

附录

附录共包含四个部分内容：一是给出模型完整的动态均衡方程系统；二是给出贝叶斯估计的详细过程和结果分析；三是给出正文未报告的三维政策前沿曲线；四是给出非耐心家庭贷款价值比的稳健性分析结果。

附件 1：完整的动态均衡方程系统

1. 耐心家庭

$$1 = \beta_p E_t \left(\frac{C_{p,t}}{C_{p,t+1}} (1+r_t) / \pi_{t+1} \right) \quad (\text{附 1})$$

$$Q_t^h = \frac{j_t C_{p,t}}{H_{p,t}} + \beta_p E_t \left(\frac{C_{p,t}}{C_{p,t+1}} (1-\delta_h) Q_{t+1}^h \right) \quad (\text{附 2})$$

$$W_{p,t} = \varphi_p C_{p,t} N_{p,t}^n \quad (\text{附 3})$$

$$1 = \beta_p E_t \left(\frac{C_{p,t}}{C_{p,t+1}} (r_{t+1}^k + 1 - \delta) \right) \quad (\text{附 4})$$

$$K_t^c = (1-\delta) K_{t-1}^c + I_t^c \quad (\text{附 5})$$

2. 非耐心家庭

$$C_{I,t} + (1+r_{t-1}^I) B_{I,t-1} / \pi_t + Q_t^h H_{I,t} = W_{I,t} N_{I,t} + Q_t^h (1-\delta_h) H_{I,t-1} + B_{I,t} \quad (\text{附 6})$$

$$(1+r_t^I) B_{I,t} = m_{I,t} E_t (Q_{t+1}^h H_{I,t} \pi_{t+1}) \quad (\text{附 7})$$

$$Q_t^h = \frac{j_t C_{I,t}}{H_{I,t}} + E_t \left(\beta_I \frac{C_{I,t}}{C_{I,t+1}} (1-\delta_h) Q_{t+1}^h + \mu_{I,t} m_{I,t} Q_{t+1}^h \pi_{t+1} \right) \quad (\text{附 8})$$

$$W_{I,t} = \varphi_I C_{I,t} N_{I,t}^n \quad (\text{附 9})$$

$$1 = \beta_I E_t \left(\frac{C_{I,t}}{C_{I,t+1}} (1+r_t^I) / \pi_{t+1} \right) + \mu_{I,t} (1+r_t^I) \quad (\text{附 10})$$

3. 房地产开发商

$$Y_t^H = A_t^H L_{t-1}^{\alpha_H} (K_{t-1}^H)^{1-\alpha_H} \quad (\text{附 11})$$

$$K_t^h = (1-\delta) K_{t-1}^h + I_t^h \quad (\text{附 12})$$

$$C_t^H + I_t^H + Q_t^h L_t + (1+r_{t-1}^H) B_{H,t-1} / \pi_t = Q_t^h Y_t^H + B_{H,t} \quad (\text{附 13})$$

$$(1+r_t^H) B_{H,t} = m_{H,t} E_t (Q_{t+1}^h L_t \pi_{t+1}) \quad (\text{附 14})$$

$$1 = \beta_H E_t \left[\frac{C_{H,t}}{C_{H,t+1}} \left(\frac{(1-\alpha_H) Q_{t+1}^H Y_{t+1}^H}{K_t^H} + (1-\delta) \right) \right] \quad (\text{附 15})$$

$$Q_t = \beta_H E_t \left(\frac{C_{H,t}}{C_{H,t+1}} \frac{\alpha_H Q_{t+1}^H Y_{t+1}^H}{L_t} \right) + \mu_{H,t} m_{H,t} E_t(Q_{t+1} \pi_{t+1}) \quad (\text{附 16})$$

$$1 = \beta_H E_t \left(\frac{C_{H,t}}{C_{H,t+1}} (1+r_t^H) / \pi_{t+1} \right) + \mu_{H,t} (1+r_t^H) \quad (\text{附 17})$$

