $Z_2$  可以分解成三部分, 即  $Z_2 = T_{i2} + (n-1)T'_{i2} + \varepsilon$ , 从而

$$T'_{i2} = \frac{\sum_{j \neq i}^n \beta_2 x_j}{n-1} = \frac{Z_2 - \varepsilon - T_{i2}}{n-1}. \quad (\text{A28})$$

将 (A27) 和 (A28) 代入优化的目标函数, 并利用正态分布的积分公式, 将目标函数转化为关于  $Z_2$  的积分形式:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ -\exp \left( -\bar{\gamma}(1+r) \left( D_{i2} - \frac{Z_2 - \varepsilon - T_{i2}}{n-1} \right) \left[ \frac{a}{(1+r)\beta_2} + \lambda \right] Z_2 - \dots \right. \right. \\ \left. \left. - \left[ \frac{a \left[ x_i - \frac{T_{i2}}{\beta_2} - (1+r)\lambda Z_2 \right]}{\sqrt{2}\sigma_R} \right]^2 - \left[ \frac{[Z_2 - T_{i2}]^2}{2(n-1)\beta_2^2\sigma_x^2} \right] \right) \right] dZ_2. \end{aligned} \quad (\text{A29})$$

再将  $T_{i2} = \beta_2 x_i = D_{i2} + x_i$ ,  $\lambda = \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2 \left( 1 - \beta_2 \frac{E(I_3 \mid \Omega_3)}{Z_2} \right)}{(1+r)n\beta_2}$  代入 (A29) 式, 合并同类项, 并忽略与  $D_{i2}$ 、 $Z_2$  无关的项。采用 Kim and Verrecchia (1991, pp. 317—319) 的解法, (A29) 的优化问题简写为:

$$\text{Max}_{D_{i2}} \frac{B^2 - 4AC}{4A}, \quad (\text{A30})$$

其中,

$$A = \frac{\bar{\gamma}}{n-1} \left( \frac{a}{\beta_2} + \lambda(1+r) \right) - \left( \frac{\lambda(1+r)}{\sqrt{2}\sigma_R} \right)^2 - \left( \frac{1}{2(n-1)\beta_2^2\sigma_x^2} \right),$$

$$\begin{aligned}
 B &= -\bar{\gamma} \left( \frac{a}{\beta_2} + \lambda(1+r) \right) \left( D_{i2} + \frac{D_{i2} + x_i}{n-1} \right) + \left( \frac{D_{i2} + x_i}{(n-1)\beta_2^2\sigma_x^2} \right) \\
 &\quad + \left( \frac{a}{\sigma_R^2} \lambda(1+r) \right) \left( x_i - \frac{D_{i2} + x_i}{\beta_2} \right), \\
 C &= -\frac{a}{2\sigma_R^2} \left( x_i - \frac{D_{i2} + x_i}{\beta_2} \right)^2 - \left( \frac{(D_{i2} + x_i)^2}{2(n-1)\beta_2^2\sigma_x^2} \right).
 \end{aligned}$$

可以发现，原优化问题转化成为一个二次优化问题 (A30)。假设  $A$  是负数 (后面将证明)，求得 (A30) 式关于  $D_{i2}$  的一阶导数：

$$2B \frac{\partial B}{\partial D_{i2}} - 4A \frac{\partial C}{\partial D_{i2}} = 0. \quad (\text{A31})$$

代入  $D_{i2}$  和  $\lambda$  的详细表达式，(A31) 可详细写为：

$$\begin{aligned}
 &\left( -\bar{\gamma} \left[ a + \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2 K}{n} \right] [n\beta_2 - n + 1] + \frac{1}{\sigma_x^2} \right) \left( \bar{\gamma} \left[ a + \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2 K}{n} \right] n\beta_2 + \frac{1}{\sigma_x^2} - \frac{(n-1)a\bar{\gamma}K}{n} \right) \\
 &\quad - \left( \frac{2A(n-1)\beta_2^2}{\sigma_x^2} \right) = 0,
 \end{aligned}$$

$$\text{其中, } A = \frac{\bar{\gamma}}{n-1} \left( \frac{a}{\beta_2} + \lambda(1+r) \right) - \left( \frac{(1+r)\lambda}{\sqrt{2}\sigma_R} \right)^2 - \left( \frac{1}{2(n-1)\beta_2^2\sigma_x^2} \right),$$

$$K = \left( 1 - \frac{E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)}{Z_2} - \beta_2 \frac{E(I_3 | \Omega_3)}{Z_2} \right) > 0,$$

