

川东黄龙场构造上二叠统 长兴组生物礁特征与潜伏礁预测

李登华¹ 唐 跃² 殷积峰³ 李 军³ 谢 芬³

(1. 中国石油勘探开发研究院研究生部, 北京 100083; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;
3. 中国石油勘探开发研究院地质研究所, 北京 100083)

摘要:通过黄龙场 4 口上二叠统长兴组钻井岩心剖面和其他井相关资料的详细研究,证实黄龙 1 井、4 井有生物礁,黄龙 3 井、5 井无生物礁;生物礁由海绵障积岩组成,属于台地边缘礁。针对礁与非礁地层物性差异小,非均质性强,多解性问题突出的特点,运用地质、测井和地震相结合的预测方法,确定了黄龙 1 井区的生物礁气藏发育边界,并发现了黄龙 5 井西侧生物礁气藏,为川东生物礁预测提供了一种实用的方法。

关键词:黄龙场;长兴组;生物礁;潜伏礁预测

中图分类号:P588.24*8 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)02-0427-09

黄龙场构造位于川东北芭蕉场构造以东,温泉井西构造以北,渡口河、罗家寨构造以南的三角地带(图 1)。1988 年黄龙 1 井在上二叠统长兴组生物礁获得了高产工业气流,发现了黄龙场生物礁气田。目前该构造已完钻 9 口井,长兴组获

工业气井 4 口,生物礁钻探成功率 44.4%,钻探结果与预期效果相差甚远。黄龙场构造到底有没有生物礁?生物礁是什么类型?生物礁气藏是怎样分布的?诸多问题一直没有解决,也严重影响了黄龙场生物礁气田的勘探开发。

川东长兴组地层分为三段,生物礁主要发育在长二段和长三段,部分地区从长一段顶部开始发育^[1]。通过观察黄龙 1 井、3 井、4 井和 5 井的上二叠统长兴组岩心,结合对部分样品的薄片鉴定分析,发现黄龙 3 井和黄龙 5 井没有生物礁,黄龙 1 井仅有 0.4m 厚的生物礁,黄龙 4 井有 5.9m 厚的生物礁,都发育在长二段。

1 岩心分析

1.1 黄龙 1 井(图 2)

黄龙 1 井位于黄龙场构造高点,在上二叠统长兴组地层获得了高产工业气流。

生物礁结构不够清楚。主要特征是薄层的海绵障积岩发育在中厚层的白云质灰岩和灰质白云岩中,生物礁厚度仅 0.4m^[2]。海绵障积岩内,主要障积生物为串管海绵和纤维海绵,含量约 20%;次要生物为苔藓虫和古石孔藻等,包覆在海绵之外;基质为泥晶和微亮晶,部分已白云石化^[3]。

与生物礁伴生的白云质灰岩和灰质白云岩为细-粗粉晶结构,生物含量丰富,以海绵碎屑为主,次为棘皮类、腕足类

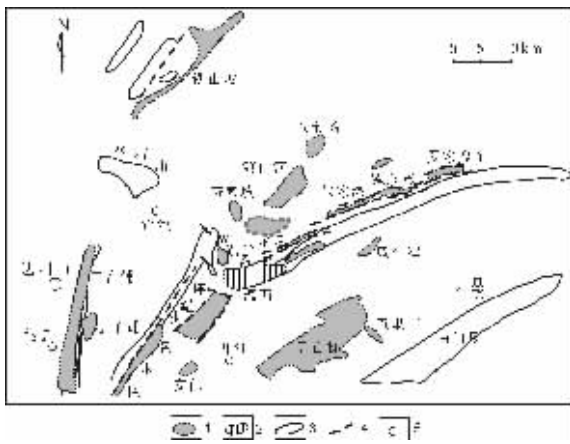


图 1 黄龙场构造位置图

1—气田;2—低产气田;3—构造;4—断层;5—城镇

Fig.1 Regional location map of the Huanglongchang structure

1—Gas field;2—Low-producing gas field;3—Structure;

