

整合型核化戰劑警報器 RAID-XP 輻射度量性能測試評估

作者簡介

作者劉衛蒼少校，中正理工學院正 56 期，國立中央大學統計研究所畢業，具原能會輻射防護師證照，歷任排長，副連長，毒化組組長、工儀組組長，現職為陸軍化學兵學校核生化防護研究中心輻射檢測組組長。

提要

- 一、整合型核化戰劑警報器 RAID-XP 為本軍化學兵專業部隊購置之新式警報器，可用於量測化學戰劑、工業化毒及兼具量測輻射劑量之功能，其警報器內含射源，但操作該儀器時毋須向原子能委員會申請儀器使用執照，且操作人員毋須取得輻防法規所要求之資格，降低部隊行政負荷。
- 二、本文將對該警報器實施輻射度量之性能測試評估，透過核能研究所保健物理組輻射度量儀器校正實驗室，探討儀器對輻射之反應，如光子能量依持測試、線性、角度依持測試、準確度測試及精密度測試，依據美國國家標準局 ANSI N323A 對偵檢器所規範校驗合格要求項目進行探討。
- 三、由光子能量依持測試結果來看，此警報器適用於核爆及核電廠事故後量測如銫137(Cs-137)，發現在低劑量及高劑量狀況下測試，其線性結果近乎直線，但若用於高能量光子如鈷60量測時，建議須乘以修正因子1.39，以確保偵測讀值之準確度。
- 四、RAID-XP 與 AN/VDR-2 輻射檢測功能相較，皆適用於核爆及核電廠事故後輻射量測，但 RAID-XP 在量測高能量光子時須適時修正劑量以免低估。再者 RAID-XP 為半導體輻射偵檢器對輻射靈敏度優於 AN/VDR-2，並保有 AN/VDR-2 之防水性、防塵性及防震性的設計，符合軍用可靠度設計規格之要求，適合部隊戰術用核子與化學兩用的警報器。

壹、前言

整合型核化戰劑警報器 RAID-XP(Rapid Alarm and Identification Device-XP，如圖 1)，為本軍化學兵專業部隊購置之新式警報器，由德國 Bruker Daltonik GmbH 公司生產之儀器，可用於量測化學戰劑、工業化毒及輻射劑量等功能，結合毒氣警報器及 AN/VDR-2 野戰輻射偵

檢器功能，將逐步淘汰舊式 M8A1 毒氣警報器（如圖 2），RAID-XP 可檢測毒劑的種類包含神經、血液、糜爛等戰劑及工業化毒等毒劑，部署於陣地前沿以提供部隊毒氣預警及輻射偵檢功能，降低人員傷亡比例。由表 1 得知本軍目前使用各類型毒氣警報器之功能，由對照表得知 RAID-XP 之重量及尺寸雖大於 ChmePro 100i 及 JCAD，但偵檢戰劑的種類及靈敏度相當，且重量及尺寸可由單兵攜行偵檢。若與 M8A1 及 M90 相較，發現其重量與尺寸相差不大，但偵檢功能更佳。再者此儀器兼具量測輻射劑量功能，其警報器雖內含射源，但在豁免管制範圍內，所以操作該儀器時無須向原子能委員會申請儀器使用執照，且操作人員毋須取得游離輻射防護法所要求之資格，部隊無須派訓取得合格輻射防護訓練證明後才能操作該警報器，可降低部隊行政負荷。



圖1 RAID-XP整合型核化戰劑警報器

圖片來源：作者拍攝



圖2 M8A1毒氣警報器

圖片來源：作者拍攝

表1 各類型毒氣警報器功能對照表(註1)

偵檢器	RAID-XP	M90	ChemPro 100i	JCAD	M8A1
可量測化學戰劑種類	神經性 糜爛性 血液性	神經性 糜爛性 血液性	神經性 糜爛性 血液性	神經性 糜爛性 血液性	神經性
靈敏度 mg/m ³	GA ² :0.01 GB:0.05 GD:0.05	GA:0.10 GB:0.10 GD:0.10	GA:0.004 GB:0.003 GD:0.005	GA:0.10 GB:0.10 GD:0.10	GA:0.20 GB:0.20 GD:0.20

