

沉积基准面变化分析技术及其应用

樊太亮

(中国地质大学, 北京100083)

李庆谋

(中国科学院地球物理所, 北京100083)

沉积基准面分析是研究层序地层形成、进行等时地层单元划分与对比的关键环节。从地震、测井等资料中可求得定性或半定量的沉积基准面变化曲线: (1) 在地震剖面上正确识别和区分盆缘上超、滨岸上超和水下上超的基础上, 经过差异沉降、脱压实和地层剥蚀恢复等一系列校正, 可获得反映基准面变化的上超点曲线; (2) 在对测井曲线进行谱分析识别出米兰柯维奇旋回的基础上, 采用校正的费希尔图解方法可编制出反映基准面变化的可容纳空间变化曲线。在塔里木盆地北部利用地震和测井资料, 采用不同方法求得的沉积基准面变化曲线有着很好的一致性, 并用于层序地层划分、层序级别确定、井间层序对比和盆地的构造、沉积演化史分析。

关键词 沉积基准面 上超点曲线 米兰柯维奇旋回 层序地层 分析技术

第一作者简介 樊太亮 男 35岁 副教授 石油地质

野外露头剖面或钻井岩性剖面显示的旋回性、韵律性是最常见、最熟悉的地质现象之一。对这种现象的起因有多种假设^[1~3], 这些假说的共同之处在于他们都认定在地质历史中, 全球海平面确实发生过周期性变化, 并对沉积地层的旋回性起控制作用。

由于沉积物的沉积作用过程和沉积环境的变迁都与水体有密切的关系, 影响沉积物周期性变化的各种因素, 如构造沉降、气候变化、盆地容积的变化、冰川消长、全球性绝对海平面变化等, 均可反映到沉积基准面变化这一要素上来。因而, 可以通过沉积基准面的研究, 来进行旋回性等时地层单元的划分和对比。

本文讨论如何从地震、测井等地下资料中, 定性或半定量地识别沉积基准面的升降变化规律, 以及沉积基准面变化在层序划分和盆地分析中的应用。

1 地震剖面中上超点变化及其规律

Vail 等人^[4]提出了利用海(湖)岸沉积物的上超变化规律, 来判别海(湖)平面升降变化的思路和方法, 认为海(湖)岸上超和加积指示了海(湖)平面的相对上升; 海(湖)岸沉积物的顶超现象指示海(湖)平面的相对静止; 海(湖)岸沉积物的上超从一个层序的最高位置向上覆层序的最低位置迁移则指示海(湖)平面相对下降。尽管 Vail 等人的方法引起了争论^[5], 但仍不失为研究沉积基准面变化的一种有效途径。地层上超点可以形成于岸线附近、水下或远离岸线的

盆地边缘区, 虽不一定代表海(湖)岸线的位置, 却能定性地或半定量地反映出沉积基准面的升降变化, 关键是做好以下几项工作。

1.1 正确识别地震反射终止点

判别沉积基准面变化是以在地震剖面上识别反射终止点的位置及其迁移规律为基础的, 而地震剖面由于受地震地质条件、剖面品质、垂向分辨率、后期构造变形等因素的影响, 使得地震反射终止点有时模糊不清而不易识别。因此, 提高剖面质量和分辨率是正确识别反射终止点的关键。在此基础上, 应选择通过沉积中心、顺沉积倾向的地震剖面, 并尽可能避开复杂的构造变形地区, 以保证剖面能较完整地揭示沉积地层系列, 较清晰地反映出沉积地层的结构型式, 以利于地震反射终止点的正确识别。

1.2 区分上超的性质

海(湖)岸上超代表着岸线附近的地层终止现象, 基本反映了当时的地层基准面位置, 海(湖)相上超则形成于水下环境, 其终止点处于基准面之下, 要进行相应的古水深校正。地震剖面的地层结构特征, 为确定沉积层序内海(湖)岸沉积的上超和顶超模式提供了理想资料, 而钻井控制则为确定海(湖)岸相和海(湖)相提供了基本保障。因此, 在有地震测网覆盖和一定数量钻井控制的盆地内, 可以区分盆缘上超、滨岸上超和水下上超, 并测定出基准面相对变化幅度。

