

doi: 10.11720/wtyht.2019.1104
邓德伟,杨波,杨玉勤,等.航放数据处理中出现负值的原因及解决方法[J].物探与化探,2019,43(2):401-407.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1104
Deng D W, Yang B, Yang Y Q, et al. Analysis and solution of negative values in airborne radioactivity data processing[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(2):401-407.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1104

航放数据处理中出现负值的原因及解决方法

邓德伟^{1,2}, 杨波¹, 杨玉勤¹, 吴雪¹, 贾化山¹, 张翔¹, 骆燕¹, 祁程¹

(1.核工业航测遥感中心,河北 石家庄 050002; 2.中核集团 铀资源地球物理勘查技术中心(重点实验室),河北 石家庄 050002)

摘 要:笔者通过对内蒙古阿拉善左旗测区的航放数据处理,总结了出现负值的过程及原因,主要有以下几点:①放射性蜕变具有统计涨落的性质,这一性质对数据修正中产生负值起着重要作用,尤其是在放射性核素含量偏低地区;②铀计数率经过本底和宇宙射线修正后会出现少量的负值,经过大气氦修正后负值数量进一步增加,并在测线两端容易出现高值假异常及连续的负值异常,经过康普顿散射剥离修正后,负值数量大量增加,而高度修正及含量换算则不再产生新的负值,仅改变负值大小。笔者在研究中发现,通过对修正过程产生的负值进行置零处理,能消除由大气氦修正而产生的高值假异常,但却出现连续的零值数据,不符合客观规律,因此提出用归一化法来消除负值,该方法可快速、合理地将负值消除,并能将改动后的值控制在一个较小值的范围内,弥补了目前对负值处理方法的缺失与不足。

关键词:航放测量;数据修正;负值;归一化法

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)02-0401-07

0 引言

航空伽马能谱测量(简称航放测量)是根据天然或人工放射性核素伽马射线能量的差异,来确定地表岩石、土壤和大气中的钾、铀、钍和其他放射性核素含量及其分布的一种方法。因其具有测量效率高、成本低、不受地形等因素限制的优点,在放射性矿产和与放射性核素有关的钾盐、稀有元素矿产、多金属矿产及油气资源等勘查,基础地质研究(圈定火山岩、岩体以及地质构造),环境辐射本底及核应急监测等领域得到了广泛地应用^[1-13]。

航放数据处理是航放测量中的一个重要环节,主要包括前期的数据编辑、中期的数据修正及调平处理、后期的数据统计分析及图件转换制作^[14]。其中在数据修正过程中将不可避免地产生负值,但如何对这些负值进行合理的处理,目前没有较好的方

法,仅在航空伽马能谱测量规范中提到,在某项修正后,如若出现某窗的计数率小于零,查明原因后置零。但该方法在剥离修正后将出现连续的零值数据,不符合客观规律。笔者就处理过程中产生的负值问题进行分析研究,并首次提出了用归一化法来处理负值,经过实际应用效果较好。

1 航放数据处理

航放测量是在空中进行的一种动态测量,观测值是不同测量高度上的混合谱数据^[15],主要响应对象包括:宇宙射线、大气氦、飞机本底(包括仪器、飞机自身本底)、地面放射性核素产生的 γ 射线。最终结果为用 K、U、Th 核素计数率换算成的地面当量含量数据。因此需要对观测值进行一系列的修正来消除由非地面放射性核素产生的计数率,之后进行归一化处理,使之换算到 120 m 高度的测量结果,最

后再计算出天然放射性核素的含量。

1.1 死时间修正

目前新型仪器的死时间很小,一般可以忽略。但在使用老仪器或遇到辐射场高到足以影响测量精度时,应考虑死时间修正。

1.2 滤波

在做数据修正处理时主要会用到雷达高度,气压高度,温度,上测铀,宇宙射线,总道及钾、铀、钍道计数率等数据,需对这些参数进行数字滤波以减少统计噪声或者一些仪器产生的尖峰干扰。比如,对雷达高度数据进行5点低通滤波以平滑突然跳跃,可以避免数据进行高度修正时造成麻烦;对宇宙射线数据应进行10~20点低通滤波可以有效降低统计噪声;上测铀的计数率较低,一般在10以下,所以必须进行大窗口滤波,采用200点低通滤波较为合适。

