

应用测井资料定量识别沉积微相

文 政 雍世和 王中文

(石油大学, 山东 东营 257062)

提 要 本文利用多种测井曲线及其计算的地质参数曲线提取反映沉积微相的特征参数。应用主成分分析与模糊 K 均值聚类方法建立了埕岛油田馆上段地层的测井—沉积微相数值模型, 并开发了相应的计算机软件。对埕岛油田几口井测井资料的实际处理结果表明, 应用本文提出的方法识别的沉积微相与地质划分的结果吻合较好。文中, 给出了实际资料的处理结果。

关键词 沉积微相 计算机处理测井资料 测井地质学 数学地质

第一作者简介 文政 男 28 岁 硕士 测井专业

前 言

在陆相地层中, 对沉积相尤其是对沉积微相的研究, 是勘探开发隐蔽油气藏的重要工作。到目前为止, 这项工作几乎都是地质家应用定性方法综合分析钻井取芯、岩屑录井、测井及地震资料来进行研究的, 其结果与工作人员的经验密切相关。随着测井学科的迅速发展, 丰富的测井信息已成为研究地层的沉积学特征的强有力手段。将测井同地质、地震、现代数学等学科结合, 用计算机自动分析、识别沉积相及沉积微相, 已成为当前测井资料计算机处理解释与测井地质学的新领域^[6]。近两年来, 在胜利油田地质科学研究院有关人员的密切配合下, 我们开展了对我国近几年来在滩海地区发现的大型油气田—埕岛油田的主要含油层系即馆陶组上段地层的测井—沉积微相研究。这里主要介绍我们应用主成分分析与模糊 K 均值聚类法, 用计算机自动连续识别钻井地层剖面的沉积微相的方法应用结果。

1 测井—沉积微相分析的基本原理

将常规测井资料同地质资料结合, 进行测井—沉积微相分析, 自动定量地识别沉积微相的基本原理是: 将常规测井曲线及其计算的地质参数曲线同岩芯资料相结合, 用多种方法提取反映沉积微相的特征参数; 选用适当的数学方法建立本地区的测井—沉积微相数值模型; 根据所建立的模型用计算机处理解释测井资料, 自动连续的识别沉积微相, 获得该井地层的沉积微相剖面。

1.1 馆上段地层沉积特征概述

埕岛油田上第三系馆陶组上段地层是由砂岩、粉砂岩和泥岩组成。其上部以紫红色泥岩为主, 夹粉砂岩; 下部为棕褐色含油砂岩、粉砂岩、砂岩为主, 夹有薄层泥质粉砂岩和泥岩。

在纵向上具有下粗上细的正旋回,即具二元结构。各旋回下部为中—细砂岩或粉砂岩层,见交错层理和平行层理;旋回上部为杂色粉砂岩夹泥岩,或泥岩夹粉砂岩。馆上段地层属河流沉积,可分为四个微相。

(1)心滩 发育于辫状河中央河床底部冲积物的沉积,以砂岩为主,成熟度低,粒度变化范围大,粒级较粗,层理类型多,尤以交错层理为特征。在自然电位曲线上,常呈箱形或齿化箱形,或者两者的迭加。

(2)边滩 发育于曲流河道边的沉积,又称点砂坝。其形成是由于水流对河床凹岸冲刷侵蚀,搬运物质沉积于凸岸,在水下形成浅滩。随河床和侧向迁移浅滩增长、加厚出露水面,形成河床滨岸浅滩。特点是以砂岩为主,矿物成分复杂,成熟度较低。在垂向上,自下而上常出现由粗至细的粒度或岩性韵律。层理发育,主要是交错层理、板状交错层理。在 SP、GR 曲线上常呈钟形或齿化钟形,有时出现两者的迭加。

(3)天然堤 河流在洪水期因水位较高,河水携带的细、粉砂等物质沿河床两岸堆积而成。主要由粉砂岩、泥岩组成。粒度较边滩沉积要细,又比泛滥平原粗。垂向上突出特点是砂、泥岩组成薄互层,以小型波状交错层理为特征。在 SP 曲线上常呈锯齿状,反映间歇性水流沉积作用的特点。

