

行政院原子能委員會放射性物料管理局
委託研究計畫研究報告

建置 205L 桶形校正系統及測試

計畫編號：102FCMA004

報告編號：102FCMA004-01

執行單位：核能研究所

計畫主持人：周鼎

子項工作負責人：邱鏗盛

報告作者：葉俊賢、黃珮吉、袁明程

報告日期：中華民國 102 年 12 月

[本頁空白]

Establishment and of calibration system for 205L standard drums

Yeh, Chin-Hsien Huannng, Ping-Ji Yuan, Ming-Chen

Abstract

The National Radiation Standard Laboratory (NRSL) simulated the low-level radioactive waste produced from nuclear facilities and fabricated reference materials which were 9 rod-type volume sources used in HPGe detectors to construct measurement standard drums of various densities. Besides, NRSL tested the radionuclide counting efficiency of this type of detector using volume sources of five densities and put the detectors into the gamma spectrum analysis of drum-type samples for low-level radioactive waste.

Keyword: rod source, counting efficiency, low-level testing sample.

Institute of Nuclear Energy Research

建置 205L 桶形校正系統及測試

葉俊賢、黃珮吉、袁明程

摘 要

國家游離輻射標準實驗室(NRSL)，模擬核設施產生的低放射性廢棄物，製作單一核種 ^{241}Am 可用於純鍺偵檢器之 9 支棒體射源；另外，亦完成純鍺偵檢器五種密度體射源之核種計測效率，適用於桶形低放射性廢棄物加馬活度量測。

關鍵字：棒狀體射源、計測效率、低放射性試樣。

核能研究所

目 錄

1. 前 言	1
2. 實驗方法	2
2.1 校正用假體製作	2
2.2 棒狀射源製作	5
2.3 量測驗證儀器	7
2.4 量測驗證結果	8
3. 量測比對	10
3.1 核種活度比對方法	11
3.2 比對結果	12
4. 結論與建議	13
參考文獻	14

附 圖 目 錄

圖 1：HPGe 使用校正假體射源配置方式	2
圖 2：殼狀棒校正桶側視圖與尺寸	3
圖 3：五種密度 9 支棒桶形校正假體	4
圖 4：核種 ^{241}Am 液態棒狀射源	5
圖 5：閃爍體偵檢器測試個別棒狀射源活度	6
圖 6：9 支棒 ^{241}Am 射源活度均勻性測試	6
圖 7：ORTEC-ISOCART 移動式純鍺偵檢器	7
圖 8：ORTEC-ISOCART 幾何模板	8
圖 9：純鍺偵檢器之假體密度與核種效率曲線	9
圖 10：Canberra-ISOCS 移動式加馬活度偵檢器	10
圖 11：ISOCS 幾何模板	11

附表目錄

表 1：純鍺偵檢器使用之 9 支棒密度假體規格.....	3
表 2：純鍺偵檢器使用之 9 支棒密度規格.....	8
表 3： ^{241}Am 活度量測比對結果.....	12

[本頁空白]

1. 前 言

為解決相關設施除役及核能電廠營運多年來庫存之放射性廢棄物問題，考量國內核能電廠及研究機構等，大多使用桶型偵檢系統來量測放射性廢棄物之解除管制試樣的比活度⁽¹⁾，我國國家游離輻射標準實驗室(NRSL)遂利用 9 個大面積片狀射源，以水平等間距方式放置於校正桶中，或利用 9 支均勻棒狀體射源，以等體積方式插入校正桶中，以校正儀器的偵測效率，並實際用於 98 年解除管制試樣量測分析之能力試驗，獲得初步良好的成果。

依據過去製作桶型體射源之經驗⁽²⁻⁴⁾，並參考 Canberra 公司利用殼狀模型發展之校正桶。本報告採用單一 ^{241}Am 核種，利用殼狀模型製作內含 9 支棒狀體射源且適用於純鍍偵檢器校正之標準校正桶。

本文將敘述建立純鍍偵檢器的各五種密度體射源校正桶的製作過程，並利用此校正桶評估量測系統對核種的計測效率，以及經此校正後的量測系統其樣品活度量測準確度的驗證與比較結果。

