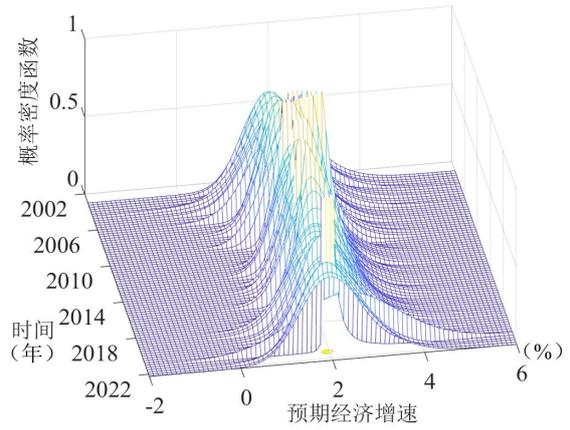
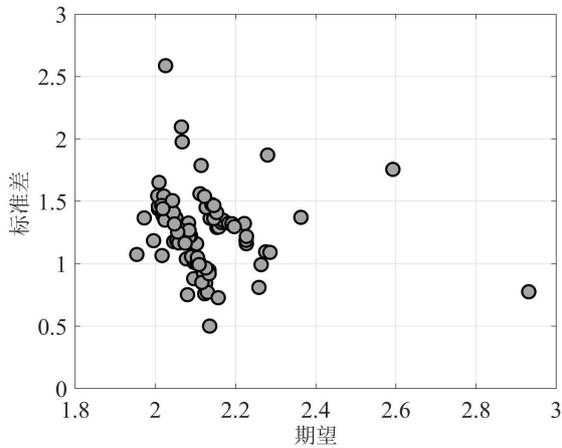


