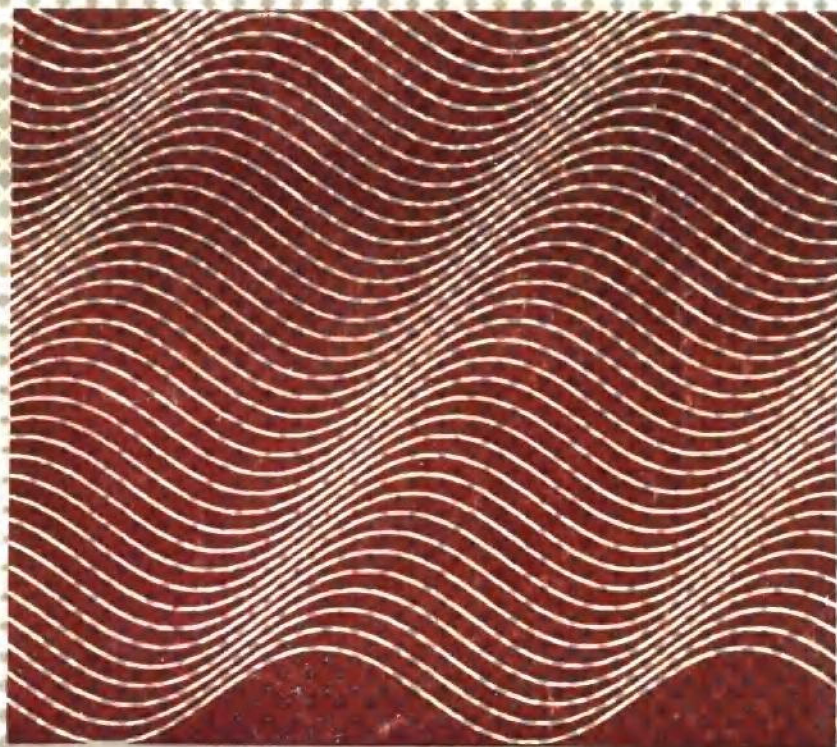


ZHANGWANXUAN · ZHANGHOUFU · ZENGHONGLIU
LIUZHEN · GAOXIANZHI · LIUZHENJIANG

Luxiang Dizhen Dicengxue

陆相地震地层学

张万选 张厚福 曾洪流
刘震 高先志 刘镇江



石油大学出版社
SHIYODAXUECHUBANSHE

北京)

乙

· 073085



陆相地震地层学

张万选 张厚福 曾洪流
刘震 高先志 刘镇江

52/24/06



200380300



石油大学出版社

鲁新登字10号

内 容 简 介

本书以典型的陆相盆地为例，对区域地震地层学研究、岩性-速度定量解释研究、储层地震地层学研究等三个问题，作了系统的介绍。作为陆相盆地中的地震地层学研究，很有参考价值和独到的见解。

本书可作为高等院校石油地质、石油物探等专业的研究生及大学生的参考书，对石油地质及物探科研及生产人员均有参考价值。

本书为石油大学科技专著出版基金资助出版

陆相地震地层学

张万选 张厚福 曾洪流
刘 震 高先志 刘镇江

*
石油大学出版社出版
(山东省 东营市)
新华书店发行
石油大学印刷厂印刷

*
开本787×1092 1/16 7.125印张 179千字
1993年2月第1版 1993年2月第1次印刷
印数1—3000册

ISBN 7-5636-0265-8/TE·59

定价：3.90元

前 言

本课题是由国家自然科学基金1987至1990年的资助项目，编号4860120。其任务是对地震地层学这一门地学领域的新兴应用学科的方法进行探讨。

地震地层学是地球物理学与地层学、沉积学、石油地质学相结合的一门边缘学科^(1,2)，是从20世纪70年代以来才发展起来的。R.E.Sheriff⁽³⁾，L.F.Brown^{IR(2)}，P.R.Vail⁽¹⁾，J.B.Sangre⁽¹⁾，R.M.Mitchum JR.⁽¹⁾，B.Macurda⁽⁴⁾，J.P.Indsey⁽⁵⁾等等学者都发表过重要著作或论文，阐述了地震地层学的有关问题，为地震地层学的基本原理奠定了基础。随着现代数字地震勘探技术和沉积体系概念的发展，随着地震资料数字处理技术的不断摸索，近几年来地震地层学的研究方法和内容都获得了重要进展，逐渐形成了一个独立的学科体系。

1983年以来，我们两次派教授赴美、英等国考察、进修，收集了国外有关地震地层学的各种专著、教材及论文；并且长期指导多届硕士、博士研究生和大学生，在华北冀中拗陷廊固和束鹿凹陷以及渤海辽东湾辽西凹陷，开展了实际的系统研究，发现国外大量地震地层学论著及方法，多适用于海相地层。自1967年接受国家自然科学基金资助以来，我们有目的地注意结合我国中、新生代陆相地层异常发育的特点，不断开拓、总结地震地层学的各种方法技术，逐步探索出紧密结合中国实际的成套技术，形成了我们自己的研究特色，编制出大量图件，为上述区域的油气勘探作出了贡献，帮助现场发现了新油田、高产油气井及一批有含油气远景的重要勘探目标。这些成套技术，已向中国石油天然气总公司所属各油田技术领导干部进行讲授，深受欢迎，当即受到大庆、吉林、辽河、中原、新疆、渤海等油田和研究单位的邀请，希望前往讲学并指导科研生产。可以预料，这些技术将会在我国“八五”、“九五”计划期间为油气勘探开发事业做出更大贡献。

地震地层学作为一门独立的学科，在国外已被明确地划分为区域地震地层学与储层地震地层学两个部分^(4,5)。

区域地震地层学主要是利用地震反射剖面来研究沉积盆地和圈闭。其主要研究内容是：

- (1) 划分地震层序，进行地震层序分析，建立区域地层轮廓；
- (2) 在每个地震层序内，根据反射的几何特征、物理特征及速度-岩性参数等标志，进行地震相分析；
- (3) 结合岩心观察及测井资料分析，将地震相转换成沉积相，进而解释沉积环境和古地理，重塑盆地的沉积史；
- (4) 预测盆地中生油岩相和储集岩相的分布，编制区域含油气远景预测图。

