

致密砂砾岩岩性测井识别方法及应用

张冲^{1,2}, 张占松^{1,2}, 陈雨龙^{1,2}, 邢艳娟³, 李超炜³

1. 长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 武汉 430100
2. 长江大学地球物理与石油资源学院, 武汉 430100
3. 大庆钻探工程公司测井公司吉林事业部, 松原 138000

摘要 以王府断陷小城子地区登娄库组和营城组为例, 研究了致密砂砾岩岩性测井识别方法及其应用。利用录井岩性资料总结登娄库组、营城组各种岩性的组分, 并提取2个层组的主要岩性, 登娄库组主要岩性为砂砾岩、砂岩和泥岩, 营城组主要岩性为砾岩、砂砾岩和泥岩; 分析不同岩性的测井响应特征, 并提取2个层组的岩性敏感参数, 登娄库组为自然伽马、中子、声波时差和电阻率, 营城组为自然伽马、中子和密度。利用SPSS软件建立登娄库组和营城组的岩性Fisher判别模型, 将该模型应用于未参与建模的5口井储层岩性的识别, 识别准确率达86%, 证明了该方法的可靠性。

关键词 砂砾岩; 岩性识别; Fisher判别

中图分类号 P631.8

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.25.010

Logging Lithology Identification of Tight Sandy Conglomerate and Its Application

ZHANG Chong^{1,2}, ZHANG Zhansong^{1,2}, CHEN Yulong^{1,2}, XING Yanjuan³, LI Chaowei³

1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education; Yangtze University, Wuhan 430100, China
2. Geophysics and Oil Resource Institute, Yangtze University, Wuhan 430100, China
3. Jilin Division, Daqing Well-logging Company, Songyuan 138000, China

Abstract Taking the sandy conglomerate reservoirs of Denglouku and Yingcheng Formations in Xiaochengzi area, Wangfu Fault as an example, the logging lithology identification is studied in this paper. Based on the logging lithology data, various lithologic compositions of objective intervals are analyzed and the main lithology components of Denglouku and Yingcheng Formations are extracted firstly. The main components of Denglouku Formation are the sandy conglomerate, the sandstone and the shale and those of Yingcheng Formation are the conglomerate, the sandy conglomerate and the shale. Then the logging response characteristics are analyzed, the lithologic parameters of these two formations are extracted and it is shown that the sensitive parameters of Denglouku Formation are the natural gamma ray (*GR*), the neutron (*CNL*), the interval transit time (*AC*) and the resistivity (*RT*) and that the parameters of Yingcheng Formation are the *GR*, the density (*DEN*) and the *CNL*. Finally, the Fisher model of the lithology identification is established by using the SPSS software, and the application of the model to the reservoir lithology identification of five wells not included in the process of building the model shows that the discriminant accuracy rate reaches 86%, which indicates a high reliability of the method.

Keywords sandy conglomerate; lithology identification; Fisher discriminant

岩性识别是砂砾岩储层测井精细评价的基础。由于砂砾岩储层多为快速沉积体, 具有岩性纵横向变化大、成分成

熟度低及非均质性强等特点, 导致各种岩性的测井响应特征差异不明显, 给测井岩性识别带来较大的困难。常见的利用

收稿日期: 2014-02-21; 修回日期: 2014-06-26

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2013CFB396); 国家科技重大专项(2011ZX05057-001-002); 油气资源与勘探技术教育部重点实验室开放基金项目(K2014-04)

作者简介: 张冲, 副教授, 研究方向为复杂储层测井评价理论与方法, 电子信箱: yzlogging@163.com

引用格式: 张冲, 张占松, 陈雨龙, 等. 致密砂砾岩岩性测井识别方法及应用[J]. 科技导报, 2014, 32(25): 59-62.

