

大庆油田开发试井解释技术新进展及展望

杨景海, 齐占奎, 梁旭, 马堃

大庆油田有限公司测试技术服务分公司 黑龙江大庆 163453

通讯作者: Email: dlts_qzk@petrochina.com.cn

项目支持: 大庆油田有限责任公司测试技术服务分公司项目“解析试井资料批量处理及数值试井提速技术研究”(dqcs-2023-ky-002)

引用: 杨景海, 齐占奎, 梁旭, 等. 大庆油田开发试井解释技术新发展及展望[J]. 油气井测试, 2024, 33(5): 56-59.

Cite: YANG Jinghai, QI Zhankui, LIANG Xu, et al. New advancements and prospects in development well test interpretation technology for Daqing oilfield [J]. Well Testing, 2024, 33(5): 56-59.

摘要 全面介绍了大庆油田自“十四五”以来在开发试井解释技术方面所取得的新进展。解析试井技术领域, 率先在国内完成了试井资料的智能化解释方法研究, 成功实现了 10 种常规试井模型的自动化解释, 并已开始大规模推广应用; 数值试井技术领域, 在水驱单相流的基础上进一步发展了化学驱多相流多组分模型和针对致密油气藏的多段压裂水平井的数值试井解释技术; 试井解释资料应用领域, 研发了测试资料综合应用云平台, 深化了试井资料解释成果的应用; 试井解释软件的开发方面, 研发了拥有自主知识产权的 Sunflower 试井解释平台软件系列。未来将集中在解析试井智能解释技术的完善和提升、数值试井解释技术的解释速度提升、页岩油试井解释评价技术以及高频压力计试井解释评价技术, 同时, 还将发展基于“微服务”架构的试井解释平台软件。

关键词 大庆油田; 测试技术; 解析试井解释技术; 数值试井解释技术; 化学驱; 人工智能; 试井解释平台; 测试资料应用云平台

中图分类号: TE353

文献标识码: A

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2024.05.009

New advancements and prospects in development well test interpretation technology for Daqing oilfield

YANG Jinghai, QI Zhankui, LIANG Xu, MA Kun

Daqing Logging & Testing Service Company, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing, Heilongjiang 163453, China

Abstract: The new advancements in development well test interpretation technology achieved in the Daqing oilfield since the “14th five-year plan” were comprehensively overviewed. In the field of analytical well test technology, the Daqing oilfield pioneered the study of intelligent interpretation method for well test data, successfully automating the interpretation of 10 conventional well test models, which have since been widely applied. In the field of numerical well test technology, advancements have been made beyond single-phase water flooding models, with the development of multiphase flow and multi-component models for chemical flooding, as well as numerical well test interpretation techniques for multi-stage fractured horizontal wells in tight oil and gas reservoirs. For the application of well test interpretation data, a cloud platform for comprehensive utilization of test data was developed, deepening the practical application of well test interpretation results. In terms of software development, the Sunflower well test interpretation platform series were developed with independent intellectual property rights. Future efforts should focus on improving intelligent interpretation technologies for analytical well tests, accelerating interpretation speed for numerical well tests, well test interpretation and evaluation technologies for shale oil, and high-frequency pressure gauge interpretation technologies. Additionally, efforts should be made to further develop a well test interpretation platform based on “microservice” architecture.

Keywords: Daqing oilfield; testing technology; analytical well test interpretation technology; numerical well test interpretation technology; chemical flooding; artificial intelligence; well test interpretation platform; test data application cloud platform

试井解释技术经过多年的发展完善, 国内外已经形成了一套完整的试井理论体系, 发展出了解析试井, 数值试井等解释技术, 能够对油气水井压力

资料进行解释评价, 可以得到流动系数、地层系数、流度及渗透率等地层参数, 其结果在油田开发中发挥了重要作用^[1-3]。目前常规试井解释技术能够实

现油气井的试井资料的解释分析。其解释方法以人工解释为主,没有商业化规模应用的智能解释技术与软件^[4-5]。在数值试井解释技术方面,目前以水驱模型为主,在此基础上利用不同的网格划分方法,可以实现大规模压裂井、水平井等井型的数值试井解释。但是在化学驱方面除大庆油田外还没有相关成熟的技术^[6-7]。