综合区域地震地层学的研究成果，可以对盆地的生、储、盖、圈等条件作出比较详细的评价，提供钻探对象。

储层地震地层学是近几年才开始萌芽的一个新的研究方向。它是在一个局部构造或沉积单元范围内，将地震资料进行各种特殊处理，并综合测井及岩心分析资料，开展下列研究：

- (1) 经子波处理，利用振幅-厚度关系，确定薄砂层厚度；
- (2) 利用反演技术，获取精确的速度剖面，计算砂层孔隙度；

(3) 利用振幅变化研究薄层石灰岩的溶蚀带;

(4) 利用亮点、平点、极性反转等等现象研究孔隙所含流体, 确定油气藏边界。

根据储层地震地层学的研究成果, 可对储集层的厚度、物性及含油气性作出定量评价, 为油气田的详探、开发和评价提供精确的钻探井位。

1989年4月在美国San Antonio召开的美国石油地质学家协会第74届年会上, 《应用层序地层学》^[7]一书发表后, 引起了广泛反响。该书作者是倡导区域地震地层学的著名学者John B. Sangree和Peter R. Vail。层序地层学是根据地震、钻井及露头资料, 应用沉积环境和岩相的知识, 对地层型式作出综合解释。方法仍然是划分地震层序, 然后进行区域地震地层学解释。最终恢复盆地的地质历史、沉积环境、岩相和构造, 用以改善对隐蔽油气圈闭的勘探。由此可知, 在所用基础资料、研究对象、方法及最终成果等方面, 层序地层学与上述区域地震地层学非常相似。但是, 层序地层学在以下方面有明显进展:

(1) 明确强调地层单元的几何形态及岩性受构造沉降、海平面升降、沉积物供给、气候等四大参数控制(区域地震地层学也考虑了上述参数, 但强调不够);

(2) 重视用古生物、古地磁等多种方法测定的绝对年龄来划分各级地震层序(区域地震地层学提出用古生物、绝对年龄资料来标定地震层序);

(3) 强调以体系域为对象开展地震地层学研究, 详细分析构造沉降、海平面升降对各体系域发展演化的影响(区域地震地层学是以层序或亚层序为对象开展地震地层学研究, 重视沉积体系和沉积相, 讲究相序合理, 未用体系域概念);

(4) 安排了许多作业用来估算古水深、海平面升降变化速度及沉降速度(区域地震地层学未作专门讨论)。

自70年代地震地层学被引进我国后, 多开展的是区域地震地层学研究, 而储层地震地层学研究则刚刚开始。区域地震地层学已经成为我国东部各含油气盆地的必备研究项目, 为油气后备资源的稳步增长作出了贡献。但是, 在研究中明显存在一些问题, 主要是陆相盆地与海相盆地相比差异甚多, 国外模式不能直接引用; 研究方法各家不一, 多处于定性阶段, 缺乏定量手段; 储层地震地层学研究尚无有效技术; 研究方法和程序也有待于标准化等等。现在层序地层学也开始在我国盛传, 由以上分析不难看出: 层序地层学确有某些重要进展, 但其研究思路和方法仍离不开区域地震地层学, 二者堪称大同小异。

通过引进国外技术, 我们自己消化、实践、开拓、总结, 形成了紧密结合中国实际、富有特色的地震地层学成套技术。根据本项目任务书的要求, 将地震地层学方法技术分下列三方面进行总结:

(1) 区域地震地层学技术包括: 陆相地层的反射终端类型、地震层序划分、地震相分析、地震相向沉积相的转换以及区域地震地层学在油气勘探中的应用。

(2) 速度-岩性定量解释技术包括: 基本原理、压实曲线制作、速度谱解释与层速度计算、速度-岩性定量转换及误差校正、应用及其效果分析。

(3) 储层地震地层学技术包括: 基本原理、地震资料特殊处理流程及参数选择、地层定性解释准则, 薄层厚度定量解释技术、砂岩孔隙度定量解释技术、地层压力地震预测技术。

目 录

第一篇 区域地震地层学方法研究

第一章 陆相地震层序的划分方法.....	1
第二章 地震相分析方法.....	9
第三章 地震相向沉积相的转换方法.....	26
第四章 区域地震地层学在油气勘探中的应用.....	36
小 结	43
参考文献.....	43

第二篇 速度-岩性定量解释方法研究

引 言.....	45
第五章 基本原理.....	46
第六章 研究方法.....	48
第七章 应用及其效果.....	59
小 结.....	62
参考文献.....	63

第三篇 储层地震地层学方法研究

第八章 引言.....	65
第九章 储层地震地层学研究的资料准备.....	69
第十章 储层厚度定量解释方法研究.....	80
第十一章 碎屑岩储层物性参数定量解释方法研究.....	88
小 结.....	99
参考文献.....	100

结束语.....	102
----------	-----

第一章 陆相地震层序的划分方法

一、地震层序的概念及反射终端类型

地震层序的划分是地震地层学研究的基础，最早由美国学者 Vail 等人提出，认为“地震层序就是沉积层序在地震上的表现，而沉积层序则是相对整合的、在成因上有联系的、以不整合面或可与其对比的整合面为界的地层单元”^[1]。所以，地震层序是由时代界面限制的年代地层单元，代表在单一地壳运动幕沉积下来的成因单元，从而能够精确地描绘沉积史。由此可知，划分地震层序最基本的原则就是依据不整合面，这是应用地震资料进行盆地分析的基础。

地震层序界面的反射终端类型包括上超、下超（上超与下超合称底超）、顶超、侵蚀削截（削蚀）和整合（图1-1）。除侵蚀削截受地层侵蚀作用控制外，上超、下超及顶超皆与无沉积作用有关。

