

文章编号: 0253-9985(2011)02-0207-07

云南曲靖盆地浅层气藏地震储层预测及勘探前景分析

陈汉军^{1,2} 叶泰然² 郭伟² 董霞²

(1. 成都理工大学 能源学院 油气藏地质及开发工程国家重点实验室 四川 成都 610059;

2. 中国石化 西南油气分公司 勘探开发研究院 德阳分院 四川 德阳 618000)

摘要: 云南曲靖盆地茨营组气藏埋深 300~450 m, 属超浅埋深岩性气藏。主力储层属高孔中渗储层, 为三角洲平原相河道边滩沉积的中细砂岩, 横向变化极快。因前期尚未形成具有较强针对性的地震储层预测技术系列, 导致勘探开发成功率低。通过储层物性及波阻抗特征分析、地震模型正演与储层地震响应特征分析, 建立了“丘型或透镜状、低频强波谷振幅、低阻抗”有利储层预测模式。利用地震相及地震属性分析技术手段, 预测出有利沉积相带分布, 有效排除了泥岩及煤层陷阱。通过 AVO 特征分析, 应用多子波分解技术, 建立了“Ⅲ类 AVO、低频强/高频弱”含气储层识别模式, 预测了含气储层分布。综合储层预测与含气性预测成果, 对岩性圈闭进行了综合评价, 发现多个有利岩性圈闭, 预测结果被实钻验证, 勘探成功率明显提高。云南新近系盆地分布广、数量大, 勘探潜力大, 本次所形成的地震储层预测技术系列可望为该类型气藏勘探开发提供借鉴。

关键词: 地震储层预测; 勘探前景; 浅层气; 茨营组; 新近系; 曲靖盆地;

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A

Seismic reservoir prediction and exploration prospect analysis of shallow gas reservoirs in the Qujing Basin, Yunnan province

Chen Hanjun^{1,2}, Ye Tairan², Guo Wei² and Dong Xia²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Deyang Branch of Petroleum Exploration and Exploitation Research Institute, SINOPEC Southwest Oilfield Company, Deyang, Sichuan 618000, China)

Abstract: The gas reservoir of Ciyang Formation in Qujing basin is a typical lithologic gas reservoir with super-shallow burial depth of 300–450 m. The major reservoir has high porosity and moderate permeability, and its lithology is medium-fine sandstone in point bar of delta plain facies and shows very rapid lateral change. As no specific seismic reservoir prediction technologies are available before, success rate of exploration and development was low. Based on analyses of reservoir physical properties and wave impedance characteristics, forward modeling and seismic response, we established a reservoir prediction model, i. e., mound or lenticular low frequency strong wave trough impedance and low impedance. It was successfully used to predict the distribution of favorable sedimentary facies through analyses of seismic facies and seismic attribute. The interpretation traps of mudstone and coal seam were effectively eliminated. By AVO analyses and multi-wavelet decomposition, a gas reservoir identification model, i. e., type-Ⅲ AVO, strong low frequency and weak high-frequency was built and applied to predict the distribution of gas reservoirs. The reservoir and gas potential prediction results are integrated to comprehensively evaluate lithologic traps. Several favorable lithologic traps are discovered and successfully verified by drilling, significantly improving exploration success rate. The Neogene basins are widely distributed in Yunnan Province and have great exploration potentials, but are still underexplored by now. The technique of seismic reservoir prediction can be applied for exploration and development of similar gas reservoirs.

收稿日期: 2011-01-05。

第一作者简介: 陈汉军(1971—), 男, 博士研究生, 地震地质综合研究。

Key words: seismic reservoir prediction, exploration prospect, shallow gas reservoir, Ciyang Formation, Neogene, Qujing Basin

云南新近系浅层气藏的发现主要在20世纪末至21世纪初,截止2010年,已进行油气钻探的盆地有10个,获工业气流盆地有4个^[1],获工业油流盆地1个(景谷盆地),发现天然气流的盆地2个(昆明、越州)。云南新近系残留盆地浅层气藏成藏条件较好,主要为岩性、构造+岩性气藏,属于生物气藏^[2],埋深普遍低于500 m,是典型的超浅埋深气藏。勘探开发投资相对较低,社会需求大,致使该类气藏具有较好的勘探开发效益。