(4)泛滥平原 河道及河道边缘外广阔冲积平面上的沉积。以泥岩、粉砂质泥岩为主,常夹有泥质粉砂岩和粉砂岩,SP 曲线常呈平直状或细锯齿形状。泥岩和泥质粉砂岩中常具水平层理。

1.2 特征参数的提取

从测井曲线及其导出的地质参数曲线提取反映沉积微相的特征参数,是实现自动识别沉积微相的首要前提。

根据埕岛油田馆上段地层沉积微相的岩性、岩石结构、沉积构造、粒序变化、沉积韵律和岩石物性等特征,选用五条测井曲线(声波时差 AC、地层密度 DEN、补偿中子 CNL、感应电导率 COND、冲洗带电阻率 R_{xo})与两条地质参数曲线(孔隙度 POR、泥质含量 SH),从多种方法中选用下述三种方法对每条曲线提取特征参数,这样对每种沉积微相共用 21 个参数来表示。三种提取特征参数的方法是⁽³⁻⁵⁾:

(1)沉积微相段的测井均值 V_A

$$V_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V(i)$$

式中 $V(i)$ ——某种测井或地质参数曲线第 i 个采样点的归一化值;

N ——沉积微相段内的采样点数。

V_A 能较好地反映沉积微相的岩性或物性特征。

(2)正偏值 V_H

$$V_H = \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} V(i), [V(i) \geq V_A]$$

式中 $V(i)$ ——大于 V_A 的归一化测井值或地质参数值;

N_1 ——微相段内大于 V_A 的采样点数。

V_H 能反映微相段内岩性或物性的变化。

(3)变差方差根 GS

$$GS = [G(h) + S^2]^{\frac{1}{2}}$$

式中 S^2 ——方差，可反映微相段内测井或物性参数的整体波动性；

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [V(i) - V_A]^2$$

$G(h)$ ——地质统计学中的变异函数，反映微相段内测井或物性数据的局部波动性。

$$G(h) = \frac{1}{2M(h)} \sum_{i=1}^{M(h)} [V(i) - V(i+h)]^2$$

式中 $M(h)$ ——间隔为 h 时的数据对 $[V(i), V(i+h)]$ 的数目。

可见，将 S^2 与 $G(h)$ 结合起来，可综合反映沉积微相段内测井或物性参数的整体波动性和局部波动性。

在计算上述参数前，均采用极差归一化方法对测井或物性参数值进行了预处理。需要指出，上述提取特征参数的方法是针对埕岛油田馆上段的沉积特征而采用的；当对其他地区或其它沉积相，应研究其它提取特征参数的方法。

1.3 主成分分析

用上述方法对每种沉积微相计算出 21 个特征参数，不仅参数多，数据量大，而参数之间存在着相关性，给随后的数学分类工作带来很大困难。为此，先采用多元统计分析中的主成分分析法，从具有复杂相关关系的 21 个特征参数中进一步选取最能反映沉积微相特征的少数几个非相关的主成分（其累积方差贡献率达 90% 以上），使其能有效地综合原 21 个特征参数所反映的沉积微相信息，又大大减少样本的维数及数据量，有利于随后的数学分类计算。

1.4 建立测井—沉积微相数值模型

所谓测井—沉积微相模型就是用于反映沉积微相特征、并能将不同的沉积微相区分开的一组特征参数集，用该模型就可以根据测井资料有效地识别不同的沉积微相。对具有 m 个特征参数的任一沉积微相，均可看作是在 m 维空间中的一个点。属于同类沉积微相的样本将彼此落在 m 维空间的一个区域，形成一个点群；而不同类的沉积微相形成的点群，又将以某种方式彼此分开。因此，建立测井—沉积微相数值模型问题，就是要寻找一种能够识别与区分该 m 维空间中有限个点群的方法。

