迈向碳中和：新能源金融研究进展与前沿方向探索

张跃军[1,2]，赵　文[1,2,*]

1. 湖南大学 工商管理学院，长沙 410082；
2. 湖南大学 资源与环境管理研究中心，长沙 410082

扫码阅读

摘　　要： 目前，全球能源体系正在向绿色化、低碳化加速转型。新能源金融作为推动新能源高质量发展的重要支撑，已成为能源金融研究的前沿领域。本文围绕资产定价、公司金融、金融体系、市场预测与风险管理五大维度，系统梳理了新能源金融的研究进展；在此基础上，结合现有研究局限以及新能源产业和金融领域的发展趋势，提出了该领域未来的重点研究方向，以期为推动新能源金融的理论深化和实践创新提供参考。

关 键 词： 新能源；金融；资产定价；预测；风险管理

中图分类号： F830　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 2097-4981(2026)01-0034-15

DOI：10.3724/j.issn.2097-4981.JECC-2025-0379

0 引言

全球能源体系正在经历以绿色化、低碳化为标志的深刻变革。加快推进新能源高质量发展是实现碳达峰碳中和（“双碳”）目标的关键路径，也是推动经济社会高质量发展、深度参与全球能源和气候治理的迫切需要。《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》明确提出，要“稳妥推进能源绿色低碳转型”。2025年9月24日，习近平主席在联合国气候变化峰会上宣布了中国新一轮国家自主贡献目标，提出到2035年全国风电和太阳能发电总装机容量达到2020年的6倍以上，力争达到36亿千瓦，体现了中国以更强决心、更大力度推动新能源高质量发展的深远谋划。在“十五五”规划时期，中国将在不断扩大新能源规模的基础上，着力提升新能源在能源体系中的主体地位和可靠供应能力，迈向更大规模、更高质量的平稳发展新阶段。

金融体系是推动新能源高质量发展的重要支撑。随着新能源产业补贴的逐步退出，以市场化机制运作的金融体系对于新能源发展的重要性日益凸显。国家发展和改革委员会、国家能源局在2022年联合发布的《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》中提出，要“建立支撑能源绿色低碳转型的财政金融政策保障机制”“加大对清洁低碳能源项目、能源供应安全保障项目投融资支持力度”，为促进新能源发展的金融管理和政策设计指明了方向。金融体系依靠资产定价、资源配置、风险管理三大功能，不仅可以填补新能源领域的融资缺口，更能够成为推动新能源高质量、可持续发展的关键引擎。

在此背景下，新能源金融已成为能源金融研究的重要前沿领域。为明确研究范围，本文首先对新能源产业和新能源金融的内涵进行界定。新能源产业指以先进技术为驱动，以太阳能、风能、核能、

收稿日期： 2025-11-19；**接受日期：** 2026-01-09

基金项目： 湖南省自然科学基金重点项目（2025JJ30028）；国家自然科学基金专项项目（72243003）；国家社会科学基金重点项目（22AZD128）

作者介绍： 张跃军（1980—），男，博士，教授，研究方向为资源与环境管理。E-mail：zyjmis@126.com

通讯作者： 赵　文（1997—），女，博士研究生，研究方向为资源与环境管理。E-mail：zhaowen626@126.com

引用格式： 张跃军, 赵文. 迈向碳中和：新能源金融研究进展与前沿方向探索[J]. 能源与气候变化, 2026, 2(1): 34−48.

ZHANG Y J, ZHAO W. Toward Carbon Neutrality: Recent Advances and Research Frontier Detection in New Energy Finance[J]. Journal of Energy and Climate Change, 2026, 2(1): 34−48.

生物质能、氢能及其他清洁低碳能源的开发和利用为核心，包括原材料获取、设备制造、应用服务的全产业链。新能源金融则旨在探究如何通过金融工具、市场机制和相关政策设计推动新能源产业发展，并系统管理和控制新能源发展过程中可能出现的金融风险。其基本内涵包括完善新能源资产定价机制，改善企业投融资决策与绩效，强化金融工具和政策支持效果，提高新能源市场预测精度，识别与管理新能源市场风险等。

新能源金融与绿色金融、气候金融、能源金融、可再生能源金融等概念密切相关，但各有侧重。绿色金融关注环境改善和资源清洁高效利用目标相关的金融活动；气候金融主要研究气候变化减缓和适应相关的金融活动[1]；能源金融基于能源的“商品–金融”双重属性，重点探讨能源价格形成机制、市场风险管理、能源项目融资、能源结构优化、节能减排和新能源开发等多个方面的问题[2]；可再生能源金融则聚焦太阳能、风能等可再生能源发展中的融资问题[3]。

其中，可再生能源金融与本文所关注的新能源金融关系最为密切。现有可再生能源金融文献综述大多局限于评估各类政策或融资工具对可再生能源发展的促进效果，并探讨最佳政策组合设计问题，主要存在两方面不足：1）研究对象较为局限，集中于太阳能、风能等可再生能源的生产环节，对新能源产业链的其他环节关注不足；2）研究内容相对单一，主要关注可再生能源领域的融资问题，未能从资产定价、资源配置与风险管理等金融核心功能出发，系统地理解新能源金融市场的整体运行机制，尤其对新能源资产定价与风险管理等问题的探讨尚不充分。

为弥补以上研究的不足，本文在研究对象和研究内容两个方面对已有相关研究进行拓展。在研究对象方面，除太阳能、风能等可再生能源外，本文进一步扩展到新能源产业链上游的关键金属（如锂、钴、镍、铜等）及下游的新能源汽车和储能等行业；在研究内容方面，本文从新能源融资问题拓展到资产定价、公司金融、风险管理等更为广泛的金融管理领域。本文通过建立一个更加全面、系统的新能源金融研究框架，以期把握新能源产业与金融体系互动的内在机理，并为相关政策的制定和学术研究提供新的视角和参考。

通过对现有文献进行梳理，本文提炼出新能源金融的5个主要研究方向：新能源资产定价、新能源公司金融、金融体系与新能源发展、新能源市场预测、新能源风险管理。具体研究内容及内在逻辑关系如图1所示。其中，新能源资产定价是核心，研究对象主要包括新能源公司的股票、债券以及锂、钴、镍、铜等新能源关键金属。新能源资产定价研究通过揭示新能源资产的价格形成机制，为新能源市场预测与风险管理提供理论支撑，同时为金融体系支持新能源发展提供价格信号，从而引导资源的有效配置，为新能源公司的融资和投资提供资源支持。

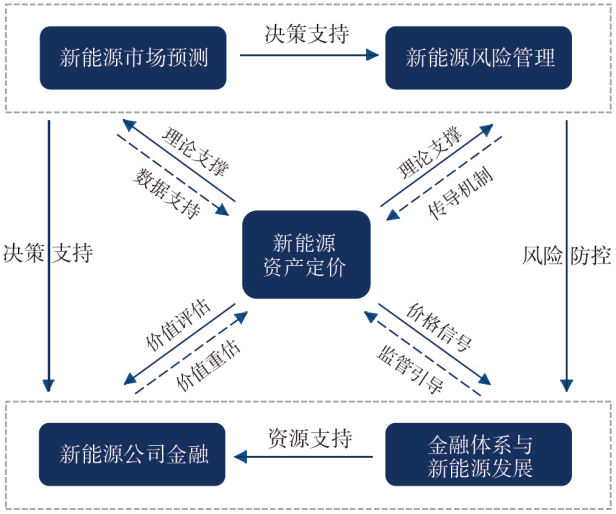


图 1 新能源金融研究内容及其逻辑关系

Fig.1 Research contents of new energy finance and its logical relationship

综上所述，本文从新能源高质量发展的需求出发，围绕资产定价、公司金融、金融体系、市场预测与风险管理五大维度，梳理新能源金融领域研究脉络和进展，归纳现有研究的不足，并结合新能源产业和金融领域的研究前沿，提出未来新能源金融领域值得深入探索的重点研究方向。本文旨在推动新能源金融领域理论体系的进一步完善和发展，助力中国新能源高质量发展及“双碳”目标的实现。

