

# 智慧金融技术在油气行业的应用

林伯韬\*, 郑海妍

中国石油大学(北京)人工智能学院, 北京 102249

\* 通信作者, linb\_cupb@163.com

收稿日期: 2023-03-14

国家社会科学基金面上项目“多层复杂网络视角下系统性重要金融机构的识别与监管研究”(20BJY233)资助

**摘要** 随着我国石油与天然气的产量、进口量和对外依存度逐年增加, 油气期货交易量日益增长, 应用智能化技术提高油气交易效能、改善贸易机制已逐渐成为油气行业的重要考量。本文从智慧金融的概念和发展历程出发, 探讨智慧技术与金融业务融合后的复合型技术在油气行业的勘探开发融资、资金运营风控、保险与再保险、油气市场交易业务四方面的应用现状和发展态势, 分析油气行业碳金融业务的智慧化进程, 剖析智慧金融在油气行业应用的主要挑战; 涉及的智慧技术包括云计算、区块链、大数据与人工智能。研究结果表明: (1) 智慧化技术在油气上中下游的地质与工程环节应用较多, 而在金融环节仅有零星的应用场景; (2) 智慧金融技术在市场融资、储量评估、交易安全、市场分析、风控与理赔、供应链金融等领域体现出巨大的应用价值; (3) 智慧金融技术能够高效促进碳产品、碳衍生品交易市场的发展和交易政策的优化; (4) 智慧金融技术在油气行业的应用面临行业的数字化程度低、数据管理效率低、政策法规不完善、市场化程度偏低、人才激励机制不足等挑战。针对上述问题, 建议油气企业深化数字化转型, 推进跨行业的数据治理, 完善智慧金融监管法律体系和提升相关领域人才待遇。

**关键词** 智慧金融; 能源; 油气; 低碳; 人工智能

## Application of intelligent finance technology in the oil and gas industry

LIN Botao, ZHENG Haiyan

College of Artificial Intelligence, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

**Abstract** The oil and gas production volume, import amount, and degree of dependence on foreign markets keep increasing annually. Meanwhile, the transaction volume of hydrocarbon futures continues to grow with time. In this regard, using intelligent technology to enhance the efficiency of oil and gas transactions, as well as to improve the trading mechanisms, has gradually become a critical consideration for the oil and gas industry. Therefore, this article first discusses the concept of intelligent finance and illustrates the history of its development. It then investigates the applications of such a composite technology that integrates intelligent techniques and financial businesses in the oil and gas industry. The investigation primarily focuses on the current status of implementation and the developmental trend of four major business fields: the capitalization of petroleum exploration and development, risk management of capital operation, insurance and reinsurance, and transaction of financial products in the oil and gas market. The intelligent techniques under consideration include cloud computing, blockchains, big data, and artificial intelligence. Moreover, the progress of intelligent technology in carbon finance is also analyzed for the oil and gas industry. Last but not least, some primary challenges that would restrain the implementation of intelligent finance technology in the industry

引用格式: 林伯韬, 郑海妍. 智慧金融技术在油气行业的应用. 石油科学通报, 2023, 02: 222-233

LIN Botao, ZHENG Haiyan. Application of intelligent finance technology in the oil and gas industry. Petroleum Science Bulletin, 2023, 02: 222-233. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2023.02.017

are closely examined. The research outcome of this study reveals four discoveries. First of all, the applications of intelligent techniques have been more widely seen in the geology or engineering practices throughout the upstream, middle stream, and downstream stages. In contrast, they are sporadically used for the aforementioned scenes of financial businesses. Secondly, intelligent finance technology has demonstrated enormous value in market capitalization, hydrocarbon reserve evaluation, transaction safety, market analysis, risk control, claim settlement, and supply chain finance in the oil and gas industry. Thirdly, intelligent finance technology can efficiently boost the development of the carbon product market and the carbon derivative market. It can also continuously optimize transaction policies of the industry. Finally, such applications face several challenges, including a low degree of digitalization of the industrial businesses, a low efficiency of data management and administration, immature economic policies and market regulations, a less competitive transaction market, and an unattractive salary package for potential talents. In these respects, it is suggested to strengthen the digital transformation of the oil and gas industry, push the data governance across the related industries, refine the legislative regulation and supervision of intelligent finance practices, and raise the remunerative treatment of the professionals on this field.

**Keywords** intelligent finance; energy; oil and gas; low carbon; artificial intelligence

**doi:** 10.3969/j.issn.2096-1693.2023.02.017

## 0 引言

能源产品兼具商品和金融属性,其价格的波动显著影响整个金融市场的稳定<sup>[1]</sup>。能源金融产生的战略价值对一国经济的影响远大于能源或金融单独造成的影响<sup>[2]</sup>。能源金融的概念起源于能源市场与金融市场的联动,但更需要从金融的角度去审视能源产品和市场的联系<sup>[3]</sup>。诸多学者从功能和构成等层面提出了能源金融的定义<sup>[4-8]</sup>。归纳起来,能源金融可指涵盖能源相关的进出口贸易、产品销售、期货/现货交易、企业融资、保险与再保险、风险控制、个人理财过程中产生的金融产品、衍生品、业务与市场。

由于其稀缺性和投资性,能源金融亦是一种金融产品<sup>[8]</sup>。最早的能源金融市场可追溯到1886年,英国威尔士卡迪夫诞生了世界上最早的煤炭交易所<sup>[6]</sup>。我国能源金融市场起步晚,目前仍处于初级阶段<sup>[6]</sup>。在我国能源市场产值表现上,2021年煤炭(开采和洗选)的市场总产值为3.29万亿元人民币,电力行业(电力、热力生产与供应)总产值为7.85万亿元,而油气行业总产值(油气开采、石油化工、油气供应)高达16.54万亿元<sup>[9-10]</sup>,所占比例为59.8%(图1a)。与此同时,我国原油和天然气的对外依存度呈现逐年加大的趋势(见图1b和c)。目前,我国已先后在上海、重庆建立了两个油气交易中心,在大连商品交易所上市了液化石油气期货品种;同时,在珠海建成粤港澳大湾区国际能源交易中心,在西安拟建设石油天然气交易中心。2020年,上海原油期货交易在大部分交易日的亚洲交易时段的流动性已超过了布伦特原油期货<sup>[11]</sup>。纵观国际油气行业,其竞争已从大型企业间上

升为整个产业链的竞争,因此,构建智慧化的金融平台经济新模式已成为大型企业迫在眉睫的需求;而降低产业内交易成本,以较低资金成本实现较高经营效益,成为能源金融下沉到中小企业的重要功能<sup>[12]</sup>。

花旗银行于1993年最早提出了金融科技(Fintech)的概念<sup>[13]</sup>。世界银行定义金融科技泛指消费者、金融机构和决策部门为金融领域创造新兴机会与挑战的科技手段<sup>[14]</sup>。美国、英国等金融业发达的国家均在致力于制定政策,力求维持其金融科技的领先地位<sup>[15]</sup>。智慧金融可看作金融科技在金融领域的最新态势,呈现为云计算、区块链、大数据和人工智能等新兴信息化技术的应用,带来金融行业的运营理念、客户体验、商业模式、产品技术的深层次智慧化变革。智慧金融首先以消费者为服务中心,例如提供智慧银行、智慧网点、智能客服、智能支付、智能理财、智能保险此类与个体消费者金融行为相关的智能服务;其次是公司业务和零售业务。智慧金融旨在大幅提升金融机构的运行效率、降低其运营成本,同时显著降低金融服务成本、改进用户体验。鉴于人工智能、云计算、区块链、大数据四种新兴技术彼此紧密相关且呈现多种形式的交叉融合,本文将上述四种技术领域统称为“智慧”相关技术。

目前我国智慧金融的产业规模仅次于智慧安防,在智慧赋能实体经济各行业中位居第二<sup>[16]</sup>。金融领域的智慧化应用场景包括风控、投顾、客服、营销、运维、投研、交易和保险,旨在精准营销、风险控制、效率提升和决策支持上提高效能<sup>[16-17]</sup>。然而,目前我国智慧金融业务主要由银行、保险等公司与科技企业合作布局提供,缺乏特定行业性质的智慧金融服务供

