

天然放射性在工农业中的一些应用

马永和 徐秋静

(黑龙江省科学院技术物理研究所 哈尔滨市 150010)

摘要 自然界中普遍存在着铀、钍、钾的天然放射性同位素,其特征构成了各种应用的基础,本文主要介绍天然放射性在工农业中的一些应用。

关键词 天然放射性, 能谱, 应用。

1 寻找地下水资源

地表基岩中普遍存在着天然放射性核素。铀系、钍系和钾的放射性核素是主要的天然 α 、 β 和 γ 辐射体。由于地质构造变动、构造应力等作用,特别是在丘陵山区往往形成有一定展布方向和分布范围的断裂带和次一级断层破碎带以及基岩裂隙带。这些地带都是地下水的良好运移通道。由于水化学、水物理和水动力的作用,使天然放射性核素在地下水和周围基岩之间产生淋滤、溶解、吸附和沉积等相互作用。这些核素通过裂隙、孔隙和溶隙进行迁移、扩散和渗透,借助于水的循环运移,促进了岩石中放射性核素的析出和转入。经过漫长的地质作用,在接近地面的裂隙带与周围环境相比便产生较明显的天然放射性异常。通过探测天然放射性本底的异常反应可以确定地下的含水构造,这对解决和开发引水蓄水困难的干旱山区、丘陵地带的水资源具有重要意义。

通过地面天然 γ 射线的探测可以确定地质构造的基本类型,确定构造带的宽度和走向,推断蓄水构造的富水情况。与周围天然放射性本底相比,含水构造的天然放射性的异常幅度为周围本底的1.2~1.8倍。异常包括正异常和负异常,在导水性较强的地带通常为低值负异常。

影响地下放射性物质成分的因素很多,天然放射性异常是各种放射性核素含量的总效

应,因此应用天然 γ 射线异常找水,应采用总强度测量方法而不是能谱测量方法。天然核素主要是U、Th、Ra和K等,其 γ 射线能量范围为50keV~2MeV,低能 γ 射线组分较为丰富,取低阈值总强度测量对探测含水构造的 γ 射线异常效果是很好的。含水构造的天然 γ 放射性异常,通常有一定的展布方向,并且往往与该地区的地质构造线的展布方向是一致的。在野外的实测中,通常是采用徒步点测方式,以地质构造为依据确定测网和测线,测线垂直于地质构造线的走向。

天然本底是微弱的,为测出微弱本底的变化,探测器应有较高的灵敏度和测量精度,并能对低能 γ 射线有良好的响应。为适应野外工作条件,选用闪烁探测器是比较合适的。野外用的仪器应是低功耗、稳定可靠、重量轻、便携式的。测量时间的长短主要是考虑统计涨落的影响。实测时应尽量保持几何条件相一致,同时应尽量排除周围建筑物、表层密度、植被、工业废物,特别是煤灰渣等引起的干扰。对测量结果的解释和判定井位,应结合地质构造、水文地质条件及其他物探方法一起进行综合评价,才会得到更可靠的结果。

这种找水方法最早起源于日本^[1],近年来在我国四川^[2]和山东^[3]等地已开展了这方面的研究工作并取得了明显的效果。这种方法与常规的物探方法(如电阻法)相比,具有速度快、效率高、操作简便、资料解释直观等优点。

2 监测土壤水分

地面 γ 射线强度的变化主要由表层土壤水分的变化(即降雨量)引起. 根据地面 γ 射线强度的测量和相关性分析, 就可确定出地表层土壤的水分.