1.3 有效离地高度的计算

雷达高度经轻度滤波后将其换算成标准温度及标准大气压状态下的的离地高度,并用于高度衰减修正。

1.4 数据修正

数据修正包括飞机本底、宇宙射线、大气氡、康普顿散射和高度衰减修正,各项修正公式见航放测量规范^[17],校正参数来源于仪器标定飞行测量,并在标定证书中给出,其中飞机本底和宇宙射线参数通过高高度测量获得,剥离系数(康普顿散射系数)通过静态测量获得,大气氡影响系数、高度衰减系数通过动态测量获得。在做高度衰减修正的时候,需要注意的是在地形起伏很大的地区,如果飞行高度大于250 m,那么可能会碰到一系列问题,因为统计噪声和本底误差被放大。在这种情况下,通常应求出不同高度段的高度衰减修正系数,如分别求出250 m以下和250 m以上的高度衰减修正系数。

1.5 单位换算

航放数据经过以上一系列修正之后得到的仍然是归一到某一高度上的各核素窗计数率,实际应用还需要换算为实用单位,换算系数为空中灵敏度,通过动态测量获得。不同航测任务的实用单位有所不同,以矿产资源调查为目的的总量单位为Ur、K、U、

Th含量的单位分别为%、 10^{-6} g/g、 10^{-6} g/g。

2 负值出现的原因分析

对仪器工作一切正常的情况下所测得的数据进行数据修正处理后,即使地面或水体核素含量极低,修正换算后的值也应大于零,理论上不应出现负值。笔者以内蒙古阿拉善左旗项目的航放数据为例,共计4.5万测线km、721 227个测量点,因各核素含量换算中出现负值的核素主要为铀,因此仅统计铀核素经各项修正出现的负值的数量、占比及其分布图,来分析负值出现的原因。

2.1 本底和宇宙射线修正对负值的影响

在飞行中会因为一些因素造成测得的计数率比实际低,例如因地形条件造成飞行高度偏高,气流、天气等多种因素使飞机飞行摇摆,造成晶体探测的响应面积减小,从而计数率偏低,另外若遇下雨或下雪天,地面尚有积水或积雪的情况下飞行也会产生相同的效果。这些低于实际计数率的值在后期修正处理中会出现一定数量的负值。

内蒙古阿拉善左旗测区数据经本底和宇宙射线修正后,出现7个负值点,共分布在3个地段,即:飞行高度均保持在110 m左右,原始计数率接近飞机本底值,google影像显示地表有水体存在,这说明在地面核素含量极低的地段,即使飞行高度正常,也可能在本底和宇宙射线修正中出现极少量的负值。

2.2 放射性蜕变性质对负值的影响

放射性蜕变具有统计涨落的性质^[16-17],在同一点进行多次测量时,遵从高斯分布规律,测量值用期望值和标准偏差表示为: $N \pm \sigma_N$,其中: σ_N 为一倍的标准偏差, N 为期望值。

其含义为做同样的测量时,所测得的值将大概率在 $N + \sigma_N$ 和 $N - \sigma_N$ 范围之内出现。各项标定系数是由标定时测量的平均值计算得出,相当于忽略统计涨落的性质而进行计算。例如,在海拔4 200 m获得的高高度校正数据,仪器响应对象为飞机本底和宇宙射线,大气氡和地面核素响应基本为零,对这一数据进行本底和宇宙射线修正后计数率应为零,而实际结果却有一半为负值(见表1)。

表 1 本底及宇宙射线修正前后对比

Table 1 Contrast table of background and cosmic radiation correction

本底及宇宙射线修正	K			U			Th		
	最大值	最小值	负值占比/%	最大值	最小值	负值占比/%	最大值	最小值	负值占比/%
修正前计数率/cps	82	30	0	48	12	0	52	14	0
修正后计数率/cps	18	-20	50	12	-12	52	14	-11	50

