

附录 1. 卡尔曼滤波递归方法的具体步骤

首先初始化 $\beta_0 \sim N(b_0, P_0)$, b_0 为零向量, P_0 为明尼苏达矩阵; Σ_0 为全样本初始的预测协方差矩阵。对于 $t=1, \dots, T$, 依次进行如下的递归过程:

递归过程的第一步是预测步骤, 即对于每一个时间点下的 β_t 和 P_t 进行先验预测。

步骤①: 设定 $\beta_{t|t-1} = \beta_{t-1|t-1}$ 。即先验假定回归系数等于上一期值。

步骤②: 估计时变的遗忘因子 $\lambda_t = \lambda_{\min} + (1 - \lambda_{\min})L^{f_t}$, 设定 $\lambda_{\min}=0.96$ 以及 $L=1.1$, 同时 $f_t = -\text{NINT}(\tilde{\epsilon}'_{t-1}\tilde{\epsilon}_{t-1})$, NINT 为四舍五入取整函数。

步骤③: 设定 $P_{t|t-1} = (1/\lambda)P_{t-1|t-1}$, 由此不必再估计变量 Q_t 。

递归过程的第二步是更新步骤, 即根据预测步骤得到的先验预测结果, 结合实际的拟合残差进行误差修正, 进而对 β_t 和 P_t 的预测结果进行更新。

步骤①: 估计 $\tilde{\epsilon}_t = y_t - x_t\beta_{t|t-1}$, 即得到先验预测的估计残差。

步骤②: 估计 $\hat{\Sigma}_t = \kappa\hat{\Sigma}_{t-1} + (1-\kappa)\tilde{\epsilon}_t\tilde{\epsilon}'_t$, 即使用指数加权移动平均滤波方法对 Σ_t 进行更新, 其中 κ 为衰减因子, 设其等于 0.96。

步骤③: 估计 $\beta_{t|t} = \beta_{t|t-1} + P_{t|t-1}x'_t(\hat{\Sigma}_t + x_tP_{t|t-1}x'_t)^{-1}\tilde{\epsilon}_t$, 即更新 β_t 先验结果。

步骤④: 估计 $P_{t|t} = P_{t|t-1} - P_{t|t-1}x'_t(\hat{\Sigma}_t + x_tP_{t|t-1}x'_t)^{-1}x_tP_{t|t-1}$, 即更新 P_t 先验结果。

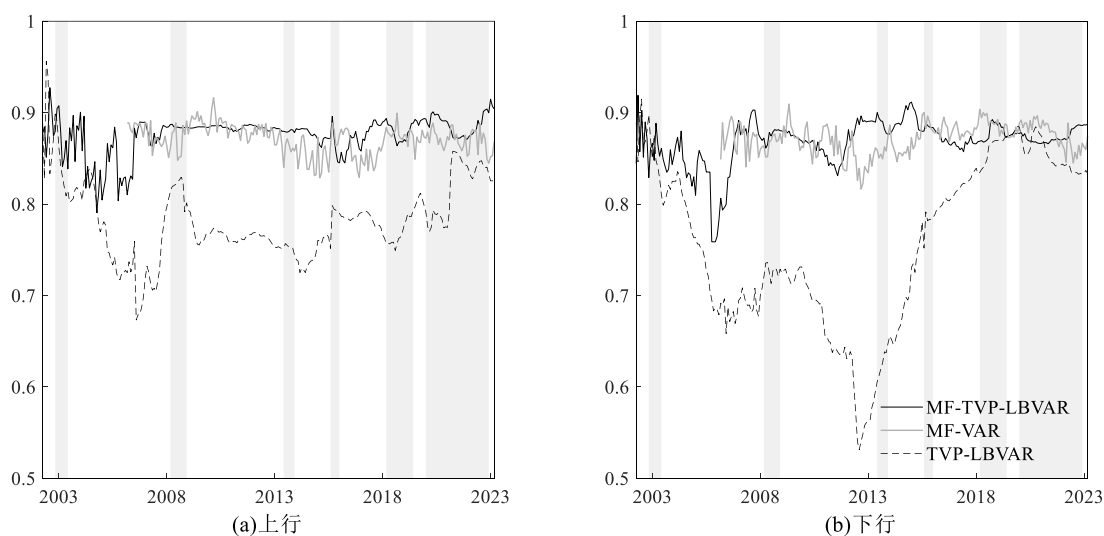
完成上述递归步骤, 得到式 (5) 中时变的协方差矩阵 $\hat{\Sigma}_t$ 以及 β_t 和 P_t 的先验结果。

