

# 测量环境中痕量放射性氙的能谱符合法

张圈世, 阎春光, 贾怀茂

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

**摘要:**研究了一种可同时测量环境大气中痕量放射性氙的新方法: - 能谱符合法。利用不同能量窗域的 射线脉冲或内转换电子作为门控信号,和与之相应的 射线能谱或特征 X 射线能谱相符合,可同时高灵敏度地测量环境大气中<sup>133</sup>Xe、<sup>133</sup>Xe<sup>m</sup>和<sup>135</sup>Xe 等氙核的放射性活度。测量本底较常规方法降低了 3~4 个量级。

**关键词:**环境监测;放射性氙;- 符合法

**中图分类号:**X837 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6931(2000)S0-0027-03

对环境大气中放射性气体氙的监测,不仅需要测量痕量氙的放射性活度,更重要的是获得氙的各放射性核素间的比率。目前,无论是用高能量分辨率的低能 谱仪,还是其它低水平测量系统,同时测量痕量放射性气体氙都是很困难的。为此,本工作研究可同时测量多种痕量氙的放射性核素的新方法: - 能谱符合法。

## 1 方法原理

在环境大气放射性气体氙的监测中,感兴趣的核素是<sup>131</sup>Xe<sup>m</sup>、<sup>133</sup>Xe、<sup>133</sup>Xe<sup>m</sup>和<sup>135</sup>Xe,表 1 列出了它们的有关核参数。通过 射线或内转换电子与 射线或 X 射线间的符合,有可能对这 4 个核素同时进行测量,且使本底干扰大为降低,方法将具有高灵敏度和良好选择性。

表 1 4 个放射性氙的某些核参数

Table 1 Nuclear data of the interested radioxenons

核素	$T_{1/2}$	射线		X 射线		射线 <sup>1)</sup>		内转换电子		裂变产额 <sup>2)</sup> / %			
		能量/	发射几	能量/	发射几	能量/	发射几	能量/	发射几	<sup>235</sup> U		<sup>239</sup> Pu	
		keV	率/ %	keV	率/ %	keV	率/ %	keV	率/ %	链产额	独立产额	链产额	独立产额
<sup>131</sup> Xe <sup>m</sup>	11.93 d	163.9	1.96	30	54.05			129	60.7	0.035	1.7 × 10 <sup>-6</sup>	0.043	4.1 × 10 <sup>-6</sup>
<sup>133</sup> Xe	5.25 d	81.0	37.0	31	48.9	346	99.0	45	54	6.73	0.001 5	6.89	0.001 7
<sup>133</sup> Xe <sup>m</sup>	2.19 d	233.2	10.3	30	56.3			199	63.1	0.20	0.004 7	0.24	0.044
<sup>135</sup> Xe	9.14 h	249.8	90.0	31	5.2	905	97.0	214	5.7	6.67	0.12	7.43	0.36

注:1) 射线能量为最大能量

2) 裂变谱中子诱发裂变产额

收稿日期:1999-12-11;修回日期:2000-03-05

作者简介:张圈世(1962—),男,陕西武功人,副研究员,硕士,实验核物理专业

从表 1 所列数据可获得测量中的符合关系为:对<sup>131</sup>Xe<sup>m</sup>,30 keV 的 X 射线与 129 keV 的内转换电子符合;对<sup>133</sup>Xe<sup>m</sup>,81 keV 的 射线与 E<sub>max</sub> = 346 keV 的 射线符合,31 keV 的 X 射线与 45 keV 的内转换电子及 E<sub>max</sub> = 346 keV 的 射线符合;对<sup>133</sup>Xe<sup>m</sup>,30 keV 的 X 射线与 199 keV 的内转换电子符合;对<sup>135</sup>Xe,250 keV 的 射线与 E<sub>max</sub> = 905 keV 的 射线符合。

谱是连续谱,探测器测到的多种核素的谱低能部分是分不开的。为此,利用不同能量“窗域”的 射线脉冲(不同的 射线谱)或内转换电子与对应的 射线谱或 X 射线谱符合。例如,分别用 连续谱的高能段(对应 E<sub>max</sub> = 905 keV,<sup>135</sup>Xe 的 射线占绝对优势)和中能段(对应 E<sub>max</sub> = 346 keV,<sup>133</sup>Xe 的 射线占较大份额)作为门控信号,分别与 250 keV 的 射线和 81 keV 的 射线符合,既可大大降低本底干扰,又能同时测量<sup>135</sup>Xe 和<sup>133</sup>Xe。

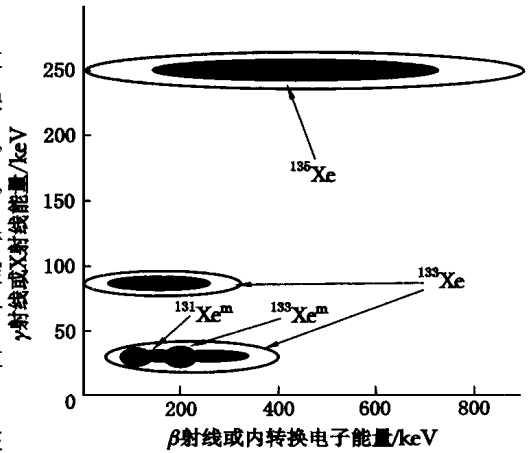


图 1 氙的 4 种放射性核素二维双能量关系图  
Fig. 1 Two-dimensional energy-energy correlation for the interested radioxenons

