

· 综合研究 ·

应用地震数据体结构特征法 预测孔缝洞型油气储层

林昌荣* 王尚旭

(中国石油大学(北京)CNPC物探重点实验室,北京 102249)

林昌荣,王尚旭. 应用地震数据体结构特征法预测孔缝洞型油气储层. 石油地球物理勘探, 2008, 43(4): 415~421

摘要 应用地震数据体结构特征法预测油气是一项新的油气预测技术,它以每个地震道的地震数据元素之间的相互关系(即数据体结构特征)为研究对象,通过提取每一地震道的振幅数值等参数,研究各种参数的组合、排列特征及其与含油气性的关系,达到预测油气层的目的。该方法克服了一些传统的油气预测方法受不同储集空间复杂性的影响,能在非均质性强的复杂储层预测中取得较好效果。本文分别选取了孔隙型、裂缝型和缝洞型等三种不同储集空间类型的非均质性强的碳酸盐岩储层实例,应用地震数据体结构特征法进行了含油气性预测。应用结果表明,当地层中含有油气时,地震数据体结构特征会出现明显的异常特征,进而圈定油气藏边界。实例中本方法预测结果与后期实钻结果对比,符合率较高。

关键词 储层预测 地震数据体 结构特征 孔隙-裂缝-缝洞 油气层

1 引言

鉴于近年来在碳酸盐岩孔隙—裂缝—缝洞型储层中获得的油气储量和产量不断增大,使得孔隙型、裂缝型和缝洞型储层的油气预测倍受关注。对于这类非均质性很强的复杂碳酸盐岩储层的储集空间类型,一些传统的油气预测方法因受其独特性质的影响(如AVO技术在碳酸盐岩储层中的应用效果时好时坏),不能确保取得好的应用效果,而地震数据体结构特征法以其预测准确率高、简单快速、适应范围广等优点弥补了传统预测方法的不足,在孔隙—裂缝—缝洞型碳酸盐岩储层中取得了良好的油气层预测效果。

地震数据体结构特征油气层预测法是一项近年新兴的储层预测技术,它研究地震道的各个地震数据元素及其相互关系(即地震数据体结构特征)与地层含油气性之间的关系。应用过程中,它通过提取每一地震道的振幅数值,研究该数据的组合、排列特征与含油气性的关系,最后达到预测油气的目的。

国内学者在这方面做了一些应用尝试^[1~4],取得了较好的研究成果^[5~8]。本文分别选取了以孔隙为主的普光气田、以裂缝为主的河坝气田和以缝洞为主的塔河油田等三种典型的储集空间类型的碳酸盐岩储层实例,应用地震数据体结构特征法预测油气层,以论证该方法在孔缝洞型储层中的预测效果。实际应用结果表明,地震数据体结构特征法不仅适用于孔隙型、裂缝型和缝洞型等多种类型碳酸盐岩储层的油气预测,而且预测准确率高,方法简单有效,经济效益显著。

2 方法原理和实现步骤

地震道的各个地震数据元素都不是孤立的,它们之间存在着某种关系,这种各数据元素相互之间的关系被称为“地震数据体结构”。根据它们之间关系的不同性质,大致可归纳为三类:①线性结构;②树形结构;③网状结构(图1)。地震数据体结构特征是指每一地震道离散数据点按时间顺序排列所显示的波形特征,分单道和多道两种表现形式。单道

*北京市昌平区中国石油大学(北京)地球资源与信息学院,102249

本文于2007年9月20日收到,修改稿于2008年3月10日收到。

本研究受国家“973”攻关项目“非均质油气藏地球物理探测的基础研究”(编号:2007CB201600)资助。

的地震数据体结构特征是指每一地震道离散数据点按时间顺序排列所显示的单道波形特征(图2)。多道的地震数据体结构特征是指道与道之间离散数据点按时间顺序排列所显示的众多波形组相邻数据点的结构特征。

