

从川东北长兴组沉积相展布规律 探讨地震异常体与生物礁的相关性

陈昭国

(西南石油地质局地质综合研究大队)

礁型气藏(井)是四川油气勘探的一个新领域。然而, 这些礁型气井都是在钻探过程中偶然发现的, 这就向地质学家们提出了一个问题: 怎样利用地震资料发现地下生物礁, 并指导钻探? 本文拟从沉积相的角度出发, 探讨所发现的地震异常体的性质、类型以及与生物礁的关系, 进而指出有利的礁型气藏(井)的勘探类型及地区。

地震异常体的识别标志

J. N. Bubb 等在“碳酸盐岩隆的地震识别”一文中, 根据具体实例, 总结出了两种识别岩隆(builddup)的地震标志: 直接识别标志和间接识别标志(图1)。所谓直接识别标志是指那些可以直接勾绘出礁体外形的地震特征, 如边界轮廓, 地震反射特征变化等; 所谓间接识别标志是指那些可以判断礁体可能存在的地震特征, 如披覆、速度异常、绕射现象以及根据盆地结构对礁体可能存在的位置进行推测等。

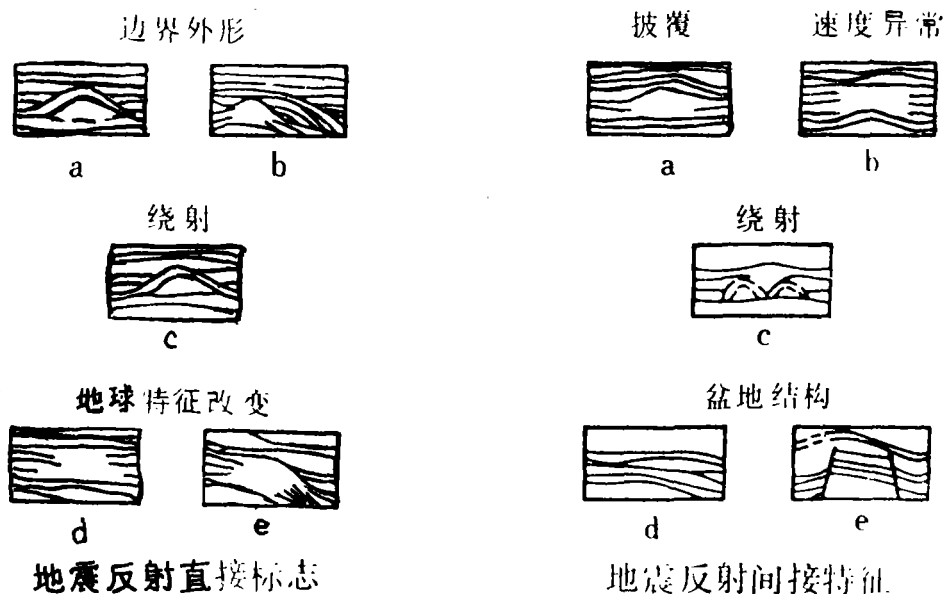


图1 地震异常体识别标志

Fig. 1 The criteria used for recognizing seismic anomalies

应用上述标志寻找生物礁已有许多成功的实例, 如南海北部海域中新统地层中生物礁块的勘探。尽管川东北及共邻区长兴组生物礁有其独特性, 如规模小、变化大等, 但笔者

认为上述识别标志仍是在地震剖面上寻找长兴组潜伏礁体的钥匙。

上二叠统地震异常体的特征

地震异常体是指在地震时间剖面上,由生物礁和其它地质体引起的特殊的地震反射现象。应用前述的一些异常体识别标志,对川东北及其邻区的地震时间剖面进行判读,共发现了12个地震异常体(图2、表1)。这些异常体皆出现在 T_2 (阳顶反射层)之上,即相当于上二叠统地层内。依据异常体在地震时间剖面上的反射特征及其外部形态等,可分为三大类:透镜型异常体、长条型异常体和相位中断型异常体。现分述各类异常体特征如下:

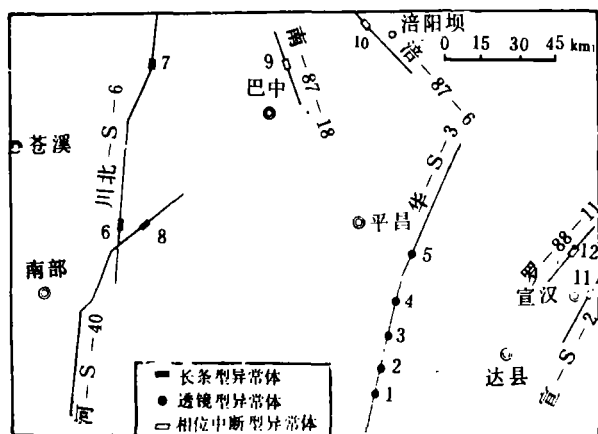


图2 地震异常体分布图

Fig. 2 Map showing the distribution of seismic anomalies in northeastern Sichuan and its adjacent areas

表1 地震异常体特征及类型一览表

Table 1 Characteristic and type of the seismic anomalies

编号	地震测线	长度(M)	最小 T_0 (秒)	类型	备注
1	华-S-3 (1)	3840	2.14	透镜型	1号异常体在华-S-6、华-S-8线上也有显示
2	华-S-3 (1)	2900	2.14	透镜型	
3	华-S-3 (1)	1440	2.05	透镜型	
4	华-S-3 (1)	8640	2.30	透镜型	2号异常体在川北-S-X1主测线上也有显示
5	华-S-3 (2)	4320	2.55	透镜型	
6	川北-S-6 (1)	3000	2.70	长条型	3号异常体在华-S-18线上弱有显示
7	川北-S-6 (2)	3600	2.85	长条型	
8	河-S-40 (S)	3000	2.74	长条型	
9	南-87-18	960	2.30	相位中断型	
10	涪-87-6	1440	2.25	相位中断型	
11	宣-S-2	520	1.90	相位中断型	
12	罗-88-11	480	1.75	相位中断型	

1. 透镜型异常体(图3) 主要分布在华蓥山北倾没端附近,其特征有:(1)异常体产出层位较高,一般底界距 T_2 反射层有一定距离,最大相距约50毫秒;(2)底界反射较弱,且呈下凹状,顶界反射较强;(3)内部反射弱,并且较紊乱;(4)在异常体存在的地方,厚度加大;(5)异常体向两侧延伸较远;(6)少数异常体两侧见不明显的绕射现象。

2. 长条型异常体(图4) 主要分布于南部、巴中一带,主要特征有:(1)异常体外形轮廓清楚,顶、底界面皆为强反射,内部无反射;(2)在时间剖面上,异常体显得较薄,