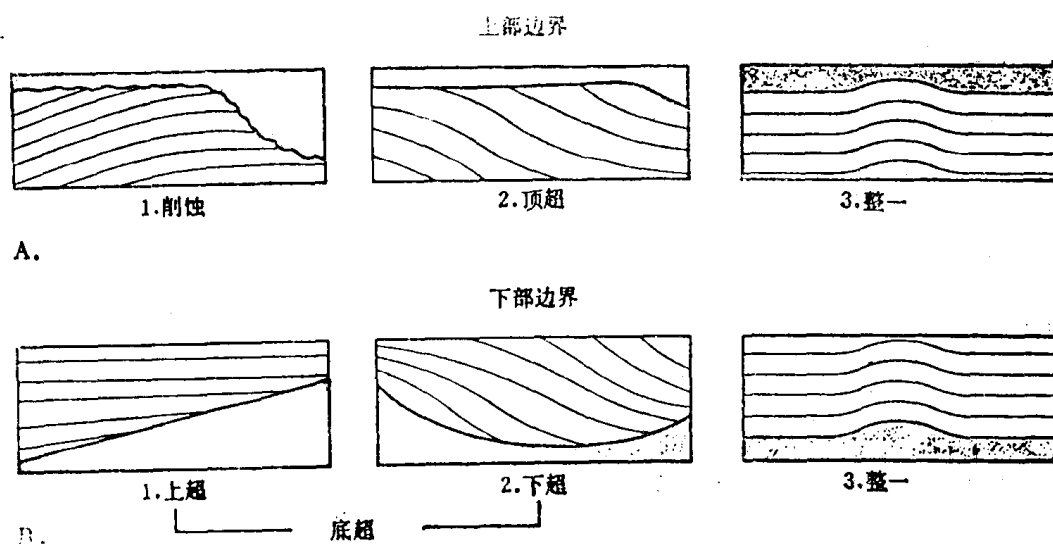


图1-1 层序界面反射终端类型^[1]

在陆相地层中均可见到这些反射终端，但其控制地层尖灭的地质背景复杂多变，有的反射终端具有某些不同的特点（图1-2）：

1. 削蚀（图1-2a）

系指侵蚀作用引起的地层侧向终止。出现在层序顶界面，它是构造运动存在的直接证据，是划分层序的最可靠标志。

2. 上超

系指新水平沉积层逆沉积斜坡的向上超覆。它是沉积间断的标志，按成因分为湖岸-浅水区的上超和深水洼地的上超，分别称为湖岸上超和深水上超（图1-2e, f）。前者一般分布在湖盆边缘，反映湖平面的相对上升，是层序底界面的可靠标志；后者则多见于湖盆中心，

通常是浊积扇或深湖泥岩充填洼地，或深湖泥岩披盖浊积扇或近岸水下扇顶面的结果。向斜坡上倾方向递变为湖岸上超的深水上超一般范围较大，可作为层序划分的标志；局部的深水上超常出现在层序内部，反映局部的湖底冲刷或不均衡沉积作用，通常不指示层序界面。

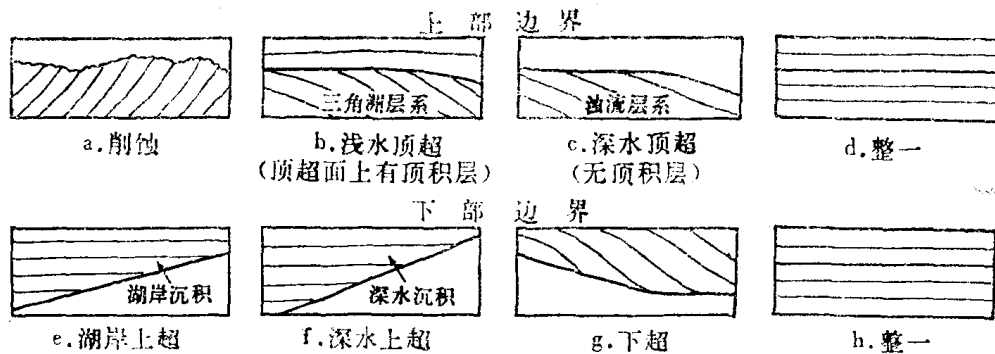


图1-2 陆相地层反射终端类型 [6]

3. 下超 (图1-2g)

系指新沉积层沿沉积斜坡向下超覆。它亦为沉积间断的标志，通常出现在层序底部，有时也小范围地出现在层序内部。

4. 顶超

系指沿倾斜地层的无沉积顶面被新沉积层所超覆。在陆相地层中，顶超同样有浅水、深水两种类型 (图1-2b, c)。浅水顶超形成于浅水区，一般为三角洲前积作用的产物。它有时与层序顶面一致，有时出现在层序内部，其位置受水平产状的三角洲平原顶积层发育程度的影响。深水顶超一般与浊流沉积有关，其沉积基准面受深水地形控制，与层序界面无确定的关系。

5. 整一 (图1-2d, h)

在陆相地震层序中，常见作为层序界面的整一反射层。整一的层序界面通常分布在凹陷中心，向凹陷边缘可追索到不整合层序界面。

显然，并非地层中找到的所有反射终端都与层序界面有对应关系。层序界面最可靠的地震标志是削蚀、湖岸上超和下超。深水上超、浅水和深水顶超经常出现在层序内部，可靠性较差，只能作为辅助标志。整一反射层只有当其能与不整合对比，或有钻井古生物、古地磁、同位素绝对年龄等任何一种或多种资料证实有较大沉积间断时，才能作为层序界面。

二、陆相地震层序的特点

根据我们的观察，陆相层序与海相层序相比，有下列不同特点：

1. 陆相断陷盆地断裂发育，分割性强，沉积凹陷面积小

陆相断陷盆地断裂多，常被分割为若干次级凹陷与凸起，每个凹陷往往独自形成一个沉积单元，其面积通常只有几百至几千平方公里。从湖岸至深湖区一般只有几至十几公里；在边界断层控制的湖盆陡岸，甚至在1~2公里范围内就进入深湖区。在凹陷内，次级断层又可分割为更次一级的次凹与次凸，这种复杂的构造格局对沉积岩系或地震层序的发育有重要的控制作用。

2. 近物源、多物源、沉积厚、相变大

陆相断陷盆地小，周缘山区均可提供物源，在断裂差异升降作用的控制下，沉降快、沉积厚、相带窄，造成盆地内沉积体系多、沉积物厚度及岩性岩相变化大，地震反射层连续性较差，追踪对比往往较为困难。

3. 多沉积旋回

内陆湖泊与外海沟通不畅，蓄水量受大气降水和气候变化影响很大，湖平面频繁升降，从而在剖面上形成多个沉积旋回。例如在渤海湾盆地仅渐新统就有三个明显的沉积旋回，形成三次水进水退*。沉积旋回有不同级别，大旋回往往包含若干次级旋回。因此，地震层序相应地也有分级问题。

4. 构造干扰

陆相盆地的构造现象常比海相盆地复杂得多，不少凹陷断裂、挤压、重力滑动或塑性底辟构造发育，不同程度地破坏了原始地层产状。断层对地震层序划分的影响最大，常使两盘层序界面难以对比。

