

大庆长垣南端含铀岩系地层测井响应特征及应用

孙大鹏^{1,2,3}, 汤超^{1,3}, 魏佳林^{1,3}, 曾辉^{1,3}, 陈军⁴, 肖德富⁴

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中国地质调查局呼和浩特自然资源综合调查中心, 呼和浩特 010020; 3. 中国地质调查局天津地质调查中心非化石能源矿产实验室, 天津 300170; 4. 中陕核工业集团公司二二四大队有限公司, 西安 710100)

摘要:通过测井工作对大庆长垣南端泰康组、明水组、四方台组、嫩江组五段地层岩石密度、电阻率、自然伽马、声波时差参数进行了归类统计。电阻率和自然伽马曲线随岩石粒度变化规律明显, 地层随深度增大视电阻率降低、密度增大, 不同岩性各项参数差异变小。根据地质编录结果和地层响应特征, 建立调查区内岩性识别交汇图。利用测井曲线形态, 结合地层岩性发育特征对地层沉积相进行识别, 认为整体符合泰康组—泛平原冲积、明水组—浅湖相和三角洲、四方台组—曲流河相、嫩江组五段—静水泥质沉积环境特征。对自然伽马与定量伽马关系进行探讨。

关键词:大庆长垣; 砂岩型铀矿; 测井响应; 岩性识别

中图分类号: P631.81; P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2021)01-0014-07

松辽盆地是我国最主要的含油气盆地, 是产生在大型拗陷带内的一个拗陷区^[1]。在油气勘探过程中自然伽马测井中发现大量放射性异常, 主要分布在大庆长垣的周边^[2]。近年来, 中国地质调查局天津地质调查中心在大庆长垣南部利用油田钻孔资料进行钻探验证, 发现了一批铀矿化富集区, 主要在四方台组底部砂岩层^[3]。通过野外地质编录、化学分析、地球物理测井等手段, 对研究区内主要目的层的沉积相系、岩石学特征和矿物特征进行了大量的研究^[4-6]。其中地球物理测井主要用于铀矿含矿层解释、地层岩性划分和沉积环境解释。

大庆长垣南端有大量的油田钻孔测井资料, 为该区域铀矿地质调查提供了有效的指导。但钻孔测井工作针对油气储层, 嫩江组及以上地层测井资料分析相对较少。本次通过在该地区的一百二十余口砂岩铀矿钻孔测井资料, 对电阻率、密度、声波时差等参数进行了统计, 分析了嫩江组五段、四方台组、明水组和泰康组不同岩性地球物理参数特征, 可以为该区域进一步的地质工作提供参考。

1 地质背景

松辽盆地是中新生代陆相含油气盆地, 盆地呈北东向展布, 盆地北部经过构造演化形成了断陷构

造层、拗陷构造层和反转构造层三大构造层(图1)。大庆长垣位于松辽盆地中央拗陷区, 是大庆油田的主要产油区, 西侧为齐家—古龙凹陷, 东侧为三肇凹陷。中新生代沉积盖层自下而上依次为白垩系下统沙河子组、营城子组、登娄库组、泉头组, 白垩系上统

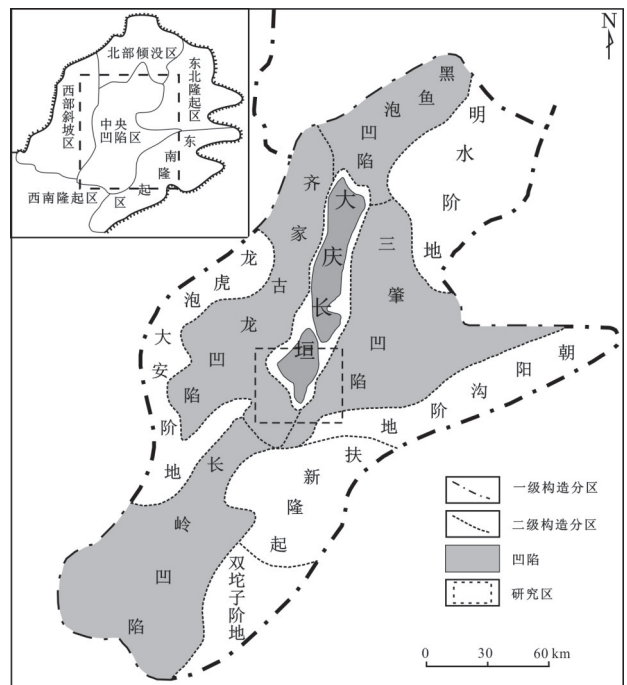


图1 大庆长垣构造位置图(据文献[2]修改)

Fig.1 Structural location of the Daqing placanticline

收稿日期: 2019-12-30

资助项目: 中国地质调查局项目“二连—松辽盆地砂岩型铀矿调查(DD20190121)”

作者简介: 孙大鹏(1989-), 男, 工程师, 硕士, 2014年毕业于中国矿业大学地球探测与信息技术专业, 现主要从事地球物理勘查相关工作, E-mail: dapeng382297760@163.com。

青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组和明水组,第三系的依安组、大安组、泰康组及第四系。在大庆长垣顶部嫩江组、四方台组及明水组已被剥蚀,而环绕长垣南端嫩江组(K_2n)、四方台组(K_2s)、明水组(K_2m)以及新生界泰康组(N_2t)则发育相对较为完整^[7-11]。在以往众多油气探井测井中发现有高值自然伽马异常,且异常呈环状分布于大庆长垣周边,矿化层位集中于青山口组、嫩江组、四方台组和明水组。

