

小直径伽马能谱测井仪探头温度特性研究^{*}叶显诗¹ 李会银¹ 徐德龙² 严语鸣¹

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院 青岛 266555; 2. 中国科学院声学研究所 北京 100101)

摘要: 小直径自然伽马能谱测井仪器研制中,伽马探测器的尺寸及其温度特性是直接影响测井质量的重要因素。在实验室中,测量了小直径自然伽马能谱探测器本底环境下不同温度环境中的能谱响应,对比在不同温度下所采集到的能谱的变化情况,以及该温度下仪器的高压稳谱效果,发现测井仪在环境温度低于150℃的条件下,采集得到能谱中的总计数率和K元素特征峰道址变化较为平缓;同时探头分辨率能够在不超过125℃的情况下保持较高水平,能够得出了仪器适用的工作温度范围为125℃以内。

关键词: 自然伽马能谱测井仪; NaI(Tl)晶体; 伽马能谱; 分辨率; 脉冲幅度分析

中图分类号: TL814 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 490.25

Research on the temperature character of the detector of small-diameter natural gamma ray spectrum logging tool

Ye Xianshi¹ Li Huiyin¹ Xu Delong² Yan Yuming¹

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum (huadong), Qingdao 266555, China;

2. The Institute of Acoustics of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The size and temperature character of the gamma ray detector are primary factors which influence the quality of well logging directly in developing small-diameter natural gamma ray spectrum logging tool. The spectrum response of the detector is measured at various temperatures in natural radioactive background. By comparing the changes of gamma ray spectrum and the character of the logging tool's spectrum stabilization by high-voltage at different temperatures, it is able to obtain that, the total rate and the address of element K's characteristic peak in gamma ray spectrum changes slowly when the environment temperature is below 150 degree centigrade. And under 125 degree centigrade, the resolution of detector works in high condition. So it is said the tool's best working temperature is below 125 degree centigrade.

Keywords: natural gamma ray spectrum logging tool; NaI(Tl) crystal; gamma ray spectrum; resolution; analysis of pulse height

1 引言

自然伽马能谱测井作为一项成熟的测井技术广泛应用于储层划分、确定岩性及物性、测定泥质含量等多个方面^[1]。传统的大直径伽马能谱测井仪器已有成熟的产品,大量应用于油田勘探生产。近年来,随着油气勘探开发的不断深入、新的应用领域的不同需求,如地矿领域的应用需求,小直径自然伽马能谱测井仪器研究成为地质勘探工作的迫切需要。

自然伽马射线的探测效率和能量分辨率是自然伽马能谱测井的两个重要参数,这两个主要参数都与伽马射线探

测器的性能密切相关。因此,在研制小直径自然伽马能谱测井仪的过程中,要求仪器直径缩小的同时需要尽可能地保证探测器的体积,所以必须放弃传统自然伽马能谱仪器在承压外壳内加装保温瓶的设计。由于井下的高温环境将对仪器的测量产生较大的影响,在仪器设计时需要充分考虑环境温度对于测井仪器,特别是伽马射线探测器的影响,对仪器进行及时的校正,从而使仪器能够在不同的温度环境下稳定工作。

2 探测器晶体的选择

针对仪器研制需要,目前较为适合作为伽马射线探测

器的晶体有 NaI(Tl)、CsI(Tl) 和 LaBr₃。这 3 种晶体具有不同的特点。

LaBr₃ 晶体的特征是探测效率高、分辨率高。缺点是由于其中的元素镧(La)本身具有放射性,能够放出电子能量主要位于 0.789 MeV 和 1.436 MeV 的伽马射线^[2]。而自然伽马能谱仪器主要探测的是自然地层中存在的铀(U)、钍(Th)和钾(K)等元素,其中钾元素产生的伽马射线能量集中在 1.46 MeV。两种能量接近的伽马射线在实际测量中很难进行分离,因此自然伽马能谱测井仪不能采用 LaBr₃ 晶体。

