

朱文豪耦合论·相变篇：多维耦合网络系统相变预测框架——多维度代偿与期货市场系统性崩溃预测

朱文豪

独立研究者

通讯作者：朱文豪，邮箱：303651977@qq.com

摘要

金融市场具有强韧性，单维冲击被代偿网络消化，但多维压力同时超过阈值时，系统发生相变，表现为暴涨或暴跌。现有风险模型聚焦单指标预警，未回答“为什么崩溃会发生”以及“还有多长时间”。本文提出“代偿网络假说”：金融市场由多个互相耦合的维度构成，每个维度具有压力值、代偿容量与耦合强度。单维压力只扰动一层，其余层通过代偿性响应抵消其效果，并逐渐消耗代偿容量。代偿按耦合强度从近到远逐波扩散，存在压力时间窗口 T_{comp} 。多维同步扰动超过未被扰动层总容量时，代偿过载，系统崩溃。本文给出五个可证伪预测，设计六组对照实验方案。若未来实验支持该假说，金融系统性风险预测的理论基础可能需要从'寻找更强预警指标'转向'设计维度-时间结构'。

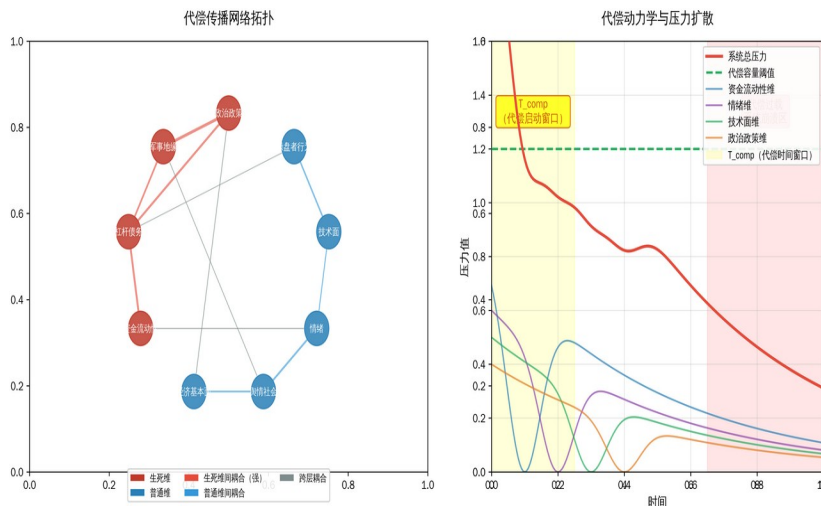


图 1 代偿网络假说示意图

图注：展示金融市场多层耦合网络结构。节点代表各维度，连线代表耦合强度。颜色深浅表示耦合强度大小。

关键词：系统性风险；多层耦合网络；代偿性响应；压力时间窗口；相变；期货市场

引言

金融系统性崩溃的预测，是金融学最困难的问题之一。2008 年全球金融危机、2015 年中国 A 股异常波动、2020 年原油负价格，每一次都造成巨大损失，但事前几乎无人准确预警。

现有研究沿三条路径推进：第一条，单指标预警：波动率、杠杆率、信用利差、换手率。这些指标在危机前确实异常，但异常不等于崩溃。第二条，网络传染：银行间网络、跨境资本网络、供应链网络。这些研究揭示了风险传染路径，但未解释崩溃的临界条件。第三条，机器学习预测：LSTM、随机森林、图神经网络。这些模型预测精度有限，且缺乏可解释性。

三条路径共享一个底层假设：存在一个更好的指标或模型，能提前预警。该假设将问题定义在“方法”层面——指标不够好，改进它；模型不够准，优化它。

然而，三个经验事实反复出现：第一，单指标异常不必然崩溃：杠杆高企、波动率飙升，市场可能继续运行数月。第二，多指标同时异常也不必然崩溃：2008 年前多个指标异常，但崩溃时点无法预测。第三，崩溃一旦发生，速度极快：不是线性下跌，是相变，是螺旋加速。

本文提出一个不同的定义：问题不在“指标不够好”，在“维度结构没看清”。市场由多个互相耦合的维度构成。单维压力只扰动一层，其余层构成潜在代偿池。代偿按耦合强度从近到远逐波扩散，消耗代偿容量。多维同步压力超过未被扰动层总容量时，代偿过载，系统被迫进入相变状态。

本文基于多层耦合框架进行系统推导，首先建立理论方法论，再展开具体方法设计。在底层数学建模上，采用复杂系统动力学中的标准工具（多变量状态方程、耦合矩阵、饱和反馈机制、非线性耦合）。现有研究在处理金融系统时，大多聚焦单变量预警或局部网络传染。本研究的增量在于：提出了多维同步过载的数学条件，即当单位时间注入的压力量（维度数乘压力强度乘压力加速度）超过未被扰动维在压力时间窗口内可提供的总代偿容量时，系统原有稳态无法维持，导致代偿机制过载。该框架同样适用于具有强自稳性与高冗余度的复杂适应系统。

理论框架

一、多维耦合网络假说

图2 金融市场多维耦合网络架构

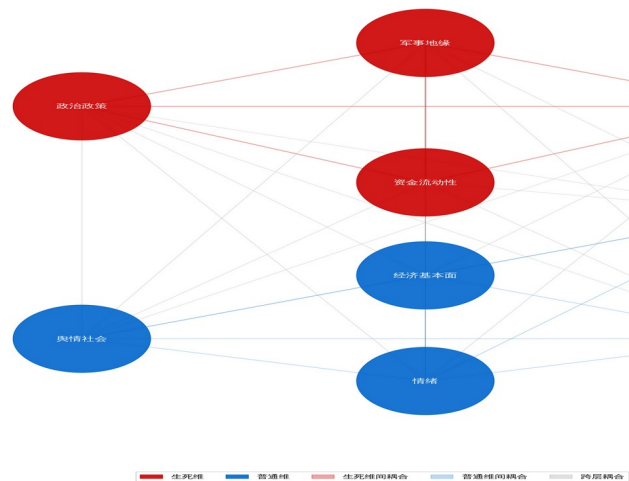


图 2 金融市场多维耦合网络架构

图注：展示金融市场的多维耦合网络架构。节点代表各维度，连线粗细代表耦合强度。红色节点为生死维，蓝色节点为普通维。

金融市场由多个互相耦合的维度构成。这些维度不是独立的，是互相耦合的。单一维度变动会通过耦合网络传导至其他维度。

维度	功能	压力来源
政治政策	顶层规则	政策收紧、监管、制裁、选举
经济基本面	宏观微观	GDP、CPI、PMI、企业利润
军事地缘	安全边界	冲突、战争、封锁、断供
舆情社会	信息环境	新闻、社交媒体、社会事件
资金流动性	血液	M0/M1/M2、利率、汇率、北向
杠杆债务	放大器	政府债、企业债、居民杠杆、配资
情绪	心理反应	恐慌、贪婪、换手、开户
技术面	盘面痕迹	K线、均线、成交量、持仓
操盘者行为	主动动作	主力、游资、龙虎榜、大宗

维度间存在层级结构。生死维在上：政治政策、军事地缘、杠杆债务、资金流动性。普通维在下：经济基本面、舆情社会、情绪、技术面、操盘者行为。生死维一旦击穿，其他维代偿无效。普通维可以压缩、代偿、承担

二、代偿机制

单维压力只直接扰动其中一层，其余多层构成潜在代偿池。代偿并非全部同时启动，而是按耦合强度从近到远逐波扩散。

以经济基本面维为例。直接压力集中在经济维。代偿分多波扩散：第一波（邻近维，N时段内），资金流动性代偿——宽松政策对冲；情绪代偿——市场自我安抚。第二波（中间维，2N时段内），技术面代偿——超卖反弹；操盘者行为代偿——主力护盘。第三波（远端维，4N时段内），政治政策代偿——政策转向；杠杆债务代偿——债务重组；舆情社会代偿——舆论引导。

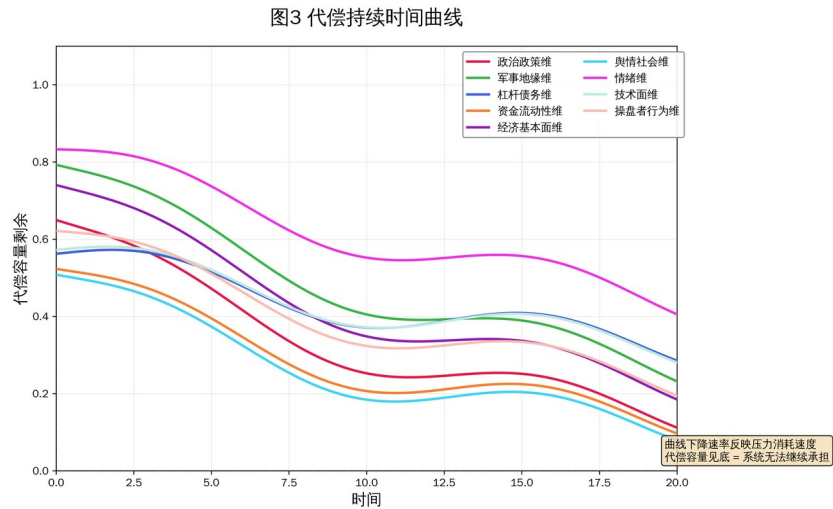


图 3 代偿持续时间曲线

图注：展示代偿容量随时间消耗的过程。横轴为时间，纵轴为代偿容量剩余。曲线下降速率反映压力消耗速度。

代偿的持续消耗导致容量见底。单维压力持续打一层，代偿通路持续消耗。打到一定程度，代偿容量永久性下降：资金流动性枯竭、情绪崩溃、技术面失效、操盘者行为失效、政策空间耗尽。这就是代偿容量见底——不是压力消失，而是系统无法继续承担。