註1 國防部陸軍總司令部頒，「化學兵專用裝備操作手冊」，92 年 9 月 16 日。

註2 GA 為泰奔(Tabun)；GB 為沙林(Sarin)；GD 為梭曼(Soman)；Vx 為維埃克斯；HD 為芥氣類(Sulfur Mustard)；L 為路易士劑(Lewisite)；AC 為氰化氫(Hydrogen Cyanide)

	Vx:0.01 HD:0.02 L :0.08 AC:1.06	Vx:0.04 HD:2.00 L :2.00 AC:30.00	Vx:0.005 HD:0.20 L :0.01 AC:20.00	Vx:0.04 HD:2.00 L :2.00 AC:22.00 (無前置濃縮器)	
毒偵測原理	離子遷移光譜	離子遷移光譜	離子遷移光譜	離子遷移光譜	離子遷移光譜
儀器內使用之核種及活度	鎳 63 (Ni-63) 100 MBq ³	銩 241 (Am-241) 7.4 MBq	銩 241 (Am-241) 5.9 MBq	無射源	銩 241 (Am-241) 9.25MBq
申請儀器使用執照	豁免管制 ⁴ 範圍內， 無需申請	登記證	登記證	無須申請	登記證
操作人員資格	無需任何資格	經 18 小時 輻射防護 訓練	經 18 小時輻 射防護訓練	無需任何 資格	經 18 小時 輻射防護訓 練
尺寸：長×寬×高 (含電池，公分)	25×19.5×30	28×10.5×28	24×10×5.5	18×12×6	33.5×17×48.5
重量(含電池)公斤	6.7	6.8	0.79	1.34	5.9
輻射度量種類	γ 、X	無此功能	無此功能	無此功能	無此功能

資料來源：作者自製表

整合型核化戰劑警報器相較其它偵檢器，較大的特色即是具有輻射偵測功能。本文將對此儀器輻射度量性能實施評估，警報器可量測加馬(γ)射線及 X 射線，其輻射檢測功能規格如表 2 所列。有鑑於採購時原製造廠未提供完整輻射劑量量測相關測試資料，尚無法驗證儀器輻射偵檢功能。本文將探討此警報器之輻射度量性能，並實施性能測試評估，透過行政院原子能委員會核能研究所(以下簡稱核研所)保健物理組之輻射度量儀器校正實驗室，相關儀校設施如圖 3、4 所示，探討儀器對輻射之反應，如光子能量依持測試、線性、角度依持測試、準確度測試及精密度測試。依據美國國家標準局 ANSI N323A(註5)對

註3 MBq=10⁶ 貝克，貝克為放射性活度之單位，代表蛻變/秒。

註4 指輻射源所產生之輻射無安全顧慮者，免依「游離輻射防護法」相關規定管制。

註5 量測輻射劑量率之偵檢器，性能測試依據為美國國家標準局(American National Standard)，測試技術規範為 Performance Specification for Health Physical Instrumentation-Portable Instrumentation for Use in Normal Environmental Conditions，ANSI N323A，1997。

偵檢器所規範校驗合格標準進行探討，以期能提供本軍化學兵部隊使用該警報器輻射量測時參考，提高量測讀值的可信度。未來如可獲得原製造廠相關測試資料時，也可進一步比對確認儀器輻射劑量量測之準確性。

表2 RAID-XP 輻射檢測功能規格

規格	性能
偵檢器種類	半導體偵檢器(Semiconductor)
偵測光子能量	70keV-1.5MeV
劑量率範圍	1. 0.01 μ Gy/h -2000 cGy/h 2. 0.01 μ Sv/h -20 Sv/h
累積劑量範圍	1. 0.01 μ Gy-2000 cGy 2. 0.01 μ Sv-20 Sv
偵測射線種類	加馬及 X 射線

資料來源：作者自製表



圖3 低劑量校正實驗室

圖片來源：作者拍攝



圖4 X射線照射室

圖片來源：作者拍攝

貳、本文

德製 RAID-XP 整合型核化戰劑警報器之輻射偵檢功能，可偵測加馬及 X 射線，不僅可將射線強度以空氣吸收劑量戈雷(Gy)及人員吸收劑量西弗(Sv)為單位顯示劑量率，同時可以計算累積劑量，並具有自動警報功能，可以適時提醒偵測人員，以維護偵測人員輻射安全。此警報器利用半導體偵檢器與加馬及 X 射線接觸時產生電子信號，將

