

基于数据挖掘技术的碎屑岩岩性识别方法及应用

苗 涛^{1,2,3}, 王凤琴^{1,2}, 高利军³, 乔林胜³, 段涛涛³

(1. 西安石油大学, 陕西 西安 700065; 2. 全国石油石化行业致密油气地质重点实验室, 陕西 西安 700065;

3. 延长气田采气二厂, 陕西 靖边 718500)

摘要: 克拉玛依油田某井区八道湾组油藏储层岩性复杂, 非均质性强, 如何对该区岩性进行准确识别成为该区域油气资源再开发的关键问题之一。通过岩心观察、薄片鉴定等资料, 利用测井交会图技术基于常规测井曲线建立了克拉玛依油田某井区八道湾组油藏岩性识别图版。由于该图版中岩性存在重叠区域, 导致对该区的主要含油岩性识别不准确。为了提高岩性识别的准确性, 利用数据挖掘方法计算出各测井参数在岩性识别模型中的权重大小, 确定各参数对岩性变化的敏感性, 优选出原状地层电阻率、中子孔隙和声波时差等敏感参数并建立 $RT\text{-}lg(CNL \times AC)$ 岩性识别图版, 有效提升了岩性识别精度。

关键词: 碎屑岩; 测井数据; 交会图; 数据挖掘; 岩性识别

中图分类号: TE321 **文献标志码:** A

Lithology identification method for clastic rock based on data mining technology and its application

MIAO Tao^{1,2,3}, WANG Fengqin^{1,2}, GAO Lijun³, QIAO Linsheng³, DUAN Taotao³

(1. Xi'an Shiyou University, Xi'an 700065, China; 2. National Key Laboratory of Tight Oil and Gas Geology in the Petroleum and Petrochemical Industry,

Xi'an 700065, China; 3. Second Gas Production Plant of Yanchang Gas Field, Jingbian 718500, China)

Abstract: The reservoir of Badaowan Formation in a certain well area of Karamay Oilfield has complex lithology and strong heterogeneity. How to accurately identify the lithology in this area has become one of the key issues in the redevelopment of oil and gas resources in this area. Based on core observation, thin slice identification and other data, the lithology identification map of the Badaowan Formation reservoir in a certain well area of Karamay Oilfield was established by using the logging cross-graph technology based on conventional logging curves. Due to the overlapping areas of lithology in this map, the identification of the main oil-bearing lithology in this area is not accurate. In order to improve the accuracy of lithology identification, data mining method is used to calculate the weight of each logging parameter in the lithology identification model, and determine the sensitivity of each parameter to lithology changes. The lithology identification plate with strong sensitivity parameters is then established and analyzed, to select out sensitive parameters such as undisturbed formation resistivity, neutron porosity and acoustic time difference, and so on, and establish the $RT\text{-}lg(CNL \times AC)$ lithology identification plate, which effectively improves the accuracy of lithology identification.

Key words: clastic rock; logging data; intersection diagram; data mining; lithology identification

随着我国油气勘探开发事业的发展, 各油气田普遍出现含水率、开采和挖潜等方面的问题, 老油田的油气资源再开发成为今后油气勘探开发的热点问题之一^[1]。近年来, 克拉玛依油田某井区八道湾组油藏产液量及产油量均急速下降, 开采效果差, 单井日产量递减, 综合含水率高等问题突出^[2]。该油藏岩性复杂, 非均质性强, 其岩性控制着储层

物性与含油性, 从而影响着剩余油藏分布规律。因此, 岩性的准确识别成为剩余油藏储层特征研究的基础, 对指导油气开发部署极为重要。

收稿日期: 2020-09-10; 改回日期: 2020-10-30。

第一作者简介: 苗涛(1995—), 硕士在读, 主要从事油气地质分析研究工作。E-mail: 305311745@qq.com。

测井资料能够连续、精细和原位反映地层地球物理性质,不同类型的碎屑岩在物性上存在许多差异,从而可以通过利用多种测井信息来区分碎屑岩的各种岩性^[3-4]。本文基于常规测井曲线,利用测井交会图技术建立克拉玛依油田某井区八道湾组油藏岩性识别图版,针对该图版中岩性存在重叠区域导致岩性识别不准确的问题,利用数据挖掘技术计算出各测井参数在岩性识别模型中的权重大小,确定测井参数对岩性变化的敏感性,再通过建立岩性敏感性较强参数的岩性识别图版,优选出原状地层电阻率、中子孔隙和声波时差为主要岩性敏感参数,据此建立 $RT-lg(CNL \times AC)$ 岩性识别图版。