1.3 基准面变化幅度的测定

在地震剖面上, 反射同相轴沿着层序下界面“上超”反映了基准面相对上升, 上超点上移的多少反映了基准面相对上升量的大小, 反射同相轴沿着层序界面“顶超”反映了基准面相对静止或缓慢下降, 反射同相轴被层序界面“削截”则反映了基准面相对明显下降。具体测定方法见图1所示。

1.4 基准面变化曲线校正

地震资料所反映的地层剖面结构, 是经历了后期构造差异沉降、构造变形、压实作用和地层剥蚀等一系列的地质作用过程后保留下来的形态, 因此要进行相应的差异沉降校正、脱压实校正、古水深校正及剥蚀恢复。

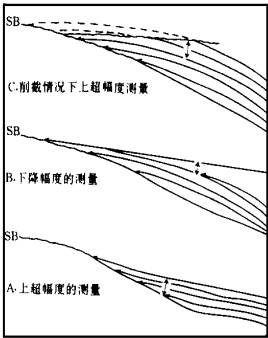


图1 地震剖面基准面变化幅度的测定方法

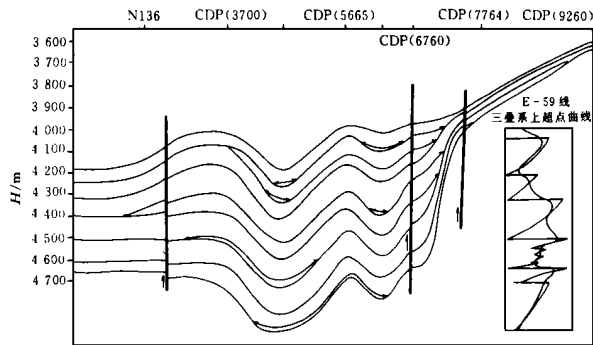


图2 塔里木盆地北部三叠纪地震上超点变化曲线

图2是塔里木盆地北部利用地震上超点编制的三叠纪基准面变化曲线, 以地震E59测线为基础, 反映出4期大的旋回变化和2期小的变化。

2 测井资料的米兰柯维奇旋回识别与基准面变化

测井资料也许是目前可得到的数量最大的定量地层资料, 沿井剖面的沉积特性在测井曲线上得到了极好的反映。因此, 通过测井曲线研究井剖面的旋回特征, 可反映出地层

基准面的变化。

根据层序地层学理论,控制地层发育的基本因素是构造沉降、气候、水深和物源供给,这些因素对沉积基准面的作用周期和作用强度是不同的,因而可通过不同的方法加以研究,基本思路介绍如下。

2.1 与气候变化有关的短周期沉积旋回

米兰柯维奇理论认为^[2],地球气候的变化起因于地球运行轨道参数的变化,主要决定于地球轨道的岁差(近日变化)、地轴斜率(黄赤夹角)和偏心率。不同周期的气候旋回性变化在沉积地层中被记录下来,并可通过各种方法加以识别。近年来,人们在第四纪的研究中,利用米兰柯维奇周期揭示了冰期、间冰期,并用于研究沉积作用的周期性变化和地层对比^[6~8],均发现了不同周期的米兰柯维奇旋回。说明米兰柯维奇周期普遍存在于地层记录中。

气候的周期变化记录于沉积地层中,反映在碎屑岩的厚度变化、颗粒大小、丰度、生物成分、有机质含量和沉积物的结构与构造上,这就为我们用数学中的谱分析方法从测井曲线中识别它提供了依据。

2.2 与构造沉降与海平面变化有关的中、长期旋回

米兰柯维奇周期代表着一个短期沉积基准面旋回变化,处在中长期旋回变化周期的某种特定背景之上,只有确定它们在中长期旋回中应处的位置,方能按规律组合成一条反映沉积基准面升降变化的曲线。

