

精進專業防護裝備效能之研究

作者簡介

作者黃嘉慶少校，畢業於中正理工學院化工科專 24 期、化校正規班 57 期，曾任觀測官、排長、射線官，現任職本校化學組教官。

提要

- 一、化學兵部隊舉凡戰時執行偵檢、消除作業或平時之應援任務，皆以安全為首要考量，而談及安全，則首重防護。在專業防護裝備方面，筆者綜整教學與部隊使用現況，提出個人淺見，期藉本文所述，對國軍之防護能力有所助益。
- 二、防護裝備依使用時機區分為 A、B、C、D 四類，執行偵消作業時，作業人員應依當前任務及所面臨之環境，採取至當之防護作為。
- 三、檢討當前本軍所使用之專業防護裝備現況，在空氣呼氣器面罩之視力矯正功能、氣瓶供氣量及 A 級防護衣使用上之不適感、氣密性與抗化性能等方面，仍有諸多亟待改進之處。
- 四、就前項所述之裝備使用現況，筆者綜整現今民間相關機構之因應作法、裝備發展趨勢與教學經驗，提供相關精進意見，作為本軍未來專業防護裝備整備之參考，俾確保本軍作業人員安全。

壹、前言

古有明訓：「工欲善其事；必先利其器」。化學兵部隊舉凡戰時執行偵檢、消除作業或平時之應援任務，皆以安全為首要考量，而談及安全，則首重防護。今日之化學兵結合科技及國內外軍、民經驗，在防護能力上已大幅提昇，然決不可停滯不前，畢竟作業中任何兵力之折損，任務即視同失敗。

本軍現有各類型化學專業防護裝備在實務上仍有尚待改進之處，筆者綜整教學與部隊使用現況，參照現今防護裝備之發展，提出個人對化學兵部隊現行配發之專業防護裝備功能及運用加以探討，期藉本文所述，對國軍之防護能力有所助益。

貳、化學兵專業防護裝備簡介

防護裝備依使用時機區分為 A、B、C、D 四類，除任務考量，更應視所面臨作業環境之潛在危害物質及其特性而定，其使用時機、基本配備及限制分述如下：

一、A 級防護：為提供對呼吸系統、眼睛及皮膚所採取的最高防護等級。

(一)使用時機（註1）：

1、空氣中危害物質種類與濃度(劑量)未知時。

註1：《化學兵應援部隊訓練教範》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 96 年 11 月)，頁 4-50。

2、作業環境中危害物質濃度高達立即致死濃度、立即致病濃度或造成影響逃生能力的傷害。

3、危害物質接觸皮膚有立即之危害性。

4、生物安全等級 4 之病原存在時。

(二)基本配備（註2，如圖 1）：

1、正壓全面的自攜式空氣呼吸器。

2、包含自攜式空氣呼吸器的正壓式輸氣管面罩。

3、氣密式連身防護衣。

4、防護手套。

5、防護鞋（靴）。



圖 1 A 級防護服

資料來源：《化學兵應援部隊訓練教範》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 96 年 11 月)，頁 4-51。

(三)使用限制：

1、A 級防護服為氣密式，人員容易產生悶熱、中暑等現象。

2、其內著之空氣呼吸器，應隨時注意鋼瓶內空氣餘量。

二、B 級防護：略同於 A 級防護，提供相等之呼吸系統防護，惟考量作業時空因素對著裝人員體能之負荷，採用對皮膚防護較低之非氣密式連身防護服。

(一)使用時機(註3)：

註2：同註 1，頁 4-50。

- 1、已知危害物質濃度及種類，需要防護呼吸系統，皮膚次之。
- 2、空氣中含氧量小於 19.5%。
- 3、以有機氣體偵檢器，確認含有不明蒸氣或氣體存在，惟蒸氣或氣體對皮膚無明顯的危害。
- 4、生物安全等級 3 之病原存在時。

(二)基本配備（註4，如圖 2）：

- 1、正壓全面的自攜式空氣呼吸器。
- 2、包含自攜式空氣呼吸器的正壓式輸氣管面罩。
- 3、非氣密式連身防護衣。
- 4、防護手套。
- 5、防護鞋（靴）。



圖 2 B 級防護服

資料來源：《化學兵應援部隊訓練教範》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 96 年 11 月)，頁 4-52。

