

如何更早发现“灰犀牛”？基于压力指数法的票据市场风险测度

（附录 1）

票据市场压力指数合成

1.子项压力指数合成

在进行指数合成前，需先对指标进行标准化处理，考虑到金融数据大多不符合正态分布，上述指标无法按照正态分布的方式进行标准化处理。同时，相对于指标的绝对值，金融子市场的风险水平更偏重于其风险度量指标的相对大小，因此本文采用累积分布函数法，将表征风险状况的观测值根据其内在经济意义通过相对排序的方式映射到区间(0, 1]上，有效解决了极端值的影响，并使压力指数保持较为直观的经济含义。将观测指标 $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 升序排列，得到 $X_{[1]} \leq X_{[2]} \leq \dots \leq X_{[n]}$ ，其中下标[r]为 X_t 的排序位置，即 $X_{[r]} = X_t$ ，则累积分布函数映射下的新指标 Z_t 为：

$$Z_t = F_n(X_t) = \begin{cases} \frac{r}{n}, & X_{[r]} \leq X_t \leq X_{[r+1]}, r = 1, 2, \dots, n-1 \\ 1, & X_t \geq X_{[n]} \end{cases} \quad (1)$$

通过映射后的无量纲指标 Z_t ，其表征观测值在整个观测期内的相对风险水平位置，指标越大，风险压力越大。在得到 11 个无量纲指标后，再进行不同指标间的加总合成，通过算术平均得到各子项压力指数，子项压力指数的变化趋势即压力指数走势如图 1 所示。

