

doi: 10.11720/wtyht.2020.1490

吴旭亮,武勇强,李茂.鄂尔多斯盆地北西缘浩然柴达木地区下白垩统华池-环河组砂体发育特征[J].物探与化探,2020,44(4):742-747.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1490>

Wu X L, Wu Y Q, Li M. Characteristics of sand body development of Lower Cretaceous Huachi-Huanhe Formation in Haoran Qaidam area on the northern and western margin of Ordos Basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(4): 742-747. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1490>

鄂尔多斯盆地北西缘浩然柴达木地区 下白垩统华池—环河组砂体发育特征

吴旭亮^{1,2}, 武勇强^{1,2}, 李茂^{1,2}

(1.核工业航测遥感中心,河北石家庄 050002; 2.中核集团公司铀资源地球物理勘查技术中心重点实验室,河北石家庄 050002)

摘要:浩然柴达木地区位于杭锦旗西部,区内下白垩统华池—环河组具备较好的找矿潜力。依托2019年完成的5条面积性的CSAMT测深数据,结合地质及钻孔资料,对该地区下白垩统华池—环河组砂体发育特征进行了分析。研究表明,区内该组地层砂体十分发育,分布范围较广,顶板埋深200 m左右,厚度400~700 m,局部达750 m,走向NW,整体表现为东北部薄、中部—南西部厚的发育分布特征,为钻探工程的布置提供了深部地质信息。

关键词:浩然柴达木;CSAMT;华池—环河组;砂体

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2020)04-0742-06

0 引言

鄂尔多斯盆地是我国北方中生代大型产铀沉积盆地之一,目前发现的大型砂岩型铀矿床均产于盆地北东缘中侏罗统直罗组中,铀矿化主要受古层间氧化带前锋线控制,赋存于灰色砂岩和绿色砂岩的过渡带。浩然柴达木地区位于盆地北西缘杭锦旗西部,因下白垩统沉积厚度大,目的层中侏罗统直罗组顶板埋深一般大于750 m^[1],埋藏较深,区内铀矿勘查工作程度一直相对较低。根据收集的煤田钻孔伽马测井资料分析,杭锦旗西部下白垩统华池—环河组中存在较好的铀矿化显示,同时核工业二〇八大队2006年施工的ZKY7-3,在下白垩统华池—环河组中发现了工业铀矿化,显示该层位具备较好的找矿潜力。根据国家战略需要,为进一步扩大盆地北部铀矿找矿工作成果,实现新区域、新层位的找矿突破,近年来,在盆地北西缘加大了对目的层下白垩统华池—环河组的找矿潜力研究。

砂体是可地浸砂岩型铀矿重要的成矿条件之一,它不仅是地下水或含铀含氧水活动的通道以及铀次生活动和富集的有利空间,也是石油、天然气、氮气等的储集层和运移通道^[2]。因此,在该地区砂岩型铀矿勘查中首先查明下白垩统华池—环河组砂体空间展布特征,对指导区内找矿工作具有重要意义。本文以2019年“鄂尔多斯盆地北缘伊和乌素地区CSAMT测量”项目完成的面积性测深数据为基础,结合区内地质与钻孔资料,重点对下白垩统华池—环河组砂体特征进行了研究,揭示了其深部空间展布特征,指导了区内钻探工程布置。

1 研究区地质概况及岩石电阻率特征

1.1 地质概况

研究区位于鄂尔多斯盆地伊盟隆起的中北部,出露的地层主要为下白垩统华池—环河组、罗汉洞组及第四系(图1),区内地层产状平缓,褶皱、断裂构造不发育^[4-7]。

收稿日期: 2019-10-21; 修回日期: 2019-12-17

基金项目: 中国核工业地质局项目“鄂尔多斯盆地北缘伊和乌素地区可控源音频大地电磁测量”(201902-05)

