

文章编号: 1009-3850(2002)04-0061-06

川西坳陷新场气田蓬莱镇组有利储层横向预测

马 勇

(西南石油局 川西天然气开发公司, 四川 成都 610081)

摘要: 川西坳陷侏罗系是川西浅层天然气勘探开发的主要目的层。气藏分布与蓬莱镇组中有利储层的展布密切相关。气藏预测的重点和难点主要在于对有利储层的准确预测。笔者运用层序地层学原理, 建立起了川西坳陷上侏罗统蓬莱镇组的层序地层对比格架。经研究发现, 有利储集砂体主要发育在中期基准面下降晚期和上升早期。通过分析砂体的沉积、测井、地震等标志, 可以确定储层的主要沉积微相, 利用储层的多种识别标志, 特别是含气砂体的地震识别标志, 有效地实现了对有利储层的横向预测。

关键词: 蓬莱镇组; 层序地层; 储层预测; 川西

中图分类号: TE121.3 文献标识码: A

1 概 况

川西坳陷侏罗系陆相地层十分发育, 出露有下统白田坝组(自流井组), 中统千佛崖组(新田沟组)、下沙溪庙组、上沙溪庙组和上统遂宁组、蓬莱镇组(蓬花口组)地层; 沉积总厚度为1500~3500m不等。不同区域地层发育、不同组段岩性组合变化较大。川西坳陷上侏罗统蓬莱镇组(J_3p)为褐灰、绿灰色粉砂岩、细砂岩与紫红、棕褐色泥岩韵律互层。蓬莱镇组自下而上包括仓山页岩、太和镇砂岩、李都寺灰岩和景福院页岩等区域性标志层。据此划分为4个岩性段: 蓬莱镇砂岩至仓山页岩划为蓬一段(J_3p^1), 仓山页岩至太和镇砂岩底划为蓬二段(J_3p^2), 太和镇砂岩至景福院页岩之间地层划为蓬三段(J_3p^3), 景福院页岩以上至下白垩统底划为蓬四段(J_3p^4)。厚度为800~1300m。在该套地层中, 沉积环境决定其中发育较多的有利储层。

2 层序地层对比及层序地层格架

根据层序地层学原理, 利用识别各级层序界面的地震、露头、测井标志, 确定层序界面的性质, 在沉积相分析及较高精度的等时地层对比基础上, 建立了四川盆地侏罗系层序地层格架, 将侏罗系地层划分为3套构造充填层序和8套沉积层序^[1]。其中, 蓬莱镇组为第3构造充填层序中的第3套和第4套沉积层序, 即 III₃ 和 III₄ 沉积层序(表1)。

表 1 层序划分简表

Table 1 Sequence stratigraphic division of the Jurassic strata in the Sichuan Basin

层位	构造层序	沉积层序	反射界面
蓬 莱 镇 组	III	III ₄	T ₀
		III ₃	T ₁ ¹ T ₁

III₃和III₄两沉积层序的底、顶界各为T₁和T₀地震反射界面。在川西深拗陷的广汉、什邡一带,以地震反射的下超终止为标志,可识别出T₁¹;T₁~T₁¹为III₃沉积层序,T₁¹~T₀为III₄沉积层序。在蓬莱镇相区,用具最大湖泛面意义的仓山页岩和景福院页岩作标定,可识别出两个水进扩张层序,因而蓬莱镇组可划分出两套沉积层序III₃、III₄。III₃沉积层序由蓬莱镇砂岩、仓山页岩至太和镇砂岩以下地层组成,一般厚900~1100m,且西厚东薄;III₄沉积层序由太和镇砂岩、景福院页岩及下白垩统苍溪组以下地层组成,一般厚500~700m,仍是西厚东薄。

经研究发现,基准面旋回和储盖组合关系十分密切,基准面上升到下降的转换位置处发育的泥岩是区域良好盖层,有利储集砂体主要发育在中期基准面下降晚期和上升早期。

3 新场气田实例分析

新场气田位于川西拗陷中段。在该地区蓬莱镇组中,发育较多有利沉积微相砂岩,主要分布在蓬二段和蓬三段中。开发上,根据储量、地层压力、储层特征等划分出了4个开发层系,即蓬零(JP₀)、蓬一(JP₁)、蓬二(JP₂)和蓬三(JP₃)开发层系,其中蓬一(JP₁)、蓬二(JP₂)开发层系已探明天然气地质储量200多亿立方米。这两套开发层系分别发育相对稳定的砂岩7套(JP₁¹~JP₁⁷)和6套(JP₂¹~JP₂⁶),为目前新场气田的主力开发层系,分布在蓬二段和蓬三段中。