2. 實驗方法

2.1 校正用假體製作

校正用標準桶之製作分為兩部分，一是製作不同密度的假體，另一是製作要放入假體中的射源。使用於純鍍偵檢器校正的標準桶假體製作，材質為紙板、木板、塑膠粒、水泥或小彈珠製作之假體，其平均密度分別為 0.138 g/cm^3 、 0.498 g/cm^3 、 0.960 g/cm^3 、 1.583 g/cm^3 及 1.755 g/cm^3 。於假體鑽出 9 個圓柱形孔洞，各孔洞相對位置如圖 1 所示，以便隨後放入 9 支棒狀射源，而其淨重與材質如表 1 及圖 2 所示。五種密度 9 支棒桶型校正假體如圖 3 所示。

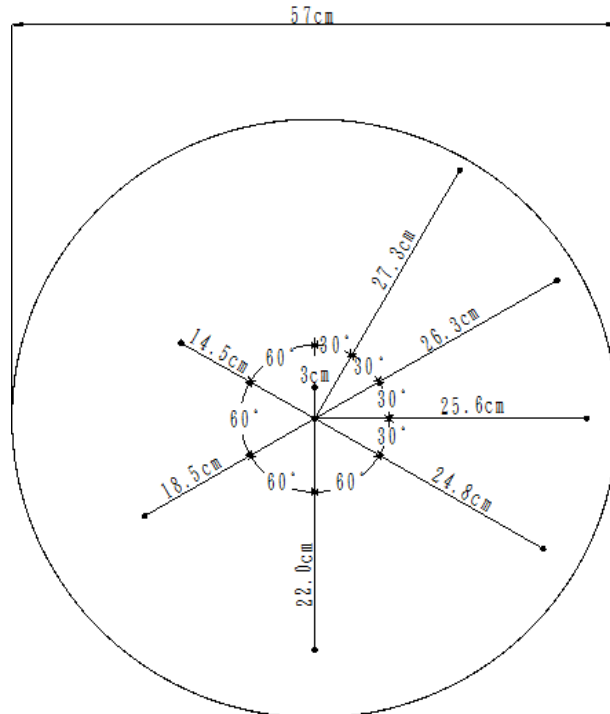


圖 1：HPGe 使用校正假體射源配置方式

表 1：純鍺偵檢器使用之 9 支棒密度假體規格

材質	淨重(kg)	密度(g/cm ³)
紙板	29	0.138
木板	104.5	0.498
塑膠	201.5	0.960
玻璃	332.5	1.583
水泥	368.5	1.755

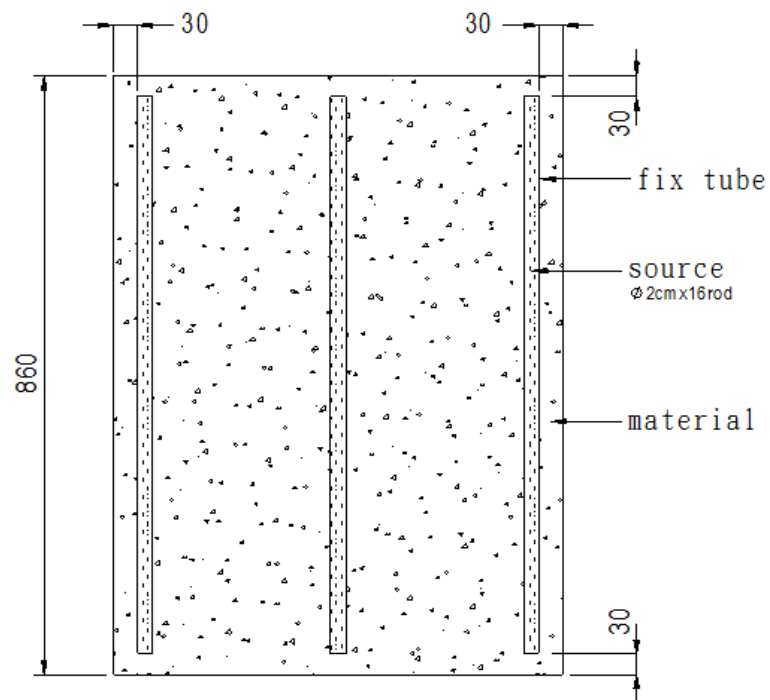


圖 2：殼狀棒校正桶側視圖與尺寸



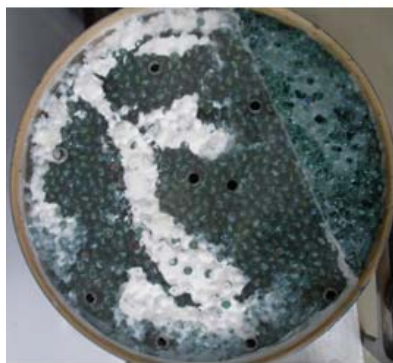
紙板(0.138 g/cm^3)



