

文章编号:1673-5005(2012)03-0076-08

# 海拉尔盆地乌南凹陷南一段高伽马砂岩成因与识别

于振锋<sup>1</sup>, 程日辉<sup>1</sup>, 赵小青<sup>2</sup>, 孙凤贤<sup>2</sup>, 许中杰<sup>1</sup>, 沈艳杰<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 大庆钻探测井一公司, 黑龙江 大庆 163412)

**摘要:**为了提高海拉尔盆地乌南凹陷高伽马砂岩测井岩性解释的准确性,采用岩心观察、显微镜下描述和测井曲线分析相结合的方法对高伽马砂岩的成因和识别方法进行探讨。对砂岩的补偿中子值进行分类以排除孔隙度对测井曲线的影响,再利用深侧向电阻率、微侧向电阻率和补偿密度交会识别高自然伽马砂岩。研究表明:影响砂岩自然伽马特征的因素有凝灰质、黏土、油、长石以及钙质;高自然伽马砂岩具有高钍或者高铀含量的特征;凝灰质导致钍富集,黏土导致铀、钍和钾均富集,油导致铀富集,长石导致钾富集,钙质导致铀含量降低;从凹陷边缘至凹陷中央影响砂岩高自然伽马因素依次为高凝灰质含量、高长石含量以及高黏土含量。

**关键词:**海拉尔盆地;乌南凹陷;高自然伽马砂岩;岩石成因;识别方法

**中图分类号:**TE 121.3      **文献标志码:**A      **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2012.03.012

## Genesis and identification of high gamma sandstone in the first member of Nantun formation of Wunan depression in Hailar Basin

YU Zhen-feng<sup>1</sup>, CHENG Ri-hui<sup>1</sup>, ZHAO Xiao-qing<sup>2</sup>, SUN Feng-xian<sup>2</sup>, XU Zhong-jie<sup>1</sup>, SHEN Yan-jie<sup>1</sup>

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;

2. Daqing Drilling and Exploration Engineering Corporation No. 1 Well Logging Company, Daqing 163412, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of logging lithology identification of high natural gamma sandstone in Wunan depression in Hailar Basin, in terms of rock core and microscopic sections description and logging analysis, the causes and identification of high gamma sandstones were discussed. The classification of the sandstone CNL values can provide a estimating under a certain porosity degree. The high natural gamma sandstones can be identified using deep lateral resistivity (DLL), micro lateral resistivity logging (RMLL), DEN and AC. The research results show that the factors affecting these sandstones with high natural gamma are tuffaceous matter, clay, oil, feldspar and calcium. High natural gamma sandstones express high content of thorium or uranium from logging data. The tuffaceous matter leads to the enrichment of thorium, clay leads to the enrichment of uranium, thorium and potassium, oil leads to the enrichment of uranium, feldspar leads to the enrichment of potassium, and calcareous matter leads to the decrease of uranium content. The affecting factors of sandstone nature gamma ray are high tuffaceous matter, high feldspar and high clay ranging from edge to center of the depression.

**Key words:** Hailar Basin; Wunan depression; high natural gamma sandstone; lithogenesis; recognition method

一般情况下砂岩具有伽马含量低的特征,但是当砂岩中泥质含量较高时,由于泥质对铀、钍、钾等具有吸附性而显示高伽马,因此自然伽马成为计算地层中泥质含量的重要参数<sup>[1-3]</sup>,常被用于层序单元划分<sup>[4-5]</sup>,高伽马值也成为水体较深、水动力较弱的沉积环境的反映<sup>[6-7]</sup>。海拉尔盆地是中生代断陷盆地,主要充填下白垩统地层<sup>[8-9]</sup>,是测井解释的重点

层位<sup>[10-11]</sup>。在测井岩性识别时高伽马砂岩经常被当成泥岩从而造成岩性判别上的失误。鄂尔多斯盆地延长组发育高伽马砂岩,原因是地层中含有较多的凝灰质<sup>[12-14]</sup>。乌南凹陷下白垩统同样含有较多的凝灰质<sup>[15-16]</sup>,笔者从岩心观察、薄片鉴定以及测井曲线特征入手,对南屯组一段高伽马砂岩进行分析,为测井岩性解释和储层划分提供岩石学证据。

收稿日期:2011-05-12

基金项目:国家自然科学基金项目(40972074);吉林大学平台基地建设项目(450060326044)

作者简介:于振锋(1986-),男(汉族),山西晋城人,博士研究生,主要从事沉积学和测井地质学方面的研究。

## 1 高伽马砂岩的岩石学分类以及伽马值的限定

通过对海拉尔盆地乌南凹陷19口井下白垩统的取心井段进行岩心观察和薄片鉴定,确定了乌南凹陷下白垩统所发育的岩石类型,共有5类:火山熔岩、火山碎屑岩、沉积火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩和正常碎屑沉积岩。后4类岩石发育碎屑结构,分为骨架和填隙物,广义上这4类岩石都属于“砂岩”。

