

文章编号:0253-9985(2008)05-0697-06

低渗岩性气藏开发选区评价方法研究

刘传喜,姚合法,严 谨

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:针对低渗岩性气藏非均质性强、低丰度、低产的地质特点,充分利用地质、测井、地震和测试等资料,集地质、气藏工程研究和经济评价于一体,通过多信息约束的地质建模、产能与静态地质参数关系研究和技术经济界限研究,建立了岩性气藏三维地质模型、无阻流量预测模型、开发经济界限和选区评价标准,形成了一套动静结合的低渗岩性气藏定量选区评价方法,为气田优选开发目标和实施产能建设提供了决策依据。实践表明,该方法适于低渗低产岩性气藏的选区,对于我国类似气藏的开发具有指导意义。

关键词:低渗岩性气藏;多信息约束建模;无阻流量预测;开发经济界限;开发选区评价

中图分类号:TE155 **文献标识码:**A

Research on the selection and evaluation of development blocks in lithologic gas reservoirs with low-permeability

Liu Chuanxi, Yao Hefa, Yan Jin

(SINOPEC Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Lithologic gas reservoirs with low-permeability feature in higher heterogeneity and lower abundance and production. Through fully utilizing geologic, logging, seismic and test data and integrating geology and gas reservoir engineering with economic evaluation, this paper establishes 3-D geologic models, open-flow capacity forecast models, technical and economic limits of development, and criteria for selection and evaluation of development blocks on the basis of research on multi-information constrained stochastic modeling, the relationship between productivity and static geologic parameters, and technical and economic limit. Based on the above-mentioned research, a set of dynamic-static integrated quantitative methods are presented for the evaluation and selection of development blocks in low permeability lithologic gas reservoirs to offer a scientific strategy basis for selection of gas field development targets and construction of production capacity. The field application of the methods reveals that they are suitable for selection and evaluation of low-permeability lithologic gas reservoirs and may serve as guidance for developing reservoirs with similar nature.

Key words: low-permeability lithologic gas reservoir; multi-information constrained stochastic modeling; forecasting of open flow capacity; economic limit of development; selection and evaluation of development blocks

低渗岩性气藏是目前我国主要的天然气藏类型,如鄂尔多斯的上古生界^[1]、四川盆地三叠—侏罗系^[2]、东濮凹陷第三系^[3]等,储层岩性、物性变化快^[4-6]、非均质性强,低孔低渗、低产,储量丰度低,气井产能普遍较低,井间产能变化大^[7,8]。受目前经济技术条件的制约,相当一部分储量的气

藏开发效益较低,处于开发边际。因此,如何寻找局部高产富集区域,优选开发目标是低渗气田开发面临的主要难题。

现有的油气藏选区评价方法主要以静态、定性、单因素评价为主,往往出现结果相互交叉、不唯一的现象,对于低渗岩性气藏适用性较差。本文针

收稿日期:2008-09-10。

第一作者简介:刘传喜(1964—),男,高级工程师,油气田开发。

基金项目:中国石化科技攻关项目(P06055)。

对低渗岩性气藏特点,通过多信息约束的地质建模、产能与静态地质参数关系研究和技术经济界限研究,将储层特征与产能联系起来,提出了一套集地质、气藏工程研究和经济评价于一体、动静结合的定量选区评价方法,解决了低渗岩性气藏有利目标区的优选问题,为气田有效开发提供了决策依据。

1 多信息约束的三维地质建模

目前地质建模的方法以随机建模为主,地质模型的精度受储层的岩性、物性、非均质性强度等地质条件以及井网密度等因素的影响。由于低渗储层属于陆相-海陆交互沉积,相变快,储层非均质性强,加上未开发区井距大,井间储层及其属性参数的预测具有较大的不确定性。为了提高储层建模的精度,本文应用多信息约束的建模方法,取得了良好效果,具体方法如下。

1) 地质统计规律的约束

参考国内外相似地质条件河流-三角洲储层地质知识库资料^[9],通过对研究区的露头测量、已开发密井网区精细解剖,建立了研究区的储层地质知识库,研究了不同成因砂体的几何形态、宽度、厚度、宽厚比、砂岩的比例、非均质性强度等地质统计规律(图1)。另一方面,通过变差函数分析,确定了研究区不同层段砂体展布方向、砂岩含