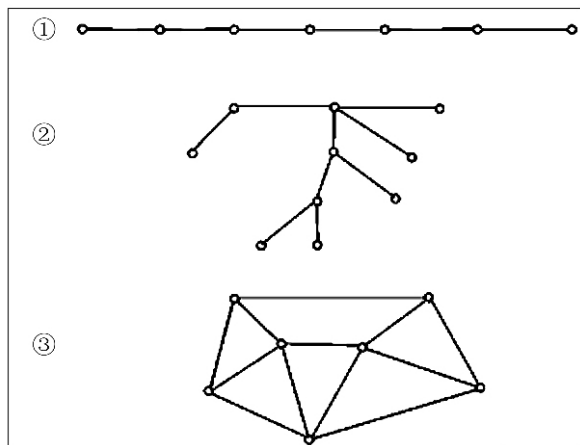
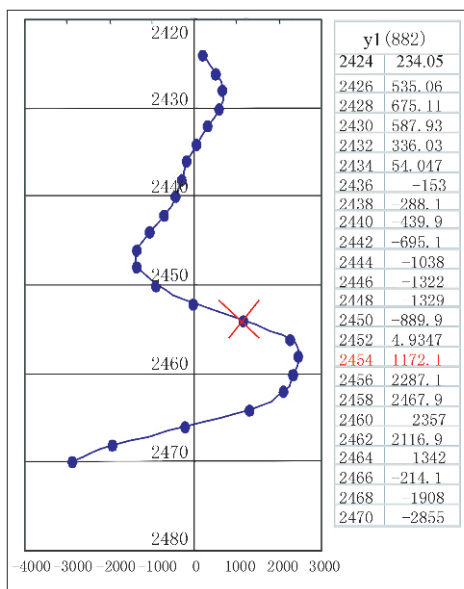


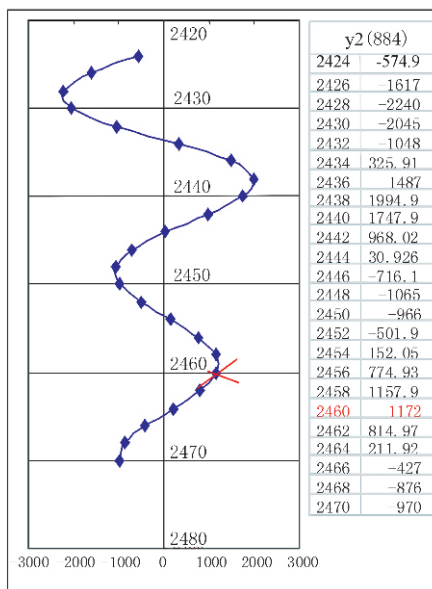
图1 地震数据结构示意图

(a)线性结构;(b)树形结构;(c)网状结构

具体而言,对于单道地震数据体结构特征,如图2所示的由一条地震测线抽取并经高倍放大的两个地震道,其横坐标为反射振幅值,纵坐标为 t_0 时间,地震道右侧y1和y2数据表分别是由CDP882和CDP884经SEG-Y格式转换后的实际 t_0 时间对应的振幅值,采样率为2ms。对比两个地震道可以看到:在2430~2445ms时段内地震道的波形是不同的,图2a中2440ms处于波谷,而在图2b则为波峰,且波形的斜率也不同。在此时段内,不仅波形不同,而且地震数据体的结构在时间和空间上均有差异。此外,在2454ms(图2a)和2460ms(图2b)邻近时间点上数值基本一致,分别为1172.1和1172,但其组合、排列是不同的,图2a中2454ms处往上数值锐减为4.9,往下数值急增到2287.1;图2b中2460ms处往上数值稍减为1157.9,往下数值减少到814.9。据此说明,在不同CDP点虽然数值基本相同,其上下数据排列不同,同样体现了地震数据体中的数据结构在时-空上的差别。



(a)



(b)

图2 同一测线不同CDP点的数据结构变化特征图

(a)CDP882处的时间振幅图;(b)CDP884处的时间振幅图

地震数据体结构特征法预测油气层,主要是通过引用灰色系统理论的有关预测模型和关联分析来实现^[9,10]。即将地震数据体的每个地震道通过灰色数学拓扑变换为类似一条条的测井曲线,计算其地震数据体振幅结构特征异常值段;再进行矢量关联分析;最后指出油气层剖面所在位置和平面分布范

围。具体实现步骤可分为:

- (1)建立GM模型,确定地震数据体结构特征的灰色异常值;
- (2)进行关联分析;
- (3)排序确定油气层。

对于如何获取地震数据体结构特征剖面及如何

进行结构特征的含油气解释等,已在其他文章^[1~7]中有详细的描述,此处不再赘述。

3 应用实例

3.1 储层呈块状分布的孔隙型气层(普光气田)

普光气田位于四川盆地东北部,川东断褶带与大巴山冲断褶皱带的双重叠加构造区,整体呈 NEE 向延伸,北侧为大巴山弧形褶皱带,西侧与川中平缓褶皱带相接。主要由一系列轴面倾向 SE 或 NW 的背向斜及与之平行的断裂组成。总体特征是褶皱强烈、断裂发育、圈闭众多。本文重点研究区块普光构造是一个构造—岩性(碳酸盐岩)复合圈闭,主要储集空间类型为孔隙—缝洞型,以孔隙型为主。碳酸盐岩储集层含气性变化较大,岩性岩相复杂,储层横向变化快,呈块状分布;埋藏深度大(4500 ~ 5500m),地震信号强弱参差不齐;含气饱和度极度不均,且物性与含气性间无严格对应关系。

根据普光气田的特点,以较为典型的普光 2 井附近地震道为对象应用地震数据体结构特征法进行油气预测。图 3 是过普光 2 井主测线的叠偏地震剖面图,井点位于背斜构造上。图 4 为过普光 2 井的

地震数据体结构特征剖面模型图。在该图含气层段中,地震道的数据体结构特征(斜率及夹角等)变化大,自上而下一致性较差,没有规律可循;在不含气层段,自上而下地震道的变化不大,无论斜率或夹角均较为规律、一致。这就说明地层含气影响了地震数据体结构特征的变化,不含气层段的地震数据体结构特征变化小。而此时波形和振幅值的大小都变化无常,这也说明数据体结构变化与波形变化是有区别的。图 5 和图 6 分别为过普光 2 井气层井约束地震反演属性剖面和气层地震数据体结构特征剖面图(Iln596 测线)。从这两张剖面对比图可以明显看到,普光 2 井气层(T1f4-T1f3-T1f1,飞仙关组)地震数据体结构特征突出、明显,而井约束地震反演属性剖面特征不明显,图 6 更为清晰地反映出含气层段在纵向上所具有的数据结构异常变化,并由此可圈定含气层段的数据结构异常边界(图 3)。

将全区的地震道经过以上流程进行处理,最终得到了普光气田全区的地震数据体结构特征异常值分布图,界定了有利含气分布范围(图 7)。依据这些地震数据体结构异常的变化特征,在普光气田主体区块部署了 4 口探井,且均在飞仙关组—长兴组获得了较厚气层,经济效益十分显著。