1 八道湾组油藏储层岩性及含油性

克拉玛依油田某井区 J_1b_{4+5} 油藏具有岩性复杂、

强非均质性的特点,依靠常规测井数据很难将所有岩性进行有效识别,而利用测井交会图技术建立的普通岩性识别图版由于岩性存在重叠区域,导致岩性识别精度对剩余油气资源分布特征的研究无明显帮助。因此,出于地质应用、剩余油藏储层特征研究和剩余油气储量计算需求,利用数据挖掘法建立碎屑岩岩性识别图版对该区岩性进行有效识别。

通过对研究区5口取心井(T88724、T88836、T88959、T8815、J591)的岩心进行精细观察,结合薄片鉴定和分析化验等资料分析表明,研究区八道湾组油藏储层岩性可分为泥岩、粉砂岩、细砂岩、中砂岩、粗砂岩、砂砾岩和砾岩等7类,其中主要以细砂岩、中砂岩、粗砂岩、砂砾岩和砾岩为主;且不同岩性储层的含油性变化也较大,其中主要含油岩性以中细砂岩、粗砂岩和部分砂砾岩为主(见图1)。

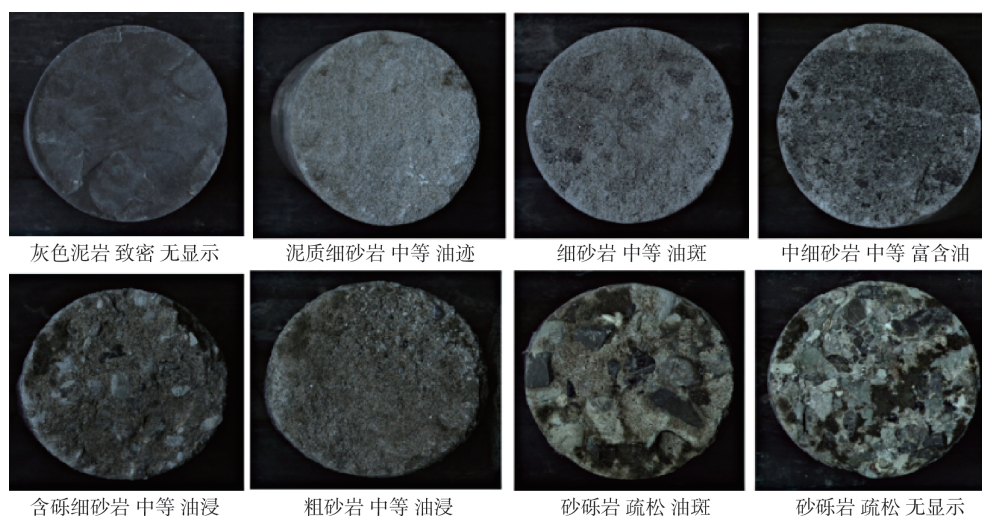


图1 克拉玛依油田某井区八道湾组(J_1b_{4+5})不同岩性含油性变化

2 数据挖掘法优选敏感性参数

数据挖掘是指从一系列无规律的数据中,寻找隐藏在对我们研究有用的信息和知识的过程。其过程一般是通过将数据运行相应的数据挖掘算法,得到相应的模型、模式、规则或其他结果^[5]。本次研究是利用决策树算法构建岩性识别模型。决策树算法最早起源于20世纪60年代的机器学习系统CLS^[6],经过多年发展,日趋成熟,目前经典的有CART^[7]、ID3^[8]、SLIQ^[9]和C5.0^[10]等。

