

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2023.08.001

气候金融的学科内涵、中国实践与热点前沿研究^①

张大永¹, 张跃军², 王玉东³, 王群伟⁴, 姬强^{5,6*}

(1. 西南财经大学经济与管理研究院, 成都 611130; 2. 湖南大学工商管理学院, 长沙 410082;
3. 南京理工大学经济管理学院, 南京 210094; 4. 南京航空航天大学经济与管理学院, 南京 211106;
5. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190; 6. 中国科学院大学公共政策与管理学院, 北京 100049)

摘要: 在全球积极应对气候变化挑战的大背景下, 发展气候投融资已经成为国际共识. 在气候变化的框架下, 气候金融成为研究气候变化与金融活动关联的一个新兴的交叉学科, 气候金融理论也应运而生. 本文首次对气候金融的概念和内涵进行系统性界定, 通过文献计量的方式梳理了气候金融领域的最新研究进展. 同时, 从基金资助、学术组织建设、行业投融资活动等维度, 总结了气候金融在中国的理论与实践的发展. 最后, 凝练了未来气候金融学科发展的理论前沿与应用场景.

关键词: 气候金融; 新兴领域; 理论与实践; 热点前沿

中图分类号: F06; X24; C93 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2023)08-0001-15

0 引言

近百年来, 气候变化对全人类的威胁日益增大, 自然灾害与极端天气正在以远超人们预期的频率在全世界各个区域发生, 并对人类社会造成广泛的影响. 自联合国气候框架条约(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)成立以来, 历经多次国际谈判, 全球绝大多数国家虽然都已经达成了将应对气候危机作为长期发展战略的共识, 但是全球应对气候危机的行动仍然缓慢, 气候变化的形势更加严峻. 联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第六次评估报告指出, 气候变化正以更快的速度扩展到全球各个地区; 除非全球做出更为迅速的行动减少温室气体排放, 否则全球气温控制在 2°C 并争取控制在 1.5°C 之内的目标将难以实现. 据估算,

到2030年, 气候变化对健康的直接损害成本约为每年20亿美元~40亿美元^[1]. 由于全球气候变化的冲击, 整个地球生态系统正在发生重大的改变, 已经威胁到人类经济社会系统安全, 甚至直接影响到了一些国家的生存问题^[2].

应对气候危机、寻求可持续发展的诉求已经迫在眉睫. 然而, 实现既定气候目标却困难重重, 这既需要跨越国界的共同努力, 也存在巨大的风险挑战. 其中一个重要的制约因素就是投资需求与融资约束之间的矛盾. 对于全球碳中和长期愿景的实现, 无论是通过节能减排、增汇固碳以实现气候减缓, 还是主动适应气候变化, 都需要大量的资金投入. 根据世界银行2019年的数据估计, 未来15年全世界将需要90万亿美元的气候相关投资. 然而, 全球新冠疫情突发带来的世界经济衰退则进一步加剧了国际气候资金的融资压力, 融资动力、融资渠道以及融资风险都将成为全球应对

① 收稿日期: 2022-02-21; 修订日期: 2023-06-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助专项项目(72348003; 72243003); 国家自然科学基金资助优秀青年基金项目(72022020); 国家自然科学基金资助项目(71974159; 72071114; 52270183).

通讯作者: 姬强(1982—), 男, 山东威海人, 博士, 研究员, 博士生导师. Email: jqwxnjq@163.com. 张大永, 张跃军, 王玉东, 王群伟为共同第一作者, 对本文贡献等同.

气候变化的新挑战。

在这种全球气候投融资需求不断增加的现实需求下,气候金融作为一个新兴的交叉学科正在引起全球学者的广泛关注^[3]。作为一个具有深远性社会意义和迫切性现实需求的新兴学科领域,气候金融的研究远远不止于解决气候融资的资金来源问题。从宏观层面来讲,需要解决系统设计与市场发展的矛盾;从微观层面来讲,需要分析企业投资与内部治理的问题;从理论层面来讲,需要提供应对气候危机的投融资理论框架和方法论;从实践层面来讲,需要为决策者完善风险监管与制度建设和为投资者规避低碳投资风险提供指导和服务。

作为目前世界上温室气体排放量最大的国家,中国的减排压力无疑是巨大的,这也必然需要更多的气候投融资以及配套的理论支持。气候政策倡议委员会2021年发布的《中国扩大气候金融的潜力》报告指出,国内与气候有关的投资在整个金融系统里面的份额仅为4%,为实现中国的气候承诺,在未来十年中国将会有每年9.5万亿的投资需求。气候投融资在国内的快速发展以及减排目标与金融体系的协同发展都需要建立和发展完备的气候金融理论。

因此,本研究在充分考虑气候金融理论的催生环境下,结合我国实现“双碳”目标所面临的需求和挑战,从基本概念界定、学科领域的独特性出发,通过对国内外相关领域研究最新进展的梳理,对气候金融研究的学科领域进行系统性思考,以期推动气候金融学理论框架的构建,并从理论研究和实践活动两个方面,系统性梳理了中国特色的气候金融发展脉络,最后凝练了气候金融学科发展的理论前沿与应用场景。

1 气候金融的内涵与学科属性

为了更好地梳理气候金融研究的脉络,首先需要明确气候金融的概念进行清晰的界定。相较于气候金融而言,国内学术界更为熟悉的概念是“绿色金融”和“碳金融”。由于我国早期以消耗大量化石能源、破坏环境为代价来追求经济高速增长和当下人们生活水平提高后而产生对绿水青山

等经济高质量发展需求,绿色发展成为了国家发展战略中实现由经济高速增长转向高质量发展的重要一环。与之而来的就是如何构建一套行之有效的金融支持体系,以促进实现绿色发展。绿色金融就是为了推进环境治理、服务于资源清洁高效利用而进行的一系列金融活动。碳金融作为一种创新的融资活动则有更为明确的界定。碳金融是对碳排放进行货币化的新型融资手段,通过给碳排放定价来减少温室气体对环境的影响,主要包括碳排放权交易、碳金融衍生品交易以及相关碳减排和碳汇的金融服务活动。而气候金融则是为了提升应对气候变化的减缓和适应能力而开展的一系列金融活动。从金融活动的范畴来讲,绿色金融涵盖最广,其次是气候金融,碳金融范围最窄。

虽然在实践中都是为了改善环境、应对气候变化挑战,但是从理论上讲,气候金融具有自己的独特性以及更为严谨的学科特征。这一点可以借鉴经济学的学科界定,如气候经济学是一个具有明确理论体系和完整结构的交叉学科,而绿色经济更多的只是一个理念,而非学科的概念。同样地,绿色金融强调更为广义的利用金融活动治理环境问题,而气候金融则专注于气候相关的金融活动。从国际气候金融体系的发展来看,一个由国家主体和国际组织为核心的国际气候金融框架已经形成并在全球有关气候投融资过程中发挥着至关重要的作用^[4,5]。

相对而言,由于气候危机是全球所有国家都要面临的现实问题,因此从根本上来讲气候金融就拥有了自然的国际属性,以此为基础发展的气候金融体系具有更鲜明的国际通用的学术语言和适用环境。这一点在早期的《联合国气候变化框架公约》中就已经有所体现,他们提出气候融资是旨在减少温室气体排放,降低人类和生态系统对气候变化负面影响的脆弱性并保持其抵御风险能力的融资。通过多年的实践,气候金融的基本标准和国际合作基础已经成型,具备了可行的、清晰的国际标准。然而,当前国内外更多关注气候投融资的政策制定和对应的实践活动,很少从学科的视角对气候金融给出清晰的界定。

本研究认为气候金融是一门新兴的交叉学

科,是研究气候变化与金融活动之间关系的学问。气候金融充分将气候的关键属性和本质特征与传统金融理论深度有机嵌套融合,研究气候变化对资产定价、投融资、金融风险、金融政策等一系列金融问题的影响。从学科发展来看,气候金融学更具现实意义和理论价值。

