

数智化技术赋能深层页岩气效益开发路径研究

汪刚¹, 李俏静², 孙玉平², 段希宇³, 肖科¹

¹四川页岩气勘探开发有限责任公司, 四川 成都

²中国石油勘探开发研究院, 北京

³中国石油西南油气田公司, 四川 成都

收稿日期: 2024年1月4日; 录用日期: 2024年1月17日; 发布日期: 2024年2月26日

摘要

中国深层页岩气资源丰富, 是天然气增储上产的重要领域, 实现效益开发对促进能源结构转型、保障国家能源安全具有战略意义。本文在对深层页岩气开发进程和潜力进行总体性描述的基础上, 系统分析了深层页岩气效益开发所面临的机遇与挑战, 聚焦于数智化技术在油气勘探开发中的应用实践, 提出了数智化技术赋能深层页岩气效益开发的基本路径。研究发现: 数智化技术对科技人才培育、勘探开发、生产管理和成本控制具有关键作用, 数智化技术通过提高勘探和生产的智能水平, 降低成本, 将有利于深层页岩气效益开发目标的实现, 具体体现在数智化技术可以通过重构科技人才培育体系、优化勘探开发过程、提升生产管理效能和降低开发成本来实现深层页岩气效益开发。

关键词

数智化技术, 深层页岩气, 赋能路径, 效益开发

Research on the Profitable Development Path of Deep Shale Gas Empowered by Digital Intelligence Technology

Gang Wang¹, Qiaojing Li², Yuping Sun², Xiyu Duan³, Ke Xiao¹

¹Sichuan Shale Gas Exploration and Development Co., Ltd., Chengdu Sichuan

²Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing

³PetroChina Southwest Oil and Gasfield Company, Chengdu Sichuan

Received: Jan. 4th, 2024; accepted: Jan. 17th, 2024; published: Feb. 26th, 2024

Abstract

China is rich in deep shale gas resources and is an important area for increasing natural gas reserves and production. Realizing profitable development is of strategic significance for promoting the transformation of energy structure and ensuring national energy security. Based on an overall description of the development process and potential of deep shale gas, this article systematically analyzes the opportunities and challenges faced by the profitable development of deep shale gas, focuses on the application practice of digital intelligence technology in oil and gas exploration and development, and proposes the basic path for digital intelligence technology to empower the profitable development of deep shale gas. The study found that digital intelligence technology plays a key role in the cultivation of scientific and technological talents, exploration and development, production management and cost control. By improving the intelligence level of exploration and production and reducing costs, digital intelligence technology will be beneficial to the profitable development goals of deep shale gas. Realization is embodied in the fact that digital intelligence technology can realize the profitable development of deep shale gas by reconstructing the scientific and technological talent training system, optimizing the exploration and development process, improving production management efficiency and reducing development costs.

Keywords

Digital Intelligence Technology, Deep Shale Gas, Empowerment Path, Profitable Development

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球人口不断增长和经济社会的快速发展，能源需求不断增长，导致化石能源的大规模勘探开发，在造成化石能源不断枯竭的同时而产生的环境污染，引发了全球性的气候变化问题，直接影响和制约着人类社会的可持续发展，因此，在大力发展可再生能源的同时，勘探开发低碳、高效的化石能源已经成为世界各国共同关心的重大议题。深层页岩气属于非常规油气资源，相较于常规油气资源而言，深层页岩气因其分布广泛、潜在储量丰富和相对的环境友好性而备受关注，其效益开发成为解决全球能源供需矛盾、实现能源低碳化转型的替代性选择。中国是世界上最大的能源生产和消费国家，在百年未有之大变局和全球气候变化的双重时代背景下，能源安全和转型发展已经成为中国特色社会主义现代化国家建设必须思考的问题。地质勘探表明中国拥有丰富的深层页岩气资源，中国政府已将深层页岩气视为解决国内能源安全问题、推动绿色低碳发展的重要战略性资源[1] [2]。具体而言，国家已经将深层页岩气纳入“十四五”规划，明确了其在未来能源结构中的地位，不仅为深层页岩气的勘探和开发提供了强大的政策支持，而且提高了企业加大深层页岩气勘探开发投资积极性，将有利于促进深层页岩气规模化效益勘探开发。深层页岩气效益开发是一项系统工程，受其处于发展初期阶段的影响，其勘探开发面临着勘探开发技术不成熟、不确定性因素多、管理协调难度大等一系列挑战，急需引入先进技术提高深层页岩气的勘探开发效率，实现其效益开发。