气藏展布方向主要受制于有利沉积微相砂岩分布状况。研究中,在综合多种资料信息基础上,建立了储层分布的纵横向模式,并进一步分析了各类储层微相特征及其与天然气富集的关系。

3.1 纵向相序分析

蓬莱镇组沉积时期,沉积基准面的上升和下降支配着纵向相序的演变,支配着各种不同类型砂体在纵向和横向上的展布。基准面升降旋回中的几个最大湖泛面,控制了几种不同类型砂体组合,并对它们构成有效封盖^[2]。JP₃时期,底部为构造层序初期充填的三角洲前缘毯状分布砂岩,地震反射特征为高连续的强反射,物源来自西部;顶部为最大湖泛面——苍山页岩。JP₃时期,由于基本的湖泊背景决定其储层砂岩不太发育,仅有一些水下隆起滩坝砂和水下分流河道砂岩。JP₂时期,由于苍山页岩之后出现的基准面下降,形成了一套三角洲平原分流河道

为主的沉积物,进积型分流河涎砂岩是JP₂中的主要有效储层,物源主要来自北东部和北部,地震资料清楚反映出了这类透镜状砂岩的分布状况。JP₁是基准面上升过程中形成的一套三角洲序列(三角洲平原—三角洲前缘—前三角洲),顶界为又一最大湖泛面——景福院页岩,该层系下部(JP₁⁷)是一套弱进积三角洲平原相、连续性较差的带状砂体,中上部受3个次一级基准面旋回控制,分别形成3个显加积为主、略显退积的三角洲前缘毯状砂体和3个弱进积的三角洲平原带状砂体构造的3个砂组,即JP₁⁶—JP₁⁵、JP₁⁴—JP₁³、JP₁²—JP₁¹,地震反射特征为3个连续性好的强反射波组。JP₀为基准面下降过程中形成的以加积为主的三角洲带状砂体。

3.2 储层微相分析

新场气田蓬莱镇组环境变化较为频繁,早期以滨-浅湖相为主,发育储层微相主要为水下滩坝和砂坪砂岩;中期则以三角洲平原分流河道为主,如JP₂¹—JP₂⁶砂岩;晚期则以三角洲前缘、三角洲平原环境间互出现。储层砂岩主要分布在三角洲平原分流河道和三角洲前缘沙口砂坝、远砂坝等微相中。以上这些储层微相无论在沉积上、测井上、地震上均有其特有的识别标志。

1. 沉积标志

新场气田蓬莱镇组钻井较多,岩心资料较为齐全,为准确分析储层微相奠定了较为坚实的基础。

岩石类型中,蓬莱镇组相比沙溪庙组粒度偏细,即多为细砂岩和粉砂岩,储层上下泥岩仍以红色为主,且在JP₁、JP₂中常见钙质结核,分选中等;层理构造中既有由下到上水动力特征由强变弱的交错层理、平行层理、水平层理和沙纹层理的河道微相组合特征(如JP₂各时期主要分流河道),也有由弱到强的反韵律组合(主要发育在河口砂坝、远砂坝、决口扇中),还有砂、泥频繁互层组合结构(天然堤特征)。