1 新能源资产定价

新能源资产定价主要探讨新能源相关金融资产

的价格形成机制、风险与收益的关系。研究对象主要包括新能源公司的股票、债券以及锂、钴、镍、铜等新能源关键金属。金融市场定价机制是资源配置的核心机制。因此，金融市场定价效率高低决定着资本能否合理流向新能源产业[1]。但是，与传统能源相比，新能源资产的定价机制更加复杂，具有较强的政策敏感性和技术依赖性。现有研究揭示了影响新能源股票、债券和关键金属价格的复杂驱动因素。

1.1 新能源股票定价

新能源股票的合理定价通过反映市场对公司未来成长的预期，为新能源企业股权融资提供定价基准。现有研究重点关注影响新能源股票价格的潜在驱动因素及市场定价效率等问题。

1.1.1 行业基本面因素

传统能源价格、有色金属价格等基本面因素会通过影响新能源企业的盈利能力、市场竞争力，从而影响新能源股票价格。相关研究显示，传统能源价格会通过替代效应与成本效应两种机制，对新能源公司的股票估值产生影响[4-5]。PHAM[6]则认为传统能源与新能源股票之间的关系并不固定，而是会随着不同的新能源子行业呈现出结构性的变化。具体而言，生物燃料和能源管理股票与油价关联程度较高，而风能、地热和燃料电池股票则与油价关联程度较低，体现出传统能源价格对新能源股票价格影响的复杂性。此外，越来越多的学者发现，新能源股票价格的“科技属性”大于“能源属性”。例如，FERRER等[7]发现科技股的价格冲击对新能源股价有显著的正向影响，并且这种影响大于原油价格冲击，这意味着新能源股价与技术创新类资产受到类似的驱动因素影响。INCHAUSPE等[8]进一步引入了状态空间模型和时变贝塔系数，从动态的角度验证了科技股作为新能源股票定价因子的持续性，指出新能源行业高度依赖材料科学、智能制造等前沿科技领域的技术进步，从而加强了其“科技属性”的主导地位。

锂、钴、镍、铜等有色金属是新能源产业的关键原材料，其资源稀缺性和价格周期性波动通过直接影响新能源产业全链条成本，从而影响新能源股票估值。因此，有色金属价格也是新能源股票价格的重要驱动因素之一。例如，CHEN等[9]的研究表明，锂、钴等有色金属价格冲击对清洁能源股票的影响是非对称的：在熊市里由于存在成本下降预期而呈正向影响，在牛市里却因为供应链担忧而呈负向影响，在COVID-19等危机期间这种非对称性被进一步放大。GHOSH等[10]也指出，在清洁能源需求激增、供应链压力加剧的背景下，铜、镍两种重要的有色金属对可再生能源股票价格产生了较大影响。这与国际能源署对于能源低碳转型将促使铜、镍需求增加的预测相吻合，揭示了有色金属在能源转型中的关键地位及其对新能源股票市场产生的重要影响。

1.1.2 宏观风险与政策因素

气候风险是影响新能源股票价格的重要因素，分为物理风险和转型风险。物理风险（如极端天气事件等）主要通过破坏企业的生产设施、扰乱供应链的正常运转，从而直接影响企业的当期盈利和未来现金流。相关研究表明，气候物理风险对中国可再生能源股票的收益率和波动率存在U型非线性影响：随着气候物理风险的增加，可再生能源股票的收益率先下降后上升[11]。这说明虽然气候物理风险会对企业的生产和成本产生负面影响，从而抑制股价，但是随着物理风险信号增强，投资者会对可再生能源股票的前景产生良好预期，从而推动股价上涨[11]。转型风险指在全球低碳转型过程中，由于政策、技术和市场偏好的系统性变化而产生的风险。随着全球低碳转型的不断推进，各国政府相继出台了多项促进可再生能源发展的政策措施。政策的变动以及由此产生的不确定性均会对投资环境、可再生能源股票的市场需求产生影响。转型风险通过影响市场对气候变化及其潜在后果的认知和担忧，以及对新能源行业发展前景的认知，从而影响新能源股票的估值。现有研究表明，股票市场已经对转型风险进行定价，在气候担忧加剧时，绿色公司的股票表现优于棕色公司[12]，并且清洁能源股票价格会对《巴黎协定》等气候变化政策做出积极反应[13]。值得注意的是，信息不对称会加大转型风险的定价偏差。JAFFE[14]认为，能源公司缺乏气候信息披露容易引发金融市场的羊群行为，造成资本错配及潜

在的系统性风险。

除此之外，地缘政治风险、经济政策不确定性和供应链中断等外部不确定性因素也会对新能源股票价格造成重要影响。然而，现有研究对这些因素的影响方向尚未达成一致结论。大量研究表明，地缘政治风险和经济政策不确定性会对包括新能源股票在内的资产价格造成负面影响[15-16]。地缘政治风险会直接影响新能源产业链上游的资源供应安全，导致清洁能源金属股票价格产生极端波动，同时加大清洁能源金属股票市场的共同波动性[17]。但是也有证据表明，在地缘政治风险或经济政策不确定性高企时期，投资者可能会将新能源等绿色资产作为避险或分散风险的工具，使得地缘政治风险和经济政策不确定性对新能源股票的估值产生积极影响[18-20]。供应链中断的影响则呈现出较为复杂的传导机制。一方面，供应链中断会造成新能源组件的生产和交付延迟，直接影响中游制造环节的原材料可得性与生产成本，从供应端降低新能源企业的股票估值[21]；另一方面，供应链中断常常会暴露出传统能源体系的脆弱性，促使新能源领域的投资增加，以减少对单一能源的依赖，从而对新能源股票估值产生积极影响[22]。

1.1.3 投资者情绪与行为因素

投资者情绪与行为也会对新能源股票市场产生重要影响。例如，SHEN等[23]采用长短期记忆（Long Short-Term Memory，LSTM）网络构建了投资者情绪指数，发现与传统能源企业相比，投资者情绪对新能源企业的股票收益影响更大。SONG等[24]利用谷歌搜索指数来衡量投资者对可再生能源的关注度，发现投资者对可再生能源关注度的提高会推动其股价上涨。此外，不同区域市场投资者的行为存在异质性。例如，LEI和SHCHERBAKOVA[25]以2011年福岛核电站事故为自然实验，探究了环境和气候变化公众舆论如何影响全球煤炭和可再生能源公司股票在欧洲和美国证券交易所的异常收益率，发现仅在欧洲交易所交易的全球可再生能源公司的股票异常收益率是仅在美国市场交易主体的两倍。这种定价分歧表明，欧洲市场的投资者对可再生能源股票的盈利能力持有更积极的看法，而美国市场的投资者则对煤炭股票盈利预期持有积极态度，体现了不同区域投资者的气候情绪差异对新能源股票定价的影响。

1.1.4 市场定价效率

除新能源股票价格的影响因素外，也有学者对新能源股票市场的定价效率进行了深入探讨。例如，BOHL等[26]认为新能源股票市场可能存在非理性繁荣，并采用上确界增广迪基−富勒（Augmented Dickey-Fuller，ADF）检验和马尔可夫区制转换ADF检验对德国可再生能源股票指数进行了分析，发现其在2005年前后存在投机性泡沫的证据，揭示了新能源行业在经历了初期的高速增长之后，由于激烈的竞争和宏观经济下行而出现市场表现反转的现象。NARAYAN[27]采用价格发现模型和Fama五因子模型，检验了2010年10月—2022年3月11个纳斯达克OMX清洁能源股票指数的价格发现和错误定价行为，发现外部冲击下不同子行业的股票价格发现速度并不相同。能源管理、光伏等“先行股票”率先做出调整，而生物质能等板块则调整较慢，并且清洁能源股票普遍存在错误定价。其中，风能、光伏等板块长期被低估，而生物质能、地热能、储能等板块则被系统性高估。

1.2 新能源债券定价

绿色债券是新能源企业为新能源项目开发、建设、运营筹集资金的重要途径之一[28]。目前，研究主要围绕绿色溢价的存在性展开讨论，但是结论仍存在争议。大多数研究认为，包括新能源公司债券在内的绿色债券具有融资成本优势，即存在绿色溢价，表现为发行时收益率低于传统债券，降低了发行人的融资成本[29]。但也有学者持不同观点。例如，FLAMMER[30]发现，企业发行绿色债券主要是作为环境承诺的可信信号，发行后企业的绿色创新行为有所增加，但相较于传统债券，绿色债券并没有在定价上表现出明显优势，即不存在绿色溢价。

