

应用地震数据体结构特征法 预测普光气田储层含气性

曾大乾¹, 林昌荣², 张世民¹, 彭鑫岭¹

(1. 中原油田普光分公司, 四川达州 635000; 2. 中国石油大学(北京)CNPC 物探重点实验室, 北京 102249)

[摘要] 针对普光气田碳酸盐岩储层埋藏深, 储集空间复杂多样, 含气类型变化大, 传统的一些油气预测方法已经不能取得较好应用效果的特点, 首先引入了地震数据体结构特征油气预测方法, 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, 研究其数据组合、排列特征与含油气性的关系, 达到预测油气层的目的。最后, 将地震数据体结构特征法用于普光气田储层含气性预测, 结果表明, 该方法受储层性质影响较小, 适用于非均质性很强的碳酸盐岩储层的含气性预测。

[关键词] 地震数据体; 结构特征; 普光气田; 油气层

[中图分类号] TE321 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)10-0091-06

1 前言

普光气田位于四川盆地川东断褶带与大巴山冲断褶皱带的双重叠加构造区, 为一个构造—岩性复合圈闭, 主要储集空间类型为裂缝—孔隙型, 以孔隙型为主。储层岩性岩相复杂, 非均质性强, 含气性变化较大, 埋藏深(垂深 4 500 m 以上, 钻井深度一般在 6 000 m 之上), 含气饱和度不均匀, 物性与含气性对应关系差。对于这类储集空间类型多样、储层非均质性很强的复杂的碳酸盐岩储层, 传统的油气预测方法^[1-5] 因其独特性质的影响(如 AVO(振幅随偏移距变化)技术^[6-8] 在碳酸盐岩储层中的应用时好时坏), 往往不能取得好的应用效果。因而, 选用准确率高、简单快速、适应性广的地震数据体结构特征法预测普光气田储层含气性, 实际应用的效果表明预测准确率高。

地震数据体结构特征法预测油气层, 就是研究每个地震道的地震数据元素(即地震数据体结构特征)与地层含油气性的关系。通过提取每一地震道

的振幅数值, 研究其数据的组合、排列特征与含油气性的关系, 最后达到预测油气的目的。这是一项近年来新兴的储层预测技术^[9-12]。国内学者在这方面做了应用尝试^[13-19], 取得了一些较好的研究成果^[20-23]。文章应用地震数据体结构特征法预测普光气田碳酸盐岩储层含气性, 并分析应用效果。应用结果表明, 地震数据体结构特征法完全适用于类似普光气田的非均质很强的碳酸盐岩储层的含气性预测, 而且预测准确率高, 应用效益显著。

2 模型特征分析

模型特征主要指地震数据体结构预测数值结构模型特征, 其目的是通过模型特征研究, 更加准确地建立起研究地区含气层地震数据体结构特征异常的量化识别标志。

表 1 和表 2 分别为过 P6 井和 P3 井的地震数据体结构特征响应模型异常值对比表(地震数据体结构特征 GM 异常值表——无量纲)。其中, 过 P6 井地震数据体结构特征异常数值分布范围为 36 ~ 42

[收稿日期] 2010-07-28

[基金项目] 国家“十一五”科技重大专项“高含硫气藏安全高效开发技术”(2008ZX05017)

[作者简介] 曾大乾(1965-), 男, 湖北赤壁市人, 教授级高级工程师, 博士, 研究方向为天然气开发研究与管理; E-mail: zengdaqian@126.com

(无量纲);P3 井地震数据体结构特征异常数值分布范围为 2~6(无量纲)。从地震数据体结构特征异常数值分布大小可以明显看出,钻井已证实的 P6 井气层和 P3 井非气层,在气层段中,它们都有明显的结构特征异常值段,如果是没有明显的地震数据体结构特征异常值段,如 P3 井,则可能为含气性差或不含油气。

