

地震属性优化在储层预测中的应用*

于建国^{1,2}, 姜秀清²

(1. 南京大学地球科学系, 江苏南京 210093; 2. 胜利油田有限公司物探研究院, 山东东营 257015)

摘要: 地震属性与所预测对象之间的关系复杂, 不同工区和不同储层对所预测对象敏感的地震属性是不完全相同的。即使在同一工区、同一储层, 预测对象不同对应的敏感地震属性也是有差异的, 地震属性优化技术是解决此问题的有效途径。运用降维映射、属性选择和聚类、交会分析等地震属性优化方法, 优化出了预测储层的地震属性, 并运用正演模型技术, 对优选出的地震属性之一波峰数进行了验证, 说明了优化方法的可靠性。在此基础上, 对CB331井区进行了储层预测, 新描述砂体30多个, 预测石油地质储量 $4\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 。

关键词: 储层预测; 地震属性; 属性优化; 正演模拟

第一作者简介: 于建国, 男, 40岁, 高级工程师, 石油地质、物探综合解释

中图分类号: TE19 **文献标识码:** A

由于地震属性与所预测对象之间的关系复杂, 不同工区和不同储层对所预测对象敏感的(或最有效的、最具代表性的)地震属性是不完全相同的。即使在同一工区、同一储层, 预测对象不同对应的敏感地震属性也是有差异的。同时, 地震反射毕竟是第二性资料, 是地下地质情况的反映, 地质背景的复杂性反映到地震资料上就有多解性^{**}。目前油田还没有找到有效解决该问题的办法。由于地震属性优化技术可以提高地震储层的预测精度, 可以更有效地进行储层描述, 进一步提高钻井成功率, 具有显著的经济效益和社会效益, 可见该技术可以解决上述问题。

1 理论基础

地震属性是对地震数据中包含的几何学、运动学、动力学或统计学特征的具体测量^[1], 可以分为物理属性和几何属性两大类。几何属性容易被人们的感官所接受, 便于直观识别。但是, 由地震储层预测中抽象处理和用数学方法导出物理属性的能力要比人们强得多。因此, 本文所研究的地震属性主要是指用数学方法计算的物理属性。

仅用叠后处理参数提取得到的地震属性可以分为5大类39种^[2,3], 其实际作用如下:

(1) 振幅统计类: 振幅特征综合了流体、岩性、

储层孔隙度的变化及河流、三角洲砂体、某种类型的礁体、不整合面、地层调谐效应、地层层序变化等因素;

(2) 复地震道统计类: 复地震道实际是地震信号的 Hilbert 变换, 它能帮助分析气体、流体的特征、岩性、河道与三角洲、礁体、不整合面、地层层序、裂缝、调谐效应等;

(3) (频、能) 谱统计类: 它是对地震信号的频谱和能量进行表征, 可揭示裂缝发育带、含油气吸收区、调谐效应、岩性或吸收引起的子波变化;

(4) 层序统计类: 用来帮助表征层序特征, 主要是能量变化、极性对比和振幅临界分析, 用来识别地层岩性变化、含油气性、刻画层序地层特征、突出某种振幅异常;

(5) 相关统计类: 用于定量描述道与道之间的相似性, 帮助识别断层、尖灭、数据品质、杂乱反射。

由此可见, 不同的属性对不同岩性的敏感程度是不同的, 在描述不同的对象时所起的作用也是不一样的。

在地震储层预测过程中, 通常引入与储层预测有关的各种地震属性。但是, 属性的无限增加对于储层预测也会带来不利的影响。因为: ①有些地震属性可能与目的层本身无关, 而反映了浅层干扰的变化, 若对输入的属性不加鉴别, 会引起混乱; ②属性的增加会给计算带来困难, 过多的数据要占用大量的存储空间和计算时间; ③大量的

* 国家十五科技攻关项目(2001BA605A09)资助

** 杨云岭. 地质模式在地震解释中的重要应用. 2003

收稿日期: 2003-08-04

属性中肯定会包含着许多彼此相关的因素,从而造成信息的重复和浪费;④就模式识别而言,当样本数固定时,属性过多会造成分类效果的恶化。因此,针对具体问题,从全体地震属性集中挑选最好的地震属性集以降低多解性,提高储层预测精度,这就是地震属性优化问题。

2 优化方法

利用人的经验或数学方法,优选出对所求解问题最敏感(或最有效、最有代表性)的、属性个数最少的地震属性或地震属性组合,提高地震储层预测精度,改善与地震属性有关的处理及解释效果。这就是地震属性优化的核心内容。

