

A Study on Logging Automatic Recognition of Beach Bar Sedimentary Units on the Southern Slope of Dongying Depression

Chao Xie^{1*}, Longwei Qiu², Yang Yang³

¹CNOOC Research Institute, Beijing

²Eath Resource and Information Institute, China University of Petroleum (East China), Qingdao Shandong

³Energy Institute, China University of Goeology (Beijing), Beijing

Email: xiechao8@cnooc.com.cn

Received: Nov. 22nd, 2018; accepted: Dec. 4th, 2018; published: Dec. 11th, 2018

Abstract

The beach bar sand-body of Es4s on the southern slope of Dongying Depression has gradually become important strategic target of increasing the reserve. On the basis of summarizing lots of modern sedimentary study and analyzing the logging and core of beach bar, it divides beach bar into four evolution stages, and they are subdivided into five sedimentary units. It analyzes well logging response of structural units of beach bar and susceptibility of logging curve according to the analysis of core, well logging and imaging logging data. Based on Bayes principle, it sets up the discriminant formula for each unit to make automatic recognition of the units, which is meaningful for exploration and exploitation of next stage.

Keywords

Southern Slope of Dongying Depression, Beach Bar, Sedimentary Units, Well Logging Response, Automatic Recognition

东营凹陷南坡古近系滩坝单元测井自动识别

解超¹, 邱隆伟², 杨洋³

1中海油研究总院, 北京

2中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 青岛

3中国地质大学(北京)能源学院, 北京

Email: xiechao8@cnooc.com.cn

收稿日期: 2018年11月22日; 录用日期: 2018年12月4日; 发布日期: 2018年12月11日

*通讯作者。

摘要

东营南坡古近系沙四上亚段滩坝砂体已逐步成为增储上产的重要战略勘探目标。通过总结大量滩坝现代沉积考察及录井岩心分析结果的基础上,从沉积动力的角度将滩坝划分为弱波浪作用、动荡水流-冲洗回流、风成、沼泽化等四个演化阶段,进一步细分为A至E等五个沉积结构单元。在关键井取心、常规测井及成像测井资料分析的基础上,研究滩坝各沉积单元常规测井曲线响应特征,并对曲线敏感性进行分析。根据Bayes判别分析原理,结合上述研究成果,对滩坝各结构单元建立判别公式,从而达到自动识别的目的,对下一步的勘探开发工作具有一定指导意义。

关键词

东营凹陷南坡, 滩坝, 结构单元, 测井响应, 自动识别

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

在长期的沉积学研究及隐蔽油气藏勘探实践中,沉积相、亚相特别是微相的研究一直是非常重要的工作。目前,这项工作主要是在相模式和相序递变规律的指导下,通过大量观察岩心观察与描述,并综合地震、测井资料来判断沉积环境。这样的研究方法一般仅适用于确定取心段的沉积环境,在非取心井段可操作性差。而随着测井资料的丰富和计算机技术的逐步发展,在没有大量取心的情况下,可以利用各种测井资料及数学分析方法,结合岩心资料,以计算机为工具自动识别沉积微相及结构单元[1],从而为砂体分布预测和隐蔽油气藏勘探打下良好的基础。

自动识别技术是将信息数据自动采集、自动输入计算机应用系统进行处理,以计算机技术和通信技术为基础的综合性科学技术。自动识别技术提供了非常可靠的自动识别和事物追踪方法,它所传递、存储的信息可以非常大,包括从基本的关于人和事物的识别信息到关于它们的详尽的人们可以理解的信息。自动识别技术包括多种识别技术,可以提供处理不同的信息收集、传递信息的方法,是数据自动识读并自动输入计算机的重要方法和手段[2] [3]。近年来,如何快速而准确地识别油气层属性已逐渐成为国内外油气勘探开发及其相关领域亟需解决的难题,采用多参数判别油水层的方法有灰色理论分析法、数理统计法、模糊聚类法、神经网络法、微差分析法及多组、逐步判别法等[4] [5]。

砂质滩坝沉积是陆相断陷湖盆缓坡带滨浅湖区常见的一种沉积类型[6]。过去的滩坝微相划分方案未能解决坝和滩的关系和滩坝整体的沉积动力演变等问题。同时,受单个滩坝砂体横向展布范围有限和粒度变化不大的影响,仅利用岩心资料不易区分各沉积微相,因此,笔者从沉积动力演变的角度,对滩坝内部的沉积微相及沉积结构单元进行划分,并针对东营凹陷南坡为研究区,利用多种测井曲线和数学判别分析方法,对滩坝沉积结构单元进行了有效的自动识别。

2. 区域地质背景

研究区位于东营凹陷南斜坡的博兴洼陷和利津洼陷部分区域。东营凹陷位于济阳拗陷南部,属于北断南超、北陡南缓的不对称箕状断陷,其南斜坡区为洼陷向凸起的过渡地区,具有缓坡带的特征[7] [8]。

