

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2019.04.010

中牟区块太原组-山西组页岩气勘探井位优选

刘家橙^{1,2}, 刘家橘^{1,2}, 王晓燕^{2,3}, 张栋^{1,2}, 代磊^{1,2}, 董果果^{1,2}

(1. 河南省地质调查院, 郑州 450001;

2. 地下清洁能源勘查开发产业技术创新战略联盟, 郑州 450001;

3. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院, 郑州 450001)

摘要: 页岩气井位优选在于选准最佳的勘探层段、缩小目标范围, 部署最有利页岩气区域, 减少钻探风险, 减低勘查成本, 加速成果突破的目的。本文在中牟区块现有油气地质资料、钻井样品测试地化成果、三维地震勘探成果的基础上, 综合研究后确定太原组-山西组泥页岩在 2806 m—2979 m 段为页岩气勘探井位最有利层位; 依据沉积、构造、TOC、有机质成熟度、含气量、脆性、裂缝、可压性等成果数据要素, 通过软件优选多要素叠加成图, 圈定各项特征相对好的区域作为页岩气勘探目标区, 圈定区块内四个页岩气勘探范围。已在优选范围部署一口探井现已排采试气, 得了较好的页岩气显示。

关键词: 中牟区块; 页岩气勘探; 有利区域; 井位优选; 成果数据; 河南省

中图分类号: TE132.2 **文献标识码:** A

0 引言

随着油气勘探开发的不断深入, 尤其是页岩气井勘探越来越重视, 为了进一步提高勘探开发效果, 降低成本, 对井位部署要求越来越高, 需达到精确勘查、部署, 同时地下要素与地表要素同时满足勘探开发要求, 井位的部署尤其重要。

页岩气作为一种非常规的天然气资源, 气体赋存形式介于致密砂岩气与煤层气之间, 主要是以游离、吸附状态分布于地下^[1-2], 由于其成因、成藏机理与常规天然气不同, 开发难度较大。我国地质构造运动复杂、具有多旋回特征, 在多阶段演化背景下, 沉积盆地类型及结构多样, 根据形成环境可将富有机质页岩划分为海相、陆相及海陆过渡相三类; 沉积环境的差异, 导致海陆过渡相页岩气勘查部署与海相及陆相页岩有着明显的差异, 使得在海相和陆相

所获得的认识不能照搬到海陆过渡相页岩气的勘探部署开发上, 需进行深入研究^[3-4]。

本文基于中牟区块已有的地质调查工作, 根据钻井相关资料、样品测试分析数据及地震成果资料所显示出的该区块页岩气储层发育特点, 对中牟区块太原组-山西组海陆过渡相页岩气勘探井位进行优选。

1 区块地质背景与重点工作区

1.1 地质背景

中牟区块位于南华北地区北部, 其区域构造位置属于通许隆起与中牟凹陷南部斜坡的交界地带(图1)。中牟凹陷位于开封、新乡市之间, 它是中、新生代沉积的叠置型盆地; 区内南部为一缓倾的复式背斜断块构造, 北部呈陡倾的次级凹陷。通许隆起是 NWW 向展布的宽缓复式背斜, 叠加有 NNE

收稿日期: 2018-08-09; 改回日期: 2019-06-28; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 河南省重大科技专项项目“河南页岩气勘查开发及示范应用研究”(编号 151100311000)、国土资源部第二轮页岩气探矿权项目“河南中牟页岩气勘查”(编号 GT2012YQTKQCR0020)联合资助。

作者简介: 刘家橙(1987—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事页岩气勘探研究及 GIS 工作。通信地址: 河南省郑州市高新技术开发区科学大道 81 号(科学大道与雪松路交叉口地质科技大厦), 河南省地质调查院; 邮政编码: 450001; E-mail: 1633908523@qq.com

