

辐射环境监测用大容量马弗炉的研制

甄赐达, 刘长军, 张荣锁, 方剑青, 胡晓燕

(浙江省辐射环境监测站/浙江省辐射环境安全监测重点实验室, 杭州 310012)

【摘要】辐射环境监测对智能大容量马弗炉有实际需求, 本文分析了通用型马弗炉的特点和应用中存在的不足, 提出了大容量马弗炉的设计, 并进行了样机研制和试验。结果表明, 研制的智能大容量马弗炉能够同时对 30 个样品进行烘干、炭化和灰化处理, 功效比合理, 具有较好应用价值。

【关键词】辐射监测; 马弗炉; 大容量

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2019)03-0152-03 DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.201903152

引言

随着公众对环境问题的日益重视, 国家对环境监测的工作力度不断加大, 同时, 随着我国核电事业的发展, 我国对核设施周围的辐射环境监测也在不断加强。生物样品中的放射性核素监测是核电厂周围辐射环境监测的一个重要项目。根据《生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法》(GB 16145-1995)^[1]等国家标准, 生物样品中的放射性核素监测, 首先需要对生物样品进行必要的预处理和前处理, 对生物样品进行烘干、炭化和灰化等。烘干在烘箱内进行, 炭化在电炉上进行, 灰化在马弗炉中进行, 每个过程均需要控制好各环节的温度, 尤其是炭化温度不能过高, 以防止样品产生明火。通常实验用的不同生物样品灰化时间不等, 一般需要 12~75 小时^[2], 这样的样品前处理方法对于处理少量样品尚可, 但对于处理大量生物样品则存在诸多问题。由于辐射环境监测样品绝大部分为痕量放射性样品, 实验所需生物样品量大, 并且有的生物样品不能长时间存放, 如螃蟹样品冰冻存放后难以进行监测标准所要求的骨肉分离, 需要在新鲜状态进行骨肉分离后进行样品前处理。因此, 更需要在短时间内处理大量的生物样品。虽然本站拥有一定数量的烘箱、电炉、马弗炉, 且设备总数在国内同行单位中属于相对较多, 但在样品采集“高峰时段”仍然存在样品处理能力不足的问题。

为了解决上述问题, 本站项目组启动了具有智能化特点的大容量烘干灰化一体机马弗炉研发, 样机于 2017 年获得了国家实用新型专利^[3]。该智能大容量马弗炉具有内腔体积大、灰化效率高、自动化程度高、安全系数大等优点, 适用于大批量动植物生物样品的烘干、炭化和灰化。

1 常规马弗炉存在的不足

常规马弗炉在灰化生物样品前, 需要在另一设备上进行烘干, 再在通风柜中的电炉上进行炭化。图 1 是我站的烘干用烘箱, 图 2 是我站的部分灰化用马弗炉, 图 3 是马弗炉的内部结构。由图可见, 常规马弗炉内腔体积小, 样品处理量有限, 一般通用型马弗炉的灰化结构内腔体积为 2×5L, 灰化过程耗时 4~5 天。

大量生物样品的快速灰化是辐射环境监测实验中需迫切解决的问题, 有作者曾研究了大量生物样品灰化的简易方法^[2], 取得了较好的效果。该方法是在传统马弗炉灰化方法基础上采取炉门适当开口充氧, 从而提高了灰化速度。但这种方法还没有完全解决同时处理多个样品的问题, 也没有实现烘干、炭化、灰化等过程的一体化。



图 1 样品烘干设备(烘箱)

2 智能大容量马弗炉的设计思路

实现生物样品快速处理, 满足辐射环境监测中不同种类、大批量生物样品烘干和炭化灰化一体化处理的需要, 项目组构想了智能大容量马弗炉的设计思路。

2.1 设计指标

设计目标是实现 1 台烘干灰化一体装置(马弗炉)能够达到 3 台烘箱(烘干)及 15 台马弗炉(灰化)的样品处

基金项目: 浙江省环保科研项目(2018A008)

作者简介: 甄赐达, 工程师, 从事辐射环境监测工作

通讯作者: 方剑青, 高级工程师, 博士, 从事辐射环境监测研究工作

文献格式: 甄赐达, 刘长军, 张荣锁, 等. 辐射环境监测用大容量马弗炉的研制[J]. 环境与可持续发展, 2019, 44(3): 152-154. [ZHEN Cida, LIU Changjun, ZHANG Rongsuo et al. Development of a large muffle for radiation environment monitoring[J]. Environment and Sustainable Development, 2019, 44(3): 152-154.]