表 1 P6 井地震数据体结构异常值表

Table 1 Seismic data structure anomalous values across P6 well

序号	实测值	模型值	还原值	误差	相对误差/%
1	13 071.96	20 549.76	14 089.35	1 017.39	7.22
2	13 612.72	34 639.11	13 349.49	263.23	1.97
3	12 540.00	47 988.60	12 843.93	303.93	2.37
4	12 945.24	60 832.53	12 338.37	606.87	4.92
5	13 913.24	73 170.90	10 012.20	3 901.04	38.96
6	9 549.76	83 183.10	6 978.18	2 571.58	36.85
7	8 708.04	90 161.28	6 140.31	2 567.73	41.82
8	7 018.88	96 301.59	7 296.30	277.42	3.80
9	7 095.44	103 597.89	7 296.30	200.86	2.75

表 2 P3 井地震数据体结构异常值表

Table 2 Seismic data structure anomalous values across P3 well

序号	实测值	模型值	还原值	误差	相对误差/%
1	4 048.72	5 486.22	3 849.30	199.42	5.18
2	4 147.84	9 335.52	4 248.90	101.06	2.38
3	4 604.80	13 584.42	4 828.50	223.70	4.63
4	5 229.36	18 412.92	5 486.94	257.58	4.69
5	5 880.88	23 899.86	5 560.02	320.86	5.77
6	5 587.84	29 459.88	5 377.50	210.34	3.91
7	5 295.52	34 837.38	5 189.22	106.30	2.05
8	4 963.12	40 026.60	4 848.12	115.00	2.37
9	4 687.12	44 874.72	4 848.12	161.00	3.32

处理已知井含气层段的地震道,显示出明显的灰色异常值段,这些异常值段在地质上的含义可能是个异常体,但内涵不能表达,是岩性异常或是由于含油气引起的异常,需进一步进行关联分析。通过实钻井关联分析、对比解释,异常体在地震剖面上普遍反映为一个较强的同相轴,有些反映在较弱相位上,但为了追踪对比和作图方便,在地震剖面上仍标定在强相位上。

3 结构特征与油气关系

应用地震数据体结构特征分析方法对地震数据体在时空上的变化进行了实际的分析,并提供了相应的油气预测结果。首先选取典型单井进行地震数据体结构特征模型量化分析,建立结构特征与氧气的关系。图 1 是过 P5 井的变面积地震剖面,由于波峰相互叠置,因此无法显示不同地震道之间波形的微细变化,也无法区分目的层与其他层的地震道间波形的差异。强振幅波峰反映的是岩层与围岩间的变化,而不是同一岩层内含气与含水的变化。双极性彩色剖面增强了光学动态范围,从而提高了判断振幅异常范围的效果,但它在某些方面也增加了识别油气水关系的不确定因素。图 2 为目的层的局部放大剖面,地震波从波峰变化到波谷(或从波谷变化到波峰)时,波形曲线的斜率变化较快,显得较杂乱,没有规律,通过地震波斜率的定性分析,可以很好地看出同一地震道在目的层内外地震波形的变化。图 3 显示的是抽出了井旁目的层时间段附近的 11 道地震波形图。表 3 定量计算了图中对应的斜率值,它更清楚地说明了不同地震道之间波形及地震数据体结构特征的细微变化,同时也充分说明不同的波形必然具有不同的地震数据体结构。通过对同一目的层地震波斜率的计算及分析,可以更好地找到目的层内横向上的变化,更有利于地震横向分辨率的提高。