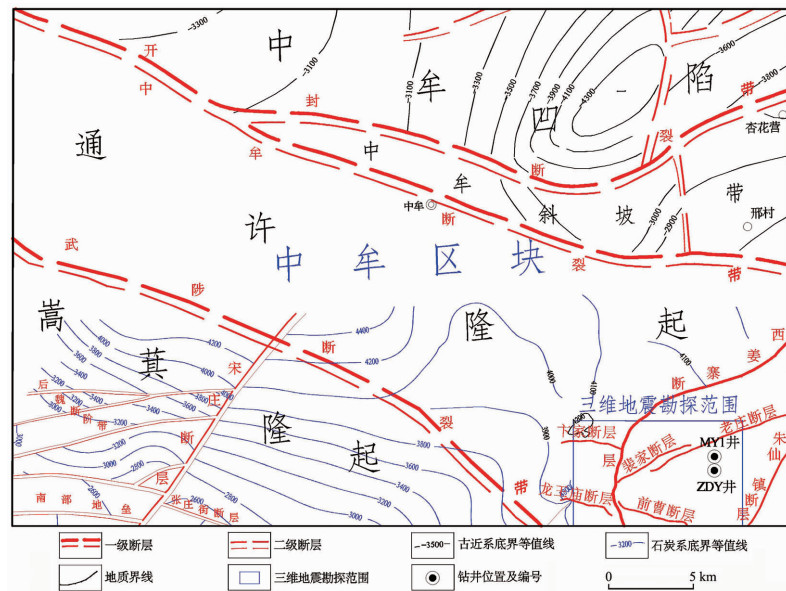


图1 中牟区块及三维区范围构造位置图

Fig.1 Configuration diagram of Zhongmu Block and three-dimensional area

向短轴褶皱,被 NWW 向、NE 向和 NNE 向断裂切割;古生代至三叠纪接受了海相、海陆过渡相和陆相盆地沉积,三叠纪末隆起,其地层广遭剥蚀;通许隆起的构造演化对南华北盆地的油气地质条件有重要影响^[5-7]。

研究发现中牟区块太原-山西期泥炭沼泽亚相和潟湖亚相为海陆过渡相页岩气发育最有利相带,具有普遍含气的地质特征^[8-9]。

1.2 保存条件与工作重点区

页岩气保存条件的影响因素主要有受多期构造演化和抬升剥蚀及通天断裂的影响^[10]。对于海陆过渡相页岩气层系而言,在页岩气层系厚度、埋深及盖层条件相似的情况下,寻找构造相对稳定的保存条件较好区域,是进行页岩气选区勘探井位的重点。因此,从中牟区块 1 000 km² 区块范围,划分出重点区 62 km² 作为三维地震勘探范围(见图 1 右下部)——三维区。

三维区地震剖面(图 2)解译结果反映,区内有多条断裂构造。在 2 线剖面的断裂主要有:西姜寨断层,受印支期区域应力场的控制,形成局部应力的不均衡,造成局部地区发育走滑断层,走滑断层向下切穿基底,向上消失于三叠系,西姜寨断层具有明显的走滑特征;裴家断层、老庄断层,在三维区内都为北北东走向,延伸长度为 4.5 km—6.15 km,断层向上消失于新生界;朱仙镇断层,平面上呈北北东走向,三维区内延伸长度约 1.44 km;该断裂具有多期

活动特征,对古生界油气藏保存具有影响;于家断层,位于 MY1 井北部,紧邻牟 MY1 井,其平面上呈北北东走向,在三维区内延伸长度约 3.25 km,倾向北西,倾角 70°~80°,最大垂直断距为 38 m,断层向上消失于三叠系,判断该断裂对古生界油气藏有一定的影响,但影响相对较小。

根据三维区的底部特征发射波可划分地层层序:TP1S2 为山西组上段底,TP3 太原组下段大占砂岩段底,TP4 为太原组底;Tg 为本溪组底(图 2)。区内太原组和山西组的泥页岩相对发育,且横向展布比较稳定;泥页岩样品的岩石力学测试分析结果显示,在饱和盐水条件下的突破压力高于 14 MPa、突破时间均大于 24 小时,饱和煤油时的突破压力大于 14 MPa、突破时间大于 4 小时^[11-13],可以认为具有很高的遮挡能力,应是优良的区域盖层。

