

# 低本底 $\alpha/\beta$ 仪测量饮用水中总 $\alpha$ 放射性活度的实验室质量控制

毛 俐, 李荣培, 刘 鑫, 苏会岚\*

成都医学院公共卫生学院, 四川 成都 610500

**摘 要** 总  $\alpha$  放射性活度检测可避免繁琐的低水平放射性核素鉴定, 是饮用水放射性水平的初筛监测手段之一。近年调查显示: 我国饮用水总  $\alpha$  放射性活度稳定保持在较低水平。低水平的  $\alpha$  放射性活度检测需要高质量实验室质量控制, 以保证检测结果的准确度。实验采用低本底  $\alpha/\beta$  仪, 以  $\alpha$  闪烁体为探测器, 吸收样品核辐射  $\alpha$  粒子能量, 使有机闪烁体分子 ZnS(Ag) 发射荧光, 通过统计单位时间内的闪烁体发射荧光数目正比于核衰变数目, 由此感应有效厚度样品层辐射的  $\alpha$  粒子计数信号, 对饮用水中总  $\alpha$  放射性活度浓度检测。首先, 实验以表面  $\alpha$  粒子发射率为  $2\sim 20$  粒子数/s( $2\pi$  方向)的电镀源测定本底  $\alpha$  计数效率(CPS)。然后, 在最优化的本底值、工作源效率、串道率等参数条件下, 运用标准曲线法测定标准源  $\alpha$  计数效率( $\epsilon$ )。最后, 结合 CPS 和  $\epsilon$  代值计算质控样总  $\alpha$  体积活度、计数平均值(或总体积活度平均值) $\bar{x}$  和标准偏差  $s$ , 并以  $\bar{x}\pm s$  为上辅助线(upper auxiliary limit, UAL)和下辅助线(lower auxiliary limit, LAL), 以  $\bar{x}\pm 2s$  为上警告线(upper warning limit, UWL)和下警告线(lower warning limit, LWL), 以  $\bar{x}\pm 3s$  为上控制线(upper control limit, UCL)和下控制线(lower control limit, LCL), 绘制本底  $\alpha$  计数、标准源  $\alpha$  计数和质控水样总  $\alpha$  体积活度的均数质量控制图, 以考察 CPS 和  $\epsilon$  对质控水样总  $\alpha$  体积活度测量质量控制的影响。数据结果显示, 以电镀<sup>239</sup>Pu 为工作源, 以<sup>241</sup>Am为标准源, 样品放置时间 24 h, 测量时间 60 min, 铺样厚度  $4\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$  时, 本底  $\alpha$  计数率  $\text{CPS}=0.000\ 37\ \text{s}^{-1}$ , 工作源探测效率  $\eta=94.35\%$ ,  $\alpha\rightarrow\beta$  串道率  $F_{\alpha}=0.41\%$ , 标准源计数效率  $\epsilon=7.25\%$  ( $Y=1.323X-5.285, R^2=0.991\ 5$ )。统计结果显示: 40 份空盘本底  $\alpha$  计数的受控范围为  $-1.61\sim 5.82$ , 33 个点落在 UAL 与 LAL 范围内, 2 个点落在 UWL 与 UAL 范围内, 3 个点落在 LWL 与 LAL 范围内, 2 个点落在 UWL 与 UCL 之间, 本底测量受控良好; 24 份标准源  $\alpha$  计数的受控范围  $523.7\sim 644.3$ , 14 个点落在 UAL 与 LAL 范围内, 5 个点落在 UWL 与 UAL 范围内, 5 个点落在 LWL 与 LAL 范围内, 标准源测量受控良好; 20 份质控水样总  $\alpha$  体积活度受控范围为  $0.007\ 91\sim 0.057\ 86\ \text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ , 11 个点在 UAL 与 LAL 范围内, 5 个点在 UWL 与 UAL 范围内, 3 个点在 LWL 与 LAL 范围内, 1 个点在 LWL 与 LCL 之间, 质控水样测量实验室质量控制良好。因此, 以  $\alpha$  闪烁探测器对低水平  $\alpha$  放射性计数测量时, 控制  $\alpha$  本底计数和标准源计数效率, 这两个  $\alpha$  统计计数中的主要不确定度来源, 可以实现水样中总  $\alpha$  放射性活度检测的有效实验室质量控制。