4—fault;5—City and town

收稿日期:2005-12-10;改回日期:2006-03-01

基金项目:中国石油勘探开发研究院课题资助。

作者简介:李登华,男,1972 年生,博士生,主要从事含油气系统研究工作;E-mail:dragon-vip99@163.com。

| 层位 | 井深/m | 分层 | 岩性柱 | 厚度/m | 岩性特征 | 相分析 | |
|---------|---------|----|------|---|---|--------|--------|
| | | | | | | 亚相 | 相 |
| 长兴组 | 3944.00 | 14 | | 2.50 | 深灰色粉晶及泥晶生屑灰岩。生物含量丰富，以碎屑藻类为主，次为有孔虫、棘皮类 | 滩间 | 台地边缘浅滩 |
| | 3947.50 | 13 | | 38.05 | | | |
| | 3985.55 | 12 | | 0.40 | 海绵碎屑岩。海绵个体清晰 | 礁核 | 生物礁 |
| | 3985.95 | 11 | | 2.48 | 深灰色细—粗粉晶生屑灰岩。生物含量丰富，以海绵碎屑为主 | 生物碎屑滩 | 台地边缘浅滩 |
| | 3988.43 | 10 | | 4.32 | 浅灰褐色溶孔细粉晶—中晶云岩，结构疏松，孔洞发育。生物含量稀少，为零星分布的海百合残余 | 可能蒸发坪 | 台地边缘浅滩 |
| | 3992.75 | 9 | | 1.50 | | | |
| | 3994.25 | 8 | | 1.35 | 灰褐色中晶—粗粉晶针孔云岩，结构疏松，生物含量稀少 | 可能蒸发坪 | 台地边缘浅滩 |
| | 3995.60 | 7 | | 3.50 | | | |
| | 3998.10 | 6 | | 1.55 | 深灰色细—粗粉晶生屑灰岩，结构疏松，生物以棘皮类为主 | 棘屑滩 | 台地边缘浅滩 |
| | 3999.65 | 5 | | 6.80 | 浅灰褐色中晶—细粉晶针孔云岩，结构疏松，生物稀少，以棘皮类为主 | 可能蒸发坪 | 台地边缘浅滩 |
| | 4006.45 | 4 | | 0.75 | 灰褐色细粉—细晶灰岩，结构疏松 | 生物碎屑滩 | 台地边缘浅滩 |
| | 4007.20 | 3 | | 3.45 | 浅灰褐色细粉晶—细晶针孔、溶孔云岩，结构疏松。生物稀少，以海百合、棘皮类和碎屑为主 | 可能蒸发坪 | 台地边缘浅滩 |
| 4010.65 | 2 | | 5.05 | 褐灰色细粉晶—细晶生屑灰岩。生物含量丰富，以海绵和棘皮类为主，次为双壳类和腕足类 | 棘屑滩 | 台地边缘浅滩 | |
| 4015.70 | 1 | | 5.25 | 深灰色泥—细粉晶生屑灰岩，自上而下砂屑含量增加。生物含量丰富，以碎屑、海百合、有孔虫和藻类次之 | 滩间 | 台地边缘浅滩 | |
| 4020.90 | | | | | | | |

图2 黄龙1井上二叠统长兴组岩心综合柱状图

Fig.2 Composite column of cores from the Upper Permian Changxing Formation in the Huanglong No. 1 well

和苔藓虫等^[4]。

黄龙1井的礁岩不能构成储层，因其孔隙均被泥质充填，而且裂缝也不发育。该井的天然气储层主要由溶孔和针孔灰质白云岩组成。

1.2 黄龙3井(图3)

位于黄龙1井东侧，在上二叠统长兴组见气显示，试油

为水层。长兴组地层为大套厚层生屑灰岩夹薄层灰质白云岩，生屑中见有孔虫、棘皮类、腕足类、笔管和藻类，没有发现生物礁岩。

1.3 黄龙4井(图4)

位于黄龙1井北侧，在上二叠统长兴组地层获得了高产工业气流。

| 层位 | 井深/m | 分层 | 岩性柱 | 厚度/m | 岩性特征 | 相分析 |
|-----|---------|----|-----|------|---|-----|
| 长兴组 | 1238.00 | 3 | | 2.05 | 深灰色粉晶—泥晶生屑灰岩。生物含量丰富，以碎屑藻类为主，次为有孔虫、棘皮类 | 滩间 |
| | | 2 | | 1.05 | 深灰色细粉晶—中晶生屑灰岩。生物含量丰富，以海绵和棘皮类为主，次为双壳类和腕足类 | 棘屑滩 |
| 长兴组 | 1241.50 | 1 | | 5.25 | 深灰色泥—细粉晶生屑灰岩，自上而下砂屑含量增加。生物含量丰富，以碎屑、海百合、有孔虫和藻类次之 | 滩间 |
| | | | | | | |

图3 黄龙3井上二叠统长兴组岩心综合柱状图

Fig.3 Composite column of cores from the Upper Permian Changxing Formation in the Huanglong No. 3 well

| 层位 | 井深/m | 分层 | 岩性柱 | 厚度/m | 岩性特征 | 相分析 | |
|----|---------|----|-----|------|--|-------|--------|
| | | | | | | 亚相 | 相 |
| 长 | 3585.00 | 7 | | 6.2 | 浅灰色细-中晶云岩, 局部发育溶孔 | 可能蒸发坪 | 台地边缘浅滩 |
| | 3591.20 | 6 | | 13.8 | 灰褐色细-中晶生屑和藻屑灰岩, 局部云化作用强烈。生物发育, 见有孔虫、棘皮类和介形虫等 | 生屑滩 | 台地边缘浅滩 |
| 兴 | 3605.00 | 5 | | 7.9 | 灰色细-中晶云岩, 局部发育溶孔, 生物稀少 | 可能蒸发坪 | 台地边缘浅滩 |
| | 3612.90 | 4 | | 1.7 | 海绵障积岩, 生物含量丰富 | 礁核 | 生物礁 |
| 组 | 3614.60 | 3 | | 2.5 | 深灰色细粉晶生屑和藻屑灰岩, 生物含量丰富 | 滩间 | 台地边缘浅滩 |
| | 3617.10 | 2 | | 4.2 | 海绵障积岩, 生物含量丰富, 海绵为主, 见绿藻、红藻和棘皮类 | 礁核 | 生物礁 |
| | 3621.30 | 1 | | 12.1 | 深灰色细粉晶生屑灰岩, 生物碎屑以绿藻、海绵、有孔虫为主 | 滩间 | 台地边缘浅滩 |
| | 3633.40 | | | | | | |

图 4 黄龙 4 井上二叠统长兴组岩心综合柱状图

Fig.4 Composite column of cores from the Upper Permian Changxing Formation in the Huanglong No. 4 well

