

落实“双碳”目标 开展碳排放风险保险*

姜璐^{1,2)} 胡小康³⁾ 叶涛³⁾ 刘新立⁴⁾ 史培军^{3)†}

(1)北京师范大学地理科学学部, 100875, 北京;

2)青海省人民政府-北京师范大学高原科学与可持续发展研究院, 810016, 青海西宁;

3)北京师范大学地理科学学部灾害风险科学研究院, 100875, 北京;

4)北京大学经济学院风险管理与保险学系, 100871, 北京)

摘要 在论证全球碳排放与气候灾害, 全球、中国碳排放与 GDP 的关联性与中国宏观碳排放风险格局的基础上, 从财政、金融、保险视角分析了支持国家“双碳”目标实施的具体策略。研究发现: 1) 全球碳排放与气候灾害呈显著的正相关关系, 碳排放是气候灾害的“根源”; 2) 全球碳排放与人均 GDP 的关联性总体呈显著的正相关关系, 全球人均 GDP 与广义、狭义气候灾害损失呈现类似环境“库兹涅茨曲线(Kuznets curve)(倒 U 形)”的特征, 全球碳排放与人均 GDP 密切相关, 影响着广义与狭义气候灾害; 3) 中国宏观碳排放风险呈显著东高西低的区域分异。据此, 本文提出为减轻中国碳排放风险、缩小碳排放风险行业与区域差异, 应建立促进我国“火电与绿电”互补、行业与区域协同发展的碳排放风险保险制度, 构建“投保人-保险人-政府”三位一体的碳排放风险保险模式, 为实现“双碳”目标, 特别是“碳中和”目标提供保险保障。

关键词 双碳目标; 碳排放风险; 火电与绿电互补; 区域协同发展; 碳排放风险保险

中图分类号 F840

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2022294

0 引言

碳中和(carbon neutrality, CN), 本质上是化石燃料使用和土地利用变化导致的碳排放(carbon emission, CE)与包括生态系统碳汇(carbon sink, CS)、碳捕集利用与封存(CCUS)等在内的各种碳吸收(carbon absorption, CA)之间的平衡, 即净零排放^[1-2]。中国在第 75 届联合国大会一般性辩论会上提出中国“双碳”目标“时间表”: 中国碳排放力争于 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和^[3]。2020 年 11 月, 碳达峰和碳中和(以下简称“双碳”)的目标在党的十九届五中全会上被列入“十四五规划”。2021 年发布的《格拉斯哥气候公约》高度关注各国和地区的“双碳”目标的实施, 强调应对气候变化要建立“损失和损害”融资机制^[4]。通过减少 CE 和增加 CA 来实现 CN, 已成为各国政府应对气候变化风险的首要行动。

那么, 如何评价一个国家、一个地区甚至一家企业 CN 的程度? 这取决于其 CE 和 CA 之比^[4]。与此同时, CE 是人类经济活动的产物, CA 主要取决于自然生态系统的结构与功能, 二者均受区域社会经济发展

水平、能源生产与消费结构、土地利用/覆盖格局、气候变化、减碳和增汇技术等多因素交互影响^[2, 5-7]。所以, 中国实现 CN, 其着力点不仅要集中能源、工业、建筑、交通等 CE 较高的行业领域, 还要关注森林、草原、湿地与水域生态系统等 CA 高的区域, 通过区域和产业间的协同合作, 实现减排和增汇双向发力。

无论是高排放碳产业向低碳技术产业的转型过程, 还是 CA 系统的区域维护, 都面临自然灾害等风险, 进而导致价格波动或信用危机。保险行业对相关风险保障需求进行了积极探索。碳保险被界定为与碳信用、碳配额交易直接相关的金融产品。从国际上来看, 已有的相关产品主要是针对交付风险, 例如碳信用价格保险、CE 信贷担保和其他可再生能源相关保险产品及碳损失保险。在降低因自然灾害而使减排企业面临运营风险方面, 碳信用保证保险产品可使减排或新能源企业更容易获得事前项目融资, 在客观上起到了企业信用增级的作用, 增强了企业经营的稳定性。2022 年 3 月, 中国出口信用保险公司为国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司投资沙特 700 MW 光伏电站项目, 成功开立履约保函和本地

* 中国博士后科学基金资助项目(2022M720460); 青海省重点研发与转化计划资助项目(2022-SF-173)

† 通信作者: 史培军(1959—), 男, 教授。研究方向: 环境演变与自然灾害研究。E-mail: spj@bnu.edu.cn

收稿日期: 2022-10-11

成分履约保函,该项目正式启动,全面进入投资、融资、建设阶段^[8]。在分散自然灾害导致的生态系统 CA 能力波动风险方面,澳大利亚一家保险公司于 2009 年首次推出碳损失保险,为森林大火、雷击、冰雹或暴风雨等灾害发生而导致森林无法实现已核证减排量所产生的风险提供保障^[9]。2016 年湖北 CE 权交易中心、平安保险等机构合作签订了中国首单“碳保险服务协议”,旨在规避 CE 交易企业在转型升级过程中产生的超排风险。2018 年,广州 CE 权交易所推出了国内首笔针对 CE 权抵押贷款的保证保险。通过融资激励措施鼓励企业参与减排项目,在排放交易方面,美国国际集团与达信保险经纪公司合作推出 CE 信贷担保保险,以及与可再生能源相关的保险产品^[10]。相关研究主要集中在碳保险费率厘定^[11-12]和作用效果^[13]等方面。在研究方面,国内主要是针对碳保险的发展方向^[14-15]、探究碳保险的法律相关问题^[16],也有少数学者对碳保险产品设计和定价^[17]等进行了较深入的研究。