量、主变程、次变程、垂向变程的大小。在沉积相建模时,通过地质统计规律的约束,储集相带的展布及连续性更接近地质实际。

2) 地震信息约束

相对于测井资料,地震资料的分辨率较低,但是地震信息在横向上和空间上具有连续性,弥补了井间测井信息的不确定性。利用地震、测井资料,通过波阻抗反演、电阻率反演等方法,可以得到空间和横向上连续的储层岩性、物性、含气性等信息,对于井间储层和含气性参数的分布趋势具有预测性(图2)。因此在沉积相建模、孔隙度建模、含气饱和度建模时,分别使用岩性反演、孔隙度反演、含气指示参数反演数据体进行约束,减小了井间储集相带展布、井间孔隙度、含气饱和度等参数分布的不确定性^[10]。

3) 相控约束

Damslesh等^[11]提出的“相控建模”或“二步建模”是多步建模的重要组成部分,即首先应用离散随机模拟方法建立三维沉积相或储层结构模型,然后根据不同沉积相(砂体类型)的储层参数定量分布规律,分相(或砂体类型)进行连续变量的随机模拟,建立三维储层参数分布模型。研究区的资料显示,不同相带的储层具有不同的物性(表1)、含气性特征,含砾砂岩相、粗砂岩相、中-粗砂岩相物性好,是主要的储集相带,含气性好,而中

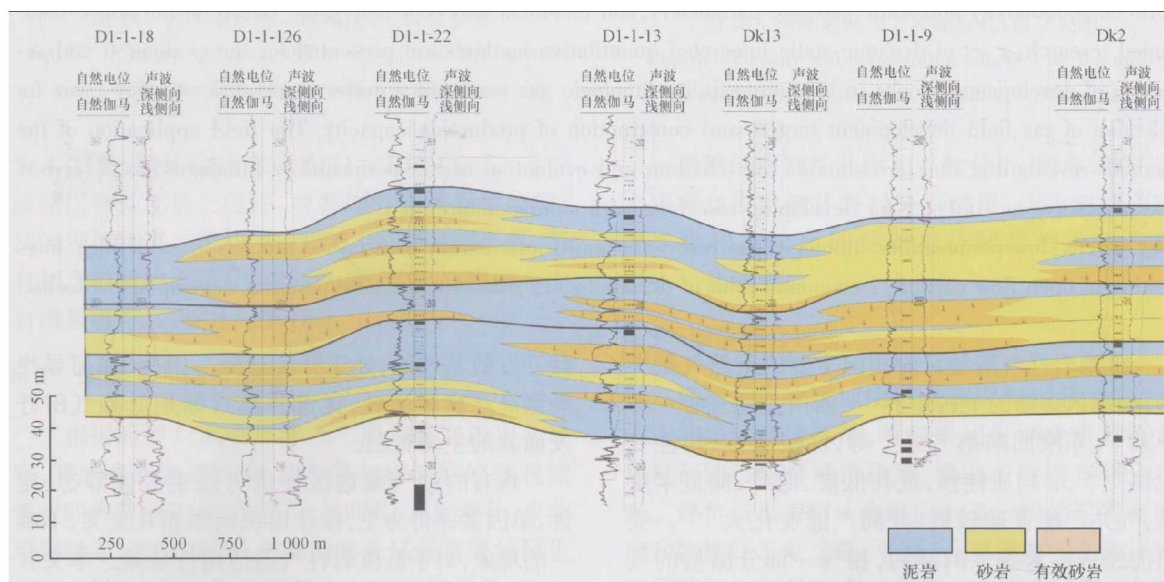


图1 某井区低渗储层砂体连通剖面

Fig. 1 Profile of sand connectivity in low-permeability reservoirs of a wellblock