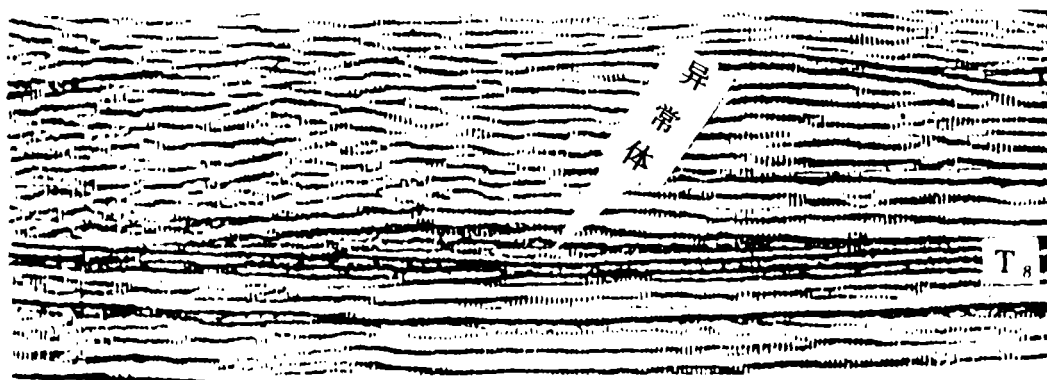


图 3 透镜型异常体实例, 箭头所指处为异常体

Fig. 3 Lenticular seismic anomaly indicated by the arrow

可能与其岩性速度较高有关; (3) 异常体呈上凸状; (4) 异常体延伸较远。



图 4 长条型异常体实例, 箭头所指处为异常体

Fig. 4 Elongated seismic anomaly indicated by the arrow

3. 相位中断型异常体 (图 5) 分布在宣汉及涪阳坝等地。其主要特征有: (1) 异常

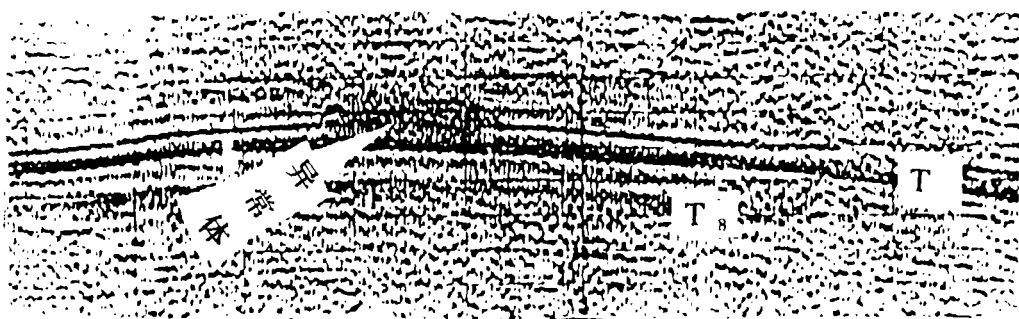


图 5 相位中断型异常体实例, 箭头所指处为异常体

Fig. 5 Unreflecting seismic anomaly indicated by the arrow

体产出层位低, 紧邻 T_8 反射层; (2) 外形轮廓清楚, T_8 反射层之上的一、二个相位突然中断或变得极弱; (3) 异常体处厚度加大, 并微具披覆现象; (4) 异常体向两侧延伸幅度远不如前述两类明显。

地震异常体性质讨论

在地震时间剖面上,能造成透镜状或长条状等外形的因素除生物礁外,还有火成岩体、丘状砂岩体、盐丘、泥丘等。用诸如层速度分析、三瞬处理以及正反演模拟是确定异常体性质的有效方法,但必须与沉积相研究相结合,因为沉积相的研究不仅可以确定异常体在某一特定环境中的存在,而且还可以预测其分布规律。川中地区某构造上的异常体经钻证实不是礁体的实例,就充分说明沉积相研究在确定异常体性质时的重要性,因为该区不是二叠纪生物礁发育区。对于前述的地震异常体,笔者从沉积相研究出发,通过分析,认为所发现的地震异常体与生物礁有关,而非其它地质现象的反映,其理由是:

(1) 川东北及其邻区,上二叠统主要是台地相碳酸盐岩的吴家坪组和长兴组沉积。现有资料表明,在该区的地表和钻井剖面中,没有发现上二叠统地层中有大套砂岩存在,并且砂岩体在地震剖面上常具有相位数多、向上倾方向尖灭等特点。这显然与前述异常体特征不符。

(2) 峨眉山地区有大套玄武岩存在,但在川东北及其邻区的二叠系剖面中,玄武岩并不发育或有零星分布,厚度较薄。雷2井是现有钻遇玄武岩体最厚的井,玄武岩厚度也不过21.5m。若以速度5000m/s计算,20多米厚的玄武岩体在时间剖面上仅相当于8毫秒(假设频率30HZ,周期为33毫秒),即1/4个周期,这只能引起波形和振幅的畸变,而不可能形成一个单独的相位,即形成异常体。另外,火成岩体常具屏蔽作用,造成其下反射较弱或无反射。这与该区异常体下伏反射如 T_0 反射层为强反射的现象不符。

(3) 在地震时间剖面上,泥丘、盐丘的外形虽然与礁体相似,但一般无明显的底界,且常发育于近沉积中心所在相带或盐坪(盆)等地区。资料表明,川东北及其邻区晚二叠世地层中不存在盐丘、泥丘等,这说明所发现的异常体与它们无关。

(4) 至于断层的影响,笔者暂时无法断然排除,因为断层有时确能造成地震时间剖面的异常现象。但是,有些异常体在通过它们的两个直交方向的地震测线上都在存,说明它们是客观存在的地质体,而非断层的干扰所致。

在川东北及其邻区的长兴组地层中,公认有生物礁的存在,这无疑为正好位于生物礁发育区的地震异常体性质的确定奠定了基础。

晚二叠世长兴期沉积特征

许多生产科研部门对川东北及邻区长兴组沉积相进行了研究,对其沉积格局和相带展布有了较清楚的认识。七五期间,笔者等在川东北地区发现了长兴组斜坡相沉积,就更加完善了长兴组的沉积相序。川东北及其邻区长兴组沉积相带展布如图6所示。

