

# 气候风险、生产网络与中国行业尾部风险

李政, 张冰, 武坤

(天津财经大学 金融学院, 天津 300222)

**摘要:** 研究气候风险对经济社会的影响是防控风险事件发生与蔓延的重要议题。本文基于生产网络视角, 以2005年1月—2023年12月31个申万一级行业为样本, 采用包含行业间投入产出关联的异质性空间自回归(HSAR)模型, 实证检验气候风险对中国行业尾部风险的直接效应和网络效应。研究结果显示: 转型风险和物理风险均能加剧中国行业尾部风险, 其中, 生产网络是气候风险影响中国行业尾部风险的重要渠道, 由生产网络带来的网络效应占总效应的比重超过40%, 且该结论在经过内生性检验和稳健性检验后仍然成立; 在转型风险和物理风险影响下, 社会服务和基础化工行业受到的网络效应影响最为显著; 相较于前向关联, 后向关联下中国行业尾部风险受到的网络效应更强; 在两类风险中, 转型风险对中国行业尾部风险的影响占主导地位。本文为中国有效防范气候风险、精准把握生产网络的风险传导特征提供了实证支持。

**关键词:** 气候风险; 生产网络; 中国行业尾部风险; 网络效应; HSAR模型

**中图分类号:** F203 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-176X(2026)04-0062-13

## 一、问题的提出

近百年来, 在人类活动与自然因素的共同驱动下, 全球气候系统正经历一场以气候变暖为显著特征的深刻变化。为完善适应气候变化的制度建设, 中国于2022年提出了《国家适应气候变化战略2035》, 强调中国一贯坚持减缓和适应并重, 实施积极应对气候变化国家战略。然而, 气候变化过程中仍潜藏着风险。《中国气候变化蓝皮书(2024)》指出, 全球气候变暖趋势仍在持续, 其中, 中国是全球气候变化的敏感区和影响显著区, 升温速度高于同期全球水平。同时, 中国仍处在新发展阶段, 为实现“双碳”目标而密集出台的气候政策也带来了政策调整的不确定性。政策不确定性叠加气候系统引发的物理风险构成中国面临的气候风险。具体地, 气候风险包括转型风险和物理风险, 前者指社会向可持续发展转型过程中产生的政策与市场不确定性, 后者指气候系统本身引发的极端天气与自然灾害等物理风险。这些风险可能引发资产减值、供应链中

**收稿日期:** 2025-06-30

**基金项目:** 国家社会科学基金后期资助项目“经济金融风险在生产网络中的传导机制与防范对策研究”(24FJYB027); 国家社会科学基金重大项目“绿色金融发展实践与政策支持研究”(25ZD128); 国家社会科学基金一般项目“‘双循环’背景下粮食安全与汇率稳定的交互影响、作用机理及应对策略研究”(24BJY084)

**作者简介:** 李政(1988-), 男, 河南固始人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事金融风险、金融市场和国际金融研究。E-mail: lizheng@whu.edu.cn

张冰(2002-), 女, 安徽宿州人, 硕士研究生, 主要从事风险管理研究。E-mail: zbbing2468@163.com

武坤(1992-), 男, 河南安阳人, 博士研究生, 主要从事气候金融、金融风险研究。E-mail: kunwu@stu.tjufe.edu.cn

断等问题, 并危及经济稳定, 因而全面防控转型风险和物理风险对中国经济稳健发展尤为重要。

气候风险的不利影响正从生态系统向经济系统蔓延。中国环境网的数据显示, 2003—2020年, 干旱、洪涝等四种气象灾害给中国各行业带来的直接经济损失约为5万亿元, 且各行业受到的直接影响存在差异。除直接经济损失外, 极端气候事件带来的资产受损或经济活动中断也会造成间接经济损失。2021年, 河南极端暴雨造成的总经济损失达3 793亿元, 其中, 间接经济损失为2 444亿元, 是直接经济损失的1.8倍, 表明气候风险对中国各行业的影响不仅体现为直接效应, 也体现为间接效应。由于各行业通过投入产出关联形成了复杂的生产网络, 某一行业遭受的气候风险冲击可能沿生产网络传导至其他行业, 因而间接效应的形成可能与生产网络传导机制密切相关<sup>[1]</sup>。此外, 在气候风险影响下, 中国各行业常处于极端状态, 为更精确地反映极端气候事件下的行业表现, 本文采用收益率尾部刻画的行业尾部风险进行分析。综上所述, 气候风险会对中国各行业造成不同程度的经济损失, 从而加剧行业尾部风险。在这一过程中, 气候风险如何影响中国行业尾部风险? 生产网络在气候风险影响中国行业尾部风险的过程中发挥什么作用? 转型风险和物理风险存在何种异质性效果? 对于这些问题的回答能够为中国更好地应对气候风险带来的不利影响提供重要依据。

## 二、文献综述

为深入剖析气候风险的复杂影响, 已有研究通常将其解构为转型风险和物理风险两个维度。当前, 关于气候风险经济后果的研究已十分丰富。第一支文献研究气候风险对宏观经济的影响, 其或聚焦于特定行业, 或关注宏观总量。在行业层面, 学者多从物理风险出发, 对物理风险与农业产出的关系进行了广泛分析<sup>[2-4]</sup>, 也考察了气候变化对线下服务业消费的影响<sup>[5]</sup>。在宏观总量上, 就转型风险而言, 以碳税为代表的气候政策所带来的政策不确定性, 会对经济稳定造成威胁<sup>[6]</sup>。就物理风险而言, 极端气候对经济增长有不利影响<sup>[7-10]</sup>。第二支文献研究气候风险对金融机构和金融市场的影响。就转型风险而言, 在长期, 此类风险会使中国金融机构的脆弱性大幅提升, 从而加剧系统性金融风险<sup>[11]</sup>。就物理风险而言, 极端气候会显著提高商业银行的不良贷款率<sup>[12]</sup>, 并促使银行加强向下的盈余管理, 以风险为名超额计提贷款损失准备<sup>[13]</sup>。除此之外, 物理风险还会冲击股票市场, 导致股票价格波动<sup>[14]</sup>。值得注意的是, 两类风险的作用效果均会随地域、行业、企业等发生变化<sup>[11]</sup>。第三支文献研究气候风险对企业的影响。就转型风险而言, 此类风险会导致企业加大非生产性投入和隐性学习成本, 以应对环境规制, 这增加了企业的经营成本、融资成本和资产减值损失<sup>[15-16]</sup>, 使企业营业收入增长率下降、经营风险和违约率上升<sup>[16]</sup>。转型风险还可能使高排放企业未来盈利能力降低, 从而导致其企业价值降低<sup>[17]</sup>。就物理风险而言, 极端气候事件会减少企业的营业收入, 在短期内使企业经营成本及各类费用增加<sup>[18]</sup>, 也可能使银行减少对易受灾地区的信贷供给, 进一步导致企业财务杠杆下降, 对其资金结构产生影响<sup>[19]</sup>。此外, 气候风险将会加剧企业的投融资期限错配<sup>[20]</sup>, 并影响企业集团内部现金分布, 企业集团自身及其上游企业面临的气候风险上升会提高子公司现金持有比率<sup>[21]</sup>, 母子公司所在地遭受极端气候的差异也将导致企业集团内部资本市场的现金转移<sup>[22]</sup>。

