

# 生物礁、生物丘及滩相沉积的 地震特征对比与识别

——以琼东南盆地深水区储层预测为例

唐武<sup>1,2</sup>, 王英民<sup>1,2</sup>, 杨彩虹<sup>3</sup>, 仲米虹<sup>4</sup>, 李冬<sup>5</sup>, 秦培莉<sup>6</sup>, 朱国隆<sup>7</sup>, 刁宛<sup>1,2</sup>

(1 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室; 2 中国石油大学(北京)地球科学学院)  
(3 中国石化股份有限公司上海海洋油气分公司研究院; 4 中海石油气电集团有限责任公司技术研发中心)  
(5 中海油研究总院; 6 大港油田采油一厂; 7 中国石油大庆油田海拉尔石油勘探开发指挥部)

**摘要** 在深水无井碳酸盐岩发育区开展储层预测,单纯以丘状地震反射作为识别生物礁的依据容易把不具有储层意义的生物丘误判为生物礁,同时也会忽略具有储层意义但不具有丘状反射特征的滩相沉积。对生物礁、生物丘及滩相沉积这三类地质体从地震反射特征和地震速度特征两方面进行了分析对比,它们相互之间既有联系又有区别:生物礁为高速反射,同时具有丘状反射外形;生物丘具有丘状反射外形但为低速反射;滩相沉积为高速反射,但无丘状反射外形。由此建立了新的深水区礁滩储层预测方法,并对琼东南盆地一深水研究区中新统梅山组碳酸盐岩储层进行了重新预测,把原来预测的相当大的一部分“生物礁”划分为生物丘,同时还新发现了面积几可与生物礁相当的滩相沉积。本文所用方法对深水区碳酸盐岩储层的预测更为精确。

**关键词** 深水勘探;地震勘探;碳酸盐岩储层;储层预测;生物礁;生物丘;滩坪沉积;琼东南盆地

**中图分类号**: TE112.22

**文献标识码**: A

生物礁、生物丘及滩相沉积是重要的碳酸盐岩类型,其中生物礁(reef)是由固着生物原地堆积而成的碳酸盐岩隆起<sup>[1]</sup>。生物丘(bioherm)则主要是由障积生物所建造的丘状或透镜状的沉积体,且周围被不同岩性的正常沉积所包围,它以障积作用为主,与生物礁的结构及生物成分均存在差异<sup>[2]</sup>。滩相沉积(bank或shoal),简称滩,一般是由大量生物碎屑或鲕粒所形成的沉积物,前者常称为生物滩,后者则称为鲕粒滩,由于受波浪和水流作用的影响,一般无隆起形态<sup>[3]</sup>。

20世纪60年代Stanton<sup>[4]</sup>提出了岩隆(buildup)的概念,定义其是一种具有丘状形态或一定隆起幅度的特殊地质体,它通常由骨骼生物所形成的碳酸盐岩堆积而成。自该概念提出以来,人们常常把岩隆与生物礁联系在一起,因为生物礁就是具有丘状形态的碳酸盐岩地质体。但是,实际上岩隆是一个广义的概念,它包括了生物礁、生物丘及部分滩相沉积,而

前人大都对单一类型岩隆的特征开展研究,却极少将这三类岩隆统一进行对比分析<sup>[2]</sup>,更没有把不具有岩隆特征的一部分滩相沉积拿来予以一起探讨。目前在深水区油气勘探的早期,由于缺乏钻井、测井资料,前人大都利用地震资料的丘状反射特征来识别生物礁<sup>[5-7]</sup>,认为在碳酸盐岩沉积背景下的丘状反射均是生物礁造成的,可作为有利储层,但却忽略了与生物礁地震剖面反射特征相同的生物丘的存在,而生物丘并非有利储层,这就造成了以往的有利储层评价过于乐观,忽视了这其中的风险性。与此同时,能作为有利储层但却并不具备丘状反射特征的一部分滩相沉积在评价时又可能被忽视了,从而导致某些评价又过于保守。

为此,本文以琼东南盆地南部一深水研究区为例,对所述的这些碳酸盐岩地质体进行综合对比分析,意在提供一种新的技术方法,以降低风险,提高深水区碳酸盐岩油气勘探的成功率。

收稿日期: 2012-07-05; 改回日期: 2012-11-04

基金项目: 本文受国家重点基础研究发展计划(编号: 2009CB219407)和国家自然科学基金(编号: 40972077)联合资助

唐武: 1987年生,2009年毕业于东北石油大学(原大庆石油学院)资源勘查工程专业,现为中国石油大学(北京)在读博士生,主要从事沉积学、层序地层学与储层预测研究。通讯地址: 102249 北京市昌平区中国石油大学(北京)地球科学学院地科楼 904; 电话: (010)89733506

## 1 勘探背景

南海是我国最大的边缘海,其新生代的盆地演化特征决定了生物礁具有重要的油气勘探潜力<sup>[8]</sup>,目前已在中中新统发现许多重要的礁油气藏,如曾母盆地的L礁油气藏、珠江口盆地的流花11-1油气藏<sup>[9]</sup>等,同时在西沙隆起以及神狐隆起上均有碳酸盐岩储层的发现<sup>[10-13]</sup>。那么在具有相似构造背景的琼东南盆地,特别是其深水区,是否也存在碳酸盐岩储层呢?若有的话,它们又是何种类型呢?

