

大流量大气颗粒物采样器质量控制技术

常印忠, 王世联, 刘蜀疆, 樊元庆, 赵允刚, 陈占营, 李 奇

(禁核试北京国家数据中心和北京放射性核素实验室, 北京 100085)

摘要:利用 ISA1932 喷嘴流量计和 2031 型采样器, 测试了 PMS-800 大流量大气颗粒物采样器的流量和总采样效率, 研究建立了大流量大气颗粒物采样器质量控制方法。结果表明, PMS-800 采样器流量计与 ISA1932 喷嘴流量计的相对偏差小于 5%, 总采样效率与 2031 型采样器的相对偏差小于 10%, 满足全面禁止核试验条约(CTBT)相关技术文件要求。该方法可用于大流量大气颗粒物采样器的质量控制。

关键词:大气颗粒物采样器; 质量控制; 总采样效率

中图分类号: O571.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-6931(2013)02-0287-03

doi: 10. 7538/yzk. 2013. 47. 02. 0287

Quality Control Technique for High-Volume Atmospheric Particulate Sampler

CHANG Yin-zhong, WANG Shi-lian, LIU Shu-jiang, FAN Yuan-qing,

ZHAO Yun-gang, CHEN Zhan-ying, LI Qi

(CTBT Beijing National Data Centre and Radionuclide Laboratory, Beijing 100085, China)

Abstract: Quality control technique was developed for high-volume atmospheric particulate sampler. The flow meter of PMS-800 sampler was calibrated by an ISA1932 nozzle flow meter, and the global collection efficiency of PMS-800 sampler was tested by a type 2031 mobile sampler. The results show that the flowrate relative deviation between ISA1932 nozzle flow meter and PMS-800 sampler flow meter is less than 5%, and the global collection efficiency relative deviation between type 2031 sampler and PMS-800 sampler is less than 10%. The performance of PMS-800 sampler meets the specifications with the request of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty. This method can be applied to quality control for high-volume atmospheric particulate sampler.

Key words: atmospheric particulate sampler; quality control; global collection efficiency

大流量大气颗粒物采样器是全面禁止核试验条约(CTBT)中放射性核素监测的关键设备之一。北京放射性核素实验室和国际监测系统(IMS)在我国境内布置的 3 个放射性核素台

站,均安装了大流量大气颗粒物采样器。CTBT相关技术文件对采样器的性能指标有明确规定^[1],即总采样效率不小于 60%(10 μm 颗粒物)。CTBT 组织临时技术秘书处(PTS)

与美国得克萨斯州农业及工业大学合作进行了 snow-white 大流量大气颗粒物采样器总采样效率的风洞测试^[2],但该方法不适合对台站采样器的现场测试。PTS 提出了一对台站大流量大气颗粒物采样器进行现场测试的方法^[3-4],建议采用⁷Be 作示踪剂,通过比较 IMS 台站采样器和商业采样器(流量约 60 m³/h)的总采样效率来实现现场测试。商业采样器均按照相关要求设计^[5],总采样效率已测试,可作为标准采样器。同时,PTS 还推荐利用便携式标准流量计对大流量大气颗粒物采样器流量计进行测试。

北京放射性核素实验室的 PMS-800 采样器按 CTBT 相关技术要求研制^[6],其基本功能与 IMS 台站采样器相同,本文将基于 PMS-800 采样器进行大流量大气颗粒物采样器质量控制技术研究。

1 质量控制方法

1.1 仪器设备

PMS-800 大流量大气颗粒物采样器,西北核技术研究所;2031 型大气颗粒物采样器,青岛崂山应用技术研究;ISA1932 标准喷嘴流量计,川北科技(北京)有限公司;高纯锗 γ 谱仪系统,美国 Canberra 公司;电动压片机,天津科器高新技术有限公司。

