

基于 PIPS 半导体探测器的核电站放射性 气溶胶测量系统设计

王益元¹, 魏永康², 陈祥磊¹, 蔺常勇¹, 柳彬¹, 左亮周³

(1. 武汉第二船舶设计研究所 湖北 武汉 430064; 2. 中广核工程有限公司 广东 深圳 518045;
3. 北京赛思科系统工程有限责任公司 北京 100079)

摘要: 分析了 PIPS 半导体探测器的优点。基于该探测器设计了一套放射性气溶胶测量系统,对基于新型 PIPS 半导体探测器的放射性气溶胶探测装置的内部结构、探测原理进行了介绍,并对测量能谱的数据分析方法进行了阐述。

关键词: PIPS 半导体探测器; 放射性气溶胶; 能谱

中图分类号: TL816+.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-7649(2011)08-0137-03 **DOI:** 10.3404/j.issn.1672-7649.2011.08.031

Designing of radioactive aerosol monitoring system for nuclear power plant based on PIPS semiconductor detector

WANG Yi-yuan¹, WEI Yong-kang², CHEN Xiang-lei¹, LIN Chang-yong¹, LIU Bin¹, ZUO Liang-zhou³

(1. Wuhan Second Ship Design and Research Institute, Wuhan 430064, China;
2. China Nuclear Power Engineering Company, LTD, Shenzhen 518045, China;
3. Beijing Cysco System Engineering Corporation, Beijing 100079, China)

Abstract: In this paper, advantages of PIPS semiconductor detector were analyzed. A kind of radioactive aerosol monitoring system which was based on PIPS semiconductor detector was designed. The inside structure and monitoring principle of detecting equipment were introduced. And solution method of measured energy spectrum was explained.

Key words: PIPS semiconductor detector; radioactive aerosol; energy spectrum

0 引言

核电站以反应堆核能为动力来源,在事故情况下出现一回路承压边界完整性被破坏出现泄漏时,人工放射性气溶胶将迅速释放到环境大气中造成气载放射性污染。监测核电站内部大气环境中的放射性气溶胶浓度,可以及时发现核电站反应堆运行事故,对于保证核电站工作人员安全,保障核电站正常运行具有重要意义。

由于天然放射性气溶胶的存在,因此放射性气溶胶测量中天然放射性气溶胶氡钍及其衰变子体^[1]的

准确测量和剔除技术是非常关键的,也是技术难点。另外,天然本底中的 γ 射线及放射性气溶胶发射的 γ 射线在一定程度上也影响了放射性气溶胶测量的准确度,也需要测量和剔除。国际上很多放射性气溶胶探测器由于其设计原理或者算法的缺陷导致对天然放射性气溶胶氡钍及其衰变子体和 γ 射线不能准确测量和剔除,在使用过程中经常出现测量结果不准确或者天然放射性干扰造成的误报警事件,严重影响设备的正常使用,大大削弱了其准确测量能力。

新型 PIPS 探测器(离子注入型钝化硅半导体探测器)是离子掺杂形成的 PN 结型半导体探测

收稿日期: 2011-06-23

作者简介: 王益元(1980-),男,工程师,主要从事核辐射探测器研制。

器^[2-3]其灵敏区很薄,对 γ 射线不灵敏,输出脉冲信号快,能量分辨率高,非常适合于测量 α 和 β 放射性的场合。基于新型 PIPS 半导体探测器具有高效的能谱测量能力,能实时测量放射性气溶胶样品的能谱,利用专门的剥谱算法对能谱进行处理,实时剥离出天然放射性氡、钍及其子体本底的成分,去除天然放射性干扰。从而得到准确度高的人工放射性气溶胶浓度。因此,新型 PIPS 半导体探测器从其性能特点出发非常适合于放射性气溶胶的测量,下面将进一步深入探讨新型 PIPS 探测器在放射性气溶胶测量上的使用方式及设计要点。

1 系统原理及组成

基于 PIPS 半导体探测器的放射性气溶胶测量系统由取样单元、过滤装置(含自动走纸装置)、测量单元、前端电子学系统和后端电子学系统组成。其中后端电子学系统包括就地处理显示单元、电气单元和接线盒等部分。系统原理如图 1 所示。