由于超浅埋深气藏上覆层薄,地层压实程度低,气层地球物理响应往往较为突出^[3],前人亦总结出了云南地区该类气藏多种地球物理响应特征,预测技术方面主要采用常规地震相分析、亮点技术等^[1,4],但受技术条件、地质规律认识程度的限制,预测技术针对性及系统性不够,对含气储层识别尚未形成具有较强针对性的地震预测技术系列,尤其是相控地震储层预测、含气性预测研究不够深入,预测精度有限,常常钻遇与气层速度相近的低速度褐煤层或泥岩。近年来川西浅层侏罗系^[5-9]、鄂尔多斯二叠系石盒子组^[10-11]、渤海湾盆地古近系^[12]等国内多个岩性气藏预测技术日趋成熟^[13],这为云南新近系岩性气藏识别提供了可以借鉴的丰富经验,地球物理技术的快速发展亦使该类浅层气藏的识别精度大幅度提高成为可能。通过储层精细标定,含气储层与围岩波阻抗特征、地震相及沉积相特征、地震属性特征、AVO特征、频变特征的综合分析,可望排除干砂岩、煤层等预测陷阱,解决困扰岩性气藏勘探最为关键的储层预测及含气性识别问题。

1 基本地质特征

1.1 盆地类型及地层系统

曲靖盆地是典型的新近系残留断陷盆地,西浅东深,为残留的小型陆相箕状断陷盆地,基底为古生界,最大埋深近2 000 m。

钻井及地表露头揭示,曲靖盆地沉积盖层为渐新统小屯组(E_3x)、蔡家冲组(E_3c)、上新统茨营组(N_2c)和第四系。上新统茨营组(N_2c)为一套河

湖相含煤沉积,储层主要位于茨营组三段(N_2c^3)底部,该段厚150~200 m,主要由泥岩(粘土岩)、粉砂质泥岩、细粒长石石英砂岩、含砾砂岩夹多层褐煤组成,不整合在渐新统蔡家冲组或其他老地层之上。

1.2 沉积相及砂体分布特征

根据各类沉积相标志综合分析,将茨营组划为河控三角洲沉积体系,细分出三角洲平原和前缘两个亚相,区内前三三角洲亚相不发育。

三角洲平原分流河道微相是储层的主要沉积相类型,分流河道砂体是天然气藏的骨架砂体,主要由砂岩、细砂岩和粉砂岩组成,由于砂岩的成分成熟度和结构成熟度都较低、松散,所以一些泥质粉砂岩也可以作为储集砂体。各井砂体的剖面结构非常相似,都具有较明显的下粗上细正粒序,底部冲刷面之上是河床滞留沉积,向上发育边滩沉积,往往都是河床滞留沉积和边滩沉积的重复迭置^[4],分流河道砂体往往多次反复叠加成一个厚砂体,但受小型盆地物源供给有限影响,形成的砂体厚度总体不大,一般5~20 m,多数低于10 m,由于边滩沉积横向侧变较快,为岩性圈闭的形成提供了有利的岩性圈闭条件。

从连井砂体对比图上可以看出(图1),茨营组三段(N_2c^3)发育4套砂体,从上至下,编号分别为 $N_2c^{3(1)}$ — $N_2c^{3(4)}$ 。 N_2c^3 沉积早期,主要发育三角洲相,在该层段底部发育了一套相对厚层的分流河道砂体 $Nc^{3(4)}$,该砂体即为茨营组气藏主力储集砂体,统计表明靠近湖岸线的井发育的砂体较厚,湖盆位于盆地中东部。其后,为短期的水进过程,湖盆扩张,在 N_2c^3 沉积中期的 $Nc^{3(3)}$ 、 $Nc^{3(2)}$ 砂体发育时期水体变深,随着湖岸线的西部斜坡移动,主要的分流河道都进入到水里,形成水下分流河道,砂体粒度变细、单层厚度变薄,泥质含量增加,储集物性不如 $N_2c^{3(4)}$ 。

