

川西ZJ地区须二段致密砂岩储层含气性测井评价

吴晓光, 樊靖宇, 朱国庆

中石化经纬有限公司西南测控公司, 四川 成都

收稿日期: 2025年4月20日; 录用日期: 2025年6月17日; 发布日期: 2025年6月30日

摘要

川西坳陷ZJ地区须家河组二段致密砂岩气藏勘探程度低, 砂体厚度大, 储层非均质性强, 储层物性致密, 储集条件差, 含气性评价困难, 气水电性差异微弱。常规的电法测井难以准确反映储层含气性的变化。基于岩心分析、测井、地质、测试等多种资料, 对中江地区须二段储层开展了含气性评价方法适应性分析, 综合利用常规测井、偶极声波测井以及二维核磁共振测井物理信息, 进行了储层流体性质的有效判别。尽管某些测井信息在极为复杂的地层流体识别中存在一定的局限性, 但综合多种测井信息及录井全烃显示等资料, 基本上达到了有效评价储层含气性的目的。研究成果有效解决了ZJ地区须二段致密砂岩储层含气性评价难题, 为后续储量升级, 新钻井储层含气性评价, 天然气效益开发提供了技术依据。

关键词

含气性, 致密碎屑岩, 须家河组二段, 中江地区, 川西坳陷

Logging Evaluation of Gas Bearing Properties in the Tight Sandstone Reservoir of the Xu-2 Section in the ZJ Area of Western Sichuan

Xiaoguang Wu, Jingyu Fan, Guoqing Zhu

Xinan MWD/LWD Logging Corporation, Sinopec Matrix Corporation, Chengdu Sichuan

Received: Apr. 20th, 2025; accepted: Jun. 17th, 2025; published: Jun. 30th, 2025

Abstract

The exploration level of the tight sandstone gas reservoir in the second section of the Xujiahe For-

文章引用: 吴晓光, 樊靖宇, 朱国庆. 川西 ZJ 地区须二段致密砂岩储层含气性测井评价[J]. 石油天然气学报, 2025, 47(2): 301-311. DOI: 10.12677/jogt.2025.472034

mation in the ZJ area of the western Sichuan depression is low, with thick sand bodies, strong reservoir heterogeneity, tight reservoir properties, poor reservoir conditions, difficult gas content evaluation, and weak differences in gas water and electricity properties. Conventional electrical logging methods are difficult to accurately reflect changes in reservoir gas content. Based on various data such as core analysis, logging, geology, and testing, adaptability analysis of gas bearing evaluation methods was carried out for the Xu-2 reservoir in the Zhongjiang area. By comprehensively utilizing physical information from conventional logging, dipole acoustic logging, and two-dimensional nuclear magnetic resonance logging, effective discrimination of reservoir fluid properties was carried out. Although some logging information has certain limitations in the identification of extremely complex formation fluids, by integrating various logging information and logging full hydrocarbon display data, the goal of effectively evaluating reservoir gas content has been basically achieved. The research results have effectively solved the difficult problem of gas content evaluation in the tight sandstone reservoir of the second section in ZJ area, providing technical basis for subsequent reserve upgrading, gas content evaluation of new drilling reservoirs, and natural gas benefit development.

Keywords

Gas Bearing Evaluation, Tight Clastic Rock, Member 2 of Xujiahe Formation, Zhongjiang Area, Western Sichuan Depression

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着油气勘探开发的持续深入,致密砂岩气藏已经成为鄂尔多斯盆地、四川盆地、准噶尔盆地等油气探区增储上产的重要领域。致密砂岩储层普遍具有地质条件复杂,岩性复杂,储集物性差,非均质性强等特征,在长期地质历史的压实和成岩作用下孔隙空间很局限,流体所占岩石体积含量较低,在测井信息中所占比例和贡献较少,天然气的高电阻率属性使得储层增阻响应特征不明显,流体使得致密气层的测井识别比常规砂岩气层困难,通过电阻率或者中子-声波叠合的常规方法识别评价储层含气性容易产生误判[1]-[3]。加之致密砂岩储层孔隙吼道细小,孔-吼非均质性较强,气水分布规律性差,亦增加了低孔渗致密砂岩含气性的评价难度。

针对致密砂岩储层含气性评价难度大、气水识别难度高的难题,众多学者开展了含气性方法的研究和优选。张海涛等(2010)在天然气测井响应机理研究的基础上提出了侵入分析与感应侧向联合解释法、分区图版法及气测综合判识法等气水层判识技术,使该地区气层测井解释符合率从70%左右提高到80%以上[3]。杨克兵等(2019)优选纵横波速度比-纵波时差曲线重叠方法、泊松比-体积模量曲线重叠方法,对致密砂岩储层的含气性进行了定性评价,并通过开展岩心测试实验,对阵列声波资料定量计算含气饱和度的方法进行了探讨[4]。夏晓勇等(2024)基于阵列声波测井,优选纵波时差差值法、拉梅系数-体积压缩系数曲线重叠法,对川中致密砂岩储层的含气性进行了评价[5]。王跃祥等(2023)通过开展气层测井响应敏感性研究,构建常规三孔隙度曲线差值、阵列声波高灵敏度组合流体识别因子、气测指标等多项识别参数,建立了多方法结合的致密砂岩含气性综合判识技术与解释标准[6]。

二维核磁共振测井作为近年来兴起的测井新技术,在致密储层的含气性分析方面也得到了应用,二维核磁共振测井横向弛豫时间-纵向弛豫时间(T_2 - T_1)或者横向弛豫时间-自扩散系数(T_2 -D)二维图像交

会图法判识储层流体性质具明显技术优势[7]-[9]。张世懋等(2018)在川西地区侏罗系沙溪庙组致密砂岩储层中识别储层含气性时,认为 T_2 - T_1 方法比 T_2 -D 方法更适宜[10]。杨双定等(2016)采用二维核磁共振测井 T_2 - T_1 交会方法进行了鄂尔多斯盆地致密气藏含气性识别,应用效果显著,并认为二维核磁测井较一维核磁共振测井气水识别结果具明显技术优势[11]。

