

大气放射性核素连续监测系统的构建

陈琴 鄢家龙

甘肃省疾病预防控制中心, 甘肃 兰州 730000

摘要: 目的 建立一套放射性核素最低可探测浓度较低, 具有较高自动化水平、状态稳定的大气放射性核素连续监测系统, 提高监测过程的溯源能力及质量控制水平。方法 以以太网为基础, 集成各类传感器, 对监测系统各个监控点实时监控并采集数据, 通过专用的监测系统控制软件实现数据自动记录与传输。结果 建立的监测系统可对监测过程中的环境、气象、样品状态、检测结果等数据进行自动采集、记录并传输; 该系统工作稳定, 2009–2014 年可开展监测工作天数比例为 96.8%, 对于重要人工放射性核素¹³⁷Cs 和¹³¹I 的最低可探测浓度达到 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 水平。结论 该监测系统具有较高的自动化水平, 提高了监测过程的数据溯源能力, 具有较低的核素最低可探测浓度、稳定的系统工作能力。

关键词: 大气; 放射性核素; 监测系统

中图分类号: R144 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2016)06-0738-04

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2016.06.035

对大气放射性核素进行连续监测, 不仅可以用于观测核试验、核事故等人类核活动对环境的影响, 还可以通过监测特定的天然放射性核素来研究大气运动。

作者简介: 陈琴 (1975–), 女, 甘肃兰州人, 硕士, 主管技师, 从事公共卫生工作。

一套简单的大气放射性核素监测系统由气溶胶采样装置加上 γ 能谱仪就可以构成并执行监测工作, 这类系统都无法记录采样过程中采样点的温度、湿度、气压、降水、风向、设备工作状态等样品中放射性核素浓度影响因素的变化情况, 也无法连续监控设备运行状

参考文献

- [1] Zhernosekov KP, Filosofov DV. Processing of Generator – Produced ⁶⁸Ga for Medical Application[J]. J Nucl Med, 2007 48: 1741–1748.
- [2] 胡杰, 汪太松, 赵晋华. 不同核素对 GC-1500 本底测定的影响[J]. 医疗卫生装备, 2013 34(9): 119–120.
- [3] Holland JP, Divilov V, Bander NH et al. Zr – DFO – J591 for immunoPET imaging of prostate – specific membrane antigen (PSMA) expression in vivo[J]. Journal of Nuclear Medicine, 2010 51(8): 1293–300.
- [4] Wooten AL, Madrid E, Schweitzer GD et al. Routine Production of ⁸⁹Zr Using an Automated Module[J]. Applied Sciences, 2013 3(3): 593–613.
- [5] Muylle K, Flamen P, Vugts DJ et al. Tumour targeting and radiation dose of radioimmunotherapy with 90Y – rituximab in CD20 + B – cell lymphoma as predicted by ⁸⁹Zr – rituximab immuno – PET: impact of preloading with unlabelled rituximab[J]. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 2015 42(8): 1–11.
- [6] Yang X, Liu H, Sun CK et al. Imaging of hepatocellular carcinoma patient – derived xenografts using ⁸⁹Zr – labeled anti – glypican – 3 monoclonal antibody[J]. Biomaterials, 2014 35(25): 6964–6971.
- [7] Michael G, Doran Kathryn E, Carnazza Jeffrey M, Steckler et al. Applying ⁸⁹Zr – Transferrin To Study the Pharmacology of Inhibitors to BET Bromodomain Containing Proteins[J]. Molecular Pharmacology, 2016 13(2): 683–688.
- [8] Jason P, Holland, Vadim Divilov, Neil H. Bander et al. ⁸⁹Zr – DFO – J591 for ImmunoPET of Prostate – Specific Membrane Antigen Expression In Vivo[J]. J Nucl Med, 2010 51(8): 1293–1300.
- [9] Wei L, Shi J, Afari G et al. Preparation of clinical – grade ⁸⁹Zr – panitumumab as a positron emission tomography biomarker for evaluating epidermal growth factor receptor – targeted therapy[J]. Journal of Labelled Compounds, 2014 57(1): 25–35.
- [10] 徐希杰, 邹美芬, 陈全成, 等. 2480 WIZARD2 伽玛计数器测量正电子核素⁶⁸Ga 的应用研究[J]. 中国辐射卫生, 2013 22(6): 651–653.
- [11] Natarajan A, Gambhir SS. Radiation Dosimetry Study of [⁸⁹Zr]rituximab Tracer for Clinical Translation of B cell NHL Imaging using Positron Emission Tomography[J]. Molecular Imaging & Biology, 2015 17(4): 1–9.
- [12] Natarajan A, Habte F, Liu H et al. Evaluation of ⁸⁹Zr – rituximab Tracer by Cerenkov Luminescence Imaging and Correlation with PET in a Humanized Transgenic Mouse Model to Image NHL[J]. Molecular Imaging & Biology, 2013 15(4): 468–475.
- [13] Dijkers EC, Kosterink JG, Rademaker AP et al. Development and characterization of clinical – grade ⁸⁹Zr – trastuzumab for HER2/neu immunoPET imaging[J]. Journal of Nuclear Medicine Official Publication Society of Nuclear Medicine, 2009 50(6): 974–981.

