



火炸藥爆炸之安全量距探討

——以1.1類火炸藥為例

作者簡介



成曉琳上校，中正理工學院76年班，美國普渡大學土木博士；曾任講師、助理教授，現任職於國防大學理工學院環資系副教授。



王公彥少校，官預87年班、後勤學校正規班91年班；曾任工程官、所長，現為理工學院環資系碩士研究生。

提要

- 一、為確保彈藥庫儲安全，應採適當程度之防護，即擇定妥適安全量距，抑或利用堅固之天然障礙物或構建合適之人造擋牆，以隔離保護。
- 二、安全量距係為減低火炸藥因爆炸所引起的危害，使不致波及其他處所之作業人員、設施（備）及鄰近建築物，並將損壞降至最小程度。
- 三、以有無設置防爆擋牆為前提，分別就「危險係數」及「人體承受爆壓」等考量因素，進行安全量距之探討與算例說明。
- 四、本文針對火炸藥爆炸之安全量距做一概略性說明，期能協助彈藥庫單位自我檢核、估算安全防護距離及實際效能，俾供未來彈庫興建及防爆擋牆建造之參考。

關鍵詞：安全量距、炸藥量、縮尺距離、危險係數

前言

我國軍用彈藥庫分布之密度甚高，因戰備儲存之彈藥或汰除待銷燬之廢彈，不僅佔用有限的庫儲空間，且具有極高的危險性，儲存越久，越容易衍生潛在危安因素。為確保彈藥作業人員之安全、維護相關設施（備）及鄰近建築物之妥善，以避免遭受工作中可能發生的爆炸危害，遂須採取適當程度之防護，而所謂適當程度之防護，即在可能發生爆炸意外的場所與被保護建築物間，擇定妥適之安全量距，使爆炸不致擴展、蔓延，抑或利用堅固之天然障礙物或構建合適之人造擋牆，以隔離保護。

本文根據美國國防部2008年版「彈藥和炸藥安全標準」（Ammunition and Explosives Safety Standards ,DOD）^①及相關研究或實驗獲得之經驗公式，探討火炸藥爆炸之安全量距（Quantity- Distance）及防爆擋牆設置對安全量距之影響，並作

歸納分析，以期獲得最有效、最實際之安全防護距離，俾供未來彈庫興建及防爆擋牆建造之參考。

依「彈藥和炸藥安全標準」所述，火炸藥按其危害分類（Hazard Division, HD）概分為HD 1.1至1.6等六類（如表一），其中HD 1.1類之火炸藥會受火災、衝擊、爆炸等影響，引起少部分火炸藥之能量釋放及擴展，進而導致全部火炸藥之集體性爆炸，對於火炸藥庫儲安全與周圍建物、人員之影響甚鉅，故本文主要針對HD 1.1類火炸藥的相關影響進行探討。

安全量距與防爆擋牆

「安全量距」係為減低火炸藥因火災、爆炸等所引起的危險，使其對周圍處所之損壞減至最小程度。「防爆擋牆」係能有效降低爆炸效應之天然或人工障礙物，並在適當範圍內，保護牆後工作人員、設施及結構物免受爆炸侵

害，提高承受爆炸效應之存活能力。換言之，在炸源與被保護標的之間或爆震波（Blast Wave）直線傳播的路線上施作防爆擋牆，遂於實際的爆炸載荷環境中，將由於防爆擋牆的作用，顯著地降低所需的安全量距。

火炸藥爆炸產生的效應主要包含：爆震波、破

表一 火炸藥危害分類表

危害分類	特 性 概 述
HD 1.1類	受火災、衝擊、爆炸的影響，引起少部分火炸藥能量釋放及擴展，進而促使全部火炸藥之集體性爆炸，並產生體積較小、高速飛射的破片，對於作業人員、周邊設施及鄰近建築物，均會造成嚴重的傷害。
HD 1.2類	不會引起集體性爆炸，但會產生破片危害。
HD 1.3類	有火災危險，燃燒猛烈，會產生較大且低速度的破片，破片危害相較於HD 1.1、HD 1.2類來得小。
HD 1.4類	不會引起爆炸，但有火災危險。
HD 1.5類	影響類似於HD 1.1類，但沒有破片危害。
HD 1.6類	影響類似於HD 1.3類。

資料來源：作者整理。

註①：Department of Defense, DoD Ammunition and Explosives Safety Standards（USA,2008），pp.23~28.