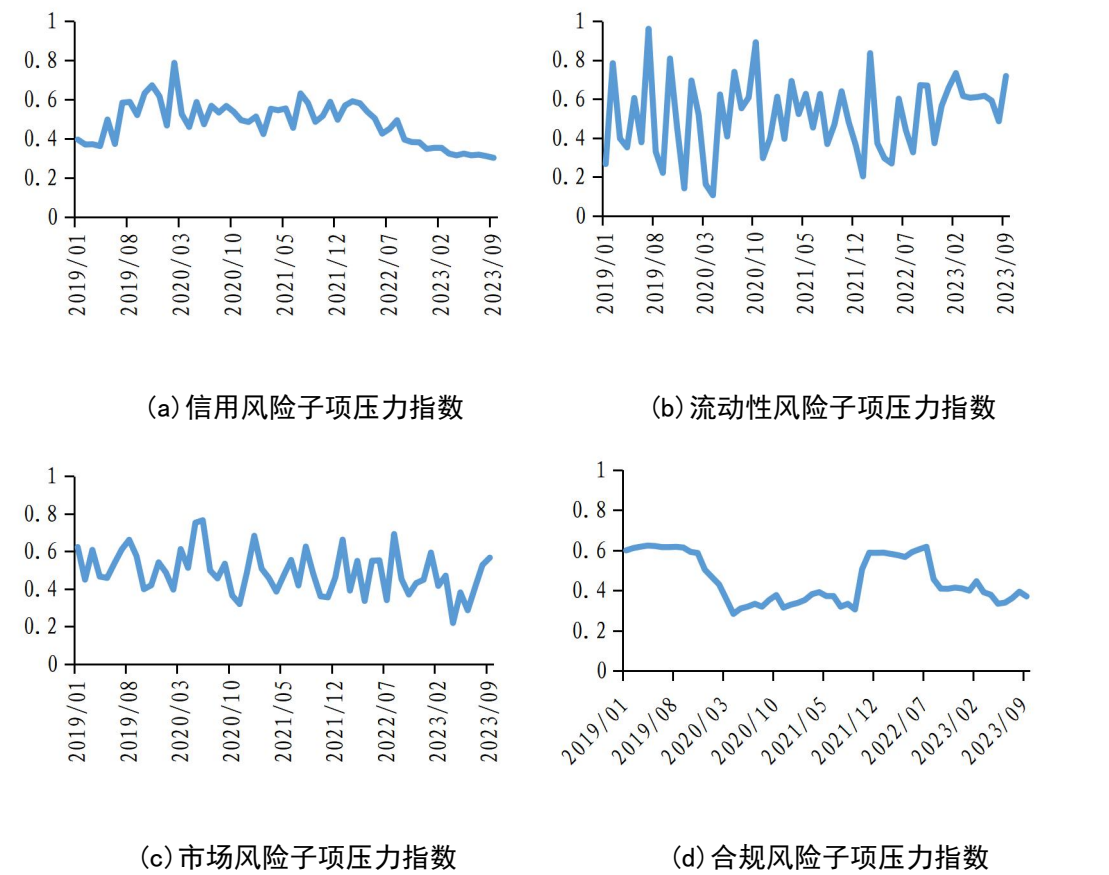


图 1 各子项压力指数走势

从图 1（a）可以看出，票据市场信用风险水平在包商、恒大等风险事件期间产生较大波动，在 2020 年 2 月新冠疫情爆发时期达到峰值。图 1（b）显示，票据市场流动性风险水平整体呈震荡走势，在 2019 年 7 月、2020 年 10 月、2022 年 2 月均存在流动性相对紧张的情况。图 1（c）显示，市场风险波动存在一定的周期特性，一般在年初时呈现相对较高的态势，其后波动调整。图 1（d）可以看出，随着票据信息披露制度深入实施，合规风险呈现明显下行趋势。

2.综合压力指数合成

将四个子项压力指数加权后合成综合压力指数，可以更全面地反映票据市场总体风险状况。

（1）子项指数权重选择

权重选择方面，目前文献中主要采用主成分分析法和专家判别法。主成分分析法是在直接加权合成的基础上，考虑了子市场之间的相关关系，该方法认为子市场之间的相关关系在样本空间内不随时间变化，而实际情况中，金融子市场风险在不同时期相关关系会发生变化。专家判别法是由市场专家综合考虑多种因素后对各子市场进行赋权。因此，本文结合了 AHP 层次分析法与专家判别法，从而更加科学地确定各子项压力指数的权重，并在合成阶段考虑各子项指数的相关关系。首先，采用萨蒂 1-9 标度法，邀请来自票据市场相关监管部门、基础设施、金融机构等多个领域的专家组成专家咨询组，对各子项压力指数的重要性进行两两比较，构建比较判断矩阵，根据专家咨询组结合专业知识和工作经验做出的判断，得出表 2 的子项压力指数判断矩阵。

表 2 子项压力指数判断矩阵

	信用风险	流动性风险	市场风险	合规风险
信用风险	1	5	9	7
流动性风险	1/5	1	5	3
市场风险	1/9	1/5	1	1/3
合规风险	1/7	1/3	3	1

根据子项压力指数判断矩阵进行纵向归一化处理，横向求和计算出初始权重值，再次进行归一化处理，得到子项压力指数权重系数如下：

$$W = \begin{pmatrix} 0.6427 \\ 0.2083 \\ 0.0480 \\ 0.1010 \end{pmatrix}$$

为了验证权重系数的可信性和有效性，避免专家判别法主观因素的影响，需对模型进行一致性检验。将判断矩阵每一行乘以权重系数列，得出 AW 矩阵值，计算最大特征值：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{AW_i}{W_i} = 4.1740 \quad (2)$$

用一致性指标 CI 来检验判断一致性：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0580 \quad (3)$$

当 $n > 2$ 时，用 CR 表示矩阵一致性，RI 取值如表 3 所示：

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

表 3 平均随机一致性指标

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RI</i>	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

计算可得：
 当 $n = 4$ 时， $RI = 0.9$
 $CR = 0.0644$ ， $CR < 0.1$
 因此，子项压力指数判断矩阵通过一致性检验，专家组打分数据具有逻辑性和有效性。

(2) 子项指数加权方式

加权方式方面，本文通过考察子项压力指数间的相关关系发现，各子项压力指数之间存在动态相关性，即各子项压力指数之间的相关系数是时变的。大部分时期，各子项压力指数之间相关系数较小，甚至为负数；在包商、恒大及新冠疫情等局部风险时期，权重较大的信用风险和流动性风险子项压力指数之间相关系数出现明显上升，如图 2 所示。