三、陆相地震层序的划分方法

如上所述，陆相地震层序与海相地震层序相比，具有分割性强、构造运动和湖水面相对升降频繁、沉积旋回多等特点。为使层序划分有量的界限，能反映盆地构造运动强弱和沉积旋回大小，我们建议将 Vail 等人的层序概念作适当修改，根据不整合面大小和地层分布范围，将地震层序分为三级：

超层序——相当于 Sloss 的层序：“在一个大陆的大部分地区可以追踪，并且以区域不整合面为界”^[11]。它反映受两次大的构造运动控制的完整的盆地发育旋回。

层序——相当于 Vail 等人的层序：“相对整合的、成因上有联系的、以不整合面或可与其对比的整合面为界的地层单元”^[1]。至少在一个凹陷内可以追踪，不整合面积必须大于凹陷面积的一半。层序反映盆地的重要构造运动幕或水进水退旋回。明显叠加在一起的层序组成超层序。

亚层序——在一个凹陷内可以追踪，仍以不整合面或可与其对比的整合面为界，但规定不整合面积小于凹陷面积的一半，一般仅分布在凹陷边缘及古隆起周围。亚层序反映盆地的次要构造运动幕或水进水退旋回。一个层序包括一个或几个亚层序，这里的亚层序相当于《应用层序地层学》中对海相地层所划分的体系域^[7]。

根据前人经验和我们的亲身实践，陆相地震层序的划分应遵循下列原则：

(1) 建立贯穿全凹陷的联井基干测线网，使划分的地震层序具空间连续性及其可比性，并可与钻井资料相联系。

(2) 坚持以不整合面划分层序界面。除非有精确的古生物、古地磁或同位素绝对年龄资料，应杜绝用钻井岩性分层定地震层序界面的作法。

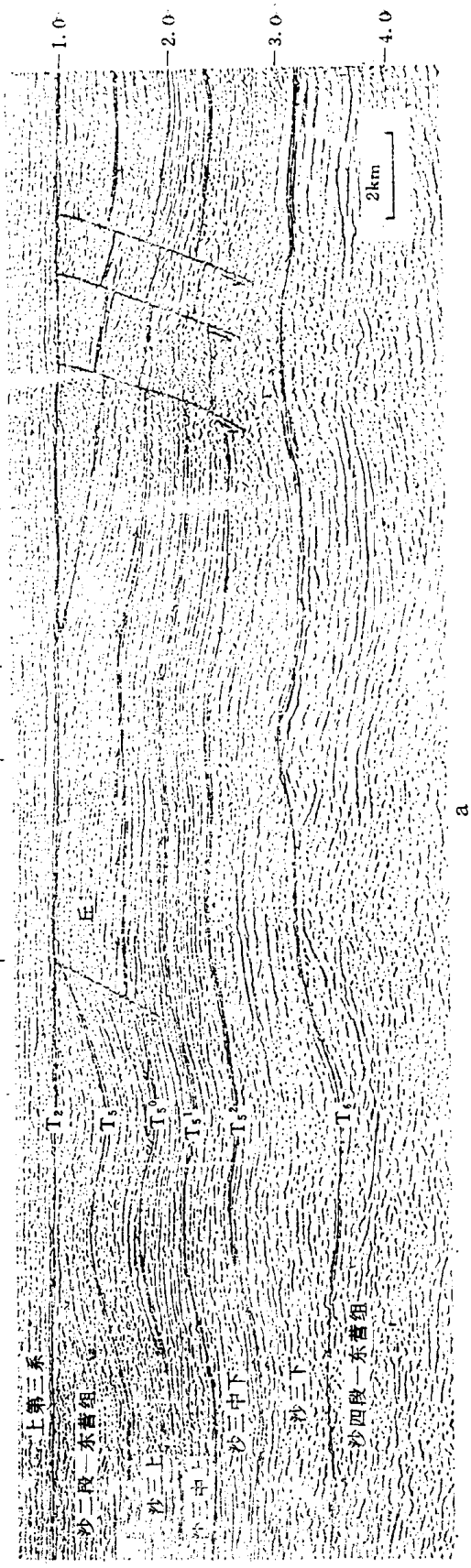
(3) 在构造复杂区域缺乏地震标志层时，可参考钻井沉积旋回特征划分层序。

(4) 在断层发育区，可参考大套地层的反射波动力学特征划分层序。

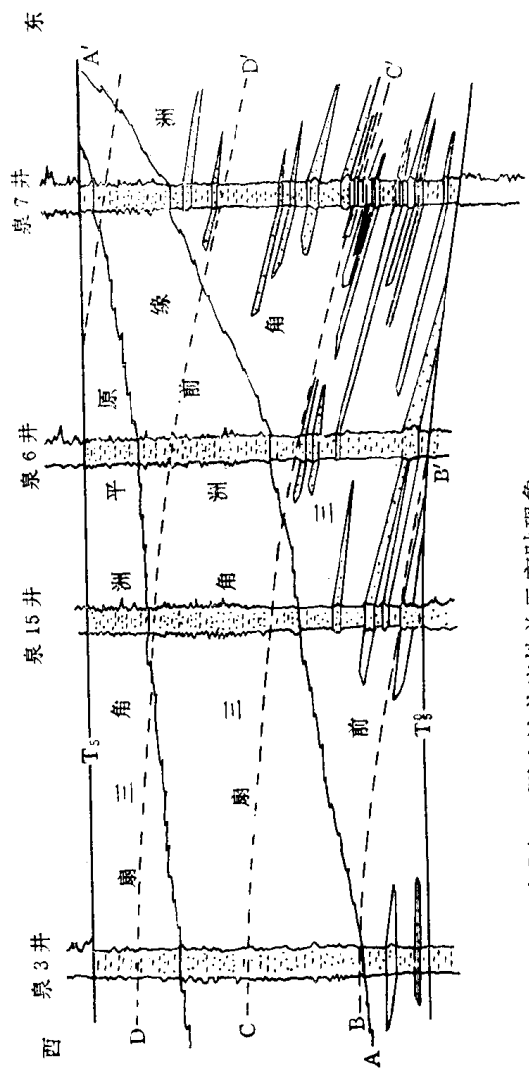
强调以不整合划分地震层序，原因在于地震层序属于年代地层单元^[1]，它与根据钻井