测井资料识别岩性的方法有:交会图法^[1-7]、电成像图像识别法^[8]及神经网络、主成分分析等数理统计方法^[9-12]。两参数的交会图一般只能对测井特征明显的岩性进行有效识别,电成像图像虽然可以准确分析砾石的含量及粒径大小,但电成像测井项目费用高,测量井段少,全井段进行岩性识别不现实,因此,以常规测井资料为基础,采用数理统计方法是进行砂砾岩岩性识别的主要手段。

王府断陷小城子地区位于松南东部断陷带,平面上表现为西深东浅、西断东超为主的不对称形态,其中白垩系的登娄库组发育了以辫状河为主的大套泥岩、细砂岩和砂砾岩沉积建造,营城组沉积了扇三角洲相-浅湖相的泥岩与砂砾岩互层的岩性组合。根据大量岩心物性分析资料和碎屑岩储层物性分类标准,登娄库组和营城组储层属于特低孔特低渗储层^[13]。本文以登娄库组和营城组为例,结合录井岩性和测井资料,分析不同岩性下的测井响应特征,提取对岩性敏感的测井参数,建立 Fisher 岩性判别模型,研究致密砂砾岩岩性测井识别方法及其应用。

1 岩性识别的难点

由于目标区块取心资料较少,不足以描述登娄库组和营城组所有岩性组分,因此统计了目标层组的录井岩性,该录井岩性是经过校正后的岩性认识,共 34 口井,其中登娄库组为 1025 段岩性,营城组为 527 段岩性,如图 1 所示。从图 1 可见,登娄库组发育砂砾岩、含砾粗砂岩、含砾细砂岩、含砾粉砂岩、粗砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥质不等粒砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩,其中砂砾岩、(细、粉、泥质粉)砂岩、(粉砂质)泥岩占有所有岩性的 92%;营城组发育凝灰质砾岩、砾岩、中砾岩、细砾岩、砂砾岩、含砾不等粒砂岩、含砾粗砂岩、含砾细砂岩、含砾粉砂岩、含砾泥质粉砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥质不等粒砂岩、泥质粉砂岩、含砾泥岩、粉砂质泥岩和泥岩,其中(细)砾岩、砂砾岩、(粉砂质)泥岩占有所有岩性的 82%。由此可见,整体上目标层组岩性十分复杂,且从登娄库组到营城组,储层岩石的粒序是由细至粗变化。

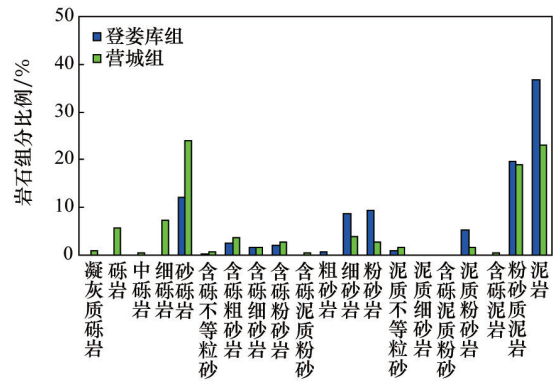


图 1 登娄库组、营城组的岩石组分占岩性比例

Fig. 1 Histogram of the lithology components of the Denglouku Formation and Yingcheng Formation

2 岩性敏感测井参数的提取

为了提取登娄库组和营城组的敏感岩性测井参数,选取厚度大于 2 m 的岩性段,其中登娄库组 626 段,营城组 317 段,提取不同岩性的测井响应参数值,分登娄库组和营城组绘制了如图 2、图 3 所示的自然伽马与声波时差、中子与密度、电阻率与中子-密度视孔隙度差值的交会图。图 2、图 3 中,密度视石灰岩孔隙度 $\Phi_v = 100(DEN - 2.71)/(1 - 2.71)$, 中子视石灰岩孔隙度 $\Phi_n = CNL$, 其中, DEN 为密度测井响应值, CNL 为中子测井响应值。