生物礁结构不够清楚。主要特征是中-薄层海绵障积岩, 发育在大套厚层细粉晶生屑灰岩内。生物礁厚度为 5.9 m。生屑灰岩中可识别出棘皮类、有孔虫、介形虫、海绵、红藻和绿藻等生物碎屑。

海绵障积岩的生物特点与黄龙 1 井相似, 只是基质以生物骨屑为主, 有白云石化现象。礁岩孔隙不发育, 但裂缝较多。礁岩可与生屑灰岩共同构成天然气储层。

1.4 黄龙 5 井(图 5)

位于黄龙 4 井的西北侧, 黄龙场构造北部高点上。在上二叠统长兴组地层获得了低产气流。

黄龙 5 井到底有没有生物礁一直是个悬而未决的问题。该井长兴组二段生物碎屑丰富, 特别是该段下部, 生物碎屑含量占 50%以上, 很多人认为这一段是礁。但通过岩心观察,

并取样做了薄片分析, 发现该段为深灰色泥晶-粉晶灰岩, 海绵和水螅等造礁生物含量确实超过 30%, 但都为碎片结构, 根本不是礁。不过造礁生物碎片如此丰富, 说明黄龙 5 井附近肯定有生物礁。

2 生物礁类型研究

生物礁的分类方法很多^[5], 笔者采取的分类方法是根据与海岸的相对位置, 将生物礁划分为岸礁、堤礁(也称堡礁)、边缘礁和单体礁(也称点礁或斑礁)^[6]。

岸礁, 或称镶边礁, 分布在海岸斜坡上, 向下斜坡部分生长, 与陆地或岛屿相连, 往往在退潮时露出水面。

单体礁, 或称点礁、斑礁, 从海洋深处升起, 或生长在水深数十米的陆棚上。其中一些发育在缓坡上, 一般不存在礁

| 层位 | 井深/m | 分层 | 岩性柱 | 厚度/m | 岩性特征 | 相分析 | |
|----|---------|----|-----|------|--|-------|--------|
| | | | | | | 亚相 | 相 |
| 长 | 3585.00 | 7 | | 6.2 | 浅灰色细-中晶云岩, 局部发育溶孔 | 可能蒸发坪 | 台地边缘浅滩 |
| | 3591.20 | 6 | | 13.8 | 灰褐色细-中晶生屑和藻屑灰岩, 局部云化作用强烈。生物发育, 见有孔虫、棘皮类和介形虫等 | 生屑滩 | 台地边缘浅滩 |
| 兴 | 3605.00 | 5 | | 7.9 | 灰色细-中晶云岩, 局部发育溶孔, 生物稀少 | 可能蒸发坪 | 台地边缘浅滩 |
| | 3612.90 | 4 | | 1.7 | 海绵障积岩, 生物含量丰富 | 礁核 | 生物礁 |
| 组 | 3614.60 | 3 | | 2.5 | 深灰色细粉晶生屑和藻屑灰岩, 生物含量丰富 | 滩间 | 台地边缘浅滩 |
| | 3617.10 | 2 | | 4.2 | 海绵障积岩, 生物含量丰富, 海绵为主, 见绿藻、红藻和棘皮类 | 礁核 | 生物礁 |
| | 3621.30 | 1 | | 12.1 | 深灰色细粉晶生屑灰岩, 生物碎屑以绿藻、海绵、有孔虫为主 | 滩间 | 台地边缘浅滩 |
| | 3633.40 | | | | | | |

图 5 黄龙 5 井上二叠统长兴组岩心综合柱状图

Fig.5 Composite column of cores from the Upper Permian Changxing Formation in the Huanglong No. 5 well

表 1 黄龙场地区上二叠统长兴组地层厚度

Table 1 Depth data of the Upper Permian Changxing Formation in the Huanglongchang area

| 井 号 | 地层厚度/m |
|-------|--------|
| 黄龙 1 | 171.0 |
| 黄龙 2 | 37.5 |
| 黄龙 3 | 172.0 |
| 黄龙 4 | 286.0 |
| 黄龙 5 | 317.5 |
| 黄龙 6 | 205.4 |
| 黄龙 8 | 200.0 |
| 黄龙 9 | 176.5 |
| 黄龙 10 | 272.0 |
| 渡 4 | 185.5 |
| 芭蕉 1 | 33.5 |


系。可分为内礁和外礁。内礁分布在海岸和堤礁或边缘礁之间,相当于礁后泻湖或礁后盆地中。外礁分布在以堤礁、边缘礁或岸礁为界的盆地最深处。

堤礁离岸有一定距离,常呈带状,其延伸方向多与海岸平行,礁后为泻湖沉积。

边缘礁位于台地边缘,远离海岸呈条带状分布,礁后沉积为正常海水的碳酸盐岩层或陆源碳酸盐岩层。

根据地面露头、井下岩心和地震资料分析^[7-9],川东已发现的晚二叠世长兴组生物礁大致可分两类:一类呈斑点状,直径为几百至几千米,分布在台地内部,为单体内礁,这类的数量最多,典型代表为椿木坪礁和板桥礁;另一类呈带状,长度可达几十千米,宽度可达数千米,分布在台地的边缘,为边缘礁,典型代表为红花礁和天东礁。岸礁、堤礁和单体外礁尚未发现(图 6)。

