

岩屑图像在致密油气层解释评价中的应用 及其经济效益研究

刘军杰 (中石化经纬有限公司中原测控公司, 河南 濮阳 457001)

摘要: 应用岩屑图像分析法分析致密油气层岩石特征和地层流体性质, 解读岩石骨架矿物碎屑与物性的关系, 裂缝充填矿物与裂缝发育之间的关系, 岩屑荧光特征与地层流体性质之间的关系, 分析致密油气层解释评价的新方法, 为提高储层解释评价精度进行了有益探讨。同时, 岩屑图像分析技术在提高储层解释精度、优化油气开发方案、降低勘探和开发成本方面展现了显著的经济效益, 为致密油气层的经济性开发提供了重要支持。

关键词: 致密油气层; 岩屑图像; 解释方法; 经济效益

中图分类号: TE122

文献标识码: B

文章编号: 1674-5167 (2025) 016-0100-03

Application and Economic Benefits Research of Cuttings Image in the Interpretation and Evaluation of Tight Oil and Gas Reservoirs

Liu Junjie(Sinopec Geophysics Co., Ltd., Zhongyuan Geocontrol Company, Puyang Henan 457001, China)

Abstract: The application of cuttings image analysis method to analyze the rock characteristics and formation fluid properties of tight oil and gas reservoirs, interpret the relationship between rock skeleton mineral debris and physical properties, the relationship between fracture filling minerals and fracture development, and the relationship between cuttings fluorescence characteristics and formation fluid properties, and analyze the new methods for the interpretation and evaluation of tight oil and gas reservoirs, have made beneficial explorations for improving the accuracy of reservoir interpretation and evaluation. At the same time, the cuttings image analysis technology has demonstrated significant economic benefits in improving the accuracy of reservoir interpretation, optimizing oil and gas development plans, and reducing exploration and development costs, providing important support for the economic development of tight oil and gas reservoirs.

Key words: Tight Oil and Gas Reservoirs; Cuttings Images; Interpretation Methods; Economic Benefits

近年来, 随着北美威利斯顿和二叠纪等盆地的致密油规模有效开发, 引领了一场新型的非常规油气资源革命, 并一举改变了世界石油的供给格局。我国致密油大多数为陆相沉积, 致密油分布广泛, 勘探开发潜力巨大, 是一种极其重要的非常规油气资源^[1]。对比分析北美致密油开发的成功经验, 从资源、技术和经济等多方面综合考虑, 致密油气应是我国最为现实的非常规石油资源, 是最重要的石油增储上产领域。从经济角度来看, 致密油的开发具有较高的初期投资, 且产量提升需要依赖高效的技术支持, 如水力压裂和水平钻井。然而, 随着技术进步和油价波动的影响, 致密油的开发潜力依然巨大, 且能够有效促进我国石油增储和上产, 成为最为现实的非常规石油资源。致密油气储层的纵向非均质性强、层间差异明显, 表现为岩性复杂、物性差、孔隙结构复杂, 导致致密层测井三孔曲线和视电阻率曲线特征变化特征减弱, 含油气层有效厚度划分界面难度增加, 同时致密油气层储层流体性质准确解释评价是难点之一^[2]。根据目前常见的致密性含油气层储层类型, 主要对以下四种致密

性储层探讨含油气层综合解释评价方法。

1 致密油气层解释评价方法

岩屑来自于地层, 是反映地层和含有物最直接、最直观的产物。致密油气层是油气存储在致密性的储层中, 钻探中破碎地层形成岩屑, 岩屑的产状、成分、含有物, 岩石骨架矿屑(岩屑)的分选和磨圆度均与储层物性相关; 每包岩屑中含油岩屑的面积、荧光亮度、产状、饱满程度均与储层含油性密切相关。因此基于岩屑的地层岩性和地层流体性质解释更加接近地层。

