

# 沾化凹陷东部长堤凸起周缘生物灰岩地震相及 储层预测技术研究

赵约翰

(中国石化胜利油田分公司, 山东东营 257000)

**摘要:** 沾化凹陷东部长堤区块生物灰岩发育较薄, 前期的研究方法无法有效识别和预测生物灰岩的展布范围。基于地震相研究方法, 运用钻井、测井、地震等资料, 对沾化凹陷东部长堤凸起沙一段生物灰岩地震相特征及预测技术进行系统研究。将长堤区块生物灰岩的地震相划分为楔状相、充填相、中振幅中连续性席状相等类型。每种地震相类型对应不同的地震反射特征, 运用不同的属性对生物灰岩进行预测, 提取其敏感参数并对整个研究区生物灰岩可能发育厚度进行计算, 确定生物灰岩的平面厚度分布特征。使用波动方程正演模拟检验地质模型, 与实际资料吻合较好。

**关键词:** 沾化凹陷长堤区块; 地震相; 生物灰岩; 敏感属性; 正演模拟; 沙一段

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

## Seismic facies and reservoir prediction technology of Biolimestone around Changdi uplift in eastern Zhanhua sag

ZHAO Yuehan

(Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257000, China)

**Abstract:** Biolimestone in Changdi block of eastern Zhanhua sag is relatively thin, and the previous research methods cannot effectively identify and predict the distribution range of Biolimestone. Based on the method of seismic facies research, by using drilling, logging and seismic data, the seismic facies characteristics and prediction technology of Biolimestone in the first member of Shahejie formation of Changdi uplift in eastern Zhanhua sag are systematically studied. Biolimestone in Changdi block can be divided into seismic phases: wedge-shaped phase, filling phase, continuous sheet phase with medium sheet phase with strong amplitude and continuity. Each type of seismic facies corresponds to different seismic reflection characteristics. The sensitive parameters of Biolimestone are extracted by using different properties and the possible thickness of Biolimestone in the whole study area is calculated to determine the planar thickness distribution characteristics of Biolimestone. The geological model is tested by wave equation forward simulation, and the result is in good agreement with the actual data.

**Key words:** Changdi block of Zhanhua sag; seismic facies; biogenic limestone; sensitive attributes; forward modeling; first member of Shahejie formation

长堤区块位于沾化凹陷与黄河口凹陷之间, 已完钻探井 51 口, 长堤-桩海区块已上报探明石油地质储量  $3\ 378 \times 10^4$  t, 取得了良好的勘探效果。勘探实践证明, 沙一段是沾化凹陷长堤区块油气勘探的重要目的层系之一。长堤区块有 35 口探井于沙一段钻遇油气显示, 其中试油试采井 22 口, 获工业油流井 13 口, 低产油流井 4 口, 出水井 5 口, 整个长堤

区块仅有 3 口探井(桩 13 井、桩海 6 井、桩海古 1 井)未钻遇生物灰岩, 显示长堤区块沙一段生物灰

收稿日期: 2018-01-15

作者简介: 赵约翰, 副研究员, 1982 年生, 2005 年毕业于长江大学勘查技术与工程专业, 现从事油气勘探方面工作。  
基金项目: 国家油气重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2016ZX05006)。

岩具有良好的勘探潜力。但由于探区生物灰岩发育较薄,前期的研究方法无法有效识别和预测生物灰岩的展布范围。本次对地震相开展研究,优选地震敏感属性,确定瞬时振幅和子波包络为生物灰岩敏感属性;相对于常规地震属性,敏感属性生物灰岩预测精度平均提高 35.15%,进行地震正演模拟检验建立的地质模型,建立的斜坡正演模型和复合型正演模型与实际地震剖面吻合度较高。

## 1 地震相类型

地震相划分是研究地震地层学的重要目的之一,对油气勘探具有十分重要的意义。在一个地震层序

内包含着不同沉积相带<sup>[1-2]</sup>。由于沉积环境的不同,在岩性参数上会表现出差异,地震剖面上表现出不同的地震相特征。提取和分析地震层序内的地震相特征参数,将具有大致相同的地震相特征、属于同一类地震相模式的层段识别出来,达到地震相识别的目的。