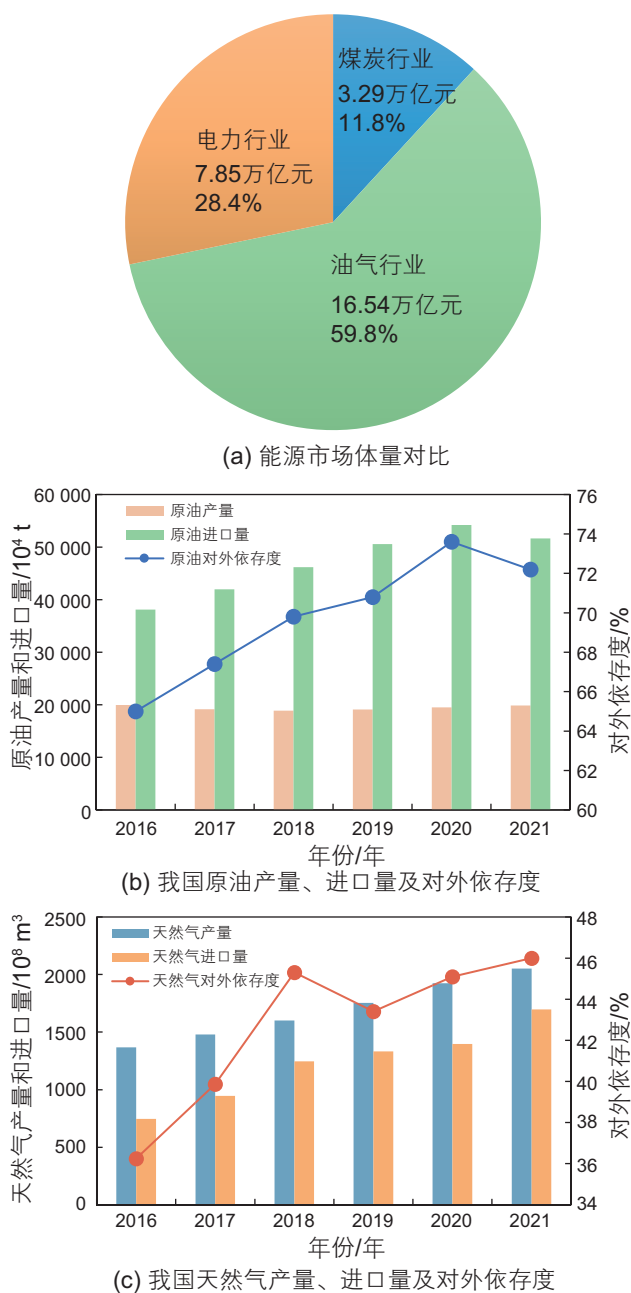


图1 我国能源市场结构及油气供需形势

Fig. 1 Energy market structure and the supply-demand trend of oil and gas in China

给机构<sup>[18]</sup>。

上海原油期货交易所、大连商品交易所、上海石油天然气交易中心等油气交易机构提供了原油、液化石油气及天然气金融产品交易的信息化、数字化渠道<sup>[11]</sup>。与此同时,我国天然气消费领域出现了结构性变化,城市燃气及发电用气比例上升,伴随化工、工业原料用气比例逐步下降<sup>[19]</sup>。如何利用智慧金融技术创建、提效交易工具,加强油气产业调控,打通市场环节,优化油气与新兴能源的配置,保障国家油气能

源安全,对我国油气行业全面智慧赋能并参与国际市场竞争具有重要的经济战略意义。

本文首先探索智慧金融技术的应用场景,其次分析智慧金融技术在油气业务和低碳发展两方面的应用、问题与挑战,力求为油气相关企业推进应用智慧金融技术提供参考与借鉴。

## 1 智慧金融技术概况

智慧金融技术以传统金融机构投资的金融科技型企业、互联网企业布局的金融企业、新兴创业型金融科技企业为三类主要载体,基于云计算、区块链、大数据和人工智能四大新兴信息技术,提供普惠金融、云上金融、智能金融和科技金融功能,构建金融大数据平台,在管理金融风险、提升金融效率、精准定位客户、服务普惠金融等方面取得了显著的效果<sup>[17-20]</sup>。

随着金融产品更新迭代加快,交易量逐年增大,为了缩短部署时间、节约成本、加快业务升级、保障业务不中断,寻求算力、容错能力和稳健性强大的云计算的支持已成为绝大多数金融机构的必然选择<sup>[21]</sup>。此外,区块链、大数据及人工智能应用平台均需要云计算提供基础层支持,解决传统硬件算力不足、资源利用率低、负载不均衡、多源数据备份与调度复杂的问题,同时有效整合多类金融信息系统,消除信息孤岛<sup>[20, 22-23]</sup>。总体而言,云计算技术为智慧金融创新提供科技底座,支撑上层应用架构和业务架构的建设与发展<sup>[23]</sup>。

平台化的智慧金融技术主要包括大数据基础服务平台和人工智能基础服务平台。大数据基础服务多基于Hadoop系统,提供数据采集与存储、数据处理与计算、数据中台服务、数据管理与平台管理四大模块化的功能<sup>[24]</sup>。通过建设大数据底层平台,可挖掘、存储、集成、管理和处理结构化、非结构化的多元动态数据,构建金融数据资产,为人工智能算法应用提供信息资源。人工智能基础服务平台一般由基础层、服务层和应用层三部分组成,实现算法资源集成、模型开发、领域服务和资源调度管理四个主要功能<sup>[24]</sup>。

针对油气勘探开发的上游地质、工程解决方案,国际知名的油服公司综合云计算、大数据和人工智能技术,开发了与物联网深度融合的线上地质、工程认知及决策平台,例如哈利伯顿的信息存储与处理云平台 Decision Space 365、智慧钻测井平台 iStar,斯伦贝谢的勘探与生产认知环境平台 DELFI,贝克休斯的油气生产数字化解决方案平台 POA,和威德福的油气生

产优化平台 ForeSiteTM 等<sup>[25-26]</sup>。综合性的智能决策系统也开始应用于非常规油气的开发,提供预测、刻画和认知三个层面的人工智能解决方案,优化生产全过程参数,从而降低桶油成本<sup>[27]</sup>。此外,数字化平台和智能决策系统也已广泛应用于油气的储藏、运输、炼化等中下游工程环节。然而,在油气贸易、交易、融资和碳金融的重要性愈发凸显的今天,由于相关政策和标准的缺失,以及主要油气企业针对信息安全和网络安全的考量,目前尚无侧重于油气金融业务运营的智慧化云平台或决策系统。仅有一些大型油气企业,包括中化集团、英国石油公司(BP)、壳牌(Shell)、挪威能源(Equinor)、阿布扎比国家石油公司(ADNOC),分别在基础设施层、数据层、平台层和应用层建立了零散的智慧金融应用场景<sup>[12, 28-29]</sup>,如图 2 所示。

## 2 智慧金融技术应用于油气业务状况

### 2.1 勘探开发融资

目前,我国油气市场的融资方式过于单一,以国有资本投资的“三桶油”(中国石油、中国石化、中国海油)为主,外资企业与民营企业融资困难,特别是大批中小型民营油服企业缺乏融资渠道。除个别企业发行债券融资以外,通过股份融资的企业基本未有<sup>[5]</sup>。其次,油气资源分布地域差异明显,中西部、东北等

油气富集区金融业薄弱,金融资源的合理配置相对东部、东南部沿海地区困难。最后,油气产业跨越周期长,回报缓慢且市场价格存在较大的波动风险,金融风险控制难度高,使得在国内很多金融机构不愿意为油气企业提供融资<sup>[5]</sup>。通过智能化的专家决策系统,可以指导企业在油价低迷时运作海外融资并购,在油价高企时加大生产开发贷款,形成油价波动周期下金融资产的对冲,助力油企保值增值<sup>[33]</sup>;并可为资金匮乏的油气企业开展勘探开发业务提供基于多方数据分析的项目融资,为探矿权交易双方的油气储量资产交易价值评估提供测算依据<sup>[34]</sup>。

