

野戰輻射偵檢器 AN/VDR II 性能測試評估

作者簡介

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，工儀組組長，現職為核生化防護研究中心輻射檢測組組長。

提要

- 一、美造AN/VDR-II可偵測貝他（ β ）粒子及伽瑪（ γ ）射線，不僅可將放射線強度顯示為劑量率，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。
- 二、輻射偵測器的作業方式主要有兩種，一種為當核子事故發生後，由化學兵專業部隊或偵測任務固定班實施地區偵測作業，人員可藉由徒步或乘車方式實施偵測，作為部隊指揮官戰術行動之參考依據。另一種為事故消除後之複偵作業，針對消除完成後之道路、人員、武器、車輛等裝備，實施消除後複偵作業，以確保沒有輻射污染，降低人員受傷機率。
- 三、對該偵檢器儀器性能測試，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、角度依持測試、準確度測試及精密度測試，再依據美國國家標準局ANSI N323A對偵檢器所規範校驗合格要求進行探討。
- 四、由各種測試結果來看大致符合ANSI規範要求，雖在高劑量量測時精密度會變差，但仍符合在核子事故情況下中、高能量核種所釋放光子量測，且偵檢器本身的防水性、耐震性及防摔設計更是一般商用輻射偵檢器所不及的，符合軍用可靠度設計規格，為適合部隊戰術用輻射偵檢器。

壹、前言

AN/VDR II 輻射偵檢器為國軍目前配賦於專業部隊偵檢組與一般部隊偵消任務固定班，可偵測貝他粒子（ β ）及伽馬（ γ ）射線其規格如表一，並可記錄累積劑量。輻射偵測器的作業方式主要有兩種，一種為當核子事故發生後，由化學兵專業部隊或偵測任務固定班實施地區偵測作業，人員可藉由徒步或乘車方式實施偵測，作為部隊指揮官戰術行動之參考依據。另一種為事故消除後之複偵作業，針對消除完後之道路、人員、武器、車輛等裝備，實施消除後之複偵作業，以確保沒有放射性污染，降低人員受輻射傷害機率。

表一 AN/VDR II 輻射偵檢器規格

規格	性能
偵檢器種類	蓋革偵檢器
偵測光子能量	60keV-3.0MeV ； $\pm 15\%$
劑量率範圍	伽馬射線：0.1 μ Gy-10Gy/h ¹

註1 伽馬射線劑量率量測範圍應為 0.1 μ Gy-1000 cGy/h，由本次實驗得知：最大劑量表示方式為cGy/h並不是Gy/h，而 1 cGy/h= 10^{-2} Gy/h；與化學兵通用裝備操作手冊p4-8 頁劑量

	貝他粒子： $0.1 \mu\text{Gy}-5 \text{ cGy/h}$
偵測射線種類	貝他粒子、加馬射線

資料來源：作者自製表



圖一低劑量校正實驗室



圖二 X 射線照射室

有鑑於三軍各單位 AN/VDR-II 輻射偵檢器總數達數千台，且原廠所提供相關測試資料不足，及一般部隊使用時無法真正驗證儀器性能。本文針對該偵檢器儀器性能測試，透過行政院原子能委員會核能研究所(以下簡稱核研所)保健物理組輻射度量儀器校正實驗室之照射設施(如圖一、二所示)，探討儀器對輻射之反應，如光子能量依持測試、角度依持測試、準確度測試及精密度測試，再依據美國國家標準局 ANSI N323A 對偵檢器所規範校驗合格標準進行探討，以期能提供國軍各部隊使用該偵檢器時之參考，提高量測讀值的可信度。

貳、本文

美造 AN/VDR-II 輻射偵檢器可偵測貝他粒子及伽瑪射線，不僅可將射線強度顯示為劑量率，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，以維護偵測人員之輻射安全。偵檢器可自動選擇偵測範圍，並顯示出適當數值及單位，利用探測管中的兩個蓋革管偵測器與伽瑪射線及貝他射線接觸時，即產生電子信號，機座將探測管傳來之信號換算成劑量率與累積劑量，採用核研所校正用 X 射線及伽瑪射源照射，量測偵檢器相關校正讀值，以下針對各項測試說明：