此脈衝信號換算成劑量率與累積劑量，警報器可自動選擇偵測範圍，並以數位化的方式顯示出適當數值及單位，利用核研所校正用 X 射線及加馬射源照射器照射，比較警報器警示值與儀器校正參考值之關係，以下針對各項測試說明：

一、光子能量依持測試(Photon Energy Dependence Test)

(一)測試原理

因各種核種所釋放的光子能量不同，光子能量高低會影響輻射偵檢器量測的讀值。本項測試主要是探討偵檢器因光子能量不同的依持關係，各種能量之量測值 R_i 與參考值 R_o 之比值 R 應在0.5-1.5範圍，偵檢器適用的能量範圍最低限度應在80keV(註6)至1250keV之間，其比值應在0.8-1.2間。

(二)測試方法

- 1.利用核研所X射線照射室打出特定能量之光子實施照射，校驗照片如圖5所示，警報器量測讀值與照射參考值關係如表3所示。
- 2.利用核研所加馬劑量照射室中校正射源銫137(Cs-137)照射，校驗照片如圖6、7所示；並使用原級實驗室鈷60(Co-60)射源照射，檢驗照片如圖8所示，量測讀值與參考器示值之間比值關係如表4所示。
- 3.使用銫137(Cs-137)射源對整合型核化戰劑警報器做線性測試，在同一參考值照射劑量下，記錄器示值5次求其平均，讀值如表5所示。

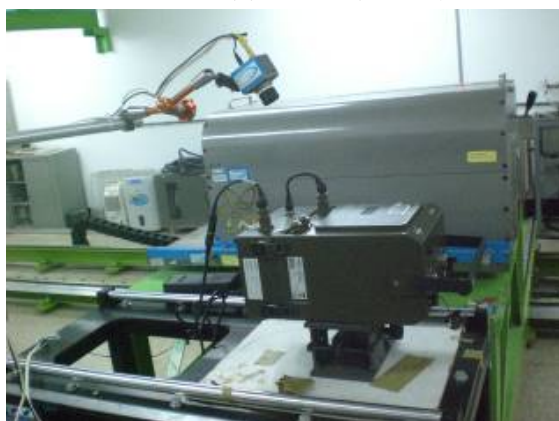


圖5整合型核化戰劑警報器照射X光

圖片來源：作者拍攝



圖6警報器照射銫137校正射源

圖片來源：作者拍攝

註6 keV：keV 為仟電子伏特，電子伏特指一個電子經電位差為 1 伏特的電場加速所獲得的能量， $1\text{eV}=1.6\times 10^{-19}\text{J}$ ； $1\text{keV}=1.6\times 10^{-16}\text{J}$ 。



圖7 警報器照射銫137校正射源

圖片來源：作者拍攝



圖8 警報器照射鈷60校正射源

圖片來源：作者拍攝

表3 警報器利用X光校驗之讀值

項次	有效能量 keV	管電壓 kVp	管電流 mA	參考值 mSv/h	器示值 m Sv/h					相對參考比值
					讀值 1	讀值 2	讀值 3	讀值 4	平均值	
1	41	M100	0.5	53.6	12.1	12.0	12.0	12.0	12.0	0.22
2	67	M150	0.5	77.2	55.8	55.9	55.9	55.8	55.9	0.72
3	102	M200	0.5	91.2	98.0	98.1	98.0	98.1	98.1	1.07
4	142	M250	10	2442.2	2.06×10^3	2.07×10^3	2.07×10^3	2.07×10^3	2.07×10^3	0.85

【註】儀器序號：2926 量測日期：98.02.10

資料來源：作者自製表

表4 偵檢器利用校正射源校驗之讀值

射源	光子能量 keV	參考值 mSv/h	器示值 m Sv/h					相對參考比值
			讀值 1	讀值 2	讀值 3	讀值 4	平均值	
銫 137	662	500	481	480	481	481	481	0.96
鈷 60	1250	11.632×10^3	8.42×10^3	8.41×10^3	8.42×10^3	8.43×10^3	8.42×10^3	0.72

