油气行业工程公司数字化转型智能化发展策略研究

陈　静[1]　刘玉峰[1]　胡耀义[1]　魏宇璇[1]　李默宇[2]　孔祥焕[1]

1. 中国石油工程建设有限公司西南分公司，　四川　成都　610041；

2. 中国石油工程建设有限公司，　北京　100120

摘　要：油气行业工程公司正经历着数字化转型智能化发展的快速变革，对内提质增效和对外创新服务将产生深刻影响。系统研究了国内外油气行业在数智技术领域的最新进展与未来趋势，深入剖析了油气行业工程公司的业务特点和面临的主要问题。规划了一套全面的油气行业工程公司数字化转型智能化发展的策略框架，涵盖数字化协同设计、数智化协同建设、数字化资产交付、一体化集成管控、智能化生产运行与经营管理五大关键领域，提出了相应的策略构想与实施路径。研究成果旨在为油气行业工程公司数字化转型智能化发展提供策略布局指导和实施路径参考。

关键词：油气行业；工程公司；数字化转型；智能化发展；企业策略；数智化

DOI：10. 3969/ j. issn. 1006-5539. 2025. 01. 007

Research on digital transformation and intelligent development strategy of engineering companies in the oil and gas industry

CHEN Jing[1], LIU Yufeng[1], HU Yaoyi[1], WEI Yuxuan[1], LI Moyu[2], KONG Xianghuan[1]

1. CPECC Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China;

2. CPECC, Beijing, 100120, China

Abstract: Engineering companies in the oil and gas industry are experiencing rapid transformation towards digital and intelligent development, which will have a significant impact on the company's internal quality and efficiency improvement as well as external innovative services. This paper presents a comprehensive and systematic analysis of the latest developments and future trends in digital intelligence technology within the oil and gas industry at home and abroad. It offers a detailed analysis of the distinctive business characteristics and primary challenges faced by these companies. In view of the above, this study devised a comprehensive strategic framework for the digital transformation and intelligent development of engineering companies in the oil and gas industry, encompassing five pivotal domains: digital collaborative design, digital intelligent collaborative construction, digital asset delivery, integrated management and control, as well as intelligent production operation and business management. The paper then proceeds to put forward the corresponding strategic vision and implementation path. The objective of this research is to provide guidance on the strategic deployment of and as a reference for the implementation of digital

收稿日期：2024-08-19

基金项目：中国石油工程建设有限公司科研项目“油气田地面工程数智化产业布局研究”（中油工建研 20240113）

作者简介：陈　静（1973-），男，四川成都人，高级工程师，学士，主要从事海外工程及企业信息化和数智化的规划、建设与管理工作。E-mail：cpeswchenjing@ cnpc. com. cn

transformation and intelligent development strategies of engineering companies in the oil and gas industry.

Keywords: Oil and gas industry; Engineering companies; Digital transformation; Intelligent development; Corporate strategy; Digital and intelligent transformation

0 前言

随着人工智能、区块链、大数据、云计算等前沿技术的广泛应用,数字化浪潮正以前所未有的力度席卷全球,深刻影响着各行各业的发展。以 Chat GPT、SORA 等为典型代表的人工智能技术应用正引领着全球数智化产业迈向竞争更为激烈的新纪元,各国数智技术应用布局与产业发展随之步入了转型升级的关键阶段[1-4]。2020 年 9 月,国务院国有资产监督管理委员会发布了《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》,旨在加速推进国有企业数字化转型的步伐;2023 年 2 月,中共中央、国务院印发了《数字中国建设整体布局规划》,为数字中国的全面发展绘制了蓝图;2023 年 3 月,国家能源局发布了《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》,进一步明确了能源领域数字化转型的方向与路径[5-9]。

