

J.M. 方丹 等著

碳酸盐岩油气藏 地震勘探译文集

石油工业出版社

碳酸盐岩油气藏地震勘探译文集

J.M.方丹 等著
吕学谦 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了国外有关碳酸盐岩地震勘探与解释方面的论文共7篇。介绍了目前勘探碳酸盐岩油气藏的各种方法和成功实例,包括碳酸盐岩沉积环境的地震解释,碳酸盐岩声学特征与岩性之间的关系,利用地震资料预测碳酸盐岩孔隙度,以及综合利用地面地震、VSP及测井资料圈定油藏边界的方法等。

可供从事碳酸盐岩油气藏勘探的地质、地球物理人员参考。

碳酸盐岩油气藏地震勘探译文集

J.M.方丹 等著

吕学谦 等译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 $8\frac{1}{4}$ 印张 2插页 204千字 印1.500

1991年7月北京第1版 1991年7月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0608-1/TE·579

定价: 3.50元

前 言

我国的石油勘探和开发工作，在“稳定东部、加快西部”的战略方针指导下，“七五”期间，在新疆塔里木盆地以及其它地区，取得了重大进展。

塔里木盆地中已发现的油气田，具有其独特的条件，如油气藏多储于海相的古生界地层中，地处沙漠腹地、埋藏深，有的储层为与古岩溶有关的碳酸盐岩层等。油气藏的条件与我们所熟悉的东部地区各油田有较大的差异。

为了贯彻“经济建设必须依靠科学技术，科学技术工作必须面向经济建设”的基本方针，使科技情报工作更好地为石油勘探和生产服务，借鉴国外深层海相油气田勘探开发经验，就可以使我们少走弯路，得到好处。

为了对我国石油勘探的重点地区塔里木等盆地作好服务工作，我们和石油工业出版社共同组织了所内外的有关科技人员，作了专题文献检索、专题译文、专题报告翻译编辑工作，并考虑到这些译文和报告，对我国其它地区也有参考价值，特将译文公开出版、发行，供有关同志参考。

这套文集包括：《古岩溶》、《碳酸盐岩油气藏地震勘探译文集》、《裂缝性碳酸盐岩测井评价译文集》、《超深井试井试油技术译文集》等。

随着塔里木盆地、吐哈盆地油气勘探开发工作的进展，我们将继续与石油工业出版社合作编译出版有参考价值的文献，并希望广大读者给我们提出批评和建议，以便我们能把工作做得更好。

中国石油天然气总公司情报研究所
总工程师 胡文海
一九九一年一月

目 录

碳酸盐岩沉积环境的地震解释·····	(1)
沙特阿拉伯东部两组牛津阶碳酸盐岩层序的地震地层学研究·····	(26)
利用地震资料预测荷兰东部二叠系 Zechstein2 碳酸盐岩的孔隙度·····	(46)
碳酸盐岩的声波性质与岩性特征的关系·····	(64)
综合地震分析：加拿大阿尔伯达北部 Kidney 地区·····	(84)
比利时北部地区喀斯特灰岩的幅距特征分析结果·····	(97)
用垂直地震剖面和测井数据圈定油藏范围·····	(120)

碳酸盐岩沉积环境的地震解释

J. M. Fontaine 等

吕学谦 译

摘 要

大多数地震地层或地震岩性解释已经用于碎屑岩沉积系统。由于碳酸盐岩独特的沉积学和矿物学特征,利用地震资料研究它们困难很多。随着碳酸盐岩沉积和岩石物性参数资料的增多,以及地球物理仪器质量的提高,目前利用地震图象可以更好地了解碳酸盐岩。

在本文中,循序渐进地说明从盆地到潮上环境碳酸盐岩的地震相特征:①深海沉积(页岩和微晶灰岩层)呈现连续的视高频平行反射波。白垩层沉积显示在顶部和底部的连续高振幅反射波及内部的无反射带。②岩屑沉积的特征为不连续的倾斜反射。碳酸盐岩屑流产生带有波状表面的杂乱反射。河道显示侵蚀削截。③堡礁是丘状生物沉积,它显示边缘上超反射。上覆反射披盖生物礁,下覆反射呈现上拉或下压效应,还可能产生双曲绕射。④台地边缘砂层呈现中等高振幅的圆丘状倾斜反射。⑤内陆棚沉积地层的特征一般显示为低频的平行连续反射。在内陆棚系统范围内可以辨认出点礁(圆丘状、上覆反射披盖、速度异常以及假反射波)。⑥在白云石化的地区,潮间和潮上沉积相显示一“大理石状”带——部分无反射带与少量不连续反射。利用包括振幅随炮检距变化的专门分析方法可以确定岩化作用过程,例如岩溶区。

通过对碳酸盐岩沉积环境和岩石物理特征的研究可提供更全面的地质认识,包括沉积盆地范围内海平面的相对变化。这种研究是分析碳酸盐岩储层及其古地理背景的基础。

引 言

目前的地震解释采用三种基本方法。第一种方法是构造绘图,它包括拾取地震层位和分析地震速度以确定地质构造。今天,世界上已知的大多数油气藏都是用这种方法发现的。第二种方法是地震地层学方法,它是70年代发展起来的一种分析技术,该项技术可以从地震资料中提取地层信息。在该方法中,通过分析地震层序和地震相来识别沉积层序,并依次预测整个盆地的总岩性和含油气潜力。Payton (1977)介绍了这种方法及其应用。在第三种方法中,地震岩性解释分析单个地震反射以确定地震界面的声学 and 弹性参数。该方法需要高质量的反射资料,因此有可能更好地显示岩性特征以及象孔隙度、流体含量和储层厚度这样的辅助参数(Ostrander, 1983)。