NaI(Tl) 和 CsI(Tl) 两种晶体是自然伽马能谱测井常用的两种晶体。NaI(Tl) 晶体相对与 CsI(Tl) 晶体有着相对较高的光输出,在环境温度较高的场合适用性强,在高温时具有更高的发光强度,这与所设计仪器的实际需求相接近^[3]。所以最终在仪器上选用热锻的 NaI(Tl) 晶体,这是以一种由 NaI 为基质材料掺以适当浓度的 Tl(I) 生长而成的闪烁晶体材料为毛胚,在一定温度和压力下通过塑性形变而成的。晶体在发生塑性形变后,其抗冷热冲击和机械震动能力得到了提高,而闪烁性能不受影响。

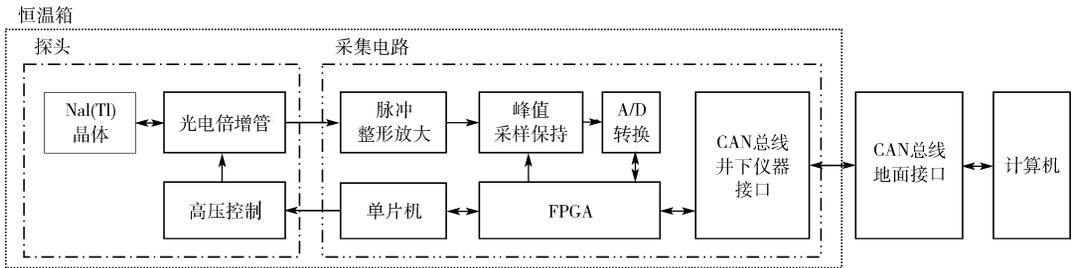


图1 实验系统组成示意

探头和采集电路被放置于恒温箱中,通过调节恒温箱的内部温度来模拟井下高温环境。当探头所处的环境温度发生改变时,观察采集到的自然伽马能谱变化情况,同时调节探头高压增益,将 K 元素的特征峰进行归位。从而得出温度对于探头探测效果的影响和探头在高温下的工作情况。

3.2 探测器温度特性实验及结果分析

研究探头的温度特性,主要是观察在不同温度环境下探头的能量分辨率、探测效率以及探头输出脉冲幅度的变化情况。在本次实验中,通过分析采集到的伽马能谱,研究晶体探头的温度特性。

软件设定的采样间隔约为 1 s,由于单次采样所得到的伽马光子数量较少,为了研究其统计规律,需要将每次采集的数据进行累加,得到如图 2 所示的伽马能谱,累加后的总计数率则反映了探头的探测效率。伽马能谱的横坐标被平均分为从 0~255 共 256 道,分别对应能量范围从 0~3.55 MeV 的伽马射线,纵坐标表示计数率,其范围可

3 NaI(Tl) 晶体伽马射线探测器的温度特性实验

3.1 实验系统设计

NaI(Tl) 晶体伽马射线探测器实验系统如图 1 所示。实验系统包括晶体探测器、采集电路、通信接口和计算机 4 个部分。其中晶体探测器由 NaI(Tl) 晶体、光电倍增管和高压控制电路组成。伽马射线进入闪烁体后与闪烁体中的原子、分子及晶体系统发生相互作用产生次级电子,次级电子激发闪烁体发出光子射向光电倍增管的光阴极。由于光电效应,在光阴极上打出光电子,每个光电子在光电倍增管的打拿极上打出多个电子,经过多级倍增,最后有大量电子射向管子阳极,转变为电脉冲信号输出^[4]。采集电路将探头传来的脉冲信号通过整形放大、峰值采样保持和 A/D 转换,将脉冲信号转变为数字信号输入 FPGA 和单片机中,并由 FPGA 和单片机进行甄别计数后上传^[5]。采集电路和计算机之间通过 CAN 通信总线连接^[6],计算机接收采集电路上传的数据,采用伽马能谱的形式显示。同时计算机也向下发送控制命令,使用 FPGA 和单片机调节采样峰值幅度、A/D 转换速率以及通过高压控制电路调节光电倍增管的增益。

以通过软件动态调节或根据需要手动设置。在实验室中自然放射性本底环境下,主要观察能量为 1.46 MeV 的 K 元素所放出的伽马射线,在常温环境下,经过调节后的特征峰大约位于第 105 道。特征峰的形状,即特征峰的宽窄程度,反映了探头的能量分辨率高低。通常特征峰越窄,探头的能量分辨率越高^[7]。在能谱中特征峰的位置同时能够反映探头输出脉冲幅度的高低,当温度改变时,如果特征峰的位置发生了移动,就可以认为探头输出脉冲幅度随着温度的改变而产生了变化^[8]。