木板(0.498 g/cm^3)



塑膠(0.960 g/cm^3)



玻璃(1.583 g/cm^3)



水泥(1.755 g/cm^3)

圖 3：五種密度 9 支棒桶形校正假體

2.2 棒狀射源製作

採用單一核種 ^{241}Am 製作適用於純鍺偵檢器使用的 9 支棒狀體射源組，是使用直徑 1.5 cm、長 86 cm、厚度 5mm 的塑膠管內裝滿 60 mL 的 ^{241}Am 液態射源密封後，再放入直徑 2.0 cm、厚度 5mm 的塑膠管中密封完成，每支 60 mL 的 ^{241}Am 液態射源活度為 45.5 kBq，其標準不確定度 $< 1.8\%$ 。9 支液態射源棒總活度為 409 kBq，包括追溯國家游離輻射標準射源、鹽酸及載體等如圖 4，並使用微電腦自動分注器分別注入射源棒中。

使用直徑 3 cm 閃爍體偵檢器(INER/Fs-99)測試製作完成的棒狀射源的均勻度的裝置如圖 5，偵檢器的背景值為 44 cps。受測的 76 cm 長棒狀射源每 3 cm 量測一次，每支棒量測 20 個位置，在核種 ^{241}Am 棒射源組中，各別抽樣 3 支作均勻度測試的結果分別如圖 6，而相對平均值的標準差分別為 3.2 %、4.3 % 及 3.8 %。



圖 4：核種 ^{241}Am 液態棒狀射源



圖 5：閃爍體偵檢器測試個別棒狀射源活度

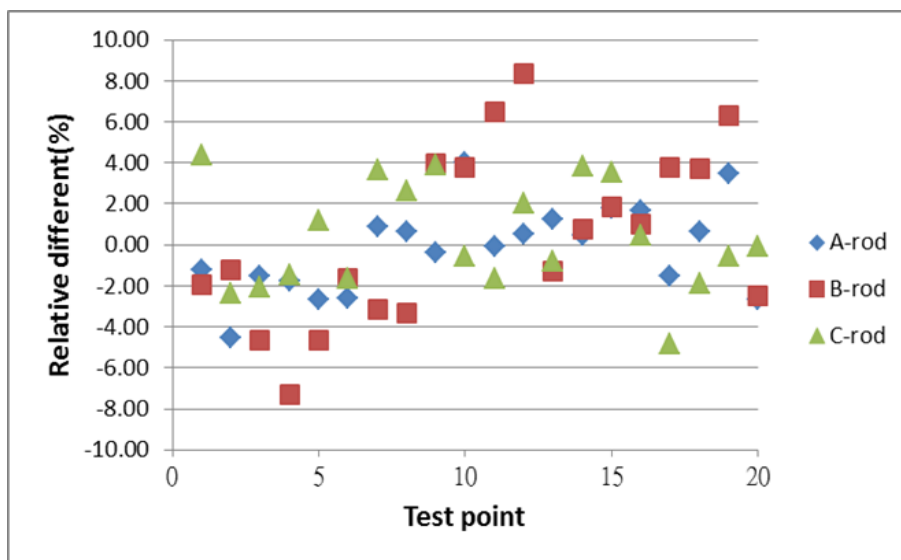


圖 6：9 支棒 ^{241}Am 射源活度均勻性測試

2.3 量測驗證儀器

使用 ORTEC 公司所製造之量測設備，移動式單純鍍加馬活度量測裝置(ISO-CART)⁽⁵⁾，如圖 7 所示；此移動式加馬偵檢器係利用點射源進行效率校正，並使用程式內建幾何模板模擬樣品形狀與活度分佈如圖 8 所示，再經由數學軟體(ISOTOPIC)計算量測樣品活度。