此外,为了实现零碳转型和“双碳”目标,中国已提出相关政策促进减排与增汇双向发力。2017 年,国家发展改革委印发了《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》^[18],并启动全国 CE 交易体系建设,利用市场机制控制和减少温室气体排放。对广东电力市场研究结果表明,火电与绿电价交易,其碳价为 50~500 元·t⁻¹^[19],即火电减少部分用绿电(水电、风力发电、太阳能发电等)替换,火电减少的 CE 按该碳价来补偿绿电的生产和供应。在资源生态补偿方面,国务院《关于落实科学发展观加强环境保护的决定》要求完善生态补偿政策,尽快建立生态补偿机制。中央和地方财政转移支付考虑生态补偿因素,国家和地方可分别开展生态补偿试点^[20]。国家《“十二五”节能减排综合性工作方案》也明确要求改进和完善资源开发生态补偿机制,开展跨流域生态补偿试点工作^[21]。在电价补贴方面,为促进可再生能源开发利用和以新能源为主体的新型电力系统建设,财政部等制定了《可再生能源电价附加补助资金管理暂行办法》^[22],国家发展改革委于 2021 年发布新能源上网电价政策^[23]。在绿色保险方面,2021 年 2 月,国务院发布了《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》,提出要发展绿色保险,要充分发挥保险费率调节机制作用^[24]。当前,绿色保险如环境污染责任保险已实现初步发展,一些绿色创新型保险产品如林业碳汇指数保险^[25]也已开始探索。这些政策的提出,为解决全国 CE 与碳汇间的行业与空间差异,提升全国碳排放风险(carbon emission risk, CER)防范的能力发挥了

一定的作用^[26-27]。

基于此,本文认为高排放碳产业与低排放碳产业协同、低碳汇区域与高碳汇区域间的互补,是实现碳中和的有效路径之一。为保障其有效实施,需发挥保险行业在行业间、区域间优化“减排与增汇”的补偿作用,构建碳排放风险防范的行业、地区、行业与地区间的分担机制。鉴于此,本文论证了全球 CE 与气候灾害,全球、中国 CE 与 GDP 的关联性,基于中国宏观 CE 风险格局,从财政-金融-保险多视角分析了支持国家“双碳”目标实施的具体策略。

1 CE 与气候灾害

1.1 CE、CA 与 CN CE 是关于温室气体排放的总称,用碳作为代表,指某一主体在某一时间段内所产生的温室气体直接排放与间接排放的集合。CE 是人为引致全球气候变暖的重要原因。CA 或碳汇就是地球上植物(含低等植物)光合作用吸收了大量的 CO₂,广义的 CA 还包括碳捕捉和封存。CN 是 CE 与 CA 的平衡^[28]。

1.2 CE 与气温变化 尽管 CE 在各界已所熟知,但 CE 造成的人类伤亡、经济损失、资源环境受损等还未引起足够关注。已有文献表明,以 CO₂ 为主的温室气体的逐渐增加^[29],导致了地球气温的升高(图 1),并进一步确认人类经济社会活动是导致温室气体增加的主因,进而造成全球气候变化。数据显示,1901—2018 年,中国地表年平均气温呈显著上升趋势,近 20 年是 21 世纪以来的最暖时期。1951—2018 年,中国年平均气温每 10 a 升高 0.24 °C,升温率明显高于同期全球平均水平^[30]。

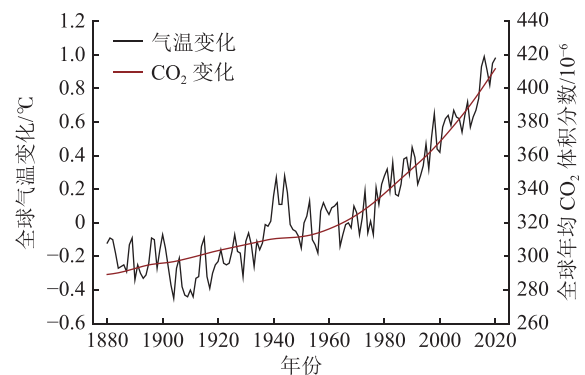


图 1 全球气温变化与年均 CO₂ 体积分数的关系

1.3 CE 与气候灾害 在全球变暖背景下,全球气候变化造成的气候灾害,如台风、暴雨、洪水等极端事件也呈现一定增加趋势^[31-33],但 CE 与气候灾害的关联性还未引起重视。为此,本文通过全球大气中 CO₂ 含量^[29]和气候灾害数据^[34]综合分析了二者关系

(图 2~4), 结果显示, 1960 年以来全球 CO₂ 体积分数与广义气候灾害(含气象、气候和水文灾害等)频次和灾害损失均呈同步增长态势, 且呈现出显著的正相关关系, 这与部分学者的研究^[35]存在一致. 由此表明, 在全球尺度上, CO₂ 排放量的增加是广义气候灾害频次与损失增加的根源, 即广义气候灾害风险之“源”, 可称其为广义气候灾害风险的“源风险”.

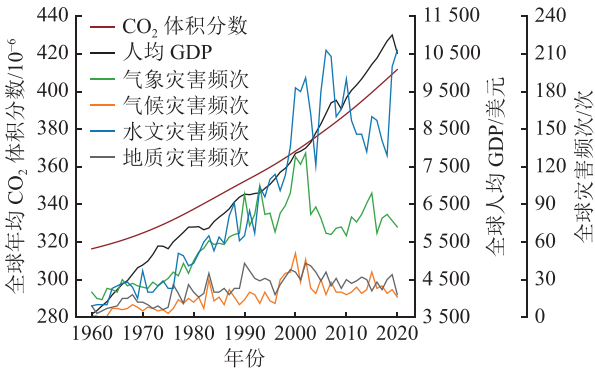


图 2 全球年均 CO₂ 体积分数与自然灾害频次的动态

2 CE 与经济增长

已有研究一致认为经济增长是 CE 增长的主要原因, 以人均 GDP 作为经济增长的指标^[36-37], 其与全球 CO₂ 含量^[29]、中国 CE 量^[38]呈现出显著的正相关关系(图 5). 与此同时, 全球人均 GDP 与广义气候灾害损失^[34]也呈现出显著的正相关关系(图 6), 随着全球人均 GDP 的增加, 人们抵抗灾害的能力提高, 狭义气候灾害、水文灾害与广义气候灾害的损失增长减缓达

到拐点, 人均 GDP 与狭义气候灾害、水文灾害与广义气候灾害的损失呈现正相关关系, 而气象灾害由于预警预报能力还需提升, 尚未达到拐点.