4. 消费品生产商

$$Y_t = A_t^c (K_{t-1}^c)^{\alpha_c} (N_{p,t}^\rho N_{I,t}^{1-\theta})^{1-\alpha_c} \quad (\text{附 18})$$

$$\frac{w_{p,t} N_{p,t}}{\theta(1-\alpha_c)} = \frac{w_{I,t} N_{I,t}}{(1-\theta)(1-\alpha_c)} \quad (\text{附 19})$$

$$\frac{w_{p,t} N_{p,t}}{\theta(1-\alpha_c)} = \frac{r_t^k K_{t-1}^c}{\alpha_c} \quad (\text{附 20})$$

$$m_t = \frac{1}{A_t^c} \left(\frac{r_t^k}{\alpha_c} \right)^{\alpha_c} \left(\frac{w_{p,t}}{\theta(1-\alpha_c)} \right)^{\theta(1-\alpha_c)} \left(\frac{w_{I,t}}{(1-\theta)(1-\alpha_c)} \right)^{(1-\theta)(1-\alpha_c)} \quad (\text{附 21})$$

$$\pi_t^* = \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \frac{\Phi_{1,t}}{\Phi_{2,t}} \zeta_{\pi,t} \quad (\text{附 22})$$

$$\Phi_{1,t} = Y_t m_t + \beta_p \theta_p E_t \left(\frac{C_{p,t}}{C_{p,t+1}} \pi_{t+1}^\varepsilon \Phi_{1,t+1} \right) \quad (\text{附 23})$$

$$\Phi_{2,t} = Y_t + \beta_p \theta_p E_t \left(\frac{C_{p,t}}{C_{p,t+1}} \pi_{t+1}^{\varepsilon-1} \Phi_{2,t+1} \right) \quad (\text{附 24})$$

$$1 = (1-\theta_p)(\pi_t^*)^{1-\varepsilon} + \theta_p \pi_{t-1}^{\varepsilon-1} \quad (\text{附 25})$$

5. 商业银行

$$1 - \varepsilon^I + \varepsilon^I \frac{R_t^I}{r_t^I} - \kappa_I \left(\frac{r_t^I}{r_{t-1}^I} - 1 \right) \frac{r_t^I}{r_{t-1}^I} + E_t \left(\Lambda_{t,t+1} \kappa_I \left(\frac{r_{t+1}^I}{r_t^I} - 1 \right) \left(\frac{r_{t+1}^I}{r_t^I} \right)^2 \frac{B_{I,t+1}}{B_{I,t}} \right) = 0 \quad (\text{附 26})$$

$$1 - \varepsilon^H + \varepsilon^H \frac{R_t^H}{r_t^H} - \kappa_H \left(\frac{r_t^H}{r_{t-1}^H} - 1 \right) \frac{r_t^H}{r_{t-1}^H} + E_t \left(\Lambda_{t,t+1} \kappa_H \left(\frac{r_{t+1}^H}{r_t^H} - 1 \right) \left(\frac{r_{t+1}^H}{r_t^H} \right)^2 \frac{B_{H,t+1}}{B_{H,t}} \right) = 0 \quad (\text{附 27})$$

$$-1 + \varepsilon^d - \varepsilon^d \frac{R_t^d}{r_t^d} - \kappa_d \left(\frac{r_t^d}{r_{t-1}^d} - 1 \right) \frac{r_t^d}{r_{t-1}^d} + E_t \left(\Lambda_{t,t+1} \kappa_d \left(\frac{r_{t+1}^d}{r_t^d} - 1 \right) \left(\frac{r_{t+1}^d}{r_t^d} \right)^2 \frac{D_{t+1}}{D_t} \right) = 0 \quad (\text{附 28})$$

$$R_t^I - R_t^d = -\kappa \left(\frac{K_t^b}{\omega_t^I B_{I,t} + \omega_t^H B_{H,t}} - v_t \right) \left(\frac{K_t^b}{\omega_t^I B_{I,t} + \omega_t^H B_{H,t}} \right)^2 \omega_t^I \quad (\text{附 29})$$

$$R_t^H - R_t^d = -\kappa \left(\frac{K_t^b}{\omega_t^I B_{I,t} + \omega_t^H B_{H,t}} - v_t \right) \left(\frac{K_t^b}{\omega_t^I B_{I,t} + \omega_t^H B_{H,t}} \right)^2 \omega_t^H \quad (\text{附 30})$$

$$K_{t+1}^b = (1 - \delta_b) K_t^b / \zeta_{K^b,t} + \Pi_t^b \quad (\text{附 31})$$