2 有利沉积相带预测

2.1 模型正演

根据钻井揭示的煤层、干砂层、含气砂岩,对

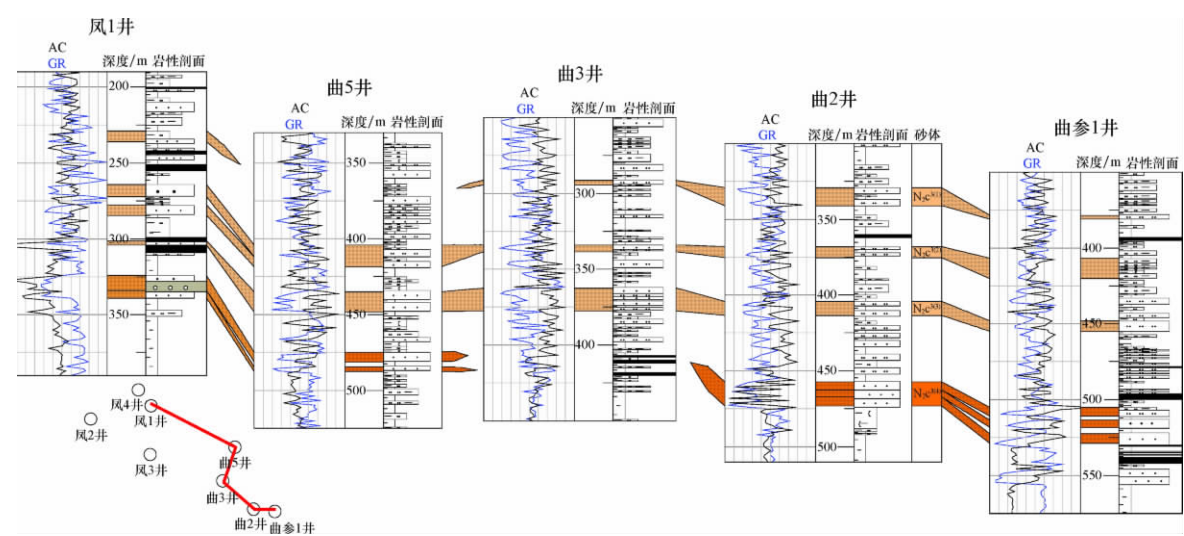


图 1 曲靖盆地风 1—曲 5—曲 3—曲 2—曲参 1 井连井砂体对比

Fig. 1 Correlation of sandbodies between F1 - Q5 - Q3 - Q2 - QC1 wells in the Quqing Basin

作为围岩的泥岩地球物理特征进行了模型正演。实钻表明,含气砂岩速度与煤层接近,速度极低,均为 1 400 m/s 左右,这与储层欠压实未固结成岩有关,二者与作为围岩的泥岩速度 1 600 m/s 差异较大。模型正演表明剖面上均形成强反射(图 2),这是导致多口钻井钻遇煤层的主要原因。但由于第三系盆地物源供给有限,河道横向衍生范围往往小于 500 m,剖面主要呈透镜状特征(图 2 中 b_2);厚度较大 15 ~ 20 m 的含气河道砂岩剖面可能出现丘型特征(图 2 中 b_1);干砂岩速度 1 670 m/s 与围岩速度差异相对较小,如果叠置,亦可能存在丘型反射(图 2 中 a),而煤层横向分布较为稳定,厚度往往

为 2 ~ 3 m(图 2 中 c),地震响应为平行连续反射,横向延伸范围较砂岩宽。因此利用丘型、透镜状反射特征可能排除砂岩与煤层,避免煤层陷阱,这为地震有利砂岩沉积相带预测提供了依据。

2.2 沉积相及砂体分布特征

由于储层优势沉积相带为三角洲分流河道,因此,该类相带识别是地震相带预测的核心内容。图 3 是过工业气井风 1 井、干井曲 3 井 N_2c^3 底拉平地震剖面,可以看到砂岩发育的风 1 井具有典型“丘型、透镜状”的地震反射特征,这与其它地区河流相地震响应特征一致^[10,12],而煤层发育的曲