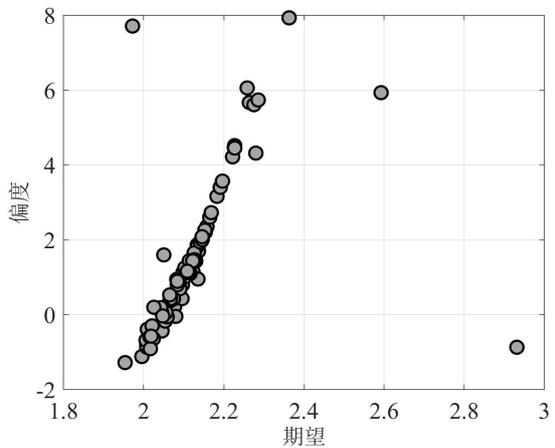
附图 1 未来一季度的经济增长概率分布路径



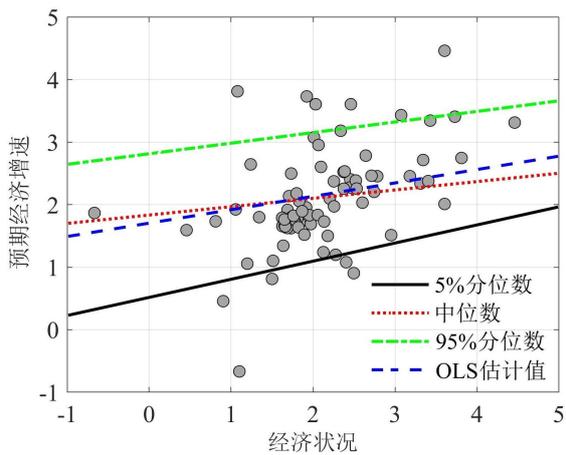
附图 2 未来四季度的经济增长概率分布路径



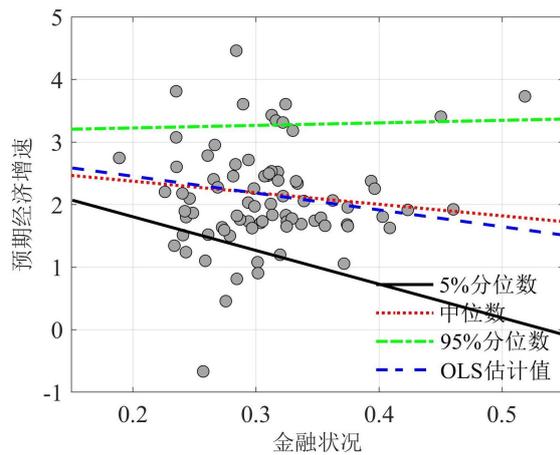
附图 3 经济增长概率分布期望与标准差的散点图



附图 4 经济增长概率分布期望与偏度的散点图



附图 5 经济状况与预期经济增速的散点图



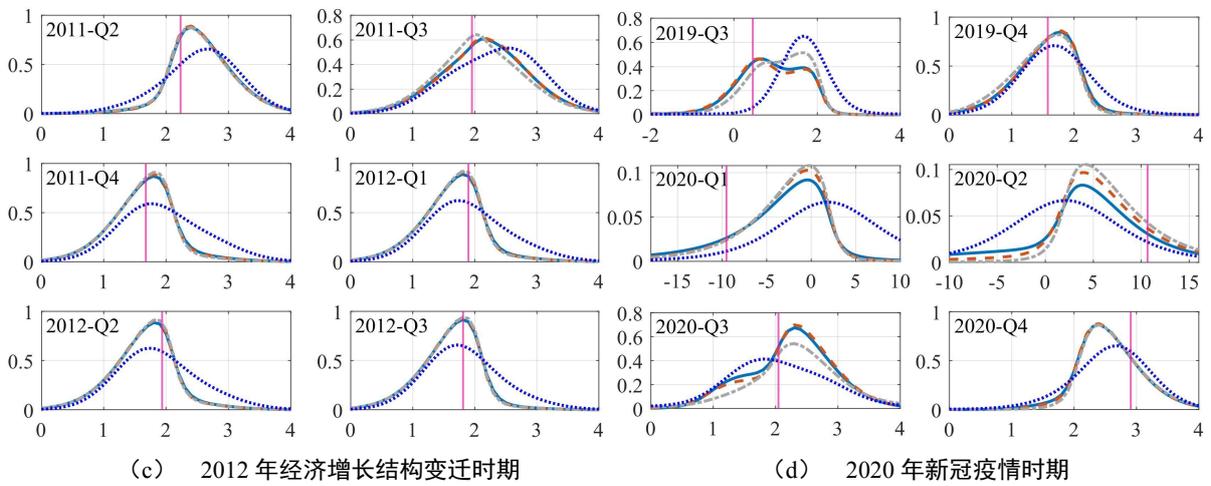
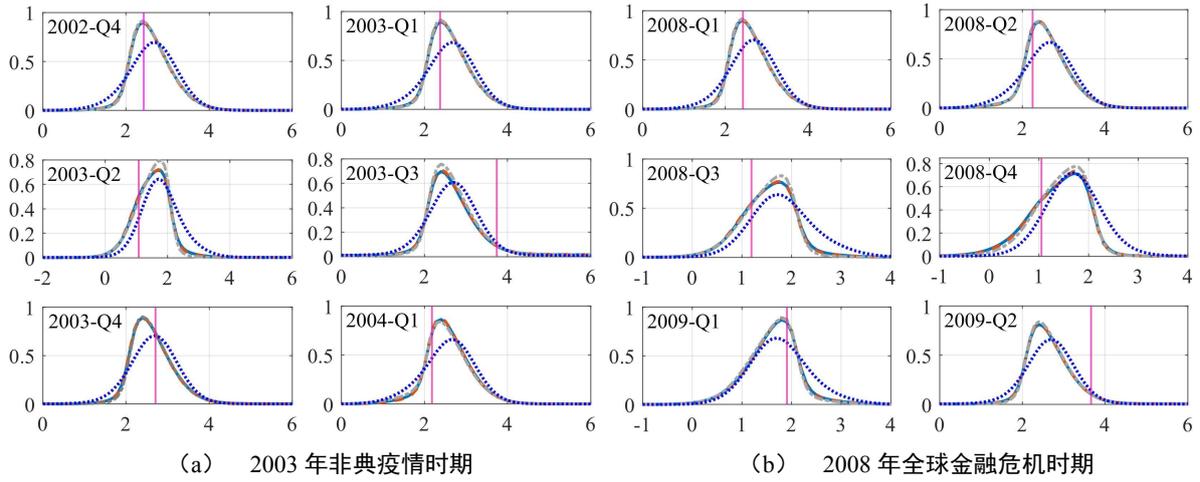
附图 6 金融状况与预期经济增速的散点图