$$\begin{aligned} \Pi_{t+1}^b = & r_t^I B_{I,t} + r_t^H B_{H,t} - r_t^d D_t - \frac{\kappa}{2} \left(\frac{K_t^b}{\omega_t^I B_{I,t} + \omega_t^H B_{H,t}} - v_t \right)^2 K_t^b - \frac{\kappa_I}{2} \left(\frac{r_t^I}{r_{t-1}^I} - 1 \right)^2 r_t^I B_{I,t} \\ & - \frac{\kappa_H}{2} \left(\frac{r_t^H}{r_{t-1}^H} - 1 \right)^2 r_t^H B_{H,t} - \frac{\kappa_d}{2} \left(\frac{r_t^d}{r_{t-1}^d} - 1 \right)^2 r_t^d D_t \end{aligned} \quad (\text{附 32})$$

$$B_t = D_t + K_t^b \quad (\text{附 33})$$

$$B_t = B_{I,t} + B_{H,t} \quad (\text{附 34})$$

$$\omega_t^I = (1 - \rho^I) \varpi^I + (1 - \rho^I) \chi^I (Y_t - Y_{t-4}) + \rho^I \omega_{t-1}^I \quad (\text{附 35})$$

$$\omega_t^H = (1 - \rho^H) \varpi^H + (1 - \rho^H) \chi^H (Y_t - Y_{t-4}) + \rho^H \omega_{t-1}^H \quad (\text{附 36})$$

6. 中央银行

$$r_t = r_{t-1}^{\phi_r} \left(r \left(\frac{\pi_t}{\pi} \right)^{\phi_\pi} \left(\frac{Y_t}{Y} \right)^{\phi_Y} \right)^{1 - \phi_r} \quad (\text{附 37})$$

$$m_{I,t} = m_I \left(\frac{B_{I,t}}{B_I} \right)^{-\alpha_{B_I}} \left(\frac{Q_t^I}{Q^I} \right)^{-\alpha_{Q^I}} \quad (\text{附 38})$$

$$m_{H,t} = m_H \left(\frac{B_{H,t}}{B_H} \right)^{-\alpha_{B_H}} \left(\frac{Q_t^H}{Q^H} \right)^{-\alpha_{Q^H}} \quad (\text{附 39})$$

$$v_t = \nu \left(\frac{B_t / Y_t}{B / Y} \right)^{\alpha_\nu} \quad (\text{附 40})$$

7. 均衡和市场出清

$$Y_t = C_{P,t} + C_{I,t} + I_t \quad (\text{附 41})$$

$$I_t = I_t^c + I_t^h \quad (\text{附 42})$$

$$H_{P,t} + H_{I,t} = (1 - \delta_h) (H_{P,t-1} + H_{I,t-1}) + Y_t^h \quad (\text{附 43})$$

$$\log\left(\frac{L_t}{L}\right) = \xi \log\left(\frac{Q_t}{Q}\right) \quad (\text{附 44})$$

8. 外生冲击过程

$$\log(j_t) = (1 - \rho_j)\log(j) + \rho_j \log(j_{t-1}) + e_{j,t} \quad (\text{附 45})$$

$$\log(A_t^h) = (1 - \rho_{A^h})\log(A^h) + \rho_{A^h} \log(A_{t-1}^h) + e_{A^h,t} \quad (\text{附 46})$$

$$\log(A_t^c) = (1 - \rho_{A^c})\log(A^c) + \rho_{A^c} \log(A_{t-1}^c) + e_{A^c,t} \quad (\text{附 47})$$

$$\zeta_{\pi,t} = \rho_{\zeta_{\pi}} \zeta_{\pi,t-1} + e_{\zeta_{\pi},t} \quad (\text{附 48})$$

$$\zeta_{K^b,t} = \rho_{\zeta_{K^b}} \zeta_{K^b,t-1} + e_{\zeta_{K^b},t} \quad (\text{附 49})$$

