

doi: 10.11720/wtyht.2020.1415

梁建刚, 杨为民, 孙大鹏, 等. 二维地震勘探在大庆长垣南端砂岩型铀矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2020, 44(6): 1322-1328. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1415>

Liang J G, Yang W M, Sun D P, et al. The application of 2D seismic exploration to the exploration of sandstone type uranium deposits at the southern end of Daqing placanticline[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(6): 1322-1328. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1415>

二维地震勘探在大庆长垣南端砂岩型铀矿勘查中的应用

梁建刚^{1,2}, 杨为民³, 孙大鹏^{1,2}, 匡海阳^{1,2}

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中国地质调查局铀等能源地质重点实验室, 天津 300170; 3. 山西省地球物理化学勘查院, 山西 运城 044000)

摘要: 大庆长垣南端砂岩型铀矿勘查项目前期利用油田钻孔资料发现了众多零散的工业孔, 并钻探证实。为了进一步扩大找矿成果, 开展了地震勘探。针对工作区地层埋深特点选择了合理的采集参数, 利用地震成果并结合测井数据, 统一了工作区的层位划分, 圈定了砂体, 进而推断出古河道, 解决了砂岩型铀矿勘查中的储层问题, 取得了很好的成果。地震勘探可作为砂岩型铀矿勘查寻找有利储层的主要方法手段。

关键词: 砂岩型铀矿; 地震勘探; 大庆长垣南端

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2020)06-1322-07

0 引言

砂岩型铀矿床为外生后成铀矿床, 主要产于陆块(地台)或中间地块上的大中型自流盆地以及造山带山间盆地的陆相、海陆交互相沉积岩中, 其中以河流相和三角洲相沉积最为重要。产铀砂岩的时代主要是中生代, 少数为中元古代和新古生代。

随着成矿理论认识的不断深入及低成本地浸开采技术的引进, 砂岩铀矿床已成为世界上最重要的铀矿床类型之一, 并被许多国家当做找矿目标的首选类型。拥有特大砂岩型铀矿床的国家有: 哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、俄罗斯、美国、中国、尼日尔、加蓬和捷克等。

当前, 我国铀矿勘探的主攻方向是北方中生代沉积盆地, 找矿主要类型为可地浸砂岩型^[1-4], 同其他矿种一样, 砂岩型铀矿勘查工作需要地质、矿产、地球物理、水文等多学科共同攻关, 其中地球物理勘查是相当重要的工作手段。

砂岩型铀矿品位一般为千分之几, 埋藏深度介

于几十米到几百米之间, 以磁性差异为前提的磁法勘探和以密度差异为前提的重力勘探只能用于地质格架控制及基底起伏、隐形断层等地下构造。

本次工作区内地表盐碱化, 浅层泰康组、明水组的多层含水层的低阻屏蔽作用, 传统电法对划分几米到十几米的砂层空间分辨能力严重不足。铀矿储层埋深几十米到几百米, 传统的放射性地球物理方法往往不能有效地应用于勘查砂岩型铀矿, γ 能谱数据也仅能识别沉积盆地的浅部断裂, 圈定铀矿化的范围并估算蚀源区铀的淋失量等^[5-8]。

而地震勘探在划分地层、岩性、岩相、古河道以及砂体和断裂构造识别方面效果明显。在地震剖面上, 反射波出现突变和错乱是断裂构造最明显的特征, 古河道在地震剖面上表现为河谷位置下凹, 两侧振幅增强。同时地震对砂泥分辨能力突出, 砂岩相对泥岩通常表现为强波阻抗, 对于沉积韵律较好的地层, 在地震剖面上表现为纵向上不连续, 甚至能直接从地震剖面上看出砂泥互层现象。因此利用反射地震勘探分析沉积相、沉积体系, 圈定有利砂体并为下一步砂岩型铀矿勘探提供依据是可行的^[9-14]。

收稿日期: 2019-10-12; 修回日期: 2020-07-15

基金项目: 中国地质调查局项目“油气田勘查区砂岩型铀矿调查与勘查示范”(DD20170128-08)