博兴洼陷和利津洼陷是东营凹陷西南部缓坡带的次级洼陷(图 1)。

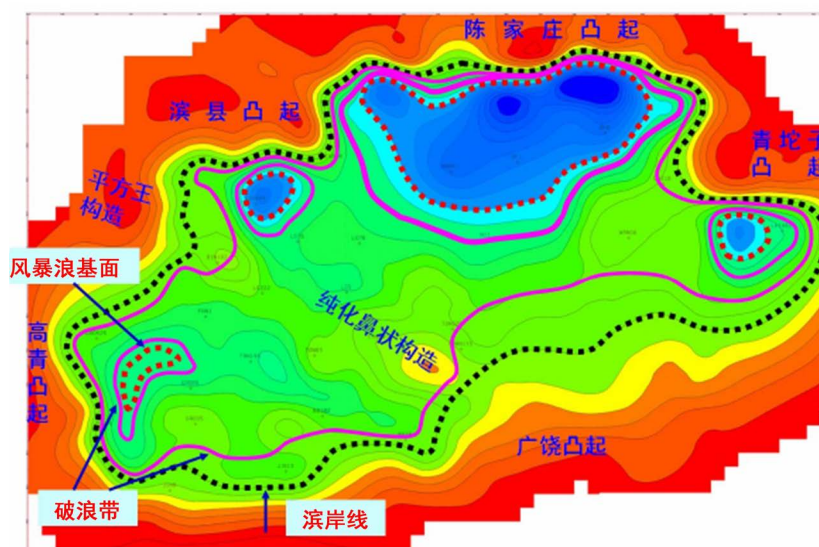


Figure 1. Paleo-topography and paleo-environment matching graph of Upper Es4 in Dongying Depression
图 1. 东营凹陷沙四上古地形 - 古环境匹配图[9]

研究区沙四段地层划分为上、下两个亚段。沙四下亚段在东营凹陷南坡以红色泥岩夹砂岩沉积为主。沙四上部纯下亚段沉积时期为持续断陷期，气候开始向潮湿转化，水体逐渐加深。以滨浅湖相沉积为主。本层段滩坝砂体发育，岩性为灰色粉细砂岩、泥质粉砂岩、灰质粉砂岩与深灰色、灰色泥岩、砂质泥岩等厚互层。滩坝砂体在测井曲线上以 2.5 m 底部梯度视电阻率曲线基值较纯上显著降低和自然伽马曲线幅度突然增大为特征(图 2)。纯上亚段沉积时期断陷持续、湖盆扩大，水体持续加深，为浅湖 - 半深湖相沉积。岩性以褐灰色油页岩、深灰色砂质泥岩、灰质泥岩为主，与下伏纯下亚段呈整合接触。

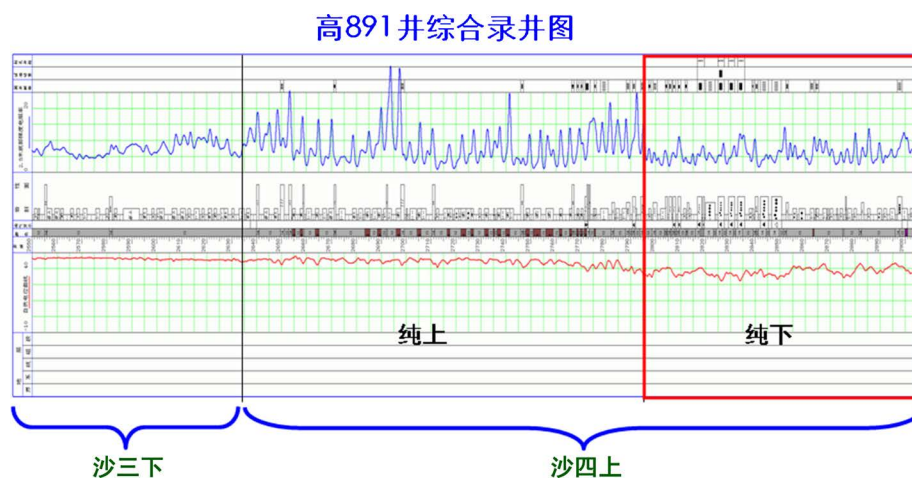


Figure 2. Sketch map of beach bar sand bodies logging response (shown in the red box)
图 2. 滩坝砂体测井响应特征示意图(红框所示)