(三)使用限制：B 級防護服配賦空氣呼吸鋼瓶，應隨時注意鋼瓶內空氣餘量。

三、C 級防護服：為提供與 B 級防護相同的皮膚防護，但採取較低等級的呼吸系統防護。

(一)使用時機：(註5)

- 1、空氣中有污染物質存在，可能以液體飛濺或其他方法接觸，但不會對

註3：同註 1，頁 4-52。

註4：同註 1，頁 4-52。

註5：同註 1，頁 4-53。

曝露之皮膚造成傷害或經由皮膚吸收。

2、已知空氣中污染物濃度、種類，空氣濾清式口罩可達到過濾污染空氣效果。

3、其他可適用空氣濾清式口罩的狀況，如生物安全等級為 2 或於一般輻射除污區作業時。

4、空氣中含氧量大於 19.5%。

(二)基本配備（註6，如圖 3）：

1、全面式面罩。

2、一件或二件式化學防護衣。

3、防護手套。

4、防護鞋（靴）。



圖 3 C 級防護服

資料來源：《化學兵應援部隊訓練教範》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 96 年 11 月)，頁 4-53。

(三)使用限制：面罩濾毒罐禦毒時效端視毒化物種類、濃度及溫、濕度而定。

四、D 級防護服：D 級防護為提供防護等級最低限度，即危害物質之濃度低於容許濃度以下所穿著之服裝

(一)使用時機(註7)：空氣中無污染物或無飛濺、無浸泡、無吸入或接觸上的危害，且空氣中含氧量超過 19.5%以上時。

註6：同註 1，頁 4-53。

註7：同註 1，頁 4-54。

(二)基本配備（註8，如圖4）：

- 1、通常無需呼吸防護具(醫護人員及有需要者除外)。
- 2、防護鞋（靴）。



圖4 D級防護服

資料來源：《化學兵應援部隊訓練教範》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 96 年 11 月)，頁 4-55。

(三)使用限制：防護服及濾毒罐（口罩）本身之禦毒能力較差，其時效端視毒化物種類、濃度及溫、濕度而定。

參、裝備使用現況檢討

應援部隊能否安全順利執行災害應援作業，專業防護裝備之良窳，扮演極具重要角色，根據近年部隊使用狀況及筆者教學、驗證紀實，檢討本軍專業防護裝備使用現況，發現諸多可再精進問題如次：

一、面罩缺乏視力矯正功能

由於現今兵員近視比例偏高，而本軍目前配賦之各類型空氣呼吸器均無視力矯正功能，當作業人員需以 A 級或 B 級防護執行任務時，勢必造成人員無法精確目視目標，而影響任務遂行。

二、空呼吸供氣時間欠精準

本軍目前所購得之空氣呼吸器氣瓶，主要係以歐規為主，其體積區分為 6 公升及 6.8 公升二種，依據「化學兵專用裝備操作手冊」(註9)所述：「在

註8：同註 1，頁 4-54。

註9：國防部陸軍司令部印頒，《化學兵專用裝備操作手冊》(桃園：聯勤北印廠，民國 92 年

最大充填壓力 300bar，於正常操作環境下，6 公升氣瓶其供氣量約為 40～50 分鐘；6.8 公升氣瓶為 50～60 分鐘」。然就實際作業環境，作業人員在採取 A 級或 B 級防護從事休息、輕度或適度重工作時，其供氣時間是否仍如準則所述？供氣時間是否應有所差異？若然，在無較精準供氣時間計算方式下，勢必影響我作業人員安全。

