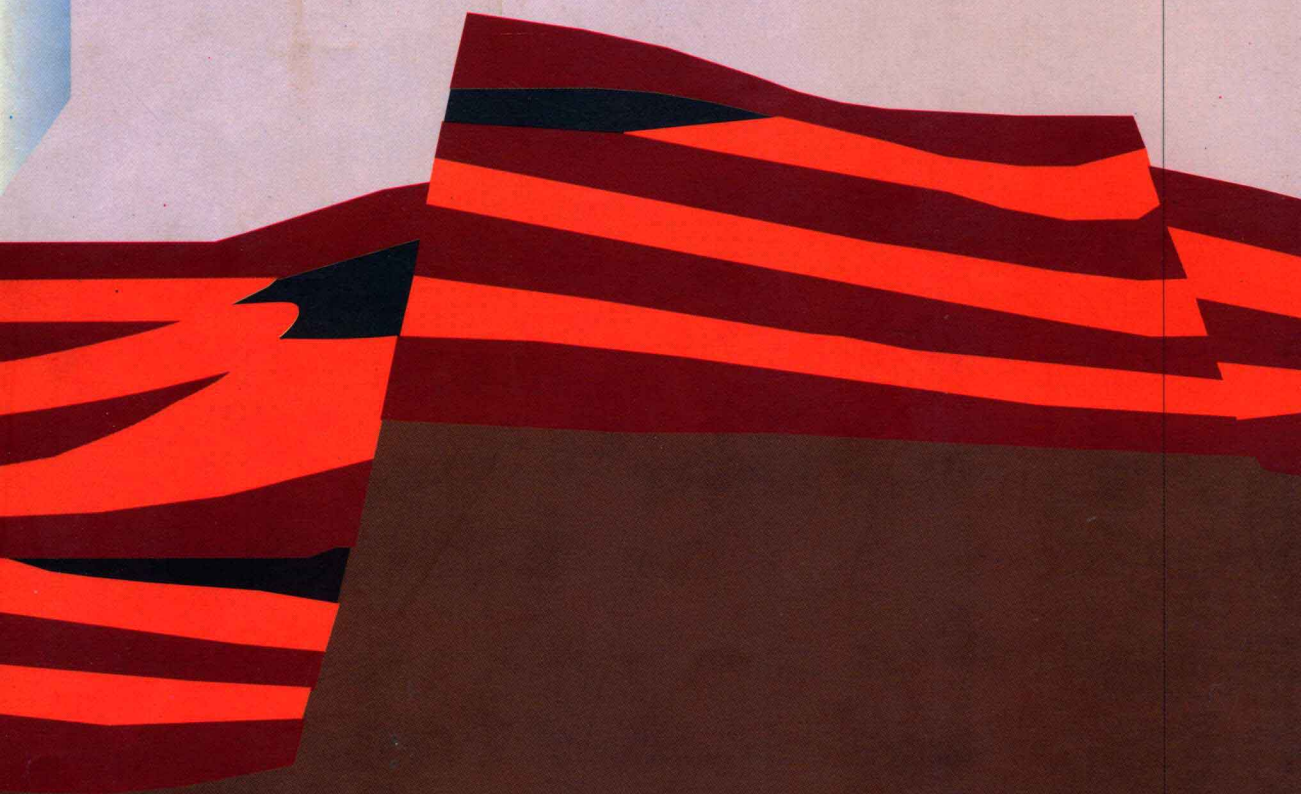


层序地层学

勘探实践

吴金才 张玉明
陈玉魁 等 著



中国地质大学出版社

层序地层学勘探实践

吴金才 张玉明 陈玉魁 等著

中国地质大学出版社

内容简介

本书较系统地介绍了层序地层学研究中的实用技术和常用方法,同时总结了不同类型盆地沉积层序发育模式,并通过作者亲身实践,较系统介绍了层序地层学在不同类型盆地中的应用。本书共分层序地层学应用基础和层序地层学在典型盆地应用两篇,第一篇又分层序地层学实用技术和典型盆地层序发育模式两章,第一章系统介绍了利用露头、岩心资料,利用测井资料及地震资料进行层序地层学研究的实用技术和常用方法;第二章总结了陆相断陷盆地、被动边缘盆地、海相碳酸盐盆地及前陆盆地沉积层序发育模式。第二篇主要介绍了层序地层学在松辽盆地南部地区、塔里木盆地、南沙万安盆地及四川盆地西部等不同类型盆地的实际应用。该篇共分四章,第三章重点介绍陆相层序地层学在陆相断陷盆地松辽盆地南部地区的实际应用;第四章重点介绍层序地层学在被动边缘盆地塔里木盆地的应用;第五章主要介绍层序地层学在海相碳酸盐盆地南沙万安盆地的应用;第六章介绍了层序地层学在川西前陆盆地应用情况;第七章对层序地层学在油气勘探中的应用进行了归纳与总结。

本书可供从事油气地质勘探研究的科研人员 and 有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

层序地层学勘探实践/吴金才,张玉明,陈玉魁等著. —武汉:中国地质大学出版社,2001.9
ISBN 7-5625-1646-4

I. 层…

I. ①吴…②张…③陈…

II. 层序地层学-应用-勘探-油气

IV. P618

层序地层学勘探实践

吴金才 张玉明 陈玉魁 等著

责任编辑:张晓红

责任校对:熊华珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87483101 传真:87481537 E-mail:cbo@cug.edu.cn