3. 滩坝沉积单元划分及测井响应特征

很多专家学者曾对滩坝的沉积微相及结构单元划分进行过研究。伊强[10]等整体上将滩坝分为滩坝外

侧、滩坝内侧、滩坝主体三种微相。操应长、曾发福、冯兴雷[11][12][13]等将砂坝分为坝主体、坝测缘、坝间几种微相，廖东良、田继军、李国斌[14][15][16]等将滩砂分为滩脊、滩席(滩度)、滩脊间(滩间湾)几种微相。上述分类方案大多是从宏观形貌上对滩坝的沉积微相进行划分，没有对滩坝的沉积演化过程形成准确、全面的认识。陈世悦[17]等首次从沉积动力学的角度将一个完整的滩坝划分为坝前微相(a)、滩坝外侧缘微相(b)、滩坝主体或坝顶微相(c)、滩坝内侧缘微相(d)和坝后微相(e)，但这种方案没有将滩和坝这两种沉积体进行明确区分，同时划分不够完整。参照上述研究成果，将滩坝的演化过程划分为 I、II、III、IV 四个演化阶段及 A、B、C、D、E 五个沉积单元(图 3)。

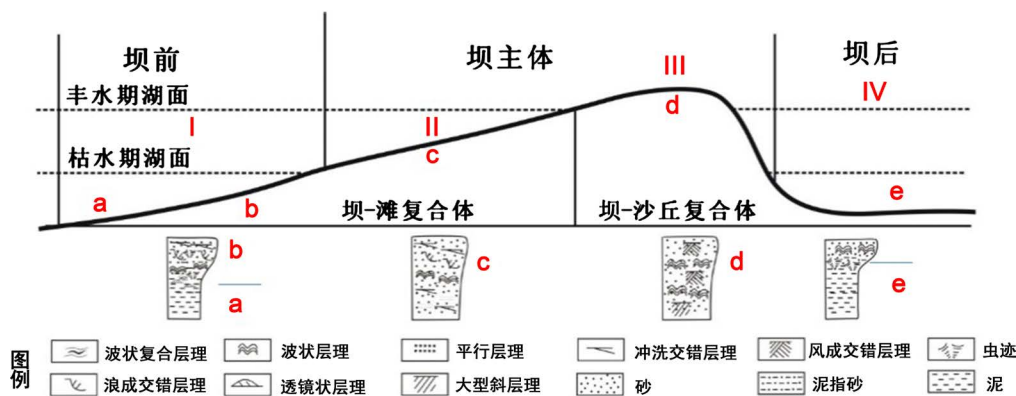


Figure 3. Graph of beach bar sedimentary units and evolution model

图 3. 滩坝概念归属及演化模式图

针对研究区内滩坝沉积体的测井曲线特征，吴海燕、李燕等针对东营凹陷西部及南部缓坡带的滩坝砂岩的测井响应特征进行了总结[18][19]。王继红[20]认为，利津洼陷沙四段坝砂储层响应为自然伽马相对低值，三孔隙度曲线重合性好；滩砂电阻率曲线呈低幅薄层指状，三孔隙度重合较好，自然电位起幅较低。但上述研究缺乏对滩坝各沉积微相测井响应特征的深入探讨。

阶段 I 属于弱波浪作用阶段，沉积物以泥质为主。该阶段发育水下浅滩微相，包括 A、B 两个单元。A 单元水动力相对较弱，以砂质泥岩为主，测井相应特征包括 GR 曲线一般呈齿形，GR、RT 曲线均呈低幅，三孔隙度曲线不重合，微电极曲线形态呈尖刀状。B 单元水动力相对较强，以泥质砂岩及砂岩为主，厚度一般在 2 m 以上；测井响应特征表现为 GR 曲线一般呈钟形、漏斗形或钟形-漏斗形复合形态，GR、RT 曲线幅度中等，三孔隙度曲线不重合，微电极曲线形态上出现“毛刺”且幅度小于 A 单元。阶段 II (即 C 单元)属于动荡水流-冲洗回流阶段，岩性主要为较纯净的砂岩，是湖水冲刷回流作用所形成的，沉积构造以冲洗层理为主；测井响应特征方面，GR 曲线一般呈指形或箱形，GR、RT 曲线幅度较 A、B 单元有明显的增大，三孔隙度曲线重合较好。阶段 III 属于风成阶段，与 D 单元相对应，岩性为风成作用下形成的砂岩，主要发育风成交错层理；测井响应特征主要表现为 GR 曲线幅度与 C 单元接近，曲线一般呈低幅 RT、CNL 曲线幅度比 C 单元略低，且紧邻 C 单元之上出现，三孔隙度曲线重合较好。阶段 IV 为沼泽化阶段，与 E 结构单元相对应，沉积物以静水环境中形成的富含有机质的泥质沉积物为主；测井响应特征方面，GR 一般呈幅度很低的比较平直的曲线，在测井曲线上难以识别(图 4，图 5)。

4. 滩坝沉积单元测井自动识别方法及应用

4.1. 测井曲线敏感性分析

根据测井曲线数值变化所反映的滩坝演化结构单元变化程度，来判断每种曲线与结构单元的变化之

间的关联，从而将其中关联度大的曲线作为敏感曲线提取出来，为沉积单元划分做好准备。选取任意两种测井曲线中的任意两种，分别绘制交会图。如果交会图中滩坝的各个结构单元能够通过其中的一种(或两种)曲线被最大程度地区分开，说明这一种(或两种)测井曲线敏感性最好。