2. 测井标志

经大量钻井实钻资料与测井资料分析,本区自然伽玛曲线能够很好地反映沉积环境,可以作为储层划相的主要依据。

(1) 钟形。底界突变,之上伽玛值逐渐增高到泥岩背景值,反映正粒序的河道砂坝砂岩特征。

(2) 箱形。底、顶界均为突变型,储层段伽玛值低,反映水动力条件稳定、物源丰富的典型河口砂坝、分流河道中部砂岩特征。

(3) 漏斗形。由下到上伽玛值逐渐降低,顶部呈突变型。为水动力条件逐渐增强时形成的逆粒序沉

积反映,为河口砂坝、远砂坝、决口扇沉积物特征。

(4) 锯齿形。高、低伽玛段间互出现,主要反映能量频繁的堤岸互层沉积。

(5) 卵形、指形。顶、底均为渐变,且厚度较小,主要反映物源少、能量相对强于湖泊的水下滩坝砂岩或滨-浅湖砂坝砂岩特征。沉积构造常见双向沙纹层理。

3. 地震标志

通过大量钻井沉积序列和对应地震响应特征相结合,总结出了沉积相与地震相的匹配关系^[3]。

(1) 地震反射振幅中一强相。该相在任何地震剖面上,反射同相轴连续性好,呈长条状,为三角洲前缘河口砂坝微相及叠置分流河道微相反射特征。

(2) 地震反射振幅中一强、连续性差—中等相。该相多呈透镜状,为典型三角洲平原分流河道砂坝和水下隆起滩坝砂岩地震反射特征。

(3) 地震反射振幅不强、连续性差相。该相为三角洲前缘远砂坝、分流河道边部及决口扇砂岩等微相反射特征。

(4) 杂乱反射,反射同相轴连续性极差,振幅弱,为滨、浅湖砂坪反射特征。

3.3 储层微相展布

依据上述沉积微相识别标志,建立起了区内主要储层的微相分布模式,在此基础上充分挖掘三维地震信息。对比分析结果表明:砂岩厚度与振幅强弱间均有明显相关关系,据此对蓬莱镇组内各主要储层段进行沿层振幅提取,获得各目的层的振幅平面分布,最后结合区内钻井沉积微相特征(沉积微相分布模式)及地震振幅分布,即可较为准确地确定各主要储层段的微相分布规律。

3.4 蓬莱镇组气藏含气地震响应模式的建立

含气地震响应模式的建立,是含气砂体横向预测气藏预测中的重点技术,而且也是综合性较强的一项技术^[4],其主要内容包括:

(1) 储层基本特征分析。结合地质、测井、钻井、测试及典型井资料对储层岩性、储集参数、测井响应(特别是声波、密度)等进行统计分析,分析其与围岩的差异及关系,了解储层所处的沉积相带及其它特征。

(2) 薄储层的精确标定。利用声波和密度资料制作的合成地震记录或VSP走廊叠加剖面,对储层进行精细标定。

(3) 含气砂体的地震响应机理分析。采用等效地球物理模型正演验证及合成记录等手段,分析研

究产生地震响应异常的储层物性参数基础和储层与围岩的配置条件。

(4) 含气砂体的地震响应模式建立。根据地震剖面的振幅、频率、相位、结构特征、波形特征、及特征参数的响应特征,通过统计分析和相关分析等手段,归纳总结出可能的地震响应模式。

(5) 地震相的沉积相解释。沉积环境是影响储层储集性能好坏的最主要因素,利用地震相研究成果,对地震相进行沉积相解释,进而预测含气砂体的展布规律,有利于进一步提高含气砂体预测的可靠性。

(6) 含气砂体横向预测。根据标定结果,含气砂体地震响应模式,制定横向追踪标准,进行面上追踪,并结合有利沉积微相研究成果,综合圈定有利砂体的分布范围。

1. 沉积环境和沉积相决定了地震响应的基本特征

沉积物的特征反映了沉积环境的变化,沉积物的主要特征决定了地震响应的基本特征,因而不同的沉积模式具有不同的地震响应特征^[5]。新场蓬莱镇组主要形成于三角洲平原和河流相沉积环境,对应的储层地震响应模式有3种。

(1) 强波谷、强波峰、低频:测井曲线以箱形为主,水动力强。

(2) 弱波谷、强波峰、低频:测井曲线以钟形为主,水动力作用由强变弱。

(3) 弱波谷、较强波峰、低频:测井曲线以锯齿状为主,水动力变化较快。

新场气田蓬莱镇组气藏埋深较浅(300~1300m),从下至上由4个含气层系组成,即JP₃、JP₂、JP₁、JP₀。储层沉积环境为河流、三角洲和湖泊环境;储层物性条件的差异主要和沉积相相关,其中属三角洲平原相的河道砂体,以及由分支河道、决口扇、天然堤等微相叠置复合性厚层砂体的含气性较好,其它低能环境下的砂体含气性较差。由于砂体的产状和分布与沉积环境间关系密切,对气藏展布有着最直接的控制作用,因此查清含气砂体的空间分布规律,对气藏综合评价和勘探开发等有重要意义。

