

附录1 个体不确定性的推导过程

不确定性测度落实到实际需如下两个核心步骤。第一步：估计条件期望 $E[y_{jt+h}|I_t]$ 。条件期望的部分是观测者所掌握的历史信息，其被定义为“可预测部分”。在针对这一部分建模时，由于变量维数过百，逐一纳入模型会面临“维数灾难”困境。为此，Jurado等（2015）采用主成分分析（PCA）方法将指标集中的变量“有效”地降低至可控范围。其定义预测变量 X_{it} 可被式（1）估计，具体形式如下：

$$X_{it} = \Lambda_i^F F_t + e_{it}^X \tag{1}$$

其中， F_t 为 $r_F \times 1$ 维公因子， Λ_i^F 为公因子的载荷矩阵， e_{it}^X 为个体误差， r_F 为公因子数量，要求其维度远小于 N 。在这里“有效”需详细说明，“有效”体现在两个方面，首先公因子数目要足够少，以保证估计时样本具备充足的自由度。其次，公因子能否有效压缩指标集中的公共信息亦是重要的评价标准。Bai 和 Ng（2017）指出，主成分分析中的特征空间易受异常值影响。尽管异常值在经济和金融数据中很少见^①，但其存在将导致主成分包含过多的异常值信息，致使主成分个数增多，“有效性”被破坏，因此他们提出稳健主成分法（RPCA）解决上述问题。进一步，Hubert等（2016）提出稳健稀疏主成分法（ROSPCA），该方法最突出的贡献是将主成分的因子载荷矩阵转换为稀疏矩阵。换言之，针对某一主成分可知不同指标对其相对贡献程度，贡献度高的保留，贡献度较低则设定其权重接近于0。这样处理的优势可与PCA中的因子旋转法类比，方便得知不同主成分中单一指标的贡献情况，进而明晰主成分的实际经济含义。综上所述，本文运用ROSPCA方法替代PCA实现对指标集的降维，同时考虑到异常值的影响，在指标标准化步骤中使用的均值与标准差被稳健中心和稳健标准差取代。

第二步，计算预测误差 v_{jt+1}^y 。根据Benigno等（2013）对DSGE模型稳态解的二阶估计可知，不确定性冲击会对被解释变量的均值产生影响，因此需将不确定性这一因素纳入模型的“可预测”部分中。此外，众多实证研究也证实不确定性对宏观经济与金融系统有显著的影响（Bloom, 2009; Jurado等, 2015; 黄卓等, 2018）。考虑到这一情况，本文参考Chan（2017）提出的TVP-SVM模型，在保留主成分系数为常数的条件下，考虑三部分系数的时变性：截距项、随机波动均值效应项和被解释变量的滞后项。具体形式如式（2）所示：

$$y_{jt+1} = c_{jt} + \phi_{jt}^y(L)y_{jt} + \gamma_j^F(L)\hat{F}_t + \gamma_j^W(L)W_t + a_{jt} e^{h_{jt+1}} + v_{jt+1}^y \tag{2}$$

其中， \hat{F}_t 为主成分项， W_t 由全部指标平方的第一主成分和第一主成分的平方项所构成^②。进一步，根据待估参数 c_{jt} 、 ϕ_{jt}^y 和 a_{jt} 是否为时变系数以及 a_{jt} 是否为0，模型可细分成12个子模型。通过计算边际似然函数值对子模型加以比较，最终选择最大函数值所对应的子模型^③。下面简要阐述TVP-SVM模型的贝叶斯估计方法^④。

定义 y_{jt+1} 为研究者关注的时间序列变量，其具体形式如式（3）和（4）所示：

$$y_{jt+1} = x_{jt}' \beta_{jt} + a_{jt} e^{h_{jt+1}} + v_{jt+1}^y, \quad v_{jt+1}^y \sim N(0, e^{h_{jt+1}}) \tag{3}$$

$$h_{jt+1} = \mu_j + \phi_j(h_{jt} - \mu_j) + v_{jt+1}^h, \quad v_{jt+1}^h \sim N(0, \sigma_j^2) \tag{4}$$