按照上述方法，以各单元不同类型测井曲线均值为基础绘制交会图，结果表明 GR 曲线的敏感性最强，进一步地，发现 A 单元 GR 曲线取值范围一般为 80~103 API，B 单元 GR 数值范围一般为 60~80 API，C、D 单元的 GR 数值范围接近，C 单元一般为 40~60 API，D 单元约为 45~60 API，E 单元在岩性组合方面与 A 单元接近，GR 数值范围一般为 90~110 API。另外，CNL、AC 和 RT 曲线的敏感性也较强，利用这三种曲线也可将各单元比较好地区分开，而 DEN 曲线敏感性较差，区分指示效果较差(图 6)。

作为沉积相研究的一种新方法，不少学者曾对利用测井曲线自动识别沉积微相进行过探索。孔凡立、陈刚花等利用 Bayes 判别模型对河流相的各沉积微相进行了计算机快速判别[21] [22]。严科等根据判别分析原理对三角洲平原及前缘亚相所包括的各微相进行了自动识别[23]。但目前还未曾对滩坝的不同沉积单元进行有效的测井相分析和自动快速识别。

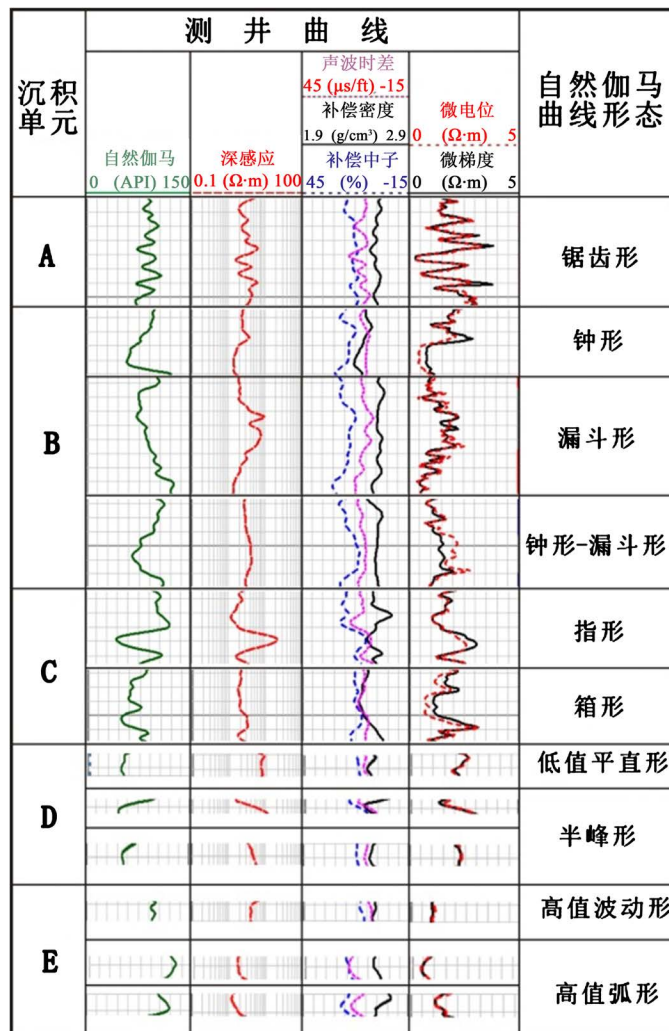


Figure 4. Graph of beach bar sedimentary units logging characteristics
图 4. 滩坝各沉积单元测井响应特征表图

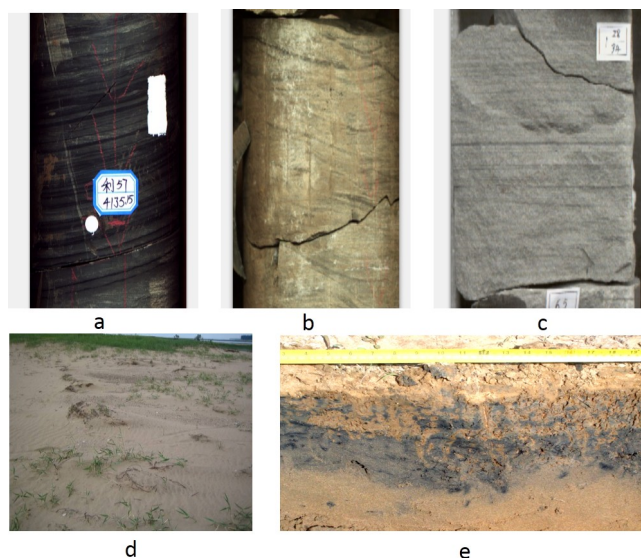


Figure 5. Typical core or outcrop pictures of beach bar sedimentary unit (a: Thin sand-shale interbed; b: Wave-built cross-bedding; c: Swash cross bedding; d: Aeolian sand deposition; e: Argillaceous marshy deposits)

