

牛栓文, 韩学辉, 支乐菲, 等. 应用“两步”法识别广利油田沙四段储层流体性质. 地球物理学进展, 2013, 28(6): 3117-3122, doi: 10.6038/pg20130637.

NIU Shuan-wen, HAN Xue-hui, ZHI Le-fei, *et al.* A fluid property identification method in Es4 reservoir of Guangli Oilfield with the “two step” method. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2013, 28(6): 3117-3122, doi: 10.6038/pg20130637.

应用“两步”法识别广利油田沙四段储层流体性质

牛栓文^{1,2}, 韩学辉^{1*}, 支乐菲³, 路智勇², 刘荣⁴

(1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 青岛 266580; 2. 中石化胜利油田公司东辛采油厂, 东营 257100;

3. 中石化胜利油田东胜精攻石油开发集团股份有限公司, 东营 257000;

4. 中国石油集团海洋工程有限公司天津分公司, 塘沽 300451)

摘要 广利油田沙四段储层高、低阻油层共存, 测井识别难度大. 为了准确识别储层的流体性质, 开发了“两步”识别方法. 首先, 考虑到岩性细、泥质含量高是低阻油层的主要成因, 利用自然伽马相对值 ΔGR 对深探测电阻率做了泥质校正, 以消除岩性对油层电阻率的影响. 其次, 基于生产动态资料, 采用 Bayes 逐步判别分析方法建立了应用自然电位、自然伽马、声波时差、深探测电阻率、冲洗带电阻率资料识别油水层的判别函数. 对 8 口新井的应用效果表明, “两步”识别法能够较好地识别高、低阻油层, 流体性质识别的符合率达到了 88.8%, 较未经泥质校正的 Bayes 逐步判别分析方法识别符合率提高了 8.3%, 较好地满足了广利油田沙四段储层流体性质识别的需要.

关键词 流体性质, “两步”识别法, 低阻油层, 泥质校正, Bayes 逐步判别法

doi: 10.6038/pg20130637

中图分类号 P631

文献标识码 A

A fluid property identification method in Es4 reservoir of Guangli Oilfield with the “two step” method

NIU Shuan-wen^{1,2}, HAN Xue-hui^{1*}, ZHI Le-fei³, LU Zhi-yong², LIU Rong⁴

(1. Faculty of School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Dongxin Production Plant, Shengli Oil Field, Dongying 266580, China;

3. Dongsheng Group CO. LTD, Shengli Oil Field, Dongying 257000, China;

4. CNPC Offshore Engineering CO. Ltd. Tianjin Branch, Tanggu 300451, China)

Abstract The coexistence of low and high resistivity oil layers in Guangli Oilfield increases the difficulty of fluid identification. In order to identify fluid property exactly, the “two-step” identification method is developed. First of all, taking into account that the rock of fine and high clay content are the main cause of low resistivity, ΔGR is used to shale correction in deep resistivity to eliminate the influence of rock formation resistivity. Secondly, based on production data, the article uses Bayes stepwise discriminant method and self potential, gamma ray, acoustic travel time, formation true resistivity, flushed zone resistivity to build discriminant functions of oil layer, oil-water layer and water layer. The application effect of 8 new wells indicates that the “two step” recognition method is better to identify high and low resistivity with the rate of 88.8%, and the rate is higher than without shale correction 8.3%, so it can meet the need of fluid property recognition in Es4 reservoir of Guangli oilfield.

Keywords fluid property, “two-step” identification method, low resistivity oil layers, shale correction, Bayes stepwise discriminant method

收稿日期 2012-12-30; 修回日期 2013-05-20.

投稿网址 <http://www.progeophys.cn>

基金项目 山东省自然科学基金项目 Y2008E08 资助, 国家油气专项资助(2011ZX05009-003)联合资助.

作者简介 牛栓文, 男, 1974 年生, 甘肃宁县人, 博士研究生, 研究方向为储层地质学. (E-mail: SLL000426@sina.com)

* 通讯作者 韩学辉, 男, 主要从事油气勘探开发管理和研究. (E-mail: hxhlogging@yahoo.com.cn)

0 引言

广利油田是一个两翼基本对称向南倾斜的鼻状构造^[1-3],沙四段是主力勘探开发层位. 储层岩性以细砂岩为主,为低孔低渗储层. 储层测井“四性”关系研究发现,油水层的电性特征复杂,高阻油层以及由岩性细、泥质含量高导致的低阻油层共存(图1). 由于低阻油层存在,部分油层、油水同层、水层的电测井响应特征比较接近,利用常规测井交会图法识别储层流体性质的难度大.

