

引用格式:肖武,赵伟,王滨,等.胜利油田开发规划技术研究进展及展望[J].油气地质与采收率,2024,31(5):209-214.  
XIAO Wu, ZHAO Wei, WANG Bin, et al. Progress and prospects of development planning technologies in Shengli Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2024, 31(5): 209-214.

## 胜利油田开发规划技术研究进展及展望

肖武,赵伟,王滨,刘新秀

(中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院,山东 东营 257015)

**摘要:**自20世纪90年代起,结合国际油价变化、勘探开发形势以及技术的进步,胜利油田形成一套与油田各开发阶段战略需求紧密契合的开发规划技术体系。立足胜利油田中长期开发规划编制实践,梳理了胜利油田开发规划技术的发展历程,介绍了各阶段开发规划技术发展的历史背景、技术思路以及面临的问题。经过持续攻关和实践,胜利油田开发规划技术主要经历了方案优选、产量规划、效益规划、不确定性规划4个阶段,各阶段形成的开发规划技术有效支撑了开发规划方案的编制,指导了油田发展方向。围绕胜利油田可持续发展目标,明确了胜利油田现有开发规划技术存在新领域开发经济规律把握难度大、中长远规划与年度生产部署的结合需加强、规划编制的战略性及前瞻性需提升3方面的问题。针对存在问题,提出了下步胜利油田开发规划技术将向更注重不确定性及多目标、更加智能化、精细化以及更加具有战略性、前瞻性发展,为油田战略决策提供技术支持。

**关键词:**中长远规划;优化模型;指标预测;发展历程;技术展望

文章编号:1009-9603(2024)05-0209-06

DOI:10.13673/j.pgre.202406026

中图分类号:TE32

文献标识码:A

## Progress and prospects of development planning technologies in Shengli Oilfield

XIAO Wu, ZHAO Wei, WANG Bin, LIU Xinxiu

(Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC,  
Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

**Abstract:** Since the 1990s, Shengli Oilfield has integrated fluctuations in international oil prices, exploration and development trends, and technological advancements and developed a technical system for development planning that closely aligns with the strategic needs of each stage of oilfield development. Based on the practice of formulating mid-to-long-term development plans for Shengli Oilfield, this paper traced the evolution of development planning technologies in Shengli Oilfield and introduced the historical background, technical approaches, and challenges encountered by the development planning technologies during each stage. Through persistent research and practical application, the development planning technologies in Shengli Oilfield have progressed through four primary stages: scheme optimization, production planning, beneficial planning, and uncertainty planning. The development planning technologies developed during these stages have effectively supported the formulation of development planning strategies, guiding the oilfield's development. With a focus on the sustainable development goals of Shengli Oilfield, it has been identified that there are three key issues for the development planning technologies to address: the challenge of mastering the economic principles of new field development, the need to reinforce the integration of mid-to-long-term planning with annual production schedules, and the requirement to elevate the strategic and forward-looking aspects of plans. In response to these challenges, the development planning technologies in Shengli Oilfield will prioritize uncertainty and multi-objective planning, alongside advancements in intelligence and precision, as well as strategic and futuristic development, so as to provide technical support for the strategic decision-making of oilfields.

收稿日期:2024-06-26。

作者简介:肖武(1975—),男,江西萍乡人,正高级工程师,博士,从事油气田开发及战略规划研究。E-mail:xiaowu.slyt@sinopec.com。

**Key words:** mid-to-long term planning; optimization models; indicator forecasting; development course; technical outlook