本次研究区位于琼东南盆地南部水深大于1000m的深水区,主体处于北礁西凸起,部分跨入乐东—陵水凹陷(图1)。研究区有新采集三维地震资料,但无钻井、测井资料。该区早中新世以滨浅海—浅海相沉积为主,中中新世碳酸盐岩发育<sup>[14]</sup>,但在目前无钻井、测井资料的条件下,如何利用高分辨率的地震资料区分出碳酸盐岩背景下的生物礁、生物丘及滩相沉积,并找出有利储层发育区带,这是减少勘探风险、提高钻探成功率亟待解决的关键问题。

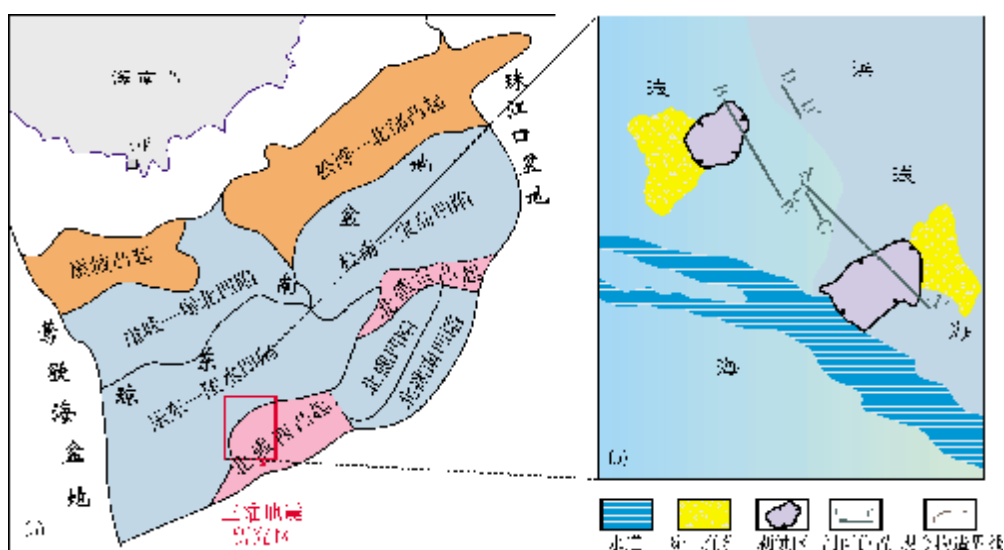


图1 琼东南盆地深水研究区位置及早中新世沉积相分布图

(a) 研究区位置; (b) 研究区沉积相

下面我们首先探讨一下生物礁、丘的地震响应特征,然后对生物礁、生物丘及滩相沉积的特征进行对比,并开展研究区内礁、丘及滩的识别,最终预测本区碳酸盐岩有利储层的展布。

## 2 生物礁、丘的地震响应

生物礁、丘是重要的骨架相,其识别对分析区域沉积相格局具有重要的指导作用,在油气勘探上具有重要的意义。同时,两者的地震相特征明显,能比较可靠地加以识别,因此它们是我们碳酸盐岩沉积相研究中的首选对象。

琼东南盆地广泛发育中中新世碳酸盐岩,地震资料显示研究区内含有多个岩隆,其总体特征可以表述为以下三个方面。

(1)发育于正向构造之上 基底的构造格局对岩隆的发育具有重要的控制作用,一般来说,岩隆往往发育在断块的上升盘、古隆起、火山岩刺穿体等正向地形背景上,而研究区内的碳酸盐岩岩隆主要发育于古隆起构造上(图2中A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>处)。

(2)具有丘状反射构型 由于碳酸盐沉积速率通常都高于同期与其相邻沉积物的沉积速率,其沉积厚度显著高于其四周沉积物,因而形成丘状结构,地震上则呈现丘型反射(如图2中1、2处)。这是岩隆在地震剖面上最重要的特征,也是岩隆一词的意义所在。