1.1 气候金融是一个复杂的巨系统

从本质上来说,气候金融是为了应对人类所

面临的气候危机,实现可持续发展而在全球范围内所进行的所有金融活动的总称。这是一个包含着多个维度的复杂巨系统(见图1),在研究视角上,包括国内和国际两个视角;在研究尺度上,包括宏观和微观两个尺度;在研究层面上,包括制度、市场和人三个层面;在研究目标上,则服务于应对气候危机的国内可持续发展与国际气候金融合作两个目标。

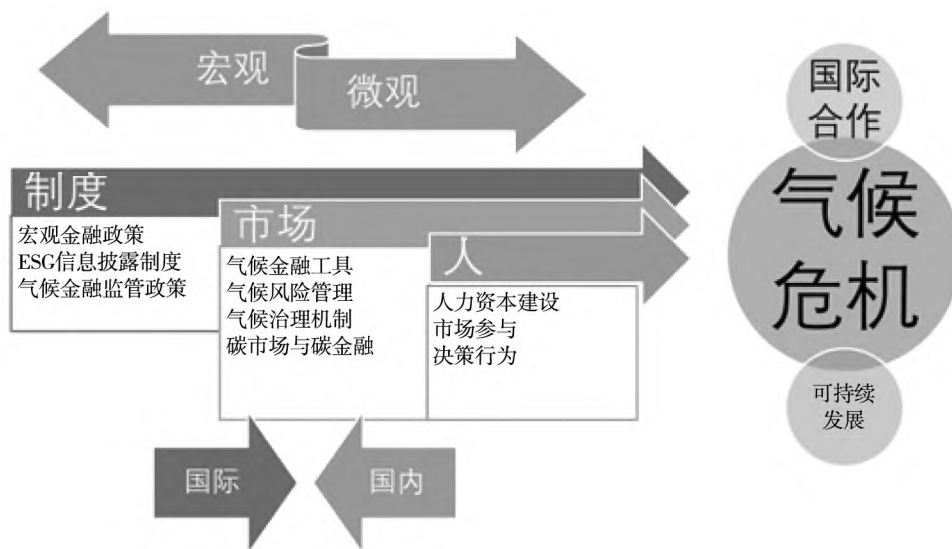


图1 气候金融的复杂巨系统

Fig. 1 A complex giant system of climate finance

首先,从研究视角来看,气候金融研究具有外部包容性。由于气候变化的外部性特征,应对气候变化带来的挑战一定是一个全球性的话题。在进行气候金融理论的框架设计时,要充分考虑气候环境的公共产品属性对传统金融理论的适用性。包容性(inclusive)的概念源自于发展经济学,早在2007年亚洲开发银行提出了“包容性增长”的概念,即以人为中心的,人与社会、自然的和谐发展。气候金融涉及主体繁多,且存在多元化的利益诉求,因此其学科建设需要以包容性为出发点。

其次,从研究尺度来看,气候金融研究是宏观系统与微观系统的有机结合。在经历了三百年的工业革命后,气候变化的危害不仅仅表现为物理灾害,还将对经济社会的众多方面产生冲击,其影响已经从生态链扩展至金融系统乃至整个社会经济系统,气候危机所造成的社会经济影响已经难以估量。因此,气候金融的研究方向既包括自

上而下的宏观调控与市场建设,也包括自下而上的风险管理与市场行为。

第三,从研究层面来看,气候金融包括了制度、市场与人三个层面。气候金融的发展首先离不开国家的宏观政策与制度,无论是2015年提出的构建绿色金融体系的目标,还是2021年提出的有关气候投融资体系建设的指导思想都是促进我国气候金融体系建设的关键,而相关的监管措施和市场运行体系也离不开宏观制度的顶层设计。气候金融的核心是市场建设,包括发展气候投融资工具,创新气候金融衍生品,建设碳金融市场,完善气候风险管理,提升气候治理水平等。一个完善的市场应该是在宏观政策指导下,提高有效性和流动性,激发私有资本积极参与的市场。最后,实现制度建设和市场发展还离不开人力资本,无论是投资决策还是市场监管都需要由人来执行,决策者、投资者和社会公众的行为则共同构成了这

一环节。

1.2 气候金融理论发展需要多学科交叉

气候金融学科具有非常明确的独特性,其重要特征就是需要多个学科的知识有机的融合(见图2)。其中金融学的理论和实践是基础,气候金融的研究需要资产定价、公司金融和国际金融市场的相关理论框架对核心问题进行支撑,研究的技术方法也可以参照金融学并进行拓展。而气候金融的前瞻性研究方向既需要利用自然科学的细颗粒度数据基础和大数据智能工具支撑,也需要管理科学对气候金融学体系的框架进行设计,还需要经济学基础进行理论支撑。

首先,由于应对气候危机的关键是能源系统的转型,因此能源与环境管理领域的学科知识是气候金融所必需的。从这个角度来讲,相关领域自然科学知识对于气候金融领域的研究也具有重要的意义。例如,可以采用卫星遥感技术对碳排放的水平进行监测,从而实现监管的动态性、投资的方向性以及碳资产定价的有效性。

其次,在气候资本市场建设方面,如何实现巨

量资金的筹集,刺激私有资本的参与,同时确保气候投资的有效实施仍缺乏明确的理论指导;在人力资源方面,兼顾气候与金融等多领域交叉的专业人才的缺乏,在客观上制约了整个复杂系统的建立和完善。

最后,由于气候金融的国际属性,本国气候相关的金融活动既要考虑国内金融体系和市场发展现状,也要充分考虑外部国际环境的变化以及全球气候金融体系的趋势及特征。这一点与党的十九届五中全会提出“加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局”的重大战略部署是一致的。因此,国际关系与政治也是实现双循环视角下气候金融理论与实践的重要环节。全球气候金融体系的建设仍需要进一步合作,达成更广泛的共识;各国相关规则制定和监管以及指导性的政策都有待完善。