万方数据

2.3 大气氡修正对负值的影响

航空数据进行大气氡修正前,需先对上测铀窗进行本底和宇宙射线修正,并进行 200 点低通滤波

再计算出氡本底。由于滤波原因,测线两端的上测铀窗计数率容易失真(见图 1b、图 2b),失真数据在计算氡本底时被进一步放大(见图 1c、图 2c),从而

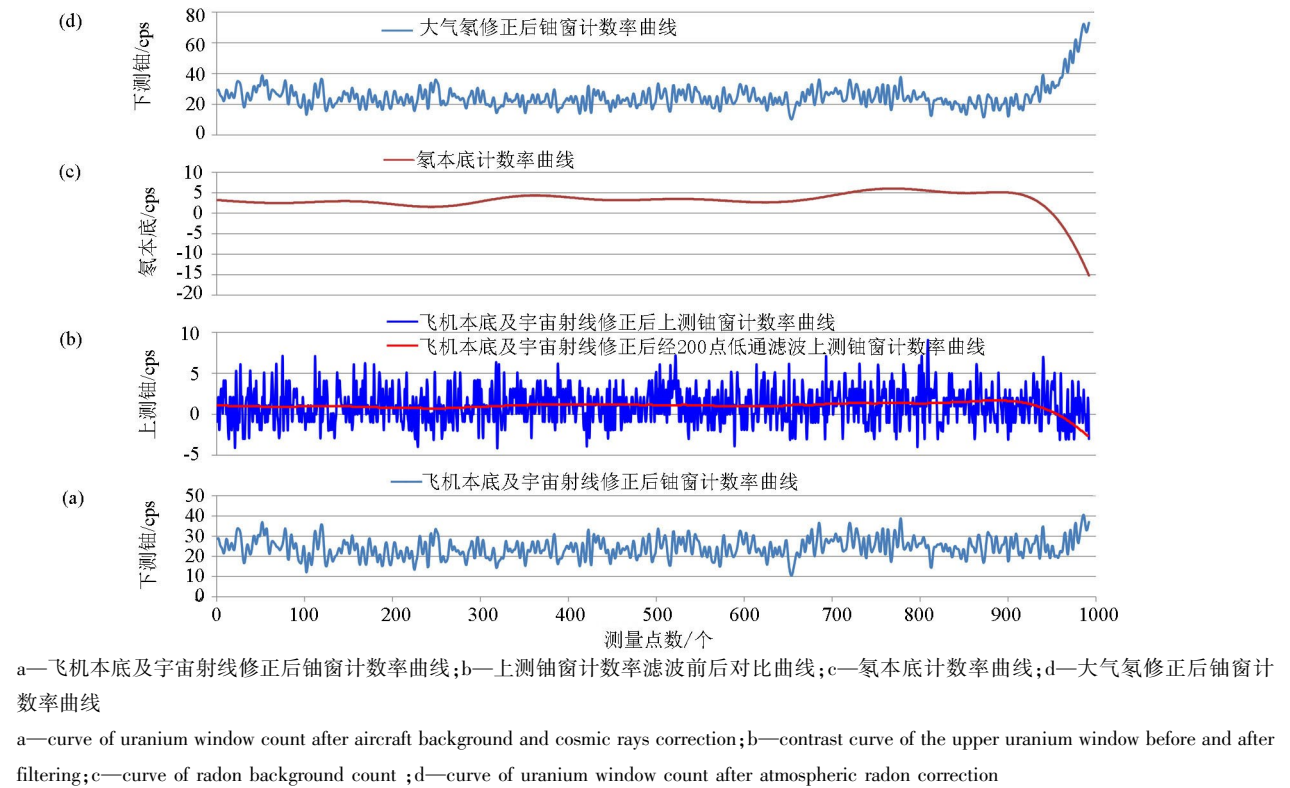


图 1 大气氡修正后的高值假异常曲线

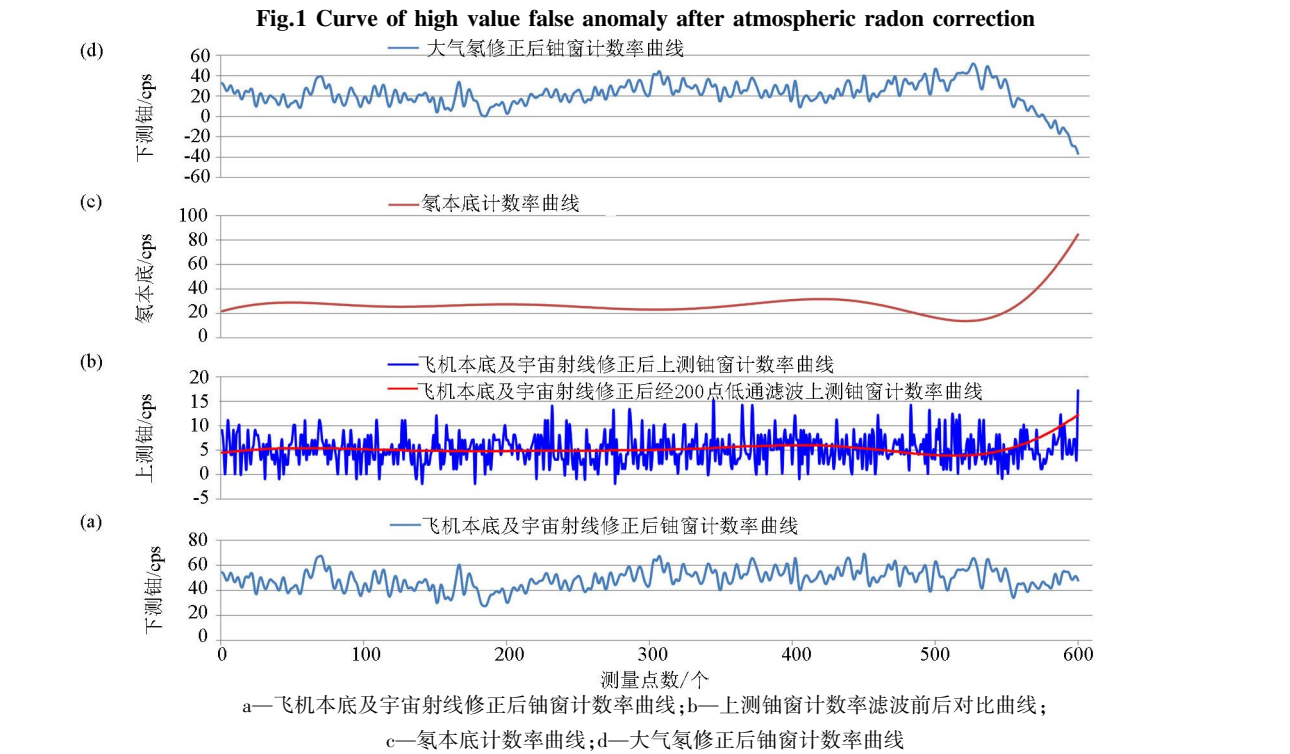


图 2 大气氡修正后的低值负异常曲线

造成铀计数率经大气氡修正后在测线两端出现负值异常或高值假异常的边界效应,如何消除这种效应将在第3节中给出,但钍计数率却无影响,因氡产生的 γ 射线能量远低于钍核素产生的 γ 射线能量,难以在钍窗响应,可不做大气氡修正。从图3中可以看出,连续且密集负值主要分布在测线两端,零散负值主要分布在测区航放低场和偏低场。