在前人研究基础上,基于川西坳陷 ZJ 地区须二段储层地质特征和测井响应特征,通过常规测井、交叉偶极阵列声波测井、核磁共振测井资料等开展了含气性测井评价方法适应性分析和优选。具体通过孔隙度-饱和度交会法、孔隙度曲线重叠法、电阻率绝对值法、借助录井显示判别法等方法技术,偶极声波流体识别技术、一维核磁测井流体识别技术、二维核磁(T_2 , T_1)测井流体识别技术等开展含气性识别。通过结合试气成果,综合分析认为二维核磁测井(T_2 , T_1)、偶极声波流体识别技术在开展 ZJ 地区须二段致密砂岩储层含气性判别时具有技术优势。

2. ZJ 须二段地质背景及储层基本特征

ZJ 构造探区位于川西坳陷东部斜坡带西翼,属前陆隆起带,东临川中古隆起,西接龙泉山构造带,整体呈 NNE 走向(图 1)。ZJ 构造自 2003 年开始实施探井钻探,针对须家河组的第一口探井 CJ566 并于 2004 年顺利完钻,该井上三叠统须家河组须二段测试获得工业产能,实现须二段致密砂岩气藏勘探突破。该区陆续部署实施了 HL1 井等井,其中 HL1 井、ZJ20 井须二段测试获得工业产能。随着地质认识的深入,以及在地震层位标定、断层精细解释、测井响应特征、气藏类型、储层分段改造工艺等方面的进展,研究区于 2021 年提交了天然气预测储量近十亿方[12]。

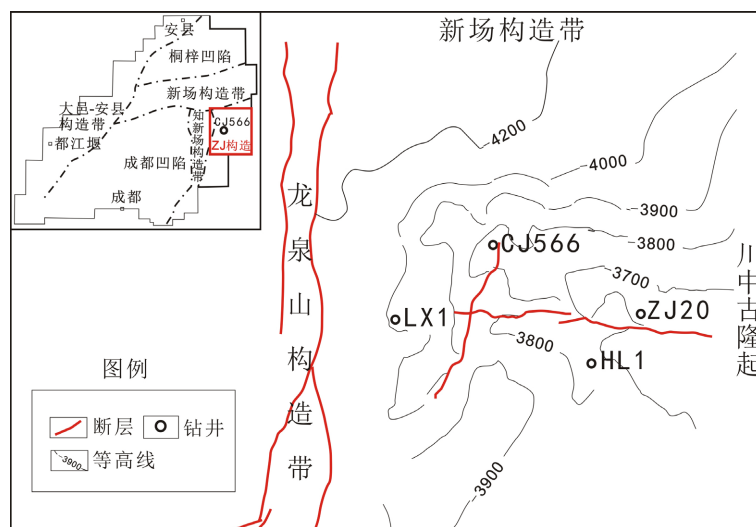


Figure 1. Geological overview and well location map of ZJ structure area (revised from reference [13])

图 1. ZJ 构造区域地质概况及井位图(据文献[13]修改)

ZJ 地区须二段以三角洲前缘沉积为主,储层主要发育在水下分流河道砂体中,平面上分布广泛。须二段气藏现今埋深 4000~4500 m,整体属于深层、超深层岩性-构造气藏,须二段砂体纵向上总厚度大,自上而下可以划分为 9 个砂组,优质储层单层厚度 3~12 m,岩性以中粒、细粒岩屑砂岩为主,其次为岩屑石英砂岩和长石岩屑砂岩,砂岩储集空间以长石、岩屑粒内溶孔及微裂缝为主,含少量的粒间溶孔,强压实作用导致残余原生孔较为少见,孤立分布,孔径细小。岩芯物性分析数据,须二孔隙度范围为 0.29%~8.62%,平均 3.72%,中值 3.31%,渗透率范围为 0.001 mD~162.0 mD,几何平均 0.09 mD,中值

0.08 mD, 属特低孔低渗透率储层; 渗透率随孔隙度增加而升高, 表现为孔隙型储层为主的特征(图 2), 实钻岩心及电成像资料显示局部井段发育裂缝 - 孔隙型储层(图 3)。

ZJ 地区须二段储层测井特征总体表现为低自然伽玛、低中子孔隙度、低密度、电阻率中 - 高值、中 - 高声波、自然电位相对负异常特征, 深、浅侧向电阻率有一定的幅度差异。测试及投产结果显示, 须二段砂体岩性纯, 基质孔隙较发育, 含气性好, 录井全烃具有较好显示, 同时斜交裂缝发育的裂缝 - 孔隙型储层测试产量较高, 以 HL1 井 TX21 砂层组裂缝孔隙度储层 4161~4174 m 为例(图 3(d)), 测试日产气 $16.07 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。经统计, 孔隙型储层在 ZJ 地区须二段占比大, 以 CJ566 井 TX23 砂组(4250~4310 m)与 TX26 砂组(4445~4474 m)孔隙型储层为例, 测试获日产气 $2.33 \times 10^4 \text{ m}^3$, 自 2005 年投产至今已累产 $1.0892 \times 10^8 \text{ m}^3$, 说明研究区孔隙性储层通过压裂改造可获得较好产能, 证明了须二段气藏具有良好的勘探潜力。

总体来说, 研究区勘探程度较低, 须二段储层物性致密, 气水响应差异微弱, 依靠常规电阻率绝对值、中子、声波及密度测井孔隙度曲线交会识别等常规测井方法判别裂缝 - 孔隙型储层含气性难度较大。