地震地层学和地震岩性学的大部分进展都涉及碎屑岩的研究。对碳酸盐岩的类似分析却很少给予注意。本文将概述我们对碳酸盐岩层的地震解释的经验。

碳酸盐岩的地质与地球物理特征

与碎屑岩相比，碳酸盐岩从沉积过程到矿物学状态呈现特殊的地质特征。除浊积物和碳酸盐质量流外，碳酸盐岩通常是原地生成的，而碎屑沉积物全部是外来的。因此，沉积环境和它的变态直接影响沉积性质及其沉积后的作用。沉积物的性质和均匀性受气候的影响。目前，世界上的碳酸盐岩台地位于北纬 30 度和南纬 30 度。海平面渐次相对变化通常引起碳酸盐岩台地垂向几何形状变化。例如，岩礁构造将显示相当大的垂直生长以适应渐次相对的海平面上升 (Kendall, 1981)。这种垂直增长与相对海平面升降运动强加给碎屑沉积物的主要水平位移大不相同。在碳酸盐沉积之后，它们可能经历成岩变形，这种成岩变形通过重结晶、白云石化作用、多孔网络的形成以及淋滤改变其矿物学性质和改变其结构 (Choquette 和 Pray, 1970; Bathurst, 1971; Murray, 1979; Wanless, 1979)。这些过程把成岩作用的影响叠加在原始特征上而深刻地改变沉积层序的特征。因此，成岩作用不是能改变岩相结构和矿物，就是能产生新的结构和矿物。

碳酸盐岩的矿物、岩石物理特征以及机械特性是由它们的沉积作用和成岩作用造成的。通过分析物理特性可以确定矿物和岩性参数。表 1 列出了碳酸盐岩和其它岩石的物理特性和机械特性的明显差异。

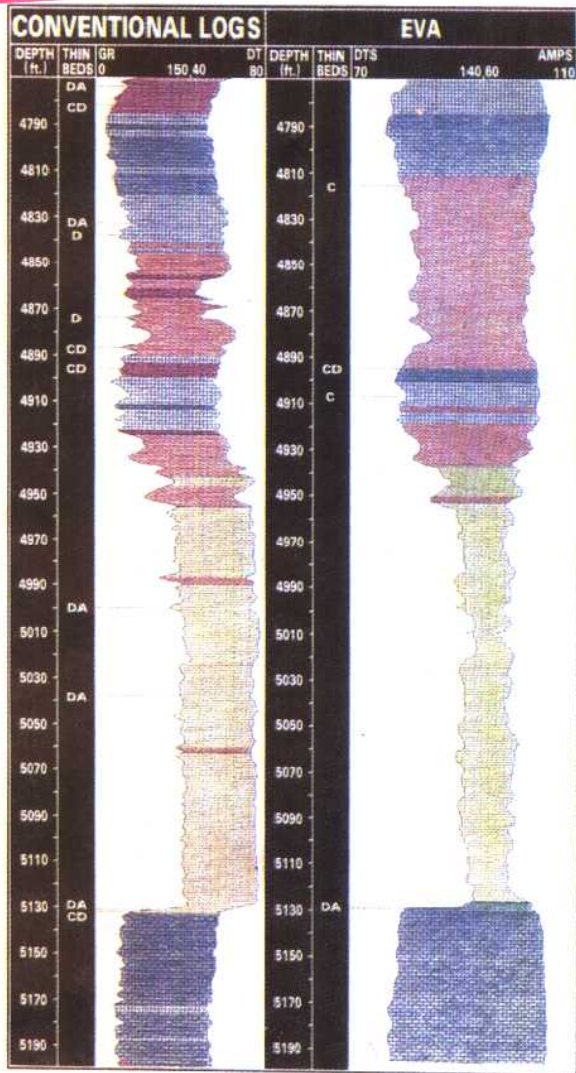
表 1 非多孔沉积岩的弹性模量和速度¹

岩石类型	模 量			泊松比 (σ)	密度 ρ (g/cm ³)	速度 (ft/s)	
	杨氏 (E)	体积 (K)	剪切 (M)			纵波(V_p)	剪切波(V_s)
白云岩	1.129	0.801	0.446	0.265	2.84	23000	13000
石灰岩	0.805	0.709	0.307	0.311	2.73	21000	11000
砂 岩	0.772	0.408	0.326	0.185	2.65	18500	11500
硬石膏		0.54	0.31	0.265	2.96	20000	11300

¹ 据 Domenico (1983) 和 Gardner 等 (1974)。

埃尔夫和阿奎坦公司研究和应用全波声波波形测井仪，采用 EVA (速度和衰减评价) 技术可在现场确定这些参数。处理 EVA 数据得出 P 波、S 波和斯通利波的速度和振幅特征。这些参数使我们能够计算弹性模量 (E 、 K 、 μ 、 δ) 和岩石物理参数 (孔隙度、地层的页岩含量、密度)，得到如图 1 所示的全自动岩性解释。这种资料可以在裸眼井或套管井中得到。因为它们的物性差异，沉积序列中的碳酸盐岩层产生极高的反射系数，它比碎屑岩的平均反射系数大 5 到 10 倍。根据这个反差，可以独立分析沉积序列内的碳酸盐岩 (图 2)。相反，碳酸盐岩产生的多次波具有与碎屑岩产生的一次波振幅相比拟的振幅。因此，在地震处理期间，如果不歪曲碎屑岩层产生的地震信息，这些多次波是难于消除的。