大庆油田的试井工作始于油田开发之初,贯穿了大庆油田整个开发过程。科研人员紧跟试井技术发展趋势的同时,根据油田开发的具体需求,不断进行创新和突破,推动了试井技术的快速发展。在工艺方面,从单一井的试井发展到多井试井,从笼统试井过渡到分层试井,从传统的直井试井演进到现代的水平井试井。在仪器设备上,也经历了从机械式压力计到电子压力计,再到地面直读式压力计的演变。在分析方法上,从早期的半对数分析发展到现代的试井分析,从解析试井分析进步到数值试井分析,从针对水驱的试井分析拓展到化学驱试井分析,再到适应中高渗透性油气藏和致密油气藏的试井分析。在解释手段上,也实现了从手工操作到计算机自动化,再到功能全面的解释平台的飞跃^[8-10]。在“十三五”规划期间,大庆油田针对生产实际,开发出了一系列创新性强、适用性广、效益显著的试井技术成果,这些成果基本上满足了新时代油田开发的需求^[11-12]。

1 开发试井技术新进展

针对油田开发中出现的新问题以及其他领域出现的新技术,大庆油田在开发试井资料解释技术方面不断研发引进新技术以满足油田开发的需求,主要取得了四方面的进步。

1.1 智能试井解释技术

在“十四五”期间,开发试井解释技术取得了显著的新进展。特别是在智能试井解释技术方面,取得了突破性的进步。为了解决传统试井解释中存在的多解性强、低效率以及对专家经验的高度依赖,大庆油田研究并开发了试井资料智能解释方法。10种大庆油田常见的试井模型识别准确率达到90%,其智能解释结果与专家的拟合结果符合度高达95%。这不仅极大提高了试井资料解释的效率和标准化水平,而且显著减少了对解释人员数量的需求。到目前为止,已经完成了超过1万井(层)次的试井资料解释,取得了良好的应用效果。其实

现的技术路线如下图1。



图1 试井智能解释技术路线图

Fig. 1 Roadmap of intelligent well testing interpretation technology

利用大庆油田的历史测试数据,通过拉丁超立方采样方法构建了用于神经网络训练的数据集。在此基础上,应用一维卷积神经网络(CNN)技术,对深度学习模型进行训练,以实现对试井模型的智能识别和曲线的精确拟合。

1.2 数值试井解释技术

数值试井是一种建立在数值求解方法基础上的试井分析技术。数值试井与解析试井基于相同的渗流力学原理,但不同之处在于解析试井对地质和流动模型进行了适当的简化以推导出各种试井模型。相比之下,数值试井考虑了更为复杂的地质条件和边界情况,包括沉积相带、多层系统、多相多组分流动、储层的非均质性、生产历史和各种措施的影响,更真实地描述了地层状况。数值试井的实现过程包括利用地质静态资料和生产数据进行模型构建,然后通过网格化方法对压力传播进行数值求解,从而获得理论上的试井分析曲线。将这些理论曲线与实际测试资料进行拟合分析,以获得更贴近油藏实际动态情况的试井模型。

大庆油田在数值试井解释技术方面不断进行研发和创新,至2016年已经发展出一系列数值试井解释技术,这些技术能够对水驱、化学驱以及大规模压裂等试井资料进行精确的解释。特别是化学驱数值试井解释方法及其软件,作为世界首个在矿场得到应用的技术,处于国际领先地位。在“十四五”期间,随着大庆油田开发进入后期和非常规阶段,地下流体和压力场发生了复杂而深刻的变化,使得开发调整的难度日益增加。特别是化学驱等三次采油技术的广泛应用,对地层压力、储层渗透能力以及驱替液的波及范围和变化速度的评价精度提出了更高的要求。因此,数值试井技术在大庆

油田的应用规模持续扩大,以科学合理地描述油藏的渗流规律,并精确制定开发调整策略。在油田的重点区域,应用数值试井技术已经取得了良好的效果。近年来,数值试井解释技术在控压钻井区域的地层压力模拟、化学驱流体驱替前缘与推进速度的判断、以及大规模压裂后井产能预测和工作制度的优化等方面都得到了广泛的应用。至今,大庆油田在聚驱和复合驱方面已完成 300 多井次的资料解释,在水驱区块完成了 500 多井次的资料解释,并在大规模压裂井的评价方面应用了 24 井次。