全球人均 GDP 与广义、狭义气候灾害损失呈现类似环境“库兹涅茨曲线(Kuznets curve(倒 U 形))”的特征, 表明与全球人均 GDP 密切关联的灾害脆弱性在广义与狭义气候灾害中起着重要的作用, 即广义气候灾害损失(y)是 CO₂ 体积分数(x₁)、人均 GDP(x₂)的函数, 即: 其多元线性回归方程为: $y = 2.288x_1 - 0.012x_2 - 678.340$ ($R^2 = 0.582, P < 0.001$) (y 单位: 10 亿美元, 2010 年不变价; x₂ 单位: 美元, 2010 年不变价). 由此认为, 防控区域广义气候灾害、减轻区域 CE 风险, 不仅要控制区域的 CE, 还要降低区域气候灾害的脆弱性, 构建由政府、企业、社区共同减轻区域 CE 风险的凝聚力^[39].

3 碳排放风险空间格局

3.1 CER 风险是指某区域未来某时期内致灾因子(自然灾害或事故)造成损失可能性的大小^[40]. CE 作为环境风险的重要致灾因子, 与人类社会-经济系统承灾体、人类生存环境系统共同组成 CE 环境风险系统. 本文定义“CER”为: 因 CE 超过 CA 造成的直接或间接的人类伤亡、经济损失和资源环境受损的风险. 其值大小由某个区域、某个时段的 CE 与 CA(碳汇)的比值所决定^[4], 其值为 1 时, 即 CER 为零, 也就是 CN; 其值 > 1 时, 即存在 CER; 其值 < 1 时, 即不存在 CER.

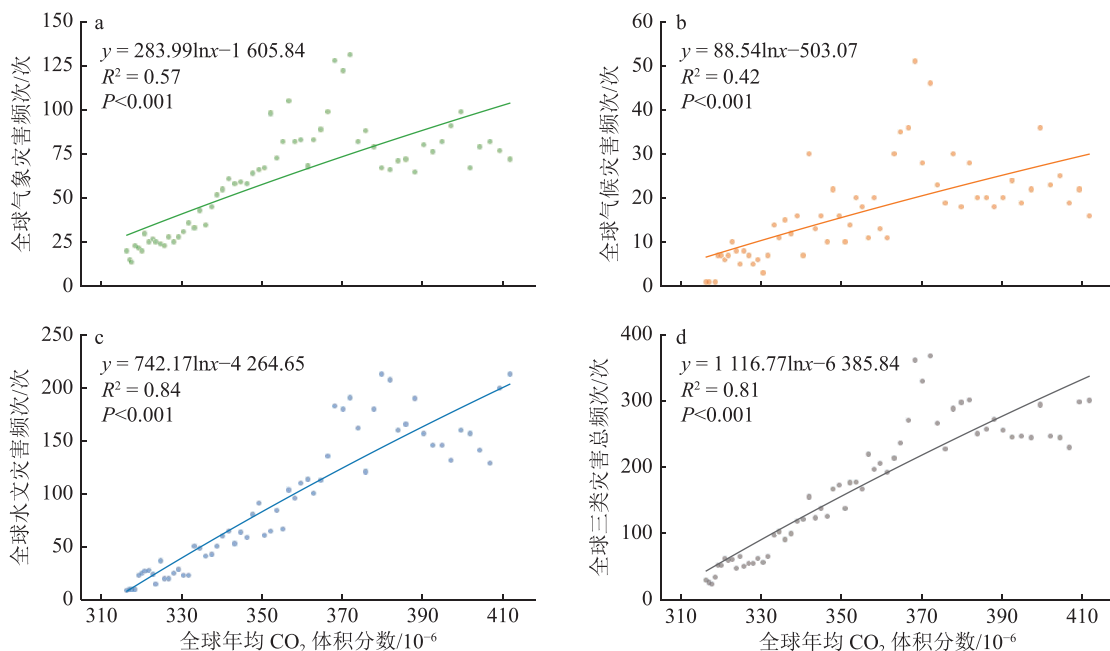


图 3 全球年均 CO₂ 体积分数与广义气候灾害频次的相关分析(1960—2020 年)

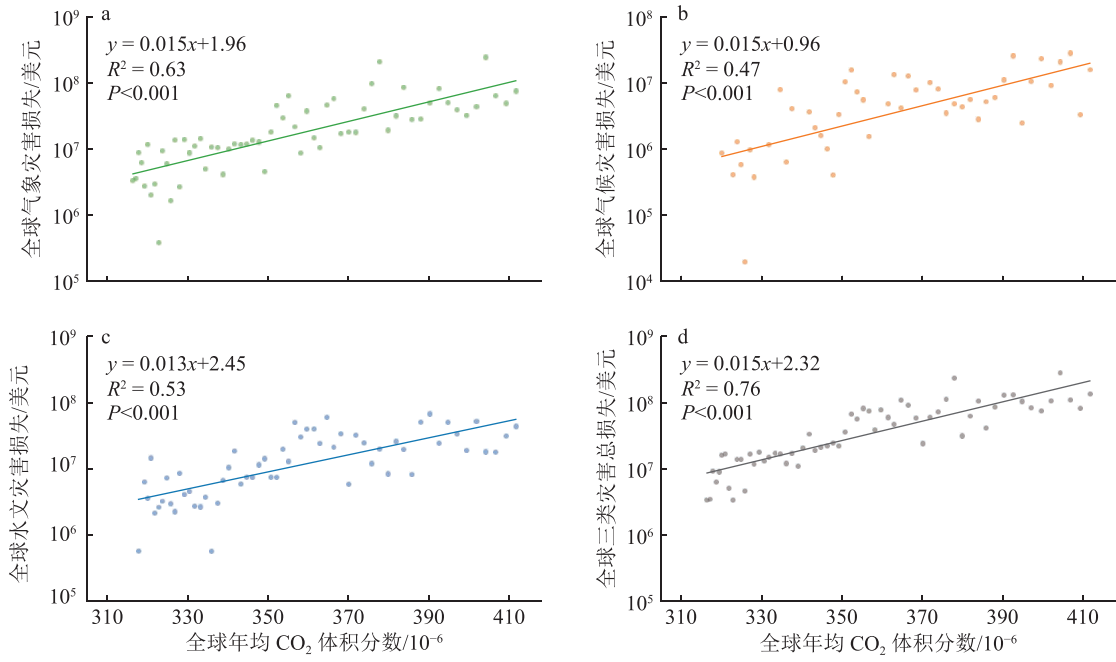


图 4 全球年均 CO₂ 体积分数与广义气候灾害损失的相关分析(1960—2020 年)