为进一步揭示绿色溢价的动态特征，PIETSCH和SALAKHOVA[31]对2016—2023年的欧洲绿色债券市场进行了分析，发现绿色溢价在2020年前并不明显，在2020—2022年初由于能源危机和货币紧缩的影响达到峰值，之后逐渐收窄。此外，该研究进一步发现散户投资者对银行绿色债券的增持行为是造成这一现象的主要原因。具体而言，散户投资者持

有的绿色债券收益率达到−6.4个基点，是其他绿色债券的两倍，反映出投资者行为和市场动态在绿色溢价形成过程中的复杂互动机制。

1.3 新能源关键金属定价

新能源关键金属（如锂、钴、镍、铜等）价格是决定新能源技术生产成本的重要因素，主要受供需基本面的影响。现有研究从矿产生产、产业链结构、地缘政治及技术路线演进等方面分析了新能源关键金属供需结构与价格的影响因素。在矿产生产方面，大部分能源转型金属来自铜矿和镍矿的共伴生矿，其生产活动对价格信号反应迟钝，从而加剧了新能源关键金属的价格刚性[32]。

在产业链结构方面，赵怡然等[33]采用贸易依赖网络模型分析了贸易依赖网络结构对钴价格的动态影响，发现上游钴矿价格主要受上下游贸易依赖强度的影响，中游产品价格则更易受中下游中介控制优势的影响。SUN等[34]发现这种产业链传导机制在锂−钴−镍系统中更为复杂。

在地缘政治方面，新能源关键金属在全球范围内的地理分布并不均衡，储量和生产集中度相对较高。因此，地缘政治风险冲击会对关键金属的供需平衡造成影响，从而间接影响其价格波动[35]。

在技术路线演进方面，不同技术路线的金属需求存在结构性差异。例如，高镍三元材料大幅提高了对镍、钴的需求，磷酸铁锂电池虽然减少了对钴的依赖，但是增加了对锂、磷的需求[36]。MÅNBERGER和STENQVIST[37]进一步从动态视角出发，揭示了太阳能光伏、风力发电、电动汽车和电池等领域的技术路线选择对未来金属需求的影响。结果表明，如果技术路线依赖储量有限或者产能增长缓慢的金属（如锂、钴等），则需求增加将会推高金属价格，而技术替代（如铝代铜、无稀土永磁电机等）则可以缓解特定金属的价格压力。因此，推动材料替代和技术多样化有助于维持关键金属供需平衡和价格稳定。

2 新能源公司金融

新能源公司金融从微观视角出发，重点关注新能源企业的融资、投资和企业绩效等相关问题，研究主要涵盖新能源企业的资本结构优化、投资决策及财务绩效管理等方面。新能源企业的投融资决策不仅与企业的生存和扩张息息相关，也影响着企业的市场竞争力和可持续发展。与传统能源企业相比，新能源企业在生命周期的各个阶段会面临更为突出的融资约束、技术风险与政策依赖性。因此，其决策模式也更容易受到资本结构、投资效率和政策环境的影响。已有研究围绕新能源企业投融资决策的影响因素和绩效表现进行了深入研究。

2.1 资本结构与融资成本

新能源企业的融资约束与其发展阶段和外部环境有关。新能源企业与传统能源企业在融资与投资关系方面存在明显差异。相较于传统能源企业，新能源企业更加倾向于内部融资。虽然该融资方式可以降低代理成本，但是会使得其投资行为更容易受到历史财务绩效和经济周期波动的影响[38]。

就发展阶段而言，新能源企业融资约束具有明显的阶段性特征。在发展初期，由于技术风险及信息不对称，可再生能源企业面临较高的债务成本。但是随着技术成熟及市场认可度提高，其融资优势逐渐显现，并且在银行业发达、环境政策较为严格的经济体中，可再生能源公司的债务成本相对较低[39]。在成长期，清洁能源业务拓展可以向市场传递积极的信号，从而改善企业的外部融资条件，这种积极效果在政府与市场协同程度较高的制度环境中更加明显[40]。

从外部环境来看，政府的财政激励措施对缓解新能源企业融资约束发挥了重要作用。研发补贴和税收优惠除能直接改善企业现金流状况外，还能通过“认证效应”降低银企之间的信息不对称程度，从而提高企业的信贷可得性[41]。在市场化程度较低的时期，政治关联有助于拓宽新能源企业的外部融资渠道，提高资本配置效率[42]。数字金融发展也有利于缓解新能源企业的融资约束，但是对于融资约束较为严重的企业，其积极效应会有所减弱[43]。此外，外部市场信号也会对新能源企业的融资约束产生影响。研究显示，当煤炭市场价格出现预期之外的上涨时，市场对能源替代的关注度增加，新能源业务增长迅速的企业更容易获得资本投资，从而缓

解其融资约束[44]。

2.2 投资行为与投资效率

在有限的资本条件下如何优化资本配置、提高投资效率成为新能源企业面临的主要问题。研究显示，中国可再生能源行业（尤其是生物质能与风能行业）存在明显的过度投资问题。不合理的资本结构会导致企业资源配置扭曲[45]。企业的投资决策受到内部治理和外部环境的双重影响。例如，企业的绿色技术投资决策会受到信贷约束和绿色管理能力的共同影响，严格的融资限制、薄弱的环境治理能力会导致企业绿色技术投资不足[46]。政治关联对投资效率的影响则取决于企业所处的制度环境：在市场化程度较低的时期，政治关联会通过缓解融资约束来提高企业的投资效率；但是当市场化程度较高时，其边际作用明显减弱[42]。此外，资本市场的信息效率也会影响企业的投资决策。新能源企业的投资活动对于股价信息含量表现出较强的敏感性，体现了资本市场对于新能源领域资源配置的引导作用[47]。

2.3 企业创新与财务绩效

政府和市场在新能源企业的创新活动与财务绩效转化过程中发挥着重要作用。在创新活动方面，可再生能源企业的创新活动对于融资约束的敏感程度较高，其专利产出对现金流的依赖程度显著高于化石燃料企业[48]。现有研究显示，研发补贴可以通过缓解融资约束，促进新能源企业的技术创新，且该促进效果受企业金融化水平和区域知识产权发展程度的影响[49]。电价补贴则会扭曲市场信号，从而抑制上游装备制造业企业的创新活动[50]。新能源企业增值税优惠政策虽然可以促进企业规模扩张，但是也会挤占企业的研发资源，对企业技术创新造成负面影响[51]。随着政府补贴缺口不断扩大，以风险投资为代表的市场化激励方式对新能源技术创新的作用日益凸显。风险投资会通过“资金增加效应”、“创新倾向提高效应”和“股东积极主义效应”3种机制，显著改善新能源企业的创新绩效。这为补贴退坡背景下依靠市场力量推动新能源技术创新提供了指引[52]。

在绩效转化方面，不同类型的财政税收激励措施对企业财务绩效的影响效果存在差异。现有研究表明，政府补贴并不能改善新能源企业的财务绩效，反而会导致企业出现寻租行为和产能过剩，从而产生负面效应[53]。而“双积分”政策等市场化机制设计，则有利于提高新能源汽车产业链企业的财务绩效[54]。除此之外，风险投资、私募股权等市场化资本的参与，能够在为绿色企业注入资金的同时，通过改善公司治理对绿色股票长期市场表现产生积极影响[55]。

3 金融体系与新能源发展

金融体系与新能源发展的相关研究则从中观和宏观视角出发，聚焦于融资渠道、金融监管体系及财政金融政策对新能源产业发展的整体影响。多层次、多元化的金融体系通过丰富的金融工具、交易市场和制度设计，对新能源产业的融资成本与结构、投资规模和创新活动等产生影响。现有研究主要从间接融资、直接融资、金融监管和财税政策协同4个渠道出发，探究金融体系促进新能源产业发展的作用机制与实际效果。

