

外島廢舊地雷處理方法研析

作者/ 鄭冠豪少校 吳世奇中校

提要

- 一、近期國軍為確保民眾生命安全並兼顧防衛需要，檢討將金門防區內部分雷區、廢置雷堆實施清除作業，消弭民眾誤觸事件並繁榮地方發展。
- 二、為配合外島地區地方建設與觀光發展，考量委商排雷所需經費龐大、期程冗長，規劃本軍工兵部隊於 95 年度先行「試行自力排雷」，藉此提昇工兵排雷能量與經驗，並達節約公帑及縮短期程之目的。
- 三、因排雷而產生出之大量廢舊地雷、彈藥，不僅佔用有限的庫房儲位，而且儲放愈久，愈易變質危險性愈高；如何利用現有處理能量有效的處理，妥善解決廢舊地雷、彈藥的問題，減少意外發生，是目前刻不容緩之工作。

關鍵詞：排雷、廢棄火炸藥

壹、前言

民國 38 年起，部隊因應防衛戰備需要，陸續在金門的海邊設置雷區以拒敵，期間經歷了古寧頭、823 砲戰等戰役，迄今已逾 50 餘年，由於部分地雷未失效，近期內仍然間歇發生野火引爆地雷的情事。然而金門解除戰地政務開放三通之後，觀光旅遊蓬勃發展，當地民眾迫切期望撤消管制區限制，並將雷區早日排除，以繁榮地方發展。國軍為考量民眾生命安全並兼顧防衛需要，配合外島地區地方建設與觀光發展，徹底檢討防區內雷區、廢置雷堆並實施清除作業，期能消弭民眾誤觸事件；惟考量委商排雷所需經費龐大、期程冗長，規劃本軍工兵部隊於 95 年度先行「試行自力排雷」，藉此提昇工兵排雷能量與經驗，並達節約公帑及縮短期程之目的。

因排雷而產生之大量廢舊地雷、彈藥、爆藥，不僅佔用有限的庫房儲位，且儲放愈久，愈易變質，危險性愈高；因此如何利用現有處理能量，妥善解決廢彈問題，減少意外發生，是目前刻不容緩之工作。本文係利用目前國軍廢彈處理方式及國內外處理廢棄爆藥之方法實施效益分析，並對廢舊地雷、爆藥處理方法提出精進建議，以供爾後排雷所產生之廢彈處理作業參考。

貳、外島廢舊地雷種類

依目前外島排雷所發現的廢舊地雷種類，可將其歸納為戰防雷及人員殺傷雷等兩類，就其地雷諸元介紹如下：

一、人員殺傷雷：

係利用爆炸震盪力及產生之破片殺傷人員，主要為殺傷敵人，可單獨使用或與戰防雷混合設置雷區。目前在外島排雷常見之人員殺傷雷種類如下：

- (一) M2A4 跳炸式人員殺傷雷^[1]：顏色為深橄欖色（或草綠色）附有黃色標誌，全重約 2300 公克，主裝藥約 200 公克 TNT，其彈體下部裝有 2.6 公克黑色火藥作為拋射藥如圖 1、2。



圖 1 M2A4 人員殺傷雷

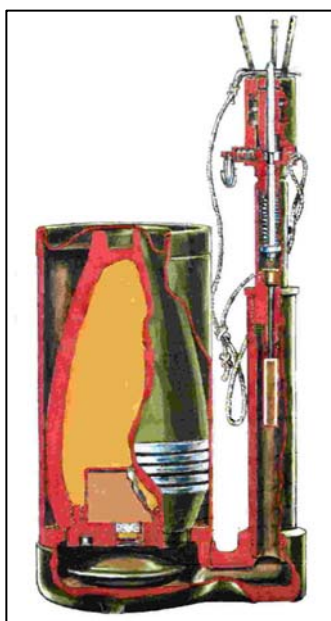


圖 2 M2A4 人員殺傷雷斷面圖

註1 《地雷戰教範》（桃園，陸軍司令部印頒 94.4.15 印頒），頁 2-14。

(二) M3 破片式人員殺傷雷^[2]：顏色為深橄欖綠色，雷體為矩形鑄鐵，雷體上有三個副引信孔，重量約 4400 公克，內裝藥：450 公克 TNT 如圖 3。



圖 3 M3 人員殺傷雷斷面及底部

(三) M14 爆炸式人員殺傷雷^[3]：外觀顏色橄欖色，全重約 94.5 公克，裝藥重約 28 公克特出兒爆藥如圖 4。



圖 4 M14 人員殺傷雷頂部、底部

註2 同上註，頁 2-16。

註3 同註 1，頁 2-11。

二、戰防雷：

係用以使履帶車輛，或輪型車輛喪失運動能力，或予以摧毀。戰防雷內含有高爆藥，通常需要 136 至 182 公斤之壓力方能產生作用。於設置雷區時，戰防雷通常用為雷群中之中心雷，用以設置雷區或道路阻絕。可破壞戰車履帶，或車輛輪胎等，使戰車或車輛喪失運動能力，亦可殺傷車內乘員及引爆車內攜行之彈藥。戰防雷可於一個雷坑中，設置兩個或三個戰防雷，以增加其破壞及摧毀戰車的效果。目前外島常見之戰防雷種類如下：