目前,作为一种新兴的融资业务,供应链金融已越来越受市场欢迎和青睐。然而,由于供应链金融参与主体多、业务环节多、操作流程复杂、利益协调机制缺失,市场迫切需要云计算此种集分布式和并行算力资源为一体的高性能、虚拟化计算模式来赋能供应链金融,从而促进资源共享、建立产融信任、提供智能服务和创造复合效益<sup>[35]</sup>。同时,针对我国天然气交易市场的利益相关参与方缺乏协调性,供应链、信息流、资本流和能源流无法统一的问题,研究者<sup>[36]</sup>尝试建立区块链框架系统打通供应链融资;但该系统离落地化实施还存在法律、政策、用户和技术上的诸多限制。

国外油气企业与金融公司联合打造了基于商品贸

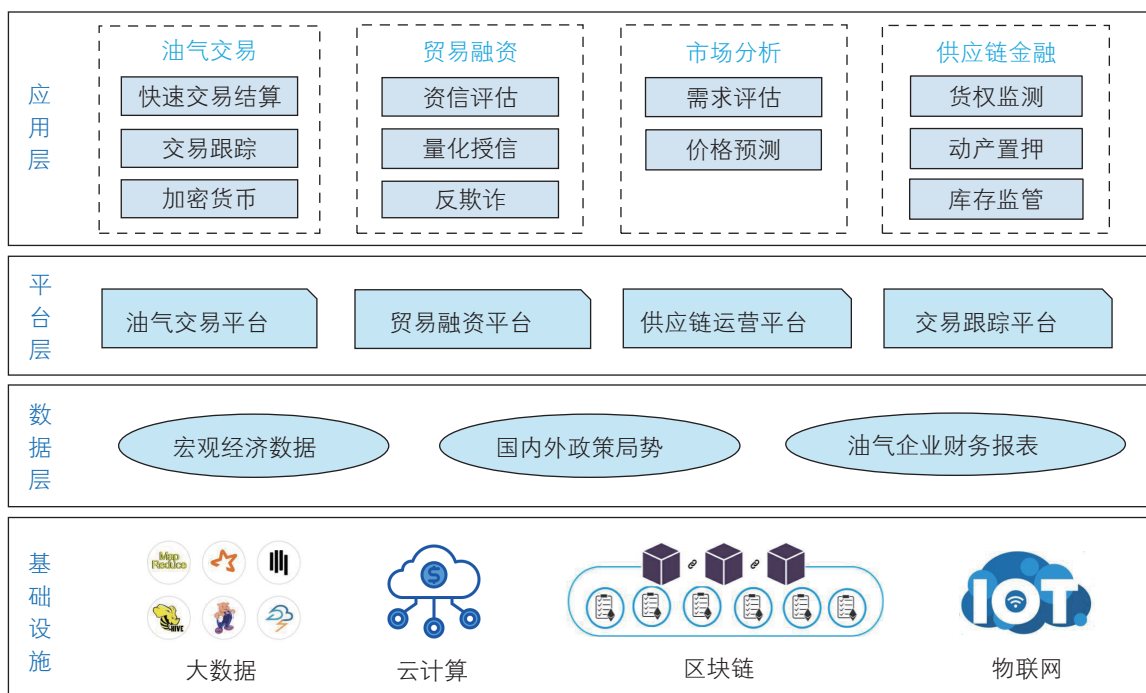


图 2 国内外大型油气企业智慧金融应用场景<sup>[12, 28-32]</sup>

Fig. 2 Scenes of financial intelligence application in major domestic or international oil and gas companies<sup>[12, 28-32]</sup>

易、共享石油库存、促进油气贸易的区块链数字平台；在国内，亦有中化集团成功借助区块链技术完成了跨境原油进出口交易<sup>[28]</sup>。通过去中心化、不可篡改信息的区块链技术连接、验证各企业的企业资源计划(ERP)系统和账务系统，可安全高效地核对合同与票据的真实性，开展金融机构与油气企业间的融资和授信，辨别与预防多方联合的金融欺诈行为。

## 2.2 资金运营风控

云计算的稳定性和安全性有力提升了金融业务的备份与恢复能力。我国油气勘探开发的业务数据涉及能源安全战略，大多集中于企业的私有云，但金融数据可依托第三方金融机构上公有云，或金融机构的私有云。区块链所拥有的分布式、去中心化的特点重构了信用创造机制，可应用于油气勘探开发资料传输的安全保护，防止保密性、敏感性技术资料泄露；以及油气资料可靠性的多方协同验证，为技术用户提供不可篡改、公开透明的信息渠道。此外，区块链用于大宗油气商品的跨境交易也是一项颇有前景的金融技术；例如区块链提供方Ripple公司，在跨境小额交易时，相对于传统的SWIFT银行结算系统，大幅提升了交易速度，降低了金融监管成本和资金交易成本<sup>[17,20]</sup>。最后，区块链数字平台应用于电子保函的加密信息交换和信息认证，可高效连接商业银行、第三方交易平台、保险公司和企业，为中小企业参与工程招投标提供资金担保<sup>[37]</sup>；该项业务需求在油气上游(勘探开发)的产业链中尤为普遍。

银行、保险、投资此类金融行业机构需要兼顾商业价值和隐私安全，联邦学习亦成为保护两者的理想工具。联邦学习指在不共享数据的前提下，通过加密机制完成多方共用数据联合建模的机器学习技术，本质上是一种加密的分布式机器学习技术<sup>[38]</sup>。区块链能在保护数据隐私的前提下实现金融数据的共享，打破数据壁垒；而联邦学习则能够联合多方数据开展联合机器学习建模，在保证多方本地数据安全的同时，打破数据边界<sup>[17,39]</sup>；在具体行业应用中，能够实现数据信息的交流与整合，利于各种规模的公司联合建模<sup>[40]</sup>。联邦学习可在一个油气企业的内部搭建，通过内部通信使用不同子公司的财务数据开展会计、收支、投资方面的建模，优化设计企业的整体金融决策方案。

目前，我国油气企业以中央企业和地方国有企业为主，而国有企业由于防范风险需要禁止从事高风险和定价机制复杂的金融衍生品业务<sup>[41]</sup>。应用大数据和人工智能技术预测风险，可强化风控管理和配置风

险解决方案，为未来构建油气相关的金融衍生品市场和建设风险管控制度提供技术支撑。在相应的投资研究和决策方面，结合自然语言处理、知识图谱和深度学习技术，可以整合各类油气交易数据并自动撰写研报<sup>[16]</sup>。

此外，我国油气行业涉及大量的设备、材料进出口业务，油气外贸企业资金流的安全问题尤为凸显。特别是持续三年的新冠疫情(2020~2022年)造成全球经济低迷、国际贸易摩擦加剧，使得通过国际贸易融资产品解决外贸企业资金问题显得至关重要<sup>[42]</sup>；而国际贸易融资的核心风险为客户信用风险。通过自然语言处理技术和机器学习算法分析客户的历史数据，如贸易单据、开户信息、交易记录、资金流、物流数据、邮件沟通记录，能够智能识别潜在的虚假信息与欺诈行为，从而有效防范商业信用风险。

## 2.3 保险与再保险

油气行业的保险、再保险业务多集中于针对企业运维业务的保险，而针对个人客户的服务较少。在油气行业，专业技术、保险条款、再保险业务往往交叉影响，涉及业主、服务方、保险公司与再保险公司多个利益方，风控和理赔程序繁琐、流程复杂、跨行沟通困难。由此，有效融合区块链(架构信用链条)、大数据(挖掘灾害信息)、人工智能(提供专家决策系统)技术，能够客观、专业地提出第三方的意见方案，避免某一方的欺诈行为。例如西南某页岩气区块在一次钻井作业过程中，昂贵的井下旋转导向工具由于井壁失稳致使其无法取出，造成服务方的设备损失，触发业主、服务方、设备提供方、保险公司与再保险公司的系列定责和定损问题；人为因素干预过多，各方从自身专业角度出发相互推卸责任，导致理赔流程受阻明显，多方遭受资金和时间的损失。若引入物理论约束的专家决策系统，可从较为客观的角度达成多个利益相关方的共识，减少各方分歧并加快理赔进度。此外，自2019年以来，巨灾、通胀和新冠疫情带来再保险费用一路上涨<sup>[43]</sup>，如何经营好转分市场，同样亟需专业的数据分析和智能化决策系统的支持。