(3)岩隆顶、底表现为强反射,内部呈杂乱反射、弱反射或空白反射 这是由于岩隆的顶、底多为砂泥岩,它们与石灰岩之间存在较大的波阻抗差,故出

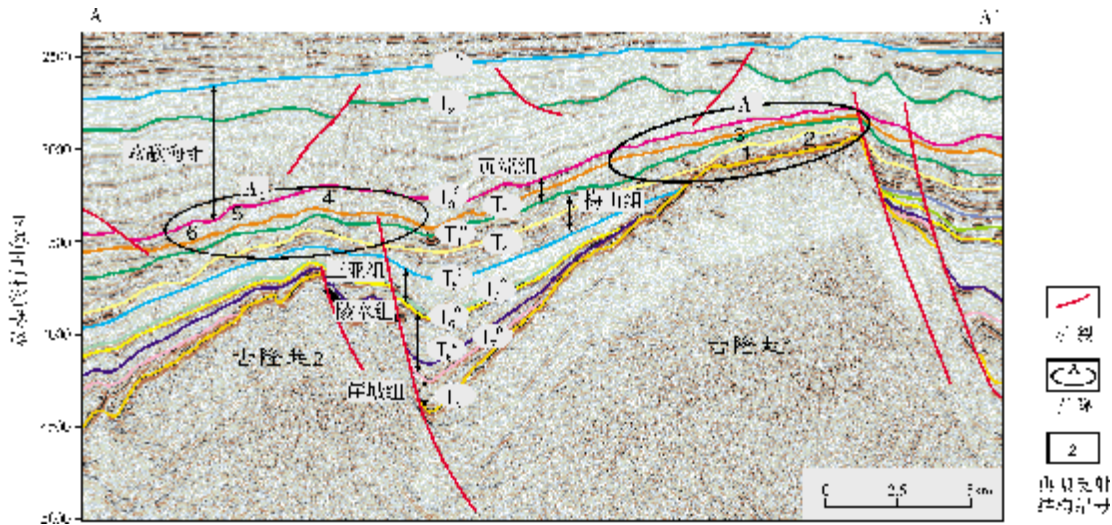


图2 琼东南盆地深水研究区碳酸盐岩岩隆典型地震反射剖面  
A—A'剖面位置见图1

现强振幅反射；而岩隆本身是由造礁及附礁生物堆积而成，其内部不显沉积层理，故表现为杂乱反射（图2中1、2处）、弱反射（图2中4、5、6处）或者无反射（图2中3处）。

3 礁、丘、滩的沉积特征对比

对于生物礁、丘及滩相沉积而言，由于它们并非只要具有丘状反射特征就都能形成有利储层，也并非不具有丘状反射特征的就一定不能形成储层，因此很有必要对它们进行非常细致的对比研究，以便为确定

有利勘探目标提供更为准确的科学依据。

准确区分礁、丘、滩，一般可综合依据生物和非生物两类识别标志，前者包括生物类型、生长方式、生物数量及生物结构等，后者包括地貌形态、岩石结构、水动力和成岩作用等（表1）。但在深水油气勘探中，仅有地震资料，如何利用地震资料来区分礁、丘、滩就成了新的课题，本文的任务就是来进行这一尝试。笔者对研究区内礁、丘、滩三者的地震特征进行比较，主要从反射特征和速度特征两方面进行了对比（表1）。

表1 生物礁、丘及滩相沉积的识别标志及特征对比

识别标志		识别类型	生物礁	生物丘	滩相沉积
一般识别标志	生物标志	生物类型	造礁生物 附礁生物	障积生物	一般生物
		生长方式	原地生长	原地生长为主	异地搬运
		生物数量	多	中等—较少	多
		生物结构	骨架结构 钻孔	障积结构 灰泥	无明显结构
	非生物标志	地貌形态	凸起明显	凸起较明显	一般不明显
		岩石结构	角砾结构 栉壳结构	泥晶结构	生物碎屑 鲕粒结构
		水动力	高能	低能	高能
		成岩作用	白云石化作用、 溶蚀作用等	压实作用、 变形作用等	亮晶方解石、 胶结作用等
地震识别标志	反射特征		丘状反射	丘状反射	近平行反射 (可能出现丘或准丘状反射)
	速度特征 (琼东南盆地)		高速 (4000~5500m/s)	低速 (3000~4000m/s)	高速 (3700~4500m/s)
	储层属性		好	差	好



生物礁与生物丘的共同特点是在地震剖面上都具有丘状外形,其区别主要在于生物礁具有抗浪骨架而生物丘没有,这导致其岩石成分也有很大区别,生物丘以灰泥为主,而生物礁则以方解石和白云石为主<sup>[2]</sup>。一般来说,生物丘不利于储层发育,而生物礁则易于发育储层。在地震剖面上,我们可以根据地震速度和水动力环境特征来区分生物礁和生物丘。生物礁一般形成于高能环境,同时又为高速反射,而生物丘则一般形成于低能环境,同时为低速反射。

滩是由大量生物碎屑或鲕粒所形成的沉积物,受波浪和水流作用的影响,一般无明显的隆起形态,它与生物礁或生物丘在生物类型、生长方式以及地貌形态方面都有很大区别,滩相地层一般形成于水动力条件很强的高能环境,沉积物通常破碎并受到不同程度的搬运或改造,属于异地沉积。在地震剖面上,滩相沉积一般没有固定形状,其地貌隆起的特征不明显,一般也不具备丘状反射特征。但是,滩与生物礁类似,也主要是由生物碎屑颗粒组成的,因而同样具有高速的反射特征。

由于叠前弹性参数反演对于预测生物礁和滩相储层(简称礁滩体储层或礁滩储层)取得了较好的效果<sup>[15]</sup>,本次研究充分利用滩相沉积和生物礁、丘的特点及区别,采用地质与地球物理相结合的方法,开展了生物礁、丘及滩相沉积的识别。从地震反射和速度这两方面的特征分析,它们具有如下规律:

礁 高速,具有丘状反射外形;

丘 具有丘状反射外形,但属低速;

滩 高速,但无丘状反射外形。

对于既表现为低速又未见丘状反射外形的地层,一般为碎屑岩。

在礁、丘、滩发育区寻找储层,传统的思路相对简单,即把具有丘状反射的地质体均认为是生物礁,均被视为有利储层单元。我们把这种传统方法称为“礁储层预测”方法,其流程参见图3中的虚线方框A,它是在确定出碳酸盐岩发育区后仅凭“丘状反射”这单一特征来判别生物礁储层。这种传统方法把不具储层意义而具丘状反射的生物丘也划入了储层范畴,同时又把不具丘状反射而具储层意义的滩相沉积却排除在了储层以外,其局限性显而易见。