3.1 间接融资渠道

间接融资渠道主要指通过金融中介机构（如商业银行、政策性银行及开发性金融机构等）进行资金融通，其在引导资金流向新能源领域、管理低碳转型相关的金融风险方面发挥着关键作用。其中，银行信贷是最主要的形式。有效的间接融资支持的核心在于通过风险共担机制来动员私人资本。然而，从理论上看，由于新能源技术早期融资存在高昂的筛选成本和技术学习外部性，银行信贷供给天然不足，单纯的公共直接贷款并不能有效激励私人银行涉足高风险的早期项目，反而会挤出私人资本；而信用担保或利率补贴等“去风险”工具可以有效地将学习溢出效应内部化，从而引导私人资本进入。因此，公共贷款与“去风险”措施的政策组合被认为是最优解[56]。

经验证据显示，全球出口信贷机构对于可再生能源的支持比例虽在逐渐上升，但投资组合仍然以化石燃料为主；同时，绿色化进程促使更多的资金

流向风险相对较低的高收入国家，造成资本的空间错配，反映出通过金融工具创新来转变公共金融机构风险偏好的迫切性[57]。其中，中国的政策性银行已经成为全球发展融资领域的领导者，特别是在发展中国家的能源项目方面。中国的政策性银行和基金使全球新能源等领域的融资可得性增加了一倍，但其资产组合也面临严峻的国家、气候和社会风险，迫切需要向更加可持续的方向转变[58]。

3.2 直接融资渠道

直接融资渠道指企业通过直接在证券市场发行股票、债券和资产证券化产品等方式筹集资金。直接融资渠道具有市场化定价与风险分散机制，可以为投资规模大、投资周期长的新能源产业提供融资成本更低的长期资本支持。一项针对中国的研究显示，金融发展对可再生能源增长的贡献率高达42.42%[59]。其中，资本市场是最主要的驱动因素，体现出发展本土多层次资本市场对于能源转型的重要意义。股票市场的发展可以通过促进可再生能源技术革新，从而推动经济的低碳转型[60]。也有研究强调，股票市场对可再生能源产业的促进效应与区域金融市场环境密切相关，仅在南方和能源丰富地区作用明显[61]。针对经合组织国家的研究显示，股票和信贷市场的协同发展促进了清洁能源生产，且该促进作用在碳强度高或者化石燃料供应较少的国家中更加明显[62]。

绿色债券市场可以通过绿色溢价机制使新能源企业用比同类型普通债券更低的成本融资。一项基于全球样本的研究显示，绿色债券在短期和长期均会推动可再生能源的生产，在技术储备雄厚、气候风险感知能力强、信贷市场成熟的国家，绿色债券的长期积极影响更加明显[63]。从区域实践来看，绿色债券被证明是推动东南亚地区可再生能源部署的一种有效融资方式[64]。

资产证券化正成为新能源领域的重要融资方式，近年来在中国市场逐渐兴起，尤其是在光伏、风电领域。不动产投资信托基金（Real Estate Investment Trusts，REITs）作为一种典型的资产证券化产品，通过将不动产资产或者相关权益转化成可以公开交易的证券，达到盘活存量资产、提高资金使用效率的目的，特别适合为投资规模大、运营周期长的新能源项目提供融资[65]。相关研究显示，绿色程度更高的REITs更容易获得可持续发展挂钩贷款，且贷款利率更低，这为REITs开展节能改造和持有绿色资产提供了直接的财务激励[66]。就绩效转化而言，REITs投资组合的绿色程度与资产回报率、股本回报率与运营资金效率等指标存在正相关关系，说明投资绿色低碳领域的REITs会有更好的财务和运营绩效[67]。

3.3 金融监管体系

金融监管体系通过塑造金融系统中的激励和约束机制，成为管理转型风险、引导资本流向的制度基础。传统的金融监管范式已被证明存在转型阻力，其监管资本要求等规则的制定需要依靠基于历史数据的风险模型，导致高估低碳资产风险、低估高碳资产风险，从而无形中惩罚了绿色投资，所以需要对金融监管体系进行根本性的“绿色化”改革[68]。

在此背景下，中央银行应主动运用宏观审慎工具，通过设定差别化存款准备金率或者调整合格抵押品规则，为绿色资产提供更优惠的监管待遇，从而引导信贷资金流向新能源等低碳转型领域[69]。在非常规货币政策方面，“绿色量化宽松”引发了广泛讨论。尽管理论模型结果表明，央行通过调整资产购买结构，可以有效引导资金流向新能源等低碳转型领域[70]，但在实际操作中仍然存在诸多挑战。例如，可以纳入央行操作框架的合格绿色资产范围相对有限，标准门槛逐渐提高[71]；当监管透明度不足时，可能存在寻租风险[72]等。这些问题会削弱政策的传导效率和实际效果。

3.4 财税政策协同

由于存在碳排放外部性和知识溢出效应的双重市场失灵，单纯依靠金融市场难以实现新能源领域资源的有效配置。财税政策作为重要的外生激励工具，通过碳定价、政府补贴和税收优惠等方式，能够矫正市场失灵，为新能源产业提供资金支持与引导，从而与金融政策形成政策协同，共同促进新能源发展。现有学者从单一政策工具和政策组合的视角探讨了各类财税政策对新能源产业投资的影响。

碳定价可以通过提高化石燃料的使用成本，促

使投资者和企业转向可再生能源。XU和YANG[73]通过跨国比较研究发现，碳排放权交易体系对可再生能源发电量的总体提升效应大于碳税，但是碳税在边际提升效果上更加有效，两者均是通过抑制化石能源发电和引导公共投资来发挥作用。此外，高收入国家由于服务业占比高、工业外迁等原因，能源需求增长速度放缓，碳定价政策对可再生能源的边际推动作用较小。因此，政策设计要与经济发展阶段相匹配。CARLOS MUÑOZ等[74]探讨了碳定价政策与跨境电力贸易价格管制对发电投资的综合影响，发现碳定价政策可以部分抵消跨境电力贸易中的价格管制对可再生能源投资产生的负面影响，且碳排放权交易比碳税的效果更好。

然而，碳定价政策的作用有限，一般需要与政府补贴等其他政策协同实施。ACEMOGLU等[75]指出，只依靠碳税而延迟发放研发补贴会造成较大的福利损失，最优的环境监管政策组合应当同时包括碳税和研发补贴，在控制碳排放的同时促进低碳技术创新。由于各国政府对征收碳税持谨慎态度，当碳定价不完善时，政策制定者倾向于使用次优的政府补贴来鼓励可再生能源投资[76]。PENG等[77]对中国所有氢气生产类型的省级平准化成本和生命周期温室气体排放进行了综合分析，发现对可再生氢气的补贴对于加速低碳电解氢的开发至关重要，同时还会提供具有成本效益的二氧化碳当量减排。随着可再生能源的市场渗透率提高，其最佳补贴率会下降，转向提高储能补贴[78]。

关于税收优惠政策的实施效果，现有研究尚未得出一致结论。例如，SAHU等[79]基于2001—2015年印度制造业的数据发现，补贴可再生能源并允许将其纳入税收抵免或免税条款，有助于促进可再生能源的使用。HILLE和OELKER[80]基于2005—2018年189个国家的平衡面板数据，分析了可再生能源政策工具对可再生能源普及的影响，发现投资税收抵免政策可以有效提高国家的可再生能源容量，但是销售相关税收减免政策的效果较差。

4 新能源市场预测

新能源市场预测研究旨在运用定量模型与数据分析方法，对新能源资产的市场价格及其波动进行预测。准确预测市场价格及其波动，是投资者进行资产配置与风险管理的决策前提。但是受技术迭代、政策调整和气候变化等多重因素的影响，新能源资产价格呈现出高波动性、非线性与结构性突变等复杂特征，给新能源市场预测带来了严峻挑战。已有研究主要从预测因子选择以及预测模型开发两方面展开研究。

