

一个估计外汇储备币种-资产组合的新框架 ——兼评中国外汇储备构成的动态演进

王 曜 谢睿航*

摘要: 现有文献仅估计了外汇储备的币种结构, 但从未探索其资产构成。本文首次构建国家外汇储备的币种-资产结构矩阵, 推导外汇储备动态演进方程, 并提出滚动平均回归方法, 实现对外汇储备币种-资产组合的良好估计。然后考虑美元、欧元、英镑与日元四个币种, 以及国债、股票与机构债三种资产, 估计了 2004—2019 年间中国外汇储备构成的动态演进。本文的新框架新方法, 有助于弥补当前学术短板, 评估国别金融风险以及优化国家外汇储备管理。

关键词: 外汇储备; 币种-资产组合; 滚动平均回归

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2024.03.19

一、引言

外汇储备管理是中央银行的重要职责 (Nugée, 2000)。在经济全球化的背景下, 央行管理外汇储备, 除了要满足国际清偿的基本需求, 还需确保在风险适宜的条件下实现储备的保值增值。外汇储备管理可分为规模管理与组合管理两方面: 前者指确定并维持与本国经济相适应的储备总规模, 后者指确定并调控各个时点的储备资产组合 (构成)^①。一般认为, 经经济体如果已经具有了较大的储备规模并足以应付国际清偿力冲击, 那么外汇储备的组合管理就是管理的第一要务 (Beck and Weber, 2011)。中国是世界第一储备大国, 这点尤为重要。

研究国家外汇储备组合, 还具有更为重要的意义。包括: ①可以评估各国外汇储备的安全性, 判断各国发生国际清偿力危机的可能性, 为本国对外贸易与投资提供风险依据; ②可评估国家储备结构的保值增值绩效并提出优化建议; ③通过分析全球各国外汇储备币种-资产组合的演进, 可了解整体国际金融体系的演变规律^②, 为本国货币的国际化战略提供支撑。

很明显, 准确估计国家外汇储备组合是实现以上研究意义的前提与基础。但现实

* 王曜, 中山大学岭南学院, 中山大学中国转型与开放经济研究所; 谢睿航, 中山大学岭南学院。通信作者及地址: 谢睿航, 广东省广州市海珠区新港西路 135 号中山大学伍舜德图书馆 502, 510275; 电话: (020) 84115551; E-mail: xierh8@mail2.sysu.edu.cn。感谢主编、三位匿名审稿人等对本研究提出的建设性意见。作者感谢国家自然科学基金重点项目 (72133006) 的资助。

① 组合是细分的量的分布, 结构是细分的量占总量份额的分布。本文第三部分将给出外汇储备组合与结构的具体概念与表达, 并说明二者是相通的。为行文方便起见, 除非有必要, 后文不再特别区分组合与结构。

② 在 2022 年爆发的俄乌冲突中, 西方对俄罗斯进行了全面激烈的金融制裁, 后者在此期间甚至透露持有一万亿美元“暗钱”, 这引发了各界对现行国际金融体系的深刻反思与忧虑。

中，各国一般不公开其外汇储备的具体组合，这给相关研究造成了阻碍。学术界至今未能给出估计国家外汇储备币种-资产组合的良好框架方法，这无疑是一个遗憾（Ryan, 2009; Dominguez et al., 2012）。首先，现有研究只是估计了国家外汇储备的币种组合，并未探讨币种-资产组合问题。其次，即便对于单一币种组合这一问题，现有研究也存在可改进和取舍之处，例如：仅将单一期限的国债收益率作为资产收益率的代理变量；实证方法或受限于维数诅咒，或受主观约束限制，各有利弊。

有鉴于此，本文创新研究思路尝试解决以上问题。首先是给出外汇储备币种-资产组合的明确表达：我们认识到外汇储备组合实际上是国家在多种储备货币与储备货币国多种资产两个维度上的交互结构，并就此构建了具有时变性与一般性特征的币种-资产结构矩阵。然后推导估计币种-资产组合的理论方程：基于外汇储备的动态流量变化方程式，在其中考虑各国汇率与各种资产收益的时间变化，得到新的动态演进方程。最后在实证方面，针对现有研究方法的不足，我们提出了滚动平均回归的解决方案，并论证了其优势。基于新框架新方法，我们以中国为例，估计了 2004 年 1 月至 2019 年 12 月中国外汇储备的币种-资产组合，简要探讨了其时间演化的特征，并得出了一系列新的结论。

相对既有文献，本文的主要创新为：①首次从币种与资产两个维度，使用矩阵来刻画国家外汇储备结构，且新矩阵具有一般性与时变性的特征；②推导出包含币种-资产结构的新外汇储备动态演进方程，其可作为实证估计的理论依据；③提出新的适宜的实证估计方法；④以中国为例的实证研究，得出系列新结论。本文提出的新框架新方法新应用，对于补足当前学术研究的短板，以及理解和优化国家外汇储备管理，均有重要贡献；对于评估国别国际金融风险，以及探析国际金融体系的演变，也具有重要启示。

后文安排如下：第二部分为文献评述；第三部分推导出用于估计国家外汇储备币种-资产结构的理论框架，并提出滚动平均回归方法；第四部分应用新框架估计中国外汇储备结构，并探讨其演进的时变特征；最后是总结。

二、研究评述

外汇储备是指为了应付国际支付的需要，由官方（通常是各国中央银行）集中掌握并可以随时兑换成外国货币的外汇资产。现实中，国家一般不公布其外汇储备资产的具体构成，因而只能进行学术估计。目前有两类估计方法：数据收集汇总法与数理模型估计法。

（一）基于数据收集的研究

碍于官方信息的匮乏，学者们共使用了三个数据来源进行汇总：①各国央行的报告（McCauley and Chan, 2014; Gopinath and Stein, 2021）；②美国财政部国际资本系统（Treasury International Capital System, TIC）公布的数据（Dooley et al., 1989; Eichengreen and Mathieson, 2000；张斌等，2010）；③国际货币基金组织公布的 COFER 报告（Ito et al., 2015）。

但以上工作存在重要不足。①央行报告。首先，相关数据仅是零散、片段与偶发地出现于央行文件之中，并不完整；其次，报告完全缺乏资产种类（如股票、债券等）的

信息；更重要的是，由于“自选择偏误”问题，央行报告数据的准确性受到质疑（Ito and McCauley, 2020）^①。②美国财政部国际资本系统（TIC）数据。首先，TIC 只提供存在于美国市场上的他国投资者资产存量数据；其次，该数据中同时包含国家官方储备与民间资本，无法进行区分。因此，Prasad and Wei (2007) 特别指出 TIC 报告并不是研究外汇储备结构的合适资料。③国际货币基金组织的 COFER 报告。首先，COFER 基于各国央行自愿上报再次汇总而成，同样无法避免前述的“自选择偏误”问题；其次，COFER 仅报告若干重要币种构成，并不提供其他货币以及资产种类的任何信息；最后，COFER 只披露“全球”“发达经济体”“新兴和发展中经济体”的外汇储备币种构成数据，极少针对单一国家。因此，其数据的全面性、可信性均有疑问（Shi and Nie, 2017；Ito and McCauley, 2020）^②。

由于存在上述难以克服的缺陷，开始有学者诉诸数理模型估计，其益处十分明显：首先，实证模型基于数理推导并可进行实证检验；其次，使用的均是客观的公开数据。

（二）基于数理模型的实证研究

目前仅有少数文献对中国外汇储备的币种结构进行了数理估计，对其他国家储备结构进行数理估计的研究尚未出现。其中，盛柳刚和赵洪岩（2007）首次使用数理估计方法估计中国外汇储备的币种结构，开创了该领域的先河。其假定中国外汇储备仅持有美元和欧元两种货币，结论是：2002 年始至 2006 年止，中国外汇储备约有 75% 为美元资产，约有 25% 为欧元资产。之后，Sheng (2013) 进一步考虑了英镑、日元、澳元在内的多个币种，并使用混合高斯状态空间模型估计了 2000 年至 2007 年中国外汇储备的币种结构，首次得到了中国外汇储备币种结构的动态过程：美元为最主要的储备资产，欧元、澳元和英镑占中国外汇储备的占比则分别从 5%、2.3%、2.6%，增至 20%、4.7%、3.5%，日元的份额则比较稳定。随后，Shi and Nie (2017) 进一步考虑了更多币种，并发现截至 2015 年第一季度，中国外汇储备中美元、欧元、日元、英镑、加拿大元、澳元和瑞士法郎资产，分别占 63.6%、19.6%、3.09%、4.89%、2.22%、2.03% 和 0.09%。