黄龙场生物礁是点礁还是边缘礁?点礁论者^[1,11]认为黄龙礁难以区分礁前和礁后相带,礁体规模小,符合点礁的形态描述。边缘礁论者^[10,11]认为黄龙礁处于开江—梁平海槽的边缘,虽个体不大,但符合边缘礁的定义,应该划入边缘礁范畴。

笔者对黄龙场构造及其周边完钻井的长兴组地层厚度做了统计,发现黄龙礁确实处于地层厚度明显变化的地带(表 1)。黄龙 1 井、3 井、4 井等的地层岩性都具有明显的浅水沉积特点,生物碎屑发育,红藻、绿藻和  等生物组合表明水深小于 30m^[2]。而黄龙 2 井和芭蕉 1 井地层厚度小于 40m,为深灰—黑灰色灰岩夹深灰带黑色燧石结核灰岩及深灰色泥灰岩,具有典型的深水沉积特征,根据区域构造发育和沉积演化特征分析^[10,13-14],应处于槽盆相内,故黄龙场生物礁生长在碳酸盐岩台地边缘是不容置疑的。对于礁体个体小、厚度薄、没有发现骨架岩和礁前角砾等现象,笔者认为并不是所有的边缘礁都是带状分布、宏伟壮观的。黄龙 1 等井的长兴组地层都在 165m 以上,黄龙 2 等井的长兴组地层都在 40m 以下,说明台地边缘与海槽的高差应在 120m 以上,边缘带的能量应该极强,海绵礁的抗浪性又比现代珊瑚礁差很多,因此个体较难长大。此外,边缘礁的概念强调的是生物礁与海岸的相对位置,礁体的大小与形态是次要的。鉴于以上分

析,笔者认为黄龙场生物礁属于边缘礁。

3 生物礁分布预测

1995 年黄龙场生物礁上报探明天然气储量时,预测生物礁的含气面积较大。可是随着勘探的深化,生物礁的范围越来越小,到底生物礁气藏是怎样分布的呢?笔者总结了前人的经验教训^[12,15-16],采用地质、测井和地震相结合的预测方法,取得了较好的效果。

3.1 地质定向

对于上二叠统生物礁气藏,沉积相控制生物礁的分布和规模,成岩作用控制储层的发育状况^[12]。黄龙场地区的沉积相主要有 3 种:槽盆相、陆棚边缘相和碳酸盐岩台地相。通过岩心观察、薄片分析和地层对比等地质研究,确定生物礁发育的陆棚边缘相应于黄龙 2 井以东,渡 4 井—黄龙 6 井—黄龙 9 井—黄龙 3 井一线以西。

3.2 测井定标

测井响应一般能反映 6 种生物礁地质特征参数(表 2),结合黄龙场地区取心和试油资料,发现生物礁气藏储层主要是与生物礁伴生的白云岩,具有特低—低伽玛值(一般小于 15API)、高补偿中子孔隙度和低—中声波速度的特点。

3.3 地震定界

本次研究在对黄龙场地区最新采集处理的三维地震资料精细解释的基础上,主要应用了 Jason 和 Landmark 可视化软件,对地下异常体进行了比较细致的刻画,取得了较好的成效。

3.3.1 反射结构分析

碳酸盐岩沉积物基本上是原地生成的或就近搬运的。由于造礁生物的生长速率快,生物礁的厚度一般比同期沉积物明显偏大,故常常会形成丘状或透镜状凸起。礁体与围岩之间存在速度和密度差异,礁顶面常有强的反射特征。在地震剖面上通常表现为双强相位平行反射,其连续性、光滑度均较好,反射频率也略高于围岩。造礁生物和附礁生物的生长不具有方向性,生物礁不显沉积层理,内部反射断续、杂乱或空白。但当生物礁在其生长过程中出现礁、滩互层时,内部可出现层状反射结构。生物礁底部反射往往不规则甚至不清楚。

表 2 测井响应与岩层地质特征关系

Table 2 Relation between log responses and geological features of rocks

| 测井方法 | 岩性 | 孔隙度 | 沉积层理 | 密度 | 泥质含量 | 水体能量 |
|--------|----|-----|------|----|------|------|
| 自然伽玛能谱 | 优 | 差 | 差 | 差 | 优 | 优 |
| 自然伽玛测井 | 好 | 好 | 好 | 差 | 优 | 优 |
| 电阻率测井 | 好 | 好 | 中 | 中 | 优 | 差 |
| 补偿中子测井 | 差 | 好 | 差 | 好 | 好 | 好 |
| 补偿密度测井 | 优 | 好 | 差 | 优 | 差 | 差 |
| 岩性密度测井 | 优 | 差 | 差 | 优 | 差 | 差 |
| 声波测井 | 中 | 优 | 差 | 优 | 差 | 中 |
| 地层倾角测井 | 好 | 中 | 优 | 中 | 差 | 中 |
| 井径 | 中 | 中 | 差 | 差 | 好 | 差 |