油田开发规划是未来一段时期油田的行动纲领和指南,通过跟踪上阶段规划执行情况,分析油田面临的开发形势,在深入开展规划依据研究的基础上,综合考虑资源潜力、技术进步、生产与经营管理,制定下步工作量投入、产量等规划部署方案,具有综合性、前瞻性和战略性的特点。科学合理的油田开发规划,对于指导油田避免盲目开采、实现资源优化配置、促进技术革新,保障企业与社会经济的和谐发展,具有不可估量的价值与深远意义。油气开发作为一个高风险、高投入的行业,只有通过储量、工作量、产量、投资、成本和效益的一体化优化,才能在有限的资源条件下实现产量最大化或者经济效益最大化,特别是伴随着油田企业管理体制的改革,开发规划技术的重要性更加突出。自20世纪90年代以来,随着国际油价的波动起伏、勘探开发形势的变化、技术的持续革新,以及油田自身发展目标的不调整,胜利油田开发规划技术经历了持续的迭代和实践。旨在全面回顾胜利油田开发规划技术的发展历程,深入剖析在发展过程中遇到的问题,并对未来胜利油田开发规划技术的发展方向进行展望。

## 1 发展历程及现状

自20世纪90年代起,胜利油田便开启了开发规划技术的探索与实践之旅,历经30多年的持续攻关和创新,经历了由简单到复杂、由片面到全面的过程,主要分为方案优选、产量规划、效益规划、不确定性规划4个阶段,目前已形成一套与油田各开发阶段战略需求紧密契合的开发规划技术体系。

### 1.1 方案优选阶段

“九五”之前,全球能源市场呈现出一片欣欣向荣的景象,与国际油价相比,胜利油田含水率较低,完全成本也相对较低,这为油田带来了前所未有的发展机遇。在这样的宏观经济背景下,油田效益有较好的保障,开发的主要目标是满足国家对石油的需求,产量成为衡量开发成效的首要甚至是唯一标准。此阶段胜利油田开发规划以产量为导向,其核心在于如何最大化地提高原油产量,满足国家经济发展需要。

因此,这一阶段的规划技术,一方面从统计学、油藏工程等方面开展新老区产量预测方法研究<sup>[1-2]</sup>,为开发规划提供准确的依据。另一方面,以水驱、

稠油、海上、化学驱等开发板块为对象,在开发潜力分析、规划依据研究的基础上,根据未来的发展趋势和政策导向,部署不同工作量投入、不同产量目标的多套规划方案,并测算这些方案的成本和效益;管理决策层根据胜利油田的目标和政策,经过精心设计与成本效益权衡,优选出最为契合油田发展战略与国家政策导向的规划方案。然而,这一时期的开发规划方法具有一定的局限性。首先,在以产量为纲、效益为辅的规划思路下,对成本控制与经济效益最大化的重要性的重视不够,这在油价波动加剧、成本逐渐上涨的情况下,无疑会导致较大的风险。其次,开发规划工作仍带有浓厚的计划经济色彩,过于侧重完成既定计划,对市场变化的敏感性不足,缺乏足够的灵活性和适应性。再者,在规划方案的优选过程中,尽管已涉及多维度的考量,并建立了相应的规划决策支持系统<sup>[3]</sup>,但在技术上并不是严格意义上的优化,更多依赖于经验判断与有限方案的优选,缺乏系统化的优化算法支持。此时,胜利油田已经意识到这个问题,积极开展了相关技术的探索和储备。

### 1.2 产量规划阶段

“十五”期间,随着胜利油田勘探开发技术的不断进步,油田开发规划编制及开发规划技术也随之进入崭新阶段。面对传统开发规划技术存在的非严格优化、主观性强等局限,胜利油田在“九五”期间研究的基础上,加快推进了开发规划技术向科学化与精细化转型。这一转型的核心在于引入先进的优化理论,通过严谨的数学模型和算法,为油田开发规划提供一套科学、系统的方法框架,将有限的方案优选,转变为一个基于数据、模型驱动的决策优化过程,大大提升了开发规划的准确性和科学性。最优化理论与方法是在某些约束条件下,通过一定的算法调整某些可选择变量的取值,使系统的目标函数达到最优。它涵盖了线性规划、非线性规划、动态规划等多种方法,旨在从众多可能的选择中作出最优选择,使系统的目标函数在约束条件下达到最大或最小。