作者简介: 吴旭亮(1987-),男,物探工程师,主要从事物探技术应用及研究工作。Email: Xuliang16@126.com

通讯作者: 李茂(1963-),男,物探工程师,主要从事地球物理勘查找矿工作。Email: lm703@126.com

根据钻孔资料分析,区内中生界三叠系(T)、侏罗系(J)、下白垩统(K_1)及第四系(Q)构成了沉积盖层的主体。下面主要对侏罗系与下白垩统进行重点叙述。

侏罗系主要发育有上侏罗统安定组(J_3a)与中侏罗统延安组(J_2y)、直罗组(J_2z)。中侏罗统延安组(J_2y):岩性下部及上部为绿色、黄绿色、灰色含砾粗砂岩,中部为灰色、黑色、紫红色粉砂质泥岩,灰黑、浅灰色粉砂岩、煤层及煤线,厚 50~250 m,最厚可达 450 m。中侏罗统直罗组(J_2z):上段以泥岩、粉砂岩为主,下段以中、粗砂岩为主,为鄂尔多斯盆地北东部主要的赋矿层位。上侏罗统安定组(J_3a):岩性为灰绿色泥质砂岩、紫红色细砂岩、泥岩夹钙质胶结的白色细砂岩,在盆地西部石油孔中其厚度大于

300 m,与下伏直罗组呈平行不整合接触关系。

下白垩统自下至上划分为洛河组(K_1l)、华池—环河组(K_1hc+h)、罗汉洞组(K_1lh)。洛河组(K_1l):岩性主要以浅红色砂岩为主,夹棕紫色泥岩,含钙质结核,底部发育底砾岩。华池—环河组(K_1hc+h):岩性主要为黄色、灰绿、浅灰、棕红色的中、粗粒长石石英砂岩、粉砂岩、姜黄色砂岩、砂砾岩不等厚互层,因赋存砂岩型铀矿化,为杭锦旗西部重要的找矿目的层,与下伏洛河组整合接触。罗汉洞组(K_1lh):上部主要为土红、紫红色砂岩和灰色中粗粒砂岩,下部为泥质粉砂岩互层、红色块状砂岩,局部夹泥岩,含钙质结核,厚 390 m,与下伏华池—环河组呈整合接触关系。