## 2.4 油气交易市场

金融危机极易传染到能源市场，造成能源价格的剧烈波动<sup>[44]</sup>。油气产业与金融市场高度耦合，价格和风险在油气贸易与金融市场间相互传导<sup>[45]</sup>，同时从宏观经济风险与市场波动风险两方面作用于油气金融市场<sup>[46]</sup>。然而，金融产品受地缘政治、经济起伏、投资

者/消费者信心等多种因素影响,其价格瞬息万变。国际油气价格市场的波动不仅显著影响油气企业的商业资产及利润,而且也是影响我国能源战略安全的重要考量因素。国际油价的剧烈波动还能够直接或通过综合市场风险间接地影响所有能源相关股票的价格<sup>[47]</sup>。同时,油气价格与油气资产交易活跃度亦成正相关关系,对其走势的预测结果影响了石油公司的油气资源及其它能源的交易决策<sup>[48]</sup>。通过开拓智慧金融赋能的油气交易机制,可优化交易组合策略,增强资产质量和拉低整体资产的盈亏平衡成本<sup>[4]</sup>。

如果能准确预测金融产品的价格走势,那么投资者自然能够获取丰厚的回报。石油具备的高金融化属性使得诸多学者关注其价格波动,建立了多种多样的原油价格波动模型(其中GARCH族模型最为广泛),但均未能对价格和收益率体现突出的预测能力<sup>[7]</sup>。许多研究人员尝试采用多种基础分析与技术分析来预测金融产品的价格,如频繁波动的股票价格。基础分析指通过分析公司的财务报表和股票市场的技术报告来推测该公司的价格走势。技术分析为应用统计学手段开展时序数据的分析,预测未来股票价格;最常用的有自回归异方差(ARCH)、自回归滑动平均(ARMA)、求和自回归移动平均(ARIMA)、移动平均、卡尔曼滤波和指数平滑这六种分析模型<sup>[49]</sup>。近年来,机器学习技术被用来处理股票价格此种非线性、杂乱、噪声明显的时序数据,提供了更加高效精准的预测工具<sup>[50]</sup>。带监督的学习是目前股票市场最常用的机器学习手段<sup>[49]</sup>。

针对油气公司的股票、基金、债券,以及油气现货、期货及其衍生品的价格的预测,影响时序数据序列的主控因素筛选一直都是最突出的技术难点。影响时序数据序列的主控因素筛选一直都是最突出的技术难点。特征工程可链接于学习算法的训练来选择特征(包装法),或直接被融入预测模型中(嵌入法)<sup>[49]</sup>。在机器学习模型的应用上,多类模型已被用于预测价格,如人工神经网络(ANN)、支持向量机(SVM)、k临近分类器(KNN),亦或是它们的组合。同时,模糊系统相关的模型也被用于股票价格的预测。近期,深度神经网络(DNN)、卷积神经网络(CNN)和长短期记忆网络(LSTM)也得到越来越多的关注与应用。由于油气期货交易存在短期和长期合同价格交易机制,处理时序数据并能考虑前期时间片特征的LSTM自然地成为预测其价格波动的利器。此外,图卷积神经网络(GCN)也得到越来越多的关注。通过GCN构建油价及国际事件的金融知识图谱,同时应用相关性系数分析方法

监测并定位与油气工业景气程度紧密相关的社会、政治、经济等关键指标,可用于研判油气期货和现货价格走势,预防油气价格动荡造成的金融风险,规避例如2020年中国银行“原油宝”事件带来的客户资金损失。再如,学者们发现在2016年的欧洲金融危机时期,债券市场的波动显著外溢影响了布伦特原油价格的波动<sup>[20-44]</sup>。通过挖掘两者的相关性系数,可以提前研判市场波动的溢出效应。针对从事与油气相关的股票、期货交易的个人客户,以机器学习、生物特征识别、自然语言处理和知识图谱为主的关键人工智能技术,能够有效推动油气金融产品及服务趋向主动化、个性化和智能化,挖掘客户需求,增进用户体验,提升决策效率,加强风险控制,助推金融普惠<sup>[20]</sup>;同时实现对高风险、异常交易的动态捕捉和安全预警<sup>[39]</sup>。

显然,上述人工智能技术的应用离不开数据湖的建设和云计算的支持。在大规模跨境贸易方面,区块链技术的应用则能提高跨境支付效率,节约支付成本,降低交易风险<sup>[20, 51]</sup>。特别是面对外国金融制裁风险时,区块链技术及其基于此的金融平台可成为我国维系海外油气投资,尤其是与“一带一路”国家开展油气合作的贸易工具。2021年,基于区块链的数字人民币(DECP)正式投放使用,可在一定程度上实现跨境支付<sup>[52]</sup>。而区块链所需要的大规模持续、稳定的处理和存储算力可由云计算平台来提供。人工智能、云计算、区块链、大数据四种新兴智慧技术与油气金融业务的关联性可构建为知识图谱的形式,如图3所示。

### 3 智慧金融对油气行业低碳发展的影响

石油此类化石能源与碳排放紧密相关,随着全球气候变暖的加剧,国际各大石油公司纷纷减少石化产品比重,努力转向天然气、地热、太阳能、风能、氢能等低碳或零碳的清洁能源。同时,石油钻采技术亦为减少碳排放或增加碳汇提供了碳埋存方案。面对碳达峰、碳中和的要求,我国持续努力建设并完善碳交易市场。自2013年启动碳排放权试点以来,已陆续在北京、深圳、天津、上海、重庆、湖北、广东和福建建立了八个碳交易市场;油气行业整体被纳入碳市场的步伐也在加快<sup>[53]</sup>。截至2021年底,全国统一碳排放权交易市场共成交1.79亿吨二氧化碳排放量,总成交额超过76亿元,交易价格稳中有升。碳排放交易体系的持续完善给油气企业的生产运营敲响了警钟,亟需其改变现有运维模式,朝绿色、低碳方向转型<sup>[54]</sup>。同时,为摆脱“石油美元”的制约,人民币的进一步

