

doi: 10.11720/wtyht.2019.0225

李卓岱,张怀强,卢炜煌,等.宽能域  $\gamma$  能谱测井系统结构参数优化设计研究[J].物探与化探,2019,43(6):1291-1296.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0225

Li Z D, Zhang H Q, Lu W H, et al. A study of structural optimization design of the wide-energy range gamma spectra logging system[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(6): 1291-1296. http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0225

# 宽能域 $\gamma$ 能谱测井系统结构参数优化设计研究

李卓岱<sup>1,2</sup>, 张怀强<sup>1,2</sup>, 卢炜煌<sup>2</sup>, 刘进洋<sup>2</sup>, 颜苗苗<sup>2</sup>

(1. 东华理工大学 放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室, 江西南昌 330013; 2. 东华理工大学 核科学与工程学院, 江西南昌 330013)

**摘要:**伽马能谱测井广泛应用于放射性矿床、金属、非金属矿床、地层对比等方向,是我国目前铀矿资源勘查的主要方法。为获得更宽的伽马能谱测量范围,采用  $\text{LaBr}_3$  和 BGO 双探测器组合来完成宽能域伽马能谱测井系统的设计,基于 MCNP 模拟研究宽能域伽马能谱测井系统的结构优化设计原则。探测器采用管式结构,屏蔽体采用钨铁镍合金效果最好,屏蔽体厚度达到 14 cm 时即可对远侧探头产生较好的屏蔽效果;近侧探头在相对位置在 35 cm 及以上时对快中子的屏蔽效果与远侧探头的效果相接近;改变中子源位置对热中子的屏蔽效果提升有限;镅单质作为热中子屏蔽体在厚度达到 0.2 cm 时即可达到较好的屏蔽效果。分析模拟所得数据可知:快中子的屏蔽效果主要由屏蔽体材料、厚度和近端探头与屏蔽体的距离决定,中子源与屏蔽体距离增加所起作用有限。

**关键词:**伽马能谱测井;多探头测井;蒙特卡罗方法;数值模拟

**中图分类号:** P631.83

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2019)06-1291-06



## 0 引言

伽马能谱测井是核测井的重要分支之一,通过在地层中进行放射性测量可以获取放射性矿床、金属、非金属矿床、地层对比等信息,是我国目前铀矿资源勘查的主要方法。铀、钍、钾是重要的天然的放射性元素,这 3 种元素的分布与铀矿的分布关系紧密,利用铀、钍、钾的伽马能谱寻找铀矿是铀矿地质研究中重要的放射性物探手段<sup>[1-3]</sup>。伽马能谱测井还包括地层元素测井,利用中子源产生的快中子进入地层中,与各种核素发生非弹性散射、弹性散射和辐射俘获等核反应,由伽马探测器记录其产生的非弹性散射能谱和伽马俘获能谱,在标准谱的基础上求出元素产额,通过氧化闭合模型等方法计算出元素含量,从而确定地层矿物信息。

在铀矿勘探中,无论是地面伽马能谱测量还是

伽马总能量测井或是地层元素测井。都普遍采用 NaI (Tl) 探测器来测量伽马能谱或伽马总量,扣除钍系核素和<sup>40</sup>K 等的干扰,通过修正获得镭元素含量,再采用矿石取样等方法与镭核素含量相结合计算得出铀含量<sup>[4]</sup>。现有的 NaI 探测器所能测量的能谱范围往往有限,集中在某一段很窄的区域。而脉冲中子测井中的非弹性散射伽马射线和俘获伽马射线所需测量的能谱范围往往在 3 MeV 以上,为了兼顾自然伽马射线(0.03~3 MeV)<sup>[5-7]</sup>、非弹性散射和俘获伽马射线,系统需要获取 0.03~10 MeV 的宽能域能谱。

对于宽能域伽马能谱系统的研究,欧洲公民与安全保护协会和中国科学院都曾研究过宽能域伽马能谱的测量功能<sup>[8-9]</sup>,但由于井下空间有限,大体积探头并不适用于井下测量。吴文圣<sup>[10]</sup>、闫慧娟等<sup>[11]</sup>、朱力等<sup>[12]</sup>和张罡<sup>[13]</sup>曾先后利用蒙特卡罗方法对地层元素测井中的屏蔽体和探测器等结构进行

