

反褶积方法在铀矿伽玛测井定量解释中的应用现状与探讨

张琪¹ 张锋²

中陕核工业集团地质调查院有限公司 陕西省西安市 710199

摘要: 本研究通过分析反褶积五点式算法原理,进一步阐述特征参数,对分层响应能力以及单元层计算结果、异常段产生负值原因进行分析,提出对于砂岩型铀矿床伽玛测井资料定量解释中特征参数应当取值为0.2,这种情况下进行矿层厚度以及铀含量计算是相对合理的,能够从一定程度上帮助工作人员简化计算过程。

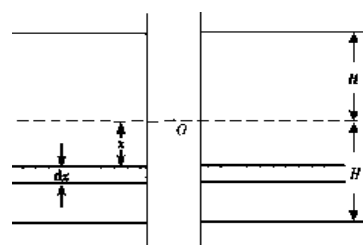
关键词: 反褶积方法; 铀矿; 伽玛测井; 定量解释

1 伽马照射量率曲线

从一定程度上来看,砂岩型铀矿层会受到构造因素影响,矿床赋存利于铀还原的地球化学环境位置。铀成矿是与砂型岩铀元素含量和岩浆熔体具有一定联系的。同时,还会受地球化学类型、岩体成因规模、挥发组分因素的影响。整体来看,铀矿场形成过程是分阶段漫长的过程,经历了多种地质条件变化,具体包括分溶、沉积、结晶分异、热液改造和风化等复杂地球化学演化。如果某种铀矿床受构造控制,由于存在不同的物质成分、规模、构造、形态不同,那么沥青铀矿存在形式和含量也会产生差异,沥青铀矿存在发丝状、细脉状、网脉状等不同形状,因此,在铀矿段含量中有元素是不均匀分布的。对于伽玛测井总量伽马照射量率曲线能够从一定程度上反映放射性核素含量变化。伽玛测井照射量率曲线具有多峰,并且峰值不同,形状各异。

2 反褶积及五点式计算原理

第一,反褶积分层解释法的应用原理。如下图所示为均匀矿层中伽马能谱强度的计算原理。



在该图中,平面矿层单元厚度为 dx ,其距离中心点 O 垂直距离设置为 x ,在中心点该矿层单元产生的伽马射线照射量率为 dI_r ,因此,可用下列公式进行表示。

$$dI_r = K_0 Q(x) \varphi(x) dx,$$

上述公式中伽玛测井换算系数为 K_0 ,距离 X 相关未知函数为地质脉冲函数用 φ 表示,矿层中含有的放射性核素用 $Q(x)$ 表示,如果矿层厚度较大时,此时可用下列公式来表示饱和照射量率,

$$I_{\gamma\max}(\infty) = K_0 Q_0;$$

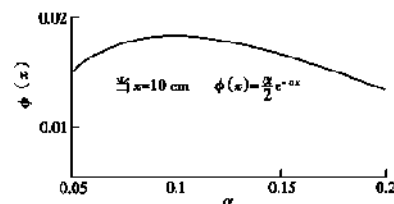
相应的饱和度计算公式如下

$$f(2H) = \frac{I_{\gamma\max}(2H)}{I_{\gamma\max}(\infty)} = 2 \int_0^H \varphi(x) dx,$$

地质脉冲函数近似值如下所示,

$$\varphi(x) = \alpha e^{-\alpha|x|} / 2,$$

在上述公式中特征参数为 α ,当 X 取值为10厘米时,地质脉冲函数和特征参数的曲线变化图如下所示。



通过上图可以发现,当选取10厘米作为测量领域时,此时特征参数存在最大值为0.2。当取值范围介于0.08~0.124时,地质脉冲函数值梯度变化较小。

作者简介:

1.张琪;性别:男;出生年月:1986年11月;民族:汉;籍贯:陕西宝鸡;单位:中陕核工业集团地质调查院有限公司;职位:专业组长;职称:工程师;学历:本科;邮编:710199;邮箱:759510558@QQ.COM;研究方向:伽玛定量测井在砂岩型铀矿储量计算中的应用。

2.张锋;出生年月:1987年11月3日;民族:汉;性别:男;籍贯:陕西乾县;单位:中陕核工业集团地质调查院有限公司;职位:项目经理;职称:工程师;学历:本科;邮编:710199;邮箱:826290285@qq.com;研究方向:伽玛定量测井在砂岩型铀矿储量计算中的应用。

如果矿层铀含量仅受到钻孔深度因素影响，那么其水平方向为均匀分布的，深度位置总照射量率可利用下列公式进行表示。

$$I_{\gamma}(z) = K_0 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(z-1) Q(z) dz。$$