由于目标区块岩性复杂,因此分别提取了登娄库组和营城组主要岩性成分。登娄库主要岩性为砂砾岩、(细、粉、泥质粉)砂岩、(粉砂质)泥岩,其中将细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩归为砂岩类,将粉砂质泥岩和泥岩归为泥岩类。营城组主要岩性为(细)砾岩、砂砾岩、(粉砂质)泥岩,其中将细砾岩、砾岩归为砾岩类,将粉砂质泥岩、泥岩归为泥岩类。通过图 2 和图 3 可见,自然伽马可以明显区分登娄库组泥岩与其他岩性,其中自然伽马大于 100 API 为泥岩类;声波时差、中子和电阻率对砂砾岩和砂岩有明显的响应差异,密度对登娄库组主要岩性的敏感性较差;自然伽马与中子可以明显区分

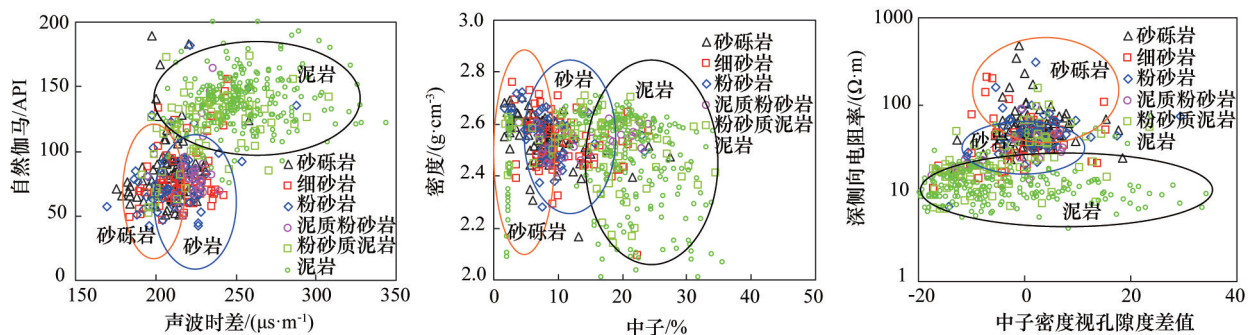


图 2 登娄库组岩性交会图

Fig. 2 Litho crossplot of the Denglouku Formation

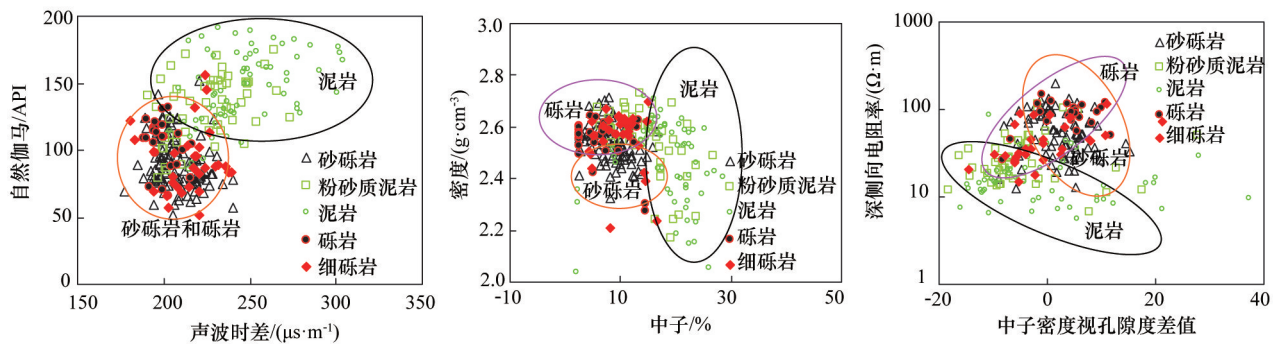


图3 营城组岩性交会图

Fig. 3 Litho crossplot of the Yingcheng Formation

营城组泥岩与其他岩性,其中自然伽马大于120 API,中子大于13%为泥岩类;密度对砾岩、砂砾岩有明显的响应差异,其中砾岩的密度响应值为2.5~2.7 g/cm³,砂砾岩的密度响应值为2.3~2.55 g/cm³;声波时差、电阻率对营城组主要岩性的敏感性较差。因此,提取登娄库组岩性识别的测井参数为自然伽马、中子、声波时差和电阻率;提取营城组岩性识别测井参数为自然伽马、中子和密度。