其中， x_{jt} 包含式（2）中的截距项、被解释变量的滞后项及主成分项。 β_{jt} 为相应的时变系数，在模型中可以对先验分布施加约束使其退化为非时变系数。 v_{jt+1}^y 和 v_{jt+1}^h 自身及彼此间不存在序列相关。假定 h_{jt+1} 服

① 2020年新冠疫情以及2008年全球金融危机是此类黑天鹅事件的代表。
 ② 通过高阶项捕捉变量对被解释变量的非线性影响，方法仍采用ROSPCA。
 ③ 边际似然函数值及模型选取结果见表1和表2。
 ④ 因篇幅所限，详细理论推导及贝叶斯估计先验及后验参数设定请参见Chan（2017）。

从平稳的 $AR(1)$ 过程, 令 $h_{jt} \sim N(\mu_j, \sigma_j^2 / (1 - \phi_j^2))$, 等价于 h_{jt+1} 的无条件方差, 且 $|\phi_j| < 1$ 。再令 $\gamma_{jt} = (\alpha_{jt}, \beta_{jt})'$, 并设定其服从随机游走过程:

$$\gamma_{jt} = \gamma_{jt-1} + v_{jt}^{\gamma}, \quad v_{jt}^{\gamma} \sim N(0, \Omega_j) \tag{5}$$

注意到, 当式 (3) 中 $\alpha_{jt} = 0, t = 1, 2, \dots, T$, 上述模型退化为标准 TVP-SV 模型。当 $\alpha_{jt} \neq 0$ 时, 模型中包含未知 h_{jt+1} 的非线性成分, 估计难度陡增。Chan (2017) 提出如下四个步骤快速且有效地获得待估参数的后验抽样:

1. $p(h|y, x, \gamma, \mu, \phi, \sigma^2, \Omega) = p(h|y, x, \gamma, \mu, \phi, \sigma^2) \propto p(y|x, \gamma, h)p(h|\mu, \phi, \sigma^2)$;
2. $p(\gamma|y, x, h, \mu, \phi, \sigma^2, \Omega) = p(\gamma|y, x, h, \Omega)$;
3. $p(\Omega, \sigma^2|y, x, \gamma, h, \mu, \phi) = p(\Omega|\gamma)p(\sigma^2|h, \mu, \phi)$;
4. $p(\mu, \phi|y, x, \gamma, h, \sigma^2, \Omega) = p(\mu, \phi|h, \sigma^2)$.

借助上述的抽样方法, 并结合边际似然函数值的计算, 方可确定每一个指标所对应的模型并获得其个体不确定性。

表 1 经济指标集模型选择情况

指标名称	基准模型	最优模型	最优模型代码
工业增加值	-1285.832	-248.6356	9
发电量	-311.1921	-311.1921	5
原煤产量	-303.6891	-303.6891	5
焦炭产量	-283.1465	-283.1465	5
粗钢产量	-298.0509	-298.0509	5
钢材产量	-308.2486	-308.2486	5
原油产量	-315.8019	-315.8019	5
乙烯产量	-289.8667	-289.8667	5
十种有色金属产量	-310.2163	-310.2163	5
汽车产量	-303.4664	-303.4664	5
工业锅炉	-343.912	-343.912	5
金属集装箱	-292.8809	-292.8809	5
规模以上港口货物吞吐量	-294.4084	-294.4084	5
规模以上港口外贸货物吞吐量	-295.3955	-295.3955	5
铁路货运量	-311.1218	-311.1218	5
公路货运量	-328.0798	-328.0798	5
水运货运量	-304.299	-304.299	5
民航货邮运输量	-289.9439	-289.9439	5
货运量总计	-300.2614	-300.2614	5
固定资产投资完成额	-600.111	-325.1834	6
固定资产投资完成额：第一产业	-467.9445	-467.9445	5
固定资产投资完成额：第二产业	-414.5024	-414.5024	5
固定资产投资完成额：第三产业	-516.5622	-516.5622	5
房地产开发企业投资完成额	-297.2418	-297.2418	5
房地产开发投资完成额：住宅	-300.0962	-300.0962	5