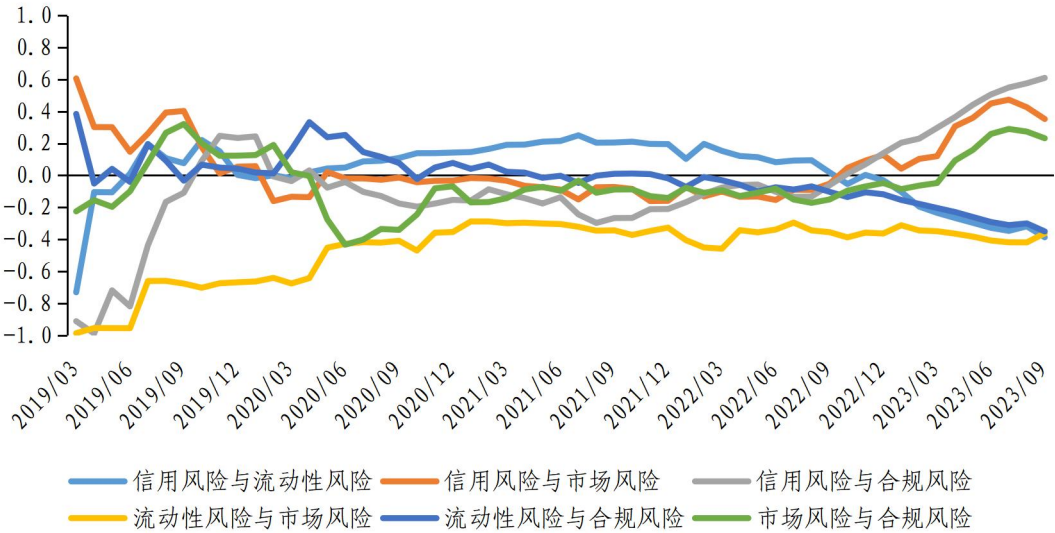


图 2 各子项压力指数相关系数

在处理不同子项压力指数之间动态变化的相关关系问题上，投资组合理论给出了相关解释和解决方法，当两种风险相关系数较大时，可能发生风险“共振”，使得最终的风险测度值大于二者的简单叠加；而当两种风险相关系数较小或为负相关时，不同风险相互独立或者负向关联，客观上起到了相互制约的作用，一定程度上产生了稳定市场运行的效果。因此本文借鉴投资组合理论中求组合风险的相关方法。

票据市场综合压力指数表达如下：

$$CPSI_t = \sqrt{(W \cdot s_t)P_t(W \cdot s_t)^T} \quad (5)$$

$$P_t = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12,t} & \rho_{13,t} & \rho_{14,t} \\ \rho_{21,t} & 1 & \rho_{23,t} & \rho_{24,t} \\ \rho_{31,t} & \rho_{32,t} & 1 & \rho_{34,t} \\ \rho_{41,t} & \rho_{42,t} & \rho_{43,t} & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, $CPSI_t$ 代表第 t 期票据市场压力值, P_t 为第 t 期子项压力指数之间的相关系数矩阵, W 为权重向量, s_t 为标准化后的子项指标向量, $W \cdot s_t$ 为 Hadamard 乘积。

各子项压力指数之间的相关系数 $\rho_{ij,t}$ 随时间变化, 考虑到近期观察值更能反映变化趋势, 对预测值有较大影响, 本文采用指数加权移动平均方法 (EWMA) 进行协方差和方差的估计, 对近期观察值赋予更多的权重。公式如下:

$$\sigma_{ij,t} = \lambda \sigma_{ij,t-1} + (1 - \lambda) \widetilde{s}_{i,t} \widetilde{s}_{j,t} \quad (7)$$

$$\sigma_{i,t}^2 = \lambda \sigma_{i,t-1}^2 + (1 - \lambda) \widetilde{s}_{i,t}^2 \quad (8)$$