**关键词** 总  $\alpha$  放射性; 体积活度; 饮用水; 质量控制图

**中图分类号:** TH843 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)07-2166-05

## 引 言

水是人类摄入天然放射性核素的主要途径。通常, 总  $\alpha$  放射性检测作为饮用水放射性水平的初步筛查监测手段之一, 常规化的开展在放射性核素鉴定之前<sup>[1]</sup>。WHO 规定饮

用水的总  $\alpha$  放射性参考水平为  $0.5\ \text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[2]</sup>。近年来, 我国饮用水放射性水平调查显示, 50% 地下水源总  $\alpha$  放射性比活度超过  $0.1\ \text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ , 20% 地表水源总  $\alpha$  放射性比活度超过  $0.1\ \text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ , 总  $\alpha$  放射性活度稳定保持较低水平<sup>[3-5]</sup>。

低水平的  $\alpha$  放射性活度检测受放射性核素自吸、衰变等影响<sup>[3]</sup>, 需要高质量实验室质量控制的检测方法做保障。国

收稿日期: 2018-12-07, 修订日期: 2019-04-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(81601859), 四川省教育厅重点项目(17ZA0111), 成都医学院校基金项目(CYZ15-05), 成都医学院校基金创新团队项目(CYTD16-03)资助

作者简介: 毛 俐, 女, 1980 年生, 成都医学院公共卫生学院副教授 e-mail: chemistrymao@126.com

\* 通讯联系人 e-mail: tiantian1986315@126.com

家《生活饮用水标准检验方法—放射性指标》推荐：比较测量法、厚样法和标准曲线法等三种方法为饮用水总 $\alpha$ 放射性体积活度检测的基本方法<sup>[6]</sup>。近来，各研究机构对比较测量法和厚样法的测定不确定度时有评估<sup>[7-9]</sup>，但对实验室质量控制探讨少有涉及。实验拟采用标准曲线法测定计算质控样总体积活度，并深入探讨 $\alpha$ 放射性测定中的实验室质量控制。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器

低本底 $\alpha/\beta$ 测量仪( $\alpha/\beta$ 双闪烁体探测器)(HD-2011, 北京核地科技发展有限公司); 不锈钢测量盘(厚度大于 $250\text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ , 载样面积 $16\text{ cm}^2$ ); 电子天平(FA1604, 上海); 电热恒温干燥箱(GZX-DH-50X55-35, 上海跃进); 可编程一体化箱式电阻炉(SSXF-10-14, 上海康路); 电子恒温水浴锅(HH.W21, 北京中兴)。

### 1.2 试剂

$^{241}\text{Am}$   $\alpha$ 标准源粉末(中国计量科学研究院, 比活度 $11.1\text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ ); 硝酸溶液(50% V/V, 优级纯, 成都市科龙化工试剂厂)。

### 1.3 标准源制备

取适量 $\alpha$ 标准源 $^{241}\text{Am}$ , 经 $350\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干 $1\text{ h}$ , 干燥器冷却, 研磨成粉末( $<100$ 目), 双份制备。精准称量 $200\text{ mg}$ , 铺于测量盘中, 滴入适量丙酮与乙醇的有机混合液(V/V=1:1), 调为糊状, 平铺均匀, 红外灯下烘干, 干燥器内冷却待用。

### 1.4 水样的采集和预处理

水样采集: 按照标准文件 GB/T 5750.13—2006 执行<sup>[6]</sup>, 以水和硝酸体积比 1:0.020 的比例, 将相应量硝酸加入聚乙烯桶中。根据随机采样原则, 选择管网末梢水采样点, 每桶采集 $5\text{ L}$ 水样带回实验室,  $-4\text{ }^\circ\text{C}$ 下保存, 尽快分析。