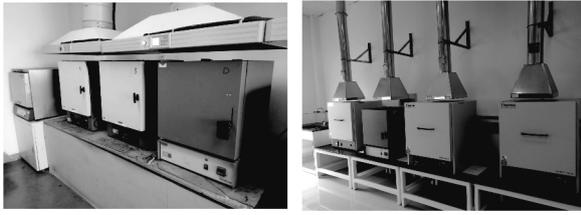


图2 样品灰化设备(马弗炉)



图3 马弗炉内部结构

理能力。智能大容量马弗炉的设计指标为: (1) 功率: $\leq 25\text{kW}$; (2) 电压: 三相 380V ; (3) 温度范围: $80 \sim 650^\circ\text{C}$; (4) 最大加热速率 $5^\circ\text{C}/\text{min}$; (5) 炉腔尺寸: 高 800mm , 宽 700mm , 深 1000mm ; (6) 外形尺寸: 高 1500mm (炉门上升最高为 2600mm), 宽 1220mm , 深 1450mm ; (7) 灰化炉材质: 内芯采用模制陶瓷纤维发热板, 保温材料为陶瓷纤维, 外壳采用镜面不锈钢(304 不锈钢)材料制作; (8) 由工控机控制温度, 操作屏同时显示设定炉温和实际炉温, 控温精度 0.5% ; (9) 能实现远程监控、无人值守模式。

2.2 电功率对比

1 台智能大容量马弗炉的电功率为三相 $380\text{V}/25\text{kW}/30\text{A}$ 。作为对比, 3 台德国宾得烘箱($230\text{V}/8.1\text{kW}/11.8\text{A}$), 15 台美国热电马弗炉($230\text{V}/82.5\text{kW}/11.8\text{A}$), 经计算, 相当于三相 $380\text{V}/87\text{kW}/125\text{A}$ 。可见, 智能大容量马弗炉的电功率相对小得多。

2.3 经济性分析

1 台智能大容量马弗炉的制造费约为人民币 30 万元, 而 3 台德国宾得烘箱约 9 万元, 15 台美国热电马弗炉约 150 万元(单价约 10 万元), 并且可以节约大量的样品前处理人力成本。可见从设备成本和运行成本上看, 研制一体化装置(马弗炉)具有非常好的性价比优势。

2.4 设计过程中需要解决的技术问题

设计过程中需要考虑的因素: ①马弗炉炉腔温度非均匀情况下, 对易挥发核素损失和样品灰化效率的影响; ②灰化过程中异味的净化与去除; ③马弗炉增大炉腔体积、温度均匀性控制和检测、温度曲线记录查询与储存、炭化灰化一体化的试验验证等。

设计过程中, 需要考虑的内容有: 与制造相关的材料及零部件供应、工艺制造、控制系统设计、仪器设备的检测; 炉腔的设计涉及加热板、保温材料; 箱体的设计涉及外壳、箱门、通风装置; 控制系统涉及温控元器件、气体流量控制、工控设备; 系统检测涉及温度均匀性、腔体密封性、气体流量等。

3 智能大容量马弗炉的实验室样机及样机验证

3.1 样机基本情况

智能大容量马弗炉采用六个嵌入(在炉腔两侧)多晶莫来石纤维(多晶氧化铝纤维)的电阻加热器进行加热; 炉门设计为提升式, 采用升降气缸启闭; 安全开关可在炉门打开时禁用加热器; 炉子后部预留的气孔便于氮气或氧气的进入; 炉子顶部内置可以除污油烟、异味的通风系统; 实现部分智能控制, 有远程监控接口; 同时显示温控进程、时间功能, 可减少视读和人为操作误差, 提高工作效率。图 4 为装配成型并调试成功的样机外观图, 图 5 为炉门打开后的内部结构图。



图4 智能大容量马弗炉外观图



图5 智能大容量马弗炉内部结构

马弗炉内腔材质为陶瓷纤维, 载重量可达到 50kg ; 在电气元件方面, 采用 K 型热电偶, 使用寿命长; 控制开关位于炉子侧面控制柜面板上, 便于操作; LED 数字设定/显示温度控制器由微处理器控制; 显示屏同时以“ $^\circ\text{C}$ ”显示设定温度和实际炉温; 可以调整从 $1\% \sim 100\%$ 的电源输出; 人工调节风量, 通过废气处理系统排出废气。

仪器安全设计方面, 带有可调节超温保护功能; 炉门安全开关用于在打开炉门的同时切断加热电源, 禁用加热器, 可以保护加热元件和操作人员的安全; 上下气缸动作式机械炉门设计方便炉腔检修; 二个侧面嵌入高纯度氧化铝耐火材料的电阻加热器; 模制陶瓷纤维绝缘可降低能量损耗、快速加热。箱体总重量约 300kg 。

用户可通过软件选配计算机集散控制系统,实现单台或者多台马弗炉的远程控制、实时追踪、历史记录、输出报表等功能;可安装无纸记录装置,实现数据的存储和输出。

3.2 样机调试和样机验证

样机性能参数测试主要考察温度的波动度和温度均匀度。空载情况下,在炉腔中心位置点,设定温度500℃条件下波动度为 $\pm 2.5^\circ\text{C}$,达到设计要求;不同位置5个点位的温度分别为497.4℃、498.0℃、502.5℃、505.6℃、512.9℃,比较理想。

