

文章编号: 1001-6112(2011)S1-0023-04

# 顺西三维碳酸盐岩储层 “串珠”状异常反射识别及评价

李玉兰, 沈向存, 楚宪波

(中国石化 西北油田分公司 勘探开发研究院, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**通过对已钻井的储层特征分析,以及前人对串珠状异常反射岩溶缝洞型储层成功经验以及岩溶缝洞型储层模型正演的结果为指导,应用均方根振幅体时间切片、振幅变化率和地震时间偏移剖面三结合的方法,在研究区中发现了一批岩溶缝洞型储层。通过构造图、古地貌等方法对串珠做了初步的划分评价。

**关键词:**上奥陶统;“串珠”状异常体;均方根切片;振幅变化率;塔中

**中图分类号:**TE122.2<sup>+</sup>3

**文献标识码:**A

## Recognition and evaluation of string beads anomaly reflection in 3D seismic profile of carbonate reservoirs, Shunxi area

Li Yulan, Shen Xiangcun, Chu Xianbo

(Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** Based on analysis of reservoir characteristics of drilled well and successful experience of studying string beads anomaly reflection on karst-fracture-cavity type reservoirs in Tahe oilfield, passel karst-fracture-cavity type reservoirs had been discovered in the study area. The discovery was resulted from the forward modeling of karst-fracture-cavity type reservoirs, combining time slice of root mean square amplitude, change rate of amplitude and seismic time migration section. The string beads anomaly reflection was also classified and appraised by depicting the present structure and paleogeomorphic characteristics and so on.

**Key words:** Upper Ordovician; string beads anomaly reflection; time slice of root mean square amplitude; change rate of amplitude; Tazhong

顺西三维区块位于塔中 I 号断裂坡折带西部倾末端,已钻井 S2, S3, S4 和 S6 井(图 1),在台地边缘与台地内均揭示上奥陶统良里塔格组和鹰山组发育碳酸盐岩储层,见不同级别的油气显示,但没有实质性的突破<sup>[1]</sup>。前期中石油探区围绕塔中 I 号断裂带上奥陶统良里塔格组储层发育特征与影响因素的研究揭示,准同生期岩溶作用<sup>[2-3]</sup>、埋藏溶蚀作用<sup>[4-5]</sup>以及断裂裂缝<sup>[6-7]</sup>的改造对储层发育有积极影响作用。针对岩溶缝洞型储层,中石油多口钻井获高产工业油气流。根据研究区已钻井的岩心和铸体薄片观察以及成像测井资料显示,研究区良里塔格组储集空间主要以次生溶蚀孔洞与裂缝为主。鉴于这一情况,笔者开展了研究区岩溶缝洞型储层识别及初步评价研究。

## 1 “串珠”状异常反射特征分析

结合岩溶储层的主控因素、储层类型及其发育程度,开展岩溶储层的地震响应特征统计分析,得出岩溶风化壳储层的地震响应特征。

### 1.1 正演模拟技术

正演模型计算是假定地下地质情况为已知,且应用地震波的运动学和动力学原理来计算给定地质模型的地震响应。在研究区采用有限差分法进行地震数值模拟<sup>[8]</sup>。

基于塔中实际裂缝溶孔储层对应的地震剖面以及钻遇储层的统计特征,所设计的储层模型主要考虑的因素有:(1)裂缝、溶孔组合方式:单个孔洞模型、裂缝模型、小孔洞组成的“蜂窝状”储集体模型、“蜂窝状”溶洞与微裂缝联合体模型、



