

测井高分辨率层序地层自动划分技术与应用尝试

郑小武, 邓宏文, 徐怀大, 林金逞, 陈孟晋

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要:在河流-三角洲沉积体系中采用泥砂比定量描述了决定地层沉积模式的可容纳空间与沉积物供给速率比这一抽象而又重要的变量,使用的关键技术包括:测井岩相自动划分、泥砂比曲线定量计算以及测井曲线滤波等。并综合利用测井岩相、泥砂比曲线以及自然伽马趋势分析曲线自动划分高分辨率层序。利用这一技术可极大提高高分辨率层序地层划分的效率和精度。

关键词:测井岩相;泥砂比曲线;高分辨率层序地层;自动划分技术

第一作者简介:郑小武,男,38岁,博士生,测井、油藏描述及层序地层学

中图分类号:P539.2 **文献标识码:**A

科罗拉多矿业学院 Cross^[1]成因地层研究组发展的高分辨率层序地层学理论引入了地层基准面原理、体系域划分原理、相分异原理与旋回等时对比法则等新的概念和方法,这一新的理论正得到广泛应用。本文主要探讨如何根据基准面旋回原理实现计算机自动划分高分辨率层序地层的问题。

1 方法和原理

根据测井曲线和岩芯资料采用计算机自动划分高分辨率层序时,首先是划分岩相、求泥砂比曲线、自然伽马滤波曲线;然后是综合利用这些曲线计算地层短期基准面变化曲线;最后根据短期基准面变化曲线综合其他信息划分出不同级别的层序。

1.1 划分岩相

通常,人们主要根据钻井取芯、地质录井和三维露头这些高分辨率信息来划分地层基准面的短期旋回。对于一个油田,这些资料非常少,且连续性差,因此,只能利用多种反映地层岩性的测井曲线,在少量取芯井的标定下,通过聚类分析可建立起与测井曲线特征对应的岩相库。在建立好岩相库的基础上,通过判别分析可划分出未取芯井的岩相库。由此,可获得多口未取芯井深度上连续的岩相资料,为地层基准面短期旋回的定量计算提供可靠资料。

采用各种交会技术,可实现测井曲线的聚类和

岩相库的建立。不同岩性在测井曲线的二维交会图上,可组成不同的椭圆,在三维交会图上可组成不同的椭球体。利用交会技术剔除不属同类岩相组中的散点,从而使不同的岩相组归属到各自椭圆体范围内,由此实现测井岩相的聚类分析,并最终建立起测井岩相库。

聚类分析主要依据样品的多个变量,找出能够度量样品之间相似程度的标准,并以此作为分类的依据,把一些相似程度大的样品归为一类,把其他相似程度较大的聚合归为另一类。依此类推,直到把所有的样品都聚合完毕为止,形成一个由小到大的分类系统。

在每一组岩相内,假定测井响应向量 X 具有几个变量的高斯分布,其密度为 $P(X/F_i)$,代表岩相库中椭圆体 95% 的点。根据这些分布可计算出给定岩相的测井读值的概率,然而,我们要求的是给定测井读值的岩相的概率 $P(F_i/X)$,称之为岩相 F_i 的后验概率。该值可通过如下 BAYES 公式求得

$$P(F_i) = \frac{P_i P(X/F_i)}{\sum_j P_j P(X/F_j)}$$

式中 P_i 为选定任何测井数据之前岩相的先验概率,所有的岩相给予相当的机会,因此,所有 P_i 都相等。 $\sum_j P_j P(X/F_j)$ 为 m 个岩相的先验概率。对于一个给定的深度段最终选择的岩相应具有最大的后验概率。

1.2 求泥砂比曲线

1.2.1 地质含义

高分辨率层序地层学理论的核心思想是:在基准面变化过程中,可容纳空间与沉积物补给通量比

值(A/S)决定了沉积物的保存程度、地层堆积样式、相序、相类型以及岩石结构。当 $A/S > 1$ 时,地层发生退积;当 $A/S = 1$ 时,地层发生加积;当 $A/S < 1$ 时,地层发生前积^[2,3](图1)。

