

渤海油田低对比度油层成因机理及测井评价研究

郭会旺

中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300459

摘要: 渤海油田作为我国重要的油气资源基地之一,其油层特点和成因机理一直是石油地质领域研究的热点之一。其中,低对比度油层成因机理及其测井评价研究是当前学术界和工业界关注的焦点问题。低对比度油层指的是岩石中含油部分与非含油部分之间密度和伽马射线对比度较小,难以通过传统测井手段准确识别和评价的油层。因此,对低对比度油层的成因机理及其测井评价研究具有重要的理论和实践意义。

关键词: 渤海油田;低对比度油层;成因机理;测井评价

Study on the Formation Mechanism and Logging Evaluation of Low Contrast Oil Layers in Bohai Oilfield

Guo Huiwang

Engineering Technology Branch of CNOOC Energy Development Co., Ltd. Tianjin 300459

Abstract: As one of the important oil and gas resource bases in China, Bohai Oilfield has always been a hot topic in the field of petroleum geology in terms of its reservoir characteristics and genetic mechanisms. Among them, the research on the genetic mechanism of low contrast oil layers and their logging evaluation is currently a focus of attention in the academic and industrial fields. Low contrast oil layers refer to oil layers with low density and gamma ray contrast between the oil-bearing and non oil-bearing parts of rocks, which are difficult to accurately identify and evaluate through traditional logging methods. Therefore, the study of the genetic mechanism and logging evaluation of low contrast oil layers has important theoretical and practical significance.

Key words: Bohai Oilfield; Low contrast oil reservoir; Genetic mechanism; Logging evaluation

低对比度油层的成因机理研究旨在探索油层形成的地质过程和机制。这包括岩石物性特征、沉积环境、成岩作用等因素对低对比度油层形成和发育的影响。通过深入研究沉积环境演化、沉积物源、成岩作用等因素对低对比度油层的制约作用,可以更好地理解低对比度油层的形成机制。测井评价是对低对比度油层进行定量评价的重要手段。通过分析测井数据中的岩石物理参数、地层结构、孔隙度、渗透率等信息,可以对低对比度油层进行准确的储量估算和产能评价,为了提升开发工作质量,需要做好测井评价工作。

1 低对比度油层的基本概念分析

低对比度油层是指含油岩石与非含油岩石之间的密度、伽马射线或其他物性参数对比度较小,难以通过常规测井手段进行准确识别和评价的油层,其含油部分与非含油部分的物性参数相似,使得传统测井曲线无法明显区分两者,给油气储集特征的解釋和评价带来困难。低对比度油层中的含油岩石与非含油岩石之间的密度差异较小,使得传统密度测井曲线在区分含油部分和非含油部分时不够明显,限制了油层的准确定位和评价;低对比度油层的含油岩石与非含油岩石

之间的伽马射线响应差异不明显,常规伽马测井曲线无法有效区分含油部分和非含油部分,对油气储集的识别和评价带来困难。低对比度油层往往具有复杂的地质背景,包括低孔隙度、细粒度、变质作用等特征,这些因素导致了油气储集和流动性较差,增加了油层的识别和评价的难度^[1]。

2 渤海油田低对比度油层成因机理分析

综合来看,低对比度油田的成因机理主要如下表所示。

表1: 低对比度油田的成因机理

黏土矿物	孔隙结构	孔隙流体性质变化	其他因素
黏土矿物组成与含量	孔隙尺寸与分布	孔隙流体类型及含量	地质构造与断裂
黏土矿物的堵塞作用	孔隙连通性	孔隙流体粘度变化	沉积环境及成岩作用
黏土矿物的吸附作用	孔隙隔离性	孔隙流体密度变化	油气运移与聚集
黏土矿物的胶结作用	孔隙空间分布	孔隙流体相变	地层渗透性与渗流