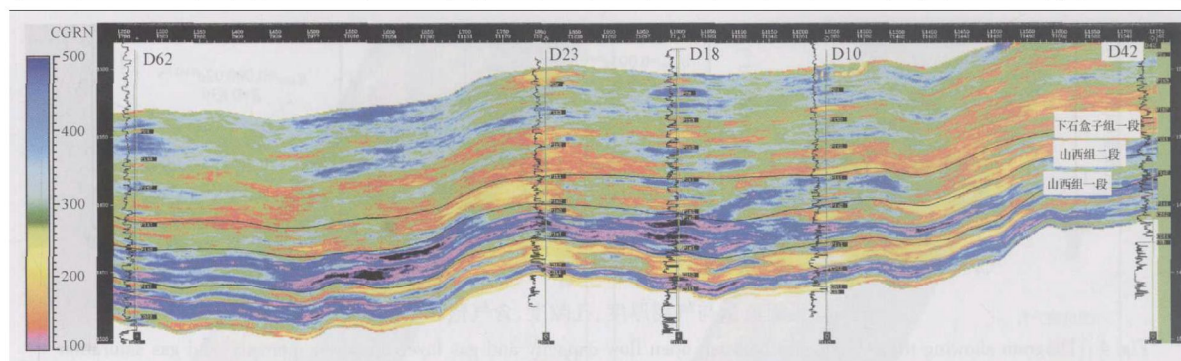


图2 某井区地震岩性反演剖面示意图

Fig. 2 Seismic lithologic inversion section in a wellblock

砂岩相、细-中砂岩相、中-细砂岩相孔隙度、渗透率较小,含气性较差,一般为干层。通过测井、地质资料分析,研究区目的层划分出含砾-粗砂岩、中-细砂岩、泥岩、煤岩和灰岩等5类岩相,其中,含砾-粗砂岩是主要的含气层。根据单井岩相的

表1 某井区不同岩相的砂岩物性特征

Table 1 Physical properties of sandstone with different lithofacies in a wellblock

岩相	孔隙度 (中值), %	渗透率(中值)/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	样品数/块
含砾砂岩相	8.1	0.55	285
粗砂岩	7.5	0.30	746
中-粗砂岩相	7.1	0.24	352
中砂岩	6.2	0.16	293
细-中砂岩相	4.2	0.05	90
中-细砂岩相	2.9	0.03	33
细砂岩相	2.0	0.02	73

分布特征,以地震岩性反演成果和小层平面相分布特征为约束,建立的离散岩相模型,反映了储集相带的三维分布特征(图3a)。

根据单井测井信息,在岩相模型和地震反演孔隙度、地震反演含气指示参数的约束下建立的孔隙度、含气饱和度模型,反映储层的孔隙度、含气饱和度的三维分布既受储集相带分布的控制,又对井间储层参数的分布具有预测性(图3b)。

通过多信息约束的地质建模,提高了井间储层预测精度,为开发目标优选提供了地质模型。

2 无阻流量预测模型的建立

产能是评价气田能否有效开发的重要指标。试气资料是产能评价最直接的依据,但希望每口井、每个层都获得试气资料是不现实的,这就需要

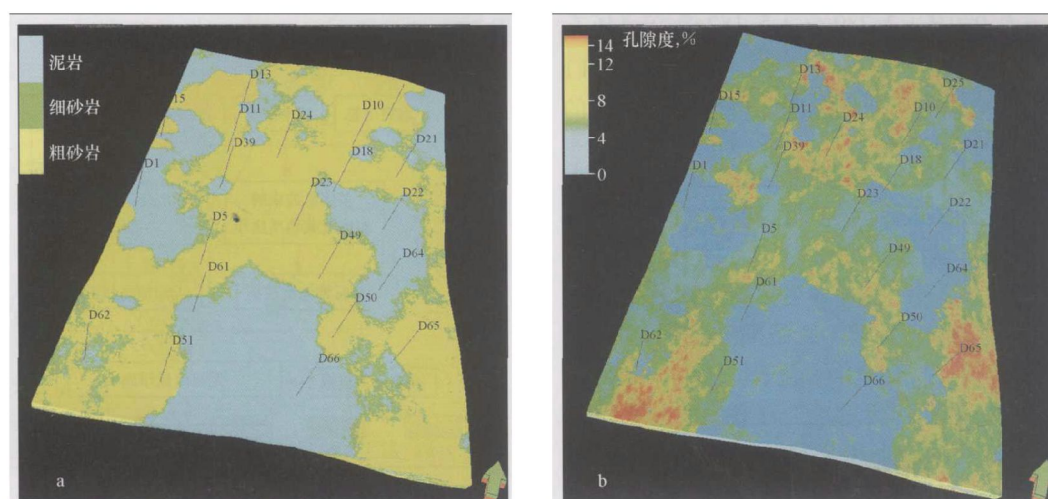


图3 某井区低渗气藏的岩相模型(a)和孔隙度模型(b)

Fig. 3 Lithofacies model (left) and porosity model (right) for low-permeability gas reservoirs in a wellblock