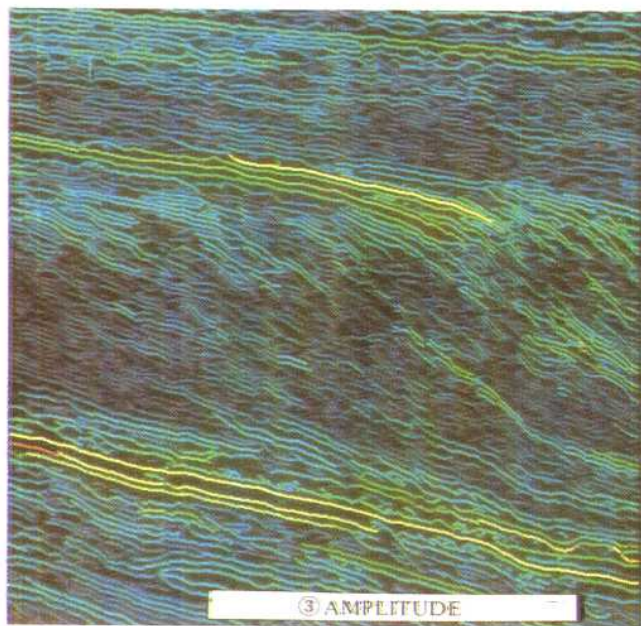
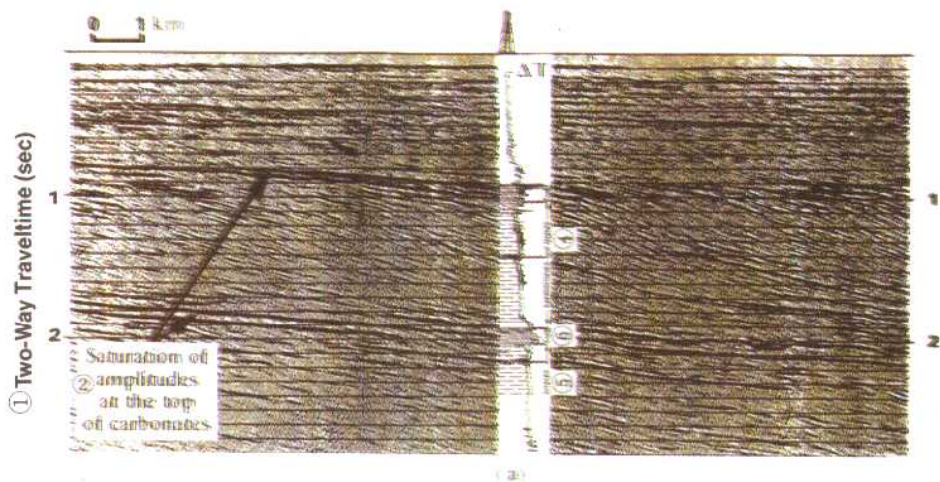
在碳酸盐岩序列内，可以识别与不同岩性有关的大速度差别。本文以巴黎盆地中侏罗统岩石的速度 (图 3) 作为一个例子。在海退碳酸盐岩层序中，从浅滩沉积到受限泻湖，速



FACIES	CODE	FIGURE
SALTY SANDSTONE	GS	[Pattern]
LIMESTONE	C	[Pattern]
SANDY LIMESTONE	CG	[Pattern]
DOLOMITIC LIMESTONE	CD	[Pattern]
DOLOMITE	D	[Pattern]
SHALY DOLOMITE	DA	[Pattern]
DOLOMITIC SHALE	AD	[Pattern]
SHALE	AS	[Pattern]
SALT	S	[Pattern]
ANHYDRITE	H	[Pattern]

图1 利用常规测井数据或EVA数据的自动解释技术得到的岩性柱状图

AMPS—横波振幅；DTS—横波间隔传播时间；GR—伽马射线；DT—间隔传播时间，关于EVA方法的详细讨论见正文



(b)

图2 在碎屑岩序列中存在的碳酸盐岩沉积(东非)、据N.Keskes, 1982—1984; G.Sibille, 1985研究的图象处理)

(a)偏移剖面; (b)图象处理, 即经振幅整理的同一剖面(每两道取一道); ① 双程旅行时(秒); ② 碳酸盐岩顶的振幅饱和; ③ 振幅; ④ 砂岩和页岩; ⑤ 页岩; ⑥ 碳酸盐岩

度从底部鲕状灰岩的 13780 英尺 / 秒 (4200 米 / 秒) 变化到顶部亚石印灰岩的 18050 英尺 / 秒 (5500 米 / 秒) (Dumay 和 Kenaan, 1983)。沉积作用和成岩现象造成的岩石物性的差别有助于从地震资料中辨认碳酸盐岩沉积相 (Delaplanche 和 Michon, 1978; Maureau 和 Van Wijne, 1979; Angeleri 和 Carpi, 1982)。

为了获得碳酸盐岩相可能的最佳地震显示必需采取与地震处理流程有关的特殊措施。特别是振幅控制那些措施 (增益恢复、补偿时窗)。当涉及倍减处理程序时还必须注意。

碳酸盐沉积古环境和它们的地震分析

在本研究中, 我们应用 Wilson (1975) 理论模型 (图 4) 分析几种碳酸盐岩沉积环境以得出似乎合理的识别每种沉积环境下沉积岩相的地震判据。地震实例与从盆地沉积到潮上沉积的每种沉积环境有关。

1. 盆地深海沉积

在波底以下低能量水动力环境中沉积的碳酸盐深海沉积物一般不是以均匀的微晶灰岩 (白垩) 就是以层间碳酸盐岩和页岩层的形式出现。两个平行的连续高振幅反射约束白垩层, 并且频率、相位和振幅均匀。明显的无反射带出现在两个反射波之间。两个例子是路易斯安那州的上白垩系 (Baily, 1983) 和北海的上白垩系白垩层 (图 5)。烃类一般减少白垩层损失的孔隙度值, 于是, 可以检测象若干个振幅异常 (Van den Bark 和 Thomas, 1980, Ekofisk 油田; Munns, 1985, Valhall 油田) 或是白垩反射层顶下面的一个强反射这样特殊的地震响应。该反射与多孔和非孔隙层间的孔隙度降低相对应。在白垩层是非生产层 (非孔隙层) 的地方, 就不出现这种反射。通过荷兰北部 Harlingen 气田的一条地震剖面给出这样的一个实例 (图 6)。Harlingen 气田从上白垩统白垩层的最上部产出天然气 (Van den Bosch, 1983)。石灰岩和页岩的薄互层一般产生视频率和层厚度与信号波长比相关的连续

