

引用格式:贺东旭,陈志湘,张城浩,等.东营凹陷利津北带砂砾岩体储层测井评价[J].油气地质与采收率,2024,31(2):48-57.
HE Dongxu, CHEN Zhixiang, ZHANG Chenghao, et al. Logging evaluation of glutenite reservoir in north region of Lijin, Dongying Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2024, 31(2): 48-57.

东营凹陷利津北带砂砾岩体储层测井评价

贺东旭¹, 陈志湘², 张城浩³, 朱孟高⁴

(1. 中国石化胜利油田分公司 桩西采油厂, 山东 东营 257237; 2. 长江大学 地球物理与石油资源学院, 湖北 武汉 430000;
3. 中国石化胜利油田分公司 胜利采油厂, 山东 东营 257029; 4. 中国石化胜利油田分公司 滨南采油厂, 山东 滨州 256606)

摘要: 东营凹陷利津北带砂砾岩体储层矿物组分复杂, 物性参数解释精度低, 油、干层界限难以界定。基于测井、录井、试采、分析化验等资料, 采用交会图版识别和雷达图模式识别岩性方法, 较好地地区分了砂砾岩体岩性。在岩性识别、含油产状分析、试采资料分析基础上, 分别建立了砾岩类和碳酸盐岩类有效储层的物性和电性下限。结合试采资料, 建立了利津北带砂砾岩体有效储层分级解释图版与评价标准。分别建立了砾岩类和碳酸盐岩类储层孔隙度和渗透率参数模型, 为利津北带复杂砂砾岩体储层提供定量评价方法。该研究成果在利津北带砂砾岩体投产井中得到了应用验证, 效果良好。

关键词: 砂砾岩体; 交会图; 雷达图; 有效储层; 孔隙度; 渗透率; 定量评价

文章编号: 1009-9603(2024)02-0048-10

DOI: 10.13673/j.pgre.202209063

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Logging evaluation of glutenite reservoir in north region of Lijin, Dongying Sag

HE Dongxu¹, CHEN Zhixiang², ZHANG Chenghao³, ZHU Menggao⁴

(1. Zhuangxi Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257237, China;
2. College of Geophysics and Petroleum Resources, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430000, China; 3. Shengli Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257029, China; 4. Binnan Oil Production Plant, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Binzhou City, Shandong Province, 256606, China)

Abstract: Glutenite reservoirs in the north region of Lijin, Dongying Sag have complex mineral components, resulting in the low accuracy of the interpretation of physical parameters and the difficulty of defining the boundary of oil and dry layers. Based on the data of logging, mud logging, production test, and analysis testing, this paper combined crossplot chart identification with radar pattern recognition mode to effectively distinguish glutenite lithology in the area. Based on the lithology identification, oil-bearing occurrence analysis, and testing data analysis, this paper established the lower limits of physical and electrical properties of effective conglomerate and carbonate reservoirs. Combining with the production test data, this paper constructed the interpretation chart of classification and evaluation standard of the effective reservoir of glutenite in the north region of Lijin, Dongying Sag, and built the porosity and permeability parameter models of conglomerate and carbonate reservoirs, respectively, which provided a quantitative evaluation method for complex glutenite reservoirs in the north region of Lijin, Dongying Sag. The application has verified the research in the production wells of glutenite reservoirs in the north region of Lijin, Dongying Sag, and the results are promising.

Key words: glutenite; crossplot chart; radar pattern; effective reservoir; porosity; permeability; quantitative evaluation

收稿日期: 2022-09-17。

作者简介: 贺东旭(1984—), 男, 湖北钟祥人, 高级工程师, 硕士, 从事油气田开发工程等相关科研及现场生产经营管理工作。E-mail: he-dongxu.slyt@sinopec.com。

利津北带位于东营凹陷北部陡坡带西段郑南斜坡带,勘探面积约为150 km²。其中深层砂砾岩体油藏为滨南油田增储上产主阵地,利88—利斜939一带沙四段上亚段纯下次亚段1-2砂组储层升级为2 000×10⁴t,利910井沙四段上亚段纯下次亚段3砂组新增控制储量为500×10⁴t,油气资源丰富。研究区沙四段上亚段发育于湖盆边部,为深水浊积扇沉积。根据全岩矿物X衍射分析资料,砂砾岩体矿物组分复杂,主要矿物组分为长石和石英,其次为白云石和方解石,且石英和长石含量相近,颗粒之间填隙物由杂基和胶结物组成,胶结物以白云石为主。受沉积环境和相带的制约,利津北带砂砾岩体岩性多样且复杂。

砂砾岩体储层主要表现为矿物组分多、岩石内部结构复杂、粒径变化范围大、分选差、埋藏深、非均质性强等特点^[1-2]。储层的低孔低渗透特性导致孔隙度、渗透率参数测井解释精度低,有效储层难以识别,油、干层识别困难;储层的电阻率因岩石骨架贡献大、孔隙流体贡献小,导致油、水层的电阻率差异小,油、水层识别困难^[3]。从而使得常规测井序列适应性差,解释符合率低,解释结论对试油方案指导性弱^[4]。核磁、成像等现代测井系列解释精度虽然高,但受制于国际原油价格和油田经营指标成本的限制,无法普及使用。由于不同地区的差异性和砂砾岩体储层油藏本身的复杂性,目前中国还没有精准完善的针对砂砾岩体复杂储层的测井评价方法,常规商业化测井解释软件难以区分砂砾岩体的岩性特征、难以识别有效储层和区分流体性质,因此针对砂砾岩体储层的测井评价一直被公认为难题^[5-6]。

针对上述问题,笔者根据利津北带油区大多采用的传统测井系列,结合已有的钻井取心、录井、化验分析、试油、试采等资料,通过交会图版、雷达图形模式、测井响应特征等识别岩性方法,形成一套砂砾岩体储层类型划分标准和测井解释图版;用多元线性回归和非线性校正方法,建立砂砾岩体储层物性(孔隙度、渗透率)参数计算模型及评价方法;综合上述研究方法最终形成了利津北带砂砾岩体储层多数据融合的测井评价技术。项目的研究成果在利津北带砂砾岩体投产井中得到了应用验证,效果良好,该方法具有一定的创新性,为滨南采油厂利津北带沙四段上亚段砂砾岩体油藏增储上产提供了技术支撑和指导作用。

1 砂砾岩体岩性识别方法

依据利津北带砂砾岩体的856个岩心样品描述资料,其主要岩性类别包含砾岩、碳酸盐岩、砂岩、泥岩4类,其中砾岩类岩性主要包括砾岩、含砾砂岩、含砾泥质砂岩等;碳酸盐岩类岩性主要包括白云岩、白云质砂岩、灰质砂岩、白云质泥岩等;砂岩类岩性主要包括粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩等;泥岩类岩性主要包括泥岩(黏土岩)、泥质(粉、细)砂岩、砂质泥岩等。砂砾岩体岩性类别的多样性和矿物组分的复杂性,使得依据测井响应特征识别岩性存在较大困难。从已知岩性的实物岩心样品出发,开展岩心深度与测井曲线深度归位,分析提取砂砾岩体已知岩性的多维测井响应特征,利用岩心刻度测井的分析思维,采用较为直观的交会图版或雷达图形模式识别岩性方法,能够较好地用测井手段来定性识别砂砾岩体主要岩性,且应用效果良好。本文重点对较难识别的砂砾岩体中的砾岩类和碳酸盐岩类2类岩性进行了识别方法分析与应用。

