

文章编号: 0253-2697(2021)02-0248-11 DOI:10.7623/syxb202102009

特约稿件

油气行业数字化转型研究与实践

杨剑锋¹ 杜金虎² 杨 勇¹ 樊少明¹

(1. 昆仑数智科技有限责任公司 北京 102206; 2. 中国石油勘探与生产公司 北京 100007)

摘要:油气行业目前面临着价格波动、去碳化法规推动的天然气和可再生能源业务增长、勘探环境日趋复杂导致开采成本不断上升等一系列挑战,积极应用大数据、云计算、物联网、人工智能等新兴技术,搭建云应用体系,推动数字化转型,可以不断提升油气企业的业务智能化水平和行业生态影响力。作为全球大型油气企业,中国石油天然气集团有限公司近年来不断创新油气业务的云技术架构和一体化解决方案,积极打造了勘探开发梦想云,构建了由设备设施、边缘计算、IT 设施、数据湖、基础底座、服务中台、业务应用、统一入口 8 个层面以及贯穿这 8 个层面的网络安全体系和标准与规范体系构成的石油工业互联网,组建勘探开发梦想云联盟,培育数字生态圈,有力推动了油气业务数字化转型和智能化发展。

关键词:油气行业;数字化转型;智能化发展;一体化解决方案

中图分类号:TE11

文献标识码:A

Research and practice on digital transformation of the oil and gas industry

Yang Jianfeng¹ Du Jinhu² Yang Yong¹ Fan Shaoming¹

(1. Kunlun Digital Technology Co., Ltd., Beijing 102206, China;

2. PetroChina Exploration & Production Company, Beijing 100007, China)

Abstract:Currently, the oil and gas industry is facing a series of challenges such as fluctuations in prices, the growth of natural gas and renewable energy resources driven by de-carbonization of the economy regulations, and the increasingly complex exploration environment leading to rising mining costs. Actively applying big data, cloud computing, Internet of Things, artificial intelligence and other emerging technologies, building a cloud application system, and promoting digital transformation can continuously improve the level of business intelligence and the influence of industry ecology of oil and gas companies. As a large global oil and gas company, China National Petroleum Corporation has continuously innovated the cloud technology architecture and integrated solutions for its oil and gas business in recent years. Further, it has actively created the dream cloud for hydrocarbon exploration and development, built the petroleum industry internet composed of eight aspects of equipment and facility, edge computing, IT facility, data lake, basic platform, service platform, business application, unified entrance, and the network security system and standard and norm system incorporating these eight aspects, so as to form a dream cloud alliance for hydrocarbon exploration and development, and construct a digital ecosphere. It has strongly promoted the digital transformation and intelligent development of oil and gas business.

Key words:oil and gas industry; digital transformation; intelligent development; integrated solutions

引用:杨剑锋,杜金虎,杨勇,樊少明.油气行业数字化转型研究与实践[J].石油学报,2021,42(2):248-258.

Cite: YANG Jianfeng, DU Jinhu, YANG Yong, FAN Shaoming. Research and practice on digital transformation of the oil and gas industry[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(2): 248-258.

当前,由新兴数字技术所引发、以智能化为标志的数字化转型方兴未艾,催生新产业、创造新业态,使数字经济逐渐成为社会发展的主流,并重构新的数字世界。《全球数字经济新图景(2019 年)》显示,2018 年中国数字经济规模达到 31.3 万亿元,居全球第 2 位,占同年中国国内生产总值(GDP)的 34.8%,而欧美发达国家数字经济的 GDP 占比达 40.0%以上,预计未来 3 年,数字经济将贡献全球 GDP 总量的 60.0%,发展空间巨大^[1]。在数字经济大发展的背景下,各行各业应

积极拥抱数字技术,把握数字经济发展机遇,开启数字化转型之旅。

油气行业作为社会经济的重要组成部分,不仅能保障社会近半数的能源供给,提供大量的生产、生活原材料和必需品,还能够带动超大型项目落地,对经济发展影响巨大。油气行业是典型的传统行业,一方面,随着社会技术的不断发展,社会需求不断增加,从早期的照明与取暖做饭,到机械运行与交通工具的能源消耗,再到化学纤维、化工品等的供应,直至“吃、穿、住、行、

基金项目:中国石油天然气股份有限公司投资信息化重点项目“勘探开发一体化协同研究及应用平台(一期)建设”(PetroChina-IT-2017-N104)资助。
第一作者及通信作者:杨剑锋,男,1970 年 4 月生,2010 年获对外经济贸易大学国际贸易学硕士学位,现为昆仑数智科技有限责任公司高级工程师,主要从事信息化管理工作。Email: yangjianfeng1@cnpc.com.cn

产”无处不在的油气产品消耗,油气市场需求和规模大幅增长;另一方面,随着油气勘探与开发水平的不断提升,从早期的人工地面地质勘察,到重、磁、电法勘探和数字二维、三维地震处理解释技术,再到油藏数值模拟和数字盆地,现在已发展出智能钻井^[2]、智能油气田生产,油气产能大幅提高,无不体现了科技带来的翻天覆地的变化。得益于科技的发展,近代油气行业不断扩张。在当前“大(大数据)、物(物联网)、云(云计算)、移(移动互联)、智(人工智能)”等新兴技术蓬勃发展的大环境下,油气行业通过数字技术与业务的深度融合,利用数字化、智能化技术破解企业发展中的瓶颈问题,解决业务痛点与难点,已成为当前科技发展的主要趋势,数字化转型、智能化发展已成为推进企业降本增效、高质量发展和推动数字经济快速增长的重要手段^[3]。

1 发展趋势

随着全球气候变化以及新能源和可再生能源技术的不断发展,能源消费结构朝多元化方向发展,但油气在全球能源消费总量和增长贡献中仍然占主导地位^[4]。国际能源署(International Energy Agency,即 IEA)发布的数据显示,2018 年全球一次能源消费总量为 $143.01 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量,其中,石油消费量为 $44.88 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量,占比为 31%;天然气消费量为 $32.53 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量,占比为 23%,油气消费总量占比超过 50%^[5]。IEA 预测 2040 年前全球能源需求将以每年

1.0%的速度增长,远低于 2018 年 2.3%的增长水平。由于能效更高的汽车和电动汽车的普及,全球原油需求将在约 2030 年触顶;而全球天然气需求在 2030 年之前将持续增加,然后出现回落。

中国油气资源需求带动行业发展,同时也面临着诸多挑战,例如新能源需求大幅增长、原油价格长期低位运行、勘探开发难度加大、单井产量偏低而油气生产成本普遍偏高等。利用数字化、智能化技术解决或辅助解决成本、质量、效率、效益、健康、安全与环保等问题,已成为石油公司和油田技术服务公司的普遍共识^[6]。