根据埕岛油田馆上段沉积微相的特点，选用模糊 K 均值聚类分析法^[1-2]来建立该区的测井—沉积微相数值模型。用此法计算各类沉积微相的聚类中心向量 \vec{V}_j 为

$$\vec{V}_j = \frac{\sum_{i=1}^K u_{ij} \vec{X}_i}{\sum_{i=1}^K u_{ij}} \quad (1)$$

$$u_{ij} = 1 / \left[\sum_{l=1}^K (d_{il}) \right]^{1/(q-1)} \quad (2)$$

$$d_{ij} = \left[\sum_{i=1}^n |\vec{X}_i - \vec{V}_j|^q \right]^{1/q}, \quad j=1, 2, \dots, k \quad (3)$$

式中 \vec{X}_i ——第 i 个样本的主成分向量；

u_{ij} ——第 i 个样本对第 j 类微相的隶属度；

d_{ij} 与 d_{il} ——第 i 个样本至第 j 类与第 l 类微相聚类中心的距离；

q ——距离参数；

$\alpha \geq 0$ ——控制类别模糊性的参数。

显然，某本个样本距某类微相的聚类中心距离 d_{ij} 越小，则属于该类微相的隶属度就越大。因此，当用各类微相的标准样本数据计算出各类微相的聚类中心后，对新的样本 \vec{y}_i 可用(3)和(1)式分别算出它至各类微相聚类中心的距离 d_{ij} 及隶属度 u_{ij} ，按距离最小、隶属度最大的原则进行归类，将待判样本 \vec{y}_i 划归为使隶属度达到最大的那类微相 j^* 中：

$$u_{i,j^*}(\vec{y}_i) = \max_j \{u_{ij}(\vec{y}_i)\}; \quad 1 \leq j \leq k \quad (4)$$

根据上述原理，我们选取 CB20-1 取芯井作标准井，从该井的 38 个微相中选 22 个有代表性的微相作标准样本，由此建立的本区测井——沉积微相数值模型如表 1 所示。

应用所选的 22 个标准样本对此数值模型进行验判，结果仅错判 2 个，其验判成功率为 90%，说明所建的本区测井——沉积微相数值模型是有效的。

2 实验资料处理与效果

应用根据上述原理开发的计算机软件，对埕岛油田的取芯井 CB20-1 及其他 6 口井测井资料进行了实际处理。根据已建立的测井——沉积微相数值模型(表 1)，按(4)式所示的最大隶属度原则，对这七口井地层的沉积微相进行自动识别。图 1 示出处理流程图，表 2 与图 2 给出 CB20-1 井测井识别的微相与地质划

表 1 埕岛油田的测井——沉积微相数值模型

Table 1 Digital well log-microfacies model of the Chengdao oilfield

沉积微相	主成分 1	主成分 2	主成分 3
泛滥平原	0.7701	0.2222	0.0041
天然堤	0.7409	0.2255	1.0071
边 滩	0.5578	0.2322	0.9651
心 滩	-0.0760	-0.0373	1.1199

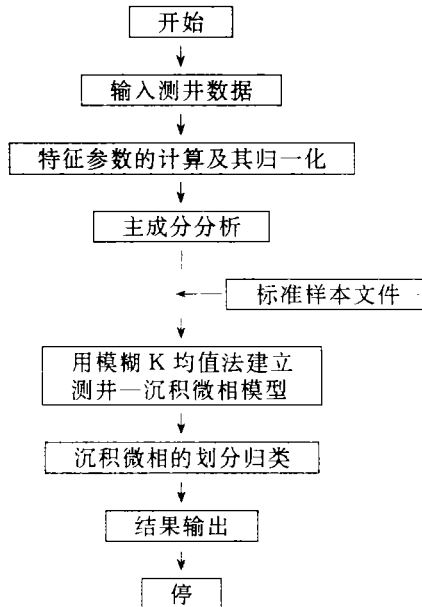


图 1 应用测井资料定量识别沉积微相的资料处理流程图

Fig. 1 Flow chart of quantitative discrimination of sedimentary microfacies by using well log data