实验中一共选取了 50℃、75℃、100℃、125℃、150℃ 和 175℃ 6 个温度点,并在每个温度点取达到温度、达到温度并保持恒温工作 30 min 和达到温度并保持恒温工作 1 h 3 个时间点,合计 18 个测试点。由于伽马能谱测量本身存在一定量的统计起伏,在每个测试点均进行多次重复测量并取平均值作为测量结果如图 3、4 所示。

资料指出,NaI(Tl) 晶体本身具有 $-0.3\% \text{C}^{-1}$ 的光输出温度因子,即温度每升高 1°,NaI(Tl) 晶体的光输出强度

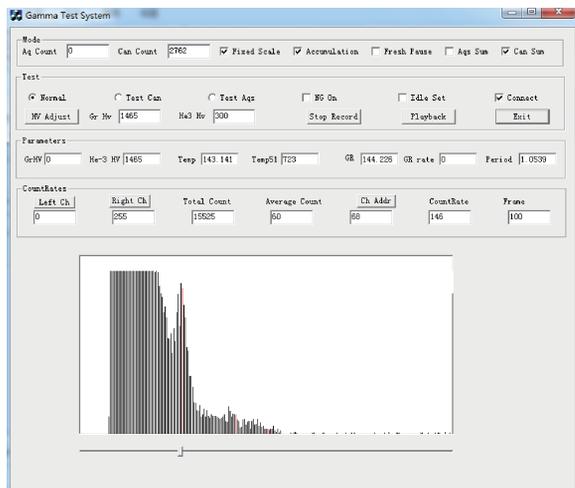


图 2 常温下的伽马能谱测量结果

而向低能端移动,在 150 ℃ 以内,可以认为 K 元素特征峰的道址和温度呈单调递减关系,且在相邻的温度点之间移动的距离差较为接近。在保持恒温过程中,随着工作时间的延长 K 元素特征峰的道址仍然会向低能端有一定的移动,之后逐渐趋于稳定。

3)当温度超过 150 ℃ 时,探头的计数率和 K 元素特征峰的道址较开始急剧下降,当温度达到 175 ℃ 时,较 150 ℃ 时的降幅高达近 50%。所以探头较适合在 150 ℃ 的范围内工作。

3.3 高压稳谱效果

现场实际测井时,仪器随温度发生谱峰漂移时,必须通过调整光电倍增管的高压,使谱峰回到正确的位置^[10]。实验室中,每当温度达到一个测试点时,同时调节探头高压的增益,使伽马能谱中 K 元素特征峰的道址恢复到正常位置,即常温下 K 元素特征峰的道址(105 道)^[11]。对比增益调节前后以及常温状态下的伽马能谱,研究探头在不同温度下的工作状态,如图 5~8 所示。