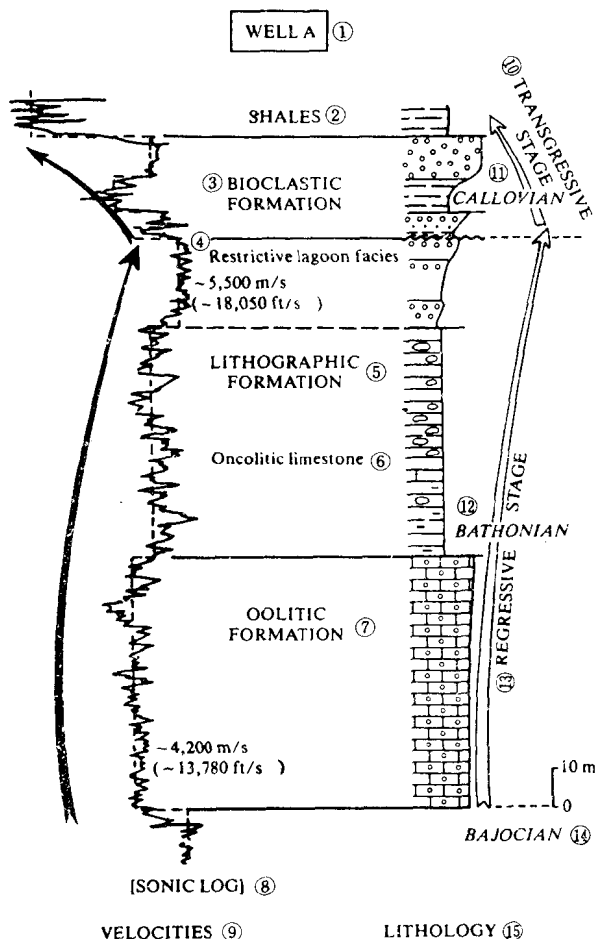


图 3 在碳酸盐岩序列范围内的速度变化, 该碳酸盐岩序列来自法国巴黎盆地侏罗统地层 (据 J. Dumay, 和 T. Keenam, 1983)

- ① A 井; ② 页岩; ③ 生物碎屑地层; ④ 限制性泻湖相; ⑤ 石印地层;
⑥ 核形灰岩; ⑦ 鲕状地层; ⑧ 声波测井; ⑨ 速度; ⑩ 海侵期; ⑪ 卡洛夫阶;
⑫ 巴通阶; ⑬ 海退期; ⑭ 巴柔阶; ⑮ 岩性

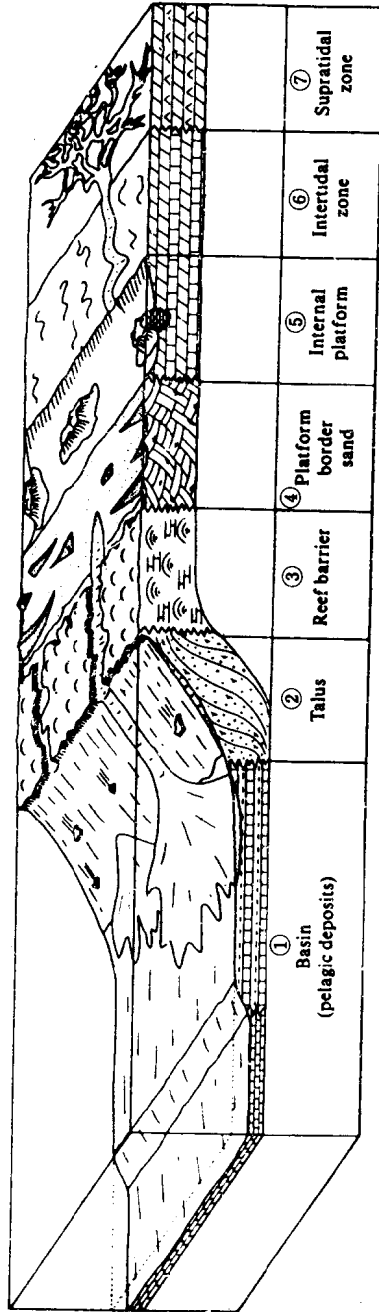


图4 碳酸盐岩沉积环境的合成与理论地质模型 (据 J.L.Wilson, 1975)

① 盆地 (深海沉积); ② 浅海; ③ 堡礁; ④ 台地边缘砂层; ⑤ 内台地; ⑥ 潮间带; ⑦ 潮上带

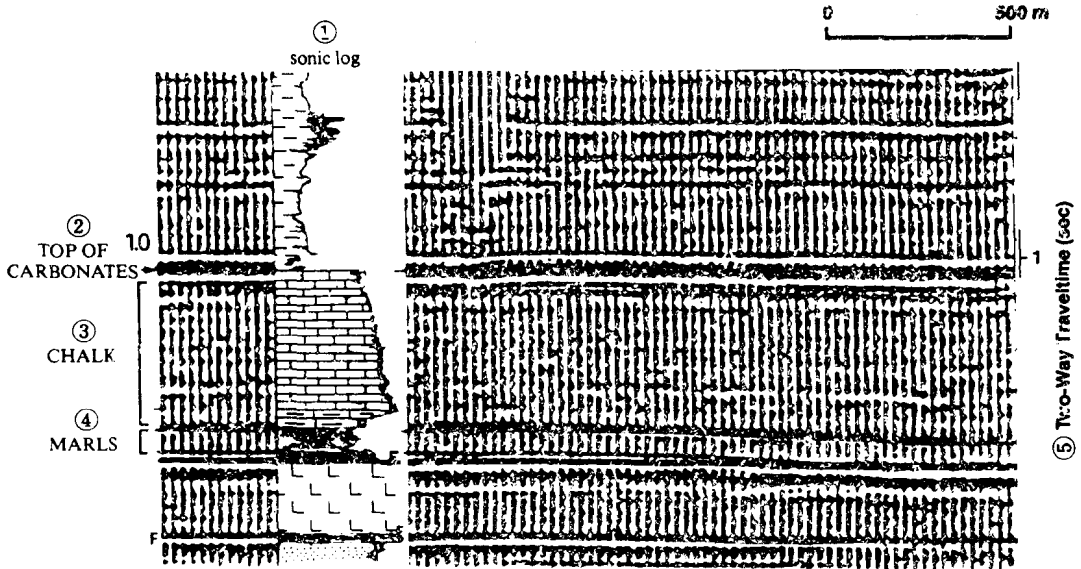


图5 西欧上白垩统白垩层均质石灰岩的深海碳酸盐岩沉积地震相的叠加剖面
 ① 声波测井; ② 碳酸盐岩顶; ③ 白垩岩; ④ 泥灰岩; ⑤ 双程旅行时 (秒)