图 1 研究区位置示意

Fig. 1 Location of the study area

“蜂窝状”溶洞位于速度渐变的围岩中的复合缝洞型储层模型；(2)缝洞模型的充填物及充填方式为充填流体(油或水)、充填较致密、半充填；(3)缝洞模型的形态分为视椭圆水平展布、倾斜展布、叠层状。根据研究区地震剖面上的缝洞波场特征及钻井资料,设计了以下 2 个模型:S4—S6 连井地质模型和 S4—S3—S2 井模型。均为了研究礁滩体和溶孔裂缝储层的反射特征。如图 2 所示,S4,S2 井位于溶孔裂缝储层对应弱反射、杂乱反射特征,界面反射变弱;S3 井处出现丘形反射特征,内部结构明显,有增厚现象;在溶洞 1—7 处可以看出,溶洞 1,7 在地震剖面上没有反应,溶洞 2,3,5,6 反射较弱,而溶洞 4 形成明显的“串珠状”反射特征。由此分析可知,在研究区的地层条件下,当溶洞规模为 20 m×20 m 时,可形成“串珠状”反射特征;横向为 10~20 m,纵向为 5~10 m 时,在地震剖面上引起串珠状强反射,当

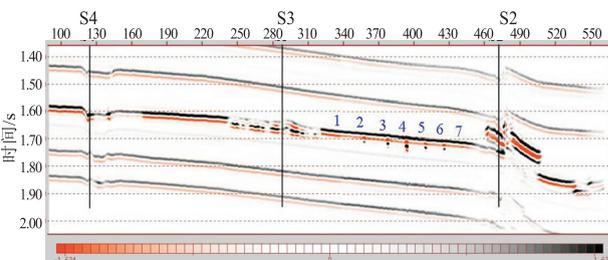


图 2 储层参数修改后地震地质模型偏移剖面

Fig. 2 The seismic and geological model of revised reservoir parameters in excursion profile

溶洞规模横向小于 5 m,纵向小于 5 m 时,地震响应特征不明显。通过正演模拟明确了塔中地区缝洞储集体的地震响应特征,有助于有针对地开展储层预测研究。

### 1.2 已钻井“串珠状”异常反射验证

根据塔河和邻区中石油探区的钻探经验,在奥陶系碳酸盐岩储层中打到的串珠状异常体有很多获得高产的油气流(图 3)。中石油新钻的新 6 井奥陶系见显示 10 m/3 层,主要显示段: 6 875~6 878 m(O<sub>2</sub>y), TG 0.63 ↑ 2.13%, C<sub>1</sub> 0.2309 ↑ 1.178 8%,组分全。测井解释储层:Ⅱ类 2 m/1 层,Ⅲ类 24 m/2 层,6 850~6 920 m 进行裸眼酸压测试。5 mm 油嘴,油压 20.2 MPa,折日产油 85 m<sup>3</sup>、气 2.4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。温度为 20 ℃ 时原油密度 0.856~0.862 g/cm<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>S 含量(60~

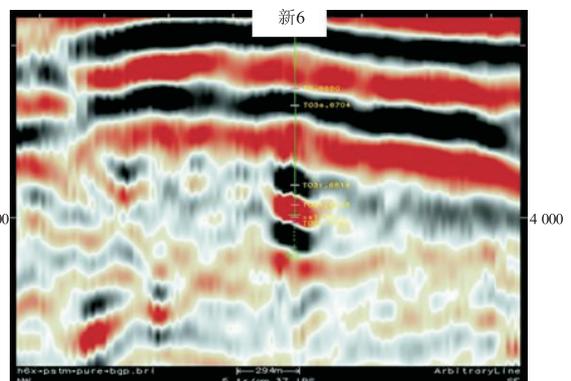


图 3 中石油新钻井串珠状异常反射地震剖面

Fig. 3 Seismic profile showing beaded anomaly reflex in well by of PetroChina

100)×10<sup>-6</sup>。而在塔中中石化探区内,在已钻的30余口探井里面,只有中17井打到弱串珠状异常反射体,测试为水层外,其它没有明显打到串珠状异常体的井。所以,塔河和中石油的实践勘探证明,串珠状异常体与储层有比较好的对应关系。

## 2 “串珠”状异常反射识别与评价

目前塔河“串珠状”岩溶缝洞型储层识别技术已经比较成熟。主要在层位、断层精细解释的基础上,针对串珠状异常反射的发育层位和时窗,提取振幅变化率属性,在配合趋势面和断裂平面分布图件来筛选、评价岩溶缝洞发育的有利区带以及溶洞的发育规模及储集体的空间大小。中石油对“串珠”状溶洞储层的识别主要采用振幅变化率和均方根属性,储集空间的大小用三维显示来雕刻。针对研究区已钻井的溶洞发育大小以及地震剖面上串珠状异常体的反射强度,通过各个时窗、多种属性的尝试,最终认为研究区岩溶缝洞型储层识别的有效属性主要有均方根和振幅变化率,基本上可以满足当前勘探阶段中不同级别岩溶储层的发育特征。