上述研究首次实现了对中国外汇储备币种结构的数理估计，还针对该问题提出了多种估计方法，其贡献无疑是值得肯定的。但笔者发现，受 IMF 修改《国际收支和国际投资头寸手册》（以下简称《手册》）及中国制度变迁等因素的影响，以上研究在目前存在一些不足和可取舍之处，主要集中在理论框架的设定及实证方法的选择上。

理论框架的设定方面，现有研究的理论模型可以概括如下：首先，在静态意义上任何时点某国的外汇储备资产均由若干货币资产构成；其次，在动态意义上外汇储备的演化主要由估值效应和储备净流量变化所驱动。从这两个条件出发，可得出用于估计各货币在外汇储备中份额的理论框架，即：

^① 大部分国家并不会完全公开其外汇储备的构成信息。反之，如果某些国家突然公开其外汇储备构成信息，则很可能有着“特殊目的”：如希望证明本国的国际清偿力良好，以防发生国际金融危机等。如此推断，某国家突然公布的信息，可能是有所夸大或误导的，这就存在自选择偏误问题。

^② 张斌等（2010）在研究中国外汇储备的名义收益率和实际收益率时，假设中国外汇储备的币种和资产组合与 TIC 系统和 COFER 报告所展现的相同。他们也承认其研究的一大缺陷是缺乏可信的中国外汇储备币种组合数据。

$$\frac{\Delta FR_t}{FR_{t-1}} = \sum_{i=1}^K share_{i,t-1} \left(r_{i,t-1} + \frac{\Delta ER_{i,t}}{ER_{i,t-1}} \right) + \frac{C_t}{FR_{t-1}} + \epsilon_t, \quad (1)$$

其中, FR_t 代表官方外汇储备总量; $share_{i,t-1}$ 代表 $t-1$ 期第 i 种货币的外汇储备占比, 是待估计变量; K 是回归所考虑的币种数量; $r_{i,t-1}$ 代表持有该币种的收益率; ER_t 代表汇率; C_t 代表外汇储备的净流量; ϵ_t 为扰动项。

总体上, 这个思路本身是没有疑问的, 但现有文献的不足体现在以下两方面: ①币种-资产问题。现有研究只考虑了外汇储备的币种结构, 并未考察特定币种下多种形式的资产。事实上, 投资者持有的海外资产种类是多元的, 所以考虑资产结构是十分必要的。就此, 表 1 展示了中国投资者持有的美元资产情况, 可以看出, 除国债以外, 机构债、股票也是重要资产。②对外汇储备净流量的处理。以往文献将外汇储备净流量 C_t 等同于国际收支顺差 BOP。主要依据是: 由于强制结售汇制, 民间不能持有外汇资产, 从而国际收支产生的经常账户和资本账户余额 (在经净误差与遗漏修正后) 应恰好等同于外汇储备净流量 (陈平和王曦, 2002)。在第五版《手册》标准下, 辅以中国的强制结售汇制, 这种处理是合理的。问题是, IMF 在 2013 年更新了第六版《手册》, 且我国也于 2008 年废除了强制结售汇制度。因此, 从理论框架的普适性考虑, 有必要针对 C_t 的设定进行修正, 使其能同时适应第五版和第六版《手册》, 且不受制度变迁的影响。

表 1 中国投资者持有美元资产的种类及其规模

单位: 十亿美元

时间	合计	股票	长期资产				短期资产	
			国债	机构债		公司债		
				ABS	其他	ABS	其他	
2019. 6	1 543	189	1 109	222	6	3	11	4
2018. 6	1 607	217	1 188	176	4	3	14	5
2017. 6	1 541	194	1 144	178	6	3	13	3
2016. 6	1 630	178	1 238	187	9	4	11	2
2015. 6	1 844	330	1 268	208	14	6	14	3
2014. 6	1 817	320	1 261	188	16	8	16	9
2013. 6	1 735	261	1 272	153	21	6	17	5
2012. 6	1 592	221	1 138	177	25	5	17	9
2011. 6	1 727	159	1 302	218	27	2	14	5
2010. 6	1 611	127	1 108	298	62	2	9	5

注: ①数据来源: 美国财政部国际资本系统 (TIC) 的《外国投资组合持有的美国证券》 (*Foreign Portfolio Holdings of U. S. Securities*) 报告, 于 Exhibit 6 章节, 标题为 “Value of foreign holdings of U. S. securities, by major investing country and type of security”。②此表未统计中华人民共和国香港特别行政区、中华人民共和国澳门特别行政区, 以及中华人民共和国台湾省, 这些地区在该报告中是单独汇报的。③ABS 即资产支持证券 (asset-backed securities)。其中, 机构债 ABS 主要由住房抵押贷款支持证券构成, 公司债 ABS 则由各种各样的资产支持证券构成, 如汽车贷款、信用卡应收款、住房和商业抵押贷款以及学生贷款等。

在计量方法方面, 盛柳刚和赵洪岩 (2007) 使用了检验结构性断点的 CUSUM test 和 Chow test 以划分子样本, 然后使用 OLS 估计。这种方法比较直观, 但无法估计币种占比的动态变化。Sheng (2013) 使用了混合高斯状态空间模型, 这是一种灵活的方法,

可探究币种比值的缓慢变化，也允许非常快速的跳跃（Giordani et al., 2007）。但该方法使用贝叶斯估计，需要为一阶矩和二阶矩选择合适先验（prior），一旦陷入维数诅咒，该方法将十分困难。考虑到类似原因，Shi and Nie (2017) 转而使用了 OLS 方法，但作者在回归中对所估计的参数设定了上下界约束，原因是样本数量（ T 个）远少于待估参数数量（ $T \times K$ 个），如果不对币种占比添加约束是无法识别参数的，因此这种方法难免存在主观性。

综合以上各种计量方法的优劣，本文首次使用滚动平均回归对币种-资产结构进行估计，主要原因是：①本文聚焦于币种-资产占比的总体演化趋势，并不关心其快速跳跃，因此没有必要采用相对复杂的状态空间模型；②本文同时考虑币种和资产两个维度，容易陷入维数诅咒；③该方法相较于状态空间模型更为直观，相比于约束 OLS 又降低了实证设定的任意性。

综上，完全依赖于数据收集的研究碍于自选择偏误等问题，其数据的全面性、可信性均有疑问。基于数理模型的研究有所改进，但受 IMF 修改《手册》及中国制度变迁等因素的影响，其理论模型需要作进一步修正；此外，相关研究在实证方法上也存在可取舍之处。针对这些问题，本文首次从币种和资产结构两个维度展开研究，并使用滚动平均回归对币种-资产结构进行估计。本文的新框架新方法新应用，在研究深度（同时考虑币种、资产两个维度）与研究广度（适用于不同版本的《手册》，不受制度变迁影响）两个方面，均是对现有研究的重要推进。

三、理论框架与实证方法

本部分先对外汇储备的币种-资产构成进行一个较为细致的说明，然后推导外汇储备动态演进的数理方程，最后介绍实证估计方法。

（一）外汇储备组合（结构）表释与估计难点

官方持有外汇储备有两个维度：一是各种货币储备（美元、欧元等）对总储备的相对量，二是各种资产（股票、债券等）储备对总储备的相对规模。在特定时点下，两个维度是相互交叉的组合关系，构成多种币种-资产组合（combination）。定义国家外汇储备币种-资产组合（portfolio）为：在时间 t 时总外汇储备中各种币种-资产组合（combination）的持有量的分布^①。定义外汇储备币种-资产结构（structure）为：时间 t 下国家币种-资产储备组合对总储备的份额的分布。可见，组合（portfolio）是量的分布，结构是给定总量下的份额分布。由于官方总储备量是公开可获得的信息，因此估计外汇储备组合或结构实际上是一致的。