费希尔(Fischer)图解已为人们广泛接受^[8],它在高频旋回识别基础上,为人们研究沉积旋回在空间上的叠置规律、沉积基准面变化势态,以及进而建立沉积基准面变化曲线提供了一种客观实用的方法。

费希尔图解是Fischer在研究奥地利三叠纪潮坪相Dachstein灰岩剖面时首先提出的^[9],假定各旋回的形成周期是相同的,盆地是线性沉降的。潮坪浅水环境碳酸盐生长速率很高,由相对海平面上升所增加的可容纳空间,随时都能被新产生的碳酸盐物质所充填。因此,在相同周期的海平面变化过程中所形成的碳酸盐岩旋回的厚度,间接地反映了该周期相对海平面升降的幅度。旋回厚度大,说明可容纳空间增大,沉积基准面上升;旋回厚度小,则说明可容纳空间小,沉积基准面下降。连接各旋回顶点的曲线则代表相对基准面变化,或可容纳空间的变化。

在硅质碎屑环境中,对应于可容纳空间较大的深水环境,往往沉积地层厚度小,而可容纳空间较小的浅水环境则沉积地层厚度大。这就须作水深校正,使碎屑岩旋回地层的厚度经校正后能反映可容纳空间的大小。

根据统计分析,自然伽马、自然电位和视电阻率等曲线与岩石平均粒度有较好的对应关系。在静水条件下,随可容纳空间的增大,水深增加,沉积物的供应必将减少,在相同的时间段内沉积的地层厚度也将减小,粒度将变细,自然伽马曲线值将增大。反之,旋回厚度就变大,粒度就将变粗,自然伽马曲线值也将减小。这样,大的沉积可容纳空间对应于细粒的沉积物和较小的旋回厚度,而小的沉积可容纳空间对应于粗粒的沉积物和较大的旋回厚度。

校正后得到的基准面变化曲线含有各种变化成分,而且长波信号的幅度远大于短波信号,变化快的低幅信号显示不清或根本显示不出来。为了提高分析信号的能力,需将长周期信号与短周期信号分离。

根据上述基本思路和实施的技术方法,我们对位于塔里木盆地北部地震剖面E59线之上

的沙32井测井曲线(自然伽马、自然电位和视电阻率)进行了处理,作出了能够反映沉积基准面升降周期的旋回变化曲线。图3是其中的三叠纪变化曲线,表现出4次大的基准面升降旋回和2次小的变化,与利用E59线三叠系上超点变迁制作的三叠纪上超点变化曲线相比,二者在旋回数目和升降变化的相对幅度上完全一致。

上述不同类型资料,不同分析方法求取的曲线有很好的相似性,它们从不同的方面反映了塔北地区沉积基准面变化的同一规律,是研究塔北乃至全盆地沉积充填演化史和构造运动史的重要资料,可将这两种曲线通称为沉积基准面变化曲线。

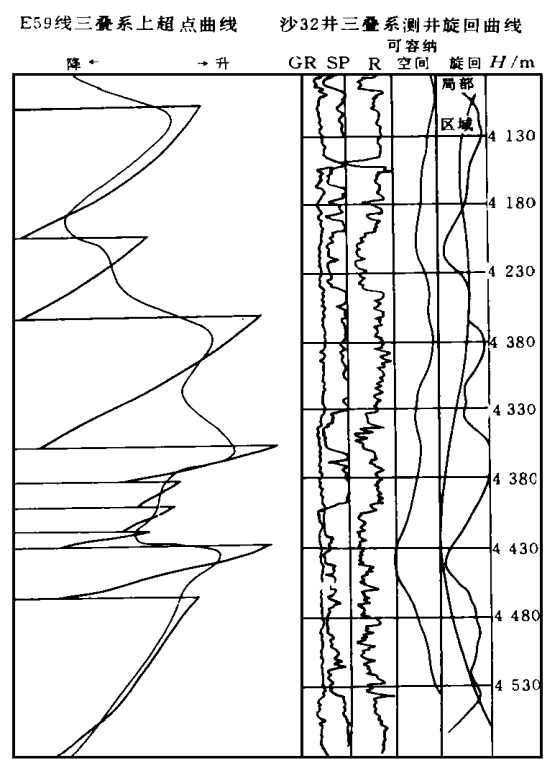


图4 塔里木盆地北部沙32井下白垩统层序地层划分(不同方法分析结果对比)