附录 2.实体经济和金融市场指标选取依据

本文指标选取依据在于，本文侧重于从宏观视角度量实体经济与金融市场间溢出关系，因此分别选取实体经济部门体系与金融市场体系。对于实体经济部门，产出是衡量国民经济基本面的最基础指标；价格与产出共同构成总供给-总需求模型，同样至关重要；投资、消费和进出口既是国民经济恒等式的组成部分，也是体现经济需求侧的重要变量；信贷则可以直接体现金融市场对实体经济总体支持力度，将微观行为与宏观整体相联系。对于金融市场，股票和债券市场是资本市场的最重要组成部分，外汇市场则是外部金融市场的代表，同时股票、债券和外汇市场也是我国交易量、活跃程度排位靠前的金融市场。综上分析，本文指标选取基本可以涵盖实体经济运行和金融市场体系的大部分内容。

附录 3. MF-TVP-LBVAR 模型与 MF-VAR 和 TVP-LBVAR 模型的比较

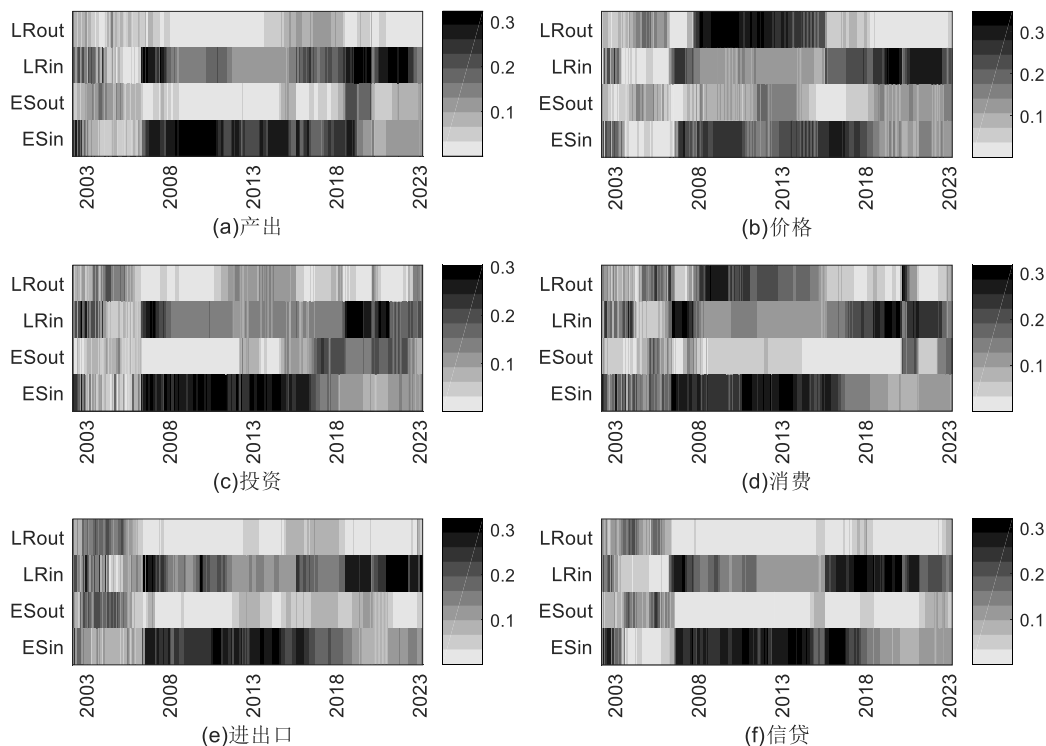
附图 1 分别绘制了上行和下行网络中实体经济与金融市场间总体溢出水平的动态演化趋势，MF-TVP-LBVAR 模型结果显示，在历次重大事件时间段内，不论是上行还是下行网络，实体经济与金融市场间总体溢出水平基本上均呈现出一定上升趋势。考虑到本文使用的混频、时变 MF-TVP-LBVAR 模型是 MF-VAR 和 TVP-LBVAR 的结合，故此进行模型比较分析。一是非时变的 MF-VAR 溢出模型，本文将滚动时间窗口设置为 50，结果表明该模型结果在数值上与 MF-TVP-LBVAR 模型较为接近，特别是在重大事件时间段内下行溢出水平趋势变化较为接近，但是与 MF-TVP-LBVAR 模型相比，MF-VAR 由于需要滚动窗口估计，因此缺失了 2002-2006 年样本时段的结果，无法对非典型肺炎疫情事件进行讨论。二是非混频的 TVP-LBVAR 模型，本文沿用 Cotter 等（2017）的方法对混频的实体经济和金融市场数据进行共频处理，该模型结果的动态演化趋势与 MF-TVP-LBVAR 模型非常接近，但是总体溢出水平数值基本上均低于 MF-TVP-LBVAR 模型，表明 TVP-LBVAR 模型容易低估实体经济与金融市场间风险溢出水平。同时，不论是 MF-VAR 还是 TVP-LBVAR 模型，其估计结果相对于 MF-TVP-LBVAR 结果均具有一定滞后性，特别是对于下行溢出的前瞻性测算效果较弱。结合上述分析，本文使用的 MF-TVP-LBVAR 模型优于 MF-VAR 和 TVP-LBVAR 模型。