在日本已进行了这方面的工作^[4]. 观测数据包括: 天然本底 γ 射线计数率、大气子代氡含量、大气温度、降雨量及土壤水分含量. 天然本底 γ 射线计数率用 NaI 闪烁探测器测定. 子代氡是通过累计采样滤片方法用 ZnS(Ag) 闪烁探测器测定滤片上的 α 放射性. 天然本底 γ 射线由地面 γ 射线、大气 γ 射线和沉降物的 γ 射线组成. 大气 γ 射线和沉降物 γ 射线都来自于核氡和其他的放射性核. 土壤水分采用由熟石膏(plaster)制成的电阻器件埋入地下进行观测. 含水土壤电导率的温度系数用实验的经验公式修正. 土壤样品放入温度可调的恒温箱中, 喷注纯水并埋入电阻器件就可测出电阻器件温度系数与土壤水分及温度的相关性. 在实际应用中为简化起见, 使用大气温度而不用土壤温度来修正电阻器件的温度关系. 降雨量采用灵敏的雨量器进行观测.

土壤水分在不同深度上的分布是不同的. 将测水的电阻器件埋入不同深度处, 每天做几次观测. 在 5cm 深处, 水分为(2.5~14.5)%, 在 10cm 深处为 13%, 在 30cm 深处为 17%. 降雨量和土壤水分的同时观测表明, 降雨量和土壤水分之间有良好的相关性, 但是随着深度增加, 降雨使土壤水分的增加有延时作用. 土壤水分和天然本底 γ 射线的观测和研究结果表明, 仅在 5cm 和 10cm 深处, 土壤水分(W)和天然本底 γ 射线计数率的平均值($n = N/t$)之间有良好的相关性, 具有负指数函数的形式: $W = Ae^{-bn}$, 式中 A 和 B 为标定常数, n 为单位时间的 γ 射线计数平均值, N 为在 t 时间的计数. 而在 30cm 深处却没有这种良好的相关性, 水分和计数率变成正指数函数的关系: ($W = De^{+cn}$) 式中 c 和 D 是标定常数, 这与单能窄束 γ 射线的衰减规律是不一致的, 但是如果修正

降雨渗透到土壤中的延时作用的影响, 会改善相关性.

根据测量天然本底 γ 射线计数率计算出的土壤水分与电阻器件观测的水分之间的最大误差小于 20%. 在相关性计算公式中, 把天然本底 γ 射线当成了地面 γ 射线, 忽略了大气 γ 射线的成分. 在天然本底 γ 射线测量中, 很难只选择地面 γ 射线, 因此产生土壤水分的测定误差. 大气中子代氡含量是变化的, 变化因素包括昼夜成分、季节成分和本底成分. 大气氡含量全年低于 16Bq/m³. 如果测出氡含量, 从天然本底 γ 射线中扣除大气 γ 射线的影响, 会使土壤水分测量误差降低. 通常, 大气 γ 射线与天然本底 γ 射线之比最大为 10%. 研究结果表明, 测量地面 γ 射线的土壤水分仪, 对浅层土壤水分的测量是可行的; 对农业和水利部门是很有实际意义的.

3 测量煤的灰粉

灰粉是煤燃烧后的剩余物. 灰粉是煤炭的主要质量指标. 随着选煤和加工利用的自动化和控制的深入发展, 大大促进了核技术在灰粉测量方面的研究和应用. 70 年代之前, 主要采用 X 射线和低能 γ 射线反散射方法, 适用于小粒度和低速分流系统. 80 年代以来, 推出了双能 γ 射线穿透方法和高能 γ 射线湮没辐射方法, 适用于大粒度和直接在线及高速分流系统. 此外, 还有用 β 射线和中子的方法. 所有这些都用了人造放射性同位素源. 各种灰粉仪的测量精度为 $\pm(0.30 \sim 1.5)\%$, 它依赖于所采用的方法、灰粉范围和灰成分的一致性.