作者简介: 梁建刚(1980-), 男, 高级工程师, 主要从事航磁异常查证和地震勘探工作。Email: liangjiangang1980@163.com

1 区域地质、地球物理特征

1.1 区域地质

松辽盆地位于中国东北部,是由大小兴安岭、长白山环绕的一个大型沉积盆地,盆地跨越黑龙江、吉林、辽宁三省,面积约 26 万 km^2 。构造上,松辽盆地是在天山—内蒙—兴安古生代地槽褶皱系基础上发育起来的一个中生代内陆断陷盆地,其基底为古生代和前古生代变质岩系,发育以 NNE 和 NNW 向为主的深大断裂系,控制着全区的构造与沉积;沉积盖层主要由侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系组成,各层断裂继承或严格受深部或基底构造控制,以正断层的广泛发育为特征。

松辽盆地根据其岩性构造、断裂特征、区域地层分布、层序等,划分出西部斜坡区、中央坳陷区、北部倾没区、东北隆起区、东南隆起区和西南隆起区共 6 个构造分区(图 1)。

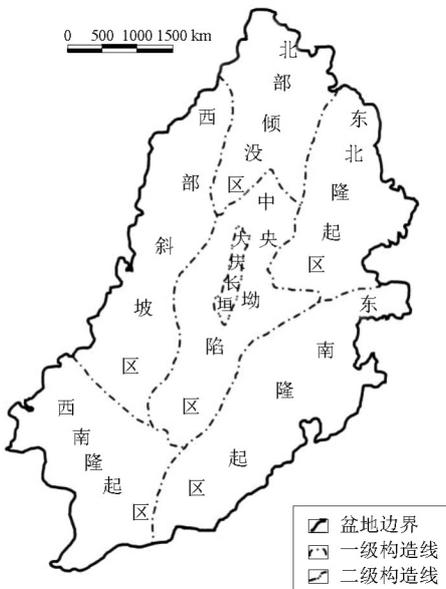


图 1 松辽盆地北部构造单元区划图(据文献[3]改编)

Fig.1 Structural unit zoning map of northern Songliao Basin(adapted from reference[3])

松辽盆地是一个以渗入型为主的自流水盆地,盆地周边含铀花岗岩系为区域含矿提供物源;盆地内沉积时间长、厚度大、构造相对稳定,油气保存较完好,地层富含有机质碎屑,形成层间氧化带十分有利;西斜坡、大庆长垣、朝长等斜坡及天窗构造,具有良好的构造条件;盆地冲泛平原相、河湖交互相发育,嫩江组和青山口组发育区域性分布的大套泥岩,可作为隔水层,泥—砂—泥体系配置较好,形成良好的存储条

综上所述,生、储、运、盖条件具备,找矿潜力巨大。根据钻探结果,工作区主要含矿层为四方台底部砂层。

1.2 地球物理特征

根据已有钻孔编录及测井成果,本区砂岩型铀矿主要岩性为粉细砂—粗砂,单层厚度 6~21 m,其间内部泥岩隔层厚度 6~14 m。砂岩声波时差 429 $\mu\text{s}/\text{m}$,换算成速度为 2 330 m/s ;隔层泥岩声波时差 632 $\mu\text{s}/\text{m}$,换算成速度为 1 580 m/s ;砂、泥岩速度差 750 m/s (32%),差异明显。在密度相差不大的情况下,砂、泥岩界面具有较大的波阻抗差异,是本区应用地震方法开展储层分析的地球物理基础。

根据大庆油田以往二维、三维地震资料,工作区含矿层及其他层位地震波形(编号沿用大庆油田习惯)特征如下:

T_{03} 反射层为四方台组底面反射,一般为中振幅弱连续反射,局部为弱振幅或复合波,视频率一般 45~50 Hz,反射时间 150~550 ms 之间,为本次铀矿勘查的含矿目的层。

T_{06} 反射层为嫩江组二段顶面反射,一般为中强振幅连续反射,局部为弱振幅或复合波,视频率一般 45~50 Hz,反射时间 500~1 050 ms 之间,亦为本次地震勘探的主要目的层之一。

T_1 反射层为姚家组顶面反射:该反射波全区稳定,特征明显,视频率一般 45 Hz。反射时间 720~1 300 ms 之间。

$T_{1,1}$ 反射层为青山口组顶面反射。全区稳定,特征明显,中强振幅连续反射,视频率一般为 45 Hz,反射时间在 800~1 400 ms 之间。

T_2 反射层为泉头组顶面反射,中强振幅连续反射;其上是一中强振幅高频波,其下是两个复波。 T_2 反射波的这种关系全区较稳定,反射时间在 1 050~1 850 ms 之间。