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:170千字 印张:6.75

版次:2001年9月第1版

印次:2001年9月第1次印刷

印刷:中国地质大学印刷厂

印数:1—300册

ISBN 7-5625-1646-4/P·559

定价:15.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

层序地层学是一门研究地层时空展布规律的学科。它是通过构造沉降、海平面变化、沉积物供应速率及气候等四大因素的综合分析,研究可供沉积物沉积时空间(即可容纳空间)的周期性变化,并把一个海平面变化周期内沉积的地层称为层序,又把同一周期内海平面的不同变化阶段沉积的地层分别称为低水位体系域、海进体系域和高水位体系域。

近年来,层序地层学的发展非常快,先后出现了陆相层序地层学、高分辨率层序地层学、油气层序地层学、高频层序地层学、动力层序地层学、化石层序地层学等等,这都标志着层序地层学的发展方兴未艾。

陆相层序地层学是基于陆相盆地而建立起来的层序地层学,主要用于研究陆相地层。陆相盆地的层序与海相盆地的层序相比有较大差别,它不仅表现在层序形成控制因素的差异上,更重要的是层序的内部结构也有了很大差异。陆相盆地因受构造沉降、断裂作用的控制非常明显,其层序与海相层序有很大不同。

陆相层序地层学的发展比较艰难。它的出现遭到很多人的怀疑,甚至反对。他们认为,无论是地震地层学还是层序地层学的基本原理都是从海相被动大陆边缘的研究中得出来的,它们不适用陆相地层,特别是适用于不同于海平面变化控制下的陆相层序形成过程的分析研究。如果简单地把海相层序地层模式套用于陆相地层的层序研究,这显然是不合适的,得出否定性结论也是可以理解的。那么陆相地层中到底能不能开展层序地层研究?回答是肯定的。从大量的陆相地层露头剖面、测井资料以及高品质的地震剖面看,陆相地层与海相地层一样,也存在着周期性的旋回或者韵律变化,这就意味着控制沉积物沉积的可容纳空间具有旋回性,进而可以肯定控制可容纳空间的基准面的变化也具有旋回性,也就可以肯定陆相地层中可以进行层序地层研究。也就是说,源于海相含油气盆地的基本原理和研究方法,同样也适用于过渡相等陆相含油气盆地。所不同的是,海相盆地基准面控制因素主要是海平面变化、构造沉降、沉积物供应速率和气候等,而陆相盆地基准面控制因素是一个比海盆基准面控制因素复杂得多的多因素综合效应,正因为如此,陆相盆地层序地层的研究发展相对缓慢。

高分辨率层序地层学是层序地层学近年来发展起来的一个分支,它的基本原理是:在基准面旋回变化过程中,由于可容纳空间与沉积物补给量的变化,相同沉积体系或相域中发生沉积物的体积分配作用,导致沉积物的保存程度、地层堆积样式、相序、相类型及岩石结构发生变化。这些变化是其在基准面旋回中所处的位置和可容纳空间的函数。基准面旋回所控制的地层学的地层分布型式是有规律可循的,因此是可以预测的。

由此可以看出,高分辨率层序地层学理论与技术应用的关键,是如何在地层记录中识别代表多级次基准面旋回的多级次地层旋回,并进行高分辨率的等时地层对比。与盆地或区域规模的层序分析不同,高分辨率层序地层分析以岩心、露头、测井及高分辨率地震反射剖面资料为基础。运用精确层序划分和对比技术将钻井的一维信息变为三维地层关系预测的基础,建立油区、油田乃至油藏储集层的成因地层对比骨架,对储集层、隔层及烃源岩分布进行评价及预测。

油气层序地层学是地震地层学、层序地层学、石油地质学基础上发展起来的一门综合性新型边缘学科。它实质上是一种含油气层序分析学,在等时地层格架内对油气层序进行层序地层单元

分析。它是应用地震地层学、测井层序地层学、露头层序地层学分析方法,采用计算机技术和模拟技术研究含油气盆地的地层层序,进行地层对比、盆地生储盖组合和含油气系统分析,进而指出有利的油气勘探方向,特别是非构造油气勘探方向。

另外,层序地层学的发展还出现另一种趋势,那就是层序地层学的研究更注重其在石油勘探中的应用。著名的徐怀大教授曾说过,层序地层学的发展如果不与沉积学、石油地质学相结合,其研究就会失去生命力,层序地层学的研究成果如果不及时用于勘探实践,其研究就会失去意义。可见,层序地层学的研究不是孤立的,它是一门综合性、实用性很强的学科。本书集地震、石油地质、沉积、地层、测井、油藏描述等不同专业的、从事石油地质多年的科研工作者共同合作,力争把他们多年积累下来的实践经验总结出来,希望本书能对从事石油地质的同行有一定参考价值。