综上,三维区具有优良的保存条件、较好的勘探潜力,避开较大断裂是部署井位和井位优化的基础前提。

2 页岩分布特点

通过钻孔测井等资料分析,结合三维地震数据体,可预测区块页岩的分布范围及厚度,查找最有利区域,也是页岩气勘探优选井的重要依据。

三维区块的主要目的层是下二叠统海陆过渡相

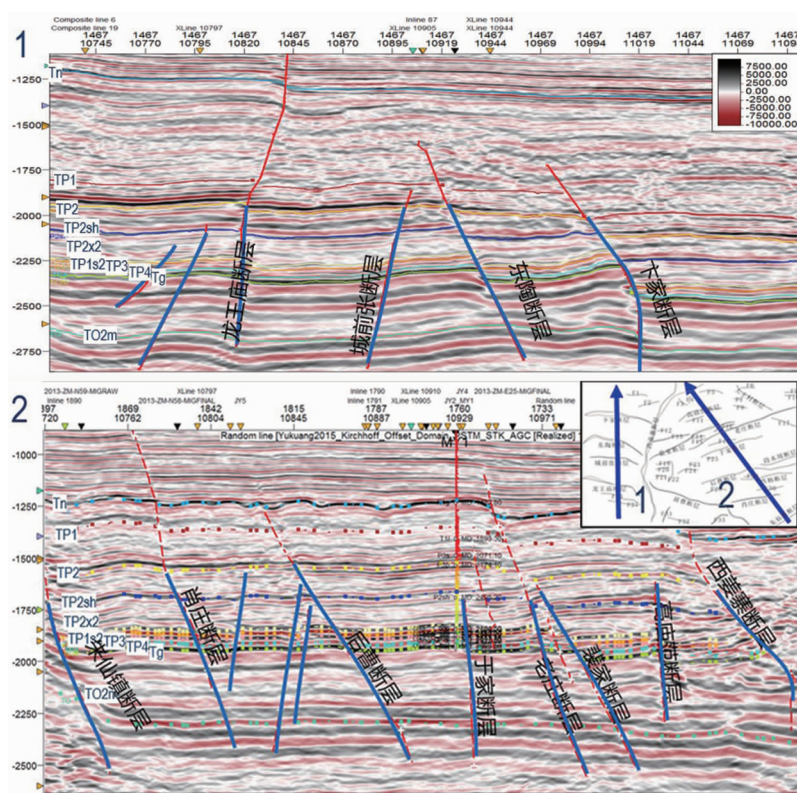


图2 中牟区块三维区地震剖面解译结果

Fig. 2 Interpretation of seismic profiles of 3D area in Zhongmu Block

的太原组和山西组。其中,下二叠统太原组总体上为三套灰岩夹二套黑色泥页岩及煤层沉积组合,总体表现为海进退积序列,泥页岩段为瀉湖相、灰岩段为局限台地相;而山西组下部主要为砂岩、上部总体为黑色泥页岩与煤层,总体表现为海退进积序列,逐渐由前三角洲向三角洲前缘发展,最后发展为三角洲平原的演化历程。下二叠统太原组和山西组垂向上岩性变化频繁,页岩、砂泥岩、灰岩以及煤四种岩性频繁互层,构成显著的韵律性特征,反映在基底缓慢沉降背景下海平面的频繁变化。多种沉积体系交互发育,平面和垂向上沉积相变化较快,但总体以水体变浅为特征。

分析中牟区块三维区的钻孔测井资料、三维地震数据体发现,太原组在深度 2 897 m—2 979 m,厚度 82 m,其中太原组优质页岩厚度约 67 m;山西组在深度 2 806 m—2 897 m 段,山西组厚度 91 m,划分山西组优质页岩气厚度 56 m^[14]。图 3 为中牟区块三维区山西组页岩厚度分布图。通过三维地震约束及地震属性提取,将三维地震勘探区内山西组、太原组页岩岩厚度分布情况进行识别,由于岩性垂向变化频繁、互层等特征,因此寻找物性横向变化小、沉积稳定的泥页岩范围及厚度较大的区域为井位优