【註】儀器序號：2926 量測日期：98.02.11-13

資料來源：作者自製表

表5 偵檢器與銫137射源線性測試讀值

參考值(mSv/h)	10	50	500	5000
平均器示值(mSv/h)	10	50.38	481	4932
比值	1.00	1.01	0.96	0.99

【註】儀器序號：2926 量測日期：98.02.11

資料來源：作者自製表

(三)測試結果

- 1.資料來源：作者自製表利用X射線測試結果，由表3得知41 keV光子照射時比值0.22未達標準合格範圍內，其餘皆在標準內。
- 2.利用銫137(Cs-137)及鈷60(Co-60)射源照射結果，由表4得知量測中能量光子時，如銫137釋放之662keV光子能量時比值接近1，但量測高能量光子時，如鈷60(Co-60)釋放之1250 keV光子能量時比值0.72，未達0.8標準範圍內。由此得知此偵檢器適用核爆及核電廠事故後輻射劑量量測，因核爆及核電廠事故後銫137(Cs-137)是較常見之核種，但若用於核電廠內部平時偵測有無活化產物外洩，須適時修正偵測讀值，因核電廠運轉時較常見活化核種為鈷60(Co-60)，由表4結果得知，須再加乘1.39($1/0.72=1.39$)才是精確的讀值。
- 3.線性測試結果如表5所示，將表5數值繪製成偵檢器線性曲線圖（詳如圖9），繪製曲線(藍線)接近45度的直線，與迴歸曲線(紅線) $Y=0.99X-3.48$ 比較判定係數 R^2 (coefficient of determination)高達1，線性測試結果近乎直線，與上述結果相同，在量測中能量光子時警報器之器示值與參考值比值接近1，適用於此能量之光子量測。
- 4.因目前原廠資料並未提供偵檢器量測光子能量之能依曲線圖，彙總各種光子能量與偵檢器所量測到的器示值與參考值之間的比值關係（其數據如表6），利用這些數據繪製能依曲線圖如圖10所示，因輻射偵檢器校正時依據ANSI規範使用銫137(Cs-137)射源校正，相對銫137(Cs-137)光子能量為基底標準，歸一化(normalization)之比值為1，其所繪製之能依曲線圖如圖11所示。由圖10得知在量測光子能量41

keV時比值為0.22未達標準，不在原廠提供光子偵測能量70keV-1.5MeV範圍內，所以比值未達標準範圍內，與實驗結果相同。由光子能量依持測試結果來看，此警報器適用於中能量光子量測如銫137(Cs-137)，使用銫137(Cs-137)射源校正時發現在低劑量及高劑量狀況下測試，其線性結果近乎直線，但在量測高能量光子時如鈷60(Co-60)釋放之光子，建議須乘以修正因子1.39，以確保偵測讀值準確度。