3 识别方法

3.1 Fisher判别原理

一般来说,判别分析统计模型可描述为:有 m 个 p 维总体 G_1, G_2, \dots, G_m ,分别服从一定的分布 $F_1(x), F_2(x), \dots, F_m(x)$ 。现在有一个新的样本 $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$,它可能来自这 m 个总体中的某一个,问题是要依据该样品的 p 项指标,判别它最可能来自哪一个总体,欲完成该工作,可以采用Fisher判别法。

Fisher判别分析方法的基本思想是投影^[4],即将原来的自变量组合投影到维数较低的 D 维中去,然后在 D 维中进行分类,投影的原则是使得每一总体内的差尽可能小,而不同总体间的投影的差尽可能大。设有 n 个样本,分别归属于第1总体至第 m 总体($m < n$),每个样品有 p 个可供分类的变量,其线性判别方程的表达式为

$$y = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_px_p + s \quad (1)$$

式中, c_1, c_2, c_p 均为判别函数的待定系数, s 为常量。

建立判别式后,对于一个新的样品,将它的 p 个指标值代入判别式中求出不同总体的 y 值,然后,在这些总体中进行比较,哪个总体值最大,即判别为哪一个总体。

3.2 判别模型的建立

利用SPSS软件,以录井岩性为因变量,以自然伽马、中子、声波时差和深侧向电阻率为自变量,建立登娄库组Fisher判别函数如表1所示。在表1中,将626个样本分为3个总体类,分别为砂砾岩、砂岩和泥岩,每个总体都分别建立了相对应的判别式,在对一口新井进行全井段岩性判别时,同时输入3个判别函数进行计算,如果计算的某个深度点 $Y_{砂砾岩}$ 最大,则该深度点的岩性判别为砂砾岩。以自然伽马、中子和密度为自变量,建立营城组Fisher判别函数如表2所示。在

表2中,将317个样本分为3个总体类,分别为砾岩、砂砾岩和泥岩,每个总体也建立了相对应的判别式,判别规则同上。

表1 登娄库组Fisher岩性判别函数

Table 1 Function of Fisher lithology identification of the Denglouku Formation

岩性	判别函数
砂砾岩	$Y_{砂砾岩} = 0.135GR + 0.439AC - 0.02CNL + 0.117R_{LD} - 56.411$
砂岩	$Y_{砂岩} = 0.132GR + 0.455AC + 0.01CNL + 0.1R_{LD} - 57.842$
泥岩	$Y_{泥岩} = 0.254GR + 0.515AC - 0.01CNL + 0.088R_{LD} - 84.924$

表2 营城组Fisher岩性判别函数

Table 2 Function of Fisher lithology identification of the Yingcheng Formation

岩性	判别函数
砾岩	$Y_{砾岩} = 0.431GR + 282.545DEN + 2.075CNL - 394.635$
砂砾岩	$Y_{砂砾岩} = 0.389GR + 275.088DEN + 2.045CNL - 371.657$
泥岩	$Y_{泥岩} = 0.535GR + 288.52DEN + 2.598CNL - 429.377$

4 效果分析

按照上述方法,采用Fisher岩性判别函数分别对登娄库组和营城组进行岩性识别。编制岩性识别程序,挂接在Forward上,可以实现全井段岩性处理。处理识别了15口井的岩性,将其中未参与建模的5口井的处理结果与录井岩性进行对比,结果如表3所示,其符合率达到86%。