总而言之,气候金融的范畴有别于现有学科,其理论体系具有独特性,实践工作亟需加快开展,并需要尽快完善气候金融学科建设,大力培养相关人才。

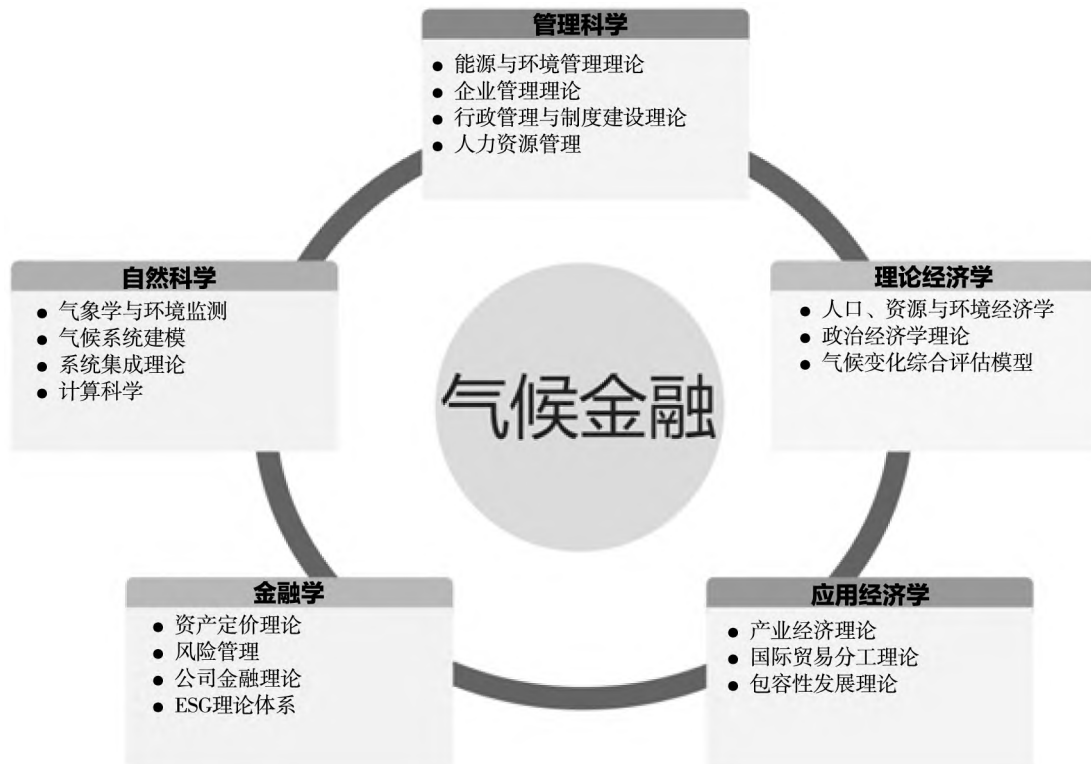


图2 气候金融的多重交叉学科属性

Fig. 2 Multiple interdisciplinary attributes of climate finance

2 气候金融研究发展脉络

2.1 气候金融发文基本情况

本研究以气候金融作为搜索关键词,以经济、商业或金融领域社会科学引文索引(SSCI)收录的文章为文献来源,通过对这些文献的关键词共现分析尽可能全面而客观地把握气候金融领域的研究方向和内容,从而对气候金融理论的发展脉络进行全面的梳理。本研究检索的论文时间跨度为1980年—2021年^②,检索到的文献数据共包含3 239 篇论文。

图3展示了气候金融文献的年发表量。其中,最早的一篇文献出现于1988年,此后直到2008年气候金融领域的研究都处于低迷状态。2008年之后,相关文献的发表量迎来爆发式增长,从原先的41篇增长至2020年的413篇,增幅达到10倍以上。2021年的发表量截至10月17日已有396篇之多。就期刊分布来看,这些文章发表在共计410种期刊上,意味着气候金融的研究已经分散在各个细分领域中。表1列出了十大气候金融发文量最多的期刊,其中 *Energy Policy* 在已发表文章数量上排名第一(546篇),其次是 *Ecological Economics* (250篇)和 *Energy Economics* (160篇)。

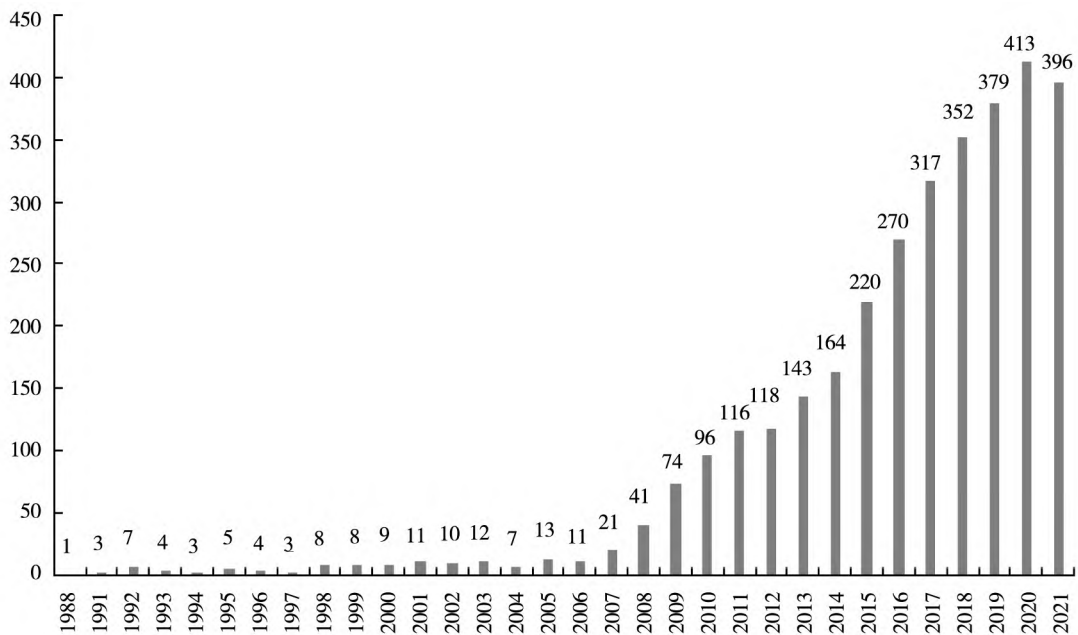


图3 1988年—2021年气候金融领域年发文数量

Fig. 3 Annual number of climate finance publications from 1988 to 2021

表1 气候金融载文量前10期刊

Table 1 Top 10 journals by volume of published articles on climate finance

序号	期刊名称	载文量
1	<i>Energy Policy</i>	546
2	<i>Ecological Economics</i>	250
3	<i>Energy Economics</i>	160
4	<i>Environmental Resource Economics</i>	104
5	<i>World Development</i>	91
6	<i>Forest Policy and Economics</i>	74
7	<i>Journal of Environmental Economics and Management</i>	71
8	<i>Business Strategy and the Environment</i>	58
9	<i>Journal of Business Ethics</i>	54
10	<i>Technological Forecasting and Social Change</i>	53

^② 更具体的时间为1980年1月1日至2021年10月17日。

本研究尝试运用关键词共现寻找和分析气候金融研究的热点和主要方向. 具体而言, 本研究对文献数据设定1年的时间切片, 并对每个时区中被引频次最高的50个关键词进行提取操作. 图4为关键词共现图谱, 图中共计有499个关键词节点, 1453条连线. 节点越大表明共现次数越多, 连线数量表示两个关键词的共现次数, 连线粗细表示联系强度. 图4设定阈值为120, 出现频次超过120的关键词显示标签. 在此基础上, 表2进一步提取前20个重要关键词. 统计结果显示, 气候

变化、能源、影响、政策和排放等词汇出现频次最多. 从高频关键词出现年份来看, 农业、价值、金融、决定因素和政策的出现年份靠后. 这些结果表明气候金融领域的研究内容复杂多样, 能源、温室气体排放、政策、定价、风险、技术、创新和气候与金融系统内各因素间的相互关系等都是其研究的主要内容. 其研究对象既包含自然人的投资消费等行为, 又包含公司和行业主导的能源消耗、温室气体排放和技术创新等行为, 还涉及国家层面的政治协商和互助.

时间跨度: 1988年—2021年(时间切片=1)
 选择标准: 前50个被引词/时间切片
 网络: 节点499, 连接1453(密度0.0117)
 连接规则: 最小生成树

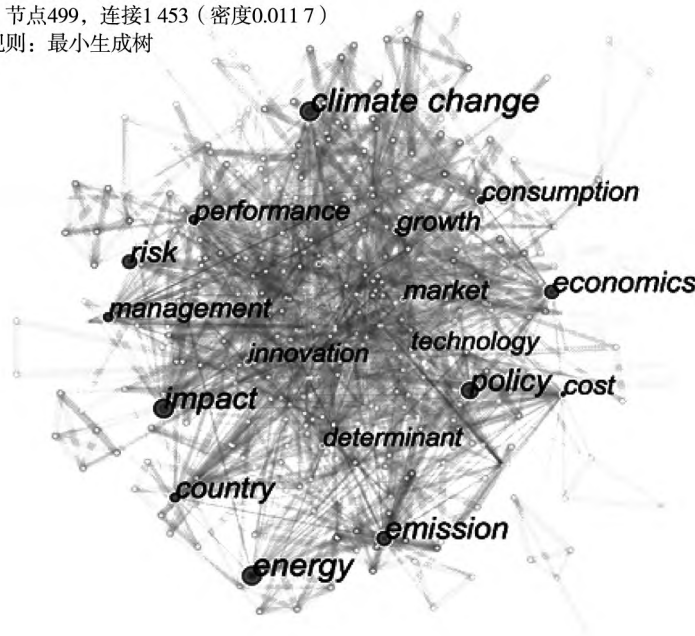


图4 1988年—2021年气候金融领域研究关键词共现图谱

Fig. 4 Key words co-occurrence atlas of climate finance from 1988 to 2021

表2 1988年—2021年前20个高频关键词

Table 2 Top 20 high-frequency key words from 1988 to 2021

序号	频次	关键词	最早年份	序号	频次	关键词	最早年份
1	635	climate change	1998	11	164	cost	1998
2	429	energy	1993	12	160	market	1992
3	401	impact	1997	13	160	growth	1998
4	352	policy	2001	14	159	consumption	1997
5	349	emission	1996	15	140	innovation	1996
6	282	risk	1999	16	127	technology	1992
7	265	economics	1995	17	127	determinant	2000
8	256	country	1993	18	112	finance	2000
9	191	performance	1995	19	110	agriculture	2005
10	187	management	1993	20	109	value	2003

注: 统计截至时间2021年10月17日.