目前,在低电阻率油层形成机理深入研究的基础上^[4-6],形成了一系列针对不同低电阻率油层类型相对有效的识别和评价方法. 孙建孟等^[7-9]提出用测井相的概念,根据试油试水资料把油层、油水同层、水层划分为三大类测井相,应用测井相分析的方法进行划相研究,从而把低电阻率油层的定性识别问题转化为划相研究问题. 施冬等^[10]根据五里湾地区长6油层组低阻油层的测井响应特征,结合地质和测试资料,采用模糊综合评判法对油气层进行判别,取得了较好的地质效果. 田中元等^[11]在前者的基础上,将改进后的 PICKETT 方法应用于低阻油层的识别,达到了满意的识别效果.

本文在认识到岩性细、泥质含量高是低阻油层成因的基础上,开发了“两步”识别方法. 首先,采用自然伽马相对值 ΔG_R 对深探测电阻率做泥质校正,以便减少泥质对油层电阻率的影响. 其次,应用 Bayes 判别分析方法^[12-14]建立了油水层的判别函数. 应用“两步”识别方法识别了沙四段储层的流体性质,经8口井36层的试油结果表明,符合率达到了88.8%,较好地解决了广利油田沙四段流体性质识别的技术问题.

1 储层电阻率的泥质校正方法

储层的电性特征是储层中岩性特征、含油性特征以及物性特征的整体表现. 电阻率主要受岩性、泥质含量、物性、含油饱和度、地层水矿化度、粘土阳离子附加导电性、钻井液侵入等因素的影响^[15-17].

针对岩性细、泥质含量高引起的低阻油层的电阻率有不同的泥质校正方法. 如:黄质昌^[18]等针对东营凹陷 DX176 块低电阻率油层是由岩性多变且具有极高地层水矿化度引起的问题,提出了基于储层岩性细分和含水饱和度泥质校正的低电阻率油层测井评价方法. 经过分析和对比,认为混合泥质含水饱和度模型的校正效果最佳. 针对研究区储层岩性

细、泥质含量高的特点,王冬娟^[19]将反映泥质含量的自然伽马相对值 ΔG_R 与深感应电阻率 R_{LD} 组合成 $R_{LD}/(1-\Delta G_R)$,作为更能真实反映地层电阻率的值.

考虑到岩性细、泥质含量高是广利油田沙四段低阻油层的主要成因,参照王冬娟的方法做了储层电阻率的泥质校正,以便突出电阻率对含油饱和度的响应. 其原理是:自然伽马随泥质含量变大而增大,电阻率随泥质含量变大而减小,定义储层泥质校正后电阻率 R_{TC} 为

$$R_{TC} = R_T / (1 - \Delta G_R), \quad (1)$$

$$\Delta G_R = \frac{G_R - G_{Rmin}}{G_{Rmax} - G_{Rmin}}, \quad (2)$$

式中, G_R 为自然伽马值, API; G_{Rmin} 为纯砂岩自然伽马值, API; G_{Rmax} 为纯泥岩自然伽马值, API; R_T 为深探测电阻率, Ωm .