收稿日期: 2016-08-23 修回日期: 2016-10-09

态^[1-2]。为解决此问题,我中心建立了一套自动化程度较高的大气放射性核素连续监测系统,利用控制软件对气溶胶采样器周围的气象信息、 γ 能谱分析实验室的环境情况、样品状态、人员操作流程等数据进行自动记录 and 故障监控、报警。现将该系统做一简要介绍。

1 系统总体设计

大气放射性核素监测是一种低放射性水平的监测,尤其是通过大气环流输送的核试验、核事故释放的人工放射性核素,其浓度在 $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$,



图1 大气放射性核素连续流程示意图

大气放射性核素的连续监测过程中,在采样、衰变、测量各阶段会有设备状态、环境温湿度、气象信息、样品测量、样品状态等大量数据产生,这些数据对于监控系统运行状态、分析异常核素来源、研究天然核素浓度变化影响因素等工作有着非常重要的作用。这些数量巨大的数据是人工方式无法全面记录的。针对该问题,本系统应用网络技术将采样器、气象监测设备、样品分析设备、流程控制设备、输入输出设备等硬件设施连接起来,通过控制软件实现监测过程的全程自动化数据采集与存储、状态检测及报警,极大地提高了数据采集效率、监测的质量控制能力以及结果的可溯源性。

整个监测系统划分为硬件和软件两部分,硬件部分负责样品采集、信号采集、数据传输、样品检测,软件部分负责数据采集、设备控制、状态监测、数据汇总保存等。

2 系统组成

2.1 硬件设备 γ 能谱测量分析系统,相对探测效率为70%的ORTEC P型高纯锗(HPGe) γ 能谱仪,分析软件为GammaVision32。大流量气溶胶采样器,采样速率 $> 500 \text{ m}^3/\text{h}$,24 h连续采样的总体积可以达到 15000 m^3 (标准体积)以上。台式计算机、条形码扫描仪、状态监控开关、路由器、通讯协议转换器、环境状态监控设备、小型气象站等相关监控、通讯、输入输出

因此要求系统有较低的探测限。我中心建立的监测系统通过使用大流量采样器长时间采集以提高样品总体积,待检样品静置衰变以降低氡子体核素干扰,在保证监测结果时效性的前提下尽可能延长测量时间,使用高效率 γ 探测器的方式降低系统的探测限。为保证监测的连续性和时效性,样品采集、氡子体衰变、样品测量环节设定的工作流程时间长度均为24 h,一个样品从开始采样到完成测量的时间共72 h。为避免混淆及便于自动化管理,样品在流转过程中粘贴以特定规则编制、具有唯一性的条形码来标识。

