

引文: 杨涛, 罗良才, 宋永, 等. 连接思想, 转变能源: 塑造可持续的能源未来——2024年阿布扎比国际石油展览暨会议综述[J]. 天然气工业, 2025, 45(5): 174-179.
YANG Tao, LUO Liangcai, SONG Yong, et al. Connecting minds and transforming energy to shape a sustainable energy future: Overview of 2024 Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference[J]. Natural Gas Industry, 2025, 45(5): 174-179.

连接思想, 转变能源: 塑造可持续的能源未来 ——2024 年阿布扎比国际石油展览暨会议综述

杨 涛¹ 罗良才² 宋 永³ 李 峰⁴ 段雅睿¹ 邹存友³
曹 彦¹ 史谔宇⁴ 霍丽君² 韩如冰³ 吴 潇²

1. 中国石油天然气集团有限公司国际部 2. 中国石油经济技术研究院
3. 中国石油勘探开发研究院 4. 中国石油天然气集团有限公司科技管理部

摘要: 2024 年阿布扎比国际石油展览暨会议于 2024 年 11 月 4 日—7 日在阿布扎比国家展览中心举行, 此次展会以“连接思想, 转变能源”为主题, 全球与会者就能源行业的转型发展达成多项共识, 同时展会还展示了油气行业及绿色低碳技术的诸多前沿进展, 主要体现在以下 8 个方面: ①全球能源需求量持续增加, 构建安全、可靠、可持续的能源体系需要多元化能源共同发力; ②全球石油需求量在 2030 年达峰的预测引发疑虑, 天然气在加快能源转型、保障能源供应安全中将持续发挥关键作用; ③人工智能将成为推动油气企业生产力提升的重要手段, 该技术与能源行业的深度融合为实现脱碳目标带来了新机遇; ④能源转型加速与脱碳成为行业主流认识, 氢能作为变革性能源载体的潜力有待挖掘; ⑤地球科学研究将向精细化、智能化大步迈进; ⑥钻完井技术向集成化、自动化、智能化稳步推进; ⑦深水开发配套海洋工程进展迅速, 工程效率取得了显著提升; ⑧提高采收率技术方法创新发展、非常规资源开发技术快速进步, 带来了新的增长点。结论认为, 国内油气行业应加快推进以下工作: ①统筹能源安全和低碳转型, 持续加强多能融合创新; ②以“创新驱动+场景牵引”促进科技创新和产业创新深度融合; ③加快生成式 AI、代理型 AI 等人工智能在能源领域的研发应用; ④鼓励多渠道多形式深度参与全球能源科技治理。

关键词: 2024 ADIPEC; 石油; 天然气; 人工智能; 能源转型; 氢能

中图分类号: TE-9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3787/j.issn.1000-0976.2025.05.015

Connecting minds and transforming energy to shape a sustainable energy future: Overview of 2024 Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference

YANG Tao¹, LUO Liangcai², SONG Yong³, LI Feng⁴, DUAN Yaru¹, ZOU Cunyou³,
CAO Yan¹, SHI Mingyu⁴, HUO Lijun², HAN Rubing³, WU Xiao²

(1. CNPC International Department, Beijing 100007, China; 2. CNPC Economics & Technology Research Institute, Beijing 100032, China; 3. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China; 4. CNPC R&D Department, Beijing 100007, China)