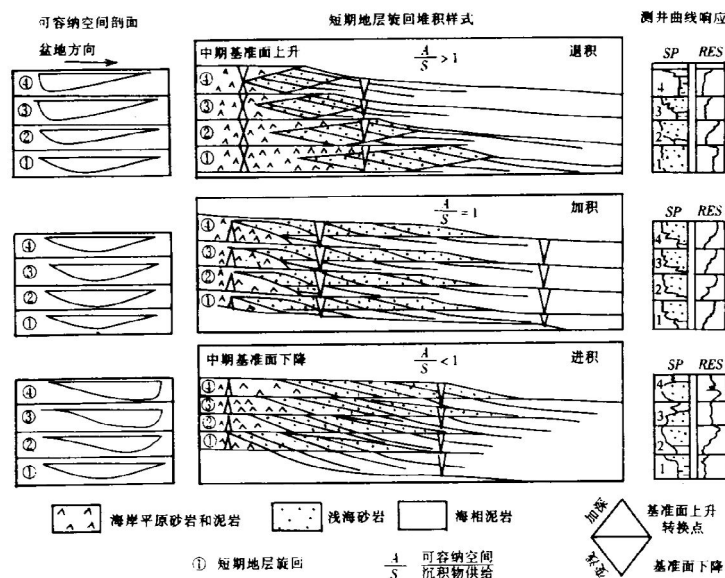


图1 短期旋回的叠加样式及其测井响应

Fig.1 Superimposition types and log response of short-term cycles

一般来说,可容纳空间的大小和岩相并没有特定的关系,关键看某一岩相在特定岩相组合中的位置及其与水深的关系。但对于河流-三角洲沉积体系以陆源碎屑为主的砂泥岩地层来说,富泥沉积多与较高可容纳空间时期形成的分流河道间湾或泛滥盆地的沉积作用有关;富砂沉积多形成于相对较低可容纳空间时沉积体的进积作用(如河口坝)或河道亚相、决口河道/河口扇复合体加积作用(图

2)。因而,钻井剖面上泥砂比值及其旋回性变化能近似的定量反映 A/S 的变化。在以陆源碎屑为主的沉积剖面上,自然伽马曲线对砂泥比的旋回变化最为敏感。由此,在河流-三角洲体系中,可用自然伽马曲线求取泥砂比曲线,并根据泥砂比曲线自动计算出由于可容纳空间变化形成的多级次的地层旋回变化曲线。

1.2.2 计算方法

反映地层岩性变化的测井曲线有多种,对砂泥岩地层而言,自然伽马曲线受井眼等影响较小,是计算泥砂比曲线的首选曲线。具体计算公式如下

$$RSHSA = VSH/VSA = (GR - GR_{min}) / (GR_{max} - GR)$$

$$RSASH = VSA/VSH = (GR_{max} - GR) / (GR - GR_{min})$$
 式中 $RSHSA$ 为泥砂比曲线; $RSASH$ 为砂泥比曲线; GR 为自然伽马测井值; GR_{min} 为纯砂岩层自然伽马测井值; GR_{max} 为纯泥岩层自然伽马测井值。

由上式可看出,在纯泥岩处 $GR \approx GR_{max}$,

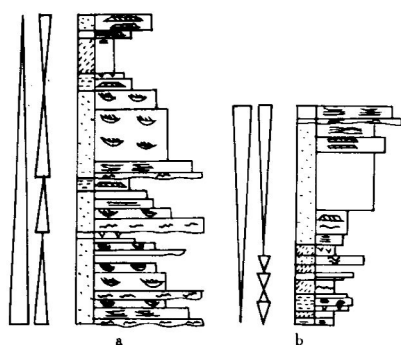


图2 河流、三角洲沉积体系短期旋回特征

Fig.2 Characteristics of short-term cycles from river-deltaic sedimentary system

a—河流沉积体系;b—三角洲沉积体系

* Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspective of base-level cycles and sediment accommodation. 西北欧层序地层会议材料,1994

$RSHSA$ 为极大值,可用于指示基准面上升最高位置;在纯砂岩处 $GR \approx GR_{min}$, $RSASH$ 为极大值,可用于指示基准面下降最低位置。