研究区高伽马砂岩类型有火山碎屑岩、沉积火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩和正常碎屑沉积岩。骨架部分包括石英、长石和岩屑(火山碎屑岩中石英和长石统称为晶屑)。火山碎屑岩中含有玻屑。测井机制上,骨架部分(玻屑除外)响应的机制是一致的,因此导致这几种岩石类型测井响应的不同就归结于填隙物和玻屑。高伽马砂岩包括砂级-砾级的广义“砂岩”。

对研究区下白垩统的泥岩和砂岩的伽马值进行了统计,得出泥岩的伽马值一般在100~160 API,砂岩的一般在70~170 API,交叉范围较大。对于伽马值为100 API以上岩性可能是泥岩,也可能是砂岩,亦是测井岩性判别可能出现失误的岩性,因此伽马值100 API以上的砂岩成为本文中研究的重点。

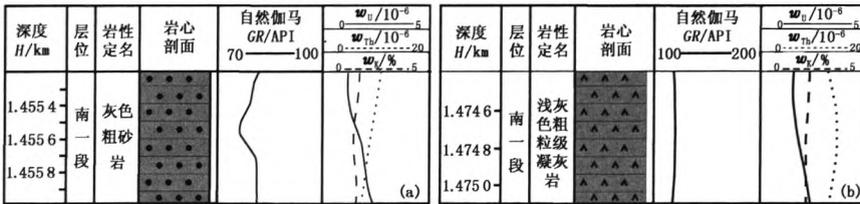


图1 巴13井两深度段自然能谱测井曲线

Fig. 1 Natural gamma ray spectrometry log curves of the first member of two depth segment in Nantun formation, well Ba 13

图2为高伽马砂岩,伽马值为125 API,铀含量为 $(5.3 \sim 5.7) \times 10^{-6}$ ,钍含量为 $(10 \sim 12) \times 10^{-6}$ ,钾含量不足0.1%,与图1(a)相比钍含量相差不多,钾含量很低,铀含量较高。图2与图1(b)相比,伽马值高6 API,铀含量高 $3 \times 10^{-6}$ ,钍含量低 $5 \times 10^{-6}$ ,钾

## 2 高伽马砂岩的岩石学特征

研究区测井特征显示高伽马砂岩具有高钍或者高铀的特征(表1)。以巴13井1.45440~1.45598 km灰色粗砂岩(图1(a))、巴13井1.47440~1.47511 km浅灰色粗粒级凝灰岩(图1(b))以及巴X2井1.81610~1.81705 km的浅褐色复成分细砾岩(图2)为例。图1(a)为普通砂岩,伽马值为81 API,铀含量 $w_U$ 为 $(1.8 \sim 2.5) \times 10^{-6}$ ,钍含量 $w_{Th}$ 为 $(9 \sim 11) \times 10^{-6}$ ,钾含量 $w_K$ 为2.0%~2.3%。图1(b)为高伽马砂岩,伽马值为119 API, $w_U$ 为 $(2.0 \sim 2.5) \times 10^{-6}$ , $w_{Th}$ 为 $(16.5 \sim 17.5) \times 10^{-6}$ , $w_K$ 为2.2%~2.5%,与图1(a)相比铀和钾含量相差不多,钍含量较高。

表1 常规砂岩与高伽马砂岩的自然伽马、铀、钍和钾含量对比

Table 1 Content comparison of gamma, U, Th and K of conventional sandstone and high gamma ray sandstone

岩性	自然伽马 GR/API	$w_U/10^{-6}$	$w_{Th}/10^{-6}$	$w_K/\%$
常规砂岩 <sup>[17]</sup>	—	0.45~2.1	1.5~6.7	0.7~3.8
研究区普通砂岩	<100	1.5~2.5	8~11	0.01~2.5
研究区高伽马砂岩	>100	0.3~9.0	8.6~24.6	0.02~4.7

含量低2.5%,说明铀对伽马值的贡献较钍高,即铀和钍含量在增加值相同的情况下,铀含量增加的岩石伽马值更高。根据研究区下白垩统的高伽马砂岩的岩石学特征,得出引起砂岩高伽马特征的原因,见表2。

表2 影响砂岩伽马值的成因与铀、钍和钾含量对比

Table 2 Factors of high gamma sandstone and content comparison of U, Th and K

成因	影响结果	$w_U/10^{-6}$	$w_{Th}/10^{-6}$	$w_K/\%$	主要分布
凝灰质	钍富集	2~3	15~25	0~3	凹陷边缘
黏土	铀、钍和钾均富集	3~6	13~17	3~4	凹陷中央
油	铀富集,钍和钾与不含油岩石一致	5~9	—	—	全区
长石	钾富集,黏土矿化导致铀和钍少量富集	2.5~3.5	11~14	3~4	除凹陷边缘
钙质	铀含量降低,钍和钾与不含钙岩石一致	1~2	—	—	全区

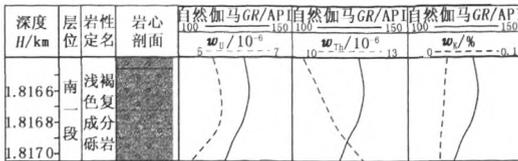


图2 巴X2井南一段自然能谱测井曲线

Fig.2 Natural gamma ray spectrometry log curves of the first member of Nantun formation, well Ba X2