表1 经济指标集模型选择情况

指标名称	基准模型	最优模型	最优模型代码
房地产开发企业新增固定资产	-298.7818	-298.7818	5
房地产开发企业房屋建筑面积	-315.1879	-315.1879	5
房地产开发企业房屋建筑竣工面积	-299.7271	-299.7271	5
房地产开发企业新开工面积	-345.7295	-345.7295	5
房地产开发企业商品房销售面积	-302.5395	-302.5395	5
房地产开发企业商品房销售额	-299.7135	-299.7135	5
商品房价格指数（销售额/销售面积）	-302.1356	-302.1356	5
国房景气指数	-305.4571	-305.4571	5
社会消费品零售总额	-774.2942	-290.8852	7
消费者预期指数	-312.8642	-312.8642	5
消费者满意指数	-323.3802	-323.3802	5
消费者信心指数	-314.0116	-314.0116	5
进出口金额	-322.3215	-322.3215	5
进口额：石油、石油产品及有关原料	-306.3204	-306.3204	5
出口金额	-317.7527	-317.7527	5
进口金额	-322.5026	-322.5026	5
出口价格指数	-297.443	-297.443	5
进口价格指数	-317.2669	-317.2669	5
出口数量指数	-327.058	-327.058	5
进口数量指数	-330.7117	-330.7117	5
贸易条件（出口价格指数/进口价格指数）	-307.7244	-307.7244	5
出口占进口比例	-320.8073	-320.8073	5
公共财政支出	-300.4705	-300.4705	5
公共财政收入	-300.5471	-300.5471	5
财政收支比例	-289.6654	-289.6654	5
货币供应：M0	-297.6987	-297.6987	5
货币供应：M1	-311.6184	-311.6184	5
货币供应：M2	-339.9731	-267.0914	9
居民消费价格指数	-321.7675	-321.7675	5
CPI：食品：定基比	-315.199	-315.199	5
CPI：衣着：定基比	-339.8027	-246.5667	9
CPI：交通和通信：定基比	-314.3667	-314.3667	5
CPI：居住：定基比	-355.9937	-307.6221	9
PPI：全部工业品：定基比	-382.4471	-260.5424	9
PPI：生产资料：定基比	-365.1742	-268.3977	9
PPI：生产资料：采掘工业：定基比	-620.1122	-198.1334	9
PPI：生产资料：原材料工业：定基比	-364.01	-290.2279	9
PPI：生产资料：加工工业：定基比	-346.9945	-276.067	9
PPI：生活资料：定基比	-334.4358	-247.2108	9
PPI：生活资料：食品类：定基比	-325.0372	-274.8997	9