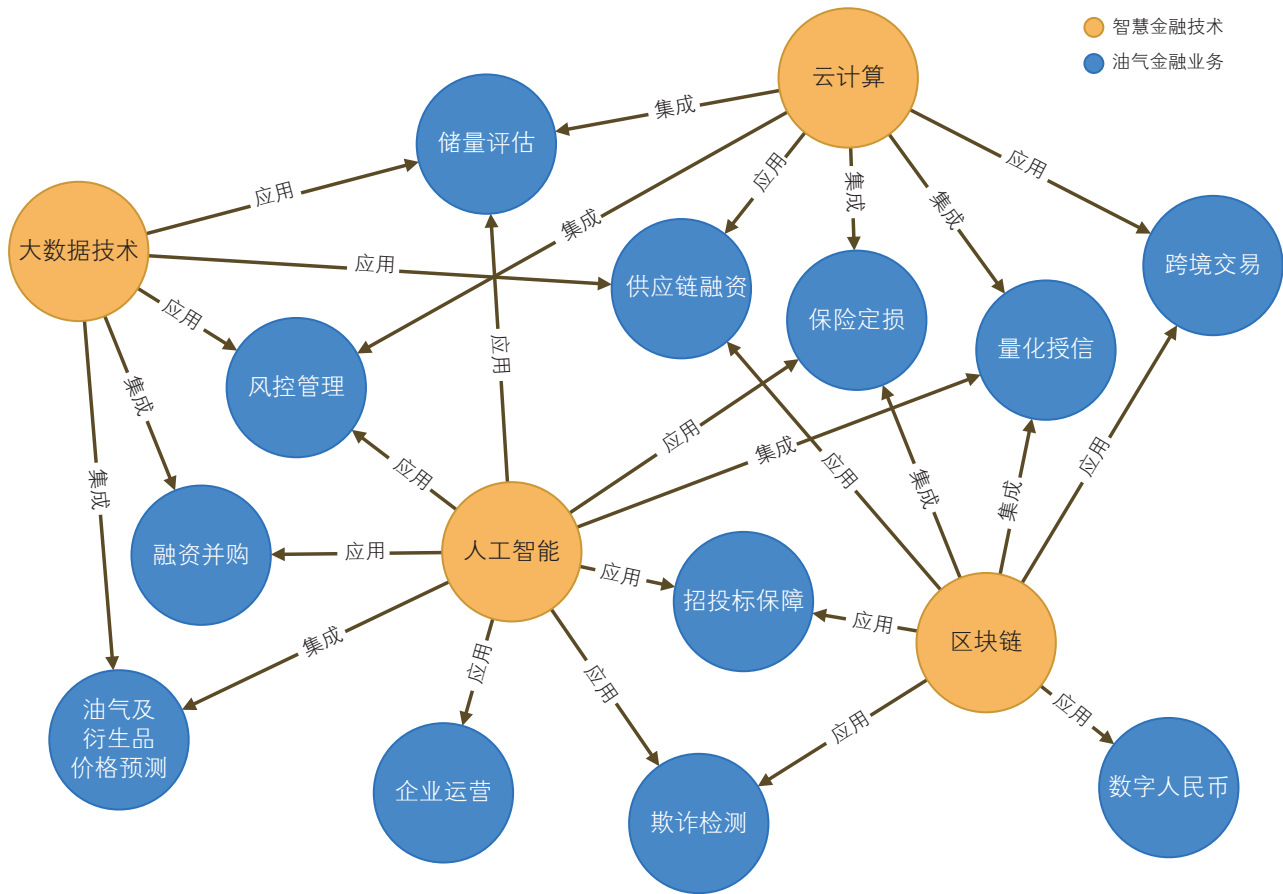


图3 智慧金融技术与油气金融业务关联性的知识图谱

Fig. 3 Knowledge graph showing the relationship between intelligent finance technology and hydrocarbon finance practices

国际化发展需要锚定新能源；而天然气作为相对清洁的化石能源在双碳战略下起着支撑性的作用。天然气产销运储的数据挖掘、用气分析、事件研判和风险预警迫切需要大数据、人工智能技术对其开展情景模拟<sup>[55]</sup>。

针对这一趋势，智慧化的能源互联网已成为双碳背景下能源结构转型的重要解决方案<sup>[56]</sup>。区块链技术的应用为碳排放市场数据的核算和核查提供了公平公正的评价手段；尤其针对跨国销售的碳中和能源产品的测试、检验和认证，迫切需要具备去中心化和共识机制特征的区块链技术。应用云计算服务支持的区块链平台，Wang等<sup>[57]</sup>探讨了采用数字货币支付和蚂蚁链智能合约开展碳交易的平台架构，通过模拟发现其能够显著提高综合性能源市场交易的可靠性和效率。

针对碳金融衍生品(如欧盟排放配额与核证减排量)的价格趋势及影响因素分析，目前多采用多元逻辑回归、对数正态过程等经验性方法开展<sup>[58]</sup>。若应用大数据分析并使用具备时序特征与多社会经济因素作用的LSTM模型开展预测，则能够为碳市场投资者、

碳汇机构、碳排放企业提供更加动态、高效的金融资讯，提高碳资产管理水平，进而在宏观市场上合理调节碳价格。大数据结合人工智能技术，能够强化绿色企业和项目的智能识别能力，达到提升碳足迹计量/核算/披露、提供绿色信贷/债券/保险/碳金融、构建绿色信息监测与分析模型、搭建绿色金融风险控制体系的目的<sup>[59]</sup>。此外，在新兴国家市场，宏观审慎的碳交易法规不应当像发达国家那样，只依赖碳金融的参考利率作为唯一的政策杠杆，而需综合制定多种金融政策来增加供给给低碳市场的信贷比例<sup>[59]</sup>。针对于此，高效融合知识图谱、自然语言处理和机器学习相关技术方法，能够自动寻求金融政策组合的最优化策略。综上所述，智慧碳金融业务适合采用的智慧化技术可列表如图4所示。

#### 4 智慧金融在油气行业中应用的挑战

尽管智慧金融在油气行业中的前瞻性、重要性和战略性凸显，但其规模应用仍存在以下四个主要的挑

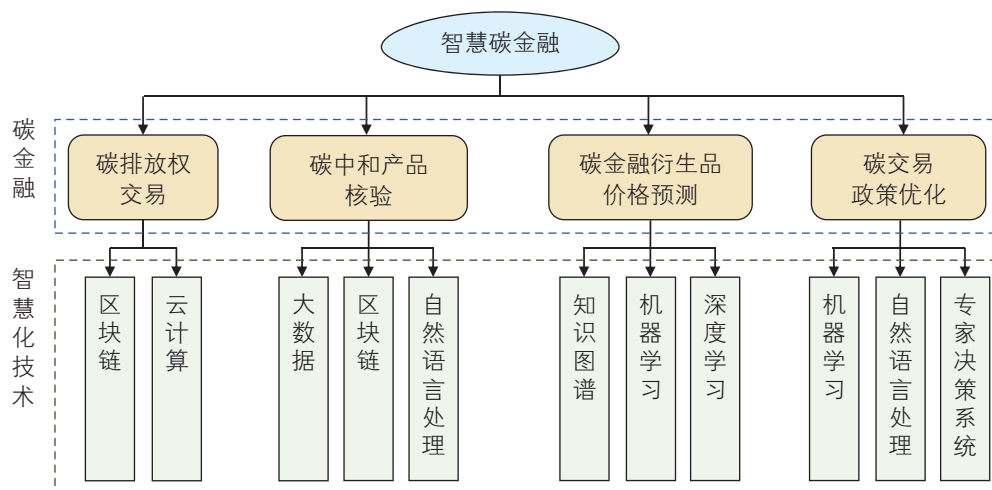


图4 碳金融市场智慧技术应用分析

Fig. 4 Analysis on the applications of intelligent technology to the carbon finance market

战：(1)油气行业数字化发展缓慢；(2)数据安全造成企业壁垒；(3)数据标准和政策法规亟待完善；(4)市场化程度不高与人才激励机制不足。

首先，油气行业各项业务的智慧化需要建立在全产业链和全链条的数字化基础之上。目前，我国多数油气企业已完成信息化建设，但离全面数字化程度相去甚远。由于数字化转型尚未完成，智慧化技术在油气各业务范畴的落地化场景仍然稀少，未能真正带来行业生产、运营效率的实质性飞跃。纵观全球油气行业，其针对数据的分析和处理还极大程度上沉迷于电脑端Excel表格的应用，手机端、平板端的专业APP应用极少，更难以企及云端计算的技术支持<sup>[60]</sup>；该状况在近年也未得到显著改善。此外，数据处理、专业分析及智慧化专业软件的缺乏，也是制约油气行业数字化转型的关键因素。