附件 3：贝叶斯估计的详细过程和结果分析

除校准参数外，剩下待估参数集合 Θ 由四个参数子集合构成：第一个参数子集合包含模型引入的各种调整成本参数 $\{\kappa, \kappa_{cb}, \kappa_J, \kappa_H\}$ ；第二个参数子集合包含货币政策参数 $\{\phi_r, \phi_{\pi}, \phi_Y\}$ ；第三个参数子集合包含外生冲击的持续性 $\{\rho_j, \rho_{A^c}, \rho_{A^h}, \rho_{\zeta_{\pi}}, \rho_{\zeta_{K^b}}\}$ ；第四个参数子集合包含外生冲击的标准差 $\{\sigma_j, \sigma_{A^c}, \sigma_{A^h}, \sigma_{\zeta_{\pi}}, \sigma_{\zeta_{K^b}}\}$ 。根据本文的研究需要，模型共引入五种外生冲击：住房偏好冲击、房地产开发商技术冲击、实体企业技术冲击、价格冲击和金融冲击。为避免使用贝叶斯估计出现“随机奇异（Stochastic Singularity）”问题^①，本文选择 2005 年第 1 季度至 2021 年第 4 季度的社会消费品零售总额、房价、消费者价格指数（CPI）和银行间 7 天同业拆借加权平均利率^② 4 个观测变量用于贝叶斯估计。本文使用的数据均来自中经网统计数据库，其中房价由房地产开发企业商品房销售额除以销售面积得到。本文选取的数据频率为季度，观测样本区间为 2005 年第 1 季度至 2021 年第 4 季度^③。

在进行贝叶斯估计之前，需要对原始数据进行处理：（1）由于国家统计局公布的原始 CPI 指数是月度同比增长率数据，因此先要把价格指数同比增长率转化为定基比序列，具体转化方法本文参考了全冰（2017）的做法，再把月度序列转化为季度序列，这里本文将月度 CPI 指数定基比序列的几何平均作为季度 CPI 指数；（2）得到季度 CPI 指数后，可以计算出通货膨胀序列，并将名义消费序列和名义房价序列通过剔除价格影响得到实际消费序列和实际房价序列；（3）对实际消费序列和实际房价序列先进行 Census X-12 季节性处理，再取对数，最后利用 HP 滤波进行去趋势处理得到消费和房价的波动成分以匹配模型变量消费 C_t 和房价 Q_t^h ；（4）对通货膨胀序列和银行间 7 天同业拆借加权平均利率序列进行去均值处理以匹配模型变量通货膨胀 π_t 和名义利率 r_t 。

贝叶斯估计的基本原理为：首先，在稳态附近对模型动态均衡系统进行一阶对数线性化运算，将非线性系统转化为线形系统，该线形系统的唯一解可以写成由状态变量和控制变量组成的状态空间形式（Blanchard 和 Kahn，1980）；然后，给定待估参数 Θ 的先验分布，利用卡尔曼滤波（Kalman Filtering）算法从状态空间计算控制变量的联合条件密度函数，根据贝叶斯公式即可计算出参数 Θ 的后验分布；最后，寻找待估参数 Θ 后验分布中概率密度最

^① “随机奇异”问题是指用于贝叶斯估计的可观测变量个数不能超过外生冲击的个数。

^② 选取银行间 7 天同业拆借加权平均利率作为名义利率的代理变量有两点原因：一是具有良好的市场波动特征；二是反映了货币政策的指导。相反，基准存款利率由于长期被政府管控，变化趋势并不显著。

^③ 我国房价从 2003 年开始快速上涨，此后我国房地产市场正式进入国家宏观调控时期。从这一点考虑，本文将观测数据样本区间的起始时间选为 2005 年第一季度是合理的。

大的点 (Mode)，这个点对应的后验分布就是最优的参数贝叶斯估计结果。关于贝叶斯估计 DSGE 模型的详细介绍请参考：An 和 Schorfheide (2007)、Herbst 和 Schorfheide (2015)。

本文使用基于 Matlab 的工具包 Dynare^①完成参数贝叶斯估计。Dynare 执行贝叶斯估计可分为如下三步：第一步选择参数先验分布，调整成本参数的先验分布设定主要参考 Gerali 等 (2010)，货币政策参数的先验分布设定主要参考黄志刚和许伟 (2017)，外生冲击持续性和标准差的先验分布设定与现有文献保持一致；第二步采用随机抽样方法，运用实际观测序列和先验分布最大化后验函数对数值；第三步通过随机游走 Metropolis-Hastings 算法模拟 10000 次得到后验分布的众数、均值和 90%置信区间。参数贝叶斯估计结果见附表 1。