两个维度下各种组合的可能性意味着，我们须用矩阵来刻画币种-资产构成。设某国外汇储备中有 n 种国际储备货币，每种货币下分别有 m 类储备资产。以美元为计价货币，记 A_{ij} 为货币储备中第 j 种资产的规模 ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)， $e_{i..}$

^① “combination”与“portfolio”的中文翻译均为“组合”，但含义不同。前者是排列组合的概念，后者是刻画资产的分布。为节省篇幅，也由于这不会影响本文的表达，后文中不再特别标注是哪个“组合”。

表示第 i 种货币在 t 时刻兑美元的间接标价法汇率，则时间 t 外汇储备组合 \mathbf{P}_t 可以表达为一个 $n \times m$ 矩阵：

$$\mathbf{P}_t \triangleq \begin{bmatrix} A_{11,t}e_{1,t} & A_{12,t}e_{1,t} & \cdots & A_{1m,t}e_{1,t} \\ A_{21,t}e_{2,t} & A_{22,t}e_{2,t} & \cdots & A_{2m,t}e_{2,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1,t}e_{n,t} & A_{n2,t}e_{n,t} & \cdots & A_{nm,t}e_{n,t} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

给定总储备规模 B ，币种 i 下资产 j 在储备中的占比 s_{ij} 是： $s_{ij} = B^{-1}A_{ij}e_i$ ，因此时间 t 外汇储备结构 \mathbf{S}_t 的矩阵表达为：

$$\mathbf{S}_t \triangleq \begin{bmatrix} s_{11,t} & s_{12,t} & \cdots & s_{m,t} \\ s_{21,t} & s_{22,t} & \cdots & s_{2m,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1,t} & s_{n2,t} & \cdots & s_{nm,t} \end{bmatrix} = B_t^{-1} \begin{bmatrix} A_{11}e_{1,t} & A_{12}e_{2,t} & \cdots & A_{1m}e_{1,t} \\ A_{21}e_{2,t} & A_{22}e_{2,t} & \cdots & A_{2m}e_{2,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1}e_{n,t} & A_{n2}e_{n,t} & \cdots & A_{nm}e_{n,t} \end{bmatrix} = B_t^{-1}\mathbf{P}_t, \quad (3)$$

且必须满足以下三个约束：①非负约束 $\forall i, j : s_{ij,t} \in [0, 1]$ ；②份额加总约束 $\forall t$ ：

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij,t} = 1; \quad ③ \text{ 组合加总约束 } B_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij,t}e_{i,t}.$$

矩阵 \mathbf{P}_t 与 \mathbf{S}_t 具有以下特征。首先，每个矩阵元素均是时变的。其次，我们并未规定 m 与 n 的上限，因而新框架刻画的组合与结构更具有一般性。最后，新框架完全包含了现有币种构成的内涵：如果 $m=1$ ，即每种储备货币只考虑一种资产，则以上 \mathbf{P}_t 与 \mathbf{S}_t 退化为两个向量而不是矩阵，仅代表外汇储备的币种组合（结构）。

我们的目标就是利用公开可获得的客观信息，对上述矩阵 \mathbf{S} 或 \mathbf{P} 进行估计。矩阵 \mathbf{S} 或 \mathbf{P} 的估计难点主要包括：①矩阵各元素是不可公开观测的；②矩阵各元素是时变的；③随着考虑币种与资产的增加，极易陷入维数诅咒。针对这些难点，下面分别进行讨论。

(二) 包含币种-资产结构的外汇储备动态演进方程

针对难点①的不可观测问题，需要在理论上将不可观察的参数与可观察的变量进行联系，就此可以借助外汇储备动态演进方程。任意 t 期总储备规模 B_t 取决于两个部分：一是既往各种币种-资产存量储备的毛收益，二是流量意义上的外汇储备净流量。其中净流量变化可正可负，包括当期国际收支中官方的结售汇部分、出于干预目的的外汇市场交易，以及央行外汇储备投资的当期流量分红获息部分（王曦和舒元，2003）。

同时考虑币种-资产两个维度，外汇储备的动态方程为：

$$B_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij,t}e_{i,t} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij,t-1}(1 + R_{ij,t-1})e_{i,t} + L_t, \quad (4)$$

其中 $R_{ij,t-1}$ 为 $t-1$ 时刻货币 i 资产 j 的名义净收益率， L_t 为在 $t-1$ 到 t 时刻官方因流量交易导致的外汇储备净流量。式(4)左右同时除以 B_{t-1} ，有：

$$\frac{B_t}{B_{t-1}} = \frac{1}{B_{t-1}} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij,t-1}(1 + R_{ij,t-1})(e_{i,t-1}) + \Delta e_{i,t} \right] + \frac{L_t}{B_{t-1}}. \quad (5)$$

考虑到样本中 $R_{ij,t-1}$ 非常小，盛柳刚和赵洪岩（2007）、Sheng（2013）近似忽略了式中的 $R_{ij,t-1}$ ，而本文近似忽略资产收益率与汇率变化之积 $R_{ij,t-1}\Delta e_{i,t}$ ，有两个理由：

①忽略 $R_{ij,t-1}$ 意味着不对资产类型进行区分，只能估计币种结构；②样本中 $\Delta e_{i,t}$ 很小，因此理论上忽略 $R_{ij,t-1}\Delta e_{i,t}$ 相比于仅忽略 $R_{ij,t-1}$ 更准确。即：

$$(1+R_{ij,t-1})(e_{i,t-1}+\Delta e_{i,t}) \approx e_{i,t-1}\left(1+R_{ij,t-1}+\frac{\Delta e_{i,t}}{e_{i,t-1}}\right). \quad (6)$$

将式（6）代入式（5），于是：

$$\frac{B_t}{B_{t-1}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{e_{i,t-1} A_{ij,t-1}}{B_{t-1}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{e_{i,t-1} A_{ij,t-1}}{B_{t-1}} \right) \left(R_{ij,t-1} + \frac{\Delta e_{i,t}}{e_{i,t-1}} \right) + \frac{L_t}{B_{t-1}}. \quad (7)$$

由定义 $s_{ij,t-1} \equiv A_{ij,t-1}e_{i,t-1}/B_{t-1}$ 并根据约束 $\forall t: \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij,t} = 1$ ，上式可以简化为：

$$\frac{\Delta B_t}{B_{t-1}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij,t-1} \underbrace{\left(R_{ij,t-1} + \frac{\Delta e_{i,t}}{e_{i,t-1}} \right)}_{\text{估值效应}} + \underbrace{\frac{L_t}{B_{t-1}}}_{\text{净流量占比}}. \quad (8)$$

式（8）把储备规模的增长率分解为两个大部分：①估值效应，其又可以分解为各币种-资产份额 $s_{ij,t-1}$ ，对应的收益率 $R_{ij,t-1}$ ，以及汇率的变动 $\Delta e_{i,t}/e_{i,t-1}$ ；②净流量占上期储备总量的比例 L_t/B_{t-1} （以下简称“净流量占比”）。其中，可观测数据包括：储备总量 B_t ，各货币汇率 e_i ，以及各币种-资产组合的收益率 R_{ij} 。若获得了 L_t ，就可将其减到方程的左边，计算出估值效应，并对式（8）进行实证分析，得到各 s_{ij} 的估计^①。

在第五版《手册》中， L_t 是不可直接观测的，因为其外汇储备科目反映的是全社会外汇资产的变化，而不仅仅是货币当局的外汇储备（盛柳刚和赵洪岩，2007）。以往的研究直接使用经常账户差额、资本账户差额、净误差与遗漏三者之和作为 L 的代理变量（盛柳刚和赵洪岩，2007；Sheng, 2013；Shi and Nie, 2017），主要依据是：如果官方进行强制结售汇，则当年国际收支的变动即全部反映在新增外汇占款中。对于没有执行强制结售汇制的经济体，这一方法就不太可行了。此外，尽管第六版《手册》的金融账户里自然区分了官方交易和私人交易，但有关的会计准则也做了修改，同样不能直接用以上三个账户之和代理 L_t 。