2. 含气砂体精确标定

准确确定含气砂体和地震剖面反射波之间的对应关系,是做好含气砂体预测的基础。在进行含气砂体的层位标定工作中,主要利用声波和密度资料制作合成地震记录,结合地质资料,借助人机交互解释工作站,对储层进行精细标定。据此,在时间剖面

上确定了蓬莱镇组气藏中 JP_1^1 、 JP_1^2 、 $JP_1^3 + JP_1^4$ 、 $JP_1^5 + JP_1^6$ 、 JP_1^7 、 JP_2^1 、 $JP_2^2 + JP_2^3$ 、 $JP_2^4 + JP_2^5$ 、 JP_3^1 、 $JP_3^5 + JP_3^6$ 共 10 套砂体(组)的反射。

3. 含气砂体的地震响应模式

从研究典型井的响应特征(振幅、速度、频率)入手,在统计分析的基础上,归纳、完善了蓬莱镇组气层的 3 种地震响应模式。

(1) 强波谷、强波峰、低频(图 1)。该模式一般含气砂岩较厚,含气级别高,测井曲线以箱形为主,这类井一般自然产能高。

(2) 弱波谷、强波峰、低频(图 2)。该模式测井曲线以钟形为主,自然产能不很高,但压裂后产能仍然可以有很好的表现。

(3) 弱波谷、较强波峰、低频(图 3)。该模式测井响应特征以锯齿状为主,含气级别偏低。

可见,低频是含气砂体的普遍响应,振幅的强弱

不仅能有效地判别储层,而且依据波峰、波谷的配套特征还可进一步对含气砂体进行分类。

4. 模型正演验证

为了验证解释的可靠程度以及对三维资料分辨砂体的能力作出判断,根据已知井的岩性组合特征和声波、密度测井资料设计出两类地质模型——叠置砂体模型、楔状砂体模型。通过正演得到相应的地震响应,验证了河道砂体的地震响应模式。如楔状砂体模型系夹在砂泥岩中的楔状含气砂体等效地球物理模型及其地震响应。当砂岩层厚度小于 $\lambda/4$ (15m 左右)、大于 4m 时,地震波形的视时差为常数,砂体顶底不能严格分辨,但振幅随砂岩厚度增加而有规律地增强;当砂岩厚度大于 $\lambda/4$ 时,振幅逐渐变小后趋于稳定,视时差随砂岩厚度增加而加大,砂体顶底得以清晰分辨(图 4)。因此,我们可以利用振幅变化较为准确地识别、追索厚度大于 5m 的含

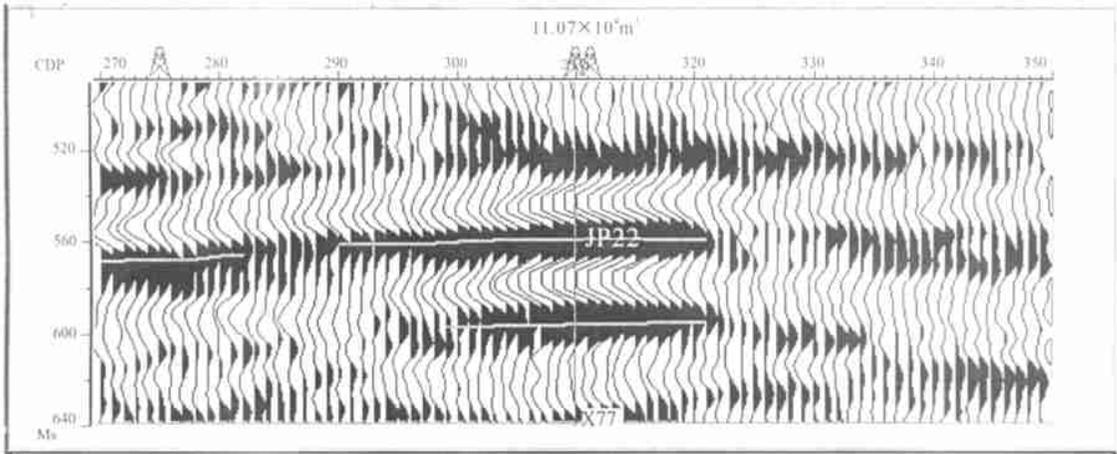


图 1 强波谷、强波峰、低频响应模式

Fig. 1 Model for the responses of strong wave troughs, strong wave crests and low frequency