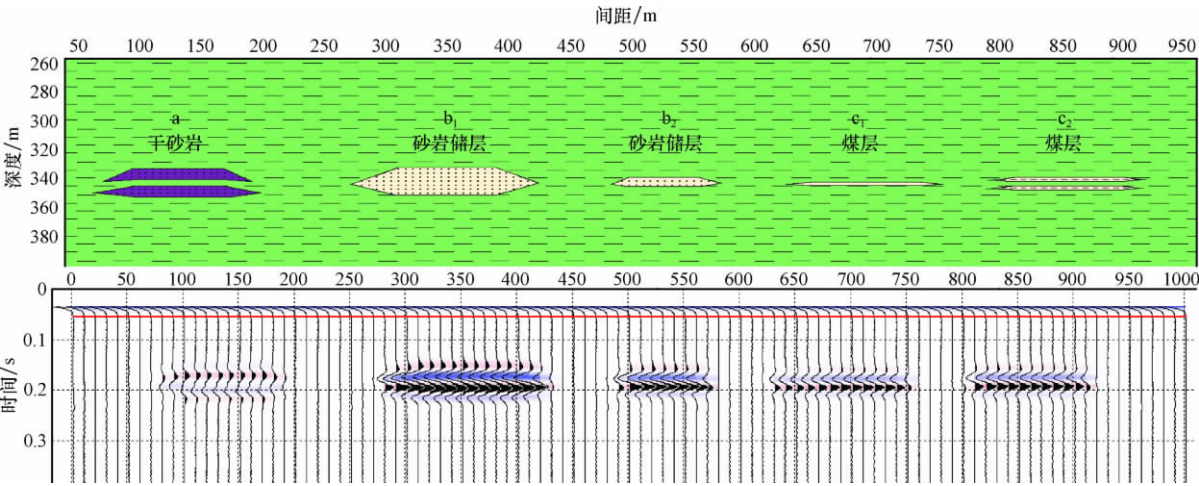


图 2 曲靖盆地茨营组不同厚度气层、干层、煤层地震响应模型正演

Fig. 2 Forward modelling of gas layers, dry layers and coal layers of various thickness in the Ciyang Formation of the Quqing Basin

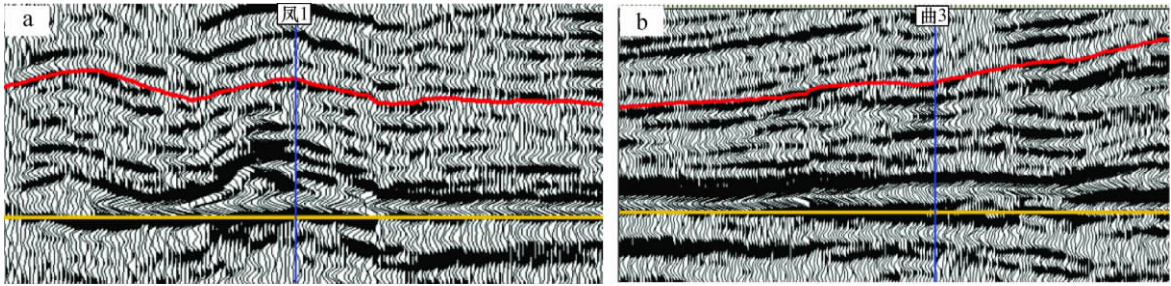


图 3 曲靖盆地过凤 1、曲 3 井储层底拉平地震剖面

Fig. 3 Bottom-flattened seismic profile across F1 and Q3 wells in the Qujing Basin

a. 过凤 1 井地震剖面; b. 过曲 3 井地震剖面

3 井不具有这一特征,其他井均符合这一模式,与模型正演结果即为相似。这一预测模式可以有效排除煤层陷阱。

依据地震丘型、平行透镜状特征识别出有利分流河道砂岩分布区域,编制沉积相图(图 4)。湖泊相带发育在东部,盆地内三角洲平原主体由横向上叠置的、纵向上退积的分流河道砂体组成,物源主要来自于西部。在盆地西斜坡中部,在地震剖面上发现低频、强波谷振幅异常,具有平行反射特征,部分区域具有透镜状反射结构,预测为砂岩及煤层的综合响应,分析为废弃河道地震响应。