针对该问题，我们对 L_t 进行了科学合理的修正设定，使其不仅兼容两版《手册》，不受制度变迁的影响，还能用于检验模型回归的准确性。具体而言，根据第六版《手册》，经常账户差额、资本账户差额、金融账户差额与净误差与遗漏之和为零，即：

$$\text{净误差与遗漏} + \underbrace{\text{经常账户差额} + \text{资本账户差额} + \text{金融账户差额}}_{\text{资本与金融账户差额}} \equiv 0, \quad (9)$$

其中金融账户又下含非储备性质的金融账户以及储备资产两项：

$$\text{金融账户差额} \equiv \text{非储备性质的金融账户差额} + \text{官方储备资产差额}. \quad (10)$$

注意到，外汇储备是组成官方储备资产的五个科目之一，记另外四个科目为“非外汇的官方储备”^②，于是：

$$L + \text{非外汇的官方储备净增} \equiv -\text{官方储备资产差额}. \quad (11)$$

^① Lane and Milesi-Ferretti (2007a, 2007b) 在估算中国的估值效应时做了三个重要假设：①假设中国央行在美国持有的“海外直接投资”和“有价证券投资”为零；②假设中国央行持有的“组合债务资产”和“其他投资资产”都是以美元计价的资产；③假设中国持有 25% 的欧元和 75% 的美元。由此可见，本文的贡献之一正是为估值效应的计算提供了更细致的数据支持。

^② 另外的四个科目分别为货币黄金、特别提款权、在国际货币基金组织的储备头寸、其他储备资产。

分别记非储备性质的金融账户净增、非外汇的官方储备资产净增为 O 、 M ，结合式(9)至式(11)可以得出：

$$\underbrace{L}_{\substack{\text{外汇储备} \\ \text{净流量}}} + \underbrace{Q}_{\substack{\text{非外汇的官} \\ \text{方储备净增}}} + \underbrace{M}_{\substack{\text{非储备性质的} \\ \text{金融账户净增}}} \equiv \text{经常账户差额} + \text{资本账户差额} + \text{净误差与遗漏}.$$

官方储备资产净增

(12)

下面，首先将外汇储备净流量分解为由经常账户差额 (*Current*)、资本账户差额 (*Capital*)、净误差与遗漏 (*Error*)、非储备性质的金融账户差额 (*Private*)、非外汇的官方储备差额 (*nonFX*) 分别引起的净流量，即：

$$L = L_{\text{Current}} + L_{\text{Capital}} + L_{\text{Error}} + L_{\text{Private}} + L_{\text{nonFX}}. \quad (13)$$

然后，令上述五种净流量分别与其国际收支账户差额进行对应，即：

$$\begin{aligned} L_{\text{Current}} &= \theta_1 \cdot \text{Current}, \quad L_{\text{Capital}} = \theta_2 \cdot \text{Capital}, \quad L_{\text{Error}} = \theta_3 \cdot \text{Error}, \\ L_{\text{Private}} &= \theta_4 \cdot \text{Private}, \quad L_{\text{nonFX}} = \theta_5 \cdot \text{nonFX}. \end{aligned} \quad (14)$$

最后，将式(14)代入式(13)，可得刻画外汇储备净流量的一般方程：

$$L = \theta_1 \cdot \text{Current} + \theta_2 \cdot \text{Capital} + \theta_3 \cdot \text{Error} + \theta_4 \cdot \text{Private} + \theta_5 \cdot \text{nonFX}. \quad (15)$$

现在，在第六版《手册》下，如果估计是比较准确的，那么对 θ_1 到 θ_5 的区间估计不应偏离 1，这点可以用于检验回归的准确性。对第五版《手册》而言，不存在非储备性质的金融账户差额、非外汇的官方储备差额这两个科目，因此 $\text{Private} = \text{nonFX} = 0$ 。进一步地，对于实行强制结售汇制的经济体， θ_1 到 θ_3 的估计应比较接近 1；对于其他经济体， θ 的经济含义为各账户盈余在官方储备和民间资本间的分配^①。最后，将式(15)代入式(8)可以得出：

$$\begin{aligned} \frac{\Delta B_t}{B_{t-1}} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij,t-1} \left(R_{ij,t} + \frac{\Delta e_{i,t}}{e_{i,t-1}} \right) \\ &\quad + \frac{1}{B_{t-1}} \left(\theta_{1,t} \cdot \text{Current}_t + \theta_{2,t} \cdot \text{Capital}_t + \theta_{3,t} \cdot \text{Error}_t + \theta_{4,t} \cdot \text{Private}_t + \theta_{5,t} \cdot \text{nonFX}_t \right) + \epsilon_t, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\text{s. t.} \quad \forall t: \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij,t} = 1.$$

上式即国家外汇储备币种-资产结构的一般性演化模型，它不仅兼容两版《手册》，同时不受强制结售汇制的影响，还可用于检验回归的准确性，是本文对以往研究的推进之一。最后，以模型(16)为理论框架，可以实现对一国外汇储备币种-资产结构 S 和币种-资产组合 P 的估计：

$$\hat{S}_t = \begin{bmatrix} \hat{s}_{11,t} & \hat{s}_{12,t} & \cdots & \hat{s}_{m,t} \\ \hat{s}_{21,t} & \hat{s}_{22,t} & \cdots & \hat{s}_{2m,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{s}_{n1,t} & \hat{s}_{n2,t} & \cdots & \hat{s}_{nm,t} \end{bmatrix}, \quad \hat{P}_t = B_t \cdot \hat{S}_t. \quad (17)$$

^① 若直接用 $\text{Current} + \text{Capital} + \text{Error}$ 代理 L ，则 θ 代表新增外汇储备在官方和民间的分配，而本文对此作了更深一层的分解。

(三) 实证方法：滚动平均回归

考虑到混合高斯状态空间模型容易陷入维数诅咒，本文聚焦于 OLS。对于使用第六版《手册》且样本量为 T 的回归，模型 (16) 共有 $(n \times m + 5) T$ 个待估参数，即待估参数数量远超样本量，不能直接用 OLS 进行估计。就此有两个解决方案：划分子样本和滚动回归。其中前者无法估计出子样本内系数的动态变化，因而后者更佳。滚动回归有两种模式：滚动 (rolling) 和递归 (recursive)。前者指固定回归窗口的宽度，然后逐步移动回归窗口；后者指固定回归的起始点或终止点，逐步拓展回归窗口的宽度。不过，滚动回归也有可改进之处，如未能实现对全序列的估计，各回归窗口的宽度大小不一，未能充分利用样本信息等。

有鉴于此，结合模型平均技术和滚动回归技术，本文提出了滚动平均回归，可以有效克服传统滚动回归的不足之处。图 1 展示了滚动平均回归的示意图。图中， $s_i^{(j)}$ 表示第 i 个变量在第 j 期的值；序列 $\{s_i^{(j)}\}_{i=1,2}^{j=1:N}$ 即待估序列； $x : y$ 为子样本，表示样本集 $\{x, x+1, \dots, y-1, y\}$ ； reg 代表 OLS 回归，并定义在子样本 $x : y$ 下的 OLS 回归模型为子模型。具体做法是：①遍历所有子样本，逐一作 OLS 回归，得到所有子模型；②排除潜在的伪回归子模型；③对剩余的子模型进行频率模型平均。其中模型平均权重的分配见于 Sakamoto et al. (1986)、Anderson et al. (1993)、Moral-Benito (2015) 等，相关估计量及统计推断则参考 Burnham et al. (1994)、Buckland et al. (1997)、Hjort and Claeskens (2003)、Claeskens and Hjort (2008) 等文献。

滚动平均回归的优点之一在于实现了对全序列的估计，这是传统的滚动回归所不能及的。此外，模型平均技术通过综合考虑不同滚动平均子模型，可以有效减少模型不确定性 (model uncertainty)，使估计更加准确和稳定，并更充分地利用样本信息 (Weigel et al., 2008; Moral-Benito, 2015; Steel, 2020)。