I 潮坪碎屑岩相 下部以粉砂岩、泥岩为主,局部夹煤线;上部为灰岩和泥岩互层,向东变为灰岩。

II 开阔台地相 为灰色厚层一块状灰岩,中含较多的腕足、筳及海绵等生物,局部见燧石团块,发育岸礁及点礁。

II₂ 台隆相 该区茅口组上部地层遭受剥蚀,为台内相对隆起区。长兴期,四周为礁

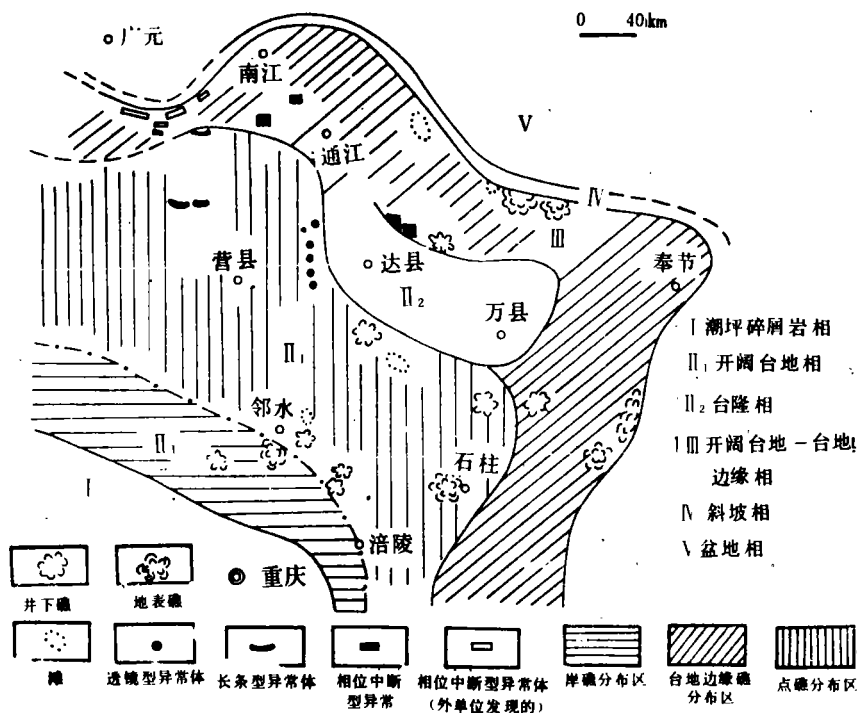


图 6 川东北及邻区晚二叠世长兴期沉积相及生物礁分布图

Fig. 6 Map showing the distribution of the Changxingian (Late Permian) sedimentary facies and organic reefs in northeastern Sichuan and its adjacent areas

滩围限, 环境较闭塞, 沉积了一套深灰色细粉晶-泥晶灰岩, 厚度较薄。

III 开阔台地-台地边缘相 为灰色厚层-块状灰岩, 上部多为白云岩, 生物丰富, 有腕足、筳、珊瑚、海绵、藻类等, 发育台地边缘礁。

IV 台地斜坡相 为薄层状灰岩夹少量砂屑灰岩 (由于深埋成岩作用的影响, 已变成了白云岩), 见大量的滑塌角砾岩, 局部见滑塌褶皱。

V 盆地相 黑色硅质岩、硅质泥质岩夹薄层灰岩透镜体, 含菊石及放射虫等。

上述沉积相严格控制了长兴期生物礁的发育和展布规律。每类礁体仅发育于台地某一适宜的部位。

台地边缘礁 如图 7-A, 远离海岸, 规模较大, 无明显的礁前、礁后沉积。礁向外一侧为较深水的硅质岩盆地相沉积; 礁向内一侧为正常浅海碳酸盐岩台地相沉积。礁体发育较早, 或始于吴家坪组顶部, 或始于长兴组底部。造礁生物主要为大型柱状海绵, 藻类缠结现象发育。礁体之上为深灰色中层状泥晶灰岩夹泥质条带; 再上为斜坡相的薄层微晶白云岩夹砂屑白云岩。从上可看出, 长兴晚期是一个海侵过程, 这与巫溪大宁厂等地大隆组硅质岩覆于长兴组灰岩之上所反映出的海水加深情况一致。这类礁体产于台地边缘, 对海水升降极为敏感。当水体加深, 礁体内迁, 形成新的台地边缘礁, 黄龙 1 井所钻探到的生物礁 (图 7-B), 可能是早期台地边缘生物礁内迁的结果。

岸礁 发育于碳酸盐岩台地后缘 (图 7-D), 礁体发育较晚, 产出于长兴组中、上部。长兴早期为碳酸盐岩与潮坪碎屑岩过渡沉积, 之后随着海水不断加深, 碎屑物质向西退缩, 至长兴中、晚期, 在滩体上发育了礁体。礁体主要由障积岩夹少量骨架岩组成, 造礁生物主

