

· 仪器设备 ·

# 放射性探测器发展分析以及应用介绍

杨敏<sup>1</sup> 党瑞荣<sup>1</sup> 刘彤<sup>1</sup> 黎晗<sup>2</sup>

(1. 光电油气测井与检测教育部重点实验室(西安石油大学) 陕西 西安) (2. 中油测井长庆事业部仪修中心 陕西 西安)

**摘 要:** 文章着重介绍了闪烁探测器、正比计数器、半导体探测器等常用的三类放射性探测器的工作原理、应用情况及优缺点对比,同时还对多相流流量检测中应用放射性探测器进行了简要介绍。

**关键词:** 核辐射探测; 闪烁探测器; 正比计数管; 半导体探测器; 流量测量

中图分类号: TL81 文献标识码: B 文章编号: 1004-9134(2009)05-0044-02

## 0 引言

放射性探测技术用于记录各种射线的数目,测定射线强度,分析射线能量,探测放射性物质的存在、性质、强度等。到目前为止,用于各种目的的放射性探测器种类很多,工作原理也各不相同。其中测量常用的探测器有闪烁计数器、正比计数器和半导体探测器等。本文基于这三种探测器的工作原理、应用范围、优缺点等对放射性探测器进行分析,以及对多相流中使用放射性探测器进行流量测量的分析应用。

## 1 常用的三种放射性探测器

### 1.1 闪烁探测器

闪烁探测器是应用最广的核辐射探测器之一,它由闪烁晶体、光电倍增管,和与之相配的电子仪器三部分组成。其中射线与闪烁晶体相互作用使其电离、激发而发射荧光;光电倍增管光阴极收集闪烁光子,利用光电效应产生光电子,光电子在光电倍增管中倍增产生电信号;电信号由电子仪器记录和分析<sup>[1]</sup>。

闪烁探测器测量带电粒子、射线、中子等的特性主要取决于闪烁体。闪烁体工作时,闪光越亮越好,闪烁的时间越短越好,这样输出信号大,占据时间比较短,容易记录,探测效果也会比较好。常用的闪烁体可分三大类:无机闪烁体,如 NaI(Tl), ZnS(Ag)等;有机闪烁体,包括塑料、液体和晶体(如蒽、芪等);气体闪烁体,包括氙、氦等惰性气体,发光效率不高,但光衰减时间较短(<10 纳秒)。因而在选择闪烁体的时候要充

分考虑到闪烁体的阻止本领、发光率、闪烁体本身光线的透明度、发光时间、荧光光谱与倍增管光谱的配合、以及能量分辨能力等因素<sup>[2]</sup>。

闪烁探测器具有探测效率高、灵敏、体积大等优点。缺点是其能量分辨率不如半导体探测器好,但对环境的适应性比较强,特别是有机闪烁体的定时性能,中子、 $\gamma$  分辨能力和液体闪烁的计数本领均有其独有的优点。因此,它是仍被广泛使用的放射性探测器之一,在辐射剂量监测、高能物理实验、核医学中得到广泛的应用。

### 1.2 正比计数管

正比计数管是核科学技术中最早使用的探测器之一,属于气体探测器的一种。利用入射的带电粒子通过介质时,使气体分子、原子电离和激发,并在通过的路径中生成大量离子对。正比计数管因为脉冲幅度和入射粒子能量成正比而得名,主要应用于测量粒子的能谱。

在低能 X 射线测量中,由于闪烁体计数器的噪声和暗电流限制,采用正比计数管进行测量,它对 X 射线的能量分辨率比闪烁体探测器要好<sup>[2]</sup>,且分辨时间要比闪烁探测器短。

正比计数管具有结构简单、使用方便、良好的能量分辨率和能量线性响应、以及放大脉冲等优点,缺点是探测效率比较低。正比计数管既可作计数管,测量核辐射的注射率,又可以在很宽的范围内测量入射粒子的能量,广泛应用于核物理和粒子物理实验。

### 1.3 半导体探测器

基金项目: 国家科技重大专项“深水井下流量测量技术”,编号:2008ZX05026-01-02 资助

第一作者简介: 杨敏,女,1983年生,光电油气测井与检测教育部重点实验室(西安石油大学)硕士研究生,研究方向为信号与信息处理。邮编:

半导体探测器是近30多年来迅速发展起来的一种新型探测元件。它是以前半导体材料为探测介质的放射性探测器,常用的半导体材料是锗和硅。半导体探测器主要有结型、面垒型、锂漂移型和高纯锗等几种类型。