水样蒸发: 取约 $1\text{ 000 mL}$ 水样, 加热近沸, 蒸发浓缩(至约 $100\text{ mL}$ ), 转入恒重瓷蒸发皿后, 水浴蒸发( $95\sim 97\text{ }^\circ\text{C}$ ), 硝酸溶液冲洗, 并入瓷蒸发皿。

酸化:  $1\text{ mL}$ 硫酸缓慢加入上述浓缩水样, 充分混合后, 电热板控温缓慢加热( $330\sim 350\text{ }^\circ\text{C}$ ), 至无烟雾产生。

灼烧: 硫酸酸化后的残渣于高温炉下灼烧 $1\text{ h}$ , 取出并置干燥器冷却, 最后, 以减量法称量计算固体残渣质量(mg)。

### 1.5 样品制备

准确称量 $200\text{ mg}$ 样品残渣粉末( $<100$ 目), 置于清洁样品托盘中, 然后滴入适量丙酮与乙醇的混合液(V/V=1:1)使之成为糊状, 均匀平铺, 红外灯下烘干, 放置 $24\text{ h}$ 待测。

### 1.6 测量

本底测量: 将空样品托盘放到测量位置, 设定“测量次数”(10次), 每次“定时设置”(100 min), 保存目录。

标准源测量:  $\alpha$ 标准源样品盘放到测量位置, 4路通道同时进行每次 $60\text{ min}$ 的 $\alpha$ 标准源效率测量, 测6次, 共 $360\text{ min}$ 。重复上述测量, 取平均值。

样品源测量: 样品源托盘放到测量位置, 选择设定水样

体积、总残渣质量、样品质量等样品类型相关信息, 设置测定时间和测定次数与标准源相同。

### 1.7 $\alpha$ 计数效率计算<sup>[6]</sup>

$$\epsilon = \frac{n_x - n_0}{A} \quad (1)$$

式(1)中:  $\epsilon$ 为 $\alpha$ 计数效率(从计数效率曲线查得, 与样品层质量厚度对应, 小数表示);  $n_x$ 为标准源 $\alpha$ 计数率(CPS, 计数 $\cdot\text{s}^{-1}$ );  $n_0$ 为目标测量系统 $\alpha$ 本底计数率(CPS, 计数 $\cdot\text{s}^{-1}$ );  $A$ 为标准物质粉末 $\alpha$ 放射性活度(由标准物质粉末的质量活度乘其样品盘中的质量得到, 单位 Bq)。

### 1.8 总体积活度计算<sup>[6]</sup>

$$A_V = \frac{(n_x - n_0)W}{\epsilon F m V} \times 1.02 \quad (2)$$

式(2)中:  $A_V$ 为水中 $\alpha$ 放射性体积活度( $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ );  $n_x$ 为样品源 $\alpha$ 计数率(CPS, 计数 $\cdot\text{s}^{-1}$ );  $n_0$ 为 $\alpha$ 本底计数率(CPS, 计数 $\cdot\text{s}^{-1}$ );  $\epsilon$ 为系统 $\alpha$ 计数效率;  $W$ 为经处理后的水样品总残渣质量(mg);  $m$ 为样品盘中的水样品源残渣质量(mg);  $V$ 为水样体积(L);  $F$ 为 $\alpha$ 放射性回收率(设 $F=1$ ); 1.02为每升水样加入 $20\text{ mL}$ 硝酸的体积修正系数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 本底测量质量控制

$\alpha$ 本底计数率与探测效率密切相关, 可先确定仪器探测效率, 再测量目标系统本底值。实验以仪器原配的电鍍 $^{239}\text{Pu}$ 为工作源, 进行10次测量结果如表1所示, 工作源探测效率 $\eta > 90\%$ ,  $\alpha \rightarrow \beta$ 串道率 $F\alpha < 0.5\%$ 。同时, 利用仪器本底值对测量盘进行筛选, 如表2所示, 4路测量通道空盘本底 $\alpha$ 计数率CPS均小于 $0.0016\text{ s}^{-1}$ 。选择本底值小, 且量值较接近的一组测量盘, 干燥器保存待用。