为此,本文建立了新的方法,称其为“礁滩储层预测”方法,其流程参见图3中的虚线方框B。新老两种方法仅一个“滩”字之差,表达了新的方法增加了

对滩相储层的预测,其意义不言自明。无论是传统的礁储层预测方法,还是本文的礁滩储层预测方法,均是首先依据区域地质背景及古地貌环境判断研究区是否具备碳酸盐岩发育条件,然后确定碳酸盐岩发育区(图3)。在这个基础之上,传统方法是直接利用丘状地震反射特征来开展生物礁储层预测;本次研究则是充分利用生物礁、丘及滩相沉积地震反射特征和地震速度的差异,首先利用地震反射特征将碳酸盐岩发育区分为丘状反射区与非丘状反射区,然后利用地球物理手段获得区内的叠前纵波速度,依据速度的高低区分丘状反射区内的生物礁与生物丘,以及非丘状反射区内的滩相沉积与碎屑岩沉积,从而预测出礁滩体储层(包括生物礁储层和滩相储层)的分布。

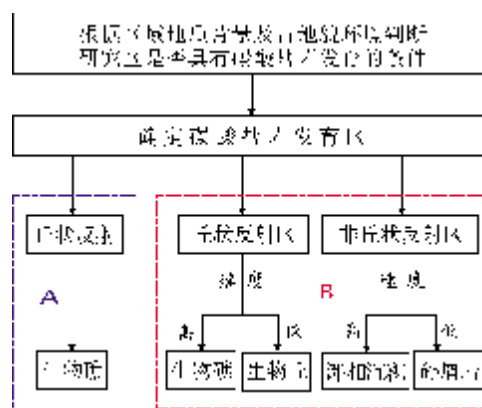


图3 深水碳酸盐岩发育区不同储层预测方法流程对比  
A框为传统方法流程; B框为本方法流程

## 4 研究区典型礁、丘、滩的识别

### 4.1 生物礁

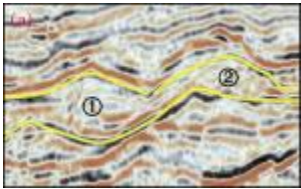
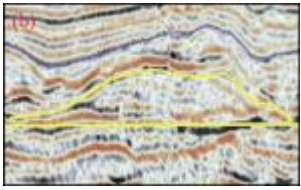
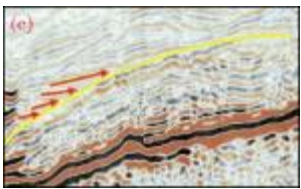
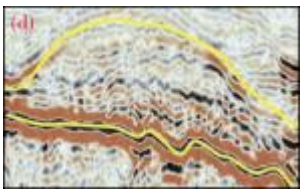
生物礁是由造礁生物和一些附礁生物原地堆积的,具有抗风浪作用,是在地形上呈隆起状态的沉积体。众多学者<sup>[5,16-17]</sup>对生物礁的地震反射特征进行了研究,他们主要从外形、顶底界面反射特征、内部反射结构、周缘反射、礁体底部以及上覆地层等六个方面来识别生物礁。笔者本次研究在地震上则主要从反射外形、内部反射结构、礁体周缘反射及顶底反射特征等四个方面来识别生物礁(表2):

(1)外形上主要呈丘状反射,常呈对称状;

(2)内部常为杂乱或空白反射;

- (3) 边缘见有明显的上超反射;  
 (4) 顶、底界面均为强振幅, 连续易追踪。

表2 琼东南盆地深水研究区生物礁地震识别特征

反射类型	特征描述	典型剖面
外形	丘状反射较常见, 常呈对称状。如剖面中的①和②两处所示	
内部结构	内部呈杂乱或者空白反射, 但局部可连续追踪	
礁体周缘	根据上超点位置可以确定生物礁的边缘轮廓	
顶底界面	顶底界面均为强振幅反射, 特征明显	

(a)~(d) 各剖面均来源于研究区内中新统梅山组生物礁典型地震反射剖面。各反射类型的相关特征在对应剖面中均用黄线作了标示。

通过叠前反演纵波速度的典型地震剖面, 可以发现本区隆起之上的反射特征(图4)与流花11-1油田过生物礁的典型地震反射<sup>[5]</sup>相似:

- (1) 具有明显的丘状外形;  
 (2) 其顶部出现强振幅反射;  
 (3) 内部呈杂乱或者层状反射特征;  
 (4) 其上覆地层可见到明显的超覆现象。

同时, 对比古隆起高部位和构造翼部的速度可以发现, 虽然位于古隆起高部位(图4中1处)的埋深(约3440ms)相比位于翼部(图4中2处)的(约3580ms)要浅约140ms, 但高部位的纵波速度(约4600m/s)却比翼部的纵波速度(约2200m/s)高很多。这种倒置的速度异常很可能是由于岩性差异造成的, 这是判断古隆起上方沉积地层是否为碳酸盐岩的非常好的佐证。

此外, 同济大学海洋地质实验室对南海北部 ODP1147 及 1148 航次中新世以来沉积地层的 1700 个样品分析表明, 在 24~15.8 Ma、14.2~11.6 Ma、10.6~4.8 Ma、3.4~0 Ma 等四个时期具有高的碳酸盐岩生产率<sup>[18]</sup>。由此可以认为, 研究区中新世(15.5~10.5 Ma)沉积地层(对应于地震反射界面  $T_5^0$ — $T_4^0$  之间, 参见图2、图4)的典型丘状反射和高速特征是由碳酸盐岩沉积造成的。因此, 笔者综合判断研究区古隆起的上覆地层为生物礁沉积。