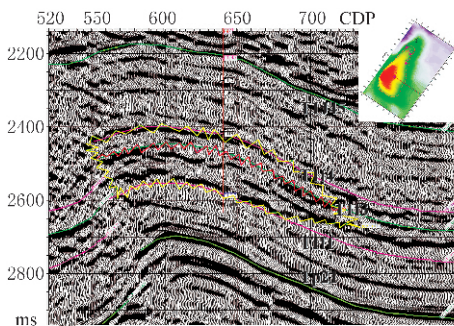


图 3 过普光 2 井叠偏地震剖面

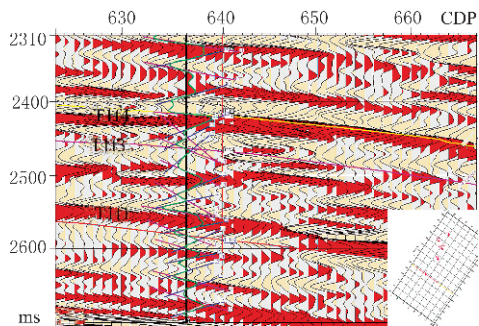


图 4 过普光 2 井地震数据体结构特征剖面模型

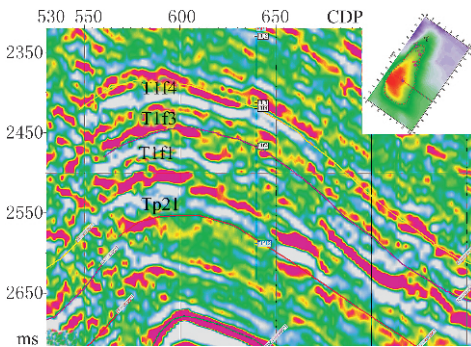


图 5 Iln596 测线过普光 2 井气层井约束地震反演属性剖面

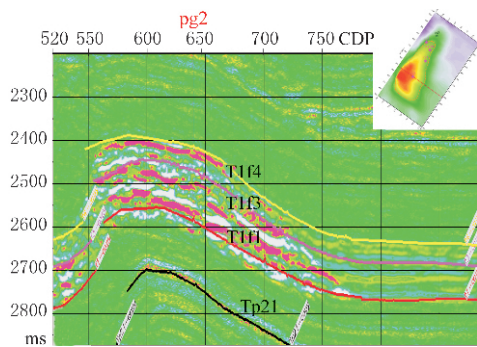


图 6 Iln596 测线过普光 2 井气层地震数据体结构特征剖面

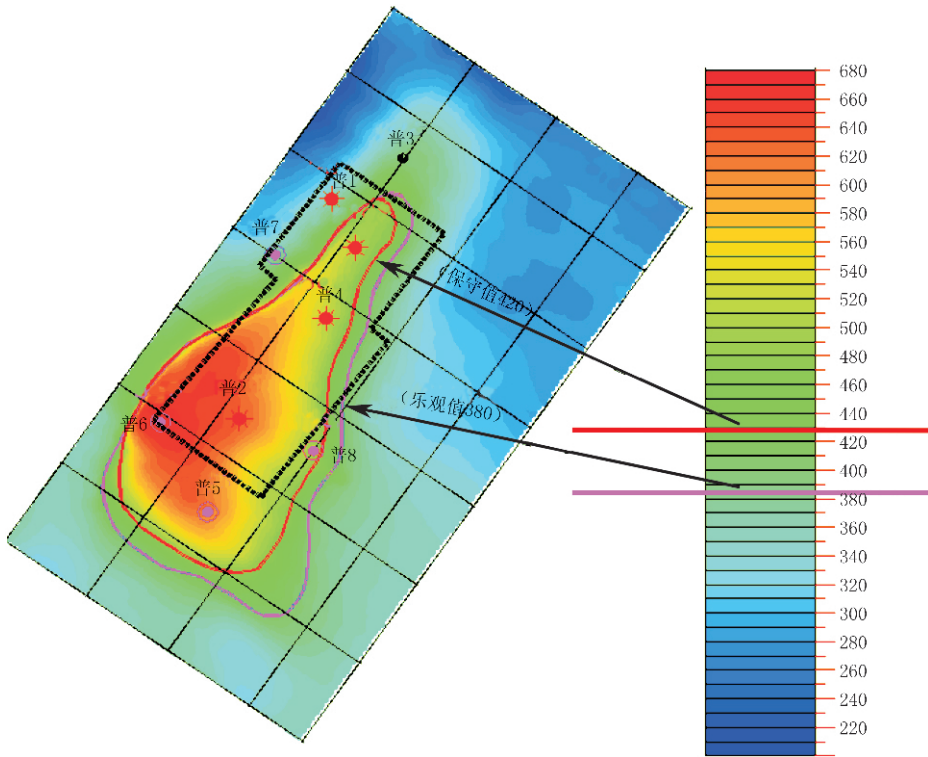


图7 普光气田全区地震数据体结构特征异常值分布边界图

3.2 储层呈层状分布的裂缝型气层(河坝气田)

河坝地区位于通南巴构造带中部,是四川含油气盆地的一部分。河坝地区属致密碳酸盐岩裂缝性储层,储层呈层状分布。纵向和横向上气层分布比较复杂,具体表现为:①岩性致密,气层薄(小于20m),储集层物性、含气性变化较大;②储层埋深较大(>4000m),含气特征不明显;③储集空间为以裂缝—孔隙为主的多种储集空间类型。