收稿日期: 2019-04-23; 修回日期: 2019-09-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(11665001/41864007); 国家留学基金委项目(201708360170); 江西省“百人远航工程”项目; 放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室开发基金项目(RGET1309)

作者简介: 李卓岱(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向为核探测技术与核仪器。Email:leezhuodai@foxmail.com

通讯作者: 张怀强(1981-),男,博士,副教授,主要从事核辐射探测与核信号处理研究工作。Email:zhanghq821@163.com

了模拟和深入的研究,但在研究中采用的模型均为单探头的探测器,并没有考虑采用双探头时系统结构的变化对伽马能谱的影响。

在本工作中采用双探头系统来实现宽能域伽马能谱测井,LaBr<sub>3</sub> 和 NaI 探测器在能域内的探测效率较低<sup>[14]</sup>,而 BGO 探测器虽探测效率较高但在低能域内的能量分辨率较低,故采用 LaBr<sub>3</sub> 探测器测量 0.03~3 MeV 范围内的伽马能谱,BGO 探测器测量 3~10 MeV 范围内的伽马能谱,再对两个探头获取的谱线进行线性化、归一化处理。笔者对宽能域、多探测器系统的特性进行研究,建立井下多探测器系统结构的最优化设计原则。

### 1 宽能域 γ 测井原理

宽能域伽马能谱测井系统可以兼顾测量自然伽马射线和脉冲中子与地层元素相互作用产生的伽马射线,对于自然伽马射线可通过 LaBr<sub>3</sub> 探测器测量 0.03~3 MeV 的能谱,分析能谱可获得地层中 U、Th、K 等天然放射性元素的质量百分比<sup>[15-16]</sup>,即起到自然伽马测井的作用。

脉冲中子进入地层后会与地层中的元素相互作用,产生非弹性散射和俘获伽马射线,在元素识别测井中,主要通过俘获伽马射线的俘获谱来识别地层中的元素含量。地层中的常见元素如铁、钙、钛、硅等的俘获谱都分布在 0~9 MeV 范围内,而 LaBr<sub>3</sub> 探测器在能段的探测效率不高,所以可以通过 LaBr<sub>3</sub> 探测器测量低能段、BGO 探测器测量高能段后进行线性化、归一化处理,记录并分析俘获伽马能谱即可得到地层元素的质量百分比<sup>[17-21]</sup>,计算出地层的矿物成分,从而进一步确定地层的孔隙度等参数,在地层勘探研究中有重要的作用。

### 2 系统模型的建立

由于测井直径限制,探测器通常采用管式结构,探头、中子管等电路元件纵向排列在一根金属管内。宽能域测井系统的几何形状如图 1 所示。2009 年哈里伯顿公司推出了一款元素俘获谱测井仪器 GEM<sup>[22]</sup>,同样采用了管径在探头位置较大,中子源位置较小的管式结构。模型中使用 D-T 中子源,位于屏蔽体下方,中子源为半径 16 mm 的面源,脉冲宽度为 40 μs;不锈钢外壳上段尺寸为 Φ 不锈钢外壳上段尺寸为 Φ127 mm×700 mm,下段为 Φ 90 mm×450mm,上下段轴心距离 18.5mm,外壳厚度 2mm;