综上所述,本区地震地质条件良好。

2 地震勘探效果

为进一步细化大庆长垣南端含铀岩系构造格架特征,摸清工作区内 T_{06} 以上地层结构及空间展布情况,并重点查明 T_{03} 界面分布特征及四方台组砂体分布特征,项目部在重点找矿靶区布设了二维地震工作剖面 10 条,合计满覆盖长度 134 km。二维地震野外采集参数为:可控震源中间激发,两边各 80 道接收,道间距 10 m、炮点距 20 m、覆盖次数 40 次,采样间隔 0.5 ms、记录长度 2 s,检波器频率 60 Hz。

2.1 结合测井曲线统一工作区内层位划分标志

根据地震成果并结合已有钻探资料,厘定了工作区内地层划分和构造格架特征,由老至新共划分了泉头组顶面(T_2 反射层)、青山口组顶面(T_{1-1} 反射层)、姚家组顶面(T_1 反射层)、姚家组顶面(T_1 反射层)、嫩江组二段顶面(T_{06} 反射层)、四方台组底面(T_{03} 反射层)、明水组(表 1、图 2)。

层)、姚家组顶面(T_1 反射层)、嫩江组二段顶面(T_{06} 反射层)、四方台组底面(T_{03} 反射层)、明水组(表 1、图 2)。

表 1 地层分界面地震波场及测井曲线特征

Table 1 Characteristics of seismic wave field and logging curve of formation interface

层位	地震波场特征(层位底界面)	测井曲线特征(电阻率)
明水组	中强振幅、中高频连续反射,局部为弱振幅或复合波, T_{k2m} 反射层在本区相对稳定,反射时间在 100~500 ms 之间,全区容易对比追踪	视电阻率曲线上部呈锯齿状中—低值,下部呈群峰状高阻值,自然电位曲线呈箱状中幅度负异常值
四方台组	中强振幅、中高频连续反射,局部为弱振幅或复合波, T_{03} 反射层在本区相对稳定,反射时间在 150~550 ms 之间,全区容易对比追踪。四方台 GR 异常反射特征表现为河道下切,顶部丘形反射,能量较弱,连续性差,未发育辫状河道处表现为强连续反射	视电阻率曲线上部呈低值,中、下部呈高阻值,自然电位曲线上部无异常,中、下部呈中幅度负异常值,具水层特征
嫩江组三段	中弱振幅、中高频连续反射,局部表现为弱振幅的反射特征, T_{06} 反射层其上为较强能量的反射特征,其下为弱能量的相对空白反射特征,反映其水退沉积环境的变化,该反射层在本区较稳定,反射时间在 500~1 050 ms 之间,全区容易对比追踪	视电阻率曲线局部呈高阻值,自然电位局部呈中幅度负异常值,组成三个较为明显的反旋回
嫩江组五段	强振幅、中高频连续反射, T_1 反射波组在本区稳定,断层的波组错断特征清晰,反射时间在 720~1 300 ms 之间,为区域性标志层,全区可对比追踪	视电阻率曲线上部多呈平直状低值,下部局部呈锯齿状尖峰中阻值
姚家组	中强振幅、中高频连续反射, T_{1-1} 反射波组在本区较稳定,断层的波组错断特征较明显,反射时间在 800~1 400 ms 之间,全区可对比追踪	视电阻率曲线上部为低阻值,下部为高低阻值相间的不规则锯齿状尖峰
青山口组	中强振幅、中高频连续反射, T_2 反射波组在本区较稳定,断层的波组错断特征明显,反射时间在 1 050~1 850 ms 之间,为区域性标志层,全区可对比追踪	电阻率曲线局部呈尖峰状高阻值,自然电位无异常值