可见,随泥质含量增加, ΔG_R 变大,电阻率的泥质校正量越大,泥质的影响越小,电阻率校正后更能反映含油饱和度. 图2给出了低阻油层电阻率泥

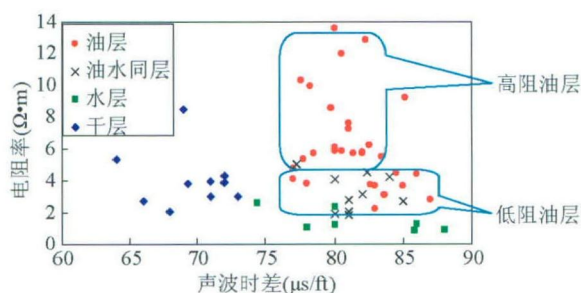


图1 声波时差与电阻率交会图

Fig. 1 Cross-plot of acoustic travel time and formation true resistivity

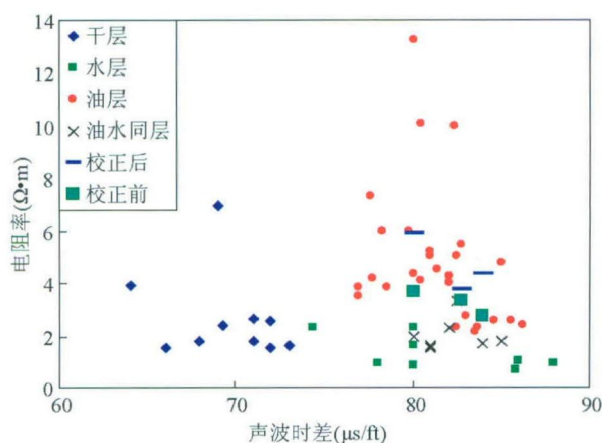


图2 油层电阻率泥质校正结果

Fig. 2 The argillaceous correction of reservoir resistivity

质校正前后的对比结果,结果表明油层电阻率增大,与高阻油层的电阻率接近.储层电阻率的泥质校正为进一步开展储层流体性质的识别奠定了基础.

2 广利油田沙四段储层流体性质的 Bayes 判别函数的建立

Bayes 判别分析是目前在储层划分、岩性识别、流体性质识别常用的一种多元统计方法^[20-24],它的思想体现在变量的引入与剔除上,利用 Wilks 准则,将显著性大的变量选入,同时将因新变量引入而使较早引入的变量显著性下降的变量剔除,直到既无变量选入,又无变量剔除为止,这样可以避

免对判别函数无关或影响很小变量的混入,使构建的判别函数更加合理^[25].本次研究,也选用了该方法.

2.1 样本及流体识别参数的选取

在选择能区分油水层分布特征的参数时,选取了探井或者开发井单层试油投产的数据作为样本层.在研究区,选取了各井都有的深探测电阻率泥质校正值(R)、冲洗带电阻率(R_{XO})、声波时差(A_C)、自然电位(S_P)、自然伽马(ΔG_R)5 个参数.使用最优化分层方法对储层分层,并提取了测井响应值^[23].表 1 给出了 19 口井 45 层的油层、油水同层、水层和干层的测井响应特征值的范围.

表 1 油水层测井响应特征
Table 1 Log responses characteristic of oil-water layer

流体性质	SP(mV)		GR(API)		AC(μ s/ft)		RTC(Ω m)		RXO(Ω m)	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
油层	95	16	46	24	88	77	22	2.4	17.7	2
油水同层	91	22	50	17	85	77	2.7	1.6	7.8	1.7
水层	78	27	50	26	90	78	2.5	0.7	6.2	0.74
干层	31	3	44	18	73	64	7	1.54	14	2.1

2.2 模型的建立

选取了 45 个样本层,综合利用声波时差、自然电位、相对自然伽马、深探测电阻率(校正后)、浅探测电阻率建立的油层、水层、油水同层和干层的判别函数分别为:

(1)油层:

$$F1 = -378.2 + 0.05 * S_P + 1.62 * G_R + 8.61 * A_C + 0.32 * R_T - 0.73 * R_{XO}, \quad (3)$$

(2)油水同层:

$$F2 = -388.5 + 0.14 * S_P + 1.57 * G_R + 8.77 * A_C + 0.06 * R_T - 1.2 * R_{XO}, \quad (4)$$

(3)水层:

$$F3 = -421.3 + 0.091 * S_P + 1.87 * G_R + 8.83 * A_C - 0.11 * R_T - 1.29 * R_{XO}, \quad (5)$$

(4)干层:

$$F4 = -272.5 + 0.016 * S_P + 1.28 * G_R + 7.3 * A_C + 0.13 * R_T - 0.74 R_{XO}. \quad (6)$$

为检验判别函数效果,对建立判别函数的 45 层样本进行了回判,自检符合率达到了 90.5%.因此,建立的流体识别模型识别精度较高,具有应用价值.

3 “两步”法识别广利油田沙四段流体性质效果分析

用“两步”法对研究区的 8 口新井进行了储层流体识别,并与试油与生产动态结果做了对比分析.结果表明,在 36 个油层、油水同层、水层和干层的样本中,有 4 个样本与试油结论不符,解释符合率达到 88.8%,较未经泥质校正的(80.5%)Bayes 逐步判别分析方法识别符合率提高了 8.3%.以下,对 2 口典型井做实例剖析.