1.3 测试资料综合应用云平台

测试资料综合应用云平台负责管理高达 80 万井层次的历史监测数据,这些数据详细记录了油田开发的整个历程,包括地下形势的变化和发展特征。通过对这些海量数据进行深入分析和挖掘,结合测试资料应用技术的攻关,经过多年的持续开发,已经实现了历史监测数据的深入应用。为各类技术和管理人员提供了高效的工具,实现了测试与开发的紧密结合。成为国内首个集监测设计、成果发布、数据应用和效果跟踪于一体的综合性平台。

平台采用可扩展、开放式的设计理念,目前由 6 个子系统和 20 个主要功能模块构成,能够提供 6 种监测设计方法、21 种测试成果图和包括异常信息识别推送在内的 6 项监测信息综合服务。固化了监测系统优化、关井时间优化(试井)、应用效果量化等系列一体化方法,实现测试成果多时空分析和地质统计评价、压力评价(试井)、异常信息三级预警,为油水井提供一体化解决方案。

平台功能子系统如下:①监测方案优化子系统包括监测方案设计、套损监测信息查询、套损及风险信息预警、单井套损风险指标等功能;②测试技术选择子系统包含注入、产出剖面测井数据选择、油井测压关井试井设计、相关技术资料发布等功能。③测试成果发布子系统包含异常信息发布、试井成果发布、测井成果发布、PI 成果发布、磁定位成果批量导出等功能;④测试数据应用子系统包含区块/单井动用状况统计、区块/单井吸水状况对比、井组措施效果对比、压力状况统计、地层压力对比统计等功能;⑤监测可视化子系统包含压力资料可视化、注水/产液剖面资料可视化、监测部分图、多井联通图、栅状图、单井生命周期、工作量统计等功能;⑥系统管理子系统包括基础参数管理、预警级别分类类型管理、单井坐标数据、单井层系数据等

功能。

1.4 自主知识产权试井解释软件

试井技术的核心在于对试井资料的解释分析,而分析结果的可靠性在很大程度上取决于所使用的解释软件的质量。早在 20 世纪 80 年代,大庆油田就开始引进和研发试井解释软件。进入 21 世纪,为了解决油田使用的试井软件种类繁多、压力评价方法不统一等问题(这些问题影响了试井资料的综合应用效果),大庆油田于 2002 年起,先后与中科院力学所、中国科学技术大学、合肥工业大学等高校院所合作,迭代开发了三代拥有自主知识产权的 Sunflower 试井解释平台软件系列。这一系列软件打破了我国高端试井解释软件长期被国外垄断的局面,其模型库丰富,包括了各种常见的试井解释模型和非常规试井解释模型。它还集成了松 I 法、水驱压力评价方法等具有大庆特色的地层压力评价技术,能够对油、气、水试井资料进行解析和数值试井解释评价,是大庆油田多年试井科研成果的集大成者。Sunflower 系列软件具备智能解释功能,目前已安装 200 余套,具备年处理超过 2 万井次的能力,并已开始承担大庆油田以外的市场试井资料的解释评价任务。

2 开发试井技术攻关方向

在“十五五”规划期间,开发试井解释技术的研究应当遵循实用性、效益性、系统性和先进性的原则,基于智能化油田建设的需求,在积极推广新技术的同时,重点在试井资料智能解释、高频压力资料评价、页岩油开发评价等技术方面不断提升试井技术水平。此外,还将加强以动态监测数据库为核心的信息化建设,加强测试资料与地质应用的融合,确保测试资料能够高效利用。在“十五五”期间,开发试井解释技术将重点攻关以下方向:

(1)扩大试井智能解释技术的覆盖范围,研究开发裂缝和部分射开试井模型的智能识别与解释方法,以及原始测压数据流动段的自动划分技术,以实现解析试井资料的全流程自动化解释。

(2)在高频压力等工程技术领域,开展监测数据的解释方法研究,并将其应用于实际工作中。

(3)针对页岩油等具有复杂储层和复杂渗流机理的情况,研究开发相应的试井资料解释评价技术。

(4)开发基于“微服务”架构的试井解释平台智

能云软件,实现试井解释软件平台持续迭代和升级。

3 结论

(1)大庆油田试井解释技术经过多年研发已经形成了成熟的解析试井、数值试井等技术系列,能够满足油田正常监测任务的解释需求。研发的自主知识产权的试井解释软件以及智能解释方法目前处于国内外领先地位。