Natural Gas Industry, Vol.45, No.5, p.174-179, 5/25/2025. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The 2024 Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference (2024 ADIPEC) with "connecting minds, transforming energy" as the theme was held at the Abu Dhabi National Exhibition Center from November 4th to 7th, 2024. At this conference, global participants reached several consensuses on the transformation of energy industry while showing many cutting-edge achievements made in petroleum industry and green low-carbon technologies, which are mainly embodied in the following 8 aspects. First, global energy demand is growing continuously, and the construction of a safe, reliable and sustainable energy system needs the joint effort of diversified energies. Second, the prediction that the global oil demand will reach the peak value in 2030 is questionable, and natural gas will continue to play a key role in accelerating the energy transition and ensuring energy supply safety. Third, artificial intelligence (AI) will be an important means to promote the improvement of petroleum enterprises' productivity, and its deep integration with energy industry will bring a new opportunity for the realization of decarbonization. Fourth, the acceleration of energy transition and the decarbonization are the mainstream understanding in the industry, and the potential of hydrogen energy as revolutionary energy carrier remains to be tapped. Fifth, a big leap will be made in geoscientific research towards refinement and intelligence. Sixth, drilling and completion technologies will steadily advance to integration, automation and intelligence. Seventh, marine engineering supporting deepwater development has been developing quickly, and engineering efficiency has been improved significantly. Eighth, the innovative development of EOR technologies and methods and the rapid progress of unconventional resource development technologies have brought new growth points. In conclusion, domestic petroleum industry should accelerate the efforts in: (1) planning energy safety and low-carbon transformation comprehensively, and strengthening multi-energy integration and innovation continuously; (2) promoting the deep integration of technological innovation and industrial innovation through "innovation driving + scenario guiding"; (3) developing and applying AI techniques such as generative AI and agent AI in the field of energy; (4) encouraging multi-channel and multi-form deep participation in global energy science and technology governance.

Keywords: 2024 ADIPEC; Oil; Natural gas; Artificial intelligence (AI); Energy transition; Hydrogen energy

作者简介: 杨涛, 1971 年生, 高级经济师, 本刊编委; 主要从事国际油气开发和合作方面的研究工作。地址: (100007) 北京市东直门北大街 9 号。E-mail: ytintl@cnpc.com.cn

通信作者: 邹存友, 1978 年生, 高级工程师; 主要从事油气田开发及提高采收率、开发方案设计及开发战略等方面的研究工作。地址: (100083) 北京市海淀区学院路 20 号。ORCID: 0009-0008-9779-5028。E-mail: zoucunyou@petrochina.com.cn

1 2024年阿布扎比国际石油展览暨会议概况

阿布扎比国际石油展览暨会议（Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference，简称 ADIPEC）创建于1984年，最初每两年举办一届，自2013年起改为每年11月中上旬举行。该展会历经40年的创新变革与发展，现已成为全球油气及工程技术服务行业规模和影响力最大的专业展览暨会议，也是全球东西方油气行业沟通的重要桥梁。2024年阿布扎比国际石油展览暨会议（2024 ADIPEC）于当地时间11月4日—7日在阿布扎比国家展览中心举行。本次展会以“连接思想，转变能源”为主题，以多种形式分享了在能源转型、绿色低碳技术方面的前沿技术和发展理念，重点展示了人工智能与能源行业的深度融合，为加速能源转型和助力实现脱碳目标带来新机遇。本届展会设置了人工智能、脱碳、数字化、海洋作业和物流等16个主题展厅和30个国家馆，共有来自全球160多个国家的2 200多家展商参展；吸引了来自170多个国家的政府官员、能源公司高管、行业专家和技术领袖参会，实现了创纪录的超20万的观展人次^[1]。

本届展会设置了开幕式、部长级会议、战略会议、低碳专题会议、数字化与技术分会以及圆桌会等370余场活动，包括阿联酋、印度、埃及、乌干达等国家的40多位部长级代表，以及道达尔能源公司、意大利埃尼集团、英国石油公司（以下简称bp公司）、荷兰皇家壳牌石油公司（以下简称壳牌公司）、马来西亚国家石油公司等企业高管在内的1 800余名代表围绕能源领域最新趋势、技术和解决方案进行了分享和交流。其中，战略分会包括战略小组、脱碳、氢能、海洋工程和物流、数字化和技术、金融和投资以及明日之声7个主题，发言嘉宾重点围绕能源转型、人工智能在能源领域的应用、可再生能源发展、碳捕获利用与封存（CCUS）、氢能利用、天然气的关键作用等多个议题展开深入讨论，共同探讨解决“能源三难”的核心战略、关键技术、政策支持以及合作方向。技术分会由国际石油工程师协会（SPE）组织，来自全球的能源领域技术专家围绕人工智能与数字化转型、完井、钻井、能源转型与脱碳、地球科学、油藏开发、健康安全、海洋作业与物流、卓越运营、人力发展与多样性、项目管理、非常规资源开发等12个主题展开讨论，从油气行业如何在能源转型中发挥作用等角度出发，聚焦技术创新、全球合作交流、低碳等议题，共同探讨研究并提出解决方案^[2]。