纵观已有研究可以发现, 其一, 关于气候风险经济后果的文献涉及宏观经济、金融机构、金融市场、企业多个层面, 但仅有少数文献从行业层面展开, 且这些文献局限于单一行业, 并未从整体上研究气候风险对行业的影响。其二, 已有研究多从均值层面展开分析, 缺乏对尾部状态的关注, 难以准确把握气候风险影响下真实的行业风险水平。其三, 已有研究多聚焦于单一类型气候风险(转型风险或物理风险), 综合考察转型风险和物理风险的文献较少。其四, 鲜有文献对气候风险的直接效应和由生产网络形成的网络效应展开研究, 且鲜有文献探究生产网络在气候风险传播中的作用。

与已有研究相比，本文的边际贡献包括以下三点。其一，本文从行业层面补充了气候风险经济后果的相关研究，兼顾了对尾部风险的关注，实证检验气候风险对中国行业尾部风险的影响，并探讨其对不同行业影响的异质性，为精准把握气候风险对各行业的影响提供了依据。其二，本文从转型风险和物理风险两个维度全面评估气候风险，这有助于厘清两类风险对中国行业尾部风险影响的差异性，为决策部门制定针对性措施提供参考。其三，本文基于生产网络视角，考察气候风险对中国行业尾部风险的直接效应和网络效应，并结合行业前向关联和后向关联，识别气候风险沿产业链传导的主要方向。这既能够深化对气候风险跨行业传导机制的理解，又能够为风险治理提供理论支撑，进而为提升气候风险应对能力、维护经济平稳运行提供参考。

### 三、理论分析与研究假说

从已有研究可知，气候风险对金融机构、企业等经济主体具有广泛影响。而这些主体嵌入各行业并通过生产网络形成复杂的经济联动。因此，气候风险不仅直接作用于单个企业或行业，加剧中国行业尾部风险，还可能通过行业间的技术经济联系产生网络效应，进一步放大冲击效果。

#### （一）气候风险对中国行业尾部风险的影响

首先，转型风险会加剧中国行业尾部风险。在“双碳”目标背景下，绿色政策对高碳行业形成直接约束。例如，高耗能、高排放企业可能因环境监管趋严而被限制生产规模或面临较高罚款，从而加大其政策合规压力。而同一行业内企业通常面临相似的政策约束，因此，此类风险冲击更容易在行业层面累积并演化为尾部风险，进而导致股票价格下跌、债券违约风险上升等连锁反应。同时，转型风险倒逼企业加快绿色转型步伐，企业往往需要通过技术创新提升绿色转型能力和市场竞争力，以降低被市场淘汰的风险。这意味着相关企业的生产经营成本将显著上升、盈利空间压缩<sup>[16]</sup>。而部分中小企业可能因技术升级滞后被市场淘汰，行业内部竞争格局剧变，企业个体风险向行业整体扩散，加剧行业尾部风险。

其次，物理风险会加剧中国行业尾部风险。物理风险将直接破坏各行业的实物资产，增加维护成本。当抵押品是实物资产时，抵押品价值遭受损害也会引发贷款质量恶化，提高企业违约概率，使行业尾部风险上升。从供给端看，物理风险会降低企业的全要素生产率，削弱其投资和创新的能力，从而间接影响其产出<sup>[23]</sup>。企业为应对极端气候冲击可能采取预防性储蓄策略<sup>[24]</sup>，改变资本配置结构，进一步限制企业的生产活动。而上游企业产出缩减将影响下游企业的供给，使下游企业被迫减产。从需求端看，物理风险可能会直接冲击实体网络，造成交通枢纽瘫痪、能源管道损毁，阻碍商品流通，导致供应链受损，消费终端配送网络瘫痪将抑制需求。同时，物理风险可能会改变下游企业决策。下游企业为增强气候韧性，会主动调整库存管理策略，这种适应性行为反而会加剧上游企业产能过剩的压力。供给端的产出缩减与需求端的网络受阻相互叠加，共同形成供应链层面的冲击，使物理风险在行业间蔓延，加剧行业尾部风险。

最后，转型风险和物理风险会通过金融系统传导加剧中国行业尾部风险。在信贷视角下，两类风险会导致行业内企业面临资产减值损失增加、营业收入下滑，加剧其违约风险，使银行风险和不良贷款率上升<sup>[25]</sup>。而银行可能因控制风险需要，缩减对受冲击行业的信贷投放，加剧行业内企业的融资约束<sup>[26]</sup>，形成行业层面的风险共振。在资本市场视角下，两类风险会激发资本市场避险情绪。一方面，投资者对受冲击行业持悲观预期，要求获得更高的风险溢价，并抛售相关证券，导致受冲击行业债券和股票价格下降，企业股权融资成本上升、估值缩水<sup>[27]</sup>，从而加剧行业尾部风险。另一方面，极端气候事件可能引发市场恐慌，导致相关行业股票价格在短时间内大幅下降，从而加剧股票价格崩盘风险。例如，煤炭、钢铁等行业在碳政策收紧期常出现债券与股票价格异常波动，形成行业尾部风险隐患。基于上述分析，本文提出如下假说：