随着第四次工业革命的兴起，以人工智能、大数据分析和物联网技术为代表的数智化技术广泛应用于油气勘探开发领域，极大地促进了油气资源勘探开发效益，备受企业重视，数智化技术被认为是推动

效益提升、降低开发成本的重要手段,为实现可持续能源发展目标提供了全新的可能性[3] [4]。如果以加大勘探开发力度并实现效益开发为基本国策,那么如何在全面认识清楚深层页岩气开发所面临的挑战、数智化技术应用实践经验的基础上,将数智化技术应用于其勘探开发过程中,有效解决深层页岩气效益开发所面临的的技术、管理难题则为现实所需。本文旨在全面认识清楚中国深层页岩气资源基础、效益开发所面临的挑战、数智化技术应用实践经验的基础上,提出数智化赋能深层页岩气效益开发的基本路径,促进页岩气资源的高效勘探开发,从而将资源优势转化为发展优势,为保障国家能源安全贡献力量。

2. 中国深层页岩气效益开发的历史进程与资源潜力

2.1. 中国深层页岩气效益开发历史进程

总体上看,中国页岩气勘探开发始于上世纪90年代末期,经历了从无到有、从浅层向深层的渐进发展过程,是学习借鉴与独立自主相结合的产物,彰显了中国在页岩气勘探开发领域的卓越成就,为保障国家能源安全、促进可持续发展提供了重要的物质基础。相对于浅层页岩气的勘探开发,中国深层页岩气的勘探开发始于2019年。2019年,中国石油在川南泸州区块的泸203井取得了令人振奋的测试产量,达到了138万 m^3/d ,创下国内页岩气测试产量的历史新高,标志着深层页岩气的历史性突破。经过继续努力,2021年,中石油在泸州区块新增页岩气探明地质储量达5138.09亿 m^3 ,为建成国内首个具有万亿立方米储量的深层页岩气区奠定了坚实的资源基础,掀起了中国深层页岩气规模化效益开发的历史新篇章[5] [6] [7] [8]。

首先,中国深层页岩气效益勘探开发得益于技术攻关和示范区建设。整体上,中国石油和中石化是中国深层页岩气勘探开发的主力军。在中石油在泸州区块成功外,自2017年起,中石化就在浅层页岩气勘探开发的经验基础上,不断加大技术研发投入和现场实践,通过提高优质储层钻遇率、深层压裂等技术攻关,实现了威荣页岩气田的成功勘探和开发,并在丁山-东溪、綦江区块相继取得深层页岩气的勘探突破,初步掌握了深层页岩气勘探开发技术[9]。在深层页岩气勘探开发过程中,中石油以川南页岩气示范区建设为契机,创新实践了“三控”富集高产理论,明确了川南地区页岩气富集模式,形成了适用于该地区的“六大”主体技术,为深层页岩气的高效开发奠定了技术基础。

其次,中国深层页岩气效益勘探开发得益于管理模式创新发展。自2016年起,中国石油面对国际石油公司的退出,坚持创新驱动发展,在深层页岩气勘探开发关键技术上取得了创新突破,建立了高产井培育模式,有效支撑了深层页岩气的规模建产。无论是川南页岩气田的首个深层页岩气万亿立方米储量的提交,还是国内首个规模效益开发的深层页岩气井区——泸州阳101井区的建成,以及中石化在四川盆地志留系深层页岩气的持续勘探中,油田企业始终将管理创新作为克服深层页岩气勘探开发技术难题的主要手段而持续创新,实现了中国深层页岩气勘探开发的持续发展,实现了中国深层页岩气勘探开发技术的突破,在地质储量探明和示范区效益开发方面取得了显著成效,为深层页岩气资源的规模化效益开发积累了宝贵而丰富的经验。