表 1 经济指标集模型选择情况

指标名称	基准模型	最优模型	最优模型代码
PPI: 生活资料: 衣着类: 定基比	-328.9504	-289.9443	9
PPI: 生活资料: 一般日用品类: 定基比	-324.2808	-261.4919	9
PPI: 生活资料: 耐用消费品类: 定基比	-290.0135	-290.0135	5
CGPI: 定基比	-358.2025	-263.9889	9
CGPI: 农产品: 定基比	-312.5112	-312.5112	5
CGPI: 矿产品: 定基比	-311.1915	-298.9281	9
CGPI: 煤油电: 定基比	-392.5497	-303.2073	9
PPIRM: 定基比	-453.1314	-258.9182	9
PPIRM: 燃料、动力类: 定基比	-443.1094	-273.4806	9
PPIRM: 黑色金属材料类: 定基比	-382.4855	-259.8993	9
PPIRM: 有色金属类: 定基比	-320.7596	-317.6752	9
PPIRM: 化工原料类: 定基比	-447.3392	-267.5813	9
PPIRM: 木材及纸浆类: 定基比	-305.4686	-274.0801	9
PPIRM: 建筑材料类: 定基比	-604.4462	-192.5622	9
PPIRM: 其他工业原材料及半成品类: 定基比	-583.6721	-220.7159	9
PPIRM: 农副产品类: 定基比	-343.4003	-296.4535	9
PPIRM: 纺织原料类: 定基比	-369.5679	-248.6277	9
中债国债到期收益率: 0 年	-305.489	-305.489	5
中债国债到期收益率: 1 个月	-318.7307	-318.7307	5
中债国债到期收益率: 3 个月	-337.9816	-337.9816	5
中债国债到期收益率: 6 个月	-350.7928	-350.7928	5
中债国债到期收益率: 9 个月	-342.9197	-342.9197	5
中债国债到期收益率: 1 年	-348.4174	-348.4174	5
中债国债到期收益率: 3 年	-332.3426	-332.3426	5
中债国债到期收益率: 5 年	-317.2173	-317.2173	5
中债国债到期收益率: 10 年	-304.8326	-304.8326	5
期限利差 (10 年-3 个月)	-316.4735	-316.4735	5
国债到期收益率 3 个月-银行间同业拆借利率 1 天	-301.8354	-301.8354	5
国债到期收益率 6 个月-银行间同业拆借利率 1 天	-310.4651	-310.4651	5
国债到期收益率 1 年-银行间同业拆借利率 1 天	-306.7594	-306.7594	5
国债到期收益率 5 年-银行间同业拆借利率 1 天	-297.8544	-297.8544	5
国债到期收益率 10 年-银行间同业拆借利率 1 天	-295.3551	-295.3551	5

表 2 金融指标集模型选择情况

指标名称	基准模型	最优模型	最优模型代码
上海证券交易所综合指数	-320.7248	-320.7248	5
深圳证券交易所综合指数	-328.6511	-328.5334	9
市盈率: 上海证券交易所	-316.4813	-316.4813	5

表2

金融指标集模型选择情况

指标名称	基准模型	最优模型	最优模型代码
市盈率：深圳证券交易所	-294.4997	-294.4997	5
ROE	-307.501	-307.501	5
官方储备资产：外汇储备	-350.5789	-249.0125	9
人民币实际有效汇率指数	-288.1643	-288.1643	5
USD/CNY 即期汇率	-1758.965	-347.7213	9
EUR/CNY 即期汇率	-295.965	-295.965	5
100JPY/CNY 即期汇率	-297.1775	-297.1775	5
GBP/CNY 即期汇率	-311.6111	-311.6111	5
银行间同业拆借利率：1天	-312.438	-312.438	5
银行间同业拆借利率：7天	-309.5448	-309.5448	5
银行间同业拆借利率：21天	-288.993	-288.993	5
银行间同业拆借利率：1个月	-311.3134	-311.3134	5
银行间同业拆借利率：2个月	-323.5994	-323.5994	5
银行间同业拆借利率：3个月	-311.8382	-311.8382	5
中债综合指数	-306.993	-306.993	5
中债总指数	-309.2779	-309.2779	5
中债固定利率债券指数	-310.2675	-310.2675	5
中债浮动利率债券指数	-318.5562	-318.5562	5
中债长期债券指数	-308.1934	-308.1934	5
中债中短期债券指数	-314.1214	-314.1214	5
中债银行间债券总指数	-307.3169	-307.3169	5
中债国债总指数	-312.1285	-312.1285	5
中债金融债券总指数	-312.8058	-312.8058	5
上证基金指数	-284.7748	-284.7748	5
期货成交量（郑州商品交易所）	-314.7031	-314.7031	5
期货成交额（郑州商品交易所）	-302.8849	-302.8849	5
期货平均价格（郑州商品交易所）	-314.4453	-314.4453	5
期货成交量（大连商品交易所）	-312.2277	-312.2277	5
期货成交额（大连商品交易所）	-305.0405	-305.0405	5
期货平均价格（大连商品交易所）	-322.789	-322.789	5
期货成交量（上海期货交易所）	-314.5914	-314.5914	5
期货成交额（上海期货交易所）	-313.011	-313.011	5
期货平均价格（上海期货交易所）	-301.0242	-301.0242	5
短期收益反转因子	-321.7318	-321.7318	5
惯性因子	-336.8608	-336.8608	5
FF 三因子（3个）	-308.0733	-308.0733	5
	-300.5825	-300.5825	5
	-325.9465	-325.9465	5
金融机构：各项贷款余额	-313.8148	-313.8148	5
金融机构：各项存款余额	-314.3553	-307.5759	9