1.3 计算机自动划分方法

高分辨率层序地层学认为,一个完整的地层基准面旋回由基准面上升半旋回沉积和下降半旋回沉积组成。在河流-三角洲沉积体系中采用泥砂比和砂泥比曲线自动识别基准面旋回的主要方法是:当泥砂比($RSHSA$)大于砂泥比($RSASH$)时,求该段地层中自然伽马曲线最大值对应的深度,将该点作为基准面上升的最高点,并赋予该点的短期基准面曲线值为 0;当泥砂比($RSHSA$)小于砂泥比($RSASH$)时,求该段地层中自然伽马曲线最小值对应的深度,将该点作为基准面下降的最低点,并赋予该点的短期基准面曲线值为 1。对于煤层和灰岩地层,将根据测井岩相分析结果自动判断出这类岩性,并在这类岩性的深度段求自然伽马最小值对应的深度点,作为基准面上升最高处的参考点,供最终交互分析短期基准面旋回曲线时参考使用。

具体实现过程中,首先使用上述方法自动计算出基准面变化曲线;然后结合取芯资料中保存的地层沉积特征,采用人机交互方式分析和修改基准面

变化曲线,最终获得合理的短期基准面变化曲线。在短期基准面变化曲线基础上,参考测井岩相剖面的三维空间组合特征以及滤波后的自然伽马曲线趋势特征,通过交互修改短期基准面曲线来获得中长期地层基准面变化曲线。由此,保证了中长期地层基准面的层序界面与短期基准面层序界面的一致性。

2 应用实例

根据鄂尔多斯盆地河流、三角洲沉积体系特点及相组合特征与规模,结合前人所作层序划分的分辨率,对神 2 井的自然伽马曲线进行窗长为 1 m 和 6 m 的滤波,将 1 m 窗长滤波后的自然伽马曲线作为泥砂比和砂泥比曲线计算的输入曲线,6 m 窗长滤波后的曲线作为地震反演和井标定曲线,同时作为中长期地层旋回划分的参考曲线。

利用密度、中子、声波、深电阻率、自然伽马、自然电位、井径 6 条测井曲线,采用多种交会图并结合岩芯资料按不同沉积环境分段建立泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、砂岩、泥质灰岩、灰岩及煤岩等 7 种岩性的岩相库,图 3 为某段地层包括三种岩性的交会