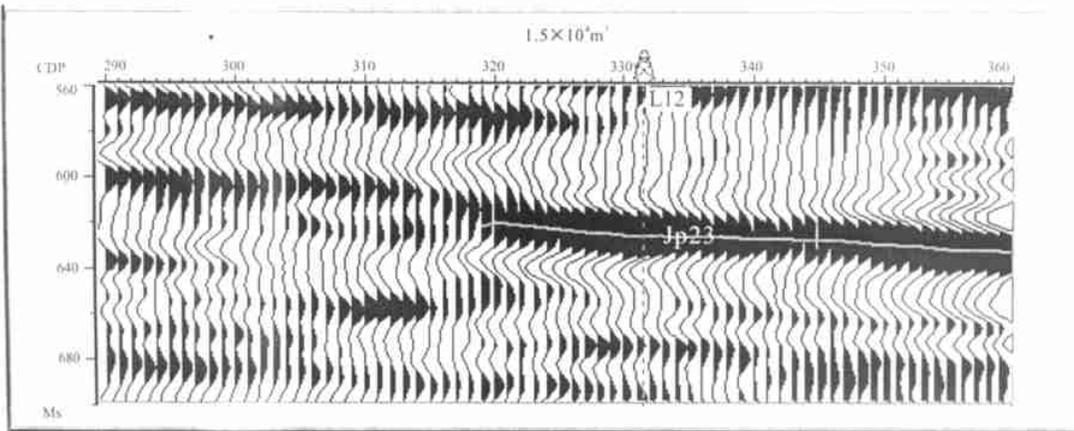


图 2 弱波谷、强波峰、低频响应模式

Fig. 2 Model for the responses of weak wave troughs, strong wave crests and low frequency

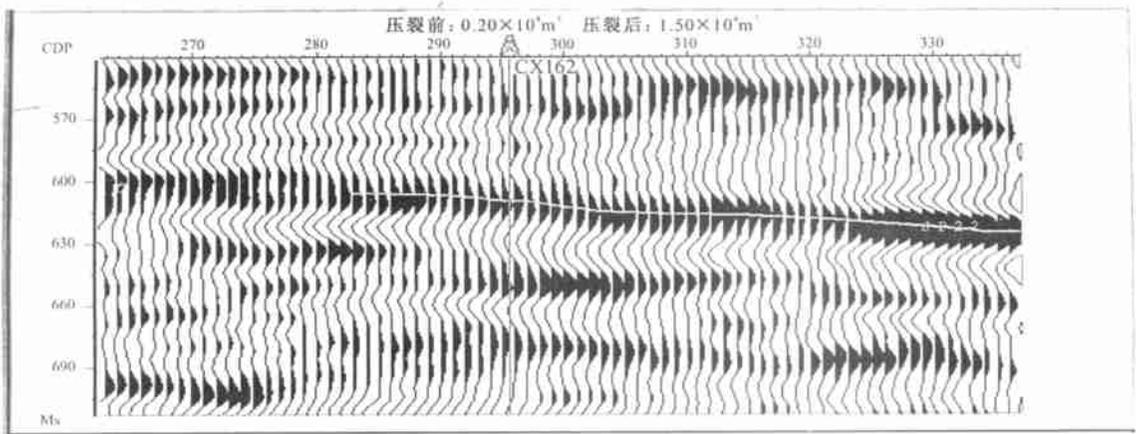


图3 弱波谷、较强波峰、低频响应模式

Fig. 3 Model for the responses of weak wave troughs, stronger wave crests and low frequency