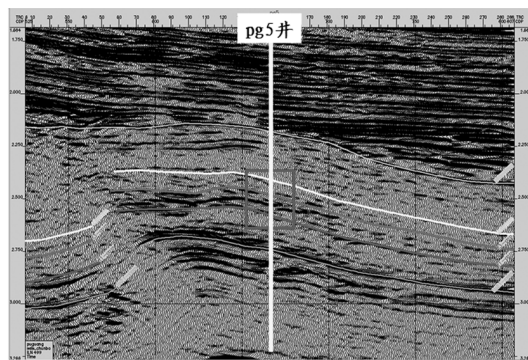


图 1 过普光 5 井的地震剖面

Fig. 1 Seismic section across Puguang 5 well

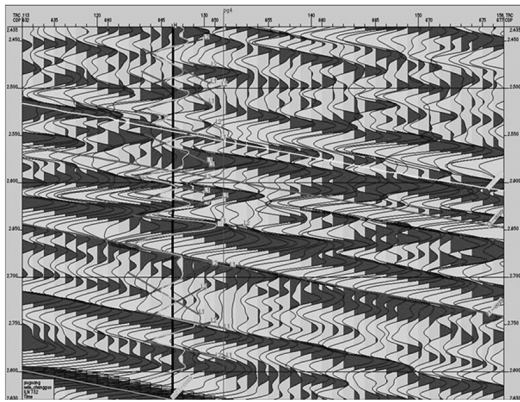


图2 目的层地震数据结构的斜率变化图
Fig. 2 Slope change of seismic data structure in target formation

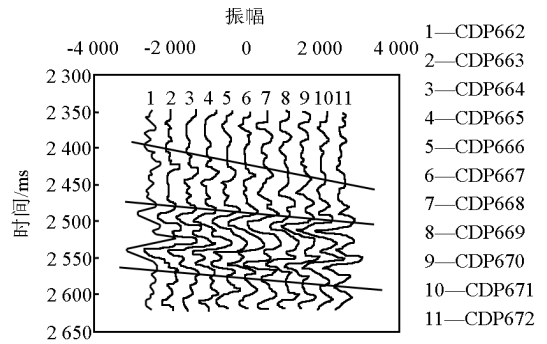


图3 普光5井井旁11道目的层附近的波形特征
Fig. 3 Waveform characteristics near target formation of the 11 traces across Puguang 5 well

表3 过普光5井附近10道目的层附近的波形斜率变化表

Table 3 Waveform slope change near target formation of the 10 traces across Puguang 5 well

斜率	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671
K_1	0.029 4	0.070 2	0.026 9	0.025 5	0.021 3	0.048	0.066 7	0.084 4	0.050 9	0.042 1
K_2	-0.052 5	-0.071 4	-0.041 3	-0.050 3	-0.071 5	-0.061 1	-0.027 9	-0.021 4	-0.021 2	-0.033 4
K_3	0.044 6	0.062 6	0.040 7	0.035 3	0.063 6	0.198 4	0.003 6	0.022 4	0.018	0.020 8
K_4	-0.066 8	-0.030 2	-0.030 6	-0.033 1	-0.028 2	-0.036 7	-0.031	-0.023 5	-0.030 3	-0.022 1
K_5	0.021 1	0.019 9	0.017 2	0.014 8	0.014 6	0.013 7	0.016 1	0.019 1	0.015 5	0.012 3
K_6	-0.02	-0.017 1	-0.012 2	-0.013 5	-0.027 8	-0.028 3	-0.030 5	-0.022 2	-0.012 2	-0.014 6
K_7	0.010	0.008 5	0.008	0.009 2	0.019 7	0.022 2	0.027 2	0.024	0.021 4	0.017 7
K_8	-0.024 2	-0.032 5	-0.029 9	-0.032 9	-0.014 2	-0.011 8	-0.095	-0.014 1	-0.024 2	-0.021
K_9	0.117 1	0.089 2	0.071	0.054 8	0.033 4	0.025 4	0.019 7	0.054 4	0.038 2	0.031 3

其次,应用单井地震数据体结构特征模型量化分析结果,建立全区P2井、P3井、P4井等井的地震数据体结构特征量化模型和异常剖面。文章以P2井为例。图4显示了过P2井主测线的叠偏地震剖面图,井点位于背斜构造上。图5为过P2井的地震数据体结构特征剖面模型图,在含气层段中,地震道的数据体结构特征变化大(其斜率及夹角变化都比较大),自上而下一致性较差,没有规律可循。而在不含气的层段,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。这就说明了地层含气情况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不同。而此时波形和振幅值的大小都变化无常,这也说明数据结构变化与波形变化是有区别的。图6和图7为过P2井井约束地震反演属性剖面与地震数据体结构特征剖面对比图(Inline596)。其中,图6为过P2井气层井约束地震反演属性剖面图,图7为过P2井气层地震数据体结构特征剖面图。从两张剖面对比图可以明显看到,