40份空盘 $\alpha$ 计数测量数据, 计算本底 $\alpha$ 计数平均值( $\bar{x}=2.1$ )和标准偏差( $s=1.24$ ), 绘制均数质量控制图(图1)。可见, 空盘本底 $\alpha$ 计数的受控范围 $-1.61\sim 5.82$ 。其中, 33个点落在UAL与LAL范围内, 2个点落在UWL与UAL范围内, 3个点落在LWL与LAL范围内, 2个点落在UWL与UCL之间, 各路本底测量受控良好。

表 1  $\alpha$ 放射性工作源效率

Table 1 The work source efficiency of alpha activity

测量次数	数值	探测效率 $\eta/\%$	效率比 $R_\eta/\%$	$\alpha \rightarrow \beta$ 串道率 $F\alpha/\%$	均值
1	9 303				
2	9 323				
3	9 322				
4	9 408				
5	9 212				
6	9 339	94.352	104.834	0.415	9 302.9
7	9 137				
8	9 032				
9	9 380				
10	9 573				

表 2  $\alpha$  本底计数

Table 2 The background count of alpha activity

测量次数	1 路 $\alpha$	2 路 $\alpha$	3 路 $\alpha$	4 路 $\alpha$
1	1	3	1	1
2	2	1	0	3
3	1	2	2	3
4	3	1	3	1
5	0	2	2	2
6	3	3	2	2
7	2	4	1	2
8	0	1	3	3
9	5	3	3	5
10	1	4	1	2
均值	1.8	2.4	1.8	2.4
CPS/s <sup>-1</sup>	0.000 3	0.000 4	0.000 3	0.000 4
均值	0.000 37			

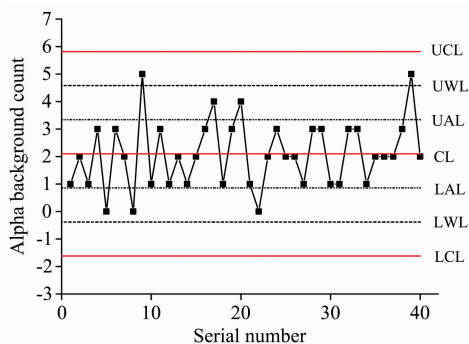


图 1 空盘本底  $\alpha$  计数测定均数质量控制图

Fig. 1 Quality control chart of alpha background count with blank panel

2.2 标准源计数效率测量

以国际标准推荐<sup>241</sup>Am粉末为标准源, 制备不同质量厚度标准源样品, 测量后, 按式(1)代入 $\alpha$ 净计数率和标准源的标准物质粉末浓度, 计算 $\alpha$ 计数效率。然后, 以该标准源 $\alpha$ 计数效率对标准源质量厚度作图, 拟合标准曲线( $Y = 1.323X - 5.285, R^2 = 0.9915$ )。<sup>241</sup>Am标准源测量结果数据(引用有效厚度经验值  $4 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ )如表 3 所示。

表 3 标准源计数效率

Table 3 The  $\alpha$  counting rate of standard source

测量数	1 路 $\alpha$	2 路 $\alpha$	3 路 $\alpha$	4 路 $\alpha$
1	550	609	611	564
2	607	573	591	557
3	597	582	551	577
4	586	567	563	615
5	558	603	581	593
6	584	595	593	609
均值	580.3	588.2	582.2	585.8
CPS	0.160 7	0.162 7	0.161 2	0.162 1
$\epsilon/\%$	7.24	7.33	7.26	7.30
$\bar{\epsilon}/\%$	7.28			

24 份标准源样品 4 路  $\alpha$  计数测量数据, 计算计数平均值( $\bar{x} = 584.0$ )和标准偏差( $s = 20.1$ ), 绘制均数质量控制图(图 2)。标准源  $\alpha$  计数受控范围 523.7~644.3, 且 14 个点落在 UAL 与 LAL 范围内, 5 个点落在 UWL 与 UAL 范围内, 5 个点落在 LWL 与 LAL 范围内, 各路标准源测量受控良好。