附表 1 参数贝叶斯估计结果

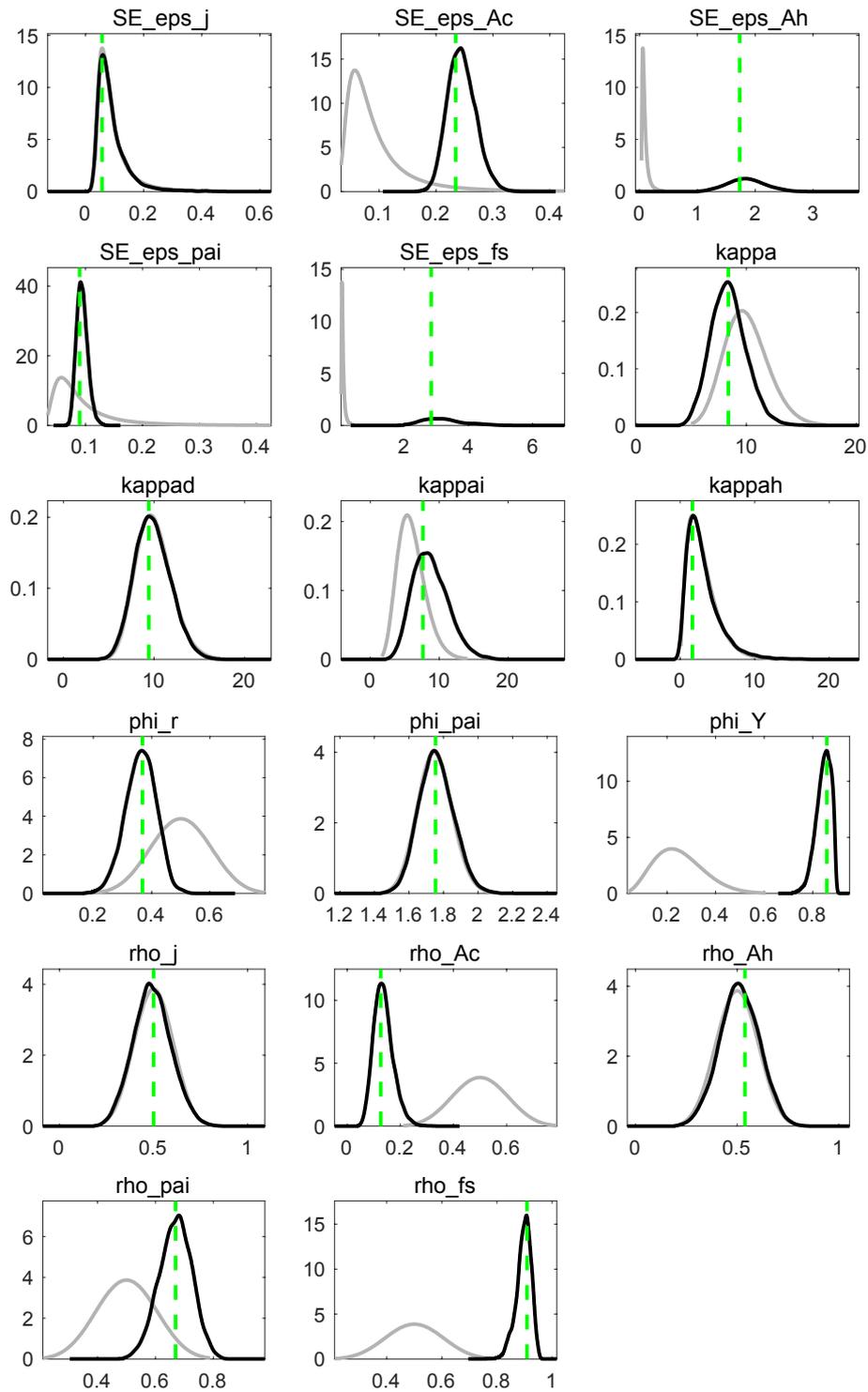
参数	经济含义	先验分布	后验分布		
			众数	均值	90%置信区间
κ	银行偏离资本要求惩罚成本	G(10, 2)	8.3568	8.3624	[5.7953, 10.9790]
κ_d	耐心家庭存款利率调整成本	G(10, 2)	9.4366	9.8367	[6.6127, 12.9606]
κ_I	非耐心家庭贷款利率调整成本	G(6, 2)	7.6233	8.7163	[4.7415, 12.8004]
κ_H	开发商贷款利率调整成本	G(3, 2)	1.6375	3.0679	[0.2398, 6.0668]
ϕ_r	利率平滑系数	B(0.5, 0.1)	0.3683	0.3620	[0.2784, 0.4487]
ϕ_π	利率对通胀缺口反应参数	G(1.75, 0.1)	1.7538	1.7576	[1.6031, 1.9249]
ϕ_Y	利率对产出缺口反应参数	B(0.25, 0.1)	0.8578	0.8439	[0.8021, 0.8926]
ρ_μ	住房偏好冲击的持续性	B(0.5, 0.1)	0.4997	0.4918	[0.3246, 0.6536]
$\rho_{\mathcal{A}}$	实体企业技术冲击的持续性	B(0.5, 0.1)	0.1266	0.1367	[0.0772, 0.1937]
$\rho_{\mathcal{A}^h}$	开发商技术冲击的持续性	B(0.5, 0.1)	0.5385	0.5107	[0.3515, 0.6710]
ρ_{ζ_π}	价格冲击的持续性	B(0.5, 0.1)	0.6693	0.6680	[0.5746, 0.7585]
$\rho_{\zeta_{kb}}$	金融冲击的持续性	B(0.5, 0.1)	0.8087	0.8965	[0.8547, 0.9409]
σ_μ	住房偏好冲击的标准差	Inv.G(0.1, 0.1)	0.0570	0.0903	[0.0334, 0.1550]
$\sigma_{\mathcal{A}}$	实体企业技术冲击的标准差	Inv.G(0.1, 0.1)	0.2345	0.2450	[0.2035, 0.2823]
$\sigma_{\mathcal{A}^h}$	开发商技术冲击的标准差	Inv.G(0.1, 0.1)	1.7327	1.8397	[1.3201, 2.3828]
σ_{ζ_π}	价格冲击的标准差	Inv.G(0.1, 0.1)	0.0896	0.0939	[0.0778, 0.1092]
$\sigma_{\zeta_{kb}}$	金融冲击的标准差	Inv.G(0.1, 0.1)	2.8359	3.1991	[2.2248, 4.3154]