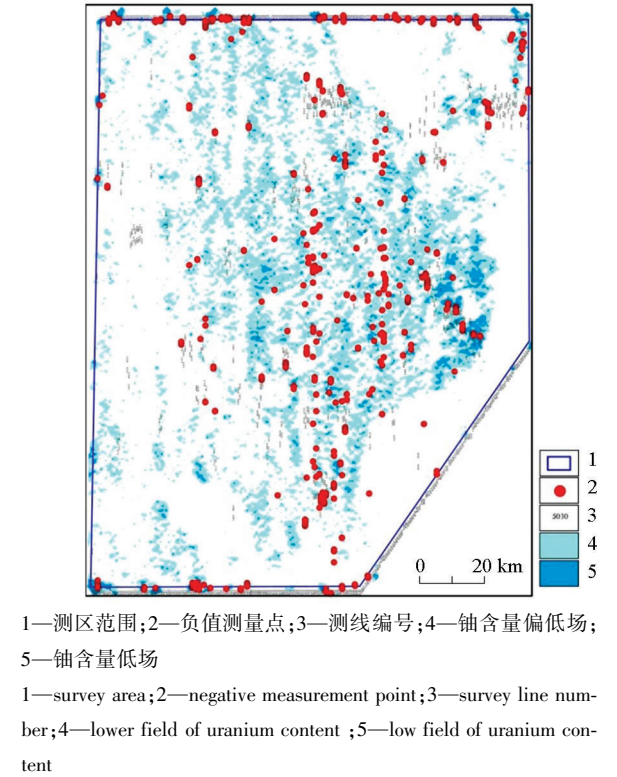


图3 经大气氡修正后的负值分布
Fig.3 Distribution graph of negative distribution after correction of atmospheric radon

2.4 剥离修正对负值的影响

在航放数据处理中,经过飞机本底、宇宙射线和大气氡修正后,理论上只剩地面核素的计数率,再进行康普顿散射剥离修正时,负值数量一般会增加,在地面核素含量偏低的地段更容易产生负值。
内蒙古阿拉善左旗测区经过康普顿散射剥离修正后负值数量从1210个增长到12794个(见表2),增加的负值遍布整个测区(见图4),但在航放低场