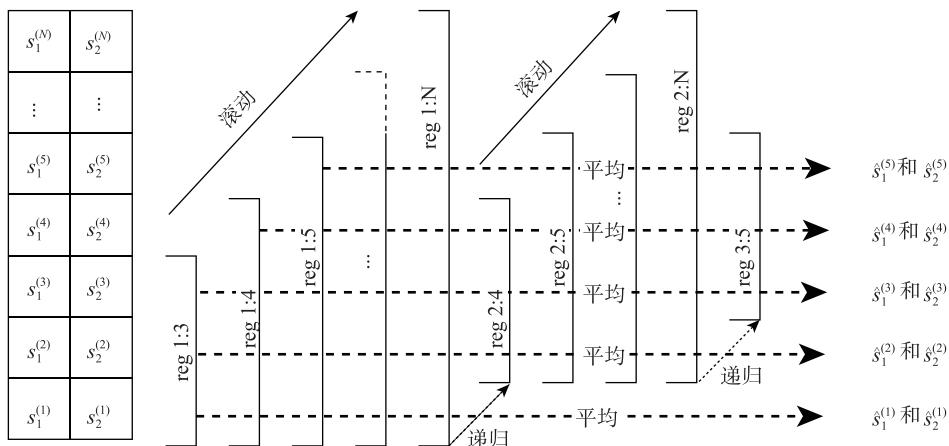


图 1 滚动平均回归示意图

值得注意的是，滚动平均回归得到的估计并非严格意义上该系数的当期值，而是基于当期值在不同子样本下的 OLS 回归对其进行的“推算”。基本思想是：子模型估计的是子样本下系数序列的均值，因此每一个子模型都包含了整个系数序列的部分信息。滚

动平均回归通过综合考量各子模型的回归情况，确定不同子模型所提供的信息的可信度，加权推算出系数当期值。传统滚动回归在估算系数时相当于仅参考了某一子模型的信息，效果自然不如滚动平均回归。与混合高斯状态空间模型相比，滚动平均回归虽不善于捕捉系数的快速跳跃，但受维数诅咒的影响较轻^①，处理更简便。

四、以中国为例的实证估计

作为本文新框架新方法的应用，下面以中国为例进行估计。

(一) 货币种类和资产类型的确定

理论上，为避免遗漏变量问题，在估计时应控制所有可能影响外汇储备的币种及对应的资产。然而受维度诅咒的影响，增加币种或资产将使待估计系数数量迅速增加，导致统计推断难以进行。有鉴于此，在分析外汇储备币种-资产组合时，应抓住主要矛盾，确定最能影响该国外汇储备的币种及对应的资产。^②

类似张斌等（2010）与 Ito and McCauley（2020），本文考虑美元、欧元、英镑、日元四种货币。主要是根据 IMF 的 COFER 报告：2010 年至 2019 年，上述四种货币在全球外汇储备币种构成中的占比一直维持在 94%—96% 左右。

对于美元，考虑“国债、股票、机构债”三种资产类型。主要是根据美国财政部 TIC 系统公布，这三种资产占中国投资者持有美元资产的比例从未低于 98%，且有逐年上升的趋势。对于欧元、英镑、日元资产，考虑“国债、股票”两种资产类型。主要原因是：①目前尚无相关资料显示中国投资者在欧元区、英国和日本大量持有国债和股票以外的何种证券资产；②本文尝试将公司债、政府债等加入回归模型，发现模型的信息准则均不同程度恶化，对应系数估计较小且不显著。

(二) 代理变量及样本

代理变量的选取见表 2；此外，国际收支数据、国际投资头寸数据等均从国家外汇管理局网站获取；汇率以美元计价，从美国联邦储备委员会网站获取。

表 2 代理变量及数据来源

变量	代理变量	数据来源
国债		
美国国债	S&P U.S. 10+ Year Treasury Bond Index	S&P Global
欧元区国债	S&P Eurozone 10+ Year Sovereign Bond Index-EUR	S&P Global
英国国债	S&P U.K. Gilt Bond Index-GBP	S&P Global

^① 前文提及，Sheng（2013）所使用的方法需要为待估系数分配先验，受维数诅咒的影响较大。相比之下，滚动平均回归受维数诅咒的影响则主要源于全球金融周期导致的资产价格产生共振（Miranda-Agrippino and Rey, 2020），加入过多控制变量很可能导致变异程度不够，产生共线性问题。

^② 另一个思路是尽可能考虑所有币种与资产，然后使用逐步（stepwise）回归法来筛选解释变量以得到最优的模型。我们也进行了尝试，结果相同。

(续表)

变量	代理变量	数据来源
日本国债	S&P Japan Sovereign Bond Index-JPY	S&P Global
股市		
美国股市		
—基准模型	S&P 500	S&P Global
—稳健性检验	Dow Jones: Industrial Average (DJIA)	S&P Global
	Nasdaq Composite Index	NASDAQ
欧元区股市	STOXX 50	Qontigo
英国股市	FTSE 100	FTSE Russell
日本股市	Nikkei 225	日经网
机构债		
美国机构债市	S&P U. S. Agency Index	S&P Global

注：由于 S&P Global 并未提供英国金边债券、日本主权债券的长期指数，故使用总体指数替代。

样本为 2004 年 1 月至 2019 年 12 月的月度数据。表 3 展示了各回归变量的描述性统计，其中各资产收益率均已经过汇率转换为以美元计价。可以看出：①各股市指数收益率均高于相应的国债收益率，但风险则相反；②美国国债拥有最低的风险及较高的收益，而日本国债则拥有最低的收益和较高的风险；③全时段中，美国机构债拥有最低的收益以及最高的风险；但 2010 年 1 月后则拥有较低的风险与较高的收益率，是比较理想的投资标的。

表 3 回归变量的描述性统计

变量	均值	标准差	最小值	最大值
国债收益率				
美国国债	0.0026	0.0056	-0.0164	0.0249
欧元区国债	0.0009	0.0227	-0.0602	0.0787
英国国债	0.0025	0.0343	-0.1061	0.1082
日本国债	-0.0003	0.0236	-0.0726	0.0542
股票收益率				
美国股市				
—S&P 500	0.0062	0.0390	-0.1694	0.1077
—DJIA	0.0059	0.0372	-0.1406	0.0954
—NASDAQ	0.0088	0.0473	-0.1735	0.1234
欧元区股市	0.0035	0.0530	-0.2221	0.1626
英国股市	0.0027	0.0346	-0.1713	0.1222
日本股市	0.0037	0.0453	-0.1495	0.1178
美国机构债收益率				
全样本	0.0002	0.2301	-0.6208	2.6935

(续表)

变量	均值	标准差	最小值	最大值
2010 年后	0.0058	0.0196	-0.0464	0.0844
净流量占比				
$Current_t / B_{t-1}$	0.2651	0.2053	-0.1268	0.8435
$Capital_t / B_{t-1}$	0.0033	0.0041	-0.0015	0.0162
$Error_t / B_{t-1}$	-0.0470	0.1047	-0.3780	0.3203
$Private_t / B_{t-1}$	0.0110	0.0251	-0.0437	0.0861
$nonFX_t / B_{t-1}$	-0.0001	0.0007	-0.0051	0.0010

注：表中各种资产的收益率均以美元计价，由作者计算得出。

(三) 实证模型与估计

首先，实证样本使用第六版《手册》，因此需要考虑 $Private_t$ 和 $nonFX_t$ ；其次，由于并未考虑所有币种-资产组合，因此应将模型中“所有币种占比之和为 1”的约束放松为“所有币种占比之和不大于 1”；最后，为避免遗漏变量等问题，应加入截距项，它代表了由其他未被本文考虑的币种-资产组合引致的估值效应^①。综上，滚动平均子模型为：

$$FX_x = \sum_{j=1}^3 s_{1j,t-1} R_{1j,t} + \sum_{i=2}^4 \sum_{j=1}^2 s_{ij,t-1} \left(R_{ij,t-1} + \frac{\Delta e_{i,t}}{e_{i,t-1}} \right) \\ + \frac{1}{B_{t-1}} \left[\theta_{1,t} \cdot Current_t + \theta_{2,t} \cdot Capital_t + \theta_{3,t} \cdot Error_t + \theta_{4,t} \cdot Private_t + \theta_{5,t} \cdot nonFX_t \right] + I_t + \varepsilon_t, \quad (18)$$

s. t. $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij,t} \leqslant 1.$

在模型中，被解释变量是中国官方外汇储备的净增长率 (FX_t)。解释变量由估值效应和净流量占比两部分组成：①币种 i 下第 j 类资产的收益率 ($R_{ij,t-1}$) 与对应汇率增长率 ($\Delta e_{i,t} / \Delta e_{i,t-1}$) 之和（其中，下标 $i=1, 2, 3, 4$ 分别代表美元、欧元、英镑、日元，下标 $j=1, 2, 3$ 分别代表国债、股票、机构债）以及截距；②五个国际收支账户（其中 $Current_t$ 、 $Capital_t$ 、 $Error_t$ 、 $Private_t$ 、 $nonFX_t$ 分别代表经常账户、资本账户、净误差与遗漏、非储备性质的金融账户、非外汇的官方储备）。待估系数包括九个 $s_{ij,t-1}$ 、五个 $\theta_{k,t}$ 以及 I_t ，分别代表 $t-1$ 期币种 i 下第 j 类资产在中国官方外汇储备中的占比，第 t 期第 k 个国际收支账户对中国官方外汇储备净收益造成的影响，以及截距。