4.1 预测因子选择

预测因子是模型构建的基础，学者从最初直接采用宏观经济等基本面指标，逐渐转向基于多模态数据构造政策不确定性、市场情绪等复杂指标。早期的新能源市场预测研究主要采用传统的宏观经济变量，如利率、汇率与工业产出指数等。例如，朱学红等[81]研究发现，在高频波动模型中引入经济需求、成本和货币等外部冲击变量，可以有效提高对中国有色金属价格波动的预测能力；BROWN和HARDY[82]则证明汇率预期对铜、镍等多种有色金属的收益率具有预测作用。

随着机器学习技术的发展，学者在非结构化数据信息挖掘方面取得了重大进展。例如，LIANG等[83]发现基于新闻文本构建的气候政策不确定性指数可以显著提高可再生能源股票波动预测的准确性，说明政策信号质量在预测中具有重要作用。HERRERA等[84]利用自然语言处理技术从社交媒体提取投资者情绪，证明了基于社交媒体的投资者情绪指标能够显著提高可再生能源股票收益率和波动的预测效果。类似地，LOUTFI[85]利用英国广播公司等环境新闻广播文本构建了投资者情绪指标，发现该指标也可以改善对可再生能源股价的预测表现。

4.2 预测模型开发

由于复杂多维的预测因子与经济金融变量之间通常存在非线性关系，新能源市场预测模型逐渐从传统计量模型向机器学习与混合集成算法发展。早期的时间序列预测研究主要依赖自回归整合移动平均、广义自回归条件异方差（Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity，GARCH）等传统计量模型及其拓展模型[86]。这类模型在平稳的市场环

境下可以保持较好的稳健性，但是难以捕捉新能源市场中复杂的非线性特征。因此，机器学习和深度学习逐渐成为主流预测方法，如支持向量机、广义回归神经网络、LSTM网络、随机森林和循环神经网络等。例如，OZDEMIR等[87]采用LSTM网络、门控循环单元等深度学习模型，对镍、铝、铜等8种金属的月度价格进行了中长期预测，得到了优于传统模型的预测效果。

此外，由于单一预测模型容易受模型设定偏误的影响，混合集成算法也被广泛应用到预测模型的优化中。通过综合多个模型的优势，混合集成算法可以提高模型的准确性、稳定性和泛化能力，在处理复杂任务和大规模数据时表现尤为突出。例如，GU等[88]提出了一种基于经验小波变换和梯度提升决策树的混合集成模型，用于预测伦敦金属交易所镍的结算价格，发现信号分解和集成学习相结合可以有效提高镍价格的样本外预测效果。

5 新能源风险管理

新能源风险管理研究主要包括新能源资产风险识别与测度，风险传导路径及其影响评估，以及相应的风险管理措施制定等。在产业快速发展的过程中，新能源领域面临日益复杂的风险环境。因此，风险管理对于相关企业、投资者和政府有关部门具有重要意义。现有研究主要围绕风险测度、市场间风险传导、外部冲击影响以及风险管理等方面展开探讨。

5.1 风险测度与传导分析

新能源资产的风险测度与传导机制分析是理解其风险特征的前提。该领域的研究侧重于使用先进的计量方法对新能源资产风险进行测度，并从微观、产业链和跨市场3个视角来揭示新能源市场间的风险传导机制。

（1）风险传导机制方面。从微观层面来看，ZHENG等[89]基于中国66家新能源上市公司5 min高频数据构建了非对称溢出指数，发现新能源股票市场风险大于总体市场，投资者对负面信息更加敏感，且具有很强的短期投机倾向，反映出负面冲击下新能源股票市场的内在脆弱性。从产业链层面来看，CHEN等[90]绘制了中国能源产业链风险传递图谱，发现中国能源业在极端条件下风险溢出加剧至80%，主要从下游电力、有色金属等行业向上游煤炭等行业传导。从跨市场层面来看，REBOREDO[91]运用条件风险价值（Conditional Value at Risk，CoVaR）方法分析了石油和可再生能源股票市场的系统性风险，发现油价变动对可再生能源股票市场风险的贡献度高达30%，表明传统能源价格波动会对新能源资产产生风险外溢效应。

（2）风险测度方法方面。目前，风险测度方法逐渐由静态分析框架转向动态复杂的系统分析框架。尽管GARCH族模型、Diebold-Yilmaz溢出指数等传统方法仍被广泛使用，但是其在捕捉新能源市场的非线性、高维动态等复杂特征方面存在明显短板。因此，学者引入网络分析、分位数回归和时频分析等方法以增强模型的适用性。例如，CHEN等[90]基于分位数向量自回归（Quantile Vector Autoregression，QVAR）模型与Diebold-Yilmaz溢出指数，构建了中国产业链尾部风险网络分析框架。GOUTTE和MHADHBI[92]基于时变参数向量自回归（Time-Varying Parameter Vector Autoregression，TVP-VAR）模型构造了Diebold-Yilmaz溢出指数，以捕捉风险传导机制的动态演变特征。BARUNÍK和KŘEHLÍK[93]提出了一种频域连通性方法，可以刻画短期、中期和长期等各个时间尺度下风险传导的频域特征。在此基础上，QIAO等[94]进一步将分位数回归与BARUNÍK和KŘEHLÍK[93]的频域分析框架嵌入TVP-VAR模型中，构建了TVP-QVAR-BK模型，从时域和频域双重维度分析了清洁能源与能源金属等市场之间的极端风险传导机制。

5.2 外部冲击与风险管理

新能源金融市场会受到能源供需、关键金属价格波动、地缘政治事件及气候变化等多重外部冲击。相关研究试图揭示新能源市场外部冲击的风险传导路径，并制定有效的风险管理策略。例如，CAO等[95]利用时变参数结构向量自回归−随机波动模型探讨了结构性化石能源价格冲击和经济政策不确定性对新能源股票市场的影响，发现化石能源供给与需求冲击在短期内会提高新能源股价，但是风险冲击

和经济政策不确定性会对新能源股价产生显著的负向影响，体现了政策预期管理对稳定市场的重要性。GOUTTE和MHADHBI[96]基于TVP-VAR模型揭示了能源金属（稀土、铝、铜）和绿色电力市场之间存在风险溢出效应，且在2016年和2021年等危机时期更加明显，说明金属价格波动加剧会对清洁能源指数造成重大影响，建议投资者通过供应链多元化和实时监测来应对相关风险。DUTTA和DUTTA[97]利用两状态马尔可夫制度转换模型发现，地缘政治风险上升会导致可再生能源交易所交易基金的波动性下降，突出了地缘政治风险下新能源资产的“避风港”属性。DAI等[98]基于时域和频域溢出分析法发现，气候变化关注对石油、太阳能等能源市场的短期风险传导更加频繁，并基于t-copula模型和动态条件相关广义自回归条件异方差模型，提出了气候变化关注与能源市场之间的最佳对冲比率和最佳投资组合权重策略，为气候风险下能源投资者投资组合构建和风险对冲提供了解决方案。

6 未来研究方向

6.1 新能源资产价格驱动因素的交互机制与动态演化研究

现有研究对新能源资产价格的驱动因素与市场定价效率进行了较为系统地梳理，但仍存在一定不足。1）忽略了各类驱动因素间的复杂交互机制。现有文献大多集中于单一或少数几个因素的独立影响，未能反映出现实中多种因素之间的联动与反馈效应。例如，投资者情绪可能会放大政策信号的市场反应。具体而言，明确的利好政策信号在投资者乐观情绪的推动下，会进一步提高绿色资产的溢价水平并增加棕色资产的折价压力；反之，政策不确定性升高则易引发投资者的羊群行为，造成恐慌性抛售，导致资产价格出现过度调整。2）对驱动机制的动态演变规律探索不足。新能源行业具有很强的政策敏感性，各类因素的影响程度与效果可能依赖特定的政策与制度环境，并且会随经济周期、地缘政治格局等外部环境的改变而产生结构性演化。因此，未来研究亟需引入系统性与动态化的分析框架，进一步探究不同驱动因素之间的交互反馈机制与动态演化规律，揭示新能源资产价格形成的复杂机理，从而为新能源市场参与者进行市场预测和风险管理提供坚实的理论支撑。