* 胡见义、徐树宝，中国东部陆相盆地地层岩性圈闭油气聚集带的分布及勘探程度研究，1983。

泉3井 泉15井 泉6井(投影) 泉7井(投影)



a



b

图1-3 廊固凹陷GA621测线钻井岩性单元穿时现象

资料划分的岩性地层单元往往不符。这种不符合现象多出现在古生物资料不足只能根据岩电特征划分岩性单元的亚层序一级，尤其是在横向相变较大的层段，例如在发育三角洲、冲积扇、近岸水下扇等相带。如图1-3所示，麻固凹陷柳泉地区沙三上亚层序 $T_3^1-T_3^2$ 发育一缓坡扇三角洲，地震剖面上呈现双向下超结构与大型丘状外形；在钻井剖面上划分出扇三角洲平原、扇三角洲前缘及前三角洲三个亚相。其中扇三角洲前缘底界AA'也是钻井分层的沙三段上部底界。AA'明显穿过地震等时面BB'、CC'、……，与沙三上亚层序底界 T_3^2 （下超不整合面）有差别，且差别向三角洲推进方向增大。这种实例在西非的尼日尔第三系三角洲（图1-4）、美国圣胡安盆地及南美第三系均可找到。

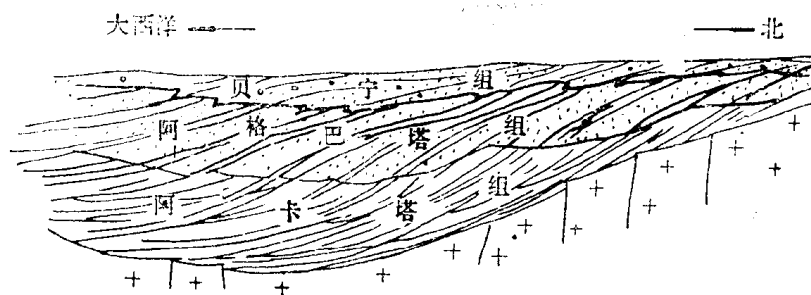


图1-4 尼日尔三角洲岩性地层单元穿时现象

四、实例

1. 麻固凹陷

现以冀中坳陷麻固凹陷和辽东湾辽西凹陷北洼为例说明地震层序划分原则的应用。

麻固凹陷为一地质背景复杂的第三纪单断凹陷，构造运动频繁，断裂、形变复杂，岩性岩相变化大，地震反射连续性差，缺乏能在全凹陷连续对比的标志层。地震层序分析需综合运用各种标志，尤其重视钻井资料的应用。

(1) 超层序（图1-5）

在地震剖面上可见两个区域性不整合面 T_1 和 T_2 。 T_1 是下第三系与下伏老地层接触的区域性侵蚀不整合面，界面上、下见明显的上超与削蚀现象，在华北地区皆可追踪，标志着下第三系断陷盆地的开始； T_2 是下第三系与上第三系之间的区域性角度不整合面，表现为下第三系经褶皱断裂后遭普遍侵蚀夷平，然后上第三系才平铺在不整合面上，此界面在渤海湾盆地皆可追踪，标志着下第三系断陷盆地的结束。根据以上两个区域性不整合面可划分出前第三系、下第三系和上第三系三个超层序。

(2) 层序

下第三系超层序包括三个地震层序，它们是在上述两个超层序界面之间，又由两个较大不整合面（大于凹陷面积的二分之一）限定的。根据井下介形虫及孢粉组合特征，这三个层序分属于孔店组—沙四段、沙三段和沙二段—东营组。

孔店组—沙四段层序（ $T_3^1-T_3^2$ ）是位于最下部的一个层序（图1-5）。底部在凹陷中部缓坡上超，其他地区似整一披盖在 T_1 侵蚀面上；顶部在南侧牛驼镇凸起及缓坡高部位被削蚀。钻井揭示该层序下部为红色粗含膏沉积，上部有大套暗色泥岩，代表凹陷发育的早—早中期阶段。分布较广，在麻固与其东南的武清、坝县凹陷均可对比。

沙三段层序 (T_6-T_5) 下界面 (T_6) 在缓坡强烈上超 (图1-5), 钻井证实为深水沉积, 属深水上超 (延至武清凹陷可能递变为湖岸上超); 在缓坡低部位为整一反射, 而柳泉以南钻井见侵蚀面 (缓坡高部位)。上界面 (T_5) 在凹陷北部普遭削蚀, 南部仍为整一关系。该层序呈现为受边界断层控制的明显巨大楔状体。钻井揭示层序下部暗色泥岩发育, 向上减少, 浅层泥岩及砂岩增多, 反映了湖水由深变浅逐渐充填的过程, 代表凹陷发展的中-后期阶段。该层序在廊固、武清两凹陷内能够对比。

沙二段—东营组层序 (T_5-T_2) 是最上部的一个层序。下界面反射终端复杂, 在凹陷北部廊坊地区下超 (图2-9)、中部北寺堡—曹家务地区上超 (图1-5)、南部固安—柳河营地区整一; 顶部普遍削蚀。基本上是充填沉积, 钻井揭示多为河流、浅湖相的杂色砂泥岩。该层序主要分布于凹陷东西两端, 是衰亡阶段的产物。

(3) 亚层序

沙三段层序在廊固凹陷异常发育, 厚逾3500~4000m, 其中存在三个局部不整合面 (不整合面积小于凹陷面积的二分之一), 从而可将该层序划分为四个亚层序。由于划分精度已超出介形虫和孢粉化石带的分层能力, 亚层序的地层归属是通过与由不整合面限定的钻井岩电分层对比得到的, 但仍具有年代地层意义。

沙三段下部亚层序 ($T_6-T_5^2$) 下界面大部分地区向缓坡强烈深水上超 (图1-5), 上界面在凹陷南部被上覆层上超和下超 (图2-4)。在凹陷北缘为短暂沉积间断, 整一的上界面是通过州4井钻及煤线 (炭质泥岩) 标定的。煤是沼泽环境产物, 标志着沉积旋回的结束。

沙三段中下部亚层序 ($T_5^2-T_5^1$) 为一水进水退完整旋回。下界面在凹陷南部向大兴断层陡岸上超, 向缓坡下超 (图2-4); 在凹陷北部下超 (图1-5)。上界面除在凹陷西南缘见上覆层上超外, 还在南部陡坡固6井、固4井钻及杂乱前积反射中出现煤线 (炭质泥岩), 代