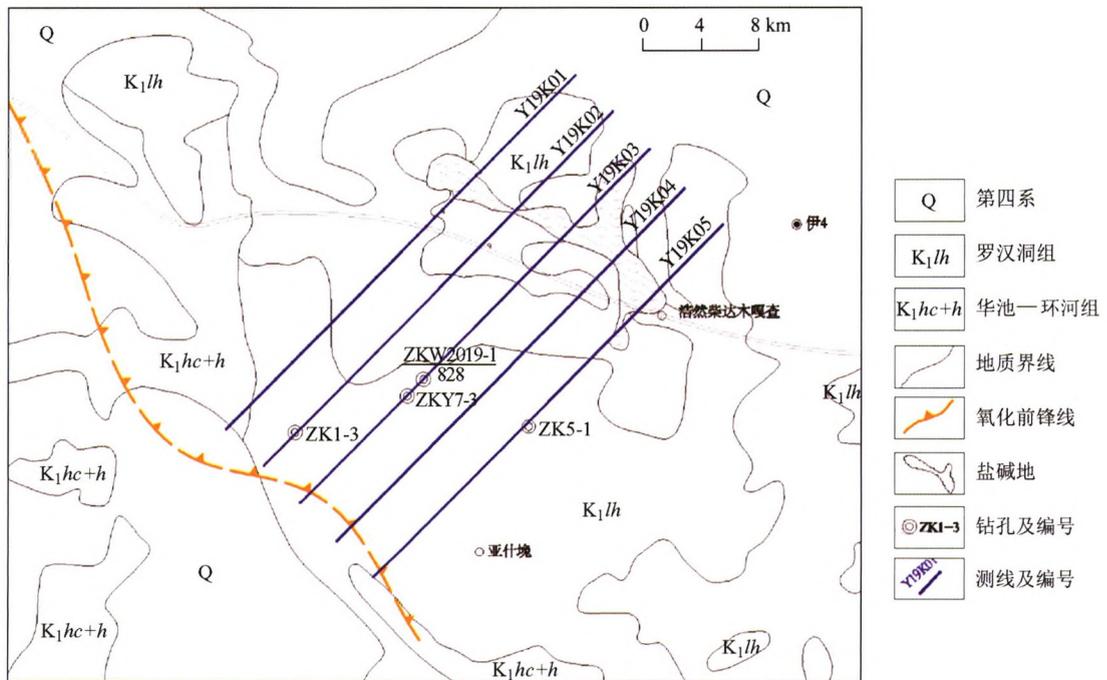


图 1 研究区地质及测线布置

Fig.1 Geological map and survey line arrangement diagram of study area

1.2 岩石电阻率特征

表 1、表 2 为根据核工业二〇八大队伊和乌素地区与巴音青格利地段钻孔资料统计的地层电阻率。由表可见,第四系冲洪积物、砂砾岩平均电阻率为 $40 \Omega \cdot m$,表现为相对高阻特征^[8]。下白垩统主要为砾岩、含砾砂岩夹粉砂岩、泥岩组成,电阻率值 $14 \sim 51.20 \Omega \cdot m$,其中华池—环河组最高,表现为相对高阻特征。上侏罗统安定组与中侏罗统直罗组主要为泥岩、粉砂岩、中粗粒砂岩,电阻率值 $7 \sim 18 \Omega \cdot m$,表现为明显的相对低阻特征;中侏罗统延安组岩性主要为泥岩、粉砂岩、中粗粒砂岩、煤层,由于煤层电阻率较高,整体表现为相对中阻特征。其次,

表 1 测区岩石平均电阻率统计结果

Table 1 Statistical table of different rocks of resistivity

地层	岩性	样本数	$\rho / (\Omega \cdot m)$
第四系	冲洪积物、砂砾石、风积物	30	40.0
	泥岩	72	14.0
下白垩统	中砂岩	72	21.0
	粗砂岩	78	24.4
	砾岩	69	40.4
延安组	泥岩、粉砂岩	62	10.4
	砂岩	61	16.0
	钙质砂岩	38	18.60
	煤	45	117.0

表 2 测区地层测井电阻率均值统计^[9]
Table 2 Statistical table of different rocks
of resistivity ($\Omega \cdot m$)

钻孔	地层					
	K_1lh	K_1hc+h	K_1l	J_2a	J_2z	J_2y
ZKW2019-1	37.64	51.20	29.26	×	×	×
ZK5-1	33.28	45.48	38.26	14.24	17.77	29.11
ZKY2017-2	24.97(未分组)			缺失	7.66	25.52
ZKY2017-3	25.59(未分组)			缺失	9.39	22.84

注:×代表未揭露到,没有测井资料

从岩性分析,煤层、砾岩、含砾砂岩、中粗粒砂岩相对于其他岩性,电阻率要明显偏高。

上述岩性电性特征是区内划分岩性及地层的物性基础,为资料的解释提供了重要依据。

2 CSAMT 测量方法及数据反演处理

2.1 仪器设备及测量装置

数据采集使用 GDP-32^{II} 多功能电法仪测量系统,测量装置为赤道偶极标量测量装置。磁场信号(H_y)垂直于电场信号(E_x),采用 ANT-6 磁探头进行测量;电场信号采用固体不极化电极进行观测。发射偶极 $AB=1.0$ km,接收偶极 $MN=100$ m,最小收发距 4.2 km,最低观测频率为 0.5 Hz。

2.2 测线布置

研究区位于杭锦旗西部浩然柴达木地区,地层整体呈 NW 走向,依据物探剖面线应与主构造线走向垂直的原则,布置 NE 向 CSAMT 剖面 5 条,每条剖面长 34.0 km,线距 3.60 km,点距 100~200 m,总计测点 1 200 个(见图 1)。

2.3 数据反演处理

数据反演处理为资料解释的重要环节,其目的是通过反演计算,将所观测的电磁场信息转换为电性结构模型,以达到解决地质任务的目的。本次数据反演处理主要采用 Zonge 公司与 GDP-32^{II} 多功能电法仪相配套的 SCS2D 软件完成。