**假说1：**转型风险和物理风险均能加剧中国行业尾部风险。

## (二) 气候风险对中国行业尾部风险的作用机制

转型风险和物理风险会通过生产网络放大其对中国行业尾部风险的影响。在现代产业链中, 各行业通过投入产出关联形成复杂的生产网络, 而行业间的技术经济联系也构成了风险传导的通道。当某一行业遭受气候风险冲击时, 其影响可以通过生产网络传播并放大<sup>[28]</sup>。同时, 相较于气候风险对行业产出的直接影响, 其通过生产网络引发的网络效应更大<sup>[29]</sup>。因此, 气候风险不仅会直接冲击特定行业, 加剧其尾部风险, 还可能通过生产网络产生更显著的网络效应, 从而进一步加剧行业尾部风险。具体地, 上游行业遭受气候风险冲击可能会引发原材料价格暴涨或供应短缺, 推高下游行业的生产成本, 甚至导致生产停滞, 加剧下游行业的盈利波动与股票价格暴跌风险; 下游行业遭受气候风险冲击可能出现需求萎缩, 这一负面影响会反向传导至上游行业, 引发上游行业产能过剩、库存积压和价格下跌。基于上述分析, 本文提出如下假说:

**假说2:** 转型风险和物理风险通过生产网络加剧中国行业尾部风险。

## 四、研究设计

### (一) 变量定义

#### 1. 被解释变量

本文的被解释变量是中国行业尾部风险 ( $TR$ )。行业尾部风险是指某一行业出现极端损失的可能性, 通常由极端事件或不确定性引发<sup>[30]</sup>, 其显著特征是发生概率低, 但潜在破坏性强, 可能导致产品价格剧烈波动、产业链断裂或市场信心崩溃等严重后果。<sup>①</sup>本文采用非对称斜率CAViaR模型<sup>[31]</sup>估计每个行业的风险价值 (VaR), 且主要借助1%分位点的尾部风险进行分析, 并利用5%分位点的尾部风险进行稳健性检验。

#### 2. 解释变量

本文的解释变量是气候风险 ( $CR$ ), 包括转型风险 ( $Transition$ ) 和物理风险 ( $Physical$ )。本文采用Bua等<sup>[32]</sup>构建的全球转型风险指数和物理风险指数作为气候风险的代理指标, 该指数基于2005年1月以来的路透社新闻文本, 并借助文本分析方法构建得到。

### (二) 模型构建

为考察气候风险对中国行业尾部风险的影响, 本文参考Di Giovanni和Hale<sup>[33]</sup>、周颖刚和肖潇<sup>[34]</sup>的研究, 构建如下线性面板模型:

$$y_{it} = \alpha + \beta x_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,  $i$  和  $t$  分别表示行业和时期,  $y_{it}$  表示  $t$  时期  $i$  行业的尾部风险,  $x_t$  表示气候风险,  $\varepsilon_{it}$  表示随机误差项。

为深入探究生产网络在气候风险影响中国行业尾部风险中的作用, 本文参考Di Giovanni和Hale<sup>[33]</sup>的研究, 构建如下异质性空间自回归 (Heterogeneous Spatial Auto-Regressive, HSAR) 模型:

$$y_{it} = \alpha_i + \rho_i \left( \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} \right) + \beta_i x_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,  $w_{ij}$  表示空间权重矩阵的元素, 代表  $i$  行业与  $j$  行业的投入产出关联,  $\sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt}$  代表其他

<sup>①</sup> 近年来, 气候风险通过生产网络加剧中国行业尾部风险的现象时有发生。例如, 2022年, 四川极端高温导致工业用电受限, 光伏上游产区硅料产能萎缩; 硅料价格上涨迫使隆基绿能等中游企业毛利率承压, 负面影响蔓延致行业尾部风险激增。2023年7月, 京津冀特大暴雨致多家上游汽车零部件企业停产, 供应链中断; 下游主机厂被迫将日均产量腰斩, 单车边际成本激增; 资本市场震荡, 多家汽车制造企业股票价格暴跌, 并外溢至上游钢铁厂, 加剧行业尾部风险。

行业尾部风险通过生产网络对*i*行业的影响。与空间自回归（Spatial Auto-Regressive, SAR）模型不同，在HSAR模型中，允许空间自回归系数 $\rho$ 及式（1）中的 $\alpha$ 和 $\beta$ 随行业变化。其他变量含义同式（1）。

为识别因行业间投入产出关联形成的网络效应，本文采用Acemoglu等<sup>[28]</sup>、LeSage和Pace<sup>[35]</sup>提出的AAK分解和LP分解方法，将气候风险对中国行业尾部风险的影响划分为总效应、直接效应和网络效应。

本文基于2007年、2012年、2017年、2018年和2020年的全国投入产出表，计算行业间的直接消耗系数，取5个年份计算结果的均值衡量行业间投入产出关系，利用行业间投入产出关联构建HSAR模型的空间权重矩阵。行业间投入产出关联可分为前向关联与后向关联，<sup>①</sup>本文主要采用*i*行业的前向关联矩阵进行实证研究，并使用后向关联矩阵进行对比分析。

（三）数据来源

参考李政等<sup>[36]</sup>、李政和石晴<sup>[37]</sup>的研究，本文以31个申万一级行业<sup>②</sup>为研究对象，相关数据来源于万得（Wind）数据库。在获取了31个行业指数的日度收盘价数据后，本文采取如下处理方式：计算每个行业的对数收益率，采用非对称斜率CAViaR模型测算行业的VaR，通过月内求均值的方式将日度行业尾部风险转化为月度数据，最终获得2005年1月—2023年12月共计228个月7068个观测值。表1是本文主要变量的描述性统计结果。

表1 主要变量的描述性统计结果

变量	符号	观测值	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
中国行业尾部风险	<i>TR</i>	7 068	5.050	1.781	1.489	4.654	15.554
转型风险	<i>Transition</i>	7 068	8.409	1.477	4.352	8.186	13.257
物理风险	<i>Physical</i>	7 068	7.756	1.200	3.468	7.750	11.124

五、实证结果与分析

（一）基准回归结果与分析

为检验气候风险对中国行业尾部风险的影响，本文先分别将转型风险和物理风险对中国行业尾部风险进行线性回归。由于行业间存在异质性，气候风险对不同行业尾部风险的影响可能存在差异，本文依次采用固定效应（Fixed Effects, FE）、随机系数（Random Coefficients, RC）和组均值（Mean Group, MG）三种方法进行实证分析。表2是气候风险对中国行业尾部风险影响的线性回归结果。其中，表2列（1）至列（3）为转型风险对中国行业尾部风险的线性回归结果，表2列（4）至列（6）是物理风险对中国行业尾部风险的线性回归结果。