本书共分层序地层学应用基础和层序地层学在典型盆地应用两篇,第一篇又分层序地层学实用技术和典型盆地层序发育模式两章,主要由吴金才同志编写。第二篇主要介绍了层序地层学在松辽盆地南部地区、塔里木盆地、南沙万安盆地及四川盆地西部等不同类型的盆地的实际应用。该篇共分四章,第三章由吴金才、张玉明、陈玉魁、谢大进、周维奎、冯昌寿、杨树春、卿崇文等同志编写,第四章由吴金才、熊林森同志编写,第五章、第六章及第七章由吴金才同志编写,全书由吴金才同志统一定稿。另外,本书在编写过程中得到徐怀大教授、陈孔全教授级高工的热情鼓励与精心指点,同时得到何治亮教授级高工、熊海河高级工程师、唐黎明高级工程师大力支持与帮助,本书是在作者多年承担的研究项目的基础上撰写而成的,参加这些研究项目的还有王果寿高级工程师、杨克明教授级高工、吴进明教授级高工、何兴华高级工程师、樊太亮教授、易荣龙教授级高工、黄福林教授级高工、李学慧教授级高工、陈志高高级工程师、龚铭高级工程师、罗传容高级工程师、刘金辉博士、闫相宾高级工程师、瞿辉博士、刘伯土高级工程师、刘振湖高级工程师、刘宝明高级工程师、王琳高级工程师、卢兵力高级工程师、吴亚军高级工程师、杨长青高级工程师、刘兰兰高级工程师、缪学军高级工程师、朱陆忠高级工程师、刘健工程师、周卓明工程师、王均工程师,在此一并表示感谢!

由于本书作者能力有限,加上时间匆忙,书中错误在所难免,望广大读者批评指正。

目 录

第一篇 层序地层学应用基础

第一章 层序地层学中的实用技术.....	(3)
第一节 地震资料层序地层分析技术.....	(3)
第二节 测井资料层序地层分析技术.....	(9)
第三节 露头剖面及岩心资料层序地层分析技术	(12)
第二章 主要类型盆地沉积层序发育模式	(16)
第一节 陆相断陷盆地沉积层序发育模式	(16)
第二节 被动边缘盆地沉积层序发育模式	(19)
第三节 海相碳酸盐盆地沉积层序发育模式	(21)
第四节 前陆盆地沉积层序发育模式	(22)

第二篇 层序地层学在典型盆地中的应用

第三章 松南地区层序地层基本特征	(29)
第一节 盆地概况	(29)
第二节 松辽盆地南部地区层序地层基本特征	(33)
第三节 层序在油气勘探中的应用	(44)
第四章 塔里木盆地层序地层基本特征	(60)
第一节 盆地概况	(60)
第二节 层序地层基本特征	(66)
第三节 层序地层的油气地质意义	(78)
第五章 南海万安盆地层序地层基本特征	(79)
第一节 盆地发育与沉积盖层	(79)
第二节 层序地层基本特征	(80)
第三节 层序地层分析在油气勘探中的应用	(86)
第六章 川西前陆拗陷层序基本特征	(92)
第一节 盆地概况	(92)
第二节 川西前陆拗陷层序基本特征	(93)
第三节 层序与油气关系分析	(95)
第七章 层序地层学的油气地质意义	(97)
主要参考文献.....	(100)

第一篇 层序地层学应用基础

近年来层序地层学发展非常快，应用层序地层学的人也越来越多，这是一个非常令人鼓舞的局面。然而有些人由于缺少系统学习，在应用层序地层学时有感到些许困难。有些人对应用层序地层学的一些概念的定义吃不准，有些人对应用层序地层学的些许工作方法还不是很清楚，尤其是对层序地层学的实际解释方法与技术不是很明了。为了让更多的人加入到层序地层学的研究行业中来，尽快掌握层序地层学的一些实用方法与技术，作者把自己多年来积累的一些工作经验与体会总结出来，主要包括地震资料层序地层分析技术、测井资料层序地层分析技术、露头剖面及岩心资料层序地层分析技术，同时，作者根据层序地层学在不同类型盆地的应用，对不同类型盆地的层序发育模式进行了总结，希望能对广大读者有一定的参考意义。

第一章 层序地层学中的实用技术

第一节 地震资料层序地层分析技术

大家都知道,层序地层学的研究是从地震资料开始的。沉积层序在地震剖面上的响应称为地震层序,它是通过沉积地层在地震资料上形成的各种响应模式来研究地层的。下面就介绍层序边界、层序、体系域及密集段等层序的重要单元在地震资料上的识别技术。

一、层序边界识别及层序划分

层序边界在反射地震资料上主要依据地震反射的终止方式来识别。一般地,层序边界可分为两类,即Ⅰ型层序边界和Ⅱ型层序边界。Ⅰ型层序边界之下具有明显的削截结构及顶超结构,在界面之上具有滨岸上超、深水沉积向斜坡地带的上超及向盆地方向下超并具有下切谷。Ⅰ型层序边界往往以不整合面形式出现,在地震剖面上往往形成很强的反射。Ⅱ型层序边界仅在近岸局部地区见削截结构,无下切谷,主要靠沉积滨线向盆的迁移来识别。Ⅰ型层序边界也以不整合面形式出现,在地震剖面上往往也形成较强的反射。层序边界的识别需要多种资料的综合分析,仅仅依据地震资料是不够的,没有测井、岩心或露头资料难以确定。

一般地,层序边界的不同,其边界上发育的层序也不同。Ⅰ型层序边界上发育的层序称为Ⅰ型层序,主要由低水位体系域(LST)、海进体系域(TST)和高水位体系域(HST)组成。Ⅱ型层序边界上发育的层序称为Ⅱ型层序,Ⅱ型层序是由陆架边缘体系域(SMST)、海进体系域和高水位体系域组成。