6.2 新能源企业关键技术突破与国际化转型的驱动机制研究

现有研究较为系统地揭示了新能源企业资本结构、投资行为、创新与财务绩效等方面的驱动因素，但是在研究问题和研究视角方面仍存在一定不足。1）在研究问题方面，大多数研究关注企业规模扩张，而对新能源高质量发展阶段面临的技术瓶颈、安全性、可持续性等关键问题的探讨不足。已有文献大多是从新能源企业融资成本降低、投资规模扩大等“数量”维度展开研究，对新能源企业关键技术突破、产业链整合效率和韧性提升、新能源企业可持续发展能力构建等“质量”维度的驱动机制，仍缺乏深入的系统剖析。2）在研究视角方面，大多数研究停留在基于国内视角的分析，缺少基于国际视野的全面考察。已有研究大多立足于国内政策和市场环境，分析新能源企业的投融资活动，对于新能源企业出海的大趋势下面临的跨国政治风险、碳壁垒限制、知识产权纠纷等主要挑战的关注有限。目前，中国光伏、风电及新能源汽车等行业出现了低价同质竞争与低端产能过剩的“内卷化”现象。企业亟需转变投资逻辑，一方面应由重视产能扩张转向加强技术突破，另一方面应由重国内市场转向积极布局出海。因此，未来研究应聚焦于新能源企业关键技术突破与国际化转型的驱动机制和绩效评估问题，为中国新能源产业的高质量、可持续发展提供理论支持和实践指引。

6.3 金融科技与政策协同支持新能源发展的机制路径研究

现有研究揭示了金融体系在缓解新能源融资缺口、推动新能源生产与技术创新方面的关键作用，但仍存在一定不足。1）金融科技影响新能源金融体系的微观机理尚不清晰。数字金融作为金融科技的重要延伸，已被证实可以在宏观层面明显提高清洁能源消费比例[99]。但是其在微观层面如何影响新能源企业、项目融资方和金融机构的微观行为与决策，

还有待进一步探究。2）关于财税、金融与产业政策之间的跨部门协同机制及跨区域协调问题研究较为薄弱。一方面，已有研究大多只关注单一政策工具，缺少对跨部门政策组合设计优化的系统性研究。在政策实践中，不同的政策制定部门之间缺乏有效协同，容易造成政策效果抵消甚至产生互斥的效果。另一方面，由于新能源产业链深度嵌入全球价值链中，而不同政治管辖区的制度环境和利益集团结构存在差异，有效的政策设计需要考虑到不同制度环境和利益结构下的跨区域协调问题[100]。因此，未来研究应进一步剖析数字金融等前沿金融科技影响新能源投融资的微观机理，同时加强各类新能源支持政策在跨部门、跨区域层面的协同机制研究，识别政策工具之间的互补、替代与冲突关系，从而提升整体政策效能，构建更具系统性与适应性的新能源金融支持体系。

6.4 新能源市场多模态数据融合与可解释性预测模型研究

尽管新能源金融市场预测研究在因子挖掘、模型优化方面取得了较大进展，但仍存在一定不足。1）在数据融合方面，现有研究虽已将宏观指标、政策不确定性及投资者情绪等多模态数据纳入其中，但多模态信息在时序、尺度和语义上存在显著差异，现有研究未能考虑到多模态信息的模态融合与一致性问题。例如，新闻情绪指标通常主导短期波动，宏观经济变量主要影响长期趋势，地缘政治风险则通过供应链、贸易流和市场情绪形成跨区域、跨市场的复杂传导网络。但是目前的研究普遍使用特征拼接、加权平均等线性或浅层融合方法，难以保障模态间的语义对齐与一致性。2）在模型构建方面，尽管LSTM网络、集成学习等模型具有较高的预测精度，但是由于具有“黑箱”的特性，模型可解释性较差，同时缺乏对预测不确定性的量化能力，从而影响模型在风险管理和政策制定中的可信应用。因此，未来研究一方面需要解决多模态数据融合问题，提高多模态信息融合的动态建模能力，如构建基于深度学习和图神经网络的多模态数据融合分析框架，通过减少多模态冗余，整合不同模态数据的互补信息；另一方面，需要结合可解释人工智能与因果推断方法，提高模型的透明度和可信度，为新能源市场预测提供更加有效、可靠的数据和模型支持。

6.5 新能源供应链智能风险识别与风险管理工具研究

现有研究从微观、产业链和跨市场等层面揭示了新能源资产风险的复杂传导机制，但在数据基础与实践转化能力方面仍存在一定不足。1）数据颗粒度与覆盖范围有限。大多数研究仍以上市公司数据或宏观层面的指标为主，缺乏对非上市企业及中小型供应链企业的细粒度刻画，导致在全产业链风险识别方面存在结构性盲区。2）风险预警和管理策略的实践转化能力较弱。虽然目前对于风险识别和传导机制的研究日益深入，但是对于地缘政治变动、技术路线竞争和碳规制政策演进等不确定性因素，仍缺乏服务于企业实际决策需求的决策分析框架和风险管理工具。因此，未来研究可尝试引入生成式人工智能技术，构建更加精细的新能源生产网络和供应链风险图谱[101]，从而提高风险识别和机制分析的颗粒度与系统性。在此基础上，进一步推动实物期权决策模型和风险管理工具的研究，加强风险建模与企业管理实践的有效衔接和转化，为构建安全、韧性的新能源体系提供理论和方法支撑。

参考文献

[1] 张大永, 张跃军, 王玉东, 等. 气候金融的学科内涵、中国实践与热点前沿研究[J]. 管理科学学报, 2023, 26(8): 1–15.

[2] 林伯强, 黄光晓. 能源金融[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2014.

[3] ELIE L, GRANIER C, RIGOT S. The different types of renewable energy finance: A Bibliometric analysis[J]. Energy Economics, 2021, 93: 104997.

[4] REBOREDO J C, UGOLINI A. The impact of energy prices on clean energy stock prices. A multivariate quantile dependence approach[J]. Energy Economics, 2018, 76: 136–152.

[5] SANIN M E, ÖZKAN A U. Attractiveness of clean energy stocks in Europe[J]. International Review of Financial Analysis, 2024, 96: 103598.

[6] PHAM L. Do all clean energy stocks respond homogeneously to oil price?[J]. Energy Economics, 2019, 81: 355–379.

[7] FERRER R, SHAHZAD S J H, LÓPEZ R, et al. Time and frequency dynamics of connectedness between renewable energy stocks and crude oil prices[J]. Energy Economics, 2018, 76: 1–20.

[8] INCHAUSPE J, RIPPLE R D, TRÜCK S. The dynamics of returns on renewable energy companies: A state-space approach [J]. Energy Economics, 2015, 48: 325–335.

[9] CHEN Y, ZHU X H, CHEN J Y. Spillovers and hedging effectiveness of non-ferrous metals and sub-sectoral clean energy stocks in time and frequency domain[J]. Energy Economics, 2022, 111: 106070.

[10] GHOSH B, PHAM L, TEPLOVA T, et al. COVID-19 and the quantile connectedness between energy and metal markets[J]. Energy Economics, 2023, 117: 106420.

[11] RONG X Y, CHEN H X, LIU S H. Nonlinear impact of climate risks on renewable energy stocks in China: A moderating effects study[J]. International Review of Financial Analysis, 2024, 96: 103613.

[12] ARDIA D, BLUTEAU K, BOUDT K, et al. Climate change concerns and the performance of green vs. brown stocks[J]. Management Science, 2023, 69(12): 7607–7632.

[13] PHAM L, HAO W, TRUONG H, et al. The impact of climate policy on U.S. environmentally friendly firms: A firm-level examination of stock return, volatility, volume, and connectedness [J]. Energy Economics, 2023, 119: 106564.

[14] JAFFE A M. Financial herding must be checked to avert climate crashes[J]. Nature Energy, 2020, 5(2): 101–103.

[15] BALCILAR M, BONATO M, DEMIRER R, et al. Geopolitical risks and stock market dynamics of the BRICS[J]. Economic Systems, 2018, 42(2): 295–306.

[16] ZHAO X H. Do the stock returns of clean energy corporations respond to oil price shocks and policy uncertainty?[J]. Journal of Economic Structures, 2020, 9(1): 53.

[17] PHAM L, HSU K C. Metals of the future in a world in crisis: Geopolitical disruptions and the cleantech metal industry[J]. Energy Economics, 2025, 141: 108004.