2.1 凝灰质含量高,伽马值高

下白垩统凝灰岩的伽马值显示为高值,一般在110~170 API,自然能谱测井曲线显示凝灰岩铀含量和钾含量属于正常,分别为 $(2\sim3)\times 10^{-6}$ 和0~3%;钍含量明显较高,为 $(15\sim25)\times 10^{-6}$ 。伽马值与钍含量具有很好的正相关关系。以巴13井为例

(图3),南一段1.47331~1.47410 km的岩性为浅灰色含砾粗粒级凝灰岩(图4(a)),其伽马值为115 API,铀含量为 $(2\sim3)\times 10^{-6}$ ,钍含量为 $(16\sim18)\times 10^{-6}$ ,钾含量为2.5%~2.7%。自然能谱测井曲线柱状图显示伽马值与钍含量的相关性最高,曲线形态相似。

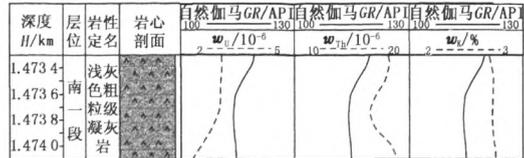


图3 巴13井南一段自然能谱测井曲线

Fig.3 Natural gamma ray spectrometry log curves of the first member of Nantun formation, well Ba 13

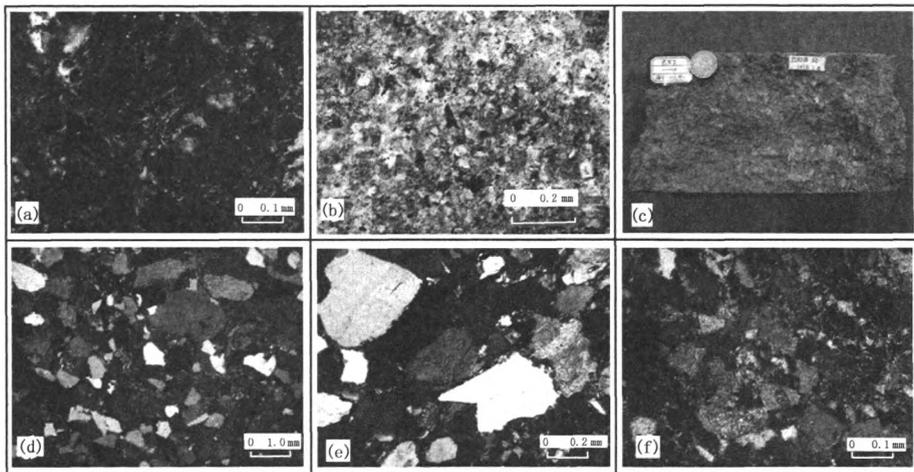


图4 海拉尔盆地乌南凹陷南一段高伽马砂岩岩性图版

Fig.4 Lithological chart of high gamma sandstone in the first member of Nantun formation of Wunan depression in Hailar Basin

图4中:(a)孔隙被凝灰质充填, $\times 20(+)$ ,巴13井1.47367 km;(b)孔隙被黏土质充填, $\times 10(-)$ ,乌27井2.00228 km;(c)砂岩含油,巴X2井1.81600~1.81619 km;(d)颗粒间被砂质充填, $\times 1.25(+)$ ,巴X2井1.81672 km;(e)凝灰质和黏土质含量低, $\times 10(+)$ ,乌27井2.00503 km;(f)钙质交代明显, $\times 20(+)$ ,乌31井2.29400 km。

2.2 黏土质含量高,伽马值高

泥质对铀、钍和钾均具有吸附性,泥质含量越高,伽马值越高。以乌27井为例(图5(a)),南一段2.00214~2.00276 km的岩性为灰色粗砂岩,显微镜下显示颗粒间被大量的黏土充填(图4(b))。其伽马值为148 API,铀含量为 $(3\sim4)\times 10^{-6}$ ,钍含量为 $(13\sim15)\times 10^{-6}$ ,钾含量为3.3%~3.6%。与凝

灰质的自然能谱测井值相比,铀含量和钾含量均升

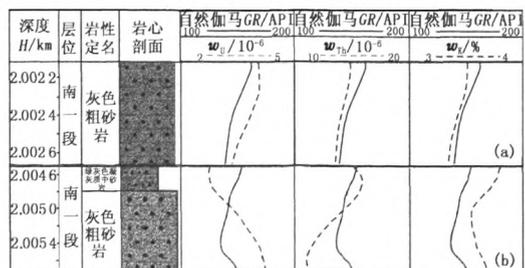


图5 乌27井南一段自然能谱测井曲线

Fig.5 Natural gamma ray spectrometry log curves of the first member of Nantun formation, well Wu 27

