

电缆地层测试

新技术

马建国 主编

DIANLAN DICENG CESHI XIN JISHU

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

电缆地层测试新技术

马建国 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了最近十年来电缆地层测试在技术装备、资料解释、工业应用等方面的新发展,主要包括电缆地层测试综合技术、资料解释新技术、技术评价及流体样品评价、各种环境下的应用四方面的内容。

本书可供测井、试油、地层测试、地质、油藏管理人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

电缆地层测试新技术/马建国主编.

北京:石油工业出版社,2006.4

ISBN 7-5021-5457-4

I. 电…

II. 马…

III. 电缆式地层测试器-基本知识

IV. TH763.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 021513 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:北京晨旭印刷厂

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.25

字数:365 千字 印数:1—1500 册

定价:42.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

编者的话

最近十余年来电缆地层测试在技术装备、资料解释、工业应用等方面均取得了质的飞跃,为石油测井事业和石油工业的高速发展做出了重要贡献。1992 年斯伦贝谢公司推出了 Maxis500 测井服务装置,其中有压力成像系统——组装式地层动态测试器(Modular Formation Dynamics Tester——MDT),西方阿特拉斯公司 1995 年推出了新一代地层测试器——油藏特性测井仪(Reservoir Characterization Instrument——RCI),1999 年哈里伯顿公司也推出了新型地层测试器——储层描述仪(Reservoir Description Tool——RDT)。

无论哪一种新型地层测试器,都具有测取真实地层流体样品的功能,这是一种质的升格。常规地层测试器虽然都具有取样功能,但是所取样品无法解决含有大量钻井液滤液的缺点,只能靠加大取样筒容积来增加样品中真实地层流体的比例,因此进行样品分析时只能是定性分析。事实上,常规电缆地层测试器主要的功能只是测压,往往很少进行取样测试,而新一代电缆地层测试器突破了这一技术难关,它能够将流入仪器的钻井液滤液用抽排泵排入高背压的井筒钻井液中。使用电阻率计及流体识别技术进行观测,当样品中的钻井液已排净,流入仪器的流体绝大多数已是地层真实流体时,即可停止排放,而将真实样品按指令引入某一高温高压取样室,最后密封。这种真实流体样品可供高压物性(PVT)分析。这种技术优于目前的试井井下取样,也优于钻杆地层测试(DST)的井下取样,所以取样样品在油藏工程中价值非常高。

由于新一代电缆地层测试技术具有如此优秀的测取地层真实流体的功能,使其取样分析上升为定量分析,每个测点的地层流体特性参数报告变为确凿无疑。这样,它在油气田勘探与开发中的地位就大大提高了。

斯伦贝谢公司 MDT 的发展,使得流体取样的质量明显提高。MDT 仪器的一个必需部件就是光学流体分析仪(OFA),它不但可以区分液体和气体,还可以区分水和油。它可预测流体样品类型和质量,如今已成为取样过程必不可少的一部分。因此 OFA 可以在取样之前识别流体,这就优化了样品的质量和数量。由样品的 PVT 实验分析,已经找到了光学响应与某些流体特性之间的关系。OFA 的光学响应与原油密度(ρ_o)、饱和压力(p_b)、原油压缩系数(C_o)、地层体积系数(B_o)以及气油比(GOR)都有很好的相关性。研究表明取样期间测取的光学数据可以辅助确定主要的现场烃类特性。

哈里伯顿公司在 RDT 仪器中使用了核磁共振(NMR)流体分析模块。核磁共振(NMR)测井是当代唯一能够直接测量储层(油层、气层、水层)自由流体孔隙度的测井方法。测量结果不受钻井液、泥饼及侵入的影响,也不破坏动态平衡和孔隙结构。能够提供与岩石岩性无关的孔隙度,与地层水流体矿化度无关的含水饱和度、孔径分布、渗透率、可产流体类型、自由流体指数、毛细管束缚水饱和度、泥质束缚水饱和度、含烃类型等参数,解释直观,没有多解性。组合在 RDT 仪器中的井下 NMR 流体分析模块通过观察流体 T_1 分布的变化,可以连续评估油基钻井液污染流体的情况;能实时获得流体粘度和气油比(GOR)的估算值;在储层温度和压力条件下进行 NMR 分析,消除了与取样和运输过程有关的不确定性。

组装式地层动态测试器(MDT)带有多探测器结构,右下方为流入探测器,左边为水平观测探测器,上方是垂直观测探测器,他们的相对位置是固定的。井下仪器工作时流入探测器从地层吸入流体,地层的瞬变压力用三个探测器(是高速响应、高精度的CQG石英压力计)在不同位置测量出来,运用垂直干扰试井理论,就可以精确地测定井眼附近的水平渗透率和垂直渗透率。虽然RFT和FMT的单探测器也能做出地层水平和垂直渗透率的解释,但单探测半径较小,而且理论上也不如多探测器精确。MDT测量水平渗透率与垂直渗透率的技术远比其他技术更简单、更严密、更可靠,是目前最好的技术。