基准面变化曲线是一条不同频率成分叠加在一起的复合曲线,反映不同周期的地质、天文事件综合作用的结果。可以通过信号分离方法,识别出一级旋回、二级旋回(取三级旋回的包络线)和三级旋回,并可以此为基础,对测井层序进行级次组合分析,建立起层序的级别系统(图5)。按照一级旋回曲线、二级旋回曲线的下降翼拐点处依次划分层序边界,就可识别出

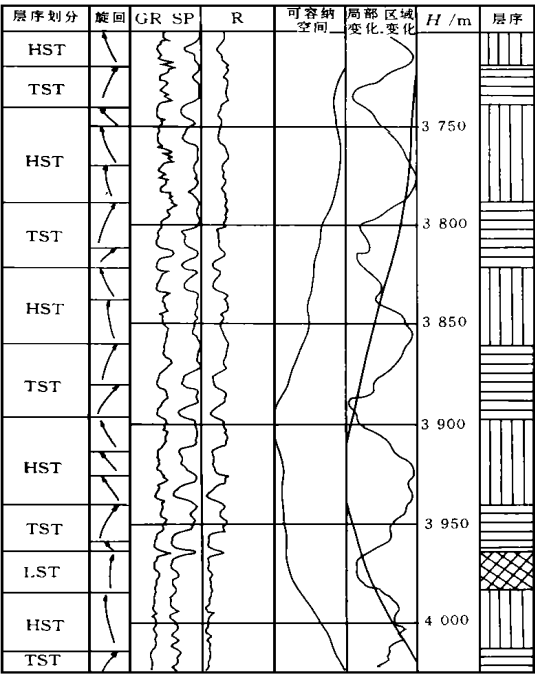


图3 塔里木盆地北部沙32井三叠纪沉积基准面变化曲线

3 基准面变化曲线在层序分析中的应用

3.1 层序划分和建立层序级别

基准面变化曲线代表了沉积可容纳空间的旋回变化,控制着沉积层序的形成和层序内部准层序的叠置关系,因而可用以划分层序和识别体系域。

图4左侧层序划分是通过分析测井曲线和岩性剖面中准层序的叠加型式及其变化完成的,右侧层序划分是根据求取的基准面变化曲线,按照Vail等人^[4]的层序与体系域划分模式来完成的,二者结果完全一致。

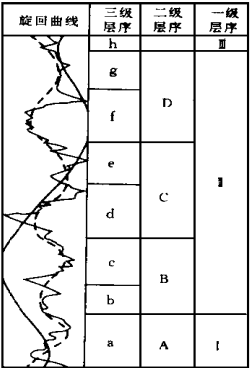


图5 利用基准面旋回的周期确定层序级别的

不同级次的不整合面，并组合成不同级次的层序。

3.2 井间层序对比

以基准面旋回变化为基础的井间地层对比，不是沉积相或岩石类型的对比，而是等时地层单元的对比，它可以跨越不同的沉积环境^[10]。而且，根据基准面变化曲线中旋回的级别和幅度，可对不同等级的地层单元逐级对比。

沙32井和沙11井分别位于塔里木盆地北部阿克库勒和沙雅西构造。两口井在志留纪所处古地理位置是不同的，因而地层的发育情况也有所不同。对比图6中的旋回变化曲线，沙32井志留系下部比沙11井多出半个周期，而上部旋回变化规律是一致的，说明前者接受沉积比后者早。分析两口井所处的盆地古地理位置，沙32井处于盆地斜坡上部，而沙11井位于台地上，志留纪地层由东向西超覆。证实基准面旋回对比结果是正确的。