经傅里叶变换如下公式所示。

$$Q(z) = [I_{\gamma}(z) * \varphi^{-1}(z)] / K_0，$$

利用反褶积法进行含量计算，需通过离散型数据，对连续信号利用差商法做离散采样，如下公式所示，在上述公式中采用点距为 Δz ，通常 $\Delta z=h$ ，则能够求出处于 z_i 点位置矿层等效铀含量，如下公式所示。

$$Q(z_i) = \frac{I_i}{K_0} - \frac{I_{i+1} + I_{i-1} - 2I_i}{K_0(\alpha \cdot h)^2}，$$

最终五点式反褶积的计算公式如下公式所示。

$$q(Z_i) = \frac{I(Z_i)}{K_0} - \frac{1}{12K_0(\alpha \Delta z)^2} [-I(Z_{i+2}) + 16I(Z_{i+1}) - 30I(Z_i) + 16I(Z_{i-1}) - I(Z_{i-2})]$$

在上述公式中，第 i 个单元层含量为 $q(Z_i)$ ，特征参数为 α ，其是与钻孔条件、探头结构以及地层环境等参数具有一定联系，能用于表示单位吸收厚度对照射量率衰减百分比；换算系数为 K_0 ，具体包括射气系数，铀镭平衡系数，照射量率换算系数以及湿度系数等；测点 i 的照射量率为 $I(Z_i)$ ，单元层厚度为 ΔZ 。

3 对定量解释的认识

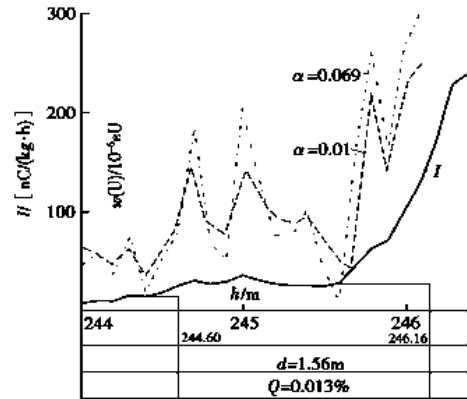
第一，五点式计算法会产生负值。将上述公式进行变换，可得到下列公式。

$$Q_i = \frac{I_i}{K_0} - \frac{2}{K_0(\alpha \cdot h)^2} \left(\frac{I_{i-1} + I_{i+1}}{2} - I_i \right)。$$

根据测井曲线可以发现 i 相邻两个测点照射量率分别为 I_{i-1} 和 I_{i+1} ，如果两者平均值均大于 I_i ，此时在曲线中 I_i 位于凹点位置，因此，最终计算结果会产生负值。要想改变它的参数，进而减小负值产生，应当对整个测定曲线形态进行歪曲，使最终计算结果低于测点放射性核素平衡铀含量。当曲线中 i 位于凸点位置，那么 I_{i-1} 和 I_{i+1} 均值低于 I_i ，此时计算结果大于测点放射性核素平均铀含量，只有矿体沿厚度矿化均匀，并且矿层真厚度高于饱和厚度，这种情况下，对该矿段铀含量计。将近似为放射性核素平衡铀含量。

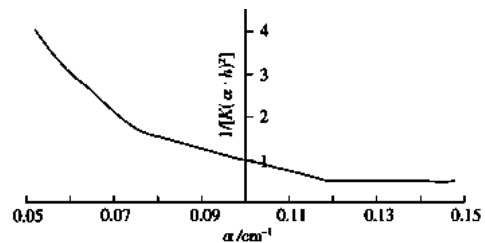
第二，特征参数从本质上是对分层能力的响应。结合上述地质脉冲函数的近似公式，五点式计算实际上是与时域近似系统响应下的反褶积，利用该公式可拟合系统响应理论和实验结果，能够将钻孔结构，地质环境以及探测器参数归结于特征参数的变化。利用这种函数形成近似描述系统响应，但关键是如何选择合适的特征参

数值，主要由于该参数并不是固定不变的常数。如下图所示为某测定曲线放射性异常段。



设置 10 厘米为特点距离，采用五点式计算法进行解释，可以发现，测定曲线分层能力提高，铀含量变化相对明显。但这些变化只能表明，测井曲线资料解释采用五点式计算法，能够提高分层响应。根据该图，单元层计算结果是与特定参数相关，同时还会受每个测点位置以及相邻测点大小影响，因此，对于不同单元层计算结果，实际上不是单元层含量，而事实上是在时间域中反褶积分层解释法的分层响应体现。特征参数改变，单元层分层幅度也会发生变化，特征参数变小，会使分层幅度变大，反之变小。在处于矿化不均匀的基础上，并且品位低的异常段，经常会出现伪异常点，导致矿化段铀含量异常增高，因此，可以发现，当改变特变参数值时，分层界限不会发生变化，但分层幅度会发生明显变化，使反褶积分等解释结果，明显高于平均含量法。