2 测井岩性响应特征

2.1 岩性识别

在调查区内取得的岩层地球物理参数包括电阻率、自然伽马、声波时差、密度、自然电位,不同地层岩性各测井曲线间均有一定差异。受岩石粒度、孔隙结构和地层埋深等因素综合影响,利用单一曲线划分岩性有一定局限性。尤其在地层较浅的情况下,岩石胶结程度对电阻率、密度和声波时差影响很明显。综合考虑该地区沉积环境和岩石物性特征,利用交会图法识别岩性(图2)。

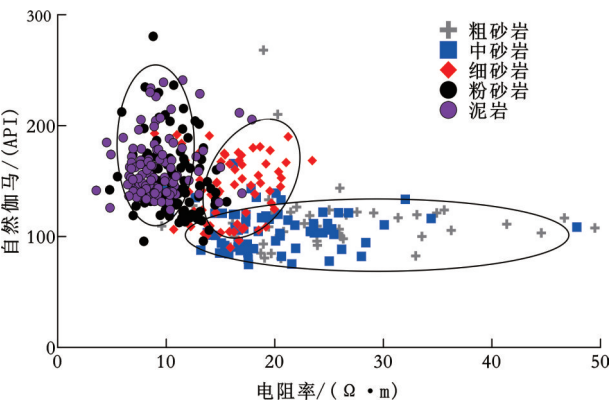


图2 岩性识别交会图
Fig.2 Crossplot of log data from different lithology

以四方台组为例,粒度越粗电阻率越大,同时泥质含量降低导致自然伽马降低。交会图虽然可以很直观的反映各岩性的整体特征,但是岩石物性分界存在不同程度的交叉。粉砂岩因泥质含量较高,整体物性偏向泥岩;中-粗砂岩的孔隙发育和填充物大致类似,其整体物性也较相近。

精细划分各类岩性除了利用各项物性曲线外,还可以参考井径曲线。如渗透性较好的砂岩层和砾岩层,由于钻井过程中泥浆的渗入,井壁上会形成泥饼,导致其井径值不会过大^[12];而钻进过程中,泥岩层因会受到井液的浸泡和冲刷导致坍塌,井径会有不

同程度的扩大。

通过测井岩性解释结果与地质岩性编录结果对比,砂岩的井径曲线较为平整,不会出现明显的扩径(图3)。在 $\phi 113\text{ mm}$ 钻头施工钻孔中,砂岩井径一般小于140 mm;自然伽马曲线表现为平缓的低值,一般小于120 API;同一钻孔中砂泥岩自然电位曲线形态差异明显,但不同钻孔受钻井液和地层水等条件影响自然电位变化范围不同;大段砂岩中一般不会出现声波时差曲线的大幅度“跳跃”,密度测井曲线整体与声波时差负相关。在泥岩地层中,钻孔有明显的扩径现象,井径可达160 mm;对应声波曲线也会出现大幅度的跳动,自然伽马为高值,电阻率为明显低值。粉砂岩各项性质均介于泥岩和细砂岩之间且偏向泥岩。在高伽马地层中,密度曲线受地层本身的放射性影响,实测密度值偏低。另外,不同深度的地层划分岩性时要考虑压实作用的影响。

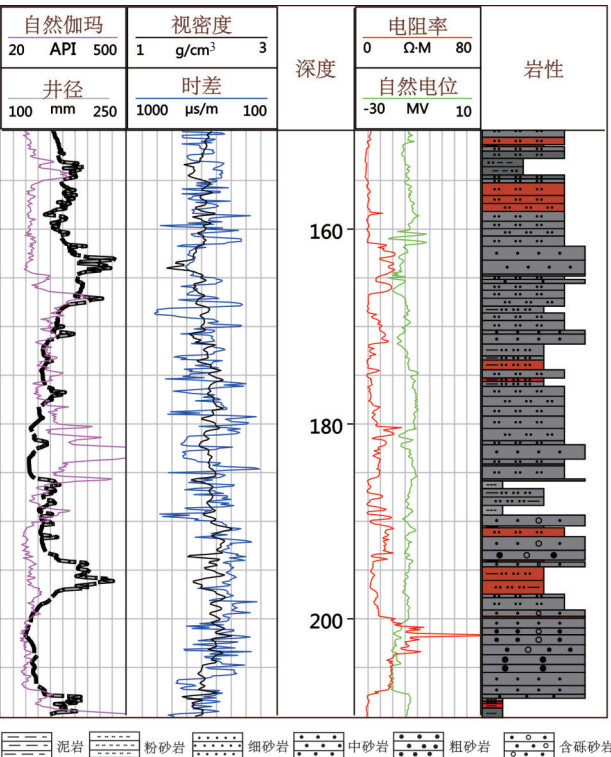


图3 测井曲线岩性识别
Fig.3 Lithology identification by logging curves

2.2 物性参数特征

工作区内钻孔测井项目包括自然电位、三侧向电阻率、密度、声波时差、自然伽马、井径以及定量伽马等参数。其中,自然电位、自然伽马对地层岩性和沉积环境有较好反映^[13-16],但在含矿层中自然伽马受放射性矿物影响异常较大;自然电位垂向分辨率受

井液和施工环境影响,不同钻孔间岩性识别中难以进行定量评价。三侧向电阻率、密度和声波时差能够有效区分粒度及孔隙度变化。综合各项参数,对地层岩性进行划分,同时,利用定量伽马测井确定含矿层深度、品位等矿化信息。根据综合测井曲线,结合钻孔地质编录岩性划分结果,对研究区内钻孔贯穿的泰康组、明水组、四方台组和嫩江组五段地层及岩性进行测井物性参数统计(表1)。测井参数均值取值采用厚度加权平均法,对累计厚度较小的岩性不计入统计。在进行自然伽马、定量伽马参数统计