## 4.2 生物丘

生物丘是一种发育于陆棚边缘较深部位或缓坡下部、深水盆地或潟湖内等环境的碳酸盐岩沉积物

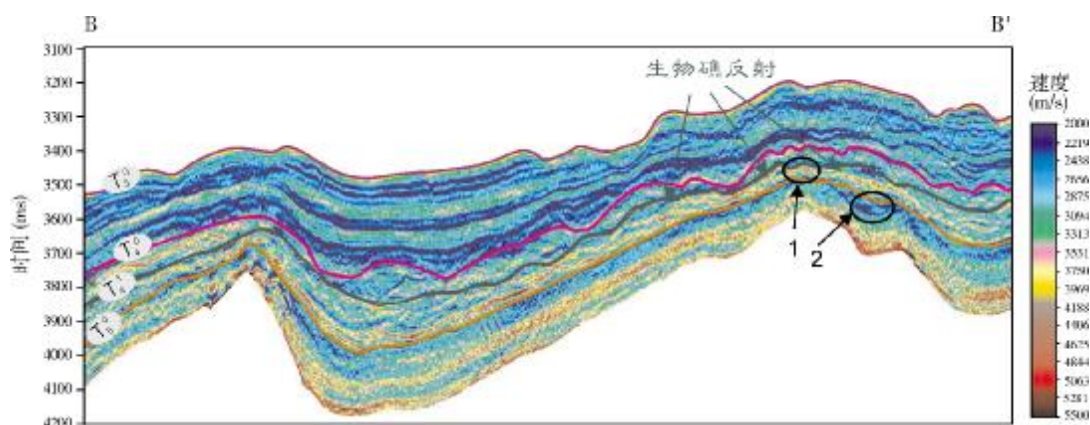


图4 琼东南盆地深水研究区叠前反演纵波速度典型剖面图

B—B'剖面位置见图1。

圆圈1位于构造高部位, 圆圈2位于构造翼部某处, 两处位置深度相差约140ms, 但地震速度却是位置1的高于位置2的, 前者为4600m/s, 后者为2200 m/s, 前者比后者高出一倍多



堆积体,处于弱水动力环境,多呈圆、椭圆或不规则形状高出周围海底的正地形,主要由灰泥和少量生物骨架组成,当灰泥含量占主导地位时也可称其为灰泥丘<sup>[19-20]</sup>。由于生物丘同样具有丘核,所以它与生物礁在地震剖面上形态类似,同样具有丘状反射特征,但其速度却比生物礁明显偏低,生物丘一般为3000~4000m/s,而生物礁速度高,一般为4000~5500m/s,因此利用速度的差异可以区别生物丘和生物礁。

生物丘大多发育于构造的翼部,这与生物礁是有区别的,但它与生物礁一样也具有典型的丘状反射外形、顶、底强振幅、内部层状反射等特征(图5a中椭圆所圈范围)。但是注意到图5a所圈出的丘状反射在叠前反演纵波速度剖面(图5b)上对应位置(椭圆所圈范围),速度普遍较低,据此认为这些丘状反射是生物礁的可能性较小,经综合考虑,认为它们是生物丘的可能性较大。