1.1 砂泥岩不等厚互层型致密含油气层

由于砂泥岩不等厚互层型致密型储层是泥岩夹薄层砂岩与裂缝组合的复合型储层, 在砂岩和裂缝中均可能含油气。因此每包岩屑中的含油岩屑占比是直观反映储层含油性好坏的最直接资料, 是解释评价储层流体性质和丰度的重要资料。应用岩屑图像分析技术对每包岩屑进行处理, 扫描获得每包岩屑含油岩屑占比数据, 计算每包岩屑的含烃丰度、荧光亮度等评价参数, 结合岩屑中岩石骨架的分选、磨圆性、岩屑产状等资料, 参考测井解释的物性资料, 建立解释图版, 实现对储层流体性

质和物性的认识,精确解释评价储层^[3]。

通过对不同盆地油层岩屑进行岩屑图像扫描,结合试油结论获得荧光亮度与原油密度之间的关系图版(见图2),分别获得原油密度 $0.78\text{g}/\text{cm}^3$ – $0.94\text{g}/\text{cm}^3$ 之间的岩屑荧光图像,其亮度在60–130之间,荧光颜色由绿黄色–暗绿色代表储层中原油密度由轻–重。图1所示的岩屑荧光图像试油结论均为不含水油层。

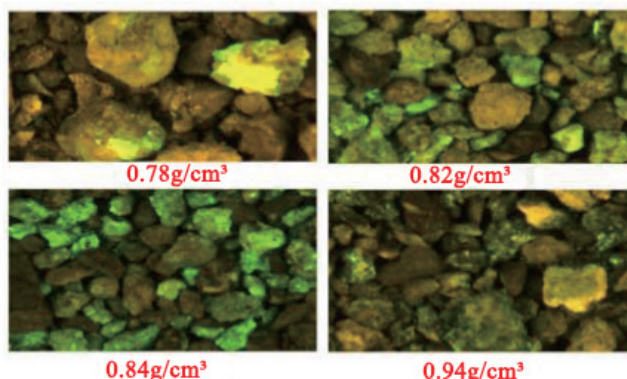


图1 荧光亮度与原油密度图版

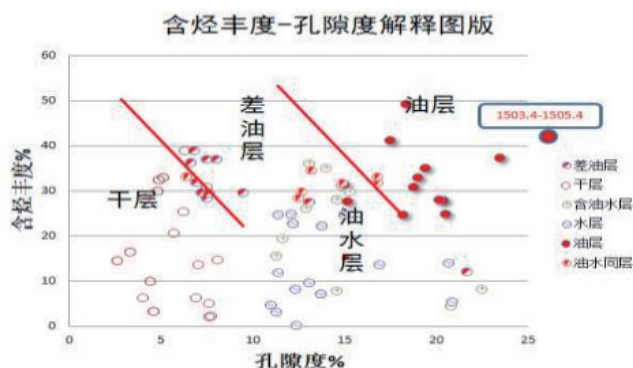
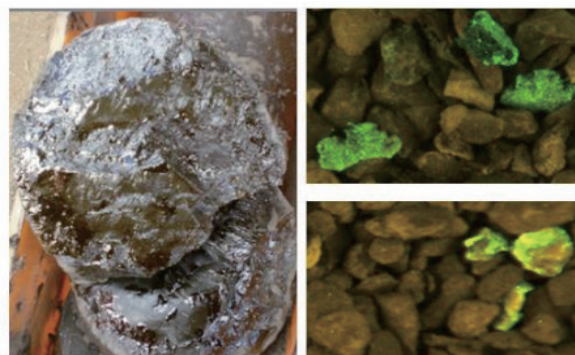


图2 含烃丰度-孔隙度解释图版

1.2 泥岩裂缝溶孔型含油层

暗色泥岩岩石热解S2峰顶温度大于435度,有机碳(TOC)大于1%,潜在生油气量(Pg)大于 $1.5\text{mg}/\text{g}$,干酪根类型以I型和II型为主,基本已形成具有生烃能力的烃源岩。烃源岩微裂缝和裂缝发育,在烃源岩中形成油气运移通道,与附近的断层构造组合,为上覆或下伏的储集岩提供油源,为油气成藏提供基础条件。