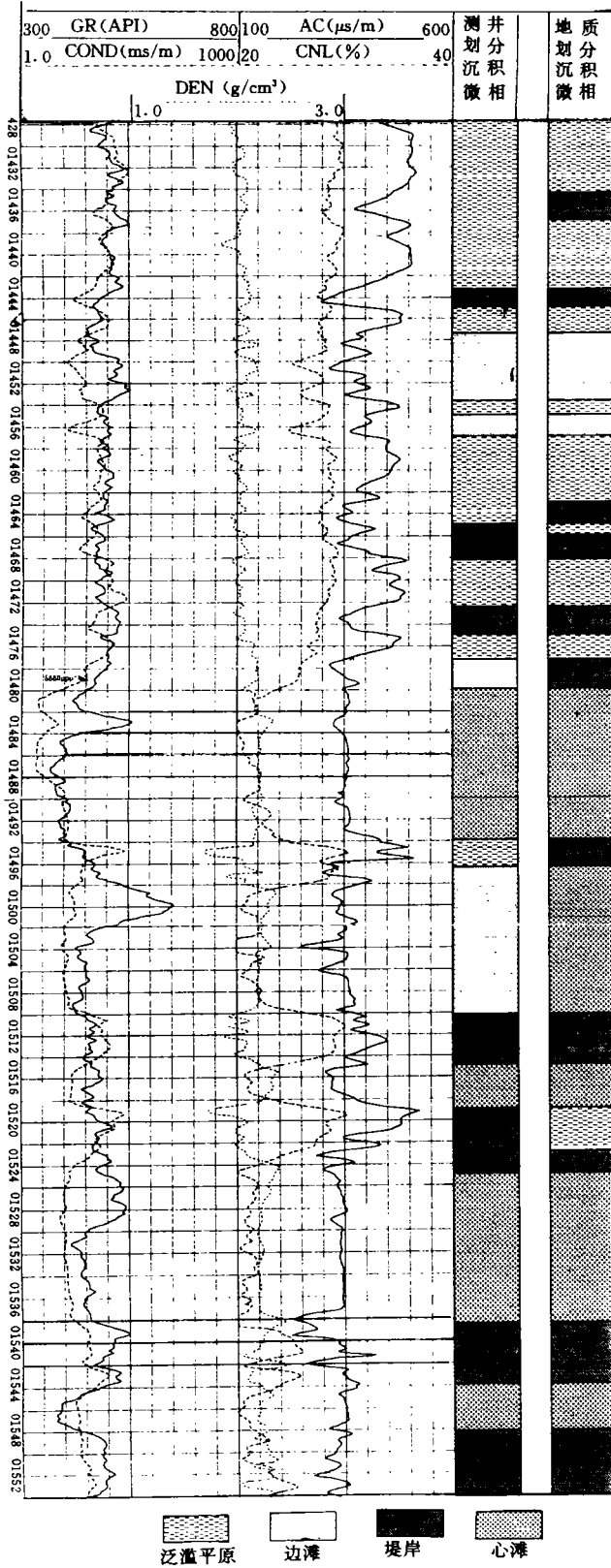


图 2 埕北 20-1 测井沉积微相成果图
 Fig. 2 Result map of well log microfacies of Well CB 20-1

表 2 CB20-1 井处理成果表

Table 2 Computer processing results of Well CB 20-1

序号	起止深度		测井划相	地质划相	序号	起止深度		测井划相	地质划相
1	1369.2	1371.2	2	天然堤 2	20	1457.0	1463.0	1	泛滥平原 1
2	1371.2	1375.0	1	泛滥平原 1	21	1463.0	1465.0	1	天然堤 2
3	1375.0	1377.5	2	边滩 3	22	1465.0	1466.0	2	泛滥平原 1
4	1377.5	1301.1	1	泛滥平原 1	23	1466.5	1468.2	2	天然堤 2
5	1381.1	1385.2	2	边滩 3	24	1468.1	1472.5	1	泛滥平原 1
6	1385.2	1392.2	1	泛滥平原 1	25	1472.2	1475.0	2	天然堤 2
7	1392.2	1396.5	3	边滩 3	26	1475.2	1477.2	1	泛滥平原 1
8	1396.5	1413.5	1	泛滥平原 1	27	1477.5	1480.0	3	天然堤 2
9	1413.5	1415.2	1	天然堤 2	28	1480.5	1494.0	4	心滩 4
10	1415.2	1422.0	1	泛滥平原 1	29	1494.2	1496.4	1	天然堤 2
11	1422.0	1427.7	1	天然堤 2	30	1496.0	1510.2	3	心滩 4
12	1427.7	1434.5	1	泛滥平原 1	31	1510.7	1515.0	2	天然堤 2
13	1434.5	1437.0	1	天然堤 2	32	1515.5	1518.9	4	心滩 4
14	1437.0	1443.2	1	泛滥平原 1	33	1518.0	1533.0	2	泛滥平原 1
15	1443.2	1445.0	2	天然堤 2	34	1523.2	1525.0	2	天然堤 2
16	1445.0	1447.5	1	泛滥平原 1	35	1525.0	1530.5	4	心滩 4
17	1447.5	1453.7	3	边滩 3	36	1538.5	1544.0	2	天然堤 2
18	1453.7	1455.0	1	泛滥平原 1	37	1544.7	1548.2	4	心滩 4
19	1455.0	1457.0	3	边滩 3	38	1548.0	1554.0	2	天然堤 2

说明: 1. 泛滥平原 2. 天然堤 3. 边滩 4. 心滩

总计: 38 错判个数: 9 正判百分比: 76.32%

分微相的对比。可见,用此法及软件自动识别的微相与地质划分微相吻合较好,两者的吻合率为 76.3%。用此法处理其余六口井资料的结果,测井识别的微相与地质划相的吻合率约 75%—85%。两者不一致的主要原因有:

(1)测井曲线受环境影响,如扩径影响而又未作校正,导致曲线失真。

(2)建立模型时受所选标准样本的代表性及数量的局限性影响,使模型的适应性受到影响。

(3)测井识别微相与地质划相方法不同。地质划相主要根据岩芯观察,综合分析录井和测井资料来定性划分微相的,与工作人员的经验密切相关;而测井识别微相是从测井响应出发,用定量计算方法来识别微相的。两者方法不同,导致两者得出结果可能不一致。