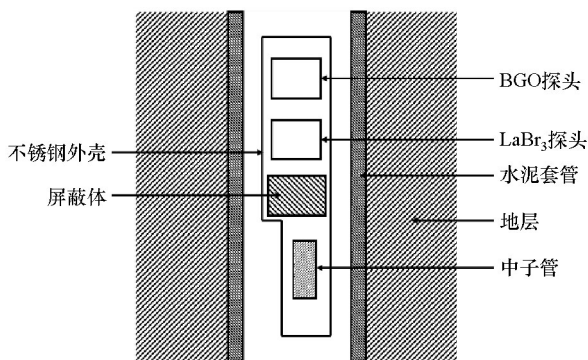


图 1 测井系统几何形状示意

Fig.1 Geometric diagram of logging

水泥套管筒厚度 30 mm。

基于 MCNP 建立的伽马探头如图 2 所示,由探测器晶体、MgO 反射层、SiO<sub>2</sub> 光导、Al 包裹层和硼套组成,在模型中,LaBr<sub>3</sub> 与 BGO 探测器探头的几何结构相同。晶体尺寸为 Φ7.62 mm×7.62 mm,反射层厚度为 0.5 mm,Al 壳侧面厚度为 2 mm、正面厚度为 3 mm, SiO<sub>2</sub> 光学玻璃厚度为 2mm。

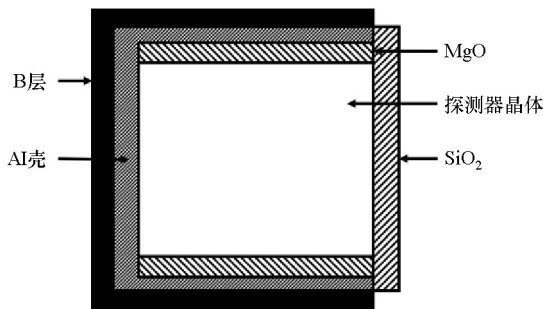


图 2 探头几何结构示意

Fig.2 Geometric diagram of detector

在 MCNP 输入文件中,问题类型卡 (MODE) 设置为中子耦合光子输运 (NP);中子源为脉冲中子源,设置为半径 16 mm 的面源,能量为 14 MeV;在探测器中采用 F8 卡来记录进入 LaBr<sub>3</sub> 和 BGO 晶体内光子的脉冲能量分布。

对于闪烁晶体,组装成探测器之后能略微提高探测器的能量分辨率,但对探测器的探测效率无明显影响。探测器的探测效率仅与晶体本身的性质和体积有关,体积越大探测效率越大。探测器外壳的材料的选择对能谱各个主要峰值的影响较小,对元素能谱的影响可以忽略不计<sup>[11]</sup>。

### 3 屏蔽效果验证

屏蔽体的作用是防止脉冲中子源产生的中子直接进入探测器闪烁体内,对探测器测量的能谱产生

影响,使能谱分辨率下降<sup>[10]</sup>。受测井探管体积与形状的限制,本模型中屏蔽体的直径无法自由变化,所以影响屏蔽体屏蔽效果的因素只有屏蔽体的材料种类和厚度。

3.1 不同材料的屏蔽效果

为验证使用不同材料时的屏蔽效果,系统分别采用石墨、硼砂、钨铁镍合金、铅、铁、铜、聚乙烯共 7 种材料,在屏蔽体尺寸为  $\Phi 120\text{ mm}\times 140\text{ mm}$ ,BGO 探测器在上,LaBr<sub>3</sub> 探测器在下时,系统获得的能谱如图 3 所示。

