

文章编号: 1000-0550(2000)01-0063-05

古水深曲线在测井资料层序地层分析中的应用

康 安 朱筱敏 王贵文 康 强

(石油大学地球科学系 北京 昌平 102200)

摘 要 层序地层学的精华就是综合应用露头、钻测井和地震资料进行层序地层分析。因此,在缺乏以陆上暴露不整合面为特征的层序界面的湖相沉积中,如何应用测井资料进行层序划分就成为层序地层学研究中一个重要环节。本文以柴达木盆地金达 1 井第四系为例,介绍了一种综合利用岩芯、岩屑和电测曲线等测井资料,通过相对古水深曲线的建立,来进行层序地层分析的快速简便的方法。

关键词 测井 古水深曲线 层序地层

第一作者简介 康安 男 1972 年出生 博士研究生 沉积学、层序地层学和盆地分析

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

层序地层学是八十年代后期在地质地层学基础上发展起来的一门地质学分支学科。其基本定义为“研究以不整合面或与之相关的整合面为界的、连续的、成因上有联系的年代地层框架内的岩石关系”^[1]。具体地说,它是根据露头、钻测井和地震资料,结合有关沉积环境和岩相古地理解释,对地层层序框架进行综合解释的一门新学科,是一种划分、对比和分析沉积岩的新方法。当它与生物地层学和构造沉降分析相结合时,便提供了一种更为精确的地质时代对比、沉积相制图和钻前预测生储盖层分布的年代地层框架。目前,应用这一新的理论体系和方法,在储集砂体、烃源岩预测等方面已取得了重要成就。

层序地层学的精华就是综合利用露头、钻测井和地震资料来进行层序地层分析,在盆地覆盖区,测井资料的层序地层分析就成为层序地层学研究中的一个重要环节^[2]。本文以柴达木盆地东部地区金达 1 井第四系为例,介绍了一种利用测井资料,通过古水深曲线的建立来进行层序划分的简便的方法。

2 地质背景和研究思路

柴达木盆地位于青藏高原的北部,为一中新生代的大型内陆山间盆地,盆地四周为高山环抱,盆地

与周缘老山以倾向老山的较大逆断层相接,大致呈一北西西向不规则的菱形。盆地面积约 12 100 km²,沉积岩最大厚度可达 11 000 m。自下而上发育了中生界侏罗系、新生界第三系和第四系。金达 1 井位于盆地东部,第四系厚约 2 300 m,为一套细粒湖相碎屑岩沉积。在第四系内部缺乏以陆上暴露为特征的不整合面,难以直接在钻井剖面上进行层序地层分析。

本文综合利用岩芯、录井和测井资料,首先运用交会图技术、岩芯刻度测井技术来进行金达 1 井第四系测井岩相分析。在此基础上,结合古地形、古地理背景分析,建立起适合本区的沉积相模式。根据这个相模式,确定出不同沉积相及岩相类型的相对古水深,这样就建立起金达 1 井第四纪相对古水深曲线。根据层序地层学原理,依据古水深变化趋势的转折点所确定的层序界面和最大湖泛面来进行层序划分。最后,依据层序划分结果,进行了生储盖石油地质初步评价。

3 测井资料沉积相分析

测井资料沉积相分析主要是以岩芯相分析为基础,通过岩芯刻度测井及测井相分析来建立起全井段的垂向沉积岩相序列。其中,测井相分析的基本原理就是从一组能够反映地层特征的测井响应中,提取测井曲线的变化特征,包括幅度、形态等定性方

面的曲线特征以及定量方面的测井参数值来描述地层的地质相,运用各种模式识别方法,利用测井相进行地层的岩性、沉积环境等方面的研究^[3]。大致可分为如下几步:

3.1 岩芯沉积相分析

通过详细的岩芯描述,利用岩性、沉积构造、古生物等相标志,进行岩芯沉积相分析,建立起研究区不同类型沉积相、岩相垂向序列。

3.2 对测井数据进行必要的预处理

如进行必要的环境校正,深度匹配和划分测井曲线层段。

3.3 测井岩相人工解释

首先在取芯井段所确定的有代表性的沉积相带的标准层处做测井参数的星形图以及测井值与储层参数(如孔隙度、渗透率等)的交会图,即测井相图,然后对一口井的测井曲线按井深划分成若干沉积单元,并作这些单元的测井相图,将其与标准层上所作的同类测井相图作比较,按相似程度来推断其所属的沉积岩相带。

3.4 自动相识别技术

利用各种数理统计模式技术,通过对测井曲线分层、聚类,把测量井段划分为若干测井相图,利用各种判别分析技术,通过岩性类型之间的数学意义的差异来建立取芯层段的标准测井相图与由岩芯描述得出的沉积相的匹配关系,即实现对测井相的岩芯刻度^[4]。这样,利用所建立的判别准则,就可以由计算机自动实现未知层段测井的判别及测井相向地质相的转化。目前,已开发出许多软件,如海洋测井公司的岩性自动识别程序(CCLOG)、测井相自动识别程序(MTIDEM)。

在柴达木盆地东部地区第四系碎屑岩剖面上,利用测井曲线幅度、形态组合特征对整个第四系进行测井相分析,通过岩芯岩相分析结果进行刻度,结合岩屑录井,共识别出深灰色泥岩相、灰色粉砂质泥岩、棕色泥岩相、炭质泥岩相、泥质粉砂岩相和粉砂岩相六种主要的岩相类型(图1)。

深灰色泥岩:无层理或具季候纹层,灰色,主要由粘土矿物(伊利石和高岭石)组成,含量最高可达80%,另外含少量的泥晶方解石和粉砂。

灰色粉砂质泥岩:一般为泥质层和粉砂层相间排列。泥质层一般厚3~5mm,粉砂层厚1mm左右。

棕色泥岩:无层理或层理不显著,由粘土矿物和

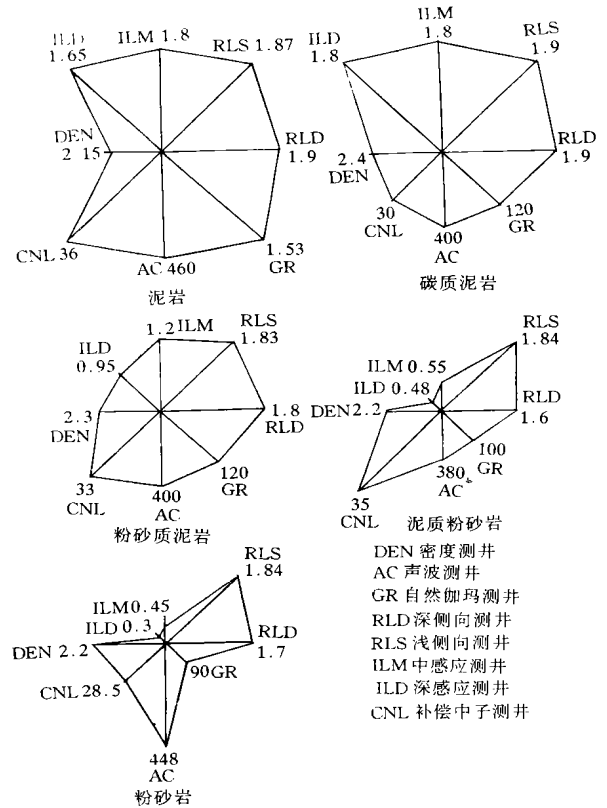


图1 柴达木盆地金达1井第四系测井相图

Fig.1 Log facies of Quaternary in well Jinda1, Qaidam basin

泥晶方解石组成,含少量粉砂,约占20%左右,富含植物根系及介壳类壳体,具蓝灰色斑点。

炭质泥岩:灰黑色,主要由植物根、茎、叶组成,含少量石英和长石粉砂层。

泥质粉砂岩:一般由泥质层和粉砂层相间排列,但粉砂层厚度通常都超过泥质层,粉砂层一般厚5mm,泥质层2~3mm。

粉砂岩:主要以石英、长石颗粒为主,泥质含量少,一般为5%~15%。

4 沉积相古水深刻度(沉积相模式的建立)