2.2. 中国深层页岩气效益开发的资源潜力分析

中国深层页岩气的开发潜力巨大,集中分布在四川盆地及其邻区,以埋深介于3500~4500 m的深层海相超压页岩气区为典型特征。初步评价表明,这一区域拥有广阔的有利区面积,有利区域面积可达 $1.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,而页岩气地质资源量则高达 $9.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ [10]。中石化在威荣页岩气田已取得令人瞩目的探明页岩气地质储量,达到 $1247 \times 10^8 \text{ m}^3$,且累计投产井超过20口,测试产量介于 $12 \times 10^4 \sim 24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,仅2019年年产量就达到了 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ [11]。

“十四五”期间,中国埋深介于3500~4000 m的海相页岩气开发技术将基本实现自主,有望建设年

产 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的产能。考虑 20 年稳产的要求, 这将有助于支撑 2025 年前全国页岩气产量达到 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的总体规划目标。尽管埋深介于 4000~4500 m 的区域技术突破难度较大, 但预计 2025 年全国海相页岩气产量在低情景下可达 $350 \times 10^8 \text{ m}^3$, 高情景下可达 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ [12]。深层页岩气资源潜力与勘探开发技术进步决定了其在整个页岩气勘探开发中的作用和地位, 其不仅是中浅层和部分深层页岩气产量递减的替代者, 更是页岩气长期稳产的主力资源, 其效益开发将为中国页岩气产业持续发展注入强劲动力, 是实现国家能源发展与安全战略目标的重要支撑力量。

3. 中国深层页岩气效益开发面临的机遇与挑战

3.1. 中国深层页岩气效益开发面临的机遇

首先, 国家政策支持为深层页岩气效益开发创造了良好的制度条件。页岩气作为一种清洁的化石能源备受国家重视。2011 年, 国土资源部发布公告将页岩气确定为独立矿种, 赋予了页岩气合法地位, 开启了页岩气勘探开发的新局面。国家通过两轮招标, 共出让 19 个页岩气区块, 掀起了页岩气勘探开发的新高潮。从 2018 年起, 国家又实施了对页岩气资源税减征 30% 的政策, 这一政策措施的实施极大地调动了页岩气投资积极性, 进一步增强了政社会各界对页岩气产业发展的信心[13]。如果将深层页岩气效益开发置于应对气候变化和改善环境质量的时代背景中, 国家一系列政策支持无疑为深层页岩气效益开发提供了良好的发展机遇, 将有利于深层页岩气规模化发展。

其次, 丰富页岩气资源为深层页岩气效益开发奠定了良好的资源基础。深层页岩气效益开发是建立在一定规模基础上的, 而规模化发展是建立在资源基础上。目前, 中国已探明的深层页岩气主要集中在四川盆地及周缘地区, 其中四川盆地及其邻区埋深介于 3500~4500 m 的深层海相超压页岩气区被认为是深层页岩气增储上产的主要区域, 初步评价已显示这一地区有利区面积广阔, 页岩气地质资源储量丰富, 深层页岩气规模化、效益开发具有良好的资源潜力。

再次, 技术进步为深层页岩气效益开发提供了技术保障。美国页岩气勘探开发成功经验表明技术创新在整个资源效益开发中的重要性, 长期的持续创新是美国页岩气成本不断下降、投资效益高、产业整体竞争力强的主要原因。2015 年, 美国页岩气井的平均成本相较 2012 年降低了 25% 到 30%, 而且在油价下跌期间, 美国的产量规模仍然保持了持续增长, 并在 2018 年再次创下历史新高[14]。中国页岩气勘探开发历史表明, 技术进步作用巨大。基于技术进步在深层页岩气效益开发中的重要价值, 国家和油田企业高度重视技术创新, 取得了一系列的技术创新成果, 为钻井成本的降低、井均测试产气量的提升、井控最终可采储量的增加奠定了良好的制度基础, 技术进步所带来的规模经济效应和学习效应正在逐步显现, 技术创新为深层页岩气效益开发提供了技术保障。