2.2 主要研究方向梳理

根据关键词共现提供的气候金融研究范畴信息,可以大致将已有研究归类为气候意识、气候变化下的资产定价与风险管理,以及气候财政、金融与货币政策三个方向。气候意识方向主要从道德层面研究不同个体的气候意识觉醒和实践活动,气候变化下的资产定价与风险管理方向侧重研究与气候变化有关的市场经济行为,而气候财政、金融与货币政策方向旨在分析比较缓解气候变化的不同类别政策工具。

2.2.1 气候意识

气候意识是人们对气候和气候保护的认知水平,也是人们为缓解气候变化而不断调整自身经济活动和社会行为的自觉性。换言之,气候意识包括认知和实践两个层面。在认知层面,绿色消费、投资理念不断深入人心,可持续观念甚至融入到个体创新创业活动中^[6,7]。与个体有限理性相比,机构投资者、公司、行业和市场的气候意识觉醒更为深刻,且更具价值导向。Addoum等^[8]发现,季度内极端温度冲击无法引发分析师和投资者的立即反应,但会影响许多行业的季末盈利预测。Busch和Hoffmann^[9]认为,公司风险敞口取决于炭基材料和能源强度依赖性,而金融市场已开始将这些影响纳入估值范围。Krueger等^[10]同样表明,气候风险会对投资组合公司产生财务影响,而机构投资者已然意识到这一点。Rajnoha等^[11]发现,不少公司将传统绩效衡量体系转变为战略性和可持续绩效衡量体系,且更加重视改变短期主义的消费和生产导向。

在实践层面,已有文献大都围绕脱碳挑战展开,主要关注碳排放交易机制、清洁能源和可再生能源的投融资,以及国际气候适应援助分配问题^[12]。就碳排放交易而言,合理的碳排放交易系统无疑是工业和金融部门脱碳实践的理想选择,但其设计过程的复杂性备受研究者诟病。涂永前^[13]指出现有国际法层面不同的法律框架决定了碳金融发展路径的复杂性。Spash^[14]认为碳排放交易市场的复杂设计问题已超越了气候变化带来的负面问题本身。

就清洁能源和可再生能源的投融资而言,王许等^[15]提出低碳技术的研发除具有风险高、收益不确定、溢出性强等特征外,还具有公共产品属

性。在融资激励缺失的背景下,社会资本不愿参与此类投资。目前,国际气候融资机制、政策支持以及金融机构参与是清洁能源和可再生能源开发项目的主要融资渠道。Ji和Zhang^[16]的研究充分说明了这一现实情况。他们发现投融资问题严重制约中国能源革命,而金融发展对可再生能源增长的总体贡献率可以高达42.42%。

就适应援助分配而言,发达国家主张援助发展中国家,并且承诺优先考虑“特别脆弱”国家。Betzold和Weiler^[17]定量分析经济合作与发展组织双边适应援助数据,发现脆弱性指标的确对适应援助分配工作至关重要。受极端天气事件或海平面上升等气候变化影响较大的国家,无论是在人均还是在总量上都获得了更多援助。然而,已有文献也记录了捐助者将援助作为外交政策工具以促进其政治经济目标的行为。Weiler等^[18]发现捐助者仅部分考虑气候变化的脆弱性,相反他们用适应援助奖励治理良好的国家并促进自身经济利益。

2.2.2 气候变化下的资产定价与风险管理

气候风险的定价跨越大量资产类别,包括房地产、股票和固定收益证券等^[19]。Murfin和Spiegel^[20]讨论海平面上升风险与住宅房地产价格关系时发现价格效应有限。Baldauf等^[21]认为房价反映了人们对气候变化的信念差异。同样,Bernstein等^[22]和Eichholtz等^[23]发现担心全球变暖的社区以及老练的投资者是推动海平面风险住宅价格资本化的主要动力来源。根据有效市场理论,公开交易的股票反映了所有当前和公开可用信息,而环境事件后股票收益的变化意味着市场为该事件对公司净现值的影响进行了定价^[24,25]。Keele和DeHart^[26]虽然没能发现上市公司宣布环保行动后产生的正向累积股价超额收益,但依旧坚信为减少温室气体排放的举措可能昭示公司的长期盈利能力和对投资者的吸引力。这一观点得到了Ziegler等^[27]实证结果的支持。他们以披露和不披露气候风险应对措施的公司为研究对象,发现买入前者股票而卖出后者股票可以构建随时间推移而更具价值的交易组合。

气候治理实践中产生了一系列新型金融产品,如巨灾保险、绿色债券和碳排放许可证^[28,29]。为这些新型金融产品定价是气候金融在资产定价

方向需要解决的一大议题。Painter^[30]发现与不太可能受气候变化影响的县相比,更有可能受气候变化影响的县在发行长期绿色市政债券时要支付更多的承销费用和初始收益。排放交易一贯拥有全球范围的影响力和关注度,稳定的碳排放价格被认为是全球实现“零排放”长期减排目标的核心机制^[31]。碳排放配额价格反映了选择有效的减排措施的机会成本^[32]。以欧盟排放交易机制为例,Ehrhart等^[33]在博弈模型中发现,储蓄禁令将导致低效调整,即在2005年—2007年期间,减排技术投资不足,配额价格较低;而在2008年—2009年期间,出现更严格的配额价格上限和过度减排投资。Daskalakis等^[34]同样发现禁止储蓄碳排放配额会对期货定价产生重大影响。

合理的金融资产定价不仅要体现内在价值,而且应包含风险溢价。尽管风险通常与收益成正比,但是人们总是期望控制风险以实现最大化收益,面对气候相关风险也不例外。气候风险管理文献主要以气候损失风险和气候管理类金融产品的潜藏风险为研究对象。在气候损失风险的应对方面,以个体及家庭为观察对象的研究文献发现,气候风险管理在很多情况下会演变为资金问题。例如,Collier等^[35]发现天气指数能为弱势家庭提供安全网和有关天气风险的价格信号,但天气风险增加和气候变化影响会提高保险价格,从而超过弱势家庭的承受能力。田素妍和陈嘉焯^[36]对农户气候变化适应能力的研究也体现了金融资本拥有量在对抗气候损失风险中的重要性。服务于气候管理的金融产品和业务蕴涵巨大商机,但同时也潜藏风险,例如国际价格波动、汇率风险以及多源风险因子之间的业务共生性和复杂相关性。杜莉等^[37]归纳了碳金融交易中的政策风险、信用风险、操作风险、市场风险、流动性风险、项目风险的特征与内容。