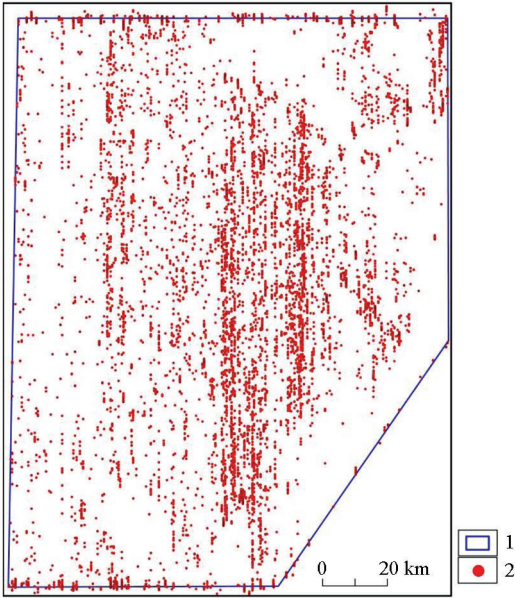


图4 经剥离修正后的负值分布
Fig.4 Distribution graph of negative distribution after correction of peeling

2.5 高度衰减修正和含量换算对负值的影响

高度衰减修正和含量换算后,负值数量不会发生改变,只对负值的大小产生影响。
内蒙古阿拉善左旗测区航放数据处理中,铀窗的负值数量变化情况详见表2。

3 负值的解决方法

经过修正后的航放数据产生了大量的负值,这些负值具有量大、分散、分布规律性不强等特点,那么如何将这此负值合理的消除则是一个难点。
笔者查阅相关规范与技术报告,关于负值的处理在航空伽马能谱测量规范中的规定是:在进行某项修正后,如若出现某窗的计数率小于零的情况,查明原因并将该计数置零^[18]。该方法在大气氡修正过程中可以避免测线两端出现高值假异常,如图5

表2 铀窗经各步修正后的负值统计

	最小值	最大值	平均值	总测点数/个	负值点数/个	负值占比/%
实测计数率/cps	15	220	54	721227	0	0
本底及宇宙射线修正后/cps	-2.9	195.6	30.4	721227	7	0.00
大气氡修正后/cps	-37	198.6	22.6	721227	1210	0.18
剥离修正/cps	-49.8	174.5	13.7	721227	12794	1.77
高度衰减修正/cps	-38.3	129.8	10.6	721227	12794	1.77
地面核数含量换算/ 10^{-6}	-4.4	14.9	1.2	721227	12794	1.77