中剔除了含矿段,即伽马值均为正常背景值。

2.3 不同岩性参数对比

研究区内主要岩性为砾岩、砂岩、泥岩,对砂岩划分为粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩四个等级。砾岩层厚度仅占研究层位的1%左右,且主要分布在泰康组中。由于浅部地层胶结程度低,孔隙度大,具有高电阻率(均值 $38.34\ \Omega\cdot\text{m}$)、高声波时差(均值 $620.36\ \mu\text{s/m}$)、低自然伽马(均值 $80.99\ \text{API}$)、低密度(均值 $1.97\ \text{g/cm}^3$)特征。部分砾岩层因夹杂泥质填充物,会出现较低的电阻率和较高的自然伽马值(图4)。

表1 大庆长垣南端嫩江组-泰康组地层参数统计

Table 1 Statistical parameters from Nenjiang Formation to Taikang Formation in Daqing placanticline

地层	岩性	自然伽马/API		定量伽马/ (nC·(kg·h) ⁻¹)	密度/(g/cm ³)		时差/(μs/m)		电阻率/(Ω·m)	
		变化范围	均值	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值
泰康组	砾岩	65.5 ~ 153.7	80.99	1.58	1.92 ~ 2.58	1.97	481.6 ~ 631.2	620.36	2.7 ~ 75	38.34
	粗砂岩	61.5 ~ 123.8	80.88	1.6	1.92 ~ 2.35	2.06	325.8 ~ 821.3	622.01	2.4 ~ 51.3	37.26
	中砂岩									
	细砂岩	75.7 ~ 154.3	107.67	2.09	1.8 ~ 2.2	2.02	323.2 ~ 734.4	634.43	13 ~ 43.2	30.64
	粉砂岩	92.1 ~ 185.8	153.55	2.84	1.85 ~ 2.16	2.04	480.9 ~ 667.1	535.62	6.9 ~ 34.4	12.64
	泥岩	73.2 ~ 189	139.77	2.61	1.92 ~ 2.23	2.06	478.1 ~ 669.9	532.15	5.4 ~ 30.1	11.34
明水组	砾岩	70.9 ~ 671.3	134.22	2.56	1.74 ~ 2.41	2.14	335.8 ~ 894.7	494.72	7 ~ 72.4	36.12
	粗砂岩	61.5 ~ 214.1	121.29	2.31	1.84 ~ 2.43	2.13	342.2 ~ 857.5	506.41	7.7 ~ 64.6	30.77
	中砂岩	69.8 ~ 224.0	134.24	2.56	1.77 ~ 2.3	2.11	314.6 ~ 885.9	486.51	7.5 ~ 57.2	23.48
	细砂岩	55.4 ~ 246.4	146.15	2.77	1.71 ~ 2.32	2.13	390 ~ 894.4	480.05	5.5 ~ 40.7	17.73
	粉砂岩	69.5 ~ 241.4	147.69	2.79	1.65 ~ 2.35	2.11	351.4 ~ 884.7	476.39	4.9 ~ 38.3	13.4
	泥岩	79.5 ~ 297.9	144.19	2.72	1.54 ~ 2.36	2.08	346.8 ~ 900.7	515.17	3.4 ~ 22.8	9.88
四方台组	砾岩	78 ~ 233.4	120.28	2.34	1.97 ~ 2.37	2.15	322.9 ~ 705.4	470.54	6 ~ 45	25.63
	粗砂岩	77.1 ~ 625.8	137.19	2.63	1.71 ~ 2.33	2.16	291.3 ~ 703.2	472.77	5.7 ~ 49.5	23.76
	中砂岩	72.3 ~ 585.3	129.22	2.53	1.76 ~ 2.34	2.17	274.7 ~ 704.4	444.53	4 ~ 47.8	19.18
	细砂岩	64.7 ~ 374.3	138.09	2.64	1.69 ~ 2.41	2.2	357.8 ~ 612.6	429.08	5 ~ 29.2	15.49
	粉砂岩	95.7 ~ 289.5	154.17	2.92	1.74 ~ 2.43	2.19	349.5 ~ 584.7	426.23	4.8 ~ 26.6	11.38
	泥岩	124.1 ~ 241	156.1	2.95	1.75 ~ 2.42	2.16	379.6 ~ 620.8	450.7	3.6 ~ 22.8	8.85
嫩江组五段	粗砂岩	64.8 ~ 181.5	103.01	2.03	2.02 ~ 2.35	2.2	312.8 ~ 575.6	393.07	6.4 ~ 39.2	18.33
	中砂岩	72.6 ~ 150.6	119.09	2.3	1.9 ~ 2.41	2.2	282 ~ 523	395.17	6.5 ~ 24.9	13.59
	细砂岩	85.2 ~ 361.1	140.14	2.68	1.69 ~ 2.46	2.19	298 ~ 545.4	394.39	3.7 ~ 25.5	9.37
	粉砂岩	96.7 ~ 372.1	147.59	2.81	1.73 ~ 2.46	2.19	341.1 ~ 535.4	459.35	3.7 ~ 17.5	8
	泥岩	107.2 ~ 775	154.86	2.95	1.78 ~ 2.44	2.19	333 ~ 530.5	421.01	3.6 ~ 11.1	6.67