1.1 新兴数字技术成为社会发展新动能

著名咨询公司 Gartner^[7] 公布 2020 年十大战略技术趋势展望(表 1),将战略技术趋势定义为“具有重大颠覆性潜力的趋势,正在从新兴状态中发展壮大,有望产生更广泛的影响及应用范围,或者正在以巨大的波动性迅速增长,并预计能够在未来 5 年内达到临界点”。Gartner 同时预测,云计算技术将在未来 2~5 年内趋于成熟,人工智能平台(Artificial Intelligence Platform-as-a-Service,即 AI PaaS)、物联网(Internet of Things,即 IoT)平台、边缘计算、区块链和云原生作为技术热点,将在未来的 2~10 年内成为发展趋势。国际权威市场分析机构 International Data Corporation(IDC)预测^[8],未来企业数字化转型的关键之一是打造以云和智能为核心的数字化原生互联网技术。

表 1 2020 年十大战略技术趋势^[7]
Table 1 Top ten strategic technology trends in 2020

序号	战略技术	技术简介
1	超自动化	超自动化开端体现为机器人流程自动化(RPA),其指的不仅是工具台的广度,同时也涵盖自动化本身所涉及的一切步骤(发现、分析、设计、自动化、测量、监控与重新评估等)
2	多重体验	自然语言对话平台、虚拟现实(VR)、增强现实(AR)以及混合现实(MR)技术的快速发展,为用户带来前所未有的多重感官与模式体验
3	专业知识的通俗化	指“从根本上简化体验,而无需广泛且昂贵的培训”,从而确保用户能够更广泛地获取技术专业知识(例如机器学习、应用程序开发)或者业务相关专业知识(例如销售流程与经济分析)
4	人类增强	人类增强可谓永恒的主题,核心理念在于利用技术的力量促进人类在认知与体能方面的提升
5	透明度与可追溯性	在数字道德与隐私需求的浪潮当中,透明度与可追溯性无疑是两大关键性要素,重点应用于人工智能与机器学习;个人数据隐私、归属与控制;符合道德规范的设计
6	边缘计算	是一种计算拓扑成果,其中信息处理与内容收集/传递发生在邻近数据源、存储库以及使用者的位置,而实际上边缘计算也有潜力在几乎一切行业及用例当中发挥作用
7	分布式云	本质是将公有云服务分发至不同的位置,并由原公有云服务供应商负责服务的运营、治理、更新与演进工作,有望引领云计算进入新的时代
8	自主设备	利用 AI 技术实现传统只能由人类执行的任务的自动化物理设备,具体包括机器人、无人机、无人驾驶汽车和船舶以及设备等
9	实用型区块链	区块链技术拥有通过建立信任和提供透明度以及跨业务生态系统实现价值交换等方式、显著降低成本和减少交易结算时间并改善现金流的巨大潜能,甚至有望重塑行业的整体面貌
10	人工智能安全	安全与风险领导者应专注于 3 个关键领域——保护人工智能赋能系统、利用人工智能提升安全防护机制以及做好攻击者对人工智能的恶意使用的心理准备

IDC^[8] 预测到 2022 年,全球数字化经济规模将达到 46 万亿美元,占全球 GDP 总量的 46%,其 2018—2022 年的年复合增长率将达到 36%。IDC^[8] 认为

2020 年是非常关键的一年,全球政治经济环境持续波动,中国“十三五”(2016—2020 年)规划进入收官之年,下一个五年规划和十年进程即将开启,数字化转型

将进入 2.0 时代。数字化转型的核心是实现规模化倍增创新,无处不在的 AI、每个人都是开发者、云与边缘的融合、重新定义信任和解决方案自动化 5 个方面将共同驱动倍增创新。为了竞争和发展,新型企业将应运而生,“未来企业”将成为数字经济发展的主旋律,客户、能力、关键基础设施、行业生态系统将成为企业高管的 4 大支柱。理解和掌握未来的唯一方法就是自己创造未来。

云原生方面,预计到 2021 年,55% 的中国新增企业应用将是基于超敏捷架构开发的云原生应用,10% 的环境将内置机器学习功能。多云管理方面,预计到 2024 年,70% 的中国 500 强组织将用集成工具来实现跨公有云和私有云的多云管理策略。用户界面或人机接口 UI 重构方面,预计到 2023 年,支持 AI 的人机交互接口将取代目前中国 50% 的基于屏幕的 B2B(Business-to-Business,企业对企业的商业模式)和 B2C(Business-to-Customer,企业对客户的商业模式)应用程序(APP)。

全球企业信息化工作重点已转向数字化赋能。预计到 2025 年,全球近 2/3 的企业将成为多产的软件生产商,超过 90% 的 APP 将是云原生程序,至少 90% 的新 APP 将嵌入人工智能,使其“更智能”和“更动态”。同样地,中国 500 强企业也具有相似的发展趋势。

1.2 油气行业新兴数字技术应用方兴未艾

IEA 署长 Fatih Birol 指出^[9],全球油气公司都面临着诸如价格波动、地缘政治变化导致不同地区供需不对称、越来越多的去碳化环境法规推动着扩大天然气和可再生能源业务来实现业务增长等一系列变化。油气行业在当下快速发展变化的环境中摸索前行,应当充分利用供应链整合、物流、贸易和支付等领域的新兴机遇,持续推进数字化转型,努力探索和打造新的商业模式。

数字技术的大规模应用,能够让油气生产成本降低 10%~20%,让全球油气技术可采储量提高 5%。按照 2016 年全球 44×10^8 t 的石油产量和每桶 40 美元的平均开采成本估算,数字技术的广泛应用每年可以为石油行业减少 1 300~2 600 亿美元的成本,利益空间巨大。

1.2.1 大数据技术

“大数据”是需要新处理模式才能具有更强的决策力、洞察发现力和流程优化能力来适应海量、高增长率和多样化的信息资产^[10]。大数据技术的战略意义不在于掌握庞大的数据信息,而在于对这些含有意义的数据进行专业化处理。换言之,如果把大数据比作一种产业,那么这种产业实现盈利的关键在

于提高对数据的“加工能力”,通过“加工”实现数据的“增值”。

大数据技术发展及其应用成果为制定石油行业的未来发展战略提供了重要依据^[11]。从根本上讲,导致目前全球能源问题的关键因素是缺少快速有效地发现并获取石油和天然气资源的技术手段,因此,石油工业对海量数据本身和大数据技术的依赖性更强^[12]。

斯伦贝谢公司利用 DELFI 认知勘探与开发环境,创新应用数据摄取、数据充实、数据洞察等核心理念与技术,构建数据湖,实现勘探开发数据全连接^[13];采用微服务构建专业 PaaS 平台,支持上游业务自动化和智能化应用场景。