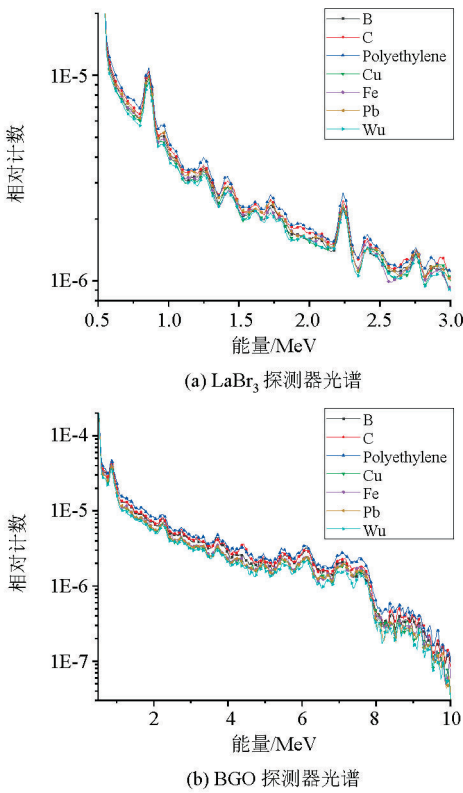


图 3 不同屏蔽材料下的能谱

Fig.3 Gamma energy spectrums with different shielding materials

图 3 中 a、b 分别为 LaBr<sub>3</sub> 和 BGO 探头所获能谱,由于 BGO 探测器距离屏蔽体更近,所以受到屏蔽体材料的影响更大。在屏蔽体厚度相同时,聚乙烯的屏蔽效果最差,钨铁镍合金的屏蔽效果最好。但随着屏蔽体屏蔽效果的提高,热中子数量会逐渐增加,进入闪烁体内的热中子同样会导致能谱分辨率的下降。单纯靠屏蔽体屏蔽中子源存在瓶颈,需要在探测器外层增加一层硼套来屏蔽热中子造成的影响。

3.2 不同厚度的屏蔽效果

屏蔽体确定为钨铁镍合金后,通过改变屏蔽体厚度以验证其屏蔽效果,屏蔽体厚度取值为 0~20

cm。为消除两探测器的相对位置不同造成的影响,将两探测器探头位置互换进行两次模拟,模拟结果如图 4 所示。

图 4 中相对屏蔽效率是以每个探测器各自在屏蔽体厚度为 0 cm 时为基准计算得到的,仅能反应不同屏蔽体厚度对各自屏蔽效果的趋势,两个探测器之间的相对屏蔽效率曲线不能直接进行比较。

从图 4 中可以看出 LaBr<sub>3</sub> 与 BGO 探测器在上时都能在屏蔽体厚度为 14cm 时达到较好的屏蔽效果,下方的探测器即使屏蔽体厚度达到 20 cm 时仍有继续提高的空间,说明此时的屏蔽效果仍不理想。

为了达到更好的屏蔽效果,单纯提高屏蔽体厚度已经不能满足需要,能谱系统管套的尺寸限制也不允许屏蔽体厚度无限增大,所以可以通过改变探测器与中子源的相对位置来达到更好的屏蔽效果。

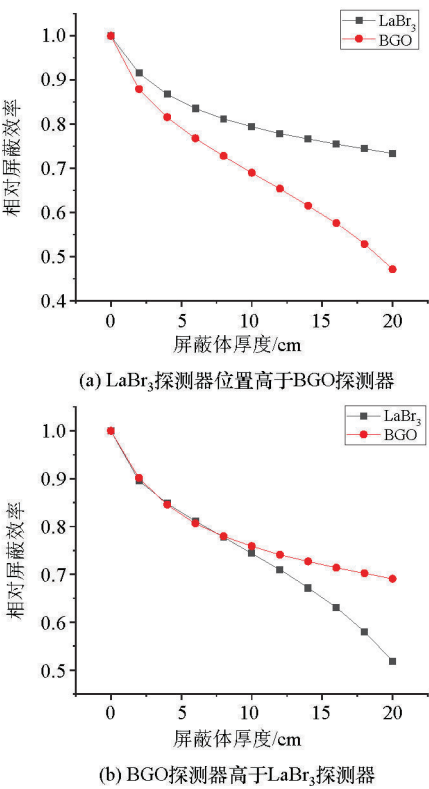


图 4 不同屏蔽体厚度时 BGO 探测器与 LaBr<sub>3</sub> 探测器的相对屏蔽效率

Fig.4 Relative shielding efficiency with different shield thicknesses and positions of the LaBr<sub>3</sub> detector and the BGO detector

4 探测器与中子源相对位置对系统的影响

4.1 探测器位置的影响

为分别验证探测器位置与中子源位置对探测器



的影响,将探测器位置提高,与原位置测得的结果进行对比。考虑到位于上方的探测器距离中子源距离更远,在屏蔽体厚度达到 8 cm 时即可达到较好的屏蔽效果,故只需研究位于下方的 BGO 探测器即可。探测器原位置在外壳上下段分界面上方 30 cm 处,分别对探测器在 35、40、45 cm 处不同位置的情况进行模拟,模拟结果如图 5 所示。