该阶段开发规划技术包括:在各个板块开发潜力分析和开发经济指标变化规律研究的基础上,充分融入各种实际约束条件,如开发潜力、投资、成本、经济效益指标等,建立带约束的非线性优化模型,如定产量成本最低、定成本产量最大、定产量效益最好等模型<sup>[3-9]</sup>,并编制了“油田开发规划优化决

策”软件系统,较好解决了综合考虑技术、经济等因素时,油田各分项产量及其对应的投资、成本、工作量以及其他开发指标之间最优配置的难题,确保开发规划方案的可实施性和经济性,为胜利油田开发策略的制定提供定量决策依据。

该阶段开发规划以单目标产量优化模型为主,在考虑产量目标时兼顾成本和效益,并为后续多目标优化、效益规划的发展奠定了坚实基础。通过逐步引入更复杂的优化算法和更全面的评价体系,胜利油田开发规划技术正逐步向多目标、多约束条件下的全局优化发展。

### 1.3 效益规划阶段

“十二五”期间,胜利油田的开采成本显著增加,一方面含水上升导致吨油成本刚性增长;另一方面,新投入储量品位下降,以低渗透、稠油油藏为主,开发成本高,产能低,进一步推高了开发成本。2014年国际油价悬崖式下跌,更是雪上加霜,原本大幅盈利的油田一夜之间陷入亏损困境,迫使油田开发从追求规模产量的旧模式中觉醒,转向多目标并重尤其是以经济效益为核心的规划策略,胜利油田开发规划技术开始了一场深刻的变革。开发规划理念不再局限于产量最大化,而是兼顾产量维持与经济效益的多重目标,力求在保障国家能源安全的同时,实现企业的可持续发展。此外,胜利油田在成本管理上更加精细,按照采油厂、油田、管理区,甚至于单井,深入分析效益状况<sup>[10]</sup>,提出“多干效益活、多产效益油”理念,将效益作为最为重要的经营目标。开发规划编制及优化方法随之变得更加精细化和复杂化,从单一的产量规划扩展到包含效益、成本、技术等多维度考量的多目标规划体系。规划实施层面划分得更为细致,不仅按油田层面开发方式(如水驱、化学驱等)和新老区分类,还细分

到采油厂层面不同开发方式、新老区构成等,采用两层、三层乃至更复杂的开发规划方法,以求更精确地匹配油田的实际状况和面临的挑战。

在技术的实现上,通过建立多层、多目标优化模型进行优化<sup>[11-12]</sup>,在精细的管理层级下,确保产量、效益等目标的实现。以开发方式为对象进行优化,上层为油田优化模型,以投资、成本等为约束,规划不同开发方式下的总产量和总效益;下层为开发方式优化模型,以上层给出的投资以及该开发方式下的潜力、规律等为约束,规划该开发方式的具体工作量。通过二层模型之间指标的不断判断反馈和循环调整(图1),直到得到最优的指标分配方案,从而实现整体最优。二层效益规划优化方法,既考虑了油田的整体效益,又考虑了不同开发方式下的工作量分配,实现了不同开发方式之间、同一开发方式新、老区增量之间不同对象的整体优化决策。

另外,对于一些规模较小但投资规模较大的板块,如海上、化学驱板块,以单个区块为对象开展精细的方案论证,工作精细、基础牢固,以区块为对象进行规划。该阶段发展了项目群优化方法,考虑时间价值,以财务净现值为目标,不断调整项目组合方式,在给定投入下,选择最优的项目组合方式以及投入时间。

同时,在年度生产部署中,鉴于新老区建产效果的普遍下滑,胜利油田管理团队开始采用效益排队策略,对各类开发项目进行严格筛选与优先排序。以项目的经济性为首要标准,确保有限的资源投入到回报率最高的项目中,从而整体上提升油田的经济效益。这种精细化管理不仅提高了资源配置的效率,也促进了技术与管理的创新,为胜利油田的转型升级打下了坚实的基础。