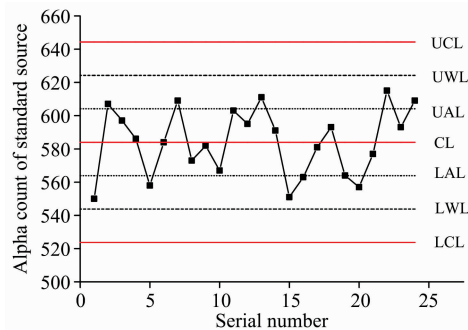


图 2 标准源  $\alpha$  计数测定均数质量控制图

Fig. 2 Quality control chart of alpha count with <sup>241</sup>Am as standard source

2.3  $\alpha$  放射性活度浓度测量质量控制

实验收集 20 组质控饮用水样  $\alpha$  放射性活度测量数据, 如表 4 所示。计算 $\alpha$ 总体积活度的算术平均值( $\bar{x} = 0.032885 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ )和标准偏差( $s = 0.008325$ ), 绘制如图 3 所示的均数-标准差质量控制图。

表 4 质控饮用水样总  $\alpha$  体积活度

Table 4 The gross alpha volume activity in water sample

样品号	体积活度/ (Bq · L <sup>-1</sup> )	水样 体积/L	残渣 总质量/mg	样品 质量/mg
1	0.037 6	5	3 125.6	197.5
2	0.021 4	5	3 113.6	207.0
3	0.037 6	5	3 219.7	163.4
4	0.030 5	5	3 239.6	202.8
5	0.045 6	5	3 524.2	201.4
6	0.040 9	5	3 501.6	202.2
7	0.038 6	5	3 156.7	208.7
8	0.044 9	5	3 513.6	205.4
9	0.022 8	5	3 120.4	202.5
10	0.042 8	5	3 035.5	201.3
11	0.044 5	5	3 320.3	203.7
12	0.025 6	5	3 136.4	204.9
13	0.017 7	5	3 041.5	209.2
14	0.015 1	5	3 020.1	202.4
15	0.048 6	5	3 529.6	202.3
16	0.026 9	5	3 030.1	205.1
17	0.037 0	5	3 210.2	202.2
18	0.025 8	5	3 122.6	201.6
19	0.027 3	5	3 152.6	204.2
20	0.032 5	5	3 323.7	208.3
均值/(Bq · L <sup>-1</sup> )	0.032 885	标准偏差	0.008 325	

饮用水样总  $\alpha$  体积活度的受控范围  $0.00791 \sim 0.05786 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。其中, 11 个点在 UAL 与 LAL 范围内, 5 个点在

UWL 与 UAL 范围内, 3 个点在 LWL 与 LAL 范围内, 1 个点在 LWL 与 LCL 之间, 质控饮用水样中  $\alpha$  放射性活度检测受控良好。

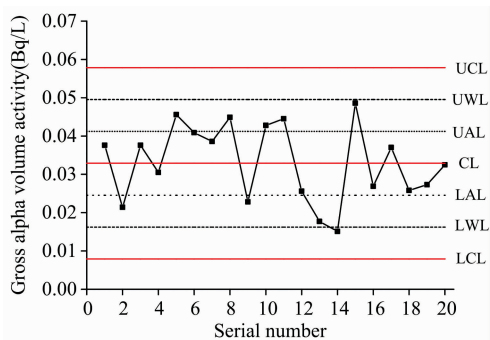


图 3 质控饮用水样总  $\alpha$  体积活度均数质量控制图  
Fig. 3 Quality control chart of gross alpha volume activity in controlled drinking-water sample

### 3 结 论

低本底  $\alpha/\beta$  仪对  $\alpha$  放射性的测量是基于 ZnS(Ag) 闪烁体

的主探测器吸收样品核辐射  $\alpha$  粒子能量, 使有机闪烁体分子 ZnS(Ag) 发射荧光, 统计单位时间内的发射闪烁荧光数目正比于核衰变数目, 由此感应  $\alpha$  粒子计数信号, 再转化成脉冲信号输出而实现样品放射性活度测量<sup>[10]</sup>。本底计数统计涨落和标准源计数标准偏差是样品测量中不确定度的两大主要来源<sup>[11]</sup>。因此, 本底计数和标准源的计数效率校正正是标准曲线法测定  $\alpha$  放射性活度实验的关键。