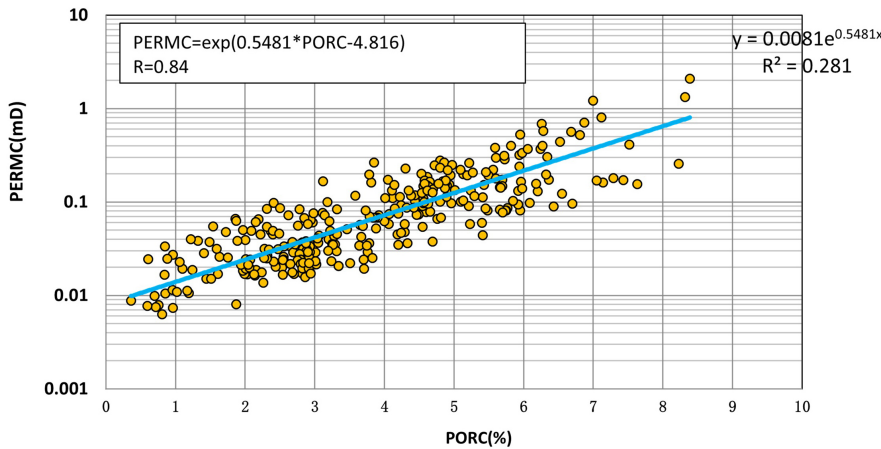


Figure 2. Crossplot of porosity and permeability of core in section 2 of ZJ region
图 2. ZJ 地区须二段岩芯孔隙度 - 渗透率交会图

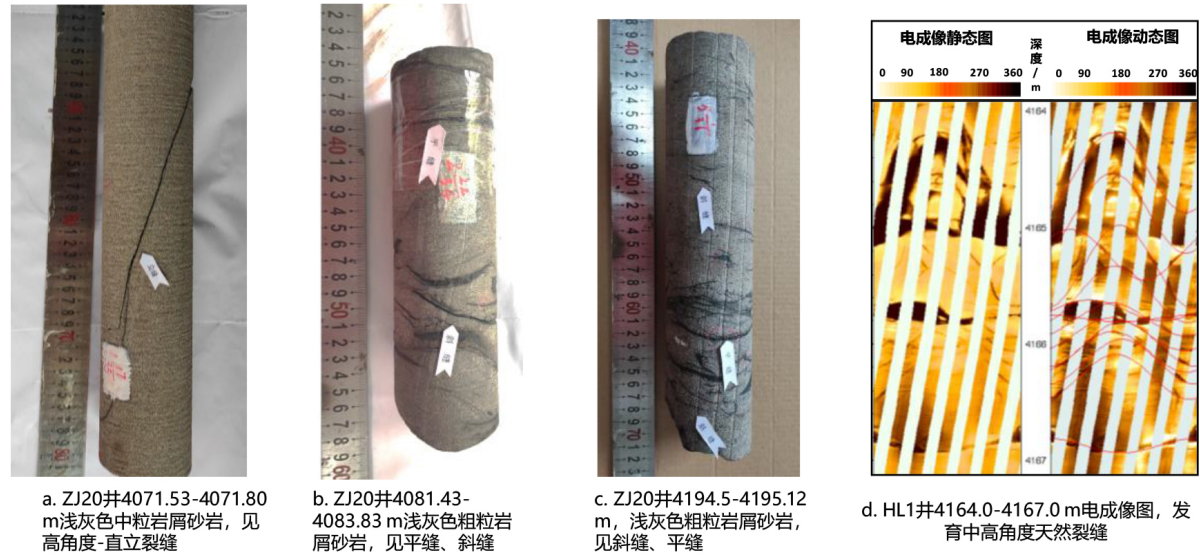


Figure 3. Core and electrical imaging logging map of the Xu-2 reservoir in ZJ area
图 3. ZJ 地区须二段储层岩心及电成像测井图

3. 含气性评价技术及适应性分析

致密碎屑岩储层含气性评价方法较多，ZJ 地区须二段储层含气性评价主要采用了基于常规测井的孔隙度 - 含水饱和度交会法、电阻率绝对值法，电阻率 - 孔隙度交会法，孔隙度曲线叠合法等；以及基于偶极声波测井的主要有纵横波速度比 - 纵波时差交会法，泊松比 - 体积模量曲线、拉梅系数 - 体积压缩系数曲线重叠法，核磁共振测井一维差谱、移谱法，二维核磁共振(T_2 , T_1)交会法。

3.1. 孔饱交会法

地层含水饱和度与孔隙度、地层电阻率、地层水电阻率等因素有关。对于含气储层，地层水处于束缚状态，地层只含束缚水，由阿尔奇公式原理可以推算出，孔隙度和束缚水饱和度的乘积趋于一个常数 [14] [15]，其原理及推算过程详见文献 [16]，此处不再赘述；此时，饱和天然气的地层中束缚水饱和度与孔隙度呈现近似反比关系，也即呈近似双曲线关系，即孔隙度增大时，束缚水饱和度降低，反之则束缚水饱和度增加；而对于含水储层，含水饱和度与孔隙度交会数据点散乱，不会有这种关系。因此，利用储层孔隙度与含水饱和度之间的相关关系程度，可以对储层含流体性质进行判别。孔饱交会法要求储层段满足岩石的导电物理模型，泥浆侵入不太深，储层厚度较大(>2.5 m)适用于孔隙型储层 [16]，对于裂缝 - 孔隙型储层的应用效果欠佳。

ZJ20 井 4370~4375 m 典型气层段(TX29)其孔隙度与含水饱和度(S_w)呈非常明显的单边双曲线关系(图 4(a)、图 5)，TX27 砂组 4290~4307 m 气水同产段孔饱交会数据点散乱，无单边双曲线特征，测试结果与储层解释结果一致，证实了该方法的适用性。