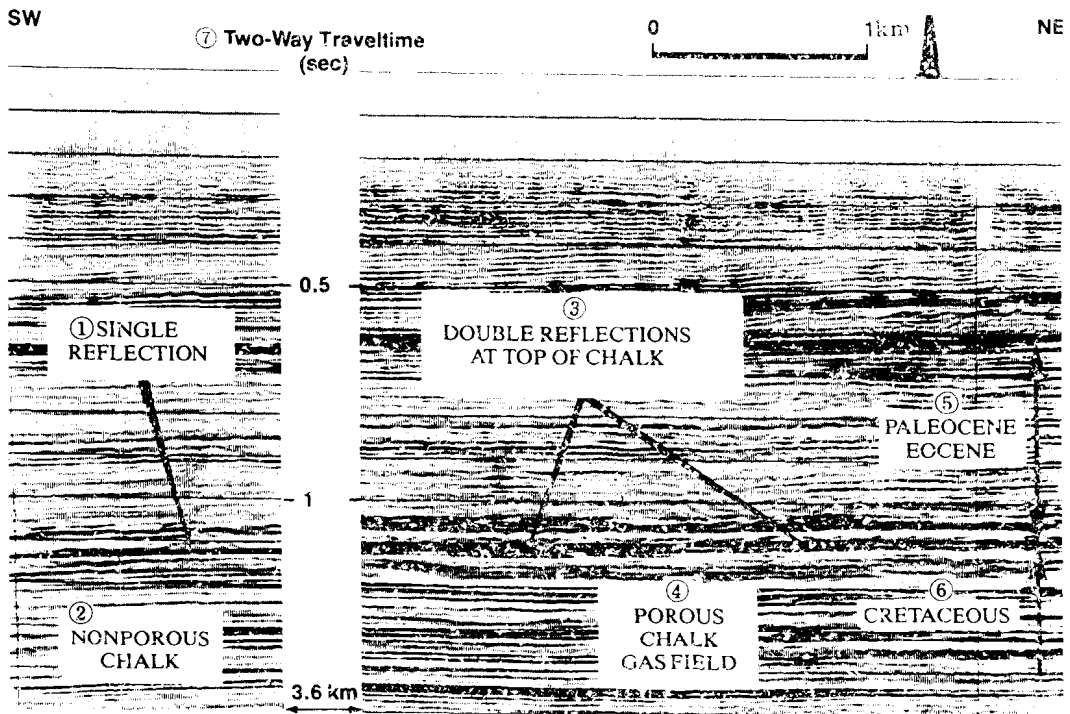


图6 通过 Harlingen 气田 (荷兰) 的地震叠加 (零相位) 剖面, 上白垩统白垩岩顶的双反射是由多孔白垩岩的存在引起的

① 单反射波; ② 非孔隙白垩岩; ③ 白垩岩顶的双反射波; ④ 多孔白垩岩气田; ⑤ 古始新统; ⑥ 白垩系; ⑦ 双程旅行时

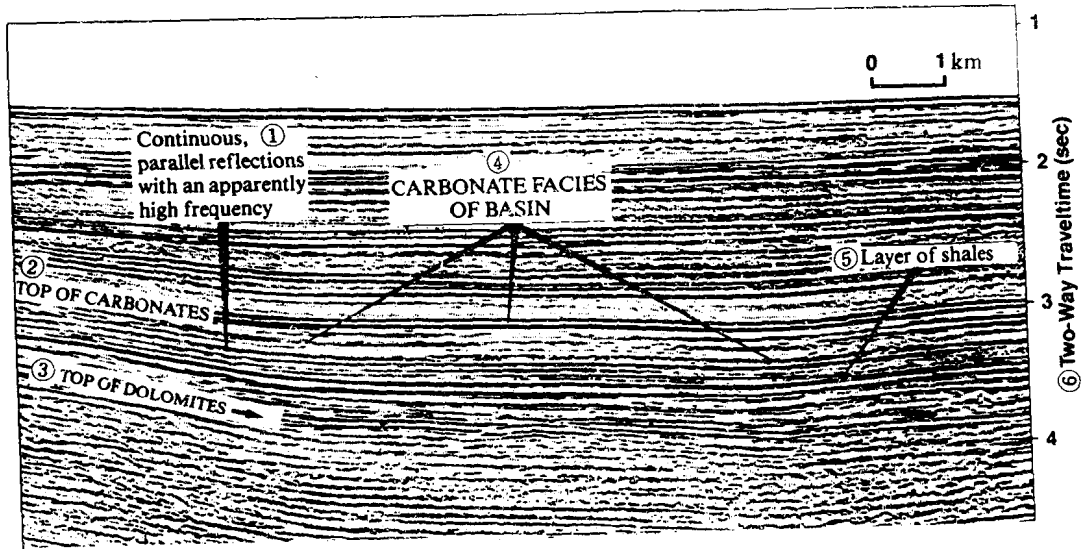


图7 欧洲南部下白垩统页岩和石灰岩交互层的深海碳酸盐沉积地震相的叠加剖面
 1 频率明显高的连续平行反射；2 碳酸盐岩顶；3 白云岩顶；4 盆地的碳酸盐岩相；5 页岩层；6 双程旅行时（秒）

平行反射。一般能观察到明显的高频波（由薄层引起的信号偏差）（图7）。相反，主要页岩层显示明显的低频波。通常，由于向古陆棚边缘上超，深海反射终止。

2. 岩屑沉积

岩屑沉积一般表示碳酸盐陆棚的边缘。它们限定一般浅海和深海沉积之间的过渡带。在碳酸盐岩台地边缘可能存在两类斜坡。在地震剖面上，低角度S形或叠瓦式反射在层序底变成水平的或下超反射，代表碳酸盐岩斜坡上的缓坡（小于1度）（Read, 1981）。这些反射波一般呈低频（图8）。在边缘碳酸盐岩陆棚（Read, 1981）的陡斜坡（从几度到45度以上）上将显示重力异常（滑动，滑移）。在地震剖面上，倾斜连续的、高振幅混杂反射（图9）代表这样的浅海沉积。Vail等（1977）（西非）、Bubb和Hallelid（1977）（西非近海、巴布亚湾）以及Gamboa等（1985）（巴尔的摩峡谷）给出边沿陆棚的地震实例。