由于河坝气田属致密碳酸盐岩裂缝性储层,储层物性较差,传统的油气预测方法难以获得较好的效果,因此在该地区尝试应用地震数据体结构特征法来进行油气预测。图8为河坝地区过河坝1井一

条南北向 Iln652 地震剖面,从图中可以看到三维地震资料频率适中,成像效果较好,基本能够满足目前地震数据体结构特征处理任务的要求和油层解释的需要,研究结果也是可信的。图9为过河坝1井经处理后的地震数据体结构特征剖面图。图中清楚地显示了目的层段地震数据体结构特征的变化,认为高异常结构特征值处为气层。通过对河坝1井实钻结果的解释对比发现,实钻气层与处理过的地震数据体结构特征层段吻合很好。

河坝气田与其他气田情况类似,可以应用地震数据体结构特征的异常值,清楚地判断目的层段是否含气。从河坝地区过河坝1井的地震数据体结构

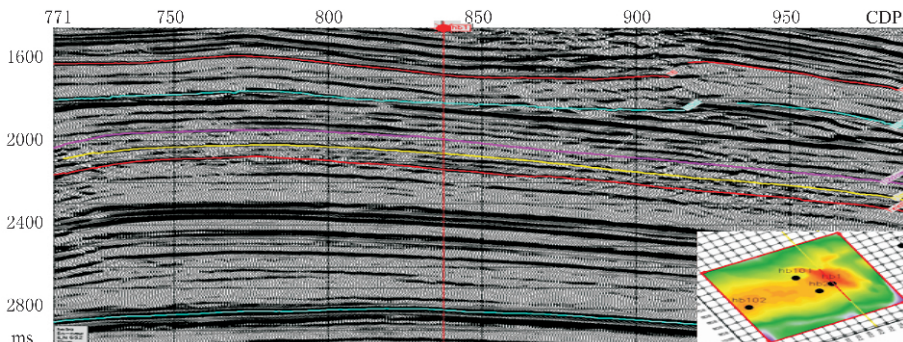


图8 过河坝1井南北向 Iln652 线地震剖面

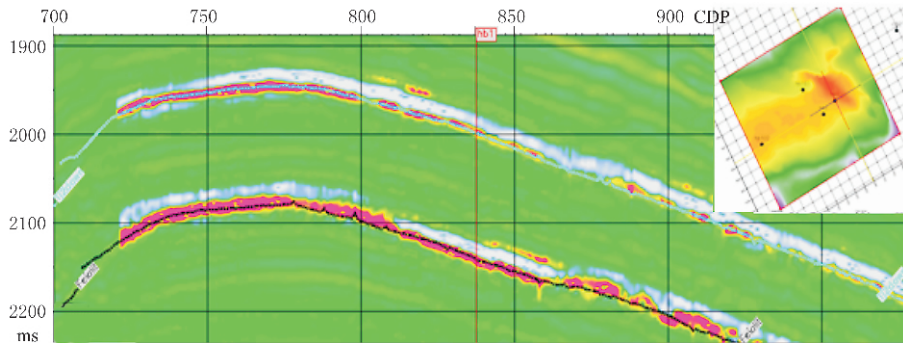


图 9 过河坝 1 井南北向 Iln652 线地震数据体结构特征属性剖面

特征异常值表(表 1)可以看出,河坝 1 井气层段的地震数据体结构特征表现为高异常结构特征值(红色标注数值为含气层段)。由此建立起河坝地区气层地震数据结构特征预测模型,确定了河坝地区 13 个有利含气区块。表 2 为嘉二段和飞仙关组 13 个

有利含气区块地震数据体结构异常特征综合数据表。依据这些数据体结构异常的变化特征,在河坝地区主体区块部署了河坝 2 探井,且在嘉二段和飞仙关组均获得较好气层,证明了研究结果的可靠性。

表 1 过河坝 1 井地震数据体结构特征异常值

t	1	2	3	4	5	6	8	9	
实测值	5542	7094	5099	9533	8868	10255	12689	10863	7538
模型值	7869.5	14076.75	20783	29041.25	38422.25	48939	60563	71051.25	79420.5
还原值	5209.5	6207.25	6706.25	8258.25	9381	10516.75	11624	10488.25	8369.25
误差	332.5	886.75	1607.25	1274.75	513	261.75	1065	374.75	831.25
相对误差/(%)	6.38257	14.28571	23.96645	15.43608	5.4685	2.488887	9.162079	3.573046	9.932192