附图 1 实体经济与金融市场间上下行总体溢出水平动态演化和模型比较

附录 4.各实体经济部门与金融市场间上行和下行溢出水平的演化趋势

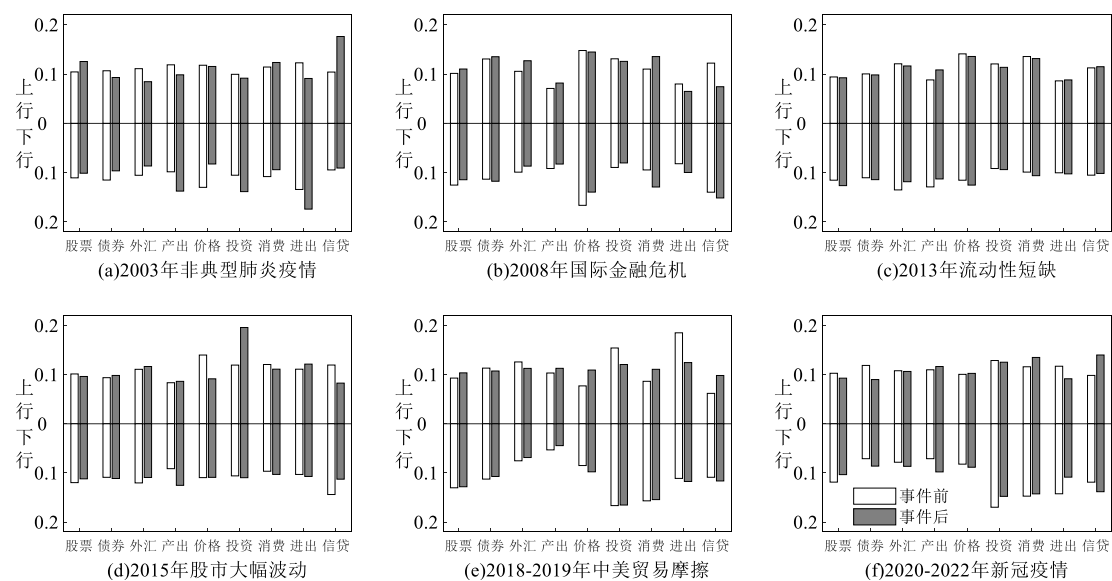
就 6 个实体部门共性特征而言：第一，2002–2006 年，6 个实体经济部门与金融市场间双向上下行溢出水平均存在较大的波动特性；第二，在 2007 年国际金融危机开始逐渐显现时，6 个实体经济部门受金融市场上行和下行溢入水平均有所提升，可以视为金融风险逐渐积累并且对实体经济产生负外部性的前瞻预警，证明本文风险测度具备前瞻性；第三，2008–2012 年，6 个实体经济部门受金融市场上行溢入水平基本持续较高，此后直至 2016 年 ESin 也一直处于高位，体现出具有下行属性的金融系统性风险对实体经济造成直接且深远的下行冲击，并且这一冲击广泛覆盖各实体经济部门；第四，在 2018–2021 年，6 个实体经济部门受金融市场上行溢入基本一直处于较高水平，体现出在中美贸易摩擦、新冠疫情影响以及经济下行压力共同作用下，各实体经济部门面临不同程度的资金短缺，在金融服务实体经济相关政策支持下，金融市场的发展和扩张会对各实体部门带来上行溢出。第五，2022 年各实体经济部门受金融市场上行溢入水平高于 2021 年，2023 年各实体经济部门受金融市场上行溢入水平大部分降低。