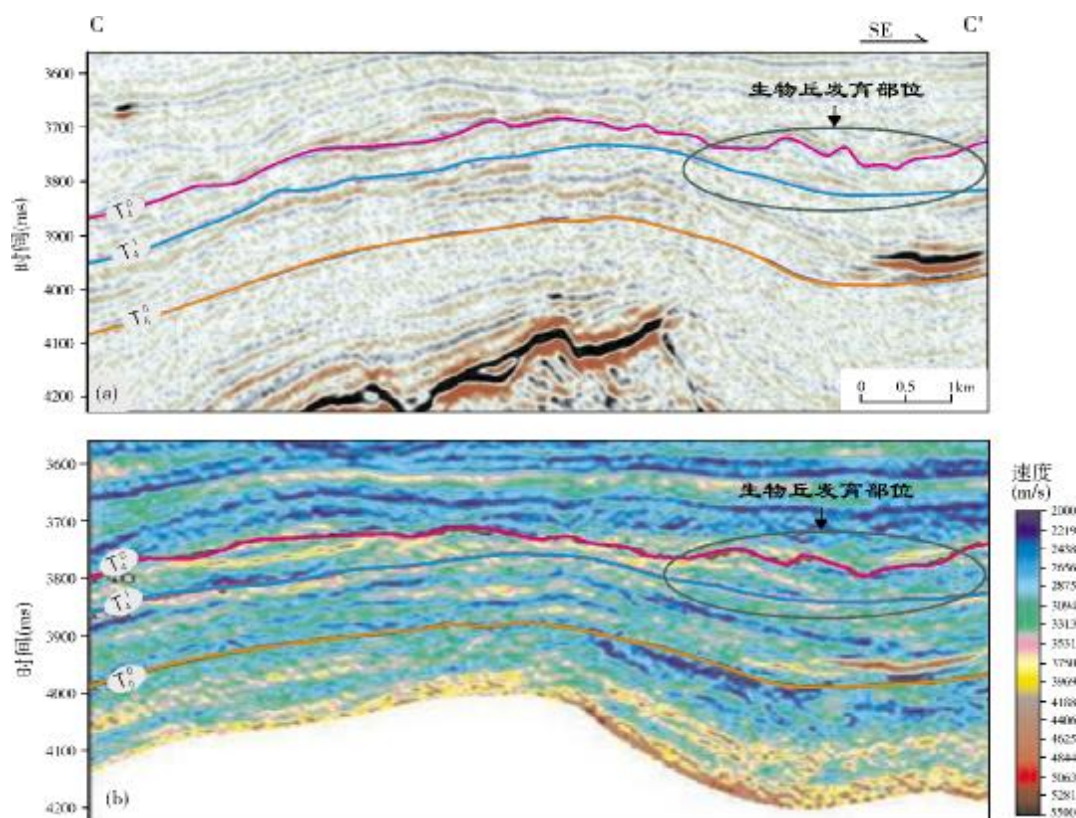


图5 琼东南盆地深水研究区生物丘的典型地震剖面

(a)地震反射剖面; (b)叠前反演纵波速度剖面

C—C'剖面位置见图1。生物丘位置的地震波速度较小,有别于生物礁

### 4.3 滩相沉积

滩相沉积由生物碎屑灰岩或亮晶胶结颗粒灰岩组成,通常形成于浅水、高能环境,以沉积异地搬运的碳酸盐岩颗粒为主,其颗粒常见破碎、磨圆、分选及定向排列。它与礁的最大区别是,礁具有坚固的抗浪格架,而滩不具有抗浪格架。滩可以发育在高能的台地边缘地区,也可以发育在台内浅水区的局部低凸起,其中台地边缘的滩由于受

到波浪的冲刷淘洗,筛选较为干净,可以成为良好的储层。

滩相沉积(滩体)一般不具有明显的隆起幅度,在地震反射剖面上一般呈近平行反射(图6a),同时滩体有可能向一定方向进积,因而在地震上可以见到微弱的前积反射现象。而且由于与上覆的泥岩波阻抗差异较大,因此常常出现较强反射的特征。滩体主要由石灰岩组成,其速度较高,纵波速度与生物礁几乎相当(图6b)。

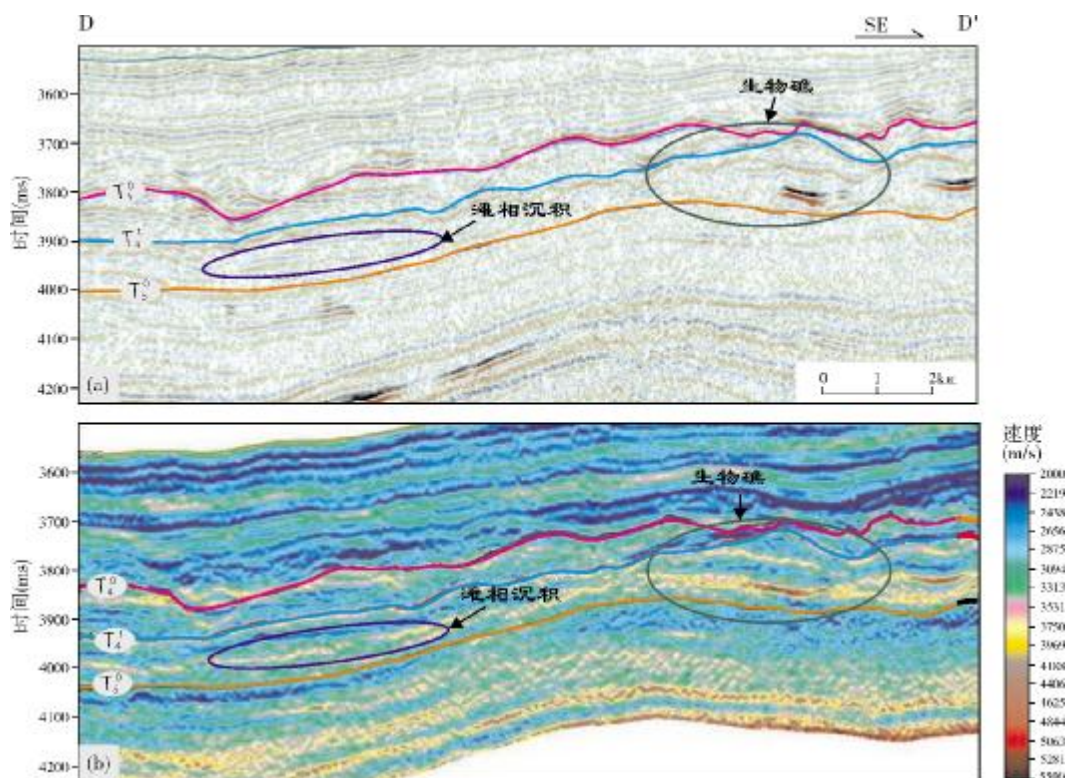


图 6 琼东南盆地深水研究区滩相沉积的典型地震剖面

(a)地震反射剖面; (b)叠前反演纵波速度剖面

D—D'剖面位置见图 1

## 5 琼东南盆地深水研究区生物礁分布预测

自中新世初开始,琼东南盆地发生区域性沉降,进入热沉降阶段,盆地性质由断陷转变为以拗陷为主,总体处于一种开阔海沉积环境<sup>[14]</sup>。早中新世,断裂活动十分微弱,地形平坦,整体上表现为东高西低的构造格局,随着相对海平面的上升,海侵规模扩大,广泛发育滨浅海—浅海相沉积,但此时生物礁很不发育。分析认为该时期处于碎屑岩沉积向碳酸盐岩沉积的过渡阶段,以混合沉积为主,导致生物礁的发育受到了抑制。中中新世,随着进一步的海侵,研究区东北部整体转换为缓坡碳酸盐岩台地,生物礁开始发育,并逐渐进入了繁盛期。