近年来, 有人^[5]研究了利用天然 γ 射线性的方法测量煤的灰粉. 煤的矿物质中(即灰粉中)含有钾和铀、钍及其衰变子体. 由这些天然放射性同位素产生的天然 γ 射线放射性, 能可靠的预示煤的灰粉. 研究表明, 煤的灰粉与天然 γ 射线放射性有相关性, 对测量的一些煤样, 均方误差为 $\pm(0.30\% \sim 0.8\%)$, 与灰粉范围有关, 也与灰成分的一致性有关, 即与煤样的来源有关, 对不同的煤种或不同的产地分别

进行标定和测量,可使测量误差减小。

以天然 γ 射线放射性为基础的、应用于往复平板给料机的工业样机,已研制成功并在新西兰应用。该系统由 γ 射线探测器、增益稳定的放大器、多道分析器、微处理机、给料机“运行”传感器等组成。 γ 射线探测器采用闪烁探测器,其NaI晶体体积为 $10 \times 10 \times 40 \text{cm}^3$,以提高探测效率。 γ 探测器、前置放大器和高压电源放在厚7.5cm的铅屏蔽内,其上盖为2mm厚不锈钢板,用来保护内部探测器和电子学线路,并置于平板给料机的下方,只探测和接收来自平板给料机上固定厚度的运动煤流内的天然 γ 射线。多道分析器设置四个能量窗:1350~1550、1660~1860、2500~2800和100~2800keV,分别监测 γ 能谱中1460、1760、2610keV的 γ 射线和总 γ 射线计数。其中1460keV γ 射线由 ^{40}K 发出,1760keV γ 射线由 ^{238}U 的子核 ^{214}Bi 发出,2610keV γ 射线由 ^{232}Th 的子核 ^{208}Tl 发出。扣除本底后,前三个单一 γ 射线计数强度可分别作为K、U和Th的良好度量。回归分析结果表明,灰粉(A)主要由 ^{40}K 的计数率(K)和总的计数率(T)的线性组合构成的标定方程来决定: $A = aT + bK + c$,式中a、b和c为标定常数,而Th和U的计数率及水分对灰分的测量影响很小。但是也有人采用Th的天然 γ 射线放射性来测煤的灰粉,因为煤都不同程度的含有页岩,页岩中的天然放射性元素在氧化状态下,Th不溶于水,可按原始状态留在页岩中,含量恒定,其含量与灰粉有良好的相关性,而U则相反。

4 宇宙射线料位计

宇宙射线与从一般的放射性同位素发出的 γ 射线和从加速器产生的电子束相比,是一种穿透力非常强的辐射。靠近地面的宇宙射线由 μ 介子、电子和光子组成。电子和光子属于宇宙射线的软成分,在地下一米之内即可被吸收,而 μ 介子是宇宙射线的硬成分,可穿透很深的距离。

日本学者Matsuda等人^[6]根据宇宙射线

的特性,利用NaI闪烁探测器和塑料闪烁探测器,分别在地下铁路车站各段楼梯阶上、高大混凝土建筑物内各层地板上 and 圆柱形水塔下面所对应的不同水位上进行了测量,以确定宇宙射线的衰减幅度和探测器的统计涨落。甄别阈选在3MeV,以便剔除由环境的天然放射性核素产生的 γ 射线信号。在10分钟的计数时间内,统计误差大约为地面辐射强度的3%。测量结果表明,对软、硬两种宇宙射线成分,宇宙射线的辐射强度与深度的关系都具有很好的相关性,这表明可利用宇宙射线来监测大容积的水位或液位。在不同的散(体)密度条件下,理论计算出辐射强度随深度的变化关系,并与实际测量结果进行对比,得出土壤的密度约为 1.6g/cm^3 ,这与表层土壤密度的平均值是一致的。标准的高大楼房建筑物的散密度(体积密度)约为 $0.25 \sim 0.3 \text{g/cm}^3$,测量结果与在散密度为 0.38g/cm^3 条件下的理论计算结果相符。对比的结果证明了理论计算的正确性。对于散密度为 1g/cm^3 的理论计算曲线可当成圆柱形水塔的水位与宇宙射线辐射强度的函数曲线。对于直径较大的水塔可观测的最高极限水位约为20m,极限高度下的辐射强度相当于探测器的统计涨落。观测的最高极限水位与水塔的直径有关,直径越小,极限水位也越小,例如直径为5m时,可观测的上限水位为2m。宇宙射线的软成份在建筑物中衰减缓慢,可延深(7~8)m,这主要是由于地铁或楼房的入口通道及层间空隙的影响。