借助少量的几何形状不规则的不连续反射可以识别斜坡效应。在存在大量岩屑流的地方，地震剖面显示出在平行的深海沉积连续反射之间夹杂着杂乱的反射波（Ravenne等，1985）。在这些岩屑沉积变得更规则的地方，产生的沉积结构（海底锥）可能有不同的地形，因此妨碍更均匀的深海沉积。在地震剖面上借助于高振幅丘状反射可以识别这些混乱的结构，所以，这些地震相的包络是重要的识别标志。沉积物通过河道可以从浅海环境搬运到深海，在地震剖面上表现为下伏反射的侵蚀截断（Brown和Fisher, 1980）。河道可能被碎屑碳酸盐岩（杂乱反射）或深海沉积（上超充填，平行反射）充填。

3. 陆棚沉积

一般陆棚位于从0到200米（615英尺）深的浅水之下。因此，海底经历不同的水动力环境。在低能区（内陆棚、泻湖）沉积了连续的水平地层，例如，页岩和石灰岩或只有石灰岩。于是地震反射是连续、平行的水平反射，其振幅、频率（相当低）和相位变化不大（图8和图9）。

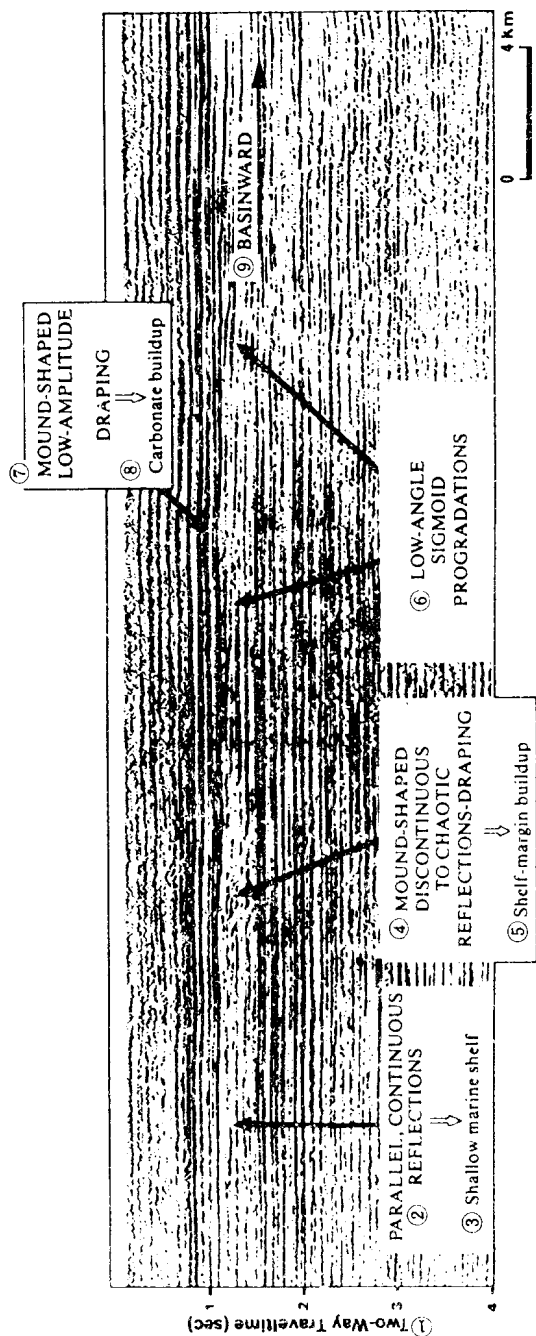


图8 来自南非的地震剖面，表示低角度碳酸盐岩前积。在稳定的相对海平面或缓慢倾斜周期期间出现的演变基本上是由没有加积的前积作用引起的

1 双程旅行时 (秒); 2 平行连续反射; 3 浅海陆棚; 4 丘状不连续到混杂反射披盖; 5 陆棚边缘岩降; 6 低角度 S 形前积反射; 7 丘状低振幅反射披盖; 8 碳酸盐岩岩降; 9 盆地方向