表2 金融指标集模型选择情况

指标名称	基准模型	最优模型	最优模型代码
存贷比（存款余额/贷款余额）	-288.3242	-288.3242	5
贷款：短期	-375.921	-259.4703	9
贷款：中长期	-950.8513	-213.4443	9
社会融资规模	-314.5804	-314.5804	5

模型 5：常系数 SV 模型，此为 Jurado 等（2015）所使用的模型，为本文的基准模型。

模型 6：仅 α_{jt} 为时变系数的 TVP-SVM 模型，此时 c_{jt} 和 ϕ_{jt}^y 均为常数。

模型 7：仅 c_{jt} 为时变系数的 TVP-SVM 模型，此时 α_{jt} 和 ϕ_{jt}^y 均为常数。

模型 9：仅 c_{jt} 为时变系数的 TVP-SV 模型，此时 α_{jt} 不存在。

参考文献

- [1] 黄卓, 邱晗, 沈艳. 测量中国的金融不确定性——基于大数据的方法[J]. 金融研究, 2018(11):30-46.
- [2] Bai J, Ng S. Principal Components and Regularized Estimation of Factor Models[J]. arXiv preprint arXiv:1708.08137, 2017.
- [3] Benigno G, Benigno P, Nisticò S. Second-order Approximation of Dynamic Models with Time-Varying Risk[J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2013, 37(7):1231-1247.
- [4] Bloom N. The Impact of Uncertainty Shocks[J]. Econometrica, 2009, 77(3): 623-685.
- [5] Chan J C C. The Stochastic Volatility in Mean Model With Time-Varying Parameters:An Application to Inflation Modeling[J]. Journal of Business & Economic Statistics, Taylor & Francis Journals, 2017, 35(1):17-28.
- [6] Hubert M, Reynkens T, Schmitt E, et al. Sparse PCA for High-Dimensional Data with Outliers[J]. Technometrics, 2016, 58(4):424-434.
- [7] Jurado K, Ludvigson S C, Ng S. Measuring Uncertainty[J]. American Economic Review, 2015, 105 (3):1177-1216.