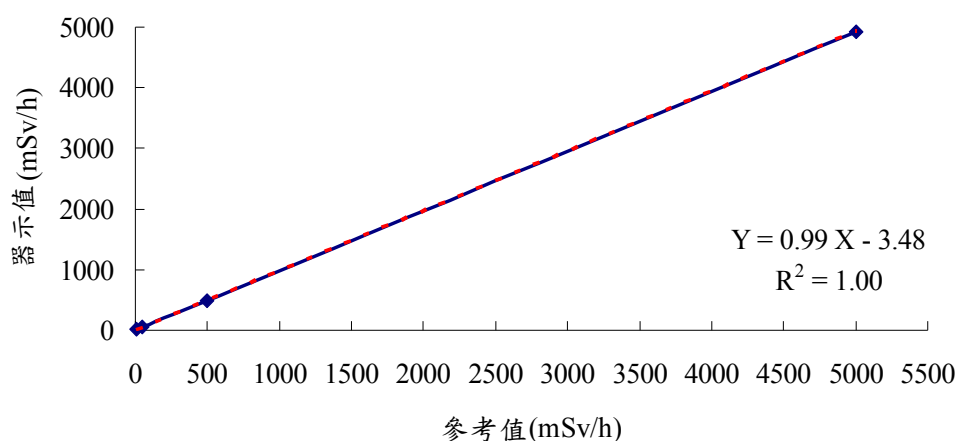


圖9 偵檢器與銫137射源線性曲線圖

資料來源：作者自繪

表6 光子能量與比值關係表

keV	41	67	102	142	662	1250
比值 R	0.22	0.72	1.07	0.85	0.96	0.72

資料來源：作者自製表

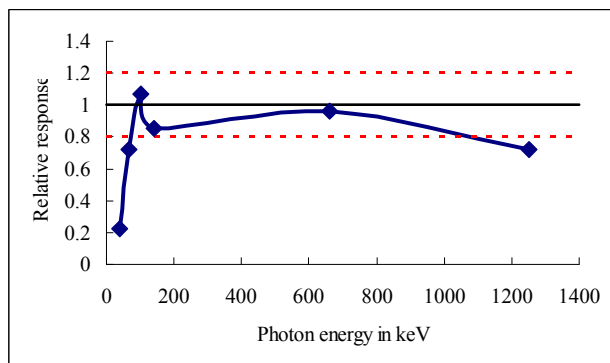


圖10警報器原比值之能依曲線圖

資料來源：作者自繪

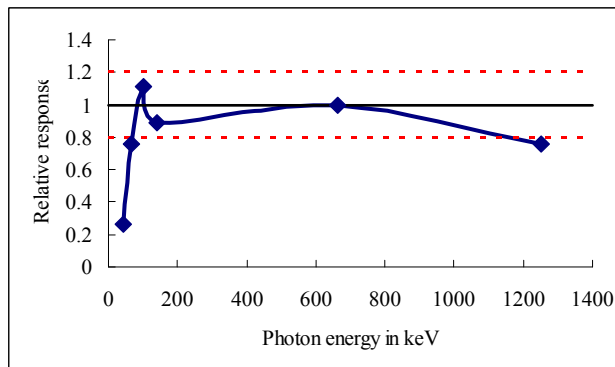


圖11警報器比值歸一化之能依曲線圖

資料來源：作者自繪

二、角度依持測試(Angular Dependence Test)

(一)測試原理

本項測試主要是探討整合型核化戰劑警報器輻射偵檢方向是否因與射源射束角度不同，而造成量測的劑量率不同，影響劑量準確度的評估。

(二)測試方法

以警報器偵檢頭標示方向如圖12所示為正常使用方向其量測值為 D_0 ，即以警報器之偵檢頭對準射源射束方向為0度，將警報器與射束成水平和垂直各正負45度，所呈的角度方向如圖13所示，其量測讀值為 D_{i1} ，依ANSI所規範 D_{i1}/D_0 的比率應大於或等於80%，再將警報器與射束成水平和垂直各正負90度，其量測讀值為 D_{i2} ，依ANSI所規範的 D_{i2}/D_0 比率應大於等於50%。

(三)測試結果

角度測試結果如表7所示，表7為警報器與銻137(Cs-137)射源成水平和垂直、各正負45度及90度相對於0度的讀值比率(%)，得知RAID-XP整合型核化戰劑警報器之角度依持性測試，四個角度依持因子皆在 $\pm 20\%$ 範圍，代表使用該警報器量測劑量時，不會因警報器設置角度不同而有偵測讀值明顯差異，所量測之輻射偵測讀值誤差皆在合理的範圍內，但為求提高量測讀值的準確性若已知輻射源方向時，量測時仍須將偵檢頭方向對準射束方向，可減少量測之誤差。



圖 12 警報器偵檢頭標示之位置

圖片來源：作者拍攝



圖 13 警報器與射源射束方向圖

圖片來源：作者拍攝

表 7 RAID-XP 整合型核化戰劑警報器角度依持性測試

角度	平均器示值(mSv/h)	相對 0 度依持因子	備考
0	10.0	1.00	Do
45 ⁰	9.74	0.97	Di1
-45 ⁰	9.93	0.99	Di1
90 ⁰	8.28	0.83	Di2
-90 ⁰	9.09	0.91	Di2

【註】儀器序號：2926 量測日期：98.02.11

資料來源：作者自製表

三、準確度測試(Accuracy Test)

(一)測試原理

本項測試主要探討照射參考值與器示值間的差異，比較5具警報器準確度情況，考慮偵檢器度量的劑量率範圍和能量範圍，使用核研所校正用射源銫137，偵檢器在輻射度量刻度範圍內10%-90%之位置，探討其儀器反應器示值與參考值兩者間之相對偏差，依據ANSI的標準應在0.85-1.15之間。

(二)測試方法

RAID-XP整合型核化戰劑警報器之度量範圍在0-20 Sv/h之間，本次實驗採用銫137(Cs-137)為校正射源來照射，其照射參考值為10 μ Sv/h及10mSv/h，5部警報器每部劑量率分別量測3次量測讀值如表8及表9所示。