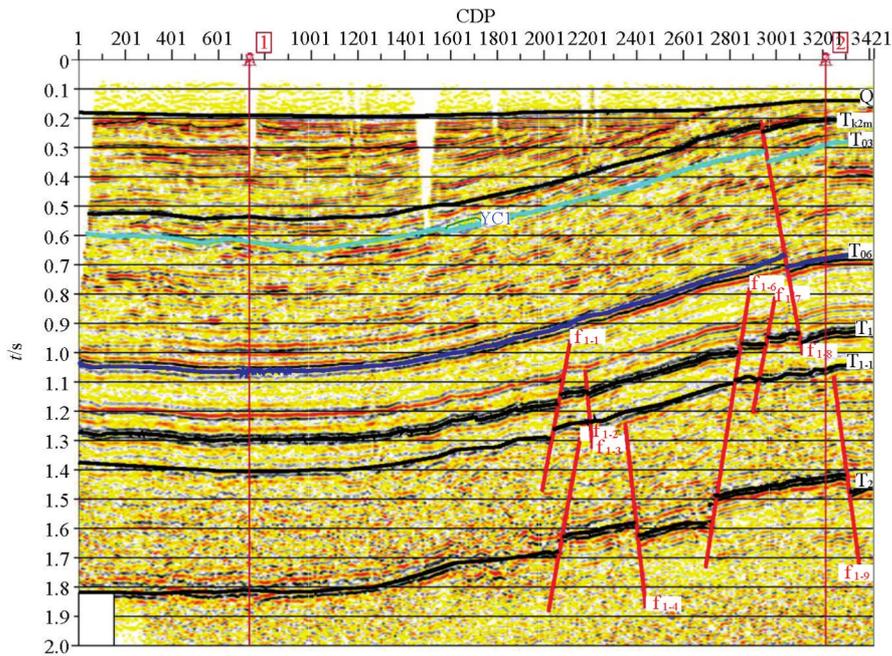


图 2 D_1 线地层标定图

Fig.2 Stratum calibration map of line D_1

2.2 四方台组结构及空间展布

对本次地震主要目的层四方台组的分布进行了详细刻画,由图 3 可见,四方台底板反射波 T_{03} 时间变化范围为 100~700 ms,整体南西部 T_0 时间大,东部

南部、中部较小,中部有宽缓褶皱变化。

由图可见,四方台组底界面反射波 T_{03} 时间变化范围为 100~700 ms,西部 T_0 时间大,东南部、中部较小。

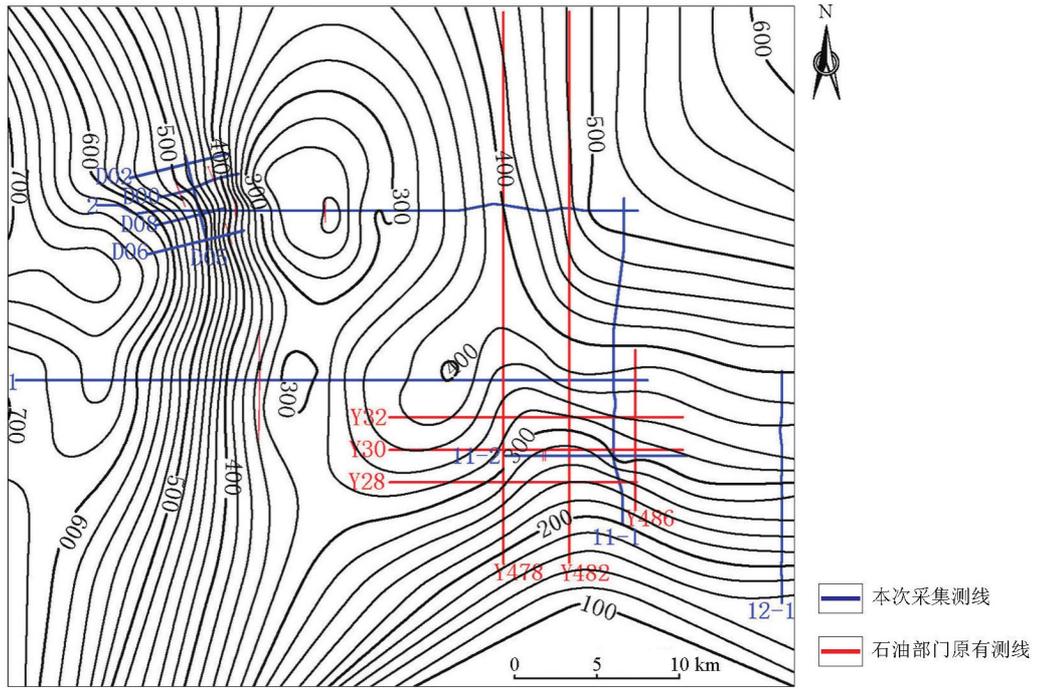


图3 T₀₃层反射波 T₀ 时间等值线平面

Fig.3 T₀ contour map of reflection wave in layer T₀₃

通过时深转换,编制完成 T₀₃层反射波底板等高线构造图,见图4,其中等值线距为20 m。

由图初步分析可见,T₀₃层深度的起伏变化及展布特征与其时间构造基本一致,中部发育较宽缓的

褶皱和鼻状构造。整体表现为西翼陡东翼缓的背斜构造,西翼倾角较大,约5°~7°,东翼倾角较小,约1°~2°;工区东南部表现为南高北低的单斜构造,倾角较小,约1°~2°。