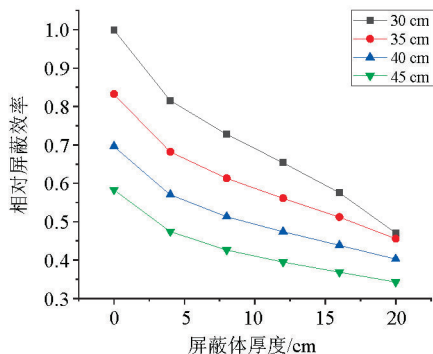


图 5 不同屏蔽体厚度在不同探测器位置的相对屏蔽效率

Fig.5 Relative shielding efficiency with different shield thicknesses in different detector positions

图 5 为以 BGO 探测器在 30 cm 处且屏蔽体厚度为 0 时的能谱为基准,得到相对屏蔽效率的变化图。可看出在从 35 cm 处开始,14 cm 以上的屏蔽体厚度的继续增加对快中子的屏蔽效果提升开始降低,考虑探测器尺寸和屏蔽体厚度等因素,可以取探测器在外壳上下段分界面上方 35 cm 左右和 16 cm 厚度的钨镍铁合金屏蔽体。

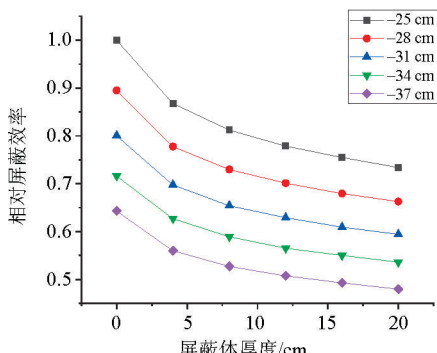
## 4.2 中子源位置的影响

中子源位置不同,也能在一定程度上影响到进入探测器探头灵敏体积内的快中子和热中子数量,从而影响伽马能谱的测量。由于中子管发射的中子直接进入探测器晶体内会与晶体内的核素发生非弹性散射和辐射俘获,产生与地层无关的伽马射线,影响探测器记录的非弹性散射能谱和伽马俘获能谱,降低探测器的分辨率,所以要在中子管与探头之间设置一层屏蔽体,以防止快中子直接进入探测器晶体。若将中子管置于两个探头之间,则需要在中子管两端即中子管与两个探头之间的空间内设置两个屏蔽体,将会占用更多的空间并增加探测器的重量,同时考虑到为了尽可能降低快中子对探测器中电子元件的影响,所以选择将中子管安置在探测器的末端。

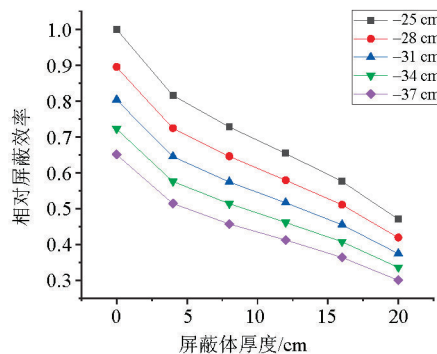
为验证中子源位置对屏蔽效果的影响,将中子源位置改变,中子源原位置在上下段分界面下方 25 cm 处,现对中子源在分界面下方 28、31、34 和 37 cm

处位置不同情况进行模拟,模拟结果如图 6 所示。

图 6 可看出,对于 BGO 探测器,即使中子源下移至-37 cm 处,20 cm 以内的屏蔽体的屏蔽效果仍不理想,可以看出中子源相对位置为-37 cm 时屏蔽体厚度从 12 cm 增加到 20 cm 时相对屏蔽效率仍有较大的提高,说明此时的屏蔽效果仍不理想。与上移探测器相比,下移中子源的方案不够理想,提升不明显。



(a) LaBr<sub>3</sub>探测器



(b) BGO探测器

图 6 不同屏蔽体厚度在不同中子源位置的相对屏蔽效率

Fig.6 Relative shielding efficiency with different shield thicknesses and neutron source positions