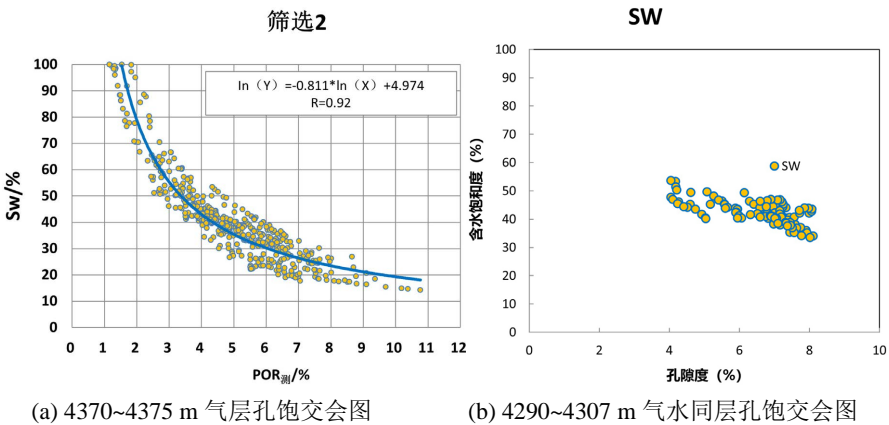


Figure 4. Typical gas layer and gas-water layer saturation intersection diagram of the second section of ZJ20 well
图 4. ZJ20 井须二段典型气层、气水同层孔饱交会图

3.2. 深侧向电阻率绝对值法

深侧向电阻率测值一般代表了原状地层电阻率，对于孔隙型储层，在岩性稳定且孔隙度、渗透率变化不大的情况下，地层电阻率值的变化主要地层岩性和孔隙中的流体 [15]。对比经过完井试气验证的气层和气水同层发现，在孔隙型气层段，须二段储层深侧向电阻率值大于 $42 \Omega \cdot m$ ，气水同层的深侧向电阻率值介于 $15 \sim 42 \Omega \cdot m$ 。对于裂缝 - 孔隙型储层，由于天然裂缝的发育以及泥浆侵入影响，裂缝 - 孔隙型储层段附近电阻率测值降低明显，导致电阻率绝对值法使用时效果不佳，在孔隙度分布曲线相似的前提下，HL1 井 TX21 砂组裂缝 - 孔隙型气层电阻率与 ZJ21 井 TX27 砂组气水同层的电阻率分布几乎重合，难以区别(图 5)。

3.3. 电阻率 - 孔隙度交会

在深侧向电阻率与孔隙度双对数交会图中, 对于岩性稳定, 地层水电阻率也稳定的储层段, 直线的可以获得一组随含水饱和度(SW)变化的平行线, 利用这组直线, 将储层段的电阻率和孔隙度数据点进行投点交会, 结合试气结果及测井数据点的分布特征开展储层含气性和流体识别(图 5)。该法与深侧向电阻率绝对值法存在同样的不足, 即在判别低电阻率区裂缝 - 孔隙型储层段含气性特征时会导致一定程度的误判。

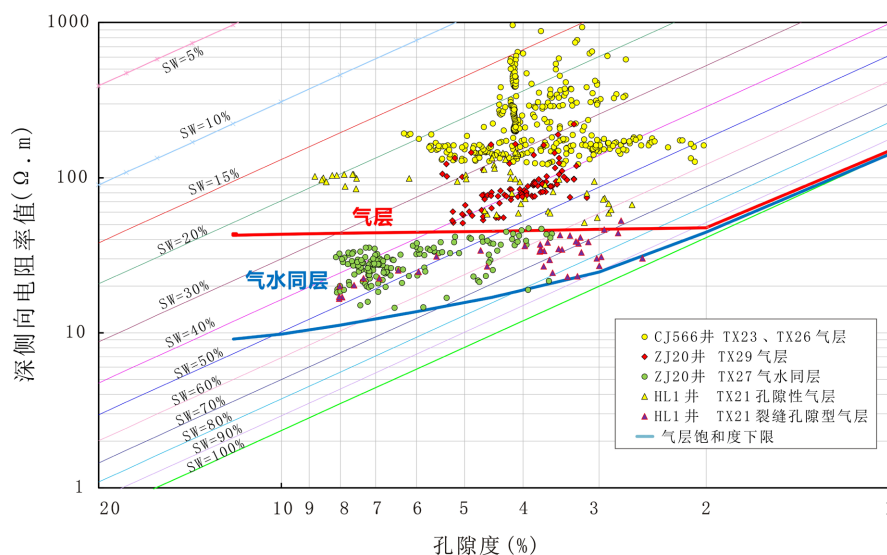


Figure 5. Crossplot of deep lateral resistivity and porosity of the second member of Xujiache Formation in ZJ area
图 5. ZJ 地区须二段深侧向电阻率 - 孔隙度交会图

3.4. 孔隙度曲线重叠法

三种孔隙度(中子、密度、补偿声波时差)测井对水层和气层的响应变化有一定差异, 其中纵波对气很敏感, 对水不敏感, 中子对气和水影响差别较大[16]。具体表现为补偿密度测井、补偿声波时差测井对气层的响应与补偿中子测井刚好相反, 即地层含气时, 中子表现出较明显“挖掘效应”, 测值偏低, 补偿密度测井与补偿声波时差测井所测得的密度孔隙度、声波孔隙度高于中子孔隙度[17]。因此, 利用补偿中子测井孔隙度与补偿密度测井、补偿声波时差测井孔隙度对气层的这种反向变化规律就可识别气层。

以 ZJ20 井须二段 TX27、TX28、TX29 砂组储层含气性评价为例, 结果表明: TX27 砂组 4290.0~4307.0 m、4309.6~4316.0 m 及 TX29 砂组 4370.4~4391.0 m 声波孔隙度、密度孔隙度均明显大于中子孔隙度, 通过声波时差与中子曲线叠加判别(图 6 第 8 道)、密度与中子曲线叠加判别(图 6 第 9 道)分析储层具有较好的含气性。该方法影响因素为岩性和井眼条件, 其中中子和密度测井曲线易受不规则井眼、井眼扩径的影响, 比如 TX27 砂组 4300~4318 m 井眼扩径严重, 密度测值偏低, 导致密度孔隙度与中子孔隙度叠加判别显示含气性很强, 实则该段测试气水同产, 含有地层水, 造成含气性判别上的偏差。