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

因各種核種所釋放的光子能量不同，光子能量高低會影響偵檢器量測的讀值。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 至 1250keV 之間的比值應在 0.8-1.2 間。針對國軍目前所使用之 AN/VDR-II 輻射偵檢器繪製能量依持曲線圖，利用核能研究所 X 射線照射室內各種低能量光子實施照射如圖三、四所示，所量測到的偵檢器讀值如下表二所示

率偵測範圍不同，建議修改伽瑪射線劑量率偵測範圍為 $0.1 \mu\text{Gy}-10 \text{ Gy/h}$ 。

2 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， $1\text{eV}=1.6\times 10^{-19}\text{J}$ ； $1\text{KeV}=1.6\times 10^{-16}\text{J}$ 。



圖三 輻射偵檢器照射 X 光



圖四 輻射偵檢器照射校正射源



圖五 輻射偵檢器照射校正射源鈷 60



圖六 輻射偵檢器照射校正射源銫 137

表二 偵檢器利用 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(閉蓋)cGy ³ /h					器示值換算成 mSv ⁴⁵ /h	比 值
					一讀值	二讀值	三讀值	四讀值	值平均		
1	41	M100	0.5	53.6	1.68	1.72	1.74	1.73	1.72	17.2	0.32
2	67	M150	0.5	77.2	4.86	5.00	4.96	5.02	4.96	49.6	0.64
3	102	M200	0.5	91.2	10.4	9.99	10.0	9.73	10.03	100.3	1.10
4	252	M300	0.5	59.9	5.25	5.10	5.04	4.90	5.07	50.7	0.85

【註】儀器序號：28687 量測日期：94.08.09 資料來源：作者繪製

再利用核研所伽瑪低劑量照射室中校正射源銫 137 與鈷 60 射源，量測光子

註3 cGy為厘戈雷；戈雷為吸收劑量：指單位質量物質接受輻射之平均能量。吸收劑量之單位為戈雷。一公斤質量接受一焦耳能量為一戈雷；cGy=10⁻²Gy。

註4 mSv為毫西弗；西弗為等效劑量：指人體器官或組織之吸收劑量與射質因數之乘積。mSv=10⁻³Sv。

註5 AN/VDR- II 輻射偵檢器可偵測貝他及伽瑪射線，其射質因子皆為 1，所以可視為戈雷與西弗劑量值相同。

與偵檢器之間的比值關係如圖五、六所示，結果如表三所示：

表三 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(閉蓋)cGy/h					器示值 換算成 mSv/h	比值
			讀值 一	讀值 二	讀值 三	讀值 四	平均值		
銻 137	662	500	41.5	41.1	41.8	42.8	41.8	418	0.84
鈷 60	1250 ⁶	609	53.2	55.3	55.5	56.3	55.1	551	1.10

【註】儀器序號：28687 量測日期：94.08.04 資料來源：作者繪製

AN/VDR-II 輻射偵檢器與銻 137 射源線性測試，同一參考值照射劑量下，記錄器示值五次求其平均值，讀值如表四所示，繪製偵檢器線性曲線圖如圖七所示，繪製曲線接近 45 度的直線。

因相關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，其數據如表五所示。利用這些數據繪製能依曲線圖如圖八所示。由圖比較 ANSI 標準，可知在光子能量除了低於 41keV 時比值不在 0.5-1.5 範圍外其餘皆在範圍內，而在偵檢器最低適用能量限度在 80keV 至 1250keV 之間的比值皆在 0.8-1.2 範圍之內，且能量愈高時比值愈接近 1。由原廠技術資料可以得知偵檢器偵測光子能量為 60keV-3.0MeV，但本次測驗發現量測能量 67keV 光子比值只有 0.64 未達 ANSI 標準 0.8 且於原廠資料誤差±15%不符。綜觀國軍所使用的 AN/VDR-II 輻射偵檢器較不適用於低能量光子輻射偵測，如醫用 X 光、銻 241、氡等射源量測，較適用中、高能量光子輻射的偵測，適合在核爆狀況下混合性核種中、高能量光子的量測。