(1) 降维映射。地震属性降维映射较常用的方法是 $K-L$ 变换^[3],它是从大量原有地震属性出发,构造少数有效的新地震属性^[4]。

(2) 属性选择。地震属性选择可优化地震属性。在做优化运算时,必须设计好目标函数。优化中的目标函数根据储层预测方法和地震属性选择灵活确定,不同的方法可有不同的目标函数。最简单的地震属性选择方法是根据专家的知识挑选那些对储层预测最有影响的属性。另一种可能则是用数学的方法进行筛选比较^[3,4],找出带有最多储层信息的属性。

(3) 聚类、交会分析。聚类分析又称点群分析。它是按照客体在性质上或成因上的亲疏关系,对客体进行定量分类的一种多元统计分析方法。聚类分析又可分为聚合法聚类分析和分解法聚类分析等。具体算法与公式请参见文献[5,6]。聚类分析的基本原则:①若选出的一个样品或变量在分好的群中从未出现过,则把它们形成一个独立的群;②若选出的一对样品或变量,有一个已在分好的群中出现过,则把另一个样品或变量也归入该群中;③若选出的一对样品或变量都分别出现在已分好的两群中,则把两群连结成一个新群;④若选出的一对样品或变量都出现在同一群中,则这个样品就不再分群了。

3 实例

3.1 工区概况

CB31地区是位于CB30潜山披覆构造与长堤潜山披覆构造带之间的地堑带,其主力含油气层系为上第三系馆陶组,储层以曲流河沉积所形成

的砂坝为主,砂体的连续性差,分布范围小。由于曲流河改道频繁,使得沉积砂体在横向、纵向上变化均较大^[7],加之该区大部分井钻遇的砂体厚度都在10 m以下,在地震剖面上无对应的反射,不易解释追踪,储层的预测和描述具有较大的难度,因此多年来对其成藏因素、油气富集规律的认识多有争议。地震属性优化对该区的地层、速度、构造、电性等进行了分析,对其成藏因素、油气富集规律进行了研究,基本查清了砂体的分布规律。

3.2 预测储层分布范围

本次研究利用 LANDMARK 解释系统中的 RAVE (Reservoir Attribute Visualization and Extrapolation) 软件,综合利用了包括地震、地质、测井、工程等数据在内的所有地学信息,对地震属性进行数学运算、聚类、回归分析、相似性计算、2D/3D 交会图及群类映射,最终优化出与储层预测密切相关的地震属性,从而确定储层的分布。

对砂岩储层地震评价工作的基本思路是:从已有地震资料出发,分析砂岩的发育层段,研究其反射特征,并与钻、测井资料中的相应岩性加以对比,运用储层地震属性优化技术,进行储层几何形态描述,确定储层的深度、厚度、空间展布,准确描述评价储层。首先把具有实际地质意义的14种地震属性,运用2D交会阵列,了解各种参数之间的相关关系。根据相关系数的大小可以选择或者舍弃某一种属性。如果两种属性相关性很好,则只选用一种即可,另一种可以舍弃。通过筛选,从而优化选出了5种主要属性:均方根振幅(对振幅变化非常敏感)、反射强度斜率(对反射强度作回归分析,在规定时窗内拟合其变化曲线,输出斜率)、能量半衰时(描述能量衰减快慢)、有效带宽(零延迟的自动相关值,带宽越窄,信号越相似,地层反射特征简单,反之说明地层复杂)和波峰数(识别砂泥岩互层发育带)。其次利用3D交会,通过旋转不同的角度,分离出多属性的聚群特征,进而优选出有意义的聚类群(图1),经过圈定、选择,便可将其映射到解释成果底图上,最后根据已知井的多参数聚类特征预测储层的分布特征。

3.3 地震正演模拟

针对本区具体地震、地质情况,鉴于地震资料分辨率较低以及砂泥互层的沉积特征,有必要进行正演模拟,以确定研究区内砂层组的地震属性与其砂体厚度的关系,本文对优化的地震属性之