新一代电缆地层测试器在机械性能、液压功能、任意组合功能上都有重要改进,为了提高测试质量和取样质量,在流体流动控制环节上也都做了许多改进,当然在电气传输上的改进也很多。

用于套管井的电缆地层测试新技术,首推穿套管动态测试器(CHDT),它是美国天然气研究所和斯伦贝谢公司于2001年共同研制出的新仪器。此测试器利用一柔性轴钻穿套管、水泥环和地层,测量各储层压力,采集它们的流体样品并及时对测试钻孔进行塞堵。地层的压力和流量可实时测量,在每个测试点能进行多次预测试。在套管井中能够有效地完成地层压力剖面测量、地层压力梯度确定和地层动态参数测试。如果需要,它和MDT的有关模块组合,就可以在套管井中获取大体积和PVT性质的流体样品。

由于技术改进很大很多,所以新一代电缆地层测试器的应用越来越广泛,可解决的问题越来越多,技术功能越来越强大。

新一代电缆地层测试技术可以对一口井所有的储层或测点进行高精度的压力测试,可以直接测定地层静压、地层压力梯度,可提供地层有效渗透率、垂直渗透率和水平渗透率、地层表皮系数的测定。可以无数次直接测取感兴趣储层测点的地层流体真实样品。这些地层动态特性参数成果在所有测井项目中,都是独一无二的。另外,它提供的储层测点流体类型判定、油气水界面判定,源自测点流体密度值,虽不是独一无二的,但是也是最可信服的。它还可以划分各个油层的水动力系统。这些资料是对各种测井项目的解释结果的补充和验证。因此它是测井技术中对储层进行动态描述的独特技术,也是十分重要的一种技术。

各种地球物理勘探、地球化学勘探、钻井中的各种录井、各种测井项目都可以对某一储层做出是否油气层的判断。但是最终结论只能由试油或钻杆地层测试来做。目前我国钻杆地层测试(DST)工作量已占整个试油工作量的绝大部分,有了重大发展,技术水平也有了极大提高。

但是目前的钻杆地层测试及试油工艺也存在着重大缺憾。一是绝对做不到不漏失一个储层,因为它是大层段地层测试,对薄层是不好进行的,大层段里的小层段也是不好一一鉴别和判定的。另外它需要占用钻时和钻机,经济上不允许。而常现试油只能在套管井进行,更没有条件去逐层试油。事实上,目前技术造成埋没和枪毙油气层的事例不在少数。

电缆地层测试是测井技术,但是它能够完成地层测试任务,也就是试油任务,与钻杆地层测试及常规试油相比,它却有不少优越性。最大优越性是从技术上讲完全可以做到不漏失一个储层,只要是认为有可能储集油气的测点,都可以及时测试;其次是钻杆地层测试的所有任务它都能够保质保量地完成,不足之处仅仅是探测半径小一些;第三,由于拥有泵抽排技术和流体识别技术,保证可以取到地层真实流体样品,这是任何方法都不可相比的;第四,由于是在测井阶段进行地层测试,所以测试环境比钻杆地层测试优越,起码这时候污染还不够严重,加

上排放钻井液滤液的功能,我们可以确信电缆地层测试的结论;第五,相对讲,测试速度快,花费时间短,一个测点一般情况下只用几分钟到十几分钟的时间,所以占用钻时少,经济效益高,从长远讲,随着新一代电缆地层测试技术的推广应用,将使我国的试油工艺产生由机械化向电气化的跨越。

新一代电缆地层测试技术应用于勘探井中,可以在综合了各种相关资料的基础上,对每一个需要进行测试的储层进行测试,做到不漏掉任何一个含油气储层,并且预估每个储层的产能和经济价值。为后续的勘探提供确定无疑的指导信息,大大加快勘探速度,提高勘探质量。如果一口井经过电缆地层测试技术的测试,认定没有任何可以开采的油气层,这将对一口井的终审判决。那就可以放心地停止一切后续工序,不下套管,不必固井,节省大笔勘探费用。

由于这项技术是在裸眼测井阶段完成的,所以它是最早的地层测试,也是最早的试井工作。它所获取的大量的关于每个储层、测点的动态资料是一口井最早的基础动态资料,也是任何技术无法重新采集到的,用途将很多,是十分宝贵的。这些早期储层动态资料的获取,必然使油藏工程师可以最早地介入勘探工作,他们将用确切的油藏动态资料和准确的油气流体性质参数开展油藏工程研究,进行数值模拟,储量评价,提高油气勘探质量。

对于开发井,调整井,这项技术提供的压力数据及压力系统的划分,提供的关于剩余油分布剖面及其他动态资料,必将为科学地进行油田开发设计、调整与生产,以及进行油藏改造、三次采油技术提供十分重要的依据。