片（Fragments）、熱危害（Thermal Hazards）、地面震動（Ground shock）、彈坑（Crater）等，其中以熱、破片及爆震波的效應，對周遭的作業人員將直接產生傷害。爆炸所產生的熱，其影響的距離有限，且爆炸所產生的破片，會因擋牆的存在而受阻隔，然爆震波所引起的爆壓與衝量，會因爆震波的繞射效應而於擋牆後方持續傳播，造成對人體的重大傷害。因此，本文將針對爆震波對安全量距的影響進行探討，除採用「危險係數」計算方式外，另考量「人體承受爆壓」因素，以求得人員之安全量距。安全量距之計算方式概述如后：

一、採「危險係數」之計算方式

依美國國防部「彈藥和炸藥安全標準」，彈藥庫主要區分為平面式彈藥庫（Above Ground Magazine, AGM）、覆土式彈藥庫（Earth Covered Magazine, ECM）、高性能彈藥庫（High Performance Magazine, HPM）等類型，其中本文僅針對國軍目前普遍存在的AGM、ECM彈藥庫類型進行探討與說明。

「彈藥和炸藥安全標準」中安全量距之計算主要考慮防爆擋牆與危險

係數等因子，其計算公式為： $D=K \cdot W^{1/3}$ 。

式中D為安全量距（ft）；W為火炸藥淨重量（NEW, Net Explosive Weight, lb）；K為危險係數（ft/lb^{1/3}），其係數值如表二所示，其中彈藥庫座向定義如圖一所示。

在上述規定中，彈藥庫房對於住宅（Inhabited Building Distance, IBD）及公共交通路線（Public Traffic Route Distance, PTRD）之安全量距分別訂有不同的標準，其中彈藥庫房與民宅間安全量距之計算公式，如表三所列，而彈藥庫房與公共交通路線之安全量距，則為彈庫與民宅間安全量距的60%。