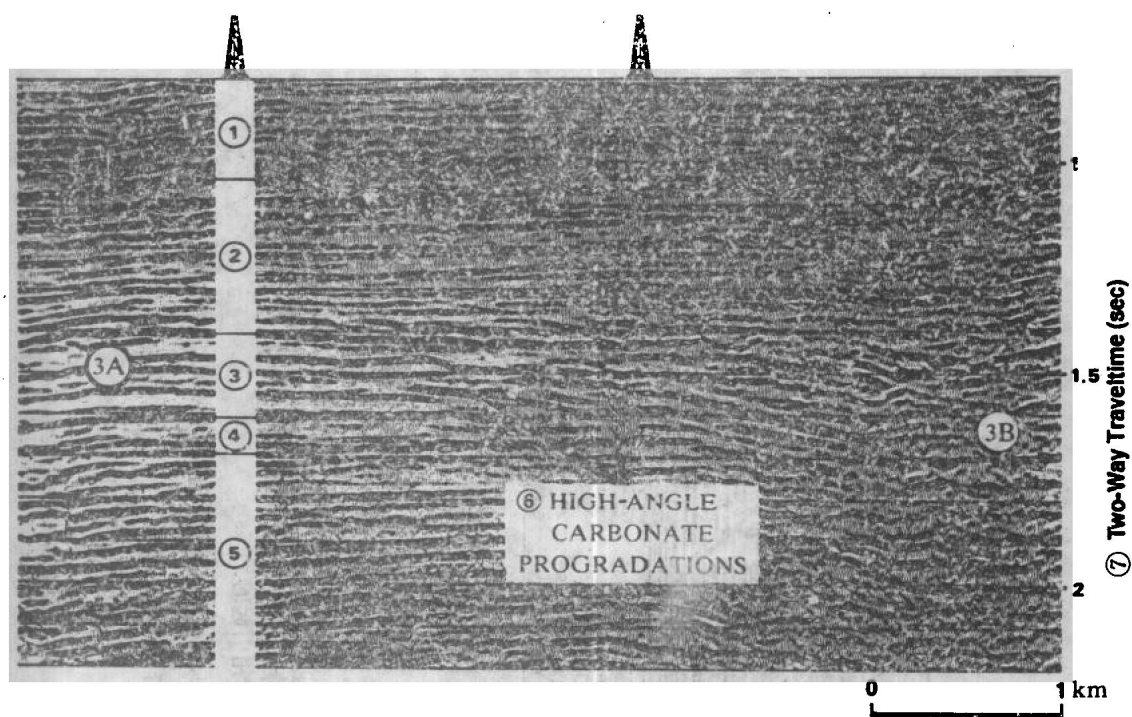


图9 显示高角度倾斜碳酸盐岩前积的叠加地震剖面，演化是由发生在相对海平面缓慢上升期间的前积和加积引起的（北非海上，中新统）

1 砂岩；2 夹灰岩层的页岩；3 石灰岩；3A 陆棚沉积；3B 深海页岩和石灰岩；4 页岩；5 页岩和石灰岩交互层；6 高角度碳酸盐岩前积层；7 双程旅行时（秒）

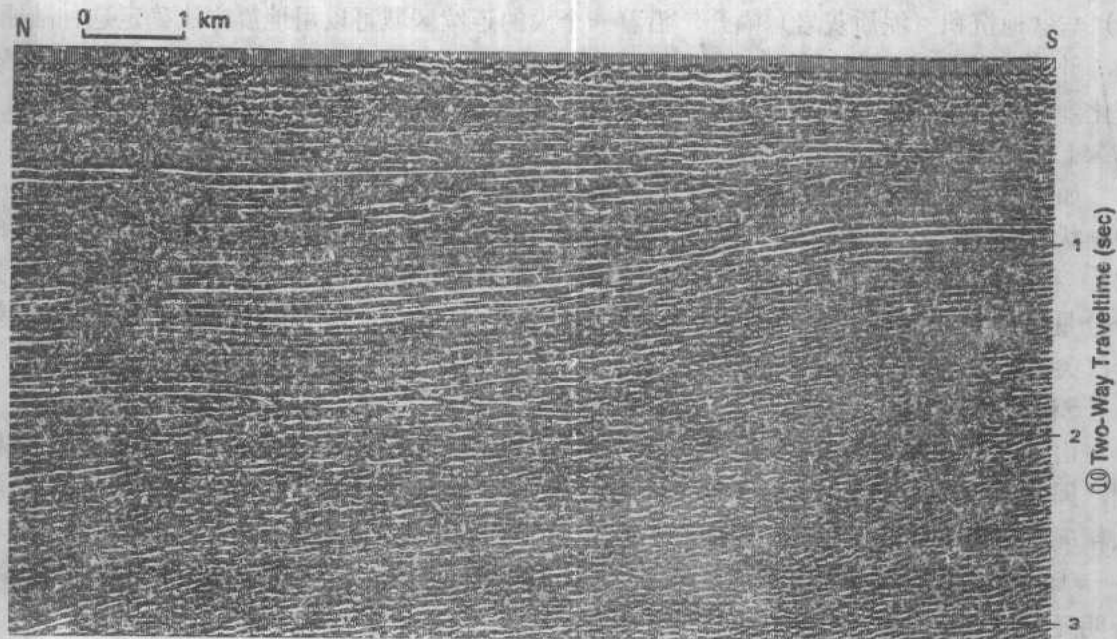
在高能区，应该根据沉积物的特殊沉积准则来分析它们，例如礁结构、鲕粒或生物碎屑砂层。高能区可能是连续的或不连续的，它们可能产生一个分隔古地貌区的障壁岛（Friedman, 1969; Eif Aquitaine, 1975, 1977; Wilson, 1975; Reading, 1978; Playtord, 1980; Purser, 1980; Scholle 等, 1983）。有利于障壁岛发育的位置一般是陆棚边缘。然而，不管是不是在形成障壁岛的陆棚上，都能存在产生点礁和海底浅滩的高能条件。这些高能水动力区对碳酸盐岩勘探是重要的，因为它们的储层特性好。

4. 礁状岩隆

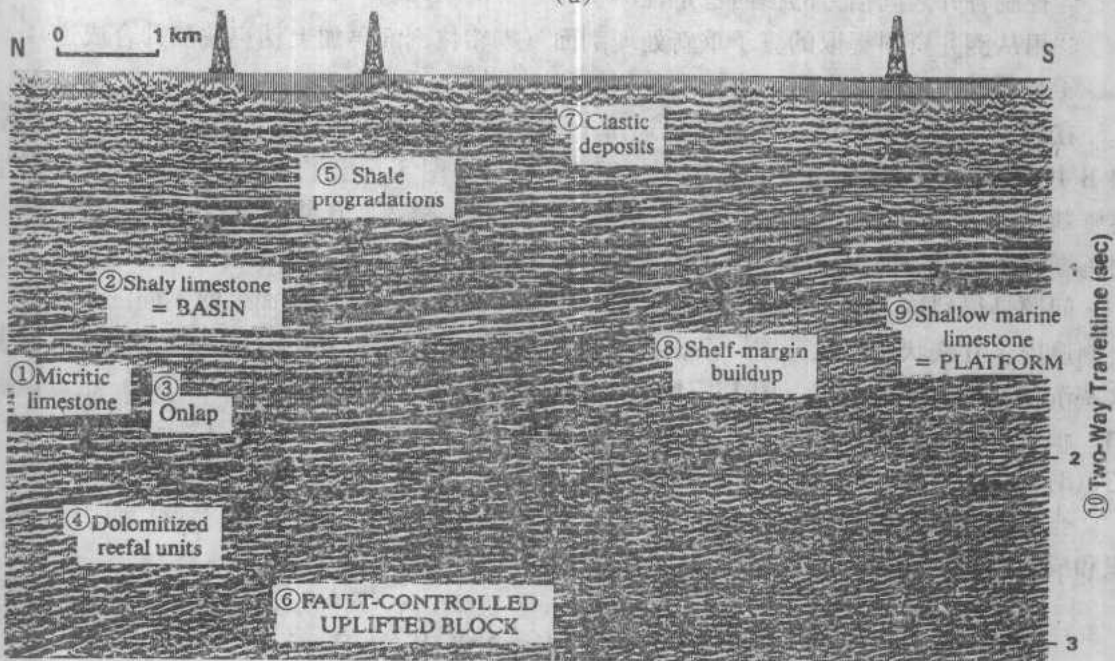
在浅海背景生成的礁不是发育成几乎连续的障壁礁就是发育成点礁。由于它们在石油勘探中的重要性，这些结构是地震研究的对象（McClintock, 1976; Burbury, 1977; Kenyon, 1977; Cherron Standard Limited, 1979; Hriskevich 等, 1980; Baria 等, 1982; Mundt, 1982; Bally, 1983; Frost 等, 1983）。Bubb 和 Hatlelid (1977) 提出下列识别这种沉积的标志：