附图 2 各实体经济部门与金融市场间上下行溢出水平的动态演化

注：变量 LRout、LRin、ESout、ESin 分别表示实体经济对金融市场的上行溢出、上行溢入、下行溢出、下行溢入。

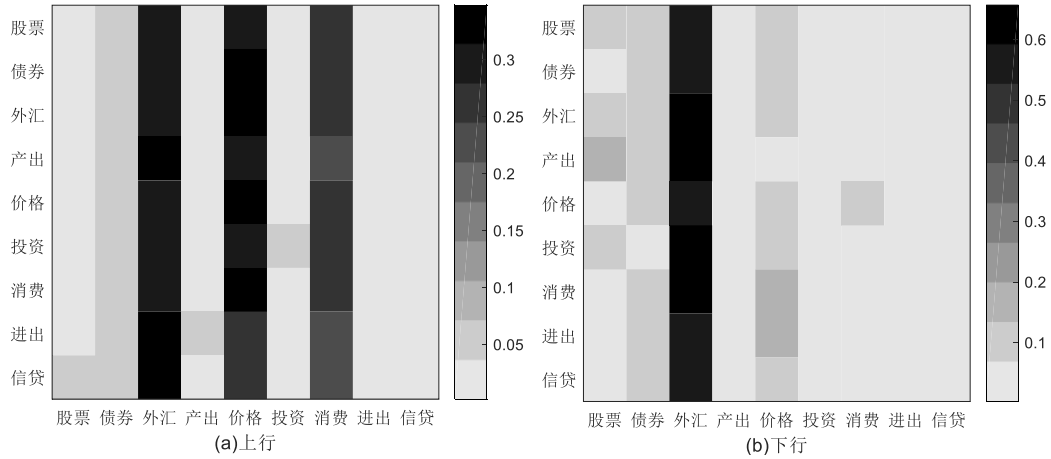
附录 5.重大事件前后各实体经济部门和金融市场网络重要性的变化图



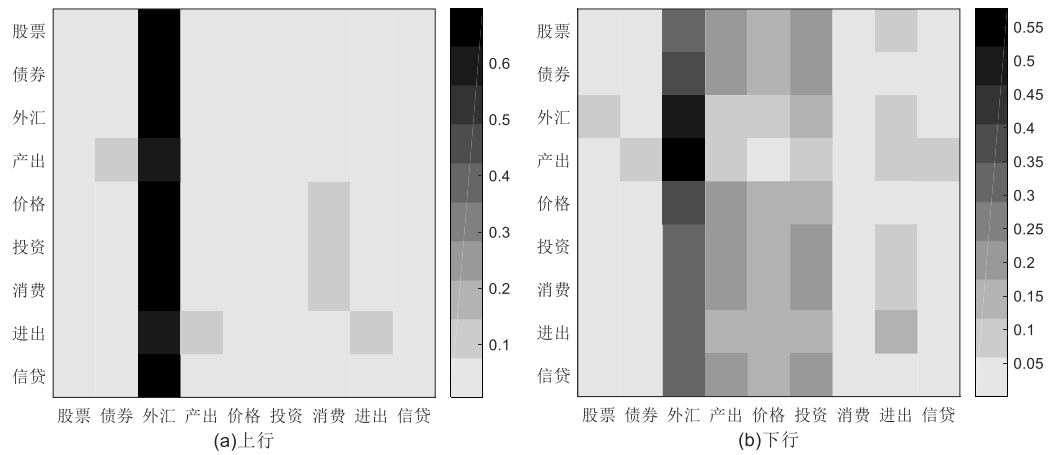
附图 3 重大事件前后各实体经济部门和金融市场网络重要性的变化

附录 6.三次代表性重大事件期间实体经济与金融市场间上行和下行网络结构图

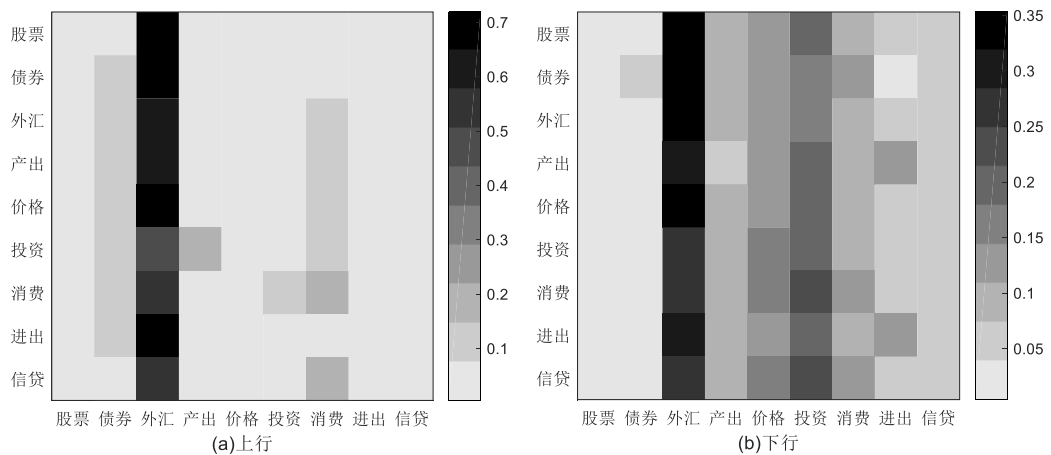
进一步分析国际金融危机、中美贸易摩擦和新冠疫情三次重大事件发生期间上行和下行网络邻接矩阵的截面平均水平，并使用热力图进行可视化，如附图 2-附图 4 所示。图中行变量表示溢出方，列变量表示溢入方，颜色越深代表溢出水平越大。