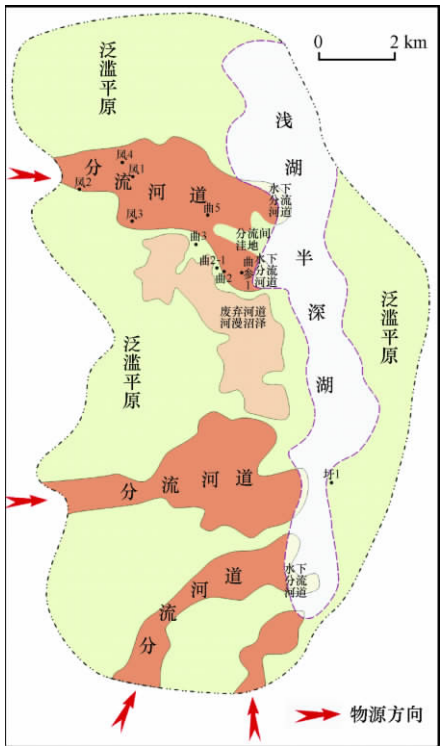


图 4 曲靖盆地茨营组 $N_2c^{3(4)}$ 沉积相

Fig. 4 Sedimentary facies of $N_2c^{3(4)}$ reservoir in the Ciyang Formation of the Qujing Basin

3 储层预测与含气性检测

3.1 地震叠后属性预测有利储层

前期依据丘型反射部署的曲 5、曲参 1 井虽然钻遇砂岩,但砂岩以薄互层为主,泥质含量较重,孔隙度低,实钻未能获产,因此高孔隙砂岩储层预测尤为重要。

工业气井曲 2 井含气砂体累计厚度 15 m,具有丘型反射特征,储层为典型的低阻抗储层,地震标定结果为储层顶位于波谷,底位于强波峰,具有强振幅-亮点特征,获工业产能的钻井均具有此类特征。曲 5 井、曲参 1 井储层精细标定结果表明,曲 5 井、曲参 1 井砂岩波阻抗略高于围岩,在地震剖面上表现为中高频、中弱振幅特征(图 5),因此,“低频、强振幅、低阻抗”模式可以作为有利储层预测模式,排除干砂岩预测陷阱。但煤层发育的曲 3 井亦具有低频、强振幅、低阻抗特征(图 3),因此该预测模式需要在地震有利相带预测基础上进行,结合有利相带预测结果排除煤层陷阱。

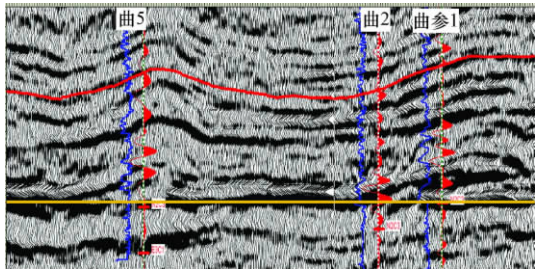


图 5 曲 5 井、曲 2 井、曲参 1 井 $N_2c^{3(4)}$ 底拉平地震剖面

Fig. 5 Bottom-flattened seismic profile of $N_2c^{3(4)}$ reservoir across Q5, Q2 and QC1 wells

3.2 AVO 特征预测含气性

AVO 技术是烃类检测较为成熟的技术,而分析 AVO 曲线特征则是较为便捷的方法。含气储层 AVO 响应通常分为 I、II、III 3 类,低阻抗气层往往具有 III 类 AVO 特征,即为近道振幅强,随偏移距增加振幅增强。

过工业气井凤 1 井、非工业气井曲 5 叠前道集统计的 AVO 曲线特征表现为,工业气井井旁道集及叠前 AVO 曲线具有 III 类 AVO 特征,即地震振幅随着炮检距加大而增加,且截距较大,其它气井亦是如此,而发育砂体的干井曲 5 井、不发育砂体而发育煤层的曲 3 井叠前道集 III 类 AVO 特征不明显。但研究中发现,个别煤层也具有 III 类 AVO 特征,因此,III 类 AVO 可以作为储层含气性检测模式,但尚需排除煤层陷阱。

3.3 频变特征预测含气性

多子波分解与重构技术是近年来刚刚发展起来的一项新技术,主要把单道地震数据分解为对应的多个不同频率雷克子波,利用其结果对地震数据进行分解、处理(与滤波有相同的作用),有效克服常规滤波中难以克服的问题^[14],利用该技术,可重构获得频率域内任何单频或窄频段地震剖面,提高分辨率以及进行一系列与频率有关的岩性和含油气检测的目的。

图 6 是过工业气井曲 2 井、干井曲参 1 井全频与不同频段重构地震剖面比较图。可以看到气层在 10~20 Hz 低频剖面上表现为强振幅,剖面呈透镜状,较客观地反应了主河道特征,而煤层及干层表现为空白或者弱反射,20 Hz 以上高频剖面气层无反射,而煤层反射在加强。