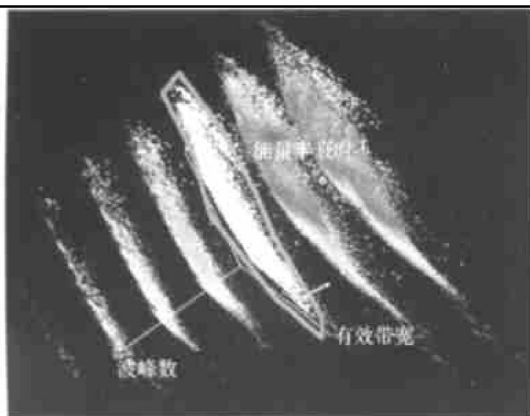


图1 沙河街组一段—三段地震属性之间的三维交会图

Fig. 1 3D Correlation coefficients among seismic attributes in the 1st—3rd members of shahejie Fm

一的波峰数和砂层的厚度进行了正演模拟。图2a是设计的砂泥岩薄互层的地质模型,通过自激自收得到合成地震记录(图2b),按控制层H1—H2之间进行属性提取,得到波峰数,波峰数最少为9,最多为15,根据波峰数对应的砂体累计厚度得到图2c。

由此可见,砂体累计厚度与波峰数成近似直线关系。所以,我们可以用波峰数这种地震属性来预测砂泥互层发育带,确定储层的横向分布。

3.4 实际效果

通过优化的地震属性,将其映射到解释成果底图上,即可根据已知井的多参数聚类特征预测储层的分布。图3左是沿埕北31的主力油层上下15 ms的时窗提取的5种属性映射到底图上的结果。通过优化的地震属性,根据波峰数、有效带宽、反射强度变化率等5种属性参数的聚类结果,做出了该区砂岩储层的平面分布图(图3右)。可以看出,研究区储层主要发育在北部的CB30—CB321井区和南部的CB31—CB332井区两个区域,北部砂体预测结果和钻井结果吻合较好,现已投入开发,并建成数万吨的产能。而南部的CB31—CB332井区,只钻数口探井,勘探程度相对较低。根据地震属性预测的结果,在本区共描述了30多个砂体,通过整体分析评价,提供钻探井位3口,预测石油地质储量 $4\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 。

4 结论及建议

地震属性与所预测对象之间的关系复杂,不同的地区和不同的储层,对地震属性的敏感程度

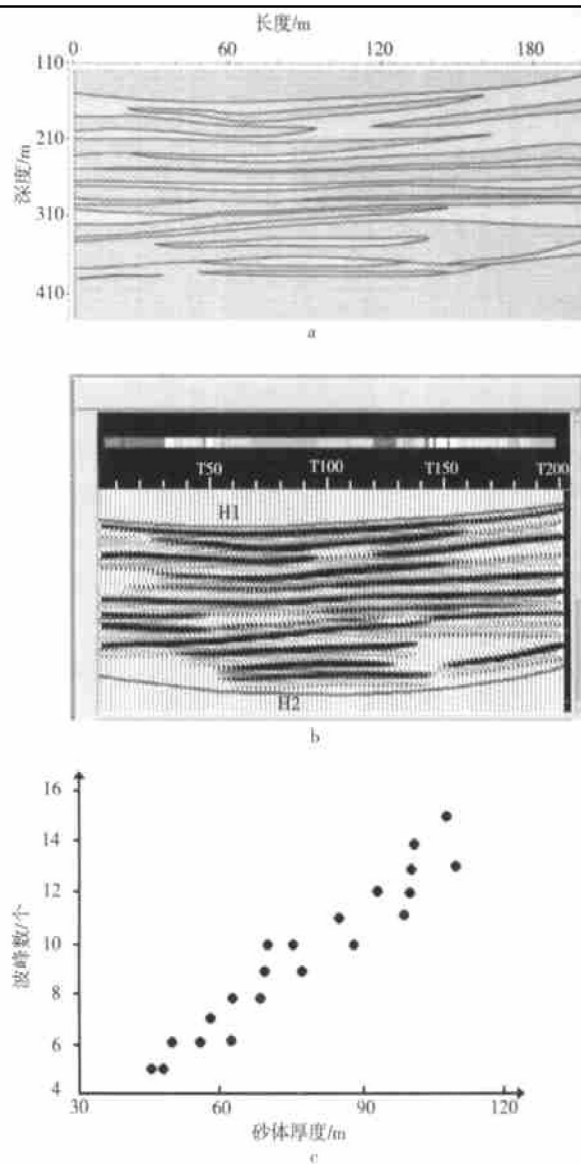


图2 砂层厚度的正演模拟

Fig. 2 Forward modeling of sandy thickness

a—地质模型; b—地震响应;
c—波峰数与砂层厚度的关系

也是不同的,用单一属性进行储层预测很难收到较为满意的效果。地震属性优化技术是解决这一问题的有效途径,它可以利用多种有效地震属性预测储层,明显地提高预测精度。

在预测储集体的各种属性中,应根据预测对象选取不同的属性及其组合。一般说来,预测砂体厚度选用振幅类和频率类属性效果较好,预测含油气性时,则选取频谱类、吸收系数等属性会有较好的效果。目前还无法建立优化的地震属性库,只能进行单一属性体联合解释。若能从优化的地震属性库中选用相应的地震属性组合进行储层预测,必将扩大地震优化方法与储层描述的范围。