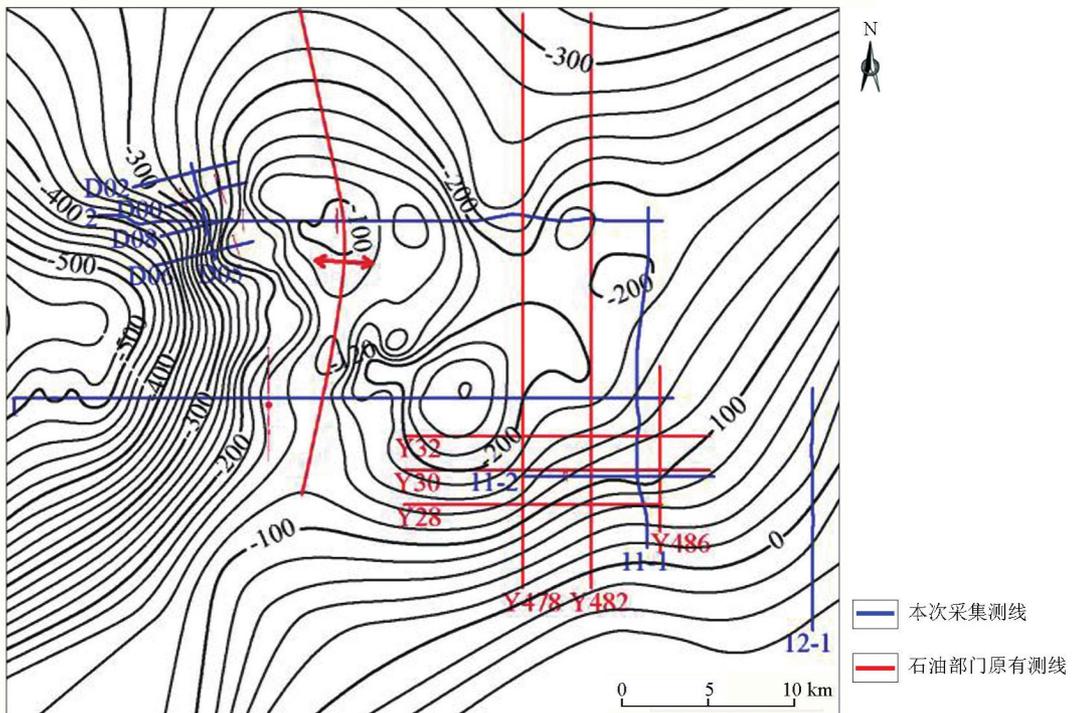


图4 T₀₃层反射波底板等高线构造

Fig.4 Floor contour structure of reflection wave in layer T₀₃

2.3 四方台组砂体的地震波场识别标志

在地震资料解释中,圈定砂体的主要依据有:砂岩与泥岩具有明显波阻抗差异,在地震剖面上有较强振幅的反射波组出现;砂体在空间上分布有限,不具有区域性连续地震反射;在两端表现为逐渐变薄尖灭,中间有穿插现象;振幅强弱变化与砂岩的成分、粒度、胶结程度等因素密切相关(图5)。通常,

河床砂体的反射振幅、频率、相位、连续性等特征不稳定;滨浅湖相沉积砂体的地震特征参数相对稳定;深湖相沉积砂体为强振幅、相位清晰、连续性好、特征稳定,以席状地震相为主。