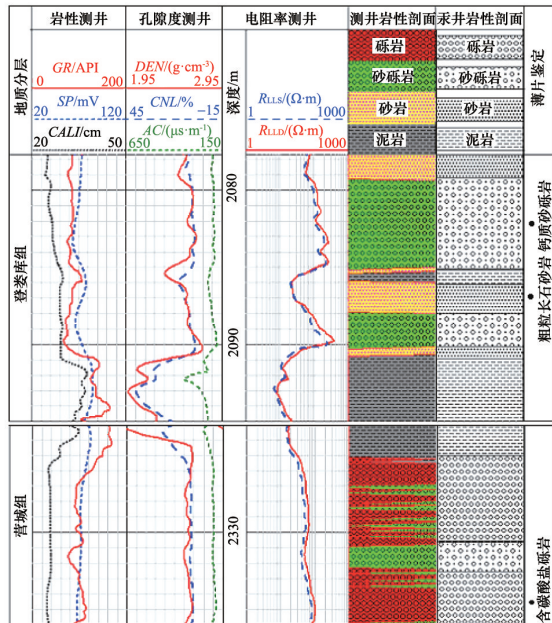
表3 测井解释储层段岩性与录井岩性对比

Table 3 Comparison between the lithologies of reservoir and logging interpretation

井名	符合层数	不符合层数	总层数	符合率/%
城A井	23	0	23	100.00
城B井	11	0	11	100.00
城C井	49	15	64	76.56
城D井	46	4	50	92.00
城E井	43	10	53	81.13

城深A井岩性识别效果如图4所示。图4中第5道为测井识别的岩性道,第6道为录井岩性显示道,其中除了2325~2330 m这段砾岩储层部分识别为砂砾岩外,其他储层段,如

2080~2086 m 的砂砾岩, 2086~2088 m 的砂岩, 2333~2336 m 的砾岩, 均与薄片和录井显示的岩性一致, 显示了 Fisher 判别的良好应用效果。



GR—自然伽马; SP—自然电位; CALI—井径; DEN—密度; CNL—中子; AC—声波时差; RLLD—深侧向电阻率; RLIS—浅侧向电阻率

图4 城深A井测井岩性识别结果与录井、薄片岩性结果对比
Fig. 4 Comparison between the result of lithology identification and the information of logging, a slice of Chengshen A well

5 结论

1) 小城子地区从登娄库组到营城组, 随着埋藏深度的增加, 岩石粒序由细变粗。登娄库组储层岩性主要为砂砾岩、细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩, 营城组储层岩性主要为砾岩、细砾岩和砂砾岩。

2) 基本弄清了不同层位不同岩性的测井响应特征。对于登娄库组, 自然伽马能明显区分泥岩和其他岩性, 砂砾岩和砂岩在中子、声波时差、深探测电阻率测井响应上有一定差异。对于营城组, 自然伽马与中子能明显区分泥岩和其他岩性, 砾岩和砂砾岩在密度测井响应上差异明显。

3) 建立了登娄库组和营城组的 Fisher 判别模型, 并应用于小城子地区 15 口井的处理, 取得了良好的效果, 研究方法对解决相似地质问题有一定的借鉴意义。

参考文献 (References)

[1] 鲁国明. 东营凹陷深层砂砾岩岩性测井综合识别技术[J]. 测井技术, 2010, 34(2): 168-171.
Lu Guoming. Logging comprehensive identification technology of deep sandy conglomerate lithology, dongying sag[J]. Well Logging Technology, 2010, 34(2): 168-171.
[2] 张丽华, 潘保芝, 刘思慧, 等. 梨树断陷东南斜坡带砂砾岩岩性识别方

法研究[J]. 测井技术, 2010, 34(2): 370-372.