正因为这种新产品在石油工业中价值极高,意义重大,拥有这种新产品的三大公司均不对中国销售产品,只提供极高价格的服务。

新一代电缆地层测试器是测井技术进步的换代产品,我国必然应该拥有这种产品。经过了引进—仿制及引进—组装—国产化历程的电缆地层测试研究队伍,必须尽快开始新一轮的研制,这一轮的研制应当走消化,吸收,自主开发的道路,创造出我国自己的名牌,装备我们自己的测井队伍,为我国的油气勘探与开发做出更大贡献。经过几代人的奋斗,从测井队伍规模和技术水平上说,我们可以算得上是测井大国,进一步努力,不断地发展拥有自主知识产权的产品,使我们早日成为测井强国。

即将完成的国家 863 项目“钻井中途油气层测试技术”,将为我国石油天然气工业研制出国产的新一代的电缆地层测试器,让我们为它的诞生而鼓掌喝彩!

编者常年跟踪国内外电缆地层测试技术的发展,始终梦想有一天国产的电缆地层测试器能够走出国门。为促进中国电缆地层测试技术的发展,首先需要了解国外发展现状,然后才能站在巨人的肩膀上高瞻远瞩,有所作为。编者编审、精选出 23 篇国内外论文,分成四部分:电缆地层测试综合技术;资料解释新技术;技术评价及流体样品评价;各种环境下的应用。书中所有编译论文皆由马建国校审。限于水平,错误之处难免,欢迎批评指正。

编 者

目 录

电缆地层测试综合技术

新一代电缆地层测试技术的功能评价	马建国(3)
多分层试井技术的研究	马建国(8)
套管井电缆地层测试新技术	马建国 郭辽原 任国富(12)
具有先进采样技术的新型地层测试器	郭辽原 马建国 任国富(17)

资料解释新技术

单探测地层测试器压力响应分析	张舟 编译(25)
用多探测地层测试器测定地层渗透率	秦彦斌 编译(35)
电缆地层测试的压降与压力恢复分析	周三平 编译(45)
渗透率剖面的求取技术	董瑾 编译(58)
多探测器和封隔器加探测器型电缆地层测试器压力—压力卷积分析	任国富 编译(62)
根据电缆地层测试器取样资料确定岩石物性参数的反演方法	韩建润 编译(78)
使用解析法和数值法进行层段压力不稳定测试分析的综合方法	郭辽原 编译(96)
由双封隔地层测试器分层测试和裸眼井组合电阻率测井估算多相流性质	任国富 编译(104)

技术评价及流体样品评价

地层测试器测试与钻杆测试的对比	任国富 编译(115)
电缆地层测试器粘卡风险评价模型	任国富 编译(127)
由电缆地层测试器样品预测地层伤害模型	张舟 编译(137)
用钻井液侵入模型预测样品质量	任国富 编译(147)
地层流体样品中甲烷含量与气油比的井下测定技术	任国富 编译(162)
在取样期间利用光学方法确定流体中烃类的性质	许海东 编译(172)

各种环境下的应用

渗透率剖面应用于油藏描述和管理	董瑾 编译(183)
在层状油藏中利用多探测电缆地层测试器评价地层性质	郭辽原 编译(191)
测定凝析气田的渗透率各向异性以预测水平井动态	任国富 编译(201)
用随钻地层压力测试器优化 Otter 油田的开发策略	任国富 编译(207)
用新式地层取样测试器进行纯油气层产能测试	马建国 任国富 郭辽原 周三平 秦彦斌(214)

电缆地层测试综合技术

新一代电缆地层测试技术的功能评价

马建国

摘 要 本文对新一代电缆地层测试器 MDT、RCI 的结构原理和主要功能做了介绍,其主要功能是:测定一口井全储层地层静压剖面、测定全储层有效渗透率及表皮系数剖面、各测点地层的油气水产物判定、厚油层油气水界面测定、测取各测试点地层真实流体样品以提供 PVT 全分析结果以及一次下井进行无数次的测压和取样。论文评价了这种技术在测井、试油以及油气勘探开发中的重要地位。

一、新一代电缆地层测试器功能简介

1. 组装式地层动态测试器(MDT)^{[1][2]}

1992 年斯伦贝谢公司推出了 Maxis500 测井服务装置,其中有压力成像又称压力成像系统——组装式地层动态测试器(Modular Formation Dynamics Tester——MDT),图 1 为 MDT 的组件图。

MDT 仪器组件可以有许许多多的组合方式,形成特定的专用仪器串来满足特定的测试需要。例如我们可以只装 1L 的取样桶组件,在距离井底仅仅 46cm 处进行地层动态测试并测取地层流体样品。我们也可以多装几个多样品组件而很多次地测取地层流体样品。究竟如何组装,全由测井任务来确定,这就大大削减了测井费用。