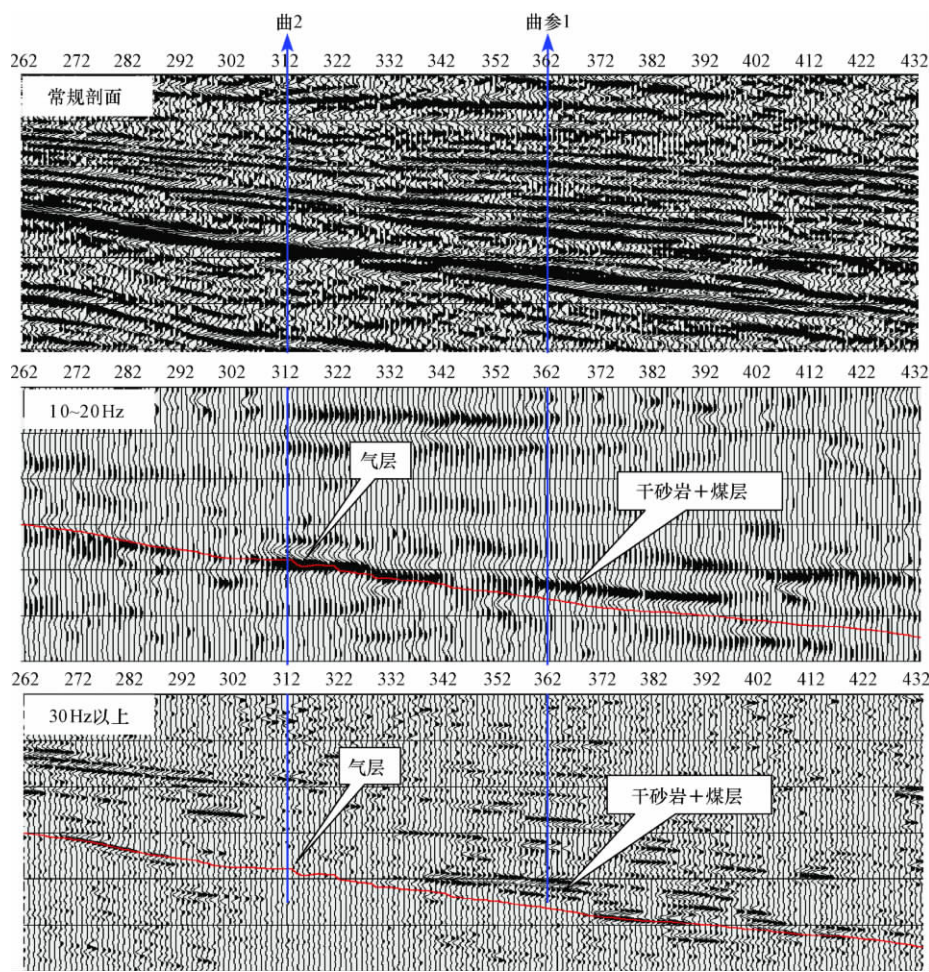


图 6 过 Q2 井、QC1 井不同频段重构地震剖面对比

Fig. 6 Comparison of reconstructed seismic profiles with different frequencies across Q2 and QC1 wells

通过以上分析,认为含气储层在地震剖面上表现为低频强、高频弱特征,而煤层恰恰相反。因此,储层频变特征可以作为含气储层预测的重要预测依据。

4 高产富集带预测及勘探前景展望

根据振幅属性、反射结构特征预测了有利沉积相带分布范围,但是并非所有的砂岩发育区域都含气,只有主河道内砂体储集物性相对较好的边滩砂体才最有可能富集成藏。利用前文得出的含气储层Ⅲ类 AVO 特征、子波重构剖面上低频反射强、中高频段上变弱或者消失的频变特征来预测储层的含气性。

图7是根据10~20 Hz 重构地震数据强波谷振幅异常区域、沉积相图,结合构造特征、断层发育情况制作的 $N_2c^{3(4)}$ 气藏圈闭综合评价图,发现Ⅰ类有利岩性圈闭12个,认为该盆地中西部斜坡具有较大勘探潜力。Ⅰ类圈闭呈团块状出现,这与有利相带主要为分流河道边滩的沉积成因有关。