中中新世除了碳酸盐岩沉积体系外,在台地西南部斜坡一侧还发育水道沉积体系,地震上表现为 U 型或 V 型的强振幅反射<sup>[14]</sup>。中国石化上海海洋油

气分公司在本区利用传统的地震相分析方法进行生物礁预测的结果<sup>①</sup>表明,中新统梅山组沉积时期的生物礁在缓坡碳酸盐岩台地上大面积连片发育,略呈三角形展布于台地内部(图 7a),它们一般分布于台地的高部位上。笔者采用本文所述的方法对研究区重新进行储层预测,所得结果如图 7b 所示,它与用传统方法所得结果(图 7a)相比,具有较大的差异。首先,生物礁主要沿北西—南东方向展布,不具有大面积连片特征;其次,图 7a 中在台地内部大致沿北东方向分布的一些“礁体”,经重新预测后被认定为是形成于弱水动力条件下的生物丘;第三,在台地西北缘及东南角等处还发现了滩相沉积,其规模与生物礁面积大致相当,这是本文预测的新发现,是传统的“礁储层预测”方法所无法发现的。由此看来,用本文所述的“礁滩储层预测”新方法能够更准确地预测礁体储层,并大大提高了发现滩体储层的能力。

由于生物丘并非有利的储层,故将原先预测

① 中国石化股份公司上海海洋油气分公司. 琼东南盆地中石化三维区沉积储层预测及目标评价[R]. 中国石化股份公司上海海洋油气分公司, 2010.

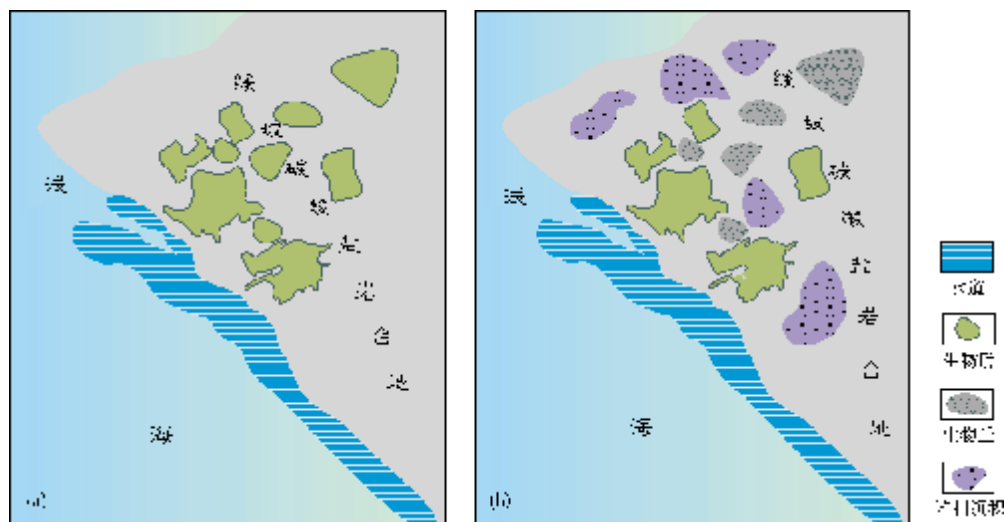


图7 琼东南盆地深水研究区中新统梅山组碳酸盐岩储层不同方法预测的平面展布特征对比

(a) 传统礁储层预测方法结果<sup>①</sup>; (b) 本文礁滩储层预测方法结果

的部分生物礁重新认定为生物丘,这可以避免预测过程中的盲目乐观,并利于对勘探风险引起足够的警觉。而滩相沉积主要由生物碎屑颗粒组成,中中新世以来本区又经历了多次的海平面升降变化<sup>[6]</sup>,滩相沉积容易出露水面,遭受大气淡水的淋滤作用而提高孔渗性,故而可能成为油气储层。本次研究识别出了规模较大的滩相沉积,这比起传统的礁储层预测又大大拓宽了本区碳酸盐岩储层勘探的空间。

由于高昂的钻探成本,优质储层的大范围发育对于深水油气勘探的成功显得尤为重要。本文利用生物礁、生物丘以及滩相沉积的地震反射特征及纵波速度的差异来对它们进行识别,并对研究区内碳酸盐岩储层中有利储层的平面分布特点进行了预测,这对降低勘探风险、提高深水区的碳酸盐岩油气勘探成功率具有重要意义,值得引起同行重视。