为确保本次数据反演精度,提高资料的解释效果,首先利用已知钻孔资料,对主要反演参数^[9]即初始背景电阻率模型、第一层厚度、圆滑系数进行了适用性实验分析。

图 2 为 Y19K05 线 13.0~18.0 km 段不同初始模型反演结果。ZK5-1 号钻孔揭露深度 1 489 m(图中延安组厚度省略,截取了一段),0~190 m 为下白垩统罗汉洞组(K_1lh),190~962 m 为下白垩统华池—环河组(K_1hc+h)与洛河组(K_1l),962~1 223 m 为侏罗系安定组(J_3a)与直罗组(J_2z),1 223~1 489 m 为

中侏罗统延安组(J_2y)。

由图 2 对比分析可以看出,三种初始模型对上部的下白垩统电性层反演结果基本一致,对于深部安定组、直罗组以及底部延安组电性层的反映明显存在一定的差异性特征。二维移动平均初始化背景电阻率模型对上述电性层的中高、高、低、中电性结构反映较为清晰(图 2b),其反演结果基本上与 ZK5-1 号钻孔揭露地层测井电阻率基本一致(见表 2)。一维模拟二维移动平均电阻率模型与二维移动平均数据初始化背景电阻率模型的反演结果大致一致,但底部中阻层延安组的反演结果与钻孔揭露情况有所差别(图 2a),效果稍差。均匀半空间电阻率模型对深部安定组和直罗组低阻层以及底部延安组中阻层的反演结果不明显(图 2c),反演电阻率整体偏高,分层效果稍差。第一层厚度与圆滑系数也在该钻孔旁进行了反复实验,不再赘述。

通过实验,最终确定了区内的数据反演约束条件,即初始模型为二维移动平均数据初始化背景电阻率模型、第一层厚度为 75 m、圆滑系数为 0.5 时,反演结果能客观地反映区内盖层的地电结构,提高了资料解释的可靠性。