2.4 推断古河道

基于河道砂体在地震剖面上表现出来的下切等特征(图6),将相邻测线上的砂体按下切深度分类,

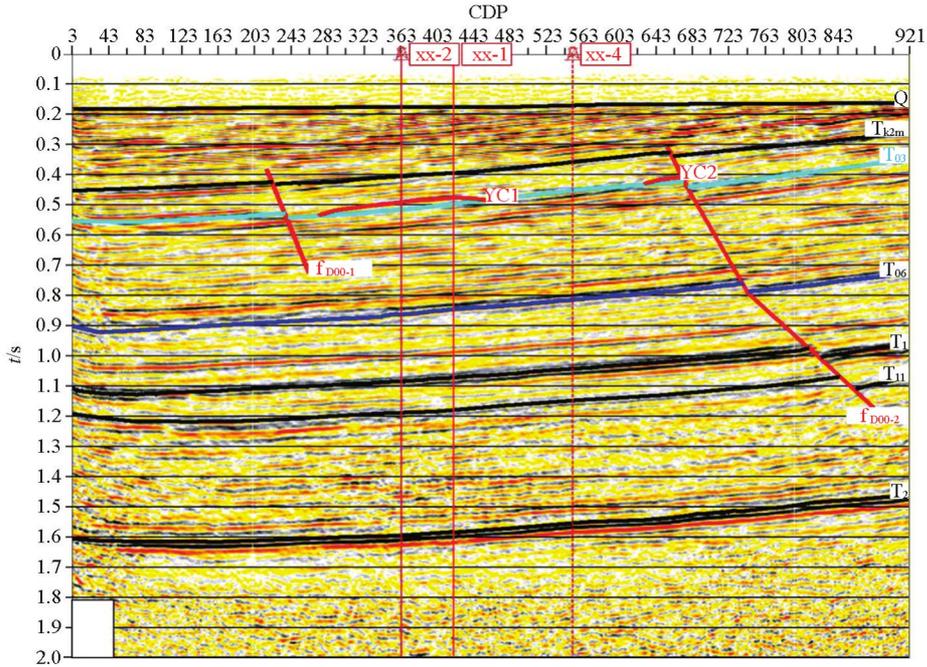


图5 D₀线四方台组砂体地震波组特征

Fig.5 Seismic wave group characteristics of sand body in Sifangtai formation of D₀ line

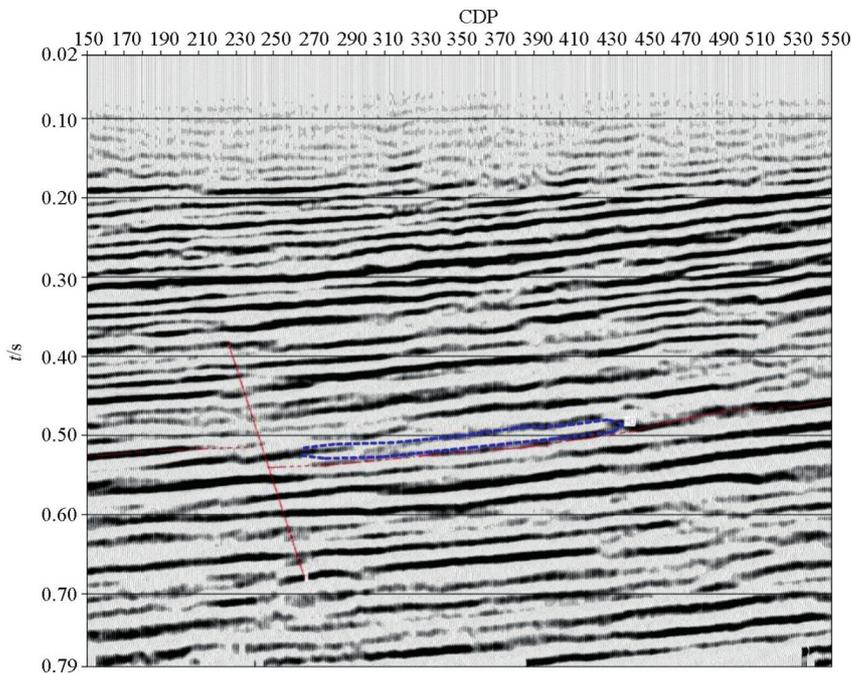


图6 古河道在地震剖面上表现的下切特征(蓝色虚线框部分)

Fig.6 Undercutting characteristics of ancient river channel on seismic profile(blue dotted part)