附表1 马尔科夫区制转移偏正态分布模型的分布状态参数估计结果

分布状态参数	均值	中位数	16%	84%	5%	95%
$\mu(s^{loc}=1)$	1.1569	1.1085	0.5553	1.9538	-0.0138	2.0502
$\mu(s^{loc}=2)$	2.1136	2.1069	2.0471	2.1782	2.0134	2.2375
$1/\sigma^2(s^{sca}=1)$	0.0291	0.0245	0.0101	0.0478	0.0044	0.0702
$1/\sigma^2(s^{sca}=2)$	1.9939	1.9503	1.5883	2.4146	1.3866	2.7456
$\alpha(s^{sha}=1)$	-5.1691	-4.8772	-7.1122	-3.2373	-8.9270	-2.4195
$\alpha(s^{sha}=2)$	4.0510	3.7730	2.0698	6.0291	1.1583	7.7678

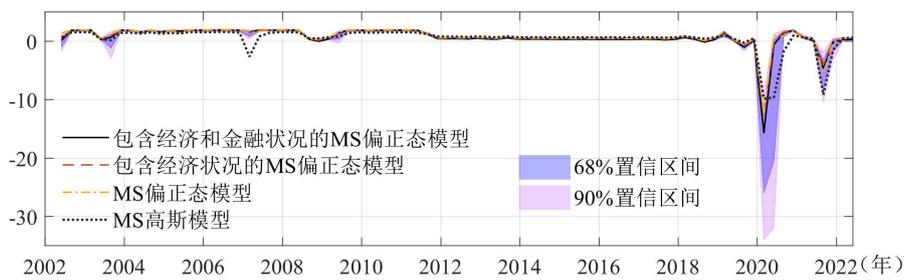
附表2 马尔科夫区制转移偏正态分布模型的转移概率参数估计结果

系数	均值	中位数	16%	84%	5%	95%
转移概率参数, $s^{loc}$						
$\gamma_0^{loc}$	-0.6718	-0.6709	-0.7710	-0.5747	-0.8310	-0.5090
$\gamma_1^{loc}$	2.2282	2.2277	2.1319	2.3269	2.0688	2.3880
$\gamma_{gdp,1}^{loc}$	-0.8688	-0.8726	-2.2646	0.2415	-3.5275	2.1584
$\gamma_{fsi,1}^{loc}$	-1.9855	-1.9849	-2.4889	-1.4829	-2.8291	-1.1675
$\gamma_{gdp,2}^{loc}$	0.6166	0.3039	-0.2208	1.6469	-0.7501	3.1178
$\gamma_{fsi,2}^{loc}$	-0.9577	-0.9548	-1.4623	-0.4543	-1.7945	-0.1446
转移概率参数, $s^{sca}$						
$\gamma_0^{sca}$	-0.5644	-0.5636	-0.6588	-0.4679	-0.7223	-0.4075
$\gamma_1^{sca}$	2.3338	2.3326	2.2367	2.4321	2.1740	2.4919
$\gamma_{gdp,1}^{sca}$	1.7856	1.5217	0.4739	3.2023	0.1690	4.2383
$\gamma_{fsi,1}^{sca}$	1.9758	1.9795	1.4892	2.4611	1.1699	2.7757
$\gamma_{gdp,2}^{sca}$	0.1153	0.1050	-0.4144	0.6337	-0.7987	1.0894
$\gamma_{fsi,2}^{sca}$	0.3708	0.4001	-1.5238	2.2632	-2.6847	3.4761
转移概率参数, $s^{sha}$						
$\gamma_0^{sha}$	-1.0688	-1.0687	-1.1627	-0.9727	-1.2263	-0.9115
$\gamma_1^{sha}$	1.9873	1.9875	1.8898	2.0869	1.8266	2.1460
$\gamma_{gdp,1}^{sha}$	-0.2240	-0.2382	-0.5156	-0.0693	-0.8294	0.1531
$\gamma_{fsi,1}^{sha}$	-1.9345	-1.9377	-2.4233	-1.4474	-2.7345	-1.1161
$\gamma_{gdp,2}^{sha}$	1.1658	1.0272	0.3769	1.9578	0.1031	2.6650
$\gamma_{fsi,2}^{sha}$	0.1728	0.1752	-1.7829	2.1243	-3.0930	3.4186