3.2. 中国深层页岩气效益开发面临的挑战

首先, 深层页岩气勘探开发技术工艺挑战。与浅层页岩气勘探开发相比, 深层页岩气勘探开发环境更为复杂, 面临更为严峻的技术挑战, 具体而言, 一是钻井导向更为困难。由于深层页岩气分布于复杂构造区, 其中微幅构造和中小断裂多发, 使水平井钻探面临更高技术难度, 需要准确预测微幅构造、断裂以及天然裂缝, 对储层进行精细评价要求更高, 而更深的井深导致长水平段的钻井难度更为复杂。在相同水平段条件下, 深层进尺相较于中浅层更多, 需要更长的连续油管, 同时水平段的摩阻更高, 延长水平段的难度也更大。二是地层温度升高所带来的系统性难题。随着地层深度增加, 四川盆地埋深每增加 100 米, 地层温度升高 3°C , 深层页岩气井底温度普遍超过 135°C , 对入井液体、井下工具的耐温性和可靠性提出更高要求。三是地层压力升高所带来的施工难题。深层页岩气的施工压力普遍高于 90 MPa, 较浅层页岩气升高 30% 以上, 随着应力差的增加, 数模显示裂缝形态由“主裂缝 + 分支缝”转变为“主

裂缝”，而微地震监测事件表明压裂缝的复杂程度不够，对施工过程的稳定性和效率提出更高要求。

其次，深层页岩气勘探开发成本控制难题。在气价一定的情况下，深层页岩气勘探开发成本是影响其效益开发的关键。从深层页岩气勘探开发实践看，影响其成本主要因素有：一是工艺改进导致投资上升。为了提高单井产量和可采储量(EUR)，深层页岩气的钻完井工艺需要持续改进，水平段的增长和压裂规模的增大是主要手段。无论是水平段的增长或是压裂规模的增大，都存在着边际成本递增的问题，均会导致单井投资上升，推高其开发成本。二是费用包干制管理模式的限制。在现有的深层页岩气勘探开发实践中，为有效降低技术业务合作过程中的逆向选择而带来的交易成本，甲乙双方采用费用包干制，现行的费用包干制管理模式与产量和可采储量关系较弱，难以有效激励乙方的积极性，促使其以更快、更高效地进行施工作业，影响了项目时间和质量，制约着深层页岩气的效益开发和整体效率。三是市场化竞争不足导致成本控制难题。虽然深层页岩气勘探开发采用了市场化模式，但受勘探开发业务本身专用性、技术门槛和体制机制等多重因素的影响，深层页岩气勘探开发市场化仍然为一种具有亲缘关系的内部市场，虽有竞争但竞争强度明显不够，尤其是一定的市场保护导致技术服务、装备采购和关键工具严重依赖于内部供给供应商，导致投资主体因缺乏市场选择而增加了成本控制难度。

再次，深层页岩气效益开发多主体协同管理难题。深层页岩气效益开发涉及勘探、开发等多个环节，不同环节涉及不同的参与主体，是多环节、多主体一致性集体行动的结果，这在一定程度上增加了深层页岩气效益开发目标实现的难度，这客观上需要建立起与深层页岩气效益开发过程属性相一致的管理体制和机制。然而，受既有的投资体制、机制的影响和制约，不同作业界面之间、不同主体之间的信息难以实现共享，主体之间的信息不对称与既有的技术壁垒交织在一起，不仅阻碍了主体间的合作与协同，推高了深层页岩气效益开发的管理协调成本，进而影响到页岩气效益开发目标的实现。与此同时，受油田企业体制改革滞后的影响和制约，油田企业仍在一定程度上存在“大而全”、“小而全”，业务归核化模式并没有取得实质性突破，投资决策缺乏科学支撑，导致资源配置不够灵活，难以实现整体效益的最大化。

4. 数智化技术赋能深层页岩气效益开发实践

4.1. 数智化技术赋能深层页岩气效益开发的可行性分析

数智化技术作为一种新型技术体系，其在油气行业的推广应用是发展必然趋势。在数智化技术支持下，一方面，一些难以动用的油气资源勘探开发的效率显著提高，不仅降低了勘探开发投资成本，也有效地提高了项目质量、有效缩短了项目时间，极大地提高了油气资源勘探开发项目的管理水平。另一方面，在数智化技术作用下，深层页岩气效益开发不仅可以实现生产过程的优化，而且可以实现智能化管理。具体而言，通过对深层页岩气勘探开发全过程的实时数据收集、评价分析和监测控制，不仅可以实现深层页岩气勘探开发各环节信息的数字化，生产参数的远程控制和优化成为现实，而且数智化技术为深层页岩气效益开发提供高效的人工智能优化算法，通过对历史数据的深度学习，进一步优化决策，为实现更安全、更高效、更环保的深层页岩气开发提供技术基础。总体而言，数智化技术为深层页岩气效益开发带来的不仅是技术上的变革，更是全过程管理的系统升级，为实现深层页岩气更加安全、高效、环保效益开发创造了条件，为其效益开发注入了新的活力。