1.2 PMS-800 采样器流量计测试

PMS-800 采样器的流量计为结构简单的喷嘴式差压流量计,该流量计由位于进气管路中的喷嘴、温度传感器、差压传感器和绝压传感器组成。出厂前由计量单位对其进行单台校准。流量测试实验中,采用 ISA1932 标准喷嘴流量计对采样器流量计进行现场测试。

喷嘴流量计管路内径 0.1 m,与采样器真空泵排气口内径相同,可直接与真空泵连接。为保证流量计测量准确,配套的管路须大于流量计要求的最短长度^[7]。本次实验流量计前端管路长 3.5 m,后端管路长 1 m。在实验过程中,待采样器流量稳定后,同时读取 PMS-800 采样器的流量和喷嘴流量计的各项参数。设定不同流量进行实验。实验结束后,对数据进行处理,可得到 PMS-800 采样器相对于喷嘴流量计的流量相对偏差。根据 PTS 要求,相对偏差

在 10% 以内,采样器流量计满足要求;相对偏差大于 10%,需调整 PMS-800 采样器参数或更换流量计配件,并重新进行测试^[3]。

1.3 PMS-800 采样器的总采样效率测试

采用 PTS 推荐的平行采样法进行总采样效率测试。平行采样法要求将采样器临近放置,但为减小采样时的相互影响,采样器间应有一定距离。实验中两台采样器距离约 28 m。

采样时,将高效聚丙烯滤材分别安装在两台采样器上,启动采样器同时进行样品采集,记录开始采集样品时间。PMS-800 采样器采样流量设定为 500 m³/h,2031 型采样器采样流量设定为 63 m³/h。采样结束时,记录采样空气标准体积及采样结束时间。将样品压成圆柱体,利用高纯锗 γ 谱仪进行放射性测量。PMS-800 采样器样品尺寸为 $\phi 50$ mm \times 4 mm,2031 型采样器样品尺寸为 $\phi 30$ mm \times 4 mm。由无源效率刻度软件 LABSOCS 模拟计算得到两种测量条件下⁷Be 477.6 keV 处 γ 射线峰的效率,分别为 6.45% 和 8.75%。

由⁷Be 477.6 keV γ 射线峰计数计算其活度:

$$A = \frac{N}{t_1} e^{\lambda t_1} \frac{\lambda t_r}{1 - e^{-\lambda t_r}} \cdot \frac{F_c}{\epsilon_p p_\gamma} \quad (1)$$

式中:A 为采样结束时刻样品中⁷Be 的活度,Bq;N 为⁷Be 的 γ 射线峰计数; t_1 为获取 γ 谱的计数活时间,s; t_r 为获取 γ 谱的实时间,s; t 为 γ 谱开始获取至采样结束的时间间隔,s; λ 为核素的衰变常量,s⁻¹; ϵ_p 为 γ 射线的全能峰效率; p_γ 为 γ 射线的发射几率; F_c 为级联符合相加效应校正因子,对于无级联符合相加效应的 γ 射线, $F_c=1$ 。

根据采样时间和采样体积可计算采样期间环境中⁷Be 的活度浓度,其计算公式为:

$$C = \frac{A}{1 - e^{-\lambda t_c}} \cdot \frac{\lambda t_c}{V} \quad (2)$$

式中: t_c 为样品采集时间,s; V 为取样体积,m³。

将 PMS-800 采样器与 2031 型采样器样品的分析结果进行比较,得到总采样效率相对偏差 ω :

$$\omega = \frac{C_1 - C_2}{C_2} \times 100\% \quad (3)$$

式中: C_1 、 C_2 分别为根据 PMS-800 采样器与 2031 型采样器样品分析结果计算的大气颗粒物中⁷Be 的活度浓度,Bq/m³。

根据 PTS 要求,两台采样器总采样效率相对偏差不大于 20%,即可认为大流量大气颗粒物采样器总采样效率满足要求^[3]。

2 结果与讨论

2.1 采样器流量计测试结果

PMS-800 采样器流量计的测试结果列于表 1。表中 Q_a 为 PMS-800 采样器的流量, Q_b 为喷嘴流量计的流量, Δp 、 p 和 T 分别为喷嘴流量计的差压、绝对压力和温度, $\omega' = (Q_a - Q_b) / Q_b \times 100\%$ 。