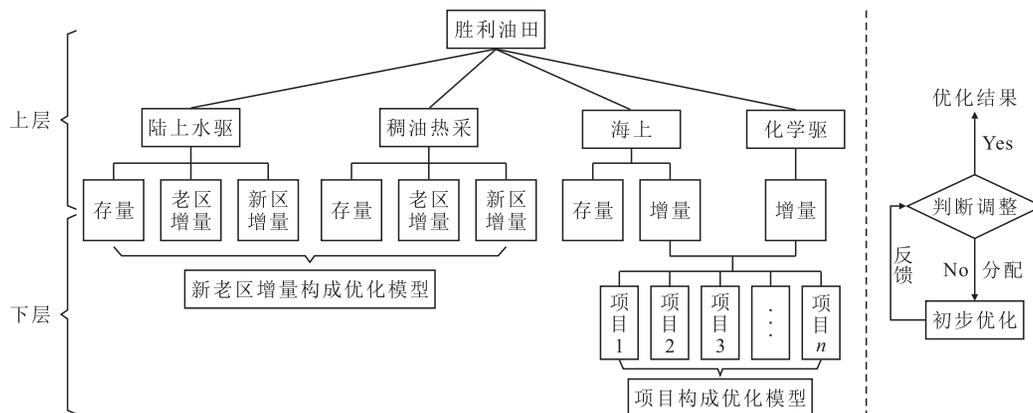


图1 胜利油田二层开发规划示意  
Fig.1 Two-layer development planning of Shengli Oilfield

精细化和多目标规划带来的不仅是效率的提升,也伴随着一系列挑战。随着规划层次的增多,工作量成倍增长,对数据的处理、分析和规律的把握提出了更高的要求。在多重目标的框架下,如何平衡相互竞争甚至冲突的目标,做出最优化决策,成为一个亟待解决的难题。此外,如何在复杂的市场环境下保持规划的灵活性和适应性,以应对油价波动、技术革新等外部因素的不确定性,也是规划者需要深思的问题。

### 1.4 不确定性规划阶段

指标预测是油田开发规划的基石,预测的准确与否直接影响最终的规划方案。然而,在实践中规划人员发现,尽管指标预测模型能捕捉到一些宏观规律,如随着储量品质下降,新井初期产量下降,老井呈现递减等,但这些指标的预测结果受到预测方法、人为主观性以及原始数据波动的影响,表现出较大的不确定性,导致规划目标与实际结果之间存在偏差。面对上述问题,“十三五”期间,胜利油田引入新的开发规划理念和技术,即不确定性规划,不再追求单一确定性的未来预测,而是承认并深入分析未来多种可能情景,通过构建模型来量化不确定性<sup>[13-14]</sup>,为决策提供更加全面、稳健的依据。

不确定性规划是在面对未来诸多不确定因素的情况下,如何制定和优化开发策略的一种优化方法。在诸多不确定性的表征方法中,采用最为成熟、操作性最强的随机理论来表征规划指标的不确定性。对无论何种模型、方法预测的规划依据指标,都根据原始数据的波动,最终将其表征为以宏观规律预测值为中心,以波动为变化范围的随机变量。在此基础上,无论是单目标还是多目标的多层规划模型,都改进为随机期望值模型或随机机会约束模型<sup>[15]</sup>,配套融合蒙特卡洛模拟的遗传算法(图2),求解相应优化模型,给出完成概率最大的开发规划方案。