注：B 表示 Beta 分布；G 表示 Gamma 分布；Inv.G 表示 Inverse Gamma 分布。先验分布括号的第一个数字和第二个数字分别表示均值和标准差。

附图 1 给出了贝叶斯估计产生的先验分布和后验分布图形：图形的横轴表示先验分布的支撑集 (support of the prior distribution)，纵轴表示对应的密度；灰色实线表示先验分布密度，黑色实线表示后验分布密度，绿色虚线表示后验分布众数(mode)。根据 Canova (2007) 提出的经验准则，如果后验分布看上去与先验分布非常相像，则有两种可能：一是先验分布的设定十分精确地反应了数据提供的信息；二是参数识别程度较弱 (weakly identified)，数据并未提供有效信息来更新先验分布。显然，后一种情形在实践中更加常见。鉴于该经验准则，我们发现本文的先验分布和后验分布均存在一定的差别，二者不存在完全重合的分布情

^① 本文使用的 Matlab 版本为 2017b，Dynare 版本为 4.5.6。Dynare 的下载地址为：<https://www.dynare.org/>。关于 Dynare 的详细介绍及使用说明请看 Adjemian 等 (2011)，运用 Dynare 对 DSGE 模型进行贝叶斯估计可以参考 Pfeifer (2013) 给出的详细说明和具体操作步骤。