4.2. 数智化技术赋能深层页岩气效益开发新进展

近年来，国内外能源公司以数智化技术发展为契机，积极投身到数智化技术推广应用之中，以数智化技术赋能企业发展，取得显著成效。相对于国外先进能源公司，尽管国内油田企业在数智化技术应用方面起步较早，但其数智化转型发展仍然相对较为缓慢，一些国际领先的油气企业已经进入智能化阶段，

而国内智能油田建设仍然在进行过程中，正处于智能化试点阶段。总体上看，国内外油气公司纷纷采用物联网、大数据等先进技术，通过对现场实时数据的采集和监控来实现油气田的最佳生产状态。以壳牌为例，其在全球建立了 59 个智能油气田，通过跨地区、跨学科的协作，有效提高了油田生产效率。雪佛龙、道达尔、BP 等也通过引入物联网、自动化技术，构建了全球性的协作中心，推动油气产业的智能化升级。中国石油推出了首个智能云平台——“勘探开发梦想云”平台，为上游业务的数智化发展奠定基础。中国石油长庆、塔里木等油田也相继加快了数智油田建设步伐，取得了显著成效[15]。中国石化在西北油田进行了数智油气田示范试点，以石化智云平台为基础，实现了西北油田的现场可视化、生产自动化、油藏数字化、管理信息化、决策智能化的目标，成为数智化油田建设的典范。总之，油气企业的数智化转型发展的成功经验为深层页岩气数智化发展提供了实践指导，为数智化技术赋能深层页岩气效益开发指明了方向。

5. 数智化技术赋能深层页岩气效益开发路径

数智化技术是优化资源配置、改造传统工业、提高劳动生产率的第一手段，是提高治理水平、提升劳动生产率、实现高质量发展的必由之路[16]。目前，深层页岩气的效益开发面临诸多挑战，而数智化技术的应用将显著增强企业有效应对这些挑战的能力。数智化技术在油气勘探开发领域的应用实践表明，深层页岩气要实现效益开发就必须顺应数智化技术发展趋势，积极采用数智化技术以抢抓深层页岩气效益开发的机遇，有效应对深层页岩气效益开发技术、成本和管理难题，实现其效益开发目标。

5.1. 重构科技人才培育体系夯实数智化技术赋能深层页岩气效益开发的人才基础

以深层页岩气效益开发为目标，数智化技术赋能深层页岩气效益开发是与其广泛应用为基本前提条件的，而数智化技术的广泛应用是建立在人力资源基础上的，这客观上对科技人才培育体系建设提出了更高要求，需要构建起适应数智化转型发展的新型人才培育体系。首先，加强科技从业者的数智化素养的培育。数智化技术的推广应用是建立在从业人员的数智化素养基础上的，数智化素养包括但不限于人们对大数据、人工智能、物联网等数智化技术的理解能力，而且还包括了确保科技人员能够熟练运用这些技术解决复杂问题的能力，这客观上要求加强从业人员对数据科学、计算机科学等相关领域的知识培训，使科技从业者具备面向未来数智化时代的综合素养。其次，构建跨学科的人才培训体系。数智化技术是建立在一定的实体技术基础上的，其推广应用要求科技人才必须具备更加广泛的视野。深层页岩气效益开发需要综合运用地质学、工程学、数学建模等多个学科领域的知识，因此，科技人才应当具备跨学科的系统思维和协同工作能力。通过为科技人员提供多学科融合的培训机会，可以建立更为综合的科技人才团队，提高解决问题的整体效能。再次，加强从业人员的创新思维培养。具有创新思维是科技人才培育的核心目标。深层页岩气效益开采过程中的复杂问题的解决不仅需要数智化技术的赋能，而且更为重要的是需要从业人员对复杂问题进行深入理解，并以此为基础采用合理的数智化技术去解决这些复杂问题，这对从业人员的创新思维能力提出要求。数智化技术赋能深层页岩气效益开发既是技术的应用和扩散过程，也是人才数智化素养、知识结构和思维不断提高、拓展和培育的过程，数智化技术作用的发挥决定于从业人员，也就是说人力资源是决定数智化技术赋能深层页岩气效益开发的关键，这对人才培育体系的重构提出了新要求，因此，立足于数智化技术赋能深层页岩气效益开发对人才的内在需要，重构国家和企业的人才培养体系是数智化技术赋能深层页岩气效益开发的首要任务。