特殊用途的组合方式有:用于测定压力梯度或各向异性渗透率的多探测器和流动控制组件的组装;用于 PVT 级高压物性取样测试的多级取样组装,以采集不同地层的真实流体样品;为了取到大容量的地层流体样品而使用 22700cm³ 样品组件等。各种组合的数量只受仪器串总重力和总长度的限制。但是不论哪种组合,都必须有电子电源短节、液压动力组件、探测器组件或封隔器组件,因为这些组件是井下仪器正常运转所不能缺少的。

为了克服某些地层(如裂缝性地层、孔洞性地层、泥质砂岩地层等)不易推靠密封的困难,可以使用封隔器组件。使用封隔器组件对薄地层的测试及低渗油层测试也很有利。在使用封隔器组件时可单独测试,也可和探测器组件组合使用,各有其针对性。在使用封隔器组件的同时进行大容积预测试,可以克服常规 RFT 测试时易发生的增压现象,在这种地层测试时,测取

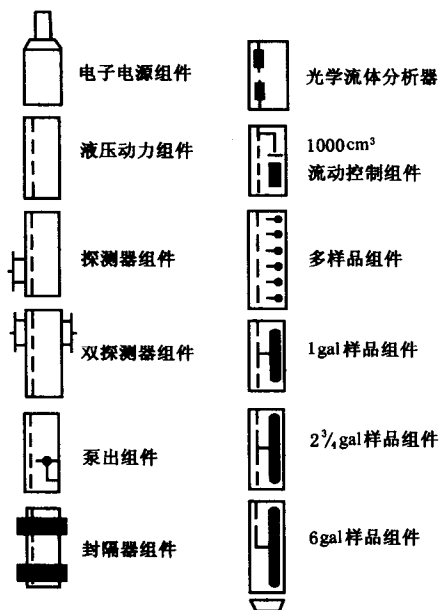


图 1 组装式地层动态测试器组件

注:1gal=3.785dm³

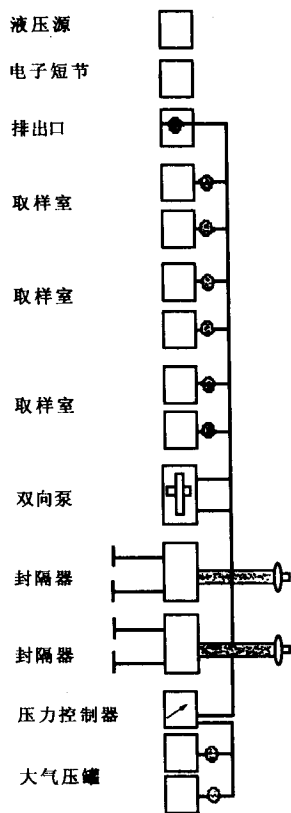


图2 油藏特性测井仪组件

的地层压力准确性大大提高。

1000cm³流动控制组件是一个流速控制组件,是测定水平渗透率和垂直渗透率的必用组件,也是进行大容积预测试时的必备组件。它既可增大测压时的探测半径,还可以保证取样流动压力一直高于饱和压力,以免流体发生相变。

2. 油藏特性测井仪^[3]

油藏特性测井仪(Reservoir Characterization Instrument——RCI)是西方阿特拉斯公司 1995 年推出的新一代地层测试器,见图 2。与组装式地层动态测试器(MDT)相比,它没有设置多探测器,在测水平与垂直渗透率方面略显逊色。但是在地面控制取样体积、流量和压力降方面有它的特色。它也设置有钻井液滤液排出泵,但并不是可装可不装的组件,而是每次取样都要用的,所以取样桶里测取的都是地层原有的流体。通过地面压力控制,可以保证取样期间的压力保持在泡点以上。保证流体样品在不改变气油比状态下取得,还可保证样品以超过地层压力的状态保存至地面转样,其完整性不受影响,一次下井可以取得 6 个以上小容积的地层流体样品,还可以取到大容积的地层流体样品。

除去以上两家公司以外,哈里伯顿公司也研制出了新型地层测试器,澳大利亚还生产出生产层评估测试仪。这些电缆地层测试仪的最大特点是能取到地层的真实样品,而且能多次取样。本文主要以 MDT 系列为对象进行评述。

二、功能评价

1. 保留常规技术的功能

目前常规的电缆地层测试技术指重复式地层测试器(RFT)、多次地层测试器(FMT)及选择性地层测试器(SFT)等仪器所代表的技术。这一代地层测试器问世已有十多年历史,是很成熟的技术。对测井水平及地层测试水平的提高有重大意义。因此它们的主要功能在新一代电缆地层测试技术中仍予以保留。它们能给我们提供的主要信息有:

- (1)一口井井筒钻井液柱的静压剖面,这项资料对合理确定钻井液密度很有意义。
- (2)一口井各储层地层静压的垂直分布,这是宝贵的原始资料,也可用来判断各测点油层的连通性。
- (3)一口井各储层有效渗透率(包括压降渗透率、压力恢复渗透率)的垂直分布。
- (4)一口井各储层地层表皮系数的垂直分布。
- (5)一口井各测点地层流体油气水判定。
- (6)厚油层油气水界面测定。
- (7)流体取样测点的流体样品定性分析。