P2井气层($T_1f_4-T_1f_3-T_1f_1$)地震数据体结构特征剖面突出、明显,而井约束地震反演属性剖面不明显。图7更为清晰地体现出了含气层段在纵向上所具有的数据结构异常变化,并由此可以圈定出含气层段的数据结构异常边界。

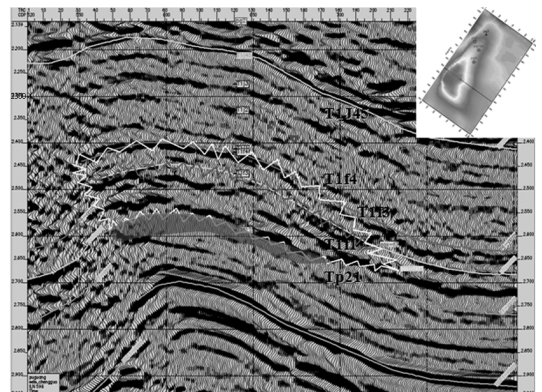


图4 过普光2井地震剖面
Fig. 4 Seismic section across Puguang 2 well

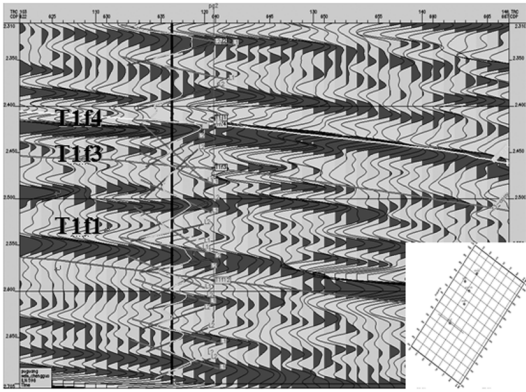


图5 过普光2井地震数据体结构特征剖面模型图

Fig. 5 Section of seismic data structure characteristic model across Puguang 2 well

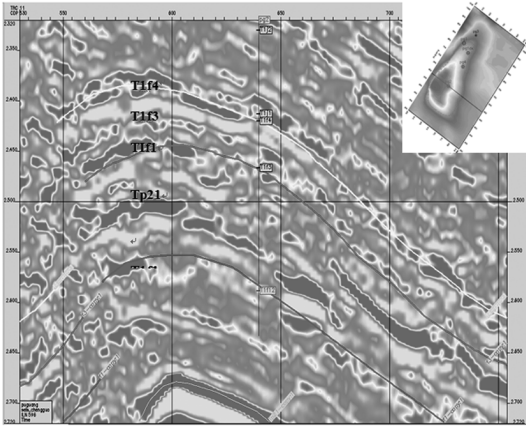


图6 过普光2气层井约束地震反演属性剖面图

Fig. 6 Seismic inversion attribute section constrained by well across Puguang 2 well

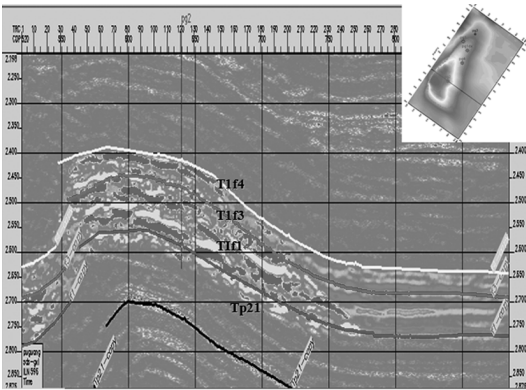


图7 过普光2气层地震数据体结构特征剖面图

Fig. 7 Seismic data structure characteristic section across Puguang 2 well

4 储层含气性预测成果

将全区的地震道经过以上流程处理,得到单井地震数据体结构特征量化模型和异常剖面成果,最终实现全区长兴组—飞仙关组(P2c - T1f4)有利含气层段的地震数据体结构特征量化识别。根据预测结果,普光气田全区共分4类,各类有利含气结构特征异常值及相对误差见表4。其中,I + II类含气区是高效井井位部署的主要区域(见图8)。

表4 普光气田全区地震数据体结构特征异常分类表

Table 4 Classification table of seismic data structure anomalous values in whole Puguang Gas Field