C5.0决策树方法是目前分类预测、数据挖掘最有效的方法之一。它是在ID3算法基础上的改进版,主要是利用一系列规则成分建立树状图,进行

分类和预测的一种方法。其核心思想是:检测样本数据的所有属性,计算在各个属性值上得到的信息增益率,从中选择获得最大信息增益率的属性建立分支节点,然后从该节点出发,为该属性各不同的取值建立相应的子节点,再采用递归方式为每个子节点建立下一级分支,直到所有节点仅包含相同类别的数据样本为止,最后通过一定的规则剔除由噪声数据产生的分支,从而使得计算结果更加真实^[5]。

本研究将碎屑岩岩性作为样品,将岩性对应的原状地层电阻率、中子孔隙度、密度、声波时差、自然伽马和自然电位等测井数据作为岩性样品的属性,通过运行C5.0决策树算法计算得到岩性识别规则和各岩性识别参数的权重(见图2)。

据图 2 分析表明,研究区对岩性变化最敏感的参数是原状地层电阻率,中子孔隙度和密度次之,声波时差和自然伽马的敏感性不如电阻率和中子孔隙度好,自然电位对岩性的敏感性最低。

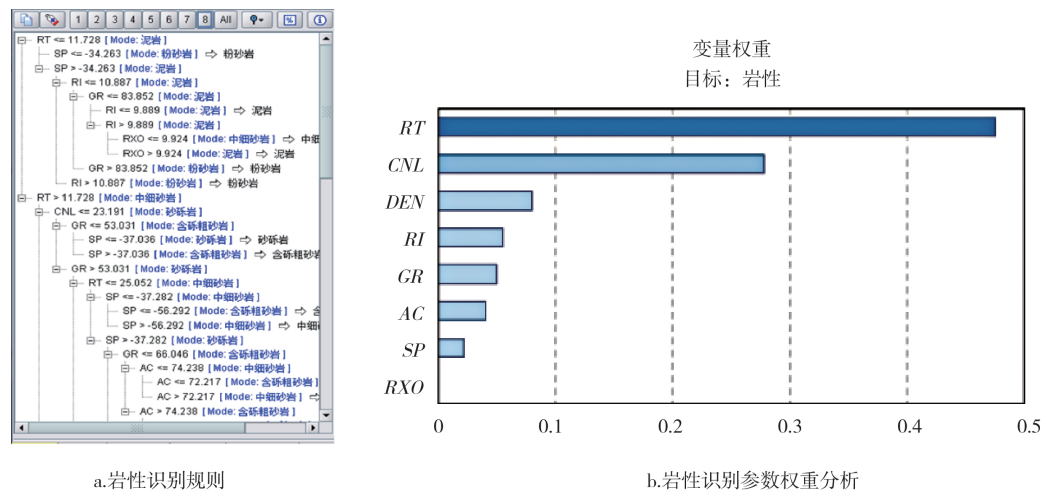


图 2 岩性识别规则和岩性识别参数权重分析结果

3 碎屑岩岩性识别图版建立

依据数据挖掘法确定的参数相对敏感性大小,制作研究区各个岩性敏感参数的交会图并进行分析评价。

3.1 RT—CNL岩性识别图版

原始地层电阻率和中子孔隙度是对岩性敏感性最大的两个参数,分别绘制J₁b₄和J₁b₅的RT—CNL岩性识别图版(见图3)。

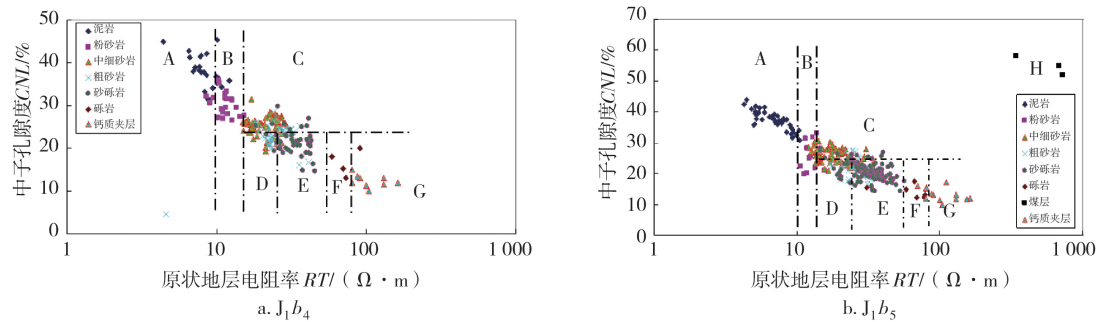