万方数据

所示,将氡本底的负值置零,再经大气氡修正后的下测铀窗不再出现高值假异常。然而该方法在康普顿散射剥离修正时对负值置零后,直到换算成含量,会

出现大量连续为零的值(见图 6),这和负值一样是不合理的,因此仅对负值进行置零处理不足以将负值合理的消除,需要寻求别的解决方法。

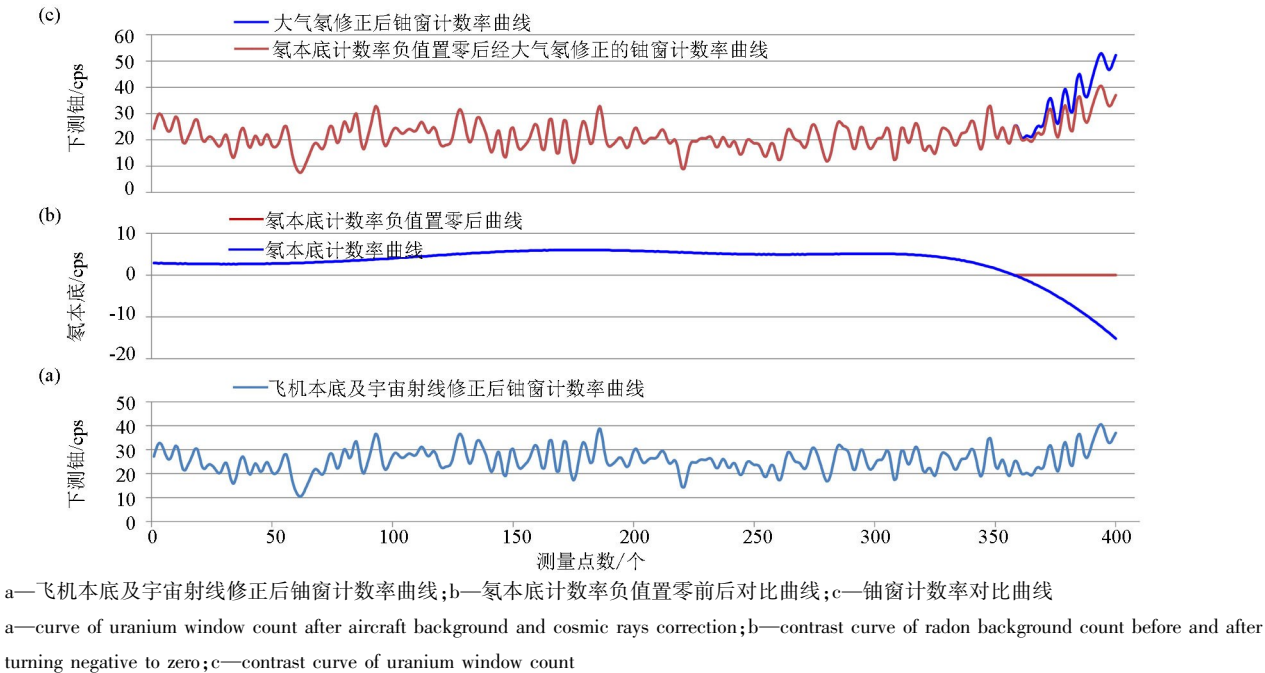


图 5 大气氡修正效果对比曲线

Fig.5 Contrast curve of atmospheric radon correction effect

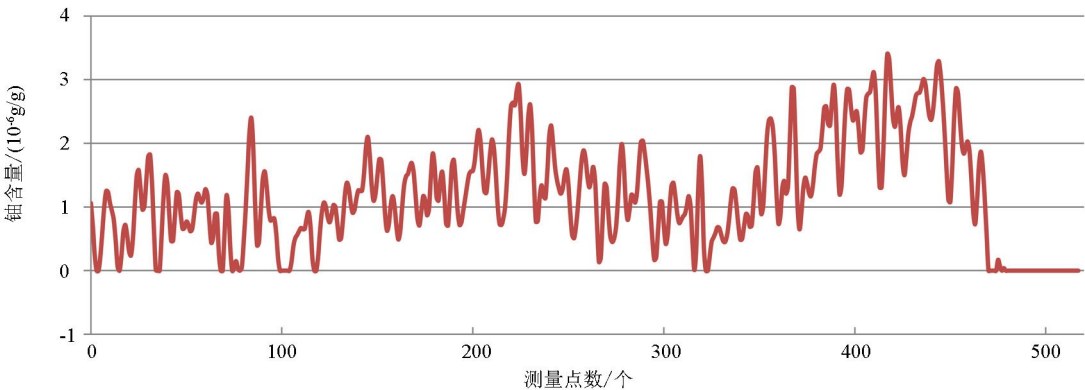


图 6 负值置零值后的铀含量曲线

Fig.6 Curve of uranium content after zeroing negative value

为了消除康普顿散射剥离修正后出现的负值,进行了多种方法的尝试,最后采用归一化法将负值合理的去除。该方法公式如下:

$$B = C * (A + |Z_{min}|) / |Z_{min}|, \quad (1)$$

其中:A 为待处理的负值,B 为经归一化处理后的值,C 为常数,Z_{min}为全测区最小负值。

因航空伽马能谱规范中规定铀核数的分辨率为 1×10⁻⁶ g/g,因此应用该方法时应将 C 值设定在 0~1 之间,避免处理后的负值出现高值。以内蒙古阿拉善左旗测区航放数据为例,该测区铀含量最小值为-4.4(见表 2),将 C 值设为 0.9,负值经过归一化处理后在 0~0.9 区间波动(见图 7),测线末端连续

负值的原曲线形态得以较好的保留,且曲线平滑程度与正值一致,效果明显好于直接置零处理结果。

4 结论

通过对内蒙古阿拉善左旗地区的航放数据处理研究,得出以下 3 条结论:

- 1) 放射性蜕变引起的统计涨落对数据修正中产生负值起着重要作用,尤其是在铀核素含量偏低地区。
- 2) 铀计数率经过本底和宇宙射线修正后会出现少量的负值,经大气氡修正后负值数量进一步增