### 2.1 “串珠”状异常反射识别

研究区串珠状异常体主要发育在上奥陶统良里塔格组和中下奥陶统鹰山组。前期根据串珠的发育时窗,主要采用目的层段在一定时窗内提取属性,这样,就比较容易漏掉一些振幅比较弱的串珠。本次对串珠的识别采用体的形式来识别,就是生成一个均方根振幅体,2 ms 为时窗间隔,以切片的形式对研究区串珠状异常反射进行识别(图4),图中绿色的亮点代表串珠状异常体发育的位置,同时结合地震时间偏移剖面,对其进行落实、锁定。

在均方根振幅体切片识别基础上,针对剖面上串珠异常的反射时间,提取振幅变化率属性,寻找、

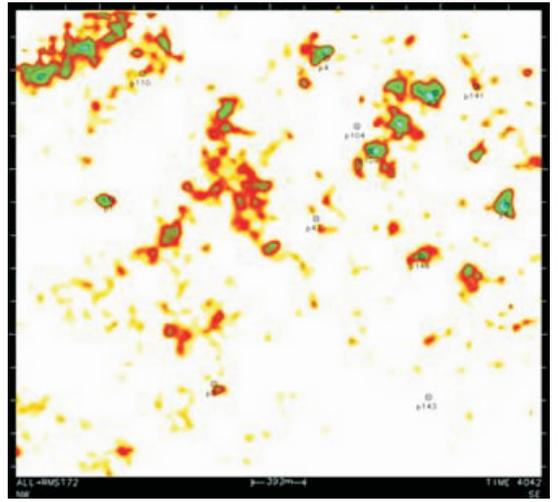


图4 均方根振幅切片

Fig. 4 RMS amplitude slice

补充遗漏的串珠异常点。同时结合古地貌、断裂确定岩溶缝洞型储层的分布范围。

通过对研究区串珠状异常反射的识别,发现一大批岩溶缝洞型储层。一方面根据其反射形态主要可以分为点状、板状和条状(图5)。图5A所示,异常点在地震剖面为点状反射的特征,一谷一峰,周围没有与之振幅强度相当的波谷或者波峰;图5B所示串珠代表一种板状形态,在剖面上表现为同相轴下拉;图5C表示另外一种条形串珠,不管在纵向还是横向均表现为有一定距离的强振幅异常条带,同时同一相位总有振幅强弱的变化。针对串珠异常体在剖面上的反射形态,笔者认为假设这种异常串珠与储层有很好的对应关系,那么是不是它的形态也就代表了岩溶缝洞型储层的外观形态呢?如果成立,笔者则大胆推想,点状代表孤立的岩溶洞;板状代表岩溶洞塌陷;条状则代表岩溶缝洞比较发育的一个带,并且溶洞不是很大,彼此之间