根据反褶积分层解释计算公式，设置 10 厘米为单元层厚度，如下图所示为反褶积五点式计算公式。



其中特征参数 α 与 $1/[K_0(\alpha \cdot h)^2]$ 之间的关系曲线图。根据该结果可以发现，增加特征参数值，此时会使 $1/[K_0(\alpha \cdot h)^2]$ 数值变小，那么 Q_i 与 I_i/K_0 接近，反之，如果减小特征参数值，此时会使 $1/[K_0(\alpha \cdot h)^2]$ 数值增加， Q_i 也会逐渐增大。特种参数减小，其 $1/[K_0(\alpha \cdot h)^2]$ 变化梯度大，分散能力强，产生的矿层铀含量误差也会相应增加。

4 不同方法解释结果及误差分析

如下表所示为钱家店铀矿床采用平均含量法与反褶积分层解释的解释结果比较情况。

序号	平均含量法				反褶积法				相对误差 %
	矿层位置 m	厚度 m	铀含量 %	米百分值 m·%	矿层位置 m	厚度 m	铀含量 %	米百分值 m·%	
1	244.60~246.16	1.56	0.013	0.0203	244.65~246.15	1.50	0.014	0.0210	3.6
2	246.16~247.70	1.54	0.090	0.1386	246.15~247.65	1.50	0.092	0.1380	0.4
3	247.70~248.86	1.16	0.030	0.0348	247.65~248.85	1.20	0.032	0.0384	-10.3
4	248.86~249.70	0.84	0.012	0.0100	248.85~249.75	0.90	0.009	0.0081	19.0
5	249.70~250.10	0.40	0.039	0.0156	249.75~250.15	0.40	0.045	0.0180	-15.3
6	250.10~253.96	3.86	0.017	0.0656	250.15~253.95	3.80	0.016	0.0608	7.3
7	253.96~256.60	2.64	0.075	0.2979	253.95~258.85	4.90	0.063	0.3087	-3.6
	256.60~258.92	2.22	0.045						
8	258.92~260.40	1.48	0.015	0.0222	258.85~260.45	1.60	0.015	0.0240	-8.1
9	768.70~769.96	1.26	0.153	0.8766	768.75~774.75	5.70	0.152	0.8664	1.2
	769.96~771.08	1.12	0.033						
	771.08~773.42	2.34	0.246						
	773.42~774.50	1.08	0.066						

根据该图可以发现,有244.6~260.45米异常段,厚度为15.8米,此时在位于247.1米位置存在较大照射量率。利用判断因子,来确定它的参数取值为0.069,而在253.95~258.85米矿段位置异常段,厚度为4.9米,此时采用五点式计算解释,可将曲线跳跃和矿化不均匀,含量为0.045%矿化段作为工业矿段。在位于768.96~774.45米位置异常断层,厚度为5.7米中,位于769.96~7711.08米位置存在一个峰,该峰存在两个高点,伽马照射量率分别为143和139NC,铀含量分别为0.048%和0.046%,该异常段平均含量解释时,最终结果为0.033%,采用反褶积计算时,特征参数为0.096,两个高点等铀含量分别为0.056%和0.066%,根据该表中数据可以发现,它有两种方法进行工业矿段解释,使结果误差低于5%,异常段和矿化段相对误差较大,其中有三段相对误差高于10%。

5 小结

总之,本研究提出利用反褶积分层解释法,进行伽马测井资料定量解释,为其提供简便计算方法,帮助员工提高工作效率,同时,通过时间时域近似系统响应下反褶积,能够将探测器、钻孔结构以及地质环境参数影

响,都归于特征参数变化。如何选择特殊参数,需进行深入探究。利用五点式反褶积分层计算,在矿层边界会存在负值,可通过改变特征参数,使伽马测量曲线出现畸变。通过反褶积五点式计算公式以及地质脉冲函数与特征参数的关系曲线,认为选取0.2作为特征参数数值是比较合理的,可简化矿层以及铀含量计算。

参考文献:

- [1]王小冬,陈婧,王兴明,等.华南砂型岩型铀矿 γ 测井解译方法的应用研究[J].地质与勘探,2020(4).
- [2]王德鹏,汪成勇,陈擎.放射性伽玛测井在柴达木东北缘查查卡地区稀有金属和稀土元素研究中的应用[J].矿产勘查,2020,11(5):6.
- [3]程键,杨国安,邓德虎,等.综合物探法在九嶷山地区铀矿勘查中的应用探讨[J].地球科学前沿(汉斯),2021,11(2):8.
- [4]赵丹.高精度小口径铀矿伽玛能谱测井关键技术研究[D].中国地质大学(北京),2019.
- [5]成剑文.物化探方法在湖南省怀化黄岩地区铀矿勘查中的应用[J].冶金与材料,2020,40(1):3.