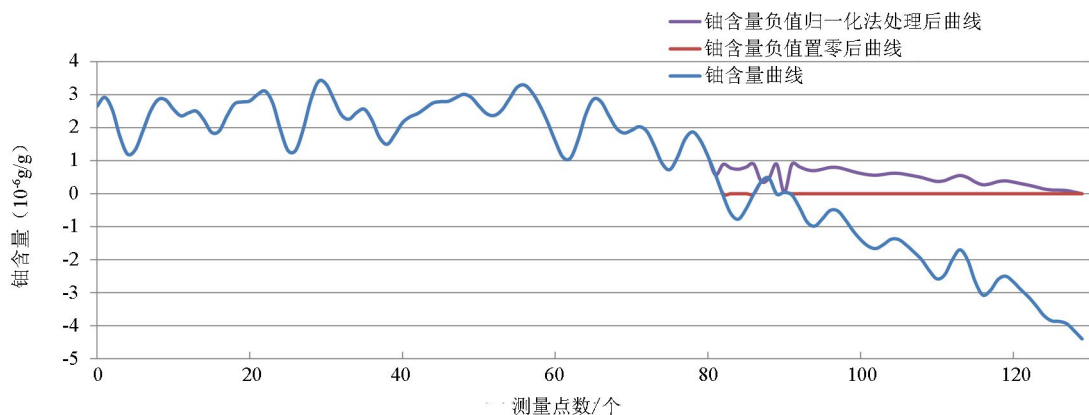


图 7 铀含量曲线对比

Fig.7 Contrast curve of uranium content

加,并在测线两端容易出现高值假异常及连续的负值异常,经过康普顿散射剥离修正后,负值数量大量增加,而高度修正及含量换算则不再产生新的负值,仅改变负值大小。

3) 在修正过程中对氢本底的负值进行置零处理,能消除由大气氢修正而产生的高值假异常,在康普顿散射剥离修正到含量换算这个过程中则不应继续对负值置零,可通过归一化法将铀含量中的负值快速、合理地全面消除,并能将改动后的值控制在一个较小值的范围内,该方法弥补了目前对负值处理方法的缺失与不足。

参考文献 (References):

- [1] 张恩.航测资料在沽源盆地铀矿远景预测中的应用[J].现代矿业,2012,521(9):48-51.
Zhang E. Uranium prospect forecast application of airborne survey data in Guyuan basin [J]. Modern Mining, 2012, 521(9): 48-51.
- [2] 李怀渊,刘宪斌.核技术在油气勘查中的应用研究[J].现代地质,2000,14(2):223-229.
Li H Y, Liu X B. Study and application of nuclear measuring technology to oil and gas field[J]. Geo Science, 2000, 14(2): 223-229.
- [3] 江民忠,谢迎春,石岩.萍乐坳陷西部地区航测遥感油气预测研究[J].地质科技情报,2002,21(4):60-64.
Jiang M Z, Xie Y C, Shi Y. Study on oil and gas forecast with airborne survey and remote sensing data in western Pingle depression area[J]. Geological Science and Technology Information, 2002, 21(4): 60-64.
- [4] 张德华.航放测量发现乌勇布拉克硝酸钾盐矿床[G].地球物理与中国建设——庆祝中国地球物理协会成立 50 周年文集,1997:156-158.
Zhang D H. The foundation of potassium nitrate deposits by airborne gamma ray spectrometry method[G]. Geophysical with China Construction the 50th Anniversary Celebration of the Founding of the Chinese Association of Geophysical Corpus, 1997:156-158.

- [5] 李怀渊,江民忠,韩长青,等.航空物探测量的重大进展和技术创新[J].航测与遥感,2014,83(1):4-6.
Li H Y, Jiang M ZH, Han C Q, et al. The major progress and technical innovation of airborne geophysical survey method [J]. Airborne Survey and Remote Sensing, 2014, 83(1): 4-6.
- [6] 韩长青,李怀渊,陈国胜.我国铀矿勘查物化探技术现状与今后发展方向[J].航测与遥感,2012,79(1):1-2.
Han C Q, Li H Y, Chen G S. The present situation and the development direction of China's uranium exploration geophysical technology in the future [J]. Airborne Survey and Remote Sensing, 2012, 79(1): 1-2.
- [7] 李运拔,赵元洪,童纯涵,等.放射性勘探方法[M].北京:原子能出版社,1978.
Li Y F, Zhao Y H, Tong C H, et al. Radioactive prospecting method[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1978.
- [8] 刘裕华,顾仁康,候振荣.航空放射性测量[J].物探与化探,2002,26(4):250-252.
Liu Y H, Gu R K, Hou Z R. Airborne radioactive survey [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2002, 26(4): 250-252.
- [9] 李怀渊.航空放射性测量在环境检测中的应用[J].物探与化探,2004,8(6):515-517.
Li H Y. The application of airborne radioactivity survey to environmental monitoring [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2004, 28(6): 515-517.
- [10] 倪卫冲,何必胜,高国林,等.三门核电站地区环境辐射本底航空测量调查[J].辐射防护,2016,36(2):104-111.
Ni W C, He B S, Gao G L, et al. Airborne gamma-ray spectrometric survey for investigating the environmental radiation background around Sanmen NPP [J]. Radiation Protection, 2016, 36(2): 104-111.
- [11] 倪卫冲,顾仁康.核应急航空监测方法[J].铀矿地质,2003,19(6):366-373.
Ni W C, Gu R K. Airborne monitoring method of nuclear emergency response [J]. Uranium Geology, 2003, 19(6): 366-373.
- [12] 江民忠,张积运,石岩,等.可地浸砂岩型铀矿床航放弱铀异常研究及其找矿意义[J].铀矿地质,2006,22(1):38-43.
Jiang M Z, Zhang J Y, Shi Y, et al. Study on aero radiometric weak uranium anomaly above insitu leachable sandstone-type uranium deposit and its prospecting significance [J]. Uranium Geology,