(三)測試結果

- 1.由表8得知，在照射參考值為10 μ Sv/h時相對偏差最大為11%，在ANSI的標準範圍 $\pm 15\%$ 內。
- 2.由表9得知，在照射參考值為10mSv/h時相對偏差最大為2%，在ANSI的標準範圍內。

表 8 照射參考值為 10 μ Sv/h 之警報器讀值

儀器序號	器示值 μ Sv/h				相對偏差(%)
	讀值 1	讀值 2	讀值 3	平均值	

2926	9.95	10.4	10.3	10.22	2.2
2919	10.1	10.0	10.0	10.03	0.3
3006	10.5	11.3	11.4	11.07	10.7
2922	10.0	10.1	10.2	10.10	1.0
2960	10.1	10.2	10.2	10.17	1.7

【註】量測日期：98.02.11

資料來源：作者自製表

表 9 照射參考值為 10 m Sv/h 之警報器讀值

儀器序號	器示值 m Sv/h				相對偏差(%)
	讀值1	讀值2	讀值3	平均值	
2926	10.0	10.0	10.0	10.00	0.0
2919	10.2	10.2	10.2	10.20	2.0
3006	10.0	10.0	10.0	10.00	0.0
2922	10.0	10.0	10.0	10.00	0.0
2960	9.82	9.80	9.78	9.80	-2.0

【註】量測日期：98.02.11

資料來源：作者自製表

四、精密度測試(Precision Test)

(一)測試原理

本項測試是要探討同一具警報器量測同一射源照射條件時，每次量測到的讀值之間的差異性。

(二)測試方法

選擇警報器適當刻度受測的參考值，本次實驗採用銫137為校正射源，其照射參考值為10 mSv/h，將警報器偵檢頭方向對準射源方向，當讀值穩定時取3次讀值，讀值記錄完畢後即關斷射源，依此方式共照射射源10次，讀值如表10所示，每次照射射源讀值取平均值 R_i ，共取10組數據平均值，再代入下列公式求得變異數 σ^2 及精密度 P 。

$$\bar{R} = \sum R_i / 10 \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \sum (R_i - \bar{R})^2 / (10 - 1) \quad (2)$$

$$P = \sigma / \bar{R} \times 100\% \quad (3)$$

(三)測試結果

計算結果得知變異數為8.57E-04及精密度為0.29%，皆低於ANSI規範要求之變異數3%範圍及精密度小於或等於10%範圍內。

表 10 RAID-XP 整合型核化戰劑警報器精密度測試

序號	第 1 次讀值	第 2 次讀值	第 3 次讀值	每次平均值(Ri)
1	10.0	9.98	9.98	9.99
2	10.0	10.1	10.1	10.07
3	10.1	10.0	10.1	10.07
4	10.0	10.1	10.0	10.03
5	10.0	10.1	10.0	10.03
6	10.0	10.1	10.0	10.03
7	10.0	10.0	10.0	10.00
8	10.0	10.0	10.0	10.00
9	10.0	10.1	10.0	10.03
10	10.0	10.1	10.1	10.07

【註】儀器序號：2926 量測日期：98.02.11

資料來源：作者自製表

五、RAID-XP與AN/VDR2野戰輻射偵檢器性能測試之比較

筆者於 94 年間至核研所保物組利用輻射度量儀器校正實驗室內 X 光機，及鈷 60、銻 137 射源對 AN/VDR-2 野戰輻射偵檢器施以相同的性能測試。性能測試結果比較詳如表 11 所列，由表 11 中得知在光子能量依持測試方向，RAID-XP 對銻 137(Cs-137)射源具有較佳的線性測試，但在量測高能量光子如鈷 60(Co-60)時即須修正讀值，建議可再加乘修正因子 1.39 以避免低估偵測讀值。在角度依

持測試結果則無明顯差異，但為求量測更精準，RAID-XP 在量測輻射源劑量時，仍須將偵檢頭標示位置對準射源方向，可降低偵測誤差。準確度測試方面因 RAID-XP 對校正射源銫 137(Cs-137)具有較佳的線性，所以測試結果較佳。另精密度測試方面雖 AN/VDR-2 數據較低為佳，但 2 具儀器測試結果皆符合規範要求。