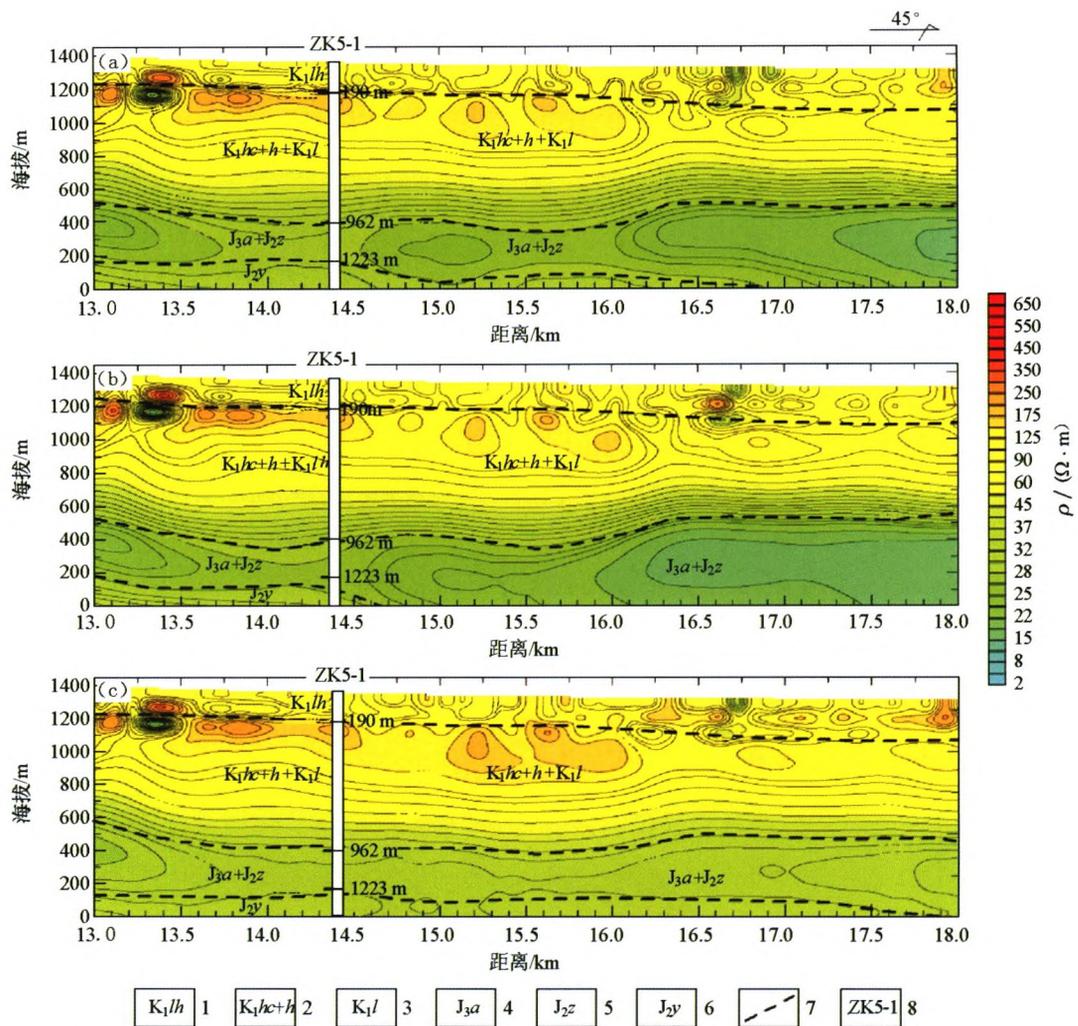
3 下白垩统华池—环河组砂体解释

3.1 下白垩统岩性特征

据区内煤田资料分析,鄂尔多斯盆地下白垩统构造层主要为伸展活动背景下形成的粗粒碎屑岩与古沙漠沉积,其次,从核工业航测遥感中心在杭锦旗西部开展的可控源音频大地电磁测量成果资料分析,下白垩统中段华池—环河组主要以河流相厚层状砂岩为主^[10],泥岩不发育,而下段洛河组底部发育较厚的底砾岩。整体来说,下白垩统岩性粒度较粗,在天环向斜的东翼与伊陕斜坡区,表现为西倾的大型单斜构造,地层产状平缓,岩性与岩相相对稳定^[11]。

3.2 下白垩统华池—环河组砂体解释

研究区 5 条反演电阻率断面特征基本一致^[12],下面主要结合图 3 对下白垩统华池—环河组的砂体解释进行分析。ZKW2019-1 钻孔为核工业二〇八大队 2019 年施工的第一个见矿孔,位于 Y19K03 线平距约 11 km 处,揭露深度 828.7 m,虽然揭露到洛河组底部底砾岩,但下白垩统未揭穿。钻孔 0~9.2 m 为第四系,9.2~193.6 m 为下白垩统罗汉洞组,193.6~713.1 m 为下白垩统华池—环河组,713.1~828.7 m 为下白垩统洛河组。



a——三维模拟二维移动平均电阻率模型;b——二维移动平均电阻率模型;c——均匀半空间电阻率模型;1—罗汉洞组;2—华池-环河组;3—洛河组;4—安定组;5—直罗组;6—延安组;7—地层界线;8—钻孔及编号
 a—1-D modeling and 2-D moving average resistivity;b—2-D moving average resistivity model;c—uniform half-space resistivity model;1—Luohandong Group; 2—Huachi huanhe Group; 3—Luohe Group; 4—Anding Group; 5—Zhiluo Group; 6—Yanan Group; 7—stratigraphic boundary; 8—drilling and numbering

图2 Y19K05线13.0~18.0km不同初始模型反演试验对比

Fig.2 Comparison of different initial inversion tests for 13.0~18.0 km on Y19K05 line

由图3可见,断面中下白垩统纵向主要反映为明显的相对中高和高阻二层电性结构,与下白垩统岩性及电性特征基本一致。上部反映连续、稳定、厚度200m左右,反演电阻率28~80Ω·m,底部等值线呈近水平密集带分布,纵向反映为明显的“上高下低”相对中高阻电性层,基本与第四系风成沙及下白垩统罗汉洞组砂岩、砂质泥岩相对应。下部反映连续、稳定、厚度450~700m(测线东北部薄),反演电阻率大于28Ω·m,电性层底部等值线横向呈密集带分布的相对高阻电性层,基本与下白垩统华池—环河组与洛河组发育的厚层状砂岩及底部含砾砂岩相对应。