附录2 不确定性测度指标详情

表3 经济指标集

实际产出类 (12个)	工业增加值、发电量、原煤产量、焦炭产量、粗钢产量、钢材产量、原油产量、乙烯产量、十种有色金属产量、汽车产量、工业锅炉、金属集装箱
物流指标类 (7个)	规模以上港口货物吞吐量、规模以上港口外贸货物吞吐量、铁路货运量、公路货运量、水运货运量、民航货邮运输量、货运量总计
投资类	固定资产投资完成额（总计、第一产业、第二产业、第三产业）
房地产类（10个）	房地产开发企业-投资完成额、房地产开发投资完成额；住宅、房地产开发企业-新增固定资产、房地产开发企业房屋建筑-施工面积、房地产开发企业房屋建筑-竣工面积、房地产开发企业新开工面积、房地产开发企业商品房-销售面积、房地产开发企业商品房-销售额、商品房价格指数（销售额/销售面积）、国房景气指数
消费类	消费者预期指数、消费者满意指数、消费者信心指数、社会消费品零售总额
进出口类 (10个)	进出口金额、进口额:石油、石油产品及有关原料、出口金额、进口金额、出口价格指数、进口价格指数、出口数量指数、进口数量指数、贸易条件（出口价格指数/进口价格指数）、出口占进口比例
财政收支类	公共财政支出、公共财政收入、财政收支比例
货币类	货币供应: (M0) 流通中现金、货币供应: (M1)、货币供应: (M2)
价格类 (28个)	居民消费价格指数（总指数、食品烟酒、衣着、交通和通信、居住） 工业生产者出厂价格指数（总指数、采掘品、原料、加工品、生活资料总指数及生活资料（食品类、衣着类、一般日用品、耐用消费品）） 企业商品价格指数（总指数、农产品、矿产品、煤油电） 工业生产者购进价格指数（总指数、燃料动力类、黑色金属材料类、有色金属材料和电线类、化工原料类、木材及纸浆类、建筑材料及非金属矿类、其它工业原材料及半成品类、农副产品类、纺织原料类）
利率类 (15个)	中债国债到期收益率：（0年、1个月、3个月、6个月、9个月、1年、3年、5年、10年） 期限利差（10年-3个月） 中债国债到期收益率：3个月-银行间同业拆借利率：1天 中债国债到期收益率：6个月-银行间同业拆借利率：1天 中债国债到期收益率：1年-银行间同业拆借利率：1天 中债国债到期收益率：5年-银行间同业拆借利率：1天 中债国债到期收益率：10年-银行间同业拆借利率：1天

表 4 金融指标集

股市指标 (10个)	上海证券交易所综合指数、深圳证券交易所综合指数、市盈率：上海证券交易所、市盈率：深圳证券交易所、ROE、风险溢价因子、市值因子、账面市值比因子、短期收益反转因子、惯性因子
债券市场 (10个)	中债综合指数、中债总指数、中债固定利率债券指数、中债浮动利率债券指数、中债长期债券指数、中债中短期债券指数、中债银行间债债券总指数、中债国债总指数、中债金融债券总指数、上证基金指数
期货市场 (9个)	期货成交量（郑州、大连、上海商品交易所）、期货成交额（郑州、大连、上海商品交易所）、期货平均价格（郑州、大连、上海商品交易所）
外汇指标 (6个)	官方储备资产：外汇储备、人民币实际有效汇率指数、USD/CNY 即期汇率、EUR/CNY 即期汇率、100JPY/CNY 即期汇率、GBP/CNY 即期汇率
信贷市场 (6个)	金融机构：各项贷款余额、金融机构：各项存款余额、存贷比（存款余额/贷款余额）、贷款：短期、贷款：中长期、社会融资规模
同业拆借 (6个)	银行间同业拆借利率（1天、7天、21天、1个月、2个月、3个月）

表 5 补充指标集

美国经济指标 (15个)	新建住房、信用利差（BAA-AAA）、S&P500 股息率、S&P 500 指数、工业生产指数、CPI、相对国库券利率：2-Month Treasury C Minus FEDFUNDS、期限利差（10年-3个月）、失业率、联邦利率、实际个人收入、消费者信心指数、制造业 PMI、非农就业人数、PPI
国际大宗商品指标(8个)	波罗地海干货指数 BDI、CRB 指数：现货、CRB 指数：食品、CRB 指数：金属、CRB 指数：工业原料、CRB 指数：纺织、CRB 指数：牲畜、CRB 指数：油脂
股市收益率指标 (40个)	行业收益率（农林牧渔、采矿业等 15 个行业）、股票投资组合收益率（依据市值和市账比划分）

附录3 TVAR模型广义脉冲响应函数可信区间

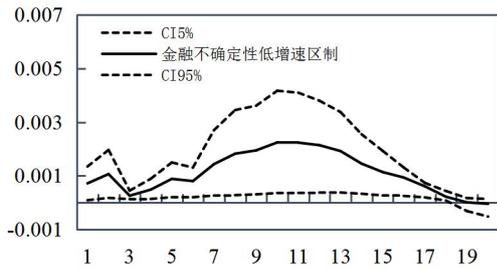


图1 FU 对 EU 的脉冲响应(状态变量: FU)