2 能源转型下的油气行业低碳化、智能化发展之路

通过参加本届展会，笔者收集了大量有关能源转型的认识以及油气行业、绿色低碳技术发展等方面的重要信息。概括大会交流的整体情况，主要取得了以下认识与收获。

2.1 全球能源需求量持续增加，构建安全、可靠、可持续的能源体系需要多元化能源共同发力

气候变化给全球能源系统带来了巨大挑战，凸显了能源转型的紧迫性。能源行业在全球能源需求量持续增长的前景下实现“净零”目标，不仅需要大规模的投资和技术创新，还应和政府以及其他行业保持密切合作，以平衡能源需求、能源安全、技术创新、经济发展和环境管理之间的关系，进而创造包容、安全、公平、可持续的未来。阿布扎比国家石油公司（ADNOC）首席执行官苏尔坦·贾比尔在开幕式致辞中指出，能源行业要积极拥抱“全球南方”和新兴市场国家的崛起、能源系统的转型、人工智能爆发式增长这三大趋势所带来的巨大机遇。到2050年，世界人口将再增加17亿，且主要在“全球南方”，能源市场重心将南移并保持增长。当前还没有任何一种单一能源可以满足所有需求，中短期内必须优化由可再生能源、核能以及油气等传统化石能源构成的多元化能源组合。

同时，能源合作与能源公平问题持续受到关注。新兴市场国家在全球能源转型中将扮演越来越重要的角色。在以“加强全球北方和南方合作以实现能源成功转型”为主题的部长级会议上，发言嘉宾一致认为加强各国之间的合作是确保能源转型成功的关键。石油输出国组织（OPEC）秘书长海萨姆·盖斯强调，能源不平等问题需要得到解决，能源开发需要大量资金支持，而“全球南方”如非洲，依然有很多人没有能源可用。国际可再生能源署（IRENA）代表表示，撒哈拉以南非洲地区可再生能源投资仅占全球总量的1.5%^[2-7]。

2.2 全球石油需求量在2030年达峰的预测引发疑虑，天然气在加快能源转型、保障能源供应安全中将持续发挥关键作用

国际能源署（IEA）在2023年的《世界能源展望》报告中预测^[2]，2030年前全球石油需求量将达峰，但本届大会的发言嘉宾对此存在疑虑。马来西亚国家石油公司总裁兼集团首席执行官陶菲克表示，

当前全球仍有 6 亿人口无法获得安全、可负担的能源,为填补这一缺口,石油需求量达峰时间可能晚于 2030 年。壳牌公司首席执行官魏思旺认为,不同地区的石油需求量达峰时间存在差异,例如中国市场就存在诸多不确定性。

此外,OPEC 在会上分享了《2024 年世界石油展望报告》观点,预计 2050 年前全球一次能源需求量将增长 24%,其中光伏、风能、天然气和石油将引领一次能源需求量增长;2029 年全球石油需求量将达 1.1×10^8 桶/d (1 桶 = 0.159 m^3 ,下同);长期来看,全球石油需求量将增长 $1\ 800 \times 10^4$ 桶/d,2050 年每天需求量达 1.2×10^8 桶,且增量主要来自非洲国家和印度等亚洲国家;石化、公路运输和航空领域将主导长期石油需求量增长;中期石油供应量增长将主要来自非 OPEC+ 国家,长期石油供应量增长仍将由 OPEC+ 国家所主导^[6-7]。

天然气作为一种相对清洁的化石燃料,在能源转型中扮演着重要角色。奥地利石油天然气集团(OMV)首席执行官指出,在未来几十年内,天然气仍将是全球能源系统的重要组成部分。近年来,天然气在全球能源结构中的占比持续上升,特别是在欧洲和亚洲等地区,天然气在电力生产和工业领域中的应用不断扩大。当前,天然气消费量在全球能源消费总量中的占比已接近 25%,预计这一增长趋势仍将持续。随着能源转型持续推进,天然气成为连接传统能源和可再生能源的重要桥梁,在全球能源供给中扮演的角色将愈加重要^[7-10]。

