

X- γ 辐射剂量率仪在辐射监测中的选用探讨

周程, 朱晓翔, 黄昕

(江苏省辐射环境监测管理站, 江苏南京 210019)

摘要:比较了在 X- γ 辐射监测中常用的核探测器的探测原理、方法和优缺点, 简要介绍了 X- γ 辐射剂量率仪的不同应用范围和选购要点, 以期能对监测人员在核探测器的选购、使用和维护等方面提供一定的参考。

关键词: X- γ 辐射; 探测器; 剂量率; 辐射监测

中图分类号: TL 81 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-0934(2011)06-0706-04

随着核工业和核技术应用产业的高速发展, 核探测技术也得到蓬勃发展。X- γ 剂量率仪的探测器类型众多, 由于在材料、技术方面国外具有较大优势, 国内使用的核探测仪器大多是国外进口设备, 从价格上讲, 半导体探测器 > 闪烁体探测器 > 电离探测器, 而从使用功能上讲, 存在着在不清楚探测器类型的情况下盲目的追求价格, 脱离监测目的的问题, 如选用半导体探测器用于环境辐射巡测工作, 则显得小题大做, 并且从能量响应考虑, 性能指标并不合适; 利用电离探测器的辐射监测仪去测量瞬时变化过快的辐射, 如医院 CT 拍片, 则不能达到预期要求。因此, 选用最佳的核探测器是开展环境放射性检测、核设施和核技术利用单位的辐射监测, 核与辐射事故环境应急监测和国土安全放射性检测

的前提和基础。

1 X- γ 核探测器

从本质上讲, 核探测器是一种能量转换的仪器, 它可将辐射(粒子束)的能量通过与探测介质的相互作用(产生光电子或电子等)转换为电信号, 再通过电子学分析核信号^[2]。

目前在 X- γ 辐射监测中常用核探测器的测量原理见表 1。气体探测器按照外加电压与电离电流的关系特性可分为电离室、正比计数管和盖革(GM)计数管三类^[5]。闪烁发光探测器按照闪烁体类型又可分为有机闪烁体(有机晶体闪烁体、液体闪烁体和塑料闪烁体)和无机闪烁体。各种核探测器的性能参数见表 2。

表 1 核探测器的探测原理

类型	原理
气体探测器	利用射线或粒子束在气体介质中的电离效应探测辐射
闪烁体探测器	利用射线或粒子束在闪烁体中的发光效应探测辐射
半导体探测器	利用射线或粒子束在半导体介质中产生的电子空穴对来探测辐射
热释光探测器	具有热释发光特性的物质受到电离辐射等作用后, 将辐射能量储存于陷阱中。当加热时, 陷阱中的能量便以光的形式释放出来

收稿日期: 2010-05-14

作者简介: 周程(1981-), 男, 四川自贡人, 工程师, 硕士, 研究方向: 辐射防护和监测。

表 2 核探测器的性能参数^[1]

类型	探测器	量程范围	能量响应	便携性	分辨能力	探测效率
气体电离	高气压电离室	10nSv/h ~ 100mSv/h	较好	一般	差	低
	正比计数管	10nSv/h ~ 1Sv/h	较差 30kev ~ 1MeV 内 ±30%	好	差	低
	G-M 计数管	10nSv/h ~ 1Sv/h	较差, 在 50 ~ 1.3MeV 内 ±30%	好	差	低
闪烁发光	NaI(Tl) / LaBr	10nSv/h ~ 100mSv/h	较差, 需经能量补偿和温度校正	好	较好	较高
	有机/塑料	1nSv/h ~ 100μSv/h	能量响应低于高压电离室	较好	差	高
半导体	Ge(Li) / HPGe	50nSv/h ~ 20μSv/h	不理想	差	好	较低
热释光	LiF、CaSO4 等	0.05mGy ~ 8Gy	在 15keV ~ 1.25MeV 之间 ≤ ± 20%	好	差	低

注:表中探测器的性能指标均针对 X-γ 辐射

2 应用范围

美国国土安全部 (USA Department of Homeland Security) 于 2005 年对全美用于国土安全的核探测仪器,按照美国 2003 年提出的标准(ANSI N42.32-2003),进行了一次详细的测试和评估(见表 3)。

表 3 国土安全部对全美 γ 辐射探测仪器评估概况

探测器	单位:台			
	入口探测器	核素识别器	环境巡测仪	个人报警仪
GM 管	1	4	20	4
电离探测器	高气压电离室	-	2	-
	正比计数管	-	1	-
闪烁体探测器	NaI	4	7	-
	CsI	1	3	13
	塑料闪烁体	13	4	-
半导体探测器	HPGe、CZT、Si	2	-	1

在国内,放射性监测的范围越来越广泛,目前涉及使用到 X-γ 辐射剂量率仪的方面有:

(1) 辐射环境本底监测,包括建材和居室内放射性水平测量。人们居住的环境本身就是一个天然辐射场,天然贯穿辐射成分比较复杂,辐射水平低。因此,监测仪器应有较高的灵敏度,对于地表 γ 辐射和宇宙射线致电离成分均应具有较好的能量响应特性,有较高的精度和良好的稳定性,而且携带方便。(2) 核技术利用场所监测,如工业辐照,探伤,含密封放射源的测厚仪、密度计、料位仪等的使用,以及医用照射,同位素示踪等方面。这里包括某些环境恶劣,近距离监测很难到达的工作场所,监测仪器应有较高的精度和灵敏度特性,同时稳定性和探测效率要好。(3) 监督核电站等核设施常规运行时放射性排放对环境的影响,以及异常排放或者事故条件下的监测和预警。要求监测仪器的能量响应特性好,剂量结果稳定,监测数

据需要做长期统计分析。(4) 进出口通道式放射性监测。保护区域场所和生产材料的安全,防止携带核材料或脏弹引起的核恐怖袭击时,需要选用探测效率高,灵敏度好的核探测器。目前广泛采用的是大体积的塑料闪烁体探测器。(5) 放射性物质丢失的寻测。要求核探测器具有灵敏度高,响应快同时剂量量程宽的特点,可能还涉及到了人员防护(长杆监测以增大受照距离)、放射性物质定性定量分析等。(6) 核与辐射应急响应监测(包括核恐怖监测)。核与辐射事故发生后,为了准确获取受污染范围,划定污染区域,确认污染源种类,掌握污染程度和发展趋势,都需要进行大面积的辐射应急监测。核与辐射事故发生后的剂量远远超过常规监测的剂量率水平时还需要大量程的剂量率仪器,防止仪器对超量程的剂量溢出不能识别。如用于核事故早期报警,用 GM 计数管可以满足要求,其优点也能得到充分发挥。但如果同时需要监测和评价环境辐射水平,特别在核电站附近(<1 km)有时会面临 6 MeV 左右高能辐射,由于角响应和能量响应(高能过响应)的原因,GM 管不太适合此类任务,最好使用高气压电离室。另外,使用电离室还能保持与东南沿海周边一些地区和国家的监测手段和量值的一致,这在发生跨边界事故时是很重要的。

上述提到的几类放射性监测根据监测目的都可能需要几种类型的核探测器配合使用才能完成监测任务。例如放射源丢失寻找,初期可能利用大体积 NaI 车载搜寻并结合响应时间短的塑料闪烁体步行搜寻,同时配以大量程的 GM 管防止剂量溢出量程,现场监测中期还需要利用无机闪烁体(NaI 或 LaBr)便携式谱仪进行放射性核素识别工作,如有必要,监测后期还需要利用 HPGe 谱仪对事物划定的环境内的介质(土壤,水源)的放射性活度定量分析,以评

估该放射源对环境造成的放射性污染程度。

3 选购要点

辐射监测所用的 α - γ 辐射剂量率仪在选购使用上应考虑以下问题:

(1) 足够的量程范围。仪器的量程上限值应能满足监测目的的要求,有的仪表在辐射剂量超量程时只能显示最大量程,会对监测人员带来干扰。比如探测器类型为塑料闪烁体的 X- γ 辐射剂量率仪的探测上限一般都为 100 $\mu\text{Sv/h}$,按照监测标准^[4]针对探伤作业用到的 γ 放射源探伤机进行监测时,距源容器外表面 5 cm 处的剂量水平一般都大于 100 $\mu\text{Sv/h}$,监测人员此时就应选用大量程的电离型探测器进行剂量率水平的监测。(2) 足够的灵敏度响应。当监测场所放射性剂量水平变化时,仪器的读数要随之而变化,一般要求仪器的响应时间在 0.5 s 以下,最好为 ms 级。比如对医院的 X 光机拍片时周围环境放射剂量监测时,由于 CT 拍片时间极短(ms),此时若选用电离型探测器不能捕捉到放射线,而塑料闪烁体探测器具有发光衰减时间短的特点,监测人员应选用后者进行现场监测工作。(3) 能量响应要好。核探测器出厂前一般都是利用¹³⁷Cs 源进行仪器刻度,即测量仪器对能量为 662 keV 的光子的响应,也即为灵敏度(cps/ $\mu\text{Sv/h}$)的刻度。理想的测量仪器应该是不论射线能量大小,只要照射量相同,其仪器的响应(cps)就应相同。然而,核探测器的响应总是随着能量的不同而产生一定的差异。差异越小,能量响应越好。并且实际测量环境的辐射场不是单能场,而是在一定范围内具有能量分布的场,即所谓的能谱。这样,同样的仪器在辐射场下的测量结果就会与用单能的¹³⁷Cs 刻度的结果存在误差。对 X- γ 剂量率仪,要求与¹³⁷Cs 661.6 keV 的 γ 射线能量相比,在 50 keV 到 3 MeV 的能量范围内