$$\rho_{ij,t} = \sigma_{ij,t} / \sigma_{i,t} \sigma_{j,t} \quad (9)$$

其中, $i = 1, \dots, 4$, $j = 1, \dots, 4$, $i \neq j$, $t = 1, \dots, T$, $\widetilde{s}_{i,t} = s_{i,t} - 0.5$, 由于标准化后的子项指标 $s_{i,t}$ 为一个 0 到 1 之间的排序值, 其理论均值为 0.5, 在指数加权移动平均方法中, 通常平滑指数 λ 取值在 [0.85, 0.97] 内估计效果较好, 本文参考众多文献, 将 λ 取值为 0.95, 并选取初始 3 个月的数据进行计算, 得到各子项压力指数之间的初始方差和初始协方差, 继而通过指数加权移动平均方法估计出任一时点的方差 $\sigma_{i,t}^2$ 和协方差 $\sigma_{ij,t}$, 计算出不同时期各子项压力指数之间的相关系数 $\rho_{ij,t}$, 构建票据市场综合压力指数, 如图 3 所示。

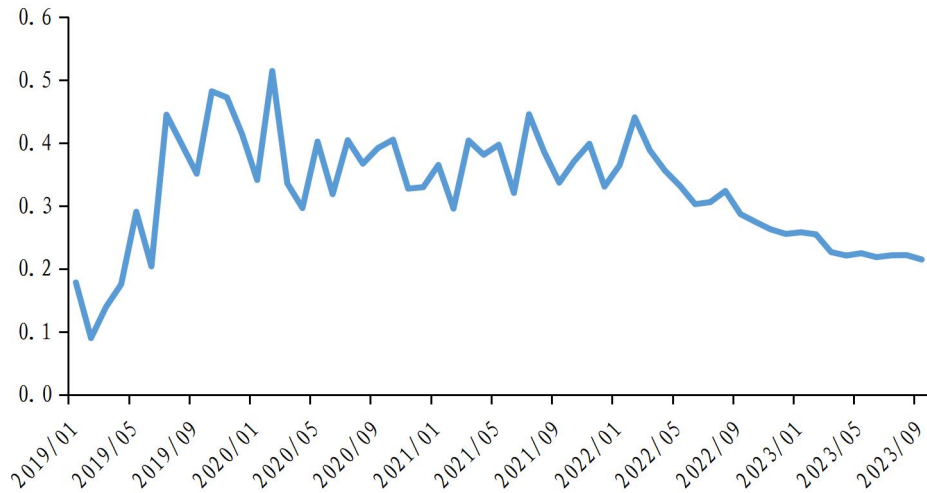


图 3 票据市场综合压力指数

从结果看出, 采用协方差结构的时变相关系数合成指数与固定系数线性加权合成指数存在显著差异, 如图 4 所示。由于各子项压力指数间相关性的不同步性, 不考虑相关关系直接加总的合成指数系统性高估了票据市场压力情况。