2.3 人工智能成为推动油气企业生产力提升的重要手段,该技术与能源行业深度融合为实现脱碳目标带来新机遇

本次展会对人工智能(Artificial Intelligence)的关注达到了前所未有的高度。贾比尔博士等多位发言人均强调了人工智能在能源转型中的重要性,认为其具有解决能源需求量增长和应对气候变化难题的潜力。OMV 公司首席执行官分享了看待人工智能的 3 个不同视角:①人工智能有助于提高生产效率和产量;②人工智能是新增能源需求量的巨大来源;③人工智能将影响新技术的应用,从而改变能源格局。

在全球能源转型背景下,人工智能和数字化技术的应用成为推动企业效率和生产力提升的重要手段。人工智能和数字化转型已在油气行业深入渗透,本届展会展示了人工智能及其分支领域的广泛应用,其中生成式人工智能在风险管理和设备监测上具有

独特优势;数字孪生技术在设备管理和维护中的应用取得巨大进展;区块链的分布式存储和加密技术在保障数据共享的安全性方面发挥了重要作用^[11-15]。

ADNOC 于展会首日发布了其与微软公司等合作开发的全球首个针对全球能源转型的定制代理型人工智能解决方案 ENERGYai,该模型利用庞大和多样化的数据集,将详细地质模型的构建速度提高 75%,以支持大规模 CO₂ 封存解决方案的规划和开发。斯伦贝谢的 DELFI 平台实现了物联网和人工智能模型的集成,该平台在中东和北美的油田项目中应用广泛,可根据实时数据调整生产参数,提升生产效率。沙特阿拉伯国家石油公司的区块链供应链管理系统将油气供应链全程数字化,每一项交易和运输都被记录在区块链中,在保证数据透明度和安全性的同时,提高了供应链的协作效率。埃克森美孚公司的人工智能预测性维护系统通过分析设备的历史和实时数据,可提前发现故障并安排维护,减少停机时间。未来人工智能在油气行业的应用将进一步深入,实现高度的自动化和智能化,生成式人工智能也将融入更多领域,助力企业在确保安全的前提下实现绿色转型^[16-17]。

2.4 能源转型加速与脱碳成为行业主流认识,氢能作为变革性能源载体的潜力有待挖掘

在全球能源转型的压力下,减少碳排放、实现低碳经济成为能源企业的重要议题,CCUS 以及氢能技术也成为重点讨论方向^[18-19]。本次展会展示了新型的碳捕获设备、氢能在钢铁和化工等高污染行业的替代方案,以及多种低碳燃料的实际应用,如生物质燃料和合成燃料等。目前全球油气行业正在积极推动能源转型,ADNOC 与壳牌公司合作建设大型 CCUS 项目,每年 CO₂ 封存量超过百万吨;bp 公司在西班牙和中东建立了绿氢生产设施,并结合太阳能和风能降低了氢的生产成本;埃克森美孚公司在北海平台引入风力发电,实现了生产过程的部分碳中和^[20-26]。

值得关注的是,氢能作为变革性能源载体的潜力日益凸显。全球氢能行业正稳步而谨慎地发展,目前已宣布的项目达到近 1 400 个。预计 2050 年全球低碳氢需求量可能占氢能总需求量的 75% 以上。亚洲国家和中东地区国家正在成为氢经济的重要参与者。据氢能委员会估计,2023 年中东地区氢能基础设施承诺投资占全球总量的 45%,总额约为 65 亿美元^[27-28]。除液态海运出口外,中东地区国家还计划通过管道以相对较低的成本向欧洲出口氢能(氨)。目

前氢能在全球能源结构中的占比并不大，部分原因在于氢能成本较高、支持政策不足、基础设施欠缺以及规模化应用面临挑战。未来技术创新对发展低碳氢经济将至关重要。

2.5 地球科学研究向精细化、智能化大步迈进

地球科学是油气勘探和开发的技术基础。随着地震成像和地质建模技术的进步，能源企业能够更高效、精准地进行油气勘探开发。本次展会主要探讨了微地震监测、高精度地震成像和智能地质建模等技术取得的进展。