分析可见,华池—环河组与洛河组电性相近,均表现为明显的高阻电性层,其顶板埋深200m左右,

根据钻孔揭露华池—环河组与洛河组岩性与电性特征,将该套电性层以中粗粒砂岩、含砾砂岩为主的沉积层,整体解释为砂体,由于洛河组厚度相对较薄,因此上述解释的砂体简称为华池—环河组砂体。

4 下白垩统华池—环河组砂体分布特征

根据可控源音频大地电磁测量5条剖面的解释成果,将下白垩统底板埋深与华池—环河组顶板埋深相减,得出华池—环河组与洛河组的砂体厚度(简称为华池—环河组砂体),然后在各剖面地质推断解释断面图上按测点间隔进行采样,并投影到同一平面,结合其他相关资料,勾划出本区下白垩统华池—环河组砂体厚度等值线平面(图4)。

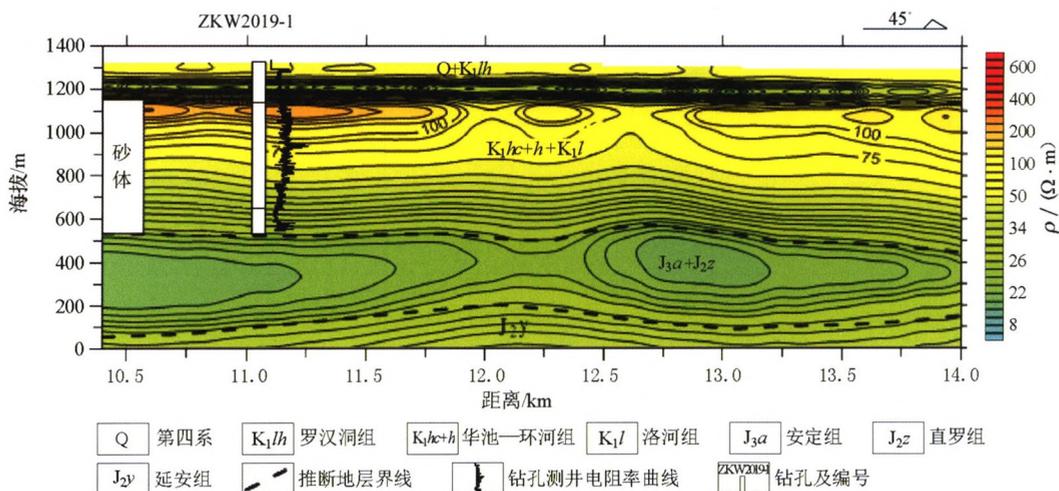


图3 Y19K03 线平距 10.4~14.0 km 电阻率反演断面及地质推断解释成果

Fig.3 Geological intence interpretation cross section of inverted resistivity with horizontal distance of 10.4~14.0 km on Y19K03 Line