二、採「人體承受爆壓」之計算方式

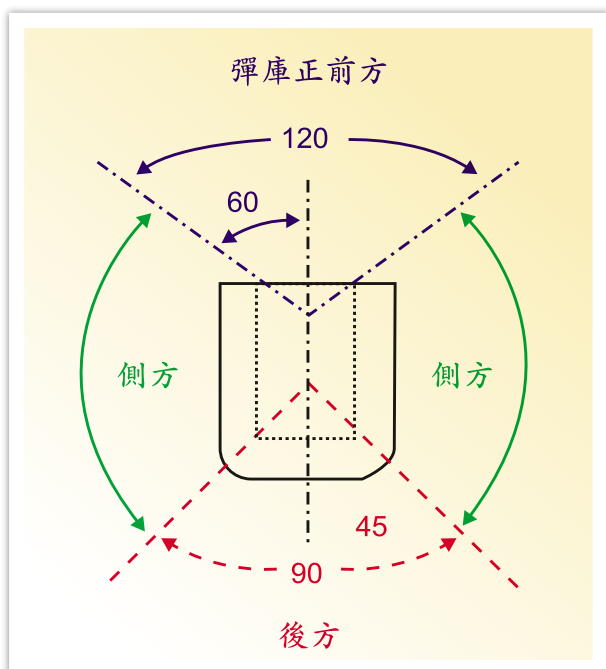
美軍技術手冊TM5-1300^②對於

表二 危險係數值（K）對照表

			平面式彈藥庫		覆土式彈藥庫			
			有擋牆	無擋牆	前方		側方	後方
					有擋牆	無擋牆		
平面式彈藥庫	有擋牆		6	6	6	6	6	6
	無擋牆		6	11	6	11	6	6
7-bar覆土式彈藥庫	前方	有擋牆	4.5	6	4.5	6	2.75	2
		無擋牆	6	6	6	6	2.75	2
	側方		4.5	4.5	2.75	2.75	1.25	1.25
	後方		4.5	4.5	2	2	1.25	1.25
3-bar覆土式彈藥庫	前方	有擋牆	6	6	6	6	4.5	4.5
		無擋牆	6	9	9	9	4.5	4.5
	側方		6	6	2.75	2.75	1.25	1.25
	後方		6	6	2	2	1.25	1.25

資料來源：同註①。

註②：Departments of the Army, Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, (USA,1990), pp.12.



圖一 彈藥庫座向定義圖

資料來源：同註①。

炸所造成的爆炸效應（例如爆壓、衝量、歷時等）可由圖二求得，其中橫座標表示縮尺距離 Z ($\text{ft}/\text{lb}^{1/3}$)，其為火炸藥重量 W (lb)與炸藥至地面標的間距離 R (ft)的函數為 $Z=R/W^{1/3}$ 。

藉由人體器官所能承受的最大有效爆壓與地表爆炸之爆炸參數圖（如圖二），可以求得在不同危害條件下，炸藥爆炸所需之安全量距。

另美國國防部炸藥安全委員會（Department of Defense Explosives Safety Board, DDESB）發展計算爆炸效應之分析軟體（Blast Effects Computer, BEC）^③，利用火炸藥重量與炸藥至地面標的間之距離，即可快速估算平面式彈藥庫、覆土式彈藥庫或露儲（Open Storage）等不同儲彈條件下，地面標的所承受爆炸

表三 彈藥庫房對民宅之安全量距計算公式表

		平面式彈藥庫	覆土式彈藥庫			
			前方	側方	後方	方
炸藥量	1~100,000 lb	$D=40*W^{1/3}$	$D=35*W^{1/3}$		$D=25*W^{1/3}$	
	100,000~250,000 lb	$D=2.42*W^{0.5777}$	$D=0.3955*W^{0.7227}$		$D=0.004125*W^{1.0898}$	
	250,000 lb 以上	$D=50*W^{1/3}$	$D=50*W^{1/3}$		$D=50*W^{1/3}$	

資料來源：同註①。

人體器官所能承受的最大有效爆壓（Maximum Effective Pressure）已有明確說明（如表四），此標準可作為判定炸藥爆炸所需安全量距之依據。

（一）未設置擋牆時之安全量距

美軍技術手冊TM5-1300對地表爆

效應之相關參數（如爆壓、衝量、歷時等），並同時提供爆炸效應對人體耳膜及肺臟造成損傷的或然率，以及建物門窗破壞之機率；其分析軟體操作介面，如圖三所示。

（二）有設置擋牆時之安全量距

註③：Department of Defense Explosives Safety Board, Blast Effects Computer, (USA, 2000)。



為有效預測防爆擋牆後方標的所承受之爆壓，美軍經一系列實驗，在其技術手冊TM5-853-3^④中提供相關簡易圖形（如圖四），藉由火炸藥重量、防爆擋牆位置及高度、牆後標的高度，進行估算牆後標的之爆壓調整係數值（Adjustment Factor, AF）。將調整係數（AF）乘上TM5-1300所求得無擋牆地表爆炸爆壓值（ $P_{no_barrier}$ ），即可得知防爆擋牆後方標的所承受之爆壓值（ $P_{with_barrier}$ ），其計算公式為：