微地震监测技术通过识别地下微小地质活动，为开采计划提供了精准的数据支持，能够在开采前就对可能出现的地质风险进行预测，从而提前采取措施，保障开采安全。新一代的地震成像技术通过更高精度的成像方法，能够精确识别地下油气储层的位置和结构，尤其是在复杂地层下也能够实现精准勘探。智能地质建模技术是将人工智能、大数据分析、云计算与传统地质建模方法相结合的新兴技术，用于构建地下地质结构的三维模型。通过整合多源数据（如地震数据、钻井数据、地质图等）并利用智能算法自动化建模，智能地质建模技术大幅提升了建模效率和精度，为油气勘探、矿产资源开发、地下储层管理等提供了重要支持。

当前油气行业正广泛应用人工智能和3D地质建模技术进行复杂地质构造中的油气资源寻找^[29-30]。贝克休斯公司的高分辨率地震探测器采用多频段成像技术，能够在不损害环境的情况下识别油气层。壳牌公司推出地质数据处理人工智能平台，通过对地质数据进行分析能生成精确的地质模型，该模型在北海油田开发中帮助地质学家找到埋藏较深的储油层，为钻探决策提供支持。未来，地球科学技术将继续朝精细化和智能化方向发展，结合人工智能和大数据分析，地质勘探和油气储层建模将更加精准，为难采资源的开采提供更强大的技术支撑。

2.6 钻完井技术向集成化、自动化、智能化稳步推进

钻井技术一直是油气勘探的核心技术之一，本次会议主要聚焦钻井精细化和自动化，其中适应复杂地质环境的智能钻井设备、井眼清洁技术、自动化控制系统均取得显著进展。斯伦贝谢公司开发的自动化系统 Orion Drilling 结合了自适应算法、实时压力控制技术，可以在钻井过程中识别井壁失稳等风险信号并自动调整钻井速度和方向，特别适用于含有高压气藏和流砂层的地区。新型钻井泥浆如哈

利伯顿的 EverDrill 系列，添加了能增强井壁强度的化合物，适应于北极深井和高温油气田，该泥浆在沙特阿拉伯的阿拉姆科油田中使用，有效降低了钻井事故率。未来，钻井技术将进一步朝智能化方向发展，特别是深水钻井和复杂地层钻井的自动化水平将继续提升。

油气井完井技术的进步为能源行业带来了更多的灵活性和生产效率。本次展会主要展示了井下监测和智能完井方面的创新突破，凸显了新型完井技术在复杂地质条件下的适用性。其中，井下监测技术、井筒完整性监测技术均取得显著进展。智能化完井技术方面，贝克休斯公司的智能完井系统通过实时监测井筒压力和温度，优化流量控制以提升采油效率，在北美地区的试点项目中，使用智能完井系统的油井采收率提升了12%。壳牌公司开发的新型可调节流量控制阀门实现了分层开采，有效提升了完井效率。未来完井技术将继续朝智能化、集成化方向发展，并适应深海、极地等极端开采环境，完井工艺也将更加高效、环保^[31-32]。

2.7 深水开发配套海洋工程进展迅速，效率显著提升

海洋油气作业面临的条件尤为复杂，对物流和资源管理提出了更高要求。本届展会展示了智能化的远程操作和无人驾驶设备在深海油气开发中的应用，包括无人机和水下机器人、新型海洋工程设备等。道达尔能源公司与意大利塞班公司合作开发的自适应钻井平台 Neptune 适用于深海作业，特别是极端水下环境的作业需求。该平台能实时监控钻井压力，识别异常并自动调整钻井路径，大幅提升了安全性和钻井效率。贝克休斯公司推出的基于卫星数据监测的无人水下航行器（AUV）在墨西哥湾用于深水油气设备的检测和维护。bp公司在北海地区采用了智能物流系统，利用无人驾驶运输船和实时监测系统，确保物资从岸上到井场的安全运输，其IoT传感器网络可以实时监控物资消耗并及时补给，优化运输效率。未来能源企业将更多依赖自动化设备，实现深海作业的无人干预^[33-36]。