附图 4 2008 年国际金融危机期间实体经济与金融市场间上行和下行网络结构图

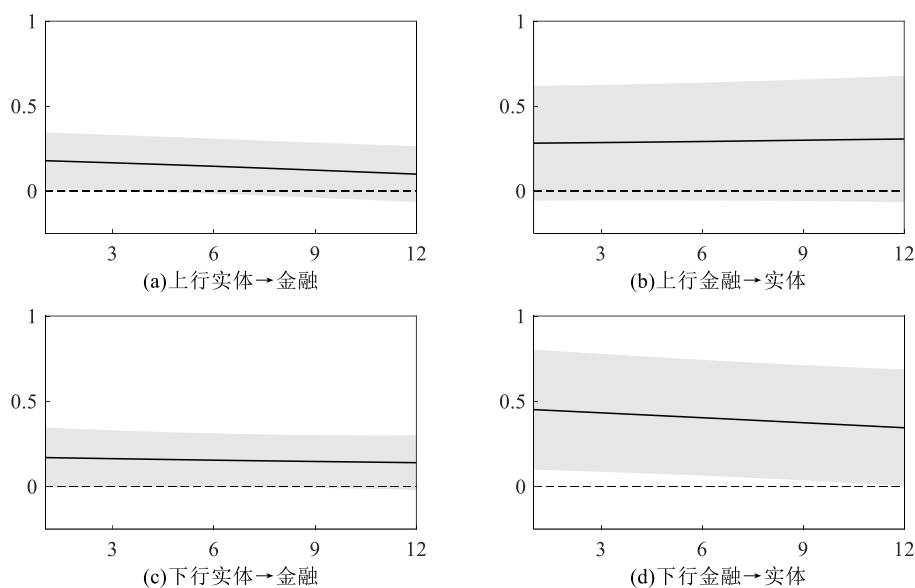


附图 5 2018-2019 年中美贸易摩擦期间实体经济与金融市场间上行和下行网络结构图



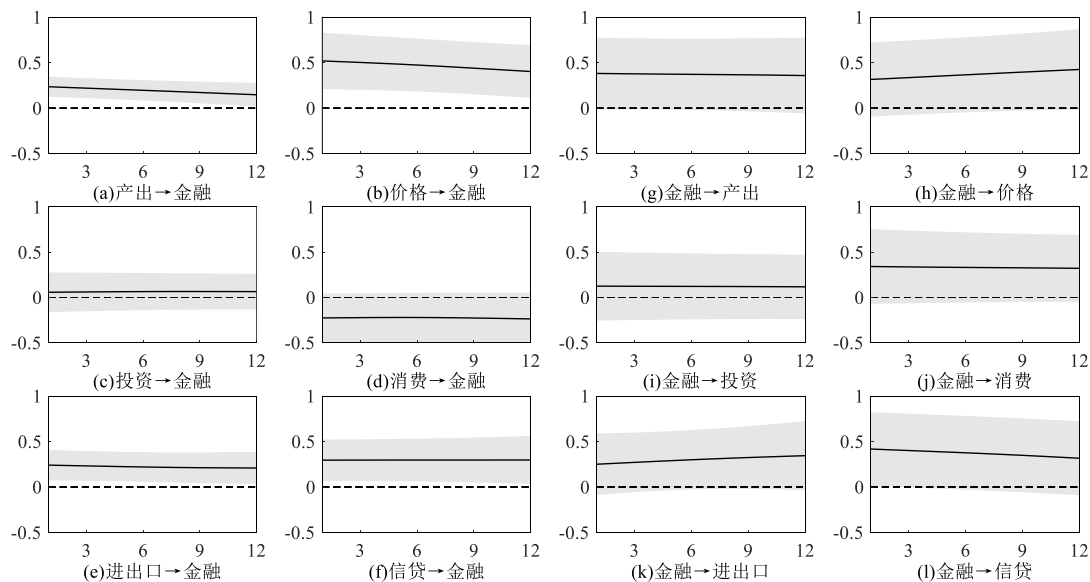
附图 6 2020-2022 年新冠肺炎疫情期间实体经济与金融市场间上行和下行网络结构图

附录 7.重大事件对实体经济与金融市场间上行和下行溢出水平的连续脉冲影响图