- ① 直接标志——限定岩隆的边界轮廓（反射结构和上覆反射的上超）和地震相变化；
- ② 间接标志——披盖、速度异常（上拉和下压）、杂散波和盆地结构（断块边缘、构造高）。

图10 表示两种礁综合体。在地震剖面的下部，白云石化岩礁单元发育在断层控制的上



(a)



(b)

图 10 阿奎坦 (法国西南部) 的地震剖面 (偏移的)

在剖面下部 (白垩系层序), 白云石化礁单元发育在断块控制的上升断块上。该单元地震上的特征为丘状和围岩反射上超。剖面上显示的较高的陆棚边缘岩隆是根据: ①从连续的平行反射层区 (台地沉积) 变化到几乎无反射区 (礁相) 再到连续平行反射层 (盆地沉积); ②陆棚边缘范围的盆地单元上超解释的

①微晶质灰岩; ②泥质灰岩 = 盆地; ③上超; ④白云石化礁单元; ⑤页岩前积; ⑥断层控制的上升断块; ⑦碎屑沉积; ⑧陆棚边缘岩隆; ⑨浅海灰岩 = 台地; ⑩双程旅行时 (秒)

升断块上。礁的范围限在高带，周围的沉积物属于深海成因。这种礁结构在地震剖面上的特征为丘状以及围岩反射上超。在这套沉积中的较高处，陆棚边缘岩隆将陆棚沉积（浅海灰岩）与盆地沉积（泥质灰岩）隔开。沿着一个大的连续区域可以用地震方法确定这种陆棚边缘，并可用井加以控制，解释陆棚边缘岩隆的依据是：①从连续的平行反射带（礁后泻湖）变化到几乎无反射带（礁相）再变为连续平行反射层（盆地沉积）的地震相模式；②在陆棚边缘上的盆地单元上超。

如果，海脊获得有利的深海条件，在深海环境的海脊上可能发育礁复合体（图 11）。这种礁状岩隆的生长受海平面的相对运动的控制（基本是刺穿作用、沉降和可能的海面升降运动）。利用“瞬时相位”的彩色显示可以详细地分析这些运动。将地震道分解为解析信号的一个分量可以得出瞬时相位（Taner 和 Sheriff, 1977）。这种处理和彩色显示帮助确定不整合、尖灭和地震层序边界（图 12）。

5. 碳酸盐沙滩

由于碳酸盐岩厚度与信号波长有关。所以在常规地震剖面上碳酸盐沙滩相一般难以检测。因此，必须采用特别适合于这个问题的方法。如果得到的地震剖面质量好，并能确保方法精确，地震道反演可能是一个便利的方法。该方法包括以下步骤：

- 1 利用测井资料在地震频率域模拟“伪声波测井”合成道，以确定地震层位处沉积现象是否明显，及在合成道上产生什么样的图形；
- 2 控制各井之间信号的横向稳定性；
- 3 用从测井资料提取的算子重新处理剖面（零相位剖面再加上伪声波测井合成道）；
- 4 解释伪声波测井资料，由模型控制解释。

在巴黎盆地用这样的方法确定巴通阶—下卡洛夫阶地层中的鲕粒浅滩。本文提出 A 井和 B 井之间的一个地质（沉积）模型（图 13 (a)）。图 3 示出了 A 井的声波测井和岩性地层资料。在 A 井，鲕状灰岩被核形石灰岩（滩后相）覆盖。B 井并不存在核形石灰岩。受限泻湖相限定巴通海退层序。多孔鲕状灰岩在 B 井很发育，并且受限泻湖相位于其上。

问题是得到这个地质模型的地震显示，识别模型和实际地震剖面上的不同沉积现象，并绘制厚层多孔鲕状灰岩的范围。根据井的资料以及地质模型制作的合成伪声波测井剖面表示这些沉积地形的地震响应（图 13 (b)）。虽然，在地震叠加剖面上（图 13 (c)）难以识别它们，但是在道积分（利用 Velog 处理）得到的伪声波测井剖面上能够跟踪这些地震波（图 13 (d)）。于是可以对厚层多孔鲕状灰岩进行作图。

当沉积环境变得越来越受限制时，有时经受暂时的出露（潮间、潮上带）而引入新的沉积和成岩因素（例如白云石化作用和岩溶作用、可能存在蒸发盐）。

碳酸盐沉积物的成岩作用

在沉积之后，碳酸盐沉积可以经历与影响环境的物理和化学因素密切联系的成岩变化（Pray 和 Murray, 1965）。这种物理—化学作用改变沉积的范围和沉积的矿物。我们讨论两类碳酸盐成岩演变：白云石化作用和岩溶作用。

1. 白云石化作用

在实验室以及测井得出的测量结果表明，白云岩的岩石物理性质不同于钙质碳酸盐岩的岩石物性（Gregory, 1977; Rafavich 等, 1984），例如，白云岩具有较高的密度和较高的