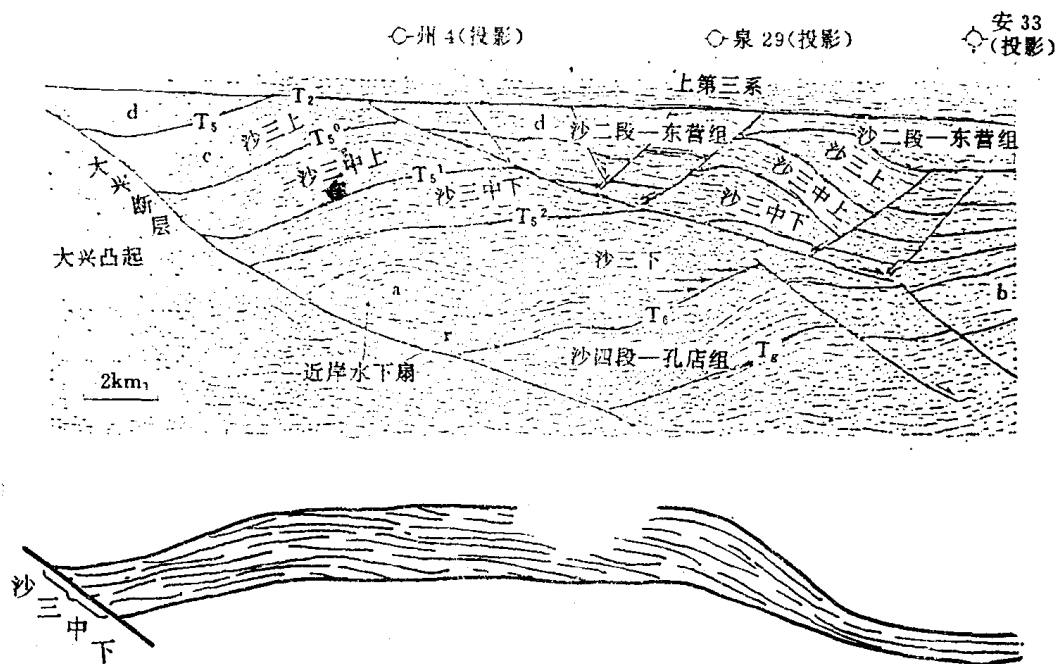


图1-5 廊固凹陷LF511剖面

上图: a. 帚状前积相; b. 弱振幅低速连续发散相; c. 杂乱相; d. 弱振幅不连续充填相
 下图: 前积-退积与斜交前积地震相组合 (断层归位)

表水下环境终止，据此划定了上界面。

沙三段中上部亚层序 ($T_5^1-T_5^0$) 为另一完整的水进水退旋回。下界面在凹陷南部向陡、缓两岸上超 (图2-4)，其他地区为整一；顶部在大部分地区为平行反射，凹陷周缘有沉积间断，显示顶超 (图1-5)，并在安33井钻遇侵蚀面。

沙三段上部亚层序 ($T_5^0-T_5$) 下界面多处见清晰的下超终止 (图1-3)；上界面与沙三段层序顶界 (T_5) 重合。

2. 辽西凹陷北洼

位于辽东湾西北部，呈一西北缓、东南陡的箕状单断凹陷。根据地震剖面上不整合—反射终端的分布及其所代表的不整合 (沉积间断) 规模可划分出三个超层序、两个层序及五个亚层序 (图1-6)。经与JZ14-2-1井和JZ19-2-1井垂直地震剖面 (VSP) 资料对比，直接用层序命名。它们的主要特征及与地震反射层位的对应关系详见表1-1。

超层序：钻井及大量地震资料证明，辽东湾拗陷普遍存在两个区域性不整合面 T_2 和 T_8 ，辽西凹陷北洼亦不例外。据此划分出前第三系、下第三系和上第三系—第四系三个超层序，分别代表地史上经历的断陷前盆地旋回、断陷盆地旋回和拗陷盆地旋回。

表1-1 辽西凹陷北洼地震层序划分

超层序	层序	亚层序	地震反射界面	地质接触关系	界面不整合特性	钻井岩性	钻井岩相
上第三系和第四系 (N+Q)				区域	上超	砂砾岩夹泥岩	河流相
下第三系 (E)	东营组 (Ed)	Ed _上	T_2	不整合局部	削蚀 上超	砂泥岩互层	河流、滨浅湖相
		Ed _下	T_3'	不整合局部	顶超 上超、下超	暗色泥岩	半深—深湖相
	沙河街组 (Es)	Es ₁	T_3	不整合局部		泥岩、石灰岩、生物灰岩、白云岩、油页岩	浅滩—泻湖相
		Es ₂	T_4	不整合局部	顶超 下超	砂泥岩互层	浅水三角洲相
		Ek-Es ₃	T_5	不整合区域	削蚀 上超	暗色泥岩、砂岩、炭质泥岩	深湖、扇三角洲相
前第三系 (前E)			T_8	不整合			

层序：仅对下第三系超层序进行了层序及亚层序划分。 T_3 是下第三系超层序内的主要层序界面，据此划分为沙河街组与东营组两个层序，依据包括：

(1) T_3 面上见高角度上超，上超点比 T_5 、 T_3' 多而明显，不整合面积超过凹陷面积一半。

(2) T_3 为清楚的构造分界面。 T_3 以下构造变形强烈，而 T_3 以上地层产状平缓，这表明 T_3 代表一次重要的构造运动，必然对其后的沉积作用产生重大影响。