当  $n \rightarrow \infty$ ,  $a \rightarrow 0$  时，上式简化为：

$$\bar{\gamma}\sigma_R^2 K (\beta_2 - 1) \left( \bar{\gamma}\sigma_R^2 K \beta_2 + \frac{1}{\sigma_x^2} \right) - \frac{1}{\sigma_x^4} = 0. \quad (\text{A32})$$

由于  $\bar{\gamma} > 0$ ,  $\sigma_R^2 > 0$ ,  $\sigma_x^2 > 0$ , 且  $0 < K < 1$ , 当  $n \rightarrow \infty$ ,  $a \rightarrow 0$  时,  $\beta_2$  必然在区间  $\left( 1, \frac{Z_2 - E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)}{E(I_3 | \Omega_3)} \right)$  存在一个解。由于 (A32) 中的  $\beta_2$  是关于  $n$  和  $a$  的连续函数, 当  $n$  取较大数值时,  $\beta_2$  在区间  $\left( 1, \frac{Z_2 - E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)}{E(I_3 | \Omega_3)} \right)$  内存在唯一解。进一步, 容易验证当  $n$  取较大数值时,  $A$  为负。

$T_{i3} = \beta_3 x_i$  的证明思路类似, 此处略。

#### 附录四 (命题 4 的证明)

由命题 1、命题 2 可知,

$$P_4 = -ah_t = -a(h_{t-1} + d_t) = -a(h_{t-1} - X - I_3), \quad (\text{A33})$$

$$P_3 = E\left( \frac{P_4}{1+r} \mid \Omega_3 \right) + \lambda Z_2$$

$$= \frac{-a(h_{t-1} - X - E(I_3 | \Omega_3))}{1+r} + \frac{\bar{\gamma}\sigma_R^2 \left( 1 - \frac{E(\bar{\epsilon} | \Omega_3)}{Z_2} - \beta_2 \frac{E(I_3 | \Omega_3)}{Z_2} \right)}{(1+r)n\beta_2} Z_2. \quad (\text{A34})$$

整理 (A34) 得,

$$E(I_3 | \Omega_3) = \left( \frac{(1+r)n}{an - \gamma\sigma_R^2} \right) P_3 + \left( \frac{an(h_{t-1} - X)}{an - \gamma\sigma_R^2} \right) - \left( \frac{\gamma\sigma_R^2}{\beta_2(an - \gamma\sigma_R^2)} \right) (Z_2 - E(\varepsilon | \Omega_3)).$$

(A35)

精炼贝叶斯均衡要求中央银行具有政策动态一致性, 从而有  $I_3 = E(I_3 | \Omega_3)$ 。

由于中央银行负有稳定  $P_1, P_2, P_3, P_4$  处在涨跌幅内以及维护市场流动性充足的责任, 假设日内报价与上一天相同 (或者非常小的波幅),  $P_{1t} = P_{1t-1}, P_{2t} = P_{2t-1}, P_{3t} = P_{3t-1}, P_{4t} = P_{4t-1}$ , (A33) 式意味着中央银行的干预量  $I_3$  由系统内生给定, 依赖于经济变量  $X, Z_2$  以及变参数  $\beta_2, \sigma_x^2(f), \varepsilon$  等。