根据规定地震参数(反射结构、振幅、连续性和频率)对地震相单元进行识别,长堤高精度三维地震资料品质较高,并在遵循沉积体系匹配和以岩心相为准的解释原则基础上,识别出典型楔状相(图 1a)、充填相(图 1b)、中振幅中连续席状相(图 1c)和弱振幅弱连续席状相,对其中三种进行了不同层序格架下地震相平面变化规律分析。

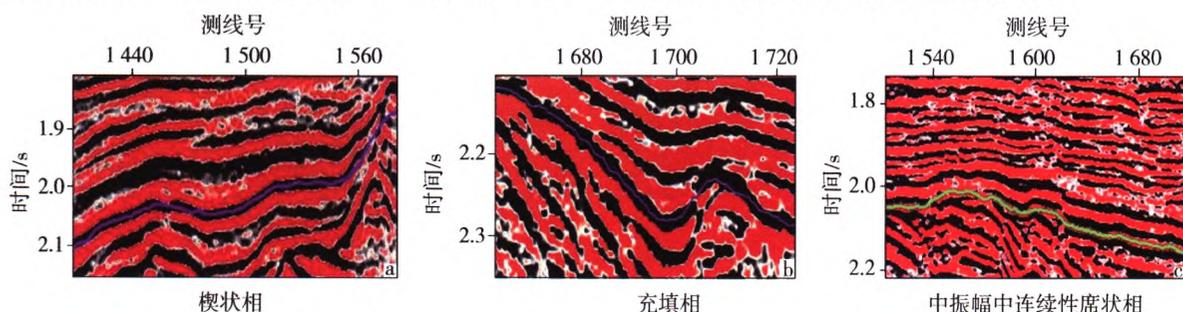


图 1 长堤区块地震相剖面图

楔状相多分布在研究区周围,充填相多呈长轴沿南北向展布,中振幅中连续席状相一般靠近边界断层处分布(图 2)。

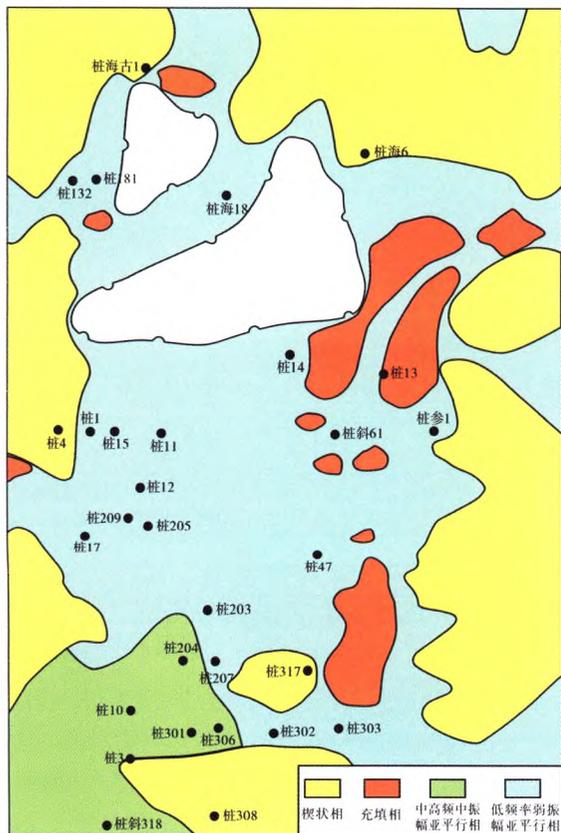


图 2 沙一段地震相平面分布特征

## 2 生物灰岩地震敏感属性分析

针对长堤区块沙河街组沙一段,提取了均方根振幅、弧长属性、瞬时频率等 20 多种常规地震属性<sup>[3-4]</sup>。

### 2.1 均方根振幅属性

均方根振幅(RMS)对高振幅比较敏感。均方根振幅常用来追踪三角洲、河道砂、含气砂体等的岩性变化。当地层非均质性较明显时,如岩性为砂泥岩互层或砂岩中充填油气等流体时,均方根振幅会表现为高值,当岩性较纯时,其均方根振幅小于砂泥岩互层的均方根振幅。