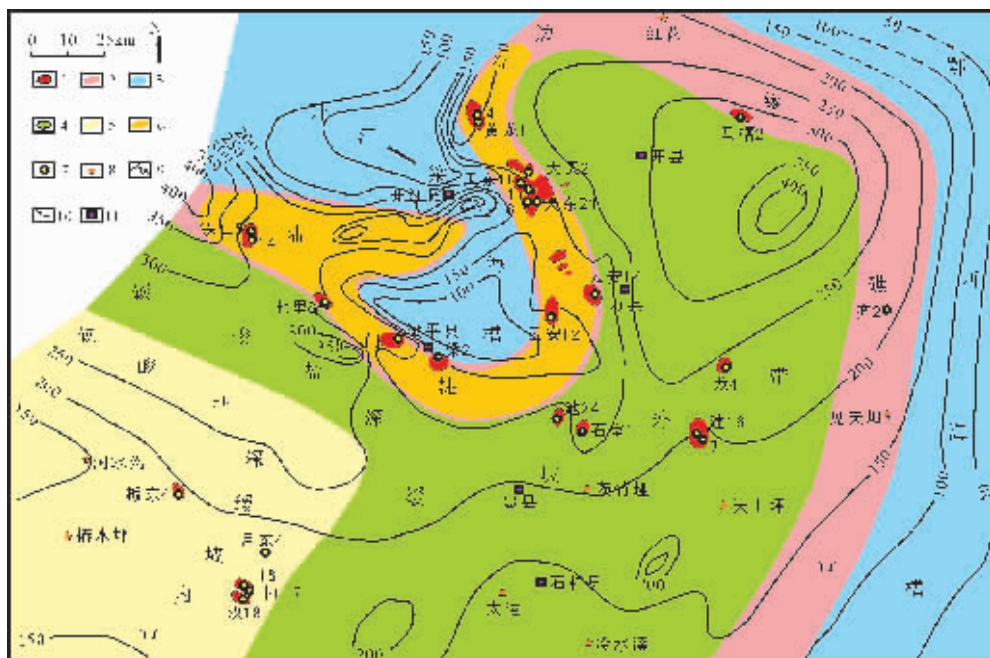


图 6 川东地区上二叠统长兴组沉积相及生物礁勘探有利区块预测图(据王一刚等^[10],有改动)

1—地下礁体;2—边缘礁带;3—海槽区;4—碳酸盐深缓坡外带;5—碳酸盐深缓坡内带;6—生物礁有利勘探区;
7—钻遇生物礁井;8—地面礁点;9— P_2^2 地层厚度等值线;10—推测地层厚度等值线;11—城镇

Fig.6 Prediction map of favorable exploration areas of reefs and sedimentary facies of the Upper Permian Changxing Formation in eastern Sichuan (modified from Wang Yigang, et al^[10])

1—Underground reef;2—Marginal reef zone;3—Oceanic trough;4—Carbonate deep gentle slope outer zone;5—Carbonate deep gentle slope inner zone;
6—Favorable exploration area of reefs;7—Well encountering reef;8—Surface reef;9—Isopach of P_2^2 ;10—Inferred isopach;11—City and town

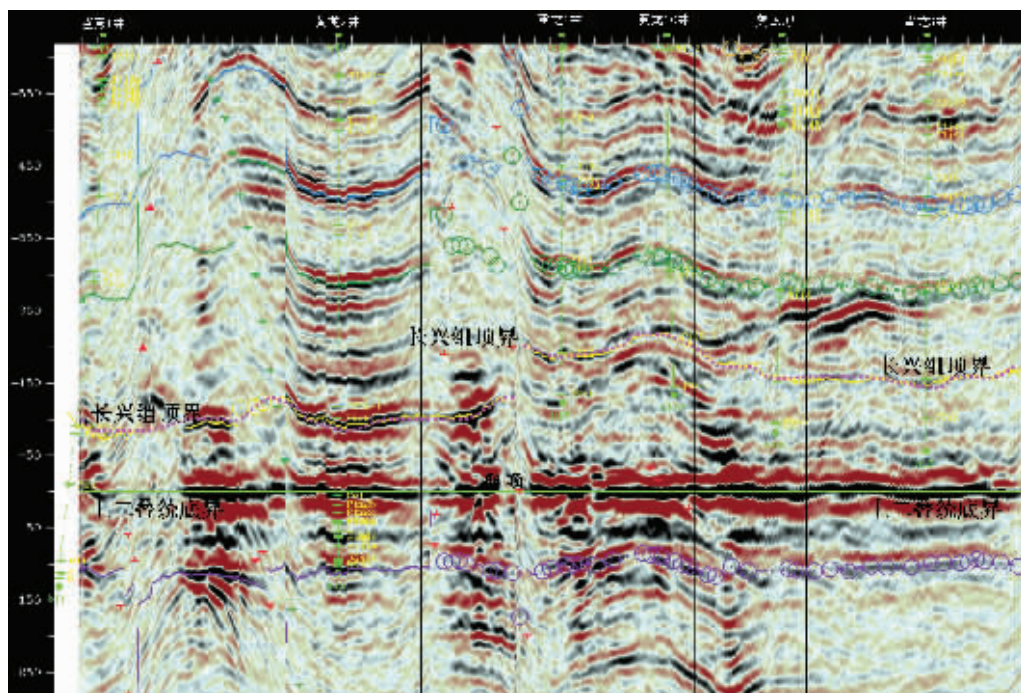


图 7 黄龙场构造上二叠统底界层拉平地震剖面图

Fig.7 Layer flattening seismic profile of the Upper Permian bottom in the Huanglongchang structure