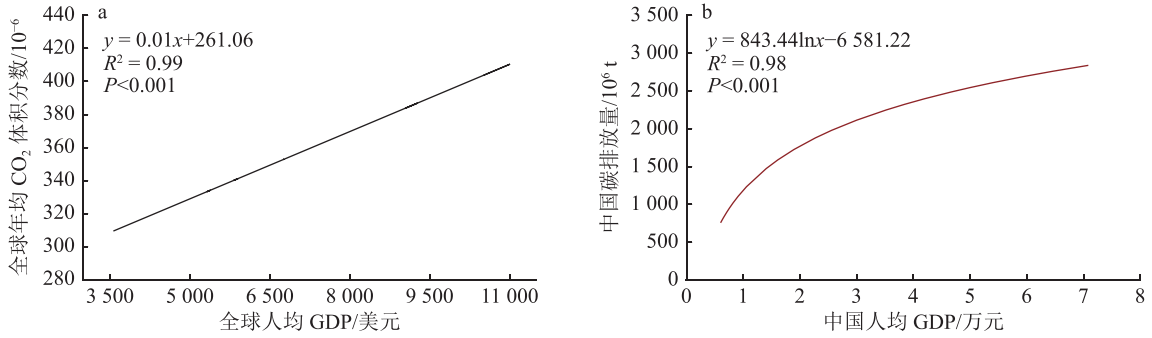


图 5 二氧化碳体积分数(a)和碳排放(b)与人均 GDP 动态关系

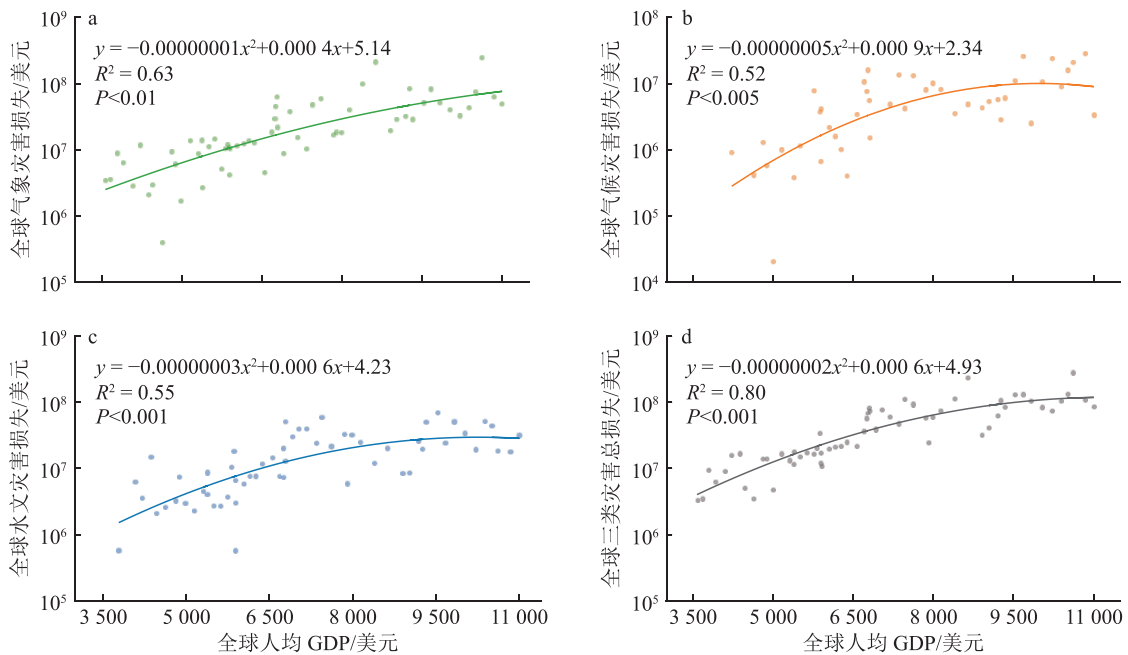


图 6 全球人均 GDP 与广义气候灾害损失的相关分析(1960—2020 年)

3.2 中国 CER 空间差异 CE 与区域经济水平和结构、能源资源禀赋和结构都有密切的关系, 依据 CER 计算模型^[28]

$$R_{CE} = M_{CE} / M_{CA} \times C_v,$$

式中: R_{CE} 为区域 CER; M_{CE} 为区域 CE 量; M_{CA} 为区域 CA 量, 由于较难获得相应数据, 本文用区域 CS 量代替; C_v (carbon emission vulnerability) 为脆弱性系数, 本文中用人均 GDP 表示。

基于此, 通过中国 CS 数据^[41-42]、CE 数据^[41-43]、人

均 GDP 数据^[44], 模拟中国宏观 CER 空间格局(图 7、8), 发现东、西部(图 7-a), 东、中、西部(图 7-b) 呈明显的区域分异, 东部为高 CER 区域, 西部 CER 为低或不明显区域, 中部处于 CER 中等区域。从图 7 和图 8 还可看出, 由于 CE、CS 数据的差异, 使中国各省区市的 CER 呈现低一级空间尺度的差异, 即在东西差异基础上的南北差异: 在中部带, 北方高于南方; 在东部带, 北方沿海高于南方沿海, 这些省区市的 CE 或 CS 的差异与 CE 脆弱性, 是造成这种南北方差异的主要原因。因此, 实现中国“双碳”目标, 需重视