1.2.2 云计算技术

“云”实质上就是一个网络。从狭义上讲,云计算就是一种提供资源的网络,使用者可以随时按需求量获取“云”上的资源,并且可以将“云”看成是可无限扩展的,使用者只需按使用量付费即可。“云”就像自来水厂,用户可以随时用水且不限用量,按照自己所用的水量付费给自来水厂即可。

从广义上说,云计算是与信息技术、软件、互联网相关的一种服务,把“云”中的许多计算资源集合起来,通过软件实现自动化管理,该过程只需要很少的人参与,就能让资源被快速提供^[14]。也就是说,计算能力作为一种商品,可以在互联网上流通,就像水、电、煤气一样,可以方便地取用,且价格较为低廉。

随着大型国有企业的规模不断扩大、业务不断发展,能否深层次地应用信息化互联网技术已经成为评价企业核心竞争力的重要指标^[15]。随着全球形势变化,能源行业积极倡导节能环保和新兴技术应用,云计算技术以其共享节能、动态调配等优势而逐渐应用到政府、电信、石油化工等重要领域。

1.2.3 物联网技术

物联网是通过信息传感器、射频识别技术、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器等装置与技术,实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程,采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等需要的信息,通过各类可能的网络接入,实现物与物、物与人的泛在连接,从而实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理^[16]。物联网是一个基于互联网、传统电信网等的信息承载体,它让所有能够被独立寻址的普通物理对象形成互联互通的网络。物联网是在互联网基础上延伸和扩展而来,将各种信息传感设备与互联网结合起来形成的一个巨大网络,实现人、机、物在任意地点和任意时间的互联互通^[17]。

“十二五”(2010—2015年)期间,中国石油天然气集团有限公司(中国石油)统一规划建设油气生产物联网系统,经过6年的研发及应用,已取得显著成果,在油气企业组织架构、生产运行管理方式、安全风险控制、员工工作方式等方面带来了深刻变革,大幅提高了生产作业和运行管理的效率,显著改善了员工的生产生活环境,如长庆油田实现了油气产量翻番而用工总量不增^[18]。在2019年世界物联网博览会新技术新产品新应用成果发布会上中国石油荣获金奖^[19]。

英国石油公司(BP)基于物联网技术,对生产运行各关键节点及全局进行模拟,预测生产环节及整体状态,优化生产系统运行和计划安排。结合生产信息及历史数据的综合分析,持续提升生产模型的精度,显著提升生产模拟与预测的准确性及可靠性,从而实现降本增效,并带来巨大收益。

1.2.4 移动应用技术

2006年以来,移动应用的快速发展已取得令人惊叹的成就。从PC互联网时代到移动互联网时代,再到全民移动互联网时代,移动应用已经遍及社会生产、生活的方方面面。中国互联网络信息中心(CNNIC)2020年4月28日发布的第45次《中国互联网络发展状况统计报告》显示,截至2020年底,中国网民规模将达到9.04亿,同比增长7508万;互联网普及率达到64.5%,同比提高4.9%;中国手机网民规模将达8.97亿,同比增长7992万,使用手机上网的比例达99.3%,同比提升0.7%。截至2020年3月,中国即时通讯用户规模将达8.96亿,手机即时通信用户规模达8.90亿;中国网络新闻用户规模达7.31亿,手机网络新闻用户规模达7.26亿;中国网络购物用户规模达7.10亿,手机网络购物用户规模达7.07亿;中国网络支付用户规模达7.68亿,手机网络支付用户规模达7.65亿。上述数据表明,使用移动应用已经成为网民必不可少的一种生活方式,各种各样的手机APP占用了网民大量的上网时长。笔者认为,未来的移动应用市场将融入更多人民的生活,随着人类科技的进步以及5G时代的来临,将出现更多创新型的移动应用。

荷兰皇家壳牌石油公司(Shell)基于客户画像,利用移动智能设备自动识别客户,为客户提供个性化信息服务,并通过智能设备接收客户加油金额或加油量指令,实现无现金交易。通过Shell APP,汽车驾驶员可以简单地在Shell加油站中通过车内触摸屏选择加油金额或加油量,提枪加油后直接通过触摸屏进行支付,支付完成后账单自动发送至车内触摸屏及驾驶员

的邮箱。车内支付(In-car payment)致力于打造一个让客户生活更便捷的无现金环境。

1.2.5 人工智能技术

人工智能是一门研究和开发用于模拟、延伸、扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的技术科学。是计算机科学的一个分支,试图了解人类智能的实质,并生产出一种新的能以与人类智能相似的方式做出反应的智能机器。该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。自诞生以来,人工智能的理论和技术的日益成熟,应用领域也不断扩大,可以设想,未来人工智能带来的科技产品将会是人类智慧的“容器”,可以对人的意识、思维的信息过程进行模拟。人工智能不是人的智能,但能像人那样思考、也可能超过人的智能。人工智能在计算机领域得到了愈加广泛的重视,并在机器人、经济决策、控制系统、仿真系统中得到应用。

传统油气公司积极与ICT公司跨界融合,融入新的技术要素,致力于打造油气行业平台与生态系统。2017年,哈里伯顿公司宣布与微软公司达成战略合作协议,共同致力于推动油气行业数字化转型;2018年,道达尔公司和谷歌公司达成了战略合作,攻坚人工智能处理地质数据的技术;2019年,斯伦贝谢公司和罗克韦尔公司创办合资公司Sensia,打造首家全集成数字油田自动化解决方案提供商;2019年,贝克休斯公司和C3.ai公司成立合资企业,将贝克休斯的油气技术领域专业知识与C3.ai的人工智能软件套件及解决方案相结合。

1.2.6 区块链技术

区块链是一种分布式账本。分布式账本是由网络中所有参与者共享、加密签名、不可撤销、事务记录、按时间顺序排列的扩展列表,每条记录都包含一个时间戳和前面交易的参考链接。Gartner是评估区块链的先行者,但政府和供应链现在已经有了同等的动力。区块链将影响所有行业,因为所有行业都需要信任交易。IDC认为企业已经认识到了区块链的潜力,中国区块链市场将迎来快速增长,2022年的市场支出规模预计将达到14.2亿美元,2017—2022年的年均复合增长率将达76.3%。

加拿大BTL集团推出了区块链交易平台Interbit,2017年6月,BP和意大利埃尼石油集团(Eni)等公司利用该平台的透明且安全的分类账上进行了天然气和石油交易。2017年11月,BP和Shell联手大宗商品交易巨头Gunvor和荷兰银行、法国兴业银行等财团,开始打造一个基于商品贸易的区块链数字平台。区块链与石油天然气行业的结合,为简化和改进跨境