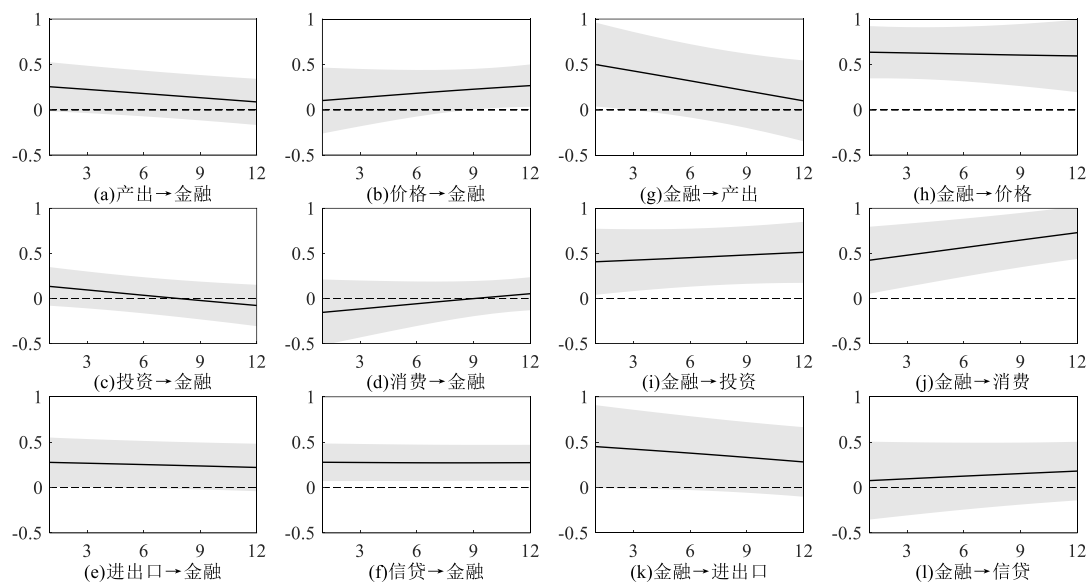


附图 7 重大事件冲击对实体经济与金融市场间上行和下行溢出水平的动态连续影响

注：图中横轴代表向前预测月度数 h ，纵轴代表因变量溢出指数；图内黑色实线表示脉冲冲击水平估计值，灰色阴影代表对应 90%置信区间。下同。



附图 8 重大事件冲击对各实体经济部门与金融市场间上行溢出水平的动态连续影响



附图 9 重大事件冲击对各实体经济部门与金融市场间下行溢出水平的动态连续影响