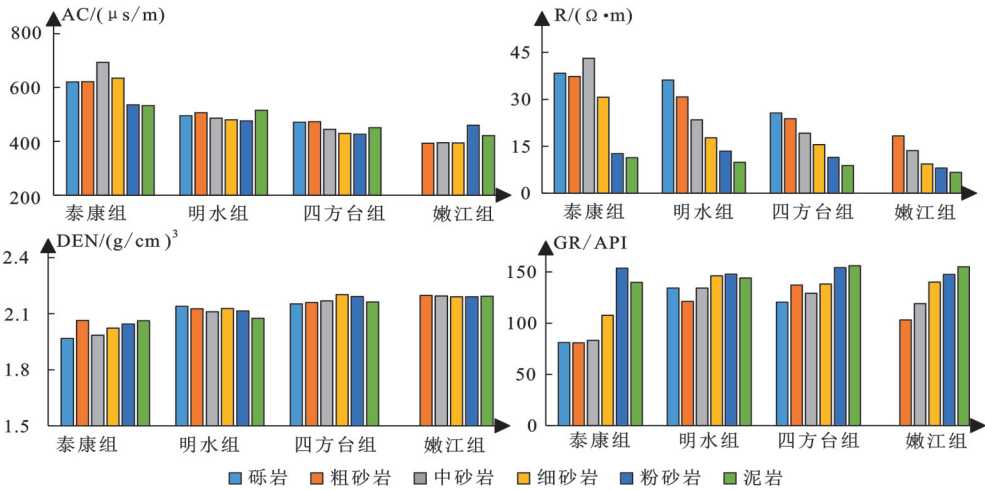


图4 岩石物性参数统计直方图

Fig.4 Statistical histogram of rock physical parameters

粗砂岩主要发育在明水组和四方台组中,随地层深度增加电阻率减小、声波时差减小。其中四方台组下段粗砂岩是研究区内的主要含矿层,段内发育曲流河河道粗碎屑沉积中出现高值伽马异常,但除矿化异常层外,放射背景值并无明显升高。细砂岩层厚度约占整套地层的20%左右,主要分布在四方台组中,表现为高密度、低声波时差的特征,即密度均值 2.18 g/cm^3 ,声波时差约 $429 \mu\text{s/m}$,电阻率介于 $5 \sim 29.2 \Omega \cdot \text{m}$ 之间。泥岩在研究区内各层位内均有分布,约占整套地层的44%以上,其中嫩五段中的大段泥岩在全区普遍发育。不同地层间泥岩物性差异较小,整体表现为低电阻率、高伽马值的特征,电阻率值最低可至 $3.6 \Omega \cdot \text{m}$ 。粉砂岩各项参数与泥岩相近,与该区粉砂岩泥质含量较高有关。

通过不同地层物性对比认为,中-粗粒径岩性受地层压实作用更加明显,表现为上部地层砾岩、粗砂岩、中砂岩密度均值远小于下部地层,声波时差则相对高出很多。同时,中-粗颗粒地层的声波时差和电阻率变化范围明显比细颗粒地层大。以四方台组为例,中、粗砂岩和砾岩声波时差范围在 $274 \sim 705 \mu\text{s/m}$ 之间,而细、粉砂岩和泥岩时差范围是 $349 \sim 620 \mu\text{s/m}$;对应电阻率分布范围为粗颗粒 $4 \sim 49.5 \Omega \cdot \text{m}$,细颗粒 $3.6 \sim 29.2 \Omega \cdot \text{m}$ 。分析认为,研究区地层分选性较好,地层颗粒越粗,孔隙度越大,地层受压实作用和填充物的影响越大。地层孔隙填充泥质会导致粗颗粒岩性也呈现低电阻率,但总体均值随颗粒变小而降低;而声波时差值大小受岩性、孔隙度、孔隙填充物、埋深等多种因素影响,不同粒径岩石声波时差均值分布规律并不明显。

2.4 声波-密度换算

不同岩性声波速度与密度之间表现出良好的相关性。Gardner^[17]在1974年给出的速度与密度经验公式是 $\rho=0.31V_p^{0.25}$,该公式综合考虑了实验室观测值和野外资料统计值,而不同地区经验公式不尽相同。根据朱广生^[18]在大庆地区进行的密度与声波速度的关系分析中,主要针对深度范围在 $1\,000 \sim 2\,500 \text{ m}$ 内的砂岩和泥岩,速度变化范围主要在 $2\,000 \sim 6\,000 \text{ m/s}$ 之间,拟合得到该地区密度-纵波速度关系经验公式为 $\rho=0.414V_p^{0.214}$ (图5)。本次声波时差测量采用双收时差探管,取得地层纵波速度信息。在研究区内的124口钻孔,求取各组地层各岩性的平均速度和平均密度作为该钻孔对应的统计值,累计统计数据1 882

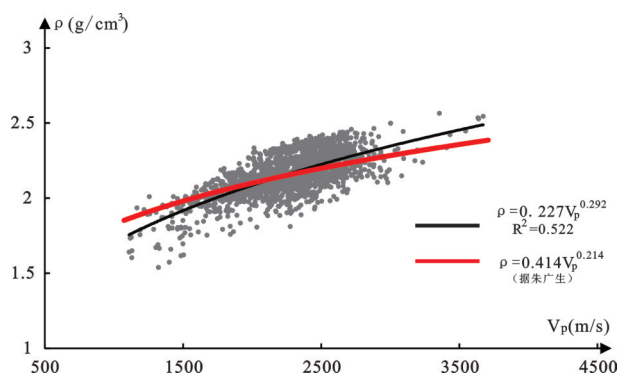


图5 密度-纵波速度拟合图

Fig.5 Density and velocity intersection diagram

个,主要针对地层深度在 $100 \text{ m} \sim 500 \text{ m}$ 之间,涵盖地层包括泰康组、明水组、四方台组、嫩江组五段。拟合方程 $\rho=0.227V_p^{0.292}$ 。