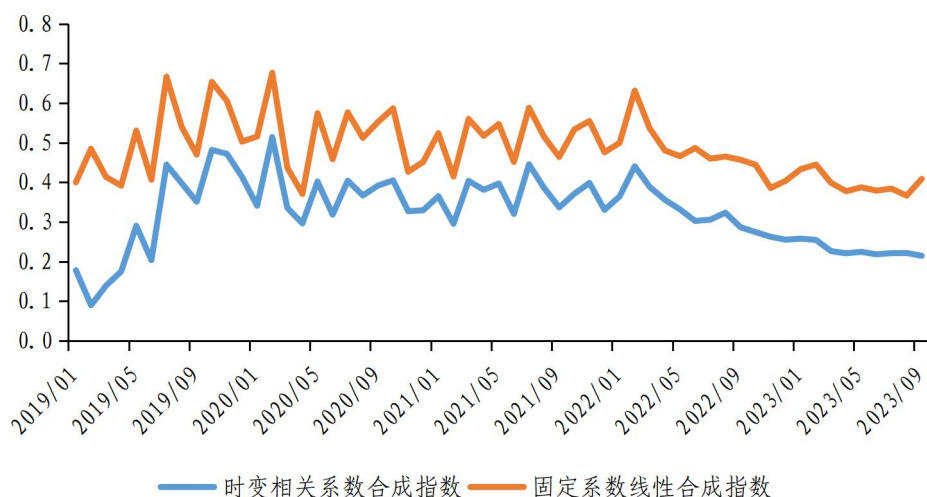


图4 不考虑协方差结构的情形会导致系统性高估金融市场压力

(3) 综合压力指数的稳健性

通过对比不同样本空间得到的指数可以衡量指数的稳健性。虽然加入新的观测值后，需要重新拟合、排序计算各子项压力指数的构成指标，但由于累积分布函数法极大地消除了此前文献普遍采用方法所无法克服的重标度问题，因此本文构造的票据市场综合压力指数稳健性更高。按照上述方法，将2019年1月至2022年12月的数据构造的票据市场综合压力指数，与2019年1月至2023年9月的数据构造的票据市场综合压力指数进行比较，可以发现二者重合度极高，票据市场综合压力指数稳健性良好，如图5所示。

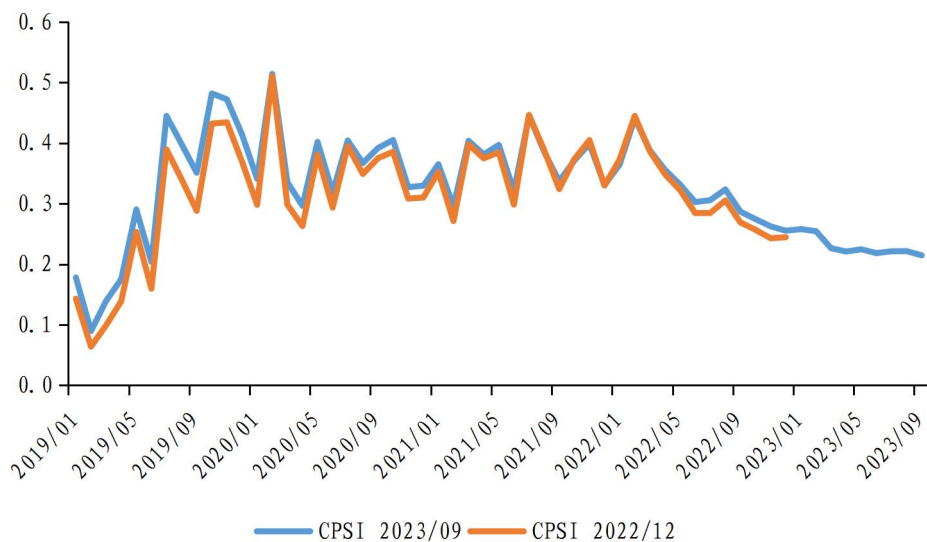


图5 票据市场综合压力指数稳健性

如何更早发现“灰犀牛”？基于压力指数法的票据市场风险测度（附录 2）

评估票据市场压力状态的 MS-AR 马尔科夫区制转移模型

1.数据平稳性检验

首先，对票据市场综合压力指数 CPSI 进行 Augmented Dickey-Fuller 单位根检验，ADF 统计值为-3.7944，5%显著性水平下的 t 值为-3.4953，P 值为 0.0244，可以判断在 5%的显著性水平下 CPSI 为平稳时间序列。其次，参考 CPSI 的自相关和偏相关图，根据 Log Likelihood、AIC、SC、HQ 准则（表 4），选择 MS-AR（2）模型进行识别。

表 4 不同形式下的 Log Likelihood、AIC、SC、HQ 准则

形式	Log Likelihood	AIC	SC	HQ
MS-AR（1）	79.1886	-2.6139	-2.3969	-2.5297
MS-AR（2）	81.6534	-2.7147	-2.4592	-2.6159
MS-AR（3）	80.6504	-2.6908	-2.3961	-2.5771