2.1 黏土矿物因素

黏土矿物是一类具有细粒度、高比表面积和吸附性能的

岩石成分,包括膨润土、非膨润土和混合层矿物等,渤海油田低对比度油层中常见的黏土矿物有伊利石、蒙脱石、高岭石等;黏土矿物的微观结构由层状结构单元组成,该层状结构使得黏土矿物具有较强的吸附性和阻隔性;黏土矿物的层状结构中存在水合离子,当黏土矿物吸水膨胀时,层间距会增大,从而影响油气在孔隙中的流动性,且黏土矿物具有很强的吸附能力,能够吸附油气分子,使其在孔隙中滞留。在渤海油田中,黏土矿物的存在会导致岩石的孔隙度降低,因为黏土矿物的微观结构使得岩石颗粒之间存在黏结现象,减少了孔隙的连通性,孔隙度降低会限制油气的储集和流动,形成低对比度油层;黏土矿物的微观结构和水合膨胀性会限制油气在低对比度油层中的渗透性,黏土矿物的吸水膨胀导致孔隙的有效面积减少,使得油气难以通过孔隙体系;黏土矿物的吸附性能使其能够吸附油气分子,使其在孔隙中滞留,吸附作用会降低油气的有效渗透性,增加油气在岩石中的滞留程度,进一步形成低对比度油层。根据相关学者的研究发现,当阳离子交换能力为0.2meq/g、地层水矿化度为6000~8000mg/L时,黏土水饱和度为0.35—0.40,外加岩性细导致的毛管水饱和度,低对比度油层的束缚水饱和度通常较高,高束缚水饱和度和会形成良好的导电网络,使得油层电阻率降低^[2]。

2.2 孔隙结构因素

孔隙结构是指岩石中孔隙的类型、连通性和尺寸分布等特征,对油气的储集和流动起着重要的控制作用。在低对比度油层中,孔隙结构的特征对岩石的物理性质和油气运移具有重要影响,对比度油层中常见的孔隙类型包括溶蚀孔隙、裂缝孔隙和粒间孔隙等,孔隙类型的分布和连通性决定了油气在岩石中的流动性和储集性;孔隙连通性是指孔隙之间的连接情况,低对比度油层中孔隙连通性较差,孔隙体系的连通性受到黏土矿物的黏结作用和沉积环境的影响,导致油气流动受限;低对比度油层中的孔隙尺寸分布相对均匀,孔隙尺寸较小,使得油气在岩石中的运移受到限制;较小的孔隙尺寸会导致油气的相对渗透率降低,使低对比度油层的渗透性变差。下图为孔隙结构与渗透率的关系图。在渤海油田中,古近系混积滩储层除了砂、泥以外,通常含有灰质、白云质及生物碎屑等成分,微裂隙、微孔隙发育导致孔隙结构复杂,微孔隙中的束缚水可以形成发达的导电网络,从而使得油层电阻率降低^[3]。

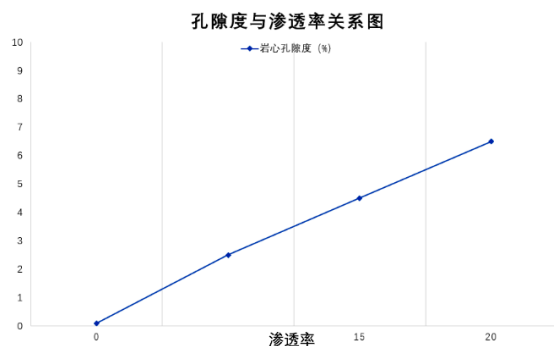


图1: 孔隙结构与渗透率的关系

2.3 孔隙流体性质变化分析

孔隙流体性质的变化是渤海油田低对比度油层形成的重要机制,孔隙度、孔隙连通性和孔隙尺度等因素的变化,会直接影响低对比度油层中油气的储集和流动性。低对比度油层中的孔隙流体性质变化,导致油气在岩石中的流动性变差,孔隙度较低、连通性较差以及孔隙尺度较小的特点限制了油气的流动,使得低对比度油层的油气开采困难。孔隙流体性质变化还会导致低对比度油层的渗透性发生变化,较小的孔隙尺度和较差的孔隙连通性会导致油气的渗透能力下降,降低油气在储层中的有效渗透性;低对比度油层中的孔隙流体性质变化直接影响油气的储集能力。孔隙度的减小和孔隙连通性的变差使得低对比度油层中的油气储集能力降低,增加了油气的散失风险。