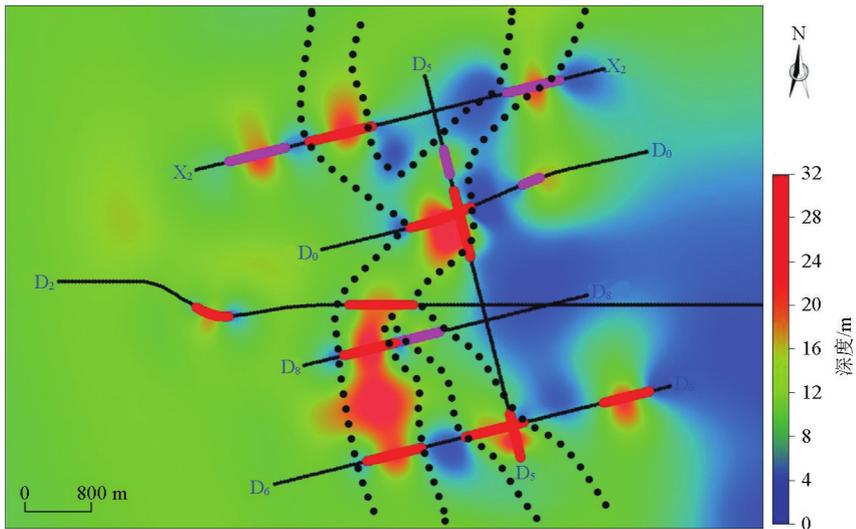


图7 河道砂体剖面异常特征(红色一类异常,粉色二类异常)

Fig.7 Abnormal characteristics of channel sand body profile(red type I, pink type II)

并将相同类别的砂体连接起来推断为古河道(图7)。由于测线最小间距(D_0 线与 D_8 线)为1.6 km,河道可能在此距离内摆动多次,因此测线间的河道展布特征有待三维地震资料进一步验证。

3 结论

针对砂岩型铀矿这一沉积型矿床,尤其是在工作区表层盐渍化,浅层含水层较多,电法效果不好的情况下,地震勘探可利用泥岩、砂岩界面的波阻抗差异查明砂体展布,是一种寻找储层行之有效的办法。

结合适量的钻孔编录、测井资料,利用地震资料可以实现工作区层位统一对比、砂体勾勒,建立等时格架,并进一步推断古河道,精细掌握工作区流体运移形态。

在上述成果的基础上,判断是否含矿还需要全区成矿模型的建立作为支撑,还需要进一步研究含矿与不含矿钻孔测井曲线信息对比,将测井曲线的含矿信息转化为地震波场特征,尝试利用 γ 曲线重构波阻抗。

参考文献(References):

[1] 马董伟.地震勘探方法在薄覆盖层区城市活断裂探测中的应用[J].物探与化探,2019,43(5):1038-1045.
Ma D W. The application of seismic exploration method to active faults detection in urban thin overburden area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(5): 1038-1045.

[2] 吴教兵,高鹏飞,陆俊宏,等.综合物探方法在广西柳州隐伏断裂探测中的应用[J].地质与勘探,2019,55(4):1026-1035.
Wu J B, Gao P F, Lu J H, et al. Application of integrated geophysi-

cal methods to the detection of buried faults in Liuzhou, Guangxi [J]. Geology and Exploration, 2019, 55(4): 1026-1035.

[3] 钟延秋.大庆长垣构造演化特征及对砂岩型铀矿成矿的控制作用[J].东华理工大学学报:自然科学版,2012,35(4):315-321.

Zhong Y Q. Tectonic evolution and control effect on sandstone-type uranium mineralization in Changqi Placantieline [J]. Journal of East China University of Technology: Natural Science, 2012, 35(4): 315-321.

[4] 汤超,金若时,谷社峰,等.松辽盆地北部四方台组工业铀矿体的发现及其意义[J].地质调查与研究,2018,41(1):1-8,32.
Tang C, Jin R S, Gu S F, et al. Discovery and significance of industrial uranium ore in Sifangtai Formation, north Songliao basin [J]. Geological Survey and Research, 2018, 41(1): 1-8, 32.

[5] 刘华健,金若时,肖鹏,等.松辽盆地北部古恰地区含铀岩系四方台组粒度特征及其沉积环境指示意义[J].地质调查与研究,2018,41(1):40-50.

Liu H J, Jin R S, Xiao P, et al. Grain-size characteristics of the Sifangtai Formation of uranium-bearing series in Guqia area, northern Songliao basin and its sedimentary environmental implications [J]. Geological Survey and Research, 2018, 41(1): 40-50.

[6] 刘华健,金若时,李建国,等.松辽盆地北部含铀岩系沉积物源及铀源分析研究进展[J].地质调查与研究,2017,40(4):281-289.