3 测井沉积相特征

研究区内地层由深至浅分别为嫩江组、四方台组、明水组、泰康组,其中嫩江组钻孔揭露至嫩江组五段。利用自然伽马和电阻率曲线,结合岩性特征对研究区内各地层沉积相进行识别分析(图6、表2)。

嫩江组顶部电阻率曲线较平滑,自然伽马曲线呈中-低幅微齿状箱形,与其顶部砂岩突变式接触。岩性主要为浅灰色、深灰色、绿灰色泥岩夹红棕色粉砂质泥岩,为湖相沉积特征。明水组上部电阻率曲线低平曲线带锯齿状尖峰,自然伽马为较大的锯齿形,岩性为红色泥岩、粉砂质泥岩夹浅灰色细砂岩薄层,为滨浅湖相沉积;下部电阻率曲线呈齿化箱形、指形,判断其为河道三角洲,岩性为灰色细砂岩夹灰色砂砾岩薄层。泰康组测井曲线为高幅齿形,岩性以灰色、深灰色砂砾岩和中、粗砂岩为主,判断为泛平原冲积相,与其底部明水组呈突变式接触。

四方台组下段是区内铀矿勘查的重点层位,含矿层主要岩性为浅灰色细砂岩、中砂岩及中粗砂岩,自然电位曲线呈高幅箱形,时差曲线低幅跳跃,且有低密度、高电阻的特征。对应电阻率曲线呈多段微齿钟型,自然伽马曲线呈钟-箱形,下部为浅灰色细砂岩、中砂岩及红棕色中粗砂岩,为多期河道、堤岸组合;上部岩性为红棕色粉砂质泥岩、泥岩和灰色粉砂质泥岩,主要为细粒沉积,是含矿段的上部隔水层。四方台组上段为低幅齿形、箱形-漏斗形组合,岩性为浅灰色细砂岩及粉砂岩与红棕色粉砂岩、泥质粉砂岩,判断上部为分流河道,下部以河漫滩、河

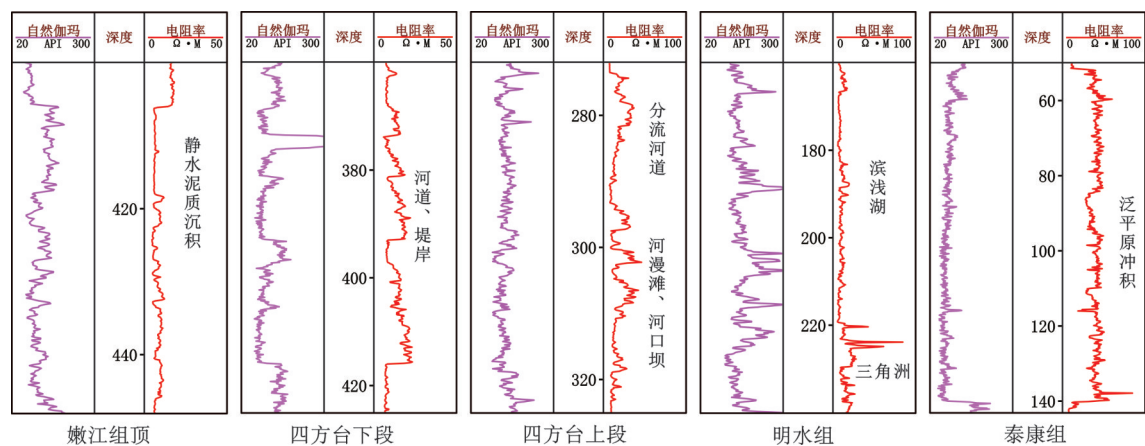


图6 测井沉积相识别

Fig.6 Identification of logging sedimentary facies

表2 不同地层参数均值统计表

Table 2 Statistics of parameter averages in different formations

地层	密度/ (g/cm ³)	时差/ (μs/m)	电阻率/ (Ω·m)	自然伽马/ (API)	砂地比
N _{st}	2.04	590.57	26.70	110.25	0.6
K _{2m}	2.10	495.67	14.38	143.74	0.57
K _{2s}	2.18	438.89	12.48	148.34	0.62
K _{2n} ⁵	2.19	426.78	7.52	150.34	0.39

口坝为主。总体而言,含铀富集区受曲流河河道控制,包括河道滞留沉积、边滩、河漫滩等沉积微相^[4]。

通过对部分矿段和非矿段岩心取样进行孔隙度、渗透率测定,认为含矿层孔隙度发育,透水性较好(表3)。通过测试结果标定,利用声波时差和自然伽马曲线拟合孔隙度和求取泥质含量,对不同地层孔隙度和泥质含量分布分析认为,含矿层往往赋存

在砂泥岩边界,上、下层多为泥岩或泥质砂岩隔水层,呈“泥-砂-泥”结构特征(图7)。

4 含矿层放射性参数对比

放射性测量参数分为自然伽马和定量伽马,其中定量伽马主要用于含矿层品位、厚度的计算。调查区内定量伽马测量使用FD-3019探管,该探管经过核工业放射性勘查计量站标定,能够保证数据的准确性和一致性^[19]。含矿层储量信息的计算首先通过铀镭系数、换算系数、灵敏系数、井径校正、冲洗液吸收系数等参数校正,利用分层解释中的五点反褶积计算方法得到单元层的品位信息,结合含矿层深度、厚度和密度参数确定含矿层平米铀量(图8)^[20,21]。