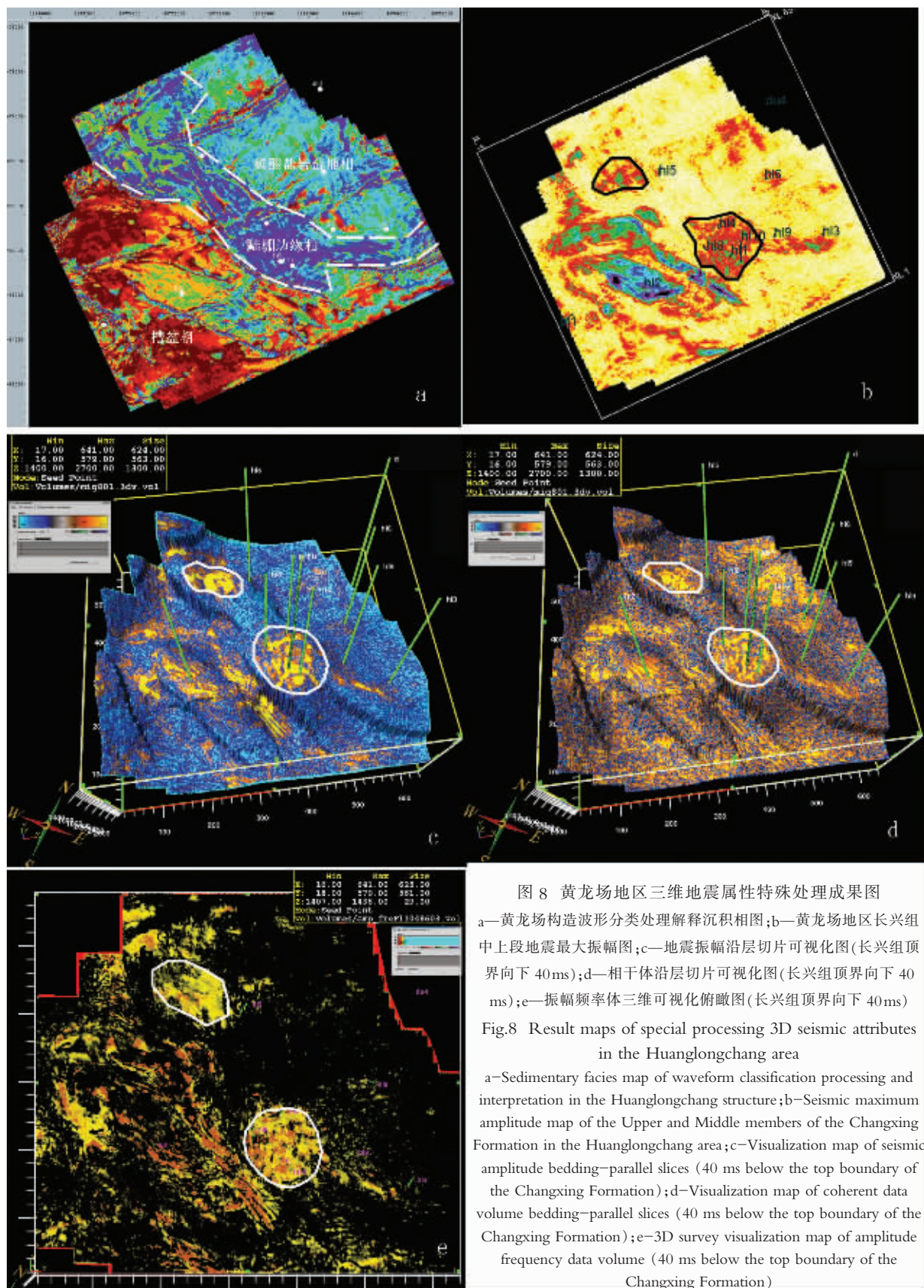


图8 黄龙场地区三维地震属性特殊处理成果图

a—黄龙场构造波形成类处理解释沉积相图;b—黄龙场地区长兴组中上段地震最大振幅图;c—地震振幅沿层切片可视化图(长兴组顶界向下40ms);d—相干体沿层切片可视化图(长兴组顶界向下40ms);e—振幅频率三维可视化俯瞰图(长兴组顶界向下40ms)

Fig.8 Result maps of special processing 3D seismic attributes in the Huanglongchang area

a—Sedimentary facies map of waveform classification processing and interpretation in the Huanglongchang structure;b—Seismic maximum amplitude map of the Upper and Middle members of the Changxing Formation in the Huanglongchang area;c—Visualization map of seismic amplitude bedding-parallel slices (40 ms below the top boundary of the Changxing Formation);d—Visualization map of coherent data volume bedding-parallel slices (40 ms below the top boundary of the Changxing Formation);e—3D survey visualization map of amplitude frequency data volume (40 ms below the top boundary of the Changxing Formation)

根据以上生物礁地震反射结构的特点,笔者选择生物礁下面的一套强反射层(上二叠统底界)做了层拉平处理(图7),可以看出黄龙2井、3井、9井钻探部位根本就没有礁的典型反射特征,而黄龙1井有较小的丘状凸起,黄龙10井(较高产工业气流)具有明显的丘状凸起。通过这种方法,找到了5个地震异常体,但川东生物礁20年的勘探实践表明并不是所有的异常体都是礁。

3.3.2 波形分类处理

地震波形是地震信号特征(振幅、频率、相位)的综合反应。通过神经网络技术对地震波形进行自动分类,在已知地质规律和钻井揭示地质信息的指导下,研究不同地震波形和沉积相带、沉积模式的关系,进行油气藏预测和描述。

将整个长兴组地层作为分析时窗,发现地震波形神经网络分类结果和区域沉积相带有较好的对应关系(图8-a);分析时窗沿长兴组顶面向下50ms时(相当于长一段—长二段),发现两个地质异常体。