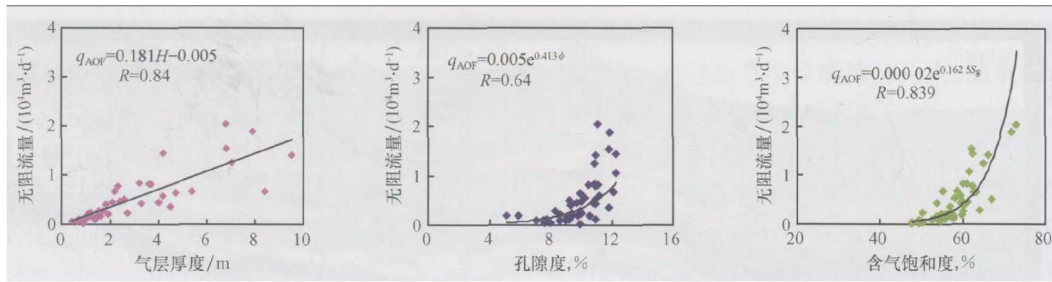


图4 无阻流量与气层厚度、孔隙度、含气饱和度的关系

Fig. 4 Diagram showing the relationship between open flow capacity and gas layer thickness, porosity, and gas saturation

寻找“动静结合”的桥梁,即通过研究静态地质参数与产能(无阻流量)之间的关系,求得无阻流量预测模型。然后利用地质建模成果,预测气层无阻流量的分布,为实现选区评价定量化奠定了基础。

大量测井资料^[12]和地质资料的综合研究表明,气层厚度(H)、含气饱和度(S_g)、孔隙度(P_{or})、与无阻流量(q_{AOF})的相关性最强,是影响产能的主要地质参数^[13]。其中,气层无阻流量与气层厚度为线性正相关关系,与含气饱和度、孔隙度等参数呈指数正相关关系,相关系数分别为0.84~0.64(图4)。

为此,应用多元回归分析方法,建立了无阻流量的计算模型。以试气层数据为样本数据,以无阻流量为因变量,以试气层的厚度(H)、孔隙度(ϕ)、含气饱和度(S_g)等参数为自变量,进行多元线性回归,得到回归方程(式1),即无阻流量的预测模型。

$$q_{AOF} = 0.089H + 2.239e^{S_g} + 5.182e^{\phi} - 9.116 \quad (1)$$

预测无阻流量与实测无阻流量接近,两者的相关系数在0.9(图5)。

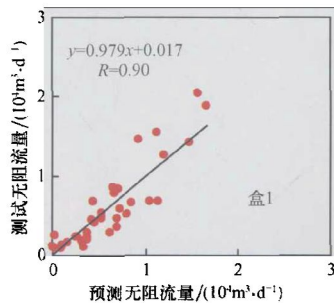


图5 预测无阻流量与测试结果的关系

Fig. 5 Diagram showing the relationship between the predicted open flow capacity and test results

3 气田开发经济界限及选区评价标准研究

开发经济界限是指在一定气价下,新井及措施在不同投资、成本及投入等条件下的最低产量,产量低于临界产量时经济上没有效益^[10,11]。

根据气藏工程论证和经济评价研究,目前气价下,在稳产3年的条件下,单井经济界限产量为 $1.02 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,按无阻流量的1/5配产推算,则要求无阻流量达到 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上。

以气层无阻流量分布模型为基础,依据单井开发经济界限,建立开发选区评价标准,将研究区划分为3种类型。其中,Ⅰ类区无阻流量大于 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为富集高产区;Ⅱ类区无阻流量 $5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为可动用区;Ⅲ类区无阻流量小于 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为潜在可动用区,随着工程技术的进步和成本的降低,可能成为可动用区。依据上述标准,优选有利开发区域。