$$P_{with_barrier} = AF \cdot P_{no_barrier}$$

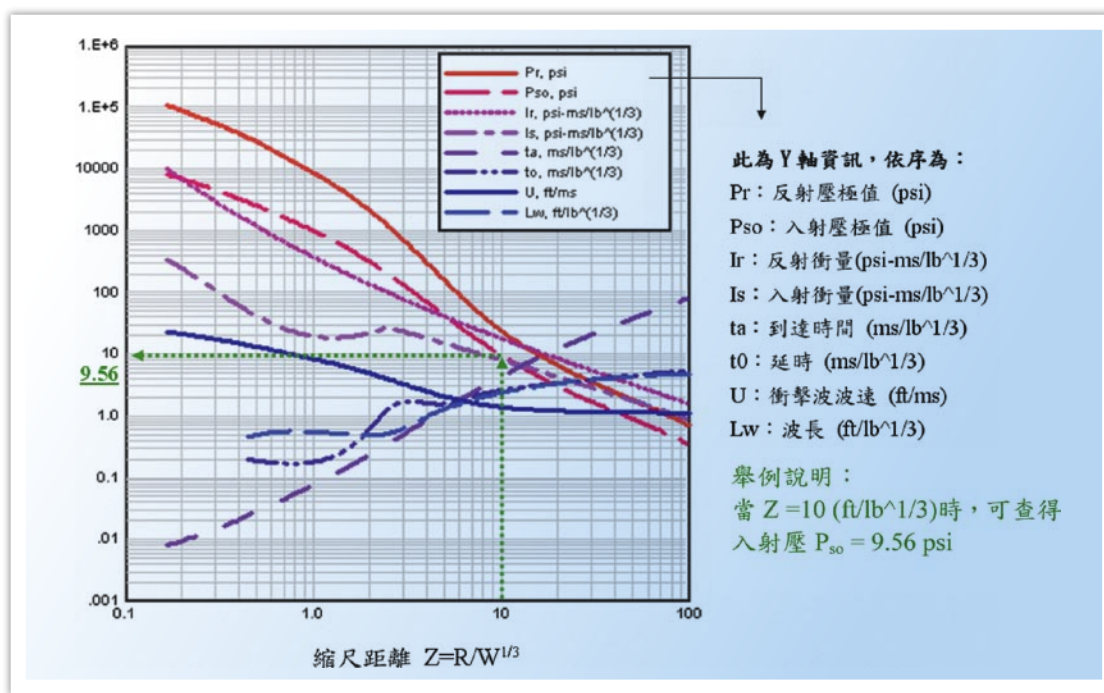
另2007年Zhou與Hao兩位學者^⑤利用數值模擬方式，進行防爆擋牆對

爆炸效應之數值預測，結構模擬示意圖如圖五。分析結果顯示防爆擋牆對降低爆炸效應具有正面的影響，若以爆壓強度為例，牆後爆壓之修正係數

表四 人體器官承受最大有效爆壓

人體器官危害情形		最大有效爆壓(psi)
耳膜破裂	最低傷害	5
	50%傷害	15
肺臟損傷	最低傷害	30~40
	50%傷害	80以上
致命死亡	最低傷害	100~120

資料來源：同註^②。



圖二 地表爆炸之相關爆炸參數

資料來源：同註^②。

註^④：Departments of the Army, Security Engineering Final Design, (USA, 1994), pp.93~95.

註^⑤：X. Q. Zhou, H. Hao, "Prediction of airblast loads on structures behind a protective barrier", International Journal of Impact Engineering (Australia), Vol. 35 (2008), pp.363~375.

INPUT SECTION → (炸藥資訊輸入區域)

English Units (lb, ft, psi, psi-ms, ms)

Select Potential Explosion Site (PES) Open Storage	Select Number of Weapons or Total NEW Total NEW (lbs) Enter Total NEW (lbs) 2,000.0	Enter initial range for Summary Table 100	Select Atmospheric Description Enter Altitude (ft) 1,000.00 Enter Temperature (°C) 15.00
Select Type of Weapon Puck/Light Cast	Select Type of Explosive Tetrol	Enter Range To ES (ft) 100.0	