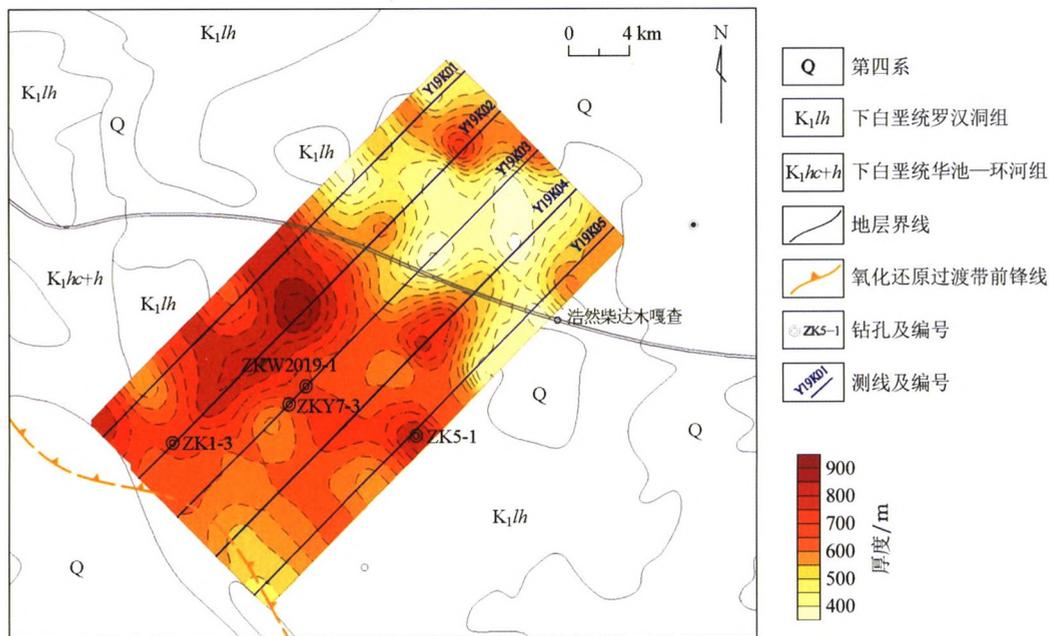


图4 研究区下白垩统华池—环河组砂体厚度等值线平面

Fig.4 Contour plan of sand body thickness of Lower Cretaceous Huachi-Huanhe Formation in the research area

由图4可见,区内砂体厚度等值线呈NW向展布,东北部厚度一般在400~600m之间,最薄处主要为:Y19K01线平距22.8~24.6km, Y19K03线平距23~25.6km、29.8~31.4km, Y19K04线平距27.4~30km, Y19K05线平距20.8~27.2km,这几处厚度均小于350m;中部至西南部厚度在500~700m,最厚处位于Y19K01线平距13.3~16.5km与Y19K02线平距13.3~16.5km,达750m以上。

由以上分析可见,区内下白垩统华池—环河组砂体十分发育,分布范围较广,顶板埋深200m左右,厚度400~700m,局部达750m,走向NW,整体

表现为东北部薄、中部—西南部厚的发育分布特征。

5 结论

本次钻探与成果资料对比分析表明,CSAMT测量解释结果客观地反映了区内盖层的结构特征,尤其是目的层下白垩统华池—环河组砂体空间展布特征,为区内钻探工程的布置提供了深部地质信息。其次, Y19K03线平距11.0km处施工的ZKW2019钻孔,在下白垩统华池—环河组中发现了巨厚的工业铀矿化,实现了新区域、新层位找矿的重大发现。

参考文献 (References):