表 2 河坝地区地震数据体结构异常特征综合数据表

层位	区块	总异常值分布	有效异常值分布	类型	面积 km ²
飞仙关组	S1	250~1175	925~1175	I 类	163
	S2			I 类	2.8
	S3		725~925	II 类	1.7
	S4			III 类	10.6
	S5			III 类	2.6
飞仙关组面积/km ² 小计					180.7
嘉二段	S1	175~1100	725~1100	I 类	137.8
	S2			I 类	16.6
	S3			I 类	3.5
	S4			I 类	1.9
	S5		I 类	1.6	
	S6		600~725	II 类	8.5
	S7		425~600	III 类	1.7
	S8			III 类	1.1
嘉二段面积/km ² 小计					172.7
飞仙关组和嘉二段面积/km ² 总计					353.4

库勒凸起的西南部,因依塔里木河北岸而得名。其各油区均在主力产油层奥陶系碳酸盐岩储层中获得高产工业油流。由于经历了多期次构造运动,该区发育不同级别、组系、期次叠加的大小几十条断裂,储层的非均质性很强,属碳酸盐岩裂缝—缝洞型油层,其中以串珠状分布的缝洞为主要储集空间,油层埋藏较深(>4600m)。

鉴于塔河油田的主力产油层碳酸盐岩缝洞型储层的非均质性强,应用传统的储层预测方法很难准确预测出油区内油藏的油、水界面及储层的分布发育规律。从图 10 的地震剖面来看,油层 1 和油层 2 的同相轴连续性较差,地震响应特征也不明显,用常规地震解释很难确定油层的分布情况,而在地震数据体结构预测模型的地震剖面上含油层与非含油层却存在着很大差异(图 11)。图 11 为过 I/WS-oil1 井井旁地震道的结构特征剖面模型图(实线椭圆为含油层段,虚线椭圆为不含油层段),其中加粗的绿色地震道为过井的井旁原始地震道,粉红色和蓝色表示波峰与波谷处(拐点)斜率及两直线夹角(将计

3.3 储层呈串珠状分布的缝洞型油层(塔河油田)

塔河油田位于塔里木盆地塔北隆起区南坡阿克

算结果用人工标在原始地震剖面上)。从图上可以看出自上而下波形变化大,斜率及夹角自上而下一致性差;而不含油气层段自上而下波形的变化不大,无论斜率或夹角均较为一致。说明油气藏(油气层段)的数据结构变化大,不含油气层段数据结构变化小。图12为过 I/WS-oil1 井油层地震数据体结构特征图,与图10的地震剖面相比,图12更为清晰地反映了储层呈串珠状分布的特点。总之,地震数据

体结构特征预测法在非均质性强的储层中能够取得较好的应用效果。

通过对该区地震资料的数据体结构特征分布情况(图13)的预测分析,认为塔河油田八区开发区内和外围均有较好的油层存在。预测开发区内油层平面上可划分为7个有利的含油圈闭(区块),其中主体部位有5个有利的含油圈闭(区块),外围有两个有利含油圈闭(区块)(图14)。依据这些地震数据