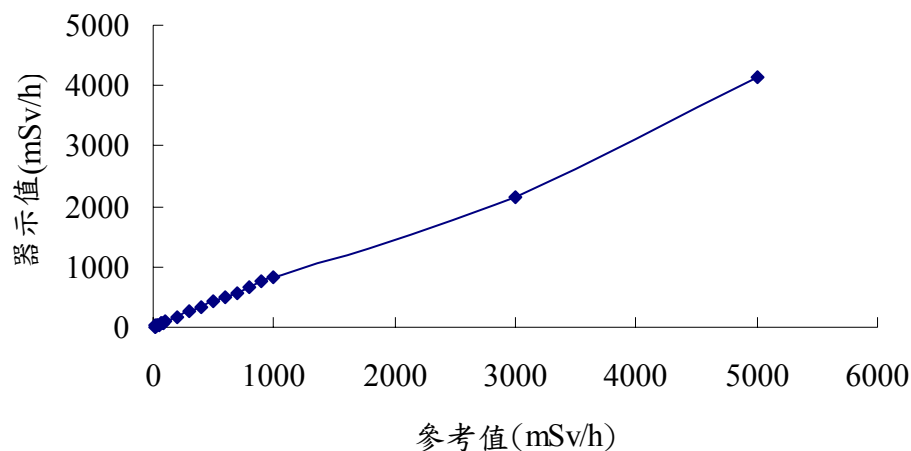
表四 偵檢器與銻 137 射源線性測試讀值

參考值 (mSv/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200
平均 器示值 mSv/h	8.432	17.94	25.74	33.86	41.1	51.02	55.24	64.46	75.34	83.66	169.6
參考值 (mSv/h)	300	400	500	600	700	800	900	1000	3000	5000	
平均 器示值	251.6	336.6	419.4	496.8	575.6	658.4	751.6	829.8	2152	4142	

註6 鈷 60 所釋放出 1170 keV 及 1330 keV 兩種能量之光子，平均能量即為 1250 keV 光子能量。

[illegible]