选区。

3 泥页岩含气特点

页岩气勘探实践表明,页岩埋深、厚度和地层含气性与页岩气产量息息相关^[15]。根据其它区块经验,埋深在不宜大于 3 500 m,海相页岩总碳含量、孔隙度、渗透率等地层本身地化和物性在几十个平方公里的小范围内变化不大。因此,泥页岩的含气量是页岩气勘探的一个重要指标,在优选页岩气勘探井时应充分了解目的层段含气性。

在中牟区块三维区,太原组含气页岩层段的孔隙度分布范围在 0.4%~4.5%,平均为 2.1%;渗透率分布在 $1.21 \times 10^{-6} \sim 0.11$ mD,平均为 7.48×10^{-3} mD。山西组含气页岩层段的孔隙度分布范围在 0.3%~8.8%,平均为 2.3%;渗透率平均为 0.045 mD^[16]。利用三维地震成果数据提取,并与 MY1 井中样品测试结果进行对比标定计算该区太原组泥页岩的含气量,并根据该数据绘制等值线图;区内太原组泥页岩含气量一般为 $1.2 \sim 3$ m³/t(图 4)。区内以山西组、太原组为有利目的层段的 MY1

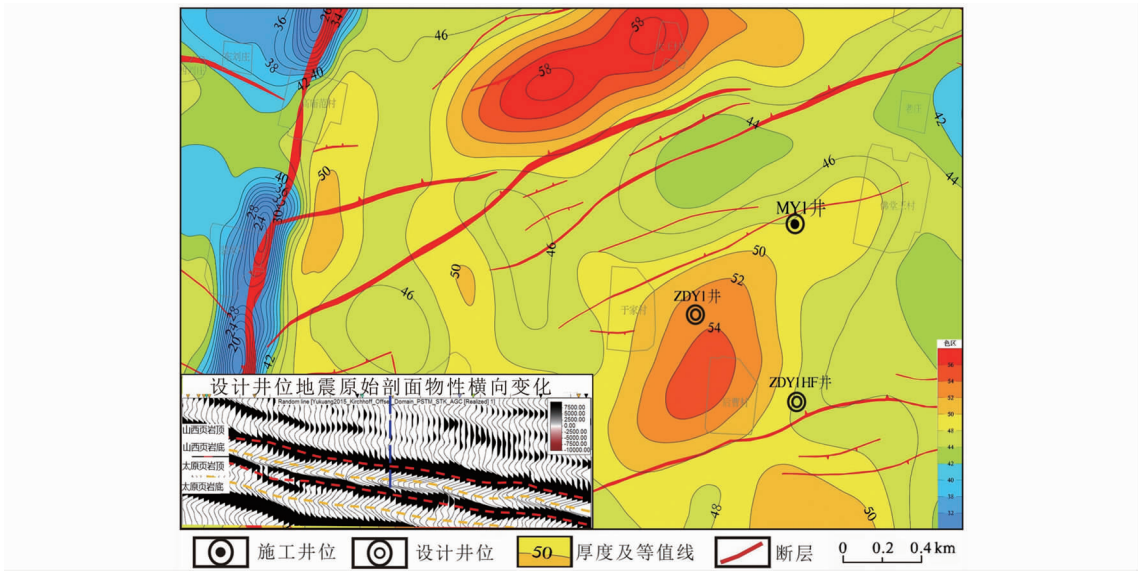


图 3 中牟区块三维区山西组页岩厚度分布图

Fig. 3 Map showing thickness distribution of Shanxi Formation in 3D area in Zhongmu Block