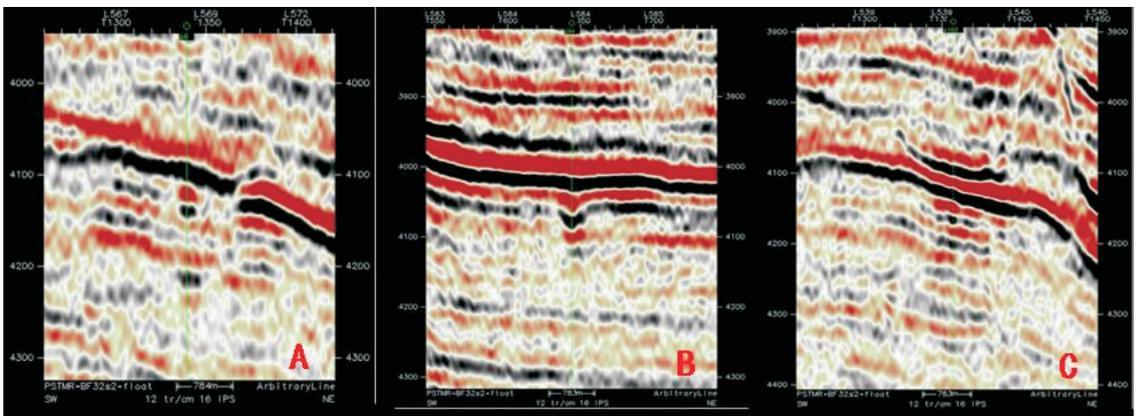


图5 串珠状异常体反射形态分类

Fig. 5 The typical classification of beaded anomaly reflex

可以联通。当然,这一推想需要钻井来验证。另一方面,根据发育层位来分,则主要发育在奥陶系良里塔格组,发现的串珠状反射占总数的 64.5%;鹰山组次之,占总数的 31.9%;寒武系最少,只有 5 个。由此是不是可以推断在研究区中下奥陶统的风化剥蚀作用不发育,有待进一步研究。

## 2.2 “串珠”状异常反射初步评价

在“串珠”状异常反射体的识别基础上,通过对串珠状异常体的反射形态、反射强度进行分析,根据在今构造、古地貌、趋势面、曲率面、裂缝检测等所处的位置以及衰减梯度、振幅变化率上的响应强度,对每个串珠状异常体逐项评价对比。最终在奥陶系良里塔格组发现一类串珠 23 个、二类串珠 68 个;在中下奥陶统鹰山组发现一类串珠 2 个、二类串珠 43 个。

## 3 结论和建议

通过总结塔河和中石油探区钻探“串珠”状异常反射岩溶缝洞型储层的成功经验,用模型正演结果来指导,通过均方根振幅体、振幅变化率以及地震剖面三结合的方法在研究区发现了一批串珠状异常体。下一步工作应该注重以下 3 方面:(1)对已钻井、特别是中石油已经钻探的串珠状异常反射井,认真总结其产油井、产水井、干井以及高产井串珠反射特征的剖面形态、反射强度、所处沉积相的位置,以及发育层位和主控因素的评价认识。(2)加强地质研究工作,初步给出研究区沉积亚相及微

相的分布范围。(3)在经验总结和地质研究的基础上,对研究区的异常反射串珠重新评价、分析,最终达到为井位部署提供井位和部署依据。

致谢:在文章的编写和研究区的方法试验、确定过程中得到王保才所长、沈向存主任和项目组全体成员的大力支持和帮助,在此表示深深的谢意。

### 参考文献:

- [1] 李慧莉,钱一雄,沙旭光,等. 塔里木盆地卡塔克隆起西北倾没端良里塔格组碳酸盐岩储层发育特征与影响因素[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1): 69-75.
- [2] 王振宇,李宇平,陈景山,等. 塔中地区中一晚奥陶世碳酸盐岩陆棚边缘大气成岩透镜体的发育特征[J]. 地质科学,2002,37(增刊):132-160.
- [3] 刘忠宝,于炳松,李廷艳,等. 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制[J]. 沉积学报,2004,22(1): 103-109.
- [4] 张兴阳,顾家裕,罗平,等. 塔里木盆地奥陶系萤石成因及其油气地质意义[J]. 岩石学报,2006,22(8):2220-2228.
- [5] 李开开,蔡春芳,蔡璐璐,等. 塔中地区上奥陶统热液流体与热化学硫酸盐还原作用[J]. 石油与天然气地质,2008,29(2):217-222.
- [6] 魏国齐,贾承造,宋惠珍,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系构造—沉积模式与碳酸盐岩裂缝储层预测[J]. 沉积学报,2000,18(3):408-413.
- [7] 刘忠宝,孙华,于炳松,等. 裂缝对塔中奥陶系碳酸盐岩储集层岩溶发育控制[J]. 新疆石油地质,2007,28(3): 289-291.
- [8] 王振卿,王宏斌,龚洪林,等. 塔中地区碳酸盐岩储层预测技术[J]. 天然气技术,2009,3(1): 23-26.

(编辑 叶德燎)