

无人机电核辐射监测及气溶胶采样系统试验分析

罗中兴,李霄,左莉,罗昆升,李藐,李浪
(中国人民解放军96901部队,北京 100085)

摘要:利用旋翼式无人机平台挂载机载式 γ 谱仪、气溶胶采样器及相关监控设备,在稳定风场下开阔平坦场地,对特征金属颗粒物随炸药爆炸后形成的气溶胶进行空中烟云跟踪取样及巡测,测量环境核辐射水平。结果表明,通过8次爆炸物气溶胶跟踪采样,以及放射性点源探测试验,证实旋翼式无人机空中气溶胶取样及对辐射测量的可行性。

关键词:气溶胶采样;核辐射监测;旋翼式无人机; γ 谱仪

中图分类号:X837;X851 文献标志码:B 文章编号:1006-2009(2019)01-0058-03

Experimental Study on Nuclear Radiation Monitoring and Aerosol Sampling System by Unmanned Aerial Vehicle

LUO Zhong-xing, LI Xiao, ZUO Li, LUO Kun-sheng, LI Miao, LI Lang
(96901 Troops of the PLA, Beijing 100085, China)

Abstract: The environmental nuclear radiation was determined by tracking, sampling and monitoring the specific metal particle aerosol from explosion in a flat open site with stable wind field, using rotor unmanned aerial vehicle mounted with airborne gamma spectrometer, aerosol sampler and related monitoring equipments. The results proved the feasibility of applying rotor unmanned aerial vehicle to aerosol sampling and radiation determination by tracking and sampling aerosol from 8 explosions, and detecting radiation from point source.

Key words: Aerosol sampling; Nuclear radiation monitoring; Rotor unmanned aerial vehicle; Gamma spectrometer

20世纪末,结合无人机进行核辐射监测的研究工作刚刚起步。21世纪早期,加拿大的Exploranium公司^[1]、Kurvinen等^[2]和Castelluccio等^[3]都开展了以无人机为平台的航空机载核辐射探测系统探索研究。2013年Sanada等^[4]将安装了3个LaBr₃探测器的无人机用于福岛核电站事故后的周围辐射测量。近年,Macfarlane等^[5]和西班牙Escuadrone公司^[6]研发了更为成熟的辐射探测无人机系统。无人机装置与辐射探测技术结合的研究在国外发展较早,成果也较成熟,而目前国内这方面的研究工作较少,还处于技术探索阶段。孟佳^[7]、李志强等^[8]、高同跃等^[9]都搭建了挂载各类监测设备的无人机核辐射监测系统,这些研究成果都提供了很好的参考。

当前我国民用和军用核设施繁多,核事故环境下源项复杂,现有航空核辐射监测系统大部分采用

固定翼或有人值守飞行系统,而其他研究成果应用普适性不强,不适用于复杂辐射环境,无法悬停或者灵活跟踪烟云进行样品采集和辐射监测。从应急和安全的角度考虑,今针对复杂地域核事故监测背景,研制一套兼容气溶胶采样和核辐射监测的无人机平台,用于应急核辐射监测,并通过试验验证该平台对大气气溶胶取样及辐射测量的可行性。

1 需求分析

作为应急使用,平台须满足便携和启动迅速的特点。硬件需一架飞行速度、载重能力和续航时间合适的无人机,挂载一台可无线通信的机载 γ 谱仪及气溶胶采样器。其中,机载 γ 谱仪需具备灵

收稿日期:2017-12-17;修订日期:2018-12-29

作者简介:罗中兴(1982—),男,湖南湘潭人,工程师,博士,主要从事核安全与应急研究工作。

敏的 γ 辐射探头、多道谱分析功能,以及地面控制终端和分析软件等。该平台需对典型低能核素(如 ^{241}Am 等)有良好识别能力,能够实时监测环境本底,能实现对测量数据(γ 剂量率、能量谱数据等)的远距离(不少于 3 km)实时传输,并通过地面控制端进行存储和分析,同时要能实现在地面控制端电子地图中实时显示、标绘剂量率数据。气溶胶采样器要能够实现对粒径 $>5\ \mu\text{m}$ 颗粒物的吸附,能够进行 $>8\ \text{h}$ 的持续采样,滤膜更换必须方便、快捷。无人机需具备 10 kg 的负载能力,能够实现预设轨迹的巡航飞行,具备较好的续航能力,单次飞行时间不低于 1 h,挂载设备适配快捷。