Zhang Lihua, Pan Baozhi, Liu Sihui, et al. On lithology identification methods of glutinite in southeast ramp region of Lishu fault depression [J]. Well Logging Technology, 2010, 34(2): 370-372.
[3] 刘倩茹, 薛林福, 潘保芝, 等. 梨树断陷砂砾岩测井岩性识别[J]. 测井技术, 2013, 37(3): 269-273.
Liu Qianru, Xue Linfu, Pan Baozhi, et al. Study on glutenite reservoir lithology identification in Lishu fault[J]. Well Logging Technology, 2013, 37(3): 269-273.
[4] 顾玉君, 申晓娟, 吴爱红, 等. 泌阳凹陷南部陡坡带砂砾岩储层岩性识别研究[J]. 石油地质与工程, 2009, 23(2): 40-42.
Gu Yujun, Shen Xiaojuan, Wu Aihong, et al. Study on lithologic identification of glutenite reservoir of the south actic region, Biyang sag [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009, 23(2): 40-42.
[5] 周金昱, 郭浩鹏, 张少华, 等. 松辽盆地火山岩岩性测井识别方法研究[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(3): 72-76.
Zhou Jinyu, Guo Haopeng, Zhang Shaohua, et al. Study on lithology identification for volcanic rock logging date in Songliao basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(3): 72-76.
[6] 卢勉. 兴城气田砂砾岩储层岩性测井解释方法研究[J]. 国外测井技术, 2008, 23(3): 15-17.
Lu Mian. Study on the well logging interpretation method of glutenite reservoir lithology in Xingcheng gas field[J]. World Well Logging Technology, 2008, 23(3): 15-17.
[7] 张晋言, 孙建孟, 刘海河, 等. 盐家油田深层砂砾岩储层岩性自动识别新技术[J]. 测井技术, 2011, 35(5): 447-450.
Zhang Jinyan, Sun Jianmeng, Liu Haihe, et al. A new method of lithology automatic identification for deep glutenite body reservoir in Yanjia oilfield[J]. Well Logging Technology, 2011, 35(5): 447-450.
[8] 白焯, 薛林福, 潘保芝, 等. 多方法融合判别复杂砂砾岩岩性[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(S2): 442-451.
Bai Ye, Xue Linfu, Pan Baozhi, et al. Multi-methods combined identify lithology of glutenite[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(S2): 442-451.
[9] 李洪奇, 谭锋奇, 许长福, 等. 基于决策树方法的砾岩油藏岩性识别[J]. 测井技术, 2012, 36(4): 16-21.
Li Hongqi, Tan Fengqi, Xu Changfu, et al. Lithology identification of conglomerate reservoir based on decision tree method[J]. Well Logging Technology, 2012, 36(4): 16-21.
[10] 金雪英. 徐家围子断陷沙河子组砂砾岩储层岩性测井识别方法[J]. 东北石油大学学报, 2013, 37(4): 47-54.
Jin Xueying. Identification of lithology logging in glutenite reservoir in Shahezi group of Xujiaweizi fault[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2013, 37(4): 47-54.
[11] Cracknell M J, Reading A M. The upside of uncertainty: Identification of lithology contact zones from airborne geophysics and satellite data using random forests and support vector machines[J]. Geophysics, 2013, 78(3): 113-126.
[12] Li X, Li H. A new method of identification of complex lithologies and reservoirs: Task-driven data mining[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2013, 109(2): 241-249.
[13] 张勇. 松辽盆地南部小城子地区登娄库组-泉一段储层特征研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
Zhang Yong. Research on reservoir characteristics of Denglouku group-Quan 1 section in Xiaochengzi area, the south of Songliao basin[D]. Changchun: Jilin University, 2013.
[14] 余颂, 陈善雄, 余飞, 等. 膨胀土判别与分类的 Fisher 判别分析方法[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 499-504.
Yu Song, Chen Shanxiong, Yu Fei, et al. Fisher's discriminant analysis method for identification and classification of expansive soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(3): 499-504.

(责任编辑 韩明星)