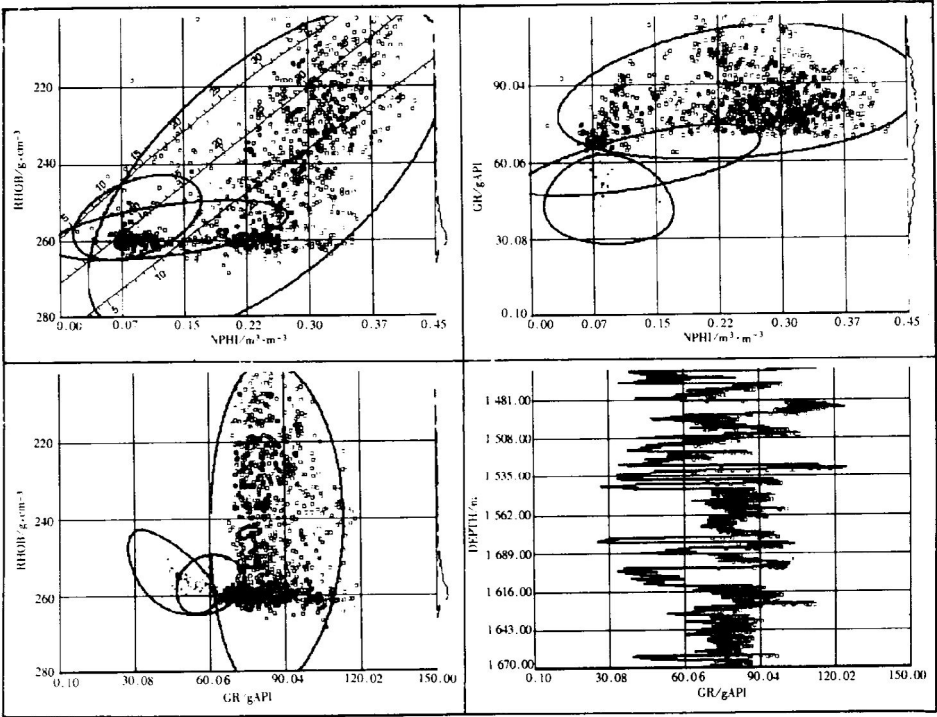


图 3 测井曲线交会聚类分析

Fig.3 Intersection cluster analysis of log curves

聚类分析图。对邻近的各井用相应沉积环境段的岩相库自动划分岩相(图4)。求泥砂比、砂泥比曲线,并自动计算地层短期基准面变化曲线(图4)。其中,ZZROSHSA为泥砂比曲线;ZZROSASH为砂泥比曲线。

交互分析编辑短、中、长期基准面旋回变化曲线并保存最终结果(图4)。

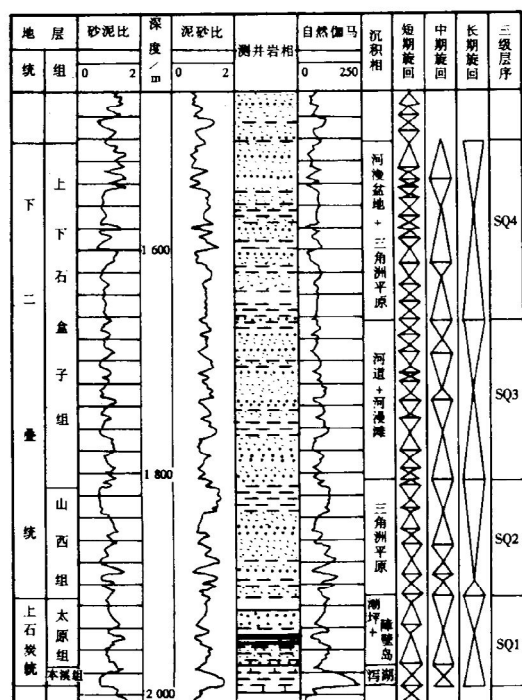


图4 神2井测井高分辨率层序地层计算机综合分析成果图

Fig.4 Computer synthetic analysis results based on log high-resolution sequence stratigraphy of Shen-2 Well

3 结论

(1)利用多条测井曲线自动划分测井岩相为地层基准面旋回的自动识别提供了可靠信息,解决了高分辨率层序地层分析中因缺乏取芯井资料而影响分析效果等问题。

(2)在河流-三角洲沉积体系中,泥砂比曲线定量描述了决定地层沉积模式的可容纳空间与沉积物供给速率比这一抽象的概念和变量,该变量不仅可用来自动划分高分辨率层序,而且可作为地层模拟的重要输入参数。

(3)依据砂泥比曲线求取的地层基准面变化曲线使得层序地层划分计算机化,可极大提高层序地层划分的精度和效率。经过多口井的实际应用,利用计算机自动划分高频层序与高分辨率层序地层分析专家划分结果吻合率达85%以上,借助一体化的计算机交互工具即可完成中长期地层旋回的划分。

(4)将数字化的基准面变化曲线与地震资料密切结合可准确进行地层标定与对比。

参 考 文 献

- 1 Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycles, Upper Cretaceous, western Interior, USA [A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G St C, et al. Sea-level changes: an integrated approach [C]. SEPM Special Publication, 1998, 42: 371 ~ 380
- 2 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89 ~ 97
- 3 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层地层基准面的识别、对比技术与应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177 ~ 183

AUTOMATIC RECOGNIZING TECHNIQUE OF LOG HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHY AND ITS APPLICATION

Zheng Xiaowu Deng Hongwen Xu Huaida Lin Jincheng Chen Mengjin
(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract: The forming sedimentation model is controlled by the accommodating space to sediment supply ratio. For river-delta sedimentary system, shale to sand ratio can be used to describe quantitatively the ratio of accommodation space to sediment supply rate. The key techniques used include: automatic recognizing log-facies, quantitative calculation of shale/sand ratio curves and log curve filtering. The techniques could considerably improve the efficiency and accuracy of the recognition of high-resolution sequence stratigraphy.

Key words: log-petrofacies; shale/sand ratio curve; high-resolution sequence stratigraphy; automatic recognizing technique