1)X-3 井测井解释成功实例.图 3 是 X-3 井测井解释处理成果图.1 号层(X868.5 m—X872 m)电阻率为 2.7 Ω m,电阻增大率小于 3,为低阻油层.该油层自然伽马测井值为 69 API,泥质含量为 40.5%.通过电阻率泥质校正后电阻率为 4.5 Ω m,由 Bayes 函数计算结果 F1 值最大,判为油层.该层与 2 号层(x874.5 m—x877 m)合采,日产油 20 吨,日产水 0.5 方.测井解释结果与生产结果基本吻合.

2)图 4 是 X-1 井测井解释处理成果图.1 号层 X664.4 m—X668 m,电阻率为 2.3 Ω m,电阻增大率小于 3,是低阻油层.该油层自然伽马测井值为 70 API,泥质含量为 38%,并且存在砂泥岩薄互层,两

表 2 新井油水层解释结果

Table 2 The interpretation result of new well oil-water layer

序号	R_T	R_{TC}	生产动态结果	判别结果 (未校正)	判别结果 (校正)	序号	R_T	R_{TC}	生产动态结果	判别结果 (未校正)	判别结果 (校正)
1	2.4	3.7	1	1	1	19	1.8	2.9	4	4	4
2	2.6	3.6	1	2	1	20	2.4	3.7	4	4	4
3	2.6	3.6	1	1	1	21	2.6	3.9	4	4	4
4	2.1	2.9	1	2	2	22	2.63	3.9	4	4	4
5	2.3	3.0	1	2	2	23	3.9	5.3	4	4	4
6	3.8	4.8	1	1	1	24	7.0	8.4	4	4	4
7	3.3	3.7	1	1	1	25	2.3	3.1	2	2	2
8	7.3	9.0	1	1	1	26	1.51	2.0	2	3	3
9	10.1	11.9	1	1	1	27	1.6	1.8	2	2	2
10	4.8	5.4	1	1	1	28	2.0	2.7	2	2	2
11	4.5	5.7	1	1	1	29	4.0	4.8	2	1	2
12	2.7	4.3	1	1	1	30	1.6	2.3	3	3	3
13	5.2	6.6	1	1	1	31	2.3	2.5	3	2	2
14	3.8	4.1	1	1	1	32	0.83	1.1	3	3	3
15	3.7	4.5	1	1	1	33	0.99	1.2	3	3	3
16	1.5	2.4	4	4	4	34	0.7	0.8	3	3	3
17	1.6	3.0	4	4	4	35	2.3	2.3	3	2	3
18	1.5	2.6	4	4	4	36	0.95	1.0	3	3	3

注：油层—1，油水同层—2，水层—3，干层—4.