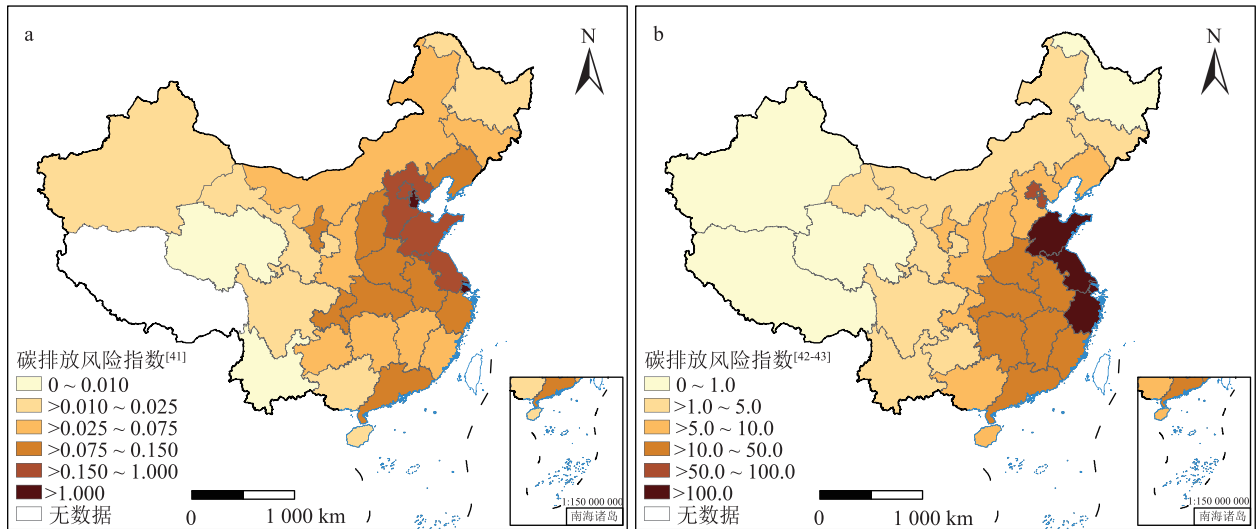


图 7 中国宏观碳排放风险空间格局(基于来源数据^[41](a)和^[42-43](b)模拟)

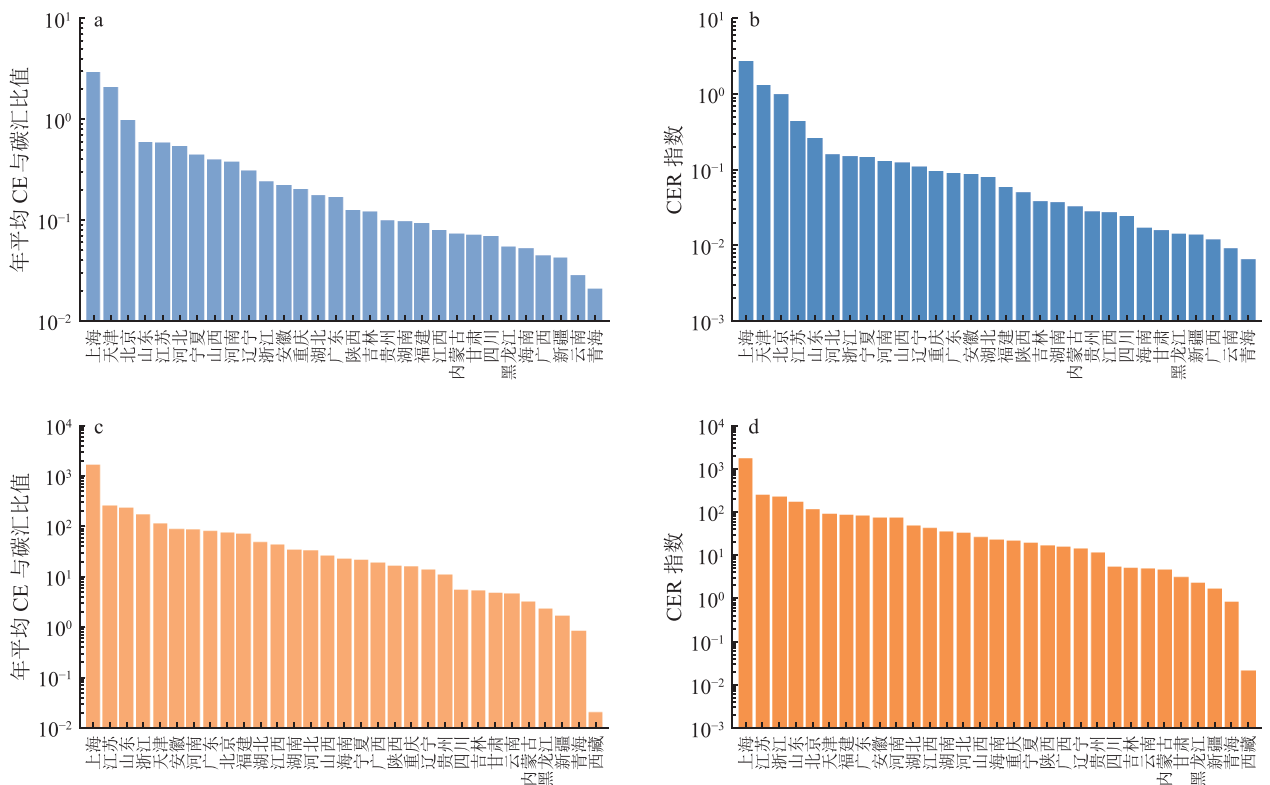


图 8 中国各省市宏观 CER 排序(基于来源数据^[41](a)和^[41-42](c)模拟)

中国 CER 的区域差异,探讨区域合作与协同的互补模式.

4 CER 保险的开展与实施方案

4.1 减排与增汇双向发力的“碳经济模式” 笔者提出了防范“CER”的减排与增汇双向发力的“碳经济模式”^[28],包括:1)构建低排放碳的经济模式,全面推动低排放碳经济;2)构建高吸收碳经济模式,发展高吸收碳经济;3)构建火电与绿电(清洁)能源互补模式,系统优化区域零碳经济.为了实现这一模式,就需要充分发挥“保险”的补偿作用.

4.2 实施 CER 保险,护航“双碳”目标实现 基于上述 CER 防范措施,本文借鉴灾害风险保险的模式,提出发展 CER 保险的金融对策,从居民、社区、事业、企业、政府等多主体视角,构建 CER 保险产品,缩短 CE 与碳汇区域与行业间的差异,构建 CER 综合防范体系,保障在高质量发展目标下实现全球、国家和区域的 CN.

结合“双碳”目标与 CE 权、碳交易制度可知,双碳目标的实现中,存在由气候的不确定性、市场的不确定性、意外事故而导致净 CE 增加的可能性.该可能性包括 2 个方面:1)由于市场的不确定性、意外事故导致 CE 主体超额(或标准)排放而形成的第三方责任;2)由于气候的不确定性、意外灾害与事故导致 CA 能力低于预期而形成的损失.此 2 类风险满足可保风险的基本要求,宜通过保险手段转移或分散其风险.因此,本文中所指的 CER 保险包括碳超排责任保险和碳汇损失保险 2 个子类.