[18] SOHAG K, HAMMOUDEH S, ELSAYED A H, et al. Do geopolitical events transmit opportunity or threat to green markets? Decomposed measures of geopolitical risks[J]. Energy Economics, 2022, 111: 106068.

[19] SU X M, RAZI U, ZHAO S M, et al. Geopolitical risk and energy markets in China[J]. International Review of Financial Analysis, 2025, 103: 104187.

[20] IGELAND P, SCHROEDER L, YAHYA M, et al. The energy transition: The behavior of renewable energy stock during the times of energy security uncertainty[J]. Renewable Energy, 2024, 221: 119746.

[21] HU G, GOZGOR G, LU Z, et al. Determinants of renewable stock returns: The role of global supply chain pressure[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024, 191: 114182.

[22] WANG M L, OUYANG K X, JING P. Dynamic interplay of energy uncertainty, supply chain disruption, and digital transformation on China's renewable energy stocks[J]. Energy Economics, 2025, 141: 108127.

[23] SHEN Y P, LIU C, SUN X L, et al. Investor sentiment and the Chinese new energy stock market: A risk-return perspective[J]. International Review of Economics & Finance, 2023, 84: 395–408.

[24] SONG Y J, JI Q, DU Y J, et al. The dynamic dependence of fossil energy, investor sentiment and renewable energy stock markets[J]. Energy Economics, 2019, 84: 104564.

[25] LEI Z, SHCHERBAKOVA A V. Revealing climate change opinions through investment behavior: Evidence from Fukushima [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2015, 70: 92–108.

[26] BOHL M T, KAUFMANN P, STEPHAN P M. From hero to zero: Evidence of performance reversal and speculative bubbles in German renewable energy stocks[J]. Energy Economics, 2013, 37: 40–51.

[27] NARAYAN P K. Pricing behavior of clean energy stocks? Some trading implications[J]. Energy Economics, 2024, 134: 107590.

[28] NG T H, TAO J Y. Bond financing for renewable energy in Asia [J]. Energy Policy, 2016, 95: 509–517.

[29] CARAMICHAEL J, RAPP A C. The green corporate bond issuance premium[J]. Journal of Banking & Finance, 2024, 162: 107126.

[30] FLAMMER C. Corporate green bonds[J]. Journal of Financial Economics, 2021, 142(2): 499–516.

[31] PIETSCH A, SALAKHOVA D. Pricing of green bonds: Greenium dynamics and the role of retail investors[J]. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 2025, 104: 102211.

[32] RYTER J, BHUWALKA K, ROTH R, et al. Modeling interconnected minerals markets with multicommodity supply curves: Examining the copper-cobalt-nickel system[J]. Nature Communications, 2025, 16(1): 7302.

[33] 赵怡然, 高湘昀, 孙晓奇, 等. 产业链视角下贸易依赖网络结构变动对钴价格的影响[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1344–1357.

[34] SUN X T, FANG W, GAO X Y, et al. Dynamic interactions among new energy metals and price adjustment strategies: A cross-industry chain perspective[J]. Energy, 2024, 303: 131923.

[35] PHAM L, HSU K C. Metals of the future in a world in crisis: Geopolitical disruptions and the cleantech metal industry[J]. Energy Economics, 2025, 141: 108004.

[36] CHENG A L, FUCHS E R H, MICHALEK J J. US industrial policy may reduce electric vehicle battery supply chain vulnerabilities and influence technology choice[J]. Nature Energy, 2024, 9(12): 1561–1570.

[37] MÅNBERGER A, STENQVIST B. Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development[J]. Energy Policy, 2018, 119: 226–241.

[38] RESTREPO N, URIBE J M. Cash flow investment, external funding and the energy transition: Evidence from large US energy firms[J]. Energy Policy, 2023, 181: 113720.
[39] KEMPA K, MOSLENER U, SCHENKER O. The cost of debt of renewable and non-renewable energy firms[J]. Nature Energy, 2021, 6(2): 135–142.
[40] LI M Y, LIN B Q. Clean energy business expansion and financing availability: The role of government and market[J]. Energy Policy, 2024, 191: 114183.
[41] XU Z, MENG L, HE D, et al. Government support's signaling effect on credit financing for new-energy enterprises[J]. Energy Policy, 2022, 164: 112921.
[42] ZHANG M M, ZHENG W J, LEE C C. Political connections and investment efficiency of renewable energy enterprises: The role of marketization[J]. Energy Economics, 2024, 139: 107918.
[43] WU Y L, HUANG S L. The effects of digital finance and financial constraint on financial performance: Firm-level evidence from China's new energy enterprises[J]. Energy Economics, 2022, 112: 106158.
[44] 杜克锐, 李旻旸, 王思泉, 等. 煤炭价格冲击与新能源业务扩张叠加下的企业融资约束[J]. 经济研究, 2024, 59(12): 4–20.
[45] ZHANG D Y, CAO H, ZOU P J. Exuberance in China's renewable energy investment: Rationality, capital structure and implications with firm level evidence[J]. Energy Policy, 2016, 95: 468–478.
[46] DE HAAS R, MARTIN R, MUÛLS M, et al. Managerial and financial barriers to the green transition[J]. Management Science, 2025, 71(4): 2890–2921.
[47] ZHANG T, XU Z W. The informational feedback effect of stock prices on corporate investments: A comparison of new energy firms and traditional energy firms in China[J]. Energy Economics, 2023, 127: 107086.
[48] NOAILLY J, SMEETS R. Financing energy innovation: Internal finance and the direction of technical change[J]. Environmental and Resource Economics, 2022, 83(1): 145–169.
[49] 张跃军, 刘文丽. 政府补贴如何促进新能源企业技术创新?[J]. 管理科学学报, 2025, 28(2): 1–14.
[50] 孙传旺, 占妍泓. 电价补贴对新能源制造业企业技术创新的影响：来自风电和光伏装备制造业的证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(2): 158–180.
[51] 孙传旺, 占妍泓, 林伯强. 新能源企业增值税政策的规模效应与创新效应[J]. 经济研究, 2022, 57(9): 46–64.
[52] 齐绍洲, 张倩, 王班班. 新能源企业创新的市场化激励：基于风险投资和企业专利数据的研究[J]. 中国工业经济, 2017, (12): 95–112.
[53] ZHU Z S, LIAO H. Do subsidies improve the financial performance of renewable energy companies? Evidence from China [J]. Natural Hazards, 2019, 95(1): 241–256.
[54] 饶奕邦, 熊勇清, 徐文. 双积分政策对新能源汽车上下游企业财务绩效的异质性影响研究[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(9): 2408–2425.
[55] CLEVERLEY F, DIAZ-RAINEY I, HELBING P, et al. Green versus gray initial public offerings: Ownership, withdrawal, and post-IPO performance[J]. The Energy Journal, 2025, 46 (2): 127–170.
[56] WAIDELICH P, KRUG J, STEFFEN B. Mobilizing credit for clean energy: De-risking and public loan provision under learning spillovers[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2025, 133: 103222.
[57] CENSKOWSKY P, WAIDELICH P, SHISHLOV I, et al. Quantifying the shift of public export finance from fossil fuels to renewable energy[J]. Nature Communications, 2025, 16(1): 900.
[58] GALLAGHER K P, KAMAL R, JIN J D, Et al. Energizing development finance? The benefits and risks of China's development finance in the global energy sector[J]. Energy Policy, 2018, 122: 313–321.
[59] JI Q, ZHANG D Y. How much does financial development contribute to renewable energy growth and upgrading of energy structure in China?[J]. Energy Policy, 2019, 128: 114–124.
[60] ZEQIRAJ V, SOHAG K, SOYTAS U. Stock market development and low-carbon economy: The role of innovation and renewable energy[J]. Energy Economics, 2020, 91: 104908.
[61] WEI D Q, WU H. Impact of financial development on the development of the renewable energy industry of China[J]. Journal of Climate Finance, 2023, 5: 100023.
[62] AL MAMUN M, SOHAG K, SHAHBAZ M, et al. Financial markets, innovations and cleaner energy production in OECD countries[J]. Energy Economics, 2018, 72: 236–254.
[63] ALHARBI S S, AL MAMUN M, BOUBAKER S, et al. Green finance and renewable energy: A worldwide evidence[J]. Energy Economics, 2023, 118: 106499.
[64] DONG W J, LI Y, GAO P P, et al. Role of trade and green bond market in renewable energy deployment in Southeast Asia[J]. Renewable Energy, 2023, 204: 313–319.
[65] XIAO C H, ZHANG C. Integrated energy services in parks: Analyzing stakeholder dynamics and innovation under the REITs model through 23 policy documents[J]. Energy Strategy Reviews, 2024, 56: 101574.
[66] ARTIGA GONZALEZ T, CAPERA ROMERO L, KARMAZIENE E, et al. Green gains: The impact of REITs' environmental performance on sustainability-linked loan interest rates [J]. Finance Research Letters, 2025, 71: 106415.
[67] EICHHOLTZ P, KOK N, YONDER E. Portfolio greenness and the financial performance of REITs[J]. Journal of International Money and Finance, 2012, 31(7): 1911–1929.
[68] GASPARINI M, IVES M C, CARR B, et al. Model-based financial regulations impair the transition to net-zero carbon emissions[J]. Nature Climate Change, 2024, 14(5): 476–481.
[69] 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.