形。^①从这一点来看，可以基本判定本文参数的贝叶斯估计结果较好。



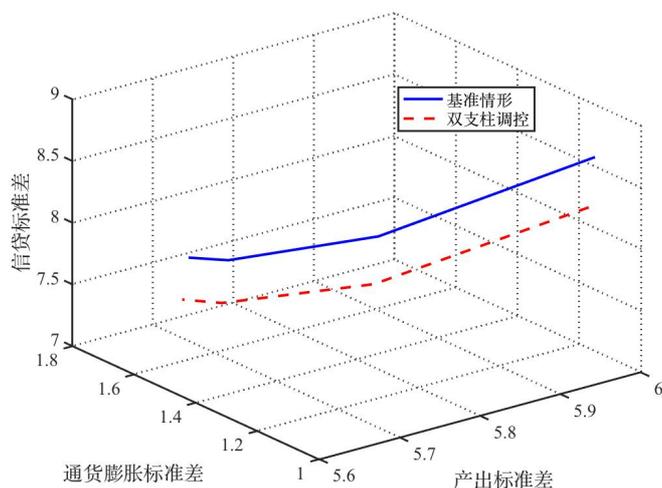
附图 1 贝叶斯估计的先验分布和后验分布

附件 4：三维政策前沿曲线

最大化央行福利损失函数可以得到三维政策前沿曲线，如附图 2 所示。顾名思义，三维政策前沿曲线考虑了三个指标：物价稳定、产出稳定和信贷稳定。与正文相同，这里仍考虑

^① 从附图 1 可以看出，只有利率调整成本参数的先验分布和后验分布较为相似。我们经过对利率调整成本参数进行稳健性分析发现，只要调整成本取值在合理范围内就不会改变本文基本结论。

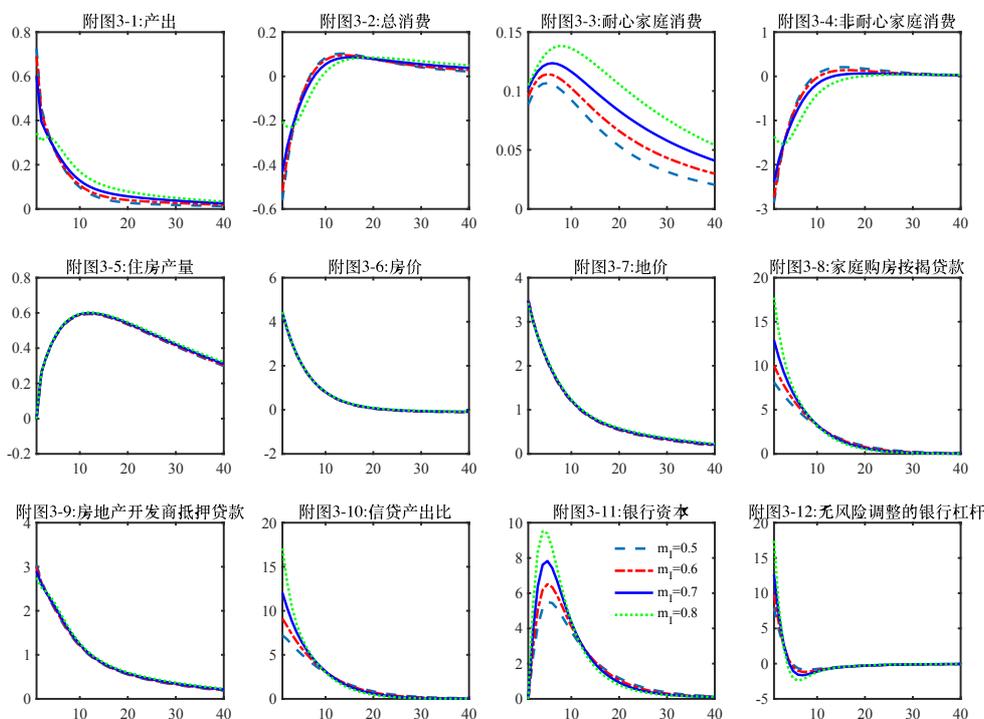
两种情形：仅货币政策调控的基准情形和货币政策与宏观审慎政策同时调控的双支柱调控情形。从附图2我们可以发现，相比基准情形，双支柱调控对应的曲线更低且更加靠近原点，这表明给定中央银行所能容忍的通货膨胀水平，双支柱调控可以实现更小的产出波动和信贷波动。由此可知，宏观审慎政策与货币政策协调搭配能够更好地维护经济和金融稳定。这与正文将三维政策前沿曲线投影到二维坐标平面得到的结论完全相同。