在上述背景下,中国石油、中国石化、中国海油和国家管网等油气行业公司作为国民经济的重要支柱,面临着全球能源需求增长、市场竞争加剧、资源枯竭、环境保护压力以及成本控制等多重挑战,传统的生产、管理方式已难以应对这些复杂问题。因此,推动数字化转型智能化发展已成为不可逆转的趋势,人工智能作为数智化技术的重要分支为这一转型提供了强大的技术支持[10-11]。作为油气行业工程公司,面对国内外数智化产业浪潮带来的机遇与挑战,如何高效运用数智化技术赋能工程建设产业,促进实现全业务链的协同创新、高效运营与价值提升,已成为当前亟待解决的重大议题。

1 国内外数智化技术发展概况

国外数智化技术起源较早,20 世纪 50—70 年代计算机技术快速发展与普及,人们开始将各种信息数字化,并利用计算机进行信息处理和管理,为数智化技术的兴起奠定了基础。1956 年达特茅斯会议上,美国科学家约翰·麦卡锡携手数位学者,首次提出“人工智能”的概念,这一创举标志着人类开始探索计算机模拟人类思维的道路。自 20 世纪 80 年代起,随着计算机技术的持续进步和人工智能技术的逐步成熟,数字化与智能化开始逐渐交汇融合,推动了数智化技术的快速发展。欧美国家通过设立专门的研究机构、加大研发资金投入等措施,为数智化技术的持续创新提供了坚实保障。这些国家的公司、高校与研究机构紧密合作,形成了产学研深度融合的创新体系,以及较为完善的数智化产业生态,不断推动数智化技术实现新突破。其中,美国在研究、应用及技术创新上均占优势,谷歌、亚马逊、微软等公司尤为突出;欧洲市场侧重于技术研发和产品创新,德国在工业 4.0 和自动化上成果显著,英国在金融科技和医疗健康应用上表现优异;日本则聚焦于机器人技术和智能制造[12-17]。随着技术的不断进步与应用场景的持续拓展,人工智能将继续成为推动全球经济社会发展与变革的重要力量。

中国数智化技术起步相对较晚,直至 21 世纪初才正式开始信息化的初步探索。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》提出以信息化带动工业化,标志着中国信息化时代萌芽,在此背景下大量互联网企业应运而生。2006 年中国发布《2006—2020 年国家信息化发展战略》,旨在推行电子政务,推进社会信息化,进而促进信息化和工业化“两化融合”的深度发展。自 2014 年以来,中国信息化建设迎来高潮,全面数字化转型已成为时代主旋律。《2024 年国务院政府工作报告》中提出,深化大数据、人工智能等技术的研发应用,开展“人工智能+”行动,打造具有国际竞争力的数字产业集群。从“互联网+”到“人工智能+”的转变,从“数字化”向“数智化”的演进,是中国在面对全球科技革命和产业变革浪潮的主动作为。如今,中国的人工智能市场正迅速发展,已成为全球第二大人工智能软件市场,在移动互联网、大数据和人工智能等数智基础设施建设方面均取得显著成就。截至 2024 年 5 月,全国 5G 基站总数达到 383.7 万个,为数字经济的发展提供了强有力的支撑。同时,数智化技术应用也已深度融入智能制造、智慧城市、智慧金融、智慧医疗等多个领域,引领着各行业的智能化转型与升级[18-20]。

2 油气行业工程公司业务特点及需解决的问题

2.1 业务特点

人工智能的目标是研究与开发用于模拟、延伸和扩展人类智能的理论、方法、技术及应用系统,使其具有感知、理解、判断、推理、学习、识别、生成和交互等人类智能的能力。人工智能应用包括智能感知、人机交互、机器学习、图像识别、自然语言处理、智能机器人和计算机视觉等不同业务领域或各领域的结合。随着数字化、智能化等新一代信息技术的蓬勃发展和深入应用,油气工程设计与建设模式正经历从线性模式向协同模式的深刻

转型,数字化设计与工程建设业务趋向于更高层次的协同作业。此外,工程交付模式亦在演变,要求在交付实体工程的同时交付数智工程成果。基于以上背景,油气行业工程公司展现出以下业务特点。

1)数字化设计作为数智化建设的龙头业务,正由多专业协同向全专业协同发展。数字化设计的输出成果不仅为数智化建设提供最原始的采购和施工数据,还为工程建设优化资源配置、促进业务协同以及开展数字化交付业务提供重要输入条件,对建设质量和效率具有决定性作用。