2006, 22(1):38-43.

[13] 郑圻森,李兵海,江国元.航测资料二次开发在吐哈盆地寻找可地浸砂岩型铀矿中的应用效果[J].铀矿地质,2004,20(2):110-114;

Zheng Q S,Li B H,Jiang G Y. Application effector airborne survey data reuse to prospecting for insitu leachable sandstone type uranium deposits in Turpan-Hami basin[J].Uranium Geology,2004,20(2):110-114.

[14] IAEA. Airborne gamma ray spectrometry[R].IAEA.Tecd-323, VIENNA,1991.

[15] 胡明考.航放测量技术[R].石家庄:核工业航测遥感中心,2012.

Hu M K. Technology of Airborne gamma ray spectrometry[R].Shijiazhuang: Airborne survey and remote sensing center of nuclear industry,2012.

[16] 毛利战.关于伽玛能谱仪本底测定与方法的讨论[J].铀矿地质,1993,9(6):362-366.

Mao L Z. Discussion on the background determination and method of gamma-ray spectrometer[J].Uranium Geology. 1993,9(6),362-366.

[17] 李兵海,李晓禄,杨玉勤,等.基于小波变换的航放数据去噪研究[J].铀矿地质,2017,33(4):221-227.

Li B H,Li X L,Yang Y Q, et al. Wavelet based denoising study on airborne radioactive data[J]. Uranium Geology. 2017,33(4), 221-227.

[18] 刘裕华,韩长青,蔡文良,等.EJ/T 1032-2005 中华人民共和国核行业标准:航空伽玛能谱测量规范[S].北京:国防科技工业委员会,2005:9-27.Liu Y H,Han C Q ,Cai W L, et al. EJ/T 1032-2005 Nuclear industry standard of the People's Republic of China:Specification for airborne gamma-ray spectrometry [S]. Beijing:Defense science,technology and industry committee,2005:9-27.

Analysis and solution of negative values in airborne radioactivity data processing

DENG De-Wei^{1,2}, YANG Bo¹, YANG Yu-Qin¹, WU Xue¹, JIA Hua-Shan¹, ZHANG Xiang¹, LUO Yan¹, QI Cheng¹
(1.Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China; 2.Key Laboratory of Uranium Resources Geophysical Exploration Technology, Shijiazhuang 050002, China)

Abstract: In this paper, the authors processed the navigation data obtained from Alxa Left Banner in Inner Mongolia to summarize the process and main reasons for the formation of the negative value. The results are as follows: ①The nature of radioactive decay has statistical fluctuation, and this property plays an important role in the processing of revised data, especially in areas with low radionuclide; ②A slight negative value of uranium counting rate will occur after background correction and cosmic ray correction, and will increase negatively after atmospheric radon correction; both ends are prone to form high value false anomalies and continuous negative anomalies. After the peel correction, the number of negative values increases greatly, while the height correction and content conversion no longer produce new negative values, but only change the negative values. The authors found that zeroing the negative values generated by the correction process can eliminate high value false anomalies produced by atmospheric radon correction, and that continuous zero value data appear, which is inconsistent with the objective laws. Therefore, normalization method is proposed to eliminate negative values. This method can eliminate the negative value quickly and reasonably, and can control the changed value within a smaller value. In addition, it makes up for the lack and the deficiency of the negative value processing method.

Key words: airborne radioactivity measurement; data correction; negative value; normalization method

(本文编辑:王萌)