设备。

2.2 系统控制软件 为了达到大气放射性核素监测过程数据可溯源,使监测过程具备可复现能力的要求,需要尽可能完整地保存监测过程中的质量控制数据。为此,系统控制软件在编制时就以监测过程中的时间顺序为逻辑链条,把监测流程和质量控制的相关功能融入到程序中,从而实现样品流程、操作过程的准确追踪、记录和管理,相关数据和信息由软件自动采集、记录^[3]。

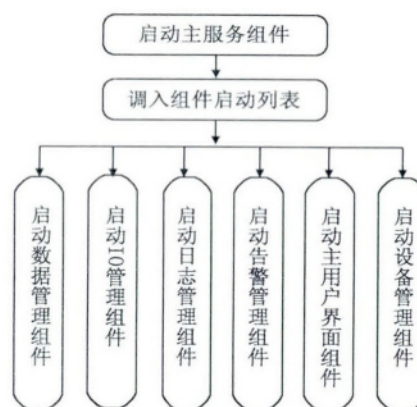


图2 系统控制软件运行流程示意图

系统控制软件由主程序和多个功能独立的子程序构成,整个程序界面直观简洁,能够对系统故障在专门的报告栏中清晰提示。软件系统具有以下优点:某个子程序繁忙状态下系统不会中断用户操作响应;系统子程序功能独立,利用严格定义的数据格式进行

通讯,通过修改、增加子程序可以实现系统的升级、维护;由于子程序之间相互独立,通过开启、关闭特定的子程序就可以快速判定、排除故障。

系统控制软件的主要功能包括:气溶胶采样器控制、样品标识条形码打印、衰变控制、 γ 能谱仪控制、样品管理、告警信息管理、邮件管理、环境状态显示、电源管理、气象信息显示、数据自动记录与存档、向指定用户发送记录数据。部分控制软件界面图如下:

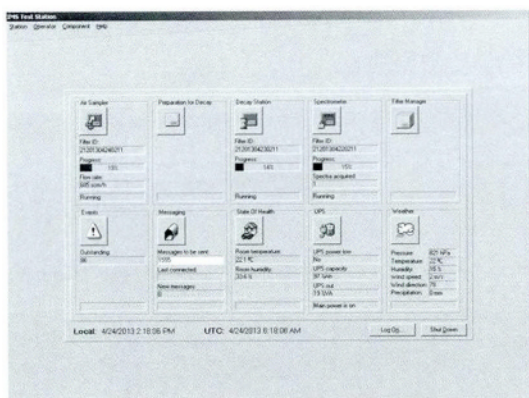


图3 系统控制软件主界面

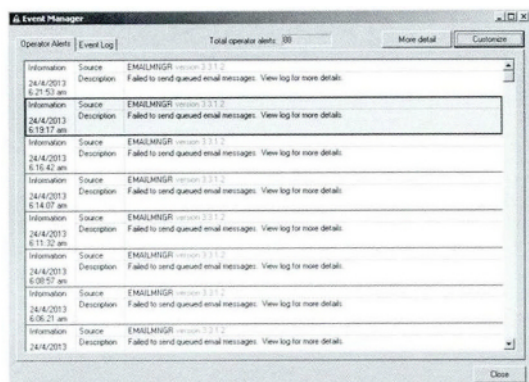


图4 系统控制软件告警信息管理界面

2.3 系统网络拓扑 由于采样点气象条件、电力供应以及实验室环境、耗材供应的限值,本单位建立的

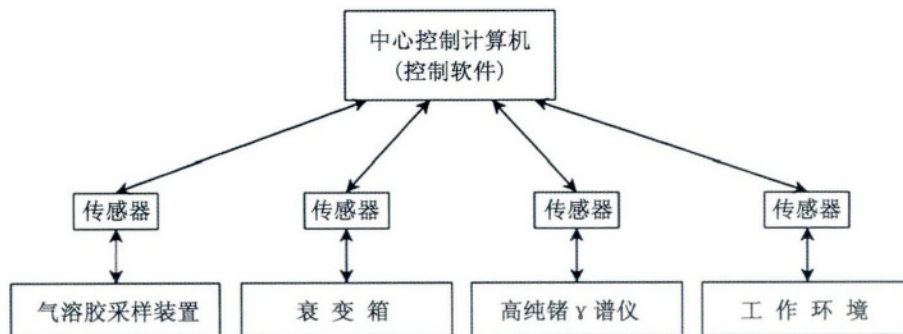


图6 系统网络结构示意图

监测系统采样和分析过程分别在两个地点完成。整个系统采用以太网为基础的实时性分布式监控系统,将扫描装置、状态开关、气压、气温、风速、风向、降雨量感应传感器整合到系统中,实现对采样点和实验室的各个监控点的实时监控及数据采集^[4]。

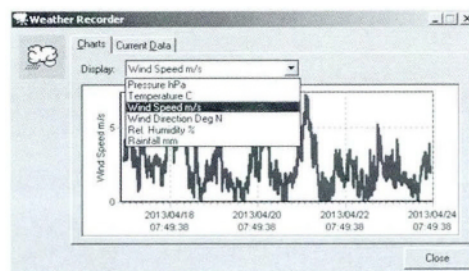


图5 系统控制软件气象信息显示界面

3 系统功能

3.1 系统工作稳定性 我们对大气放射性核素连续监测系统 2009 ~ 2014 年的工作情况进行了统计分析,各年正常开展监测的天数分别为 337、344、297、344、352 和 354 d,合计监测天数比例为 92.6%。由于设备保养维护时开展的是 γ 谱仪的能量、效率刻度和本底测量工作,若有需要,可以继续开展监测工作,即系统维护期间其监测能力没有受到影响,因此,2009 ~ 2014 年合计可监测天数比例为 96.8%。以上数据显示该系统具备很高的稳定性。

3.2 放射性核素最低可探测浓度 ^{137}Cs 和 ^{131}I 是核事故、核试验监测中重点关注的人工放射性核素,通过对 2011 年 3 月至 8 月日本福岛核电站事故期间系统的监测数据分析显示,监测系统对于 ^{137}Cs 和 ^{131}I 的最低可探测浓度均达到 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 水平;其中 ^{137}Cs 的最低可探测浓度为 $2.2 \sim 5.8 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, ^{131}I 的最低可探测浓度为 $2.3 \sim 7.3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ^[5]。