支付、记录管理、供应链管理和智能合约等潜在应用提供了许多机会。

1.2.7 数字孪生

数字孪生是现实世界实体或系统的数字表示技术。除了从现实世界的实体接收馈送之外,数字孪生还可以将数据、软件、模型更新下载到现实世界实体或其附近的系统。数字孪生侧重于创建现实世界中实体操作的适当数字表示,可以像具有关键性能指标(如阈值温度或振动)的仪表盘一样简单。但在另一个极端,数字孪生也可以非常复杂,可以存在于物理事物、人员、流程、组织和环境中,结合来自许多传感器和外部数据的输入以支持高级模拟。数字孪生是实体的结构化表示,包括数据结构、元数据、物理属性和关键变量。更复杂的复合数字孪生可以用更简单的原子数字孪生组装形成模型。同时,数字孪生还拥有实体数据,如身份、时间序列、位置详细信息、上下文数据和事件,可以查询现实世界对象的状态,或通过应用程序编程接口(Application Programming Interface,即 API)、事件流实时或接近实时地接收通知,具

备监控能力的特性。

美国 Texaco 公司已经在休斯敦建成世界上第一个油气工业专用的虚拟现实(VR)中心。利用 VR 系统创建实时的“海底作业环境”,通过可遥控远程作业车实现了远程作业。这项技术在海洋钻井作业领域已有应用。

“AR+AI”智慧加油站解决方案是昆仑数智科技有限责任公司物联网实验室打造的“石油大脑”计划之一,汇聚了大数据、云计算、AI+AR、IoT、数字孪生等技术,已应用于工业、安防、安控等领域。昆仑数智科技智能技术已在物探、钻井、油气开采、管道、炼化、销售等领域落地,便捷人们的生活,提高了人机效率。

1.3 油气行业信息化发展趋势

为适应数字经济的迅猛发展,全球企业应不断创新业务和技术,加速数字化转型,提升核心竞争力,争取在行业中占据有利位置。笔者在总结全球数字技术发展历程和企业信息化做法的基础上,认为未来油气行业信息化发展趋势主要是“十四化”的兴起(图 1)和“万物全联通”。

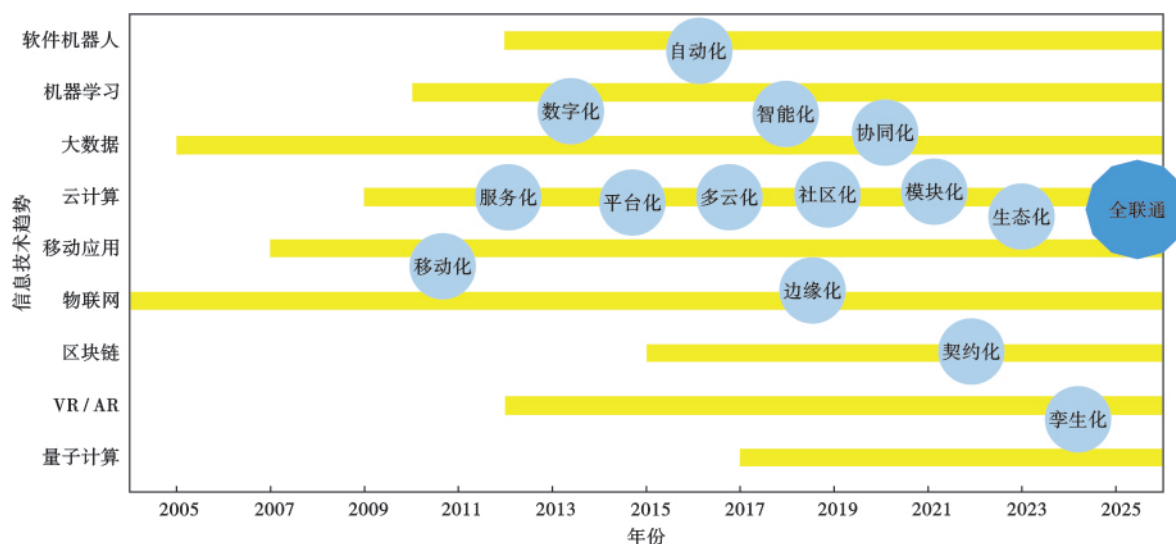


图 1 信息技术趋势示意

Fig.1 Schematic diagram of information technology trends

1.3.1 移动化

移动化趋势于 2009 年前后兴起,并伴随着移动互联网的浪潮席卷全球。油气行业的勘探开发、炼化、管道、销售等主营业务及其活动环节正逐步实现移动化管理。通过移动终端在办公室、生产现场、通勤旅途和住所等场景中的广泛应用,业务数据采集、传输、处理和成果推送实现移动化,从业人员可以随时随地办理事务,确保了数据的时效性、决策的及时性,提升了业务与办公效率。

1.3.2 服务化

服务化大致兴起于 2011 年。随着云计算的兴起,IaaS 云提供了计算、存储、网络、运行环境以及数据和软件资源等各类 IT 资源一体化的共享服务,提升了资源利用率和专业服务水平,充分发挥了资源价值。通过多云集成平台,形成统一的服务机制和标准。

1.3.3 全面数字化

全面数字化于 2013 年前后被提出。机器学习技

术的突破引发了第二代数字化转型,数字化这个概念得以快速发展;随着5G、物联网、区块链、人工智能等新兴技术的成熟,一切皆可“数字”的时代正式开启,催生了全数字化发展。在具体实践中,数据湖技术日趋成熟,实现了结构化与非结构化原生数据的有效管理,为深度智能应用打下基础。

1.3.4 平台化

2015年初平台化开始兴起。第三平台的到来,标志世界进入从“N”到“1”的统一数字平台阶段,其支撑能力可满足上千万应用和上百亿用户访问量,核心架构是以云为基础、以数据分析与算法为核心、以数字服务为接口,实现多技术纳入统一管理的一体化开发运营,为工业应用提供支撑。

1.3.5 自动化

自动化概念在2016年前后被重新定义。全球领先企业从流程模型开始着手创建和管理自动化流程,拓展软、硬件机器人技术(RPA)的应用,快速满足不断变化的业务需要,实现高效自动化或自主化操作,提升生产效率和客户体验质量。

1.3.6 多云化

2017年随着私有云、公有云等概念的提出和发展,多云化概念被提出。通过安全的多云管理,实现企业云与公有云的互联,有效整合了企业内部数据、外部数据和网络资源,用户可就近使用共享服务,有利于降低资源服务成本。

1.3.7 智能化

智能化的再次火爆始于2018年。当下,智能化已经渗透到油气业务的各个环节,从现场智能作业、数据自动采集,到智能数据处理解释与方案优选,再到智能经营管理与辅助决策,机器人、深度学习、数字孪生等智能化技术在企业提升效率、降低成本、保障安全等方面带来的价值日益显著。