表2的回归结果显示，第一，转型风险会加剧中国行业尾部风险。在每个估计结果下，转型风险的回归系数均为正，且在1%水平上显著，这表明中国行业尾部风险与转型风险同向变动。究其原因，一方面，随着中国对绿色低碳发展愈发重视，更多企业被纳入节能降碳的行列，绿色政策规范了能源排放、企业融资等行为，这对不符合绿色标准的行业设了限制，使其生产与发展受到影响，造成行业尾部风险上升。另一方面，转型风险要求企业通过技术转型、科技创新等方式不断顺应绿色发展需求，否则将导致转型失败或被市场淘汰的后果，这进一步加剧了整个行业的经营风险，从而加剧中国行业尾部风险。

第二，物理风险同样会加剧中国行业尾部风险。在每个估计结果下，物理风险的回归系数均

① 若*i*行业的产出作为*j*行业的生产投入，则*i*行业为*j*行业上游，即对于*i*行业而言，其与*j*行业的关系为前向关联；若*i*行业需要消耗*j*行业的产出，则*i*行业为*j*行业下游，即对于*i*行业而言，其与*j*行业的关系为后向关联。  
 ② 申万一级行业是由上海申银万国证券研究所制定的行业分类标准。

为正, 且在1%水平上显著, 这表明中国行业尾部风险与物理风险同向变动。究其原因, 以极端天气和自然灾害为主要表现形式的物理风险, 不仅会直接损害各行业的厂房、设备、存货等实物资产, 造成巨额经济损失, 增加灾后重建与设施维修成本, 还会通过破坏交通、电力、通信等关键基础设施, 扰乱正常生产经营活动, 导致原材料供应受阻、产成品交付延迟和业务中断, 进而降低行业产出水平和资本回报率, 加剧中国行业尾部风险。因此, 假说1得到验证。

表2 线性回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	固定效应	随机系数	组均值	固定效应	随机系数	组均值
<i>Transition</i>	0.267*** (0.012)	0.263*** (0.021)	0.267*** (0.016)			
<i>Physical</i>				0.259*** (0.017)	0.253*** (0.025)	0.259*** (0.019)
常数项	2.807*** (0.101)	2.838*** (0.198)	2.807*** (0.162)	3.039*** (0.132)	3.085*** (0.226)	3.039*** (0.184)
观测值	7 068	7 068	7 068	7 068	7 068	7 068
R <sup>2</sup>	0.111			0.093		
Wald $\chi^2$		162.733	289.726		99.255	182.529

注: \*\*\*表示在1%水平上显著, 括号内为标准误, 下同。

表3是HSAR模型回归及效应分解结果。由于线性回归结果是直接效应与网络效应的综合表现, 无法区分出生产网络的作用效果, 本文进一步构建HSAR模型, 并利用AAK分解和LP分解, 详细解析转型风险和物理风险具体如何作用于中国行业尾部风险。如表3所示,  $\beta$ 和 $\rho$ 是式(2)中31个行业估计系数的平均值, *Direct*是直接效应, *Network*是网络效应, *N/T*是网络效应占总效应的比重。

表3 HSAR模型回归及效应分解结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	估计系数		AAK分解			LP分解		
	$\beta$	$\rho$	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>
<i>Transition</i>	0.162*** (0.024)	0.974*** (0.023)	0.162*** (0.024)	0.112*** (0.017)	0.408*** (0.016)	0.163*** (0.024)	0.111*** (0.017)	0.405*** (0.016)
<i>Physical</i>	0.158*** (0.033)	0.975*** (0.022)	0.158*** (0.033)	0.109*** (0.025)	0.408*** (0.020)	0.159*** (0.033)	0.108*** (0.025)	0.405*** (0.021)

第一, 转型风险和物理风险不仅会直接加剧中国行业尾部风险, 还会通过生产网络引发风险溢出, 间接加剧中国行业尾部风险。表3列(3)和列(6)的分解结果显示, 转型风险和物理风险是直接效应均为正, 且均在1%水平上显著; 表3列(4)和列(7)的分解结果显示, 转型风险和物理风险的网络效应均为正, 且均在1%水平上显著, 这表明气候风险对中国行业尾部风险的影响既来源于转型风险和物理风险直接效应, 也来源于转型风险和物理风险通过生产网络形成的网络效应, 假说2得到验证。

第二, 生产网络在气候风险影响中国行业尾部风险的过程中发挥重要作用。表3列(5)和列(8)的分解结果显示, 转型风险和物理风险的网络效应占总效应的比重均超过40%, 且均在1%水平上显著; 表3列(2)的回归结果显示, 转型风险和物理风险的 $\rho$ 均高于0.900, 且均在1%水平上显著。这反映出在气候风险对中国行业尾部风险的总影响中, 通过生产网络形成的网络效应占据重要地位。在现代产业链中, 各行业互相依存, 某行业既需要上游原材料以投入生产, 又需要将产品销往下游, 由此形成的生产网络是气候风险作用于行业尾部风险的重要渠道, 当气候风险对某一行业造成冲击时, 其影响会沿着生产网络蔓延至其他关联行业。

表3分析了气候风险对中国31个行业尾部风险的综合效应,但气候风险对不同行业的作用效果可能存在差异。为深度剖析气候风险对不同行业尾部风险的作用效果,本文将基于AAK分解<sup>①</sup>分别刻画气候风险对31个行业尾部风险的影响:第一,经由生产网络传导,转型风险和物理风险会加剧各行业尾部风险。在直接效应影响下,各行业尾部风险变动方向存在差异,例如,商贸零售、基础化工、电力设备和社会服务行业的尾部风险在气候风险攀升时出现下降。但在网络效应影响下,这些行业的尾部风险均呈上升态势,且网络效应占总效应的比重均超过100%,这表明上述行业的网络效应大于直接效应,总体上行业尾部风险仍呈上升态势。究其原因,商贸零售等四个行业具有民生刚需属性,气候风险上升可能通过短期需求激增对其形成积极的积极效应,一定程度上降低其尾部风险。但这些行业的生产经营往往依赖多种类型的上游供给和下游需求,且与其他行业的贸易频繁。当上下游行业的尾部风险通过生产网络传导至上述行业时,风险累积造成网络效应主导其尾部风险的变动方向,最终导致行业尾部风险在总体上呈上升态势。