使用滚动平均回归对模型进行估计的汇总结果如图 2 所示。可以看出，所有币种-资产占比的估计都在 0.01 的显著性水平上显著，各国际收支账户的估计均未显著异于 1，说明估计是比较准确的。

① 通过实证，我们发现截距项的估计均不显著，说明本文所考虑的币种-资产组合是比较合理的。

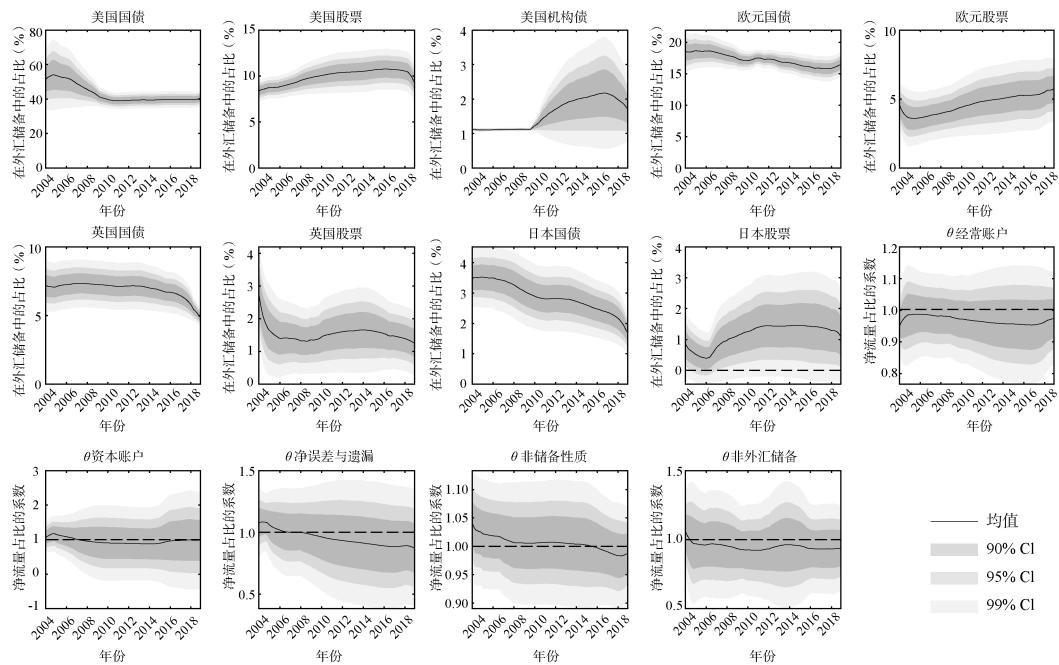


图2 回归系数及其显著性

为验证稳健性，本文把基准模型中的 S&P 500 分别替换为 DJIA 及 NASDAQ，然后重新估计。结论是：所有系数均未逃逸基准估计的 95% 置信区间，说明回归是比较稳健的。

五、中国外汇储备币种-资产组合（结构）的演进

首先，从币种、资产两个维度总结中国外汇储备构成的时间演进规律；然后，将本文的估计与 COFER 报告、TIC 系统对比，以探索中国外汇储备管理的特征；最后，与以往研究进行对比，并讨论可能产生差异的原因。

（一）币种-资产组合（结构）的时间演进

图3展示了中国外汇储备的币种组合及结构的时间演进。显然：①美元资产是中国外汇储备的主要投资对象，其占比平均为 54.28%，最低为 48.93%，最高达到 63.83%；第二大币种为欧元，平均占 21.95%，最高为 23.16%，最低 21.11%；英镑资产排名第三，平均而言占 8.29%，而日元资产占比最低，平均仅 3.94%。②2010 年以后，中国外汇储备的币种结构非常稳定，这与 Eichengreen and Mathieson (2000)、Chinn and Frankel (2007) 等观点一致。③币种结构呈现出多元化的特征：2007 年起尤其是金融危机发生后，美元份额迅速减少，先是从约 64% 超调至 50% 以下，然后又回调并稳定于 53% 左右，同时其他币种占比则增长了约 17%。④币种组合比较活跃，都呈现钟型，这与中国总储备规模的变动有关。

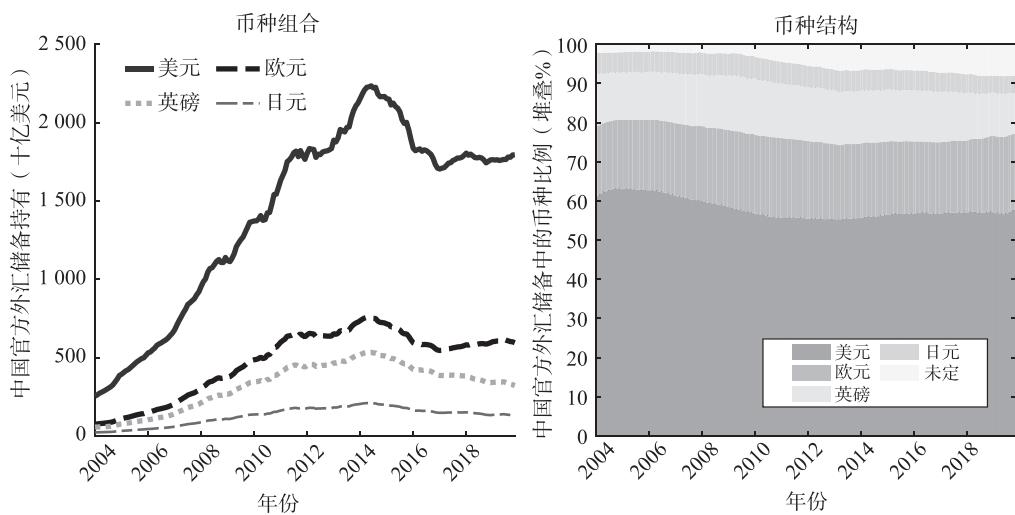


图 3 中国外汇储备的币种组合和结构

在单一资产维度方面，图 4 给出了中国外汇储备资产^①组合及结构的时间演进。可以看出：①总体上，国债在中国外汇储备中的比例是最高的，基本在 80% 上下，其次是股票（15%—22%），最后是机构债（小于 3%）。②外汇储备体现出明显的资产多元化特征：国债占比自 2005 年以来一直呈现出下降趋势，并合计下降了约 9%，同时股票、机构债合计占比一直在提升。③2009 年 10 月以前替代国债的主要资产是股票，此后机构债也少量进行了替代。结合表 3 可以得出结论：中国央行在 2010 年之后，在基本控制风险的情况下，通过增持适量的美国机构债获得了更好的投资收益^②。图 5 中的嵌入子图也反映了样本期间内机构债指数与其在外汇储备中占比的变化。