1.3.8 边缘化

作为云计算的延伸,边缘化的兴起大概始于2018年底。在企业(尤其工业企业)生产现场或生产网边际部署边缘计算服务器或网关,采集现场原生数据,实现“最后一公里”应用接入,使生产现场能够远程获得边缘计算模型加载、预警预测等服务能力。物联网系统就是典型的边缘化应用,未来智能升级主要体现在边缘计算上。

1.3.9 社区化

2019年初,社区化席卷全球。软件开发不再是从0开始,程序员在各类开发社区共享源代码,提供技术服务、交换软件成果,而公共使用的云端开发平台为程序员提供统一的技术标准、编程工具和环境以及面向

程序员的社交网络。全球社区组织主要分为技术开发、行业应用和数据标准等类别,支撑各行业的信息技术应用。

1.3.10 协同化

2020年,协同化概念兴起,工作随时随地协同高效。在统一平台、数据湖基础上,各业务团队实现全线上、跨专业、跨学科、跨地域、跨时空的协同工作;工作成果在平台沉淀并融入行业知识图谱,通过工业APP实现成果的共享应用,从而改变劳动组织模式,为企业生产、经营和员工赋能。

1.3.11 模块化

模块化被赋予新的模式。随着云平台、微服务、DevOps等敏捷软件开发技术成为主流,传统的工业软件应用正在转变为“模块化、迭代式、微服务”的新工业APP应用生态形式,支撑业务快速创新、敏捷迭代,以提高用户体验。

1.3.12 契约化

随着区块链等技术的成熟,契约化亦逐渐成熟。基于分布式记账理念,构建以区块链等技术为支撑的数字信用价值互联网,使得各行业领域中的软件、数据资产、技术服务等实现在线交易、契约可信。

1.3.13 生态化

生态化概念预计在2023年前后成熟。围绕企业平台,以平台为中心,将多种技术纳入管理,培育开放的互联网技术生态。同时,以主营业务为导向,整合各类资源、调动各方积极性,培育互信的互联网业务生态,最终打造“共创、共建、共享、共赢”的信息化运营生态。

1.3.14 孪生化

孪生化目前尚处于初级概念阶段,预计将在2024年前后趋于成熟。数字孪生技术基于数字模型附加感知、3D/VR/AR和仿真等技术应用,获得可视化虚拟体与真实体之间的实时同步或增强,实现数字世界设计与优化、物理世界建设与执行,从而达到物理世界和数字世界的融合。

2 数字化转型、智能化发展一体化方案设计

2.1 总体设计思路

中国石油为落实国家数字化转型的发展要求,顺应信息化发展趋势、完善企业工业互联网体系,借鉴勘探开发梦想云实践,打造适合国企尤其是大型央企的一体化解决方案,以数字平台为核心、以感知控制为基础、以智能场景为牵引,助力数字化转型、智能化发展,推动企业提质增效,提升企业核心竞争力(图2)。

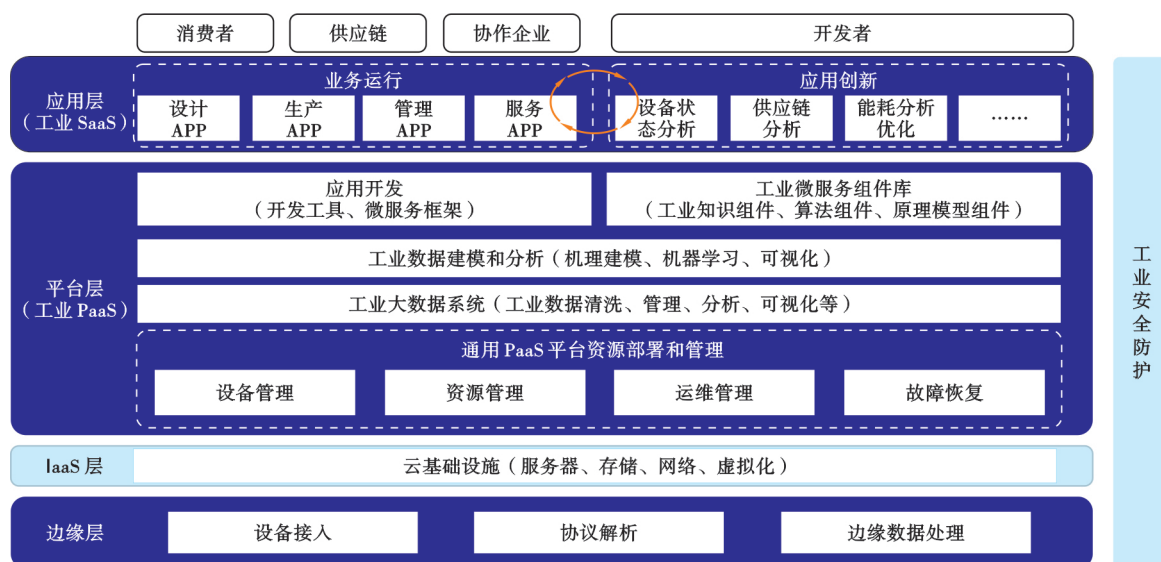


图 2 工业互联网分层定位

Fig.2 Industrial internet hierarchical position

(1) 智能场景为牵引

形成满足不同行业、不同场景的工业 SaaS (Software-as-a-Service, 软件即服务) 和工业 APP, 实现工业互联网平台的最终价值。

(2) 数字平台为核心

基于通用 PaaS 叠加大数据处理、工业数据分析、工业微服务等创新功能, 构建可扩展的开放式工业操作系统。

(3) 感知控制为基础

通过大范围、深层次的数据采集和异构数据的协议转换与边缘处理, 构建工业互联网平台的数据采集体系, 实现全面感知和控制。

2.2 总体设计与建设方案

打造由设备设施、边缘平台、IT 设施、数据湖、基础底台、服务中台、业务应用、用户入口以及贯穿这 8 个层面的网络与工控安全体系、标准与规范体系构成的工业互联网解决方案(图 3)。

2.2.1 设备设施

设备设施是指油气生产与管理过程中的机械、电气、特种、办公、运输车辆、仪器仪表和生产系统所包含的计算机终端与网络等通用设备, 油气田、炼化、管道、加油站、公安消防等专用设备, 以及为了特定需求而建立的机构、系统、组织、建筑等设施。随着技术进步, 先