通过引入上述不确定性规划方法,胜利油田不仅提高了规划的精度和可靠性,还增强了对未知风险的管理能力,为油田在复杂多变的市场环境中保持竞争优势奠定了坚实的基础。

## 2 面临的形势与挑战

尽管胜利油田在开发规划编制技术领域已取得显著进展与成就,但面对新的开发形势与发展趋势还面临3方面的挑战。

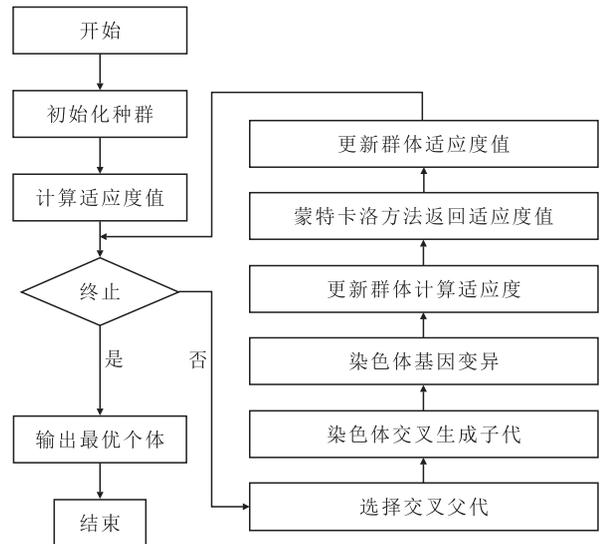


图2 融合蒙特卡洛模拟的遗传算法求解过程  
Fig.2 Illustrates the solution process using a genetic algorithm integrated with Monte Carlo simulation

### 2.1 开发及经济规律的把握难度进一步加大

规划的前提在于对未来趋势的预判。这既包含了开发和经济指标变化规律的把握,又包括复杂的国际政治经济形势、国家政策导向、市场需求变化,以及油田自身开发的潜力与技术革新。规划的精准预测要面对的是未来不确定性带来的挑战。国际油价的波动、国家政策的调整、新兴市场的需求变化,这些外部因素的不可控性给预测工作增加了难度。并且,油田地质条件复杂多变,老区递减率、新区产能释放乃至新技术推广效果都难以简单套用过往的经验规律。新技术、新类型的不断涌现,如非常规油气资源的开发、智能化油田的构建,更是对传统预测模型提出了全新挑战。如何在不确定性中寻找确定性,成为胜利油田未来开发规划中亟待破解的关键问题。

### 2.2 中长远规划与年度生产部署的结合需加强

在油田开发的管理实践中,中长远规划与年度生产部署之间的协调与融合是确保持续、高效、有序开发的关键。中长远规划作为战略性蓝图,着眼于未来5 a的宏观布局,为油田的发展指明方向,设定总体目标与路径。然而,5 a的时间跨度内,市场环境、技术革新等变量难以精确预测,因此,中长远规划更多体现为一种战略导向和愿景设定,而非具体操作指南。相比之下,年度生产部署则更加微观和具体,直接关联到日常的生产活动,确保短期目标的实现与资源配置的高效执行。如何将两者进行有效衔接,不仅关乎规划的落地实施,更是对管理层决策智慧和前瞻能力的考验。

### 2.3 规划编制的战略性、前瞻性需提升

在现实操作层面,受到生产压力、经营环境和效益的多重考量,当前5 a规划重点是确保油田产量和经济效益的实现。短期目标的追求,虽然确保了油田的运作效率与经济产出,却在一定程度上限制了前瞻性、战略性领域的布局与投入,特别是那些短期内难以直接转化为经济效益和产量增长,但却对油田未来竞争力至关重要的板块,诸如新能源技术、数字化转型、环境友好型开采技术研发等。因此,中长期规划在确保短期业绩的同时,应当更加重视前瞻性、战略性投入,平衡好当下与未来的关系。