2.2.3 气候财政、金融与货币政策

全球气候风险无法在纯市场机制中得到解决,政策协议理所应当发挥补位作用^[38]。已有文献讨论了一系列可能的财政、金融和货币政策。财政政策工具可分为价格政策(税收、补贴)、支出和投资政策,以及公共保障政策三类。在价格政策方面,人们普遍认为设计适当的碳定价政策对于减缓气候变化至关重要^[39-41]。然而,其实际效果

褒贬不一。Farid等^[42]表明碳定价能够减少排放并产生可观财政收入。Fay等^[43]则发现价格政策在缺乏低碳替代品的情况下无法有效引发预期变化。在支出和投资政策方面,基础设施投资政策可以长期锁定所使用的能源组合类型,从而影响气候变化情况^[44]。在公共保障政策方面,Owen等^[45]认为公共部门对捐款、股权、债务和新形式的众筹融资的支持,有助于解决企业低碳创新方面的资金缺口。综上,财政政策工具试图调用税收和公共投资使气候风险的外部性内部化,但这些工具可能远远不够。经济社会的低碳转型需要私人 and 公共投资同时发力,以支持能源结构的相对价格变化和生产结构的转变。

金融政策工具恰好能够刺激对绿色生产资本、基础设施和研发的必要私人投资。已有研究普遍表明金融市场对气候风险定价过低^[8,25]。这相当于补贴气候风险资产,而阻碍资本向低碳投资项目重新配置。学者们从多个方面倡议提高气候风险透明度并纠正错误定价,如成立气候数据收集、验证和发布的专门机构^[46],规范甚至强制气候相关信息的披露^[47],以及将气候相关风险纳入央行和监管机构的宏观审慎监管范围^[48]。与纠正错误定价相比,支持绿色证券市场发展能更直接地刺激私人投资。Flammer^[49]发现独立第三方认证有助于改善绿色证券的市场交易表现,因而其鼓励发展绿色证券认证系统。此外,一些文献建议直接利用金融监管工具推动气候融资。例如,Tooze^[50]倡议在资本要求中引入“绿色支持”和“棕色惩罚”因素,从而使银行增加绿色投资而减少碳密集型投资。Aglietta和Espagne^[51]呼吁在银行资产负债表上引入最低“绿色”资产数量的国际要求。

货币政策向来保持稳健基调,但依然有学者主张其应当在气候稳定方面发挥作用。Monnin^[52]强调纠正气候风险权重,即央行应确保气候风险在资产组合中得到适当反映。这种转变不仅能减轻各国央行面临的气候风险,而且其示范效应将降低碳密集型资产的相对市场价值,并刺激投资者将资本转移到低碳行业。进一步地, Van Lerven和Ryan-Collins^[53], Olovsson^[54]呼吁绿色量化宽松政策,以支持低碳资产的购买,并彻底摒弃碳密集型资产。然而,一些国家的法律将央行的购买标的

限定为政府债券或政府机构债券,因而绿色量化宽松政策并非总是可行。考虑到这一问题,不少文献转而建议各国央行着力降低低碳行业的相对资本成本。可供参考的方案有:购买国家或多边开发银行的低碳债券、利用资产负债表提供担保、修订前瞻性指导政策等^[55,56]。

3 气候金融在中国的科研与实践

3.1 项目资助情况

近年来,国家自然科学基金委员会、全国哲学社会科学规划办公室、教育部等各级各类项目管理机构均开始关注气候金融领域的研究工作。据初步统计,2010年以来,聚焦基础研究的国家自然科学基金依托管理科学部在金融工程、金融经济、资源管理与政策、环境与生态管理等领域资助气候金融相关的项目超过百项;突出我国经济社会发展中重大现实问题和热点问题的国家社会科学基金项目在管理学、应用经济学、理论经济学、统计学等学科内针对气候金融的选题则有两百余项。近10年来,以国家自然科学基金和国家社会科学基金为代表的国家级项目在气候金融领域平均每年的立项数超过了30项,且呈稳步上升趋势。尤其是近5年来,气候金融相关选题越来越受到申请者的青睐,越来越多的学者在思考如何运用金融工具来应对气候变化危机,助力社会经济的绿色低碳转型。

从资助项目的类型来看,气候金融领域的立项项目既有鼓励探索的青年、面上等常规项目,也有体现政府引导作用的应急、重点和重大项目等,项目类型的多元化特征明显。比如,在中国经济发展进入新常态背景下,国家自然科学基金委员会在2016年推出“绿色低碳发展转型中的关键管理科学问题与政策研究”重大项目,在2017年和2018年分别推出“美国退出《巴黎气候变化协定》对全球气候治理的影响及我国的应对策略”和“防范和化解金融风险”两个应急项目,在2021年推出“面向国家碳中和的重大基础科学问题与对策”专项项目。这些引导类项目在践行“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念的时代背景下和以应对全球气候变化进程出现的新转折为出

发点,探讨包括气候治理技术转移机制、资金机制、市场机制等在内的一系列与气候金融相关的新问题。

此外,围绕气候金融及其相关领域,一批优秀的青年学者快速成长。聚焦于“能源经济与气候政策”、“碳减排影响机制与政策”、“能源金融”等方向的10余位学者获得国家杰出青年科学基金项目和国家优秀青年科学基金项目资助。

气候金融领域资助项目的研究内容广泛,包括气候变化与金融资产定价、气候金融风险以及气候变化与金融政策等不同研究方向,交叉特性明显。天然气价格形成机理、碳配额交易价格制定等与能源价格和环境资产价格相关的议题是气候变化与金融资产定价的主要研究对象。在气候金融风险方向,自然灾害风险和自然资产的金融风险得到了更多关注,例如自然灾害的保险制度完善以及碳市场或碳金融的风险测度等。气候变化与金融政策的研究方向则包括了气候金融政策的制定以及碳排放交易市场的构建等相关问题。

我国在气候变化投融资领域相关活动的开展,需要配套的理论支撑以及面向实际投融资解决方案的系统分析工具,这就需要相关项目管理机构加大在气候金融方向的研究资助,推动气候金融理论在国内的发展以及对相关实践活动的引导作用。

3.2 学术共同体建设

随着应对气候变化成为全球一致性行动,来自金融行业、国内众多高校和研究机构的学者也在积极加强学术交流与合作,气候金融相关的学术平台也陆续成立。比较成熟和初具规模的学术共同体包括中国金融学会绿色金融专业委员会(2015年成立)、中国能源金融联盟(2017年成立)、中国高校绿色金融研究联盟(2018年成立)、中国环境科学学会气候投融资专业委员会(2019年成立)、中国粤港澳大湾区绿色金融联盟(2020年成立)以及中国优选法统筹法与经济数学研究会气候金融研究分会(2021年成立)。

其中,中国金融学会绿色金融专业委员会主要由国有商业银行、投行、保险、证券等金融机构发起成立,旨在推动绿色投融资产品与服务创新、积极推广绿色金融理念。中国能源金融联盟则由

国内8个能源金融相关研究团队组成,主要采用小核心、大网络的模式吸引了来自10余个国家的学者加盟.中国高校绿色金融研究联盟由复旦大学联合十多所高校绿色金融研究机构发起,旨在更好地应对和解决绿色金融发展过程中的问题.中国环境科学学会气候投融资专业委员会由生态环境部、人民银行、银保监会、国家发改委、财政部等有关部门联合成立,立足发挥市场优化资源配置的作用,加快推动气候投融资工作发展.中国粤港澳大湾区绿色金融联盟是在中国金融学会绿色金融专业委员会指导下成立的,主要服务于中国粤港澳三地绿色金融合作,在跨境绿色资产交易方面取得突破.中国优选法统筹法与经济数学研究会气候金融研究分会是国内第一家以“气候金融”命名的学会组织,主要聚焦气候金融领域的重大国际前沿问题,培养气候与绿色金融的领军队伍和后备科研力量.由该分会和中国能源金融联盟联合主办的能源与气候金融国际系列会议已经成为国内气候金融领域的旗舰会议,自2020年开始,连续入选中国科协的《重要学术会议指南》.