3.5. 一维核磁共振测井差谱、移谱法

核磁共振在油、气、水中的含氢量、扩散系数、纵向弛豫时间和横向弛豫时间都存在很大差异, 这些因素对核磁 T_2 分布有很大影响。采用适当测量方式突出这些因素对核磁共振结果的影响程度, 从而达到利用核磁共振测井识别流体的目的, 当前针对致密碎屑岩储层, 主要有双 TE (长、短回波间隔)核

磁测井移谱法、双 TW (长、短等待时间)核磁测井差谱法[18]。

研究区 HL1 井进行了一维核磁共振测井, 利用上述方法可以评价储层的含气性和流体性质。HL1 井 TX26 砂组 4338~4353 m 岩性为灰白色中、粗粒石英砂岩夹薄层浅灰色细粒岩屑砂岩, 电成像图显示 4338、4339、4342 m 附近见多条裂缝, 一维核磁共振测井处理解释显示长等待时间 T_2 谱谱峰幅度较大, 谱峰分布范围相对较宽, 反应基质孔隙、渗透性较好, 且以大、中孔隙为主; 差谱结果可动烃信息明显, 反应储层具有较好的含气性(图 7 第 8 道); 移谱结果显示长回波间隔 T_2 谱相对于短回波间隔 T_2 谱有前移趋势, 指示储层具有含气性(图 7 第 9 道), 核磁计算平均有效孔隙度 5.6%, 流体孔隙度 4.1%, 综合评价为裂缝-孔隙型气层。

川西致密砂岩可动水 T_2 值分布范围 40~400 ms, 天然气信号分布范围 30.0~300 ms, 气信号与可动水的 T_2 值基本相当, 当储层结构复杂且储层中含气水多种流体性质时, T_2 谱分布上气、水流体等多重信号往往重叠在一起, 一维核磁共振测井差谱和移谱法评价储层含气性会出现困难和偏差[9] [10]。

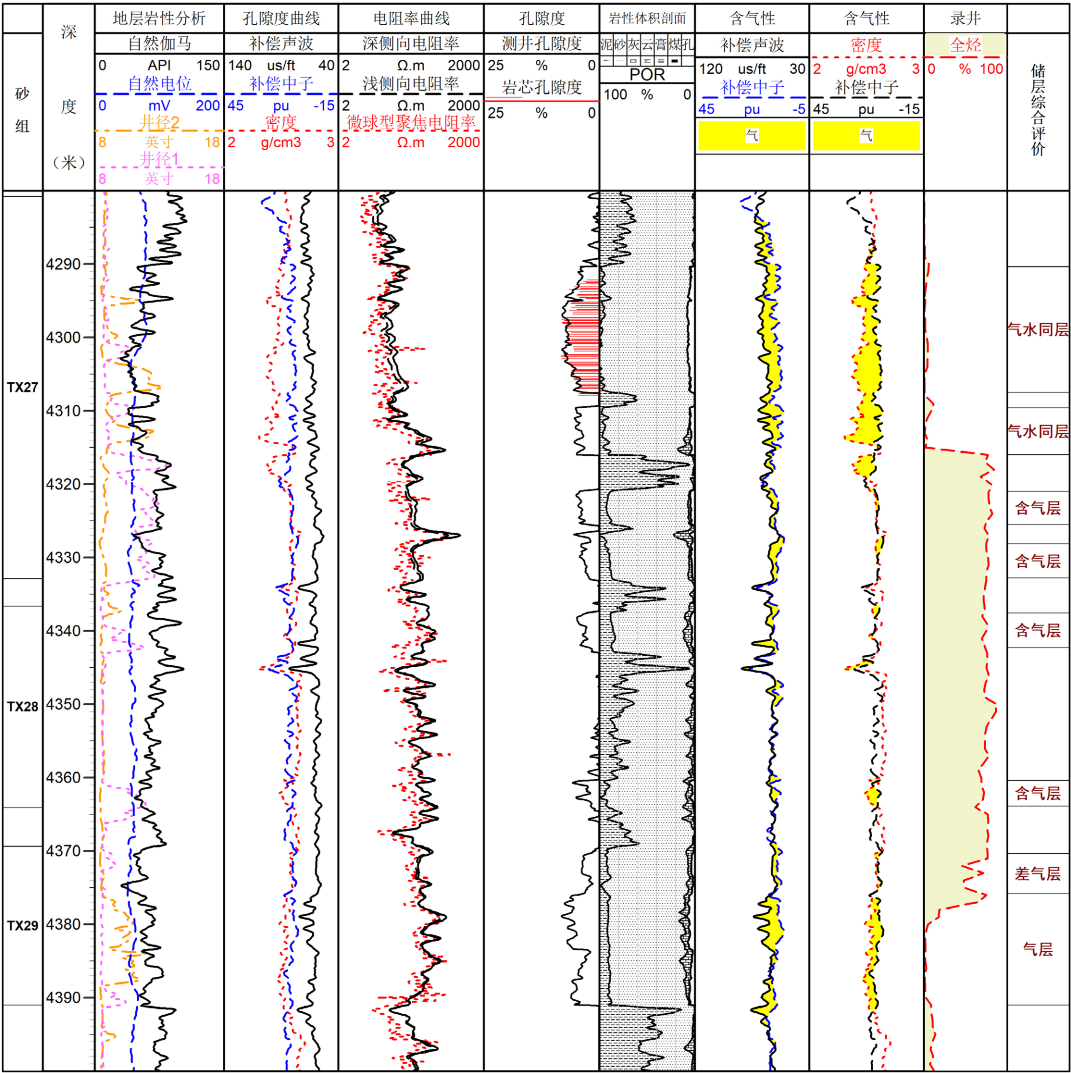


Figure 6. Well ZJ20 TX27, 28, 29 sand group reservoir gas evaluation and comprehensive interpretation of the results of the map