我国在崖13-1气藏用4口井探明1000亿 m^3 储量的勘探中,静压测量与解释就发挥了重要作用^[4]。

2. 测取真实流体样品功能

无论哪一种新型地层测试器,都具有这种功能,这是一种质的升格。常规地层测试器虽然都具有取样功能,但是所取样品无法解决含有大量钻井液滤液的缺点,只能靠加大取样罐容积来增加样品中真实地层流体的比例,因此进行样品分析时只能是定性分析。事实上,常规电缆地层测试器主要的功能是测压,往往很少进行取样测试。而新一代电缆地层测试器突破了这一技术难关,它能够进入仪器的钻井液滤液排入井筒,使用电阻率计及光学分辨技术进行观测。当样品中的钻井液已排净,仪器开始进入地层真实流体时,即可停止排放,而将真实样品按指令引入某一取样室,最后密封,而且可以保证流体压力高于或等于地层静压。这种真实样品可供高压物性(PVT)分析,这种技术优于目前的试井井下取样,也优于钻杆地层测试(DST)的井下取样,所以取样品在油藏工程方面价值非常高。

井下仪器串可以装一个多样品组件,一个多样品组件包含6个取样室(每个室容积 450cm^3),保证满足PVT全分析的需要,可分别测取6个测试点的地层真实流体样品。仪器串也可以装 3600cm^3 、 10400cm^3 、 22700cm^3 的样品组件,以便测取更大容积的样品。如果需要,也可以在仪器串中多安装多样品组件,以便测取更多点的流体样品。这种可排放钻井液滤液的功能,无形中也大大增加了压力测量的探测半径,由于流入口径仅仅13cm左右,使得压力测量更加准确可靠,渗透率的计算更加具有代表性。

由于新一代电缆地层测试技术具有如此优秀的测取真实流体的功能,使其取样分析上升为定量分析,每个测点的地层流体特性参数报告变为确凿无疑。这样,它在油气田勘探与开发的地位就大大提高了。

3. 多探测器测压功能

随着采油技术的不断发展,尤其二次采油和三次采油地位的大大提高,测量地层渗透率各向异性变得越来越重要。当然这个问题对水平井的设计尤其重要。这个问题的解决目前有两个办法:一是岩心测定,一是垂直干扰试井,但都不理想。MDT提供了一种全新的技术。

图3表示了MDT多探测器结构,右下方为流入探测器,左边为水平观测探测器,上面是垂直观测探测器,它们的相对位置是固定的。井下仪器工作时流入探测器从地层吸入流体,地层的瞬变压力用3个探测器(是高速响应、高精度的CQG石英压力计)在不同位置测量出来,运用垂直干扰试井理论,就可以精确地测定井眼附近的水平渗透率和垂直渗透率^[5]。虽然RFT和FMT的单探测器也能做出地层水平和垂直渗透率的解释,但单探测半径较小,而且理论上也不如多探测器精确。MDT测量水平渗透率与垂直渗透率的技术远比以往的技术更严密、更可靠,是目前最好的技术。

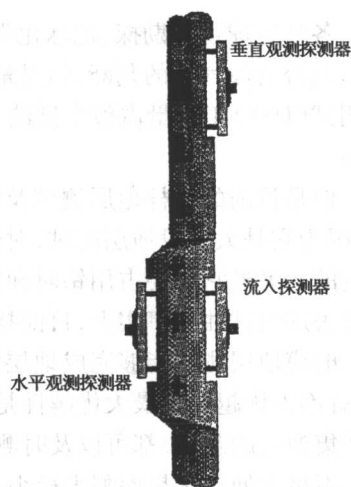


图3 MDT多探测器结构图

4. 地层动态测试更加精确

电缆地层测试技术是所有测井技术中唯一直接进行地层动态测井的项目,它测试油层以某一产量流出流体和停止流出时地层压力的变化规律,其物理过程和钻杆地层测试(DST)及其后的试井(Well Testing)一样。不同的是别的动态测试是大段井筒流出流体。新一代电缆地层测试技术加大了流体排出量,自然就大大增加了动态测试半径,因此得出的动态测试结果也就更符合地层实际。这包括地层静压测定值、有效渗透率测定值及计算出的地层测点的采油指数值,使它们成为定量结果。