三、供氣量有限，無法執行長時間任務

作業人員面對縱深較長之偵檢、消除目標時（如長隧道），一旦採徒步進入，扣除來、回步行時間後，所剩作業時間不多，恐致無法有效遂行任務。

四、穿著 A 級防護衣，易致作業人員產生熱傷害

A 級防護衣係以氣密材質製成，長時間穿著，易造成穿戴者體溫上升與水分嚴重流失等問題。有關作業環境之溫度與相對濕度對人員之影響如表 1。

五、A 級防護衣未實施定期及任務前氣密測試

A 級防護衣於穿戴一段時間後，可能因人員穿戴方法、保養維護及存放環境不當，而影響防護衣之氣密性，一旦實際執行任務時，可能因有毒氣體滲入，而導致人員中毒。

相對濕度		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
環境溫度 (°C)	39	98	104	110	120	132				
	38	97	101	108	117	125				
	37	95	99	105	110	120	132			
	36	93	97	101	106	110	125			
	35	91	95	98	104	108	120	128		
	34	89	93	95	100	105	111	122		
	33	87	90	92	96	100	106	115	122	
	32	85	88	90	92	96	100	106	114	122
	31	82	86	87	89	93	95	100	106	115
	30	80	84	85	87	90	92	96	100	109
	29	78	81	83	85	86	89	91	95	99
	28	77	79	80	81	84	86	89	91	95
	27	75	77	78	79	81	83	85	86	89
	26	72	75	77	78	79	80	81	83	85
	25	70	72	75	76	77	77	77	78	79
	24	68	70	73	74	75	75	75	76	77

註：當穿上防護服時必須多加 5°C；當陽光直射時，再加 5°C

89-90：如過長時間暴露和活動可能會感到疲勞。

90-105：如過長時間暴露和活動可能會熱衰竭。

105-130：如過長時間暴露和活動可能會熱衰竭中暑。

超過 130：容易發生熱傷害。

表 1 作業環境溫度與相對濕度對人員之影響

資料來源：Emergency Response planning for Corporate and Municipal Managers/Erickson Paul A. 著.—初版-New York, P8-12.

六、A 級防護衣抗化性能未納入作業考量

防護衣因廠牌不同，其基底材質與抗化橡膠之塗佈亦有所差異，是故作業區內不同化學物質對不同廠牌防護衣之滲透時效將有所不同，然我是否取得相關原廠說明資料，是否有確認作業場所中之化學物質為身上所穿戴之防護衣所能防護？其可防護時間又為多久？

肆、興革意見

化學兵專業部隊在執行偵檢、消除作業時首重安全，而安全之首要措施則為防護，然就筆者前項所述之裝備使用現況，勢必須圖謀解決之道，以確保我作業人員之安全，俾利任務遂行。筆者綜整現今民間相關機構之因應作為、裝備發展趨勢與教學經驗，提供興革意見如下：

一、面罩加裝視力矯正器

面對現今兵員近視比例偏高，本軍可選購適於安裝面罩上之視力矯正器（如圖 5），以提供近視人員視力矯正，避免因視力不佳，肇生危安事件。



圖 5 空呼器面罩專用視力矯正器

資料來源：作者自攝

二、研擬氣瓶供氣時間計算公式

作業人員穿戴空氣呼吸器執行偵檢、消除作業，其可作業時間之長短取決於所背負氣瓶之供氣量，作業人員與指揮官若不能在各類環境條件下，取得精準之數據，勢必無法做好人員之管制，甚至造成人員傷亡。筆者參考民間氣瓶供氣量計算公式與實際驗證（如附件），獲得以下結果：

（一）氣瓶供氣量計算公式：

$$[(\text{氣瓶充填壓力}(\text{kg/cm}^2) - \text{餘壓}(\text{kg/cm}^2)) * \text{氣瓶容量}(\text{l})] / \text{每分鐘呼吸量}(\text{l/min})$$

註：餘壓（殘壓）一般約為 15 kg/cm^2 。

（二）經實際驗證後，各類活動別，每分鐘之呼吸量（如表 2）：

活動別		每分鐘呼吸量 (l/min)
休 息	B 級防護	15~25
	A 級防護	
輕度工作	B 級防護	20~30
	A 級防護	30~40
適度重工作	B 級防護	30~40
	A 級防護	45~55

表 2 各類活動類型及防護等級下之人員呼吸量

資料來源：筆者自製

三、空氣呼吸器加裝雙氣瓶接頭

本軍人員無論平時或戰時，如需執行偵消作業，其所面對之環境極可能是相當複雜的，如遭遇特殊作業環境，如長隧道，其所背負之空氣呼吸器勢必需能提供較長時間之供氣量，以維持作業人員呼吸，檢討目前我方所擁有之裝備，若能於其上加裝雙氣瓶轉接頭（如圖 6），將可現有供氣量提升為 2 倍，減低作業人員之限制。然考慮人員於背負雙氣瓶空氣呼吸器後，需面臨較大之體力負荷，故在氣瓶選用上，應儘量避免使用全合金材質之氣瓶（如圖 7（左），其體積為 6L，重量約為 11 公斤），而應挑選複合式氣瓶（如圖 7（右），其體積為(6)8L，重量約為 6 公斤），以減少人員重量負荷。