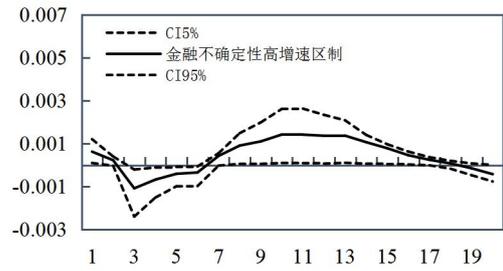


图2 FU 对 EU 的脉冲响应(状态变量: FU)

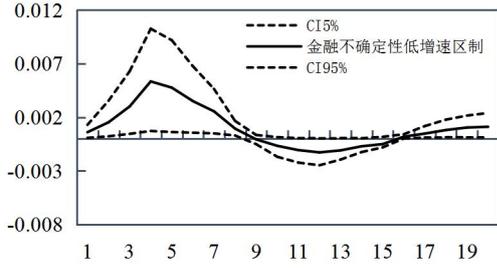


图3 EU 对 FU 的脉冲响应(状态变量: FU)

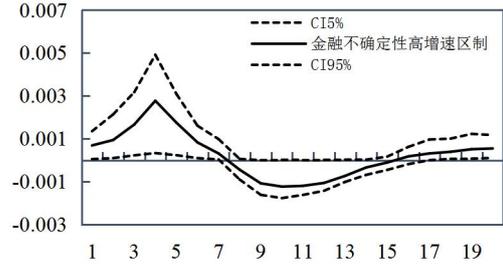


图4 EU 对 FU 的脉冲响应(状态变量: FU)

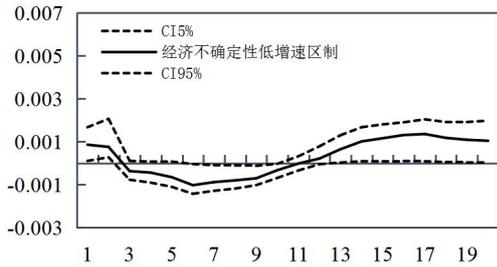


图5 FU 对 EU 的脉冲响应(状态变量: EU)

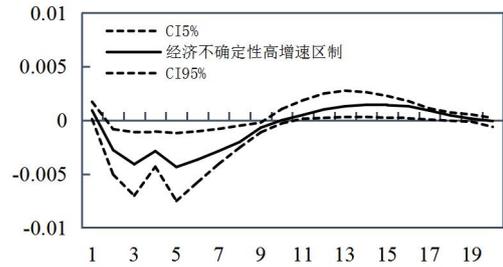


图6 FU 对 EU 的脉冲响应(状态变量: EU)

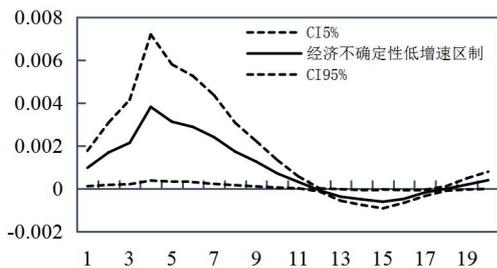


图7 EU 对 FU 的脉冲响应(状态变量: EU)

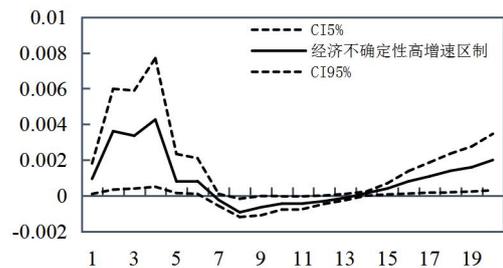


图8 EU 对 FU 的脉冲响应(状态变量: EU)

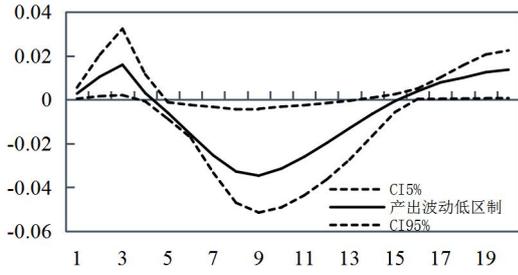


图9 VO对FU的脉冲响应(状态变量:VO)