## 参 考 文 献

- [1] Cao, H., M. Evans, and R. Lyons, "Inventory Information", *Journal of Business*, 2006, 79(1), 325—364.
- [2] Chiu, P., "Transparency versus Constructive Ambiguity in Foreign Exchange Intervention", BIS Working Papers, 2003, No. 144.
- [3] 丁剑平、曾芳琴, "指令流的再分解研究——外汇市场微观结构理论的新发展", 《国际金融研究》, 2005年第11期, 第48—54页。
- [4] Dominguez, K., "Central Bank Intervention and Exchange Rate Volatility", *Journal of International Money and Finance*, 1998, 17(1), 161—190.
- [5] Engel, C. and K. West, "Exchange Rates and Fundamentals", NBER Working Papers 10723, 2004a.
- [6] Engel, C. and K. West, "Accounting for Exchange Rate Variability in Present Value Models When the Discount Factor is Near One", *American Economic Review*, 2004b, 94(2), 118—125.
- [7] Evans, M., and R. Lyons, "The Price Impact of Currency Trades: Implication for Intervention", Working Paper, Berkley University, 2000.
- [8] Evans, M., and R. Lyons, "Time Varying Liquidity in Foreign Exchange", *Journal of Monetary Economics*, 2002a, 49(5), 1025—1051.
- [9] Evans, M., and R. Lyons, "Order Flow and Exchange Rate Dynamics", *Journal of Political Economy*, 2002b, 110(1), 170—180.
- [10] Evans, M., and R. Lyons, "Meese-Rogoff Redux: Micro-based exchange rate forecasting", *American Economic Review*, 2005, 95(2), 405—414.
- [11] Frankel, J., and A. Rose, "Empirical Research on Nominal Exchange Rates", in Grossman, G., and K. Rogoff (eds.) *Handbook of International Economics*, Amsterdam: Elsevier Science, 1995, 1689—1729.
- [12] Grossman, S., and J. Stiglitz, "On the Impossibility of Informational Efficient Markets", *American Economic Review*, 1980, 70(3), 393—408.
- [13] 黄杰鲲, "电子指令驱动市场上的交易持续期与知情交易的相互关系研究", 《南方经济》, 2006年第1期, 第5—21页。
- [14] 姜波克、伍戈、唐建伟, "外汇市场的微观结构理论综述", 《国际金融研究》, 2002年第7期, 第19—24页。

- [15] Kim, O., and R. Verrecchia, "Trading Volume and Price Reactions to Public Announcements", *Journal of Accounting Research*, 1991, 29(2), 302—321.
- [16] Lyons, R., "Tests of Microstructural Hypotheses in the Foreign Exchange Market", *Journal of Financial Economics*. 1995, 39(2), 321—351.
- [17] Lyons, R., "Optimal Transparency in a Dealer Market with an Application to Foreign Exchange", *Journal of Financial Intermediation*, 1996, 5(3), 225—254.
- [18] Lyons, R., "A Simultaneous Trade Model of the Foreign Exchange Hot Potato", *Journal of International Economics*, 1997, 42(3), 275—298.
- [19] Lyons, R., *The Microstructure Approach to Exchange Rates*. Cambridge MA: MIT Press, 2001.
- [20] Meese, R., and K. Rogoff, "Empirical Exchange Rate Models of the Seventies", *Journal of International Economics*, 1983a, 14(1), 3—24.
- [21] Meese, R., and K. Rogoff, "The Out-of-sample Failure of Empirical Exchange Rate Models", in Frenkel, J. (ed.), *Exchange Rate and International Macroeconomics*. Chicago: University of Chicago Press. 1983b.
- [22] Naranjo A., and M. Nimalendran, "Government Intervention and Adverse Selection Costs in Foreign Exchange Markets", *Review of Financial Studies*, 2000, 13(2), 453—477.
- [23] O'Hara, M., *Market Microstructure Theory*. Cambridge, Mass: Basil Blackwell, 1995.
- [24] Scalia, A., "Is Foreign Exchange Intervention Effective? Some Micro-analytical Evidence from Central Europe", Working Papers. 2004.
- [25] Souza, C., "A Market Microstructure Analysis of FX Intervention in Canada", Working Papers, 2001.
- [26] 孙立坚, "外汇市场微观结构理论的原理及其前景", 《国际金融研究》, 2002 年第 11 期, 第 13—19 页。
- [27] Vitale, P., "Sterilized Central Bank Intervention in the Foreign Exchange Market", *Journal of International Economics*, 1999, 49(2), 245—267.
- [28] 周华, "汇率不确定性与 FDI", 《南方经济》, 2006 年第 10 期, 第 104—114 页。

## A Market Microstructure-Based Model of RMB Exchange Rate Determination

LANGNAN CHEN WEIBIN LIN

(Sun Yat-sen University)

YONGWEI OUYANG

(PICC, Xiamen Branch)

**Abstract** This paper develops a microstructure model of RMB exchange rate with central bank's intervention. The paper addresses how information flow and market participants'

behavior influence the pricing process of RMB exchange rate after the reform on July 21, 2005. It makes a tangible contribution for traders and regulators to understand the “black box” of the determination of RMB exchange rate.

**JEL Classification** C61, D40, F31