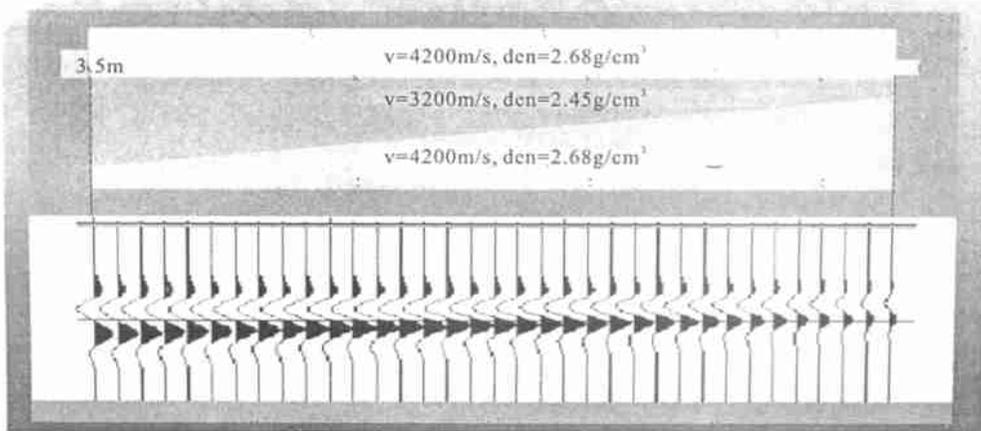


图4 楔状砂体正演模型

Fig. 4 Forward model for wedge-shaped sandstones

气砂体的横向展布。

5. 振幅信息相关分析

统计分析 JP_2^2 、 JP_3^2 的 24 口井砂岩厚度及振幅值后可知, 振幅随着砂体厚度的增加而增加。在含气级别相同条件下, 砂体厚度与振幅有正比关系。但由于薄层调谐的影响, 相关系数不高。通过分析认为, 振幅与砂岩物性好坏及含气丰度有更直接关系。在含气砂体厚度相当的情况下, 不同含气级别的响应特征, 其含气丰度与振幅成正比关系。统计分析表明, 振幅参数是分析储层含气特性的重要地震信息, 利用振幅参数, 不但可以预测砂体厚度及分布, 更重要的是可以预测砂体的品位。

6. 有利储层预测

通过对新场气田蓬莱镇组气藏含气砂体横向预测, 建立和完善了含气砂体地震响应模式, 其研究成果、多套含气砂体平面图、以及沉积相图为新场气田

蓬莱镇组气藏的规模开发提供了可靠且直观的依据, 特别是对于缺乏钻井控制的含气砂体的预测, 扩大了气藏含气面积, 而且可以有目的地针对某一气藏获得产能, 制定科学且合理的纵向及横向开发方案, 大大提高钻井成功率^[6,7]。研究成果表明, 蓬莱镇组气藏富集部位明显受沉积微相的控制而呈条带状分布, 滨-浅湖的滩坝砂体和进积型的河道砂体构成了气藏的有效储层, 呈多层系、多产层叠置, 极具开发效益。根据研究部署的 43 口开发井, 有 40 口获得了工业产能, 钻井成功率达到了 93%。在气藏的规模开发中发挥了重要的作用, 为新场气田蓬莱镇组气藏的持续稳产作出了重大的贡献。

参考文献:

[1] 林畅松, 张燕梅, 等. 高精度层序地层学和储层预测[J], 地学前

- 缘, 2000, 7(3): 111—117.
- [2] 王洪亮, 等. 地层基准面原理在湖泊相储层预测中的应用[J], 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96—102.
- [3] 瞿辉. 层序地层学及其在油气勘探中的运用[J], 地学前缘, 2000, 7(B08): 257—262.
- [4] 吴胜和, 熊琦华. 油气储层地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [5] 孙家振, 李兰斌, 等. 多信息储层预测和油气判别[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- [6] 裘怿楠, 陈子琪, 等. 油藏描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [7] 刘震. 储层地震地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.

Horizontal prediction of the hydrocarbon reservoirs in the Penglaizhen Formation, Xinchang Gas Field, West Sichuan Depression

MA Yong

(West Sichuan Gas Development Corporation, Southwest China Bureau of Petroleum, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The Jurassic strata are considered as the important target strata for the exploration and development of the supergene gas in western Sichuan. The sequence stratigraphic framework of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation has been constructed in the light of the principles of sequence stratigraphy. The results of research show that the favourable reservoir sandstones occur primarily in the later stages of base-level falls and the early stages of base-level rises. The sedimentary facies and microfacies may be identified for the hydrocarbon reservoirs on the basis of well logs, depositional and seismic indicators, and the horizontal prediction of the favourable hydrocarbon reservoirs may be effectively made on the basis of several criteria especially seismic ones for the recognition of gas-bearing sandstones.

Key words: Penglaizhen Formation; sequence stratigraphy; reservoirs prediction; western Sichuan