AIRBLAST PARAMETERS

	SEA LEVEL	ALTITUDE (feet)
Range (feet)	100.0	96.5
Time of Arrival at Range (ms)	36.8	37.2
Over-Pressure at Range (psi)	15.9	15.3
Reflected Press. at Range (psi)	44.7	43.1
Positive Phase Duration at Range (ms)	28.6	29.0
Positive Phase Impulse at Range (psi-ms)	130.3	127.2
Reflected Impulse at Range (psi-ms)	312.6	305.3
Dynamic Overpressure at Range (psi)	5.63	5.44
Dynamic Overpressure Impulse at Range (psi-ms)	31.6	30.9

(爆炸資訊輸出區域：
如：爆壓、衝量等)

OTHER INFORMATION

Probability of Window Breakage (percent) at Range (窗戶玻璃破損機率)	Area = 2 ft ² 12" x 24" x 0.088" Float annealed	Area = 17.5 ft ² 60" x 42" x 0.22" Plate annealed
	Area = 4 ft ² 24" x 24" x 0.088" Float annealed	Area = 30 ft ² 72" x 60" x 0.22" Plate annealed
	Area = 10.5 ft ² 42" x 36" x 0.12" Float annealed	Area = 50 ft ² 120" x 60" x 0.30" Plate annealed
	Area = 2 ft ² 12" x 24" x 0.088" Float annealed	Area = 17.5 ft ² 60" x 42" x 0.22" Plate annealed
	Area = 4 ft ² 24" x 24" x 0.088" Float annealed	Area = 30 ft ² 72" x 60" x 0.22" Plate annealed
	Area = 10.5 ft ² 42" x 36" x 0.12" Float annealed	Area = 50 ft ² 120" x 60" x 0.30" Plate annealed

(其他資訊輸出區域)

Probability of Eardrum Rupture (percent) at Range	52.1 (Older)	(耳膜損傷機率)
	95.7 (Younger)	
Probability of lethality due to lung damage (percent) at Range	0.0	(肺臟損傷機率)

圖三 BEC爆炸效應分析軟體

資料來源：同註⑧。

(Modification Factor) A_{pmax} 為：
 $A_{pmax} = -0.1359 + (0.3272 + 0.1995 \log(H_1/D)) \log Z - 0.5626 \log(H_1/D) + 0.4666(L_1/D)$ 。

式中 H_1 為防爆擋牆高度 (m)； D 為炸藥至牆後標的之距離 (m)； L_1 (4) 為炸藥至防爆擋牆之距離 (m)； Z 為縮尺距離 ($m/kg^{1/3}$)，其中 $Z = D/W^{1/3}$ ， W 為炸藥重量 (kg)。

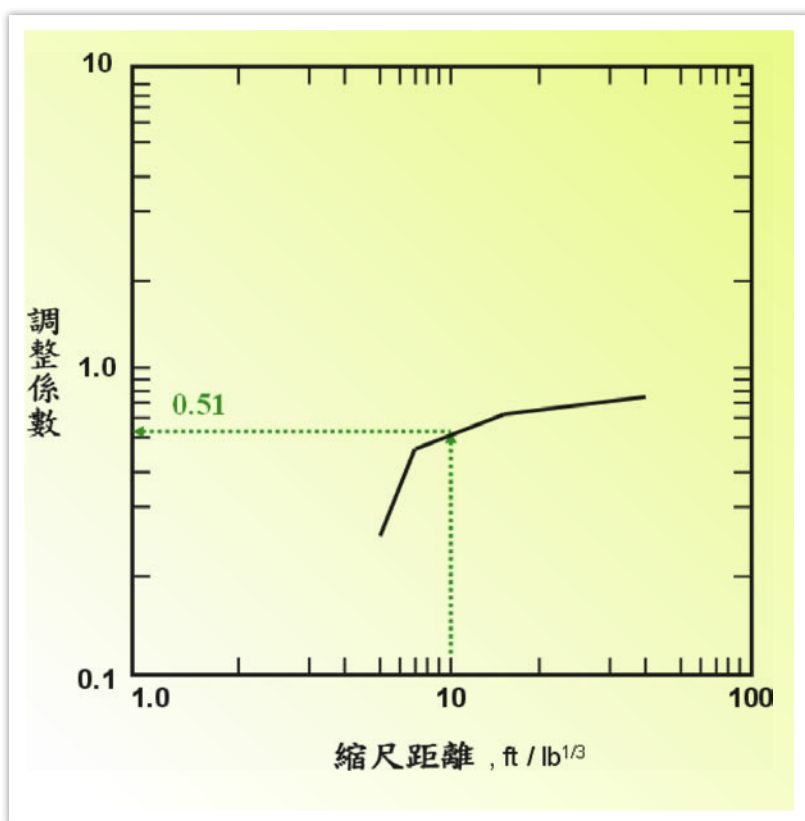
防爆擋牆牆後爆壓值 ($P_{with_barrier}$) 則為修正係數 (A_{pmax}) 乘