如图 3a,均方根振幅属性高值主要以条带状、北西-南东倾向分布在研究区中部。在桩 317 和桩 308 井附近,均方根振幅属性较高经过 30 Hz 分频处理后,地震数据体缺少高频信号,导致处理后振幅更弱,所以均方根振幅属性不能很好地反映生物灰岩厚度变化。

### 2.2 弧长振幅属性

弧长振幅是在时窗内对所有地震道振幅变化比例测量得到的值。弧长属性振幅北部和南部相比,最大振幅属性更弱,在楔状相发育的区块振幅属性

最弱, 弧长振幅分布特征与均方根振幅和最大振幅 基本一致, 不能很好地指示生物灰岩的分布(图 3b)。

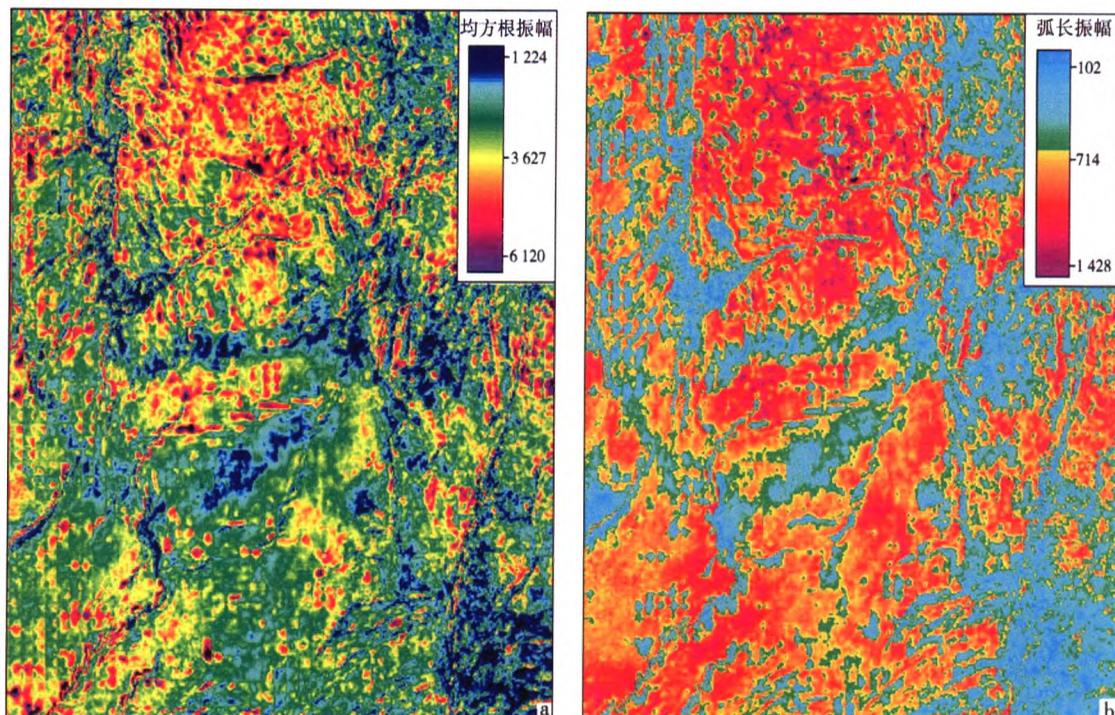


图3 长堤区块沙一段多振幅属性

### 2.3 子波包络属性

属于线积分分类属性。线积分是将时窗内地震波包络线的长度作为一种属性, 其数值大小可以反映地震剖面上振幅和频率的变化, 数值较大对应高水位的细岩性, 数值较小对应粗岩性。子波包络属性与生物灰岩厚度的相关系数为 0.801 3, 相关性较好, 可以作为生物灰岩厚度的敏感属性。