模糊 K 均值聚类分析是一种应用条件较宽、效果较好的聚类法。它在计算各类样本的聚类中心时,充分考虑了全体样本对各类母体的隶属程度,而隶属度又与样本到各类聚类中心的距离密切相关(d_{ij} 越大, u_{ij} 越小)。这就可能减少边远点和假点的干扰,提高分类的准确性。

本研究得到胜利油田地质科学研究所才巨宏、赵明海及石油大学申辉林等同志的热情帮助,在此表示衷心感谢。

收稿日期:1994-12-2

参 考 文 献

- [1] 于崇文等,数字地质的方法与应用,冶金工业出版社,1980。
- [2] 汪培庄,模糊集合论及应用,上海科学技术出版社,1983。
- [3] 王仁铎,利用测井曲线形态特征定量判别沉积相,地球科学,16(3)。
- [4] 李元元等,自然伽玛数字差别法研究沉积微相,沉积学报,1991,9(4)。
- [5] 廖光明等,模糊模式识别沉积相,地球物理测井,1991(15)。
- [6] O. Serra, Sedimentary environments from wireline logs, Schlumberger, 1985.

Quantitative Discrimination of Sedimentary Microfacies by Using Well Log Data

Wen Zheng Yong Shihe and Wang Zhongwen

(University of Petroleum, Dongying 257062)

Abstract

The characteristic parameters of sedimentary microfacies are extracted by using well logs and geological parameter curves. The digital well log microfacies model of the Chengdao oil field is established by means of the principal component analysis and fuzzy K-A average cluster method. The software of automatically and continuously discriminating microfacies based on the above-mentioned method has been developed. The well logging data of several wells located in the Chengdao oilfield have been processed by this software. The results well coincide with the microfacies that are determined by geologists. It has been demonstrated that the suggested methods are successful, the software is feasible. This paper presents the results of processing well log data in Well CB 20-1.

Key Words: sedimentary microfacies computer processing well log data well log geology mathematical geology.