## 5 硼层对系统的影响

与脉冲中子类似,在地层和屏蔽体中经过慢化后的热中子也会进入探测器晶体对能谱产生影响,使能谱能量分辨率降低。为消除这种影响,可以在探测器外增加硼层,以吸收热中子,防止热中子进入晶体。同时,硼会俘获热中子,放出 478 KeV 的伽马射线,可以利用此射线作为探测器的稳谱源,提高探测器的稳定性<sup>[23]</sup>。在模型中对 0~1 cm 的硼层分别进行了模拟,模拟结果能谱图如图 7 所示。

从图 7 可知,有硼层时的能谱与无硼层的能谱有明显的变化,在 0.478 MeV 位置出现了硼的热中子俘获峰。随着硼层厚度的增加能谱也会逐渐变

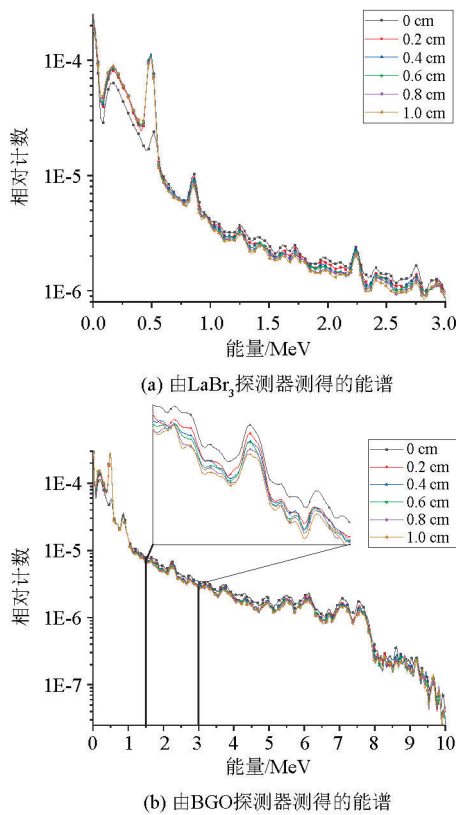


图 7 不同硼层厚度下的能谱比较

Fig.7 Gamma energy spectrums with different boron layer thickness

化,但变化幅度较小,可以近似认为此时硼层对热中子的屏蔽效果趋近于饱和,继续增加硼层厚度对能谱的影响不大,能谱中各个峰也无明显变化。在使用硼单质的情况下 0.2 cm 的硼层即可达到较好的热中子屏蔽效果,考虑到实际使用时的易用性,可以采用掺杂硼砂的橡胶套来代替模型中硼层的作用,适当增加橡胶套的厚度或掺杂浓度即可达到与增加硼层厚度相同的效果。

6 结论

由于测井直径限制,探测器采用管式结构,为节省空间、减轻探测器重量并尽量减少快中子对探测器上段电路的影响,将中子管设置在探测器末端。中子管与探头之间屏蔽体材料使用钨铁镍合金效果最好,考虑到探测器外壳尺寸和探测器探头尺寸的限制,可以选用 16 cm 厚度的钨铁镍合金屏蔽体。位于下方的探头位置选择在探测器外壳上下段分界面以上 35 cm 处,此时双探头受到脉冲中子源的影响都较小。对于由硼单质构成的硼层,当硼层厚度达到 2 mm 时即可取得较好的热中子屏蔽效果,实际仪器中可以选择掺杂硼砂的橡胶外套,也可以获

得类似的效果。同时,硼的俘获伽马射线可以作为稳谱源,提高其稳定性。

参考文献 (References):

[1] 付锦, 赵宁博, 裴承凯, 等. 中国铀、钍、钾元素地球化学场特征及与铀矿化关系[J]. 物探与化探, 2014, 38(2): 200-204.  
Fu J, Zhao N B, Pei C K, et al. Geochemical characteristics of uranium, thorium and potassium anomalies in china in relation to uranium mineralization [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(2): 200-204.

[2] 胡守玉. 诸广山岩体铀成矿航空伽马能谱特征及找矿预测[J]. 西部资源, 2018, 87(6): 164-166.  
Hu S Y. Characteristics of airborne gamma-ray spectrum of uranium mineralization at Zhuguang mountain in prospecting and prediction [J]. Western Resources, 2018, 87(6): 164-166.