地层压力是油藏动态参数中最重要的一个参数,压力决定油气藏流体相态及其他动静态性质,因此准确的地层压力资料的各种功效将会不断被开发出来。

高水平的测压和取样的结合,可以保证更加准确地判定地层测点的产物。测定油气水界面甚至推断可动油含量,加上精确的取样分析做依据,使这些解释准确可靠。

邻井之间凭借地层静压值、压力梯度值及水动力系统的划分,可以建立起相互关联性,便于进行井间地层动态分析,有助于建立油藏等压力分布图。

三、新一代电缆地层测试技术在测试中的地位及油气田勘探开发中的意义

1. 在测井技术中的地位

新一代电缆地层测试技术可以对一口井所有的储层或测点进行高精度的压力测试,可以直接测定地层静压、地层压力梯度,可提供地层有效渗透率、垂直渗透率和水平渗透率、地层表皮系数的测定。可以无数次直接测取感兴趣储层测点的地层流体真实样品。这些地层动态特性参数成果在所有测井项目中,都是独一无二的。另外,它还可提供储层测点流体类型判定、油气水界面判定。

2. 在试油或地层测试工艺中的地位

各种地球物理勘探、地球化学勘探、钻井中的各种录井、各种测井项目都可以对某一储层做出是否为油气层的判断,但是最终结论只能由试油或钻杆地层测试来做。目前我国钻杆地层测试(DST)工作量占整个试油工作量的绝大部分,有了重大发展,DST技术水平也有了极大提高。

但是目前的钻杆地层测试及试油工艺也存在着重大缺憾。一是绝对做不到不漏失一个储层,因为它是大层段地层测试,对薄层是不好进行的,大层段里的小层段也是不好一一鉴别和判定的。另外它需要占用钻时和钻机,经济上不允许。而常规试油只能在套管井进行,更没有条件去逐层试油。事实上,目前技术上造成埋没和枪毙油气层的事例不在少数。

电缆地层测试能够完成地层测试任务,也就是试油任务,与钻杆地层测试及常规试油相比,有不少优越性。最大优越性是从技术上讲完全可以做到不漏失一个储层,只要是认为有可能储集油气的测点,都可以及时测试;其次是钻杆地层测试的所有任务它都能够保质保量地完成。不足之处仅仅是探测半径小一些,但是井下取样的质量水平却高出很多。第三,由于是在测井阶段进行地层测试,所以测试环境比钻杆地层测试优越。起码这时候伤害还不够严重,加上排放钻井液滤液的功能,我们可以确信电缆地层测试的结论。第四,相对讲,测试速度快,花

费时间短,一个测点一般情况下只用十几分钟的时间,所以占用钻时少,经济效益高,从长远讲,随着新一代电缆地层测试技术的推广应用,将使我国的试油工艺产生由机械化向电气化的跨越。

3. 在油气田勘探开发中的意义

新一代电缆地层测试技术应用于勘探井中,可以在综合了各种相关资料的基础上,对每一个需要进行测试的储层进行测试,做到不漏掉任何一个含油气储层,并且预估每个储层的产能和经济价值。为后续的勘探提供确定无疑的指导信息,大大加快勘探速度,提高勘探质量。如果一口井经过本技术的测试,认定没有任何可以开采的油气层,这将对一口井的终审判决。那就可以放心地停止一切后续工序,不下套管,不必固井,节省大笔勘探费用。

由于这项技术是在裸眼测井阶段完成的,所以它是最早的地层测试,也是最早的试井工作。它所获取的大量的关于每个储层、测点的动态资料是一口井最早的基础动态资料,也是任何技术无法重新采集到的,用途将很多,是十分宝贵的。

这些早期储层动态资料的获取,必然使油藏工程师最早的介入勘探工作,他们将用确切的油藏动态资料和准确的油气流体性质参数开展油藏工程研究,进行数值模拟,储量评价。提高油气勘探质量。

对于开发井、调整井,这项技术提供的压力数据及压力系统的划分,提供的关于剩余油分布剖面及其他动态资料,必将为科学地进行油田开发设计与调整以及油藏动态监测,提供十分重要的依据。

新一代电缆地层测试器是高科技,经过了仿制—引进—组装—国产化历程后,必须尽快开始新一轮的研制,这一轮的研制应当走消化、吸收、自主开发的道路,创造我国自己的品牌。装备我们自己的测井队伍,为我国的油气勘探与开发做出更大贡献!

参 考 文 献

- 1 P A Goode, R k Michael Thambynayagam. Permeability Determination With a Multiprobe Formation Tester. SPEEE December, 1992
- 2 R, Badry, E Head et al. Newwireline Formation Tester Techniques and Application. SPWLA 34th Annual Logging Symposium June 13 ~ 16, 1998
- 3 John Michaels et al. Advances In Wireline Formation Testing. Presented at Annual Symposium of SPWLA, June 1995
- 4 欧阳健. 面对“测井新技术”到来的思考与建议. 世界石油工业, 1997(4)
- 5 马建国, 符仲金编著. 电缆地层测试器原理及应用. 北京: 石油工业出版社, 1995

(本文原发表于《勘探家》1998年第1期)