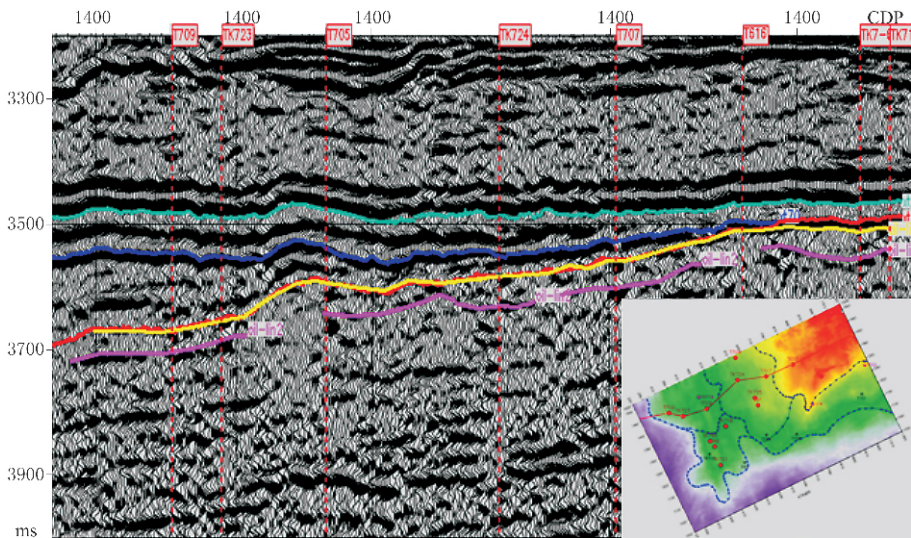


图10 塔河八区过井叠偏地震剖面

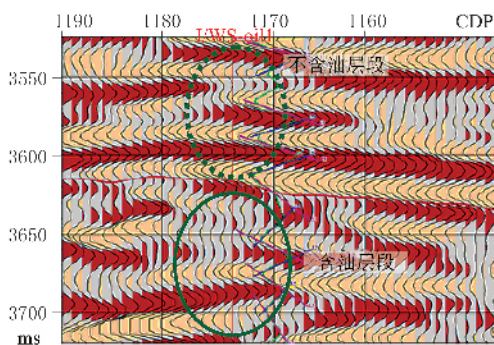


图11 过 I/WS-oil1 井地震数据结构特征剖面模型图

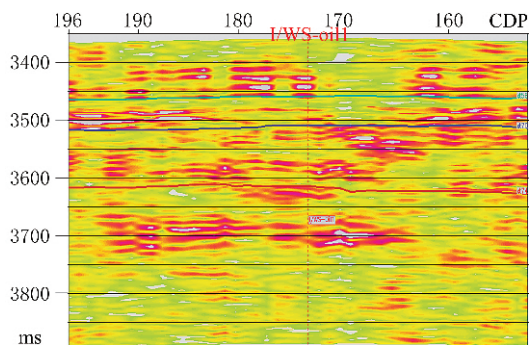


图12 过 I/WS-oil1 井油层地震数据体结构特征图

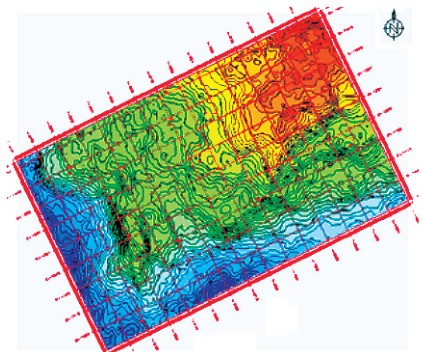


图13 塔河油田八区地震数据体结构特征分布图

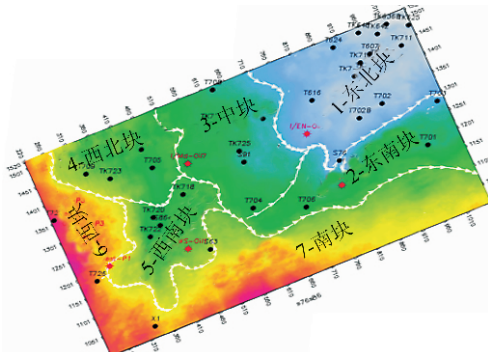


图14 塔河油田八区预测有利油层分布图

体结构异常的变化特征,在八区主体部位提供钻探井位 18 口,在随后部署的一系列钻探及开发中,大多得到证实,经济效益十分显著。

4 结束语

利用地震资料中目的层段数据体结构特征的异常,可以对不同储集空间类型的储层中的含油气性进行识别,因为地层含油气时,该层段的地震数据体结构特征往往会出现较高的异常值,地震数据体结构特征比较明显。