能量响应相差不大于 $\pm 30\%$ ^[3]。这些我们可以通过仪器出厂证书或有资质的剂量检定部门进行校准验证。电离室型仪器能量响应较好,闪烁型次之,计数管较差。(4) 满足监测精度要求。在环境水平辐射剂量监测或比对工作中,由于辐射剂量水平较低,为了做好统计分析工作,监测精度要求较高,剂量率水平精确到 1 nSv/h,而 GM 管、正比计数管和无机闪烁体探测器由于探测效率等多方面原因等只能精确到 10 nSv/h;(5) 长期稳定性(及保持刻度的措施)。同一台剂量率仪器对剂量率稳定场的监测结果应该长期稳定,以确保监测数据的准确性和便于长期统计。(6) 角响应因子较好。监测仪器应在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内,角响应平均值/刻度方向上的响应值 ≥ 0.8 (¹³⁷Cs γ 放射源)^[3]。(7) 能量分辨率。复杂的 γ 能谱测量需要分辨能力好的探测器,常用于能谱分析的探测器主要有高纯锗(HPGe)和无机闪烁体(NaI/LaBr)探测器,根据便携性和分辨能力的区别,前者主要用于实验室定量分析,后者常用于现场放射性核素定性分析。(8) 对恶劣环境条件(温度、湿度、压力、运输等)的耐受能力。NaI 探测器受温度和湿度的影响较大,HPGe 要防止运输过程中的抖动对探头的损坏。此外,还应考虑气压和电磁场的影响。(9) 便携性与低功耗。当 X- γ 辐射剂量率仪不用于固定监测时,监测人员就需要考虑仪器的便携性和待机时间。

4 结论和建议

4.1 正确选用核探测器

仪器的选型,与监测目的紧密相关。选用合适的探测器,不仅可以保证监测工作有序顺利地展开,同时可以提高监测效率,保证监测数据的准确性。表 4 为探测器的特点和推荐用途。

表 4 探测器的特点和推荐用途

探测器类型	特点	推荐用途
气体电离	正比	大量程测量
	GM 管	
	高气压	环境常规监测
闪烁体	有机	瞬时剂量监测,通道式放射性检测系统,环境常规监测
	无机	航空,汽车 γ 能谱,核素识别
半导体	使用条件要求较高,能量分辨好,价格贵	用于核素的定性定量分析

根据监测目的选择好某种探测器后,还需要对其性能指标进一步地分析和验证。同一类探测器,也可能因为制作工艺、探头体积大小、探头类型等因素影响到整台 X- γ 辐射监测仪的性能。例如,塑料闪烁体探头的探测有效体积的不同也会影响到整机的探测效率、角响应指标;无机闪烁体探头类型的不同,如市面上常用到的 NaI、LaBr 等探测器,其能量分辨能力也不一样;GM 管型监测仪器往往需要 2 根甚至多根管子联合使用,以补偿能量,提高角响应和低能探测效率。

4.2 正确使用核探测器

(1) 采用标准的 X- γ 剂量率测量规范,如对环境地表 γ 辐射剂量率测定时,剂量率仪器距离地面 1 m,并注意降雨、冰雪覆盖等环境条件的影响^[3]。

(2) 由于辐射环境监测仪是国家强检仪器,监测人员应将使用 X- γ 剂量率仪通过计量部门的检定,排除不合格的仪器,保证监测数据的准确性。

(3) 保证剂量率仪器的校准刻度环境与实际监测环境一致,从而确保校准因子的实用性,正确对监测数据进行修正。

(4) 加强对剂量率仪器的质量控制措施:开展天然宇宙射线本底测量,仪器长期稳定性测试,同种类型仪器间比对,不同探测器类型的仪器间比对工作。

参考文献:

- [1] 王凤英,周程,等. 电离辐射防护与安全基础知识 [M]. 江苏:江苏人民出版社,2007.
- [2] 吴治华,赵国庆,等. 原子核物理实验方法 [M]. 北京:原子能出版社,1997.
- [3] 中国原子能科学研究院. GB/T 14583-93, 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范 [S]. 北京:中国标准出版社,1993.
- [4] 山东省医学科学院放射医学研究所. GBZ132-2008, 工业 γ 射线探伤放射防护标准 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [5] 贾文懿. 核地球物理仪器 [M]. 北京:原子能出版社,1998.

The Selection of X- γ Radiation Dose Rate Instrument in the Radiation Monitoring

ZHOU Cheng, ZHU Xiao-xiang, HUANG Xin

(Radiation Environment Monitoring and Management Center of Jiangsu, Nanjing)

Abstract: It gives a contrast of the principles, methods, advantages and disadvantages of nuclear detector in x- γ radiation monitoring, and brief introduction of the range of different applications of x- γ radiation dose rate meter and purchase points in order to bring more reference value on purchase, use and maintenance the nuclear detector for monitoring personal.

Key words: X- γ radiation, detector, dose rate, radiation monitoring