1.1 交会图版岩性识别方法

1.1.1 砾岩类

利用利91、利911、利912、利98、利98、利深101等6口井62个岩心样本描述资料和测井资料,通过岩心归位,建立砾岩类主要岩性与声波时差、密度、中子孔隙度测井曲线的相关关系,利用声波时差/密度交会、声波时差/中子孔隙度交会、中子孔隙度/密度交会等多组交会图识别砾岩类主要岩性(图1)。

由图1a可知:砾岩主要分布在密度为2.52~2.7 g/cm³,声波时差为54~65 μs/ft的区域;含砾砂岩主要分布在密度为2.39~2.59 g/cm³,声波时差为67~103 μs/ft的区域;含砾泥质砂岩主要分布在密度为2.51~2.66 g/cm³,声波时差为75~108 μs/ft的区域。交会图总体特征表现为:3种岩性从图版左上角至右下角呈放射状分布,其中砾岩较集中分布在图版左上角区域,含砾砂岩集中分布在图版右侧下半部分,含砾泥质砂岩集中分布在图版右侧上半部分。3种岩性均能够较好区分。

由图1b可知:砾岩主要分布在中子孔隙度小于15%,声波时差为54~65 μs/ft的区域;含砾砂岩主要分布在中子孔隙度为10%~30%,声波时差为67~103 μs/ft的区域;含砾泥质砂岩主要分布在中子孔

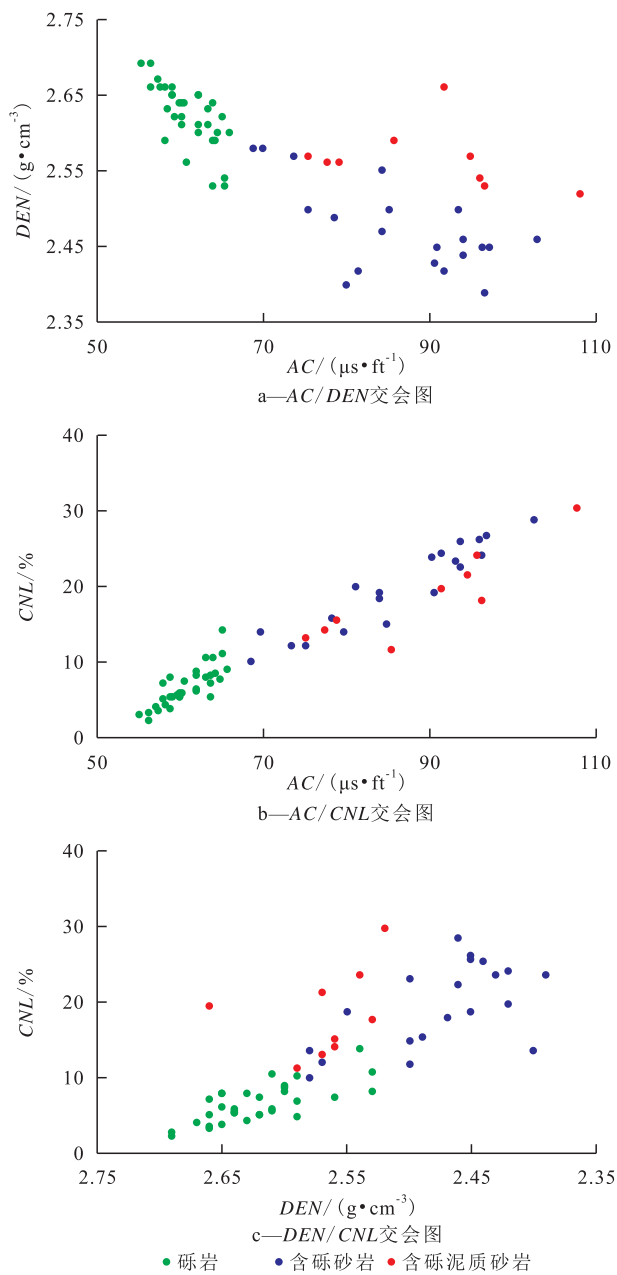


图1 砾岩类主要岩性交会图版

Fig.1 Crossplot chart of primary lithologies of conglomerate reservoirs

隙度为11%~30%,声波时差为75~108 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域。交会图总体特征为:3种岩性散点呈线性上翘带状分布,其中砾岩分布较集中,靠图版左下角;含砾砂岩集中分布在图版右侧偏上半部分;含砾泥质砂岩集中分布在图版右侧偏下半部分。3种岩性中,砾岩与含砾砂岩、含砾泥质砂岩能够较好区分,含砾砂岩与含砾泥质砂岩不易区分。

由图1c可知:砾岩主要分布在中子孔隙度小于15%,密度为2.52~2.7 g/cm^3 的区域;含砾砂岩主要分布在中子孔隙度为10%~30%,密度为2.39~2.59 g/cm^3 的区域;含砾泥质砂岩主要分布在中子孔隙度

为11%~30%,密度为2.51~2.66 g/cm^3 的区域。交会图总体特征为:3种岩性从图版左下角至右上角呈放射状分布,其中砾岩分布较集中,靠图版左下角;含砾砂岩集中分布在图版右侧;含砾泥质砂岩集中分布在图版中部偏上部分。3种岩性中,砾岩与含砾砂岩、含砾泥质砂岩能够较好区分,含砾砂岩与含砾泥质砂岩区分较难。

以上分析认为:砾岩、含砾砂岩、含砾泥质砂岩两两岩性区分,采用图1a交会图版识别岩性方法较适用。砾岩与含砾砂岩、砾岩与含砾泥质砂岩区分,采用图1中的3种交会图版识别岩性方法均适用。

1.1.2 碳酸盐岩类

利用利91、利911、利912、利98、利981、利深101、利深102等7口井41个岩心样本描述资料和测井资料,通过岩心归位,建立碳酸盐岩类主要岩性与声波时差、密度、中子孔隙度的相关关系,建立声波时差/密度交会、声波时差/中子孔隙度交会、中子孔隙度/密度交会等多组交会图识别碳酸盐岩类主要岩性图版(图2)。

由图2a可知:白云岩主要分布在密度大于2.65 g/cm^3 ,声波时差小于60 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域;白云质砂岩主要分布在密度为2.48~2.75 g/cm^3 ,声波时差为57~72 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域;灰质砂岩主要分布在密度为2.48~2.62 g/cm^3 ,声波时差为68~80 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域;白云质泥岩主要分布在密度小于2.60 g/cm^3 ,声波时差大于87 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域。交会图总体特征为:从左上角至右下角,岩性依次为白云岩、白云质砂岩、灰质砂岩和白云质泥岩,4种岩性能够较好区分。

由图2b可知:白云岩主要分布在中子孔隙度小于18%,声波时差小于60 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域;白云质砂岩主要分布在中子孔隙度为5%~20%,声波时差为57~72 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域;灰质砂岩主要分布在中子孔隙度为12%~20%,声波时差为68~80 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域;白云质泥岩主要分布在中子孔隙度大于17%,声波时差大于87 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 的区域。交会图总体特征为:从左下角至右上角,岩性依次为白云岩、白云质砂岩、灰质砂岩和白云质泥岩,4种岩性能够较好区分。