文中通过对三个具有代表性的孔隙型、裂缝型和缝洞型碳酸盐岩储层(储集空间形态分别为块状、层状、串珠状分布)的应用实例分析,得知碳酸盐岩储层横向变化大;应用地震数据体结构特征法预测非均质性强的孔隙—裂缝—缝洞型储层,可以有效地检测到不同类型储集空间的含油气性。本文方法不仅能有效预测裂缝—缝洞型储层的含油气性,而且对非裂缝—缝洞型(孔隙型)储层的油气预测同样具有很好效果。

本文所述三个不同油气田应用实例中的油气预测结果,经钻井证实,均获得了较高的符合率。实践表明,地震数据体结构特征法适用于孔隙—裂缝—缝洞型储层的油气预测。

参考文献

- [1] Lin Changrong, Wang Shangxu and Zhang Yong. Predicting the distribution of reservoirs by applying the method of seismic data structure characteristics: Example from the eighth zone in Tahe Oilfield. *Applied Geophysics*, 2006, 3(4):234~242
- [2] Lin Changrong. Application of grey system theory to gas pool prediction of 3D seismic data prior to drilling, 1999, *SPE* 54274
- [3] Wang Shangxu, Lin Changrong. The analysis of seismic data structure and oil and gas prediction. *Applied Geophysics*, 2004, 1(2):75~82
- [4] 林昌荣,王尚旭.川东北地区飞仙关组地震反射结构特征及地震相分析. *油气田地面工程*, 2007, (4)
- [5] 林昌荣,王尚旭,马在田等.地震数据体结构特征时空关系与油气预测. *石油勘探与开发*, 2008, (4)
- [6] 林昌荣,王尚旭,张骥东.储层物性参数预测技术在大牛地气田开发中的应用. *天然气工业*, 2007, 27(增刊 B): 44~47
- [7] 林昌荣,孙立春,崇仁杰.地震数据体结构特征与油气预测. *中国海上油气预测*, 2000, 14(6):417~421
- [8] 刘雯林. *油气田开发地震技术*. 北京:石油工业出版社, 1996
- [9] 邓聚龙等. *灰色系统研究新进展*. 湖北武汉:华中理工大学出版社, 1996
- [10] 邓聚龙. *灰色系统基本方法*. 湖北武汉:华中理工大学出版社, 1987
- [11] Stockwell J W, Cohen J K 著;张绍红,林昌荣译. *地震数据处理系统——SU3.3 处理操作系统指南*. 北京:石油工业出版社, 2007

(本文编辑:朱汉东)

· 消息 ·

“火山岩油气藏重磁技术应用专题研讨会”在京召开

由中国石油勘探开发研究院石油物探技术研究所主办的“火山岩油气藏重磁技术应用专题研讨会”于 2008 年 6 月 28 日在北京梦溪宾馆举行。来自浙江大学、中国地质大学(北京)、中国地质大学(武汉)、中国石油大学(华东)、中国地质调查局发展研究中心、中国国土资源航空物探遥感中心、东方地球物理公司和中国石油勘探开发研究院等八家单位 14 名专家、学者参会,有 8 篇论文在会上作了交流。

继今年 4 月国内(杭州)首次举办“重磁数据解释应用研讨会”之后,徐世浙院士提议召开“专题化、小型化、实效化的重磁学术讨论会”。针对中国火山岩油气藏重磁勘探所面临的问题,中国石油勘探开发研究院石油物探技术研究所召集了国内部分一流的重磁技术专家,共同探讨火山岩油气勘探重磁方法技术问题,共商火山岩油气综合勘探技术对策。会议议题涉及火山岩岩石物性、重磁处理技术、解释方法和综合应用等领域。徐世浙、杨辉、冀连胜、杨宇山、李占奎、刘展、张贵宾和文百红等在会上宣讲了 8 篇有较高学术水平又密切联系实际的科研成果报告,反映了我国火山岩油气勘探重磁领域的研究现状、进展及存在的问题,并进行了讨论和交流。与会代表达成共识:为了检验方法技术的有效性,拟采用统一的理论测试模型。

会议由中国石油勘探开发研究院石油物探技术研究所所长张研、中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院院长孟小红主持。会议在轻松、热烈的气氛中进行,各位专家、学者进行了充分的交流、研讨,各抒己见,畅所欲言,达到了预期目的。

中国石油勘探开发研究院石油物探技术研究所