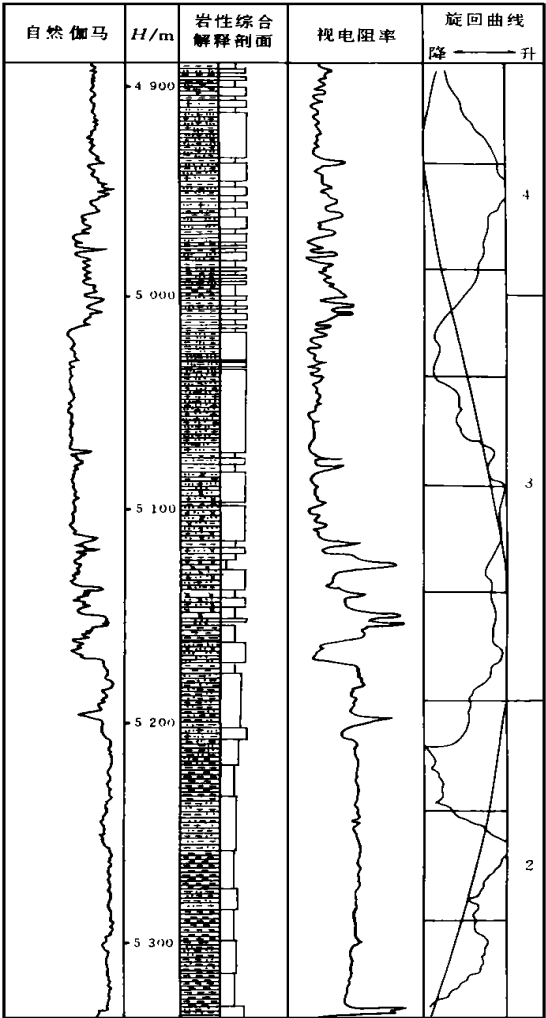
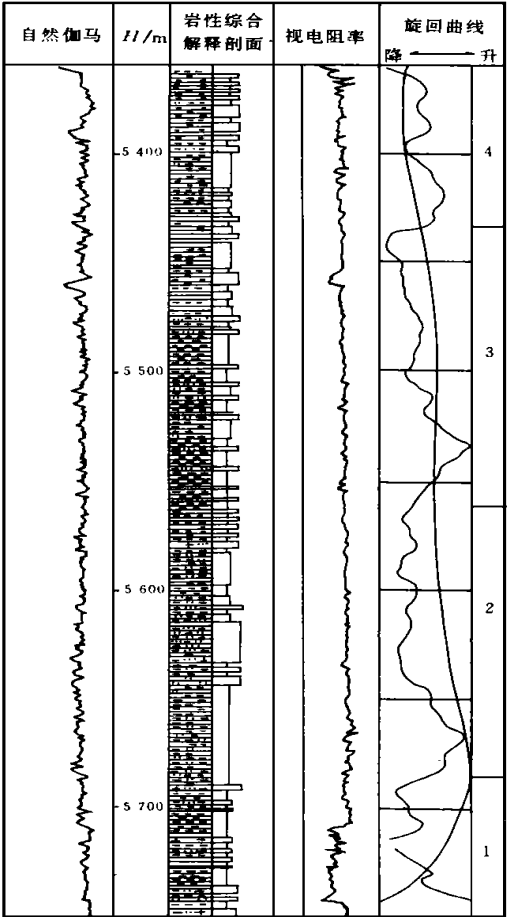


图6 根据基准面变化旋回作井间层序地层单元对比(左为沙32井,右为沙11井)

3.3 分析盆地构造、沉积演化史

沉积基准面变化是盆地构造运动、海(湖)平面升降和气候变化等综合因素的体现, 因而是分析盆地构造演化史和沉积演化史的有力工具。

在基准面变化曲线上(图2、3), 塔里木盆地北部三叠世发育4个二级旋回周期。第一旋回曲线的下部, 缺少波谷部分, 说明沙32井在三叠世早期缺少低水位体系域沉积, 此时的低水位体系沉积作用范围局限于阿瓦提断陷, 并随基准面上升, 沉积地层由西向东上超。在中三叠纪中-晚期, 塔北地区达到最大水位, 基准面变化曲线表现出两个最大峰值, 地震上出现特征稳定的代表凝缩层的连续强反射。在中三叠纪晚期至晚三叠世, 随着阿瓦提地区逐渐抬升, 沉积中心转移到满加尔地区, 基准面曲线上表现出明显的波谷, 说明此时沙32井发育小规模的低水位体系域。