3.3.3 属性分析

利用半幅能量、最大振幅(图8-b)、反射强度、振幅能量和反射频率等属性分析,还采用三维可视化技术,对振幅体、相干体和振幅频率体都进行了沿层切片可视化(图8-c-e),发现在长兴组顶面向下50ms左右(相当于长二段)有两个异常体稳定发育,与波形分类处理结果吻合得很好。

最终通过这种综合预测方法,确定了两个生物礁发育区,也对勘探现状做出了极好的解释。不仅划清了黄龙1井区生物礁的边界,而且新发现了黄龙5井西生物礁(图8-b-e),为黄龙场生物礁气藏下一步的勘探开发指明了方向。

4 与生物礁伴生的白云岩成因讨论

本区长兴组地层几乎都发育白云岩,而且往往与生物礁伴生的白云岩物性最好,也是天然气的主要储层。川东其他地区的生物礁气藏也大多具有这种特点。这些白云岩是怎么形成的呢?是否有较多的生物礁被白云石化了呢?

白云岩的成因大致有蒸发作用模式、渗流—回流模式、混合白云石化模式、埋藏白云石化和海水白云石化5个模式。王运生等^[1]、范嘉松等^[2]认为川东地区与长兴组生物礁伴生的白云岩,主要是混合白云石化模式形成的,埋藏白云石化模式也起一定的作用;强子同等^[17]认为主要是埋藏白云石化模式形成的,而且有多次交代。

黄龙场长兴组生物礁应该与同期川东生物礁具有很多相似性。笔者认为埋藏白云石化模式形成白云岩的可能性极大^[18]。地层中没有发现膏盐层等明显的泻湖沉积,故蒸发作用模式和渗流—回流模式形成的可能性不大。前已述及,黄龙场生物礁、滩发育于浅水中,所以混合白云石化模式有存在的可能性。由于发育在陆棚边缘,因此不能排除海水白云石化模式形成白云岩的可能性。笔者在这里仅做初步的探讨,对此还需要大量细致的研究工作。

5 结 论

(1)黄龙1井仅有0.4m厚的生物礁,黄龙4井生物礁厚5.9m,黄龙5井没有生物礁。生物礁发育在长二段,主要由海相障积岩组成,属于边缘礁,但发育不成熟。

(2)生物礁气藏储层段具有特低—低伽玛值(一般小于15API)、高补偿中子孔隙度和低—中声波速度的特点,而且往往与生物礁伴生的白云岩具有非常好的储集条件。

(3)黄龙场构造发育两个生物礁体,一个在黄龙1井区,另一个在黄龙5井西侧。

(4)以整个目标层系作为分析时窗,运用地震波形神经网络分类法,可以进行区域沉积相带预测。

致谢:在研究过程中,中国科学院地质与地球物理所的范嘉松教授给予了热情指导,并提供了很多极有价值的资料,特致以真诚的感谢。

参考文献(References):

- 王运生,金以钟.四川盆地长期生物礁及礁型气藏[J].矿物岩石,1996,16(2):62~69.
Wang Yunsheng, Jin Yizhong. The reefs of Changxing Period and the reef gas accumulation in Sichuan Basin[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1996, 16 (2): 62~69 (in Chinese with English abstract).
- 范嘉松,吴亚生.川东二叠纪生物礁的再认识[J].石油与天然气地质,2002,23(1):12~18.
Fan Jiasong, Wu Yasheng. Restudies on Permian reefs in Eastern Sichuan, China [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23 (1): 12~18 (in Chinese with English abstract).
- 范嘉松.中国生物礁与油气[M].北京:海洋出版社,1996.170~245.
Fan Jiasong. Reefs with Petroleum and Gas in China [M]. Beijing: Ocean Press, 1996. 170~245 (in Chinese with English abstract).
- 牟传龙,谭钦银,余谦,等.川东北地区上二叠统长兴组生物礁组合及成礁模式[J].沉积与特提斯地质,2004,24(3):65~71.
Mou Chuanlong, Tan Qinyin, Yu Qian, et al. The organic reefs and their reef-forming model for the Upper Permian Changxing Formation in northeastern Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(3): 65~71 (in Chinese with English abstract).
- 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.
Zhong Jianhua, Wen Zhifeng, Li Yong, et al. Organic reefs study: concept, classification, characteristics, history and development[J]. Geological Review, 2005, 51(3): 288~300 (in Chinese with English abstract).
- BI.库兹涅佐夫.礁地质学及礁的含油气性[M].北京:石油工业出版社,1983.16~21,59~66,129~162.
Kuznetsov VG. Geology and Petroliferous Property of Reefs [M] (Russian translation). Beijing: Petroleum Industry Press, 1983. 16~21, 59~66, 129~162 (in Chinese).