4 讨论

通过多年的连续运行,在验证本系统具备良好的

系统稳定性,较低的放射性核素最低可探测浓度的同时,我们也发现了一些系统设计、设备性能方面存在的问题。

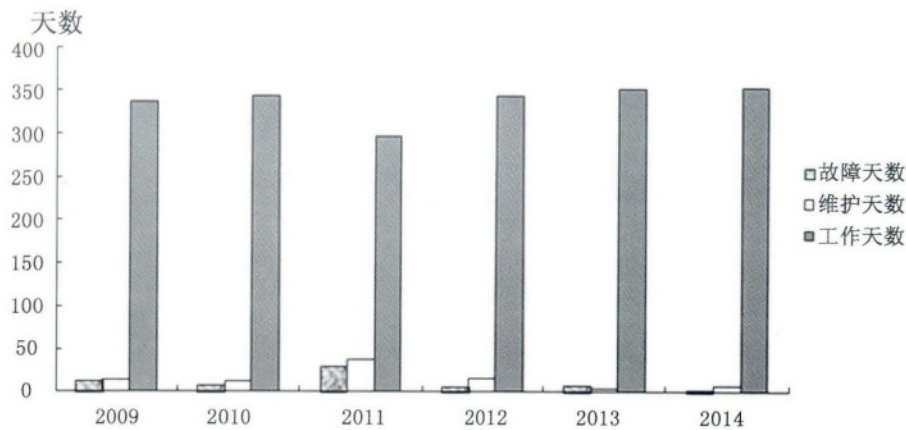
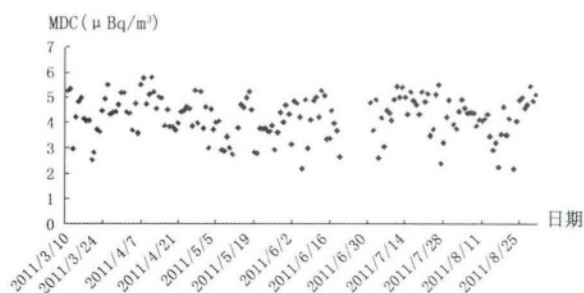
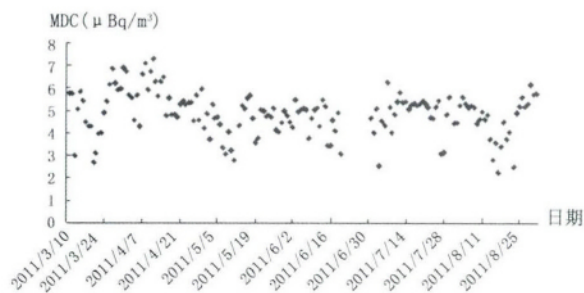


图 7 2009 ~ 2014 年系统工作情况示意图

图 8 ^{137}Cs 最低可探测浓度图 9 ^{131}I 最低可探测浓度

4.1 大流量气溶胶采样器采样流量的稳定性有待提高 由于气溶胶采样器没有流量稳定控制功能,因此在兰州地区易出现浮尘、风沙、降雪、霜冻等恶劣气象条件的冬季和春季,会因采样滤膜上迅速吸附大量的尘土或水汽凝结导致采样器堵塞,使得采样流量大幅降低,导致开机流量和关机流量相差很大。

4.2 系统控制软件自身故障提示方面有待提高 控制软件子程序独立运行,通过严格定义的数据格式相互进行通讯,这种结构提升了子程序故障情况下的系统稳定性,但是由于主程序缺少对于子程序运行状态

的监控能力,导致某个子程序因故障而停止或没有运行时,主程序不能主动报警,而被操作人员忽视。

4.3 系统控制软件功能存在很大的功能提升空间

系统控制软件除了监测系统运行状态数据采集监控功能外,还可以从监测数据质量控制、数据自动分析、结果判定方面进行提高,增加测量系统本底测量、效率刻度定期执行,质量控制指标偏离提示,特定核素自动识别,监测结果异常报警等功能。

本文介绍的大气放射性核素连续监测系统的设计思路同样适用于开发其他类似监测系统,希望通过本文能够为其他系统的开发与应用提供一个思路,提高自动化系统在各类监测工作中的应用,提升工作效率与质量。

参考文献

- [1] Medici F. The IMS radionuclide network of the CTBT[J]. Radiation Physics & Chemistry, 2001, 61(3-6): 689-690.
- [2] Karhu P. Radionuclide Monitoring as Part of the Verification Regime for the Comprehensive Nuclear - Test - Ban Treaty[J]. Radiochemistry, 2001, 43(5): 455-457.
- [3] 王尹, 郭家龙, 孙卫, 等. 大气气溶胶放射性检测质量控制软件研究[J]. 卫生职业教育, 2011, 29(6): 156-158.
- [4] 王履程, 孙卫, 谭筠梅. 实时性分布式监控系统的设计与实现[J]. 兰州交通大学学报, 2005, 24(1): 40-42.
- [5] 郭家龙, 孙卫, 王赞, 等. 兰州地区大气气溶胶中日本核电站泄漏核素监测结果分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32(2): 141-142.

收稿日期: 2016-05-26 修回日期: 2016-08-21