

·成果简介·

薄互层油储地球物理测井方法的研究和应用

李舟波

常明澈

(长春科技大学地球物理系, 长春 130026)

(大庆油田测井公司, 大庆 163412)

[关键词] 薄交互油气储层, 地球物理测井, 数据处理与解释

“薄互层油储地球物理测井方法的研究和应用”是“八五”国家自然科学基金重大项目“陆相薄互层油储地球物理理论和方法研究”的一个二级课题。它的主要任务是建立薄交互油气储层电磁波法、声波法和电阻率法测井正反演理论和方法, 以及综合解释系统, 为薄交互储层评价、地震反演和井孔之间储层追踪和描述提供准确的基础资料, 特别是为陆相油田勘探和高含水后期开发阶段提供有效的储层评价手段。经9个参加单位50多名研究人员5年的共同努力, 在理论方法和应用研究两个方面都取得了多项有价值的重要成果, 圆满地完成了预定任务, 使我国陆相薄交互储层地球物理测井理论与方法向前迈进了一大步。

在我国东部, 以大庆为代表的陆相含油气盆地, 薄层和薄交互储层十分发育, 并且有很大的生产潜力。另外, 厚的非均质储层在开发后期, 由于水淹造成的高剩余油饱和带也具有薄层的特征。因此, 薄油气储层测井方法与理论的研究, 在我国具有十分重要的经济意义和学术价值。根据大庆油田和中国东部油田的地质特点和亟待解决的问题, 以及现代测井方法理论与技术的发展现状, 本课题主要进行了多频组合电磁波测井、全波列声测井和薄层电阻率测井正反演的理论与方法研究, 以及薄储层测井综合解释方法和测井与地震资料结合进行井间外推的解释方法等5个方面的研究工作。

1. 多频电磁波组合测井理论与方法研究

在地层水电阻率很低或未知情况下, 用电阻率测井判别油水层遇到了困难, 然而由于水的介电常数与油气以及其它介质的介电常数相差很大, 研究以介电常数差异为基础的高频电磁波测井, 为解决上述问题提供了希望。从60年代起, 前苏联和美国先后推出了不同频率范围的电磁波测井方法, 如斯仑贝谢公司的EPT和DPT, 阿特拉斯公司的双频介电测井等。我国大庆油田从60年代中期也开展了这方面的研究, 目前已研制了2 MHz, 25 MHz, 60 MHz和1.1 GHz的电磁波测井仪。但在实际利用国内外这些仪器时, 仍面临着一些问题, 如求出的地层饱和度误差较大, 难以准确判断地层的含油水性。这些问题涉及到电磁波传播特性与介电常数的关系、场的激发与接收条件, 以及井眼环境、侵入带和围岩等对测井响应的影响等问题。本项研究通过对场的正演模拟, 系统地分析了影响电磁波测井响应的各种因素, 得出许多重要结论: 指出了传统的相位差与幅度比组合求介电常数和电阻率的方法, 受曲

国家自然科学基金重大项目。
本文于1997年9月4日收到。

线非对称性、探测深度不一致性的影响严重,这对于改进现有电磁波测井仪的设计、数据采集与处理方法,以及解释方法有重要指导意义;在建立的1 KHz—300 MHz岩石介电常数测量系统上,研究了不同岩性、不同频率和不同饱和度情况下岩石介电常数变化的特性,得出了介电常数的频散拟合公式,以及25 MHz, 60 MHz, 200 MHz介电常数实部 ϵ' 与含水相对体积 φS_w 的关系,并建立了介电常数测井解释系统EDIS;同时,进行了电磁波测井与电阻率测井联合反演的摸索,为进一步求准储层电参数奠定了基础。

2. 全波列声测理论与应用研究

声波测井在油储研究中有着重要地位;(1)它携带着丰富的油气储层参数信息,是确定储层孔隙度、研究地层力学性质、划分裂缝带和天然气层的重要手段,对于渗透率和岩性也可提供重要信息;(2)它所依据的物理基础与地震勘探相同,是地球物理测井与地震勘探数据相结合的一个纽带。因此,在油储项目中针对声测井领域的前沿和热点开展了研究。

在理论方面,对漏模所对应的复极点分布规律进行了研究,并分析了漏模对分波及全波的影响和贡献,进一步完善了井孔声波理论。通过建立的软件实现了井和地层声场空间分布的数值模拟图像显示,对各类波的传播发展过程作出更直观的描述;对存在水平薄交互层时的井孔声全波数值模拟,发展了井外有水平分层时的声场半解析算法,提出声压-速度有限差分法,并计算了井外为多层双相可渗性介质时储层的全波瞬态声场;进行了各相同性双相介质、各向异性弹性固体、各向异性双相介质储层的多极源声测井理论研究。在轴对称性破缺的各向异性的地层井孔多极场的摄动理论求解方法上取得了较大进展。

在应用研究方面,对慢速地层提出和实现了用最大似然法提取分波、利用斯通利波求地层横波速度,和利用井孔首波反演地层横波速度的方法,已在应用中见到实际效果;利用斯通利波求取渗透率和利用横波衰减求取储层渗透率都取得了应用实例。