利用岩芯相分析、测井岩相分析结果,结合盆地古地形、古水介质等古地理背景分析,建立盆地沉积相模式图,这样对于每一种岩相类型均可同一定的沉积环境对应,而每一种沉积环境又具有特定的水深范围,进而完成了测井岩相—古水深刻度过程,确定出各种岩相相对古水深范围。

对柴达木盆地金达1井第四系沉积,根据以上

所识别出的岩相类型, 结合古地理背景, 我们作出了柴达木盆地北斜坡的沉积模式(图 2)。对于每一种沉积环境类型, 均对应于一定的水深范围, 由于难以准确确定出每一种沉积相类型的绝对古水深值, 根据沉积物颜色、岩性组合等特征, 我们给出了每一种沉积相的相对古水深值来建立相对古水深曲线, 进而了解古水深的相对变化趋势。在柴达木盆地第四系沉积期, 气候干燥, 湖水面波动频繁。在盆地北斜坡, 缺乏物源的直接供应, 主要发育了以下几种沉积相: 滨湖沼泽相, 岩性以炭质泥岩为特征, 湖水水深很小, 在本文中, 确定其相对古水深为 2; 滨湖泥滩亚相, 以棕灰色泥岩为主, 水深很小, 在本文中, 确定其相对古水深为 2; 浅湖亚相外带, 岩性以浅灰色薄层泥质粉砂岩为主, 夹粉砂质泥岩, 水深较小, 在本文中确定其相对古水深为 7; 浅湖相内带, 本相带在柴达木东部地区分布广泛, 岩性以灰色泥岩、粉砂质泥岩为主, 夹薄层泥质粉砂岩, 水深较大, 确定其相对水深为 10; 深湖相, 湖水水深大, 岩性以深灰色质纯泥岩为主, 在本文中确定其相对古水深为 13。

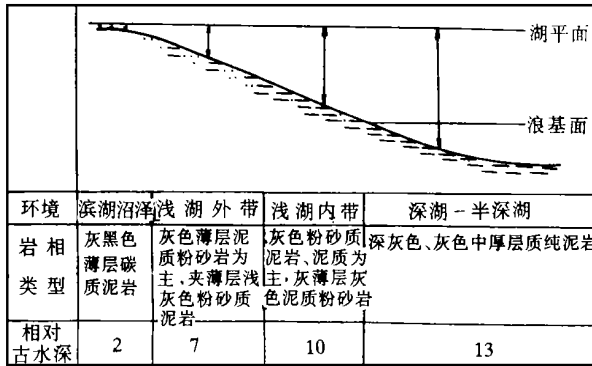


图 2 柴达木盆地北斜坡第四系沉积相模式与相对古水深
Fig. 2 Quaternary facies model, facies to bathymetry calibration in northern slope, Qaidam basin

5 古水深曲线的建立

依据以上所建立的岩相—古水深对应表以及金达 1 井第四系测井岩相分析结果, 相应地, 建立了金达 1 井第四系古水深曲线。为了能更好地反映

古水深的变化规律, 我们利用滑动窗口对曲线进行了平滑, 在每个窗口内, 运用 Hanning 公式(1)计算滑动窗口内各点的加权值 y_i ,

$$y_i = \frac{1 + \cos(2\pi(i/N))}{2} \quad (1)$$

其中 N 为窗口内样点总数; i 为窗口内样点的位置 ($i = 1, 2, 3 \dots$); y_i 为 i 点的加权值 ($0 < y_i < 1$)。利用滑动窗口内各点加权系数值和公式(2), 计算出滑动窗口中点所在井深处古水深值 D 。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N y_i d_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad (2)$$