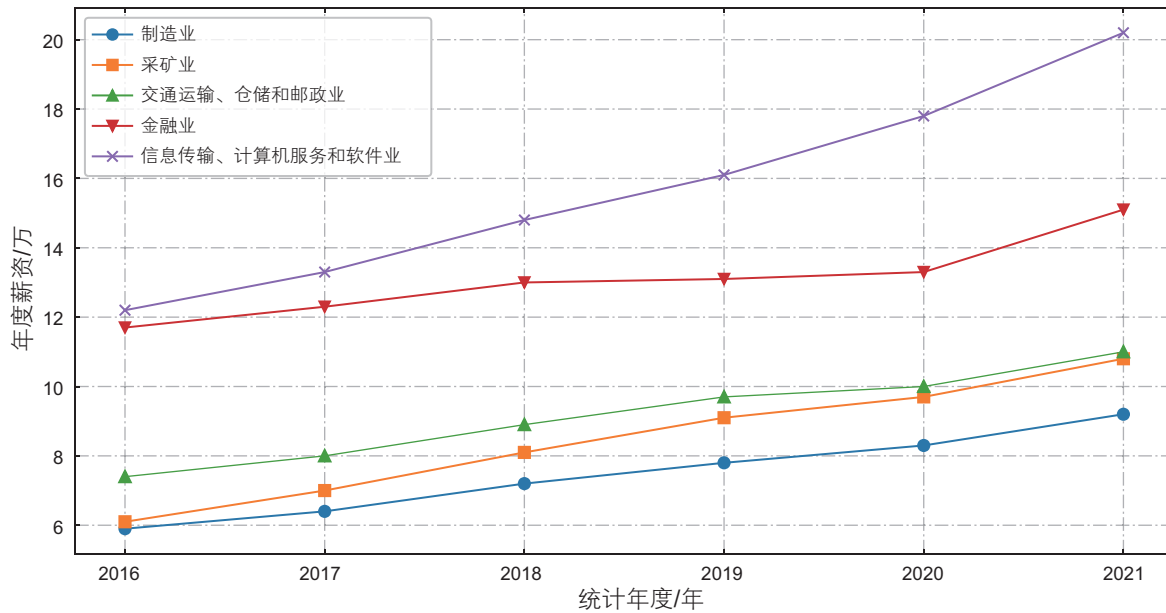
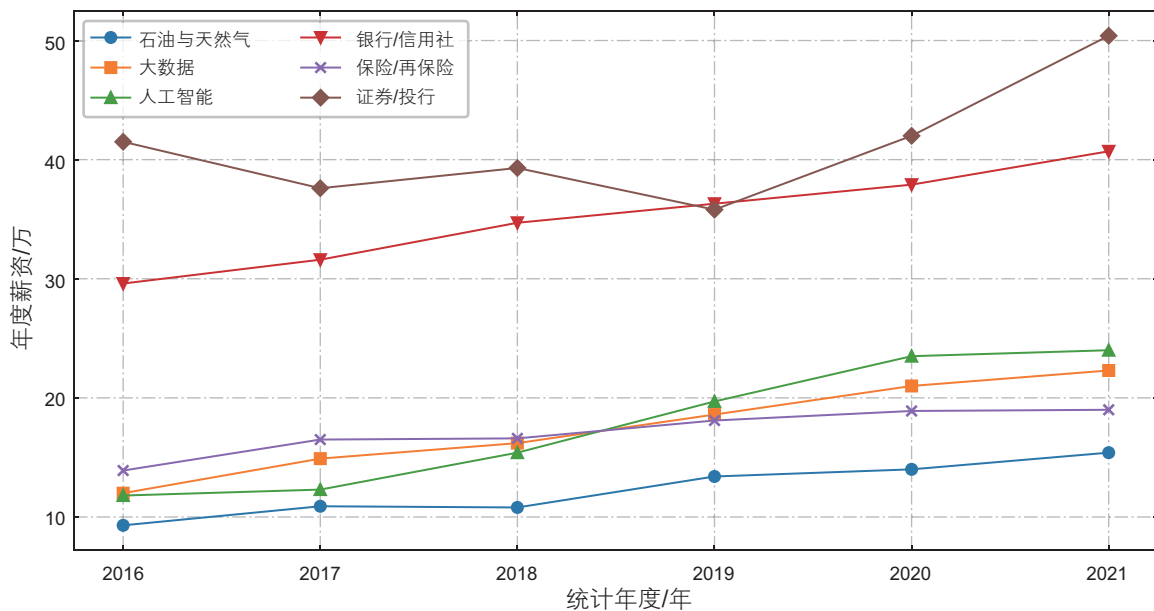
其次，区块链、云计算系统若部署失当或某个节点存在技术问题，容易造成金融风险在各交易环节的传递。大型云服务商能够为金融服务提供稳固的IaaS基础底座和功能丰富且兼具行业特色的PaaS平台<sup>[38]</sup>；然而，油气企业由于保密需要，一般不采用公有云而大多使用私有云，导致数据来源单一，区块链、人工智能等技术的应用严重受阻。此外，受限于大多数区块链的数据承载能力，跨境支付短期内产生的大量数据使其运行缓慢，同时带来较高的维护耗费，额外增加支付成本<sup>[61]</sup>。

再者，智慧金融科技的数据基础需要依托绿色、高可用、高可靠、多层次容灾的金融数据中心<sup>[39]</sup>，进而开展多行业关键业务的整合；在管理制度、技术方案和计算设施等多层次环节亟需建立统一的跨行业数

据标准。迄今，跨行业的数据治理仍是金融行业面临的一大难题。同时，区块链无论是技术本身，还是政策法规条件，迄今依然存在较为突出的问题，于短期内在金融领域的应用仍旧以探索为主，落地化困难<sup>[20, 51]</sup>。从智慧金融的新一代信息技术整体来看，大数据是基础资源，云计算是基础设施，区块链提供基础架构及交易机制，而人工智能提供智能算法；彼此的交叉融合愈发紧密，技术边界不断削弱<sup>[20]</sup>。智慧金融应用于油气行业，不仅需要将其技术与油气行业全产业链业务深度融合，亦需要使其符合该行业特有的法律和监管框架。

最后，智慧金融不仅能带来油气金融领域在技术层面的革新，还将会引发管理机制、运营理念和商业模式的嬗变。我国油气行业金融业务缺乏目标管理，项目负责人责权不对等，绩效考核体系难以发挥有效激励，整体投资效率偏低<sup>[19]</sup>。我国油气行业以中国石油、中国石化、中国海油、国家管网、国家能源这五家央企为核心主体，辅以延长石油等地方国企，面临着员工队伍庞大、管理模式固化、操作成本高等问题，同时还承担了诸多统筹国家能源战略的调度责任和解决就业的社会责任，难以提供与金融、IT行业相匹配竞争的薪酬待遇。根据按照中华人民共和国国家标准 GB/T 4754—2017《国民经济行业分类》，笔者统计了在2016—2021年间五大类与油气全产业链关联紧密的行业的平均年度薪资(见图5)，以及细分行业的上市公司在2016—2021年间的平均年度薪资(见图6)。由图5~6可见，油气上游勘探开发、中游储运和下游炼化的薪资水平远低于金融与IT行业，缺乏市场竞争力。若要在油气行业践行智慧金融理论与技术，则需



图 5 部分国民经济行业类别年度薪资对比<sup>[62]</sup>Fig. 5 Comparison of annual salaries among some economic industrial categories<sup>[62]</sup>图 6 我国油气行业与金融、IT行业年度薪酬对比<sup>[63]</sup>Fig. 6 Comparison of annual salaries among oil and gas, finance, and IT industries of China<sup>[63]</sup>

要兼具三方学科(油气、金融、IT)知识的复合型人才;此类人才目前不仅极为稀缺,而且缺少有效的激励机制促使各利益相关方去培养这类人才。

## 5 结论与建议

针对我国油气产量、进口量及对外依存度逐年增加、油气金融属性日益凸显的现状,本文探讨了智慧

化技术与金融业务的结合,并分析了智慧金融技术在油气行业的现有及潜在应用、问题与挑战,得到以下主要结论和建议。

智慧金融技术涵盖云计算、区块链、大数据和人工智能四个技术领域与各种金融业务的深度交叉融合,在勘探开发融资、资金运营风控、保险与再保险、油气市场交易等油气行业金融市场、碳金融市场及两者的衍生品市场中,均具备重要的应用场景和潜在机会;但与智

慧化技术在油气上游勘探开发、中游储运、下游炼化环节的应用程度相比,其发展还处于起步阶段,将会是未来的市场蓝海。同时,智慧金融技术在油气行业的应用亟需克服油气行业数字化程度低、数据管理壁垒厚、数据标准不成熟和不统一、政策法规不完善、油气行业市场化程度不高、人才激励机制不足等系列挑战。

油气行业的智慧金融技术应以数据湖为技术分析资源,以云计算为基础算力设施,以区块链为跨企、跨境共识机制,以人工智能模型为分析与决策依据,积极探索智慧化、系统化的技术流程与特殊油气金融

需求的紧密结合。为保护油气交易双方的权益,应推动修订或完善智慧金融技术的相关法规,并由此实时监控业务行为,避免交易机制的漏洞和网络架构的风险。当明确某油气金融应用场景需要借助智慧金融技术时,建议应当集成多种智慧化技术与多个人工智能模型来提供集体决策的智慧方案;这需要油气从业者、金融分析师与IT人员三方同时通力合作,仔细剖析具体应用场景,决策、开发、实施、评估并持续更新迭代技术方案。