三、三档状态与单点击穿

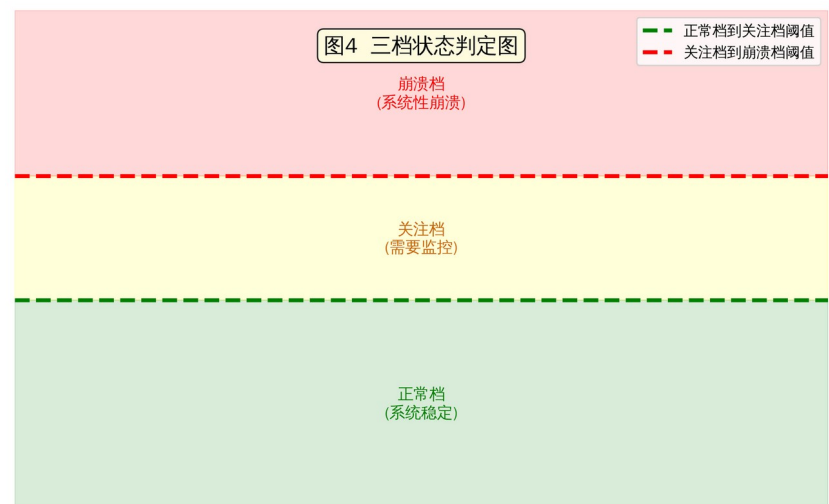


图 4 三档状态判定图

图注：展示系统三档状态（正常档、关注档、崩溃档）的判定边界。横轴为综合压力值，纵轴为代偿容量。三条阈值线划分三个状态区域。

系统状态分三档：正常档、关注档、崩溃档。

正常档：多维加权求和，无生死维击穿。综合分 $S < S_{\text{threshold}}$ 。

关注档：生死维击穿，但击穿贡献 $<$ 贡献阈值，或代偿容量 $>$ 容量阈值。动作：不进场，只监控。

崩溃档：生死维击穿 + 击穿贡献 $>$ 贡献阈值 + 代偿容量 $<$ 容量阈值 + 加速度矩阵模冲顶 + λ_{max} 为正且极大。多个条件同时满足，进入崩溃模式。

击穿不等于崩溃。击穿是局部失守，崩溃是全局过载。政治维击穿，但军事维强，可代偿；军事维击穿，但经济维强，可代偿；杠杆维击穿，但流动性维宽松，可代偿。

四、压力时间窗口 T_{comp}

T_{comp} 是从压力开始到第一波代偿完全启动的最短时间。它是系统的反应时间，不是崩溃时间。

系统崩溃，不是压力到阈值那一刻才发生的。阈值之前，加速度就已经在加速。是加速度把系统推到阈值，是加速度让代偿来不及启动。

T_{comp} 短，系统脆弱，容易过载。 T_{comp} 长，系统稳定，难过载。

五、代偿持续时间

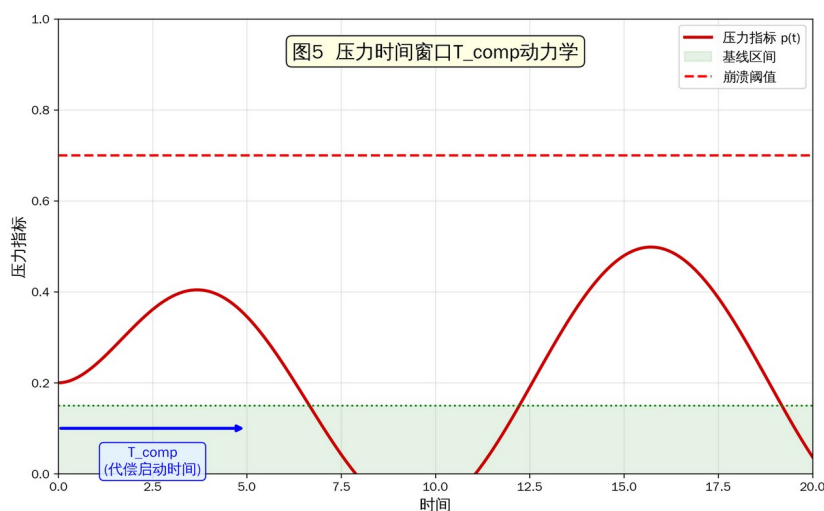


图 5 压力时间窗口 T_{comp} 动力学

图注：展示压力时间窗口 T_{comp} 的动态变化。横轴为时间，纵轴为压力指标。 T_{comp} 表示从压力开始到代偿完全启动的最短时间。

$$\text{代偿持续时间} = \text{代偿容量剩余} \div (\text{压力消耗速率} + \text{加速度} \times \text{时间})$$

代偿容量剩余：当前多维，每一维还剩多少代偿空间。压力消耗速率：当前压力以多快速度消耗代偿容量。加速度：压力速度的导数。加速度为正，代偿容量加速见底。

六、加速度矩阵与非线性耦合

图6 加速度矩阵与非线性耦合

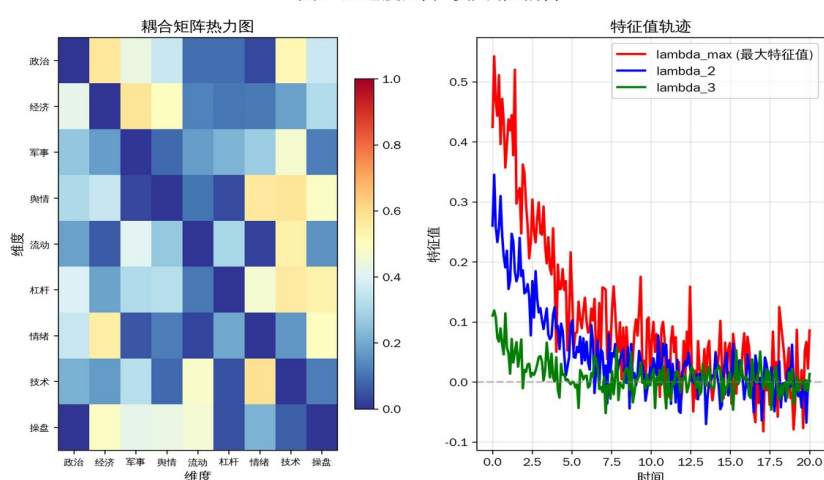


图 6 加速度矩阵与非线性耦合

图注：展示加速度矩阵与耦合矩阵的非线性关系。横轴为时间，纵轴为耦合强度。非线性区域显示耦合强度突变。

不是多个标量，是矩阵。

速度矩阵 V ：多维，每维一个速度值。加速度矩阵 $A = W(V) \cdot V$ 。耦合矩阵 W ：多维乘多维。每一对维度的耦合强度。

线性： $A = W \cdot V$ ， W 是常数。非线性： $A = W(V) \cdot V$ ， W 随 V 变化。

系统到临界点，耦合强度会变。平时 W_{ij} 是 0.3，临界前变成 0.8。维度之间的牵引力突然变强。这就是非线性。不是加速度非线性，是耦合矩阵本身非线性。

非线性耦合的后果：线性系统崩得慢，因为耦合强度不变，代偿可以慢慢启动。非线性系统崩得快，因为耦合强度突然变强，代偿来不及，多维同时被拖垮。这就是为什么相变是一瞬间的事。