图 3 RT-CNL 岩性识别图版

3.2 AC—DEN岩性识别图版

AC—DEN 岩性识别图版是常用的岩性识别图版,其识别效果明显不如 RT—CNL 图版,主要因为

密度曲线对岩性不是很敏感,使得泥岩、粉砂岩、中细砂岩和粗砂岩等岩性在图 4a 中 C、D 区域和图 4b 中 B、C、D 区域重叠严重,无法有效区分岩性。

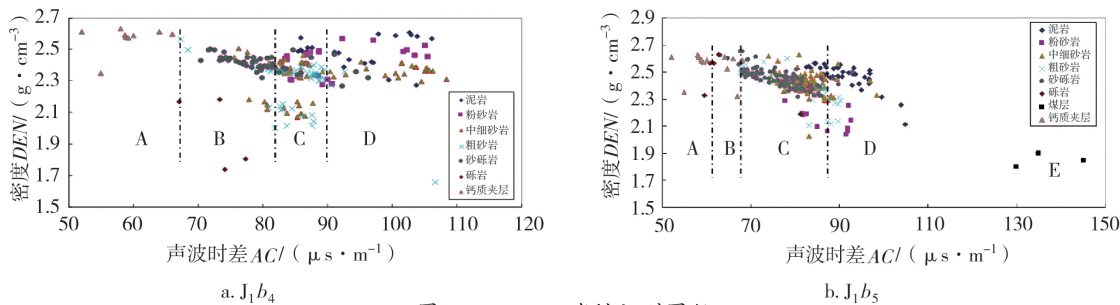


图 4 AC-DEN 岩性识别图版

3.3 $RT-GR$ 岩性识别图版

$RT-GR$ 岩性识别图版也常用于碎屑岩的岩性识别。

由于研究区八道湾组砾岩沉积物离物源区近,

搬运距离短,其分选和磨圆都比较差,放射性矿物含量比较多,因此,自然伽马曲线对岩性不是很敏感,导致粗砂岩与中细砂岩和砂砾岩在图中C、D区重合(见图5)。

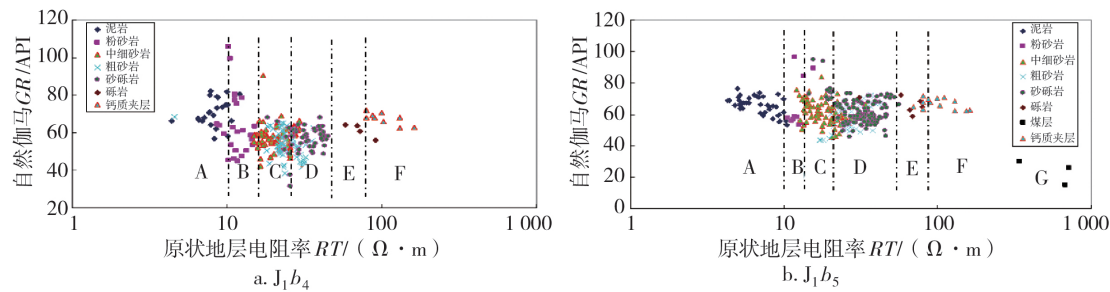


图5 $RT-GR$ 岩性识别图版

3.4 $RT-lg(CNL\times AC)$ 岩性识别图版

综上所述,原状地层电阻率、中子孔隙和声波时差为研究区八道湾组($J_{1b_{4+5}}$)主要岩性敏感参数,为了将各参数中蕴含的岩性信息最大程度地加以利用,提高岩性交会图版的识别精度,构造岩性识别参数 RT 和 $lg(CNL\times AC)$ 。

通过对比研究 J_{1b_4} 和 J_{1b_5} 各个小层岩性识别参数(见表1),发现 J_{1b_4} 和 J_{1b_5} 岩性识别标准除粗砂岩、砂砾岩和砾岩的 RT 参数有小幅差异外,其余基