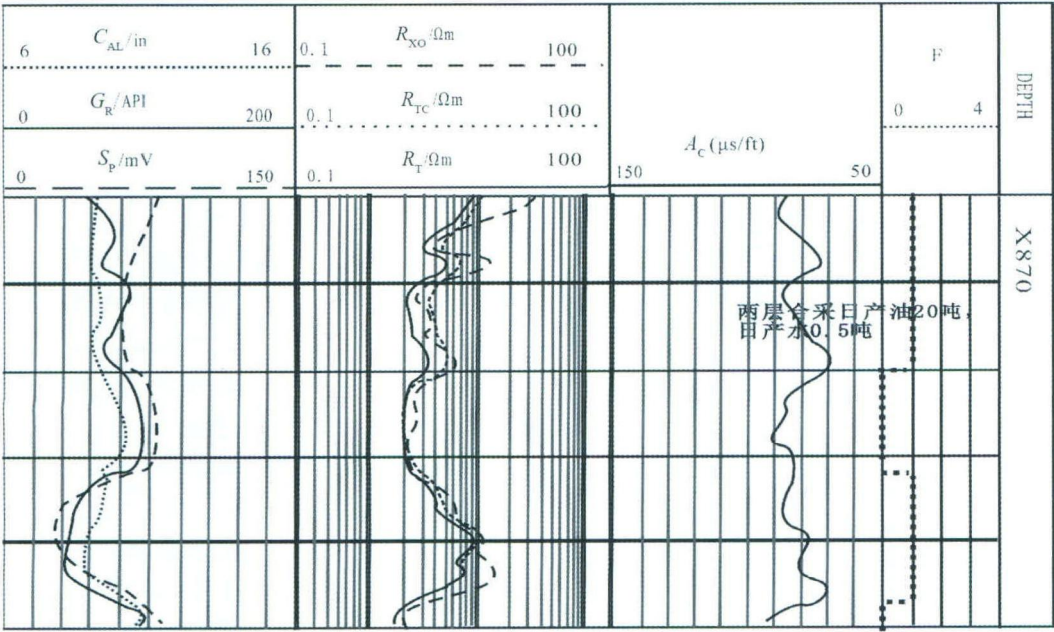


图 3 广利油田 X-3 井测井解释成果图

Fig. 3 The log interpretation of well X-3 in Guangli Oilfield

种因素共同导致电阻率较低. 通过电阻率泥质校正后电阻率为 $3.81 \Omega m$, 由 Bayes 函数计算结果 F2 值最大, 误判为油水同层, 该层日产油 $3.4 t$, 日产水 0.4 方. 分析原因, 认为薄互层对该油层电阻率有一定的影响, 仅仅是泥质校正并不能完全消除产生低阻的因素.

4 结论及讨论

本次研究, 取得了以下结论:

1) 利用自然伽马相对值 ΔGR 对深探测电阻率做泥质校正, 可以有效地消除岩性对油层电阻率的影响, 从而突出含油饱和度对油层电阻率的影响, 这

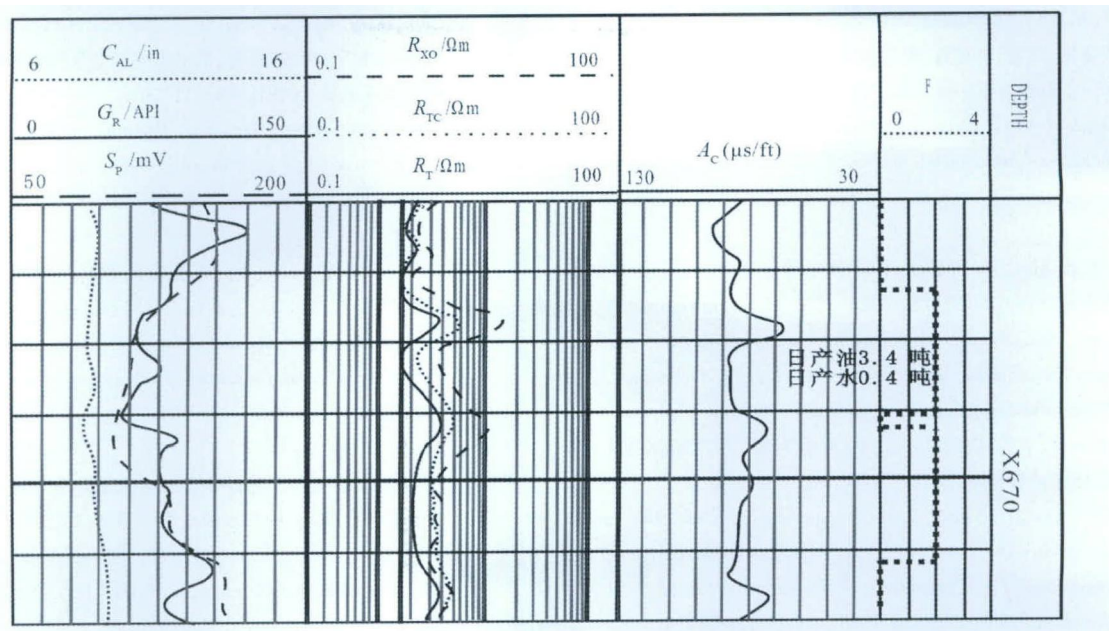


图4 广利油田 X-1 井测井解释成果图

Fig. 4 The log interpretation of well X-1 in Guangli Oilfield

种做法与分岩性建立储层流体性质识别标准的做法是相当的,但更有利于建立不同岩性储层流体性质的统一识别方法和标准,资料解释更方便。

2) “两步”法识别油水层的符合率较高(88.8%),较未经泥质校正的 Bayes 逐步判别分析方法识别符合率提高了 8.3%,能够满足广利油田沙四段储层流体性质识别的需要。

在方法研究和工程应用过程中,我们也有一些认识和发现,供大家参考和交流。首先,储层流体性质识别的方法研究一定要建立成因研究的基础上,以便采取适当的测井资料处理或者分类研究。如本文针对岩性细、泥质含量高是广利油田沙四段低阻油层的主要成因,对储层电阻率做了泥质校正处理,提高了 Bayes 判别分析的应用效果。其次,本次研究发现了由于砂泥岩薄互层造成的低阻油层,需要开展有关薄层电阻率等测井资料校正处理才能有效识别,希望引起测井分析家的足够重视和研究。