其中, d_i 为 i 点的古水深值, y_i 为 i 点的加权值, D 为滑动窗口中点所在井深处平滑后古水深值。

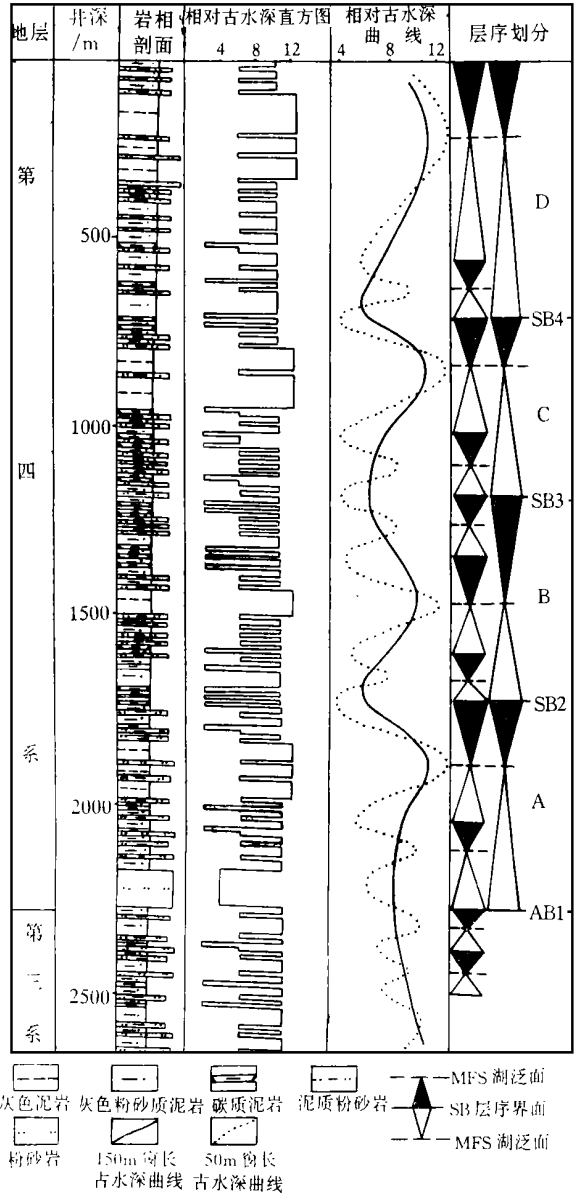


图 3 柴达木盆地金达 1 井岩相序列、古水深曲线与层序地层分析

Fig. 3 Lithofacies bathymetry and sequence stratigraphy of Quaternary in well Jinda 1, Qaidam basin

这样,随着滑动窗口的移动,就可以得到平滑后的古水深曲线,通过调节滑动窗窗长可以得到能反应不同级别层序的相对古水深曲线,结合金达1井沉积旋回特征,我们选取了两种窗长,可以看出,当窗长为150 m时得到一种周期较长的曲线;当窗长为50 m时得到周期较小的古水深曲线(图3)。

6 层序划分

利用古水深曲线进行层序地层划分,其关键是层序界面和最大湖泛面的识别,本文以古水深变化趋势的转折点来确定层序界面和最大湖泛面的位置。

层序界面:在缺乏陆上暴露不整合面的湖相沉积中,最大湖退面相当于层序界面,在古水深曲线上,对应于水深的最低值处,在界面之上为水进半旋回,界面之下为水退半旋回。

最大湖泛面:是指湖平面上升到最大形成的关键面,在古水深曲线上,它对应于水体最深的位置,界面之下为水进半旋回,界面之上为水退半旋回。

层序的级别:通过调节平滑窗口的窗长,我们可以得到不同级别的古水深曲线,这样,就可以进行不同级别层序的划分。通过取芯井段的观察,可以进一步确定本区层序的主要级别,从而更加合理地选取滑动窗的窗长。

在柴达木盆地金达1井第四系,由于勘探目的的需要,我们选取了能反映长周期沉积旋回的古水深曲线进行层序划分。从曲线可以看出,在古水深曲线上存在四个最大湖退面,即四个层序界面,分别为SB1、SB2、SB3和SB4,进而可以识别出A、B、C、D