[3] 李继安. 钍归一化在盆地  $\gamma$  能谱资料处理中的应用[J]. 世界核地质科学, 2007, 24(3): 178-181.  
Li J A. Application on Th normalization for basin gamma spectrometry data processing [J]. World Nuclear Geoscience, 2007, 24(3): 178-181.

[4] 吴永鹏, 汤彬, 程建平, 等. 利用 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 伽马谱仪直接测定铀矿体中铀含量的方法[J]. 物探与化探, 2012, 36(3): 414-417.  
Wu Y P, Tang B, Cheng J P, et al. The application of LaBr<sub>3</sub>(Ce) gamma radiation scintillation spectrometer to direct determination of uranium content of uranium ore bodies [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(3): 414-417.

[5] 王卫华. 地层自然伽马射线能量峰的识别[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2007.  
Wang W H. The identification of energy peaks in gamma-ray spectrum of formations [D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2007.

[6] 王卫华. 利用标准峰函数方法识别地层自然伽马射线能量峰[J]. 石油管材与仪器, 2007, 21(1): 77-79.  
Wang W H. Identifying the energy peaks in formation gamma-ray spectrum with the reference peakfunction [J]. Petroleum Instruments, 2007, 21(1): 77-79.

[7] 李传伟, 廖琪梅, 李安宗, 等. 自然伽马能谱解谱方法研究[J]. 核电子学与探测技术, 2008, 28(4): 796-800.  
Li C W, Yan Q M, Li A Z, et al. Study on the methods of spectrum skipping for spectrum gamma logging [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2008, 28(4): 796-800.

[8] Favalli A, Mehner H C, Simonelli F. Wide energy range efficiency calibration for a lanthanum bromide scintillation detector [J]. Radiation Measurements, 2008, 43(2): 506-509.

[9] 文万信, 靳根明. BGO 高能  $\gamma$  探测器性能测定与效率模拟[J]. 高能物理与核物理, 2002, 26(11): 1178-1183.  
Wan W X, Qi G M. Numerical Simulations on Efficiency and Measurement of Capabilities of BGO Detectors for High Energy  $\gamma$  Ray [J]. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2002, 26(11): 1178-1183.

[10] 吴文圣. 中子  $\gamma$  测井仪的中子屏蔽研究[J]. 核电子学与探测技术, 2004, 24(1): 24-26.