由图2c可知:白云岩主要分布在中子孔隙度小于18%,密度大于2.65 g/cm^3 的区域;白云质砂岩主要分布在中子孔隙度为5%~20%,密度为2.48~2.75 g/cm^3 的区域;灰质砂岩主要分布在中子孔隙度为12%~20%,密度为2.48~2.62 g/cm^3 的区域;白云质泥岩主要分布在中子孔隙度大于17%,密度小于

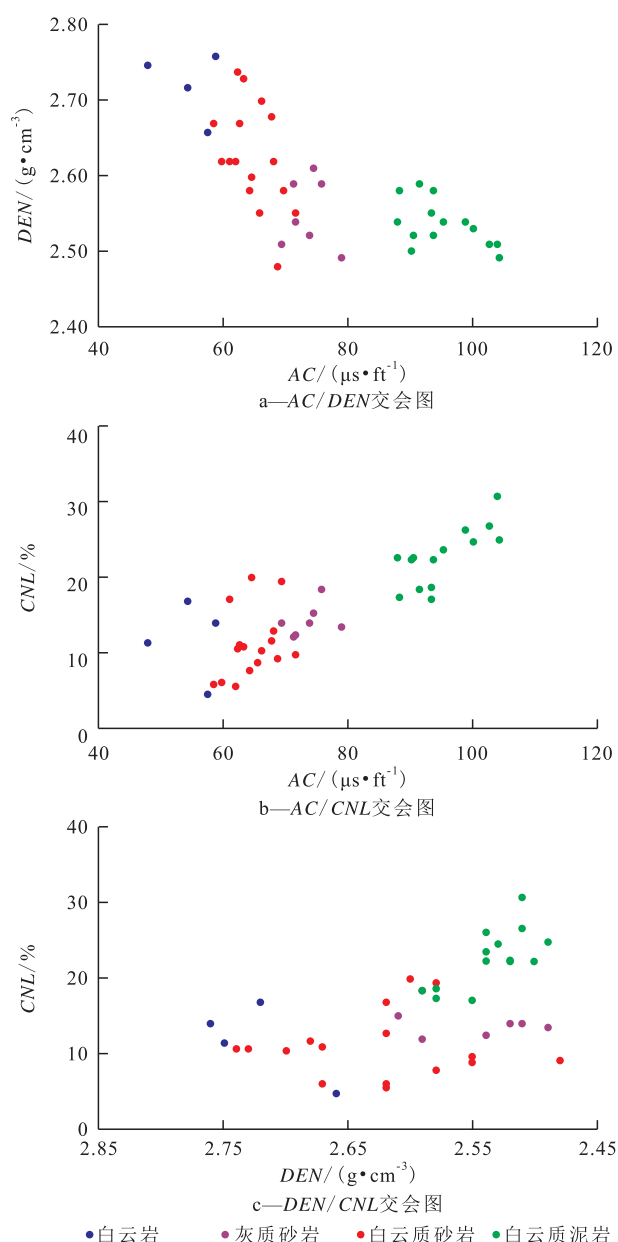


图2 碳酸盐岩类主要岩性交会图版

Fig.2 Crossplot chart of primary lithologies of carbonate reservoirs

2.60 g/cm^3 的区域。交会图总体特征为:白云岩集中在最左侧,中间区域至右侧,上半部区域,4种岩性中除了白云质砂岩与灰质砂岩区分度较差外,两两岩性均能够较好区分。

白云质砂岩与灰质砂岩区分,采用图2a和2b交会图版识别岩性方法适用;其他两两岩性的区分,采用图2中的3种交会图版识别岩性方法均适用。

1.2 雷达图形模式岩性方法

1.2.1 雷达图形绘制

将对岩性敏感的自然伽马(GR)、声波时差、中子孔隙度和密度测井响应定义为4个维度参数(图

3,图4),按顺序将 ΔGR 定义为维度“1”,将 ΔAC 定义为维度“2”,将 ΔCNL 定义为维度“3”,将 ΔDEN 定义为维度“4”,使四维数据在同一个量级变化,4个维度参数定义如下:

$$\Delta GR = 0.1GR \quad (1)$$

$$\Delta AC = 0.1AC \quad (2)$$

$$\Delta CNL = 0.34CNL \quad (3)$$

$$\Delta DEN = 10.0DEN - 20 \quad (4)$$

将一组四维岩性敏感测井响应参数作为一个系列,采用相同刻度,绘制雷达图形。用雷达图形模式展示某种岩性特征,达到岩性识别的目的。

1.2.2 砾岩类主要岩性雷达图形模式

利用岩心描述资料,通过岩心归位,建立砾岩类的主要岩性与岩性敏感测井曲线相关关系,分别对已知的砾岩类主要岩性建立雷达图形模式。

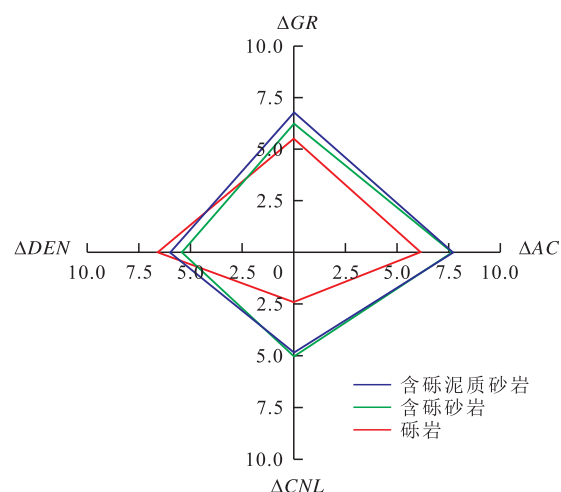


图3 砾岩类主要岩性雷达图形模式

Fig.3 Radar pattern recognition modes of primary lithologies of conglomerate reservoirs

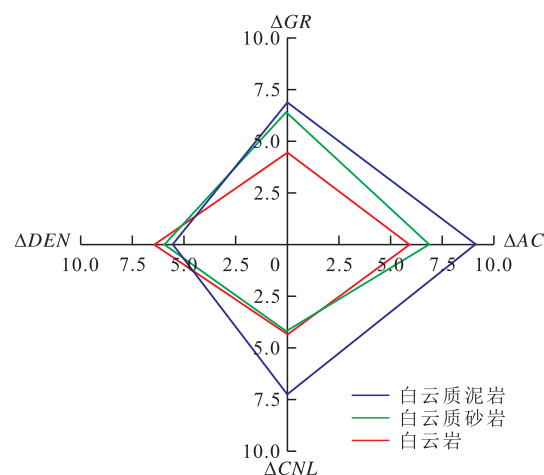


图4 碳酸盐岩类主要岩性雷达图形模式

Fig.4 Radar pattern recognition modes of primary lithologies of carbonate reservoirs

由图3可知,在相同雷达坐标条件下,砾岩、含砾砂岩、含砾泥质砂岩3种岩性两两之间的雷达图形形态和大小差异明显,表明采用雷达图形模式能够较好区分出这3种岩性。按照雷达图形模式判别岩性,能够识别出未知岩石的岩性特征。