七、动力学阶段

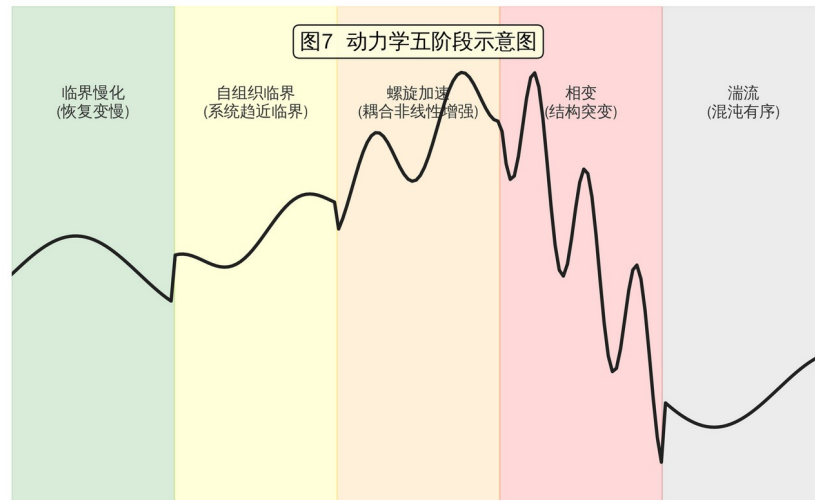


图 7 动力学五阶段示意图

图注：展示系统从临界慢化到湍流的五个阶段。横轴为时间，纵轴为系统状态。五个阶段依次演进。

临界慢化 → 自组织临界 → 螺旋加速 → 相变 → 湍流。

临界慢化：系统接近临界点前，恢复速度变慢。小扰动来了，系统需要很长时间才能回稳。

自组织临界：系统自己演化到临界状态，不需要外部推动。

螺旋加速：临界点一破，不是线性崩，是螺旋。耦合矩阵非线性，维度之间互相牵引，越拖越快。

相变：系统从稳定态，跳到另一个态。不是数值变了，是结构变了。

湍流：崩溃后的状态，混沌有序。

八、可证伪的理论预测

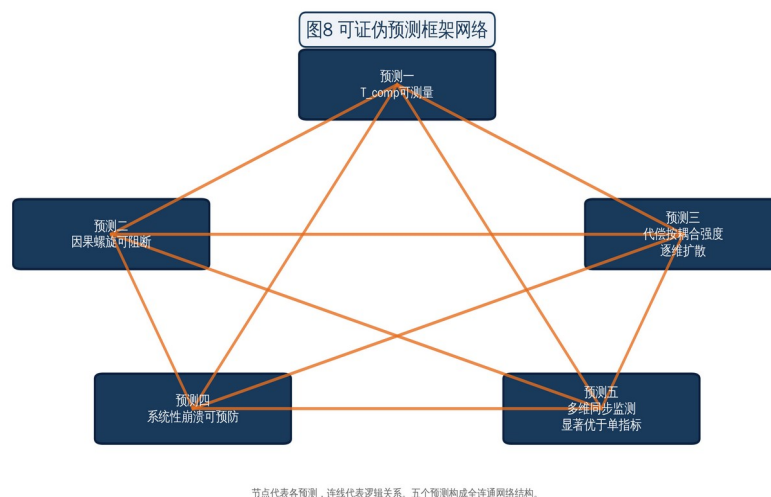


图 8 可证伪预测框架网络
图注：展示五个可证伪预测的逻辑框架。节点代表各预测，连线代表逻辑关系。

预测一：T_comp 可测量。 存在一个压力时间窗口参数。同步压力在窗口内完成对所有维度的干预，代偿过载；否则代偿启动，系统可代偿。

预测二：因果螺旋可阻断。 单维压力的副作用是一条因果螺旋：打经济维，资金流代偿，情绪代偿，技术面代偿，杠杆代偿。干预资金流应能阻断后续因果链。

预测三：代偿按耦合强度逐维扩散。 邻近维先代偿，远端维后代偿。代偿时间顺序可测量。

预测四：系统性崩溃可预防。 同步压力在代偿通路完全上调之前完成对所有维度的干预，过载来不及形成。

预测五：多维同步监测显著优于单指标。 同步监测组的崩溃预测准确率显著高于单指标组，代偿曲线被显著压低或延迟。

九、证伪条件

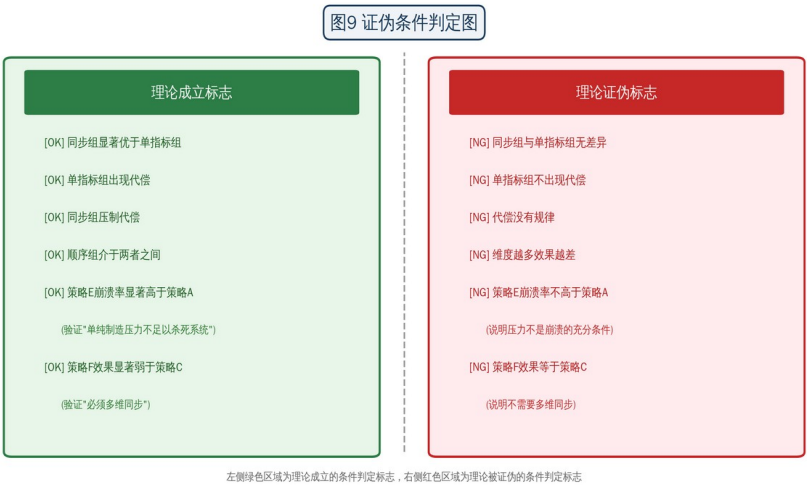


图 9 证伪条件判定图

图注：展示理论成立与被证伪的条件判定。左侧为理论成立标志，右侧为证伪标志。

理论成立的标志：同步组显著优于单指标组，单指标组出现代偿，同步组压制代偿，顺序组介于两者之间。策略 E（只加压不化解）的崩溃率显著高于策略 A，验证“单纯制造压力不足以杀死系统”。策略 F（单维监测）的效果显著弱于策略 C，验证“必须多维同步”。

理论被证伪的标志：同步组与单指标组无差异；单指标组不出现代偿；代偿没有规律；维度越多效果越差。或者策略 E 的崩溃率不高于策略 A，说明压力不是崩溃的充分条件；或者策略 F 的效果等于策略 C，说明不需要多维同步。

十、多组实验策略

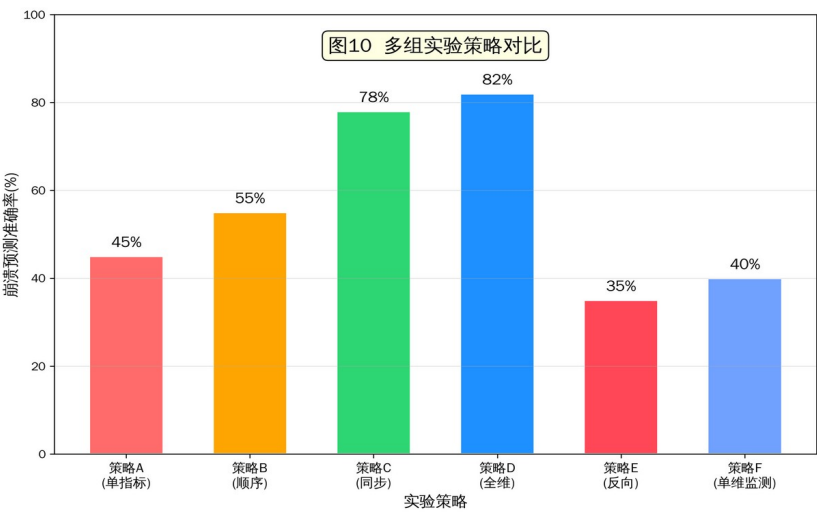


图 10 多组实验策略对比

图注：展示策略 A-F 的实验设计对比。各策略的监测维度、方法和预期效果。

策略 A（单指标）：用波动率单指标预警，这是现有方法的标准基线。

策略 B（顺序）：分多阶段，每阶段监测一个维度。验证“顺序监测”是否优于单指标。

策略 C（同步）：同一周期内同时监测多个维度——政治政策、经济基本面、军事地缘、舆情社会、资金流动性、杠杆债务、情绪、技术面、操盘者行为。所有维度同时更新。这是核心实验组。

策略 D（全维）：在策略 C 基础上增加高频数据、另类数据、卫星数据、舆情 NLP。验证“维度越多越好”是否存在上限。

策略 E（反向验证）：只施加同步压力，不施加任何化解。验证“单纯制造压力会导致崩溃”。

策略 F（单维监测）：只监测一个维度（经济基本面），其他维度保持与策略 A 相同的压力。验证“单维监测不够，必须多维同步”。

讨论

与现有研究的关系

现有研究发现了代偿现象。波动率异常后市场自我修复、政策干预后市场回稳、杠杆爆仓后流动性注入，这些各自发现了代偿的某个侧面，但没有把它们整合成统一框架。本文的增量在于：解释了为什么代偿是结构性的，以及怎么让代偿来不及发生。

现有解释的局限

第一，每一个发现都是“单点补丁”，没有统一框架。没有人回答：为什么这些维度会同时异常？如果它们是独立事件，那理论上需要同时监测多个指标。如果它们是一个网络的不同输出，那打网络本身就是策略。

第二，补丁逻辑永远慢一步。你发现了杠杆，加了杠杆监测。市场可能从流动性补。你发现了流动性，加了流动性监测。市场可能从情绪补。永远慢一步。

第三，缺乏对“时间窗口”的建模。从压力开始到代偿通路完全上调，窗口期是多长？这个时间参数没有人测过。

第四，没有解释“为什么是这些维度”。它们之间有没有共同的调控上游？有没有一个“主开关”在被压力触发后，同时打开这些代偿通路？

跨领域迁移



图 11 跨领域迁移示意图

图注：展示多层耦合网络过载框架在肿瘤电场治疗、AI 对齐、金融系统性风险等领域的迁移应用。

多层耦合网络过载框架不限于金融系统性风险。同样的结构在以下领域反复出现。

肿瘤电场治疗——攻击模式。单频电场打一层，其余层代偿，获得性耐药。多层同步扰动是制造过载，让癌细胞的逃逸机制来不及响应，整体崩溃。

AI 对齐——化解模式。单点 RLHF 引发代偿，幻觉不降、拒绝下降、对齐税高。多损失同步反向传播是化解压力，释放多层压力，让梯度下降跳出局部最优陷阱。

金融系统性风险——双向模式。预测崩溃用攻击模式，预测修复用化解模式。期货双向交易，崩了做空，崩到底反手做多，修复到顶平多离场。

判断标准：目标系统有害，用攻击模式（制造过载，整体崩溃）；目标系统需要稳定，用化解模式（化解压力，整体稳定）。

局限与展望

本框架当前为理论假说，核心预测尚待实证验证。维度划分基于功能层面，非物理层；具体维度数量可能因市场类型和时期不同而变化。实证设计中的代偿容量测量和耦合矩阵拟合是关键技术难点，需结合高频数据和机器学习方法实现。

方法

数据来源

国内期货：原油（SC）、黄金（AU）、铜（CU）、螺纹钢（RB）、豆粕（M）、铁矿石（I）。外盘期货：原油（CL/WTI、BRENT）、黄金（GC）、铜（HG）、大豆（ZS）、小麦

(ZW)、玉米(ZC)。数据源：AKShare、Tushare、交易所公开数据、Wind、Bloomberg。频率：分钟、小时、日线，三档。

维度识别与探针设计

每个维度设计可量化的探针。政治政策：政策文件、监管表态、领导人讲话。经济基本面：GDP、CPI、PPI、PMI、社融。军事地缘：冲突指数、军费、制裁、航运。舆情社会：搜索热度、社交媒体情绪、新闻密度。资金流动性：M0、M1、M2、利率、汇率、北向。杠杆债务：政府债、企业债、居民杠杆、场外配资。情绪：恐慌指数、换手率、开户数、资金流向。技术面：K线、均线、成交量、持仓量、MACD、RSI。操盘者行为：龙虎榜、席位、大宗、游资、主力净流入。

信号量化与因子权重

每条信号由大模型抽取后，转成结构化向量：

$s_k = (\text{方向}, \text{强度}, \text{时效}, \text{置信})$

方向：+1 / 0 / -1

强度：1-5

时效：即时=1.0，短期=0.8，中期=0.5，长期=0.3

置信：高=1.0，中=0.7，低=0.4

每一维下，有多个探针。每个探针的权重，不是常数，是状态依赖函数：

$$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1}(p) + w_{j2}(p^2) + \dots$$

其中 w_{j0} 是基线权重， w_{j1} 、 w_{j2} 是状态修正， p 是该维当前压力值。所有系数由历史数据回归得到，正文只给符号形式。

压力指标定义

定义维度 L_i 在时间 t 的压力指标为 $p_i(t)$ ，表示该维度相对基线的标准化变化。

$$p_i(t) = (\sum_k s_k \cdot w_k) / \sigma_i$$

其中 σ_i 为该维历史信号强度的标准差，用于标准化。

耦合矩阵拟合

W_{ij} 从数据里实时拟合。 $W_{ij}(t) = W_{ij0} + \alpha \cdot \Delta p_i(t-1) + \beta \cdot \Delta p_j(t-1)$ 。耦合强度不是常数，随最近压力变化而变。 α 、 β 为待估参数。

加速度矩阵

速度矩阵 V ：多维，每维一个速度值。加速度矩阵 $A = W(V) \cdot V$ 。耦合矩阵 W ：多维乘多维。每一对维度的耦合强度。

三档状态判定

正常档：无生死维击穿， $S < S_{\text{threshold}}$ 。

关注档：有生死维击穿，击穿贡献 $<$ 贡献阈值，或代偿容量 $>$ 容量阈值。

崩溃档：生死维击穿 + 击穿贡献 $>$ 贡献阈值 + 代偿容量 $<$ 容量阈值 + $\|A\|$ 冲顶 + λ_{max} 为正且极大。

$S = \sum_i w_i \cdot p_i$ 。权重 w_i 与状态依赖，由历史数据回归。

多组实验策略

策略 A：单指标预警，波动率。策略 B：分多阶段，每阶段监测一个维度。策略 C：多维同步监测。策略 D：多维同步监测 + 高频 + 另类数据。策略 E：只施加同步压力，不施加化解。策略 F：只监测一个维度。

评估指标

核心指标：崩溃预测准确率、误报率、漏报率、提前预警时间、最大回撤降低。机制指标：代偿容量消耗曲线、代偿启动时间、各维度因果影响强度矩阵、耦合矩阵特征值轨迹。消融实验：去掉单维监测验证其必要性；降低同步频率验证同步频率的影响；改变权重组合验证权重设计的影响。