3. 薄油气储层测井方法正反演研究

由于油气和地层水的电阻率存在明显差异,在相同岩性条件下,地层的电阻率和含油气饱和度有明显的相关关系。因此,电阻率测井是定量评价储层含油气饱和度的基本方法。因为测井仪器的读数是周围介质物理性质的综合反映,所以电阻率测井直接记录的数值受井、围岩、侵入带和原状地层的综合影响。为了消除原状地层以外的影响,产生了多种形式的聚焦和屏蔽电阻率测井方法,三侧向测井就是其中一种。本项研究是针对深浅三侧向测井,试图通过微分方程反演方法给出准确的地层电阻率值。而解电场方程的反问题,面临着不适定性、非线性、以及物性参数与几何参数(即电阻率与侵入深度)同时反演等一系列重大困难。为此,设计了广义脉冲谱法和离散型Marquardt算法,对各种反演方法均进行了数值模拟、抗噪实验以及与电模型数据对比,证实了提出的方法的正确性和实用性;编制的2DSHR软件已在大庆安装,经实际测井数据与取芯资料对比验证,处理结果基本与实际相符,其中包括厚度0.4 m左右的薄层。

4. 薄层及薄互层砂岩油气水层识别系统

薄层的测井解释方法与一般厚层的解释方法有较大的差别。我们实现了人机联作进行多条测井曲线深度对齐和统一分层,该项成果为提高薄层研究的精度奠定了基础。为提高现有各种测井曲线的分辨率,达到研究薄层和薄交互储层的要求,系统地研究了正则化反褶积法、匹配滤波与非线性拟合法、反褶积与平滑滤波法、比值法、反褶积与匹配滤波法、卡尔

曼反褶积法和沃希函数反演法等,已形成了和测井组合相对应的6个处理子系统和1个综合提高分辨率处理系统。利用给出的系统,对大庆西部薄层发育地区一些探井和长垣内部一些调整井进行了处理,取得了明显效果,使0.3 m以上地层可以清楚地划分出来,0.5 m以上的地层可以较准确地评价。该系统已纳入石油天然气总公司软件集成,向全国推广。

大庆长垣以西地区地层呈砂泥岩薄交互层状,多数储层的厚度小于0.6 m,且普遍含有钙质,甚至有介形虫堆积的纯钙质层的情况,对此,我们建立了一个含钙薄互层岩性和油水识别测井解释系统,处理了本区多口井的测井资料。统计结果表明,钙质分析和泥质层划分的准确度均在85%以上,计算的储层泥质含量和孔隙度的准确度分别提高了2%和1.6%。利用多指标逐步综合判别法进行油水层识别,解释符合率提高到85%以上。利用本系统对一部分调整井的测井数据也进行了处理,同样有较好的效果。

5. 结合地震资料井间外推的测井解释方法研究

测井资料在纵向上有很高的分辨率,但横向上的探测深度和分辨率是非常有限的,而地震勘探资料虽然在纵向上的分辨率远比测井逊色,但在横向上却有很高的采样密度。因此,利用测井数据准确求得地层的物性和储集性参数,并与地震资料匹配作为外推的约束,以地震反演方法为手段,把岩石物性或储层参数由井外推,可以使两者优点互补,有利于更精确地评价油气储层在纵向和横向上变化的特征。为了使测井数据与地震数据匹配,采用了小波变换对测井曲线滤波的技术,实现了3种地震与测井数据结合的外推方法,即宽带约束反演、改进的岩性反演和微分方程双参数反演。在宽带约束反演方法中,考虑了实际记录误差和噪声的影响,除解估计分辨率之外,还要考虑解估计的方差处于允许的范围,反演中的模型修正量既依赖于数据误差,还受噪声协方差矩阵和模型协方差矩阵的约束。该方法通过了无噪和加噪的理论记录的反演,还处理了实际地震记录,给出的层序界面清晰,断层显示比较明显。在改进的岩性反演方法中,给出一个新的判别条件,克服了多解性,并在维利公式中加入了泥质含量的因素。在微分方程双参数反演方法中,实现了同时反演速度和密度。为了显示外推结果,建立了一个储层参数空间分布描述系统。这个系统包括剖面描述和平面描述两个部分,采用了神经网络法和地质统计学的克里金、协克里金和蒙特卡洛法。

本课题已在国内外发表论文74篇,培养博士生8名,硕士生34名。研究成果的实用部分及相关软件,已在1996年8月由大庆油田验收。

本课题的全部成果与整个“油储”项目一起,于1997年4月通过国家自然科学基金委员会组织的验收。

STUDY AND APPLICATION OF GEOPHYSICAL WELL LOGGING TO LAMINATED RESERVOIR ANALYSIS

Li Zhoubo

(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130026)

Chang Mingche

(Well Logging Company of Daqing Oil Field, Daqing 163412)

Key words laminated reservoir, geophysical well logging, data processing and interpretation