1.2.3 碳酸盐岩类主要岩性雷达图形模式

由图4可知,在相同雷达坐标条件下,白云岩、白云质砂岩、白云质泥岩3种岩性两两之间的雷达图形形态和大小差异性明显,表明采用雷达图形模式能够较好区分出这3种岩性。按照雷达图形模式识别岩性,能够判别出未知岩石的岩性特征。

2 砂砾岩体有效储层识别测录井综合解释方法

2.1 砂砾岩体有效储层物性与电性下限界定

含油级别主要包括荧光、油迹、油斑、油浸等。统计研究区的试油资料,认为具有荧光级别以上油气显示的井大部分能获得工业油流,表明砂砾岩体储层的油气显示与有效储层具有一定相关性。由此,将荧光级别以上作为划分砂砾岩体有效储层含油级别下限。

将具有一定级别油气显示或获工业油流的层段,利用测井曲线建立砂砾岩体有效储层物性与电性交会图,以确定具有良好油气显示的储层物性与电性的边界与范围。

砾岩类 利用研究区利91、利911、利912、利98、利981、利988、利深101等7口井砾岩类储层样本,分别制作声波时差/电阻率交会图、密度/电阻率交会图、中子孔隙度/电阻率交会图,建立砾岩类有效储层物性与电性下限界定图版(图5)。其物性下限为:声波时差不低于52 $\mu\text{s}/\text{ft}$,密度不高于2.7 g/cm^3 ,中子孔隙度不低于2%;电性下限为:电阻率不低于2 $\Omega\cdot\text{m}$ 。

碳酸盐岩类 利用利91、利911、利912、利98、深102等5口井碳酸盐岩类储层样本,分别制作声波时差/电阻率交会图、密度/电阻率交会图、中子孔隙度/电阻率交会图,建立碳酸盐岩类有效储层物性与电性下限界定图版(图6)。其物性下限为:声波时差不低于58 $\mu\text{s}/\text{ft}$,密度不高于2.74 g/cm^3 ,中子孔隙度不低于5%;电性下限为:电阻率不低于4 $\Omega\cdot\text{m}$ 。

2.2 砂砾岩体有效储层分级解释图版与评价标准

利津北带沙四段砂砾岩体储层现阶段测井解释以油层、差油层、干层为主,储层含油性特点表现

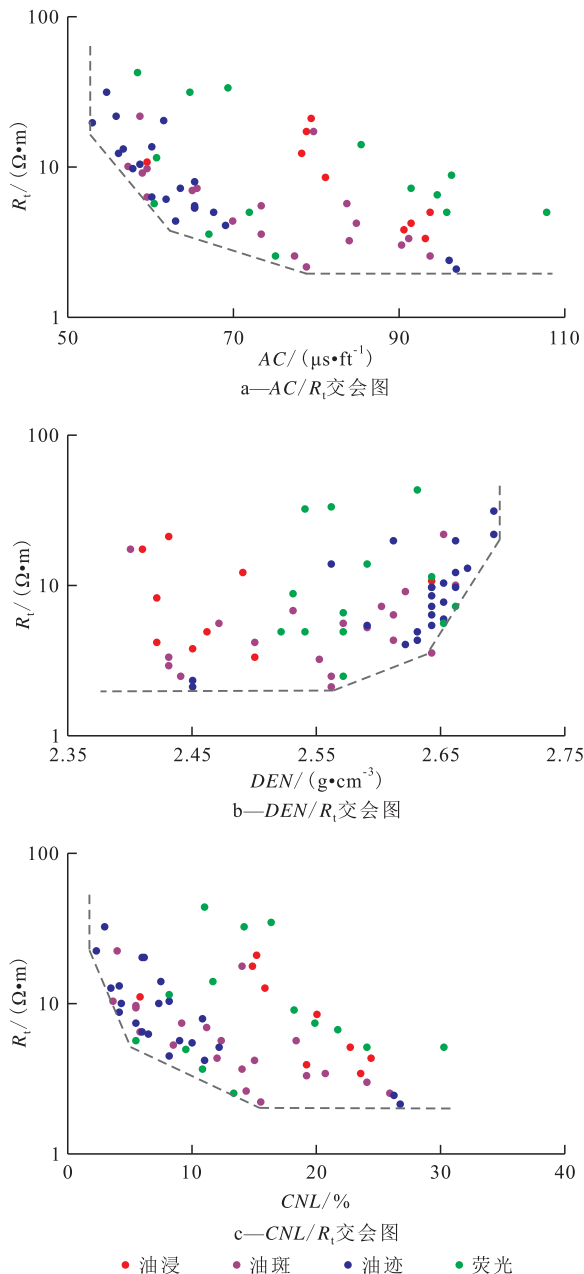


图5 砾岩类有效储层物性与电性下限界定图版
Fig.5 Chart for defining lower limits of physical and electrical properties of effective conglomerate reservoirs

为“非油即干”,如何区分油、干层界限,识别有效储层与储层分级是难点。通过研究物性与含油性敏感测井响应参数,将敏感的测井响应参数与试油结果紧密结合,采用统计分析方法,建立有效储层识别测井解释标准与储层分级测井解释图版^[7]。

通过对该井区测井资料综合分析,得到沙四段储层含油性敏感测井响应参数为电阻率,物性敏感测井响应参数为中子孔隙度、声波时差、密度等。通过建立图版将储层的含油性与物性结合起来,以划分储层级别和流体性质判别。

利用试油结果对储层进行分级,日产油量 ≥ 10

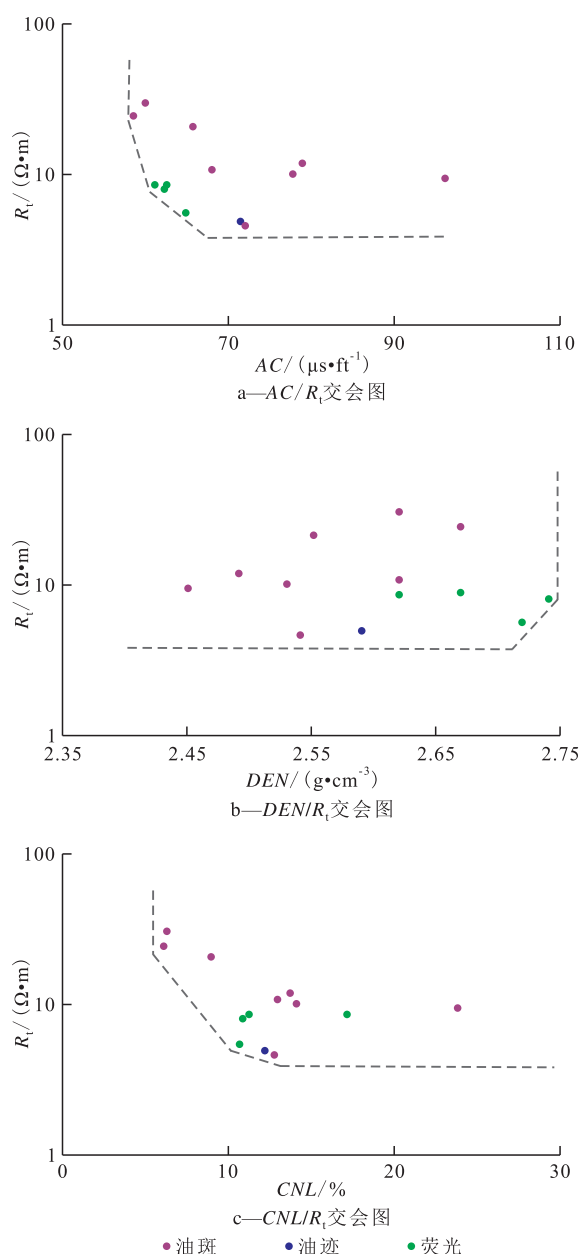


图6 碳酸盐岩类有效储层物性与电性下界限定图版

Fig.6 Chart for defining lower limits of physical and electrical properties of effective carbonate reservoirs