本一致。该图版能较好地地区分泥岩、粉砂岩、中细砂岩、粗砂岩、砂砾岩、砾岩、煤层和钙质夹层等岩性(见图6)。

通过将镜下薄片所识别的各岩性及含油性变化投影到 $J_{1b_5}RT-lg(CNL\times AC)$ 图版的对应位置,不难发现不同含油性及不同粒度的砂岩其储层电阻率存在明显差异,分别按照油迹、油斑、油浸、富含油及中细砂岩、粗砂岩、砂砾岩、砾岩两个序列,储层电阻率整体呈变大趋势(见图7)。

表1 $J_{1b_{4+5}}RT-lg(CNL\times AC)$ 岩性识别图版识别标准对比

层位	岩性参数	泥岩	粉砂岩	中细砂岩	粗砂岩	砂砾岩	砾岩	钙质夹层	煤层
J_{1b_4}	RT	<10	10 ~ 14	>14	14 ~ 23	23 ~ 55	55 ~ 80	>80	—
	$lg(AC\times CNL)$	>3.45	>3.20	>3.30		<3.30	<3.20	<3.00	
J_{1b_5}	RT	<10	10 ~ 14	>14	14 ~ 25	25 ~ 60	60 ~ 80	>80	>300
	$lg(AC\times CNL)$	>3.45	>3.30	>3.30		<3.30		<3.10	>3.80