3.3 气候投融资活动

2020年10月,生态环境部、国家发展和改革委员会、中国人民银行、中国银行保险监督管理委员会、中国证券监督管理委员会五部门联合发布《关于促进应对气候变化投融资的指导意见》,其中明确指出我国需要加快构建气候投融资政策体系与标准体系,努力推动资金、人才和技术等要素资源向气候投融资领域聚集.2021年12月27日,生态环境部等9部委联合印发《气候投融资试点工作方案》,明确将引导和促进更多资金投向应对气候变化领域的投资和融资活动.

从国内投融资实践来看,近年来我国绿色金融市场不断扩大,产品服务创新不断增加.根据中国银保监会数据,截至2021年9月末,中国21家主要银行机构绿色信贷余额达14.08万亿元人民币,绿色信贷资产质量整体良好,近5年不良贷款率均保持在0.7%以下.绿色债券是我国绿色金融的第二大载体,在规模上仅次于绿色信贷.根据央行披露,截至2020年末,我国累计发行绿色债券约1.2万亿元,规模仅次于美国,位居世界第二.2021年上半年,国内新增发行绿色贴标债券198只,“碳中和债”、“绿色乡村振兴债券”

和“可持续挂钩债券”等绿色债券创新品种相继推出.

根据中国国际金融有限公司估计,未来40年中国需要140万亿元人民币的债务融资,才能够达成其净零排放的目标.目前中国绿色债券在国内18万亿美元债市中的占比还不到1%,在发行成本、预期收益以及投资者的购买动机方面仍存在很大的压力,未来需要更多配套的政策支撑.

4 气候金融前沿方向与应用场景

气候变化是人类社会在多年前就面临的问题,但是直到近些年,金融或经济领域的学者才逐渐转向研究气候风险相关的金融问题,并在气候风险度量、金融系统气候风险管理、气候风险治理等方面取得了很大进展.针对现有的理论研究进展,本节主要从气候金融的理论框架、气候金融风险度量、气候创新的国际合作机制这三大维度提出了8条研究展望,对气候金融当下的前沿方向和应用场景进行凝练总结.

4.1 全球气候治理的金融理论框架

气候金融体系是个复杂系统,当前气候变化对金融机构和整体金融体系的影响主要来自实践中来,相应的气候金融理论体系和研究范式还不成熟,理论指导实践的作用还没有完全发挥.

要建立完善的气候金融理论框架,需要明确以下几点.首先,全球性.气候变化不是一国的问题,其治理需要全球范围的行动.从已有研究可以看出,气候冲击对单国金融机构的影响往往具有传染性,可能引发全球金融体系更加严重的连锁反应,因此需要建立全球性的气候金融治理框架.其次,系统性.气候变化的影响不是单纯的生态系统的演化,对整个社会经济、金融系统的各个环节都会产生影响.建立气候金融理论框架需要引入复杂系统的思想和方法,更加深入地探究气候系统、社会系统以及金融系统之间的耦合关系以及反馈机制.特别是对气候变化在短期和长期对金融体系的影响机理、作用模式、传导路径以及冲击强度等进行系统性刻画,这部分研究可以借鉴气候经济学的复杂系统构建.第三,交叉性.气候金融本身就是一个交叉学科,气候金融理论框架的

构建需要综合自然科学、金融学、经济学、管理学等交叉理论,在统一的框架下,综合考虑自然因素、社会因素、金融经济因素等的不确定性,更好地模拟生态系统对金融活动的动态作用过程,在一个普适的理论框架下,搭建气候金融学的理论与方法体系,形成全新的科学领域。

4.2 气候金融风险

在气候投融资活动中,气候变化风险对金融体系的挑战与应对是监管部门最关心的问题,也是气候金融领域研究的核心内容。由于地球和人类系统中复杂的相互作用和不确定性,量化气候金融风险具有挑战性。本节主要从气候风险科学度量、气候金融风险识别、ESG 投资策略三个方面对气候金融风险管理的相关研究展开讨论。

4.2.1 气候风险科学度量

气候风险主要由物理风险和转型风险组成,物理风险反映与气候相关的极端天气事件和自然灾害造成的经济成本和财务损失。例如,地势较低的沿海房地产和公共基础设施面临着海平面上升带来的物理风险,全球气温升高对人类健康和粮食生产构成的长期风险。转型风险源于各国为减少温室气体排放而进行经济转型时,给金融资产价值带来的不确定性,这种风险在能源行业最为突出。转型风险可能会使温室气体排放高的企业遭受经济损失和资产搁浅。

要有效减少气候风险的不利影响,首先就要对气候风险进行科学的度量和评估,各国和地区已经在制定气候风险的测度框架方面取得一定的进展。例如,世界银行 2016 年制定《环境和社会框架》,初步评估了可能面临的物理风险和转型风险。欧盟开发了气候风险评估工具,从宏观和国际层面度量了环境风险,帮助资金流向低碳转型的项目。

然而,当前研究中不管是对气候物理风险还是气候转型风险的刻画,都比较单一和片面,并没有考虑多种风险的耦合关系,这可能导致对风险的低估。同时物理风险具有动态性和空间依赖性,还需要在刻画风险时引入时空要素。转型风险与宏观政策、技术进步、投资者情绪和商业创新模式等诸多要素有关,需要综合多源异构数据,充分利用自然语言处理算法和遥感技术等构建不同时间尺度、不同主题的转型风险指数来刻画资产的气

候风险暴露水平。未来如何构建气候综合风险体系和气候风险库是开展气候资产定价和气候金融风险管理的核心,还需要进一步的探索。

4.2.2 气候金融风险识别

由于气候风险具有非线性、深度不确定性和内生性,不适合采用传统的气候经济学和金融风险定价模型进行研究。但是,气候风险的错误定价可能导致资产价格波动,从而影响金融稳定和形成系统性风险。因此,选择合适的金融工具来对冲气候相关风险、分析气候风险与金融稳定之间的关系是气候金融重要的研究方向。

气候风险与金融稳定性的研究目前主要包括以下几个动向:一是考虑反馈循环,采用能刻画气候风险特征的模型,如存量流量一致和个体为本模型等,定量评估气候物理和转型风险对宏观经济和金融体系的影响;对财政、货币和金融气候政策之间相互作用建模,分析这些相互作用对特定国家金融体系的影响;在 COVID-19 背景下,分析气候相关的金融风险并设计符合气候目标的政策。二是金融估值和投资组合风险管理中气候变化信息的内部化。主要研究绿色债券、绿色信贷以及碳税等绿色金融工具是否以及在何种条件下给其发行人带来可观的财务利益,探讨气候变化风险对股票市场、债券市场和大宗商品市场资产定价的影响。

关于如何管理气候风险,几乎没有普遍认同的方法。投资者机构一般采用以下方法进行气候管理:分析并减少投资组合公司的碳足迹,分析搁浅资产风险,使用包含气候风险的公司估值模型、第三方 ESG 评级、绿色金融工具等。未来的研究方向将重点探讨气候风险对金融系统的传染机理、程度、模式、路径、场景等,通过打造气候金融风险的全球标准,建立气候金融风险监测、情景分析、预测和预警体系,指导全球金融部门的气候风险管理和监管实践。

4.2.3 ESG 投资策略

ESG 即环境、社会和公司治理,它的体系主要包括三个方面:ESG 信息披露标准、ESG 评级与企业绩效评价、根据 ESG 评价指导投资。其中,ESG 信息披露标准是实现“双碳”目标的重要基石,受到一些特定国家层面因素如政治制度和文化制度的影响。全球应用最广泛的 ESG 披露标准

是2000年全球报告倡议组织制定的GRI 60多个国家采用了这个ESG框架。其次是SARSB和ISO26000披露标准。美国和欧盟等国家或地区在资本市场中制定了相对成熟的ESG信息披露规则。