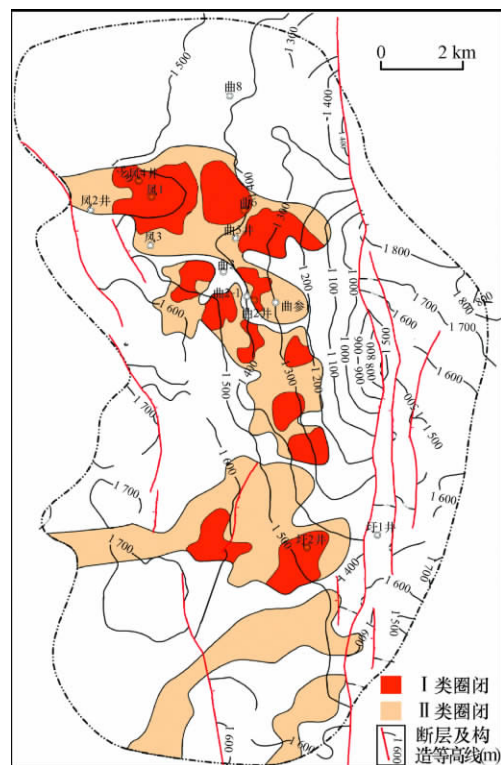


图7 曲靖盆地茨营组 $N_2c^{3(4)}$ 气藏圈闭综合评价

Fig.7 Comprehensive trap evaluation of $N_2c^{3(4)}$ gas reservoir in the Ciyang Formation of the Qujing Basin

依托上述研究成果2010年实施了圩2、曲8、曲6等3口探井,有2口井取得成功,勘探成功率达到67%,较前期开发成功率30%得到大幅度提高。其中获得成功的2口井为圩2、曲6井,主要依据“丘型或透镜状反射、低频强波谷振幅、低阻抗”储层预测模式及Ⅲ类 AVO、低频强/高频弱”含气性预测模式进行部署。未获成功的曲8井主要依据“强波谷振幅、宽缓丘型”模式部署,该井 AVO 特征及频变特征不明显,钻遇了粉砂岩及煤层互层,未能建产。

圩2井为首口向南甩开勘探井,曲6井为北部勘探评价井,均建成该盆地中高产工业气井,发现了南部岩性圈闭,北部已开发井区气藏规模亦得以落实,使整个盆地勘探开发走出了困境。该勘探实践验证了地震预测技术的有效性,预测结果的可靠性,较为有效地解决了曲靖盆地的浅层气藏的勘探难题。

云南新近系残留盆地广布,多达258个,其中151个盆地已证实为含煤盆地。这些盆地中面积大于50 km²的有61个,累计面积达10 741 km²,资源量为9 737.6 × 10⁸ m³。其中已证实有油气显示的盆地共有16个,盆地含油气性普遍。由于云南地区新近系盆地分布极广,勘探程度极低,具有较大的勘探增储潜力。上述地震预测技术对云南地区新近系盆地浅层气乃至其它地区类似气藏的勘探具有借鉴意义,地震预测技术的突破凸显了云南新近系盆地天然气勘探的广阔前景。

5 结论

1) 曲靖盆地新近系茨营组气藏主力储层为三角洲平原相河道边滩沉积,横向变化较快,利于形成岩性圈闭。

2) 建立了曲靖盆地新近系茨营组气藏“丘型或透镜状反射、低频强波谷振幅、低阻抗”有利储层预测模式,较好解决了浅层气藏储层预测难题。

3) 建立了曲靖盆地新近系茨营组气藏“Ⅲ类 AVO、低频强/高频弱”含气性检测模式,较好解决了浅层气藏含气性预测难题。

4) 本次形成的地震预测技术及预测模式对于浅层气藏勘探具有借鉴意义。云南地区新近系盆地分布广、数量大、勘探程度极低,多数还没有进行地震勘探,上述地震预测模式及预测技术对