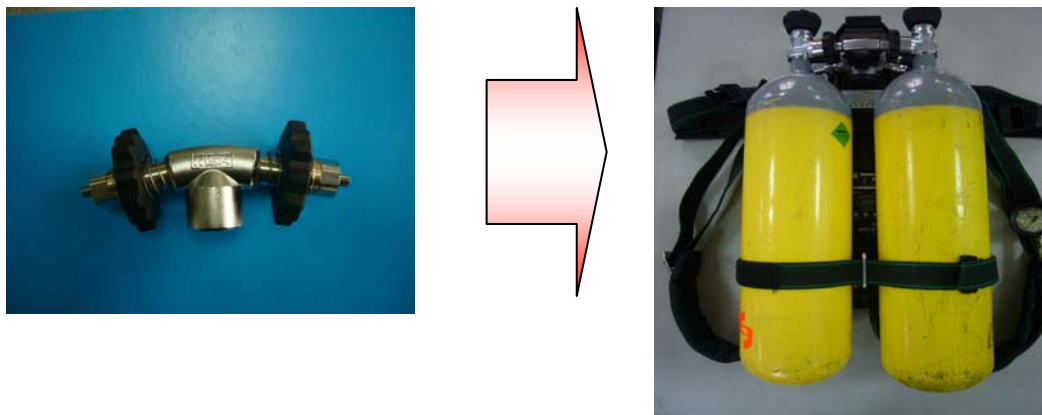


圖 6 雙氣瓶轉用接頭

資料來源：筆者自攝



圖 7 空氣呼吸器氣瓶

資料來源：筆者自攝

四、人員加著具冷卻效果配備

對穿著 A 級防護衣執行偵、消作業之人員而言，除要面對其所帶來之笨重性外，另其所造成之悶熱感，極有可能是對我作業人員最大之致命傷，為減低此機率之發生，筆者參考現有商情，就市面上而言，大致有以下幾種配備可解決作業人員悶熱之問題。

- (一)冷卻背心（如圖 8）：置放冷凍包於背心內襯，以提供穿著 A 級防護服人員 5~9°C 之降溫效果，可持續使用 90 分鐘。使用後，將冷凍包置於冷藏室或摻有冰塊之冰水中 15~20 分鐘，即可恢復保冷效果。



圖 8 冷卻背心

資料來源：筆者自攝

- (二)半身式冷卻背心（如圖 9）：以特殊泵浦帶動安置於衣物內襯之聚氯乙烯管內之冷卻液，並透過冷卻瓶及 IC 控制器，使人體上半身及頭部表面溫度維持在 18~22℃，可持續使用 60 分鐘。



圖 9 半身式冷卻背心

資料來源：SungHan Corporation Co., Ltd 產品型錄

- (三)全身式冷卻衣（如圖 10）：以特殊泵浦帶動安置於衣物內襯之聚氯乙烯管內之冷卻液，並透過冷卻瓶及 IC 控制器，使人體全身表面溫度維持在 18~22℃，可持續使用 60 分鐘。



圖 10 全身式冷卻衣

資料來源：SungHan Corporation Co., Ltd 產品型錄

(四)分析比較：

就表 3 所列之各項冷卻衣效能而言，以半身式冷卻背心較適於採取 A 級防護之作業人員穿著，理由如下：

- 1.以冷卻效果而言，半身及全身式冷卻背心皆可使作業人員體表溫度維持在 $18\sim 22^{\circ}\text{C}$ ，然冷卻背心卻僅就當時人員體表溫度予以減少 $5\sim 9^{\circ}\text{C}$ ，若當作業人員是處於高溫作業環境下，那體表溫度即時給予減少 $5\sim 9^{\circ}\text{C}$ ，作業人員仍會感到不適。
- 2.就冷卻持續時間而言，冷卻背心之效能雖優於另二款，然以 A 級防護衣內著之空氣呼吸器一般供氣時間約 30 分鐘而言，是無助益的。
- 3.以冷卻衣重量而言，冷卻背心及半身式冷卻背心重量較輕，較不易造成作業人員體力上之負擔，而全身式冷卻衣雖可達到全身保冷之效果，然以人體機能反應而言，保冷效果重點應在於防止人體上半身之臟器及腦部溫度過高。