4.2.1 碳超排责任保险 碳超排责任保险是指,在法律和制度明确规定特定周期(如年度)CE 限额的前提下,保险人保障排放主体存在因市场的不确定性、意外事故而导致 CE 超过限额而形成的公共利益损失的风险.此类保险可参考环境责任险的设计,基于超排者付费原则建立.投保人为 CE 主体,主要为生产企业.引起超排的市场不确定性(生产设备等不能保障)、意外生产事故可能引起的包括 CE 或收集与处理设施损坏的自然灾害和人为事故.CE 收集与处理通常为一套由各种相关装备与设施组成的技术流程,任何环节发生装备更新或常态事故都会影响处理效果.保险保障的对象为企业发生碳超排对第三者(此处指公共利益)造成的损害依法应承担的赔偿责任或治理责任.保险金额依据被保险企业 CE 量超标或其他有效的环境指标制定差异化的保险费率,进而激励被保险企业向绿色低碳转型^[45].当事故发生后,保险人明确事故是否属于保险责任,并基于专业评估机构

出具的碳超排损失风险报告,依据合同约定给予第三方赔付,或在被保险企业履行赔偿义务或采取减排补救措施后,给予被保险企业保险金.由于碳超排的影响对象是区域整体,赔付对象建议考虑为地区政府的 CE 管制或生态环境保护部门.

碳超排责任保险的设计应借鉴环境污染责任险的试行经验.当前,我国正在试点并探讨环境污染责任保险^[46].环境污染责任保险是以企业发生污染事故对第三者造成的损害依法应承担的赔偿责任为标的保险,主要补偿的是企业需要支付给受害第三方的人身伤亡或财产损失赔偿、清理污染物的费用,以及产生纠纷后的法律费用^[47-48].由于环境风险发生的不确定性及其潜在的巨大影响,被保险企业在面对已发生的环境事故时,往往难以承担巨大的人身伤亡和财产损失赔偿责任、场所外清理费用赔偿责任和法律费用赔偿责任.通过保险这一风险分担手段,将部分风险转移给保险人,进而减少企业损失和政府部门的财政压力^[49].

4.2.2 CA 损失保险 CA 损失保险向主要从事碳捕获或提供 CA 服务的行业或企业提供因气候的不确定性、意外事故导致的碳捕获或 CA 能力低于预期而形成的经济损失.在确立 CE 权和碳交易市场逐步成熟前提下,碳捕获和 CA 服务将具有特定的经济价值.由于气候的不确定性、灾害事故造成的碳捕获设备损毁或主要提供 CS 服务的生态系统破坏造成的经济(CA 量或 CS 量)损失,宜获得保险提供的风险保障.此类保险的投保人和被保险人均为碳捕获或 CA 服务的提供者.保险事故为造成捕获能力下降(如设施设备损坏)或吸收服务能力下降(如气候不确定性造成的森林、草原火灾等)的灾害事故,可能包括自然灾害和人为事故,例如因常态事故或地质灾害、地震、洪水等突发性自然灾害导致碳捕获设施设备无法运行,或森林火灾、生物病害导致具有 CA 能力的林木、草场受损.保险保障的对象为因能力下降而对服务提供者造成经济损失的行业或企业,保险金额可依据相应服务的市场价值进行测算.在合同约定的气候不确定性、意外事故发生后,保险人认定事故原因、核定损失价值,经由第三方专业鉴定机构出具 CA 损失风险评估报告,进而依据合同进行赔付.

CA 损失保险可在森林、草原保险的基础上先行试点.当前,我国已经在农业保险下开办了森林和草原保险.其中,森林保险仍主要以森林的重置成本为保险金额,少数地区尝试开办了针对活立木价值的保险^[50].我国森林资源中幼龄林面积占森林面积的 60.94%,中幼龄林处于高生长阶段,具有较高的固碳

速率和较大的CS增长潜力。据中国森林资源核算第3期研究结果显示,我国森林全口径CS每年达4.34亿t碳当量,近40年全口径CS总量为117.70亿t碳当量,折合CO₂约为431.57亿t,占工业CO₂排放总量的21.55%^[51]。然而森林生物病害导致森林生态服务功能受损严重,例如2010年生态服务价值损失达895.37亿元^[52]。因此,依托现有农业保险框架,在传统的再植成本和活立木价值保险的基础上,尽快试点森林CS保险,尊重森林生态系统提供的重要生态服务,有望为森林植被保护、营林造林,保障并促进森林CS发挥重要作用。

4.3 明确界定CE权的法律性质 CE权的主体主要有国家、群体和自然人3类。有关CE权的法律属性,学术界尚未形成共识:财产权说认为,CE权是一种环境容量的使用权,由法律规制为企业拥有的私人财产权;行政权力说认为,CE权是权利主体在国家许可的范围内,对属于国家所有的环境容量资源的使用权利;物权说将CE权界定为用益物权、准物权、准用益物权、特许物权等,其中主要是用益物权说与准物权说之间的博弈^[53]。目前我国学者对于CE权法律性质的争议,主要可以概括为行政规制权和财产权的争议。2021年生态环境部发布《碳排放权交易管理暂行办法(草案修改稿)》^[54],第33条将CE权解释为政府分配给重点排放单位的、规定时期内的CE配额,这仅从事实依据上对CE权进行了定义,仍未给出其法律性质的明确界定。法律性质不明的CE权,将阻碍与CE相关的保险衍生品的设计创新和发展。

4.4 逐步建立成熟的CE配额交易市场 交易市场的逐步建立与成熟,是CE配额交易的前提,也是实现对碳超排放损害与CA服务价值通过市场手段货币化的重要前提。对二者的货币化,将为保险金额与赔付金额的确定提供重要的参考依据。

5 结论

针对格拉斯哥世界气候大会(COP26)讨论实现世界CN中心议题,应对全球气候变化已经成为构建人类命运共同体的重大责任和全人类的共同担当,从理解《联合国气候变化框架公约》(1992)、《东京议定书》(1998)到“巴黎协定”(2015),探讨如何坚持不懈地推动全世界减少以CO₂为主的温室气体排放,缓解由人类社会经济活动引致的全球气候变化,以及由全球气候变化导致的影响世界可持续发展的各类环境风险。