## 参考文献

- [1] 高孝欣. 我国能源产业发展的金融支持研究[J]. 劳动保障世界, 2017, 09: 57+59. [GAO X X. Research on financial support for the development of China's energy industry[J]. World of Labor Security, 2017,09: 57+59.]
- [2] 贺永泉, 姜玉砚. “一带一路”能源金融体系构建的挑战与策略[J]. 对外经贸实务, 2021, 05: 60-63. [HE Y Q, JIANG Y Y. Challenges and strategies for the construction of the “Belt and Road” energy financial system[J]. Foreign Trade and Economic Practice, 2021, 05: 60-63.]
- [3] ZHANG D Y. Energy finance: Background, concept, and recent developments[J]. Emerging Markets Finance and Trade, 2018, 54(8): 1687-1692.
- [4] 张礼貌. 创新性油气交易机制设计及启示[J]. 中外能源, 2018, 23 (05): 1-6. [ZHANG L. Design and enlightenment of innovative oil and gas trading mechanism[J]. Sino-Global Energy, 2018, 23(05): 1-5.]
- [5] 申晓刚. 我国能源金融的发展问题与对策分析[J]. 中外企业家, 2019, 18: 222. [SHEN X G. Analysis of the development problems and countermeasures of energy finance in China[J]. Sino-Foreign Entrepreneurs, 2019, 18: 222.]
- [6] 高孝欣. 能源金融研究综述与展望[J]. 财经界, 2021, 31: 37-38. [GAO X X. Review and prospect of energy finance research[J]. Finance and Economics, 2021, 31: 37-38.]
- [7] 龚旭, 姬强, 林伯强. 能源金融研究回顾与前沿方向探索[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41 (12): 3349-3365. [GONG X, JI Q, LIN B Q. Literature review and frontier direction exploration of energy finance[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2021, 41 (12): 3349-3365.]
- [8] 肖卫国, 黎凯轅, 王怡. 构建我国能源金融体系的理论逻辑与现实路径[J]. 南京社会科学, 2021, 02: 27-35. [XIAO W G, LI K Y, WANG Y. The theoretical logic and practical path of constructing China's energy financial system[J]. Nanjing Social Sciences, 2021, 02: 27-35.]
- [9] 国家统计局. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2022. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China energy statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2022.]
- [10] 人民日报海外版. 我国能源市场产值[EB/OL]. [2023-03-13]. <http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/>. [People's Daily Overseas Edition. Output value of China's energy market[EB/OL]. [2023-03-13]. <http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/>, 2021.]
- [11] 冯保国. 上海等地搭建油气产品交易平台推进竞争有序的能源市场体系建设[J]. 国际石油经济, 2021, 29 (1): 58-60. [FENG B G. Shanghai and other places build oil and gas product trading platforms to promote the construction of an energy market system with orderly competition[J]. International Petroleum Economics, 2021, 29 (1): 58-60.]
- [12] 范炳龙, 刘西红, 孙霞. 基于金融科技的油气产业供应链金融模式研究[J]. 国际石油经济, 2019, 27 (12): 31-36. [FAN B L, LIU X H, SUN X. Research on supply chain finance model of oil and gas industry based on fintech[J]. International Petroleum Economics, 2019, 27 (12): 31-36.]
- [13] 王健宗, 黄章成, 肖京. 人工智能赋能金融科技[J]. 大数据, 2018, 4(03): 111-116. [WANG J Z, HUANG Z C, XIAO J. Artificial intelligence energize fintech [J]. Journal of Big Data Research, 2018, 4(03): 111-116.]
- [14] Worldbank.org. Fintech[EB/OL]. <https://www.worldbank.org/en/topic/fintech>, 2022.
- [15] 赖新. 英国金融创新发展经验及对浙江国际油气交易中心建设的启示[J]. 中国集体经济, 2020, 07: 166-168. [LAI X. British financial innovation and development experience and enlightenment to the construction of Zhejiang International Oil and Gas Exchange Center[J]. China Collective Economy, 2020, 07: 166-168.]
- [16] 程琬清, 孙明春. 人工智能技术在金融业的应用与挑战[J]. 现代金融导刊, 2021, 02: 7-13. [CHENG W Q, SUN M C. Application

- and challenges of artificial intelligence technology in financial industry[J]. *Modern Finance Herald*, 2021, 02: 7–13.]
- [17] 王健宗, 何安珣, 李泽远. 金融智能: AI如何为银行、保险、证券业赋能[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021. [WANG J Z, HE A X, LI Z Y. *Financial intelligence: How AI empowers the banking, insurance and securities industries*[M]. Beijing: China Machine Press, 2021.]
- [18] 李岩岩. 智慧金融: 提升金融业整体效率的必由之路[J]. *物流动态*, 2022, 03: 190–191. [LI Y Y. *Smart finance: The only way to improve the overall efficiency of the financial industry*[J]. *Logistics News*, 2022, 03: 190–191.]
- [19] 彭澎. 关于加快我国天然气金融市场发展的思考[J]. *天然气工业*, 2016, 36 (07): 117–124. [PENG P. *A discussion about accelerating the development of natural gas financial market in China*[J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 36(7): 117–124.]
- [20] 中国信息通讯研究院. 中国金融科技前沿技术发展趋势及应用场景研究[R]. 北京: 中国信息通信研究院, 2018. [China Academy of Information and Communications. *Technology Research on the development trend and application scenarios of China's fintech frontier technology*[R]. Beijing: China Academy of Information and Communications Technology, 2018.]
- [21] 汪憾铭. 云计算在金融行业的应用分析[J]. *金融科技时代*, 2019, 09: 32–34. [WANG H M. *Application analysis of cloud computing in financial industry*[J]. *Fintech Times*, 2019, 09: 32–34.]
- [22] 刘苗, 谭永东, 贾世民. 基于云计算的油气管道SCADA系统设计[J]. *制造业自动化*, 2015, 37(22): 1–6. [LIU M, TAN Y D, JIA S M. *The oil and gas pipeline SCADA system based on cloud computing*[J]. *Manufacturing Automation*, 2015, 37(22): 1–6.]
- [23] 张野. 云计算技术在传统金融行业落地案例分析与推广[J]. *金融科技时代*, 2020, 28(12): 33–37. [ZHANG Y. *Case study and promotion of cloud computing technology in traditional financial industry*[J]. *Fintech Times*, 2020, 28(12): 33–37.]
- [24] 陈强, 代仕娅. 大数据、AI平台支撑下的智慧金融产品研发与实践[J]. *软件导刊*, 2021, 20(02): 31–39. [CHEN Q, DAI Y. *Development and practice on intelligent financial products based on big data and AI platforms*[J]. *Software Guide*, 2021, 20(02): 31–39.]
- [25] 林伯韬, 郭建成. 人工智能在石油工业中的应用现状探讨[J]. *石油科学通报*, 2019, 4 (04): 403–413. [LIN B T, GUO J C. *Discussion on current application of artificial intelligence in petroleum industry*[J]. *Petroleum Science Bulletin*, 2019, 4 (04): 403–413.]
- [26] 丁建新, 李雪松, 朱亚冰, 等. 国际油田技术服务企业信息化与业务融合趋势研究[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2020, 40(21): 94–99. [DING J X, LI X S, ZHU Y B, et al. *Research on the trend of informatization and business integration of international oilfield technical service enterprises*[J]. *China Petroleum and Chemical Standards and Quality*, 2020, 40(21): 94–99.]
- [27] TAMIMI N, SAMANI S, MINAEI M, et al. An artificial intelligence decision support system for unconventional field development design[C]//SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference. OnePetro, 2019.
- [28] 龚仁彬, 杨任轶, 米兰. 区块链技术在石油行业中的应用展望. *信息系统工程*, 2019, 11: 62–65. [GONG R B, YANG R Y, MI L. *Application prospect of blockchain technology in the petroleum industry*. *Information Systems Engineering*, 2019, 11: 62–65.]
- [29] AHMAD R W, SALAH K, JAYARAMAN R, et al. Blockchain in oil and gas industry: Applications, challenges, and future trends[J]. *Technology in Society*, 2022, 68: 101941.
- [30] APACHE. Apache Hadoop[EB/OL]. [2023–03–13]. <http://hadoop.apache.org/core/>.
- [31] GLOBALSIGN. What is the internet of things and how does it work[EB/OL]. [2023–03–13]. <https://www.globalsign.com/en-sg/blog/what-internet-things-and-how-does-it-work>.
- [32] FLATICON. Cloud computing[EB/OL]. [2023–03–13]. [https://www.flaticon.com/free-icon/cloud\\_5131936](https://www.flaticon.com/free-icon/cloud_5131936).
- [33] 师锋, 姚新国, 方国庆, 等. 金融危机环境下的国家油气战略政策[J]. *资源与产业*, 2009, 11 (03): 17–19. [SHI F, YAO X N, FANG G B, et al. *National strategy for oil-gas during financial crisis*[J]. *Resources and Industries*, 2009, 11 (03): 17–19.]
- [34] 田军, 王霞, 段晓文, 等. 油气储量资产交易价值评估方法及案例剖析[J]. *国际石油经济*, 2020, 28 (11): 98–105. [TIAN J, WANG X, DUAN X W, et al. *The analysis on cases and methods of price evaluation for oil and gas reserves asset transactions*[J]. *International Petroleum Economics*, 2020, 28 (11): 98–105.]
- [35] 赵中林. 云计算赋能供应链金融发展分析[J]. *金融科技时代*, 2021, 04: 93–95. [ZHAO Z L. *Analysis of the development of supply chain finance empowered by cloud computing*[J]. *Fintech Times*, 2021, 04: 93–95.]
- [36] ZHANG J, WANG F, PU Y, et al. Analysis of the application of blockchain technology in the field of supply chain finance in the natural gas industry[C]//International Petroleum Technology Conference. OnePetro, 2021.
- [37] 王桂杰. 电子保函引领银行业数字化变革[J]. *现代金融导刊*, 2021, 02: 23–26. [WANG G J. *Electronic letter of guarantee leads the digital transformation of banking industry*[J]. *Modern Finance Herald*, 2021, 02: 23–26.]
- [38] 胡利明. 金融新基建浪潮下的云计算应用与发展[J]. *金融科技时代*, 2020, 28 (10): 8–13. [HU L M. *Cloud computing application and development under the wave of new financial infrastructure*[J]. *Fintech Era*, 2020, 28 (10): 8–13.]
- [39] 中国人民银行. 金融科技发展规划(2022–2025年)[R]. 2022. [People's Bank of China. *Fintech development plan (2022–2025)* [R]. 2022.]
- [40] 王健宗, 孔令炜, 黄章成, 等. 联邦学习算法综述[J]. *大数据*, 2020, 6(06): 64–82. [WANG J Z, KONG L W, HUANG Z C, et al. *Research review of federated learning algorithms*[J]. *Journal of Big Data Research*, 2020, 6(06): 64–82.]
- [41] 杨康. 能源金融产品在国际市场价格风险管控中的运用[J]. *金融市场研究*, 2020, 93 (02): 125–134. [YANG K. *Energy financial*