[70] DAFERMOS Y, NIKOLAIDI M, GALANIS G. Climate change, financial stability and monetary policy[J]. Ecological Economics, 2018, 152: 219–234.

[71] KROGSTRUP S, OMAN W. Macroeconomic and financial policies for climate change mitigation: A review of the literature [R]. Washington D.C.: International Monetary Fund, 2019.

[72] FAY M, HALLEGATTE S, VOGT-SCHILB A, et al. Decarbonizing development: Three steps to a zero-carbon future[R]. Washington D.C.: World Bank Group, 2015.

[73] XU L, YANG J. Carbon pricing policies and renewable energy development: Analysis based on cross-country panel data[J]. Journal of Environmental Management, 2024, 366: 121784.

[74] CARLOS MUÑOZ J, OLIVA H S, SAUMA E. Effect of combining carbon policies and price controls in cross-border trade of energy on renewable generation investments[J]. The Energy Journal, 2024, 45(1): 81–103.

[75] ACEMOGLU D, AKCIGIT U, HANLEY D, et al. Transition to clean technology[J]. Journal of Political Economy, 2016, 124 (1): 52–104.

[76] REZAI A, VAN DER PLOEG F. Second-best renewable subsidies to de-carbonize the economy: Commitment and the green paradox[J]. Environmental and Resource Economics, 2017, 66 (3): 409–434.

[77] PENG L Q, GUO Y, LIU S W, et al. Subsidizing grid-based electrolytic hydrogen will increase greenhouse gas emissions in coal dominated power systems[J]. Environmental Science & Technology, 2024, 58(12): 5187–5195.

[78] HELM C, MIER M. Steering the energy transition in a world of intermittent electricity supply: Optimal subsidies and taxes for renewables and storage[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2021, 109: 102497.

[79] SAHU S K, BAGCHI P, KUMAR A, et al. Technology, price instruments and energy intensity: A study of firms in the manufacturing sector of the Indian economy[J]. Annals of Operations Research, 2022, 313(1): 319–339.

[80] HILLE E, OELKER T J. International expansion of renewable energy capacities: The role of innovation and choice of policy instruments[J]. Ecological Economics, 2023, 204: 107658.

[81] 朱学红, 邹佳纹, 韩飞燕, 等. 引入外部冲击的中国铜期货市场高频波动率建模与预测[J]. 中国管理科学, 2018, 26(9): 52–61.

[82] BROWN P P, HARDY N. Forecasting base metal prices with exchange rate expectations[J]. Journal of Forecasting, 2023, 42(8): 2341–2362.

[83] LIANG C, UMAR M, MA F, et al. Climate policy uncertainty and world renewable energy index volatility forecasting[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 182: 121810.

[84] HERRERA G P, CONSTANTINO M, SU J J, et al. Renewable energy stocks forecast using Twitter investor sentiment and deep learning[J]. Energy Economics, 2022, 114: 106285.

[85] LOUTFI A A. Renewable energy stock prices forecast using environmental television newscasts investors' sentiment[J]. Renewable Energy, 2024, 230: 120873.

[86] ZIEL F, STEINERT R, HUSMANN S. Efficient modeling and forecasting of electricity spot prices[J]. Energy Economics, 2015, 47: 98–111.

[87] OZDEMIR A C, BULUŞ K, ZOR K. Medium-to long-term nickel price forecasting using LSTM and GRU networks[J]. Resources Policy, 2022, 78: 102906.

[88] GU Q H, CHANG Y X, XIONG N X, et al. Forecasting Nickel futures price based on the empirical wavelet transform and gradient boosting decision trees[J]. Applied Soft Computing, 2021, 109: 107472.

[89] ZHENG B, ZHANG Y W, YIN H T, et al. The limited role of stock market in financing new energy development in China: An investigation using firms' high-frequency data[J]. Economic Analysis and Policy, 2021, 72: 651–667.

[90] CHEN L, HE L, LIU R, et al. Mapping risk transmission in China's energy industry chain: Insights derived from the industry chain structure[J]. Economic Analysis and Policy, 2025, 87: 971–996.

[91] REBOREDO J C. Is there dependence and systemic risk between oil and renewable energy stock prices?[J]. Energy Economics, 2015, 48: 32–45.

[92] GOUTTE S, MHADHBI M. Analyzing Crisis Dynamics: How metal-energy markets influence green electricity investments[J]. Energy Economics, 2024, 134: 107614.

[93] BARUNÍK J, KŘEHLÍK T. Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk[J]. Journal of Financial Econometrics, 2018, 16(2): 271–296.

[94] QIAO S, CHANG Y, MAI X X, et al. Climate policy uncertainty, clean energy and energy metals: A quantile time-frequency spillover study[J]. Energy Economics, 2024, 139: 107919.

[95] CAO Q, NIE J, YU W M. Time-varying effects of structural fossil energy price shocks and economic policy uncertainty on new energy stock market: New evidence from China[J]. Applied Economics, 2024, 56(27): 3232–3246.

[96] GOUTTE S, MHADHBI M. Analyzing crisis dynamics: How metal-energy markets influence green electricity investments [J]. Energy Economics, 2024, 134: 107614.

[97] DUTTA A, DUTTA P. Geopolitical risk and renewable energy asset prices: Implications for sustainable development[J]. Renewable Energy, 2022, 196: 518–525.

[98] DAI Z F, HU J, LIU X H, et al. Dynamic time-domain and frequency-domain spillovers and portfolio strategies between climate change attention and energy-relevant markets[J]. Energy

Economics, 2024, 134: 107627.

[99] LI G X, WU H Y, JIANG J S, et al. Digital finance and the low-carbon energy transition (LCET) from the perspective of capital-biased technical progress[J]. Energy Economics, 2023, 120: 106623.

[100] KUCUKSAYACIGIL F, ZHANG Z H, DAVIDSON M R. Coordinating power sector climate transitions under policy uncertainty[J]. Nature Communications, 2025, 16(1): 3786.

[101] BREITUNG C, MÜLLER S. Global business networks[J]. Journal of Financial Economics, 2025, 166: 104007.

Toward Carbon Neutrality: Recent Advances and Research Frontier Detection in New Energy Finance

ZHANG Yuejun[1,2], ZHAO Wen[1,2,*]

1. Business School, Hunan University, Changsha 410082, China;
2. Center for Resource and Environmental Management, Hunan University, Changsha 410082, China

Abstract: The global energy system is undergoing a rapid green-oriented transition. As the crucial driver for promoting the high-quality development of new energy, new energy finance has become a frontier research field of energy finance. This paper systematically reviews the recent advances in new energy finance through the lenses of asset pricing, corporate finance, financial systems, market forecasting, and risk management. Building on this foundation and combined with the limitations of existing research as well as evolving trends in both the new energy industry and the financial sector, it proposes several frontier research directions. This paper aims to provide a reference for further theoretical development and practical progress in new energy finance.

Key Words: new energy; finance; asset pricing; forecasting; risk management