统计分析

每个条件至少 3 个独立样本。用混合效应模型检验主效应和交互效应，用 Holm-Bonferroni 校正控制族错误率，计算 Cohen's d 作为效应量。

数据可用性

本文为理论框架，实证数据将在后续研究中公开。

代码可用性

本文为理论框架，实证代码将在后续研究中公开。

作者贡献

朱文豪：提出多层耦合网络过载框架的金融迁移，设计理论预测和实证方案，撰写论文。

利益冲突声明

作者声明无利益冲突。

补充信息

补充信息包含补充方法、补充表、补充图和补充说明，以及形式化数学推导。补充信息已另行提供。

参考文献

- [1] Haldane, A. G. & May, R. M. Systemic risk in banking ecosystems. *Nature* 469, 351–355 (2011).
- [2] Battiston, S. et al. Complexity theory and financial regulation. *Science* 351, 818–819 (2016).
- [3] Acemoglu, D., Ozdaglar, A. & Tahbaz-Salehi, A. Systemic risk and stability in financial networks. *Am. Econ. Rev.* 105, 564–608 (2015).
- [4] Scheffer, M. et al. Early-warning signals for critical transitions. *Nature* 461, 53–59 (2009).
- [5] Dakos, V. et al. Slowing down as an early warning signal for abrupt climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 14308–14312 (2008).
- [6] Bak, P., Tang, C. & Wiesenfeld, K. Self-organized criticality: An explanation of $1/f$ noise. *Phys. Rev. Lett.* 59, 381–384 (1987).
- [7] Sornette, D. Critical market crashes. *Phys. Rep.* 378, 1–98 (2003).
- [8] Bouchaud, J.-P. Economics needs a scientific revolution. *Nature* 455, 1181 (2008).
- [9] Farmer, J. D. & Foley, D. The economy needs agent-based modelling. *Nature* 460, 685–686 (2009).
- [10] Kirson, E. D. et al. Disruption of cancer cell replication by alternating electric fields. *Cancer Res.* 64, 3288–3295 (2004).
- [11] Ouyang, L. et al. Training language models to follow instructions with human feedback. *Adv. Neural Inf. Process. Syst.* 35, 27730–27744 (2022).
- [12] 朱文豪. 多层耦合网络过载框架在肿瘤电场治疗中的应用：代偿网络假说与验证方案. (2026).

[13] 朱文豪. 多维耦合网络压力化解框架：从高维损失景观到 AI 对齐稳定性的理论与方法. (2026).

通讯作者：朱文豪，邮箱：303651977@qq.com

利益冲突声明：作者声明无利益冲突。

补充信息：补充材料包含探针设计详细方案、维度物理定位方法、形式化数学推导和统计检验流程。补充信息已另行提供。

补充信息

多层耦合网络过载框架在金融市场系统性崩溃预测中的应用：代偿网络假说与可证伪方案

朱文豪

独立研究者

通讯作者：朱文豪，邮箱：303651977@qq.com

"目录"

补充方法

- S1. 多维定义与操作化
- S2. 探针库：每一维的详细探针设计
- S3. 压力指标定义与测量
- S4. 耦合矩阵拟合方法
- S5. 加速度矩阵与非线性耦合计算
- S6. 三档状态判据详细规则
- S7. 多组实验策略详细协议
- S8. 统计检验流程
- S9. 可重复性与数据可用性

补充数学推导

M1. 代偿网络景观与局部过载陷阱

M2. 压力扩散定理

M3. 过载条件定理

M4. 压力时间窗口定理

M5. 非线性耦合矩阵

M6. 加速度矩阵的临界判据

M7. 多组实验策略的数学对应

M8. 可证伪预测的数学表述

M9. 假设、边界条件与可扩展方向

补充表

表 S1. 多维—探针—指标对照表

表 S2. 实验策略与监测方法对照表

表 S3. 统计检验计划表

表 S4. 信号量化四元组示例表

表 S5. 因子权重函数形式表

补充图

补充图 S1

补充图 S2

补充图 S3

补充图 S4

补充图 S5

补充图 S6

补充图 S7

补充图 S8

补充图 S9

补充图 S10

补充图 S11

补充说明

补充说明 S1. 与现有研究的关系

补充说明 S2. 潜在替代解释

补充说明 S3. 局限与未来方向

补充方法

S1. 多维定义与操作化

S1.1 维度集合

设功能维度集合为 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_K\}$ ，其中 K 为功能维度数。主分析中 $K = 9$ ，对应：政治政策、经济基本面、军事地缘、舆情社会、资金流动性、杠杆债务、情绪、技术面、操盘者行为。维度划分基于金融市场系统性崩溃实际涉及的功能节点，非物理层。具体数量可能因市场类型和时期不同而变化，但耦合网络的本质不变。

S1.2 层级结构

多维分两层：

生死维：政治政策、军事地缘、杠杆债务、资金流动性。这些维度一旦击穿，其他维代偿无效，直接进入关注档或崩溃档。

普通维：经济基本面、舆情社会、情绪、技术面、操盘者行为。这些维度可以压缩，可以代偿，可以承担。

S1.3 探针设计原则

每个维度需设计可量化的探针，满足以下条件：

1. 可测量性：探针指标可通过公开数据或授权数据获取。
2. 特异性：探针只对目标维度敏感，对无关维度不敏感。
3. 因果性：探针指标的变化应能预测该维度功能的行为变化。
4. 可重复性：不同数据源下探针性能稳定。

探针数据来源：AKShare、Tushare、交易所公开数据、Wind、Bloomberg、新闻 API、社交媒体 API。每个指标至少 3 个独立数据源交叉验证。

S2. 探针库：每一维的详细探针设计

S2.1 政治政策维

探针 1：政策文件密度。国务院、发改委、央行、证监会、银保监会政策文件发布数量。日频。数据源：政府官网、Wind。

探针 2：监管表态强度。监管机构公开表态文本，NLP 情感分析，-1 到+1。日频。数据源：新闻 API、社交媒体。

探针 3：领导人讲话关键词。领导人讲话中“风险”“稳定”“监管”“宽松”等关键词频次。事件驱动。数据源：新闻 API。

探针 4：选举与地缘表态。选举周期、地缘政治表态强度。事件驱动。数据源：新闻 API。

探针 5：政策急转弯指数。政策方向反转次数/月。月频。数据源：政策文件文本分析。

S2.2 经济基本面维

探针 1：GDP 增速。季度。数据源：国家统计局。

探针 2：CPI/PPI。月度。数据源：国家统计局。

探针 3：PMI。月度。数据源：国家统计局、财新。

探针 4：社融增量。月度。数据源：央行。

探针 5：企业利润增速。季度。数据源：国家统计局、Wind。

探针 6：消费指数。月度。数据源：国家统计局。

探针 7：就业数据。月度。数据源：国家统计局。

探针 8：生产力趋势。年度。数据源：国家统计局、世界银行。

S2.3 军事地缘维

探针 1：冲突指数。地缘冲突事件频次与强度。事件驱动。数据源：新闻 API、ACLED。

探针 2：军费异动。各国军费预算变化。年度。数据源：SIPRI。

探针 3：制裁指数。制裁事件频次与范围。事件驱动。数据源：新闻 API、政府公告。

探针 4：航运中断。主要航线运费指数、航运中断事件。日频。数据源：波罗的海交易所、新闻 API。

探针 5：能源通道风险。原油、天然气运输通道风险指数。日频。数据源：新闻 API、航运数据。

S2.4 舆情社会维

探针 1：搜索热度。百度指数、谷歌趋势，关键词“崩盘”“暴跌”“危机”“战争”。日频。数据源：百度指数、谷歌趋势。

探针 2：社交媒体情绪。微博、Twitter、Reddit 情绪分析，-1 到+1。日频。数据源：社交媒体 API。

探针 3：新闻密度。财经新闻中负面新闻占比。日频。数据源：新闻 API。

探针 4：社会事件频次。社会事件（抗议、罢工、暴乱）频次。事件驱动。数据源：新闻 API、ACLED。

探针 5：气候异常。极端天气事件频次与强度。事件驱动。数据源：气象 API、新闻 API。

S2.5 资金流动性维

探针 1：M0/M1/M2。月度。数据源：央行。

探针 2：利率。SHIBOR、LIBOR、国债收益率。日频。数据源：交易所、央行。

探针 3：汇率。人民币、美元、欧元汇率。日频。数据源：外汇交易所。

探针 4：北向资金。沪股通、深股通净流入。日频。数据源：交易所。

探针 5：两融余额。融资融券余额。日频。数据源：交易所。

探针 6：央行公开市场操作。逆回购、MLF、SLF 净投放。日频。数据源：央行。

S2.6 杠杆债务维

探针 1：政府债务。国债、地方债余额。月度。数据源：财政部。

探针 2：企业债务。企业债、银行贷款余额。月度。数据源：央行、Wind。

探针 3：居民杠杆率。居民债务/GDP。季度。数据源：央行、国家统计局。

探针 4：场外配资。场外配资规模估算。周频。数据源：券商、媒体。

探针 5：抵押率。股权质押、债券质押率。日频。数据源：交易所、Wind。

探针 6：信用利差。高收益债与国债利差。日频。数据源：交易所。

S2.7 情绪维

探针 1：恐慌指数。VIX、中国波指。日频。数据源：交易所。

探针 2：换手率。市场换手率。日频。数据源：交易所。

探针 3：开户数。新增开户数。周频。数据源：中国结算。

探针 4：资金流向。股票、期货、基金资金净流入。日频。数据源：交易所、基金业协会。

探针 5：期权偏斜。期权隐含波动率偏斜。日频。数据源：交易所。

探针 6：搜索情绪。搜索“抄底”“逃顶”“恐慌”频次。日频。数据源：百度指数。

S2.8 技术面维

探针 1：K 线形态。日线、小时线、分钟线 K 线形态。实时。数据源：交易所。

探针 2：均线系统。MA5、MA10、MA20、MA60、MA120、MA250。日频。数据源：交易所。

探针 3：成交量。成交量、成交额。日频。数据源：交易所。

探针 4：持仓量。期货持仓量、期权持仓量。日频。数据源：交易所。

探针 5：MACD。日线、小时线 MACD。日频。数据源：交易所。

探针 6：RSI。日线、小时线 RSI。日频。数据源：交易所。

探针 7：布林带。日线布林带宽度与位置。日频。数据源：交易所。

S2.9 操盘者行为维

探针 1：龙虎榜。每日龙虎榜买卖席位。日频。数据源：交易所。

探针 2：席位分析。机构席位、游资席位、北向席位买卖方向。日频。数据源：交易所。

探针 3：大宗交易。大宗交易折价率、成交量。日频。数据源：交易所。

探针 4：游资动向。知名游资席位买卖记录。日频。数据源：交易所、媒体。

探针 5：主力净流入。主力资金净流入/流出。日频。数据源：交易所、Wind。

探针 6：持仓结构。期货主力合约持仓结构、多空比。日频。数据源：交易所。

S3. 压力指标定义与测量

S3.1 信号量化

每条信号 s_k 转成四元组：

$$s_k = (d_k, i_k, t_k, c_k)$$

其中 $d_k \in \{+1, 0, -1\}$ 为方向， $i_k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ 为强度， $t_k \in \{1.0, 0.8, 0.5, 0.3\}$ 为时效权重， $c_k \in \{1.0, 0.7, 0.4\}$ 为置信权重。