第二,社会服务、基础化工受网络效应影响较大。在转型风险和物理风险影响下,社会服务、基础化工受到的网络效应均高于0.350,在31个行业中位列前两名。究其原因,一方面,社会服务行业涵盖旅游、酒店餐饮等领域,直接服务于消费者的特质使其对需求反应灵敏。同时,社会服务行业大多位于产业链下游,需要依靠上游行业的稳定供给来维持运营,因而受到的网络效应较大。另一方面,基础化工行业高度依赖上游能源行业的稳定原材料和能源供应,若上游行业出现价格上升或供应中断,将严重影响基础化工行业的成本和产出,加剧行业尾部风险。

第三,相较于实体行业,金融行业受到气候风险影响的总效应更强。<sup>②</sup>经测算,转型风险对金融行业的总效应为0.303,高于其对实体行业的总效应0.272;物理风险对金融行业的总效应为0.434,也高于其对实体行业的总效应0.256,这均显示出气候风险对金融行业尾部风险的影响更大。究其原因,相较于实体行业,金融行业独特的资产配置结构和业务模式使其对气候风险更为敏感。一方面,转型风险会使金融机构投资的高碳企业受到负面冲击,这不仅导致高碳企业股票价格降低、金融市场波动,还会造成金融机构资产缩水,从而加剧金融行业尾部风险。另一方面,物理风险不仅会损害金融机构持有的实物资产价值,使其经营风险攀升,还可能使金融机构面临的资金需求骤增、资金筹集难度增加,从而引发短期流动性危机,导致金融行业尾部风险上升。此外,两类风险会沿着金融机构间的业务关联与资产负债链条逐级传导,使金融机构脆弱性上升,加剧系统性金融风险<sup>[11]</sup>。因此,气候风险对金融行业尾部风险的影响更大。

## (二) 内生性检验

气候风险具有连续性和周期性特征,一方面,转型风险会使气候政策、技术革新和资本流动存在时间上的持续性,造成转型风险累积。另一方面,持续干旱、连续暴雨等极端气候事件是由一系列类似的气候变化累积而成的,这可能使当前的物理风险受到过去状态的影响,并随时间累积;物理风险还具有明显的周期性,特定地区在特定季节容易发生相似的气象灾害。这种时间上的连续性和周期性很可能导致气候风险出现自相关,干扰模型估计结果。因此,为消除可能存在的气候风险自相关带来的内生性问题,本文引入滞后一期的转型风险和物理风险重新进行回归分析。表4是解释变量滞后一期的HSAR模型回归及效应分解结果。表4的回归结果显示,两类风险对中国行业尾部风险的直接效应和网络效应均为正,网络效应占总效应的比重仍超过40%, $\rho$ 均在0.900以上,且均在1%水平上显著,这表明引入滞后一期的气候风险指标缓解潜在的内生性问题后,基准回归结果稳健。

① 气候风险对31个行业尾部风险的AAK分解结果未在正文中列出,留存备索。

② 非银金融和银行为金融行业,其余29个行业为实体行业,取每类行业直接效应和网络效应之和的算术平均衡量其总效应。

表4 解释变量滞后一期的HSAR模型回归及效应分解结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	估计系数		AAK分解			LP分解		
	$\beta$	$\rho$	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>
<i>Transition</i>	0.149*** (0.023)	0.974*** (0.024)	0.149*** (0.023)	0.102*** (0.017)	0.407*** (0.018)	0.150*** (0.023)	0.102*** (0.017)	0.403*** (0.018)
<i>Physical</i>	0.151*** (0.032)	0.975*** (0.023)	0.151*** (0.032)	0.104*** (0.024)	0.406*** (0.021)	0.152*** (0.032)	0.103*** (0.024)	0.403*** (0.022)

### (三) 稳健性检验

#### 1. 替换被解释变量

鉴于表3使用了1%分位点衡量中国行业尾部风险, 本文将分位点调整为5%重新进行HSAR模型回归分析, 以检验上文结论的稳健性。表5是替换被解释变量的HSAR模型回归及效应分解结果。表5的回归结果显示, 转型风险和物理风险的直接效应和网络效应均为正, 网络效应占总效应的比重均超过40%,  $\rho$ 均在0.900以上, 且均在1%水平上显著, 表明调整中国行业尾部风险分位点后, 转型风险和物理风险仍会通过直接效应和网络效应加剧中国行业尾部风险, 并且网络效应依旧占据重要地位, 基准回归结果稳健。

表5 替换被解释变量的HSAR模型回归及效应分解结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	估计系数		AAK分解			LP分解		
	$\beta$	$\rho$	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>
<i>Transition</i>	0.102*** (0.016)	0.980*** (0.024)	0.102*** (0.016)	0.070*** (0.012)	0.406*** (0.017)	0.103*** (0.016)	0.069*** (0.012)	0.402*** (0.017)
<i>Physical</i>	0.097*** (0.022)	0.980*** (0.023)	0.097*** (0.022)	0.066*** (0.017)	0.405*** (0.025)	0.098*** (0.022)	0.066*** (0.017)	0.402*** (0.025)

#### 2. 剔除突发公共卫生事件的影响

突发公共卫生事件会冲击各行业正常的运行秩序, 为深入探讨突发公共卫生事件是否会干扰气候风险对中国行业尾部风险的影响, 本文采用剔除突发公共卫生事件期间(2020年1月至2022年12月)的样本数据进行稳健性检验。表6是剔除突发公共卫生事件的HSAR模型回归及效应分解结果。表6的回归结果显示, 在转型风险和物理风险影响下, 中国行业尾部风险受到的直接效应和网络效应仍均为正; 网络效应占总效应的比重依旧超过40%,  $\rho$ 均在0.900以上, 且均在1%水平上显著, 基准回归结果稳健。

表6 剔除突发公共卫生事件的HSAR模型回归及效应分解结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	估计系数		AAK分解			LP分解		
	$\beta$	$\rho$	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>
<i>Transition</i>	0.181*** (0.026)	0.975*** (0.023)	0.181*** (0.026)	0.126*** (0.019)	0.410*** (0.016)	0.183*** (0.026)	0.125*** (0.019)	0.406*** (0.016)
<i>Physical</i>	0.188*** (0.040)	0.975*** (0.023)	0.188*** (0.040)	0.130*** (0.030)	0.410*** (0.020)	0.189*** (0.040)	0.129*** (0.030)	0.406*** (0.020)

#### 3. 采用完全消耗系数进行分析

本文进一步采用完全消耗系数替换空间权重矩阵中的直接消耗系数, 重新进行HSAR模型估计与效应分解。表7是基于完全消耗系数的HSAR模型回归及效应分解结果。表7的回归结果显示, 基于完全消耗系数进行HSAR模型估计后, 转型风险和物理风险的回归系数仍均为正, 且均