序号	结构特征异常值(VSDS)	结构特征相对误差/%	类型
1	> 580	> 85	I类
2	420 ~ 580	65 ~ 85	II类
3	360 ~ 420	50 ~ 65	III类
4	< 360	< 50	IV类

注:VSDS = (结构特征值 - 原始地震道值) / 结构特征值 × 100

通过对含气有利区进行对比评价,总体结构异常体符合目前的钻井情况。含气边界向西至普光7断层,向南至相变线,向东至P8—P9—P101井一线,向北在P3井附近,整个含气区域位于构造高部位。普光2块气水过渡带在P8—P304-1—P10—P101附近。普光3块气水过渡带在P7侧1—P106—2H—P3井附近,与预测结果相吻合。

5 结语

分析普光气田的应用实例可知,尽管该气田碳酸盐岩储层横向变化大,非均质强,但是,利用目的层段地震数据体结构特征的异常值,可以对储层中的含气性进行识别,而且取得了很好的效果。当储层含气时,该层段的地震数据体结构特征往往会出现较高的异常值。普光气田应用含气性预测结果布置的38口开发井钻井成功率100%,均钻遇优质气层。实践表明,地震数据体结构特征法适用于碳酸盐岩储层含油气性预测。

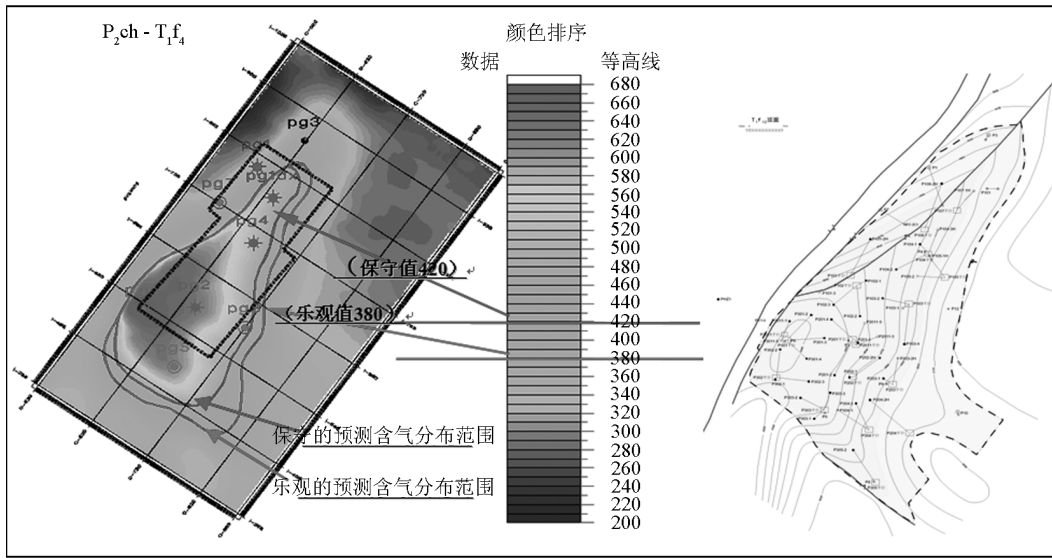


图8 普光气田地震数据体结构特征异常值分布对应含气面积对比图

Fig.8 The corresponding gas bearing area and seismic data structure anomalous values distribution in Puguang Gas Field