地震层序的划分也不能单靠一种资料,要结合多种资料,互相补充,互相印证,只有在掌握了地层时、空展布规律之后才能作出正确的划分。

二、体系域识别

(一) 首次海泛面与最大海泛面的识别

1. 首次海泛面

首次海泛面为层序中第一次出现的海进型沉积的底面,一般不易识别。在层序中首次海泛面为低水位体系域或陆架边缘体系域与海进体系域之间的分界面。它是平衡点向岸超过陆架坡折后,在极为平缓的地形背景下海水迅速覆盖广大陆架而形成的界面,其特点是:该界面之下上超点之间的横向间距较小,而界面之上上超点的横向间距急剧增大。界面之下为沉积过路型顶超界面或平行整合界面,界面上部为平行整合界面。

2. 最大海泛面

最大海泛面为海侵达到最大时盆地的沉积面,为海进型沉积的顶面。在层序中为海侵体

系域与高水位体系域的分界面，在盆地边缘，界面之下为平行整合接触关系，界面上部为连续沉积型下超接触关系。在盆地内部的沉积坡折附近，界面之下为视削截接触关系，界面之上为连续沉积型下超接触关系，与密集段对应。在地震剖面上，最大海泛面的识别往往以下超面为识别标志。

（二）沉积体系识别

沉积体系是一套有成因联系的岩性三维体，在确定了首次海泛面和最大海泛面之后，可利用首次海泛面和最大海泛面来确定沉积体系。在首次海泛面和最大海泛面不易识别的情况下，沉积体系的识别一般采用地震相分析法。地震相分析是在缺失足够钻井资料的地区研究沉积相的重要手段之一，它是通过对地震相单元内反射终止型式、振幅、频率、连续性、外部几何形态以及内部反射结构等参数的综合研究，寻找出反映沉积相的信息。地震相单元是可以看着是层序中沉积体系的地震响应，因此，地震相分析必需在层序地层研究基础上进行。不同的沉积体系具有不同的地震相单元，如斜交前积地震相多反应三角洲体系，下面介绍几种常见沉积体系的识别。

1. 三角洲沉积体系

三角洲沉积体系是最重要的一种沉积体系。它是在较平缓的地形背景下，由河流流入海盆或湖盆后在河水和海水或湖水的共同作用下所形成的复合沉积体系。由于海盆中的可容空间大，沉积过程持久稳定，故三角洲的进积作用明显，沉积体系规模大，地震相标志明显，容易识别。其中又以河控三角洲为高建设性三角洲，受改造破坏的影响小，三角洲的特征更为突出，这里只讨论河控三角洲沉积体系的识别。河控三角洲沉积体系的基本特征是：

（1）离盆地边界较远，不受盆缘边界断层活动的控制。

（2）地震相单元具锥状外形，由于其规模一般较大，长、宽可在数十公里甚至上百公里，因此受视野的限制，其外形特征在地震剖面上可能不很明显，这时应注意从沉积体的等厚图上分析其外形特征。

（3）其最重要的标志是发育有各种前积结构。其中以 S 型、顶超型和复合型前积结构最为普遍。它们的共同特征是底积层较发育，说明沉积物经过一定距离的搬运，泥质沉积物十分丰富。

（4）在三角洲的不同部位上具有不同的地震反射特征。一般在顶积层部位主要为中振幅中连续性反射；在前积层部位由于砂泥比减小，泥岩厚度增大，使砂、泥岩之间的波阻抗增大，故振幅和连续性有所增强；至底积层部位有两种情况：一种是三角洲进积速率高，从而三角洲前缘斜坡的坡度较陡，这时容易诱发浊流，形成三角洲前缘趾部浊积砂体；另一种是三角洲进积速率较低，从而三角洲前缘斜坡的坡度较缓，浊流不发育，这时在前三角洲主要发育稳定的巨厚的泥岩，以弱振幅甚至无反射结构为特征。一般说来，以前一种情况为多。

从振幅在三角洲层序中的垂向变化上看，在前缘浊积扇发育的三角洲中，一般表现为，向上减弱反射结构；而在前三角洲为稳定泥岩的沉积体中，则一般表现为向上增强反射结构。

2. 扇三角洲

扇三角洲是由河流在盆缘大断层之下形成冲积扇后很快就转入水下形成三角洲而产生的一种冲积扇与三角洲的复合体，其中缺失在正常情况下冲积扇与三角洲之间应当发育的冲积平原相带，因此扇三角洲兼有冲积扇和三角洲的地震相特征。

（1）发育在盆缘边界大断层之下。

(2) 具锥状外形, 规模一般比冲积扇大, 长度可达几公里至几十公里。

(3) 在纵剖面上, 地震反射结构在沉积体的前半部与后半部有显著差别。在后半部主要表现为杂乱前积结构或波状结构; 而在前半部则各种前积结构均可能出现, 尤其以下超型前积结构和斜交型前积结构较为常见。在横剖面上可出现双向型前积结构或波状结构。