品名項目	冷卻背心	半身式冷卻背心	全身式冷卻衣
冷卻效果	減少人體表面溫度 $5\sim 9^{\circ}\text{C}$	維持人體上半身及頭 部表面溫度在 $18\sim$ 22°C	維持人體全身表面 溫度在 $18\sim 22^{\circ}\text{C}$
持續時間	90 分鐘	60 分鐘	60 分鐘
重 量	2 kg	2 kg	5 kg

表 3 冷卻衣效能分析比較表

資料來源：作者自製

五、研製 A 級防護衣簡易氣密測試器

A 級防護衣在配合空氣呼吸器使用時，可維持防護衣內部輕微正壓，並提供高度氣密性，而這當中之氣密性是須定期委由原廠授權及認證廠家實施全面性之檢驗的。然筆者認為，為使作業人員能獲得絕對之防護，除須實施定期檢驗外，使用單位更應具備自行實施簡易氣密測試之能力，以利進行不定期及任務前之測試，一旦測試未達標準，則立即將裝備送修或轉為訓練用。筆者參考南部環境毒災應變隊之作法，依據原廠測試流程，已自行研發相關測試器具（如圖 11），實施檢驗，測試效果良好。

六、獲取 A 級防護衣原廠抗化性能表

就目前本軍所採用之 A 級防護衣，其材質 VAUTEX ELITE 係為德國 AUER 公司專利開發，能抵抗超過 500 種以上之化合物滲透達 4 小時以上，此般抗化性能（如表 4）應由原廠提出，交付我方，一旦在我執行任務前，依當前所面臨之化學物質，查閱原廠抗化數據，確保本軍所穿著之 A 級防護衣可提供有效之防護。

UN-No.	Chemical	Further names of chemical	Suit materials					Class	Breakthrough time (min)
			Vautex SL	Hatex SL	Plastiklos	Chempion	Vautex Elite		
1089	Acetaldehyde	Ethanal	4	2	1	5	5	6	> 480
9103	Acetamide		6	5	3	6	6		
2789	Acetic acid 100%		5	4	2	6	6		
1123	Acetic acid butyl ester(s)		3	4	1	4	5		
1104	Acetic acid amyl ester(s)	Acetic acid pentyl ester(s)	3	3	1	4	5		
1173	Acetic acid ethyl ester	Ethyl acetate	3	3	1	5	6	5	> 240
1220	Acetic acid isopropyl ester	Isopropyl acetate	3	3	1	5	6		
1231	Acetic acid methyl ester	Methyl acetate	3	3	1	5	6	4	> 120
1104	Acetic acid pentyl ester(s)		3	3	1	4	5		
1276	Acetic acid 1-propyl ester		3	3	1	5	6	3	> 60
1715	Acetic anhydride		4	4	1	5	5		
1090	Acetone		5	2	1	5	5	2	> 30
1648	Acetonitrile		4	2	1	5	6		
2810	Acetophenone		5	3	1	5	6	1	> 10
1717	Acetyl chloride		3	3	1	4	4		
1001	Acetylene	Ethyne	5	3	3	5	6	1	> 10
1092	Acryl aldehyde	Acroleine	5	2	1	5	5		
1093	Acrylonitrile		4	2	1	5	5		

表 4 AUER CSF VAUTEX ELITE A 級防護衣抗化性能表

資料來源：乃文有限公司網站資料，<http://www.nelven.com.tw>



圖 11 A 級防護衣簡易氣密測試器

資料來源：筆者自攝

伍、結語

化學兵舉凡執行戰時核、生、化偵檢、消除作業或平時之化、生、放、核應援任務，均屬高度危險工作，任何的疏忽，都將是致命的，為使官兵在每次執行任務時，都能無所顧忌，平日就應落實訓練，從訓練中找問題、解決問題，期使每次的任務，都能圓滿達成而無憾事發生。

參考資料

一、準則：

- (一)國防部陸軍司令部印頒，《化學兵應援部隊訓練教範》(桃園：軍備局北部印製廠)，民國 96 年 11 月。
- (二)國防部陸軍司令部印頒，《化學兵專用裝備操作手冊》(桃園：聯勤北部印製廠)，民國 92 年 9 月。
- (三)Emergency Response planning for Corporate and Municipal Managers/ Erickson Paul A. 著.—初版-New York,P8-12.