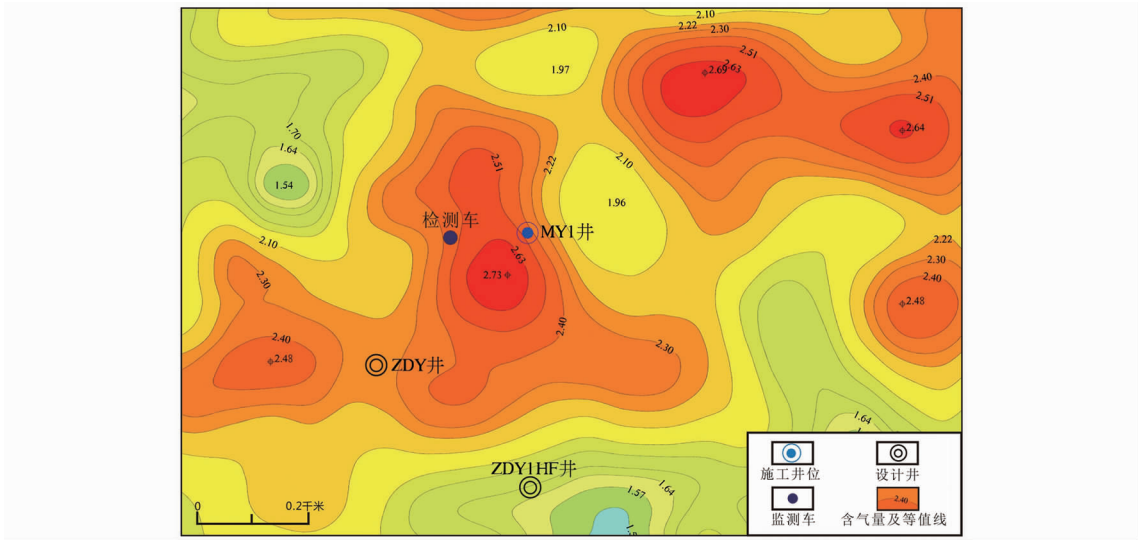


表 1 中牟区块三维区优选指标与相关标准对比表

Table 1 Comparison between optimized index and relevant standard

要素	页岩气地质评价方法 GB/T31483—2015	本区优选指标
泥页岩厚度	$>15\text{ m}$	$>28\text{ m}$ (太原组下部) $>14\text{ m}$ (太原组中部)
有机质含量	$>1.0\%$	$>2.4\%$ (太原组下部) $>1.9\%$ (太原组中部)
含气量	$>1.0\text{ m}^3/\text{t}$	$>2.0\text{ m}^3/\text{t}$
脆性	$>40\%$ (脆性矿物)	$>30\%$ (弹性模量、泊松比换算)
裂缝发育强度		>0.15 (快慢横波比)
可压性		$>50\%$