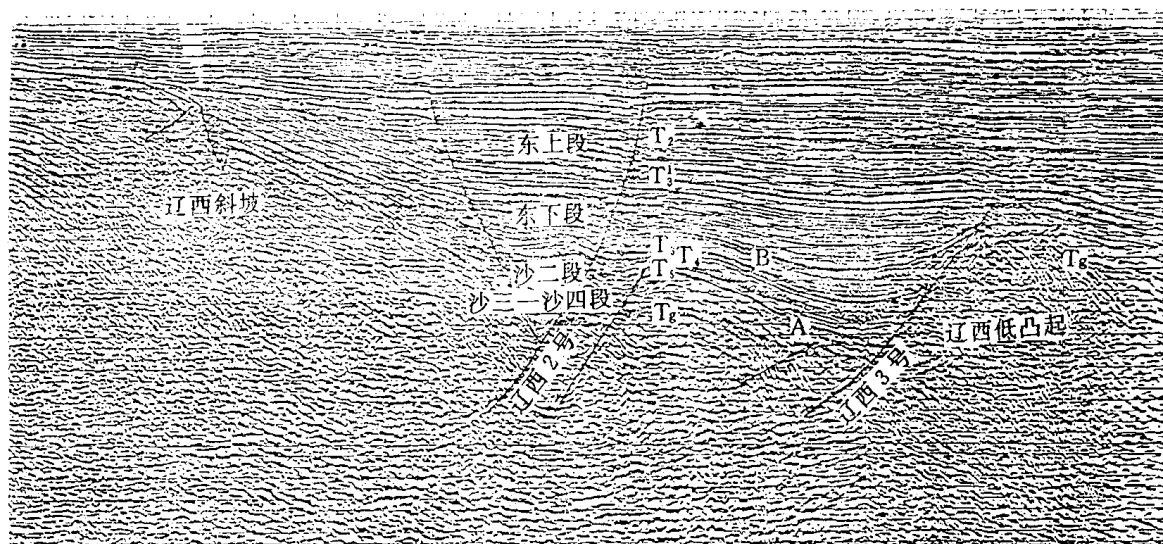


图1-6 辽西凹陷北洼地震层序划分 (I.Z269剖面)

亚层序：在沙河街组层序和东营组层序内还可找到 T_5 、 T_4 和 T_3' 三个亚层序界面，分布范围均不大，小于凹陷面积一半。据此划分出孔店组—沙三段、沙二段、沙一段、东下段和东上段五个亚层序。 T_3' 面代表东营组上段与下段的分界，多处见上超，特征明显，容易识别； T_4 与 T_5 为沙二段顶、底界，由于厚度薄（间隔最大仅150ms左右），加上 T_4 与代表沙一段特殊岩性段顶部强反射的 T_3 仅有1~2个同相轴之差，过去一直是追踪的难题。这次在 JZ25-1-1井区、JZ14-2-1井区及其他部分剖面上观察到清楚的叠瓦状前积反射（图 2-11），其顶超和下超面易辨认，从而为追踪 T_4 和 T_5 提供了可靠依据。

第二章 地震相分析方法

一、地震相的概念及参数

地震相系指有一定分布范围的三维地震反射单元，其地震参数如反射结构、几何外形、振幅、频率、连续性和层速度，皆与相邻相单元不同。它代表产生其反射的沉积物的一定的岩性组合、层理和沉积特征⁽²⁾。

研究地震相的目的在于分析层序的沉积环境及古地理，重塑盆地的沉积史和构造史，预测生、储油气相带及地层、岩性圈闭。它是沉积盆地分析的一种新手段，特别是在钻井有限的情况下，它能从发展观点给人以沉积盆地的整体概念。在当代数字地震处理技术日新月异的形势下，地震相分析正在日益显示巨大的潜力，引起国内外石油地质学家和地球物理学家的广泛注意。

根据地震相的定义，地震剖面上反射特征的任何变化，只要与岩性或沉积特征变化有关，并具有一定的空间范围，都可定义为地震相。它本质上是个物理概念，划分精度在理论上只受地震分辨率的限制。但因人们对地震相的地质含义认识水平还十分有限，目前只能识别和描述几十种地震相。

至于一些与构造有关的现象，如地层挤压变形、泥、盐及火山岩刺穿体等，在地震剖面上也有清楚的表现。但它们不属于地震相范畴，在分析时可用特殊符号标出，而不宜冠以“相”的名称，以免引起混淆。

地震相的特征是用地震相参数来表达，按属性可将地震相参数分为四大类：

- (1) 几何参数：反射特征、外形；
- (2) 物理参数：反射连续性、振幅、频率；
- (3) 关系参数：地震相平面组合关系；
- (4) 速度-岩性参数：层速度、岩性指数、砂岩百分含量。

前三类是定性参数。速度-岩性参数近年来正在从定性向半定量、定量方向发展。根据我们在海域和陆地试验结果，只要注意消除声波、地震速度等的各种误差，提高岩性定量化解释水平，使用定量的砂岩百分含量参数（详见第二篇），即可作为地震相向沉积相转换时的重要定量依据。

对陆相断陷盆地而言，常见沿边界同生断层分布有大量冲沟，它们向岸连接物源，向湖连接近源沉积体，构成良好的“沟-扇组合”。我们根据这种沟-扇组合关系，编制边界同生断层断面沟-扇体系图，可帮助分析陆相断陷盆地的地震相和沉积相（图2-1，图2-2）。因此，对这种类型沉积盆地可将沟-扇组合关系作为一种关系参数来分析是有益的。

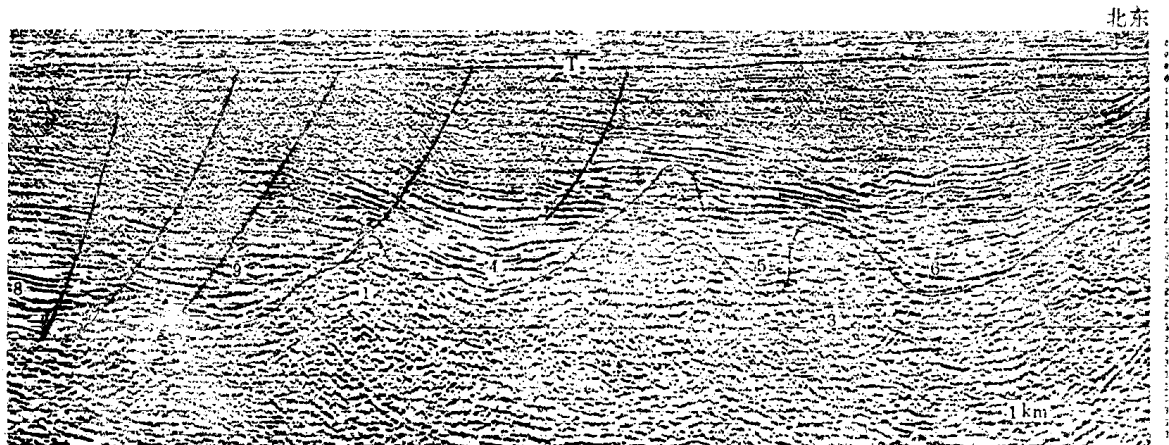


图2-1 廊固凹陷LF522地震剖面 (大兴断层走向剖面) [6]