- [1] 刘忠厚,丁万烈.鄂尔多斯盆地北部 1:50 万砂岩型铀矿成矿地质条件研究及编图总结报告[R].核工业二〇八大队,2002
Liu H Z, Din W L. Study on metallogenic conditions of 1:500 000 sandstone Uranium in Northern ordos basin and Compilation report [R]. 208 Brigade of Nuclear Industry, 2002.
- [2] 李茂,杜建农. CSAMT 法在砂体探测中的应用初探[J]. 铀矿地质, 2008, 33(4): 302.
Li M, Du J L. Application of CSAMT in sand body detection[J]. Uranium Geology, 2008, 33(4): 302.
- [3] 李茂,杜建农,余水泉. CSAMT 法在松辽盆地四平地区铀矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2006, 30(4): 298-302.
Li M, Du J L, Yu S Q. Application of CSAMT in uranium exploration in siping area of Songliao Basin [J]. Geophysical and Geochemical Exporation, 2006, 30(4): 298-302.
- [4] 吴柏林,张婉莹,宋子升,等. 鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿物地球化学特征及成因意义[J]. 地质学报, 2016, 90 (12): 3394-3395.
Wu B L, Zhang W Y, Song Z S, et al. Geochemical characteristics and genetic significance of sandstone-type uranium deposits in northern Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90 (12): 3394-3395.
- [5] 夏菲,孟华,聂逢军,等. 鄂尔多斯盆地纳岭沟铀矿床绿泥石特征及地质意义[J]. 地质学报, 2016, 90 (12): 3473-3476.
Xia F, Meng H, Nian F J, et al. Chlorite characteristics and geological significance of Nalinggou uranium deposit in Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90 (12): 3473-3476.
- [6] 张龙,吴柏林,刘池洋,等. 鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿直罗组物源分析及其铀成矿意义[J]. 地质学报, 2016, 90 (12): 3441-3443.
Zhang L, Wu B L, Liu C Y, et al. Formation of sandstone-type uranium deposits in northern Ordos Basin and its uranium metallogenic significance[J]. Acta Geologica Sinica 2016, 90 (12): 3441-3443.
- [7] 陈超,刘洪军,侯慧群,等. 鄂尔多斯盆地北部直罗组黄铁矿与砂岩型铀矿化关系研究[J]. 地质学报, 2016, 90 (12): 3375-3377.
Cheng C, Liu H J, Hou H Q, et al. Uranium mineralization in Zhiluo Formation of sandstone-type uranium deposits in northern Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90 (12): 3375-3377.
- [8] 李怀渊,伍显红. 鄂尔多斯盆地白土井地区音频大地电磁测量报告[R]. 核工业航测遥感中心, 2007.
Li H Y, Wu X H. Audio magnetotelluric survey report in Baitu well area of Ordos Basin [R]. Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2007.
- [9] 李茂,张俊伟,伍显红,等. SCS2D 程序反演参数的应用效果分析[J]. 铀矿地质, 2010, 26(5): 382-384.
Li M, Zhang J W, Wu X H, et al. Application effect analysis of inversion parameters of SCS2D program[J]. Uranium Geology, 2010, 26(5): 382-384.
- [10] 刘波,吴旭亮,李茂,等. 鄂尔多斯盆地北缘巴音青格利地段盖层地电结构特征[J]. 矿产与地质, 2019, 33(4): 678-680.
Liu B, Wu X L, Li M, et al. Geoelectric structure characteristics of cap rock in Bayin Qinggeli Section on Northern Margin of Ordos Basin[J]. Minerals and Geology, 2019, 33(4): 678-680.
- [11] 苗爱生,郭虎科. 内蒙古自治区杭锦旗大营矿区铀矿普查报告[R]. 核工业二〇八大队, 2013.
Miao A S, Guo H K. Uranium mine survey report of Daying mining area in Hangjinqi, Inner Mongolia autonomous Region [R]. 208 Brigade of Nuclear Industry, 2013.
- [12] 李茂,祁程. 鄂尔多斯盆地北缘伊和乌素地区可控源音频大地电磁测量报告[R]. 核工业航测遥感中心, 2019.
Li M, Qi C. Controlled source audio magnetotelluric survey report in Yihe Wusu area, Northern Margin of Ordos Basin [R]. Nuclear Industry Aerial Survey Remote Sensing Center, 2019.

Characteristics of sand body development of Lower Cretaceous Huachi-Huanhe Formation in Haoran Qaidam area on the northern and western margin of Ordos Basin

WU Xu-Liang^{1,2}, WU Yong-Qiang^{1,2}, LI Mao^{1,2}

(1. Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China; 2. CNNC Key Laboratory for Geophysical Exploration Technology Center of Uranium Resource, Shijiazhuang 050002, China)

Abstract: Haoran Qaidam region is located in the western part of Hanggin Banner. According to the analysis of previous work, there exists great potential for prospecting in the lower Cretaceous Huachihuanhe Formation. Based on CSAMT sounding data obtained along five lines in 2019 and combined with geological and drilling data, the authors analyzed the sand body development characteristics of Huachihuanhe Formation. The research results show that the sand bodies in this area are well developed and widely distributed, with a roof buried depth of about 200 m, a thickness of 400~700 m, a local thickness of 750 m, and a NW strike. The overall development and distribution characteristics are thin in the northeast and thick in the middle southwest. The result obtained by the authors provides deep geological information for the layout of drilling projects.

Key words: Haoran Qaidam; CSAMT; Huachi-Huanhe Formation; sand body

(本文编辑:沈效群)