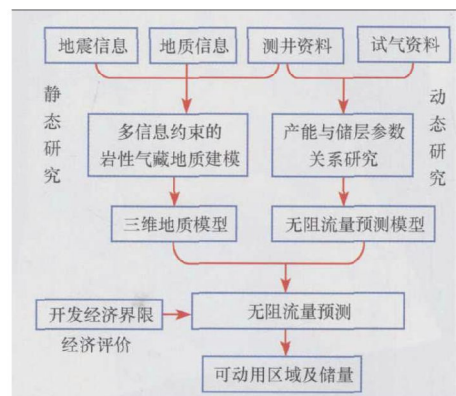


图6 开发选区评价技术路线

Fig. 6 Technical route for selection and evaluation of development blocks

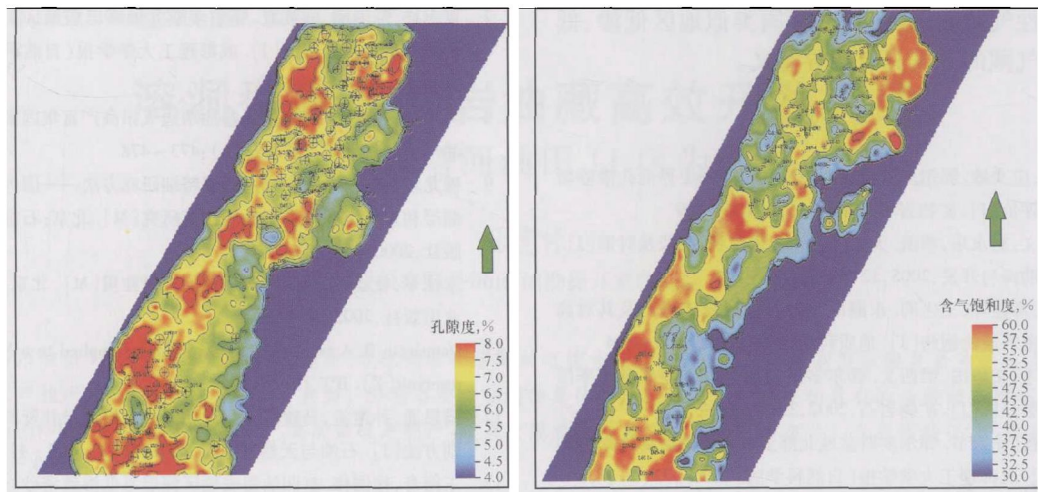


图7 某井区孔隙度、含气饱和度分布

Fig. 7 Distribution of porosity and gas saturation in a well block

4 应用实例分析

以鄂尔多斯盆地北部某井区为例,开展了多信息约束的岩性气藏建模、气层无阻流量分布预测、开发经济界限确定等研究,进行了开发选区评价(图6)。

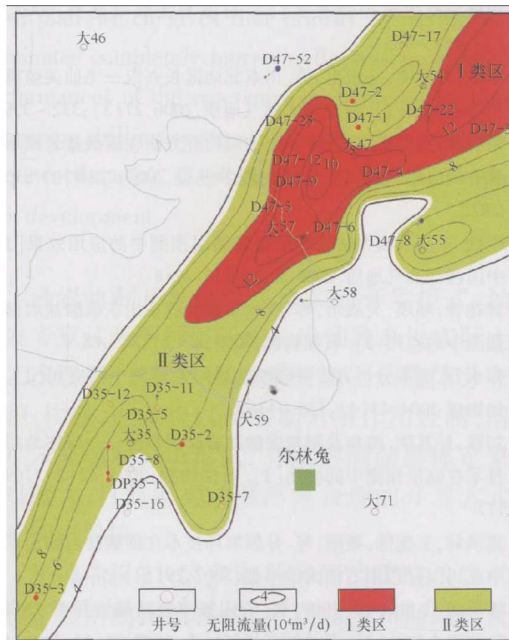


图8 无阻流量分布与开发选区评价

Fig. 8 Distribution of open flow capacity and results of selection and evaluation of development blocks

1)综合利用地质、测井、地震资料和多信息约束地质建模方法,建立气藏的三维地质模型,研究气层及其孔隙度、含气饱和度等参数的分布特征(图7);2)测井与试气资料相结合,研究产能与气层的静态地质参数的关系,建立无阻流量预测模型;3)在地质建模的基础上,利用无阻流量预测模型和气层厚度、孔隙度、含气饱和度等静态地质参数,预测无阻流量分布;4)根据无阻流量的分布和评价标准,优选富集高产区域(图8)。其中I类区面积为32 km²,II类区面积为39 km²,共部署开发井66口,建成产能 2.0×10^8 m³。

5 结论

1)地震-岩相多信息约束的储层建模以测井数据为硬数据,以地质统计规律、变差函数分析成果、三维岩相模型、地震信息为约束条件,井间变化趋势受地震信息的控制,提高了地质模型的精度,该方法适用于井数少、井距大、非均质强的低渗岩性气藏的储层建模研究。

2)气层无阻流量与气层厚度、含气饱和度、孔隙度等参数呈较强的相关关系,依据静态数据,通过多元回归分析建立的无阻流量预测模型可以比较准确的预测气层无阻流量的分布,为实现选区评价量化提供了依据。