5.2. 加大数智化技术在深层页岩气效益开发中的推广应用场景建设

深层页岩气效益开发的复杂性为数智化技术的推广应用提供了生动的应用场景，决定了数智化技术推广应用的价值。加大数智化技术在深层页岩气勘探开发中的应用，不仅可以提高数据处理和解释的水

平,更在实时监测、预测和优化决策方面发挥着关键作用,为深层页岩气资源的可持续开发奠定了坚实的技术基础。首先,深层页岩气效益开发是建立在海量地质数据进行高效分析基础上的,地震数据、岩心数据等多源数据的综合利用对利用机器学习和深度学习算法提出了要求,通过对比分析,不仅可以有效提高储层结构、地层性质解释的准确性,为勘探提供了更为可靠的依据。其次,实时监测和预测是数智化技术在深层页岩气效益开发的推广应用特点,通过传感器网络和物联网技术,实时监测勘探井的运行状态、地层参数的变化,尤其是地下流体的流动情况的实时监测和预测能够更迅速地发现异常情况,实现对潜在问题的早期预警,从而保障勘探过程的高效、安全进行。再次,数智化技术在勘探过程中的模拟和优化方面发挥了关键作用。通过构建三维地质力学模型,结合实际勘探数据进行参数校准,可以模拟不同注采方案对深层页岩气开采效果的影响,为优化注采井网、提高开采效率提供了科学依据,有效降低了勘探开发的风险。

5.3. 利用数智化技术不断提升深层页岩气效益开发的管理效能

生产管理效能的提升有助于深层页岩气效益开发目标的实现。数智化技术的推广应用为深层页岩气效益开发生产管理效能的提升提供了可能性。管理模式创新是数智化技术底层逻辑。一是数智化技术的推广应用为管理模式创新提供了可能。通过引入数智化技术,形成“井站一体、电子巡护、远程监控、智能操控”高效管理新模式,可以实现对深层页岩气生产全过程的实时监控和即时优化,到达精简人员,降低人工作业成本和风险的目的。“井站一体、电子巡护、远程监控、智能操控”高效管理新模式的核心在于远程操控,突破了时间和空间的约束,使得无论何时何地,管理者都能全面掌握生产情况,迅速地做出科学决策。二是数智化技术的推广应用为业务流程优化提供了可能。通过信息系统的深度整合和数据的集中共享,实现了业务流、资金流、信息流的高效合一,为组织机构的重组和管控模式的创新提供了坚实基础,进而使各类信息资源得以有效配置。三是数智化技术推广应用为提高管理水平提供了可能。在深层页岩气开发中,通过数智化技术,各个生产环节的数据得以数字化和可视化,为管理者提供了全面、直观的数据画面,为管理者提供了科学决策的依据,提高了生产决策的灵活性。更进一步的实时数据分析有利于管理者随时了解生产动态,为快速应对生产中的各种变化提供了可能,从而增强了生产管理的适应性。四是数智化技术推广应用为优化生产排程和调度提供了可能。通过建立智能化的生产排程系统,结合实际生产条件、市场需求和供应链状况,实现了生产资源的最优配置,精准排程不仅提高了设备利用率,降低了生产成本,而且提高了整体生产效能。