图 6. ZJ20 井 TX27、28、29 砂组储层含气性评价及综合解释成果图

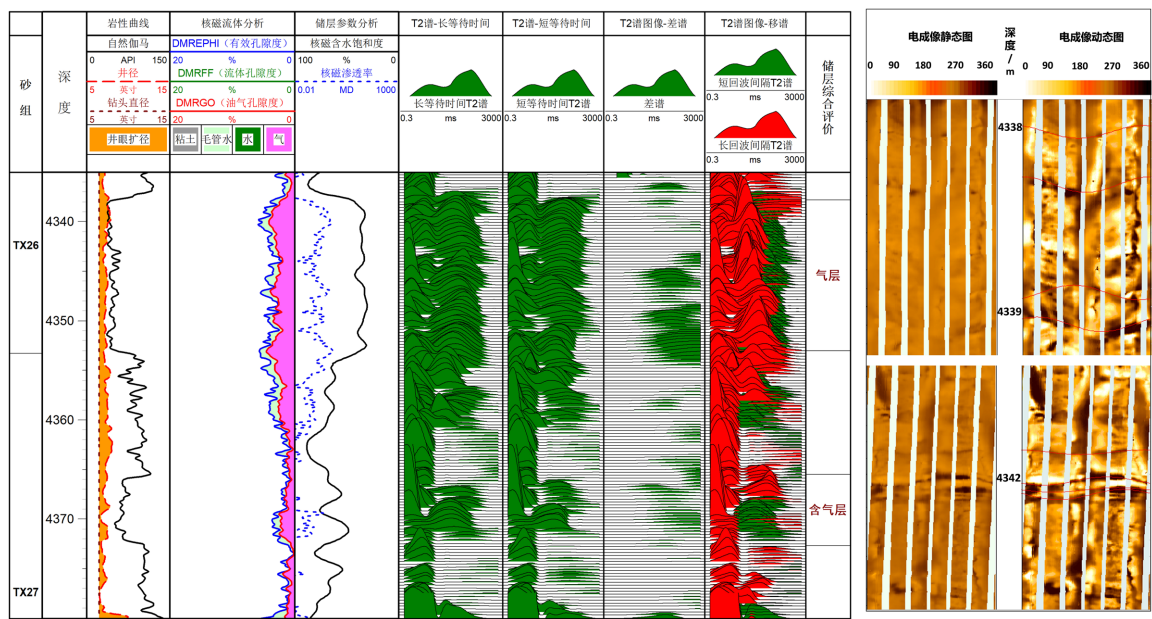


Figure 7. HL1 well TX26, TX27 sand group one-dimensional nuclear magnetic resonance reservoir fluid property discrimination results map
图 7. HL1 井 TX26、TX27 砂组一维核磁共振储层流体性质判别成果图

3.6. 二维核磁共振测井(T_2 , T_1)

二维核磁 T_2 、 T_1 气水识别交会图中左下角为黏土束缚水信号，毛管束缚水占据孔隙较黏土束缚水更大，出现在黏土束缚水的右侧，二者 $T_1/T_2(R)$ 值范围为 1~10；可动水信号出现于束缚水的上右侧， T_2 值分布范围 40~400 ms， T_1 值分布范围为 40~300 ms， R 值范围为 1~2；天然气与可动水的 T_2 值基本相当，天然气 T_1 值为多种流体中最大， T_1 值分布范围为 500~5 000 ms， R 值范围为 10~100，天然气信号出现在交会图的中上部，与其他流体信号区具显著差异[10]。ZJ20 井 TX27 砂组 4296~4304 m、4310~4315 m 交会图中可动水和可动气信号同时存在，两层储层均解释为气水同层，测试气水同产；TX29 砂组 4371.0~4388.0 m 交会图中以可动气信号为主，解释为气层，测值产气为主，不产水(见图 8)。

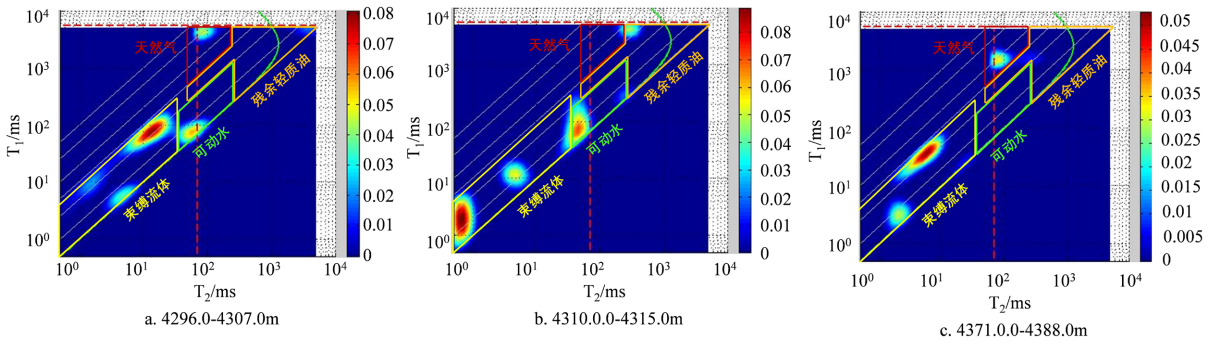


Figure 8. ZJ20 well TX27 sand group 4296.0~4307.0 m, 4310.0~4315.0 m, TX29 sand group 4371.0~4388.0 T_2 , T_1 crossplot
图 8. ZJ20 井 TX27 砂组 4296.0~4307.0、4310.0~4315.0 m、TX29 砂组 4371.0~4388.0 T_2 、 T_1 交会图

3.7. 交叉偶极声波测井法

(1) 纵横波速度比与纵波时差叠合分析

当储层含气时，气体纵波波速远小于孔隙液体及岩石骨架，少量的气就可以使纵波速度明显降低，横波速度由于对气不敏感只是略微降低或保持不变，会造成纵横波速度比值明显下降[19][20]。因此当储层含气时，可以通过纵横波速度比与纵波时差交会判别储层含气性。