图 5. 滩坝各沉积单元典型岩心或露头照片(a: 砂泥岩薄互层; b: 浪成交错层理; c: 冲洗层理; d: 风成砂沉积; e: 富泥质沼泽化沉积)

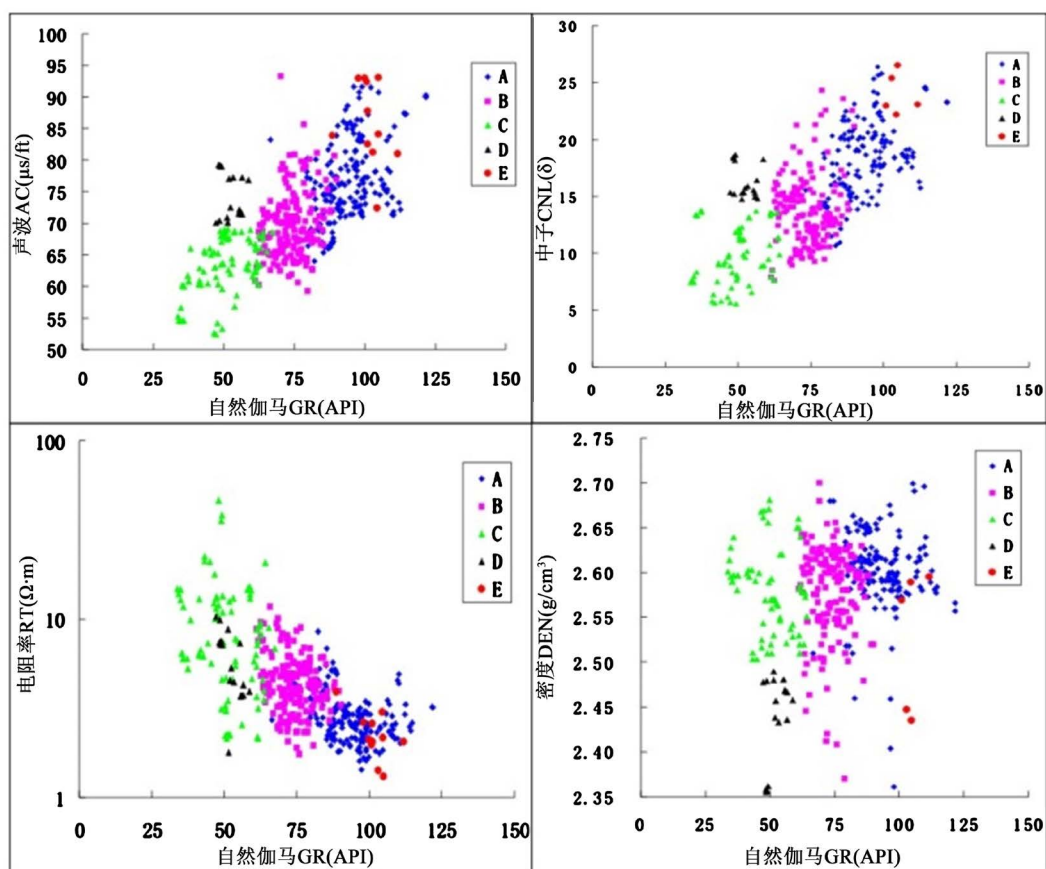


Figure 6. Sensibility cross-plots of logging curves of different beach bar units

图 6. 不同沉积单元测井曲线敏感性交会图

4.2. 自动识别原理

针对滩坝结构单元的常规测井自动识别问题，主要是根据 Bayes 判别原理来实现对 A、B、C、D 等单元的判别。Bayes 判别的基本思想是认为空间中有 G 个互相独立的总体，它们均服从多元正态分布且认为个总体的协方差矩阵相同。在考虑先验概率的前提下，对每一类总体分别构造判别函数，计算待判样本属于各个总体的条件概率，所有各概率的最大值即为该样本所属的类别[24]。

在上述基本思想的指导下，针对多元判别函数，推导得到 Bayes 判别法的判别方程形式如下：

$$y_g = C_{0g} + \sum_{i=1}^p C_{ig} x_{ig}, \quad g = 1, 2, \dots, G \quad (1)$$