2)随着油气工业的数字化转型智能化发展,数字化交付正由传统的工程建设数据移交向数据资产化和价值交付转变,旨在全面支撑智能建造、生产、运维及管理的全链条智能化进程。

3)油气工程面临建设周期长、参建单位众多、数据源及应用系统繁杂等导致的“数据孤岛”问题,需要不断创新技术和管理模式,以有效整合数据资源,满足市场日益增长的智能化需求。

2.2　存在问题

油气行业工程公司在推进数字化转型智能化发展的进程中,核心在于促进工程建设业务与数智技术的深度融合,以实现业务模式的根本性变革。在转型路径上,需关注以下关键问题。

1)数字化企业协同管理能力有待提升,国产化自主可控技术支撑能力急需加强,如何构建满足对内提质增效和对外创新服务的管理机制,进一步加快核心自主可控技术的储备和国产化软件的应用进程,是试点转型首要解决的关键问题。

2)工程建设业务协同能力有待增强,需深度挖掘数字化转型潜力。数字化施工应通过信息化手段对施工要素进行管理、判别和调度,融合数字化施工方法和工具,优化施工资源管理,构建高效协同机制,进而促进质量和效率的提升。

3)数据资产化管理程度有待提高,以提高数据的有效利用和价值挖掘能力。当前,数据向数据资产转化的机制尚需完善,以构建更加健全的数据共享与共用生态。同时,数据全球化传输链路及安全保障措施需要进一步完善。标准化知识分解结构或多维度知识图谱尚未形成,知识再利用的空间需要进一步扩大。

4)油气工程各类应用缺乏良好的数据生态支撑,具体表现为功能升级成本高、数据应用代价大以及应用软件生命周期短。此外,各应用系统之间的业务、功能、数据及信息的深度融合面临显著障碍,加大了整合与优化的难度。

2.3　发展机遇

在数字化转型智能化发展的时代背景下,油气行业工程公司面临挑战的同时,也迎来了发展机遇。

1)商业模式创新。构建工程建设总承包业务与上下游产业链及业主间的深度协同机制,实现从市场开发、设计勘察、工程采购、施工投产、数字化交付及项目管理业务的全方位应用链条。在此基础上,进一步延伸服务边界,融入智能工厂建设,打造“一站式”服务新模式。

2)数智能力建设。积极推进业务数字化进程,建立标准化、规范化的业务和数据服务体系,构建支持数智化运营的新型共享服务能力,形成业务及技术共享能力,工程建设实现关键业务数字化与业务场景智能化应用,确保核心数据的安全可控与安全事件的可追溯。

3)管理模式革新。技术赋能管理,构建数字模型驱动的领导力体系,培养具备高水平复合型的数字化人才队伍。逐步向扁平化组织转型,建立工建项目统一管理平台,实现建设方、总包方、供应商及项目参建方等各方的高效协同与管理,打造共建、共创、共享的一体化管控新格局,推动公司管理效能的全面提升。

3　数字化转型智能化发展的策略布局

3.1　数字化转型智能化发展策略构想

油气行业工程公司的业务范围包括工程设计、施工、交付、管理,以及面向建设单位的生产运行与经营管理延伸服务,这些工作需要加强工程建设全价值链的管理能力,以设计为龙头,提高现代化施工能力和企业精细化管理能力,加强数字化交付能力建设并构建数智化的价值链延伸和协同,进而带动各环节专业化发展。数字化转型智能化发展构想见图 1。

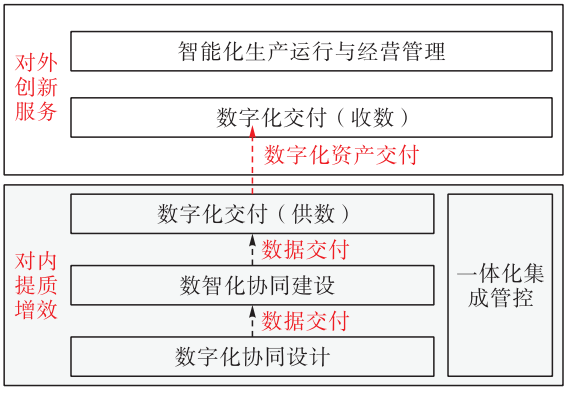

图 1　数字化转型智能化发展构想图

Fig. 1　Strategic conception map for digital transformation and intelligent development