m^3/d 为I类油层(高产工业油流), $5 \sim 10 m^3/d$ 为II类油层(工业油流), $1 \sim 5 m^3/d$ 为III类油层(低产油流), $< 1 m^3/d$ 为干层。测井响应与试油资料结合, 建立砂砾岩体有效储层分级测井解释图版(图7), 均能够较好划分有效储层油、干层界限与有效储层分级界限。有效储层油、干层界限测井识别标准: 孔隙度 $\geq 7\%$, 声波时差 $\geq 56 \mu s/ft$, 密度 $\leq 2.65 g/cm^3$; I类油层识别标准: 电阻率 $\geq 3 \Omega \cdot m$, 孔隙度 $\geq 11\%$, 声波时差 $\geq 72.5 \mu s/ft$, 密度为 $\leq 2.54 g/cm^3$; II类油层识别标准: 电阻率 $\geq 3 \Omega \cdot m$, 孔隙度为 $9\% \sim < 11\%$, 声波时差为 $66.5 \sim 72.5 \mu s/ft$, 密度为 $< 2.54 \sim 2.58 g/cm^3$; III类油层识别标准: 电阻率 $\geq 3 \Omega \cdot m$, 孔隙度为 $7\% \sim <$

9% , 声波时差为 $56 \sim < 66.5 \mu s/ft$, 密度为 $2.58 \sim < 2.65 g/cm^3$ 。

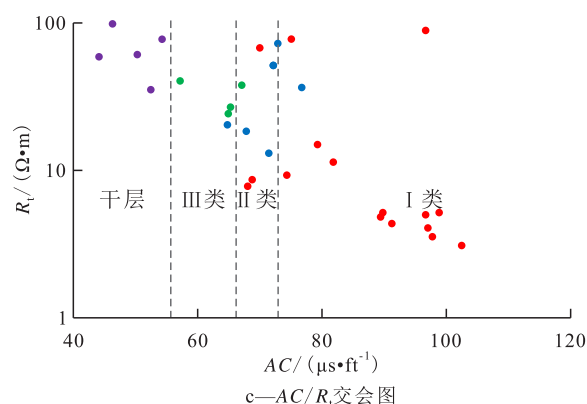
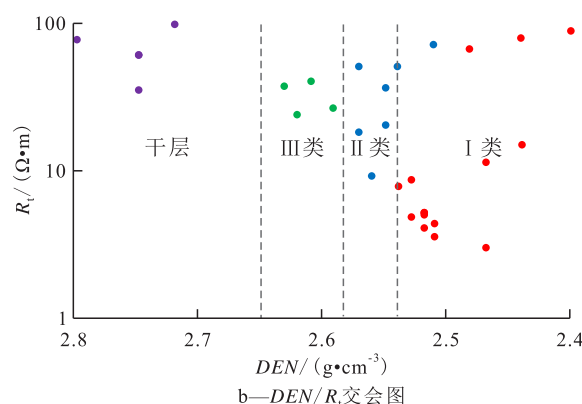
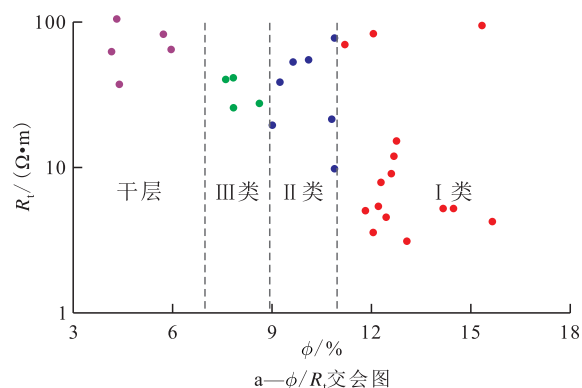
2.3 砂砾岩体有效储层物性参数计算模型建立

2.3.1 砾岩类有效储层物性参数计算模型

2.3.1.1 孔隙度计算模型与检验

采用多元线性回归与非线性校正方法, 建立砾岩类储层孔隙度计算模型^[8]。

首先利用岩心物性数据, 结合测井资料, 通过岩心归位, 利用利91、利911、利912、利98、利988等5口井的75个岩心样本点实测孔隙度与对应的



● I类油层: 利91、利98、利988井 ● III类油层: 利91、利98、利深101井
● II类油层: 利91、利98、利988井 ● 干层: 利深101井

图7 砂砾岩体有效储层分级测井解释图版

Fig.7 Logging interpretation chart of effective glutenite reservoir classification

声波时差、中子孔隙度和密度测井曲线,采用多元线性回归得到砾岩类孔隙度计算模型,其表达式为:

$$\phi_{\text{cong-MLR}} = 0.050AC + 0.146CNL - 20.327DEN + 56.390 \quad (5)$$

该方法计算的孔隙度平均绝对误差为1.68%,多元复合相关系数为0.904,但与实测岩心孔隙度局部误差较大,由此进一步与实测数据进行非线性校正。

在多元线性回归方法的基础上,对孔隙度与实测岩心孔隙度进行非线性校正(图8a),得到砾岩类有效储层孔隙度校正模型,其表达式为:

$$\phi_{\text{cong-corr}} = 0.0186\phi_{\text{cong-MLR}}^2 + 0.6342\phi_{\text{cong-MLR}} + 2.0179 \quad (6)$$

通过二次校正后,采用砾岩类储层有效孔隙度校正模型,与75个岩心样品实测孔隙度进行比对,平均绝对误差为1.3%,回归相关系数达0.9027,砾岩类有效储层孔隙度计算模型精度得以明显提高。

图8b可知,模型计算孔隙度与样本实测孔隙度基本位于图版对角线(45°)两侧,表明模型精度较高。

2.3.1.2 渗透率计算模型与检验

利用岩心物性数据,结合测井资料,通过岩心归位,利用利91、利911、利912、利98、利988等5口井的38个样本,采用非线性回归建立了砾岩类有效储层渗透率模型^[9]:

$$K_{\text{cong}} = 0.0522e^{0.4142\phi} \quad (7)$$

由图9a可知,相关系数达0.9163,平均绝对误差小于或在同一个数量级范围内,模型精度较高。由图9b可知,模型计算渗透率与样本实测渗透率基本位于图版对角线(45°)两侧,表明模型精度较高。