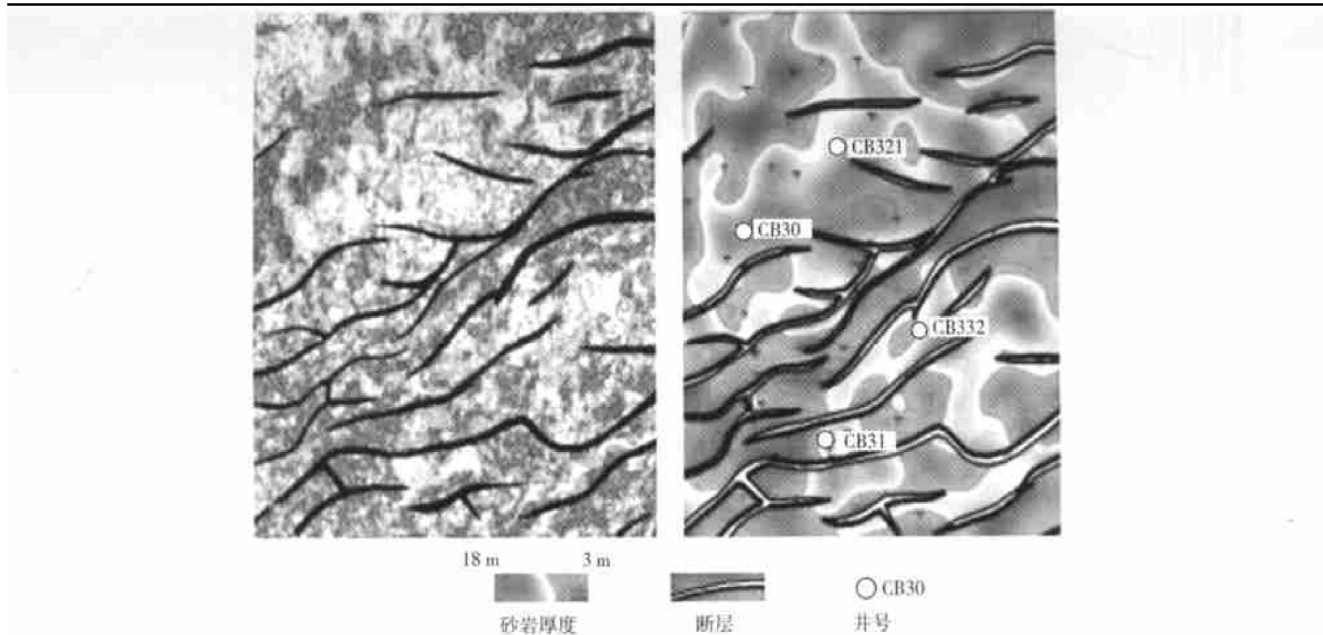


图 3 埕北 31 区块多属性优化结果(左)与储层预测(右)图

Fig. 3 Optimized multi-attributes (the left) and reservoir prediction (the right) in Chengbei 31 wellblock

参 考 文 献

- 1 李明, 邹才能, 刘晓, 等. 松辽盆地北部深层火山岩气藏识别与预测技术[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(5): 477~ 484
- 2 Brown A R. 地震属性及其分类[J]. 严又生译. 国外油气勘探, 1997, 9(4): 529~ 530
- 3 刘文岭, 牛彦良, 李刚, 等. 多信息储层预测地震属性提取与有效性分析方法[J]. 石油物探, 2002, 41(1): 101~ 106
- 4 宋维琪, 王小马, 杜玉民, 等. 综合应用地震属性、测井数据反演储层参数[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(5): 491~ 494
- 5 陈遵德. 储层地震属性优化方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 47~ 50
- 6 陈遵德, 陈富贵. 地震数据油气预测中的属性优化方法[J]. 石油物探, 1998, 37(4): 32~ 40
- 7 于建国, 韩文功, 王金铎. 陆相断陷盆地砂岩储层横向预测[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 100~ 102