2.8 提高采收率技术创新发展、非常规资源开发技术快速进步，带来新的增长点

本届展会集中讨论了化学驱油、热采和注气开发等提高采收率的创新技术和方法。雪佛龙股份有限公司在墨西哥湾的深水油藏中测试了智能水驱系统，基于人工智能预测模型，水驱效率比传统方法提高了20%。贝克休斯公司推出的纳米流体驱油技术通过改

变油藏流体流动性提升了采油效率,在北美地区油田的应用中取得了显著效果。随着更多环境友好型驱替技术的出现,未来的油藏开发将更加绿色环保,采收率有望进一步提升。在新技术加持下,难采资源的开采潜力将得到进一步释放^[37]。

同时,与会嘉宾讨论了水平钻井、多级压裂、环保压裂液等技术在非常规资源开发中的应用。康菲石油公司在美国得克萨斯州的 Eagle Ford 页岩气田采用了自适应多级压裂系统,可实时调整压裂层数和注水量,基于实时数据反馈形成裂缝网络,将产量提升 15%。壳牌公司研发的新型生物降解压裂液在北美地区油田试用后发现可减少水耗,且对环境影响较小。未来非常规资源的开发技术将进一步优化,并将逐步拓展至更难采的地质区域,开拓更多的油气储量。

3 对中国油气行业低碳转型发展的启示及建议

3.1 统筹能源安全和低碳转型,持续加强多能融合创新

可再生能源占比不断提高给传统能源系统带来新挑战,多元化能源组合将成为未来新型能源体系的主流形态,天然气在能源转型中的“桥梁”作用将更加凸显。油气行业承担着保障国家能源安全与推进能源绿色低碳转型的两大使命任务,应持续推进生产端和产品端的减碳降碳,同时加快构建以油气为主的多元化能源供给体系:一是以推进清洁低碳油气生产为核心,加快推进生产过程的碳排放管理和碳减排技术应用;二是破除油气、风光热电氢、核能等不同能源之间的生产与转化利用壁垒,推动以清洁低碳、安全高效为核心的多能融合发展^[39-40]。

3.2 以“创新驱动+场景牵引”促进科技创新和产业创新深度融合

能源产业正在超越传统的资源驱动、资本驱动和技术驱动模式,呈现出“创新驱动+场景牵引”的新范式。中国石油、中国石化等石油央企应紧密围绕传统产业升级及战略性新兴产业发展需要,持续以科技创新推动产业创新,在引领能源产业高质量发展中发挥关键作用,应以产业需求为导向,完善基础研究和颠覆性技术布局,持续增加高质量科技供给,加快科技、产业与金融要素融通,推动科技成果在应用场景中落实落地。

3.3 加快生成式 AI、代理型 AI 等人工智能在能源领域的研发应用

人工智能将在油气领域节能降碳、提质增效中发挥重要作用,同时能源行业“多能融合+人工智能”是大势所趋。建议中国油气行业一是进一步加大在人工智能领域的投入,加快探索生成式 AI、代理型 AI 等在油气勘探开发、新能源部署以及业务流程优化中的嵌入式应用。二是加大对油气行业人工智能领域高价值专利培育工作的重视程度,聚焦地震成像、钻井工具和测井曲线等研究热点,持续加强基础性研究和应用探索,并针对性开展海外专利布局,同时在油气行业人工智能的软硬件研发、图像识别和地质模型等方面持续深耕,不断抢占前沿技术高地^[37]。

3.4 多渠道多形式深度参与全球能源科技治理

通过持续参加 ADIPEC、IPTC、OTC 等国际技术会议及国际油气行业学会(如 AAPG、EAGE、SEG 和 SPE),可有效推动中国油气行业多渠道多形式深度参与全球能源科技治理,将中国声音传播得更远、更广。积极鼓励石油央企参与油气行业重要国际会议和展览,展示中国油气行业的科技创新实力,推介优势技术走出去,形成“促进高层次行业对话交流、扩大国际科技交流合作、深度参与全球能源科技治理”的良性循环。