2.3.2 碳酸盐岩类有效储层物性参数计算模型

2.3.2.1 孔隙度计算模型与检验

利用利91、利911、利912等3口井12个岩心样本的物性数据,结合测井资料,通过岩心归位,采用多元线性回归方法,建立了碳酸盐岩类有效储层孔隙度计算模型:

$$\phi_{\text{carb-MLR}} = 0.379AC - 0.544CNL + 6.991DEN - 29.072 \quad (8)$$

该模型计算的多元复合相关系数为0.798,且多元模型计算的孔隙度与岩心样品实测孔隙度平均绝对误差为0.75%,表明模型可靠。

图10a—10c分别采用声波时差、中子孔隙度、密度3个单因素与孔隙度(岩心样品实测孔隙度或模型计算孔隙度)交会,在同一张图进行岩心样本

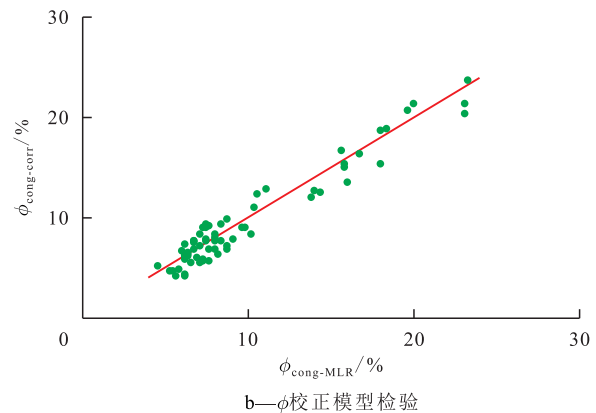
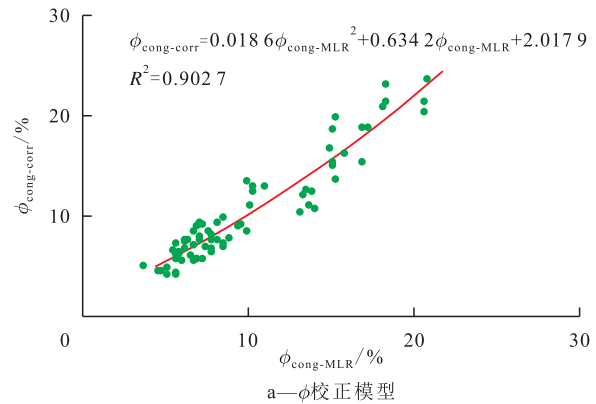


图8 砾岩类有效储层孔隙度校正模型与检验
Fig.8 Porosity model and verification of effective conglomerate reservoirs

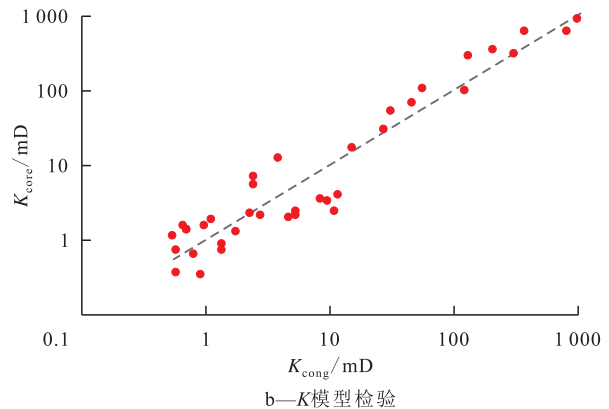
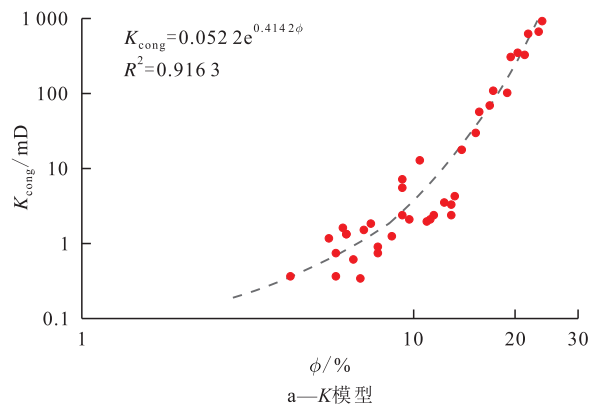


图9 砾岩类有效储层渗透率模型与检验
Fig.9 Permeability model and verification of effective conglomerate reservoirs

模型计算孔隙度与样本实测孔隙度重叠性检验,3张图版均显示模型计算孔隙度与样本实测孔隙度重叠性好,进一步表明模型可信度高。由图10d可知,模型计算孔隙度与样本实测孔隙度基本位于图版对角线(45°)两侧,表明模型精度较高。

2.3.2.2 渗透率计算模型与检验

利用岩心物性数据,结合测井资料,通过岩心归位,利用利91,利911,利912等3口井的12个样本,采用非线性回归建立了碳酸盐岩类有效储层渗透率计算模型^[10]。图11a为碳酸盐岩类有效储层样本实测渗透率与样本实测孔隙度非线性回归关系,其相关系数达0.832 9,平均绝对误差小于或在同一

个数量级范围内,模型精度较高。其渗透率计算模型为:

$$K_{\text{carb}} = 0.0038e^{0.6096\phi} \quad (9)$$

由图11b可知,该模型计算的渗透率与样本实测渗透率基本位于图版对角线(45°)两侧,表明模型精度较高。

3 应用效果

选取利津北带10口井沙四段上亚段砂砾岩体储层,其中,新利深1井为砂砾岩体储层评价井,该井录井显示较弱,原测井解释以干层或油干层为

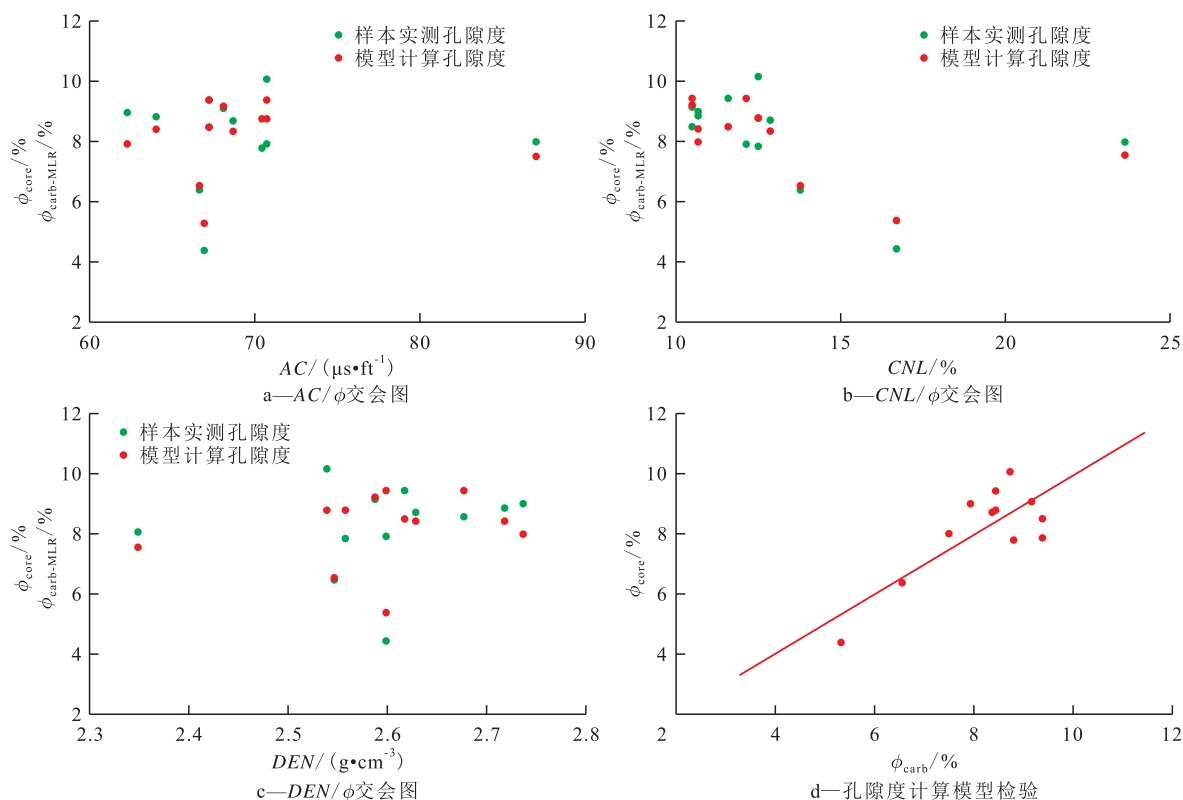


图10 碳酸盐岩类有效储层孔隙度模型与检验

Fig.10 Porosity model and verification of effective carbonate reservoirs

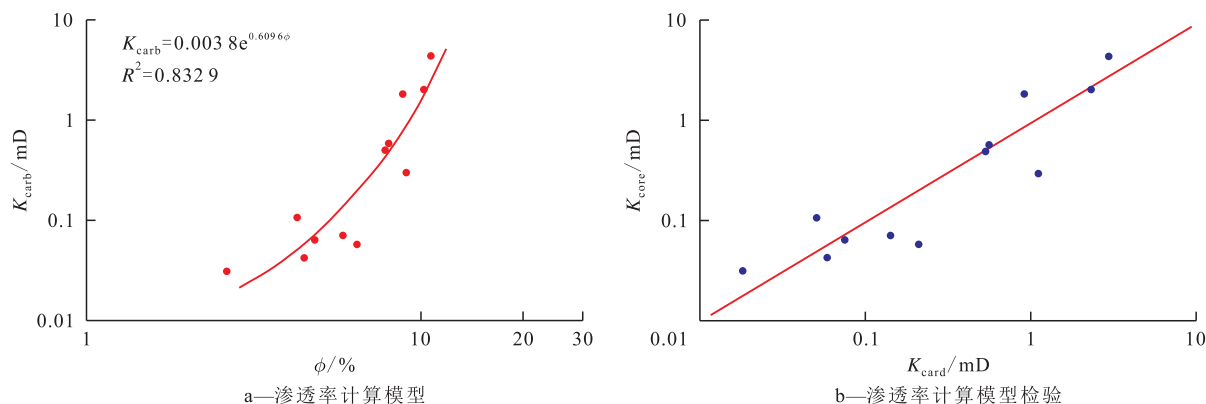


图11 碳酸盐岩类有效储层渗透率计算模型与检验

Fig.11 Permeability model and verification of effective carbonate reservoirs

主,解释精度不够精细。利用本文研究方法重新对该井进行了二次精细解释。该井在沙四段3砂组二次精细解释5层油层,其中Ⅰ类油层2层(分别标记为1,2号层),井段埋深和厚度分别为4 277.0~4 282.2和5.2 m;4 287.1~4 289.1和2.0 m;Ⅱ类油层3层(分别标记为3,4,5号层),井段埋深和厚度分别为4 321.0~4 324.0和3.0 m;4 353.9~4 356.2和2.3 m;4 371.4~4 372.2和0.8 m。

1,2号层分析:由图12a—12c可知,2层均落入交会图版含砾砂岩区域。由图12f可知,2层均在Ⅰ类油层区域。图12e显示2层岩性雷达图形与图12d含砾砂岩雷达图形模式极为相似,指示这2层岩性均为含砾砂岩,采用多矿物组分模型计算的各岩石含量^[11],认为2层岩性为含砾砂岩,白云石胶结。

1号层计算的孔隙度为11.3%,渗透率为4.74 mD,含水饱和度为35.2%;2号层计算的孔隙度为12.2%,渗透率为6.11 mD,含水饱和度为30.2%。结合该井录井岩性描述含砾砂岩、油气产状荧光级别等信息,综合解释1,2号层为Ⅰ类油层。该井4 276.6~4 357.6 m井段试油自喷,日产量达24.4 t/d。

3,4,5号层分析:由图12a—12c可知,3层均落入交会图版含砾砂岩区域。由图12f可知,3层均在Ⅱ类油层区域。图12e显示3层岩性雷达图形与图12d含砾砂岩雷达图形模式极为相似,指示3层岩性均为含砾砂岩。采用多矿物组分模型计算各岩石含量也显示3层岩性均为含砾砂岩,白云石胶结。3号层计算的孔隙度为10.2%,渗透率为2.65 mD,含水饱和度为35.2%;4号层计算的孔隙度为10.9%,