(2) 体积压缩系数与拉梅系数、泊松比的叠合分析

通过偶极声波测井资料提取的纵波时差、横波时差，结合密度测井资料，可以开展岩石力学参数的连续计算，其中泊松比、体积压缩系数、拉梅系数相比纵横波速度比值对储层流体性质具有很好的敏感度，能够有效识别气层和轻质油层，且不受地层水矿化度的影响[17][19]。随地层孔隙中含气饱和度增加，地层密度降低，纵波速度会显著降低，横波速度几乎无降低，引起泊松比的减小，体积模量减小(体积压缩系数升高)，拉梅系数减小，因此可利用上述曲线叠合交会进行储层含气性检测。曾文冲等认为在孔隙度 < 8%的致密砂岩储层中上述方法仍然具有较好应用效果[19]。

ZJ21 井 TX21 砂组 4414.4~4434.1 m 岩性为灰色中、细粒石英砂岩夹薄层浅灰色细粒岩屑砂岩、灰黑色粉砂质页岩，该段储层测井孔隙度 2.0%~5.8%，中子 - 声波叠合交会(图 9 第 8 道)显示含气性差异性不强，相对优质的差气层段与含气层相比没有明显优势，通过纵横波速度比 - 纵波时差(图 9 第 9 道)交会，拉梅系数 - 体积压缩系数交会(图 9 第 10 道)，泊松比 - 体积压缩系数交会(图 9 第 11 道)识别含气性的敏感度更好，其中又以体积压缩系数与拉梅系数的敏感度最好，综合解释了 2 层差气层，4 层含气层，TX21 砂组测试获产 1.46 万方/天，证明了偶极声波测井方法在孔隙度 4%左右的特低孔渗致密砂岩含气性识别方面仍具有较好的适用性。

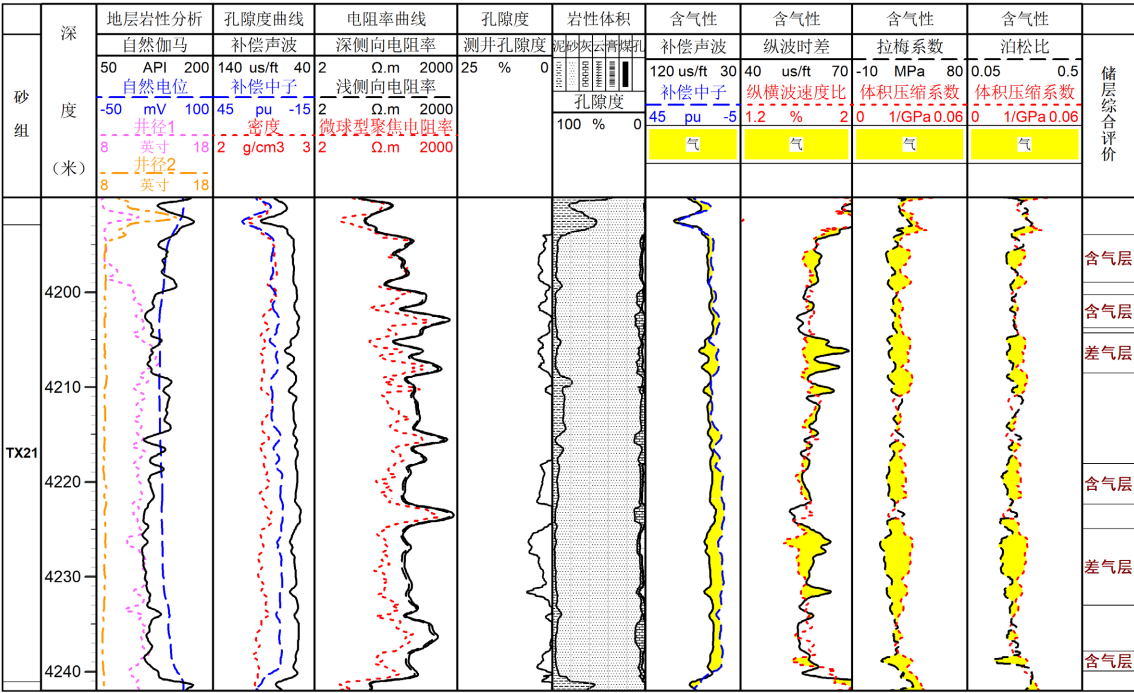


Figure 9. Identification of reservoir gas-bearing property by dipole acoustic logging intersection method in TX21 sand group of ZJ21 well

图 9. ZJ21 井 TX21 砂组偶极声波测井交会方法识别储层含气性

3.8. 含气性评价技术适应性分析

不同的含气性评价方法所采用的测井信息不同，技术特性也存在一定的差异，对不同类型储层的适

应性存在不同。研究区 6 口井共计 89 层储层进行了测试, 实际结果显示, 除了孔隙度曲线叠合法符合率较低以外, 其余方法判别含气性的符合率均高于 90%; 对于孔隙型储层, 采用常规测井、偶极声波测井、核磁共振测井方法等均可较好的识别储层的含流体性质, 对于裂缝 - 孔隙型储层, 采用孔隙度重叠法、交叉偶极声波测井法、核磁共振测井法可较好的识别储层的含流体性质(表 1)。

Table 1. Technical characteristics and adaptability analysis of gas content evaluation for the Xu-2 Tight Clastic Reservoir in ZJ Region