## 6 结 论

(1)生物礁、生物丘及滩相沉积在地震反射特征和地震速度两方面互有联系但又有区别。

(2)本文所述的礁滩储层预测方法可以更好地区分生物礁、生物丘及滩相沉积,它比传统的礁储层预测方法能够更为准确、客观地预测碳酸盐岩储层。

(3)用传统的礁储层预测方法在琼东南盆地深水研究区预测的生物礁储层,有较大一部分可能是生物丘,不具有储层的意义。研究区内还含有较大规模的滩相沉积分布。

(4)琼东南盆地深水研究区中的生物礁主要位于台地西南部,沿北西—南东向展布;而滩相沉积主要发育于台地的西北缘,沿北东—南西向展布。

## 参 考 文 献

- [1] Riding R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories[J]. Earth-Science Reviews, 2002, 58(1/2):163-231.
- [2] 张维,廖卓庭. 天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆岩石学与成岩作用[J]. 岩石学报, 1998, 14(4): 559-567.
- [3] 沙庆安. 关于滩相沉积[J]. 古地理学报, 1999, 1(3):8-12.
- [4] Stanton R J. Factors controlling shape and internal facies distribution of organic carbonate buildups[J]. AAPG Bulletin, 1967, 51(12): 2462-2467.
- [5] Wu Shiguo, Yuan Shengqiang, Zhang Gongcheng, et al. Seismic characteristics of a reef carbonate reservoir and implications for hydrocarbon exploration in deepwater of the Qiongdongnan Basin, northern South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(6):817-823.
- [6] 马玉波,吴时国,许建龙,等. 琼东南盆地南部深水凹陷生物礁及碳酸盐岩台地发育模式[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1):119-124.



- [7] 吴时国,袁圣强,董冬冬,等. 南海北部深水区中新世生物礁发育特征[J]. 海洋与湖沼,2009,40(2): 117-121.
- [8] 魏喜,邓晋福,谢文彦,等. 南海盆地演化对生物礁的控制及礁油气勘探潜力分析[J]. 地学前缘,2005,12(3): 245-252.
- [9] 陈国威. 南海生物礁及礁油气藏形成的基本特征[J]. 海洋地质动态,2003,19(7): 32-37.
- [10] 许红,王玉净,蔡峰,等. 西沙中新世生物地层和藻类的造礁作用与生物礁演变特征[M]. 北京:科学出版社,1989.
- [11] 王国忠. 南海珊瑚礁区沉积学 [M]. 北京: 海洋出版社, 2001.
- [12] 张明书,何起祥,业治铮,等. 西沙生物礁碳酸盐沉积地质学研究[M]. 北京:科学出版社,1989,23-35.
- [13] 刘春兰,冯正祥. 宝岛 23-1 构造生物礁地质评价[J]. 中国海上油气(地质),2001,15(3): 171-175.
- [14] 唐武,王英民,黄志超,等. 琼东南盆地南部深水区中新统层序地层地震相与沉积演化特征[J]. 海相油气地质, 2012,17(2): 20-25.
- [15] 胡伟光,蒲勇,赵卓男,等. 利用弹性参数预测礁、滩相储层 [J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(增1): 176-180.
- [16] 郭建宇,马朋善,胡平忠,等. 地震-地质方法识别生物礁 [J]. 石油地球物理勘探,2006,41(5): 587-591.
- [17] Sattler U,Zampetti V,Schlager W,et al. Late leaching under deep burial conditions: A case study from the Miocene Zhujiang carbonate reservoir, South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2004, 21(8): 977-992.
- [18] 陈晓良,赵泉鸿,翦知湜. 南海北部 ODP1148 站中新世以来的碳酸盐岩含量变化及其古环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,2002,22(2): 69-74.
- [19] Monty C L V. The rise and nature of carbonate mud-mounds: An introductory actualistic approach// Monty C L V,Bosence D W J,Bridges P H,et al. Carbonate Mud-Mounds: Their Origin and Evolution[M]. Oxford: Blackwell, 1995:11-48.
- [20] 钟建华,温志峰,李勇,等. 生物礁的研究现状与发展趋势 [J]. 地质论评,2005,51(3): 288-300.

编辑:吴厚松

## Contrast and Identification of Seismic Reflection Features among Reefs, Bioherms and Shoal Flats: An Example of Reservoir Prediction in Deep-water Area, Qiongdongnan Basin

Tang Wu, Wang Yingmin, Yang Caihong, Zhong Mihong, Li Dong, Qin Peili, Zhu Goulong, Diao Wan

**Abstract:** When reservoir prediction is carried out in a deep-water carbonate-distributing area without any exploration well, it is commonly not only easy to judge reservoir-free bioherms erroneously as real organic reefs only according to the mound seismic reflection configuration that is considered as the proof of reef existence but also easy to ignore the shoal flats without the feature of mound seismic reflection which are likely to be reservoirs. Contrasting seismic reflection with seismic velocity in feature, it is shown that some deference and correlation exist among reefs, bioherms and shoal flat bodies. A reef is characteristic of the mound reflection configuration with high velocity, and a bioherm is of same mound reflection configuration but with low velocity while a shoal flat (body) is of high velocity without the mound reflection configuration. Based on such features, a new method is built for predicting reef reservoirs and shoal flat reservoirs in deep-water areas. This method is applied to predict once more the middle Miocene Meishan carbonate reservoir in some deep-water area of Qiongdongnan Basin. The re-prediction gives a different result that a large part of reefs that were predicted before into "reefs" are reclassified into bioherms and meanwhile shoal flats with a such large area nearly as the distribution area of the reefs are unexpectedly discovered. It is proved that it is an accurate method for predicting carbonate reservoirs in deep-water area.

**Key words:** Deepwater exploration; Seismic exploration; Carbonate reservoir; Reservoir prediction; Reef; Bioherm; Tide flat; Qiongdongnan Basin

Tang Wu: male, Ph. Dr degree in progress at Faculty of Earth Science, China University of Petroleum (Beijing). Add: China University of Petroleum, 18 Fuxue Rd., Changping, Beijing, 102249, China