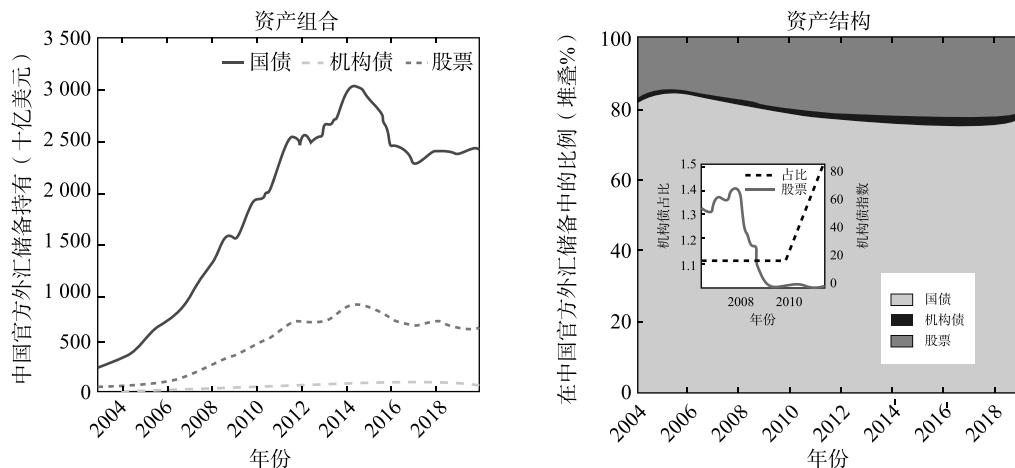


图 4 中国外汇储备的资产组合和结构

^① 这里资产是指各货币相应资产经美元汇率折算后的加总。

^② 2004—2010 年，机构债的月平均收益率为 -0.0538，标准差为 0.1542，不论是收益还是风险都劣于同期的美国股票。表 3 显示，2010 年以后，机构债的月平均收益率为 0.0058，略低于股票（0.0059—0.0088），但远高于国债（0.0026）；机构债标准差为 0.0196，风险远低于股票（0.0372—0.0473），稍高于国债（0.0056），总体上具备良好的投资属性。

(二) 与相关数据来源、以往研究的对比

图5展示了本文估计与COFER、TIC的对比。可以看出：①在2008年以前，相对于世界平均水平，中国的外汇储备就已初显多元化特征，主要表现为持有比例更小的美元、欧元，持有比例更高的英镑；2008年后，多元化程度明显加强，主要表现为美元占比迅速下降，其他币种占比迅速增加。②中国官方持有的美国国债数量与TIC数据比较接近，而股票数量则与TIC在演化趋势上高度相似，相关系数达0.7，以上验证了TIC数据的参考价值。③2008年金融危机前，中国央行持有的美国国债数量大于TIC所公布的数量，且差额持续扩大；在2008年后的经济恢复期间，差额迅速缩小；2010年以后，两者数量接近。以上这说明央行对于美国国债存在“偏好—厌恶—中性”的调整。④在2008年金融危机前夕，美国机构债主要为中国民间投资者持有，外汇储备很少持有，基本可以忽略。联系金融危机期间美国机构债（如“两房债”等）价格的剧烈下跌（见图4右图内嵌子图），可以得出结论：中国官方外汇储备基本上规避了这次金融危机，无疑是反驳了当时一些媒体的猜测——“中国外汇储备因投资两房债券遭遇巨大损失”。由此可以推断出：中国外汇储备的资产组合管理相比民间投资者明显更为审慎。

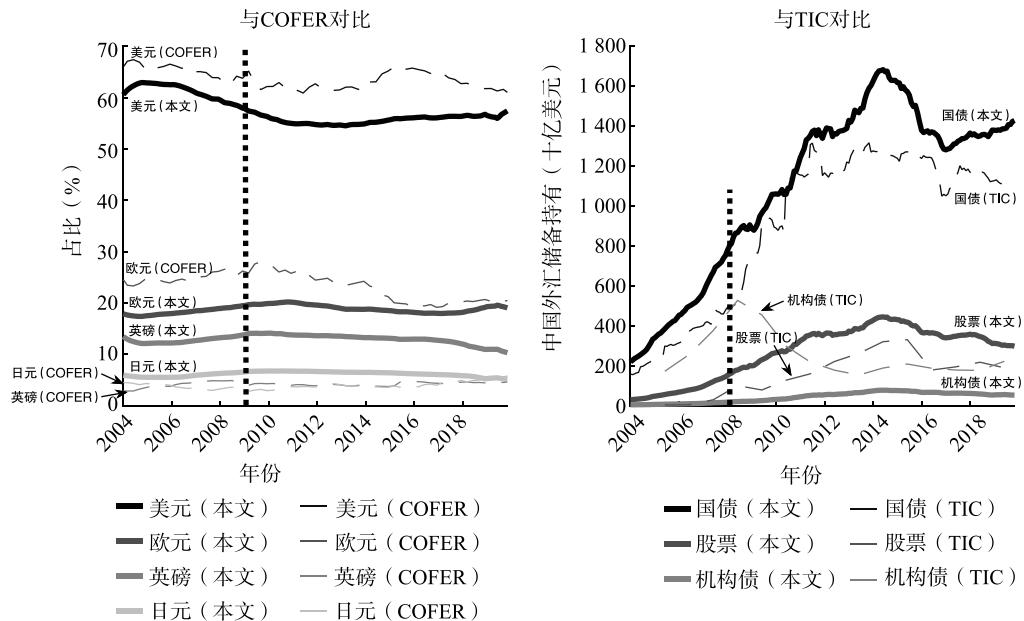


图5 中国外汇储备币种结构、资产组合与COFER、TIC的对比

需要说明的是，由于TIC数据反映的是所有中国投资者在美国的资产持有情况，因此理论上TIC数据应高于中国官方的实际持有量，但在图5右图中，情况未必总是如此。这两种解释：①中国央行可能通过境外机构间接购买持有美元资产，这些资产并不被TIC所记录（Setser and Pandey, 2009）；②另一个原因是笔者推测，即中国央行可能持有一些离岸美元资产，这当然也不被TIC统计。不论处于何种情况，在本文的新框架下央行持有的美元资产仍可被定量估计，也再次说明了新框架的优势。

对比本文与Sheng (2013)、Shi and Nie (2017) 的同期估计结果，不难发现在英

镑、日元，尤其是欧元上，本文与以上的估计是比较一致的。与本文估计产生较大偏差的是美元与其他币种，我们认为这与代理变量选取不同、计量模型不同、样本区间不同等因素有关：首先，本文相比前面研究的一个推进就是，除了币种，我们还考虑了资产结构，并使用了各种股票指数等作为新的解释变量，有效避免了遗漏变量等问题；其次，Sheng (2013) 使用的是混合高斯状态空间模型，Shi and Nie (2017) 使用的是带约束的 OLS 模型，这两种方法与本文使用的滚动平均方法均不相同；最后，本文所考察的样本区间为 2004 年 1 月到 2019 年 12 月，与以上文献均不相同。以上因素均可能导致估计上的偏差，同时也为未来的研究提供了进步的空间。

六、总结与引申研究方向

外汇储备管理对于国民经济的重要性毋庸置疑，但现实中各国并不公开其外汇储备的具体组合，这给相关研究造成了阻碍。部分研究估计了国家外汇储备的币种组合，但仍存在诸多疑问。有鉴于此，本文创新研究思路，首次从理论框架与实证方法等方面，对现有研究进行了全面的改进与完善。本文的新框架新方法，对于科学估计国家外汇储备的构成，是一个重要贡献。

作为新框架的应用，我们考虑美元、欧元、英镑与日元四个币种，国债、股票与机构债三种资产，估计了 2004 年至 2019 年间中国外汇储备币种-资产组合的时间演进，并得出了系列新结论，包括：

币种方面：①美元资产是中国外汇储备的主要储备对象，其占比平均为 54.28%；第二至第四分别为欧元、英镑与日元资产，平均分别占 21.95%、8.29% 与 3.94%。②币种结构总体上较为稳定，但呈现出多元化特征：2007 年尤其是金融危机后，美元份额明显减少，其他币种占比提升了近 17%。

资产方面：①国债在中国外汇储备中的比例最高（80% 左右），其次是股票（15%—22%），最后是机构债（小于 3%）。②资产结构体现出明显的多元化特征：国债占比自 2004 年至 2019 年共下降了约 9%，同时股票、机构债合计占比一直提升。③2009 年 10 月以前替代国债的主要资产是股票，此后机构债也参与了替代。

论文随后对比了 COFER、TIC 与本文的估计值，结论是：中国外汇管理相比于全球其他国家更多元化，相比于私人投资者更审慎。最后，本文还将估计结果与相关研究进行了对比，并分析了可能造成估计差异的各种因素。