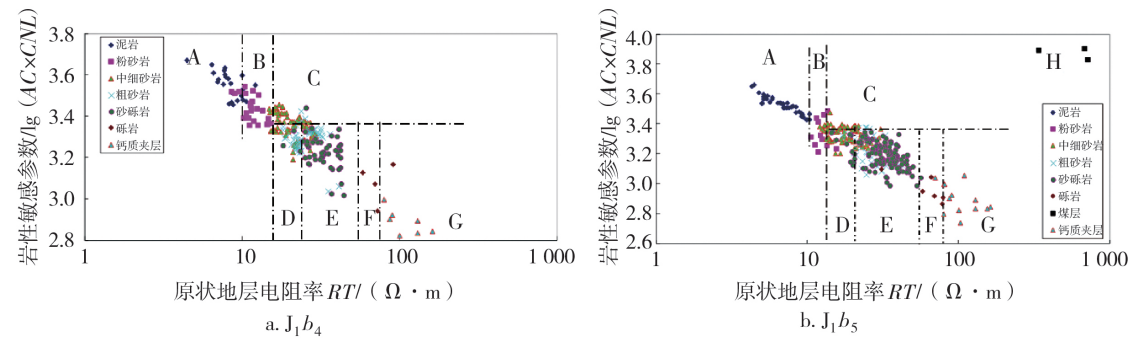


图6 $RT-lg(CNL\times AC)$ 岩性识别图版

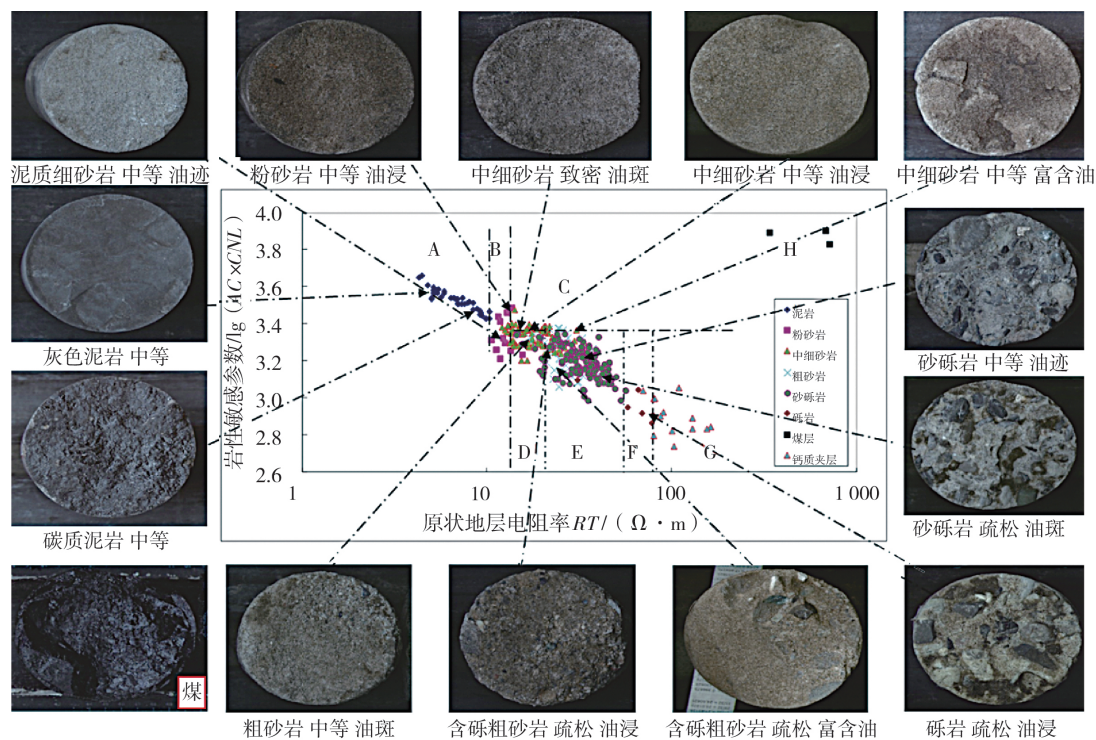


图 7 $J_bRT-\lg(CNL \times AC)$ 岩性识别图版分析

4 应用效果分析

根据应用数据挖掘法后的岩性识别图版,对研究区 5 口取心井岩性进行了重新解释。对比岩心观察结果,本次岩性识别结果较普通岩性识别图版岩性识别更加细化且准确,识别精度达到 92.4%(见表 2、图 8)。

应用数据挖掘法后的岩性识别图版岩性识别结果与岩心描述吻合程度高,尤其对薄层的识别效果更佳,连煤层也可以准确识别;由于综合了多条测井曲线信息,识别模型可以很好地揭示砂体内部的沉积目次。如图 8 所示,普通岩性识别图版对 A 段、E 段分别识别为砂砾岩和泥岩,而应用 $RT-\lg(CNL \times AC)$ 图版分别识别为钙质夹层和煤层。

表 2 普通岩性识别图版与数据挖掘岩性识别图版解释对比

编号	深度/m	普通岩性识别图版	数据挖掘岩性识别图版
A	1 610.0 ~ 1 612.5	砂砾岩	钙质夹层(绿色)
B	1 617.0 ~ 1 619.0	泥岩	粉砂岩(浅黄色)
	1 619.5 ~ 1 621.0	泥岩	粉砂岩(浅黄色)
C	1 630.5 ~ 1 632.0	砂砾岩	砾岩(蓝色)
	1 674.0 ~ 1 676.5	砂砾岩	砾岩(蓝色)
D	1 684.5 ~ 1 687.0	砂砾岩	钙质夹层(绿色)
	1 696.0 ~ 1 698.0	砂砾岩	粗砂岩(紫色)
E	1 700.0 ~ 1 702.5	泥岩	煤层(黑色)
岩性识别精度/%		83.5	92.4