在1%水平上显著,即转型风险和物理风险依旧能加剧中国行业尾部风险。此外,两类风险的网络效应占总效应的比重均超过80%, $\rho$ 均高于0.700,且均在1%水平上显著,这表明两类风险依然能通过生产网络显著影响中国行业尾部风险,基准回归结果稳健。

表7 基于完全消耗系数的HSAR模型回归及效应分解结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	估计系数		AAK分解			LP分解		
	$\beta$	$\rho$	Direct	Network	N/T	Direct	Network	N/T
Transition	0.084*** (0.012)	0.703*** (0.040)	0.084*** (0.012)	0.365*** (0.086)	0.813*** (0.058)	0.086*** (0.012)	0.363*** (0.086)	0.808*** (0.058)
Physical	0.083*** (0.011)	0.704*** (0.040)	0.083*** (0.011)	0.356*** (0.108)	0.811*** (0.057)	0.085*** (0.012)	0.354*** (0.108)	0.807*** (0.058)

对比表3可知,相较于直接消耗系数,基于完全消耗系数的HSAR模型回归结果中,转型风险和物理风险的网络效应占总效应的比重提高约40个百分点。即完全消耗系数下,生产网络在气候风险影响中国行业尾部风险的过程中发挥了更为重要的作用。究其原因,完全消耗系数不仅包括行业间的直接消耗,还涵盖了通过生产网络形成的间接消耗,因而其网络效应更强。因此,使用完全消耗系数构建空间权重矩阵,不仅印证了本文结论的稳健性,还进一步揭示了生产网络在气候风险影响中国行业尾部风险中的关键作用。

(四) 进一步分析

1.采用后向关联矩阵进行分析

行业间的生产网络存在双向关联路径,即前向关联和后向关联。前文均基于前向关联矩阵展开研究,结果显示,气候风险会通过生产网络在行业间传播,即气候风险会依托前向关联影响中国行业尾部风险。基于此,本文将验证后向关联能否在气候风险影响中国行业尾部风险的过程中发挥作用,并分析前向关联与后向关联的差异性。表8是基于后向关联矩阵的HSAR模型回归及效应分解结果。

表8 基于后向关联矩阵的HSAR模型回归及效应分解结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	估计系数		AAK分解			LP分解		
	$\beta$	$\rho$	Direct	Network	N/T	Direct	Network	N/T
Transition	0.143*** (0.019)	0.995*** (0.008)	0.143*** (0.019)	0.124*** (0.016)	0.463*** (0.008)	0.145*** (0.019)	0.122*** (0.016)	0.457*** (0.008)
Physical	0.143*** (0.027)	0.995*** (0.008)	0.143*** (0.027)	0.117*** (0.022)	0.451*** (0.011)	0.144*** (0.027)	0.116*** (0.022)	0.446*** (0.011)

气候风险同样可以依托后向关联在行业间进行传导。表8的回归结果显示,两类风险对中国行业尾部风险的直接效应和网络效应均为正,网络效应占总效应的比重均在44%以上, $\rho$ 均高达0.900,且均在1%水平上显著。这表明后向关联确实是气候风险影响中国行业尾部风险的有效渠道,也证实了将分析视角由前向关联转为后向关联后,气候风险仍能显著加剧中国行业尾部风险,本文的核心结论具有可靠性。

相较于前向关联,后向关联下中国行业尾部风险受到的网络效应更强。表8列(5)和列(8)的分解结果显示,转型风险和物理风险的网络效应占总效应的比重均超过44%,而表3的前向关联回归结果显示,两类风险的网络效应占比均在40%—41%之间。这表明在基于后向关联的估计结果中,转型风险和物理风险直接效应减弱、网络效应增强。即在后向关联下,两类风险对中国行业尾部风险直接加剧作用相对有限,但气候风险会通过生产网络从上游向下游产生更强烈的风险溢出,从而加剧了下游行业尾部风险。

## 2. 分析转型风险和物理风险的联合效应

表2分别对转型风险和物理风险进行了回归分析, 明确了二者对中国行业尾部风险的独立影响。为更全面地识别两类风险对中国行业尾部风险的影响, 本文构建了多变量线性回归模型, 探究两类风险对中国行业尾部风险的联合效应。表9是多变量的线性回归结果。

表9 多变量的线性回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)
	固定效应	随机系数	组均值
<i>Transition</i>	0.222*** (0.014)	0.221*** (0.023)	0.222*** (0.016)
<i>Physical</i>	0.088*** (0.021)	0.082*** (0.029)	0.088*** (0.019)
常数项	2.504*** (0.136)	2.549*** (0.239)	2.504*** (0.196)
观测值	7 068	7 068	7 068
R <sup>2</sup>	0.113		
Wald $\chi^2$		164.233	289.988

在多变量线性回归结果中, 转型风险和物理风险仍会显著加剧中国行业尾部风险。表9列(1)至列(3)的回归结果显示, 转型风险的回归系数分别为0.222、0.221和0.222, 物理风险的回归系数分别为0.088、0.082和0.088, 且均在1%水平上显著, 表明中国行业尾部风险仍会随转型风险和物理风险同向变动, 这与单变量回归模型结果保持一致。

考虑转型风险和物理风险的联合效应时, 转型风险对中国行业尾部风险的影响占主导地位。结合表2的回归结果可知, 与单变量回归模型不同, 多变量回归模型中物理风险的回归系数明显变小, 而转型风险的回归系数仍维持在0.220以上, 表明考虑两类风险的联合效应时, 转型风险对中国行业尾部风险的影响更强。究其原因, 转型风险本质上源于更深层次、更广范围的经济体系调整, 其对经济绿色发展提出了更高要求。然而, 中国“富煤、缺油、少气”的能源结构特征决定了现阶段经济发展仍呈现较强的高碳依赖特征, 进而使低碳转型面临较大的存量调整压力。从“碳达峰”到“碳中和”的时间窗口仅有30年, 这进一步凸显了中国经济绿色转型的紧迫性与实施难度。相较于转型风险, 物理风险虽然具有突发性和破坏性, 但通常在一定程度上是可预测的, 且其影响范围相对有限, 借助气象预警、应急管理体系和灾后重建机制, 各界能快速响应, 以减轻其负面影响。因此, 转型风险会给中国行业尾部风险带来更强烈的冲击。