通过调试和运行验证,智能大容量马弗炉能稳定工作,可根据需要设置温度和运行时间,各项显示正常。经过近两年的使用运行,处理了我站生物样品多批,没有发生“烧僵”等现象。灰化单次样品仅需耗时48小时(炭化时充氮气以防止明火燃烧,灰化时充氧气以加速灰化)。

4 下一步需要开展的工作

4.1 放射性核素回收率试验

放射性核素灰化回收率,是直接关系到放射性核素测量是否准确的重要参数,也是最后确定放射性核素含量(或活度浓度)的重要参数^[4]。因此,对于一台新研制的烘干、炭化和灰化一体的马弗炉,必须进行必要的回收率测定和验证。谢运棉、胡征兰开展过植物样品中¹³⁷Cs灰化回收率的测定^[5],结果表明回收率是个比较复杂的动态参数,不仅不同植物不同核素有较大差别,而且与炭化、灰化温度和时间等均有较大关系。

4.2 快速炭化灰化试验

本项目还需要开展不同方法的快速炭化灰化试验,以了解最佳的炭化灰化技术,发挥该设备的最优性能。试验内容也包括炭化灰化过程中充氮、供氧的输入量、时间点和持续时间等。

4.3 炉腔温度场的分布研究

对于大容量炉腔的一体化马弗炉,腔内工作温度分布的均匀性是非常重要的因素,直接影响到烘干、炭化

和灰化的效率和同步性。现有试验表明,给定时间内能够实现全部样品的完整灰化,但可进一步优化加温结构和布局,挖掘和提升装置的性能。随着各领域数字模拟技术的发展,基于有限元分析的温度场分布模拟软件已有很多,并在航空、汽车等工业领域得到重要应用。本项目可引入这类软件,对一体化马弗炉的加温结果进行温度场分布的模拟和研究,并提出进一步的改进设计。也可引入内部气体导流技术,以促进炉腔内温度分布的均匀性。

4.4 进一步完善运行环境条件

运行环境条件是保障一台设备运行安全、实现理想炭化、灰化效果的重要因素。例如,建立实验室智能监控系统,通过改造实现远程监控、无人值守模式,建立样品灰化控制温度和实际温度记录系统。远程监控与电力、消防安全系统对接,能够在需要的时候或是紧急情况下提供报警信号、自动切断电源或采取自动灭火隔离措施等。

5 结论

基于实际监测工作需要研制的智能大容量马弗炉,基本实现了大量生物样品的快速处理,具备了在辐射环境监测领域推广应用的条件。作为一个经过长时间测试验证的样机,仍有改进和提高的工作可以进一步开展,以便研制出性能更好的智能大容量马弗炉装置。

参考文献:

- [1] 国家技术监督局,中华人民共和国卫生部. 生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法(GB16145-1995). 1996. 01. 23.
- [2] 吴宗梅. 大量生物样品灰化的简易方法. 辐射防护, 1995, 15(4): 325-326.
- [3] 国家知识产权局. 实用新型专利证书. 使用安全的马弗炉. 专利号: ZL 2017 2 0390620. X, 2017. 12. 08.
- [4] 方剑青, 陈彬, 钱锐, 等. 可搬迁式中低放射性废物处置场概念论证 [J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(5): 94-96.
- [5] 钱锐, 方剑青, 梁梅燕, 等. 浙江省中低放废物处置场选址探索及建议 [J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(5): 97-99.
- [6] Nakamura, R., Suzuki Y., Kawachi, E. and Ueda, T. The Loss of Radionuclides in Marine Organisms during Thermal Decomposition. J. RADIAT. RES. 1972, vol. 13: 149-155.
- [7] 谢运棉, 胡征兰. 植物样品中¹³⁷Cs灰化回收率测定. 原子能科学技术, 1976, 10(4): 384-386.

Development of a large muffle for radiation environment monitoring

ZHEN Cida, LIU Changjun, ZHANG Rongsuo, FANG Jianqing, HU Xiaoyan
(Zhejiang Province Radiation Environmental Monitoring Center/Key Laboratory of Radiation
Environmental Safety Monitoring in Zhejiang Province, Hangzhou 310012)

Abstract: Radiation environmental monitoring has practical requirements for intelligent large capacity muffle furnaces. This paper analyzes the characteristics and the application insufficiency of some type of general muffle furnace. Large capacity muffle furnace design is proposed and prototype development and tests are carried out. The results show that the developed intelligent large capacity muffle furnace can simultaneously dry, carbonize and ash 30 samples, with reasonable efficacy ratio and good application values.

Keywords: radiation monitoring; muffle; large capacity