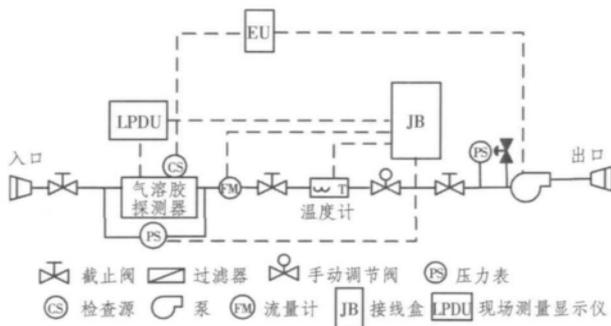


图 1 放射性气溶胶监测设备系统原理框图

Fig. 1 The principle plan of radioactive aerosol monitoring system

从入口进入取样系统的被测气体,由气溶胶探测装置实现气溶胶测量后从出口排出,在取样管路上安装有压差计,实时测量进气口和出气口的压力差,当压力异常时给出报警信号。另外,在取样管路上安装有流量计,在取样测量过程中实时测量取样气体流量,当取样流量超出正常允许范围时给出报警信号,操作人员通过手动调节阀调节系统取样气体流量至正常范围。抽气泵安装在整个取样系统的下游,在抽气泵入口处设置和抽气泵压力指标相匹配的就地压力表,并设置泄压保护装置,当取样系统上游滤纸阻塞或者阀门异常关闭等导致抽气泵入口压力异常时,泄压保护装置自动打开,避免抽气泵损坏。放射性气溶胶测量系统运行逻辑图如图 2 所示。

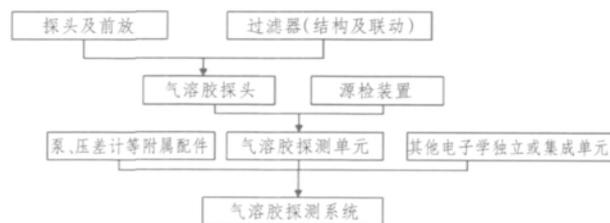


图 2 放射性气溶胶测量系统运行逻辑图

Fig. 2 The logical plan of radioactive aerosol monitoring system

2 探测装置结构

放射性气溶胶探测装置的内部结构如图 3 所示。

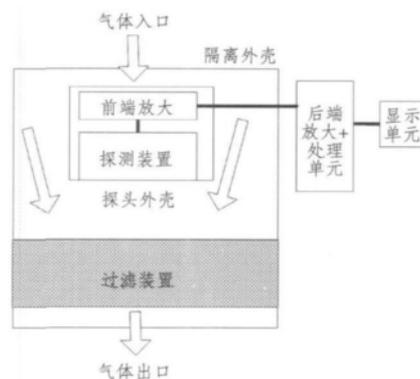


图 3 气溶胶探测装置组成示意图

Fig. 3 The structure of radioactive aerosol monitoring equipment

探测装置外壳将过滤装置、探测器和前置放大器封闭在和取样管路连通的内部空间中,取样气体进入探测装置后绕过正对气溶胶过滤装置的探测器,然后通过过滤装置,待测空气中的放射性气溶胶沉积在过滤装置上(正常流速下 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上的气溶胶粒子在滤纸上存留 90% 以上),探测器测量沉积的放射性气溶胶发射的 α 、 β 射线,产生的脉冲信号由紧挨探测器的前置放大器放大后输出到后端电子学系统进行处理。

探测器的测量原理如图 4 所示。

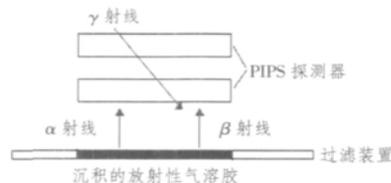


图 4 PIPS 气溶胶探测器测量原理图

Fig. 4 The measuring principle of PIPS radioactive aerosol monitor

探测器由 2 个平行放置的 PIPS 探测器组成,前

端 PIPS 探测器测量气溶胶粒子发射的 α , β 射线及环境与气溶胶粒子的 γ 射线, 探测器和过滤装置间使用特殊设计的准直结构对射线进行准直, 后端 PIPS 探测器测量环境与气溶胶粒子的 γ 射线。2 个探测器的测量数据经过专门的算法处理后就得到放射性气溶胶的比活度。