参 考 文 献

- [1] ADIPEC. ADIPEC 2024: Uniting industries to accelerate sustainable socioeconomic progress[EB/OL]. (2024-11-04)[2024-12-04]. <https://www.adipec.com/adipec-2024-uniting-industries-to-accelerate-sustainable-energy-progress/>.
- [2] International Energy Agency. World energy outlook 2023[R/OL]. (2023-10-24)[2024-12-04]. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf>.
- [3] IEA. The role of gas in today's energy transitions[R]. Paris: IEA, 2019.
- [4] MIT Energy Initiative. The future of natural gas in a decarbonized world[R]. Cambridge: MIT, 2023.
- [5] IPCC. Climate change 2022: Mitigation of climate change[R]. Geneva: IPCC, 2023.
- [6] OPEC. 2024 World oil outlook 2050[R/OL]. [2024-12-04]. <https://publications.opec.org/woo/Home>.
- [7] OPEC. The role of oil in a sustainable energy future[R/OL]. (2024-04-18)[2024-12-10]. https://www.opec.org/opec_web/en/publications/2024/Oil_Sustainability_Report.pdf.
- [8] Energy Institute. 2024 Statistical review of world energy[R/OL]. (2024-09-18)[2024-12-04]. https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf_file/0006/1542714/684_EI_Stat_Review_V16_DIGITAL.pdf.