数字化转型智能化发展的实施是一项系统工程。业务流程、标准固化、数据指标定义和分级是基础,需伴随系统建设形成一套新的业务标准和数据标准。为保证各项工作协调一致和有效推进,建议构建多层级工作

组织体系,强化集中领导和统筹规划,同时紧密融合相关业务、理论、技术、案例和实践经验,以优化项目建设的落地实施。在具体实施层面,应遵循对内提质增效与对外创新服务并举,积极开拓数字化业务道路;数字化转型理论与实践验证并举,快速打造数字化业务标杆;国内与国外数字化业务拓展并举,主动抢占数字化业务市场先机;坚持核心技术自主创新与引进吸收并举,深入推动数字化高端业务的全面发展。

3.2 数字化转型智能化发展主要方向

3.2.1 数字化协同设计

多平台全专业数字化协同设计能力,是工程公司高端设计能力和市场竞争力的重要体现,目前面临着国外成熟市场环境的考验与国内市场需求快速增长的双重挑战。这一趋势对工程公司的数字化协同设计软件体系、数据库体系、人才体系、作业组织与管理体系均提出了新要求。在智能油气田、炼化工厂和管道建设的浪潮中,数字化协同设计需深度融合实体工程与数智工程的理念,实现流程模拟、工艺设计和三维设计等关键作业环节的数据链路,通过优化与重构现有作业流程和作业模式,构建以信息协同、工具协同和作业协同为核心,支撑二维、三维设计深度融合的一体化协同设计体系。

3.2.2 数智化协同建设

倾力发展油气工程新基建,创新实践数智化协同建设新模式,贯穿油气工程设计、施工、运维等全生命周期,并具备自感知、自学习、自决策、自适应等特性,代表着油气工程建设新基建的一体化程度和精益化管理能力,建立设计、采购、施工一体化协同软件工具,解决油气工程建设业务中人、机、料的最优配置,是构建新型竞争优势的关键基石。相较于国外工程公司已拥有基于数据交换平台的完善一体化软件基础,支撑工程建设一体化业务的成熟运作,国内工程公司在广泛使用国外设计软件的同时,面临着构建自主可控工程建设协同环境的迫切需求,这对协同建造软件开发、运维能力和人才队伍建设方面提出了新挑战。油气行业工程公司数智化协同建设应以数字化设计为龙头,数字化交付为抓手,并通过数智技术形成实时最优的工程建设资源配置,实现 EPC 业务间的联动和实时信息感知,从而提高建造效率和质量。

3.2.3 数字化交付

数字化交付作为连接油气行业工程公司对内提质增效与对外创新服务的纽带,伴随着油气工业向数字化转型智能化发展方向的迈进,其目标、范围、深度及方式均发生了显著变化。这一过程正逐步从传统的工程建设数据移交转变为数据资产交付的新阶段。现代数字化交付不仅要支撑数智化协同建设的需求,还需有力支撑智能化生产运行与经营管理活动。新型数字化交付体系涵盖了横向和纵向维度。横向交付是油气工程产业链之间的交付,旨在促进数智化协同建设的深化和工程建设数字孪生体的构建;纵向交付是横向产业链数据向智能化应用的多层级交付,核心是构建企业级数据资产并支撑智能化生产运行与经营管理。数字化交付工作的核心在于创建与实体工程信息高度一致的数字化工程成果,确保交付内容不仅反映工程实际,更蕴含数据资产的潜在价值,为油气行业的数字化转型智能化发展奠定坚实基础。