半导体探测器具有许多优越性能,最突出的是能量分辨率高,脉冲上升时间短,结构简单。其中比较于气体探测器,它对射线的阻止本领比较大,探测器的体积可以小型化。而相比较于闪烁探测器,消耗相同能量,在半导体探测器中产生的电子空穴对要多得多,故而脉冲幅度的相对涨落也比较小,因而半导体探测器的能量分辨率比较高<sup>[2]</sup>。

近些年来半导体探测器的发展很快,如硅微条、硅漂移室等新型半导体探测器已经研制成功,它们的位置分辨率非常高,这是任何气体探测器和闪烁探测器很难做到的。因而,在高能物理实验中作为顶点及径迹探测器应用很广泛<sup>[3]</sup>,另外在天体物理、宇宙线科学、核医学等领域的应用也有了新的发展。

## 2 放射性探测器应用于流体流量测量

流量测量在现代农业、生物、水利、航天航空等领域都有广泛应用,尤其在石油工业、天然气计量上起到了很重要的作用。流量测量有很多种成熟的、并且已经投入到使用当中的技术和设备。比如电阻抗法、微波法、脉冲中子法,核磁共振法等等。

近年来,在能源方面,由于射线法测量流量的检测技术采用了非接触式测量,利用多能级放射源可以测量多相流体的各相流量以及总流量,因而在石油行业越来越多地采用放射性探测来计量流体流量。常用的探测方法是利用闪烁探测器测量伽马射线穿过流体的衰减强度来计算多相流体以及各相流体的流量。

考虑到放射性元素对人体以及环境的辐射危害,采用属于豁免值的放射源强度来作为所用源强度是现代石油行业甚至是整个行业应该着重考虑的问题,所以在应用放射性技术进行流量测量时,一般选择射线强度比较低的放射源,但常用油管是碳钢材质,密度较大,对射线衰减比较大,这也意味着对探测器测量要求就会越高。

为了保证选择的源既能适合于环境要求又能达到测量精度的要求。可以根据质量衰减系数的计算公式以及射线衰减原理通过一系列相应计算得到射线衰减强度,以此作为选择放射源强度大小和探测器型号的一个依据。

质量衰减系数公式:

$$\mu_m = \sum_i^K w_i \cdot \mu_{mi}$$

式中, $w_i$ 为化合物中元素的质量百分比; $\mu_{mi}$ 为化合物中各元素的质量吸收系数; $\mu_m$ 为化合物的质量吸收系数; $K$ 为化合物中组成的元素总数。

射线衰减原理:设穿过流体介质前伽马射线的强度为 $I_0$ ,穿过流体介质后伽马射线的强度变为 $I$ ,则 $I$ 与 $I_0$ 的关系为

$$I = I_0 e^{-\mu \rho L}$$

式中, $L$ 为射线穿过流体的厚度; $\rho$ 流体混合物密度; $\mu$ 为流体混合物的质量衰减系数,与混合物的成份有关。

由于选择较低强度的放射源会造成探测精度差,但是选择高强度,又会对环境造成一定的危害。因此出于辐射安全考虑,可以在探测器以及源安装上进行一些改变,利用管道嵌入式结构,即放射源探测器与金属管道加工成为一个整体,管道壁上放射源的发射窗和探测器接收窗采用轻质材料,降低了管道壁对射线的衰减作用,提高了测量精度。同时也需要更改管道来安装测量装置,管道采用轻质材料,如有机玻璃、PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)工程塑料等<sup>[4]</sup>。

## 3 结束语

放射性探测器随着在辐射监测仪表方面越来越广泛的应用,其性能与工艺不断提高和完善,使得在剂量仪探测器方面有了更多地选择,无论对于工业、农业、科研、国防等领域都有着及其重大的作用。同时高能物理事业、核技术、能源领域上应用非接触式射线法计量流量的发展,也带动了各种探测器技术不断发展。总而言之,对于核能和核技术日益增长的需求和对核科学技术潜在应用的新思路将确定无疑地推动放射性探测技术的持续创新和改进,以便应对新的挑战。

## 参考文献

- [1] 杨福家,王炎森,陆福全.原子核物理(第二版)[M]:上海:复旦大学出版社,2002
- [2] 程业勋,王南萍,侯胜利.核辐射场与放射性勘查(第一版)[M].北京:地质出版社,2005
- [3] 孟祥承.新型半导体探测器发展和应用[J].核电子学与探测技术,2004,24(1)
- [4] 景春国.低能射线法油气水相含率测量研究[D].燕山大学,2008

(收稿日期:2009-03-26 编辑:刘雅铭)