然而,当前ESG信息披露和ESG体系对于投资的指导价值尚未体现。特别是当企业选择自主披露时,存在信息选择性披露和“漂绿”等行为,容易对投资进行误导。未来如何甄别ESG真实信息,搭建ESG标准化体系,优化升级ESG投资量化管理分析工具,建立基于ESG信息的优化投资组合策略是未来资本市场的投资主流,也是研究的热点方向。

4.3 气候创新的国际合作机制

根据合作理论,国际气候治理的合作机制由气候变化多边主义、双边主义和跨国主义组成。相对应地,国际气候金融体系也主要包括三种类型的基金:多边气候基金、双边气候基金、区域和国家渠道的气候变化基金。然而,迄今为止各国对气候变化的进展尚不均衡,虽然近期多边会议和国际间协议中已经出现一系列集体行动和承诺,但截至目前各国仍然没有找到共同应对气候变化的正确方式。因此,国际社会共同应对的气候问题在落实过程中仍存在巨大的困境。

关于气候创新的国际合作机制,主要有以下几个方面值得探究:首先,完善气候创新的国际合作机制,考虑不同国家的制度复杂性和利益冲突,寻找有效的全球减缓和适应气候变化的方式,如可以在国际层面上成立核心技术合作小组、利用“一带一路”进行跨国气候相关合作等;其次,探究各国中央银行和金融监管机构如何采取协作机制及监管措施,引导金融机构填补资金缺口,推动

构建多元化的气候投融资治理体系,制定绿色金融工具和创新产品,并通过金融政策来防范和化解气候风险对金融稳定性的影响;最后,尝试将气候问题与其它国际问题联系到一起,并在国际合作过程中考虑更为广泛的可持续发展问题,如生物多样性、海洋生态系统管理等,实现气候变化与多个领域的协同创新发展。

5 结束语

后疫情时代,逆全球化思潮给全球各国应对气候变化的政策带来新的不确定性,金融解决方案在全球气候治理中的地位越发凸显,全球绿色发展的资金需求将会是海量的。将气候因素纳入风险管理框架,有效提升金融体系的气候风险管理能力是大势所趋,也是各国政府亟需解决的关键科学问题。当前,关于气候金融学理论体系构建、气候资产定价、ESG投资与实践、气候金融创新、气候政策金融化等面向气候治理实际需求的重大前沿问题还都悬而未决,气候金融发展的顶层设计和规划还缺乏科学依据,需要在理论层面给予更多的思考和探索。因此,如何更好地发挥金融在应对气候变化中的作用需要新的理论支撑,单一的金融学难以完全解决这些问题,需要将经济科学(能源经济学、气候经济学等)、管理科学、自然科学等多学科引入,气候金融学也将成为一门新的交叉学科支撑全球的绿色金融行动以及气候治理。特别是,我国气候金融的发展路径具有中国特色和时代特色,这就需要建立我们自己的气候金融学科体系,扩大气候金融在中国的理论创新和应用实践。

参考文献:

- [1] World Health Organization. Climate Change and Health [R/OL]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>, 2021.
- [2] Dell M, Jones B F, Olken B A. Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century [J]. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2012, 4(3): 66-95.
- [3] Stroebe J, Wurgler J. What do you think about climate finance? [J]. *Journal of Financial Economics*, 2021, 142(2): 487-498.
- [4] Zhang D, Zhang Z, Managi S. A bibliometric analysis on green finance: Current status, development, and future directions [J]. *Finance Research Letters*, 2019, 29: 425-430.
- [5] Watson C, Schalatek L. Climate Finance Regional Briefing: Middle East and North Africa [R]. *Climate Finance Fundamen-*

tals, 2020.

- [6]翁智雄,葛察忠,段显明,等. 国内外绿色金融产品对比研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(6): 17-22.
Weng Zhixiong, Ge Chazhong, Duan Xianming, et al. Analysis on the green financial products development and innovation in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(6): 17-22. (in Chinese)
- [7]徐戈,冯项楠,李宜威,等. 雾霾感知风险与公众应对行为的实证分析[J]. 管理科学学报, 2017, 20(9): 1-14.
Xu Ge, Feng Xiangnan, Li Yiwei, et al. Empirical study on the perceived risk of smog and public coping behavior [J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(9): 1-14. (in Chinese)
- [8]Addoum J M, Ng D T, Ortiz-Bobea A. Temperature shocks and industry earnings news [J/OL]. SSRN 2021, <https://ssrn.com/abstract=3480695> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3480695>.
- [9]Busch T, Hoffmann V H. Emerging carbon constraints for corporate risk management [J]. Ecological Economics, 2007, 62(3-4): 518-528.
- [10]Krueger P, Sautner Z, Starks L T. The importance of climate risks for institutional investors [J]. The Review of Financial Studies, 2020, 33(3): 1067-1111.
- [11]Rajnoha R, Lesnikova P, Krajčík V. Influence of business performance measurement systems and corporate sustainability concept to overall business performance "Save the planet and keep your performance" [J]. Economics and Management, 2017, 20(1): 111-128.
- [12]张增凯,彭彬彬,解伟,等. 能源转型与管理领域的科学研究问题[J]. 管理科学学报, 2021, 24(8): 147-153.
Zhang Zengkai, Peng Binbin, Xie Wei, et al. Scientific research issues in the field of energy transition and management [J]. Journal of Management Sciences in China, 2021, 24(8): 147-153. (in Chinese)
- [13]涂永前. 碳金融的法律再造[J]. 中国社会科学, 2012, (3): 95-113+207.
Tu Yongqian. Legal reshaping of carbon finance [J]. Social Sciences in China, 2012, (3): 95-113+207. (in Chinese)
- [14]Spash C L. The brave new world of carbon trading [J]. New Political Economy, 2010, 15(2): 169-195.
- [15]王许,姚星,朱磊. 基于低碳融资机制的 CCS 技术融资研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(4): 17-25.
Wang Xu, Yao Xing, Zhu Lei. Research on financing of CCS technologies: Based on the analysis of the low-carbon technology financing mechanism and practical experiences [J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(4): 17-25. (in Chinese)
- [16]Ji Q, Zhang D. How much does financial development contribute to renewable energy growth and upgrading of energy structure in China? [J]. Energy Policy, 2019, 128: 114-124.
- [17]Betzold C, Weiler F. Allocation of aid for adaptation to climate change: Do vulnerable countries receive more support? [J]. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 2017, 17(1): 17-36.
- [18]Weiler F, Klöck C, Dornan M. Vulnerability, good governance, or donor interests? The allocation of aid for climate change adaptation [J]. World Development, 2018, 104: 65-77.
- [19]Giglio S, Kelly B, Stroebel J. Climate finance [J]. Annual Review of Financial Economics, 2021, 13(1): 15-36.
- [20]Murfin J, Spiegel M. Is the risk of sea level rise capitalized in residential real estate? [J]. The Review of Financial Studies, 2020, 33(3): 1217-1255.
- [21]Baldauf M, Garlappi L, Yannelis C. Does climate change affect real estate prices? Only if you believe in it [J]. The Review of Financial Studies, 2020, 33(3): 1256-1295.
- [22]Bernstein A, Gustafson M T, Lewis R. Disaster on the horizon: The price effect of sea level rise [J]. Journal of Financial Economics, 2019, 134(2): 253-272.
- [23]Eichholtz P, Steiner E, Yönder E. Where, when, and how do sophisticated investors respond to flood risk? [J]. 2019, Available at SSRN 3206257.
- [24]Klassen R D, McLaughlin C P. The impact of environmental management on firm performance [J]. Management Science, 1996, 42(8): 1199-1214.
- [25]Hong H, Li F W, Xu J. Climate risks and market efficiency [J]. Journal of Econometrics, 2019, 208(1): 265-281.
- [26]Keele D M, DeHart S. Partners of USEPA climate leaders: An event study on stock performance [J]. Business Strategy and the Environment, 2011, 20(8): 485-497.
- [27]Ziegler A, Busch T, Hoffmann V H. Disclosed corporate responses to climate change and stock performance: An international empirical analysis [J]. Energy Economics, 2011, 33(6): 1283-1294.