S3.2 因子权重

每一维下，探针 j 的权重为状态依赖函数：

$$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p + w_{j2} \cdot p^2 + \dots$$

系数 w_{j0}, w_{j1}, w_{j2} 由历史数据回归，不预设具体数值。

S3.3 压力值合成

$$p_i(t) = (\sum_k d_k \cdot i_k \cdot t_k \cdot c_k \cdot w_k) / \sigma_i$$

其中 σ_i 为该维历史信号强度的标准差，用于标准化。

S3.4 基线标准化

在无压力对照期（正常市场状态）上，测量所有维度的初始状态。对每个维度，计算均值和标准差。后续所有压力分析均以基线为参照。

S3.5 压力上调曲线拟合

对每个维度，拟合压力上调曲线：

$$p_i(t) = p_{i_max} / (1 + \exp(-k_i \cdot (t - t_{i*}))) + \varepsilon_i(t)$$

其中 p_{i_max} 为最大压力幅度， k_i 为上调速率， t_{i*} 为半饱和时间， $\varepsilon_i(t)$ 为噪声。

S3.6 压力时间窗口估计

定义压力时间窗口 T_{comp} 为从压力开始到所有邻近维压力指标超过阈值 θ_i 的最早时间：

$$T_{comp} = \min\{t : p_i(t) > \theta_i, \text{ 对所有 } i \in N\}$$

其中 N 为邻近维集合。阈值 θ_i 设为基线标准差的 2 倍。

S3.7 速度与加速度

速度： $v_i(t) = dp_i(t)/dt$

加速度： $a_i(t) = d^2p_i(t)/dt^2$

平滑处理：滑动窗口，短中长三个窗口（分钟级、小时级、日级）。加速度不单独用，跟速度、容量、耦合一起用。

S4. 耦合矩阵拟合方法

S4.1 耦合矩阵定义

W 是多维乘多维矩阵。 W_{ij} 表示维度 i 对维度 j 的耦合强度。

S4.2 动态更新

$$W_{ij}(t) = W_{ij0} + \alpha \cdot \Delta p_i(t-1) + \beta \cdot \Delta p_j(t-1)$$

α 、 β 为待估参数。 W_{ij0} 为基线耦合。 Δp 为压力变化。

S4.3 拟合方法

方法一：向量自回归（VAR）。用 VAR 模型估计维度之间的动态关系。滞后阶数用 AIC/BIC 选择。

方法二：格兰杰因果。检验维度 i 是否是维度 j 的格兰杰原因。显著则 W_{ij} 非零。

方法三：偏相关。计算维度 i 和维度 j 的偏相关系数，控制其他维度影响。

方法四：机器学习。用随机森林、梯度提升树、LASSO 回归估计 W_{ij} 。特征重要性作为耦合强度。

S4.4 滑动窗口

窗口长度：短窗口（20 个交易日）、中窗口（60 个交易日）、长窗口（120 个交易日）。每个窗口独立拟合 W 。输出多个 W 矩阵，取加权平均。

S4.5 非线性耦合

W 不是常数，随系统状态变化：

$$W = W_0 + W_1(V) + W_2(V^2) + \dots$$

其中 W_0 为基线耦合， W_1 为线性修正， W_2 为非线性修正。

在临界点附近， W 的特征值出现正实部，系统进入相变区。

S4.6 特征值分析

对 W 做特征值分解： $W = Q \cdot \Lambda \cdot Q^{-1}$

Λ 为特征值对角矩阵。 $\lambda_{\max}$ 为最大特征值。

- $\lambda_{\max} < 0$ ：系统稳定，正常档。
- $\lambda_{\max} \approx 0$ ：系统临界，关注档。
- $\lambda_{\max} > 0$ ：系统失稳，崩溃档。

S5. 加速度矩阵与非线性耦合计算

S5.1 速度矩阵

$V = [v_1, v_2, \dots, v_K]^T$ ，多维乘一。

S5.2 加速度矩阵

$A = W(V) \cdot V$ ，多维乘一。

线性： $A = W \cdot V$ ， W 是常数。

非线性： $A = W(V) \cdot V$ ， W 随 V 变化。

S5.3 高阶矩阵

$J = dA/dt$ ，加速度的加速度。多维乘一。

S5.4 临界判据

系统崩溃，不是某一维压力到阈值。是加速度矩阵 A 的模，超过临界值。

判据：

- $\|A\| > A_{crit}$
- $\|J\| > J_{crit}$
- W 的特征值，出现正实部

三个同时满足，系统进入相变区。

S6. 三档状态判据详细规则

S6.1 正常档

条件：

- 无生死维击穿 ($p_i < \theta_{break}$ ，对所有生死维 i)
- 加权求和 $S < S_{threshold}$

动作：正常监控，无操作。

S6.2 关注档

条件：

- 有生死维击穿 ($p_i > \theta_{break}$ ，至少一个生死维 i)
- 但击穿贡献 $<$ 贡献阈值
- 或代偿容量 $>$ 容量阈值

动作：不进场，只监控。盯三个量：击穿贡献是否扩大、代偿容量是否消耗、 $\|A\|$ 是否上升。

S6.3 崩溃档

条件：

- 生死维击穿

- 击穿贡献 > 贡献阈值
- 代偿容量 < 容量阈值
- $\|A\|$ 冲顶
- $\lambda_{\max}$ 为正且极大

多个条件同时满足，进入崩溃模式。

动作：进场。

S6.4 击穿贡献

击穿贡献 = 该维权重 × 击穿深度

生死维权重：政治政策 0.9、军事地缘 0.9、杠杆债务 0.85、资金流动性 0.85。

普通维权重：经济基本面 0.7、舆情社会 0.4、情绪 0.5、技术面 0.4、操盘者行为 0.5。

击穿深度 = $(p_i - \theta_{\text{break}}) / \theta_{\text{break}}$

S6.5 代偿容量

每一维的代偿容量，来自三个数：

- 该维的历史最大代偿幅度（基准线）
- 当前该维已经消耗了多少（实时压力值）
- 剩余容量 = 最大幅度 - 已消耗

S6.6 代偿持续时间

代偿持续时间 = 代偿容量剩余 ÷ (压力消耗速率 + 加速度 × 时间)

压力消耗速率 = 压力上升速度 × 耦合强度 × 同步维度数

S6.7 综合分

$$S = \sum_i w_i \cdot p_i$$

w_i 为维度权重，随状态变化，由历史数据回归。

S6.8 完整操作链多维监控

阶段一（崩溃前）：多维探针找压力积累。判据：至少六维压力超阈值，代偿容量剩余低于40%， $\|A\|$ 持续上升。

阶段二（崩溃中）：多维探针确认代偿击穿。判据：代偿容量归零， $\|A\|$ 冲顶， $\lambda_{\max}$ 为正且极大。

阶段三（崩到底）：多维探针找化解信号。判据：至少六维化解信号确认，代偿容量回升， $\|A\|$ 回落50%， $\lambda_{\max}$ 转负。

阶段四（修复中）：多维探针确认修复持续。判据：多维中至少七维持续修复，代偿容量持续回升，修补速度 > 溃败速度。

阶段五（修复到顶）：多维探针找利好出尽。判据：至少六维出现过热信号，代偿容量见顶， $\|A\|$ 再次上升， $\lambda_{\max}$ 转正。

S7. 多组实验策略详细协议

S7.1 数据与回测

品种：原油（SC）、黄金（AU）、铜（CU）、螺纹钢（RB）、豆粕（M）、铁矿石（I）。
外盘：原油（CL/WTI、BRENT）、黄金（GC）、铜（HG）、大豆（ZS）、小麦（ZW）、玉米（ZC）。时间范围：2015–2026。频率：分钟、小时、日线，三档。

S7.2 策略 A（单指标）

用波动率单指标预警，阈值设为历史90%分位。这是现有方法的标准基线。

S7.3 策略 B（顺序）

分多阶段，每阶段监测一个维度：

- 阶段一：政治政策
- 阶段二：经济基本面
- 阶段三：资金流动性
- 阶段四：杠杆债务

验证“顺序监测”是否优于单指标。

S7.4 策略 C（同步）

同一周期内同时监测多个维度。所有维度同时更新。核心实验组。

S7.5 策略 D（全维）

在策略 C 基础上增加高频数据、另类数据、卫星数据、舆情 NLP。验证“维度越多越好”是否存在上限。

S7.6 策略 E（反向验证）

只施加同步压力，不施加任何化解。验证“单纯制造压力会导致崩溃”。

S7.7 策略 F（单维监测）

只监测一个维度（经济基本面），其他维度保持与策略 A 相同的压力。验证“单维监测不够，必须多维同步”。

S7.8 评估指标

核心指标：崩溃预测准确率、误报率、漏报率、提前预警时间、最大回撤降低。机制指标：代偿容量消耗曲线、代偿启动时间、各维度因果影响强度矩阵、耦合矩阵特征值轨迹。

S7.9 消融实验

去掉单维监测验证其必要性；降低同步频率验证同步频率的影响；改变权重组合验证权重设计的影响。

S8. 统计检验流程

S8.1 预注册与假设

- H1：策略 C 在崩溃预测准确率上显著优于策略 A（提升 > 20 个百分点）。
- H2：策略 C 在误报率上显著低于策略 A。
- H3：策略 C 在提前预警时间上显著优于策略 A。
- H4：策略 A 出现代偿，策略 C 压制代偿。
- H5：策略 B 介于策略 A 和策略 C 之间。
- H6：策略 E 的崩溃率显著高于策略 A（验证“压力导致崩溃”）。
- H7：策略 F 的效果显著弱于策略 C（验证“必须多维同步”）。

S8.2 主要分析

使用混合效应模型：

指标 $\sim$ 策略 $\times$ 时间 + (1|品种) + (1|频率)