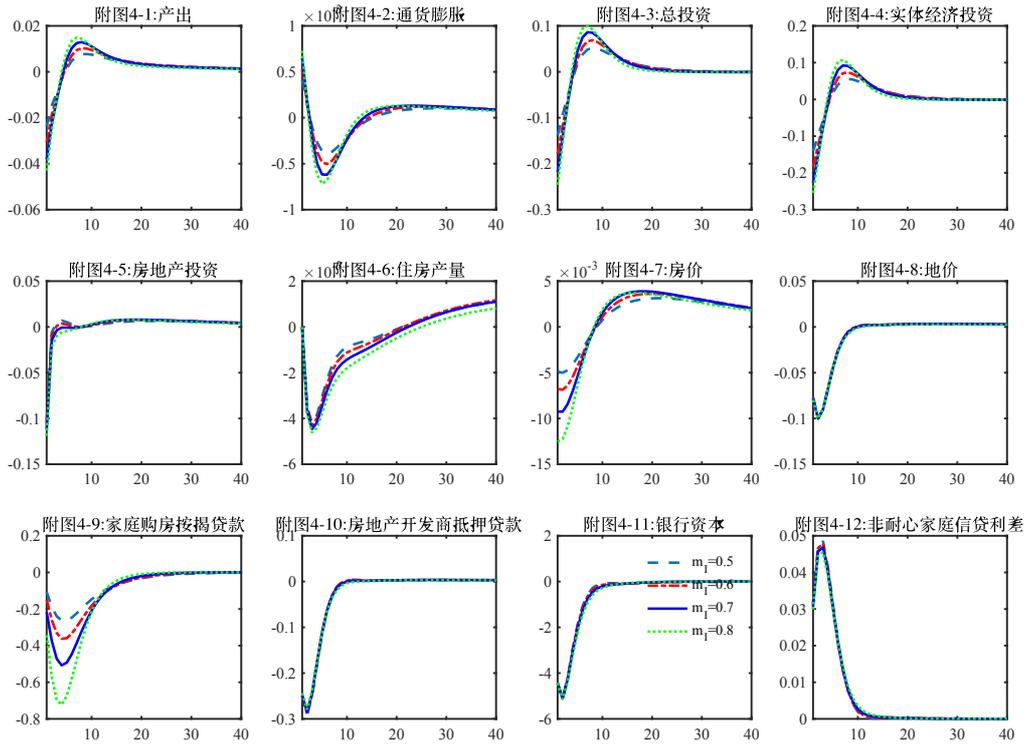
附图2 三维政策前沿曲线

附件2：非耐心家庭贷款价值比的稳健性分析结果

从附图3和附图4可以发现， m_f 在合理范围内取值(0.5~0.8)不会影响本文基本结论。因此本文将 m_f 基准校准值设为0.7，既反映中国现实也与大部分文献保持一致，较为合理。



附图3 住房偏好冲击的稳健性分析结果



附图 4 金融冲击的稳健性分析结果

参考文献：

[1] 黄志刚, 许伟. 住房市场波动与宏观经济政策的有效性[J]. 经济研究, 2017 (5): 103-116.

[2] 全冰. 混频数据、投资冲击与中国宏观经济波动[J]. 经济研究, 2017 (6): 60-76.

[3] Adjemian S, Bastani H, Juillard M, Karamé F, Mihoubi F, Perendia G, Pfeifer J, Ratto M, Villemot S. Dynare: Reference Manual Version 4[R]. Dynare Working Paper 1, 2011, CEPREMAP.

[4] An S, Schorfheide F. Bayesian Analysis of DSGE Models[J]. Econometric Reviews, 2007, 26: 113-172.

[5] Blanchard O, Kahn C. The Solution of Linear Difference Models under Rational Expectations[J]. Econometrica, 1980: 1305-1311.

[6] Canova F. Bayesian Analysis of DSGE Models by S. An and F. Schorfheide[J]. Econometric Reviews, 2007, 26 (2-4): 187-192.

[7] Gertler M, Kiyotaki N. Financial Intermediation and Credit Policy in Business Cycle Analysis[M]. Handbook of Monetary Economics, 2010, 3: 547-599.

[8] Herbst E, Schorfheide F. Bayesian Estimation of DSGE Models[M]. Princeton University Press, 2015, Princeton.

[9] Pfeifer J. A Guide to Specifying Observation Equations for the Estimation of DSGE Models[R]. Working Paper, 2013.