四个层序(图3)。根据所得的古水深曲线形态可知,在柴达木第四系陆相拗陷湖盆中,由于湖平面低于盆地最低出水口,形成了没有出水口的闭流湖盆,同时,由于湖水蒸发量与注入量的不断变化,湖平面难以在相当长的时间内保持在某一位置,因此,湖平面相对长时间定的高位或低位体系域不发育。在每个层序内部,根据所识别出的最大湖泛面MFS,将每个层序划分为水进体系域和水退体系域。

7 生储盖初步评价

根据金达1井层序划分结果,柴达木盆地第四系垂向上发育四个层序。对应于层序A、B的最大湖泛面,在柴达木盆地发育两套面积广泛、厚度稳定的深湖—半深湖相灰色、深灰色泥岩,为柴达木盆地提供了很好的生气条件。而发育于层序C的最大湖泛面所对应的面积广大,厚度稳定的泥岩段有效地阻止了其下层序A和层序B所生成的天然气,形成了较为有效的盖层。而在该盖层以下,各层序中同次一级短周期沉积旋回水进半旋回对应的薄层泥质粉砂岩和粉砂岩形成了本区重要的储层。

参 考 文 献

- 1 C. K. 威尔格斯等编,徐怀大等译,层序地层学原理[M].北京:石油工业出版社,1993,47~255
- 2 朱筱敏.层序地层学原理及应用[M].北京:石油工业出版社,1998,3~102
- 3 郭荣坤,王贵文,唐为清.测井沉积学解释计算机辅助系统[M].石油工业出版社,北京:1996,79~100
- 4 Herbert Th., Eichenseer Jean—Pierre Ledug. Automated genetic sequence stratigraphy applied to wireline logs[J]. Bull. Centres Rech. Explor.—Prod. Elf aquitaine, 1996, 20(2): 278~307

Application of Paleobathymetric Curve in the Sequence Stratigraphy of Well—logging Data

KANG An ZHU Xiao-min WANG Gui-wen KANG Qiang

(Geoscience Department University of Petroleum, Changping Beijing 102200)

Abstract

It is well known that integrated use of outcrop, well—logging and seismic data is the key to sequence stratigraphy. Therefore, how to identify the sequence boundary by well—logging in the lacustrine sediments which are lack in the unconformity is critical step to sequence stratigraphic analysis. With an example of sequence stratigraphy of Quaternary in well Jinda1, Qaidam basin, this paper presents the basic procedures of new approach for a stratigraphic subdivision of well logs into sequences by reconstruction of paleobathymetric curve.

After the log facies analysis, six kinds of lithofacies have been recognized in Quaternary which are dark—grey shale, brown shale, grey silty shale, carbargillite, shaly siltstone and siltstone. For each Lithofacies association a sedimentologically coherent paleoenvironmental interpretation has to be established. Hence, a distinct paleobathymetric range is assigned to each lithofacies unit. Based on this relative paleo—waterdepth, paleobathymetric curve of Quaternary in well Jinda1 has been established from a vertical succession of lithofacies. This water—depth curve helps to identify stratigraphic sequence of different scales. This approach is based on the identification of bathymetry turnaround trends in the lithofacies succession.

The maximum regressive surface is placed at the lowest waterdepth values on the smoothed bathymetry curve. The maximum regressive surface is identical to the sequence boundary.

The maximum flooding surface is placed at the deepest bathymetry as the closest approximation. This horizon separates underlying transgressive half cycle from overlying regressive half—cycle.

Based on the rules above, four sequences are identified in the Quaternary sediment of Jinda1 Well. Each sequence consists of two systems tracts separated by maximum flooding surface. It is clear that there are two scales of waterdepth cycle in the bathymetry curve. More frequent fluctuation in the bathymetry curve can be considered as the response to the high order stratigraphic sequence. At last, the prospective source rock, favorable reservoir and potential caprock have been predicted.

Key words paleobathymetry sequence stratigraphy well—logging