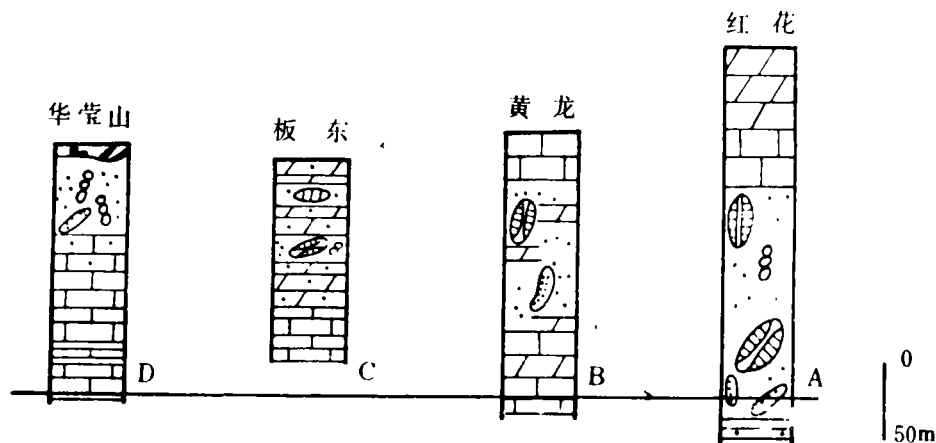


图7 长兴组生物礁变迁图

Fig. 7 Evolution of the organic reefs in the Changxing Formation

要为小型串珠状海绵, 大型钝管海绵少见。礁组合之上为数米厚的含缝石泥晶灰岩, 局部夹白云岩。

点礁 分布在台地内部(图 7-C)。由于处于台内相对浅水部位, 受海平面升降的影响较大, 礁体时长时停, 以具有礁、滩互层为特点。礁体由浅灰色海绵骨架岩、障积岩组成, 厚度不大, 而滩体主要为浅灰褐色含残余海百合细一中晶白云岩。这类礁体的发育受控因素复杂, 其分布规律不易掌握。为了确定点礁的分布规律, 笔者通过对自然伽玛曲线进行计算, 求出相对泥质含量(图 8)。从图中看出, 在涪陵、邻水一带, 泥质相对含量较高, 最高达 9%, 可能为一台地

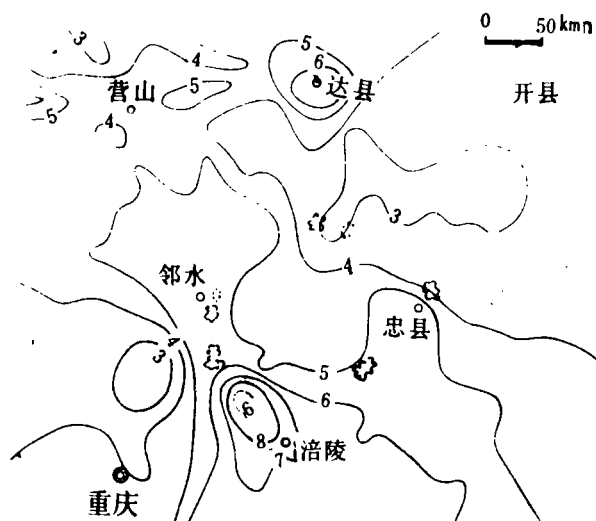


图8 川东北及邻区长兴组泥质等值线图

Fig. 8 Contour diagram showing the mud content of the Changxing Formation in northeastern Sichuan

内的台沟, 所发现的点礁基本上分布于台沟两侧。张继庆等认为上二叠世时, 在营山—绵竹一带也存在一台沟。推测这两个台沟可能相连成一个整体, 控制着台内点礁的分布。

从上述可知, 在川东北及其邻区, 长兴组生物礁的大量发育, 为进一步解释异常体提供了依据。

地震异常体与三大类礁体的关系

从图 6 可以看出, 所发现的地震异常体正好分布在 II₁ 和 III 相带内。根据地震异常体所

具有的特征,结合沉积相研究和所处的地理位置,笔者认为:

(1) 相位中断型异常体是台地边缘礁在时间剖面上的反映。这类礁体分布在台地边缘,发育时间较早,可能始于吴家坪组顶部或长兴组下部,故在时间剖面上,异常体紧邻 T_8 反射层。野外剖面上,该类礁体的礁前、礁后不明显,在地震剖面上也如此。该类礁体的礁核部份以及整个礁组合厚度较大,岩性较均匀,其内部难以形成明显的强反射。至于礁与非礁相在岩性上差别就更大了。这可以造成在非礁区的某一反射界面,在礁体上消失(或中断)的现象。四川石油管理局地质勘探开发研究院,用上二叠统地震时差以及根据地震信息作出的上二叠统厚度资料,确定了台地北缘界线在广元上寺、九龙山南一线,并在川北永宁铺一带“圈划出5个长兴组由有反射变为无反射的地震异常体(相当于本文的相位中断型异常体),并推断这些地震异常可能是靠近台地边缘的礁的反映”。

(2) 透镜型和长条型异常体都是台内点礁的反映。该区点礁多发育于长兴组中部,由于受海平面升降的频繁影响,而具有礁、滩互层的特点。由于礁、滩间可能是一个不太强的反射界面,造成了异常体内部的弱反射。另外,海平面短期下降时,礁体停止垂向生长,而向两侧发展,加之滩体在礁体发育过程中都存在,扩大了礁、滩组合的面积。故在时间剖面上,这类异常体常延伸较大。

(3) 由于在岸礁分布区无地震资料可查,故没有发现与岸礁相当的地震异常体。

可供勘探的与礁有关的地震异常体

前述分析表明,这些地震异常体皆与生物礁有关。在综合分析各地地震异常体特征的基础上,结合邻近的钻探情况,认为Ⅰ、Ⅱ号异常体最具油气勘探潜力,属于Ⅰ类异常体。它属于台地边缘礁型异常体,规模大。并且在时间剖面上的最小 t 时间值为1.75—1.90秒左右,即相当于4000—4300m。在同一台地边缘礁带上的黄龙某井,在4000m左右钻遇长兴组生物礁组合中的白云岩,两次酸化后产气 $22.56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,产量甚为可观。

Ⅱ类异常体包括1、2、3、4、5号异常体,属于台内点礁型异常体。这类礁体在川东地区埋藏较浅,一般在4000m以内,已钻遇了许多产量可观、与生物礁有关的气井,如宝1井,产气 $37 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,双龙15井,产气 $108 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。尽管Ⅱ类异常体埋深较大,一般在2.05—2.55秒之间,即在4500m以下,但是选择相对埋深较小的异常体打钻,可能获得较高的产量。

Ⅲ类异常体包括9、10号,属于台地边缘型异常体。异常体特征与Ⅰ类异常体相似,但埋深较大,多在2.25—2.30秒之间,钻探较困难。

Ⅳ类异常体包括6、7、8号,也属于台内点礁。目前,在该区尚没有资料证明其勘探潜力,且异常体埋深很大,一般在2.70—2.85秒之间,即可能在6500m以下,故其钻探风险大。

上面,从沉积相的研究出发,论证了地震异常体与生物礁密切相关。笔者建议地震队对上述异常体做一些特殊处理,以发现更多的礁型气井(藏)。

本文是75—54—02—02—01专题研究成果的一部分。地震时间剖面全由西南石油地质局第二物探大队提供。文中图件由我队李红同志清绘,在此表示感谢。

主要参考文献

周长祥, 1986, 礁的反射特征及解释, 石油地球物理勘探, 第 21 卷第 1 期。

彭景斌, 1981, 南海北部海域的礁块勘探, 石油地球物理勘探, 第 6 期。

张维庆等, 1990, 四川盆地及邻区晚二叠世生物礁, 四川科学技术出版社。

[美] C. E. 佩顿编, 地震地层学 (在油气勘探中的应用), 石油工业出版社。

CORRELATION OF SEISMIC ANOMALY TO ORGANIC REEFS BASED ON THE DISTRIBUTION OF SEDIMENTARY FACIES IN THE CHANGXING FORMATION IN NORTHEASTERN SICHUAN

Chen Zhaoguo

(Geological Research Party, Southwest China Bureau of Petroleum Geology)

Abstract

Twelve seismic anomalies have been found in northeastern Sichuan and its adjacent areas according to the direct or indirect criteria used for recognizing seismic anomalies. They can be classified into three types: lenticular seismic anomaly, elongated seismic anomaly and unreflecting seismic anomaly. All these anomalies occur above the T_4 reflector or in the sedimentary facies and organic reefs in the Changxing Formation, the author contends that the seismic anomalies are associated with the organic reefs rather than the other factors such as hummocky sandstone bodies, igneous masses, salt and mud mounds. Thus the potential seismic anomalies are determined on the basis of the characteristics of the seismic anomalies and well data.