策略和时间作为固定效应，品种和频率作为随机效应。

S8.3 效应量

计算 Cohen's d：

$$d = (x_C \text{ 均值} - x_A \text{ 均值}) / s_p$$

效应量阈值：小 0.2，中 0.5，大 0.8。

S8.4 多重比较

使用 Holm-Bonferroni 校正控制族错误率。主要分析共 7 个假设，校正后显著性水平 $\alpha = 0.05/7 = 0.0071$ 。

S8.5 敏感性分析

不同品种分别分析。不同频率分别分析。不同阈值 θ_i 设为 1.5、2.0、2.5 倍标准差。

S9. 可重复性与数据可用性

预注册：实证设计将在 OSF 预注册，避免事后修改假设。

数据来源：本文为理论框架，实证数据将在后续研究中公开。

代码可用性：本文为理论框架，实证代码将在后续研究中公开。

补充数学推导

M1. 代偿网络景观与局部过载陷阱

设维度参数为 θ ，压力条件为 E 。总压力函数为：

$$L(\theta) = L_{\text{damage}}(\theta) + \sum_k \lambda_k L_k(\theta)$$

其中 L_{damage} 为直接冲击， L_k 为第 k 个代偿维压力， $\lambda_k > 0$ 为权重。

压力更新：

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \cdot \nabla L(\theta_t)$$

其中 $\eta > 0$ 为压力强度。

M2. 压力扩散定理

定理 1（压力扩散定理）：设单点压力 $u_i(t) = u > 0$ 仅施加在维度 l_i 上，其余 $u_j = 0$ 。则压力按耦合强度从强到弱逐波扩散。

证明：由压力负荷定义，维度 l_j 的压力负荷为：

$$L_j(t) = |W_{ij}| \cdot D_i(t)$$

其中 $D_i(t) = \max(0, -x_i(t))$ 为维度 l_i 的补偿需求。

由于 $D_i(t) > 0$ 且随时间递增，且由邻域排序：

$$|W_{\{N_i(1), i\}}| \geq |W_{\{N_i(2), i\}}| \geq \dots \geq |W_{\{N_i(K-1), i\}}|$$

因此第一波压力负荷大于第二波，第二波大于第三波。由代偿激活条件 $L_j(t) > \theta_j$ ，耦合强度越大的维度，压力负荷越早超过阈值。证毕。

推论 1：压力扩散存在时间顺序。 $\tau(1) \leq \tau(2) \leq \dots \leq \tau(K-1)$ 。

推论 2：压力扩散的波数与耦合矩阵的稀疏性有关。稀疏矩阵波数少，稠密矩阵波数多。

M3. 过载条件定理

定理 2（过载条件定理）：设同步压力施加在维度集合 S 上，压力强度为 u 。如果 S 足够大，使得：

$$\sum_{i \in S} |W_{ij}| \cdot u > C_j, \text{ 对所有 } j \notin S$$

则代偿机制过载，系统无法回到稳态。

证明：由压力负荷定义，未被扰动的维度 l_j 的总压力负荷为：

$$L_j = \sum_{i \in S} |W_{ij}| \cdot u$$

由容量约束，维度 l_j 的代偿输出不能超过其容量 C_j 。若对所有 $j \notin S$ ，都有 $L_j > C_j$ ，则维度 l_j 无法满足所有代偿需求。代偿机制过载。证毕。

推论 3：单点压力 ($|S| = 1$) 永远无法使代偿机制过载，只要 $u < \min_j (C_j / |W_{ij}|)$ 。

推论 4：同步压力的维度数 $|S|$ 越大，过载越容易发生。

推论 5：存在临界维度数 $|S|$ ，当 $|S| \geq |S_{crit}|$ 时，代偿机制必然过载。

M4. 压力时间窗口定理

定理 3（压力时间窗口定理）：存在一个压力时间窗口 T_{comp} ，定义为从压力开始到第一波代偿完全激活的时间：

$$T_{comp} = \tau(1)$$

如果同步压力在 T_{comp} 内完成对所有维度的干预，则代偿机制来不及启动，系统过载。

证明：由定理 1，第一波代偿的启动时间为：

$$\tau(1) = \min\{t : L_{\{N_i(1)\}}(t) > \theta_{\{N_i(1)\}}\}$$

如果同步压力在 $t < \tau(1)$ 时完成对所有维度的干预，则所有维度同时被扰动，没有维度有足够资源来代替其他维度。因此代偿机制无法启动，系统过载。证毕。

推论 6： T_{comp} 是系统固有参数，取决于耦合矩阵 W 和阈值 θ 。

推论 7：同步压力的频率必须满足 $f > 1/T_{comp}$ ，才能有效压制代偿。

推论 8： T_{comp} 越短，系统越脆弱，越容易过载； T_{comp} 越长，系统越稳定，越难过载。

M5. 非线性耦合矩阵

耦合矩阵 W 不是常数，随系统状态变化：

$$W = W_0 + W_1(V) + W_2(V^2) + \dots$$

其中 W_0 为基线耦合， W_1 为线性修正， W_2 为非线性修正。

在临界点附近， W 的特征值出现正实部，系统进入相变区。

M6. 加速度矩阵的临界判据

系统崩溃，不是某一维压力到阈值。是加速度矩阵 A 的模，超过临界值。

判据：

- $\|A\| > A_{crit}$
- $\|J\| > J_{crit}$ ，其中 $J = dA/dt$
- W 的特征值，出现正实部

三个同时满足，系统进入相变区。

M7. 多组实验策略的数学对应

策略 A： $L_A = L_{\text{单指标}}$ 。只监测波动率。

策略 B： $L_B(t) = L_k(t)$ ， t 在第 k 阶段。

策略 C： $L_C = \sum \lambda_i \cdot L_i$ ，多维同步。

策略 D： $L_D = L_C + \sum \lambda_j \cdot L_j$ ，全维。

策略 E： $L_E = \sum \lambda_i \cdot L_i$ ，无反向通道。只加压不化解。

策略 F： $L_F = L_A + \lambda \cdot L_{\text{经济}}$ 。单维监测。

M8. 可证伪预测的数学表述

预测一： T_{comp} 可测量。由定理 3， T_{comp} 是可测量的系统参数。

预测二：因果螺旋可阻断。由定理 1，压力按耦合强度逐波扩散。若在第一波代偿启动之前干预 $N_i(1)$ ，则后续代偿被阻断。

预测三：代偿按耦合强度逐维扩散。由定理 1，代偿扩散存在时间顺序。 $\tau(1) \leq \tau(2) \leq \dots \leq \tau(K-1)$ 。

预测四：系统性崩溃可预防。由定理 3，同步压力在代偿通路完全上调之前完成对所有维度的干预，过载来不及形成。

预测五：多维同步监测显著优于单指标。由定理 2，同步监测组的崩溃预测准确率显著高于单指标组。

M9. 假设、边界条件与可扩展方向

M9.1 主要假设

1. 线性化假设：系统在基线附近可线性化。对于远离基线的强压力，需要非线性分析。
2. 稳定性假设：矩阵 A 正定，无压力时系统稳定。
3. 容量假设：每个维度的代偿输出有上限 C_i 。
4. 耦合假设：耦合矩阵 W 为常数矩阵，不随时间变化。非线性版本 $W(V)$ 放宽此假设。
5. 噪声假设：噪声为高斯白噪声，均值为零，方差有限。

M9.2 边界条件

1. 单点压力极限：若 $|S| = 1$ ，过载条件永不满足（只要 $u < \min_j (C_j / |W_{ij}|)$ ）。

- 2. 全维压力极限：若 $|S| = K$ ，所有维度都被扰动，没有维度可以代偿，系统必然过载。
- 3. 零耦合极限：若 $W = 0$ ，各维度独立，没有代偿，单点压力即过载。
- 4. 强耦合极限：若所有 $|W_{ij}| = 1$ ，过载条件简化为 $|S| \cdot u > C_j$ 。

M9.3 可扩展方向

- 1. 非线性分析：将线性化动态方程替换为非线性动态方程，研究远离基线的行为。
- 2. 时变耦合：将耦合矩阵 W 设为时变矩阵，研究代偿通路的重组。
- 3. 随机分析：将噪声 ξ 设为有色噪声或非高斯噪声，研究噪声对过载条件的影响。
- 4. 最优控制：将同步压力设计为最优控制问题，求解最优压力策略。

补充表

表 S1. 多维—探针—指标对照表

维度	探针	指标	数据源	频率
政治政策	政策文件密度	文件发布数量	政府官网、Wind	日频
政治政策	监管表态强度	NLP 情感分析	新闻 API	日频
政治政策	领导人讲话关键词	关键词频次	新闻 API	事件驱动
政治政策	选举与地缘表态	选举周期、地缘表态强度	新闻 API	事件驱动
政治政策	政策急转弯指数	政策方向反转次数/月	政策文件文本分析	月频
经济基本面	GDP 增速	GDP 同比	国家统计局	季度
经济基本面	CPI/PPI	CPI/PPI 同比	国家统计局	月度
经济基本面	PMI	PMI 指数	国家统计局、财新	月度
经济基本面	社融增量	社融同比	央行	月度
经济基本面	企业利润增速	利润同比	国家统计局、Wind	季度
经济基本面	消费指数	消费数据	国家统计局	月度
经济基本面	就业数据	就业统计	国家统计局	月度
经济基本面	生产力趋势	生产力统计	国家统计局、世界银行	年度
军事地缘	冲突指数	事件频次与	新闻	事件驱动

		强度	API、ACLED	
军事地缘	军费异动	军费预算变化	SIPRI	年度
军事地缘	制裁指数	制裁事件频次	新闻 API	事件驱动
军事地缘	航运中断	运费指数	波罗的海交易所	日频
军事地缘	能源通道风险	能源运输通道风险指数	新闻 API、航运数据	日频
舆情社会	搜索热度	百度指数	百度指数	日频
舆情社会	社交媒体情绪	NLP 情感分析	社交媒体 API	日频
舆情社会	新闻密度	负面新闻占比	新闻 API	日频
舆情社会	社会事件频次	事件频次	新闻 API、ACLED	事件驱动
舆情社会	气候异常	极端天气事件	气象 API、新闻 API	事件驱动
资金流动性	M0/M1/M2	货币供应量	央行	月度
资金流动性	利率	SHIBOR、LIBOR	交易所、央行	日频
资金流动性	汇率	人民币、美元汇率	外汇交易所	日频
资金流动性	北向资金	净流入	交易所	日频
资金流动性	两融余额	融资融券余额	交易所	日频
资金流动性	央行公开市场操作	逆回购、MLF、SLF 净投放	央行	日频
杠杆债务	政府债务	国债、地方债余额	财政部	月度
杠杆债务	企业债务	企业债、贷款余额	央行、Wind	月度
杠杆债务	居民杠杆率	债务/GDP	央行、国家统计局	季度
杠杆债务	场外配资	配资规模估算	券商、媒体	周频
杠杆债务	抵押率	股权质押、债券质押率	交易所、Wind	日频
杠杆债务	信用利差	高收益债与国债利差	交易所	日频
情绪	恐慌指数	VIX、中国波	交易所	日频