## 3 发展展望

针对现有规划实践中的挑战与制约,胜利油田开发规划技术将向更加注重不确定性及多目标、更加智能化、精细化以及更加具有战略性、前瞻性发展,为油田战略决策提供技术支撑。

### 3.1 更加注重不确定性及多目标

由于油田开发面临众多不确定性因素,如地质条件、市场需求和油价波动等,未来的开发规划需要能够对规划进行动态调整,以应对这些不确定性和风险。基于风险评估且灵活的决策机制将成为优化模型的重要组成部分,以确保在不确定环境中实现最佳决策。同时,油田开发规划是一个涉及多目标的决策过程,在全球范围内日益重视环境保护和可持续发展的背景下,更加注重环境保护和资源的可持续利用,需要考虑技术、经济和环境等多方面的因素。未来的开发规划技术将更加注重多目标之间的平衡,确保油田开发既经济又环保。多层次、多标准的决策模型将越来越受重视,以便于在不同层面和标准下进行综合评估和决策。

### 3.2 更加智能化

在大数据与人工智能科技蓬勃兴起的背景下,胜利油田未来的开发规划技术将深度融合机器学习、深度学习等前沿技术,充分利用这些技术处理多影响因素的能力,对不同类型油藏、开发方式的海量数据进行全面分析,更准确地分析油田数据,深度挖掘油田的内在潜力,增强预测的准确度及复杂场景的模拟能力。此外,智能化的融入还将显著加速规划流程。通过自动提取数据、智能预测,大幅降低人工操作,提高规划编制效率,确保规划决策的时效性,为油田开发规划提供更加精准及时的

决策支持。

### 3.3 更加精细化

随着油田开发的逐步深入与管理要求的日益提升,传统宏观层面的开发规划方法与生产实践的可操作性和可执行性的矛盾日益突出。未来油田中长期规划将与年度生产部署实现无缝对接,规划将转变为具体可行的行动指南,显著增强规划可操作性。因此,胜利油田未来的规划研究对象需要进一步精细,研究范畴从传统的老老区、新老井构成精细到不同开发技术、不同措施类型、不同含水级别构成等,从分开发方式、油藏类型以及采油单位等进行进一步下沉至更具体的单元区块层面。

### 3.4 更加具有战略性、前瞻性

随着胜利油田步入“三高”开发阶段,面对“百年胜利”宏伟蓝图,规划工作被赋予了引领未来、谋篇布局的深远使命。尽管中长期规划一般为5 a,但鉴于国家能源安全的需求及油田自身持续繁荣的愿景,战略视角必须超越这一时限,向10 a乃至更远的未来延伸。在资源与技术接续方面,油田将当前与长远结合,采取更为前瞻性的布局,不仅要确保5 a稳健运营,而且要为油田长远发展超前谋划,在规划编制中加强前瞻性技术、新兴领域的投入和探索,为油田的长远发展夯实基础。

## 4 结论

(1)历经30多年的持续攻关和创新,胜利油田已形成一套开发规划技术体系。回顾技术发展历程,主要分为方案优选、产量规划、效益规划、不确定性规划4个阶段。每个阶段技术的发展都是紧密结合各开发阶段战略需求与实践中的问题而发展起来的。

(2)尽管胜利油田的开发规划技术已取得显著发展与成就,但面对新的开发形势与发展趋势,开发及经济规律的把握难度进一步加大,中长期规划与年度生产部署的结合需加强,开发规划的战略性、前瞻性需提升。

(3)针对现有开发规划实践中的挑战与制约,未来胜利油田的开发规划技术将向更加注重不确定性及多目标、更加智能化、精细化以及更加具有战略性、前瞻性发展,为油田战略决策提供技术支撑。

### 参考文献

- [1] 刘志斌.注水开发油田的微分模拟预测[J].西南石油学院学报,1993,15(1):69-74.  
LIU Zhibin. Differential simulation prediction of performance of