多分层试井技术的研究

马建国

摘 要 为了解生产井射孔段内各层及厚油层内各小分层的动态特性,设计研制了多分层试井仪和多样品取样装置。多分层试井仪通过液压装置控制上下封隔器的坐封、解封和测试室的大小,在测试室中形成很小的油层生产环境,由石英压力计测出其压力变化,测试完一层后,液压装置推动活塞排空测试室中流体并解封上下封隔器,进行下一层测试。多样品取样装置有多个储样室,一次下井可采集多个样品。多分层试井技术可获得油层静压、渗透率、表皮系数及地层产物、产能等近井地带动态资料,为分采分注、增产、堵水、三次采油提供可靠依据。

一、多分层试井的必要性

油气生产井的射孔段一般都包含几个小油层,它们的动态特性各不相同,即便是同一个小油层,上下各分层段的动态特性也会有不小的差别。所谓动态特性,就是指生产条件下的油层特征,包括油层静止压力、渗透率、表皮系数、地层产物、产能大小等。随着油气田开发和生产技术的进步,人们迫切需要了解一口井射孔段内各分层及厚油层内各小层段的动态特性,如果能够以 1m 或者 0.5m 为一段逐段精细地测出整个射孔层段的油层动态特性参数,将为分采分注、分层增产、分层堵水、科学的设计三采技术、合理地开发油藏、提高产量、提高采收率等措施提供可靠依据。

二、国内外分层试井技术发展现状

多年来,测井界以及试井界都在不懈地努力,以寻求分层测试的突破方法。但是,一般的测井技术不是在动态条件下进行,很难得到这些动态特性参数,而目前的试井工艺总是将压力计悬置于井筒液体中,无法测到分层数据。最有条件首先突破这项技术难关的工艺,当推电缆地层测试技术。电缆地层测试与钻杆地层测试相比,既快速又灵活,更有优越性。

20 世纪 70 年代前及 80 年代末,美国的斯伦贝谢公司、阿特拉斯公司、哈里伯顿公司先后生产过“间隔式地层流体取样器”、“套管井地层流体取样器”和可用于套管井的“选择性地层测试器(SFT-5)”;1991 年美国天然气研究院发明了“带喷流射孔器的电缆地层测试工具”。这些仪器都携带聚能射孔弹,先对欲测试层的测点进行射孔,然后利用地层流体进入仪器预测试室的流动过程和恢复过程的压力变化,测定地层静止压力和地层渗透率,但因无法保证仪器测试室入口与套管孔眼对准,故此类技术不适用于生产井。1997 年 12 月,斯伦贝谢公司发明了一种套管井取样测试仪器,它用井下电动钻头钻穿套管和水泥环进行取样测试,测试完毕后,由液压装置控制堵塞器填塞射孔孔道,一次下井可填塞 10 个孔。该仪器较好地解决了套管井地层测试难题,但缺点是费用很高,不适用于生产井。

我国从 1965 年开始研制电缆地层测试器,于 1969 年研制出样机,1975 年西安石油仪器二厂生产出了可对套管井进行地层测试的测井仪器(DC75 电缆地层测试器),到 1978 年共生产出 6 套仪器,曾在大庆、华北、大港等油田试用,但基本没用起来。1976 年我国引进了 3600 系列测井仪,购入套管井 FFS(地层流体取样)仪器 4 套,此仪器一次下井可射 2 个孔,但是各油田没有使用,后来全部报废。目前国内约有 50 套裸眼井电缆地层测试器进行测井作业,仅大庆采油一厂使用的哈里伯顿公司的 SFT-5 型选择性地层测试器(一种组合)可以进行套管井电缆地层测试(1992 年引进),一次下井仅射 1~2 孔,多年来只少量使用过。由于没有适用的技术,国内生产井的动态测试进行得很少,一般只在后期进行少量的试井和一些定性的生产测井,给不出定量结果,分层的地层静压、渗透率等参数无法测取。

从 1999 年 4 月所做的国家专利检索看,在国内试井界尚无分层试井的专利申请,而从美国 1995—1998 年授权的 50 项相关专利名称看,似乎也都不太涉及分层试井这个专题。1998 年作者设计了多分层试井仪,并申请了专利(专利号 98233153.3)。

三、多分层试井仪

1. 结构

多分层试井仪(I 型)主要由上下封隔器、容积可调且与测试段相连通的测试室、石英压力计、控制封隔器坐封及解封、测试室容积变化的液压装置以及保证封隔器不移位的平衡管组成(见图 1)。

2. 原理

当多分层试井仪到达射孔井段的预定深度后,液压装置使上下封隔器与套管坐封,形成测试段,测试段中的液体不再受测试段以外液体的影响,而仅与欲测试射孔段的地层流体连通。测试时,液压装置推动测试室中的位置活塞,使测试室的容积由零开始增大,使测试段中的液体和从测试段套管孔眼中流入的地层流体通过进液管线进入测试室,形成很小的油层生产环境,由石英压力计测出这个过程中测试段压力的变化,运用渗流理论计算出地层静止压力和地层渗透率等动态参数。测试完成后,液压装置推动测试室中的位置活塞返回,使测试室中的流体排空,并使上下封隔器解封,即可进行另一层段的测试。