3 测量能谱分析

基于 PIPS 探测器的气溶胶测量系统测量到的典型能谱示意图如图 5 所示。

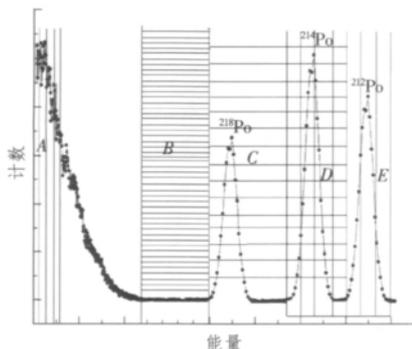


图 5 放射性气溶胶典型能谱

Fig. 5 The typical energy spectrum of radioactive aerosol

该能谱是 α , β , γ 的混合能谱, 气溶胶放射性比活度计算有效区间如图中所示, 共有 A ~ E 五个有效区间。其中区间 A 是低能区的 β , γ 区间, 该区间测量到的计数中包含人工 β 放射性气溶胶的 β 射线计数、环境 γ 本底计数、天然放射性气溶胶 β , γ 计数; 区间 B 是中能区的 α 放射性粒子能量区间, 该区间测量到的计数为多种人工 α 放射性气溶胶产生的 α 射线总计数; 区间 C 是铀系天然放射性气溶胶 ^{218}Po 发射的 α 射线总计数; 区间 D 是铀系天然放射性气溶胶 ^{214}Po 发射的 α 射线总计数; 区间 E 是钍系天然放射性气溶胶 ^{212}Po 发射的 α 射线总计数。

PIPS 探测器的测量能谱分辨率高, 特别是在高能端 ($> 5 \text{ MeV}$) 可精确区分 ^{218}Po , ^{214}Po 和 ^{212}Po 的 α 射线能峰, 由于没有其他高能粒子干扰, 很容易计算出每个有效能峰的计数率。因此, 通过对各能量区间 α 射线的测量, 利用一定的运算法则可计算出各种氡钍及其衰变子体对测量能谱的影响, 从而扣除天然放射性气溶胶, 同时利用后端 PIPS 探测器测量的 γ 射线, 从而扣除 γ 射线的影响, 最终得到大气环境中精

确的人工 α 放射性气溶胶和人工 β 放射性气溶胶比活度。

4 结 语

本文采用新型 PIPS 半导体探测器设计了一种核电站放射性气溶胶监测系统, 并对系统组成、探测器内部结构、测量原理和数据分析方法进行了介绍。基于 PIPS 探测器的放射性气溶胶测量技术具有以下优点:

1) 测量实时性强。能谱测量技术在有效的运算法则配合下可以实时的测量计算出人工放射性气溶胶和天然放射性气溶胶比活度, 响应速度快。

2) 灵敏度高、测量范围宽。PIPS 探测器有效灵敏层厚度很薄, 对 γ 射线探测效率低, 仪器环境本底计数率更低, 对放射性气溶胶更灵敏, 对 α 射线探测效率高 (100%), 可高效、准确地测量人工放射性气溶胶。

3) 测量结果准确可靠。对天然放射性气溶胶和环境本底的准确测量和剔除, 使得人工放射性气溶胶比活度的测量结果准确可靠。

4) 测量目的多样化。可同时测量人工 α 放射性气溶胶比活度、人工 β 放射性气溶胶比活度量、多种天然放射性气溶胶比活度及 γ 辐射本底。

5) 探测器体积小、重量轻。PIPS 半导体探测器面积小、厚度薄, 对环境 γ 本底不灵敏, 不需要太多的铅屏蔽来屏蔽环境本底的影响, 基于这种探测器设计的放射性气溶胶测量设备体积小、重量轻, 安装、调试和维护保养方便。

因此, 基于新型 PIPS 半导体探测器设计的核电站放射性气溶胶监测系统具有多方面优点, 可在一定 γ 本底干扰下很好的进行放射性气溶胶 α , β 能谱测量, 可准确区分天然和人工放射性气溶胶, 非常适合于核电站放射性气溶胶测量。

参考文献:

- [1] 程业勋, 王南萍, 侯胜利. 核辐射场与放射性勘查 [M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- [2] 刘忠立. 半导体辐射探测器 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004. 285 - 286.
- [3] 汪晓莲, 李澄, 邵明, 陈宏芳. 粒子探测技术 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009. 197 - 198.