3.2.4 一体化集成管控

油气行业工程公司数字化转型智能化发展的一体化集成管控能力提升,主要集中于对内提质增效,其成效可间接赋能对外创新服务,首要任务是基于前瞻性眼光将数智化技术融入企业管控体系,驱动业务模式的革新与升级。其次,需构建敏捷的组织架构,确保企业能够快速响应业务和市场的动态变化。同时,注重培养具备高度数智化素养的专业团队,深化数据资产应用,为企业管控的精准决策提供坚实支撑,确保油气行业工程公司能够在数字化转型智能化发展中稳健前行。这一系列举措旨在形成一套企业精细化的管控作业工具、高效协同模式以及健全的体制机制,为油气行业工程公司的持续进步与发展奠定坚实基础。

3.2.5 智能化生产运行与经营管理

作为油气行业工程公司,基于数智技术和油气工程业务的深度融合,开展建设单位智能化生产运行与经营管理解决方案,是推进数字经济发展的一项重要对外创新服务。建设单位智能化生产运行与经营管理应围绕现场作业智能操控、生产运行智能管控和经营管理智能决策。为实现这一目标,需采用业务标准化、流程可视化、数据资产化、信息链条化、运营知识化和管理智能化的方法,构建涵盖数据采集、处理、存储、应用和管理的智能化油气田应用系统,最终形成地上地下一体化、建设运行一体化、经营管理一体化和上下游一体化的智能化生产经营管理模式,以促进油气新质生产力的蓬勃发展。

3.3 数字化转型智能化发展应用技术储备

为了顺利推进数字化转型智能化发展工作,油气行业工程公司应立足业务需求,构建符合数字化、智能化应用的实际业务场景的数字化转型智能化发展技术储备体系。尤其要聚焦于代表未来技术发展方向并对业务变革产生深刻影响的数智化应用技术,当前比较典型的如元宇宙、人工智能、大数据及其相互融合的技术应用。应通过这些前沿技术的引入,驱动作业流程、管理模式和决策机制优化升级,共同奠定油气行业工程公司

数字化转型智能化发展的坚实基础,并在此基础上,促成对内提质增效新模式以及对外创新服务新能力。

3.4　数字化转型智能化发展实施路线

当前数字化转型智能化发展的实施应严格遵循“业务驱动、数智赋能”的核心原则。基于此,规划数字化转型智能化发展的建设蓝图并明确长期目标与场景,旨在为未来业务发展布局建立完整的数字化转型智能化发展业务场景和实施方案。实施过程中,一方面要持续关注数智企业文化的培育,确保团队成员具备前瞻性的数字化思维方式;另一方面要高度重视自主可控与信息安全体系的建设,以保障从传统信息化向数智化的平稳过渡,进而实现可持续的发展态势。

4　结论与展望

1)挖掘工程建设数字化潜力,增强工程建设 EPC 业务协同能力。充分借鉴国际先进企业的一体化建设协同组织经验,自业务顶端构建贯穿设计、采购、施工与交付工程建设全链条数字化管理体系。革新传统作业模式,依托数字化、信息化的设计工具、手段,促进业务之间的协同,实现表格化向数据化、批量化转型。整合离散信息转变为集中、统一的信息数据源,支撑数字化设计、数字化采购、数字化施工、智能化交付全业务流程,进而提升工程建设整体组织手段与组织能力,实现工程建设、管理组织模式的转变。

2)推动数字技术、数学模型、大数据分析与业务发展深度融合,推进实施“数据共建”“数据共治”“数据共享”策略。加快人工智能、数字孪生、物联网等数字技术的创新应用与跨领域融合,促进创新成果的工程化、产业化,培育数字技术与能源产业融合发展的新优势。构建数字化智能化新模式与新业态,加速向全面标准化、深度数字化和高度智能化转型,赋能业务转型升级和核心业务能力建设。

3)提高数据资产化管理水平,提升数据利用和价值挖掘能力。数据是数字化转型的基石,构建适应多元数数字化市场需求的大数据协同管理体系,是工程建设公司迈向数字化转型智能化发展的关键。核心在于打通数据链路,构建数据资产化能力,挖掘数据潜力,以构建促进内部效率提升与外部产业服务优化的管理体系。此外,基础国产化进程需要进一步加快,以支撑全面发展的可持续能力。针对数据共享水平和利用能力不高的短板,推进“数据共建”策略,构建统一的数据管理平台、技术架构和标准体系,逐步实现数据资产化。