- instruments in global market Price risk management[J]. *Journal of Financial Market Research*, 2020, 93 (02): 125–134.]
- [42] 邢玉庆. 浅析后疫情时代国际贸易融资风险防控[J]. *现代金融导刊*, 2021, 02: 34–36. [XING Y Q. Risk prevention and control of international trade financing in the post-epidemic era[J]. *Modern Finance Herald*, 2021, 02: 34–36.]
- [43] 中再产险. 2022 年国际财产再保险市场情况概况[R]. 2022. CHINA RE P&C. Overview of the international property and casualty reinsurance market in 2022[R]. 2022.]
- [44] ANDRIOSPOULOS K, GALARIOTIS E, SPYROU S. Contagion, volatility persistence and volatility spill-overs: The case of energy markets during the European financial crisis[J]. *Energy Economics*, 2017(66): 217–227.
- [45] 赵亚琼, 秦放鸣, 刘琦平. “一带一路”能源体系金融支持[J]. *中国金融*, 2019, 24: 95–96. [ZHAO Y Q, QIN F M, LIU Q P. Financial support for the energy system of the “Belt and Road” [J]. *China Finance*, 2019, 24: 95–96.]
- [46] 张克钦. 我国能源金融市场风险评价及影响因素分析——基于主成分分析法的月度实证结果[J]. *时代经贸*, 2021, 18(09): 26–34. [ZHANG K Q. Risk evaluation and influencing factors analysis of China’s energy financial market: Monthly empirical results based on principal component analysis method[J]. *Times Economics and Trade*, 2021, 18(09): 26–34.]
- [47] BROADSTOCK DC, WANG R, ZHANG D Y. Direct and indirect oil shocks and their impacts upon energy related stocks[J]. *Economic Systems*, 2014, 38: 451–467.
- [48] 干卫星. 全球油气上游资产交易动态及启示[J]. *国际石油经济*, 2020, 28 (08): 71–76. [GAN W X. Trends and implications of global oil and gas upstream M&A[J]. *International Petroleum Economics*, 2020, 28 (08): 71–76.]
- [49] KUMBURE M M, LOHRMANN C, LUUKKA P, et al. Machine learning techniques and data for stock market forecasting: A literature review[J]. *Expert Systems with Applications*, 2022, 197: 116659.
- [50] CHEN Y, HAO Y. A feature weighted support vector machine and K-nearest neighbor algorithm for stock market indices prediction[J]. *Expert Systems with Applications*, 2017, 80: 340–355.
- [51] 巴洁如. 区块链技术的金融行业应用前景及挑战[J]. *金融理论与实践*, 2017, 04: 109–112. [BA J R. Application prospects and challenges of blockchain technology in the financial industry[J]. *Financial Theory and Practice*, 2017, 04: 109–112.]
- [52] 黄琨. 金融科技三大趋势与银行数字化转型[J]. *现代金融导刊*, 2021(02): 18–22. [HUANG K. Three major trends in financial technology and the digital transformation of banks[J]. *Modern Finance Herald*, 2021(02): 18–22.]
- [53] 张俊峰, 徐庆虎. 碳交易对油气企业的影响及对策建议[J]. *国际石油经济*, 2021, 29(07): 9–13. [ZHANG J F, XU Q H. Impacts and suggestions of carbon trading on oil and gas enterprises[J]. *International Petroleum Economics*, 2021, 29(07): 9–13.]
- [54] 王震, 李强, 欧阳琰. 中国碳排放权交易市场正式运营 全球碳排放市场加速推进油气行业碳排放成本压力增大[J]. *国际石油经济*, 2022, 30 (01): 26–28. [WANG Z, LI Q, OUYANG Y. China’s carbon emission trading market officially operated, the global carbon emission market accelerated, and the pressure on carbon emission costs in the oil and gas industry increased[J]. *International Petroleum Economics*, 2022, 30 (01): 26–28.]
- [55] 周淑慧, 孙慧, 梁严, 等. “双碳”目标下“十四五”天然气发展机遇与挑战[J]. *油气与新能源*, 2021, 33 (2): 27–36. [ZHOU S H, SUN H, LIANG Y, et al. Carbon neutrality oriented 14th Five-Year opportunities and challenges of natural gas development [J]. *Oil & Gas & New Energy*, 2021, 33 (2): 27–36.]
- [56] 腾讯研究院. 融合 2022 年十大数字科技前沿应用趋势[R]. 2022. [Tencent Research Institute. Integration of top ten digital technology frontier application trends in 2022[R]. 2022.]
- [57] WANG L, MA Y C, ZHU L Z, et al. Design of integrated energy market cloud service platform based on blockchain smart contract[J]. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2022, 135: 107515.
- [58] KANAMURA T. Role of carbon swap trading and energy prices in price correlations and volatilities between carbon markets[J]. *Energy Economics*, 2016, 54: 204–212.
- [59] 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.
- [60] RASSENFOSS S. E&P software: The next generation[J]. *Journal of Petroleum Technology*, 2013, 65(09): 78–82.
- [61] 郑步高. 基于区块链技术的跨境支付问题研究[J]. *现代金融导刊*, 2021, 02: 14–17. [ZHENG B G. Research on cross-border payment based on blockchain technology[J]. *Modern Finance Herald*, 2021, 02: 14–17.]
- [62] 国家统计局. 国家数据—按行业分城镇单位就业人员平均工资(2016–2021)[EB/OL]. [2023–03–13]. <https://data.stats.gov.cn/>. [National Bureau of Statistics. National data – average wages of employees in urban units by industry (2016–2021)[EB/OL]. <https://data.stats.gov.cn/>, 2022.]
- [63] 同花顺财经. 上市公司年报(2016–2021)[EB/OL]. [2023–03–13]. <http://stock.10jqka.com.cn/>. [Flush Finance. Annual Report of Listed Companies (2016–2021) [EB/OL]. [2023–03–13]. <http://stock.10jqka.com.cn/>]