

Application of the RDT Reservoir Dynamic Logging Instrument in Shengli Oilfield

Guolun Ma¹ Haizhou Tan² Hongshuai Bao¹ Yiming He¹ Chen Xu^{1*}

1. Gudong Monitoring Project Department of Reservoir Dynamic Monitoring Center of Shengli Oilfield, Dongying, Shandong, 257200, China

2. Technical Research Center of Reservoir Dynamic Monitoring Center of Shengli Oilfield, Dongying, Shandong, 257100, China

Abstract

With the deepening of oil field development, the main formation has entered the high water cut stage, and the water flooding degree and utilization status of multilayer postharmines are unknown, which restricts the high-quality development of the reservoir. It is very important to determine the remaining oil saturation of the formation quantitatively to stabilize and increase oil production. Pulsed neutron remaining oil saturation logging technology is an effective means to understand reservoir water flooding status. However, wellbore integrity is compromised in the late stage of oilfield development, and conventional logging tools cannot meet the needs of small hole development. Small diameter pulsed neutron logging (RDT) has good adaptability in side drilling because of its small outside diameter and comprehensive data acquisition. This paper summarizes the adaptability of RDT logging technology and analyzes its application in Shengli Oilfield based on the review of pulsed neutron energy spectrum logging technology. RDT logging technology provides a strong basis for quantitative analysis of remaining oil potential and formulation of productivity improvement program in the late stage of oilfield development, which is conducive to realizing the goal of stable and increased oil production.

Keywords

Remaining oil; Pulsed neutron; RDT

小直径脉冲中子测井技术在胜利油田的应用

马国伦¹ 谭海洲² 包宏帅¹ 和一鸣¹ 徐晨^{1*}

1. 胜利油田分公司油藏动态监测中心孤东监测项目部, 中国·山东 东营 257200

2. 胜利油田分公司油藏动态监测中心技术研究中心, 中国·山东 东营 257100

摘要

随着油田开发深入, 主力层系进入高含水期, 多层合采后地层水淹程度和动用状况不明, 制约油藏高质量开发。定量确定地层剩余油饱和度对油田稳产、增产至关重要。脉冲中子剩余油饱和度测井技术是了解储层水淹状况的有效手段。然而, 油田开发后期井筒完整性受损, 常规测井仪难以满足小井眼开发需求。小直径脉冲中子测井技术(RDT)因其外径小、数据采集全面, 在侧钻井中具有良好适应性。本文在梳理脉冲中子能谱测井技术基础上, 总结了RDT测井工艺的适应性, 并分析了其在胜利油田的应用实例。RDT测井技术为油田开发后期定量分析剩余油潜力、制定提高产能方案提供了有力依据, 有助于实现油田稳产、增产目标。

关键词

剩余油; 脉冲中子; 小直径

1 引言

胜利油田经过多年的注水开采, 主力层系逐渐步入高

含水期, 剩余油成为稳产挖潜的主要对象。受地质、储层非均质性、隔夹层等因素的影响, 层内剩余油分布非常复杂。在“总体高度分散, 局部相对富集”的剩余油分布格局下, 定量确定地层剩余油饱和度、明确生产层水淹状况对油田的稳产上产目标十分必要。

脉冲中子剩余油饱和度测井技术经过近几十年的发展, 其测井方法、原理及解释模型均比较成熟, 是掌握储层水淹状况、计算剩余油饱和度、寻找潜力层的一种直接手段^[1-3]。近10年来脉冲中子剩余油饱和度测井在胜利油区复杂油藏共应用700余井次, 措施符合率约为87%, 累积增油约为

【基金项目】高性能剩余油监测仪研制项目资助(项目编号: YC2312)。

【作者简介】马国伦(1984-), 男, 中国湖北随州人, 本科, 高级工程师, 从事油藏动态监测研究。

【通讯作者】徐晨(1994-), 男, 硕士, 工程师, 从事油藏动态监测研究。

20余万吨,应用效果良好。但随着油田开发的深入,井筒完整性经常受到破坏,套管损伤、漏失、管外窜等工程问题频发,常采用在老井中开窗侧钻方式完善井网、侧钻后下入小套管方式完井,常规碳氧比、全谱测井仪由于外径较大,很难满足侧钻井小井眼开发需要。

近年来,为满足小井眼饱和度测井需求,胜利油田引进了小直径脉冲中子测井技术(RDT),本文在梳理脉冲中子能谱测井技术的基础上,依托测井实践及应用效果对RDT测井工艺的适应性进行了总结分析,为油田开发后期定量分析剩余油潜力、开发方案调整提供了有力依据。

2 小直径脉冲中子能谱测井简介

脉冲中子能谱测井技术起源于20世纪50年代,国内外油服公司先后研发了各类脉冲中子测井仪器,推动了脉冲中子测井技术在油田勘探开发中的应用^[1],取得了较好的应用效果。目前大多数脉冲中子能谱测井仪器均具有组合测井功能,能够通过一次下井实现多项谱数据的采集^[2],为地层分析和储层评价提供了丰富的测井数据。