系统本底  $\alpha$  计数, 以仪器原配电镀  $^{239}\text{Pu}$  为工作源, 表面  $\alpha$  粒子发射率为  $2\sim 20$  粒子数  $\cdot \text{s}^{-1}$  ( $2\pi$  方向), 测得的探测效率、串道率、本底计数率等参数, 均达到或超过 JJG853—1993《低本底  $\alpha/\beta$  测量仪检定规程》中 II 类水平, 说明仪器本底干扰小, 本底测量受控良好<sup>[10]</sup>。标准源  $\alpha$  计数, 选择  $^{241}\text{Am}$  作标准源, 能发射平均能量为 5.5 MeV 的  $\alpha$  粒子, 计数稳定, 有效避免我国水体  $\alpha$  放射来源中  $^{238}\text{U}$  的干扰<sup>[12-13]</sup>。且在样品放置时间、测量时间、铺样分散、铺样称量等操作参数最优化条件下<sup>[10, 14]</sup>, 标准源测量受控状态良好。由此可见, 在本底计数率 CPS 为  $0.00037 \text{ s}^{-1}$  与标准源计数率  $\epsilon$  为 7.28%, 且二者计数受控状态良好的情况下, 以  $\alpha$  闪烁体为探测器对饮用水水样放射性体积活度测定, 取得较好质量控制效果。

### References

- [1] Seiler Ralph. Science of the Total Environment, 2016, 568: 1010.
- [2] Sarvajayakesavalu Suriyanarayanan, Laksh-Minarayanan Divya, George Jessen, et al. Groundwater for Sustainable Development, 2018, 6: 164.
- [3] JU Jin-xin, XUE Ru, CHEN Er-dong(鞠金欣, 薛茹, 陈尔东). Chinese Journal of Radiological Health(中国辐射卫生), 2016, 25(2): 163.
- [4] XU Yi-ming(许一明). Journal of China Hydrology(水文), 2018, 38(3): 73.
- [5] YU Li(于利). Chinese Journal of Radiological Health(中国辐射卫生), 2013, 22(3): 293.
- [6] ZHAO Qing, QIU Xiang-ping, LIU Hao-ran(赵清, 邱向平, 刘浩然). Chemical Analysis and Meterage(化学分析计量), 2015, 24(5): 7.
- [7] WANG Yan-jun, LUO Wei-li, WU Jia-long, et al(王延俊, 罗伟立, 邬家龙, 等). Chinese Journal of Health Laboratory Technology(中国卫生检验杂志), 2017, 27(9): 1323.
- [8] SUN Jian-yi(孙建义). China Resources Comprehensive Utilization(中国资源综合利用), 2018, 36(4): 11.
- [9] HUANG Hua, FU Yong-ming, YANG Ya-xin, et al(黄华, 付勇明, 杨亚新, 等). Journal of East China University of Science and Technology(华东理工大学学报自然科学版), 2016, 39(4): 369.
- [10] LÜ Wen-hui, YI Hong-chang, ZENG Zhi(吕汶辉, 衣宏昌, 曾志, 等). Nuclear Electronics and Detection Technology(核电子学与探测技术), 2018, 38(2): 206.
- [11] Fiserovaa Lucie, Janda Jiri. Journal of Environmental Radioactivity, 2018, 195: 54.
- [12] GUO Qian, DONG Jin-yang, HAO Yan-min, et al(郭倩, 董晋阳, 郝雁敏, 等). Journal of Shanxi Normal University Natural Science Edition(山西师范大学学报自然科学版), 2016, 30(4): 57.
- [13] Janda Jiří, Tichá Jitka. Journal of Environmental Radioactivity, 2018, 192: 181.
- [14] GONG Jin-yu(龚锦瑜). Guangdong Chemical Industry(广东化工), 2018, 45(11): 244.