调查区主要含矿层位于四方台组底部,含矿层

表3 样品测试结果

Table 3 Results of samples measurement testing

岩样号	取样深度/m	长度/cm	直径/cm	体积/cm ³	干重/g	覆压/PSI	孔隙体积/cm ³	孔隙度/%	渗透率/Md
FX00-03	309	4.399	2.527	22.062	56.059	492.5	1.254	5.685	0.065
FX00-03A	310.5	4.896	2.513	24.284	60.588	517.4	2.145	8.832	0.189
FX08-05	269	2.85	2.529	14.316	36.831	494.1	0.594	4.148	0.028
FX18-1	543	4.631	2.458	21.975	45.162	488.7	5.229	23.794	42.74
FX18-1A	542	3.092	2.482	14.96	31.37	503.7	3.835	25.637	0.841
FX2-5	412.5	4.613	2.489	22.445	45.574	492.3	6.009	26.771	6.128
FX2-5A	274.3	2.876	2.515	14.287	33.953	522.2	1.484	10.389	36.34
FX2-7	298	2.616	2.52	13.048	33.697	471.2	0.542	4.152	0.404
FX27-1	317.3	4.855	2.518	24.176	63.382	479.1	0.418	1.728	0.004
FX27-1A	341	4.557	2.506	22.477	57.351	493.1	1.481	6.587	0.03
FX27-1A2	282.7	3.875	2.49	18.869	40.307	511.9	3.833	20.313	25.725
FX27-1B	342	3.711	2.465	17.71	39.249	490.5	3.971	22.423	3.008
FX2-7A	284.2	5.317	2.511	26.33	59.511	490.4	3.54	13.444	21.668
FX2-7B	304	2.737	2.505	13.489	33.057	480.3	1.371	10.163	2.247
FX3-2	310.4	4.458	2.498	21.848	41.227	486.9	6.652	30.445	90.824
FX4-2	318.3	3.74	2.507	18.462	43.616	498.7	2.218	12.012	0.755
FX4-5	468	4.909	2.504	24.174	61.988	509.9	1.291	5.342	0.036
FX6-5	296.3	3.114	2.526	15.605	38.044	487.7	1.46	9.353	0.203
FX6-5A	302	5.146	2.524	25.748	65.051	522.1	1.799	6.985	0.076
FX9-1	335.24	3.365	2.527	16.877	42.637	472.9	0.988	5.855	0.035

注:孔隙度、渗透率测试数据由吉林大学完成。

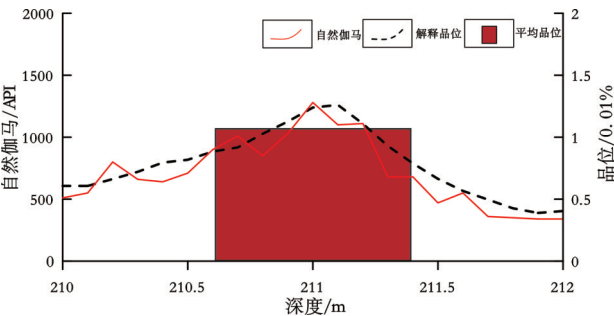


图 7 含矿层测井曲线特征
Fig.7 Logging curve characteristics of ore-bearing strata

主要岩性为浅灰色细砂岩、中砂岩及中粗砂岩,自然电位曲线呈高幅箱形,时差曲线低幅跳跃,且有低密度、高电阻的特征。

调查区各地层放射性背景值差异较小,平均分布范围约在 1.58~2.95 nC/kg·h 之间。受泥质含量影响泥岩中放射水平整体高于其他岩性地层。其中,四方台组粗砂岩、中砂岩中放射性异常变化范围较大,作为调查区内发育的主要铀含矿层,放射性背景值最大可达到 13.03 nC/kg·h。对比调查区内同一钻孔自然伽马与定量伽马曲线,其曲线形态相似度极

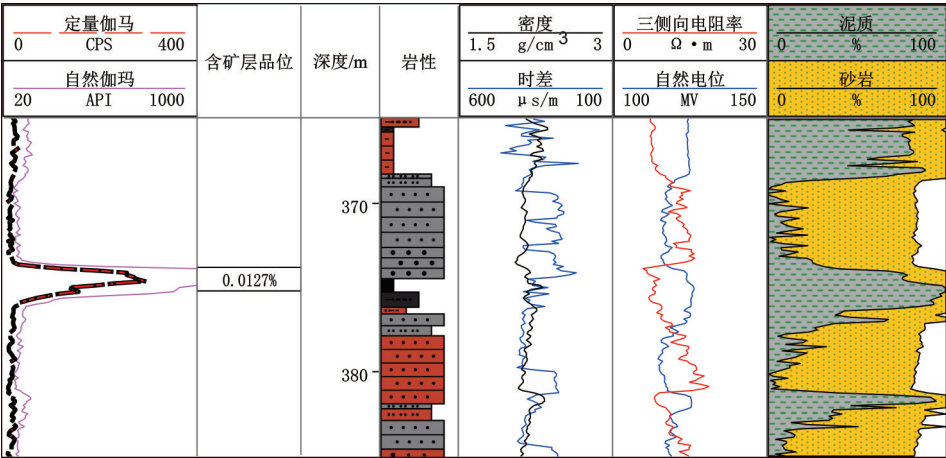


图 8 含矿层品位与自然伽马值对比
Fig.8 Comparison of ore bearing bed grade and natural gamma value