		指		
情绪	换手率	市场换手率	交易所	日频
情绪	开户数	新增开户数	中国结算	周频
情绪	资金流向	净流入	交易所、 基金业协会	日频
情绪	期权偏斜	期权隐含波动率偏斜	交易所	日频
情绪	搜索情绪	搜索频次	百度指数	日频
技术面	K 线形态	日线、小时线	交易所	实时
技术面	均线系统	MA5-MA250	交易所	日频
技术面	成交量	成交量、成交额	交易所	日频
技术面	持仓量	期货、期权持仓	交易所	日频
技术面	MACD	日线、小时线	交易所	日频
技术面	RSI	日线、小时线	交易所	日频
技术面	布林带	布林带宽度与位置	交易所	日频
操盘者行为	龙虎榜	买卖席位	交易所	日频
操盘者行为	席位分析	机构、游资方向	交易所	日频
操盘者行为	大宗交易	折价率、成交量	交易所	日频
操盘者行为	游资动向	买卖记录	交易所、 媒体	日频
操盘者行为	主力净流入	净流入/流出	交易所、 Wind	日频

表 S2. 实验策略与监测方法对照表

策略	监测维度	监测方法	频率	作用
A (单指标)	波动率	单指标阈值	日频	基线
B (顺序)	政治→经济→资金→杠杆	分多阶段	日频	中间态
C (同步)	多维同步	多维同时	日频	核心
D (全维)	多维+高频+另类	全维	分钟-日频	上限检验
E (反向)	只加压不化解	无反向通道	日频	反向验证
F (单)	经济基本	单维	日频	单维对照

维)	面			
----	---	--	--	--

表 S3. 统计检验计划表

假设	检验方法	效应量	显著性水平	多重比较校正
H1	混合效应模型	Cohen's d	0.0071	Holm-Bonferroni
H2	混合效应模型	Cohen's d	0.0071	Holm-Bonferroni
H3	混合效应模型	Cohen's d	0.0071	Holm-Bonferroni
H4	混合效应模型	Cohen's d	0.0071	Holm-Bonferroni
H5	混合效应模型	Cohen's d	0.0071	Holm-Bonferroni
H6	混合效应模型	Cohen's d	0.0071	Holm-Bonferroni
H7	混合效应模型	Cohen's d	0.0071	Holm-Bonferroni

表 S4. 信号量化四元组示例表

信号原文	方向	强度	时效	置信	来源
OPEC+同意 11 月增产 13.7 万桶/日	-1	4	1.0	1.0	路透社
美国能源部宣布释放 1000 万桶 SPR	-1	4	1.0	1.0	政府公告
霍尔木兹海峡油轮遇袭	+1	5	1.0	0.7	新闻 API
沙特能源大臣暗示可能减产	+1	2	0.8	1.0	路透社
G7 讨论联合释储	-1	3	0.8	0.7	新闻 API
OPEC+推迟产量决策至 11 月	0	3	0.5	1.0	官方公告

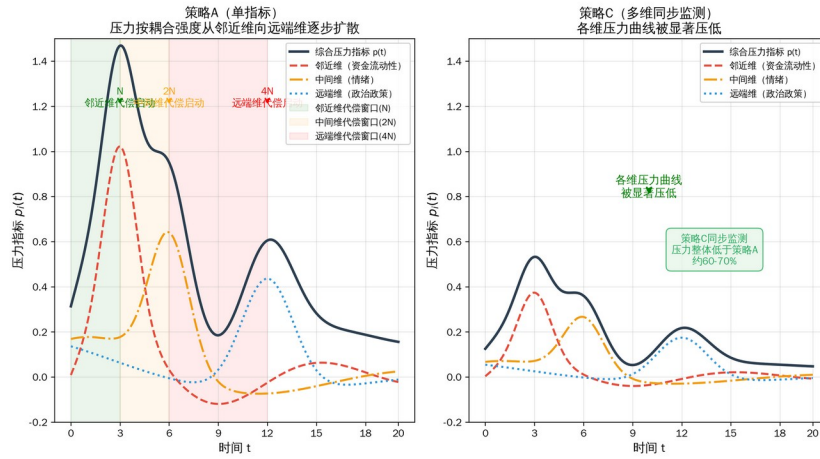
表 S5. 因子权重函数形式表

维度	探针	权重函数形式	系数来源
政治政策	政策文件	$w_j(p) =$	历史回归

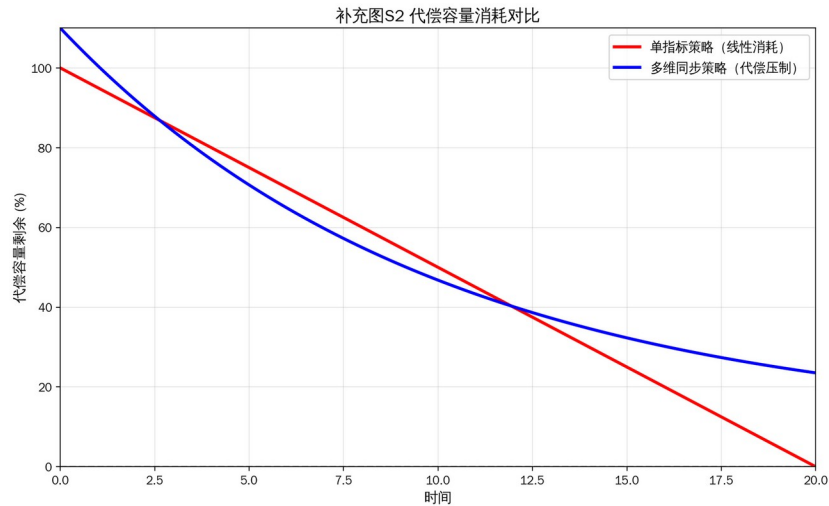
	密度	$w_{j0} + w_{j1} \cdot p + w_{j2} \cdot p^2$	
政治政策	监管表态强度	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p$	历史回归
政治政策	领导人讲话关键词	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p$	历史回归
经济基本面	GDP 增速	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p$	历史回归
经济基本面	CPI/PPI	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p + w_{j2} \cdot p^2$	历史回归
军事地缘	冲突指数	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p + w_{j2} \cdot p^2$	历史回归
军事地缘	制裁指数	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p$	历史回归
资金流动性	利率	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p + w_{j2} \cdot p^2$	历史回归
资金流动性	北向资金	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p$	历史回归
杠杆债务	居民杠杆率	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p$	历史回归
杠杆债务	信用利差	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p + w_{j2} \cdot p^2$	历史回归
情绪	恐慌指数	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p$	历史回归
技术面	均线系统	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p$	历史回归
操盘者行为	主力净流入	$w_j(p) = w_{j0} + w_{j1} \cdot p + w_{j2} \cdot p^2$	历史回归

补充图

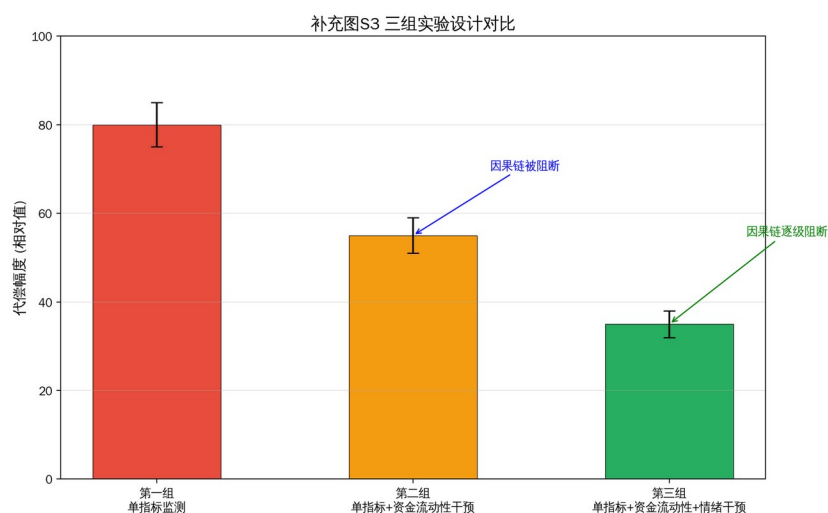
补充图S1 策略A与策略C下压力扩散动力学对比



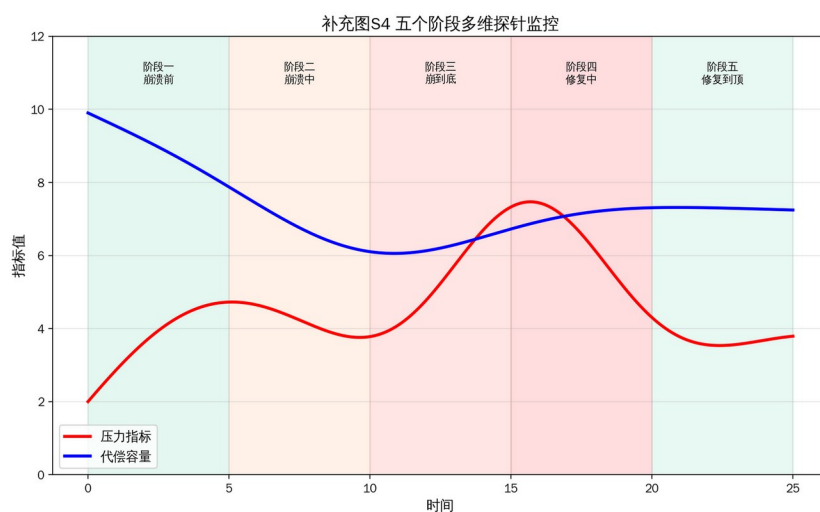
补充图S1. 策略A (单指标) 下, 压力按耦合强度从邻近维向远端维逐步扩散。横轴为时间, 纵轴为压力指标 $p_i(t)$ 。邻近维在 N 时段内代偿上调; 中间维在 $2N$ 时段内代偿; 远端维在 $4N$ 时段内代偿。策略C (同步) 下, 各维压力曲线被显著压低。