(4) 从冲积扇部位向三角洲部位, 地震反射的连续性逐渐增强。

3. 陆架边缘斜坡带

在陆架边缘和碳酸盐台地边缘均可发育斜坡带, 斜坡带是分隔陆架相与盆地相的一个重要地带, 因此识别出斜坡带在区域岩相古地理研究中极为重要。斜坡带的沉积过程与海平面相对变化有着非常密切的关系。当海平面相对静止或缓慢上升时期, 陆坡表现为强烈进积, 形成加积型或前积结构。这与海相河控三角洲的剖面特征极为相似。区别在于, 三角洲的前积相带在平面上呈扇状, 而斜坡带的前积相带则呈一伸长的带状; 在海平面相对下降时期, 陆坡遭受侵蚀, 尤其在陆架坡折带首当其冲, 形成视削蚀。

4. 碳酸盐岩岩隆

碳酸盐岩岩隆 (Build-up) 是由生物作用形成的、发育于沉积水体相对较浅的、位于盆地基底凸起部位的沉积体, 包括生物礁和生物丘。岩隆的识别不论在沉积相研究中还是在油气勘探中都具有重要意义。

碳酸盐岩岩隆的地震识别标志是:

(1) 岩隆往往发育在断层上升盘、火山岩体、同沉积隆起等正向地形背景上, 尤其在区域性断裂带的上升盘上可成带发育;

(2) 具丘状外形是岩隆最根本的特征, 或者说是岩隆一词的意义所在。岩隆的幅度可达数百米, 其平面形态可以是圆形、椭圆形、长条形, 甚至可以成为环形 (环礁);

(3) 在横剖面上均具有明显的块状凸起构造, 沉积体与围岩在地震反射特征上差别明显;

(4) 通常在岩隆内表现为无反射结构, 但当礁体为多期生长时, 亦可能出现较强的反射界面;

(5) 岩隆中的速度通常比围岩高, 但当岩隆中含气时亦可表现为低速;

(6) 岩隆外侧常可发育超覆现象, 其顶部可形成披盖构造, 在岩隆边缘处往往绕射波比较发育;

(7) 在一些发育较充分、规模较大的岩隆上, 可划分出礁前和礁后。礁前处岩隆边缘倾角较陡, 其下发育礁前塌积相, 以杂乱前积反射结构为特征, 礁后处岩隆边缘倾角较缓, 其外侧地层的振幅和连续性一般较强。当地层埋藏较深时, 受分辨率限制, 一般不容易区分礁前和礁后。

5. 侵蚀峡谷

一般发育在陆坡、深海扇上, 以发育侵蚀充填形反射结构为基本特征。

6. 深海浊积扇

深海浊积扇发育在陆坡之下, 是由浊流所形成的浊积体。其规模一般较大, 长、宽可达数十至数百千米。Mitchum (1985) 从地震可识别的角度出发, 提出了一种深海浊积扇模式。根据这一模式, 深海浊积扇由峡谷充填、上部扇和下部扇三部分组成。

(1) 峡谷充填发育在陆坡处, 其顶界面在横剖面上为平的或凹面向上的, 底界面为 V 形或 U 形, 具侵蚀充填结构, 有时在纵剖面上可表现为杂乱前积结构或斜交前积结构。一般为低振幅中连续性结构。

(2) 上部扇主要由堤成谷构成,其顶界面在水道处位置最高,而在天然堤处向两翼下倾,凹面向上,倾角逐渐减小。堤成谷复合体在总体上为一不规则的丘状,底界面在中部下凹,向两翼抬起;在横剖面上具双向前积结构,振幅通常较低且变化较大,连续性在总体上较差,在天然堤部位变化较大。

(3) 下部扇主要由朵状体构成,其顶界面一般为高振幅高连续性反射,总体上为丘状,没有明显的天然堤,其上覆地层对着它为上超或下超。朵状体一般充填在由更老的朵状体所构成的沉积洼地之上,具眼球状结构或双向前积结构。振幅一般较高,连续性一般较差,向下连续性变好(钱奕中等,1995)。

(三) 体系域识别

体系域是根据界面类型、它们在层序中的位置以及准层序和准层序叠置方式客观地加以定义的。不同的体系域是由不同的沉积体系组成。在确定了沉积体系之后,体系域的识别就不难了。

1. 低水位体系域

低水位沉积体系域是在相对海平面下降(全球海平面快速下降速率大于沉积滨线坡折下沉速率)以及其后的缓慢上升期形成的,以I型不整合为底界,初始海泛面为顶界。如果低水位体系域沉积在一个有不连续陆架边缘的盆地内,通常能分为早期低水位扇(或盆地扇)以及其后的低水位楔两个不同时期的组成部分。早期低水位扇是沉积物通过活动的陆架深切谷越过陆架堆积而成的,沉积作用受海底扇支配。其后的低水位楔以粒度更细的楔形斜坡沉积为主。人们用不同的名称描述它们,如斜坡扇、斜坡前缘沉积、楔、锥和海底扇(Mitchum, 1985),并且还包含了同期的深切谷充填物式的陆架沉积体系。

如果低水位体系域沉积在连续的缓坡边缘,则由早晚两部分的楔所组成。由于海平面相对下降,早期以河流回春和沉积物越过滨海平原为特征,但河流下切作用可能不强烈,因为相对海平面下降,将使一个与原先的河流平衡剖面相差不多的沉积剖面露出水面。无论任何条件,沉积物都将被直接输送到滨线沉积。滨线(沉积中心)将随着这个坡度平缓的沉积剖面逐渐暴露,并快速向盆地推进。这种情况一直可以持续到相对海平面变稳定并逐渐上升时为止。因此,早期楔以较粗粒的局限于盆地内的楔形体沉积为特征。晚期楔为相对海平面的缓慢上升造成的深切谷充填,以及带有一些加积的缓慢滨线进积为特征。这两类盆地边缘沉积的基本相似点是,都由两个非同时的地层单元组成。以下简要介绍低水位体系域中非同时的两部分各沉积体系的沉积模式:

(1) 盆底扇(Basin floor fan) 盆底扇沉积在不连续陆架坡折的盆地边缘。它是在全球海平面下降速率大于沉积滨线坡折的下沉速率时形成的。由于全球海平面的快速下降,陆架的一部分全部暴露地表,河流回春下切陆架,沉积物越过陆架和斜坡,并以点源式的盆底扇直接堆积在盆地边缘。与此同时,陆架坡折处开始发育海底峡谷,在老的陆架和斜坡上形成I型不整合底界,海底扇面为下超面。

(2) 斜坡扇(Slope fan) 斜坡扇属于低水位楔早期沉积的组成部分,顶面为低水位楔进积复合体的下超面,底界为I型不整合界面或低水位扇下超面。斜坡扇是在全球海平面快速下降末期及其后的低水位期于沉积滨线坡折处海底下沉速率大于全球海平面下降速率所造成的相对海平面开始缓慢上升时堆积的。其特征是,具天然堤的活动水道沉积与溢堤的韵律浊积岩共生。这些带天然堤的水道和溢堤的韵律性浊积岩,为来自很陡的峡谷壁上流下来的点源

块状流沉积，通常堆积在深切的海底峡谷口，其位置比早期的低水位扇更加近源。由于这一时期相对海平面开始低速上升，造成河流下切作用停止及深切谷内开始被沉积物充填，粗颗粒物往往优先沉积于深切谷内，因此，输送到沉积滨岸坡折处的沉积物砂泥比和载荷量均减小。粒度和砂泥比较下伏低水位扇的沉积物更细和更低。典型的斜坡扇呈开裙状，发育带天然堤的活动水道和溢堤席状浊积砂岩是其特征的识别标志，但深海砂沉积主要局限于水道内。

(3) 低水位前积复合体 低水位前积复合体为低水位晚期沉积的。它发育于相对海平面开始上升和岸线位置沿斜坡面上移区陆架尚未淹没之时，由进积的三角洲沉积体系组成，局限于海底峡谷的上部或早先切入陆架边缘的海湾内，最后可进积在陆坡上，并下超在斜坡扇的水道杂岩上和峡谷外的盆底扇之上。低水位前积复合体的三角洲之顶位于或低于尚未淹没的陆架表面，前缘一般不会向陆架坡折以外延伸很远，坡度陡峭，因此三角洲沉积不稳定，以远端有频繁的块体运动（碎屑流）沉积为特征。此外，在较深水背景中的滨线处有相对较高的能量环境和条件（海流和波浪）下，会使能量集中和提高，于是出现了进一步抑制进积作用的浪控环境。沿岸流可能会涂抹掉沿着外陆架或陆坡上部的低水位前积复合体的轮廓。

须指出的是，低水位早期的斜坡扇和晚期的进积复合体，在峡谷发育良好的地区较为常见，两者都与深切谷内的河流相沉积伴生。

综上所述，I型层序边界形成之后，由于陆架仍然暴露在地表，在海平面上升到原来陆架的表面之上以前，虽然随着相对海平面上升速率逐渐增高，新陆架空间也趋于增大，但总的新空间增加得很少，且新增空间局限于深切谷内，结果在深切谷内伴随着加积作用的加速，顶积层单位时间的厚度增大，而低水位楔的海退速率逐渐减小，于是当海平面上升到陆架表面之上时，深切谷内和陆架上的新增空间突然增大，由于沉积物供应速率跟不上新陆架空间的增加速率，致使沉积中心突然向陆移动，于是发生海侵，并形成深切谷充填物之顶及深切谷地区陆架上的初始海泛面，到此低水位体系域的沉积宣告结束。

2. 陆架边缘体系域

陆架边缘体系域为海退地层单位，以进积逐渐减弱之后出现连续的准层序加积型堆积为特征。它覆盖于前一沉积层序的高水位体系域之上，通常是在缓慢的全球海平面下降曲线拐点后沉积的。这期间，由于海平面下降速率小于陆架边缘下沉速率，因此，以相对海平面上升速率逐渐增大为特征，促使岸线位置只向外陆架迁移，在陆架外部发生陆架边缘楔状体沉积，并以海岸上超突然向盆地移动为界。由于新陆架空间的加入，引起这个沉积阶段的海退速率逐渐放慢，顶积层（单位时间）因相对海平面上升速率逐渐加大而增厚。又由于新陆架空间的加入速率加大和陆架大部分地区可能还暂时被咸水淹没着，于是靠近陆架边缘体系域的近顶部可能有广布的煤聚集。总之，陆架边缘体系域的沉积物的特征是，岩相的垂直叠置自下而上有增厚的趋势，沉积相逐渐由非海相向海相转化。与高水位体系域相反，陆架边缘体系域，一般没有被广泛分布的河流沉积覆盖。