参 考 文 献 (References):

- [1] 马明福,徐建永,徐怀民,等. 广利油田纯化镇储集层敏感性评价[J]. 油气地质与采收率,2001,8(4):69-71.
Ma Mingfu, Xu Jianyong, Xu Huaimin, *et al.* Sensitivity evaluation on Chunhuazhen reservoir in Guangli oilfield Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001,8(4):69-71.
- [2] 马明福,方世虎,张煜,等. 东营凹陷广利油田纯化镇组低渗透储层微观孔隙结构特征[J]. 石油大学学报,2001,25(4):10-

12.

- Ma Mingfu, Fang Shihu, Zhang Yu, *et al.* Characteristics of micropore in low permeability reservoir at Chunhuazhen formation of Guangli oilfield in IN Dongying sag[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2001,25(4):10-12.
- [3] 孙兴刚. 频谱分解技术在广利-青南地区勘探中的应用[J]. 油气藏评价与开发,2011,1(6):17-20.
Sun Xinggang. The application of spectral decomposition technology in the exploration of Guangli-Qingnan area [J]. Reservoir evaluation and development, 2011,1(6):17-20.
- [4] 郭兰,张小莉,丁超,等. 川口油田川46井区长⁶¹低阻油层成因机理分析[J]. 国外测井技术,2012,(3):19-22.
Guo Lan, Zhang Xiaoli, Ding Chao, *et al.* Research on the formation mechanism of Chang⁶¹ low-resistivity oil reservoir of Chuan46 well block in Chuankou oilfield [J]. World well logging technology, 2012,(3):19-22.
- [5] 谢然红,冯启宁,高洁,等. 低电阻率油气层物理参数变化机理研究[J]. 地球物理学报,2002,45(1):139-145.
Xie Ranhong, Feng Qining, Gaojie, *et al.* Mechanism of petrophysical parameter variations in low resistivity oil and gas reservoirs[J]. Chinese journal of geophysics, 2002, 45(1): 139-145.
- [6] 王赛英,赵冠军,张萍,等. 低阻油层形成机理及测井识别方法研究[J]. 特种油气藏,2010,17(4):10-14.
Wang Saiying, Zhao Guanrun, Zhang Ping, *et al.* Formation mechanism and logging identification of low resistivity reservoirs[J]. Special oil and gas reservoirs, 2010,17(4):10-14.
- [7] 孙建孟,陈钢花,杨玉征,等. 低阻油气层评价方法[J]. 石油学报,1998,19(3):83-88.
Sun Jianmeng, Chen Ganghua, Yang Yuzheng, *et al.* Low contrast resistivity reservoir method[J]. Acta Petrolei Sinica,