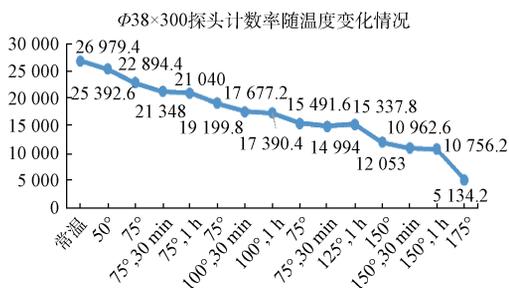


图 3 晶体探头计数率随温度变化情况

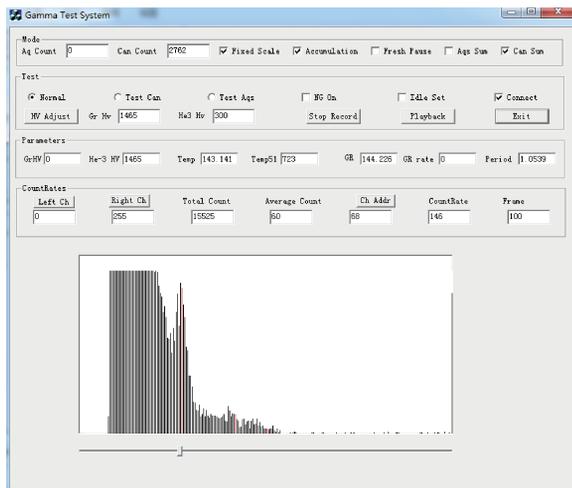


图 5 温度 125 ℃ 时的伽马能谱

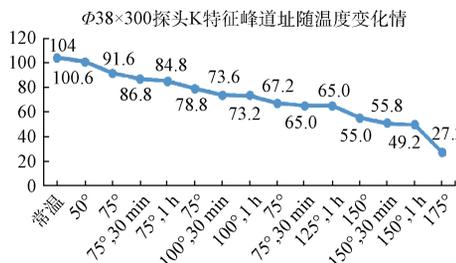


图 4 伽马能谱 K 特征峰道址随温度变化情况

将降低 0.3%,光电倍增管的输出脉冲幅度与温度之间为单调递减的关系,即随着温度的升高,光电倍增管的输出脉冲幅度降低^[9]。从实验中可明显观察到,当温度逐渐升高,晶体探头的计数率随之下降,同时伽马能谱中 K 元素特征峰的道址向低能端移动,与资料所给出的结果基本一致。对实验数据进行统计的结果如图 3 和图 4 所示,分析得到:

1)探头的计数率随着温度的升高而降低,在 150 ℃ 以内,可以认为计数率和温度呈单调递减关系,且相邻的温度点之间下降幅度差距较小。在保持恒温过程中,随着工作时间的延长计数率开始时有一定的下降,之后逐渐趋于稳定。