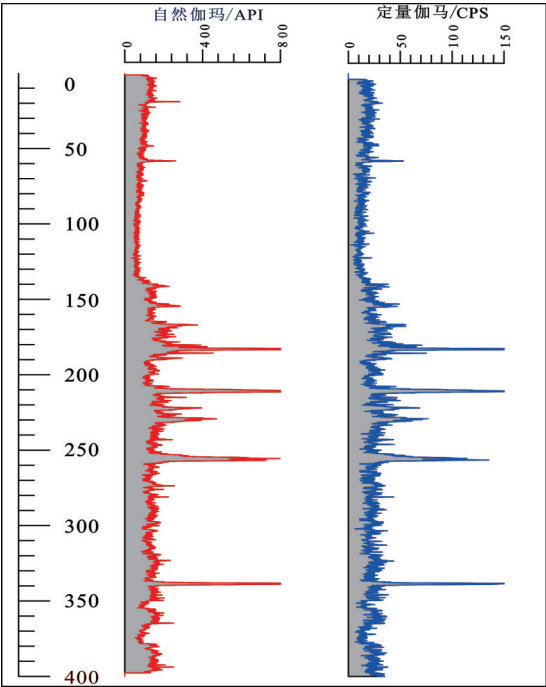


图 9 自然伽马与定量伽马曲线对比
Fig.9 Comparison of natural gamma and quantitative gamma curves

高,自然伽马曲线与品位曲线也基本吻合(图 9)。通过提取同一钻孔内相同深度测点上自然伽马、照射量率值可以看出二者有极高的线性相关性(图 10)。

调查区内泥岩自然伽马背景值约为 109~170 API,砂岩背景值约 82~122 API,在含矿层边界自然伽马值达到背景值的 5.4 倍时,含矿层品位达到万分之 0.5;达到背景值约 9.7 倍时,品位达到万分之一。因此,自然伽马曲线可以有效的评价含矿层,并作为筛选潜力钻孔的依据。但在利用老钻孔测井数据

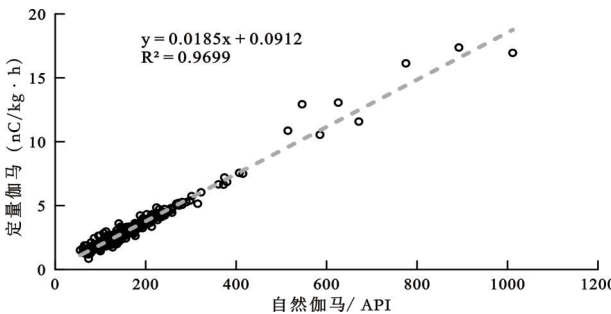


图 10 自然伽马与定量伽马定量关系
Fig.10 Quantitative relationship between natural gamma and quantitative gamma

时,应注意确定自然伽马参数单位、标定情况等信息。不同地区或不同系列伽马探管可能导致自然伽马值与照射量率值之间定量关系不同。

5 结论

(1)利用自然伽马、电阻率交会图法可以有效识别调查区内地层岩性,尤其电阻率曲线对砂泥岩识别度高。泥岩地层易受井液浸泡发生垮落导致井径变大,声波时差曲线大幅度“跳跃”。通过测井数据总结归纳调查区地层岩性物性参数发育特征。

(2)通过测井曲线对调查区含铀岩系地层沉积相特征进行简单识别,主要利用了电阻率和自然伽马。泰康组整体为泛平原冲积;明水组上部为静水泥质沉积,下部为湖底扇;四方台组由上至下大致为分流河道、河漫滩、河口坝、河道、堤岸沉积;嫩江组顶部为湖相沉积。调查区内主要含矿段发育在四方台组内河道、堤岸沉积砂泥互层层位中。

(3)自然伽马曲线与经标定的定量伽马曲线相似度较高,测点数据高度吻合,可以利用自然伽马曲线对含矿层品位进行大致评价。在利用老资料钻孔测井数据时,应注意确定自然伽马参数单位、标定情况等信息。不同地区或不同系列伽马探管可能导致自然伽马值与照射量率值之间定量关系不同。

参考文献:

- [1] 胡望水,吕炳全,张文军,等.松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J].地质科学,2005(01):16-31.
- [2] 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(04):315-321.
- [3] 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(01):1-8+32.
- [4] 魏佳林,汤超,徐增连,等.大庆长垣南部四方台组砂岩型铀矿化特征研究[J].地质调查与研究,2018,41(01):9-17.
- [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(01):40-50.
- [6] 陈路路,汤超,李建国,等.松辽盆地大庆长垣南端四方台组含铀砂岩岩石学特征及地质意义[J].地质调查与研究,2018,41(01):33-39+66.
- [7] 孙永河,陈艺博,孙继刚,等.松辽盆地北部断裂演化序列与反转构造带形成机制[J].石油勘探与开发,2013,40(03):275-283.
- [8] 殷进垠,刘和甫,迟海江.松辽盆地徐家围子断陷构造演化[J].石油学报,2002(02):26-29+5.
- [9] 付晓飞,王朋岩,吕延防,等.松辽盆地西部斜坡构造特征及对油气成藏的控制[J].地质科学,2007(02):209-222.
- [10] 高翔,刘志宏,聂志阳,等.松辽盆地大庆长垣形成时间的厘定及其地质意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2017,47(01):74-83.
- [11] 方石,张志强,刘招君,等.松辽盆地新生代热演化及地层定年[J].吉林大学学报(地球科学版),2007(05):923-928.
- [12] 李国栋.测井在地浸砂岩型铀矿勘查中的应用研究[D].长安大学,2016.
- [13] 刘殿秘.松辽盆地及其周围典型盆地部分地球物理特征[D].吉林大学,2008.
- [14] 肖波,韩学辉,周开金,等.测井曲线自动分层方法回顾与展望[J].地球物理学进展,2010(5):1802-1810.
- [15] 赵显令,王贵文,周正龙,等.地球物理测井岩性解释方法综述[J].地球物理学进展,2015,30(03):1278-1287.
- [16] 侯贺晟,王成善,张交东,等.松辽盆地大陆深部科学钻探地球科学研究进展[J].中国地质,2018,45(04):641-657.
- [17] Gardner G H F, Gardner L W, Gregory A R. Formation velocity and density—the diagnostic basics for stratigraphic traps [J]. Geophysics, 1974, (39):770-780.
- [18] 朱广生,桂志先,熊新斌,等.密度与纵横波速度关系[J].地球物理学报,1995(S1):260-264.
- [19] 余西垂,沈懿,邵飞,等.高含量闪烁 γ 测井仪研制与应用[J].东华理工大学学报(自然科学版),2011,34(02):168-173.
- [20] 李涛,邓小卫,赵军辉.铀矿伽玛测井解释软件开发研究[J].物探化探计算技术,2017,39(01):144-154.
- [21] 赵军辉,邓小卫,余水泉,等.铀矿测井资料处理解释系统研发[J].铀矿地质,2016,32(05):301-308.

- [29] 郑国庆, 范素英, 等. 河北省矿产资源潜力评价遥感资料应用成果报告[R]. 河北省遥感中心, 2013.
- [30] 张亚东, 刘俊长, 等. 河北省矿产资源潜力评价重力资料应用研究成果报告[R]. 河北省地球物理勘查院, 2013.
- [31] 董杰, 肖金平. 河北省矿产资源潜力评价航磁资料应用研究成果报告[R]. 河北省地球物理勘查院, 2013.
- [32] 荣幸. 重磁资料在准格尔旗地区地质构造解释中的应用[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(04):315-320.
- [33] 刘桂梅, 林星, 徐新学, 等. 新疆西昆仑东段 1/5 万航磁异常特征及找矿方向浅析[J]. 地质调查与研究, 2018, 41(02):127-133.
- [34] 陶龙, 张莎莎, 兰学毅, 等. 1/5 万重磁勘查在安徽宣城覆盖区地质找矿中的应用探索[J]. 中国地质, 2019, 46(4):894-905.
- [35] 师淑娟, 宫进忠. 河北省矿产资源潜力评价化探资料应用研究成果报告[R]. 河北省地球物理勘查院, 2013.

Applying weight of evidence to predict Ag-Pb-Zn potentiality in Fengning region, Hebei

TENG Fei^{1,3}, PENG Li-na^{1,3}, MENG Qing-long², XING Yi^{1,3}

(1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2. China Petroleum Exploration and Development Research Institute of Dagang, Tianjin 300270, China; 3. North China Center for Geoscience Innovation, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: Based on the analysis of the metallogenetic characteristics of the Ag-Pb-Zn deposits in Fengning region, many kinds of ore-controlling factors have been analyzed and abstracted. Using the Evidence Weight Method (EFW), ten kinds of evaluation factors, such as stratigraphic anomaly, magmatic rock anomaly, rupture and structure anomaly, and gravity and aeromagnetic anomaly, were selected for EWM analysis. According to the Success-Rate Curve, the value of posterior probability were classified into three grades. The demarcation points in turn are 0.000 023, 0.000 265 and 0.003 965. Totally 39 potential areas are delineated in three grades. The results indicate that the EWM is effective and thus contributes to the evaluation of Fengning Ag-Pb-Zn resources.

Key words: Fengning region; ArcGIS; weight of evidence; mineral resource prognosis

Logging responsive characteristics of formation lithology from Nenjiang Formation to Taikang Formation in southern Daqing Placanticline

SUN Da-peng^{1,2,3}, TANG Chao^{1,3}, WEI Jia-lin^{1,3}, ZENG Hui^{1,3}, CHEN Jun⁴, XIAO De-fu⁴

(1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;
2. Hohhot Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Hohhot 010020, China
3. Laboratory of Non-fossil Energy Minerals, Tianjin Center of China Geological, Tianjin 300170, China
4. 224 Brigade Company Limited of Sino Shanxi Nuclear Industry Group, Xi'an 710100, China)

Abstract: Based on the logging work, this paper classifies and statistics the rock density, resistivity, natural gamma and acoustic time difference parameters of the Taikang Formation, Mingshui Formation, Sifangtai Formation and the fifth Member, Nenjiang Formation in the southern end of Daqing Placanticline. With the increase of depth, the apparent resistivity of the whole formation and the density increase, and the parameters of different lithology become smaller. Based on the geological logging results and strata responsive characteristics, the intersection map of lithology identification in the survey area is established. On basis of the logging curve morphology, in combination with the development characteristics of formation lithology, the stratigraphic sedimentary facies are identified. It is considered that the sedimentary facies are consistent with the characteristics of floodplain alluvial facies in Taikang Formation, shallow lake facies in Mingshui Formation, meandering river facies in Sifangtai Formation, and static water muddy sedimentary in the fifth member of Nenjiang formation. The relationship between natural gamma and quantitative gamma is discussed.

Key words: Daqing Placanticline; sandstone-type uranium mineralization; well logging response; lithologic identification