圖 7：ORTEC-ISO-CART 移動式純鍍偵檢器

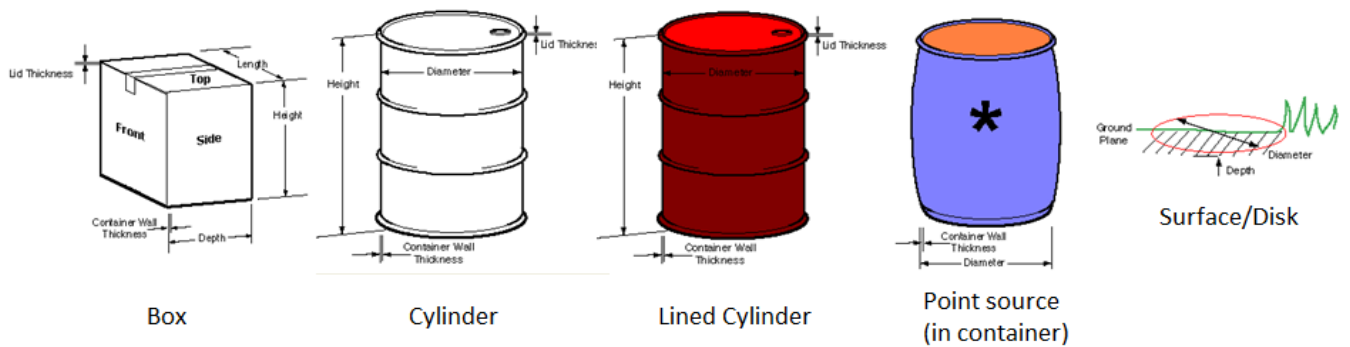


圖 8：ORTEC-ISOCART 幾何模板

2.4 量測驗證結果

使用於純鍺偵檢器的桶型 9 支棒體射源的核種 ^{241}Am (60 keV) 的五種密度假體的量測規格如表 2，低至高密度 $0.138 \text{ g/cm}^3 \sim 1.75 \text{ g/cm}^3$ 的 60 keV 的計測效率為 $0.00003 \sim 0.000004$ 。隨著桶形假體密度增大，光子受材質屏蔽效應愈大，故密度與核種偵測效率呈現反比關係，如圖 9 所示。

表 2：純鍺偵檢器使用之 9 支棒密度規格

材質	總重(kg)	淨重(kg)	密度(g/cm^3)	效率
水泥	390.5	368.5	1.7548	3.66E-06
玻璃	354.5	332.5	1.5833	3.70E-06
塑膠	223.5	201.5	0.9595	7.25E-06
木質	126.5	104.5	0.4976	1.36E-05
紙質	51.0	29.0	0.1381	2.84E-05

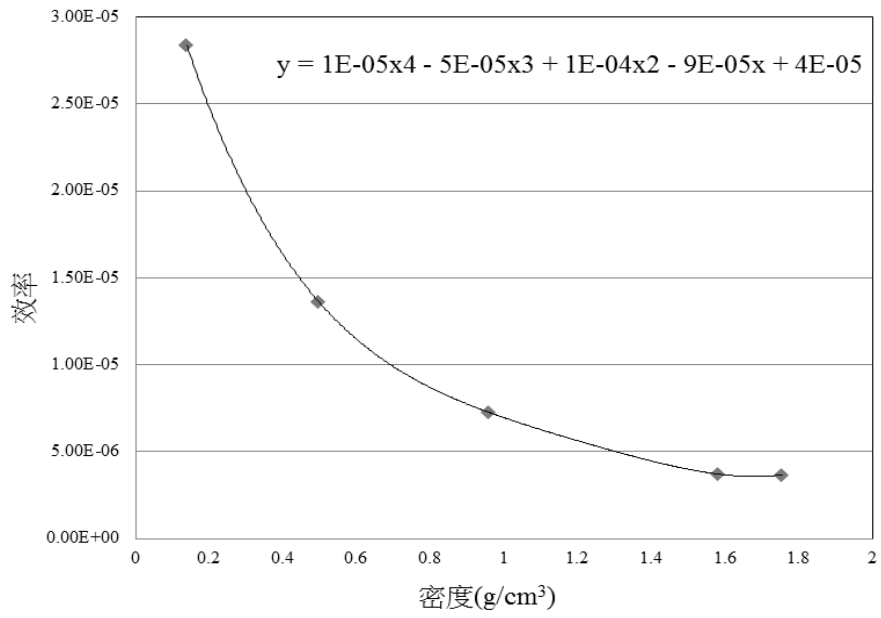


圖 9：純鍺偵檢器之假體密度與核種效率曲線

3. 量測比對

將 9 支棒體射源的核種 ^{241}Am 放置於 9 孔水泥校正桶中，以兩台不同廠牌移動式加馬活度量測系統，進行整桶加馬活度量測比對。其中由 ORTEC 公司製造量測設備規格，已在 2.3 節中簡介。另外由 Canberra 公司製造移動式單純銻偵檢器量測系統(ISOCS)，如圖 10 所示，可搭配 2.5 公分或 5 公分之鉛屏蔽，以及不同角度(0° 、 30° 、 90° 、 180°)的準直器進行量測，此量測設備之純銻偵檢器皆利用蒙地卡羅程式校正(MCNP-Characterized) 如圖 11，利用幾何模板模擬樣品形狀與活度分佈，再經由數學計算效率校正曲線。