推动云南新近系盆地浅层气藏勘探进程有积极作用。

参 考 文 献

- [1] 段华. 云南第三系浅层小型气田有效开发技术[J]. 云南地质, 2005, 24(S1): 340–344.
Duan Hua. The effective exploitation technique of little shallow gas reservoirs in Yunnan Tertiary basin[J]. Yunnan Geology, 2005, 24(S1): 340–344.
- [2] 陈义才, 沈忠民, 罗小平, 等. 保山盆地上第三系烃源岩地化特征及气源潜力评价[J]. 断块油气田, 2008, 15(1): 5–8.
Chen Yicai, Shen Zhongmin, Luo Xiaoping, et al. Evaluation of geochemical characteristics of hydrocarbon source rock and gas-generating potential in Upper Tertiary, Baoshan Basin[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2008, 15(1): 5–8.
- [3] 杨云岭, 孙怀福, 王忠怀. “亮点”问题研究及其在东营凹陷周边浅层气勘探中的应用[J]. 石油物探, 1991, 30(1): 39–49.
Yang Yunling, Sun Huaifu, Wangzhonghuai. Research of “bright spot” question and application on shallow gas reservoir exploration around Dongying Depression[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 1991, 30(1): 39–49.
- [4] 吕儒明, 陈宗太, 陈明曦, 等. 伍佳明陆良盆地陆9块上第三系茨营组地震相研究[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(5): 566–568.
Lv Ruming, Chen Zongtai, Chen Mingshu, et al. Seismic facies research on Ciyang formation in Luliang Upper Tertiary basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(5): 566–568.
- [5] 唐建明, 杨军, 张哨楠. 川西坳陷中、浅层气藏储层识别技术[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 879–893.
Tang Jianming, Yang Jun, Zhang Shaonan. Recognition of shallow-middle gas reservoirs in western Sichuan depression[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 879–893.
- [6] 黎家益. 川西浅层储层地震“低频、强振幅”形成机理及陷井分析[J]. 物探勘探计算技术, 2003, 25(3): 193–196.
Li Jiapen. The mechanism and trap of “low frequency and high amplitude” on shallow gas sandstone in western Sichuan[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 25(3): 193–196.
- [7] 叶泰然. 基于波形的波阻抗特征识别技术在川西气田储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2005, 44(6): 632–635.
Ye Tairan. Application of impedance character recognition technique on reservoir prediction based on wave shape in western Sichuan gas field[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(6): 632–635.
- [8] 唐建明. 川西坳陷致密非均质气藏储层空间展布刻划[J]. 天然气工业, 2002, 22(4): 19–23.
Tang Jianming. Description of tight gas reservoir space distribution in western Sichuan depression[J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(4): 19–23.
- [9] 叶泰然, 苏锦义, 刘兴艳. 分频解释技术在川西砂岩储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2008, 47(1): 72–76.
Ye Tairan, Su Jingyi, Liu Xingyan. Application of decomposition technique on sand reservoir prediction in western Sichuan basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2008, 47(1): 72–76.
- [10] 许杰, 何治亮, 董宁, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地气田盒3段河道砂岩相控储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 692–696.
Xu Jie, He Zhiliang, Dong Ning, et al. Facies-constrained reservoir prediction of $P_1 h^3$ channel sandstone in Daniudi gasfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 692–696.
- [11] 董宁, 刘振峰, 周小鹰, 等. 鄂尔多斯盆地致密碎屑岩储层地震识别及预测[J]. 石油与天然气地质, 2009, 29(5): 668–675.
Dong Ning, Liu Zhenfeng, Zhou Xiaoying, et al. Seismic detection and prediction of tight gas reservoirs in the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 29(5): 668–675.
- [12] 崔永谦, 秦凤启, 卢永和, 等. 河流相沉积储层地震精细预测方法研究与应用[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 668–672.
Cui Yongqian, Qin Fengqi, Lu Yonghe, et al. Research and application of detailed seismic prediction in fluvial reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 668–672.
- [13] 唐军. 浅层气藏预测识别技术——以陈家庄凸起陈气12井区为例[J]. 油气地质与采收率, 2008, 25(4): 52–54.
Tang Jun. Shallow gas reservoir prediction technique—an example from chenqi 12 wells location in Chenjiazhuang bulge[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 25(4): 52–54.
- [14] 赵爽, 李仲东, 许红梅, 等. 多子波分解技术检测含煤砂岩储层[J]. 天然气工业, 2007, 27(9): 44–47.
Zhao Shuang, Li Zhongdong, Xu Hongmei, et al. Application of multi-wavelet decomposition technology on detection of coal sand reservoir[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(9): 44–47.

(编辑 董立)