高,钍含量降低。与普通砂岩相比,铀、钍和钾含量均有升高。自然伽马曲线与铀、钍和钾的自然能谱

曲线形态相似,显示伽马值与铀、钍和钾含量均具有一定的相关性。

### 2.3 油含量高,伽马值高

由于铀的沉淀和吸附与有机质密切相关<sup>[18-20]</sup>,从而导致了含油的岩石具有相对较高的铀含量。南一段含油的岩石,铀含量一般都大于 $5 \times 10^{-6}$ ,部分可以达到 $9 \times 10^{-6}$ 。含油级别越高,铀含量越高。钍含量和钾含量与不含油岩石的钍含量和钾含量相近,受油的影响较小。以巴 X2 井为例(图 2),南一段 1.816 40 ~ 1.817 05 km 的岩性为浅褐色复成分细砾岩,岩心观察具有明显的含油特征(图 4(c))。显微镜下显示,颗粒间被砂质充填(图 4(d)),不含凝灰质,仅有少量的黏土质。自然能谱测井曲线柱状图显示伽马值为 125 API,铀含量为 $(5.3 \sim 5.7) \times 10^{-6}$ ,钍含量为 $(10 \sim 12) \times 10^{-6}$ ,钾含量不足 0.1%。自然伽马曲线与铀的自然能谱曲线形态相似,与钍的自然能谱曲线形态相反。钾含量过低,与高伽马无关。总体上显示了伽马值与铀含量具有高的相关性。

### 2.4 长石含量高,伽马值高

当砂岩中不含或者含少量凝灰质和黏土时实际上就是普通砂岩,理论上应该不具有相对高的伽马值。但是,研究区部分含少量凝灰质和黏土的砂岩同样具有高伽马的特征。对这些岩性进行显微镜下鉴定发现其长石含量较高,并且主要为钾长石。研究区蚀变现象比较明显,在长石表面会含有较多的黏土,其会对铀和钍具有一定的吸附作用,所以这种类型的砂岩通常铀含量有略微增加,但没有被黏土充填的砂岩的铀含量高。铀含量一般为 $(2.5 \sim 3.5) \times 10^{-6}$ ;钍含量明显较凝灰质和黏土质中的要低,一般为 $(11 \sim 14) \times 10^{-6}$ ;钾含量与被黏土充填的砂岩的相近,为 3% ~ 4%,只是原因不同,被黏土充填的砂岩是由于黏土的吸附性,而长石含量高的砂岩是由于长石自身的钾含量高。以乌 27 井为例(图 5(b)),南一段 2.004 97 ~ 2.005 72 km 的岩性为灰色岩屑长石粗砂岩。显微镜下显示,颗粒间黏土质和凝灰质含量较低(图 4(e))。自然能谱测井曲线柱状图显示伽马值为 136 API,铀含量为 $(2.6 \sim 3.3) \times 10^{-6}$ ,钍含量为 $(12.2 \sim 13.5) \times 10^{-6}$ ,钾含量为 3% ~ 4%。自然伽马曲线的上半段与钍曲线的变化趋势一致,数值逐渐降低,这是由于长石中黏土矿化的黏土虽然对钍有吸附性,但是没有凝灰质中的钍含量高,而该层砂岩的上覆岩层为凝灰质砂岩,因此钍含量会呈降低趋势,导致了伽马值降低。自

然伽马曲线的下半段与铀、钍和钾曲线的变化趋势一致,这是因为当钍含量降到不受上覆岩层放射性影响时,长石的含量以及长石蚀变的黏土矿物对铀和钍的吸附就成为影响伽马值的重要因素。研究区凝灰岩和凝灰质砂岩普遍发育,这种岩性组合和测井曲线特征是常见的。

可见,这种类型的砂岩具有高的伽马值必须同时具备两个条件:一是钾长石含量高、长石较大程度的黏土矿化;二是上覆岩层通常具有高的放射性,为黏土矿物的吸附提供放射性元素。

### 2.5 钙质含量高的砂岩伽马值高

铀的化学迁移和沉淀作用可以分为 4 种情况:①以硫酸盐的形式迁移,当  $\text{pH} > 7$  时沉淀;②以碳酸盐络合物形式迁移,当  $\text{pH} > 10.8$  时沉淀;③呈有机质络合物形式迁移,当  $\text{pH} < 4.7$  或  $\text{pH} > 8$  时沉淀;④呈铀的胶溶体形式迁移,当  $\text{pH} < 5$  或  $\text{pH} > 8$  时沉淀<sup>[17]</sup>。研究区南一段钙质普遍发育,包括泥晶方解石、亮晶方解石、白云石以及片钠铝石。钙质是碱性环境的一种标志,在  $\text{pH} > 8$  时沉淀<sup>[21]</sup>。钙质含量高的砂岩铀的含量较低,一般为 $(1 \sim 2) \times 10^{-6}$ ,说明铀是以碳酸盐络合物形式迁移的,同时成岩环境的 pH 值在 8 ~ 10.8。钙质含量高同时具有高伽马特征的砂岩钍含量较高,一般都在 $(18 \sim 23) \times 10^{-6}$ 。以乌 31 井为例(图 6),南一段 2.293 76 ~ 2.294 40 km 的岩性为灰色凝灰质中砂岩(流纹质),显微镜下显示颗粒间被大量的凝灰质充填,基质含量较高,颗粒和填隙物被钙质交代明显(图 4(f))。自然能谱测井曲线柱状图显示伽马值为 134 API,铀含量为 $(1 \sim 2) \times 10^{-6}$ ,钍含量为 $(21 \sim 23) \times 10^{-6}$ ,钾含量为 2.5% ~ 3.0%。