2.4 其他成因分析

渤海油田作为中国重要的油气资源产区,其低对比度油层的形成机理一直是石油地质领域关注的热点问题,除了上述因素之外,其成因机理还包括如下几项:(1)岩石物性特征。低对比度油层中的岩石孔隙度较低,孔隙结构复杂,岩石孔隙度的降低会导致油气的储集能力降低,同时孔隙结构的复杂性会影响油气的流动性;低对比度油层中的岩石孔隙介质多样,包括颗粒状岩屑、黏土矿物和胶结物等,岩石孔隙介质的存在会影响油气的渗流特性和储集能力。(2)沉积环境。低对比度油层的形成与特定的沉积相和岩相组合密切相关,在渤海油田的沉积环境中,低对比度油层主要分布在砂岩-泥岩相或泥岩-砂岩相的界面处,这种特定的沉积相与岩相组合有利于低对比度油层的形成;沉积作用和成岩作用对低对比度油层的形成也具有重要影响。沉积作用会影响岩石的物性特征,包括孔隙度、孔隙连通性和孔隙结构等;成岩作用则会改变岩石的孔隙介质和岩石的物理力学性质。(3)构造活动。构造活动对低对比度油层的形成也有一定的影响,构造运动会引起岩石的断裂和变形,从而影响岩石的孔隙度和孔隙连通性;构造活动还可能造成油气运移的隔断,进一步加剧低对比度油层的形成^[4]。

3 低对比度油层的测井评价技术分析

3.1 气测录井技术

气测录井是利用测井仪器测量井内气体的压力、温度和流体密度等参数,通过分析参数获取油层的物性信息。在低对比度油层评价中,气测录井技术可以提供关于油气储集性能、流体饱和度和孔隙度等重要参数的定量信息,为油田勘探和开发决策提供科学依据。温度测井是气测录井的基础,通过测量井内温度变化,可以确定油气层的温度分布情况,温度的变化与油气的流动和储集有关,可以提供油气层的流体饱和度、渗透率等信息;压力测井是气测录井中重要的参数可以提供油气层的压力分布情况,通过测量井内气体的压力变化,可以判断油气层的储集状态、渗透率以及油气的流动性;流体密度测井可以测量井内流体(油、水、气)的密

度变化,从而确定油气层的流体饱和度,通过分析流体饱和度的变化,可以评估低对比度油层的油气储集能力和可采储量。

3.2 等效介质模量方法

等效介质模量方法是一种基于声波测井数据的评价方法,通过对比分析实际介质与等效介质的模量差异来推测低对比度油层的物性特征。该方法利用声波在岩石中的传播特性,将复杂的岩石介质简化为等效介质,从而实现对油层物性参数的评价。等效介质模量方法首先需要计算等效介质的模量值,该计算通常基于声波测井数据,包括井壁响应、速度、密度等,通过采用模型假设和声波传播理论,可以推导出等效介质的模量计算公式;等效介质模量方法的核心在于分析实际介质与等效介质的模量差异,通过对比分析实际测井数据与等效介质模拟数据的模量差异,可以推测低对比度油层的孔隙度、孔隙结构和流体饱和度等物性参数;根据模量差异分析结果,可以进行参数反演与解释,通过建立模型和优化算法,将模量差异与低对比度油层的物性参数进行关联,从而实现对油层的评价与解释^[5]。在渤海某低对比度油田开发过程中,采用等效介质模量方法得到下图。在图1中,第6道红线为干岩石模量,蓝线为饱含水岩石模量,黑线为计算的岩石模量。可以看出,2705.0—2735.0m段计算岩石模量与干岩石模量一致,为气层;2800.0~2820.0m段计算岩石模量与饱含水岩石模量一致,为水层;2890.0~2920.0m段(低阻油层段)计算岩石模量介于干岩石模量与饱含水岩石模量之间,为油层。