上 TM5-1300 所求得無擋牆之爆壓值 ($P_{no_barrier}$)。

安全量距計算算例

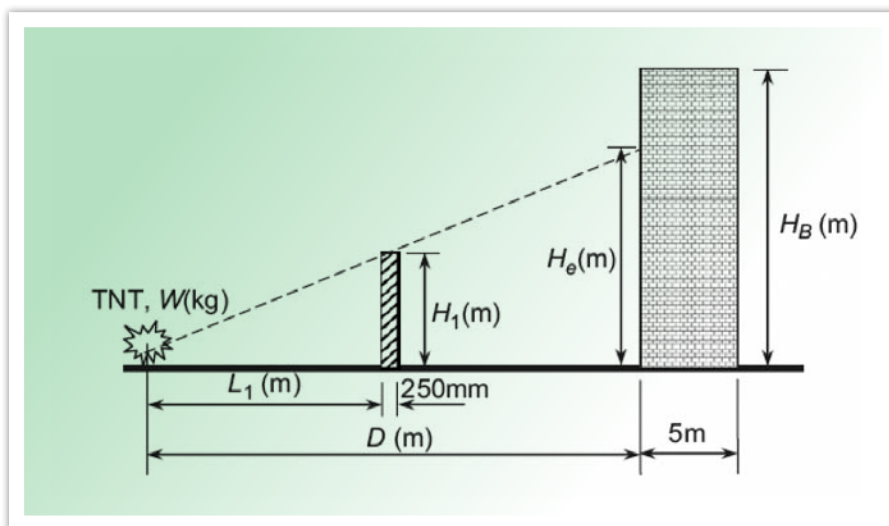
本節將以有無設置防爆擋牆為前提，火炸藥重量為裸藥狀況 (未裝填於彈體內)，分別就「危險係數」與「人體可承受爆壓」等考量因素，進行安全量距之算例說明，俾供擇定安全量距計算之參考。

一、以「危險係數」計算彈藥庫之間的安



圖四 牆後爆壓調整係數與縮尺距離關係

資料來源：同註④。



圖五 防爆擋牆配置圖

資料來源：同註⑤。

全量距

某覆土式彈藥庫（前方有擋牆）儲存2.75吋火箭彈3,000顆（火炸藥含量為每顆7.5 lb）與81公厘迫擊砲4,000顆（火炸藥含量為每顆4.3 lb），若發生爆炸時，其正對面之平面式彈藥庫（無擋牆）安全量距為何？

〈計算〉

火炸藥總淨重量 $W=3,000(7.5)+4,000(4.3)=39,700$ lb

$$W^{1/3}=39,700^{1/3}=34.11 \text{ lb}^{1/3}$$

考量彈藥庫型式及擋牆設置，參照表二之危險係數值，可對應求出危險係數（K）為 $6 \text{ ft/lb}^{1/3}$ 。

則平面式彈藥庫與覆土式彈藥庫之安全量距D為：

$$D=K \cdot W^{1/3}=6 \text{ ft/lb}^{1/3} \cdot 34.11 \text{ lb}^{1/3}=204.66 \text{ ft}。$$