- [9] 江同文, 窦立荣, 王红岩, 等. 能源转型: 通往净零之路——第24届世界石油大会综述[J]. 天然气工业, 2023, 43(11): 1-6. JIANG Tongwen, DOU Lirong, WANG Hongyan, et al. Energy transformation: The path to net zero—Overview of the 24th World Petroleum Congress[J]. Natural Gas Industry, 2023, 43(11): 1-6.
- [10] 江同文, 王锦芳, 王正茂, 等. 地下储气库与天然气驱油协同建设实践与认识[J]. 天然气工业, 2021, 41(9): 66-74. JIANG Tongwen, WANG Jinfang, WANG Zhengmao, et al. Practice and understanding of collaborative construction of underground gas storage and natural gas flooding[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(9): 66-74.
- [11] Schlumberger. AI-driven reservoir management: case studies from the Middle East[R]. Houston: Schlumberger White Paper, 2024.
- [12] Baker Hughes. Digital twins in offshore asset management[R]. Houston: Baker Hughes Technical Review, 2024.
- [13] World Economic Forum. Fostering effective energy transition 2024[R/OL]. (2024-06-19)[2024-12-10]. <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2024/>.
- [14] Microsoft. AI for sustainability: Energy case studies[R/OL]. (2024-10-15)[2024-12-10]. <https://blogs.microsoft.com/sustainability/ai-energy-case-studies>.
- [15] ADNOC. AI and robotics in upstream operations[R/OL]. (2024-02-10)[2024-12-10]. <https://www.adnoc.ae/en/innovation/ai-robotics-report>.
- [16] SANTOSO G I, DENICHOU J M, AL-ALQUM W, et al. Collaborative web based platform for 3D reservoir characterization and geosteering planning on the cloud[C]//International Petroleum Technology Conference. Riyadh: SPE, 2022: IPTC-22203-EA.
- [17] FRANCO F, SEPULVEDA W, MARCHÁN L, et al. The future is here. Utilizing physics-informed AI models to optimize highly intricate water injection systems within a mature oil field[C]//ADIPEC. Abu Dhabi: SPE, 2024: SPE-222071-MS.
- [18] KHAN M S, LOUIS C, MANZOOR A A. et al. Empathetic leadership and purpose-driven strategies in the global CCUS landscape—deliberating the economic feasibility and prudent risk mitigation for the implementation of CCUS within the North American and global ecosystem—scrutinizing ecosystem consequences and alleviating HS hazards, with an emphasis on rigorous well testing and enhanced safety protocols[C]//International Petroleum Technology Conference. Dhahran: SPE, 2024: IPTC-23670-MS.
- [19] SAHAK M Z M, ZAIN M M, ALIAS A, et al. Establishing key process design considerations for carbon capture, utilization and storage (CCUS) towards decarbonization of existing assets operations[C]//ADIPEC. Abu Dhabi: SPE, 2024: SPE-221884-MS.
- [20] IRENA. Global hydrogen trade to meet the 1.5 °C climate goal: Green hydrogen cost and potential[R]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2022.
- [21] Global CCS Institute. Global status of CCS 2024[R]. Melbourne: Global CCS Institute, 2024.
- [22] ExxonMobil. Advancing CCUS through cross-industry collaboration[R]. Houston: ExxonMobil Technical Report, 2024.
- [23] IEA. CCUS in clean energy transitions[R]. Paris: IEA, 2020.
- [24] IRENA. Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolyzers to meet the 1.5 °C climate goal[R]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020.
- [25] U.S. Department of Energy. Hydrogen program plan 2024[R/OL]. (2024-03-12)[2024-12-10]. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-program-plan>.
- [26] European Commission. EU hydrogen strategy: Progress report 2024[R/OL]. (2024-09-30)[2024-12-10]. <https://ec.europa.eu/energy/reports/eu-hydrogen-strategy-2024>.
- [27] NWAKAUDU N F, IGWE J U, OHANYERE I. Green hydrogen: A comparative SWOT analysis of the green hydrogen market in Sub-Saharan and Northern Africa[C]//SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition. Lagos: SPE, 2024: SPE-221749-MS.
- [28] JEMELKOVA I. The Middle East has the chance to lead on hydrogen[EB/OL]. (2024-10-23)[2024-12-10]. <https://www.agbi.com/opinion/energy/2024/10/the-middle-east-has-the-chance-to-lead-on-hydrogen/>.
- [29] MISRA S, CHEN Jungang, CHURILOVA P, et al. Generative artificial intelligence for geomodeling[C]//International Petroleum Technology Conference. Dhahran: SPE, 2024: IPTC-23477-MS.
- [30] ZHAO Tianjie, WANG Sheng, OUYANG Chaojun, et al. Artificial intelligence for geoscience: Progress, challenges, and perspectives[J]. Innovation (Camb), 2024, 5(5): 100691.
- [31] ZHANG L, et al. Smart drilling systems: Integrating AI for real-time decision support[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2024, 235: 107689.
- [32] SYED Masroor Hassan Rizvi. Nanotechnology applications in enhanced oil recovery (EOR)[J]. International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM), 2024, 12(6), 135-143.
- [33] PARASCHIV A. Navigating the future: Pioneering autonomous and remote operations with IoT technologies[C]//ADIPEC. Abu Dhabi: SPE, 2024: SPE-222089-MS.
- [34] BRITTO A J P R. Subsea inspections with new models of autonomous underwater vehicle (AUV): Deployment modes, advantages and disadvantages[C]//Offshore Technology Conference. Houston: OTC, 2023: OTC-32589-MS.
- [35] Wood Mackenzie. Deepwater exploration: Technology and economics[R]. Edinburgh: WoodMac, 2023.
- [36] Global Maritime Forum. Decarbonizing offshore operations[R/OL]. (2024-02-10)[2024-12-10]. <https://www.adnoc.ae/en/innovation/ai-robotics-report>.
- [37] U.S. Department of Energy. AI for energy: Opportunities for a modern grid and clean energy[R/OL]. (2024-04-29)[2024-12-10]. https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-04/AI%20EO%20Report%20Section%205.2g%28i%29_043024.pdf
- [38] ADNOC. AI and robotics in upstream operations[R/OL]. (2024-02-10)[2024-12-10]. <https://www.adnoc.ae/en/innovation/ai-robotics-report>.
- [39] Carbon Capture Coalition. CCUS policy priorities for 2025[R/OL]. (2024-07-22)[2024-12-10]. <https://carboncapturecoalition.org/policy-priorities-2025>.
- [40] 戴厚良. 扩大开放合作 同心向新而行 携手迈向绿色可持续的能源未来[N]. 中国石油报, 2024-11-07(2).
DAI Houliang. Expand openness and cooperation, work together towards a new path, and move towards a green and sustainable energy future[N]. China Petroleum News, 2024-11-07(2).

(修改回稿日期 2025-04-18 编辑 陈 嵩)



本文互动