5.4. 利用数智化技术有效降低深层页岩气效益开发成本

在深层页岩气的开发过程中,数智化技术充当着关键的角色,为降低开发成本提供了全新的路径和解决方案。首先,数智化技术通过实时监控和智能调度,使得整个生产链条变得更加高效和精确。通过对生产设备的智能管理,可以及时发现潜在问题并采取相应措施,从而降低了维护和修复的成本,提高了设备利用率。其次,数智化技术在勘探和开发阶段的应用,通过大数据分析、人工智能和机器学习等手段,实现了对地质勘探数据的深度挖掘和精确解读,不仅提高了勘探的成功率,避免了盲目投入,减少了不必要的试探性钻井,降低了整体勘探的投入成本。再次,数智化技术的应用还使得生产过程更加智能化和自动化。通过实现设备和生产流程的自动化监控与控制,不仅提高了生产效率,降低人力成本,尤其是智能化的生产计划和调度系统能够更加科学合理地利用资源,避免了因计划不精准而导致的资源浪费,从而有效控制了开发成本。

6. 结论

数智化技术赋能深层页岩气效益开发是将中国丰富资源优势转化为发展优势的必然选择。本文在综

合探讨了数智化技术在深层页岩气效益开发应用可行性的基础上,提出了数智化技术赋能深层页岩气效益开发的四条路径。总体上,数智化技术的推广应用有利于实现深层页岩气效益开发目标,其作用机理主要是通过提高深层页岩气勘探、生产和管理的智能化水平。数智化技术在中国油气领域的成功实践,为数智化技术赋能深层页岩气效益开发提供了有力支撑。聚焦于深层页岩气效益开发所面临的技术、成本和管理难题,重构科技人才培育体系以满足数智化技术赋能深层页岩气效益开发对人才的需要,加大数智化技术在深层页岩气效益开发中的推广应用,利用数智化技术不断提升深层页岩气效益开发的管理效能,利用数智化技术有效降低深层页岩气效益开发成本既是数智化技术赋能深层页岩气效益开发的基本路径,也是深层页岩气效益开发目标实现的内在需要。

参考文献

- [1] 王红岩,周尚文,赵群,等.川南地区深层页岩气富集特征、勘探开发进展及展望[J].石油与天然气地质,2023,44(6):1430-1441.
- [2] 蔡勋育,周德华,赵培荣,等.中国石化深层、常压页岩气勘探开发进展与展望[J].石油实验地质,2023,45(6):1039-1049.
- [3] 李敏,刘雅利,冯动军,等.中国海相页岩气资源潜力及未来勘探方向[J].石油实验地质,2023,45(6):1097-1108.
- [4] 吴鹏程,汪瑶,付利,等.深层页岩气水平井“一趟钻”技术探索与实践[J].石油机械,2023,51(8):26-33.
- [5] 何希鹏,何贵松,高玉巧,等.常压页岩气勘探开发关键技术进展及攻关方向[J].天然气工业,2023,43(6):1-14.
- [6] 张君峰,周志,宋腾,等.中美页岩气勘探开发历程、地质特征和开发利用条件对比及启示[J].石油学报,2022,43(12):1687-1701.
- [7] 吴晓智,柳庄小雪,王建,等.我国油气资源潜力、分布及重点勘探领域[J].地学前缘,2022,29(6):146-155.
- [8] 袁光杰,付利,王元,等.我国非常规油气经济有效开发钻井完井技术现状与发展建议[J].石油钻探技术,2022,50(1):1-12.
- [9] 张金川,陶佳,李振,等.中国深层页岩气资源前景和勘探潜力[J].天然气工业,2021,41(1):15-28.
- [10] 邹才能,赵群,丛连铸,等.中国页岩气开发进展、潜力及前景[J].天然气工业,2021,41(1):1-14.
- [11] 邹才能,董大忠,王玉满,等.中国页岩气特征、挑战及前景(二)[J].石油勘探与开发,2016,43(2):166-178.
- [12] 李阳,薛兆杰,程喆,等.中国深层油气勘探开发进展与发展方向[J].中国石油勘探,2020,25(1):45-57.
- [13] 周娟,魏微,胡奥林,杜春.深化中国天然气价格机制改革的思考[J].天然气工业,2020,40(5):134-141.
- [14] 徐凤生,王富平,张锦涛,等.我国深层页岩气规模效益开发策略[J].天然气工业,2021,41(1):205-213.
- [15] 胡建国,马建军,李秋实.长庆油气田数智化建设成果与实践[J].石油科技论坛,2023,42(3):30-40.
- [16] 徐东,孙春芬,梁成勋.中国页岩气开发经济效益影响因素分析及政策建议[J].国际石油经济,2018,26(2):7-14.