【註】儀器序號：28687 量測日期：94.12.01 資料來源：作者繪製

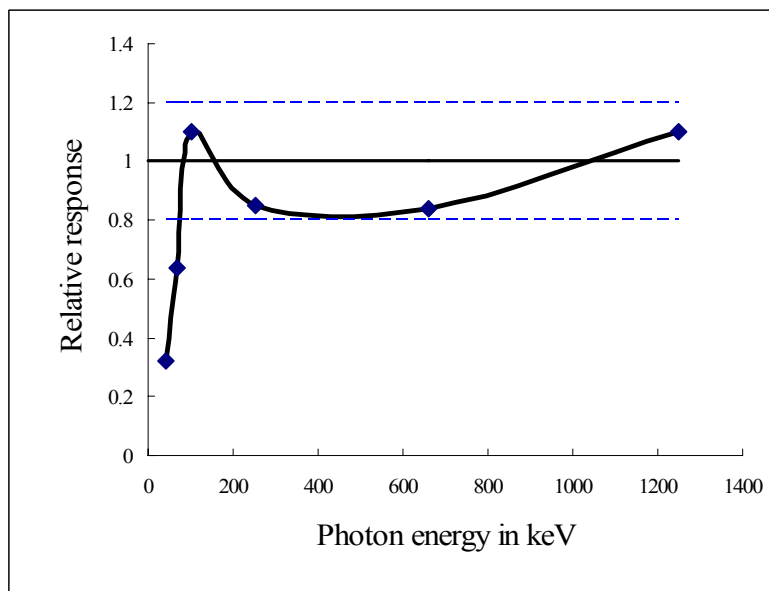


圖七 偵檢器與銫 137 射源線性曲線圖 資料來源：作者自製圖

表五 光子能量與比值關係表

資料來源：作者自製表

kev	41	67	102	252	662	1250
比值 R	0.32	0.64	1.10	0.85	0.84	1.10

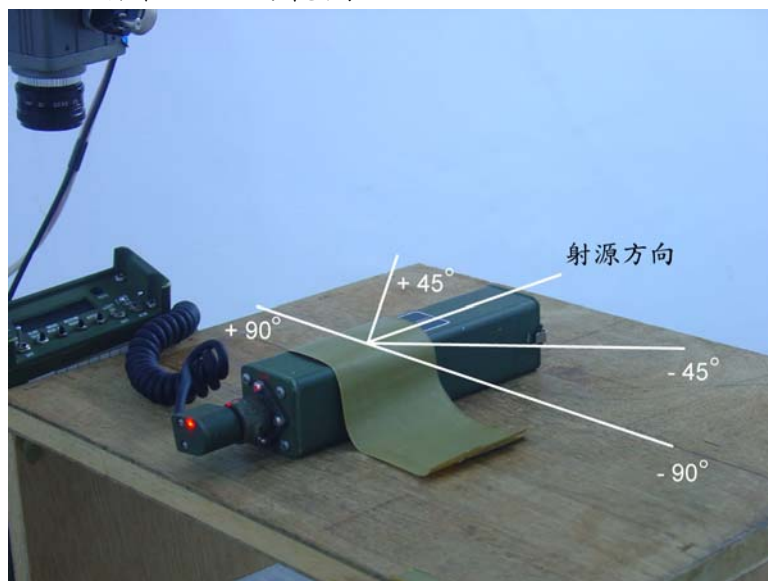


圖八 AN/VDR2 輻射偵檢器能依曲線圖 資料來源：作者自製圖

二、角度依持測試(Angular Dependence Test)

本項測試主要是探討偵檢器之探測棒是否因與射源射束角度不同，而造成

量測的劑量率不同。設定偵檢器正常使用方向的量測值為 D_0 ，即偵檢器探測棒對準射源射束方向為 0 度，將探測棒與射束成水平和垂直各正負 45 度，所呈的角度方向如圖九所示，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%，再將探測棒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 $\geq 50\%$ 。表六為偵檢器與銻 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 AN/VDR-II 輻射偵檢器之角度依持性測試，四個角度依持因子皆在 $\pm 20\%$ 範圍，代表使用該偵檢器量測劑量時，不會因持握探測棒角度不同而偵測讀值有明顯差異，所量測之輻射偵測讀值誤差皆在合理的範圍內。



圖九 偵檢器探測棒與射源射束方向圖

表六 AN/VDR2 輻射偵檢器角度依持性測試結果

角度	平均器示值(cGy/h)	相對 0 度依持因子	備考
0	0.400	1.00	D_0
45^0	0.475	1.19	D_{i1}
-45^0	0.461	1.15	D_{i1}
90^0	0.473	1.18	D_{i2}
-90^0	0.467	1.17	D_{i2}

【註】儀器序號：28687 量測日期：94.09.21 資料來源：作者繪製

三、準確度測試(Accuracy Test)

本項測試主要探討照射參考值與器示值間的差異，比較五具偵檢器準確度情況，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銻 137，偵檢器在每一刻度範圍的 10%-90%位置，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。AN/VDR-2 輻射偵檢器之

度量範圍在 0-10 Gy/h 之間，本次實驗採照射校正射源參考值為 5 μ Sv/h 及 500mSv/h，5 部輻射偵檢器，每部儀器每個劑量率分別量測三次，量測讀值如表七及表八所示，由表七及表八比較照射劑量率 500 mSv/h 及 5 μ Sv/h，在照射劑量率 500 mSv/h 下量測讀值相對偏差（註7）較 5 μ Sv/h 時更低，代表蓋革管在較高照射劑量率時會有無感時間（註8）問題，量測值會偏低。在照射參考值為 5 μ Sv/h 下相對偏差皆在 ANSI 的標準範圍 $\pm 15\%$ 內。但在照射參考值為 500mSv/h 下之相對偏差為 38%。

表七 照射參考值為 5 μ Sv/h 之偵檢器讀值

儀器序號	器示值(閉蓋) μ Gy/h				器示值換算成 μ Sv/h	相對偏差(%)
	讀值一	讀值二	讀值三	平均值		
28687	5.49	5.46	5.25	5.40	5.40	8.0
0560	4.25	4.38	4.47	4.37	4.37	-12.6
28953	4.44	4.46	4.67	4.52	4.52	-9.6
28964	4.91	4.93	4.85	4.90	4.90	-2.0
0137	4.48	4.37	4.31	4.39	4.39	-12.2

【註】量測日期：94. 12.01

資料來源：作者繪製

表八 照射參考值為 500m Sv/h 之偵檢器讀值

儀器序號	器示值(閉蓋)cGy/h				器示值換算成 mSv/h	相對偏差(%)
	讀值一	讀值二	讀值三	平均值		
28687	41.1	40.4	40.8	41.10	411	-17.8
560	33.7	33.6	33.9	33.70	337	-32.6
28953	31.2	31.4	31.0	31.20	312	-37.6
28964	31.7	31.8	31.3	31.70	317	-36.6
137	35.5	35.1	35.2	35.50	355	-29.0