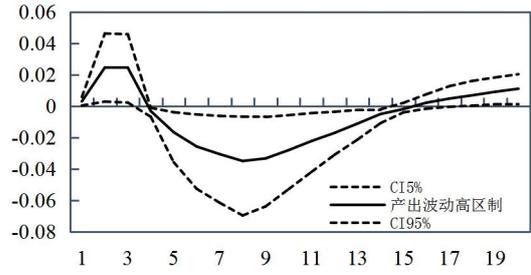


图10 VO对FU的脉冲响应(状态变量:VO)

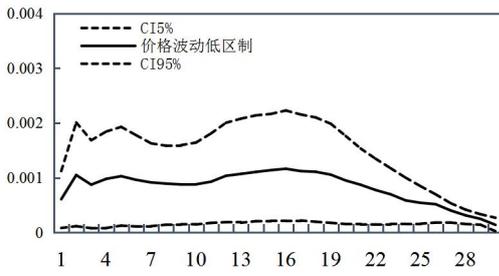


图11 VP对FU的脉冲响应(状态变量:VP)

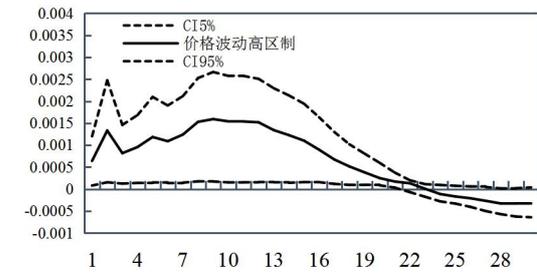


图12 VP对FU的脉冲响应(状态变量:VP)

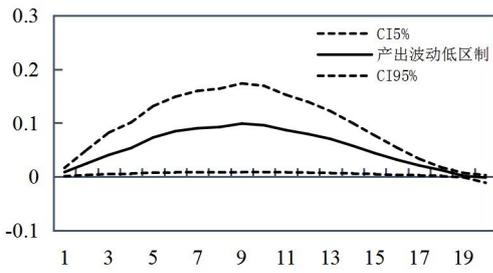


图13 VO对EU的脉冲响应(状态变量:VO)

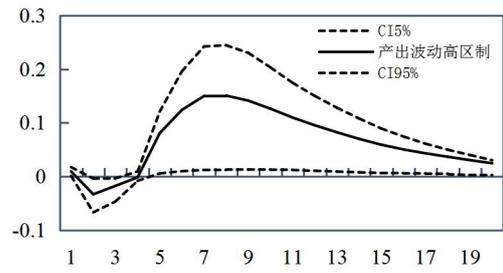


图14 VO对EU的脉冲响应(状态变量:VO)

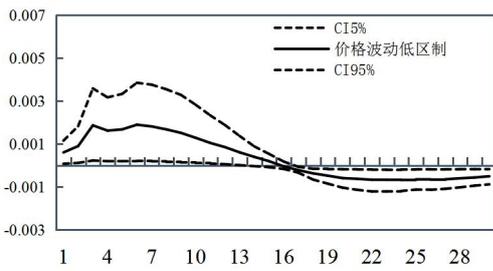


图15 VP对EU的脉冲响应(状态变量:VP)

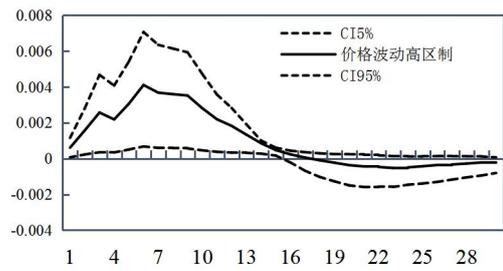


图16 VP对EU的脉冲响应(状态变量:VP)