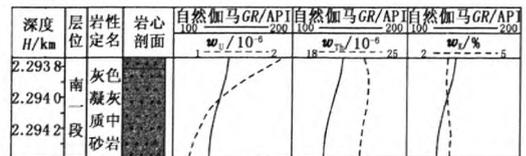


图 6 乌 31 井南一段自然能谱测井曲线

Fig. 6 Natural gamma ray spectrometry log curves of the first member of Nantun formation, well Wu 31

## 3 测井曲线识别高伽马砂岩

利用测井曲线识别高伽马砂岩主要是找出其与普通砂岩和泥岩在测井曲线上的差异,特别是在常规测井曲线上的差异(表 3)。充分挖掘常规测井曲线中的信息,以应用于没有自然能谱测井的钻井。

统计显示研究区泥岩的声波时差大于 278.9  $\mu\text{s}/\text{m}$ ,而砂岩的声波时差小于 278.9  $\mu\text{s}/\text{m}$ 。泥岩的补偿密度和电阻率与砂岩有较大的交叉范围,只有

当电阻率小于  $7 \Omega \cdot \text{m}$  或者补偿密度小于  $2.2 \text{ g}/\text{cm}^3$  时可以确定为泥岩。对于普通砂岩和高伽马砂岩用单一的测井曲线则识别效果不好。

表 3 高伽马砂岩的测井响应特征

Table 3 Characteristics of well logging responses of high gamma ray sandstone

项目	自然电位	自然伽马 GR/API	电阻率 $R_{LLD}/(\Omega \cdot \text{m})$	声波时差 $\Delta t/(\mu\text{s} \cdot \text{m}^{-1})$	补偿密度 $\rho_{DEN}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	补偿中子 $\varphi_{NC}/\%$
常规泥岩	基线附近	高值	$1 \sim 6^{[22]}$	$>300.2$	$2.2 \sim 2.65^{[23]}$	高值
常规砂岩	明显负异常或者正异常	低值	$10 \sim 100^{[23]}$ (含淡水)	$279.9 \sim 379.9^{[23]}$	$2.1 \sim 2.6^{[23]}$	中等
研究区泥岩	基线附近	100 ~ 160	2 ~ 20	278.9 ~ 360.9	2.0 ~ 2.65	10 ~ 30
研究区普通砂岩	明显负异常或者正异常	70 ~ 100	7 ~ 60	196.9 ~ 278.9	2.2 ~ 2.7	10 ~ 30
研究区高伽马砂岩	明显负异常或者正异常	100 ~ 170	7 ~ 60	196.9 ~ 278.9	2.4 ~ 2.7	10 ~ 30

交会图版法是利用测井曲线识别岩性的有效方法之一。补偿中子、补偿密度、声波时差以及电阻率等都与岩石的孔隙度有关,而引起砂岩高伽马的因素对这些曲线也会产生影响。补偿中子值为岩石的视孔隙度值,是岩石孔隙度(孔隙体积包括真实孔隙体积和黏土层间水体积)的直接反映<sup>[24-25]</sup>,本研究的思路是先将补偿中子进行分类,弱化孔隙度对测井曲线的影响,再针对每类岩石分别选取不同的图版对普通砂岩和相对高伽马砂岩进行区分。

3.1 按照补偿中子对岩石进行分类

研究区砂岩补偿中子值在 10% ~ 30%,各井补偿中子值的范围主要有 4 类:10% ~ 15%,15% ~ 25%,20% ~ 30% 以及 10% ~ 30%。根据范围的最小值 5% 作为每个分类的补偿中子值,可以将岩石分为 4 类,分别是补偿中子值在 10% ~ 15%,15% ~ 20%,20% ~ 25% 以及 25% ~ 30%。

3.2 利用交会图对高伽马砂岩进行识别

样品的选取原则为样品所在岩层单层厚度大于 60 cm(测井可识别厚度),每个连续取心井段选取两个数据点,超过两个数据点的井段则选取深度差别较大的两个数据点,只有一个数据点的井段直接选取。

3.2.1 补偿中子值在 10% ~ 15%

补偿中子值在 10% ~ 15% 具有高伽马特征的砂岩骨架颗粒相对较少,基质含量高,主要为凝灰质充填;而普通砂岩的骨架颗粒含量差别较大,基质为砂质充填。

图 7 显示高伽马砂岩与黑线之下的普通砂岩在电阻率相同的情况下具有相对高的补偿密度。对图 7 中位于高伽马砂岩区的普通砂岩(黑线之上的普通砂岩)进行薄片分析发现其基质含量低,不超过 7%,主要为骨架颗粒。补偿密度和声波时差交会(图 8)显示其密度大于  $2.6 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,声波时差值较