笔者认为,以人类社会经济活动为主的CE量是

造成这一环境风险的主要致灾因子,并基于此开展了关于CER保险的研究,将CER纳入保险范畴,提出构建CER防范的保险模式。

研究发现:全球CE与气候灾害呈显著的正相关关系,是气候灾害的“根源”;全球CE与人均GDP的关联性总体呈显著的正相关关系,全球人均GDP与广义、狭义气候灾害损失呈现类似环境“库兹涅茨曲线(倒U形)”的特征,全球CE与人均GDP密切相关影响着广义与狭义气候灾害;中国宏观CER呈显著东高西低的区域分异。据此,可发展CER保险,包括碳超排责任保险和CA损失保险。

在构建低排放碳经济体系的同时,创建高吸收碳的经济体系,这就要求在“双碳”目标实施过程中,既要看区域如何实现“CE与CA相抵为零”(零碳转型);实现CN;还要看“CE与CA相比为1”(“壹碳转型”),即适合本地区经济规模和高质量发展的“碳吸收达峰”和与此相应的“CN”。

为了实现行业和区域经济规模和质量发展的CN,需建立行业和区域CE与CA“双达峰”的合作共赢的机制体制,开办CER保险,完善包括建设“全国CE权交易市场”“生态补偿”“电价补贴”等财政和金融、保险机制在内的减排增汇体系。

目前的挑战在于CER保险费率的精算,这是由于居民(自然人)、事业单位法人、企业单位法人等CER具有很高的不确定性。为此,需创新测算CE与CA的科技手段,加大常态化CE与CA普查清单的建立,全面系统地优化区域和国家的“零”和“壹”碳经济格局。

6 参考文献

- [1] COP26. The COP26 Glasgow Climate Pact[EB/OL]. (2021-11-13) [2022-02-27]. <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climature-Pact.pdf>
- [2] 杨元合,石岳,孙文娟,等. 中国及全球陆地生态系统碳源汇特征及其对碳中和的贡献[J]. 中国科学: 生命科学, 2022, 52(4): 534
- [3] 习近平. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话(全文)[EB/OL]. (2020-09-22) [2022-02-27]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-09/22/c_1126527652.htm
- [4] 丁仲礼. 碳中和对中国的挑战和机遇[EB/OL]. (2022-01-14) [2022-02-27]. <https://finance.sina.com.cn/esg/electmagazine/2022-01-14/doc-ikyarmz5125630.shtml>
- [5] WEI D, QI Y H, MA Y M, et al. Plant uptake of CO₂ outpaces losses from permafrost and plant respiration on the

- Tibetan Plateau[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2021, 118(33): e2015283118
- [6] PLAZA C, PEGORARO E, BRACHO R, et al. Direct observation of permafrost degradation and rapid soil carbon loss in tundra[J]. *Nature Geoscience*, 2019, 12(8): 627
- [7] RAN L S, BUTMAN D E, BATTIN T J, et al. Substantial decrease in CO₂ emissions from Chinese inland waters due to global change[J]. *Nature Communications*, 2021, 12: 1730
- [8] 王虎云. 中国信保: 以绿色金融助力“双碳”目标[EB/OL]. (2022-04-13) [2022-08-30]. https://www.cnfin.com/hb-lb/detail/20220412/3580318_1.html
- [9] 朱家贤. 气候融资背景下的中国碳金融创新与法律机制研究[J]. *江苏大学学报(社会科学版)*, 2013, 15(1): 27
- [10] BACANI B, FISCHER R. *Insuring Climate Resilience*[R]. Geneva, Switzerland: United Nations Environment Programme Finance Initiative, 2013
- [11] WEBSTER A J, CLARKE R H. Insurance companies should collect a carbon levy[J]. *Nature*, 2017, 549(7671): 152
- [12] LIU Z B, HUANG S. Carbon option price forecasting based on modified fractional Brownian motion optimized by GARCH model in carbon emission trading[J]. *The North American Journal of Economics and Finance*, 2021, 55: 101307
- [13] WANG C, NIE P Y, PENG D H, et al. Green insurance subsidy for promoting clean production innovation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 148: 111
- [14] 张妍. 我国发展碳保险的重要性及发展方向研究[J]. *时代金融*, 2012(11X): 132
- [15] 冯爱青, 岳溪柳, 巢清尘, 等. 中国气候变化风险与碳达峰、碳中和目标下的绿色保险应对[J]. *环境保护*, 2021, 49(8): 20
- [16] 李媛媛. 中国碳保险法律制度的构建[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(2): 144
- [17] 骆嘉琪, 杨鑫焱, 余方平, 等. 基于碳清缴超额保险的企业碳交付风险管理[J]. *管理评论*, 2021, 33(6): 29
- [18] 国家发展改革委. 关于印发《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》的通知(发改气候规[2017]2191号)[EB/OL]. (2017-12-20) [2022-02-27]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghxwj/201712/t20171220_960930.html?code=&state=123
- [19] WU J J, GUO Q H, YUAN J H, et al. An integrated approach for allocating carbon emission quotas in China's emissions trading system[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 143: 291
- [20] 国务院. 关于落实科学发展观加强环境保护的决定: 国发[2005]39号[A/OL]. (2008-03-28) [2022-02-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_5006.htm
- [21] 国务院. 关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知: 国发[2011]26号[EB/OL]. (2011-09-07) [2022-02-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2011-09/07/content_1384.htm
- [22] 财政部, 国家发展改革委, 国家能源局. 关于印发《可再生能源电价附加补助资金管理暂行办法》的通知: 财建[2012]102号[A/OL]. (2012-04-18) [2022-02-27]. http://www.mof.gov.cn/gkml/caizhengwengao/2012wg/wg201204/201207/t20120711_665512.htm
- [23] 国家发展改革委. 关于2021年新能源上网电价政策有关事项的通知: 发改价格[2021]833号[A/OL]. (2021-06-07) [2022-02-27]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202106/t20210611_1283088.html
- [24] 国务院. 关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见: 国发[2021]4号[A/OL]. (2021-02-22) [2022-02-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-02/22/content_5588274.htm
- [25] 杨杰舜, 程子昂, 原源. 森林碳汇保险及其风险度量[J]. *现代企业文化*, 2011(8): 109
- [26] 腾飞, 王天鹏, 郭江汶. 2021碳中和目标与气候风险: 气候变化经济损失评估[R/OL]. 北京: 清华大学能源环境经济研究所, 2021
- [27] KRISHNAN M, SAMANDARI H, WOETZEL J, et al. The net-zero transition: what it would cost, what it could bring[R]. America: McKinsey Global Institute, 2022
- [28] JIANG L, HU X K, ZHANG G F, et al. Carbon emission risk and governance[J]. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2022, 13(2): 249
- [29] SCP (Scripps CO₂ Program). Atmospheric CO₂ data: ice-core merged products[DB/OL]. (2021-11-12) [2022-02-27]. https://scrippsco2.ucsd.edu/data/atmospheric_co2/icecore_merged_products.html
- [30] NOAA (National Centers for Environmental Information). Climate at a glance: global time series[DB/OL]. (2021-11-12) [2022-02-27]. https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land_ocean/ann/12/1880-2020
- [31] FIELD C B. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]
- [32] HU P, ZHANG Q, SHI P, et al. Flood-induced mortality across the globe: spatiotemporal pattern and influencing factors[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 643: 171
- [33] 吴绍洪, 高江波, 邓浩宇, 等. 气候变化风险及其定量评估方法[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 28
- [34] CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). The Emergency Events Database (EM-DAT)