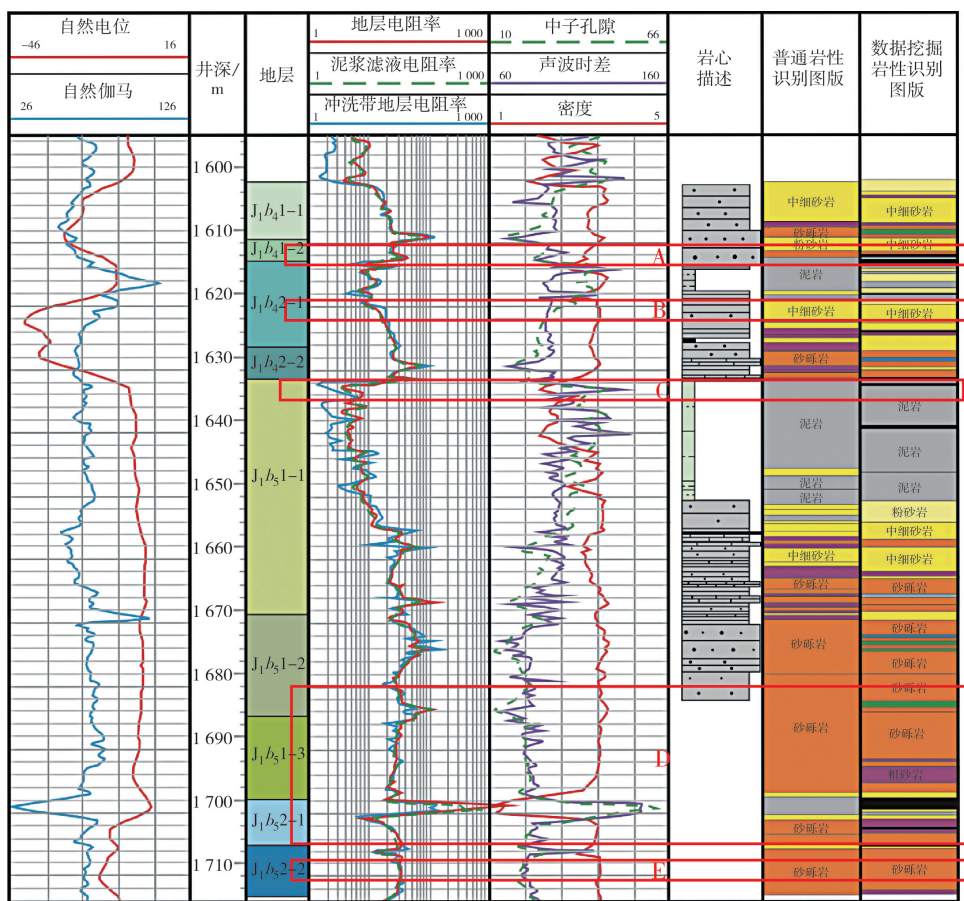


图8 T8815井普通岩性识别图版与数据挖掘岩性识别图版岩性解释结果对比

5 结论

通过数据挖掘法的应用,确定了克拉玛依某井区八道湾油藏储层的岩性敏感参数,依据所选取的岩性敏感参数绘制各参数岩性交会图版并进行对比研究,最终确定岩性识别参数 RT 和 $\lg(CNL \times AC)$ 的岩性识别图版。经验证,岩性识别结果与岩心描述吻合程度较高,且本次建立的图版岩性识别精度较普通岩性识别图版识别精度提高,有效提升了碎屑岩岩性识别图版的准确性。

参考文献:

[1] 胡文瑞. 中国石油二次开发技术综述[J]. 特种油气藏, 2007, 14(16):1-4,16.
 [2] 徐恒. 克拉玛依油田八区530井区砾岩油藏特征及调整对策研究[D]. 成都:西南石油大学:1-15.
 [3] 王宏波,姚军,李双文,等. 利用对应分析法校正火成岩岩性识别图版——以黄骅凹陷为例[J]. 天然气地质学. 2013.24(4):719-724.
 [4] 韩琳,潘保芝. 应用ECS测井资料丰富岩性识别图版信息[J]. 吉林大学学报(地球科学版). 2008.38(增刊): 110-112.
 [5] 王国勋. 基于多目标决策的数据挖掘模型选择研究

[D]. 成都:电子科技大学:10-20.
 [6] 李旭. 五种决策树算法的比较研究[D]. 大连:大连理工大学, 2011:1-20.
 [7] BREIMAN L, FRIEDMAN J H, OLSHEN, et al. Classification and regression trees [M]. California: Wadsworth International Group, 1984:1-2.
 [8] ADAM A, SHAPIAI M I, IBRAHIM Z, et al. Artificial neural network—Naive bayes fusion for solving classification problem of imbalanced dataset[C]//2011 Fourth International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization, Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2011:1-5.
 [9] DOMINGOS P, PAZZANI M. On the optimality of the simple Bayesian classifier under zero-one loss [J]. Machine Learning, 1997, 29(2): 103-130.
 [10] ADAM A, SHAPIAI M I, IBRAHIM Z, et al. Artificial neural network—Naive bayes fusion for solving classification problem of imbalanced dataset [C]//2011 Fourth International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization, Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2011:1-5.

(编辑 谢 葵)