图 1 为用内径约 1 cm、壁厚约 1 mm 的圆柱形塑料闪烁探测器获得的上述 4 种放射性核素的两维双能量关系图。

探测器对 射线能量分辨率不高,且 谱是连续谱,二维谱呈长吊形椭圆状。若采用对 射线能量分辨率较高的低温 Si 探测器和对 射线能量分辨率高的 HPGe 探测器代替 NaI 探测器,分析灵敏度将大为提高。

由图 1 和表 1 可知:核素<sup>131</sup>Xe<sup>m</sup>、<sup>133</sup>Xe 和<sup>133</sup>Xe<sup>m</sup> 均有内转换电子与 30 ~ 31 keV 的 X 射线符合模式。这几个核素同时测量时,不可能区分单个核素对测得的 X 射线谱的贡献份额,但<sup>131</sup>Xe 的贡献量可通过它发射的 81 keV 射线与 E<sub>max</sub> = 346 keV 的 射线符合获得。由表 1 所列产额数据可知:<sup>131</sup>Xe<sup>m</sup> 的产生量很小,产额明显低于<sup>133</sup>Xe<sup>m</sup>,这为分开<sup>131</sup>Xe<sup>m</sup> 和<sup>133</sup>Xe<sup>m</sup> 提供了可能。

### 2 测量装置

测量装置示意图示于图 2。

在图 2 的测量系统中,或内转换电子或 X 射线探测器是关键部分。探测器应具有一定的能量特性,并可根据不同的应用目的来选择,道的放大器应具有能量线性,甄别器可进行能量窗域选择。射线在气体中的自吸收严重,探测器不宜太大。为提高测量效率,可采用多个 射线探测器和 2 个 5 英寸 NaI 探测器。

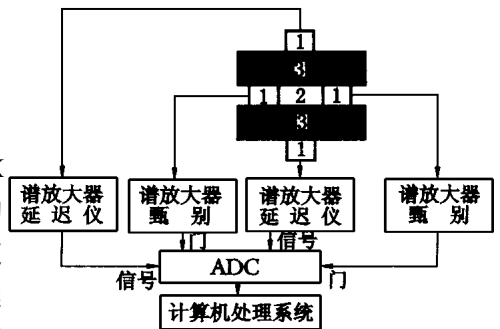


图 2 能谱符合法测量装置示意图

Fig. 2 Sketch of energy coincidence method

- 1 ——光电倍增管/前放;2 ——密封式 探测器;
- 3 ——HPGe 或 NaI 探测器

### 3 测量结果

图 3(a) 示出了用该方法实际测量某地空气样品获得的放射性氙的能谱图;图 3(b) 是环境空气样品的本底谱。由图可知:采用符合法能谱符合后,本底降低了 3~4 个量级,30 keV 的 X 射线和<sup>133</sup>Xe 发射的 81 keV 射线以及<sup>135</sup>Xe 发射的 250 keV 射线均能定量分析。<sup>135</sup>Xe 半衰期短,用常规法从未测到过环境大气中<sup>135</sup>Xe 的 250 keV 射线。在未符合的本底谱(图 3(b))中,基本上无法分析测量结果,而在符合谱中,则能对 30 keV X 射线和<sup>133</sup>Xe 发射的 81 keV 射线进行定量分析。

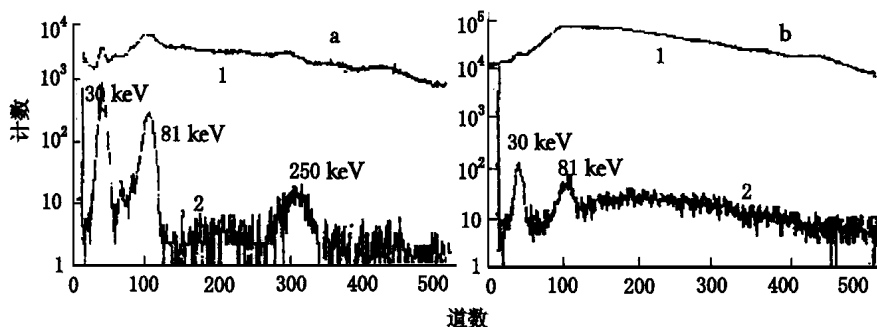


图 3 空气样品放射性氙的能谱(a)和本底谱(b)

Fig. 3 Spectra of xenon sample (a) and background (b) of ambient air

1——未符合谱;2——符合谱

#### 4 结论

- 能谱符合法可同时测量环境大气中痕量放射性氙,本底较之常规谱分析降低 3~4 个量级,最佳探测灵敏度可达  $\text{mBq}/\text{m}^3$  量级,该方法必将在野外现场监测中发挥重要作用。

#### - Energy Coincidence Method for Radioxenon in Ambient Air

ZHANG Quar-shi, YAN Chun-guang, JIA Huai-mao

(Northwest Institute of Nuclear Technology, P. O. Box 69-17, Xi'an 710024, China)

**Abstract:** Based on the coincidence of the pulse or internal conversion-electron in different energy window as a gate signal with their related  $\gamma$ -ray or characteristic X-ray, a new method are studied in order to determine simultaneously interested radioxenon in ambient air. The background count with this method is 3~4 orders of magnitude lower than that with normal spectrometer method, and the optimal detection limit with a order of  $\text{mBq}/\text{m}^3$  can be reached.

**Key words:** environment monitoring; radioxenon; - coincidence