式中， C_{0g} 与 C_{ig} 为判别系数。将样本参数值 x_{ig} 代入，则样本判别函数最大值为：

$$y_g^* = \max_{1 \leq g \leq G} y_g \quad (2)$$

即将样本划归入第 g^* 类总体。

4.3. 沉积单元自动识别

根据交会图分析结果，发现对研究区滩坝砂体中的 A、B、C 单元较敏感的曲线包括 GR、RT、CNL 和 AC 曲线，对 D 单元较敏感的曲线有 CNL、AC 和 DEN 曲线。由于 AC 曲线受井眼影响，跳尖现象明显。因此一般情况下，选用敏感性较强的 GR、RT、CNL 曲线建立 A、B、C 单元的判别方程较为精确；而在没有 CNL 曲线的情况下，可选取 GR、RT、AC 曲线建立判别方程。D 单元与 C 单元在岩性方面特征类似，砂岩为主，砂质纯，并且粒度都较细，但 D 单元物性比 C 单元更好，CNL、AC 和 DEN 曲线对区分 C 和 D 单元敏感性较强，而 DEN 曲线数值变化范围较小，判别时造成误差较大，因此选取 CNL 和 AC 曲线建立 C、D 单元的判别方程。E 单元泥质含量很高，且出现频率很低，识别意义不大，因此不需要对 E 单元建立判别方程。由于 D 单元是在已经发育 C 单元的基础之上才会出现，因此首先对 A、B、C 单元进行自动识别，然后在已经识别出 C 单元(后简称 Co 单元)的基础上对 C、D 单元进一步识别。

具体来说，首先求取判别方程，并确定样本属于 A、B、C 单元的概率 Y_A 、 Y_B 、 Y_C ，再对这 3 个概率值进行比较，把最大概率值对应的单元作为样本判别结果。然后在此基础上，求取 C、D 单元的判别方程，并针对 Co 单元，得到样本属于 C、D 单元各自的概率 Y_C 、 Y_D ，进而按照上述方法对样本进行判别。

按照上述原理及步骤，挑选 A、B、C 单元中具有 GR、RT、CNL 曲线的共 218 组待判数据，利用 A、B、C 单元的 GR、RT、CNL 曲线判别方程(表 1)，对 218 组经过人工判别的结构单元进行自动识别，结果表明，A 单元判别符合率为 76.9%，B 单元判别符合率为 92.4%，C 单元判别符合率为 90.2%。A、B、C 单元的整体判别符合率为 87.2%，达到判别要求。

Table 1. Discriminant equation by GR, RT and CNL curves of A, B and C units

表 1. A、B、C 单元 GR、RT 和 CNL 曲线判别方程

结构单元	判别方程
A	$Y_A = -81.962 + 1.379GR + 2.361RT + 1.388CNL$
B	$Y_B = -55.661 + 1.115GR + 2.269RT + 1.158CNL$
C	$Y_C = -36.743 + 0.802GR + 2.36RT + 1.102CNL$

当没有 CNL 测井曲线时，选取 A、B、C 单元中具有 GR、RT、AC 测井曲线的 269 组待判数据，利

用 A、B、C 单元的 GR、RT、AC 曲线判别方程来进行自动识别(表 2)，结果表明，A 单元判别符合率为 78.4%，B 单元判别符合率为 91.4%，C 单元判别符合率为 87.3%。A、B、C 单元判别的整体符合率为 86.6%，达到判别要求。

Table 2. Discriminant equation by GR, RT and AC curves of A, B and C units

表 2. 研究区 A、B、C 单元 GR、RT 和 AC 曲线判别方程

结构单元	判别方程
A	$Y_A = -121.609 + 0.687GR + 1.01RT + 2.167AC$
B	$Y_B = -89.337 + 0.425GR + 0.953RT + 2.04AC$
C	$Y_C = -81.583 + 0.163GR + 1.111RT + 2.148AC$

在上述 A、B、C 单元快速识别的基础上，利用 Bayes 判别原理，进一步建立了 C、D 单元的判别方程(表 3)。结合由成像测井资料所得的人工判别结果，对具有 CNL 和 AC 数据的 Co 单元和 D 单元进行判别，结果表明 C 单元判别符合率为 95.08%，D 单元判别符合率为 94.44%，两个单元整体判别符合率为 94.76%，满足自动识别要求。综合分析上述判别结果，利用 GR、RT、CNL 曲线组和 GR、RT、AC 曲线组均可以比较好地实现对 A、B、C 单元的自动快速识别，而在此基础之上，再利用 CNL 和 AC 曲线组可以比较好地实现对 C、D 两种单元的自动快速识别。

Table 3. Discriminant equation by CNL and AC curves of C and D units

表 3. 研究区 C、D 单元 CNL 和 AC 曲线判别方程

结构单元	判别方程
C	$Y_C = -120.414 - 3.370CNL + 4.357AC$
D	$Y_D = -154.538 - 2.706CNL + 4.707AC$

通过对上述识别过程中出现的误判单元进行分析，发现误判的主要原因有以下几个方面：1) 部分位置进行成像测井时出现的电极明显错位现象对判别造成了干扰；2) 针对一套砂岩中有多套较薄的泥质隔层的情况，常规测井曲线的分辨率影响了泥质隔层的识别，从而造成误判；3) 局部位置灰质含量过高，对单元内部沉积构造的识别造成影响。