低,在  $164.1 \sim 229.7 \mu\text{s}/\text{m}$ 。

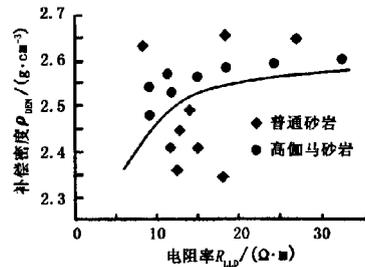


图 7 补偿中子值在 10% ~ 15% 砂岩的  $R_{LLD}-\rho_{DEN}$  交会图

Fig. 7  $R_{LLD}-\rho_{DEN}$  crossplot of sandstone with CNC of 10%~15%

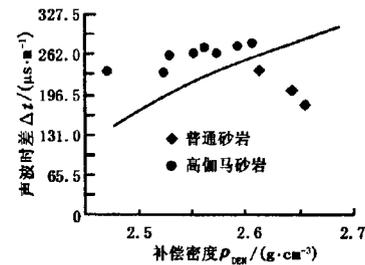


图 8 图 7 黑线上方砂岩的 DEN-AC 交会图

Fig. 8 DEN-AC crossplot of sandstone upside black line in fig. 7

3.2.2 补偿中子值在其他范围

15% ~ 20%,20% ~ 25% 和 25% ~ 30% 这 3 个范围的砂岩影响因素和识别方法是一致的,以 15% ~ 20% 的砂岩为例说明。

首先利用深侧向电阻率与补偿密度交会可以识别出 3 种类型的砂岩(图 9 中黑线所围砂岩):一是黏土含量高的高伽马砂岩,电阻率小于  $10 \Omega \cdot \text{m}$ ,密度小于  $2.4 \text{ g}/\text{cm}^3$ ;二是骨架颗粒含量高的普通砂岩,填充物较少,补偿密度大于  $2.65 \text{ g}/\text{cm}^3$ ;三是基质为砂质充填的普通砂岩,其电阻率大于  $15 \Omega \cdot \text{m}$ ,密度小于  $2.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

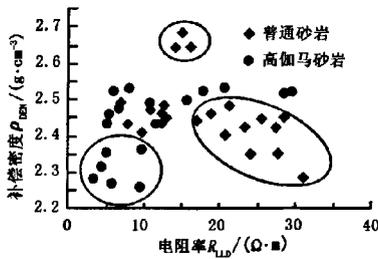


图 9 补偿中子值在 15%~20% 砂岩的  $R_{LLD}-\rho_{DEN}$  交会图

Fig. 9  $R_{LLD}-\rho_{DEN}$  crossplot of sandstone with CNC of 15%~20%

对剩余混杂的砂岩(图 9 中未被黑线所围砂岩)利用微侧向电阻率与补偿密度交会可以将高伽马砂岩与普通砂岩最终区分开来。识别出的普通砂岩(图 10 黑线所围普通砂岩)微侧向电阻率小于  $30 \Omega \cdot m$ , 密度小于  $2.52 \text{ g/cm}^3$ , 其微侧向电阻率与深侧向电阻率相差不大, 在  $-3 \sim 3 \Omega \cdot m$ 。识别出来的高伽马砂岩可以分为两类: 一类是砂岩长石含量较高(图 10 未被黑线所围砂岩), 另一类是砂岩明显含油(图 10 黑线所围高伽马砂岩)。长石含量高的砂岩随基质(黏土和凝灰质)含量的增加电阻率降低, 同时补偿密度增大。明显含油的砂岩补偿密度较低(小于  $2.48 \text{ g/cm}^3$ ), 电阻率较高(大于  $30 \Omega \cdot m$ )。

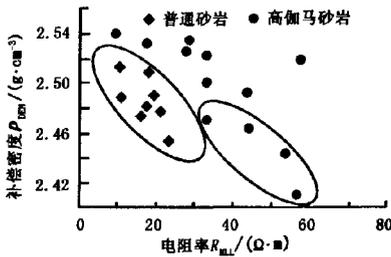


图 10 图 9 中未被黑线所围砂岩的  $R_{MLL}-\rho_{DEN}$  交会图

Fig. 10  $R_{MLL}-\rho_{DEN}$  crossplot of sandstone outside black line in fig. 9

### 4 高伽马砂岩的分布规律

通过对乌南地区南一段砂岩的伽马值进行统计并绘制等值线图(图 11)发现, 从凹陷边缘到凹陷中心伽马值逐渐增大, 说明放射性物质有从凹陷边缘向凹陷中心迁移的趋势。根据引起砂岩高伽马特征原因的不同对研究区高伽马砂岩进行统计分区(图 12), 结果显示: 受凝灰质影响的砂岩主要集中于凹陷边缘; 受黏土影响的砂岩主要集中于凹陷中央; 受长石影响的砂岩主要集中于凹陷边缘与凹陷中央的

过渡带; 受钙质和含油影响的砂岩在全区均有分布, 仅在部分岩层发育。

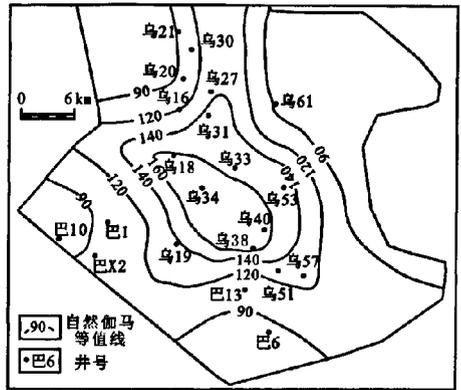


图 11 海拉尔盆地乌南凹陷南一段砂岩自然伽马等值线图

Fig. 11 Nature gamma ray isoline graph of sandstone in the first member of Nantun formation in the depression, Hailaer Basin