表 1. ZJ 地区须二段致密碎屑岩储层含气性评价技术特性及适应性分析

评价技术		技术特性	影响因素	孔隙型储层	裂缝 - 孔隙型储层	井数	储层数	符合层数	符合率
常规测井	孔饱交会法	孔隙度与束缚水饱和度的乘积为一个只与岩石孔隙结构有关的常数，气层点子呈非线性，水层点子呈线性	裂缝发育程度、孔隙度大小	适用	适用	6	89	80	90.30%
	深侧向电阻率绝对值法	便捷，直观，对低电阻水层识别准确	裂缝产状、地层水	适用	适用性差	6	89	82	92.00%
	电阻率 - 孔隙度交会	在裂缝不发育井段准确率高	裂缝产状、地层水	适用	适用性差	6	89	81	91.00%
	孔隙度曲线重叠法	岩性纯，孔隙度较高的层段准确率较高	岩性、井径	适用	适用性差	6	89	76	85%
交叉偶极声波测井	纵横波速度比与纵波时差叠合			适用	适用	6	89	85	95%
	体积压缩系数与拉梅系数叠合	岩性纯，孔隙度较高的层段准确率较高	岩性、井径、裂缝等	适用	适用	6	89	86	97%
	体积压缩系数与泊松比叠合			适用	适用	6	89	86	97%
核磁共振测井	一维差谱、移谱	孔隙结构复杂，流体性质复杂时，易引起误判	井眼、泥浆侵入、裂缝规模	适用	适用	1	15	14	93%
	二维(T ₁ /T ₂)	识别气水直观、可靠性高		适用	适用	2	35	34	98%

4. 结论

- (1) 通过常规测井方法能较好地识别川西中江地区须二段孔隙型致密砂岩储层含气性, 对于裂缝 - 孔隙型储层, 常规测井方法评价含气性具有一定劣势, 需要结合核磁共振测井、偶极声波测井技术综合分析, 其中二维核磁共振测井(T_2 , T_1)交会流体识别技术图版直观, 准确度高。
- (2) 基于偶极声波测井的含气性评价方法在孔隙度 4% 左右的特低孔渗致密砂岩含气性识别方面仍具有较好的适用性, 其中拉梅系数 - 体积压缩系数交会识别含气性的效果敏感性最好。
- (3) 不同的测井方法评价致密砂岩储层含气性均有各自的局限和优势, 在开展致密砂岩储层含气性测井评价时, 应多种方法综合分析, 同时需要结合录井气测值、钻井、岩性、岩心入水实验、岩心返潮等多种资料, 综合分析, 减少误判, 提升含气性判别、气水识别的准确性。文中含气性评价技术的研究成果为研究区新钻井须二段致密储层含气性评价提供了技术借鉴。

基金资助

中石化石油工程技术服务股份有限公司科技攻关项目 致密碎屑岩断缝体储层测录井技术研究(SG22-19K)。

参考文献

- [1] 刘登科, 孙卫, 任大忠, 等. 致密砂岩气藏孔喉结构与可动流体赋存规律——以鄂尔多斯盆地苏里格气田西区盒8段、山1段储层为例[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(12): 2136-2146.
- [2] 成志刚, 张蕾, 赵建武, 林伟川, 冯春珍, 罗少成. 利用岩石声学特性评价致密砂岩储层含气性[J]. 测井技术, 2013, 37(3): 253-257.
- [3] 杨克兵, 王连君, 刘懿, 等. 阵列声波测井评价致密砂岩气层含气性[J]. 断块油气田, 2019, 26(4): 486-490.
- [4] 张海涛, 时卓. 苏里格气田储层含水特征与测井识别方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(2): 447-454.
- [5] 夏小勇, 王跃祥, 谢冰, 等. 阵列声波测井在致密砂岩气藏含气性评价中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2024, 47(3): 77-84.
- [6] 王跃祥, 牟瑜, 谢冰, 等. 川中地区沙溪庙组致密砂岩含气性测井评价技术[J]. 测井技术, 2023, 47(1): 42-47.
- [7] 谭茂金, 邹友龙, 刘兵开, 等. 气水模型(T2, D)二维核磁共振测井数值模拟及参数影响分析[J]. 测井技术, 2011, 35(2): 130-136.
- [8] 郭书生, 李国军, 张文博, 等. MRX 二维核磁共振在南海西部低电阻率低渗透率气层评价中的应用[J]. 测井技术, 2012, 36(2): 207-210.
- [9] 谢然红, 肖立志, 邓克俊, 等. 二维核磁共振测井[J]. 测井技术, 2005, 29(5): 43-47.
- [10] 张世懋, 张哨楠, 葛祥, 等. 川西致密气藏二维核磁共振测井优化设计与应用[J]. 波谱学杂志, 2018, 35(2): 234-242.
- [11] 杨双定, 吴涛, 任小锋, 等. 二维核磁共振测井在鄂尔多斯盆地致密气藏的应用[J]. 测井技术, 2016, 40(3): 343-347.
- [12] 王亮国, 蔡李梅, 李定军, 等. 川西坳陷东坡中江回龙构造须二气藏特征[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(21): 103-105.
- [13] 吴小奇, 陈迎宾, 王彦青, 等. 四川盆地川西坳陷成都大气田致密砂岩气地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2021, 32(8): 1107-1116.
- [14] 司马立强, 郑淑芬, 罗宁, 等. 川东地区石炭系储层流体性质测井判别方法适应性分析[J]. 天然气工业, 2002(6): 45-48.
- [15] 韩济全. 用孔隙度与含水饱和度交会图识别储层流体性质[J]. 勘探地球物理进展, 2005(4): 294-296.
- [16] 司马立强, 赵冉, 王培春, 等. 普光缝洞性储层流体性质测井判别适应性[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(1): 11-15.
- [17] 吴晓光, 季凤玲, 李德才. 偶极声波测井技术应用现状及研究进展[J]. 地球物理学进展, 2016, 31(1): 380-389.
- [18] 吴见萌, 葛祥, 张筠, 等. 核磁共振测井在川西低孔隙度低渗透率储层中的应用[J]. 测井技术, 2010, 34(2): 159-163.
- [19] 曾文冲, 邱细斌, 刘学峰. 识别复杂储层流体性质的新途径[J]. 测井技术, 2014, 38(1): 11-22.
- [20] 张蕾, 成志刚, 冯春珍, 等. 致密砂岩气层识别方法研究及应用效果分析[J]. 测井技术, 2013, 37(6): 648-652.