4)加强数据中台和业务中台建设,赋能决策层和一线员工。聚焦于为前台业务提供智能化的数据支撑,推动流程智能化、运营智能化和商业模式创新,实现“业务数据化”和“数据业务化”。业务中台作为企业核心业务能力的载体,是油气行业工程公司数字化转型智能化发展的重点。通过沉淀可复用的业务能力到业务中台,促进数智技术能力复用和各业务板块之间无缝协同,确保关键业务链路的高效稳定,加速业务创新步伐。

5)加强人才队伍建设,视人才为数字化转型的首要驱动力。加强培育兼具业务经验与数字技术融合能力的跨界复合型人才,以支撑数字化转型的深入实施。构建完善的信息化组织架构和项目管理框架,确保数字化转型规划与业务现状及未来发展需求紧密融合,统筹兼顾部门内部效能提升与跨部门协同作业。同时,建立人才资源池化共享机制,促进人才资源在内外环境中的高效流通与优化配置;加大人才培养力度,推动员工能力素质的持续提升。

参考文献:

[1] 李玥洋,任静思,张　苏,等. 智能气田一体化模型数据共享平台建设与实践[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2023,45(1):155-162.
LI Yueyang, REN Jingsi, ZHANG Su, et al. Construction and application of intelligent gas field integrated model data sharing platform [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2023, 45 (1): 155-162.

[2] 石玉江,王　娟,魏红芳,等. 基于梦想云的油气藏协同研究环境构建与应用[J]. 中国石油勘探,2020,25(5):15-22.
SHI Yujiang, WANG Juan, WEI Hongfang, et al. Construction and application of oil and gas reservoir collaborative research environment based on E & P Dream Cloud [J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25 (5): 15-22.

[3] 孙柏林. ChatGPT:人工智能大模型应用的千姿百态[J]. 计算机仿真,2023,40(7):1-7.
SUN Bailin. ChatGPT: The origin and development of artificial intelligence large models [J]. Computer Simulatio, 2023, 40 (7): 1-7.

[4] 支振锋. 生成式人工智能大模型的信息内容治理[J]. 政法论坛,2023,41(4):34-48.
ZHI Zhenfeng. Information content governance of large model of generative artificial intelligence [J]. Tribune of Political Science and Law, 2023, 41 (4): 34-48.

[5] 王　皓,潘昱杉,潘　毅. 生成式人工智能大模型赋能的元宇宙生命体:前瞻和挑战[J]. 大数据,2023,9(3):85-96.
WANG Hao, PAN Yushan, PAN Yi. Generative AI empowered metaverse organisms: Prospects and challenges [J]. Big Data Research, 2023, 9 (3): 85-96.

[6] 胡耀义,金　锋,修　宇,等. 基于区块链的智能油气田数

据生态建设方法[J]. 油气与新能源,2021,33(3):50-54.
HU Yaoyi, JIN Feng, XIU Yu, et al. Blockchain based construction of data ecology in intelligent oil and gas fields [J]. Petroleum and New Energy, 2021, 33 (3): 50-54.

[7] 陈 珂,丁烈云. 我国智能建造关键领域技术发展的战略思考[J]. 中国工程科学,2021,23(4):64-70.
CHEN Ke, DING Lieyun. Development of key domain-relevant technologies for smart construction in China [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23 (4): 64-70.

[8] 李牧松,金雪平. 智慧油气田建设在油气开发中的研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2021,41(15):122-123.
LI Musong, JIN Xueping. Research on the construction of smart oil and gas fields in oil and gas development [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2021, 41 (15): 122-123.

[9] 赵梓羽. 生成式人工智能数据安全风险及其应对[J]. 情报资料工作,2024,45(2):30-37.
ZHAO Ziyu. Data security risks of generative artificial intelligence and their countermeasures [J]. Information and Documentation Services, 2024, 45 (2): 30-37.