# Quality Control to the Detection of Gross Alpha Activity in Drinking Water by Low-Background Gross Alpha/Beta Counter

MAO Li, LI Rong-pei, LIU Xin, SU Hui-lan\*

Department of Public Health, Chengdu Medical College, Chengdu 610500, China

**Abstract** The gross alpha activity assay generally serves as one of screening approaches on gross radiation level to avoid the cumbersome radionuclide identification at low radioactivity level. Since the radioactivity investigation in China showed that the gross alpha activity in drinking water maintained a low level, the high-efficient quality control in laboratory should be provided in gross alpha activity assay to guarantee the accuracy. In this experiment, the low-background gross alpha/beta counter was employed with alpha scintillation as probe to detect the gross alpha activity in drinking water. The energy of alpha particles emitted from analyte sample was absorbed by alpha scintillation and transferred to organic scintillation with fluorescence emission on the probe, by which the nuclear radiation was converted into the flicker of fluorescence. The number of flickers is proportional to the number of kernel decay per unit time for counting the alpha particles numbers emitted from analyte sample layer. At first, the electroplating source with alpha particle emissivity of 2~20 particles numbers per second in  $2\pi$  direction vector was used to determine the alpha background counting rate (CPS). Then the alpha background count, the detection efficiency of work source ( $\eta$ ), the common background beta to alpha ratio ( $F_\alpha$ ) were optimized in the experiment. Upon these optimized parameters, the standard source counting rate ( $\epsilon$ ) was calculated by fitting calibration curve. Finally, combining the value of CPS and  $\epsilon$ , the gross alpha volume activity in controlled water samples was calculated as mathematical model. Based on these data statistics, the quality control on alpha background count, alpha count of standard source and the gross alpha volume activity were investigated for evaluating the influence of CPS and  $\epsilon$  on the quality control of gross alpha volume activity assay. The results showed that while the spread sample with the density of  $4 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$  was placed for 24 h and measured with  $^{239}\text{Pu}$  as work source and  $^{241}\text{Am}$  as standard source for 60 min, the CPS could be obtained as  $0.00037 \text{ s}^{-1}$  upon the  $\eta$  of 94.34%, the  $F_\alpha$  of 0.41% and  $\epsilon$  of 7.25% ( $Y=1.323X-5.285$ ,  $R^2=0.9915$ ). And the alpha backgrounds of 40 blank panel samples count over the range of  $-1.61\sim 5.82$ . Among these samples, 33 of samples count in the controlled scope of upper auxiliary limit (UAL) and lower auxiliary limit (LAL). 2 of samples count in the controlled scope of upper warning limit (UWL) and UAL. 3 of samples count in the controlled scope of lower warning limit (LWL) and LAL. 2 of samples count in the controlled scope of UWL and upper control limit (UCL). The alpha background was well controlled. And the alpha particle numbers of 24 standard source samples count over the range of  $523.7\sim 644.3$ . Among these samples, 14 of samples count in the controlled scope of UAL and LAL. 5 of samples count in the controlled scope of UWL and UAL. 5 of samples count in the controlled scope of LWL and LAL. The alpha count of standard source was well controlled. Moreover, the gross alpha volume activity of 20 drinking-water samples distributed over the range of  $0.00791\sim 0.05786 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ . Among these water samples, 11 of samples dispersed in the controlled scope of UAL and LAL. 5 of samples dispersed in the controlled scope of UWL and UAL. 3 of samples dispersed in the controlled scope of LWL and LAL. Only one sample dispersed in the scope of LWL and lower control limit (LCL). The gross alpha activity detection was well controlled in drinking-water samples. Therefore, while the gross alpha activity at low level was detected by using alpha scintillation probe, controlling two main uncertainty source of alpha background and standard source counting rate was an effective strategy in quality control of gross alpha activity assay in laboratory.

**Keywords** Gross alpha activity; Volume activity; Drinking water; Quality control chart

(Received Dec. 7, 2018; accepted Apr. 10, 2019)

\* Corresponding author