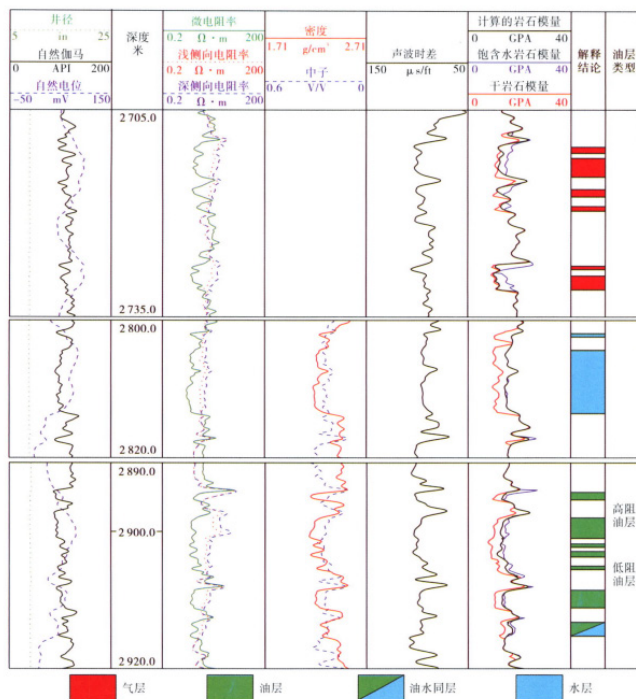


图2: 等效介质模量法识别低对比度油层

4 实例分析

在渤海油田某油井开发过程中,低对比度油层的测井采用了交会图法,交会图法是一种通过绘制测井曲线之间的交

会图,从而对地层进行解释和评价的方法,基于测井曲线的物理性质,利用测井曲线之间的相互关系和交会特征,来判断地层的性质和含油程度。在低对比度油层中,交会图法可以通过分析测井曲线之间的交叉点、交叉角度和交叉区域等特征,来判断地层的含油情况和流体性质。下图为该油田开发中交会图法判别低对比度油层。由图可以看出,在深侧向电阻率超过 $7\Omega \cdot m$ 时,测试、取样都为油层;而当深侧向电阻率小于等于 $7\Omega \cdot m$ 时,测试、取样证实不仅有低对比度油层,还有油水同层和含水层。相比水层,低对比度油层具有低自然电位幅度、高冲洗带电阻率的特点,所以其 $\Delta SP / \Delta R_{x0}$ 值相对于油水同层与含水层较低,在图中低对比度油层 $\Delta SP / \Delta R_{x0}$ 值主要小于等于0.4、电阻率为4— $7\Omega \cdot m$,油水同层、含水层 $\Delta SP / \Delta R_{x0}$ 值则大于0.4。

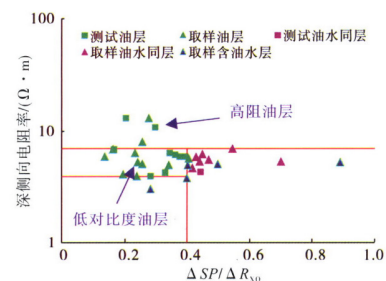


图3: 油田开发中交会图法判别低对比度油层

结束语

综上所述,低对比度油层作为一种复杂的油层类型,具有特殊的物性特征和地质背景。对于识别和评价低对比度油层,需要综合利用地质分析、成像测井技术和高级测井技术等手段,获取更全面准确的地层信息。

参考文献

- [1]陈嵘,胡向阳,袁伟,张顺超,杨毅.乌石凹陷M油田低对比度油藏成因机理及渗透率评价[J].地质科技通报,2022,41(04):12-20.
- [2]王森,李瑞娟,熊镭,李志愿,高雁飞.渤海油田低对比度油层成因机理及测井评价研究[J].石油地质与工程,2023,37(02):21-28+34.
- [3]陈星河.渤海秦皇岛区块疏松砂岩低阻油层成因机理及流体评价[D].长江大学,2022.
- [4]霍建伟.鄂尔多斯盆地王盘山地区长9油层组低对比度油层分布特征[D].西北大学,2022.
- [5]张少华.鄂尔多斯盆地西部麻黄山-古峰庄地区延长组长8、长9段低对比度油层识别[D].西北大学,2021.

作者简介:郭会旺,中级工程师,1991年生,2014年毕业于东北石油大学勘查技术与工程专业,现在中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司从事海上测井监督工作。通讯地址:天津市滨海新区海洋高新技术产业园区海川路2121号渤海石油管理局大厦C座804室。电话:17702233667, E-mail: guohw7@cnooc.com.cn