APPLICATION OF SEISMIC ATTRIBUTE OPTIMIZATION IN RESERVOIR PREDICTION

Yu Jianguo^{1,2} Jiang Xiuqing²

(1. Dep. of Geosciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu;

2. Geophysical Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC Dongying, Shandong)

Abstract: A seismic attributes includes physical attribute and geometry attribute, which quantifies specifically the characters of geometry, kinematics, dynamics or statistics in seismic data. Although geometry attributes can be easily accepted and straightly identified by the sense organ of men, the physical attributes derived from abstract process and mathematics are better than geometry attribute in seismic reservoir prediction. Therefore, seismic attribute is mainly referred to physical attribute calculated by mathematical algorithm. Reservoir prediction by seismic attributes is widely used in geophysics. Since 1980s, pattern recognition technique is paid great attention to, and the reservoir prediction techniques, such as a fuzzy pattern recognition, statistic pattern recognition, neural network pattern recognition and function approach, have been successively developed. The predicted objects include hydrocarbon, reservoir thickness, lithology and reservoir porosity. In reservoir prediction, the selection of seismic attribute is accomplished by experiences

of interpreters, whose effect is subject to better geological conditions, simple predicted objects, and higher S/N in original seismic data. However, under the other conditions, the effect of prediction is worse. In fact, there exist complex relations between predicted objects and their seismic attributes. The seismic attributes sensitive to predicted objects are not totally the same in different areas and reservoirs. They are also somewhat different even for same reservoir and same area. The optimization technique of seismic attributes is an effective means for solving the above questions. The optimum methods of seismic attributes mainly include the dimension-reduced projected profile and cluster analysis etc. Its purpose is to optimize the minimum seismic attributes or seismic attributes group, which are the most sensitive (or most effective, most representative) to studied problem, in order to increase reservoirs prediction precision and to improve the effect of processing and interpretation related to seismic attributes. The obvious effect of reservoir prediction in CB31 area has been achieved by using the optimum method of seismic attributes. This area is located at the graben belt that is between the drape structures of CB30 buried hill and the drap structures of Changdi buried hill. Its main reservoirs are the sand bars, formed by meander river sediment, in Neogene Guantao Fm, with poor continuity and small distribution. Because the distribution of depositional sand bodies are unstable in lateral and vertical direction and because the drilled thickness of sand bodies is usually less than 10m, the sand bodies have no corresponding reflection on seismic sections, resulting in the bigger difficulty in reservoir prediction and description. Therefore, the recognition of its pool-forming factors and hydrocarbon accumulation rules has been disputed for many years. With the help of the theory and methods of seismic attribute optimization, the seismic attributes of predicted reservoir are optimized. Meanwhile, one of the optimized seismic attributes, the wave peak number, is verified with seismic forward modeling, and demonstrating the reliability of the method. Based on the above works, the stratigraphy, reflected wave velocity, structure and electric property have been studied; the pool-forming factors and hydrocarbon accumulation have been analyzed; the areal distribution of sand bodies have been basically identified; more than 30 sand bodies have been described. As a result, the oil in place reserve in the CB31 wellblock is estimated to be 40 million tons.

Key words: reservoir prediction; seismic attribute; attribute optimization; forward modeling

(Continued from Page 280)

formation water and lead to the increase of acidity of pore water, associated with oil with a pH of 3~ 5, thus boost the dissolution of feldspar. The SiO_2 generated from the dissolution of feldspar, cannot easily migrate in the acidic water, it thus precipitates as the so-called "silicon ball". But if the oil saturation is continuously increasing so that the reservoir to be rich in oil or immersed in oil, the flowing of pore water would then be restrained, and the diagenesis, including dissolution and precipitation processes, would be impeded. Similarly, the development of calcite and dolomite is better in water-saturated and low oil-saturated zones than in high oil-saturated zone. Theoretically, charging of hydrocarbons alters the property of fluid in the pores, and the diagenetic environment alters accordingly and leads to the ceasing of illite growth. Therefore, the amount of illite is always different in sands containing varying amount of oil. In oil-saturated or oil-rich zone, illite is relatively low, while in sands with small amount of oil, such as the oil patch sands, or with only trace of oil and water layer, illite content is relatively high. The relative content of chlorite in sands varies similarly as that of illite. All mentioned above show that oil charging can change the microenvironment for growing of minerals in reservoir pores, and thus would restrain, to some extent, the diagenesis of reservoir rock.

Key words: oil charging; reservoir mineral; diagenetic evolution; oil-saturated zone; water-saturated zone; fluid inclusion