二、以「人體承受爆壓」計算所需之安全量距

以人體承受爆壓為考量所計算之火炸藥安全量距，無論有無設置防爆擋牆，均須比較地面標的之爆壓與表四所示人體器官所能承受最大有效爆壓做一核校。若考量在完全不受爆壓傷害之情形下，本算例擇以5 psi為計算安全量距之基準。

(一)未設置擋牆條件

某露儲場地地面暫置1,000 lb的TNT炸藥，若發生爆炸意外時，距離100 ft處之作業人員安全與否？

〈計算〉

火炸藥重量 $W=1,000\text{ lb}$

火炸藥至作業人員距離 $R=100\text{ ft}$

縮尺距離 $Z = R / W^{1/3} = 100 / 1,000^{1/3} = 10\text{ (ft/lb}^{1/3}\text{)}$

利用美軍技術手冊TM5-1300地表爆炸之爆炸參數圖（如圖二），可查出相對於 Z 值處之入射爆壓為9.56 psi（因大於5psi，人員有受傷害之虞，若在完全不受爆壓傷害之情形下，則安全量距應加大為143.9 ft）。

(二)有設置擋牆條件

同上算例，僅於炸藥與作業人員間設置高度6m（ H_1 ）之防爆擋牆乙座，擋牆與炸藥距離為9m（ L_1 ），炸藥至牆後作業人員距離仍為100 ft（30.48m），牆後作業人員安全與否？

〈計算〉

火炸藥重量1,000 lb（453.5 kg）

火炸藥至作業人員距離100 ft（30.48 m）

縮尺距離 $Z=R/W^{1/3}=10\text{ (ft/lb}^{1/3}\text{)}$ 或 $3.966\text{ (m/kg}^{1/3}\text{)}$

修正係數 $A_{P_{\max}}=0.51054$ （無單位）

利用美軍技術手冊TM5-1300可查出相對於 Z 值處之無擋牆地表爆炸爆壓值為9.56 psi。將無擋牆之地表爆炸爆壓值 $P_{\text{no_barrier}}$ 與修正係數 $A_{P_{\max}}$ 相乘，即可求得防爆擋牆之牆後爆壓值 $P_{\text{with_barrier}}$ ：

$P_{\text{with_barrier}} = 0.51054 \cdot 9.56\text{ psi} = 4.88\text{ psi} < 5\text{ psi}$

由於牆後作業人員處之爆壓值低於5 psi，因此，在設置防爆擋牆的情形下，作業人員於距離火炸藥100 ft處，已無受傷害之虞。

結 論

國軍彈藥管理係維持戰鬥持續力不可或缺之要項，維持彈藥補給之流暢、儲彈設施之妥善及彈管人員之安全，亦為彈藥管理首要工作重點；惟一旦發生爆炸意外，為使所引起的危險，不至於波及他處所之彈藥、人員及建築物，並使損壞減少至最小的程度，遂律定有其安全量距，以確保彈藥庫人安與物安。2006年汐止山區某彈藥庫發生威力強大的爆炸事件，由於儲彈庫房與官兵宿舍間之安全量距不足，亦未設置防爆擋牆，造成士官兵的死傷，故應引以為鑑。另彈藥庫周圍居民因對其生存權及財產權之意識抬頭，在「彈藥庫是不定時炸彈」的恐懼下，要求軍方檢討「彈庫搬遷」或「彈藥調儲」，若能確實掌握彈藥之安全量距，避免意外爆炸損及鄰房，將可減輕周圍居民內心之恐懼。

本文參酌美軍實驗獲得之經驗公式及相關研究，針對火炸藥爆炸之安全量距做一概略性探討及其算例說明，期能協助各彈藥庫單位自我檢查、迅速估算安全防護距離，並確保實際效能，俾供未來彈庫興建及防爆擋牆建造之參考。

收件：98年1月9日

修正：98年2月18日

接受：98年2月23日