图 3 工业互联网解决方案总体架构设计

Fig.3 Overall Architecture of the industrial internet solution

进设备设施上配置有运转、监测、控制、操作者、安全和环境等相关的自动化仪器仪表,获取生产、安全、环境等实时数据,以便远程感知和控制现场设备与生产。

2.2.2 边缘平台

边缘平台提供现场原生数据接入和协议转换,实现有效统一数据采集,将设备设施采集的各类数据汇集起来,上传远端服务器或即时处理,同时把接收自远端或自处理的指令发送至设备设施。随着技术演进和自主可控能力的提升,边缘数据分析由简单计算向人工智能延伸,支持现场生产的预警预测和运行优化。

2.2.3 IT 设施

IT 设施(即信息技术基础设施)主要包括系统信息互通的信息网络、云数据中心、基础应用等。

云计算时代,数据中心面临着运维海量设备、保障高质量运维、提高运维效率的压力,同时也面临着故障定位变得非常困难以及云架构系统和传统 IT 系统统一运维管理的难题。为此,需要建立一套具备全生命周期自动化管理、智能化故障预防、发现与自愈以及智能化容量运维的运维管理系统来支撑数据中心的运维。

云数据中心构建数据中心双平面,进一步提升云化模块数量。建立以工作流为中心的自动化作业平台,提供把日常运维经验标准化和工具化的框架,有利于运维经验的固化与共享。利用大数据关联分析与机器学习技术为运维系统赋予人工智能,提供从故障预防到故障定位、再到故障闭环的智能保障服务^[20]。结合大数据分析预测技术,将云数据中心的物理资源(如服务器、存储和网络等资源)和云资源(如虚拟机和块存储等)的实时容量视图、容量快照、负载现状和趋势以及容量碎片呈现出来。

在基础应用方面,云数据中心深度融合即时通讯、北斗卫星导航、电子邮件、集团公司视频会议、移动办公平台、帮助热线、地理信息系统,为用户提供无差异化的访问服务,建立统一融合的基础应用平台,为用户提供全方位的数字化服务,在沟通、办公、生活、服务、健康、环保等领域促进中国石油数字化转型升级。

2.2.4 数据湖

为打通数据孤岛,数据湖采用软件定义存储、数据服务路由等技术,把结构化(行与列)、半结构化(CSV、日志、XML、JSON 等)、非结构化数据(电子邮件、文件、PDF 等)和二进制(图像、音频、视频)等不同种类的数据汇聚到一起,提供统一分布式管理以及超出传统数据管理和分析范围的、更多类型的实时智能服务,支持实时的决策制定。中国石油已经研发出由主湖和区域湖构成的连环湖,主湖负责统一管控和公共数据管理,区域湖负责区域性大块数据体、实时数据存储及就近服

务,从而建立适用于油气行业的统一数据湖技术架构,实现数据逻辑统一、分布存储、互联互通、就近访问。

2.2.5 基础底台

基础底台融合云计算、移动应用、大数据、人工智能等多领域平台的技术能力,按照各层特征细分技术领域、持续扩展和丰富服务目录,向上层提供统一的 API 服务调用。目前,中国石油已制定了与基础底台有关的 48 个标准规范,用以指导研发人员运用基础底台进行业务应用开发。

2.2.6 服务中台

服务中台由业务中台和数据中台构成,主要面向业务领域,将通用和公共的业务应用与数据分析等功能以微服务、中间件和专业软件容器等形式固化在系统中,实现业务与数据知识的沉淀和推广应用,构建行业共享服务能力。

2.2.7 业务应用

在新的技术架构下,业务应用将采用“积木式”开发方式,通过服务中台灵活调配或个性化应用开发,形成适应各种场景和形态的业务 SaaS 应用和前端 APP,敏捷地响应业务需求,从而构建工业 APP 体系。

2.2.8 用户入口

基于统一门户与应用商店,为用户提供统一的应用入口。统一门户建立统一的访问机制,按角色和权限定制用户的工作界面,方便应用调用、改善用户体验,支持 PC、移动、大屏幕等多类型终端设备进行访问、展现和操作。应用商店为供应商、消费者提供开放、安全的全线上交易环境,支持商品目录、网上交易、线上支付、评价以及应用下载安装、升级和维护等服务,支撑共享运营生态。

2.2.9 标准与规范体系

标准体系是指油气行业或企业的相关标准按其内在联系形成的科学有机整体,具有目的性、层次性、协调性、配套性、比例性和动态性。规范体系即油气行业或企业中各类主体的行为规则,如战略、组织、流程、制度、内控、技术等体系。

2.2.10 网络与工控安全体系

基于对中国石油等大型央企面临的网络安全风险的深入了解和长期致力于网络安全研究的项目经验,昆仑数智科技有限责任公司从管理、控制、技术 3 个方面,构建一体化网络安全组织体系、管理制度和标准体系,制定了面向办公网及工控网双网安全解决方案,安全合规地保护客户核心数据资产,为客户的办公安全和生产安全保驾护航。

2.3 方案平台的创新性

以全要素协同、全过程统一、全产业联通为指导,

形成“数字化转型、智能化发展一体化方案”的创新理念,即 4 个“统一”和 5 个“一体化”理念。

(1) 4 个“统一”理念

实现架构转型,按照“一朵云、一个湖、一个平台、一个门户”的理念落地建设。

(2) 5 个“一体化”理念

①上、下游业务一体化原则:勘探开发、管道、炼化、销售业务上、下游协同运作。

②生产经营一体化原则:打通生产领域与经营管理屏障,实现生产成本与财务联动。

③业务办公一体化原则:通过场景化设计实现业务与办公融合。

④资源一体化共享原则:实现计算、存储、网络、软硬件和共享服务等各类资源的统一共享。

⑤数字生态一体化原则:打造数据生态、技术生态和业务生态相互融合的互联网数字生态圈。

3 梦想云实践与成效

3.1 勘探开发梦想云蓝图

践行“共享中国石油”战略,参照一体化方案,中国石油于“十二五”(2011—2015 年)末提出以“两统一、一通用”为核心的勘探开发梦想云蓝图,旨在实现上游全业务链数据互联、技术互通、业务协同与智能化发展,构建共创、共建、共享、共赢的信息化新生态。

3.2 勘探开发梦想云基本建成

历时 4 年,具有自主知识产权的勘探开发梦想云平台基本建成,中国石油上游业务信息化全面进入“厚平台、薄应用、模块化、迭代式”的新时代。2018 年 11 月 27 日梦想云 1.0 发布,标志着“两统一、一通用”蓝图框架基本落地;2019 年 11 月 27 日,梦想云 2.0 发布,标志着中国石油上游业务信息化迈上一个更高的阶段,开启了数字化转型新篇章。