研究结果证明,宇宙射线料位计的实际应用是可行的,特别是对高温、高压和危险物质的大容积储存器是很有利的,也可用来监测水库、河水和地下水的变化。

5 天然放射性的其他应用

环境的放射性评价越来越被重视。测量环境的天然放射性和诱发放射性,对了解和监测人类的生活环境以及预测对人体的危害具有重要意义。环境监测包括土壤、地表、大气、露天江河水及地下水和工业材料,如煤、煤灰、矸

石、建筑材料等。一般来说,铀矿区的天然放射性高于一般地区,室内的放射性高于室外的放射性。建筑物内氡(Rn)及子体是主要的内照射源,Rn由含 ^{226}Ra 的建筑材料及土壤中析出,经过长时间析出和扩散,旧建筑物内Rn的含量相对要少得多。天然放射性和宇宙射线是外照射源。环境本底辐射水平的监测,对评价由环境天然放射性对人体产生的辐射剂量和核设施如核电站、反应堆等给周围环境带来的辐射水平的变化及对周围地区人类的影响,具有重要的参考价值。环境辐射水平主要是地表 γ 射线和次级宇宙射线电离成分所产生的空气吸收剂量率,监测仪器对两者都应有足够的响应,从探测原理上看,前者为 γ 射线与物质的相互作用,后者为高能带电粒子与物质的相互作用。

天然放射性的应用,总是离不开铀、钍、钾等天然放射性同位素发出的 γ 射线。高天然放射性的岩石包括酸性岩和页岩,低天然放射性的岩石有石灰岩、非页状砂岩、煤、石膏和铁矿等。通过测量特定能量的天然 γ 射线的强度,不仅可以测定样品中U、Th和K的含量,还可以利用这些 γ 射线的强度与其他成分的相关性来分析样品中的某些成分或集体成分,特别是当样品由高天然放射性和低天然放射

性两类组分构成时可实现最简单的集体组分分析。

在地质普查和测井中也广泛利用天然放射性。通常是天然 γ 射线的混合能谱来确定U、Th、K的含量。测量仪器采用多道脉冲幅度分析器来获取和处理混合 γ 能谱,确定各成分含量或根据相互影响小的 γ 分支设置多能量窗通道,测出各有关分支 γ 射线的强度,再由相应的 γ 分支强度线性组合构成的标定方程来确定有关元素的含量。在煤炭和石油的地质勘探中都广泛利用天然放射性来确定地下煤层、油层及储量。

天然放射性的应用是多方面的,限于篇幅,不一一列举。利用天然放射性的最大优点是减少了使用放射源的麻烦,不必考虑安全防护问题。

参 考 文 献

- 1 落合敏郎. 物理探矿, 1972, 25(6): 37
- 2 吴致军. 核电子学与探测技术, 1985, 5(4): 228
- 3 韩延树. 核电子学与探测技术, 1987, 7(4): 193
- 4 Yoshioka K. Nucl. Geophys., 1989, 3(4): 397
- 5 Mathew P J, et al. Fourth Australian Coal Preparation Conference, Gladstone, Queensland, 23~27 May, 1988
- 6 Matsuda H, et al. Nucl. Geophys., 1989, 3(4): 403

Some Applications of Natural Radioactivity in Industry and Agriculture

Ma Yonghe Xu Qiuqing

(Heilongjiang Institute of Technical Physics, Academy of Sciences, Haerbing 150010)

Abstract There are natural radioactivity isotopes of uranium, thorium and potassium everywhere in nature. The characteristics of these isotopes form the basis of various applications. Some applications of natural radioactivity in industry and agriculture are mainly introduced in the paper.

Key Words natural radioactivity, energy spectrum, application.