参考文献

- [1] 李津, 孙渊, 张成利. 地震属性参数神经网络油气预测应用研究[J]. 西安石油学院学报, 1999, 14(6): 17-19
- [2] 郭淑文. 二维叠前模式识别方法研究[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(3): 313-317
- [3] 郑春雷, 史忠科. 基于神经网络的油气预测方法[J]. 西北工业大学学报, 2003, 21(5): 574-577
- [4] 刘伟方, 于兴河, 黄兴文, 等. 利用地震属性进行无井条件下的储层及含油气预测[J]. 西南石油学院学报, 2006, 28(4): 22-25
- [5] 刘雯林. 油气田开发地震技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- [6] 王振国, 陈小宏, 王学军, 等. AVO方法检测油气应用实例分析[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(2): 194-197
- [7] 顾功叙. 顾功叙文集[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 297-302
- [8] 黄绪德. 油气预测与油气藏描述[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2003
- [9] O' Doherty R F, Anstey N A. Reflections on amplitudes[J]. Geophys Prospect, 1971, 19: 430-458
- [10] Banik N C, Lerche T, Shuey R T. Stratigraphic filtering, Part I: Derivation of O' Doherty - Anstey formula[J]. Geophysics, 1985, 50: 2768-2774
- [11] Shapiro S A, Zien H. The O' Doherty - Anstey formula and localization of seismic waves[J]. Geophysics, 1993, 58: 736-740
- [12] 刘文岭, 李刚, 夏海英. 地震波形特征分析定量描述方法[J]. 大庆石油地质与开发, 1999, 18(4): 44-46
- [13] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987
- [14] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1986
- [15] 邓聚龙. 灰色控制系统[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1985
- [16] 邓聚龙. 灰色理论基础[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2003
- [17] Lin Changrong, Wang Shangxu, Zhang Yong. Predicting the distribution of reservoirs by applying the method of seismic data structure characteristics: example from the eighth zone in Tahe Oilfield[J]. Applied Geophysics, 2006, 3(4): 234-242
- [18] Lin Changrong. Application of grey system theory to gas pool prediction of 3D seismic data prior to drilling [R]. SPE 54274, 1999
- [19] Wang Shangxu, Lin Changrong. The analysis of seismic data structure and oil and gas prediction[J]. Applied Geophysics, 2004, 1(2): 75-82
- [20] 林昌荣, 王尚旭, 夏强. 川东北地区飞仙关组地震反射特征及地震相分析[J]. 油气田地面工程, 2007, 26(4): 10-12
- [21] 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[J]. 石油勘探与开发, 2009, 36(2): 208-215
- [22] 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[J]. 天然气工业, 2007, 27(ZB): 44-47
- [23] 林昌荣, 孙立春, 崇仁杰. 地震数据体结构特征与油气预测[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(6): 417-421

Predicting gas reservoir of Puguang Gas Field by applying seismic data structure characteristics abnormality method

Zeng Daqian¹, Lin Changrong², Zhang Shimin¹, Peng Xinling¹

(1. Zhongyuan Oilfield Puguang Subcompany, Dazhou, Sichuan 635000, China; 2. China University of Petroleum (Beijing) CNPC Key Lab of Geophysical Prospecting, Beijing 102249, China)

[**Abstract**] The reserve space of carbonate reservoir is complex and various in Puguang Gas Field, so the traditional hydrocarbon prediction methods can not get better results. The paper used the structural characteristics of seismic data volume to predict hydrocarbon reservoir, which took relationship between seismic data components on each seismic trace (that is structural characteristics of data volume) as study object to research the characteristics of composition and range of various parameters and their relationship with hydrocarbon bearing ability by detecting the amplitude value of each seismic trace, achieving the goal of predicting the hydrocarbon reservoir. Finally, the method was used to predict reservoir of Puguang Gas Field. The applied results demonstrated that the method can overcome the influence of reservoir nature and can get better results in the prediction of strong nonhomogeneous carbonate reservoir.

[**Key words**] seismic data volume; structural characteristics; Puguang Gas Field; hydrocarbon reservoir

(上接 90 页)

Reservoir development characteristics and predication technologies of large Puguang-Yuanba Gas Field

Guo Xusheng, Guo Tonglou, Huang Renchun, Chen Zuqing

(Southern Branch of SINOPEC Exploration Corp, Chengdu 610041, China)

[**Abstract**] Based on reef and shoal facies reservoir development characteristics and main controlling factors in Puguang-Yuanba area, the “three step processes method of the facies controlled the reservoir” comprehensive prediction technology of ultra-deep carbonate rock was established, which was under the guidance of sedimentary facies analysis, on the basis of forward modeling and the seismic facies analysis, and by the phase-controlled multi-parameter reservoir inversion as core.

[**Key words**] Puguang Gas Field; Yuanba Gas Field; platform edge; organic reefs; shoals; attribute analysis; the three step processes method of the facies controlled the reservoir