3.2.1 建成统一—连环数据湖

基于中国石油勘探开发一体化数据模型标准 EPDM V2.0,已完成中国石油数据湖主湖建设,连环湖架构体系开发测试已完成,正在开展塔里木油田、大港油田的区域湖建设,同时完成智能入湖、智能搜索与查询等功能。统一数据湖的应用取得了显著成效,采用 EPDM V2.0 数据标准,统一管理了约 480 000 口井、600 个油气藏、7 000 个地震工区、40 000 座站库,共计 1.7PB 的结构化和非结构化数据资产,涵盖 6 大领域、15 个专业,实现了上游业务核心数据全面入湖共享,构建了中国最大的勘探开发数据湖。同时,构建勘探开发知识图谱、研发数据洞察与充实模块,建立了“一站式”大数据分析环境,推出了智能语意搜索引擎,激

活了海量数据资产,打开了数据湖知识宝藏。

3.2.2 建成统一技术平台

融合国际最新 IT 技术,研发了开放、稳定、高效、安全的 PaaS 云平台,建立了持续演进的开放技术生态,支撑以下 7 大工作平台:

(1) 应用开发的平台

研发微服务框架,构建自动化软件开发流水线,支持 Java、.Net 等多种开发语言。增强基础底座能力,新增微软 Windows 容器,丰富 DevOps 框架,支持 .NET、Node.js 等多语言纳入统一管理,提供服务网格。

(2) 应用集成的平台

打造服务中台,提供行业共享能力,促进业务应用“积木式”快速构建。将通用和公共业务应用功能沉淀,支持“积木式”应用的敏捷开发与集成,快速响应用户需求。

(3) 专业软件共享的平台

研发了专业软件云,开放接入框架与数据交换标准,支持云化共享与自助式接入,支持专业应用软件的云化部署、许可共享与远程调用,开放数据交换框架,支撑从数据湖选取数据和“一键式”推送以及专业软件间的数据交换。

(4) 移动应用的平台

研发了移动应用开发框架,支持移动应用快速开发与安全接入。构建了统一架构的移动平台,提供移动应用的快速开发、业务集成、消息推送、安全管控等服务能力。

(5) 智能创新的平台

引入深度学习与认知计算框架,打造行业 AI 服务引擎,支持业务智能创新。融合中国石油认知计算平台(E8)、百度飞桨等 AI 基础框架,构建了 AI 服务商店,提供 AI 基础研发与能力共享机制。

(6) 生态运营的平台

搭建行业应用商店,为业务用户、供应商和开发商提供线上交易与合作的环境。依托行业应用商店,为供应商和消费者提供开放、安全的全线上交易环境,支撑共享运营生态。

(7) 业务协同的平台

建立统一门户,提供统一的应用入口,支撑勘探开发全业务协同共享。按照业务流程和操作需要,实现了轻松访问用户中心,统建了通用应用、油田个性化及扩展应用、第三方接入应用。

统一技术平台实现了勘探开发专业应用的规模云化,加速了专业应用模块云化集成的步伐,中国石油 10 余个统建系统、上百个油气田自建系统快速云化集成,上云应用模块超过了 200 个。

(1) 快速云化集成统建、自建应用模块

云原生与云化集成相结合,统建通用应用与油田特色应用的相互补充,通过快速云化集成中国石油A1、A2、A5、A8等统建系统及油气田公司的自建应用,6大领域业务全面协同共享已初见成效。

(2) 云原生构建全线上协同研究环境

云原生综合研究工作环境在中国石油16家油气田公司、石油勘探与开发研究院、东方地球物理勘探公司全面推广,支持跨地域、跨专业、跨学科协同共享,实现了研究工作模式由线下到线上、由手工到自动、由单兵向协同的转变。

(3) 支撑智能化应用创新发展

基于数据湖与云平台,支持了智能地震解释和测井智能解释等智能化应用建设。例如,以往提取10 G地震数据体的曲率属性需要约10 h,现在利用人工智能进行地震断层识别只需20 min,断层识别效率提升了30倍。对大港油田港东二区900口老井进行测井解释,实现了对油、气、水层的智能识别,评价时间缩短了70%,识别准确率达到测井解释专家的水平。

3.2.3 培育“共创、共建、共享、共赢”信息化运营生态

勘探开发梦想云统一技术平台支撑了上游业务平台化转型,取得了良好的应用效果和社会反响。作为中国石油自主知识产权的软件成果,该平台已经开始支撑国资监管、党建云、企业年金等重大项目的建设与应用。

3.2.4 梦想云的成功要素

中国石油勘探与生产公司落实“共享中国石油”发展战略,践行数字化推动企业科技创新、高质量发展,以梦想云为核心绘制信息化总体蓝图,开启数字化转型新篇章,总结出以下具备推广价值的成功要素:

(1) 数字化战略引领顶层设计

公司“一把手”高度重视,将数字化转型纳入公司发展核心战略,明确了企业转型的最终目标,梳理企业现状与数字化转型目标的差距,推动了企业文化的变革,建立了符合数字化转型的扁平化组织结构,以平台化支撑顶层设计与落地。

(2) 全集数据管理与共享

实现了通过信息技术、虚拟现实、机器人和大数据等各种新技术获得企业数据,扩展了企业数据的获取途径。改变了传统的数据集成模式,通过数据湖实现了全集数据共享服务目录、数据按需授权和全局共享。通过对业务模式、业务流程、企业组织的改造,让所有的业务能够基于数据进行驱动,从而实现更好的客户体验、更高的组织效能,通过数据来推动业务的增长,形成新的价值。

(3) 业务应用全线上协同

打通企业内部不同团队、不同部门乃至分公司、子公司之间的数字藩篱,通过代替传统的单体系统和可装配、可定制的APP服务目录,按业务流程与应用场景配置全线上协同 workflows,让数据在企业内部以统一标准流动起来。

(4) 资源共享与一体化运维

云平台可实现全局资源统一调配与一体化运维,构建自动化、实时的大数据分析引擎处理海量数据,可支撑全局专业软件资源、计算与存储资源的共享。

(5) 智能化应用创新沃土

云平台融合了物联网、大数据、AI等新技术,支持智能应用的敏捷开发、智能工作流快速的搭建,集合业务需要,逐步引入远程协作、虚拟现实等技术,将日常工作和交流全部数字化,做好转型的技术基础。

(6) 共创共赢建设开放生态

构建生态体系就是打造外部全新的数字化环境,通过开放生态、提升上下游效率、打通企业行业壁垒,汇聚行业优秀产品、技术及服务,实现企业与服务商的“共创、共建、共享、共赢”。

4 结束语

在不久的将来,“一朵云、一个湖、一个平台、一个门户”的4个“统一”逐步落地,中国石油将形成全面感知、自动操控、智能预测、持续优化的智能化应用生态,初步建成以“数字化、自动化、协同化、智能化”为标志的世界一流智能油气田;同时,将逐步形成具备全面感知、敏捷响应、动态优化、智能决策和精准控制等特征的智能炼化。借助数字化技术落地,可构建“人、车、生活”生态圈,实现智慧销售。在智慧油田服务领域,将实现“全面感知、区域共享、业务协同、精益管理、远程控制、智能决策”。在标准统一和管道数字化的基础上,逐步建成“数据全面统一、感知交互可视、系统融合互联、供应精准匹配、运行智能高效、预测预警可控”的智能管道。未来将形成全数字化、智能化的油气业务生态圈,实现油气产业链的数字化全覆盖,使其成为数字经济时代的重要组成部分。

参考文献

- [1] 刘多.全球数字经济新图景(2019年)[R].北京:中国信息通信研究院,2019.
LIU Duo. The new vision of the global digital economy (2019) [R]. Beijing: China Academy of Information and Communications Technology, 2019.
- [2] 王敏生,光新军.智能钻井技术现状与发展方向[J].石油学报,2020,41(4):505-512.