### 2.4 瞬时类属性

瞬时相位是地震剖面上同相轴连续性的量度<sup>[5-7]</sup>, 无论能量的强弱, 其相位都能显示出来, 即使是弱振幅有效波在瞬时相位图上也能很好地显示出来。当波在各向异性的均匀介质中传播时, 其相位是连

续的; 当波在异常介质中传播时, 其相位将在异常位置发生显著变化, 在剖面图中明显不连续。因此, 利用瞬时相位能够较好地辨别地下分层和地下异常。当瞬时相位剖面图中出现相位不连续时, 就可以判断该处存在分层或异常。

## 3 敏感属性优选与效果分析

根据属性和灰岩厚度的相关系数大小, 即属性值和灰岩厚度值交汇点相关程度, 可将属性分为相关性较好、相关性中等、相关性较差和相关性极差四类(表 1)。

表 1 长堤区块沙一段地震属性相关类型统计

相关性较好 (相关系数>0.8)	相关性中等 (相关系数 0.4~0.8)	相关性较差 (相关系数 0.1~0.4)	相关性极差 (相关系数<0.1)
瞬时振幅	最大振幅	均方根振幅 弧长属性	正负能量比
子波包络	频谱成像	倾角方位角 最大绝对值	瞬时频率

本次提取的均方根振幅属性、最大振幅属性和弧长振幅属性等多种属性中, 选取与沙一段生物灰岩厚度相关性较好的属性作为研究区敏感参数, 即瞬时振幅属性和子波包络属性。分频后的瞬时振幅生物灰岩综合预测精度达到 87.38%, 分频后的最大振幅生物灰岩综合预测精度达到 52.23%。相对于常规地震属性, 敏感属性生物灰岩预测精度平均提高 35.15% (表 2)。

## 4 生物灰岩发育模式正演模拟

基于前人做过的碳酸盐岩正演研究<sup>[8-9]</sup>, 经过综合对比, 选择的速度模型参数为: 生物灰岩 4 000 m/s, 生物云岩 4 200 m/s, 灰质泥岩 3 800 m/s, 砂质泥岩 3 200 m/s, 泥岩层 2 500 m/s, 上覆岩层 3 000 m/s, 下伏岩层 3 500 m/s。

表2 长堤区块沙一段地震敏感属性预测精度

井名	生物灰岩 厚度/m	云岩、灰岩 厚度/m	总厚度/m	最大振幅	最大振幅预测 厚度/m	相对误差/%	瞬时振幅	瞬时振幅预 测厚度/m	相对误差/%
桩1	0	4.00	4.0	0.02	2.42	14.56	2.66	3.42	14.56
桩4	1.00	4.00	5.0	0.03	10.33	106.67	3.05	4.20	15.96
桩11	5.50	6.00	11.5	0.02	4.00	65.22	7.12	12.26	6.58
桩12	4.50	4.50	9.0	0.02	3.25	63.89	5.47	8.99	0.13
桩14	1.50	1.50	3.0	0.02	3.17	5.56	2.30	2.71	9.72
桩17	0.50	2.00	2.5	0.02	2.92	16.67	2.20	2.50	0.10
桩202	1.50	4.00	5.5	0.02	1.33	75.76	3.47	5.03	8.63
桩203	4.00	5.50	9.5	0.02	7.08	25.44	4.74	7.54	20.67
桩204	1.00	4.00	5.0	0.02	4.75	5.00	3.20	4.50	10.00
桩205	1.00	1.00	2.0	0.02	2.50	25.00	2.03	2.17	8.37
桩207	1.50	1.50	3.0	0.02	2.33	22.22	2.77	3.64	21.45
桩209	2.30	2.30	4.6	0.03	7.92	72.10	2.86	3.82	16.98
桩306	2.00	2.00	4.0	0.03	9.92	147.92	3.38	4.85	21.37
桩参1	3.00	4.00	7.0	0.03	9.25	32.14	4.43	6.92	1.13
桩302	0.50	2.50	3.0	0.02	5.42	80.56	2.78	3.65	21.61
桩301	7.00	9.50	7.0	0.03	11.75	67.86	5.10	8.26	17.98
桩3	2.00	5.00	7.0	0.02	7.33	4.76	3.29	4.67	33.30
桩317	2.50	2.50	5.0	0.02	5.33	6.67	3.15	4.40	11.99
桩海6	0.00	2.00	2.0	0.02	0.17	91.67	1.89	1.88	5.87
桩181	2.00	0.00	2.0	0.02	0.83	58.33	1.85	1.82	8.89
桩海18	3.50	3.50	7.0	0.02	6.08	13.10	4.84	7.75	10.73
桩132	0.50	4.00	4.5	0.012	2.25	50.00	2.94	3.98	11.54