凹陷边缘泥质含量低, 凝灰质含量高, 砂岩被凝灰质充填显示高伽马。泥质对铀、钍和钾的吸附性和泥质从凹陷边缘向凹陷中央的迁移导致在凹陷中央的砂岩如果被泥质充填就会具有高的伽马值。

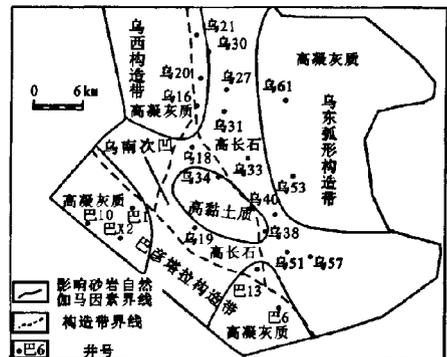


图 12 海拉尔盆地乌南凹陷南一段统构造分区与影响砂岩自然伽马因素分区图

Fig. 12 Division of tectonic and factors of effecting sandstone nature gamma ray in the first member of Nantun formation of Wunan depression, Hailaer Basin

从凹陷边缘至凹陷中央岩屑含量逐渐降低就会导致长石含量相对增加, 这样在凹陷边缘与凹陷中央之间钾含量就会与凹陷中央的钾含量相近, 达到研究区的高值, 只是原因不同。在研究区处于凹陷边缘的钾含量只有 1% 左右, 如巴 1 井、巴 X2 井以及巴 13 井, 而在凹陷中央可以达到 4%。在凹陷边缘与凹陷中央之间由于高的钾含量、长石黏土矿化所形成的黏土和粒间少量的黏土质的吸附作用、粒

间的少量凝灰质导致砂岩具有高的伽马值。

含油会增加铀的含量,但是如果有钙质发育则会导致铀的迁移,因此在研究区并不是所有含油的砂岩铀含量都高,只是在钙质不发育的砂岩如果含油则会导致铀含量有所增加。

综上所述,导致砂岩高伽马的原因从凹陷边缘到凹陷中央依次为高凝灰质含量、高长石含量以及高泥质含量。钙质和含油是两个相对的因素,钙质可以导致铀含量低,含油可以导致铀含量高。

### 5 结 论

(1)海拉尔盆地乌南凹陷下白垩统的高伽马砂岩为伽马值大于 100 API 的火山碎屑岩、沉积火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩以及正常碎屑沉积岩。

(2)砂岩的伽马值与凝灰质、黏土、长石含量以及含油有关。凝灰质含量高的砂岩钍含量较高;长石和黏土含量高的砂岩铀、钍和钾均有富集;含油的砂岩以富铀为特征。

(3)研究区钙质普遍发育,其通过影响铀的迁移和沉淀来改变砂岩的伽马值。钙质含量高的砂岩铀含量较低。

(4)影响砂岩高伽马的因素较多,不能用单一的交会法来识别高伽马砂岩。对砂岩的补偿中子值进行分类,再利用深侧向电阻率、微侧向电阻率和补偿密度来识别高伽马砂岩是可行的。

(5)区域上影响砂岩高伽马砂岩的因素具有分带性。从凹陷边缘至凹陷中央依次为高凝灰质含量、高长石含量以及高黏土质含量。

### 参考文献:

[1] 杨修伦,李侠.自然伽马能谱测井曲线在地质上的解释与应用[J].地学工程进展,1999,16(1):48-52.  
YANG Xiu-lun, LI Xia. Application and explanation in geology of NGS graph [J]. Progress of Geoscience Engineering, 1999,16(1):48-52.

[2] 李凤琴,秦菲莉,陈瀚霖,等.自然伽马能谱资料在油田勘探中的应用[J].石油天然气学报,2005,27(6):874-876.  
LI Feng-qin, QIN Fei-li, CHEN Han-lin, et al. The application of natural gamma ray spectrometry data in oil-field exploration [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005,27(6):874-876.

[3] 陈中红,查明,金强.自然伽马及自然伽马能谱测井在沉积盆地古环境反演中的应用[J].地球物理学报,2004,47(6):1144-1150.

CHENG Zhong-hong, ZHA Ming, JIN Qiang. Application of natural gamma ray logging and natural gamma spectrometry logging to recovering paleoenvironment of sedimentary basin [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2004,47(6):1144-1150.

[4] 鲜本忠,王永诗.基于小波变换基准面恢复的砂砾岩期次划分与对比[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(6):1-11.  
XIAN Ben-zhong, WANG Yong-shi. Division and correlation of glutenite sedimentary cycles based on base-level restoration using wavelet transform [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008,32(6):1-11.

[5] 徐敏领,王贵文,刘洛夫.利用小波深频分析方法研究沉积储层旋回[J].中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(5):1-5.  
XU Jing-ling, WANG Gui-wen, LIU Luo-fu. Study of sedimentary reservoir cycles using wavelet depth-frequency analysis method [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2009,33(5):1-5.

[6] HERBERT T D. Long climatic time series from sediment physical property measurements [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61(7):1098-1108.