3)实践表明,集地质研究、气藏工程和经济评价于一体的动静结合选区评价方法,适于低渗

低产岩性气藏的选区,对于我国类似地区低渗、低产岩性气藏的开发具有指导意义。

参考文献

- 1 尹昕,应文敏.鄂尔多斯盆地大牛地气田上古生界低孔渗砂岩储层评价[J].矿物岩石,2005,25(2):104~109
- 2 袁士义,胡永乐,罗凯.天然气开发技术现状、挑战及对策[J].石油勘探与开发,2005,32(6):1~6
- 3 李忠,寿建峰,王生朗.东濮凹陷砂岩储层成岩作用及其对高压致密气藏的制约[J].地质科学,2000,35(1):96~104
- 4 郑荣才,文华国,梁西文.鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序地层分析[J].矿物岩石,2002,22(4):66~74
- 5 朱宏权,徐宏节.鄂尔多斯盆地北部上古生界储层物性影响因素[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(2):133~137
- 6 徐国盛,曾凡刚.致密碎屑岩储层天然气成藏的古压控制作用[J].石油与天然气地质,1996,17(3):243~250
- 7 袁志祥,陈洪德,陈英毅.鄂尔多斯盆地塔巴庙地区上古生界天然气富集高产特征[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(6):604~608
- 8 吴永平,王允诚.鄂尔多斯盆地靖边气田高产富集因素[J].石油与天然气地质,2007,28(4):473~478
- 9 穆龙新,贾爱林,陈亮,等.储层精细研究方法——国内外露头储层和现代沉积及精细地质建模研究[M].北京:石油工业出版社,2000.85~133
- 10 朱仕军,杜志敏,沈昭国,等.储层定量建模[M].北京:石油工业出版社,2005.54~68
- 11 Damsleth B. A two-stage stochastic model applied to a North sea reservoir[J]. JPT,1992
- 12 杨思通,孙建孟,马建海,等.低孔低渗储层测录井资料油气识别方法[J].石油与天然气地质,2007,28(3):407~412
- 13 王振奇,侯国伟.赵凹油田安棚区深层系低渗致密砂岩储层特征[J].石油与天然气地质,2001,22(04):372~377

(编辑 高岩)

(上接第696页)

分布最有利区是河坝场构造(河坝1-河坝2井区)和王家坪地区(河坝101井区)。

7 结论

1) 河坝地区海相地层储层主要为嘉陵江组和飞仙关组,其储集类型为裂缝孔隙型,单井解释结果表明嘉陵江组和飞仙关组储层厚度薄,物性总体较差,为Ⅱ和Ⅲ类储层。裂缝在改善该区储层物性和储集条件方面起了重要作用。

2) 储层研究结果认为,河坝地区嘉二段和飞三段储层在平面上分布是孤立、不连续的,与其不断迁移的沉积模式和水体不断变浅的古环境是一致的。

3) 提高储层预测精度,不断深化和完善已有成果认识,为该区井位优化部署提供有利依据是下步研究重点。

参考文献

- 1 吴世祥,汤良杰,郭彤楼,等.米仓山与大巴山交汇区构造分区与油气分布[J].石油与天然气地质,2005,26(3):361~365
- 2 马永生,蔡勋育.四川盆地川东北二叠系—三叠系天然气勘探成果与前景展望[J].石油与天然气地质,2006,27(6):741~750
- 3 倪新锋,陈洪德,田景春,等.川东北地区长兴组—飞仙关组沉积格局及成藏控制意义[J].石油与天然气地质,2007,28(4):458~465
- 4 刘殊,唐建明,马永生,等.川东北地区长兴组—飞仙关组礁滩相储层预测[J].石油与天然气地质,2006,27(3):332~339
- 5 刘春园,魏修成,徐胜峰,等.地球物理方法在碳酸盐岩储层预测中的应用综述[J].地球物理学进展,2007,22(6):1815~1822
- 6 李铁.不同反演方法在碳酸盐岩储层预测中的应用效果[J].中国西部油气地质,2006,2(2):215~218
- 7 黄花香,邓瑛,吴战培,等.吸收系数反演在川东碳酸盐岩储层预测中的应用[J].石油物探,2003,42(1):86~88
- 8 张永升.波形分析方法在碳酸盐岩储层预测中的应用[J].石油物探,2004,43(2):135~138
- 9 刘殊,甘其刚.海相及湖相碳酸盐岩储层预测——层序地层学技术在储层预测中的应用[J].石油物探,2003,42(2):169~177
- 10 龚洪林,王振卿,蔡刚,等.分频解释技术在碳酸盐岩储层预测中应用[J].西南石油大学学报,2007,29(S1):5~8
- 11 毕研斌,龙胜祥,郭彤楼,等.应用频率衰减属性预测TNB地区储层含气性[J].石油与天然气地质,2007,28(1):116~120

(编辑 董立)