4.4. 应用效果分析

为了验证上述常规测井曲线形态特征及自动识别方法的准确性及可行性，笔者对研究区的梁 752 井和滨 440 井的滩坝储层建立判别方程，进行不同结构单元的自动识别，然后将识别结果与利用测井曲线形态特征得到的人工识别结果相比较，发现二者基本保持一致(图 7)。在 A、B、C 三个单元的自动识别过程中，B 的符合率最高，C 判别符合率也较高，人工判别为 C 的单元在自动识别过程中都可识别，存在少数 C 误判为 B 的情况；人工判别的 A 段大部分均可自动识别出来，但容易将紧邻 C 段或 B 段的上下误判为 A；根据 C 单元初步判断结果，进一步识别 C、D 单元的过程中，判别符合率较高。

通过对该套判别思路及方法在东营凹陷及周围其它地区的滩坝主要发育区的进一步应用发现，利用计算机并基于 Bayes 原理建立判别方程，在滩坝结构单元的判别，特别是对大量滩坝结构单元进行无重复无遗漏的判别方面有着比较好的应用，也能和人工识别结果相互印证。在此基础之上，可进一步地根据各结构单元在垂向剖面上相互叠置的关系，确定滩坝的沉积类型及其演化阶段，对下一步滩坝砂体的勘探开发工作具有一定的指导意义。

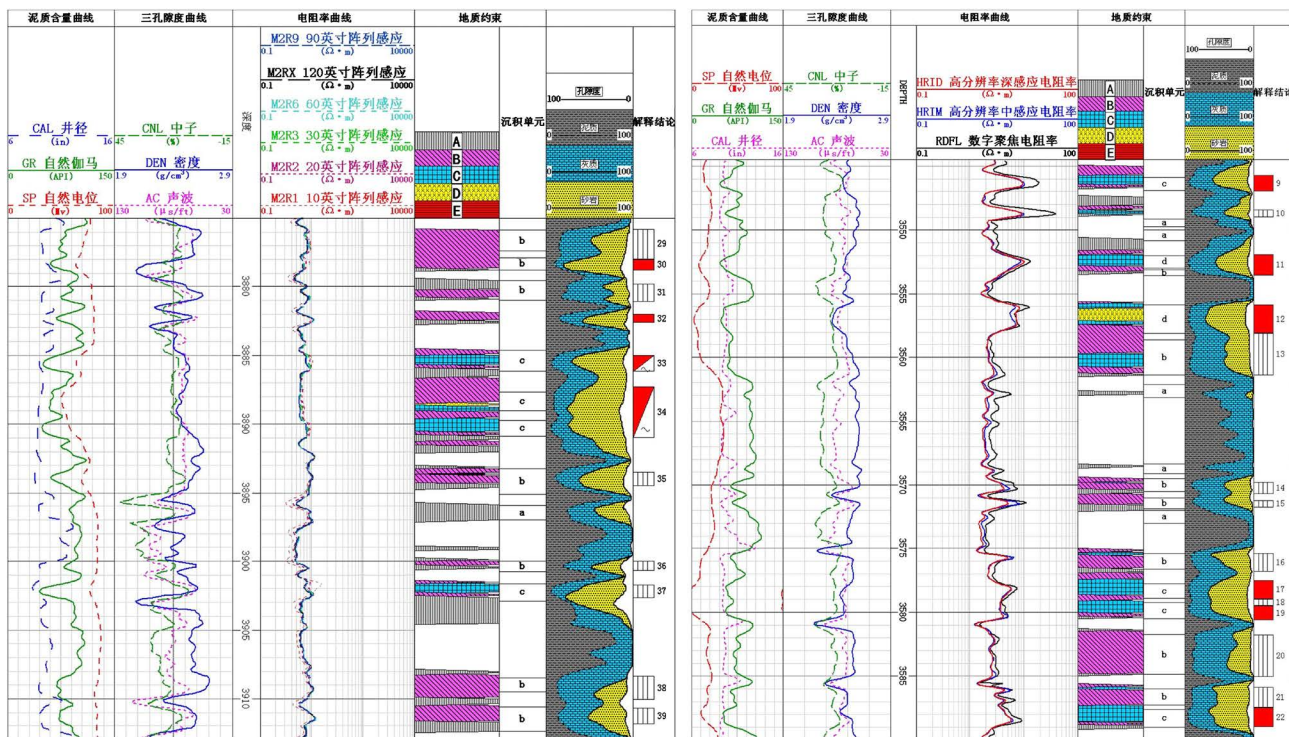


Figure 7. Comparison diagram of automatic identification and artificial identification of beach bar units (Left: Well Bin440; Right: Well Liang 752)

图 7. 沉积结构单元自动判别与人工判别对比图(左: 滨 440 井; 右: 梁 752 井)