2)伽马能谱中 K 元素特征峰的道址随着温度的升高

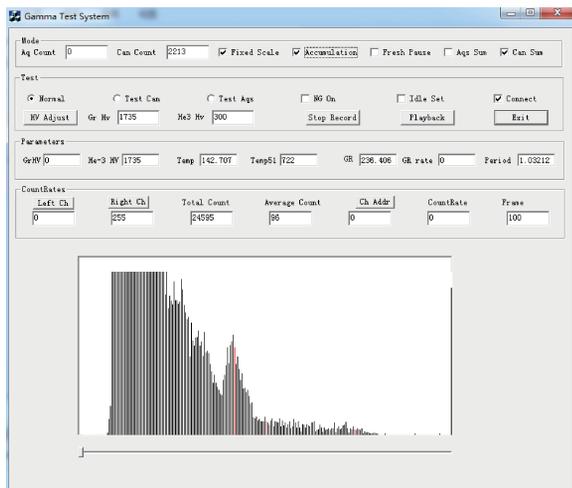


图 6 温度 125 ℃ 时经过增益调节后采集的伽马能谱

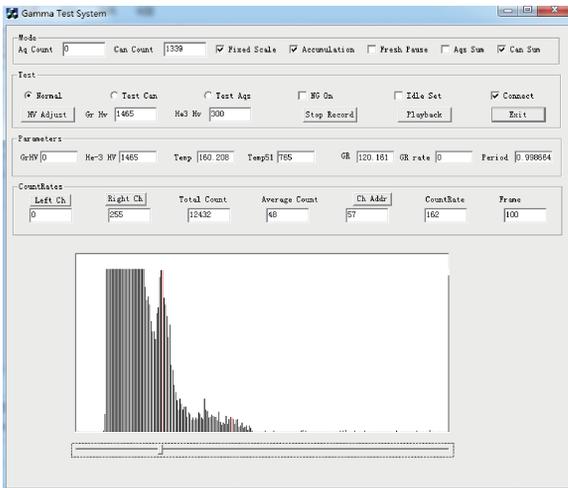


图7 温度为150℃时的伽马能谱

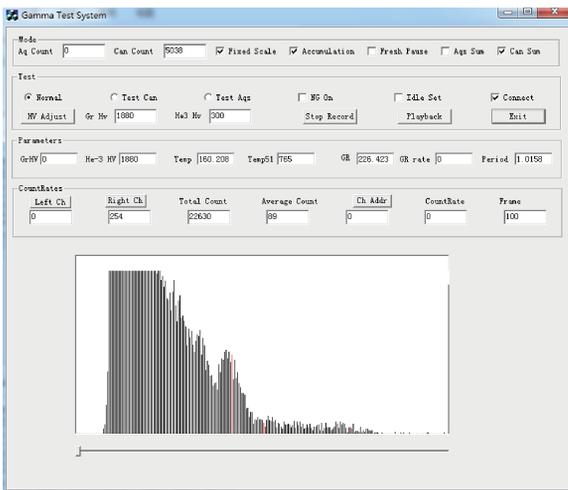


图8 温度150℃时经过增益调节后采集的伽马能谱

当温度达到125℃时,通过对晶体探头高压增益的调节,使K特征峰的道址恢复到105道,得到如图6所示的伽马能谱。对比图5和图6的能谱可以发现,提高探头高压增益之后,计数率有了很大的提高,K特征峰的道址也能够比较准确地恢复。将图6和图2进行对比,能够发现在高温下增益调节后的伽马能谱和常温下的伽马能谱虽然在K元素特征峰的位置上能够达到一致,但在总计计数率上有一定的下降。同时高温下的特征峰宽度更宽,分辨率相对于常温下较低。

当温度上升到150℃时,再次调节探头高压,得到如图8所示的伽马能谱。与图7进行对比,计数率有了很大的提高,K特征峰依旧能够归位。但通过与图2和图6的对比可以发现,探头计数率随着温度的升高进一步降低,特征峰明显变宽,探头的分辨率有了较大的下降。

实验表明,在125℃以下,可以通过调整光电倍增管高压实现稳谱,同时保证其他测量指标正常。

4 结 论

通过对NaI(Tl)晶体伽马射线探测器进行温度实验,采集在不同环境温度下的自然伽马能谱并进行统计和对比,能够总结出如下的结论:

1)NaI(Tl)晶体伽马射线探测器的计数率与输出脉冲幅度在不同温度条件下存在较大的变化范围。在环境温度从常温25℃~150℃的范围内,计数率与输出脉冲幅度和温度之间为单调递减关系,即随着温度的升高,计数率与输出脉冲幅度同时降低,同时相邻温度点之间的差值相差不大。当温度超过150℃后,计数率与输出脉冲幅度随着温度的增高急剧下降。

2)NaI(Tl)晶体伽马射线探测器的能量分辨率在一定范围内(25℃~125℃)随着温度的升高而降低,但变化幅度较小。当温度超过125℃以后,探测效率、分辨率随着温度的升高将发生较大的变化,严重影响测量结果的精度。

3)通过上述的分析可以得到,为了NaI(Tl)晶体伽马射线探测器能够稳定工作,同时保证较好的测井数据质量,NaI(Tl)晶体伽马射线探测器需要工作与125℃以下的环境温度中。

参考文献

- [1] 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):50-53.
- [2] 谢希成,赖万昌,赵祖龙,等. LaBr₃(Ce)与NaI(Tl)闪烁探测器的性能研究与比较[J]. 核电子学与探测技术,2014,34(7):917-920.
- [3] 赵景泰,王红,金滕滕,等. 闪烁晶体材料的研究进展[J]. 中国材料进展,2010,29(10):40-48.
- [4] 李帮军. 碘化钠NaI(Tl)单晶闪烁探测器的应用[J]. 光谱实验室,2010,27(2):777-779.
- [5] 曾晓峰,周齐志. 基于FPGA的自然伽马能谱测井仪的研制[J]. 内蒙古石油化工,2013(14):26-27.
- [6] 党瑞荣,潘海洋,宋楠,等. 基于CAN总线技术的测井数据传输系统设计[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2011,26(6):93-96.
- [7] 何铁,安力,陈渊,等. 大体积NaI(Tl)探测器性能研究[J]. 核电子学与探测技术,2011,31(2):196-199.
- [8] 李敏,蔡晓波,程静. 核测井中NaI(Tl)闪烁探测器性能探讨[J]. 舰船催化,2009(2):29-32.
- [9] 张鹏达,李北城,潘志魁,等. 温度稳定的闪烁探测装置[J]. 自动化技术与应用,2009,28(11):101-103.
- [10] 张健雄,张进,姚洪略. 一种便携式天然伽马能谱测量仪及其稳谱原理[J]. 核技术,2005,28(8):637-640.
- [11] 孙攀峰,刘荣辉,董旭峰. 一种用于GR仪器PMT的高压电源设计[J]. 国外电子测量技术,2011,30(2):61-63.

作者简介

叶显诗,1990年出生,硕士研究生,主要研究方向为测井仪器研发。

E-mail:yexianshi@163.com