由于小直径脉冲中子测井仪外径较小,一次测井采集数据齐全,在侧钻井等小井眼情况下具有较好的适应性,小直径脉冲中子测井技术(RDT)逐渐进入油藏剩余油饱和度监测视野。RDT测井仪设计使用三个探测器,近远探测器使用BGO晶体,主要采集非弹性散射能谱、热中子俘获能谱、活化能谱和热中子衰减时间谱,超远探测器使用NaI晶体,采集热中子衰减时间谱。RDT测井仪能够过油管测量伽马能量谱、衰减时间谱,评价含油、含水和含气饱和度,用于油藏动态监测。在淡水、低矿化度或未知矿化度复杂岩性评价油气层及油水界面,可以计算元素干重和矿物含量可补充裸眼井测井资料,评价复杂岩性地层,可用于页岩气油地层有机碳和岩石矿物评价,同时活化谱、井温等资料可综合评估产水层或吸水层。

3 RDT测井技术在胜利油区的适应性评价分析

随着油田开发的不断深入,套管、管外窜等工程问题日益突出,老油田中常采用套管贴堵或在老井中开窗侧钻工艺完善井网,小套管井普遍存在,常规大直径饱和度监测工艺不能满足监测需求,2022年以来在胜利油田推广应用小直径RDT测井工艺进行饱和度评价。为进一步了解该工艺在油田的适应性及相关影响因素,通过对比试验及应用效果跟踪,开展了影响因素分析和校正。

3.1 不同测井工艺应用对比

为了解不同剩余油饱和度测井工艺的应用效果,使用不同仪器在同时段中对同一口井进行了测井,对比所测能谱数据的一致性以及解谱后C/O、Si/Ca曲线的一致性,最后利用同一套解释参数,对比解释结论的一致性

3.2 井筒大小的影响

RDT测井工艺因器仪器外径较小,主要针对侧钻井、

贴堵井等小井眼的储层参数评价应用需求而引进,井筒大小对测井结论是否存在影响,还需要进一步加以验证

资料显示在7 in套管中两种测井Si/Ca曲线重复性较好,C/O曲线重复性较差,尤其是RDT测井C/O曲线存在较大波动,不能准确反映地层信息。通过测井模型分析,大直径全谱仪器测井时,仪器与套管间水环较小,快中子主要与地层物质发生核反应,所测能谱主要反映了地层信息;RDT仪器在7 in套管中测井时,仪器与套管间水环较大,所测能谱包含了大部分水环空间的信息,水环空间的水和套管沾污的原油,导致C/O受到较大影响;由于Si、Ca元素主要存在与岩石骨架中,地层水中Ca元素含量较少,可以忽略不计,因此Si/Ca重复性较好。通过曲线重复性对比,明确RDT在大套管中测井时需要对环境影响因素进行校正。

3.3 水流的影响

在能谱测井中,通过氧活化能够发现井筒内外的异常水流,射孔井段出现水流,反映该层能量足,一般为主产层段;在非生产层段出现不连续水流显示,一般判断为管外水流。统计胜利油田近年开展储层参数评价测井发现,35.8%的井存在异常水流显示,说明随油田开发深入,层间矛盾、管外窜问题日益显现,水流测井为综合分析地层能量、管外窜问题提供了很好的补充。

同时,异常水流会对饱和度评价带来影响,异常水流表现在氧活化计数的异常,同时会影响到碳氧比测井的纯水层碳氧比,可以发现纯水层碳氧比曲线的异常与氧活化计数的异常具有高度的一致性,严重影响剩余油饱和度定量计算。

为进一步了解影响的机理,对原始测井能谱曲线进行了分析。氧活化后释放的次生伽马射线能量为6.13 Mev,而钙元素俘获中子产生的次生伽马射线能窗在4.89-6.34 Mev,因此存在异常水流时,产生的活化次生伽马射线会被计入到钙能窗中,导致Si/Ca曲线与氧活化计数的异常一致。从俘获能谱和活化能谱中也能清楚的反应能谱的对应与重叠。

4 RDT测井资料实例分析和效果评价

近两年,在胜利油田共开展RDT测井35井次,其中取资料井13井次,主要是注入井、检泵井在作业周期取资料;参考应用资料井22井次,其中18井次解释结论与措施后生产情况一致,措施增油0.71万吨。

4.1 老井剩余油评价

XX-3井2018年3月投产,生产层位是ES4(25-26号层)。正常生产时日液5.5 t,日油0.3 t,含水94.55%。由于该井高含水低效生产,为提高油井产能,挖掘剩余油潜力、寻找潜力层位,2023年5月对该井进行了RDT饱和度测井,测井资料显示,原生产层25、26号层合采,存在动用不均衡,25号层物性相对较差,动用程度较低,仍有生产潜力,26号层

非均质严重，下部物性较好部位已特高水淹；未生产层 11 号层上部含油性较好，有生产潜力，28 号层和 29 号层下部含油性较好，物性相对较差，有少量潜力，42 号层含油性较好，剩余油饱和度较高，有潜力；曾生产层 30、35 号层，高渗部位存在水淹，整体含油性较好，分析存在剩余油二次运移。