- [7] 吴亚生,范嘉松,金玉珂.晚二叠世末的生物礁出露及其意义[J].地质学报,2003,77(3):289~298.
Wu Yasheng,Fan Jiasong,Jin Yukan.Emergence of the Late Permian Changhsingian Reefs at the end of the Permian[J].Acta Geologica Sinica,2003,77(3):289~298(in Chinese with English abstract).
- [8] 曾伟,徐建斌,黄继祥,等.川东北地区长长期生物礁结构分类及分布[J].沉积学报,1998,16(3):132~136.
Zeng Wei,Xu Jianbin, Huang Jixiang ,et al.Structure classification and distribution of changxingian reefs in Northeast Sichuan[J]. Acta Sedimentologica Sinica,1998,16 (3):132~136 (in Chinese with English abstract).
- [9] 陈子焯,沈安江.川东-鄂西地区二叠纪生物礁成因类型及潜伏礁预测[J].中国区域地质,2000,19(3):288~295.
Chen Zidou,Shen Anjiang.Genetic types of Permian organic reefs and prediction of hidden reefs in the eastern Sichuan -western Hubei Area[J].Regional Geology of China,2000,19(3):288~295 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王一刚,文应初,张帆,等.川东地区上二叠统长兴组生物礁分布规律[J].天然气工业,1998,18(6):10~15.
Wang Yigang,Wen Yingchu,Zhang Fan,et al. Distribution law of the organic reefs in Changxing Formation of Upper Permian in East Sichuan[J].Natural Gas Industry,1998,18(6):10~15(in Chinese with English abstract).
- [11] 刘海林,徐明华,李灿平.川东黄龙场构造长兴组生物礁分布地震预测研究[J].物探化探计算技术,2002,24(2):106~110.
Liu Hailin,Xu Minghua,Li Canping .Reef of P2ch (Changxing Period) of Huanglongchang contitution in eastern Sichuan Basin [J].Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration ,2002,24 (2):106~110 (in Chinese with English abstract).
- [12] 刘划一,王一刚,杨雨,等.川东上二叠统生物礁气藏多元信息综合预测方法研究[J].天然气工业,1999,19(4):13~18.
Liu Huayi, Wang Yigang,Yang Yu,et al.A Study of multivariate informations comprehensive prediction method for the biohermal gas reservoir in Upper Permian Series in east Sichuan [J].Natural Gas Industry ,1999,19 (4):13~18 (in Chinese with English abstract).
- [13] 汪泽成,赵文智,张林,等.四川盆地构造地层与天然气勘探[M].北京:地质出版社,2002.220~223.
Wang Zecheng,Zhao Wenzhi,Zhang Lin ,et al.Tectono-Stratigraphy and Gas Exploration in Sichuan Basin [M]. Beijing:Geological Publishing House,2002.220~223.
- [14] 梅冥相,马永生,周丕康,等.碳酸盐沉积学导论[M].北京:地震出版社,1997.172~193.
Mei Mingxiang,Ma Yongsheng,Zhou Pikang,et al. An Introduction to Carbonate Sedimentology [M]. Beijing:Seismographic Press,1997.172~193.
- [15] 任兴国,姚声贤,罗利,等.川东生物礁测井响应及判别模式[J].测井技术,1999,23(3)190~197.
Ren Xingguo,Yao Shengxian,Luo Li,et al.Log Responses to bioreef in the East of Sichuan and its identification model[J].Well Logging Technology,1999,23(3)190~197 (in Chinese with English abstract).
- [16] 沈安江,陈子焯.南盘江地区二叠纪生物礁成因类型及潜伏礁预测[J].石油勘探与开发,2001,28(3):29~32.
Shen Anjiang,Chen Zidou. Genetic Type of Permian reefs and its application to prediction of buried reefs in Nanpanjiang, South China [J].Petroleum Exploration and Development,2001,28(3):29~32(in Chinese with English abstract).
- [17] 雷卞军,强子同,文应初.川东及邻区上二叠统生物礁的白云岩化[J].地质论评,1994,40(6):534~543.
Lei Bianjun,Qiang Zitong,Wen Yingchu. Dolomitization of the Upper Permian organic reefs in eastern Sichuan and its adjacent areas [J].Geological Review,1994,40 (6):534~543 (in Chinese with English abstract).
- [18] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等.四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布[J].地学前缘,2005,12(3):179~185.
Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Guo Tonglou,et al.Sequence stratigraphy and reservoir distribution of the Changxing Formation in northeastern Sichuan Basin [J].Earth Science Frontiers,2005,12 (3):179~185(in Chinese with English abstract).

Features of organic reefs in the Upper Permian Changxing Formation and prediction of hidden reefs in the Huanglongchang structure, eastern Sichuan

LI Deng-hua¹, TANG Yue², YIN Ji-feng³, LI Jun³, XIE Fen³

(1. Doctor Candidate 2004 Grade of Graduate Department of RIPED PetroChina, Beijing 100083, China;

2. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China;

3. Institute of Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Study of four well cores and relevant data of other wells obtained from the Upper Permian Changxing Formation in the Huanglongchang structure has demonstrated that there are organic reefs in cores from the Huanglong No. 1 well and Huanglong No. 4 well but no reefs in cores from the Huanglong No. 3 well and Huanglong No. 5 well. The reefs consist of sponge bafflestones, which belong to carbonate platform margin reefs. Due to little difference in physical properties of reef and non-reef strata, strong heterogeneity in reefs and outstanding multiple solutions to the prediction problem, the authors used the prediction method of combining geological, logging and seismic approaches to determine the boundary of the organic reef gas reservoir in the Huanglong No.1 well area and found an organic reef gas reservoir on the western side of the Huanglong No. 5 well. Thus a practical method for predicting reefs is provided.

Key words: Huanglongchang; Changxing Formation; reef; hidden reef prediction

About the first author: LI Deng-hua, male, born in 1972, Ph.D candidate, mainly engages in petroleum system research; E-mail: dragon-vip99@163.com.