如果烃源岩裂缝和溶蚀孔足够发育,裂缝与溶蚀共同作用形成裂缝与溶蚀孔型储集空间,可形成自生自储的泥岩裂缝与溶蚀孔型油藏。裂缝与溶蚀孔中充满原油,在裂缝面和溶蚀面形成油膜(见图3)。应用岩屑图像扫描,获取岩屑重被原油浸染的裂缝面、溶蚀面和充填矿物上的原油荧光特征,如荧光分布特征、产状特征、面积、亮度等参数,对裂缝溶孔型储层进行更符合地层实际的精确解释评价。



泥岩裂缝中的油膜

裂缝含油岩屑

图3 泥岩裂缝含油示意图

1.3 致密砂岩+裂缝型含油层

致密砂岩+裂缝型油气层是非常规储层的重要类型,以鄂尔多斯盆地苏里格气藏、松辽盆地南部登娄库组气藏、川中地区须家河组气藏为代表。在海拉尔盆地、渤海湾盆地等含油盆地存在大量的致密砂岩+裂缝型油藏。致密砂岩一般指孔隙度低、渗透率低、含油(气)饱和度低,油气在其中流动速度较为缓慢的砂岩^[5]。致密砂岩一般伴随裂缝等岩石构造,且原油先在裂缝充填,后在致密砂岩中聚集,岩心表面可见原油从裂缝外渗。根据致密砂岩+裂缝型含油层油含油气分布受物性和裂缝制约规律性较差的实际,致使致密砂岩+裂缝型含油层精确解释难度大,导致试油选层准确率降低^[4]。因此单一依靠一种解释手段难以满足精确试油选层的要求,为了提高试油选层精度,将岩屑图像分析解释技术应用到致密砂岩+裂缝型含油层解释中,增加试油选层精度,降低油藏试油和开采成本。

1.4 致密碳酸盐岩型含油储层

致密碳酸盐岩型含油储层主要有湖相生物灰岩、藻灰岩、白云岩、白云石化岩类和泥质灰岩等岩性,主要发育在湖盆浅水地带,与蒸发岩沉积环境关系密切,受控于古气候、古水动力、古水介质条件的变化^[6]。在构造和油源配的情况下,来自烃源岩的烃类运移进入储集空间,形成碳酸盐岩含油气储层。所示为灰岩溶孔与裂缝含油储层,原油顺方解石不完全充填的裂缝运移至溶孔(洞)中,孔洞直径5cm,形成半充满轻质原油的溶孔(洞),溶孔(洞)周围裂缝中和方解石解理中均含油,形成致密的灰岩含油储层。

2 经济效益影响

随着致密油气层的勘探开发逐步成为非常规油气资源领域的核心方向之一,如何高效、精准地解释评价致密油气储层,成为了行业中的关键技术问题。岩屑图像分析法作为一种新兴的地层评价技术,发挥了其独特的优势,特别是在提升致密油气层解释评价精

度和降低开发成本方面,具有重要的经济价值。

2.1 提升储层解释精度,降低勘探成本

致密油气层由于其高非均质性和复杂的层间差异,往往存在较大的开采风险。传统的致密油气层储层评价方法,通常依赖于地质、地球物理数据以及传统的岩心分析,但这些方法由于缺乏直观的地层流体性质和孔隙结构数据,导致解释结果具有一定的不确定性。这就需要通过不断的试油、试气及钻探工作来验证地层特征,往往导致较高的勘探开发成本。然而,岩屑图像分析法的应用,在一定程度上改变了这一局面。通过对岩屑图像的扫描与分析,可以获得包括含油面积、含油丰度、荧光亮度等关键指标的直观数据,这些指标能够有效反映储层的含油气性及流体性质。通过对每包岩屑进行详细的荧光特征分析,可以快速识别储层的有效含油区域和无效区域,从而在试油过程中提前排除无效区块,显著减少无效钻探和试油的次数。