#### 4.1 斜坡生物滩发育正演模型

经过综合考量,选取碳酸盐岩正演速度,建立斜坡生物滩速度模型。根据地质模型,进行波动方程正演处理,获得正演模型。采用 30 Hz 的雷克子波。斜坡生物滩正演模型中,多期生物滩沉积在剖面以弱反射特征出现,生物灰岩与下伏地层波阻抗差异大,在沙一段底部形成了强反射(图4)。对于

缓坡生物滩发育模式,发育于研究区地形凸起周围,主要岩性为生物灰岩,受相对湖平面变化和缓坡地形控制,其中,缓坡生物滩形成于浪基面之上,水体较为动荡,结合相对古水深,沉积期水体为缓慢上升过程;结合古地貌,沉积期为一缓坡,倾角为 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ,生物滩形成于迎浪面一侧,在地震剖面上多呈现上超特征。

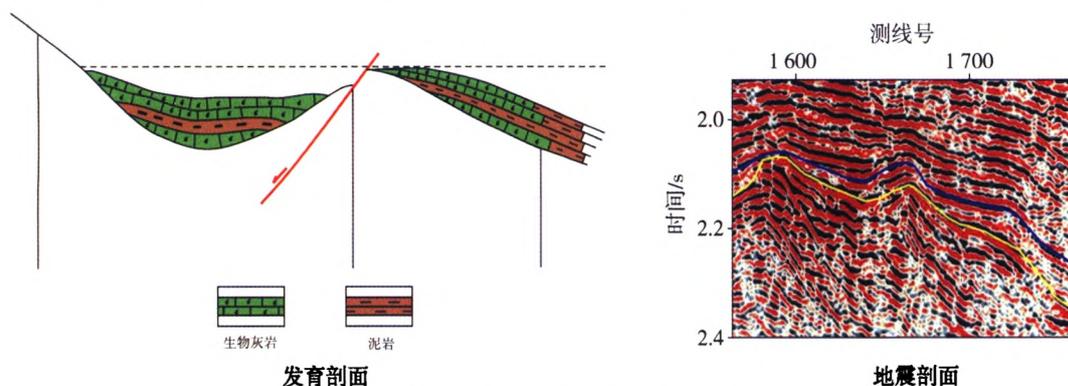


图4 长堤区块生物灰岩发育模式正演模型

#### 4.2 洼槽生物滩发育正演模型

同样,采用 30 Hz 的雷克子波,对洼槽环境的生物滩发育模式建立了正演速度模型,如图4所示。在洼槽生物滩发育模型中可以看到,生物灰岩沉积的剖面表现为充填相,呈现一个杂乱的、断续弱反射特征;生物灰岩与下伏地层波阻抗差异大,在沙一段底部形成了强反射。研究区东部洼槽附近邻井桩 310 井及地震进行分析显示,与正演模型吻

合较好。

## 5 结论

基于新处理的分频资料进行地震相分析,划分了楔状相、充填相、中振幅中连续席状相。通过优选地震敏感属性,确定瞬时振幅和子波包络为生物灰

(下转第 42 页)

表现为连续中强波峰反射特征，滩间相为宽波谷反射、茅三段底界波峰振幅较弱，中缓坡洼地相表现为波谷振幅强、茅三段底部波峰中强连续反射特征，外缓坡相表现为茅三段底部波峰能量较强，波峰横向较为平滑。

(2) 基底断裂在地震剖面上具有断点清晰，断面直立，断面两侧同相轴交叉或错断，多见断点绕射，断层所经过之处，断层两侧地层上隆，断裂向下贯穿基底，向上消失于吴家坪组、长兴组中。

(3) 多参数自动降维技术将弹性参数对曲线旋转获得的最大相关系数及旋转角度输出，应用参数对及旋转角度计算新的储层识别参数，去除了人为因素的不确定性，可以建立新的储层识别因子，提高储层的预测精度。

### 参考文献

[1] 韩小俊. 川东南地区复杂储层识别及预测方法研究及应用[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2007.