- water-injection oilfield [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1993, 15(1): 69-74.
- [2] 肖伟,刘志斌,郭大力,等.基于神经网络的油田注水动态预测[J].交通与计算机,1997,15(2): 57-60, 78.  
XIAO Wei, LIU Zhibin, GUO Dali, et al. Dynamic indexes forecasting in injection oilfield recovery system based on neural network [J]. Computer and Communications, 1997, 15(2): 57-60, 78.
- [3] 尚明忠,盖英杰,李树荣,等.油田开发规划非线性多目标优化模型研究[J].石油钻探技术,2003,31(4):59-61.  
SHANG Mingzhong, GAI Yingjie, LI Shurong, et al. Study on non-linear multiple objects optimal model for oil field development planning [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(4): 59-61.
- [4] 尹忠祥,盖英杰,李树荣,等.油田开发规划多目标优化方法[J].河南石油,2004,18(5):37-39.  
YIN Zhongxiang, GAI Yingjie, LI Shurong, et al. Multi-objective optimization method for oilfield development planning [J]. Henan Petroleum, 2004, 18(5): 37-39.
- [5] 凡哲元,邴绍献,苏映宏,等.油田开发规划优化决策系统研究[J].油气地质与采收率,2003,10(6):34-36.  
FAN Zheyuan, BING Shaoxian, SU Yinghong, et al. Optimal decision system study for oilfield development programming [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(6): 34-36.
- [6] 肖武,杨圣贤,张孝天,等.油田开发预警技术研究及应用[J].油气地质与采收率,2010,17(4):65-68.  
XIAO Wu, YANG Shengxian, ZHANG Xiaotian, et al. Study and application of early-warning system for oilfield development [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2010, 17(4): 65-68.
- [7] 侯春华.基于多因素关联关系的油田开发措施结构优化方法研究[J].西南石油学院学报,2006,28(3):38-40.  
HOU Chunhua. Optimal methods based on relationships between affluent associated factors for oil field development measure arrangement [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2006, 28(3): 38-40.
- [8] 李允,刘志斌.现代优化技术在油田开发中的应用[M].北京:石油工业出版社,2001.  
LI Yun, LIU Zhibin. Applications of modern optimization techniques in oilfield development [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [9] 谢祥俊,刘志斌,杜玉洪,等.油田开发规划措施结构优化模型及其应用[J].西南石油学院学报,2004,26(2):11-14.  
XIE Xiangjun, LIU Zhibin, DU Yuhong, et al. The modeling and application of planning measurement and structure optimization in oilfield production [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(2): 11-14.
- [10] 侯春华.基于长短期记忆神经网络的油田新井产油量预测方法[J].油气地质与采收率,2019,26(3):105-110.  
HOU Chunhua. New well oil production forecast method based on long-term and short-term memory neural network [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2019, 26(3): 105-110.
- [11] 侯春华,邴绍献,王滨,等.基于增量和存量的油田效益开发优化模型[J].油气地质与采收率,2015,22(6):102-106.  
HOU Chunhua, BING Shaoxian, WANG Bin, et al. Optimization model for oilfield benefit development based on existed/incremental production [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(6): 102-106.
- [12] 侯春华.基于差分进化算法的油田开发二层规划模型求解及应用[J].四川师范大学学报:自然科学版,2019,42(2):269-276.  
HOU Chunhua. The solution and application of a bi-level oilfield development programming model based on differential evolution algorithm [J]. Journal of Sichuan Normal University: Natural Science Edition, 2019, 42(2): 269-276.
- [13] 王滨,赵伟,计小宇,等.基于传递函数模型的油田产油量预测方法[J].油气地质与采收率,2014,21(9):77-80.  
WANG Bin, ZHAO Wei, JI Xiaoyu, et al. Oilfield output prediction method based on transfer function model [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(9): 77-80.
- [14] 方文超,姜汉桥,李俊键,等.基于不确定性研究的油田开发后期指标预测方法[J].油气地质与采收率,2015,22(5):94-98.  
FANG Wenchao, JIANG Hanqiao, LI Junjian, et al. A prediction method for oilfield development indices during later period based on uncertainty research [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 94-98.
- [15] 刘宝锭,赵瑞清,王纲,等.不确定规划及应用[M].北京:清华大学出版社,2003.  
LIU Baoding, ZHAO Ruiqing, WANG Gang, et al. Uncertainty programming and its applications [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.

编辑 刘北羿