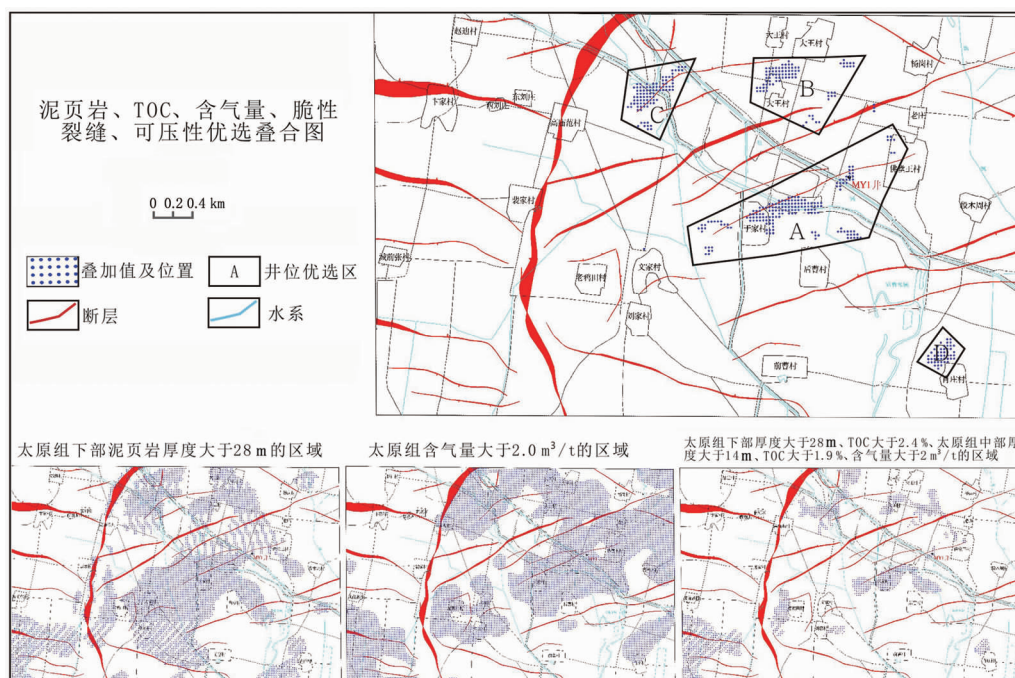


图 5 中牟区块三维区太原组泥页岩性优选叠合图

Fig. 5 Optimization overlay diagram of muddy shale in Taiyuan Formation

在有利层段各项特征要素提取同时进行数据叠加统一位置,在这些叠加重叠区域内,各项主要特征要素均比较突出的区域就可以作为页岩气目标区,也是井位勘探优选区。

4.2 目标区域井位优选

页岩气勘探井的优选不仅考虑地下各要素优选指标,同时考虑地表要素,地质条件符合时也要符合地表条件,避开地表干扰选择开阔区域及良好交通区域部署钻井,为后续施工提供良好环境。

页岩气有利层段各项主要特征在横向和垂向都是连续变化的,即在三维空间中有利层段物质具有不均一致,要在区域内优选出相对较好的有利层段,则需要对各项主要特征指标进行优选,并结合地化特征、含气性通过三维地震约束反演及地震属性提

取。然后,分别对有利层段泥页岩的厚度、有机碳、含气量、脆性、裂缝发育强度和可压性进行等优选指标数据处理叠加,形成页岩气有利区域优选叠合图,再在优选叠合图中圈出页岩气有利井位部署小的区域。

本次通过软件筛选出的优选指标:太原组下部泥页岩厚度大于 28 m、TOC 大于 2.4%,太原组中部大于 14 m、TOC 大于 1.9%,含气量大于 $2.0\text{ m}^3/\text{t}$,脆性大于 30%,快慢横波比大于 0.15,可压性大于 50%^[14]。通过多要素优选叠加后,从三维区 62 km² 范围,又圈出了 A、B、C、D 四处页岩气有利井位部署小的区域(图 5),在圈出这几个页岩气有利范围井位部署可能达到最快勘查进度和最大程度降低勘探风险。通过各方面讨论确定井位优选在 A

区域,叠加值较密集中上部位钻进一口页岩气井,钻井压裂后气测显示良好,现已排采试气。

5 结语

中牟区块三维区太原组、山西组垂向岩性变化较频繁,因此寻找泥页岩分布较广、沉积环境相对稳定及保存条件较好区域作为目标。通过研究获取目标区有利层段泥页岩厚度、TOC、含气量、脆性、可压性等要素指标,将这些指标数据处理-叠加形成页岩气有利区域优选叠合图,再在优选叠合图中圈出页岩气有利井位部署小的区域。目前此井位优选方法在中牟页岩气区块勘查中首次使用,并在三维区由多要素优选叠加后圈出A、B、C、D四处页岩气有利井位部署小的区域,经过各方面讨论确定井位优选在A区域,在叠加值较密集中的部位钻进一口页岩气井,钻井压裂后气测显示良好。

致谢:感谢河南省地质调查院邱庆伦主任提出的建设性修改意见;另外,感谢吴东平、汪超、张栋、袁青松、代磊、刘冲等参加了野外工作。

参考文献:

- [1] 张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
- [2] 罗楚湘,陈建飞.页岩气成藏机理及分布规律研究对勘探开发的影响[J].辽宁化工,2017,46(2):142-145.
- [3] 闫德宇,黄文辉,张金川.鄂尔多斯盆地海陆过渡相富有机质泥页岩特征及页岩气意义[J].地学前缘,2015,22(6):197-206.
- [4] 张木辰,冯辉,瓮纪昌,等.河南海陆过渡相页岩储集特征及含气性初探[J].天然气勘探与开发,2018,41(2):37-54.
- [5] 徐汉林,赵宗举,杨以宁,等.南华北盆地构造格局及构造样式[J].地球学报,2003,24(1):27-33.
- [6] 瓮纪昌,王鹏,代磊,等.河南中牟和温县区块海陆交互相页岩气储层评价及勘查进展研究报告[R].郑州:河南省地质调查院,2016:93-99.
- [7] 刁玉杰,魏久传,曹红.南华北盆地石炭-二叠系沉积环境与聚煤规律研究[J].海洋科学集刊,2010(1):133-138.
- [8] 顾志翔,彭勇民,何幼斌,等.湘中坳陷二叠系海陆过渡相页岩气地质条件[J].中国地质,2015,42(1):288-299.
- [9] 瓮纪昌,王鹏,汪超.河南中牟和温县区块页岩气形成富集条件及勘查进展研究成果报告[R].郑州:河南豫矿地质勘查投资有限公司,2017:58-79.
- [10] 闫剑飞,张哨楠,余谦,等.黔北地区温泉分布特征与页岩气保存条件[J].煤炭技术,2015,34(10):116-118.
- [11] 张栋,代磊,董果果,等.河南温县页岩气勘查郑西页1井采样测试及地质评价报告[R].郑州:河南省地质调查院,2017:75-112.
- [12] 邱庆伦,刘艳杰,张栋,等.河南中牟页岩气勘查牟页1井采样测试及地质评价报告[R].郑州:河南省地质调查院,2015:46-52.
- [13] 余川,程礼军,曾春林,等.渝东北地区下古生界页岩含气性主控因素分析[J].断块油气田,2014,21(3):296-300.
- [14] 陈朝刚,杨涛,邱以钢,等.西姜寨目标区高精度三维地震资料处理解释报告(斯伦贝谢中渝页岩气技术服务有限公司)[R].郑州:河南省地质调查院,2016:26-27.
- [15] 张栋,朱德胜,代磊,等.河南中牟页岩气勘查郑东页2井井位论证报告[R].郑州:河南省地质调查院,2017:40-50.
- [16] 唐玄,杜晓瑞,张明强.河南中牟页岩气勘查牟页1井采样测试及地质评价报告(深圳市百勤石油技术有限公司)[R].郑州:河南省地质调查院,2015:68-79.
- [17] 杜晓瑞,党伟,张明强.牟页1井地层含气量现场解析测试报告(深圳市百勤石油技术有限公司)[R].郑州:河南省地质调查院,2015:21-25.

Optimization of exploration well for shale gas in the Taiyuan-Shanxi Formations of Zhongmu Block

LIU Jiacheng^{1,2}, LIU Jiaju^{1,2}, WANG Xiaoyan^{2,3}

ZHANG Dong^{1,2}, DAI Lei^{1,2}, DONG Guoguo^{1,2}

(1. *Henan provincial institute of geological survey, Zhengzhou 450001, China;*

2. *Innovation Strategy Alliance of Underground Clean Energy Exploration and Development, Zhengzhou 450001, China;*

3. *The second geological and mineral survey institute of Henan bureau of Geological & Mineral Resources Exploration, Zhengzhou 450001, China)*

Abstract: The optimization of exploration well for shale gas is aimed at finding exactly the best exploration stratum, narrowing the target range, locating the best favorable shale gas area, reducing the exploration risk and prospecting cost, accelerating the breakthrough. Based on the available geological data, geochemical analysis of samples from bore holes and 3D seismic survey operated in Zhongmu Block integrated study is carried out to determine the 2 806 m to 2 979 m interval of muddy shale of Taiyuan-Shanxi Formation as the most favorable shale gas exploration horizon. According to the result and data of deposition, structure, TOC, organics maturity, gas content, fragility, fissure and compressibility the software-optimized factor overlay map is drawn. From the map areas with all relatively better characteristics are chosen to be the targets and from the targets 4 exploration blocks are located and 1 exploration well is deployed with preferable shale gas shows.

Key Words: Zhongmu Block; shale gas exploration; favorable area; well position optimization; result and data; Henan province