5. 结论与认识

从过程沉积学的角度，将滩坝发育过程划分为 I、II、III、IV 四个演化阶段，进一步将滩坝细分为 A、B、C、D、E 五个沉积单元，并总结了各单元的岩性及测井响应特征。

从形态和幅度两方面总结各结构单元常规测井曲线特征，并利用交会图分析的方法对各单元的不同常规测井曲线的敏感性进行分析，结果表明，对于 A、B、C 单元，GR、RT、AC 和 CNL 曲线敏感性较强，而对于 D、E 单元，CNL 和 AC 曲线敏感性较强。

根据 Bayes 判别方法，首先建立 A、B、C 单元的判别方程，然后在此基础上建立 C、D 单元的判别方程，依据方程求取最大后验概率值并将其对应的单元作为样本的判别结果，从而实现对 A、B、C、D 等沉积单元的判别。通过将上述判别方法所得结果与人工判别结果进行对比，吻合率较高，表明上述判别方法对研究区滩坝沉积单元识别具有一定的应用价值。

参考文献

- [1] 卢松, 潘和平, 彭曙光, 等. 沉积微相和测井相研究及自动识别系统——以曲流河环境沉积为例[J]. 工程地球物理学报, 2009, 6(3): 332-337.
- [2] 何明峰. 浅谈自动识别技术发展及其应用[J]. 科技展望, 2017(1): 107-108.
- [3] 李一鹏. 自动识别技术在数字图书馆管理系统中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2006: 1.
- [4] 杨武剑, 郭大立, 全立媛, 等. 基于有监督模糊聚类分析的油气层识别技术[J]. 内江科技, 2015(4): 57-58.
- [5] 李铁军, 贺建, 凌立苏, 等. 油气识别的模糊聚类与遗传神经网络技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2014, 33(2): 31-34.
- [6] 蒋解梅, 王新征, 李继山, 等. 东营凹陷沙四段滩坝砂微相划分与砂体横向预测——以王家岗油田王 73 井区为

- 例[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(4): 12-15.
- [7] 宋明水. 东营凹陷南斜坡东部地区沙四段储层成岩作用研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, 32(3): 239-245.
- [8] 郭松. 东营凹陷南斜坡沙四上亚段滩坝相砂岩油气成藏机制研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2011: 6-7.
- [9] 唐东. 东营凹陷沙四段滩坝砂体沉积特征[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2010: 35.
- [10] 伊强, 周京津, 郭志远, 等. 惠民凹陷沙河街组滨浅湖碎屑滩坝沉积特征[J]. 西部探矿工程, 2006, 18(s1): 213-214.
- [11] 操应长, 王健, 刘惠民, 等. 东营凹陷南坡沙四上亚段滩坝砂体的沉积特征及模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2009, 33(6): 5-10.
- [12] 曾发富, 董春梅, 宋浩生. 滩坝相低渗透油藏储层非均质性与剩余油分布[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1998, 22(6): 39-45.
- [13] 冯兴雷, 马力祥, 邓宏文, 等. 大王北洼陷浅水漫湖砂质滩坝沉积微相特征[J]. 地质科技情报, 2009, 28(1): 9-14.
- [14] 廖东良, 刘江涛, 张元春, 等. 应用测、录井资料联合识别渤南洼陷滩坝砂岩沉积微相[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(31): 8379-8383.
- [15] 田继军, 姜在兴. 惠民凹陷与东营凹陷沙四上亚段滩坝沉积特征对比与分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(3): 612-622.
- [16] 李国斌, 姜在兴, 陈诗望, 等. 利津洼陷沙四上亚段滩坝沉积特征及控制因素分析[J]. 中国地质, 2008, 35(5): 911-919.
- [17] 陈世悦, 杨剑萍, 操应长. 惠民凹陷西部下第三系沙河街组两种滩坝沉积特征[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(3): 1-3.
- [18] 吴海燕. 东营凹陷西部滩坝砂岩储层测井响应特征[J]. 油气地质与采收率, 2009, 16(1): 41-43.
- [19] 李燕. 东营沙四段滩坝砂储层及流体测井识别方法[J]. 测井技术, 2009, 33(2): 143-147.
- [20] 王继红. 滩坝砂岩储层测井响应特征分析[J]. 内江科技, 2012(12): 145-146.
- [21] 孔凡立. 河流沉积微相自动识别方法研究与算法设计[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2011: 25-40.
- [22] 陈钢花, 王中文, 李德云, 等. 利用多元统计方法自动识别沉积微相[J]. 石油物探, 1997, 36(1): 71-76.
- [23] 严科, 杨少春, 任怀强. 吐哈盆地红台气田测井相分析[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2008, 30(4): 99-103.
- [24] 宋秋强, 张占松, 张冲, 等. 测井相-岩相分析在复杂岩性中的作用[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2013, 35(7): 78-81.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ag@hanspub.org