进一步地, 本文构建多变量HSAR模型进行回归及效应分解。表10是多变量HSAR模型回归及效应分解结果。表10的回归结果显示, 转型风险的直接效应和网络效应均为正, 网络效应占总效应的比重也均超过40%,  $\rho$ 高于0.900, 且均在1%水平上显著, 而物理风险的估计系数及分解结果并不显著。这再次表明了转型风险会加剧中国行业尾部风险, 生产网络是转型风险作用于中国行业尾部风险的重要渠道, 也凸显出考虑转型风险和物理风险的联合效应时, 转型风险对中国行业尾部风险的影响更显著。

表10 多变量HSAR模型回归及效应分解结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	估计系数		AAK分解			LP分解		
	$\beta$	$\rho$	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>	<i>Direct</i>	<i>Network</i>	<i>N/T</i>
<i>Transition</i>	0.135*** (0.026)	0.974*** (0.023)	0.135*** (0.026)	0.093*** (0.019)	0.408*** (0.020)	0.136*** (0.026)	0.092*** (0.019)	0.405*** (0.020)
<i>Physical</i>	0.054 (0.039)		0.054 (0.039)	0.037 (0.030)	0.408*** (0.063)	0.054 (0.039)	0.037 (0.029)	0.405*** (0.064)

## 六、研究结论与启示

### (一) 研究结论

本文基于生产网络视角,采用了包含行业间投入产出关联的HSAR模型,测度气候风险对中国行业尾部风险的直接效应和网络效应,对比分析转型风险和物理风险的异质性影响,并结合行业前向关联与后向关联,进一步探讨两类风险依托产业链进行传导的主要方向。研究结果显示:转型风险和物理风险均能加剧中国行业尾部风险,其中,生产网络是气候风险影响中国行业尾部风险的重要渠道,由生产网络带来的网络效应占总效应的比重超过40%,且该结论在经过内生性检验和稳健性检验后仍然成立;在转型风险和物理风险影响下,社会服务和基础化工行业受到网络效应的影响较大,金融行业受到的总效应大于实体行业;相较于前向关联,后向关联下中国行业尾部风险受到的网络效应更强,即气候风险主要沿着产业链从上游行业向下游行业传导;在两类风险中,转型风险对中国行业尾部风险的影响占主导地位。

### (二) 启示

第一,构建多维度气候风险评估框架。建立涵盖转型风险和物理风险的量化评估模型,并将其作为识别行业风险的基础工具。基于该模型,绘制行业气候风险热力图,以直观识别高风险行业集群,为分类精准防控提供依据。建立产业关联数据库,动态追踪社会服务网络和基础化工产业的跨行业贸易路径,并开发行业气候风险阈值预警系统,设置供应链中断等关键指标警戒线。

第二,实施分类别、精准化的防控策略。依据不同行业的风险暴露特点和程度制定差异化的应对策略,针对易受转型风险影响的行业(钢铁、建材等),制定负面清单,限期淘汰落后产能,并制定正面技术清单,促进创新技术的落地,有序推动行业绿色低碳转型。针对物理风险敏感行业(农业等),应根据实际情况建设相应的气候适应型基础设施,推广适应气候变化的产品,以提升此类行业防灾减灾能力。

第三,加强产业链韧性建设。一方面,要重点防范上游行业的气候风险,构建数字产业链系统,并模拟不同气候情景,定期开展上下游联合压力测试,提升全产业链气候风险适应能力,确保下游关键行业在上游行业波动时仍能维持战略安全。另一方面,建立跨区域、跨行业的多元化产业链布局,建立区域性的备用供应商与客户网络,并加快产业技术迭代与资本配置优化,提升产品和服务竞争力,确保气候风险加剧时产业链仍稳定,从而保障各行业持续稳定发展。

### 参考文献:

- [1] 李政,张冰,刘琦.城投债信用风险空间溢出效应研究:基于区域生产网络视角[J].现代金融研究,2025,30(6):18-32.
- [2] MENDELSON R, NORDHAUS W D, SHAW D. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis [J]. The American economic review, 1994, 84(4): 753-771.
- [3] SCHLENKER W, ROBERTS M J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change[J]. Proceedings of the national academy of sciences, 2009, 106(37): 15594-15598.
- [4] 丁宇刚,孙祁祥.气候风险对中国农业经济发展的影响——异质性及机制分析[J].金融研究,2022(9): 111-131.
- [5] 金刚,沈坤荣.气候变化与线下服务业消费:以电影行业为例[J].世界经济,2022,45(9):152-178.
- [6] 陈国进,陈凌凌,金昊,等.气候转型风险与宏观经济政策调控[J].经济研究,2023,58(5):60-78.
- [7] BURKE M, HSIANG S M, MIGUEL E. Global non-linear effect of temperature on economic production[J]. Nature, 2015, 7577(527): 235-239.
- [8] 陈海山,陈志龙.气候风险、经济增长与城市内涵式发展——基于暴雨冲击的经验证据[J].统计研究,2024,41(6):121-134.