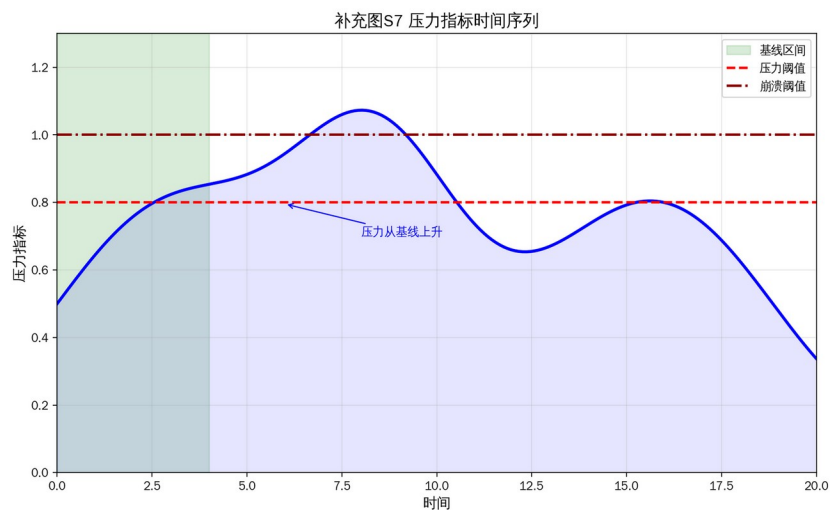
补充图S2. 单指标策略下, 代偿容量线性消耗。多维同步策略下, 代偿容量被显著压制。横轴为时间, 纵轴为代偿容量剩余。



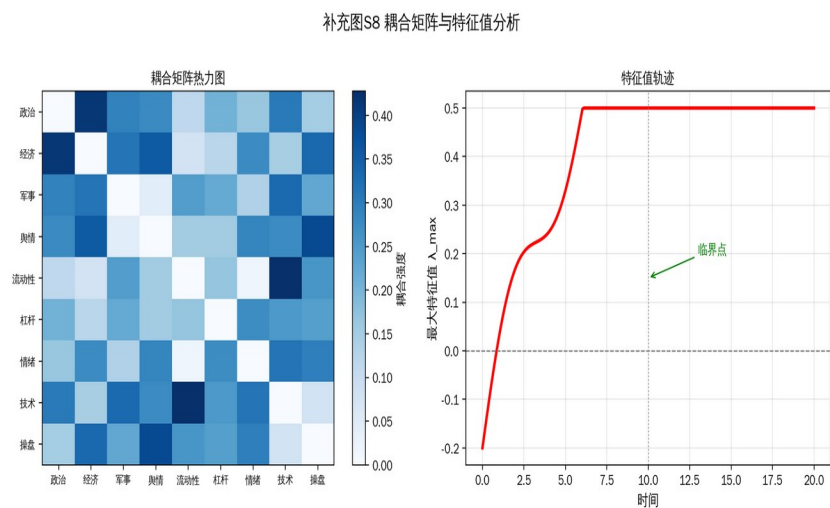
补充图 S3. 三组实验设计。第一组只做单指标监测。第二组做单指标监测+资金流动性维干预。第三组做单指标监测+资金流动性维干预+情绪维干预。如果第二组代偿幅度小于第一组，因果链被阻断。如果第三组进一步减小，因果链被逐级阻断。



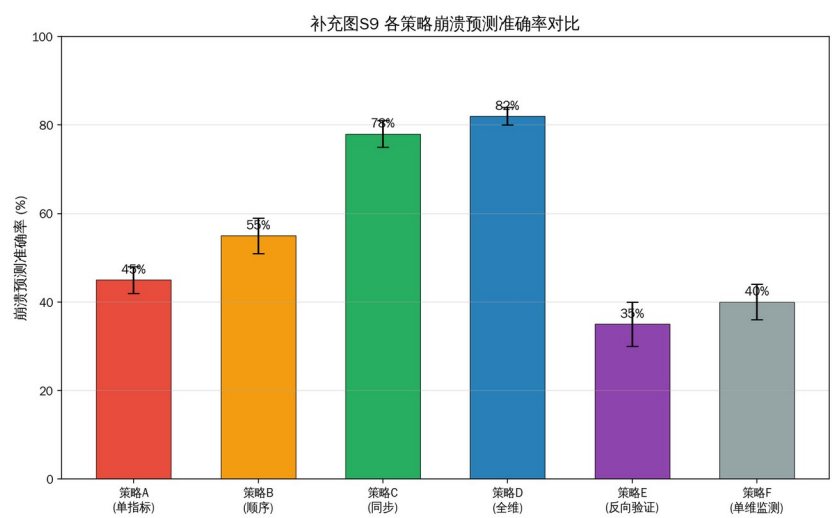
补充图 S4. 五个阶段（崩溃前、崩溃中、崩到底、修复中、修复到顶），每个阶段多维探针监控。横轴为时间，纵轴为压力指标与代偿容量。



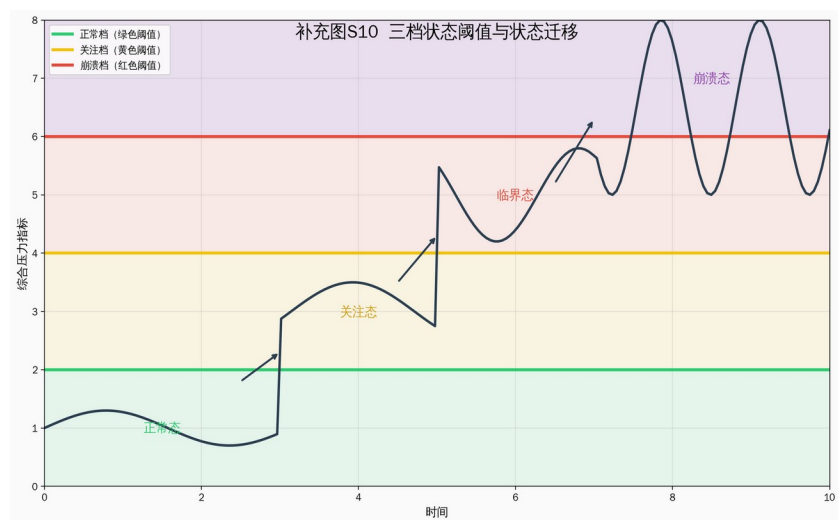
补充图 S7. 横轴为时间，纵轴为压力指标。基线区间用阴影表示，压力曲线从基线上升，标注阈值线。



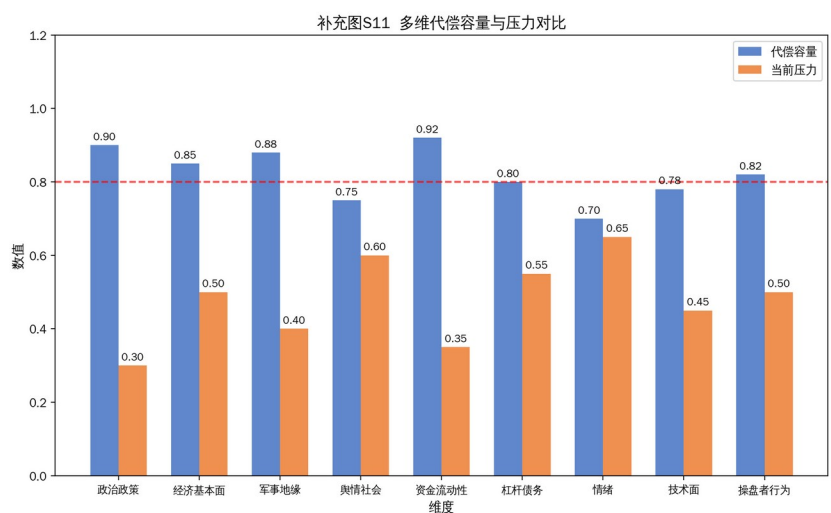
补充图 S8. 左侧热力图，颜色从蓝到红表示耦合强度。右侧特征值轨迹图，最大特征值从负转正。



补充图 S9. 柱状图，横轴为策略 A–F，纵轴为崩溃预测准确率。



补充图 S10. 三条水平阈值线：正常档（绿色）、关注档（黄色）、崩溃档（红色）。用箭头标出状态迁移。



补充图 S11. 多维代偿容量与当前压力对比。蓝色柱状为各维度代偿容量，橙色柱状为当前压力水平。红色虚线为崩溃阈值线。当压力超过代偿容量时，该维度进入崩溃风险区。

补充说明

补充说明 S1. 与现有研究的关系

现有研究发现了代偿现象。波动率异常后市场自我修复、政策干预后市场回稳、杠杆爆仓后流动性注入，这些各自发现了代偿的某个侧面，但没有把它们整合成统一框架。本文的增量在于：解释了为什么代偿是结构性的，以及怎么让代偿来不及发生。

补充说明 S2. 潜在替代解释

替代解释一：代偿是外部干预造成的，而非网络耦合造成的。如果代偿完全由外部干预驱动，那么不干预时不应出现代偿。本文框架预测，即使不干预，代偿仍会按耦合强度逐维扩散。可通过无干预对照实验验证。

替代解释二：代偿是市场参与者学习造成的。如果代偿由学习驱动，那么新参与者进入市场后学习过程应能消除代偿。本文框架预测，代偿在成熟市场同样出现。可通过不同市场阶段对比验证。

替代解释三：代偿是数据偏差造成的。如果代偿由数据偏差驱动，那么更换数据源应能消除代偿。本文框架预测，代偿在多个数据源下均按耦合强度逐维扩散。可通过跨数据源实验验证。

补充说明 S3. 局限与未来方向

本框架当前为理论假说，核心预测尚待实证验证。维度划分基于功能层面，非物理层；具体维度数量可能因市场类型和时期不同而变化。实证设计中的代偿容量测量和耦合矩阵拟合是关键技术难点，需结合高频数据和机器学习方法实现。

未来方向包括：

1. 跨市场验证：在 A 股、美股、期货、外汇、债券等不同市场验证框架普适性。
2. 跨频率验证：在分钟、小时、日线、周线等不同频率下验证框架。
3. 跨时期验证：在牛市、熊市、震荡市等不同时期验证框架。
4. 理论形式化：将耦合矩阵、压力时间窗口、过载条件形式化为数学模型。
5. 跨领域迁移：在复杂疾病、AI 对齐、量子纠错等领域设计可验证实验。

作者贡献

朱文豪：提出多层耦合网络过载框架的金融迁移，设计理论预测和实证方案，撰写论文。

利益冲突声明

作者声明无利益冲突。

数据可用性

本文为理论框架，实证数据将在后续研究中公开。

代码可用性

本文为理论框架，实证代码将在后续研究中公开。

通讯作者：朱文豪，邮箱：303651977@qq.com

补充信息结束。