表 1 PMS-800 采样器流量计测试结果

Table 1 Measurement results of PMS-800 sampler flow meter

$Q_a /$ ($m^3 \cdot h^{-1}$)	$\Delta p /$ Pa	$p /$ hPa	$T /$ K	$Q_b /$ ($m^3 \cdot h^{-1}$)	$\omega' / \%$
351	425	1 019	290	340	3.2
390	540	1 020	290	383	1.8
449	675	1 021	294	431	4.2
488	800	1 021	299	473	3.2
505	870	1 021	301	495	2.0
536	970	1 022	301	523	2.5
566	1 070	1 022	302	550	2.9

7 个流量点的测量结果表明, PMS-800 采样器流量计与喷嘴流量计的相对偏差均小于 5%, 满足 IMS 的相关要求。

2.2 采样器总采样效率测试结果

PMS-800 采样器总采样效率测试结果列于表 2。可看出, C_1 和 C_2 的相对偏差小于 10%, PMS-800 采样器总采样效率满足 PTS 的相关要求。

表 2 PMS-800 采样器总采样效率测试结果

Table 2 Global collection efficiency result

样品号	$C_1 / (Bq \cdot m^{-3})$	$C_2 / (Bq \cdot m^{-3})$	$\omega / \%$
1	1.37×10^{-3}	1.34×10^{-3}	2.2
2	7.42×10^{-4}	7.57×10^{-4}	-2.0
3	1.94×10^{-3}	2.04×10^{-3}	-4.9
4	2.24×10^{-3}	2.17×10^{-3}	3.2
5	2.17×10^{-3}	2.26×10^{-3}	-4.0
6	1.21×10^{-3}	1.32×10^{-3}	-8.3
7	1.28×10^{-3}	1.27×10^{-3}	0.8

3 结论

研究建立了大流量大气颗粒物采样器质量控制方法。实验结果表明, PMS-800 采样器流量计与 ISA1932 喷嘴流量计的相对偏差小于 5%, 总采样效率与 2031 型采样器的相对偏差小于 10%, PMS-800 采样器的性能满足 CTBT 相关技术文件要求。该方法可用于北京放射性核素实验室及 IMS 台站大流量大气颗粒物采样器的质量控制。

参考文献:

- [1] MEDICI F, WERNSPERGER B, VALMARI T. Collection efficiency of particulate and xenon sampling in the international monitoring system of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2004, 61: 219-224.
- [2] CHENG Y S, IRSHAD H, McFARLAND A R, et al. An aerosol wind tunnel for evaluation of massive-flow air samplers and calibration of snow white sampler [J]. Aerosol Science and Technology, 2004, 38: 1 099-1 107.
- [3] Intercalibration measurements for particulate samplers with ^7Be and ^{212}Pb at station RN33, CTBT/WGB-9/DE/1 [R]. Vienna: Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, 1999.
- [4] WERZI R, PADOANI F. Verifying the operational set-up of a radionuclide air-monitoring station [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2007, 65: 557-560.
- [5] Standard test method for determination of total suspended particulate matter in the atmosphere (high-volume sampler method) [S]. US: America Society of Testing and Material, 2009.
- [6] 常印忠, 刘龙波, 王世联, 等. PMS-800 大流量大气颗粒物采样器的研制 [J]. 辐射防护, 2011, 31(1): 39-44.
CHANG Yinzong, LIU Longbo, WANG Shilian, et al. Development of PMS-800 atmospheric particulate sampler [J]. Radiation Protection, 2011, 31(1): 39-44 (in Chinese).
- [7] GB/T 2624-93 流量测量节流装置用孔板、喷嘴和文丘里管测量充满圆管的流体流量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.