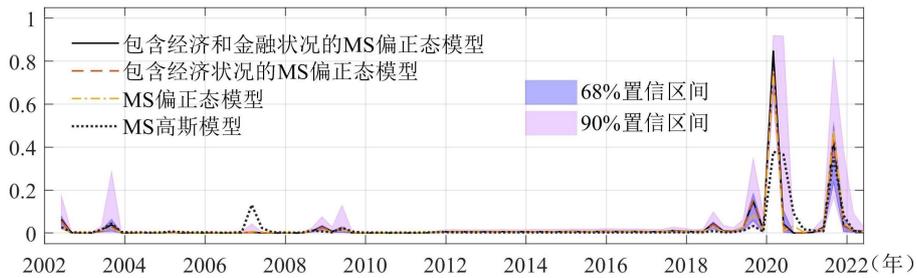


— 包含经济和金融状况的MS偏正态模型    - - - MS偏正态模型    — 实际经济增速  
 - - - 包含经济状况的MS偏正态模型    ····· MS高斯模型

附图7 不同风险阶段下的经济增长概率密度函数图



附图8 期望损失的动态变化轨迹



附图9 经济衰退概率的时间演化路径

## 附录 1 分布预测精度视阈下我国经济风险的预警信息辨识

为了进一步探究经济状况与金融状况对经济增长概率分布的作用机制，本文借鉴 Watanabe (2010) 的研究思路，运用 WAIC (Watanabe Akaike Information Criterion) 信息准则，以期从分布预测精度的视角，辨识经济及金融状况对于经济风险的预警信息功能。具体的，对于一个经济增长概率分布模型而言，其 WAIC 值可以通过式 (1) 计算：

$$\text{WAIC} = -\log(\overline{\text{elpd}}) + \bar{p} \quad (1)$$

其中， $\log(\overline{\text{elpd}})$  是概率密度预测对数值， $\sum_{t=1}^T \log((\sum_{s=1}^S p(y_i | \theta^s)) / s)$ ， $S$  是 MCMC 迭代次数， $\bar{p}$  是有效估计数量， $\log(\overline{\text{elpd}})$  可以表示为  $\sum_{t=1}^T V_{s=1}^S \log(p(y_i | \theta^s))$ 。标准误差  $se(\overline{\text{elpd}}) = \sqrt{(T * V_{t=1}^T \overline{\text{elpd}}, t)}$ ， $\overline{\text{elpd}}, t = \log((\sum_{s=1}^S p(y_i | \theta^s)) / s) - V_{s=1}^S \log(p(y_i | \theta^s))$ 。不难发现，WAIC 信息准则本质上是通过计算参数校正后概率密度预测对数值，进而评估分布拟合模型的预测精度。WAIC 值越小，表明概率分布模型的预测精度越好，意味着信息集包含的预测信息含量越高。此外，为了辨析经济和金融状况预警功能的异质性，本文还分别构建了仅包含经济状况的分布模型、不包含任何信息集的偏正态以及高斯分布模型，得到拟合模型的预测信息含量结果如附表 3 所示。

附表 3 不同经济增长概率分布拟合模型的预测信息含量

不同信息集的经济增长概率分布拟合模型	WAIC 值	标准差
包含经济和金融状况的 MS 偏正态分布模型	90.5627	12.0521
包含经济状况的 MS 偏正态分布模型	94.0264	11.9589
MS 偏正态分布模型	94.7872	12.2195
MS 高斯分布模型	102.5973	11.6456

观察附表 3 中不同概率分布拟合模型的 WAIC 值可知，一方面，偏正态分布模型的拟合效果均明显优于高斯分布模型，这不仅印证了我国经济增长概率分布具有显著的时变非对称性特征，而且也支持了本文构建偏正态形式分布模型的合理性。另一方面，包含经济状况与不包含任何信息集的 WAIC 值相差无几 (94.0264 和 94.7872)，这意味着，经济状况不能提高概率分布的拟合优度，即经济状况无法提供较多的经济增长预测信息。然而，在考虑金融状况的信息条件后，WAIC 值明显降低，说明金融状况能够显著提高经济增长概率分布模型的拟合效果。因此，能够判断，金融状况包含更多有关经济风险的预测信息，可以有效地预警宏观经济下行风险。

## 参考文献

- [1] Watanabe S. Asymptotic Equivalence of Bayes Cross Validation and Widely Applicable Information Criterion in Singular Learning Theory[J]. Journal of Machine Learning Research, 2010, 11: 3571–3591.