- Wu W S. Neutron shielding study of neutron-photon logging tool [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2004, 24(1): 24–26.
- [11] 严慧娟, 岳爱忠, 赵均, 等. 地层元素测井仪器结构参数的蒙特卡罗数值模拟[J]. 测井技术, 2012, 36(3): 282–285.
- Yan H J, Yue A Z, Zhao J, et al. Monte Carlo numerical simulation of structure parameters in formation elements logging tool [J]. Well Logging Technology, 2012, 36(3): 282–285.
- [12] 朱力, 葛良全, 张庆贤, 等. MC 法模拟地层元素测井仪优化中子屏蔽体[J]. 核电子学与探测技术, 2016, 36(9).
- Zhu L, Ge L Q, Zhang Q X, et al. The Monte Carlo simulation optimizes of formation elements logging instrument neutron shielding [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2016, 36(9).
- [13] 张罡. 地层元素测井伽马能谱数值模拟[D]. 成都: 成都理工大学, 2018.
- Zhang G. Formation element logging gamma spectra numerical simulation [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2018.
- [14] 谢希成, 赖万昌, 赵祖龙, 等.  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  与  $\text{NaI}(\text{Tl})$  闪烁探测器的性能研究与比较[J]. 核电子学与探测技术, 2014(7): 917–920.
- Xie X C, Lai W C, Zhao Z L, et al. Test and comparison of lanthanum bromide and sodium iodide detector [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2014(7): 917–920.
- [15] 董兰屏, 庞巨丰. 自然伽马能谱测井原理及其应用[J]. 计量与测试技术, 2009, 36(9): 50–51.
- Dong L P, Pang J F. The Principle and Application of Natural Gamma Ray Spectrometry Logging [J]. Metrology & Measurement Technique, 2009, 36(9): 50–51.
- [16] 任爱阁. 自然伽马能谱测井谱解析方法研究[D]. 山东: 中国石油大学(华东), 2007.
- Ren A G. The study of spectral analysis of natural gamma ray spectrlog[D]. Shandong: China University of Petroleum, 2007.
- [17] 孟繁良. 中子俘获伽马能谱处理方法及其在元素俘获测井中的初步应用[D]. 兰州: 兰州大学, 2015.
- Meng F L. Neutron capture gamma ray spectrum processing method and preliminary application in elemental capture logging [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2015.
- [18] 郑华, 孙亮, 梁庆宝, 等. PNST-E 脉冲中子地层元素测井技术研究[J]. 测井技术, 2015, 39(4): 395–404, 421.
- Zheng H, Sun L, Liang Q B, et al. On formation element logging with the PNST-E pulsed neutron spectroscopy tool [J]. Well Logging Technology, 2015, 39(4): 395–404, 421.
- [19] 喻益明. 地层元素测井解释方法研究[J]. 同位素, 2017, 30(3): 187–193.
- Yu Y M. The study of formation elements logging interpretation method [J]. Journal of Isotopes, 2017, 30(3): 187–193.
- [20] 程华国, 袁祖贵. 用地层元素测井(ECS)资料评价复杂地层岩性变化[J]. 核电子学与探测技术, 2005, 25(3): 233–238.
- Cheng H G, Yuan Z G. Evaluation of formation lithology changes using elemental capture spectroscopy (ECS) logging [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2005, 25(3): 233–238.
- [21] 吴文圣, 张立娟. 核辐射测井全能谱分析方法综述[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(4): 1423–1430.
- Wu W S, Zhang L J. The summarization for full spectrum analysis methods of radioactive logging [J]. Progress in Geophysics, 2011, 26(4): 1423–1430.
- [22] Galford J E, Quirein J A, Shannon S, et al. Field test results of a new neutron induced gamma ray spectroscopy geochemical logging tool [C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2009.
- [23] 李娟, 陈通, 陈绪龙. 宽能域中子伽马能谱测井技术及其应用[J]. 油气藏评价与开发, 2014(4): 34–38.
- Li J, Chen T, Chen X L. Wide field neutron-gamma spectrum logging and its application [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2014(4): 34–38.

## A study of structural optimization design of the wide-energy range gamma spectra logging system

LI Zhuo-Dai<sup>1,2</sup>, ZHANG Huai-Qiang<sup>1,2</sup>, LU Wei-Huang<sup>2</sup>, LIU Jin-Yang<sup>2</sup>, YAN Miao-Miao<sup>2</sup>

(1. Fundamental Science on Radioactive Geology and Exploration Technology Laboratory, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 2. School of Nuclear Science and Engineering, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** The gamma spectrometry logging is widely used in survey of radioactive, metallic and non-metallic deposits and stratigraphic correlation. In order to obtain a wider energy range of gamma spectra, the authors designed the wide-energy spectra logging system with the combination of  $\text{LaBr}_3$  and BGO detectors. To determine the optimal selection principle of the wide-energy range gamma spectra logging system, the authors built a model of wide-energy spectra logging system on MCNP to simulate the measured gamma spectrum. The simulation shows that the best effect is achieved when the shield is made of tungsten-iron-nickel alloy. When the shield thickness reaches 14 cm, simulation shows better shielding effect for the distal detector. The effect for the proximal detector is close to the distal one when its relative position is 35 cm or more. The effect of changing the position of the neutron source on the thermal neutron shielding is limited. As a thermal neutron shield, boron could achieve obvious shielding effect with 0.2cm layer. The effect of fast neutron can be reduced by increasing shield thickness and the distance between the proximal detector and the shield.

**Key words:** Gamma Ray Spectrometry Log; multiprobe logging; Monte Carlo Method; numerical simulation (本文编辑:王萌)