[10] 尤长虹,张友松,黎伟雄,等. 基于大数据分析的风选智能分析感知和预测系统研究[J]. 中国高新科技,2023(3):52-56.
YOU Changhong, ZHANG Yousong, LI Weixiong, et al. Research on intelligent analysis perception and prediction system of wind selection based on statistical data analysis technology [J]. China High-Tech, 2023 (3): 52-56.

[11] 李 桃,严小丽. 智能建造与建筑工业化协同发展系统及作用机制[J]. 土木工程与管理学报,2022,39(1):131-143.
LI Tao, YAN Xiaoli. System and internal mechanism of intelligent construction and construction industrialization collaborative development [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2022, 39 (1): 131-143.

[12] 李书科. 能源大数据背景下微网风险元传递模型与优化研究[D]. 北京:华北电力大学(北京),2017.
LI Shuke. Research on risk element transfer model and optimization of microgrids under the background of energy big data [D]. Beijing: North China Electric Power University (Beijing), 2017.

[13] 陈怀英,胡光辉,周思柱. 人工智能在油气勘探开发中的应用综述[J]. 计算机科学,2019,46(11):1-12.
CHEN Huaiying, HU Guanghui, ZHOU Sizhu. Progress of artificial intelligence in the oil and gas exploration and development [J]. Computer Science, 2019, 46 (11): 1-12.

[14] 段友祥,李剑锋,涂 乙,等. 基于深度学习的地震资料岩性识别方法研究[J]. 石油物探,2020,59(2):211-218.
DUAN Youxiang, LI Jianfeng, TU Yi, et al. Research on seismic lithology identification method based on deep learning [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2020, 59 (2): 211-218.

[15] 贾承造,邹才能,朱如凯,等. 人工智能驱动下的油气勘探开发发展机遇与挑战[J]. 石油勘探与开发,2020,47(1):1-8.
JIA Chengzao, ZOU Caineng, ZHU Rukai, et al. Opportunities and challenges for the development of oil and gas exploration and development driven by artificial intelligence [J]. Petroleum Exploration & Development, 2020, 47 (1): 1-8.

[16] 高 原,李勇根,张继红,等. 基于支持向量机的低孔低渗储层含油性预测[J]. 石油学报,2020,41(1):101-108.
GAO Yuan, LI Yonggen, ZHANG Jihong, et al. Prediction of oil content in low porosity and low permeability reservoirs based on support vector machines [J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41 (1): 101-108.

[17] 耿艳峰,魏修成,李 阳,等. 基于遗传算法的油气管道优化设计[J]. 油气储运,2020,39(1):1-7.
GENG Yanfeng, WEI Xiucheng, LI Yang, et al. Optimization design of oil and gas pipelines based on genetic algorithm [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39 (1): 1-7.

[18] 孙俐丽,吴建华,袁勤俭. B2C 企业数据资源质量影响因素研究[J]. 情报理论与实践,2017,40(7):99-102.
SUN Lili, WU Jianhua, YUAN Qinjian. Research on factors influencing the quality of data resources in B2C enterprises [J]. Intelligence Theory and Practice, 2017, 40 (7): 99-102.

[19] 郝世彦,王卫平,张海刚,等. 基于机器学习的致密砂岩气藏甜点预测方法[J]. 石油勘探与开发,2020,47(1):1-10.
HAO Shiyan, WANG Weiping, ZHANG Haigang, et al. A machine learning based sweet spot prediction method for tight sandstone gas reservoirs [J]. Petroleum Exploration & Development, 2020, 47 (1): 1-10.

[20] 范铁光,梁爱国,张 雪,等. 基于机器学习的碳酸盐岩缝洞型储层预测方法[J]. 石油地球物理勘探,2020,55(1):111-119.
FAN Tieguang, LIANG Aiguo, ZHANG Xue, et al. A prediction method for carbonate fractured and vuggy reservoirs based on machine learning [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2020, 55 (1): 111-119.