- [9] KOCORNIK-MINA A, MCDERMOTT T K, MICHAELS G, et al. Flooded cities[J]. *American economic journal: applied economics*, 2020, 12(2):35-66.
- [10] 郝大鹏. 极端天气冲击下的风险传导与“双支柱”调控策略研究[J]. *金融监管研究*, 2025(7):1-21.
- [11] 杨子晖, 李东承, 陈雨恬. 金融市场的“绿天鹅”风险研究——基于物理风险与转型风险的双重视角[J]. *管理世界*, 2024, 40(2):47-67.
- [12] 赵胜民, 彭馨漫, 王超. 气候物理风险如何向金融部门传染——基于银企借贷联系渠道的分析[J]. *金融监管研究*, 2025(5):31-53.
- [13] 申宇, 余楷文, 许闲. 气候风险与银行盈余管理——基于金融监管的视角[J]. *金融研究*, 2023(7):116-133.
- [14] GRIFFIN P, LONT D, LUBBERINK M. Extreme high surface temperature events and equity-related physical climate risk[J]. *Weather and climate extremes*, 2019, 26:100220.
- [15] 盛丹, 张国峰. 两控区环境管制与企业全要素生产率增长[J]. *管理世界*, 2019, 35(2):24-42.
- [16] 陈国进, 王佳琪, 赵向琴. 气候转型风险对企业违约率的影响[J]. *管理科学*, 2023, 36(3):144-159.
- [17] HSU P H, LI K, TSOU C Y. The pollution premium[J]. *Journal of finance*, 2023, 78(3):1343-1392.
- [18] PANKRATZ N, BAUER R, DERWALL J. Climate change, firm performance, and investor surprises [J]. *Management science*, 2023, 69(12):7352-7398.
- [19] GINGLINGER E, MOREAU Q. Climate risk and capital structure [J]. *Management science*, 2023, 69(12):7492-7516.
- [20] 李香花, 谢梦瑶, 王敏. 气候风险与企业投融资期限错配[J]. *现代财经(天津财经大学学报)*, 2025, 45(3):101-114.
- [21] 李政, 蔡昕雨, 武坤. 气候风险、生产网络关联与企业集团内部现金分布[J]. *财贸经济*, 2025, 46(10):71-88.
- [22] 李政, 蔡昕雨, 李薇. 极端气候地域差异与企业集团内部现金转移——来自暴雨冲击的证据[J]. *金融监管研究*, 2025(11):56-76.
- [23] 杨璐, 史京晔, 陈晓光. 温度变化对中国工业生产的影响及其机制分析[J]. *经济学(季刊)*, 2020, 20(5):299-320.
- [24] DESSAINT O, MATRAY A. Do managers overreact to salient risks? Evidence from hurricane strikes [J]. *Journal of financial economics*, 2017, 126(1):97-121.
- [25] 王文蔚. 气候冲击与企业违约风险: 基于物理风险的视角[J]. *世界经济*, 2025, 48(3):90-110.
- [26] HOSONO K, MIYAKAWA D, UCHINO T, et al. Natural disasters, damage to banks, and firm investment [J]. *International economic review*, 2016, 57(4):1335-1370.
- [27] LI Q, SHAN H, TANG Y, et al. Corporate climate risk: measurements and responses [J]. *Review of financial studies*, 2024, 37(6):1778-1830.
- [28] ACEMOGLU D, AKCIGIT U, KERR W. Networks and the macroeconomy: an empirical exploration [J]. *NBER macroeconomics annual*, 2016, 30(1):273-335.
- [29] 陈国进, 刘元月, 丁赛杰, 等. 宏观尾部风险、生产网络与行业产出[J]. *管理世界*, 2024, 40(2):28-52.
- [30] 李薇, 李政. 全球生产网络与尾部风险跨国传染[J]. *国际金融研究*, 2025(12):47-60.
- [31] ENGLE R F, MANGANELLI S. CAViaR: conditional autoregressive value at risk by regression quantiles [J]. *Journal of business economic statistics*, 2004, 22(4):367-381.
- [32] BUA G, KAPP D, RAMELLA F, et al. Transition versus physical climate risk pricing in European financial markets: a text-based approach [J]. *European journal of finance*, 2024, 30(17):2076-2110.
- [33] DI GIOVANNI J, HALE G. Stock market spillovers via the global production network: transmission of US monetary policy [J]. *Journal of finance*, 2022, 77(6):3373-3421.
- [34] 周颖刚, 肖潇. 汇率波动、生产网络与股市风险——基于中美贸易摩擦背景的分析[J]. *金融研究*, 2022(7):115-134.
- [35] LESAGE J, PACE R K. Introduction to spatial econometrics [M]. New York: Chapman and Hall/CRC, 2009:33-42.
- [36] 李政, 李薇, 李丽雯. 美国三类不确定性冲击、生产网络传导与中国行业尾部风险[J]. *金融研究*, 2024(8):39-57.
- [37] 李政, 石晴. 全球地缘政治冲击、生产网络传导与中国行业信用风险[J]. *国际金融研究*, 2026(2):45-59.

## Climate Risks, Production Networks, and Sectoral Tail Risks in China

LI Zheng, ZHANG Bing, WU Kun

(School of Finance, Tianjin University of Finance and Economics, Tianjin 300222, China)

**Summary:** Currently, China is increasingly confronted with severe climate risks. Understanding the socioeconomic impacts of these risks is crucial for mitigating and managing the manifestation and contagion of risk events. Climate risks, encompassing both physical and transition risks, are continuously propagating adverse shocks from ecosystems to the broader economic system. Empirical evidence indicates that climate risks have inflicted significant damage across various Chinese sectors. These impacts entail both direct shocks and indirect ripple effects within the economic system, heavily driven by the underlying production networks. Therefore, overlooking production networks may substantially underestimate the true economic consequences of climate risks. However, existing literature rarely examines the economic consequences of climate risks from a macro-sectoral perspective. Specifically, there is a lack of research exploring the impact of climate risks on sectoral tail risks in China, particularly regarding the transmission mechanisms embedded in production networks. To address this gap, this paper constructs a Heterogeneous Spatial Autoregressive (HSAR) model incorporating inter-sectoral input-output linkages. From a production network perspective, we measure both the direct and network effects of climate risks on sectoral tail risks in China. We compare the heterogeneous impacts of physical and transition risks, and further investigate their primary transmission directions along the supply chain by incorporating forward and backward sectoral linkages.

The results indicate that: First, increases in both physical and transition risks significantly exacerbate sectoral tail risks, with network effects driven by inter-sectoral input-output linkages accounting for over 40% of the total impact. Second, both risk types propagate through the production network, driving up tail risks across all sectors. Notably, the social services and basic chemical sectors experience the most pronounced network effects. Third, the network effects are stronger through backward linkages than forward linkages, indicating that climate risks are primarily transmitted from upstream to downstream sectors along the supply chain. Fourth, between the two risk types, transition risks exert a dominant impact on sectoral tail risks in China.

This paper makes several contributions to the existing literature. First, it enriches the study of the economic consequences of climate risks at the sectoral level by focusing on tail risks and examining heterogeneous impacts across sectors. Second, it provides a comprehensive assessment by dual-dimensionally incorporating both physical and transition risks. Third, by adopting a production network perspective, the paper disentangles the direct and network effects of climate risks and identifies their primary transmission directions. Ultimately, this study provides empirical evidence and actionable insights for policymakers to effectively mitigate climate risks and manage risk contagion within production networks. These findings are of great significance for enhancing China's economic resilience and ensuring macroeconomic stability. insights for policymakers to effectively mitigate climate risks and manage risk contagion within production networks.

**Key words:** climate risks; production networks; sectoral tail risks in China; network effects; HSAR model

(责任编辑:刘欣琦)

[DOI]10.19654/j.cnki.cjwtyj.2026.04.005

[引用格式]李政,张冰,武坤.气候风险、生产网络与中国行业尾部风险[J].财经问题研究,2026(4):62-74.