表 11 RAID-XP 與 AN/VDR2 性能測試比較表(註7)

儀器	輻射偵檢器種類	光子能量依持測試			角度依持測試	準確度測試	精密度測試
		X 光光子能量 keV 67、102	銫 137 662keV	鈷 60 1250keV			
RAID-XP	半導體偵檢器	無明顯差異	較佳	比值 0.72 較差	無明顯差異	較佳	較差
AN/VDR2	蓋革偵檢器	無明顯差異	較差	比值 0.90 較佳	無明顯差異	較差	較佳

參、結語

RAID-XP 整合型核化戰劑警報器為可攜式偵檢器，結合毒氣警報器及輻射偵檢器之功能，除可量測化學戰劑、工業化毒，並可監測輻射劑量率及累積劑量等功能，化學戰劑量測功能與其他毒氣警報器相較功能相近，重量及尺寸單兵皆可攜行操作；再者此儀器兼具量測輻射劑量之功能，其警報器內含射源，但操作該儀器時無須向原子能委員會申請儀器使用執照，且操作人員無須取得輻防法規所要求之資格，部隊無須派訓取得合格輻射防護訓練證明後才能操作該警報器，可降低部隊行政負荷。

本文探討警報器對輻射的各種性能反應，在光子能量依持測試方面，與銫 137(Cs-137)射源線性測試，線性測試結果近乎直線，判定係數 R2 為 1，在光子能量依持測試方面，對中能量光子時銫 137(Cs-137)之比值近似 1，但量測高能量光子時，如鈷 60(Co-60) 釋放之 1250keV 光子能量時比值 0.72 未達 0.8 標準範圍內，建議需乘以修正因子 1.39。由此得知此偵檢器適用核爆及核電廠事故後輻射劑量量測，但若用於核電廠內部平時偵測有無活化產物外洩時，需適時修正偵測讀值，則需再加乘 1.39 之後的讀值，才是精確的讀值。不同光子能量與儀器能

註7 拙著，「野戰輻射偵檢器 AN/VDR II 性能測試評估」，《核生化防護學術半年刊》，第 81 期，p112-120

依性結果，可藉由本文中所繪製能依曲線圖對照各種不同光子能量量測到的讀值與真正讀值之間的比值，然後再換算修正成真正讀值，可提高偵檢器量測讀值的準確性。

從角度依持測試來看，輻射劑量率讀值不會因偵檢頭位置與射源量測方向不同，而讀值有太大的差異，但為求提高量測讀值的準確性若已知輻射源方向時，量測時仍須將偵檢頭方向對準射束方向，可減少量測之誤差。由準確度測試方面來看警報器在照射參考值低劑量 $10 \mu\text{Sv/h}$ 時及高劑量 10mSv/h 時相對偏差皆標準範圍內。再者由精密度測試來看，警報器所量測讀值變異數及精密度皆很小，代表警報器精密度測試結果佳。

RAID-XP 整合型核化戰劑警報器輻射檢測功能與 AN/VDR2 野戰輻射偵檢器相較，其功能性相當，適用於核爆後輻射量測，在量測高能量光子時須適時修正劑量以免低估。另此警報器為半導體偵檢器對輻射靈敏度優於 AN/VDR2，並保有 AN/VDR2 防水性、防塵性及防震性的設計，符合軍用可靠度設計規格之要求，適合部隊戰術用核子與化學兩用的警報器。

參考書目

- 1、劉衛蒼，「野戰輻射偵檢器 AN/VDR II 性能測試評估」，《核生化防護學術半年刊》，第 81 期，95 年 4 月。
- 2、核能研究所，《輕便型劑量率偵檢器性能測試之研究》，(桃園：核能研究所保健物理組，民國 84 年 9 月)。
- 3、行政院原子能委員會，《游離輻射防護法規彙編》，(台北：行政院原子能委員會，民國 95 年 12 月)。
- 4、美國國家標準協會，《American National Standard Performance Specification for Health Physical Instrumentation-Portable Instrumentation for Use in Normal Environmental Conditions》，(ANSI N42.17A，1989)。
- 5、美國國家標準協會，《Radiation Protection Instrumentation Test and Calibration, Portable Survey Instruments》，(ANSI-N323A，1997)。
- 6、國際輻射單位與度量委員會，《Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry》，(ICRU-51，1993)。