2 无人机载核辐射监测平台的搭建

2.1 机载 γ 谱仪

根据计量测量需求,自主研发了机载 γ 谱仪,见图 1。探测器采用 NaI(Tl) 闪烁晶体和 PTM,剂量率测量范围为 $0.001\ \mu\text{Gy}/\text{h} \sim 100.0\ \mu\text{Gy}/\text{h}$ 。累积剂量测量为 $0\ \text{mGy} \sim 9\ 999\ \text{mGy}$ 。 ^{137}Cs 的测定灵敏度不低于 $1\ 000\ \text{cps}/\mu\text{Gy}$, ^{226}Ra 的测定灵敏度不低于 $6\ \text{cps}/\mu\text{Gy}$, ^{129}I 的测定灵敏度不低于 $10\ \text{cps}/\mu\text{Gy}$ 。能量响应范围对于 ^{137}Cs 为 $48\ \text{keV} \sim 3\ \text{MeV}$,误差控制在 $\pm 30\%$ 以内;剂量率相对误差在 $\pm 15\%$ 以内;整机平均功耗约 $1.3\ \text{W}$;为了便携和利于无人机挂载,尺寸仅为 $330\ \text{mm} \times 145\ \text{mm} \times 138\ \text{mm}$,主机质量约为 $2.7\ \text{kg}$,同时能够满足 3 km 无线通信。



图 1 机载 γ 谱仪

Fig. 1 Airborne gamma spectrometer

2.2 气溶胶采样器

气溶胶采样器为中国辐射防护研究院研制的 PL-160 型采样器,包括主机、采样头及可更换滤膜等,可实现对粒径 $>5\ \mu\text{m}$ 颗粒物的吸附,采样流量 $2.5\ \text{L}/\text{min}$ 。该采样器专为大气气溶胶采样设计,可用于 TSP 气溶胶颗粒的收集,收集率在 95%

以上。采样器体积小($120\ \text{mm} \times 80\ \text{mm} \times 50\ \text{mm}$),结构坚固,还有室外采样防雨设计,便于在不同地点采样。电池连续工作时间超过 16 h,整机质量约为 $0.8\ \text{kg}$ 。

2.3 平台搭建

由于无人机分旋翼和固定翼,而固定翼飞机对起飞场地有严格要求,而且飞行过程中转向不灵活,不能进行悬停操作,而旋翼可以解决这些问题,故采用旋翼形式无人机。无人机动力选择上,有油动和电动 2 种主要形式,油动形式可以轻松实现长时间续航,然而动力系统复杂,实际使用过程中,无人机燃油添加手续较为麻烦,存在安全隐患,故考虑使用电动形式。这也是很多无人监测系统采用电动旋翼无人机的原因。综合旋翼和电动特点,以及系统对续航和载重的需求,选用六旋翼 M8FX 型无人机平台,包括无人机、地面站及相关配套设备。对无人机接口进行适配改造。空机质量 $14\ \text{kg}$,最大起飞质量(含 6 块电池) $54\ \text{kg}$,最大承受风力 6 级,支持智能航线飞行,具备较好的续航能力,单次飞行时间不少于 1 h。图 2 为挂载 γ 谱仪和气溶胶采样器的无人机。 γ 谱仪和气溶胶采样器的质量控制在无人机标准荷载以内,并不影响无人机的续航时间。



图 2 挂载 γ 谱仪和气溶胶采样器的无人机

Fig. 2 Unmanned aerial vehicle mounted with airborne gamma spectrometer and aerosol sampler

2.4 系统集成及试验

为了测试系统集成的可行性和可靠性,无人机在爆炸烟云中进行巡测试验,见图 3。无人机飞行轨迹见图 4。整个试验一共产生 8 次烟云,无人机进行了 8 次烟云跟踪采样、测量飞行,单次飞行时间在 8 min 左右,试验期间未更换电池,系统续航时间完全满足应急时单次采样需要。