[2] 李毅, 沈浩, 石学文, 等. 川东-川中地区茅口组白云岩成因初探及“热次盆”概念的提出[J]. 天然气勘探与开发, 2013, 36(4): 1-5.

[3] 江青春, 胡素云, 汪泽成, 等. 四川盆地中二叠统中-粗晶白云岩成因[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(4): 503-510.

[4] 李祖兵, 欧加强, 陈轩, 等. 川中地区下二叠统白云岩储层特征及发育主控因素[J]. 大庆石油地质与开发, 2017, 36(4): 1-8.

[5] 肖树芳. 岩石力学[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 68-70.

[6] 汪华, 沈浩, 黄东, 等. 四川盆地中二叠统热水白云岩成因及其分布[J]. 天然气工业, 2014, 34(9): 25-32.

[7] 杨光, 汪华, 沈浩. 等. 四川盆地中二叠统储层特征与勘探方向[J]. 天然气工业, 2015, 35(7): 10-16.

[8] 汲生珍, 邬兴威, 夏东领, 等. 地震相裂缝分级技术在储层预测中的应用[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012, 34(3): 71-77.

[9] 王丹, 贾跃玮, 魏水建, 等. 新场须四段叠后裂缝综合预测[J]. 物探与化探, 2014, 38(5): 1038-1044.

[10] 刘葵. 地震相分析在深反射地震勘探资料中的应用[J]. 地质力学学报, 2005, 11(2): 129-131

[11] 陈祖庆, 王静波. 基于压缩感知的稀疏脉冲反射系数谱反演方法研究[J]. 石油物探, 2015, 54(4): 459-466.

[12] 王长城. 川东南地区复杂储层地质特征及有效储层预测研究[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2006.

[13] 陈从希, 黄江河, 黄明华, 等. 提高春光探区地震资料信噪比和分辨率方法研究[J]. 石油地质与工程, 2018, 32(6): 56-58.

编辑: 蒲洪果

(上接第 37 页)

岩敏感属性。相对于常规地震属性，敏感属性生物灰岩预测精度平均提高 35.15%，结合波阻抗反演平面分布特征预测生物灰岩厚度呈南厚北薄，西厚东薄的特征。最后进行地震正演模拟检验建立的地质模型，建立的斜坡正演模型和复合型正演模型与实际地震剖面吻合度较高。

### 参考文献

[1] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学(第三版)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 346-354.

[2] CHARLES R, WILLIAMSON M, DANE PICARD. Petrology of carbonate rocks of the green river formation (Eocene) [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1974, 44(3): 738-759.

[3] 徐换霞, 韩军风. 地震属性技术在小断层解释中的应用[J]. 陕西煤炭, 2011, 3(5): 117-119.

[4] 贺懿. 地震储层参数非线性反演与预测方法研究[D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2008.

[5] 唐小彪. 基于支持向量机的地震储层预测方法研究[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2009.

[6] 魏勇明. 川东南区块阳新统碳酸盐岩储层裂缝地震预测[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2009.

[7] 王文涛. 地震储层评价与预测的贝叶斯反演方法研究[D]. 湖北武汉: 中国地质大学(武汉), 2008.

[8] 曾德铭, 赵敏, 石新, 等. 黄骅拗陷古近系沙一段下部湖相碳酸盐岩储层特征及控制因素[J]. 新疆地质, 2010, 28(2): 186-190.

[9] 刘志峰, 金振奎, 吕玉珍, 等. 黄骅拗陷古近系沙河街组生物灰岩分布特征及其形成条件[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(3): 71-75.

编辑: 赵川喜