圖 10：Canberra-ISOCS 移動式加馬活度偵檢器

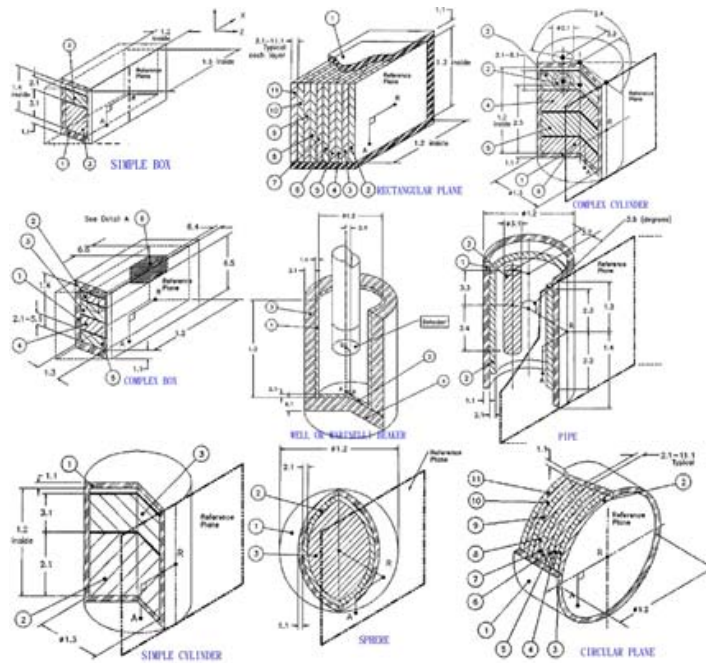


圖 11：ISOCS 幾何模板

3.1 核種活度比對方法

測試樣核種活度比對方法，基本上以下列公式計算，實驗室量測值為 V_i ，參考標準值為 V_s ，偏差 B_i (Bias) 定義為：

$$B_i = \frac{V_i - V_s}{V_s}$$

其中 B_i ：量測值與標準值的偏差

V_i ：核種量測活度(Bq)，

V_s ：核種標準活度(Bq)

3.2 比對結果

兩部移動式加馬活度量測系統，量測比對 205 L 水泥桶內 ^{241}Am 加馬活度，量測結果整理如表 3 所示：

表 3： ^{241}Am 活度量測比對結果

系統	標準活度 (Bq)	量測活度 (Bq)	相對誤差(%)
ISOCART	606300	636215	4.9
ISOCS	606300	757700	25.0

由上表可知，兩部不同廠牌量測系統，量測 205 L 整桶 ^{241}Am 加馬活度相對誤差在 30% 以內，未來將拓展於國內低放射性廢棄物整桶加馬活度量測比對活動當中。

4. 結論與建議

1. 製作完成移動式純鍺偵檢器使用之單一核種²⁴¹Am 的殼狀 9 支棒體射源。
2. 建立的五種桶型密度體射源的核種計測效率，適用於純鍺偵檢器量測低放射性活度試樣的活度。
3. 抽樣 3 支棒體射源均勻度測試的結果，相對平均值的最大標準差為 4.3 %。
4. ²⁴¹Am 整桶加馬活度量測比對結果，相對誤差小於 30%，未來將應用於國內低放射性廢棄物加馬活度量測比對活動之中。

參考文獻

1. 葉俊賢、袁明程”桶型加馬活度計測系統之校正方法 ”，INER-5068R，2007。
2. 葉俊賢、袁明程”解除管制試樣量測之棒狀射源校正桶”，INER-8525，2011。
3. Yuan, M.C., Yeh, C.H., Yeh, C.Y., Chen, I.J., Wang, C.F., 2010. Proficiency testing feasibility study for the measurement of gamma-emitting. *Appl. Radiat. Isot.* **68**, 1211-1216.
4. Yuan, M.C., Yeh, C.H., Wang, J.J., Chen, I.J., Wang, C.F., 2009. The calibration and evaluation of a radioactive waste drum counting system. *Appl. Radiat. Isot.* **67**, 931-934.
5. ISOTOPIC-32 Software Version 4.1-User' Manual, 2008. AMETEK/ORTEC.
6. Dean, J., 2010. A second comparison of procedures for the assay of low levels of gamma-emitters in nuclear site waste. National Physical Laboratory (NPL).