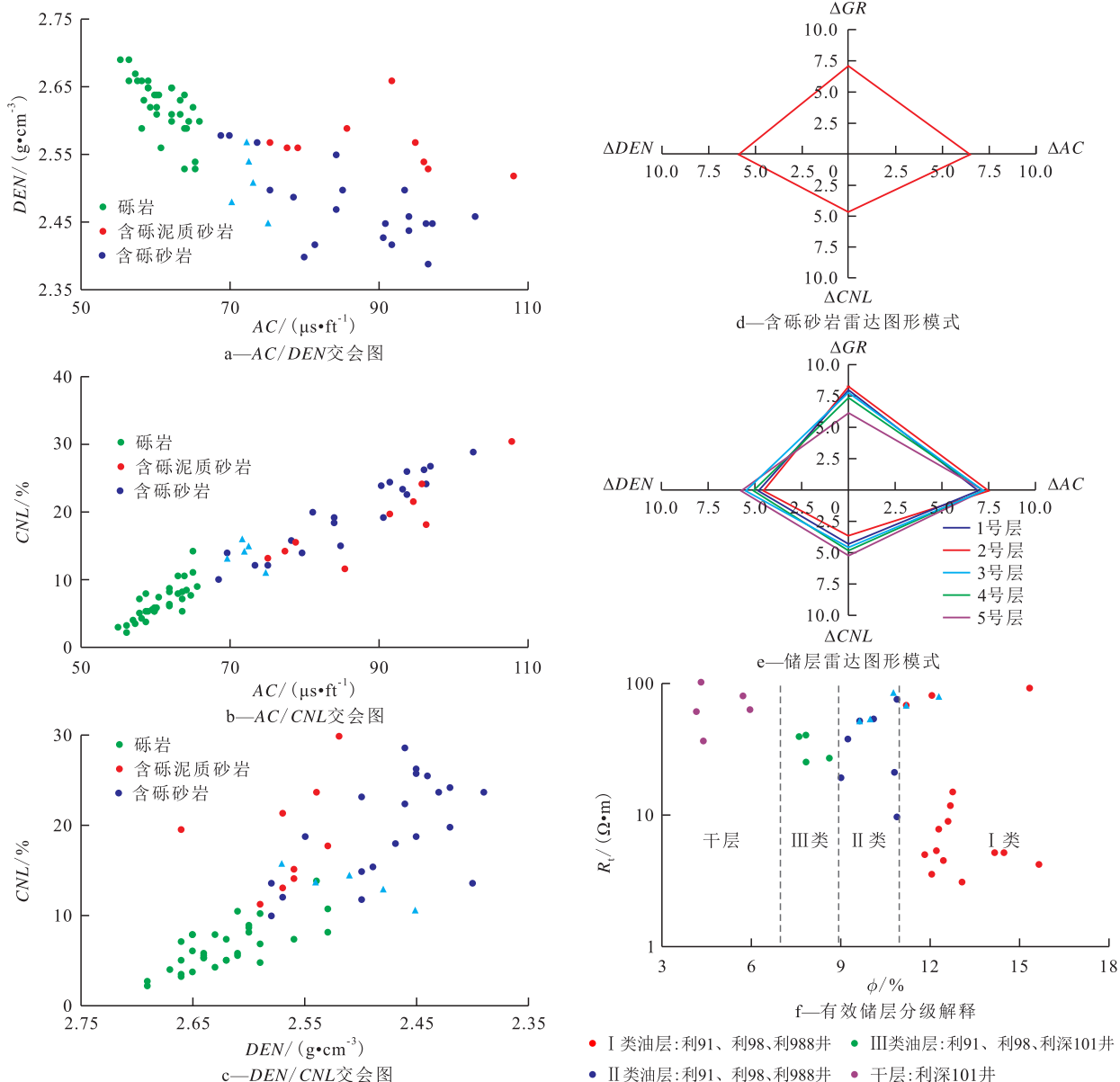


图 12 新利深 1 井沙四段 3 砂组岩性识别与有效储层分级

Fig.12 Lithology identification and effective reservoir classification of Es_{4,3} in Well Xinlishen 1

渗透率为3.34 mD, 含水饱和度为40.2%; 5号层计算的孔隙度为9.7%, 渗透率为2.36 mD, 含水饱和度为40.2%。结合该井录井岩性描述含砾砂岩、油气产状、荧光级别等信息, 综合解释3, 4, 5号层均为Ⅱ类油层。

4 结论

基于雷达图形模式识别岩性方法, 结合交会图岩性识别图版, 能够较好识别利津北带砂砾岩体复杂岩性特征。利用测录井资料, 在岩性识别、含油分析、试采资料分析基础上, 分岩性类别建立了利津北带砂砾岩体识别有效储层的物性与电性界定下限。结合试采资料, 建立了利津北带砂砾岩体有效储层分级解释图版与评价标准。分岩性类别建立了砂砾岩体储层孔隙度和渗透率参数计算模型, 为利津北带复杂砂砾岩体储层综合评价提供定量评价方法, 且该方法在利津北带砂砾岩体投产井中已被验证, 效果良好。

符号解释

AC——声波时差, $\mu\text{s}/\text{ft}$;
CNL——中子孔隙度, %;
DEN——密度, g/cm^3 ;
GR——自然伽马, API;
K——渗透率, mD;
 K_{carb} ——碳酸盐岩类有效储层非线性回归渗透率, mD;
 K_{cong} ——砾岩类有效储层非线性回归渗透率, mD;
 K_{core} ——岩心实测渗透率, mD;
 R_t ——电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;
 ϕ ——孔隙度, %;
 $\phi_{\text{carb-MLR}}$ ——碳酸盐岩类有效储层多元线性回归孔隙度, %;
 $\phi_{\text{cong-corr}}$ ——砾岩类有效储层非线性校正孔隙度, %;
 $\phi_{\text{cong-MLR}}$ ——砾岩类有效储层多元线性回归孔隙度, %;
 ϕ_{core} ——岩心实测孔隙度, %;
 ΔAC ——声波时差维度;
 ΔCNL ——中子孔隙度维度;
 ΔDEN ——密度维度;
 ΔGR ——自然伽马维度。

参考文献

- [1] 欧阳健. 石油测井解释与储层描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 54-131.
OUYANG Jian. Petroleum logging interpretation and reservoir description [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 54-131.

- [2] 张丽艳, 王磊, 孙建孟. 罗家地区砂砾岩体岩相特征及其分析技术[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(3): 33-35.
ZHANG Liyan, WANG Lei, SUN Jianmeng. Lithofacies characters and analytic methodologies of glutenite reservoir in Luoia area [J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 2004, 28(3): 33-35.
- [3] 董经利, 张晋言. 东营凹陷北带砂砾岩体天然气测井评价方法[J]. 测井技术, 2007, 31(3): 216-220.
DONG Jingli, ZHANG Jinyan. The evaluation technique of the gas reservoir of glutenite reservoir in north region of Dongying [J]. Well Logging Technology, 2007, 31(3): 216-220.
- [4] 马丽娟, 何新贞. 东营凹陷北部砂砾岩体储层描述方法[J]. 石油物探, 2002, 41(3): 354-358.
MA Lijuan, HE Xinzhen. Characterization of glutenite reservoirs in the northern Dongying sag [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2002, 41(3): 354-358.
- [5] 张丽艳, 才巨宏, 陈钢花. 砂砾岩储集层含油性解释方法[J]. 测井技术, 2002, 26(2): 134-136.
ZHANG Liyan, CAI Juhong, CHEN Ganghua. Methods for interpreting oil bearing property of glutenite reservoir [J]. Well Logging Technology, 2002, 26(2): 134-136.
- [6] 高博禹, 彭仕宓, 刘红歧. 蒙古林砾岩油藏储层测井精细解释模型[J]. 测井技术, 2005, 29(1): 55-58.
GAO Boyu, PENG Shimi, LIU Hongqi. Fine log interpretation model for conglomerate reservoir in Menggulin Area [J]. Well Logging Technology, 2005, 29(1): 55-58.
- [7] 侯雨庭, 李高仁. 特低渗透层测井精细解释与分类评价技术[J]. 油气勘探, 2006, 11(1): 51-54.
HOU Yuting, LI Gaoren. Fine logging interpretation and classification evaluation technology of extra-low permeability reservoirs [J]. Oil and Gas Exploration, 2006, 11(1): 51-54.
- [8] 石玉江, 张海涛, 侯雨庭, 等. 基于岩石物理相分类的测井储层参数精细解释建模[J]. 测井技术, 2005, 29(4): 328-332.
SHI Yujang, ZHANG Haitao, HOU Yuting, et al. The fine logging interpretation method based on petrophysical faces [J]. Well Logging Technology, 2005, 29(4): 328-332.
- [9] 谢然红, 肖立志, 张建民, 等. 低渗透储层特征与测井评价方法[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006, 30(1): 47-55.
XIE Ranhong, XIAO Lizhi, ZHANG Jianmin, et al. Low permeability reservoir characteristics and log evaluation method [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2006, 30(1): 47-55.
- [10] 洪友密. 测井原理与综合解释[M]. 东营: 石油大学出版社, 2002: 1-23.
HONG Youmi. Logging principles and comprehensive interpretation [M]. Dongying: Press of the University of Petroleum, China, 2002: 1-23.
- [11] 范翔宇, 夏宏泉, 钟敬敏. 基于多矿物模型的测井相识别研究[J]. 测井与射孔, 2003, 4(4): 13-15.
FAN Xiangyu, XIA Hongquan, ZHONG Jingmin. Research on logging facies identification based on multi mineral model [J]. Well Logging & Perforation, 2003, 4(4): 13-15.