气溶胶烟云由含铝金属粉末的炸药爆炸生成,



图3 无人机烟云跟踪试验情况

Fig.3 Experiment of aerosol tracking by rotor unmanned aerial vehicle

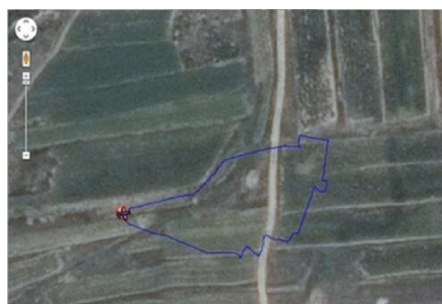


图4 控制端无人机飞行轨迹

Fig.4 Flight path of unmanned aerial vehicle on control terminal

每次装药量基本相当,试验前对每次爆炸的炸药铝元素质量分数进行测量,数值如表1所示。试验后期对气溶胶采样膜片作微量分析,结果见表1。由表1可知,采样滤膜中铝质量分数变化能反映出炸药中铝元素质量分数的变化,说明空气采样可以对爆炸产物中 μm 级气溶胶颗粒进行有效采集。

表1 采样滤膜铝元素微量分析结果

Table 1 Test results of trace amount of Aluminum in sampling membrane

样品序号	炸药中铝质量分数 $\omega/\%$	采样滤膜中铝质量分数 $\omega/\%$
1	5.39	3.50
2	3.66	2.11
3	5.35	3.47
4	5.75	3.72
5	5.13	3.31
6	5.83	3.85
7	5.86	4.00
8	6.82	4.89

爆炸现场并不存在放射性核素,只能对环境本底测量。试验在无放射性核素环境中进行,测得的环境本底剂量率为 $0.07 \mu\text{Sv/h}$, γ 谱仪谱图

中没有特征峰。为测试挂载的 γ 谱仪对放射性核素的监测可行性,设计实施了野外放射性点源探测试验,试验使用的点源为 ^{241}Am ,活度为 $4.5 \text{ mCi}(1.67 \text{ GBq})$,无人机悬停高度为 2 m 。结果实时剂量率为 $0.26 \mu\text{Sv/h}$, γ 谱仪的谱图中在 59 keV 处有明显 ^{241}Am 对应的特征峰。由此可见,在真实放射性事故中,上述无人机系统对放射性核素烟云和地面放射性核素的监测可行。

3 结语

从气溶胶采样分析结果看,采样滤膜样品上均检测到铝的成分,检测结果可以接受,无人机监测平台对气溶胶采样可行。采用旋翼无人机载的方式,可以灵活跟踪烟云,有利于对气溶胶的采集和辐射监测,试验验证了旋翼式无人机空中气溶胶取样及辐射测量的可行性。后期将对平台再进行更多试验验证,以期满足较为复杂环境下无人化监测的任务需求。

[参考文献]

- [1] 张洪瑞,范正国. 2000年来西方国家航空物探技术的若干进展[J]. 物探与化探,2007,31(1):1-8.
- [2] KURVINEN K, SMOLANDER P, PÖLLÄNEN R, et al. Design of a radiation surveillance unit for an unmanned aerial vehicle[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2005, 81(1):1-10.
- [3] CASTELLUCCIO D M, CISBANI E, FRULLANI S. Sniffer: An aerial platform for the plume phase of a nuclear emergency[C]// EPJ Web of Conferences. EDP Sciences. France: EPJ Web of Conferences, 2012:16.
- [4] SANADA Y, TORII T. Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant using an unmanned helicopter[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2015, 139: 294-299.
- [5] MACFARLANE J W, PAYTON O D, KEATLEY A C, et al. Lightweight aerial vehicles for monitoring, assessment and mapping of radiation anomalies[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2014, 136:127-130.
- [6] World Nuclear News. Radiation-detecting drone developed[EB/OL]. [2016-03-15]. <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Radiation-detecting-drone-developed>.
- [7] 孟佳. NH_UAV 无人机航空辐射监测系统的最小可探测活度浓度研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2016.
- [8] 李志强, 张晓旭, 刘玲, 等. 大气环境无人机监测方法研究[J]. 环境监测管理与技术, 2017, 29(1):65-68.
- [9] 高同跃, 夏晓玲, 饶进军, 等. 多无人机协作监测污染气团的研究现状[J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(1):12-15, 28.

本栏目编辑 吴珊