1, 2, 3, 7——基岩山; 4, 5, 6, 8, 9——冲沟

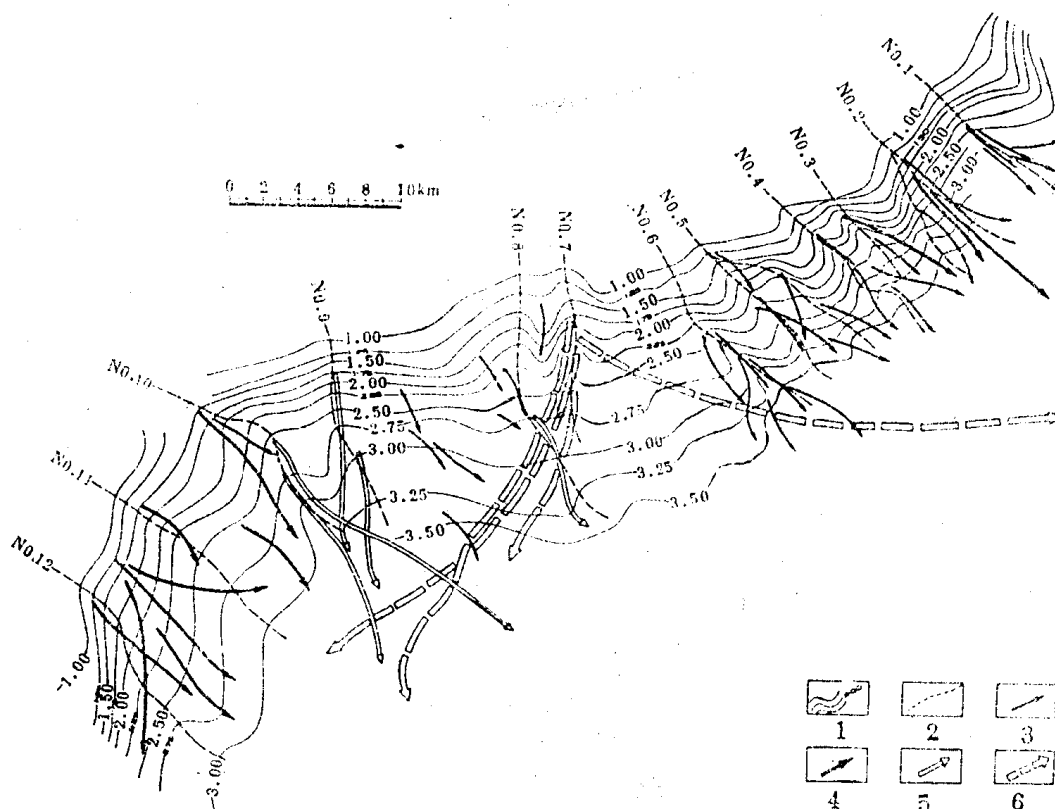


图2-2 大兴断层断面沟-扇体系 [8]

1. 等深线; 2. 沟轴线; 3. 小型扇 (<20km²); 4. 中型扇; 5. 大型扇 (>40km²); 6. 扇三角洲

二、地震相分析方法及实例

地震相分析方法是一个值得重视的问题，它不仅影响工作效率，而且直接关系到地震相分析最终成果的可信程度。合理的地震相分析程序应当体现由易到难、由特殊到一般的解释工作方法，并坚持多种信息结合、定性定量结合的原则。

我们推荐的地震相分析程序包括下列七个步骤[8]；

- (1) 在全区地震剖面上寻找各种前积反射结构，解释大的物源位置和水流方向；
- (2) 划分各种非前积反射结构，尤其要注意指相意义比较明显的杂乱、空白、亚平行——乱岗状结构；
- (3) 分析各种反射结构的二维及三维外形，必要时编制地震相单位形态图或地震层序（亚层序）等厚图；
- (4) 分析上述各种地震相的内部组合关系，注意能量水平匹配，去伪存真，并重新解释剔除假的地震相（构造干扰和地震陷井）；
- (5) 对指相意义不明显的反射结构例如平行、发散结构，进一步用连续性、振幅、频率等物理参数划相；
- (6) 若边界断层断面清楚，可编制断面等深图，利用沟-扇组合关系进一步查明陡岸物源位置和断层下降盘粗碎屑扇体的分布；
- (7) 进行速度-岩性解释，编制地震相单元或地震层序（亚层序）的砂岩百分比图，查明各个地震相单元的砂体格架分布。

按上述程序进行地震相分析的最终成果是地震相图、地震层序（亚层序）或地震相单元等厚图、凹陷陡坡带沟-扇体系图及砂岩百分比图。

现将上述地震相分析方法详述如下：

1. 寻找前积反射结构

地震相分析的第一步，就是寻找那些特征明显、容易解释的地震相。在地震剖面上最易识别、环境意义最明显的反射结构是前积结构，它们常常构成盆地的地震相骨架。大型前积结构通常与三角洲伴生，能指示主要物源和水流方向；中、小型前积结构，反映冲积扇、近岸水下扇和浊积扇。

在我国东部陆相断陷盆地中，已识别出七类九种基本的前积结构（见图2-3）：S形、斜交形、S-斜交复合型、叠瓦状、帚状、杂乱和前积-退积型。

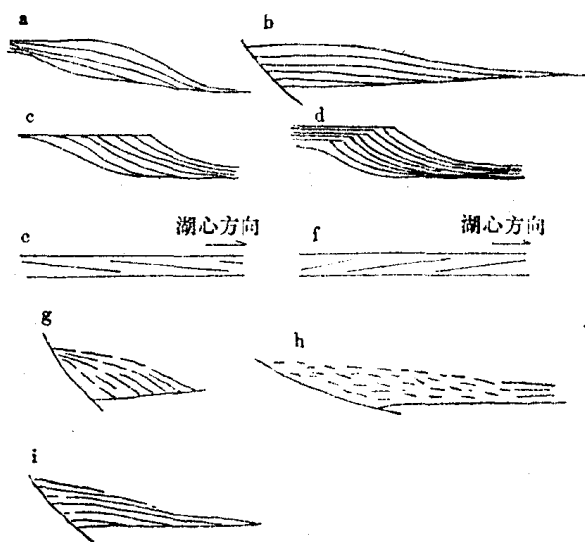


图2-3 陆相地层中的前积反射结构

- a. S形(1); b. S形(2); c. 斜交形; d. S-斜交复合型; e. 叠瓦状(1); f. 叠瓦状(2);
g. 帚状前积; h. 杂乱前积; i. 前积-退积型

S形前积结构可据拐点划分为顶积层（水平状）、前积层（倾斜状）和底积层（水平或