Liu H J, Jin R S, Li J G, et al. Advance in research for sedimentary and uranium source analysis of the uranium-bearing series in northern Songliao basin [J]. Geological Survey and Research, 2017, 40(4): 281-289.

[7] 徐建宇.地震方法在城市浅覆盖区活断层调查中的应用[J].物探与化探,2016,40(6):1103-1107.

Xu J Y. The application of seismic method to the investigation of active faults in urban shallow Quaternary sediment area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(6): 1103-1107.

[8] 吴曲波,李子伟,潘自强,等.砂岩型铀矿地震勘探技术应用现

状与发展[J].物探与化探,2017,41(4):648-655.

Wu Q B, Li Z W, Pan Z Q, et al. Application status and future trend of seismic exploration techniques in sandstone uranium deposits [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(4): 648-655.

[9] 籍增贤, 韩长青. 北方中新生产铀盆地的特点与找矿方向探讨[J]. 铀矿地质, 2006, 22(4): 229-234.

Ji Z X, Han C Q. Discussion on the characteristics of Meso-Cenozoic U-productive basins in northern China and their prospecting direction [J]. Uranium Geology, 2006, 22(4): 229-234.

[10] 王志宏, 杨进, 山科社. CSAMT 在可地浸砂岩型铀矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2005, 29(3): 227-229.

Wang Z H, Yang J, Shan K S. The application of CSAMT to the exploration of in-situ Leachable sandstone type uranium deposits [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2005, 29(3): 227-229.

[11] 胡霞, 吕建才, 胡英, 等. 利用油气勘探资料勘查铀矿的几点认识: 以松辽盆地北部铀矿勘探为例 [J]. 世界地质, 2019, 38(2): 405-411.

Hu X, Lyu J C, Hu Y, et al. Some insights on exploration of uranium

using oil and gas exploration data; taking uranium mine in northern Songliao Basin as an example [J]. Global Geology, 2019, 38(2): 405-411.

[12] 吴曲波, 曹成寅, 李子伟. 准噶尔盆地五彩湾地区砂岩型铀矿地震勘探技术 [J]. 物探与化探, 2018, 42(6): 1134-1143.

Wu Q B, Cao C Y, Li Z W. The seismic exploration technology of the sandstone-type uranium deposit in Wucuiwan area of Junggar Basin [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(6): 1134-1143.

[13] 李子伟, 吴曲波, 曹成寅. 砂岩型铀矿波阻抗反演砂体识别技术研究 [J]. 世界核地质科学, 2017, 34(4): 222-227.

Li Z W, Wu Q B, Cao C Y. Study on sandbed recognition technology using impedance inversion in sandstone type uranium deposit [J]. World Nuclear Geoscience, 2017, 34(4): 222-227.

[14] 冯西会, 王中锋, 唐建益, 等. 用于铀矿勘探的高分辨率地震技术 [J]. 物探与化探, 2007, 31(s1): 19-23.

Feng X H, Wang Z F, Tang J Y, et al. The application of high resolution seismic technology to uranium ore exploration [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(s1): 19-23.

The application of 2D seismic exploration to the exploration of sandstone type uranium deposits at the southern end of Daqing placanticline

LIANG Jian-Gang^{1,2}, YANG Wei-Min³, SUN Da-Peng^{1,2}, KUANG Hai-Yang^{1,2}

(1. Tianjin Center, China Geology Survey, Tianjin 300170, China; 2. Key Laboratory of Energy Geology such as Uranium, Tianjin 300170, China; 3. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration of Shanxi Province, Yuncheng 044000, China)

Abstract: In the early stage of the exploration project of sandstone type uranium deposit in the south end of Daqing placanticline, many scattered industrial holes were found by using the drilling data of the oil field, which were proved by drilling. In order to further expand the prospecting results, the authors carried out seismic exploration. According to the characteristics of the buried depth of the strata in the working area, the reasonable acquisition parameters were selected, the stratigraphic division of the working area was unified, the sand body was delineated, and then the ancient river course was inferred, the reservoir problem in the exploration of sandstone type uranium deposit was solved, and good results were obtained. It is proved that seismic exploration can be used as the main method in the search for favorable reservoirs in sandstone type uranium exploration.

Key words: sandstone type uranium deposits; seismic exploration; the southern end of Daqing placanticline

(本文编辑: 叶佩)