[7] 刘泽纯,陈晔,袁林旺,等.应用自然伽马曲线反演 2.85 Ma B. P. 来古气候变化[J].中国科学: D 辑, 2000,30(6):609-618.  
LIU Ze-chun, CHEN Hua, YUAN Lin-wang, et al. The application of natural gamma logging curve to recovering palaeoclimatic changes from 2.85 Ma B. P. [J]. Science in China (Series D), 2000,30(6):609-618.

[8] 张获楠,刘广天.复杂断块油藏残余地层格架的建立及油层细分方法[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(1):13-18.  
ZHANG Di-nan, LIU Guang-tian. Establishment of residual stratum framework and its subdivision in complex fault block reservoirs [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008,32(1):13-18.

[9] 吴河勇,李子顺,冯子辉,等.海拉尔盆地乌尔逊-贝尔凹陷构造特征与油气成藏过程分析[J].石油学报,2006,27(增刊):1-6.  
WU He-yong, LI Zi-shun, FENG Zi-hui, et al. Analysis on structural features and reservoir-forming process of Wuershun and Beier sags in Hailaer Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006,27(sup):1-6.

[10] 陶宏根,程日辉,赵小青,等.海拉尔盆地火山碎屑岩的测井响应与应用[J].地球物理学报,2010,26

- (1):47-54.  
TAO Hong-gen, CHENG Ri-hui, ZHAO Xiao-qing, et al. Well logging response to the volcanoclastic rocks of Hailaer Basin and application [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010,26(1):47-54.
- [11] 张晓峰,潘保芝,范晓敏,等.海拉尔盆地南屯组凝灰质砂岩储层含水饱和度计算方法[J].测井技术,2009,33(4):345-349.  
ZHANG Xiao-feng, PAN Bao-zhi, FAN Xiao-min, et al. Computational method of saturation of the tuffaceous sandstones reservoir of Nantun group in Hailaer Basin [J]. Well Logging Technology, 2009,33(4):345-349.
- [12] 黄建松,安文武,白武厚.陕西榆林气田山2段高自然伽马储集层特征及其成因分析[J].录井工程,2007,18(4):74-84.  
HUANG Jian-song, AN Wen-wu, BAI Wu-hou. The reservoir features and genetic analysis of high natural gamma for member 2 of Shanxi group in Yulin gas field of north Shanxi [J]. Mud Logging Engineering, 2007, 18(4):74-84.
- [13] 孙佩,张小莉,郭兰,等.相对高放射性砂岩成因及储集性能定性评价[J].西安石油大学学报:自然科学版,2010,25(2):18-21.  
SUN Pei, ZHANG Xiao-li, GUO Lan, et al. The genetic and reservoir property evaluation of high radioactivity sandstone [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2010,25(2):18-21.
- [14] 赵军龙,谭成仟,刘池阳,等.鄂尔多斯盆地高自然伽马异常特征[J].地球科学与环境学报,2006,28(3):82-86.  
ZHAO Jun-long, TAN Cheng-qian, LIU Chi-yang, et al. Abnormity features of obvious natural gamma in ordos basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2006,28(3):82-86.
- [15] 程日辉,沈艳杰,颜景波,等.海拉尔盆地火山碎屑岩的成岩作用[J].岩石学报,2010,26(1):47-54.  
CHENG Ri-hui, SHEN Yan-jie, YAN Jing-bo, et al. Diagenesis of volcanoclastic rocks in Hailaer Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010,26(1):47-54.
- [16] 张美玲,邵阳,高柏原,等.海拉尔盆地含火山岩地层主要岩性分布及测井响应分析[J].中国石油勘探,2009(2):50-54.  
ZHANG Mei-ling, SHAO Yang, GAO Bai-yuan, et al. Major lithological distribution and log response analysis of volcanic rock bearing strata in Hailaer Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2009(2):50-54.
- [17] 黄隆基,首祥云,王瑞平.自然伽马能谱测井原理及应用[M].北京:石油工业出版社,1995:48-55.
- [18] 王剑锋.铀地球化学教程[M].北京:原子能出版社,1986:377-381.
- [19] CHARLES S. The roles of the organic matter in the formation of the uranium deposits in sedimentary rocks [J]. Ore Geology Review, 1996,11(1):54-55.
- [20] 陈中红,查明.铀曲线在沉积盆地古环境反演中的应用[J].中国石油大学学报:自然科学版,2004,28(6):11-15.  
CHEN Zhong-hong, ZHA Ming. Application of uranium curve to paleoenvironment inversion in sedimentary basin [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004,28(6):11-15.
- [21] 刘宝珺.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1980:48-54.
- [22] 中国石油天然气总公司劳资局.矿场地球物理测井[M].北京:石油工业出版社,1998:109-111.
- [23] 王群,庞彦明,郭洪岩,等.矿场地球物理测井[M].北京:石油工业出版社,2002:153-155.
- [24] 李舟波,潘保芝.测井解释原理与应用[M].北京:石油工业出版社,1991:58-63.
- [25] 赫金泽,刘国范.石油测井[M].北京:石油工业出版社,1990:93-100.

(编辑 沈玉英)