(2)开发的测试资料综合云平台深化了测试资料的应用,挖掘了测试数据潜在价值,为油田开发提供了更好的参考依据。

(3)油田开发试井解释技术的发展方向应当紧密围绕油气田的开发需求和油田生产的实际状况。必须大力推动技术创新,集中优势资源进行技术攻关,掌握一系列具有自主知识产权的核心科技。要迅速解决生产过程中遇到的技术难点和瓶颈问题,形成一套完整的应用技术,以充分满足油田生产的需要,确保油田能够持续高效地开发。

致谢:在论文的撰写过程,得到了大庆油田测试技术服务分公司领导及同事的帮助,对论文的顺利完成起到了重要作用,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 刘能强. 实用现代试井解释方法(第五版)[M]. 石油工业出版社,2008.
- [2] 蔡兵. 大庆油田测试资料应用技术研究进展[J]. 测井技术,2021,45(2):117-121.
CAI Bing. Research on well logging and testing data application technology in Daqing oilfield [J]. Well Logging Technology,2021,45(2):117-121.
- [3] 高庆春. 试井技术的现状及新技术的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2021,41(22):195-196.
GAO Qingchun. The current situation of well testing technology and the application of new technologies[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2021,41(22):195-196.
- [4] LI Daolun, LIU Xuliang, ZHA Wenshu, et al. Automatic well test interpretation based on convolutional neural network for a radial composite reservoir [J]. Petroleum Exploration and Development Online, 2020, 47(3): 623-631.
- [5] 刘亚青,李晓平,吴珏,等. 数值试井方法研究进展[J]. 油气地质与采收率,2010,17(5):65-68.
LIU Yaqing, LI Xiaoping, WU Jue, et al. Research progress on numerical well testing methods[J]. Petroleum Geology

- and Recovery Efficiency,2010,17(5):65-68.
- [6] 朱波. 化学驱数值试井在大庆聚合物驱油区块的应用[J]. 石油管材与仪器,2020,6(3):91-93.
ZHU Bo. Chemical flooding numerical well testing in Daqing polymer flooding block [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2020,6(3):91-93.
- [7] 王玮淇,管英柱,张金发,等. 不稳定试井技术研究进展及发展趋势[J]. 特种油气藏,2024,31(4):19-26.
WANG Weiqi, GUAN Yingzhu, ZHANG Jinfa, et al. Research progress and development trend of unstable well testing technology[J]. Special Oil & Gas Reservoirs,2024,31(4):19-26.
- [8] 梁飞,齐占奎,杨景海,等. 大庆油田试井技术发展历程及展望[J]. 高科技与产业化,2021,27(6):76-77.
LIANG Fei, QI Zhankui, YANG Jinghai, et al. Development history and prospects of well testing technology in Daqing oilfield[J]. High-Technology & Commercialization, 2021,27(6):76-77.
- [9] 刘星佳,陈文茜. 试井技术的现状及其新技术的应用[J]. 中国高新技术企业,2013,(22):80-81.
LIU Xingjia, CHEN Wenxi. The current situation of well testing technology and the application of new technologies [J]. China High-Tech Enterprise, 2013,(22):80-81.
- [10] 吴洪涛,贺宇迪,张德龙,等. 测井资料在试井设计及解释中的应用[J]. 化学工程与装备,2021,(5):131-132.
WU Hongtao, HE Yudi, ZHANG Delong, et al. Application of logging data in the design and interpretation of well testing[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2021,(5):131-132.
- [11] 张志惠. 大庆油田开采中后期应用新型试井技术的探索[J]. 化学工程与装备,2021,(4):155-156.
ZHANG Zhihui. Exploration of the application of new well testing techniques in the middle and late stage of Daqing Oilfield Production [J]. Chemical Engineering & Equipment,2021,(4):155-156.
- [12] 林加恩. 油气井试井资料的价值及作用[J]. 油气井测试,2016,25(4):38-40.
LIN Jia'en. Value and function of oil&gas well testing data[J]. Well Testing,2016,25(4):38-40.

编辑 方志慧

第一作者简介:杨景海,男,1964年出生,教授级高级工程师,1997年获得东北石油大学物理矿场地球物理专业硕士研究生学位,现从事油田测试资料解释方法及综合应用研究工作。电话:13904599605,Email:13904599605@163.com,通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区西柳街4号,邮政编码:163453。