地质参考 RDT 饱和度测井解释结论，卡封原生产井段后射孔 42 号层，开井后日产液 13.2 t，日油 5.5 t，含水 58.34%，与解释结论相符，生产效果较好。生产半年后，该突然高水淹，地质分析存在管外窜。为进一步提升该井产量，地质决定在 2722.0 m 处下桥塞，封堵下部生产层，按照全谱解释结果的建议，单采 11 号层上部，射孔井段 2597.3-2600.0 m。措施后，该井开井生产，日产液 12.6 t，日产油 10.96 t，含水降至 13%。

4.2 侧钻井储层评价

XX-4 井于 2009 年第一次侧钻，侧钻后采用内径

85.2mm 尾管完井，生产层位为 NgS63 层。通过生产历史发现，从 2009 年至 2022 年 6 月该井整体处于高含水状况，22 年 6 月因地层出砂躺井。解剖发现该井因储层胶结疏松出砂严重，且侧钻后为小直径尾管完井，无法采用机械方式防砂，化学防砂有效期较短，多轮次防砂后基本无法正常生产。地质分析该井主力层系剩余油富集，制定方案对该井进行二次侧钻，2023 年 4 月进行二次侧钻作业。考虑到对该区块层系相对清楚，完钻前未录取电测曲线，采用完井后录取 RDT 资料，进行储层划分及剩余油饱和度评价，解释成果见图 8。根据 RDT 测井解释结果，4、6、7、13、14、15 号层均一定潜力，地质认为 NGS63 层仍然存在潜力，决定射孔 14 号层（NGS63 层）生产。措施后，该井于 2023 年 6 月 7 日开井生产，开井后，日产液 18.3 t，日产油 3.89 t，含水 78.7%，生产稳定。

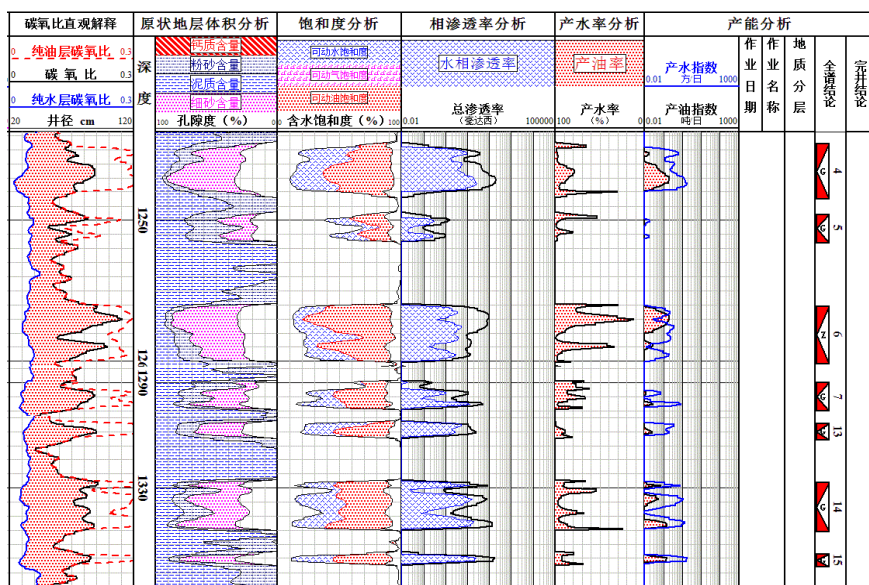


图 1 XX-4 井 RDT 测井成果图

Fig.8 XX-4 Well RDT Logging Results Chart.

5 结论

本文通过测井实践及应用效果对 RDT 测井工艺的适应性进行了总结分析，发现 RDT 测井在侧钻井、贴堵井等小套管井中具有明显优势，在地质认识相对清楚的前提下，能够应用套后 RDT 测井对侧钻井分层及评价。另外，RDT 测井仪在 7 in 以上套管中测井，受井筒流体影响较大，需要进行井眼环境影响校正，在 5 1/2 in 及以下规格套管中应用效果较好。此外，活化氧次生伽马射线能量与钙元素的俘获谱能窗重叠，存在异常水流的井可通过活化谱对俘获能谱进行校正，提高饱和度评价精度。

RDT 脉冲中子油藏动态监测仪能够适用于胜利油田剩余油评价，对于定量分析剩余油潜力，对提高油井产能具有指导意义，为油田开发后期开发方案调整提供了有力依据。

参考文献

- [1] 赵国海,王志敏. 脉冲中子-中子 (PNN) 测井技术[J]. 石油机械, 2005, 33(8): 75-85.
- [2] 任晓荣,鲁保平, 黄剑雄. 脉冲氧活化测井技术[J]. 测井技术, 1999, 23(5): 385-388.
- [3] 张付明. 套管井剩余油饱和度测井新技术[J]. 测井技术, 2023, 增刊.