陆架边缘体系域的底界，为一个覆盖河流沉积的海岸平原或三角洲沉积物为特征的侵蚀不整合（或与其相当的整合面）。如底界为可以对比的整合地区，这个底界面仅表现为准层序叠置方式，从快速进积向慢速进积或加积的变化。其顶界面为一将进积—加积陆架边缘体系域与上覆退积海进体系域分开的海进面，即以初始海泛面为标志。

3. 海进体系域

海进体系域为低水位体系域的最大海退期之后的第一个重要海泛事件，即初始海泛面出

现后开始沉积的。随着海平面上升速度的加快,沿老的斜坡面的海进上超最终将淹过陆架,沉积物出现在经过海进侵蚀和改造了的老的陆架表面上,新的沉积物将搬运到海进岸线,形成一系列后退或退积式的阶梯状准层序组成的海侵体系域。因此,它以一系列海泛事件的出现为特征,并可能伴有自生矿物的富集及广泛分布的煤层。研究表明,与Ⅰ型不整合伴生的广泛海进沉积(深切谷除外)非常少见,这是因为,在发育有Ⅰ型不整合的条件下,在Ⅰ型不整合形成之后的相对海平面逐渐上升期间,海平面仍然在陆架之下,早期海进沉积仍局限于深切谷内。Ⅰ型不整合形成之后的最终淹没,是在相对海平面上升速率已经很快时发生的,此后沉积中心突然快速向陆移动,其结果是,除了深切谷外再不发生广泛的海进沉积。然而,在Ⅱ型不整合的条件下,因不存在深切谷,而且陆架从未暴露过,故Ⅱ型不整合之上的陆架淹没是缓慢的渐进过程,所以存在发生广泛海进沉积的可能性更大。

4. 高水位体系域

高水位体系域为Ⅰ型或Ⅱ型层序上部的体系域,它形成于全球海平面上升的末期、升降静止期和下降的初期,广泛分布于陆架上,由一个或多个准层序组成。由于高水位体系域的新增空间速率一直在减小,早期虽为海进与海退交替沉积为主,但加积作用通常胜过进积作用,而晚期以进积堆积作用逐渐增强的海退沉积为主,重复海岸上超的向盆地迁移。高水位体系域的底为一下超面或密集段,体系域内的准层序朝大陆方向上超在层序界面上,朝盆地方向下超在海侵体系域或低水位体系域的顶面上。其顶部为广泛分布的、在全球海平面上升达高峰后某一时刻开始的河流沉积。上界为Ⅰ型或Ⅱ型层序界面所限定。如为Ⅰ型不整合,则海平面降到沉积滨线坡折之下,致使陆架暴露并发生河流下切作用。如为Ⅱ型不整合,海平面不会下降到沉积滨线坡折之下,陆架仅局部暴露,不发生河流下切作用。

三、密集段的识别

1. 密集段 (condense-section, 简称 CS)

密集段是沉积层序中一个比较独特的单元,位于层序中部,以下超面为其识别标志。密集段在区域性或全球性地层对比和层序地层研究中起着极为重要的作用。它通常是厚度极薄的海相地层单位,由沉积速率极缓慢的深海相和半深海相沉积物组成。密集段所代表的时间在向陆方向上较短。密集段的形成与最大全球海平面的最大上升速率所对应的最大沉积物容纳空间有关,常与海相间断面共生,并呈一种薄而连续的、具生物潜穴的带和石化固结程度较低的层(缺失面)或海底硬底的形式产出。密集段可能含有许多种类繁多、数量丰富的微体浮游生物与底栖化石组合、自生矿物(如海绿石、磷灰石及菱铁矿)、有机质和聚脱石等,有时可能富集有铂族元素,如铼等。

密集段的分布范围很大,可以从盆地一直延伸到陆架,并呈厚度极薄但非常稳定的沉积单元,它产于沉积层序的中部,但在时间—距离坐标上占有相当大的变化范围,这是因为它们的形成过程极为缓慢。是海平面相对上升和滨线迅速海进,导致与浅水沉积物有关的陆源沉积场所不断向大陆方向迁移,最终使原来的陆架和盆地中水较深的地区,明显处于长期欠补偿沉积状态的结果。

2. 密集段识别

地震方法通常只能识别三级或三级以上的层序及其对应的密集段。然而,由于地震剖面给地质工作者提供了在三维空间内连续追踪对比地下目的层的可能性,使地震方法在密集段研究中起着举足轻重、不可替代的作用。地震上常见的识别标志有以下几种。

(1) 层序内部的下超面 在一个层序内部,当发育特征明显的下超面时,往往可构成一个厚度较大的密集段,这是一种最直观的标志。

(2) 退积层序组的出现 退积层序组是在海(湖)平面迅速上升过程中,其沉积物供应速率降低,沉积层序向陆地方向退缩,退积层序的底部和前端应是密集段和生油岩发育的良好区带。

(3) 进积层序组的出现 进积层序组形成于海(湖)平面缓慢下降的过程中,往往与大规模的地层前积作用相联系,进积层序靠近下超面的底积层部分,是富含有机质的细粒沉积物发育带,也是良好的生油岩分布带。

(4) 层序厚度的迅速变小 当一个层序由盆地边缘向盆地内部迅速变薄时,有时并不能识别出明显的下超特征,但层序厚度的减小,与沉积物供给不足有关,预示着深水区可发育以细粒沉积物为标志的密集段。