- 1998, 19(3):83-88.
- [8] 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, 2004, 28(3):33-36.
Zhang Liyan, Chen Ganghua, Sun Jianmeng. Lithofacies characters and analytic methodologies of glutenite reservoir in Luoia area [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2004, 28(3):33-36.
- [9] 原宏壮, 陆大卫, 孙建孟. 测井技术新进展综述[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(3):786-794.
Yuan Hongzhuang, Lu Dawei, Sun Jianmeng, *et al.* An overview of recent advances in well logging technology[J]. Progress in Geophysics, 2005, 20(3):786-794.
- [10] 施冬, 郭甲世. 模糊综合评判法在低阻油气层中的应用[J]. 物探勘探计算技术, 1998, 20(2):146-150.
Shi Dong, Guo Jiashi. Applications of the fuzzy comprehensive evaluation to the low resistivity oil-gas reservoirs[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 1998, 20(2):146-150.
- [11] 田中元, 卞德智, 陈昊, 等. 改进的 PICKETT 法在 Y 油田低阻油层识别中的应用[J]. 石油学报, 2005, 26(4):81-84.
Tian Zhongyuan, Bian Dezhi, Chen Hao. Application of improved method to identification of low-resistivity pays in Y Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(4):81-84.
- [12] 韩学辉, 支乐菲, 李峰弼, 等. 应用 Bayes 逐步判别方法识别东辛油田沙四段储层流体性质[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(4):1243-1248.
Han Xuehui, Zhi Lefei, Li Fengbi, *et al.* Fluid property recognition in Es4 reservoir of Dongxin Oilfield with the application of bayes stepwise discriminant method [J]. Progress in Geophysics, 2011, 26(4):1243-1248.
- [13] 孙健, 周魁, 冉小丰, 等. Bayes 判别分析方法在岩性识别中的应用[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(2):74-77.
Sun Jian, Zhou Kui, Ran Xiaofeng, *et al.* The application of discriminatory analysis method in lithology recognition[J]. Journal of oil and gas Technology, 2009, 31(2):74-77.
- [14] 雍世和, 文政. 用 Bayes 判别法定量识别沉积微相[J]. 测井技术, 1995, (1):22-27.
Yong Shihe, Wen Zheng. Quantitative Discrimination of Sedimentary Microfacies with Bayes Discriminant Analysis [J]. Well Logging Technology, 1995, (1):22-27.
- [15] 张冲, 毛志强, 张超, 等. 低阻油层的成因机理及测井识别方法研究[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(1):48-53.
Zhang Zhong, Mao Zhiqiang, Zhang Chao, *et al.* A Survey on Genetic Mechanism and Identification Methods of Low-Resistivity Layer [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2008, 5(1):48-53.
- [16] 穆龙新, 周丽清, 郑小武, 等. 精细油藏描述及一体化技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2006.
Mu Longxin, Zhou Liqing, Zheng Xiaowu, *et al.* Accurate reservoir description and integrated technology [M] (in Chinese). Beijing:Petroleum Industry Press, 2006.
- [17] 潘和平, 黄坚, 樊政军, 等. 低电阻率油气层测井评价[J]. 勘探地球物理进展, 2008, 25(6):11-16.
Pan Heping, Huan Jian, Fan Zhengjun, *et al.* Evaluation of low resistivity oil(gas)-bearing reservoirs using well logging information[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2008, 25(6):11-16.
- [18] 黄质昌, 黄新平, 冷洪涛. 东营凹陷 DX176 块低电阻率油层评价技术[J]. 测井技术, 2010, 34(5):457-461.
Huang Zhiping, Huang Xinping, Leng Hongtao. Low resistivity payzone evaluation methodology for DX176 block in Dongying depression[J]. Well Logging Technology, 2010, 34(5):457-461.
- [19] 王冬娟. 白音查干凹陷锡林好来地区复杂油气藏测井评价方法研究[D]. 东营, 中国石油大学(华东), 2010. 6.
Logging evaluation method study of complex reservoir in Baiyinchangan sag Xilinhaolai region [D]. Dongying, China University of Petroleum, 2010. 6.
- [20] 王志章, 何刚. 储层流动单元划分方法与应用[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3):362-365.
Wang Zhizhang, He Gang. Division of reservoir flow unit and its application[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(3):362-365.
- [21] 寻知锋, 余继峰. 聚类和判别分析在测井岩性识别中的应用[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2008, 27(5):10-13.
Xun Zhifeng, Yu Jifeng. The application of Cluster and Discriminant Analyses in logging lithology recognition[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2008, 27(5):10-13.
- [22] 王雅春, 田春阳, 张振伟, 等. 多总体逐步判别分析法在复杂油水层识别中的应用[J]. 大庆石油学院学报, 2010, 34(2):26-31.
Wang Yachun, Tian Chunyang Zhang Zhenwei, *et al.* The application of multigroup stepwise discriminant analysis for complex oil, water and dry layers identification[J]. Journal of Daqing Petroleum institute, 2010, 34(2):26-31.
- [23] 王学仁, 等. 地质数据的多变量统计分析[M]. 北京:科学出版社, 1982.
Wang Xueren, *et al.* Multivariate statistical analysis of geological data[M]. Beijing: Science Press, 1982.
- [24] 彭苏萍, 孟召平, 戈连柱. Bayes 逐步判别分析法在煤矿瓦斯分区评价中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31(2):10-12.
Peng Suping, Meng Zhaoping, Ge Lianzhu. Application of stepwise discriminant analysis in partition district [J]. Coal Geology & Exploration, 2003, 31(2):10-12.
- [25] 肖波, 韩学辉, 等. 测井曲线自动分层方法回顾与展望[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(5):1802-1810.
Xiao Bo, Han Xuehui, *et al.* A review and outlook of automatic zonation methods of well log [J]. Progress in Geophysics, 2010, 25(5):1802-1810.