- [28] Baker M , Bergstresser D , Serafeim G , et al. Financing the Response to Climate Change: The Pricing and Ownership of US Green Bonds [R]. National Bureau of Economic Research , 2018.
- [29] Hong H , Karolyi G A , Scheinkman J A. Climate finance [J]. *The Review of Financial Studies* , 2020 , 33(3) : 1011 – 1023.
- [30] Painter M. An inconvenient cost: The effects of climate change on municipal bonds [J]. *Journal of Financial Economics* , 2020 , 135(2) : 468 – 482.
- [31] 刘 倩 , 王 琼 , 王 遥. 《巴黎协定》时代的气候融资: 全球进展、治理挑战与中国对策 [J]. *中国人口·资源与环境* , 2016 , 26(12) : 14 – 21.
Liu Qian , Wang Qiong , Wang Yao. Climate financing in the era of Paris Agreement: Global progress , governance challenges and China’s countermeasures [J]. *China Population , Resources and Environment* , 2016 , 26(12) : 14 – 21. (in Chinese)
- [32] Schleich J , Ehrhart K M , Hoppe C , et al. Banning banking in EU emissions trading? [J]. *Energy Policy* , 2006 , 34(1) : 112 – 120.
- [33] Ehrhart K M , Hoppe C , Schleich J , et al. The role of auctions and forward markets in the EU ETS: Counterbalancing the cost-inefficiencies of combining generous allocation with a ban on banking [J]. *Climate Policy* , 2005 , 5(1) : 31 – 46.
- [34] Daskalakis G , Psychoyios D , Markellos R N. Modeling CO₂ emission allowance prices and derivatives: Evidence from the European trading scheme [J]. *Journal of Banking and Finance* , 2009 , 33(7) : 1230 – 1241.
- [35] Collier B , Skees J , Barnett B. Weather index insurance and climate change: Opportunities and challenges in lower income countries [J]. *The Geneva Papers on Risk and Insurance-issues and Practice* , 2009 , 34(3) : 401 – 424.
- [36] 田素妍 , 陈嘉烨. 可持续生计框架下农户气候变化适应能力研究 [J]. *中国人口·资源与环境* , 2014 , 24(5) : 31 – 37.
Tian Suyan , Chen Jiaye. Farmers’ adaptation to climate change within the sustainable livelihood framework [J]. *China Population , Resources and Environment* , 2014 , 24(5) : 31 – 37. (in Chinese)
- [37] 杜 莉 , 王 利 , 张 云. 碳金融交易风险: 度量与防控 [J]. *经济管理* , 2014 , 36(4) : 106 – 116.
Du Li , Wang Li , Zhang Yun. Risk during carbon finance transaction: Measuring and control [J]. *Economic Management* , 2014 , 36(4) : 106 – 116. (in Chinese)
- [38] 杜 莉 , 张 云 , 王凤奎. 开发性金融在碳金融体系建构中的引致机制 [J]. *中国社会科学* , 2013 , (4) : 103 – 119 + 206 – 207.
Du Li , Zhang Yun , Wang Fengkui. The inducing mechanism of development finance in the building of carbon finance system [J]. *Social Sciences in China* , 2013 , (4) : 103 – 119 + 206 – 207. (in Chinese)
- [39] Gren M , Carlsson M , Elofsson K , et al. Stochastic carbon sinks for combating carbon dioxide emissions in the EU [J]. *Energy Economics* , 2012 , 34(5) : 1523 – 1531.
- [40] Kaufmann R K , Hines E. The effects of combined-cycle generation and hydraulic fracturing on the price for coal , oil , and natural gas: Implications for carbon taxes [J]. *Energy Policy* , 2018 , 118: 603 – 611.
- [41] Lin B , Jia Z. Impacts of carbon price level in carbon emission trading market [J]. *Applied Energy* , 2019 , 239: 157 – 170.
- [42] Farid M M , Keen M M , Papaioannou M M G , et al. After Paris: Fiscal , Macroeconomic and Financial Implications of Global Climate Change [R]. International Monetary Fund , Discussion Notes , 2016.
- [43] Fay M , Hallegatte S , Vogt-Schilb A , et al. Decarbonizing Development: Three Steps to a Zero-carbon Future [M]. Washington DC: World Bank , 2015.
- [44] Strand J , Miller S , Siddiqui S. Long-run carbon emission implications of energy-intensive infrastructure investments with a retrofit option [J]. *Energy Economics* , 2014 , 46: 308 – 317.
- [45] Owen R , Brennan G , Lyon F. Enabling investment for the transition to a low carbon economy: Government policy to finance early stage green innovation [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability* , 2018 , 31: 137 – 145.
- [46] Battiston S. The importance of being forward-looking: Managing financial stability in the face of climate risk [J]. *Financial Stability Review* , 2019 , (23) : 39 – 48.
- [47] Bebbington J , Larrinaga-González C. Carbon trading: Accounting and reporting issues [J]. *European Accounting Review* , 2008 , 17(4) : 697 – 717.
- [48] Dietz S , Bowen A , Dixon C , et al. “Climate value at risk” of global financial assets [J]. *Nature Climate Change* , 2016 , 6(7) : 676 – 679.

- [49]Flammer C. Green bonds: Effectiveness and implications for public policy [J]. *Environmental and Energy Policy and the Economy*, 2020, 1(1): 95 – 128.
- [50]Tooze A. Why Central Banks Need to Step up on Global Warming [R]. *Foreign Policy*, 2019.
- [51]Aglietta M, Espagne É. Climate and Finance Systemic Risks, More than an Analogy? The Climate Fragility Hypothesis [R]. CEPII, Centre D'études Prospectives et D'informations Internationales, 2016.
- [52]Monnin P. Central Banks Should Reflect Climate Risks in Monetary Policy Operations [R]. *SUERF Policy Note*, Issue, 2018.
- [53]Van Lerven F, Ryan-Collins J. Central Banks, Climate Change and the Transition to a Low Carbon Economy: A Policy Briefing [R]. *New Economics Foundation*, 2017.
- [54]Olovsson C. Is Climate Change Relevant for Central Banks? [R]. *Sveriges Riksbank Economic Commentaries*, 2018.
- [55]Campiglio E. Beyond carbon pricing: The role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy [J]. *Ecological Economics*, 2016, 121: 220 – 230.
- [56]Campiglio E, Dafermos Y, Monnin P, et al. Climate change challenges for central banks and financial regulators [J]. *Nature Climate Change*, 2018, 8(6): 462 – 468.

Climate finance: Theoretical advancements, Chinese practice, and cutting-edge research

ZHANG Da-yong¹, ZHANG Yue-jun², WANG Yu-dong³, WANG Qun-wei⁴,
JI Qiang^{5,6*}

1. Research Institute of Economics and Management, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 611130, China;
2. Business School, Hunan University, Changsha 410082, China;
3. School of Economics and Management, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;
4. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China;
5. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
6. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: As the world actively responds to the challenge of climate change, there is a global consensus on the need to develop climate investment and financing. Within the framework of climate change, the theory of climate finance has emerged as a new interdisciplinary field that examines the relationship between climate change and financial activities. This paper provides a systemic definition of the concept and scope of climate finance, and presents a summary of the latest research progress in this field through bibliometric analysis. Additionally, this paper outlines the theoretical and practical advancements of climate finance in China, from the dimensions of funding support, academic organization development, and industry investment and financing activities. Finally, the paper concludes by discussing the theoretical frontier and potential application scenarios of the future development of climate finance discipline.

Key words: climate finance; emerging field; theory and practice; cutting-edge research