参 考 文 献

- Grabau A W. The rhythm of the earth. Pecking: Henvi Vetch, 1940. 561
- Berger A. Milankovitch theory and climate. Review of Geophysics, 1988, 26: 624 ~ 657
- Guidish T M, Lerche I. Relationship between eustatic sea level changes and basement subsidence. AAPG Bulletin, 1984, 68: 164 ~ 177
- Vail P R, Mitchum R M, Todd R G et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: Payton C E ed. Seismic stratigraphy - application to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir, 1977, 26: 83 ~ 97
- 李庆忠. 陆相沉积地震地层学若干问题. 石油地球物理勘探, 1987, 22 (5): 489 ~ 511
- Hays J D, Imbrie J, Shackleton N J. Variation in the earth's orbit-pacemaker of the ice ages. Science, 1976, 194: 1121 ~ 1132
- Goldhammer P K, Dunn P A, Hardie L A. High-frequency glacio-eustatic sea level oscillations with Milankovitch characteristics recorded in Middle Triassic platform carbonates in northern Italy. American Journal of Science, 1987, 287: 853 ~ 892
- Read J F, Goldhammer P K. Use of Fischer plots to define third-order sea-level curves in Ordovician peritidal cyclic carbonates. Appalachians Geology, 1988, 16: 895 ~ 899
- Fischer A G. The Lofer cyclothems of the Alpine Triassic. In: Merriam D F ed. Symposium on cyclic sedimentation. Kansas Geological Survey Bulletin, 1964, 169: 107 ~ 149
- 邓宏文, 王洪亮, 李熙. 层序地层学基准面的识别、对比技术及应用. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177 ~ 183

ANALYSIS TECHNIQUES OF SEDIMENTARY BASE-LEVEL AND THEIR APPLICATION

Fan Tailiang

(China University of Geosciences, Beijing)

Li Qingmou

(Institute of Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing)

Abstract

The analysis of sedimentary base-level is the key to the identification and correlation of isochronostratigraphic units. The qualitative or semi-quantitative base-level curves could be

constructed based on the analyses of seismic data and well-logs. (1) The onlap curve that represents base-level changes could be obtained by the correlation of differential subsidence, decompaction and stratigraphic restoration based on the identification of basin-margin onlap, coastal onlap and marine onlap in seismic sections. (2) Milankovitch cycles could be identified through spectral technique of well-logs; accommodation curve reflecting base-level cycles could be established by means of corrected Fischer plot. Sedimentary base-level curves obtained by different analysis techniques of seismic sections and well-logs in North Tarim show good consistency, and they could be in the analyses of sequence stratigraphy, determination of sequence orders, correlation of interwell strata units and the study of tectonic and depositional histories of a basin.

(上接第95页)

**APPLICATION OF HIGH-RESOLUTION SEQUENCE
STRATIGRAPHIC CORRELATION
TO FLUVIAL FACIES**

Deng Hongwen Wang Hongliang
(*China University of Geosciences, Beijing*)

Li Xiaomeng
(*Shenghai Company, Dongying, Shandong*)

Abstract

The Upper Guantao Formation of the Tertiary in Shenghai Region, Jiyang Depression is dominated by fluvial flood plain facies. Different scales of sequence cycles could be identified according to the cores, logs and seismic data of the formation. Short-term base level cycles could be identified based on rock cores, intermediate-term base level cycles could be identified through log-seismic data correlation. Then the principle of the base level cycles was used to build high resolution isochronous stratigraphic correlation framwork, study the evolution property and the process of fluvial sequences, predict the spatial distribution of oil reservoirs.