- [DB/OL]. (2022-01-17) [2022-02-27]. <https://emdat.be/database>
- [35] LIDEGAARD Ø, LIDEGAARD M. The global climate: a sick patient[J]. *Ugeskrift for Laeger*, 2008, 170(35): 2663
- [36] World Bank. GDP per capita (constant 2010 US\$) [DB/OL]. (2022-01-17) [2022-02-27]. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD?view=chart>
- [37] 国家统计局工业统计司. 中国工业统计年鉴: 2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020
- [38] CEADs (Carbon Emission Accounts & Datasets). China CO₂ inventory 1997-2019 (IPCC sectoral emissions) [DB/OL]. (2021-10-01) [2022-02-27]. <https://www.ceads.net/user/index.php?id=284&lang=en>
- [39] 史培军, 胡小兵, 郭浩. 综合灾害风险防范凝聚理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2020
- [40] 史培军. 灾害风险科学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2016
- [41] CHEN J D, GAO M, CHENG S L, et al. County-level CO₂ emissions and sequestration in China[DB/OL]. (2020-11-02) [2022-02-27]. https://figshare.com/collections/County-level_CO2_emissions_and_sequestration_in_China/5136302
- [42] LU F, HU H F, SUN W J, et al. Effects of national ecological restoration projects on carbon sequestration in China from 2001 to 2010[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(16): 4039
- [43] CEADS (Carbon Emission Accounts & Datasets). Emission inventories for provinces[DB/OL]. (2021-10-01) [2022-02-27]. https://www.ceads.net/data/province/by_sectoral_accounting/
- [44] 国家统计局. 中国统计年鉴: 2021[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021
- [45] 周延礼. 三大路径助力保险业更好服务经济社会绿色低碳转型[EB/OL]. (2021-10-21) [2022-02-27]. <https://www.163.com/dy/article/GNAJULU405199NPP.html>
- [46] 程玉. 我国环境责任保险承保范围之思考: 兼论渐进性污染的可保性问题[J]. *保险研究*, 2017(4): 102
- [47] 胡海红, 刘金章. 对构建我国“绿色保险”制度的探讨[J]. *保险研究*, 2009(10): 51
- [48] 陈冬梅, 段白鸽. 环境责任保险风险评估与定价方法研究评述[J]. *保险研究*, 2014(1): 54
- [49] 时钰. 我国推进环境污染责任保险的问题与对策建议[J]. *中国物价*, 2021(12): 78
- [50] 叶涛, 吴吉东, 王尧, 等. 多年期森林火灾保险产品的设计研究: 以浙江省丽水市为例[J]. *保险研究*, 2016(2): 87
- [51] 王兵, 牛香, 宋庆丰. 基于全口径碳汇监测的中国森林碳中和能力分析[J]. *环境保护*, 2021, 49(16): 30
- [52] 曾菊平, 曾城, 欧阳芳, 等. 2000—2010年全国森林生物灾害发生、损失与趋势分析[J]. *生物灾害科学*, 2014, 37(1): 7
- [53] 郑爽, 刘海燕. 碳排放权的界定及属性[EB/OL]. (2019-05-02) [2022-02-27]. <http://www.tanpaifang.com/tanguwen/2019/0502/63816.html>
- [54] 生态环境部. 关于公开征求《碳排放权交易管理暂行条例(草案修改稿)》意见的通知: 环办便函[2021]117号[A/OL]. (2021-03-30) [2022-02-27]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202103/t20210330_8266642.html

Implementing the “double carbon” goal and developing carbon emission risk insurance

JIANG Lu^{1,2)} HU Xiaokang³⁾ YE Tao³⁾ LIU Xinli⁴⁾ SHI Peijun³⁾

(1) Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2) Academy of Plateau Science and Sustainability, People's Government of Qinghai Province and Beijing Normal University, 810016, Xining, Qinghai, China; 3) Key Laboratory of Environmental Change and Nature Disaster, MOE, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

4) School of Economics, Peking University, 100871, Beijing, China)

Abstract Carbon emissions peak and carbon neutrality goal, or the “double carbon” objectives, are a major measure for China to cope with global climate changes. Relationship between global carbon emissions and climate disasters, as well as relationship between global and Chinese carbon emissions and GDP, and China's macro carbon emission risk pattern, have been clearly demonstrated. Specific strategies to support implementation of national “double carbon” goal from the perspective of finance and banking are analyzed. Significant positive correlation is found between global carbon emissions and climate disasters, and carbon emissions are the “root” of climate

disasters. Significant positive correlation is found between global carbon emissions and GDP. Global per capita GDP and losses from generalized and narrow climate disasters are like the environmental “Kuznets curve (inverted U shape)”, i.e., the close correlation between global carbon emissions and GDP per capita affects generalized and narrow climate disasters. China’s macro carbon emission risk shows a significant regional differentiation of high in the East and low in the West. We propose that to narrow industrial and regional differences in carbon emission risk, a carbon emission risk insurance system be established to promote complementary development of thermal power and green power and coordinated development of industries and regions. It is necessary to build a carbon emission risk insurance model integrating policyholder-insurer-government. The above measures will provide insurance protection for China to implement the "dual carbon" goal.

Keywords “double carbon” goal; carbon emission risk; thermal power and green power complement each other; regional coordinated development; carbon emission risk insurance

【责任编辑:刘先勤】