2.模型构建

构建马尔科夫区制转移的票据市场压力状态识别模型如下：

$$CPSI_t = \mu_{st} + \alpha_1 CPSI_{t-1} + \alpha_2 CPSI_{t-2} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_{st}^2) \tag{10}$$

$$\mu_{st} = \mu_{1t} S_{1t} + \mu_{2t} S_{2t} \tag{11}$$

$$\sigma_{st}^2 = \sigma_1^2 S_{1t} + \sigma_2^2 S_{2t} \tag{12}$$

其中，CPSI_t为月度票据市场压力指数，μ_{st}为各区制状态下的截距项，α₁、α₂分别为滞后一阶和滞后二阶的自回归系数，σ_{st}²为各区制状态下的残差，S_t表示 t 时刻的压力状态，假设票据市场压力状态分为高压力和中低压力两种状态，则有 S_t=i,i=1,2。随着时间的推移，票据市场压力指数以某种概率在这两种状态之间转移，转移概率矩阵 P 表示为：

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} \tag{13}$$

其中，P_{ij}表示状态 S 从 t-1 时刻的 i 状态变迁到 t 时刻 j 状态的转移概率：

$$P_{ij} = P(s_t = j | s_{t-1} = i) \tag{14}$$

$$\sum_{j=1}^2 P_{ij} = 1, \quad i, j = 1, 2 \tag{15}$$

3.模型估计结果。

从模型结果看，截距项和自回归系数估计结果均在 99%的置信区间上统计显著（表 5）。

表 5 马尔科夫区制转移模型估计结果

参数	参数描述	估计值	标准差	z 值	p 值
α_1	一阶滞后项系数	0.3531	0.1367	2.5827	<0.01
α_2	二阶滞后项系数	0.4240	0.1372	3.0899	<0.01
μ^1	状态 1 下截距项	0.4505	0.0384	11.7320	<0.01
μ^2	状态 2 下截距项	0.3270	0.0283	11.5518	<0.01

如何更早发现“灰犀牛”？基于压力指数法的票据市场风险测度（附录3）

外审评议及作者答复

审稿意见（1）：

关于题目。一是要不要副标题，建议直接改为“我国票据市场风险事件识别及预警研究”，显得更加简洁直接；二是对于“风险事件识别”的困惑，感觉文章是在讲“风险识别”，这两个词所包含的意义是不同的。

修改说明：

已将文章题目修改为“我国票据市场风险测度及识别研究”。

审稿意见（2）：

关于论证。第一，在引言部分，对于选择票据市场进行研究的理由很不充分，只有“考虑到票据市场作为我国金融市场的重要组成部分,在促进实体经济建设和金融发展中具有积极作用”这一句话是不够的；第二，文章的核心是“识别”和“预警”，但预警部分的论证偏少且没有能够充分体现出预警作用，仍然是用过去的历史事件在阐述，难以令人信服；第三，在论证方法上缺乏前沿性，目前学者们都在跳出传统的离散型预警体系框架，尝试构建连续型预警体系，普遍将以机器学习为代表的人工智能方法运用到风险预警研究中，反观本文仍然以传统方法框架进行研究，所得结论的说服力就会大打折扣。

修改说明：

关于第一点，已在引言中从票据市场特点角度增加了研究理由的内容。

关于第二点，文中“预警”部分内容实为风险识别的延申描述，未避免产生歧义，已将文章题目改为“我国票据市场风险测度及识别研究”，同时将“预警”部分内容调整至风险识别章节下，不再单独论述风险预警方面的研究。

关于第三点，已按照第二点意见调整了“预警”部分内容，不再单独涉及风险预警研究。

审稿意见（3）：

3.关于细节。文章还存在一些问题需要注意，例如文献综述部分，分类的逻辑层次不统一，没有在一个维度上对已有研究成果进行梳理，且参阅的文献在前沿性和权威性方面有待提高，特别注意参考文献中不能出现硕士或博士的学位论文。又如，行文格式上还需要注意进一步规范，像标题结尾不要出现“。”等。

修改说明：

已将文献综述从金融风险测度和识别两大方向进行了重新梳理，从方法起源和最新应用角度补充了参考文献内容，并从行文格式上对文章进行了调整。