- WANG Minsheng, GUANG Xinjun. Status and development trends of intelligent drilling technology[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(4): 505-512.
- [3] 焦方正. 大力推进数字化转型智能化发展[N/OL]. 中国石油报, (2020-03-03)[2020-07-02]. <http://app.zgsyb.com.cn/paper/c/202003/03/c129542.html>.
- JIAO Fangzheng. Vigorous promoting the intelligent development of digital transformation[N/OL]. China Petroleum News, (2020-03-03)[2020-07-02]. <http://app.zgsyb.com.cn/paper/c/202003/03/c129542.html>.
- [4] 贾承造. 中国石油工业上游发展面临的挑战与未来科技攻关方向[J]. 石油学报, 2020, 41(12): 1445-1464.
- JIA Chengzao. Development challenges and future scientific and technological researches in China's petroleum industry upstream[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(12): 1445-1464.
- [5] 国际能源署(IEA). 世界能源展望 2019[R]. 国际能源署, 2019. International Energy Agency (IEA). World energy outlook 2019 report[R]. International Energy Agency, 2019.
- [6] 中国石油新闻中心. 戴厚良听取中国石油数字化转型发展框架方案汇报[EB/OL]. (2020-04-16)[2020-07-15]. <http://news.cnpc.com.cn/system/2020/04/16/001771363.shtml>.
- News.cnpc.com.cn. Dai Houliang listens to the report on the CNPC digital transformation development framework plan[EB/OL]. (2020-04-16)[2020-07-15]. <http://news.cnpc.com.cn/system/2020/04/16/001771363.shtml>.
- [7] Gartner. 云计算的炒作周期 2019 年[R]. 高德纳, 2019. Gartner. The hype cycle of cloud computing in 2019[R]. Gartner, 2019.
- [8] 武连峰, 闫海伦. 数字经济主要趋势与应对举措[R/OL]. (2019-09-04)[2020-07-03]. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=CHC45475619>.
- WU Lianfeng, YAN Hailun. Main trends of the digital economy and the reconstruction strategy[R/OL]. (2019-09-04)[2020-07-03]. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=CHC45475619>.
- [9] 国际能源署(IEA). 数字化与能源[M]. 北京: 科学出版社, 2019. International Energy Agency (IEA). Digitization and energy[M]. Beijing: Science Press.
- [10] Gartner. 首席执行官咨询: “大数据”等于大机遇 2011 年[R]. 高德纳, 2011. Gartner. CEO consultation: “Big Data” equals big opportunities in 2011[R]. Gartner, 2011.
- [11] 侯珂, 李亚菲, 王驰. 石油大数据技术发展及应用[J]. 现代企业, 2018(12): 84-85.
- HOU Ke, LI Yafei, WANG Chi. Development and application of petroleum big data technology[J]. Modern Industry, 2018(12): 84-85.
- [12] 计秉玉. 对油气藏工程研究方法发展趋势的几点认识[J]. 石油学报, 2020, 41(12): 1774-1778.
- JI Bingyu. Some understandings on the development trend in research of oil and gas reservoir engineering methods[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(12): 1774-1778.
- [13] Schlumberger. DELFI cognitive E & P environment (2017-09-13)[2020-07-02]. <https://www.software.slb.com/delfi>.
- [14] 罗晓慧. 浅谈云计算的发展[J]. 电子世界, 2019(8): 104.
- LUO Xiaohui. On the development of cloud computing[J]. Electronic World, 2019(8): 104.
- [15] 王保宁. 云计算在中石油信息化服务平台建设中的应用研究[J]. 电脑知识与技术, 2019, 15(34): 80-81.
- WANG Baoning. Research on the application of cloud computing in the construction of PetroChina information service platform[J]. Computer Knowledge and Technology, 2019, 15(34): 80-81.
- [16] 刘陈, 景兴红, 董钢. 浅谈物联网的技术特点及其广泛应用[J]. 科学咨询, 2011(25): 86.
- LIU Chen, JING Xinghong, DONG Gang. The brief discussion on the technical characteristics of Internet of Things and its wide application[J]. Scientific Consult, 2011(25): 86.
- [17] 贾益刚. 物联网技术在环境监测和预警中的应用研究[J]. 上海建设科技, 2010(6): 65-67.
- JIA Yigang. Study of application of IOT in environment monitoring and early warning[J]. Shanghai Construction Science & Technology, 2010(6): 65-67.
- [18] 刘希俭, 朱天寿. 油气生产物联网助力企业发展方式转变[M]//周宏仁. 中国信息化形势分析与预测(2013). 北京: 社会科学文献出版社, 2013.
- LIU Xijian, ZHU Tianshou. The Internet of Things in oil and gas production has helped transform the development mode of enterprises[M]//ZHOU Hongren. Analysis and forecast on China's informatization (2013). Beijing: Social Sciences Academic Press, 2013.
- [19] 新华网. 2019 世界物联网博览会新技术新产品新应用成果发布会举行[EB/OL]. (2019-09-08)[2020-07-12]. http://www.js.xinhuanet.com/2019-09/08/c_1124973914.htm.
- XINHUANET. The press conference on new technologies, new products and new applications of the 2019 World Internet of Things Expo was held[EB/OL]. (2019-09-08)[2020-07-12]. http://www.js.xinhuanet.com/2019-09/08/c_1124973914.htm.
- [20] 张劲军, 苏怀, 高鹏. 天然气管网韧性保供问题及其研究展望[J]. 石油学报, 2020, 41(12): 1665-1678.
- ZHANG Jinjun, SU Huai, GAO Peng. Resilience-based supply assurance of natural gas pipeline networks and its research prospects[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(12): 1665-1678.

(收稿日期 2020-07-20 改回日期 2020-12-22 编辑 肖 飞)