二、網路資料：

乃文有限公司網站資料，[http：//www.nelven.com.tw](http://www.nelven.com.tw)。

三、其它：

SungHan Corporation Co., Ltd 產品型錄。

附件

空氣呼吸器氣瓶供氣時間驗證表(1)

驗證班隊：防士 97-5 期

時 間：氣溫：22~24℃

相對濕度：70~72%

充 填 壓 力：氣瓶體積：6L

驗證人員		防護等級	活動別	氣瓶供氣時間	
甲	A 級防護		休息	109 分 20 秒	
			輕度工作	58 分	
			適度重工作	37 分 59 秒	
	B 級防護		休息	112 分 02 秒	
			輕度工作	85 分 17 秒	
			適度重工作	56 分 50 秒	
乙	A 級防護		休息	70 分 22 秒	
			輕度工作	43 分 50 秒	
			適度重工作	32 分 05 秒	
	B 級防護		休息	75 分 01 秒	
			輕度工作	58 分 15 秒	
			適度重工作	44 分 09 秒	
丙	A 級防護		休息	90 分 12 秒	
			輕度工作	50 分 41 秒	
			適度重工作	34 分 18 秒	
	B 級防護		休息	92 分 01 秒	
			輕度工作	69 分 44 秒	
			適度重工作	50 分 17 秒	
附記	供氣計算時間		休息	116 分 24 秒~174 分 36 秒	
			輕度工作	58 分 12 秒~87 分 18 秒	
			適度重工作	43 分 39 秒~58 分 12 秒	
	實際供氣時間	A 級防護		休息	70 分 22 秒~109 分 20 秒
				輕度工作	43 分 50 秒~58 分
				適度重工作	32 分 05 秒~37 分 59 秒
		B 級防護		休息	75 分 01 秒~112 分 02 秒
				輕度工作	58 分 15 秒~85 分 17 秒
				適度重工作	44 分 09 秒~56 分 50 秒

空氣呼吸器氣瓶供氣時間驗證表(2)

驗證班隊：防兵 97-5 期

時間：97.4.21-24

氣溫：22~24℃

相對濕度：70~72%

充填壓力：300bar

氣瓶體積：6L

驗證人員		防護等級	活動別	氣瓶供氣時間
甲	A 級防護		休息	100 分 15 秒
			輕度工作	51 分 39 秒
			適度重工作	35 分 01 秒
	B 級防護		休息	104 分 17 秒
			輕度工作	80 分 11 秒
			適度重工作	52 分 14 秒
乙	A 級防護		休息	71 分 232 秒
			輕度工作	44 分
			適度重工作	32 分 04 秒
	B 級防護		休息	73 分 01 秒
			輕度工作	60 分
			適度重工作	44 分 17 秒
丙	A 級防護		休息	109 分 27 秒
			輕度工作	55 分 10 秒
			適度重工作	36 分 59 秒
	B 級防護		休息	110 分 20 秒
			輕度工作	86 分 59 秒
			適度重工作	56 分 44 秒
附記	供氣計算時間		休息	116 分 24 秒~174 分 36 秒
			輕度工作	58 分 12 秒~87 分 18 秒
			適度重工作	43 分 39 秒~58 分 12 秒
	實際供氣時間	A 級防護	休息	71 分 23 秒~109 分 27 秒
			輕度工作	44 分~55 分 10 秒
			適度重工作	32 分 04 秒~36 分 59 秒
		B 級防護	休息	73 分 01 秒~110 分 20 秒
			輕度工作	55 分 10 秒~86 分 59 秒
			適度重工作	44 分 17 秒~56 分 44 秒