2.2 提高开发效益,优化资源配置

在致密油气层的开发过程中,由于层间的非均质性和裂缝、溶孔等复杂的储层特征,常规的开采方法往往难以实现最优资源配置。岩屑图像分析技术通过提供细致的储层特征数据,能够帮助企业更加精准地识别油气富集区和贫化区,为后续的开采方案制定提供可靠依据。岩屑图像分析技术能够通过识别裂缝和溶孔的分布情况,揭示油气的积聚规律,进而优化开发策略。在实际的开采过程中,通过对岩屑图像的详细分析,能够清晰地了解到裂缝、溶孔等储集空间的分布情况,并结合储层的物性特征,合理配置压裂作业和增产措施。

2.3 降低油藏试油与开发成本

油藏试油是石油勘探与开发中的一个高成本环节。尤其是在致密油气层中,由于储层非均质性强,试油结论往往难以准确反映储层的实际含油气情况,造成油藏开发的风险较高。传统的试油方法往往需要大量的时间和资金进行反复的井位调整和试油工作,这无疑增加了开发成本。岩屑图像分析技术能够有效减少这一成本。通过对岩屑的荧光特征分析,可以提前识别出油气层的分布情况,避免了不必要的试油操作,从而降低了试油成本。在致密油气层的开发过程中,岩屑图像分析可以通过提供详细的油气分布数据,帮助勘探团队在初期阶段就锁定含油气的主要区块,从而提高试油的精准度,减少试油所需的资金投入。

3 结论

首先,致密油气石油工业的一个新领域,是接替常规油气资源的重要力量。目前国际上一般将储集层覆膜渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、赋存于碎屑岩、碳酸盐岩等非

页岩的油气定义为致密油气。具有距烃源岩近,油气大规模连续聚集,没有明显圈闭界限,受构造影响小,储集岩物性差、非均质性强储量密度比低,富集区优选以及有效储层储集层预测解释评价难度大等特点。因此要在致密油气层解释评价上创新,抓住破碎储层的直接产物岩屑,获得最直接地层流体评价资料,进行储层量化解释评价,提高有效储集层解释的精度,为区域储层流体评价和提高产能提供给准确的资料。

通过资料积累认为:致密型砂岩(含裂缝)型油气层岩屑含烃面积达到5%以上,含烃丰度30%以上,荧光亮度75以上,解释含油层;致密泥岩裂缝型油气层岩屑含烃面积达到3%以上,含烃丰度25%以上,荧光亮度70以上,解释含油层;致密碳酸盐岩型油气层岩屑含烃面积达到2%以上,含烃丰度20%以上,荧光亮度80以上,解释含油层。致密油气层解释一定要结合岩屑产状,矿物的分选性和磨圆度,结合储层的物性特征,才能提高解释精度。

其次,致密油气储层的复杂性导致传统的试油和储层评价方法往往无法准确反映储层的实际含油气情况,增加了勘探开发成本。岩屑图像分析技术的引入,有效减少了试油操作,避免了不必要的资金投入。通过对岩屑的荧光特征分析,能够提前识别油气层分布,精准锁定含油气的主要区块,提高试油的精准度,进一步降低了开发成本。

因此,尽管致密油气的开发存在较高的初期投资和技术挑战,但通过岩屑图像分析技术,能够在提高储层评价精度的同时,显著降低勘探开发成本,为致密油气资源的高效开发提供了强有力的技术支持和经济保障。

参考文献:

- [1] 焦方正.陆相低压页岩油体积开发理论技术及实践——以鄂尔多斯盆地长7段页岩油为例[J].天然气地球科学,2021,32(6):9.
- [2] 闫伟林,崔宝文,殷树军.苏德尔特油田布达特群潜山油藏裂缝储层测井评价[J].油气地质与采收率,2007,14(5):26-30.
- [3] 孙玉华.岩屑图像录井技术在F2井的应用[J].石油天然气学报,2017,39(5):8.
- [4] 鲁红,李建民.一种实用的砂砾岩储层有效厚度解释及评价方法[J].大庆石油地质与开发,2007.
- [5] 姜静,马世忠,孙雨,等.苏德尔特潜山油藏有效厚度测井解释模型初探[J].石油天然气学报,2010,32(5):5.
- [6] 鲍云杰,刘金玲,金玄德.岩屑气分析技术在油气层评价中的应用[J].录井工程,2006,17(3):3.