第二节 测井资料层序地层分析技术

随着层序地层学的不断发展,层序的划分越来越细,仅用地震资料难以识别级次较低(4级或5级)的层序。因此,要提高层序地层学的研究精度,人们自然想到利用测井资料进行层序地层学研究。沉积层序在测井资料上的响应称为测井层序,其识别主要通过地层在测井曲线上出现的各种响应模式、准层序纵向叠置样式等分析来进行。

一、测井层序研究方法

利用测井资料作层序地层分析时主要利用自然电位(SP)、自然伽马(GR)和视电阻率(RES),在资料允许的情况下,应尽量应用一些别的资料,如声波测井(AC)、井径测井(CAL)等,同时还要参考录井资料、岩心资料等。

在运用测井曲线研究层序地层时,应尽力做到生物地层学、测井地层学和地震地层学三者相结合的综合研究方法,便于彼此补充、相互检验,以获得最佳解释效果。具体方法步骤如下:

(1) 在熟悉区域地质资料的基础上,对诸岩心井进行系统而仔细的岩相或层序观察,并与测井曲线相对照、对比、修正,划出典型的骨架相曲线类型。

(2) 最大海泛面或密集段(时间线)的确定,由于密集段剖面极薄,通常几厘米至数十厘米厚,故在野外易于忽略,在地震剖面上难以识别,然而由于其典型的测井响应特征,在测井曲线上易于识别,故更确切的识判密集段的方法是测井方法,即通过钻井岩心化石丰富或分异度的分析和测井曲线特殊信息的解释,提出具年代意义的界面,并把相应的古水深及生物事件与测井曲线进行对比,并标定在测井曲线上,作为划分对比层序的重要的时间界面。

(3) 层序边界(时间线)的识别及确定,对于岩性组合相近似的层序,层序间的界面难以通过野外露头 and 地震剖面上识别,由于测井曲线或资料的灵敏度或高分辨率特点,故极容易从测井资料或曲线的不连续性或突变性进行识别。结合区域地质资料,确定层序边界类型,并标定在测井曲线上,作为大尺度年代地层框架。

(4) 按点一线一面逐步展开,进行测井曲线的层序或体系域对比,从而对不同层序、体系域在时间、空间上的演变规律有较清晰的认识。在进行层序对比时,应在上述时间框架之基础上,确保同一体系域或层序在时间、空间上相变变化的协调一致性,即岩相展布的有序

性和沉积条件的一致性（钱奕中等，1995）。

测井曲线是地层记录的一种测井响应型式，其解释往往存在多解性，因此，我们利用测井曲线进行层序地层研究时要结合实际的岩心观察，建立层序、层序边界、体系域等的测井曲线解释模式，以便准确地开展测井资料层序地层解释。

二、层序边界测井响应特征及层序划分

用于层序地层分析的测井资料主要包括自然伽马-电阻率曲线，自然电位-电阻率曲线。在地层资料复杂及某些特殊井段，还应该综合利用各种测井曲线。层序边界的测井响应，是以岩心观察中特征明显的层序边界为模式而建立的。这种标准建立之后，则用以广泛地识别非取心井段的层序边界。根据电测曲线的变化，同时结合实际的岩心观察，层序边界的测井响应特征主要有以下几种型式。

1. 渐变型式

这是代表一种基准面快速下降随即快速上升的速度突变的型式。在测井曲线上，层序边界之下的准层序组呈前积式，其上的准层序组呈退积式，层序边界往往位于砂岩内部，与传统的以砂岩顶、底为界的方法有根本的区别。在纯正砂、泥岩剖面上，层序边界之下的准层序向上变厚，各准层序沉积物粒径向上变大，其上的准层序向上变薄、粒径变小。这种测井响应，其曲线形态特征是在层序边界之下呈漏斗状，在层序边界之上呈钟形。

2. 突变型式

层序边界之下的测井响应为属泥质沉积的平滑式加积型，其上为砂岩或砂砾岩的箱形加积式、钟形退积式，代表一种水体由相对较深突然变浅并持续了相当久的沉积型式。其地质记录在滨、浅湖地带为砂岩直接覆在杂色（绿、紫、棕、红及其过渡色调）泥岩之上，在半深湖、深湖区为砂岩与下伏暗色泥岩的突变接触。

3. 加积/前积型

层序边界之下的地层呈前积型，界面之上的地层呈加积型，代表基准面快速下降接着滞升的沉积形式。推测前期高水位体系域为三角洲类沉积，其后的低水位期为河道、冲积扇或盆底扇类沉积。

4. 前积/前积型

层序界面上、下地层的测井响应均为前积型，反映了三角洲体系的穿时现象。

5. 其他类型

除了上述几种类型外，还可以见到退积/退积型、前积/加积型、加积/加积型、层序界面在泥岩内部而层序边界上、下地层的测井响应均为平滑、细齿线形态。以上层序边界的各种测井响应，以第一种最为常见，其余顺序号居次（钱奕中等，1995）。

三、准层序（组）、体系域的测井响应特征

依照层序地层学理论，准层序（组）或体系域是构成层序的主体，因而各种类型准层序（组）或体系域的测井响应及其组合实质上代表了相应的层序的测井响应特征。

（一）准层序（组）的测井响应特征

准层序是一套以海水洪泛面或与其可对比的海水面为界的、相对整合的、彼此有成因联系的层或层组，在层序内的特殊部位，准层序的上、下界面可与层序边界相一致。大多数硅