註7 相對偏差=(偵檢器器示值－照射參考值)/照射參考值。

註8 無感時間為蓋革計數器中，當造成且收集一個電子脈衝後，在偵檢和計數另一游離事件前有段空檔時間，此段時間為偵檢器之無感時間，在這段時間內發生的輻射事件將不被計數。

【註】量測日期：94.12.01

資料來源：作者繪製

四、精密度測試(Precision Test)

本項測試是要探討同一具偵檢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。選擇偵檢器適當刻度受測的參考值。本次實驗採用參考值 2 mSv/h，將偵檢器之探測棒對準射源方向，每隔 10 秒時間當讀值穩定時取一次讀值，取 3 次讀值，共照射射源 10 次，讀值如表九所示。每次照射射源讀值取平均值 R ，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 ，計算得知變異數為 5.34E-06 及精密度為 0.003%，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。

$$R = \sum R_n / 10$$

$$\sigma^2 = \sum (R_n - R) / (10 - 1)$$

$$P = \sigma / R \times 100\%$$

表九 AN/VDR II 輻射偵檢器精密度測試

序號	第一次讀值	第二次讀值	第三次讀值	平均值
1	0.163	0.164	0.166	0.164
2	0.161	0.16	0.165	0.162
3	0.163	0.161	0.162	0.162
4	0.161	0.162	0.163	0.162
5	0.167	0.163	0.161	0.164
6	0.161	0.158	0.162	0.160
7	0.166	0.163	0.164	0.164
8	0.166	0.172	0.17	0.169
9	0.165	0.164	0.165	0.165
10	0.163	0.164	0.164	0.164

【註】儀器序號：28687 量測日期：94.12.01 資料來源：作者自製表

參、結語

AN/VDR-II 輻射偵檢器易於攜帶使用，可兼具量測劑量率及累積劑量率功能，偵檢器對輻射的反應來看，在光子能量依持測試方面，光子能量在 80keV 至 1250keV 之間偵檢器器示值與參考值之間的比值關係在 0.8-1.2 範圍之內，所以適用在中、高能量核種量測，並可藉由能依曲線圖對照各種不同光子能量量測到讀值與真正讀值之間的比值，然後再換算修正成真正讀值，可提高偵檢器量測的準確性。

從角度依持測試來看，偵測讀值不會因探測棒與射源量測方向不同，而對讀值有太大的差異。由準確度測試方面來看偵測器在照射參考值較低劑量 5 μ Sv/h 時相對偏差皆標準範圍 $\pm 15\%$ 內，但在照射參考值較高劑量 500mSv/h 時相對偏

差卻超過要求範圍 $\pm 15\%$ ，表示偵檢器在高劑量環境下，量測讀值因偵檢器之無感時間影響其準確度會降低。再由精密度測試來看，偵檢器所量測讀值變異數及精密度皆很小，代表偵檢器精密度測試結果佳。

AN/VDR-II 輻射偵檢器可依任務設定劑量率及累積劑量警報值，適時提供偵測人員警訊，量測的範圍含蓋中、高劑量，由各種測試結果來看大致符合 ANSI 規範要求，雖在高劑量量測時精密度會變差，但仍符合在核子事故情況下，中、高能量核種所釋放光子量測。平日因偵測器度量範圍可達 $0.01 \mu\text{Gy/h}$ 仍可用於一般射源偵測。且偵檢器本身的防水性、耐震性及防摔設計更是一般商用輻射偵檢器所不及的，符合軍用可靠度設計規格，適合部隊戰術用輻射偵檢器。

參考書目

- 一、國防部陸軍總司令部，<<AN/VRD II 野戰輻射偵檢器操作手冊>>，(桃園：軍備局北部印製廠，民國 91 年 5 月)。
- 二、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)。
- 三、財團法人中華民國輻射防護協會，<<游離輻射防護彙萃>>，(新竹，民國 92 年 2 月)
- 四、Nation Committee on Radiation Instrumentation，<<American National Standard Performance Specification for Health Physical Instrumentation-Portable Instrumentation for Use in Normal Environmental Conditions>>，(ANSI N42.17A，1989)。