3. 优点

多分层试井仪的优点:一是下一次仪器可以完成油气生产井的多次分层试井,每个测试层段可以小到 0.5m;二是快速试井,测试一个层段大约需要 30min,完成一口井的多分层试井最多费时十几个小时,而采用试井技术,测试一个层段一般需要几天时间。这种测试技术克服了现有技术无法使仪器测试室入口与套管上已射孔眼对准并密封的不足。

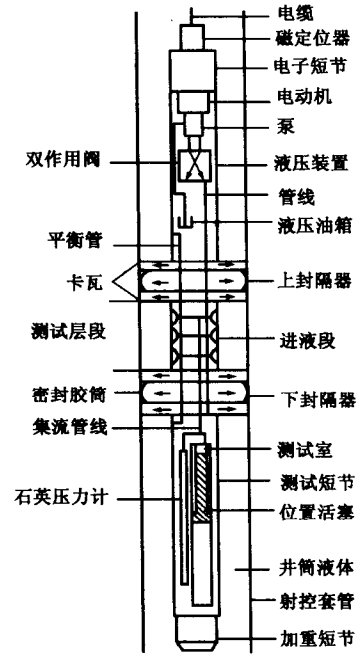


图 1 多分层试井仪井下仪器组合

4. 井下仪器组合

井下仪器由电缆、自然伽马和磁定位器、电子短节、液压装置、上封隔器、进液段、下封隔器、测试短节、加重短节组成(见图1)。仪器坐封于射孔套管上,对测试层段进行分层试井。上封隔器与下封隔器是成对的,结构一样。

上下封隔器坐封、解封以及测试室容积的变化均由液压装置控制,沿两套管线供应高压液压油。液压控制系统通过电缆与地面仪器上的控制信号开关相连,在地面用控制信号开关发出指令,驱动控制系统完成上下封隔器的坐封与解封。坐封和解封可以多次进行,以保证仪器一次下井后可多次进行地层测试。测试进液段外壁上均匀分布进液孔,保证射孔段地层流体均匀地以圆柱形径向流方式流入仪器。测试室的容积与测试进液段的长度相匹配,能使足够的地层流体流入隔离段环形空间,以保证有适当的压力探测半径。

针对小测试层段的分层测试或层内测试,设计了0.5m层段测试方案,即把图1中进液段的垂直高度控制在0.5m,以0.5m为一个测试层段,一次接一次地把全油层精细地测试清楚,得出渗透率和表皮系数的垂直分布及压力梯度的垂直分布,以便找到油水界面。当油气井固井质量及射孔质量较好,层内射孔孔眼间互不窜通时,可以实施这种方案。

5. 多次分层取样测试仪简介

在多层试井仪的基础上,增添一套环空液体抽排系统和多样品取样装置,即能形成Ⅱ型多层试井仪——多层取样测试仪。环空流体抽排系统由直流电机及可变速泵组成,任务是将上下封隔器间环形空间的井液抽排到上封隔器上方的井筒中,直到环形空间的液体全部变成地层真实流体为止。多样品取样装置则由至少6个容积为400mL的储样室组成,它们都能够在等于或高于测试点地层静止压力下采集样品并密封保存,以保证样品符合进行高压物性实验分析的要求。把每个样品及时进行高压物性实验分析,就能够知道每个测点的地层流体在埋藏条件下的粘度、压缩系数、体积系数、油水饱和度、油气水组分等十余个非常难得的地层流体参数。在油田开发的各个阶段,这些参数的获取都将对油藏工程计算、油田开发设计和调整、采油工程设计等工艺环节提供可靠的依据。

四、多分层试井资料的解释方法

不稳定试井测静压有井筒储存(续流影响),压力曲线只能恢复到出现直线段为止(若干天)。这种方法探测半径大,求出的渗透率是有关层段、大波及范围内的平均值。

对于电缆式多分层试井,地层流体的流动是很有限的,进入仪器的流体的量由仪器测试室容积决定,而测试室容积与上下封隔器隔离段高度相匹配,保证压力波及区在1m左右。测试室容积可调,以使地层压力不降至饱和压力,有利于高、中、低渗透层的测试,测试过程无续流现象。电缆式分层试井要求测试前关井,尽量恢复到地层静压,测试室充满流体后的静止压力就是地层静压,十多分钟流体即可充满测试室而得到合格压力曲线;如果测试时地层压力未恢复到地层静压,测出的压力曲线也达不到地层静压,可用直线段外推求静压,由压力曲线的压降段和压恢段的数值,运用试井理论按照圆柱形径向流模型可以计算地层渗透率和表皮系数等地层参数。所得的地层渗透率和地层表皮系数等确实是密封测试段即时的地层参数,没有什么干扰因素,即近井地带的地层参数。

本测试方法不可探边,第一个型号的产品不可取样,但可由压差、渗透率、表皮系数、采液