本文提出的新框架与方法，是实证或“是什么”意义上的基础性研究。后续在规范或“应该是什么”的意义上，我们设想了以下应用场景或扩展研究方向。对于中国外汇储备管理，包括：①在评估方面，同时考虑安全性与盈利性，使用某种标准如均值方差、在险价值（VAR）原则等，对中国外汇储备组合管理的绩效进行评估。②在管理优化方面，估计各国外汇储备或主权基金的币种-资产构成，评价其管理绩效，总结其中成功的投资管理模式，以为本国借鉴。③在国际化方面，持续估计各国外汇储备中人民币资产的数量与占比，从而实现对人民币国际化进程的实时跟踪；探讨不同类型区域（国家）对人民币资产偏好的决定因素，以助力人民币国际化进程。对于国际货币体系演化，则可以考虑：①估计所有国家外汇储备的币种-资产构成，总结国际储备体系演

进的一般特征。②汇总计算世界总储备中主要货币份额的变动，并根据储备货币国经济金融特征，探讨得出国际储备货币地位的决定因素。③异质性。分区域（如四大洲）分国家类型（发达、发展中国家等）等，探讨世界外汇储备构成的区域与国家异质性。

参 考 文 献

- [1] Anderson, D. R., K. P. Burnham, and G. C. White, "AIC Model Selection in Over Dispersed Capture-recapture Data", *Ecology*, 1993, 75 (6), 1780-1793.
- [2] Beck, R., and S. Weber, "Should Larger Reserve Holdings Be More Diversified?", *International Finance*, 2011, 14 (3), 415-444.
- [3] Buckland, S. T., K. P. Burnham, and N. H. Augustin, "Model Selection: An Integral Part of Inference", *Biometrics*, 1997, 603-618.
- [4] Burnham, K. P., D. R. Anderson, and G. C. White, "Evaluation of the Kullback-Leibler Discrepancy for Model Selection in Open Population Capture-recapture Models", *Biometrical Journal*, 1994, 36 (3), 299-315.
- [5] 陈平、王曦,“人民币汇率的非均衡分析与汇率制度的宏观效率”,《经济研究》,2002年第6期,第23—31+94页。
- [6] Chinn, M., and J. Frankel, "Will the Euro Eventually Surpass the Dollar as Leading International Reserve Currency?", NBER WP No. 11508, 2005. In: Clarida, R. (ed.), *G7 Current Account Imbalances: Sustainability and Adjustment*. Chicago: University of Chicago Press, 2007, 285-323.
- [7] Chinn, M. D., and A. F. Jeffrey, "Will the Euro Eventually Surpass the Dollar as Leading International Reserve Currency?", *NBER Working Paper*, 2005.
- [8] Claeskens, G., and N. L. Hjort, *Model Selection and Model Averaging*. Cambridge Books, 2008.
- [9] Dominguez, K. M., Y. Hashimoto, and T. Ito, "International Reserves and the Global Financial Crisis", *Journal of International Economics*, 2012, 88 (2), 388-406.
- [10] Dooley, M. P., J. S. Lizondo, and D. J. Mathieson, "The Currency Composition of Foreign Exchange Reserves", *Staff Papers*, 1989, 36 (2), 385-434.
- [11] Eichengreen, B., and D. J. Mathieson, "The Currency Composition of Foreign Exchange Reserves: Retrospect and Prospect", *IMF Working Papers*, 2000.
- [12] Giordani, P., R. Kohn, and D. Dijk, "A Unified Approach to Nonlinearity, Structural Change, and Outliers", *Journal of Econometrics*, 2007, 137 (1), 112-133.
- [13] Gopinath, G., and J. C. Stein, "Banking, Trade, and the Making of a Dominant Currency", *The Quarterly Journal of Economics*, 2021, 136 (2), 783-830.
- [14] Hjort, N. L., and G. Claeskens, "Frequentist Model Average Estimators", *Journal of the American Statistical Association*, 2003, 98 (464), 879-899.
- [15] Ito, H., and R. N. McCauley, "Currency Composition of Foreign Exchange Reserves", *Journal of International Money and Finance*, 2020, 102, 102104.
- [16] Ito, H., R. N. McCauley, and T. Chan, "Currency Composition of Reserves, Trade Invoicing and Currency Movements", *Emerging Markets Review*, 2015, 25, 16-29.
- [17] Lane, P. R., and G. M. Milesi-Ferretti, "The External Wealth of Nations Mark II: Revised and Extended Estimates of Foreign Assets and Liabilities, 1970-2004", *Journal of International Economics*, 2007a, 73 (2), 223-250.
- [18] Lane, P. R., and G. M. Milesi-Ferretti, "Europe and Global Imbalances", *Economic Policy*, 2007b, 22 (51), 520-573.
- [19] McCauley, R. N., and T. Chan, "Currency Movements Drive Reserve Composition", *BIS Quarterly Review*, December 2014.

- [20] Miranda-Agrippino, S., and H. Rey, "US Monetary Policy and the Global Financial Cycle", *The Review of Economic Studies*, 2020, 87 (6), 2754-2776.
- [21] Moral-Benito, E., "ModelAveraging in Economics: An Overview", *Journal of Economic Surveys*, 2015, 29 (1), 46-75.
- [22] Nugée, J., "Foreign Exchange Reserves Management", Centre for Central Banking Studies, Bank of England, 2000.
- [23] Prasad, E., and S. J. Wei, *Capital Controls and Capital Flows in Emerging Economies: Policies, Practices, and Consequences*, University of Chicago Press, 2007.
- [24] Ryan, J., "China and the Global Roles of Currencies", *International Network for Economic Research-INFER*, 2009.
- [25] Sakamoto, Y., M. Ishiguro, and G. Kitagawa, "Akaike Information Criterion Statistics", *Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel*, 1986, 81 (10. 5555), 26853.
- [26] Setser, B. W., and A. Pandey, "China's \$ 1.5 Trillion Bet: Understanding China's External Portfolio: Council on Foreign Relations", *Center for Geoeconomic Studies*, 2009.
- [27] Sheng, L., "Did China Diversify Its Foreign Reserves?", *Journal of Applied Econometrics*, 2013, 28 (1), 102-125.
- [28] 盛柳刚、赵洪岩, "外汇储备收益率、币种结构和热钱",《经济学》(季刊), 2007年第4期, 第1255—1276页。
- [29] Shi, K., and L. Nie, "Did China Effectively Manage Its Foreign Exchange Reserves? Revisiting the Currency Composition Change", *Emerging Markets Finance and Trade*, 2017, 53 (6), 1352-1373.
- [30] Steel, M. F., "Model Averaging and Its Use in Economics", *Journal of Economic Literature*, 2020, 58 (3), 644-719.
- [31] 王曦、舒元, "中国货币市场运行: 内生性、调整时滞与动态",《经济学》(季刊), 2003年第2期, 第605—620页。
- [32] Weigel, A. P., M. Liniger, and C. Appenzeller, "Can Multi-model Combination Really Enhance the Prediction Skill of Probabilistic Ensemble Forecasts?", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2008, 134 (630), 241-260.
- [33] 张斌、王勋、华秀萍, "中国外汇储备的名义收益率和真实收益率",《经济研究》, 2010年第10期, 第115—128页。

A New Framework to Estimate the Currency-Asset Portfolio of Foreign Exchange Reserves —An Application to China

WANG Xi XIE Ruihang^{*}
(Sun Yat-sen University)

Abstract: Existing literature have estimated the currency portfolio of foreign exchange (FX) reserves, but have not explored the asset portfolio. We construct a currency-asset portfolio matrix of the nation's FX

* Corresponding Author: XIE Ruihang, Room 502, Wu Shunde Library, Sun Yat-sen University, No. 135 Xingang West Road, Haizhu District, Guangzhou, Guangdong 510275, China; Tel: 86-20-84115551; E-mail: xierh8@mail2.sysu.edu.cn.

reserves and derive their dynamic evolution equation. Using Rolling and Averaging regression, we estimate the evolution of portfolio of China's FX reserve from 2004 to 2019, with four major currencies and three major assets in consideration. Our new framework and methodology help to improve current research deficiencies, assess country-specific financial risks and optimize nations' FX reserve management.

Keywords: foreign exchange reserves; currency-asset portfolio; rolling average regression

JEL Classification: F31, G11, G15