- (一) M7A2 輕型戰防雷^[4]：顏色為深橄欖色，全重約 2200 公克（不含引信），內裝藥約 1600 公克特出兒如圖 5、6。



圖 5 M7A2 戰防雷

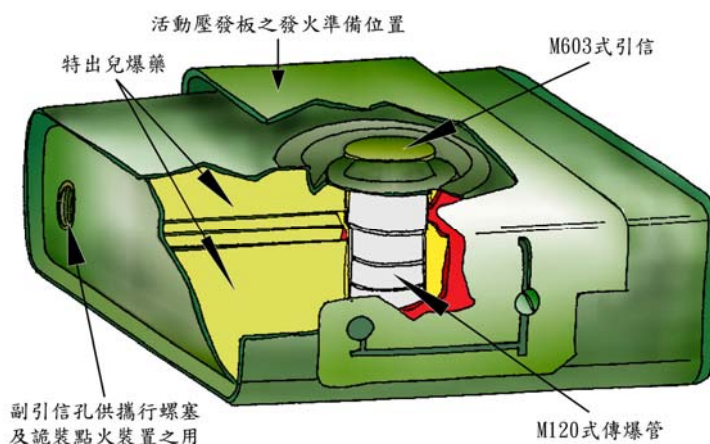


圖 6 M7A2 戰防雷剖視圖

註4 同註 1，頁 2-25。

(二) M6A2 輕型戰防雷^[5]：顏色為深橄欖色，雷體為鋼質，重量約 9000 公克（不含引信），內裝藥約 5500 公克 TNT 如圖 7、8。



圖 7 M6A2 戰防雷

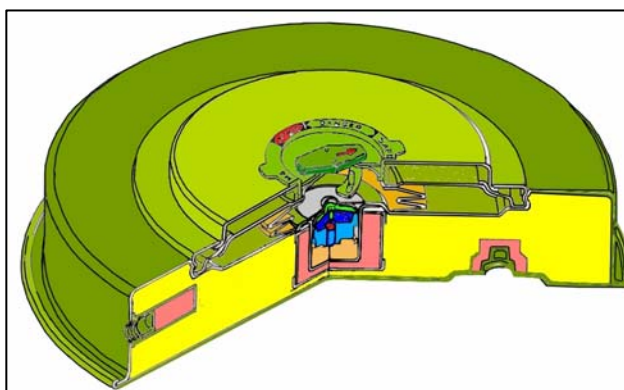


圖 8 M6A2 戰防雷斷面

三、地雷內裝藥分析：

目前國軍各式地雷內裝藥大多為 TNT 及特出兒等兩種（各式地雷裝藥種類分析表如表 1），對上述兩種內裝藥性質分析如下：

(一) TNT：三硝基甲苯(Trinitrotoluene)^[6]，又稱梯恩梯，外觀呈現無色或淡黃色斜方形結晶，不論單獨使用或與其他炸藥混合使用，梯恩梯均具廣泛之適用性，於現在或未來仍被視為最重要之軍用炸藥，梯恩梯之化學安全性甚佳，甚至在 150°C 之高溫下經過 40 小時仍無任何顯著之分解，梯恩梯在庫儲溫度下，經 20 年之久，無任何可察覺之變質現象，在以往梯恩梯之物理安定性卻曾引起若干困擾。梯恩梯之融點約在 81°C-82°C 間，利用硫化鈉可將梯恩梯完全分解，生成非爆炸物之產物。

註5 同註 1，頁 2-27。

註6 《炸藥理論與應用》（高雄，聯勤 203 廠編 75.9 編印），頁 464。

表 1 外島廢舊地雷內裝藥種類分析表

地雷名稱		內裝藥種類	內裝藥重量	引信種類
戰 防 雷	M 6 A 2	T N T	5000 公克	M603
	M 7 A 2	特出兒	1600 公克	M603
殺 傷 雷	M 3	T N T	450 公克	M6A1
	M 2 A 4	T N T	200 公克	M7A1
	M 1 4	特出兒	28 公克	同體引信

(二) 特出兒：三硝基苯甲硝基胺，又稱特出兒(Tetralite)^[7]，一般使用之特出兒成淡黃色或淡褐色，多為聚合之結晶粒，特出兒用途多為傳爆管炸藥，其他用途則為組成混合炸藥，雷管及彈體之裝藥。特出兒之安定性較 TNT 為差，但它在常溫下儲存 20 年，安定性無任何顯著變化，特出兒不溶於丙酮，純特出兒之熔點為 129℃，溶解時有部份分解。硝化鈉之水溶液可以完全將特出兒分解成非爆炸性水溶物，特出兒亦可用亞硫酸鈉水溶液分解之，生成非爆炸物，但其反應速度非常緩慢，如欲增加其速度，可將溶液加熱至 80℃ 至 90℃。

參、國內外現行廢舊爆藥銷毀處理方法

一、國外廢舊爆藥銷毀處理方法：

談到廢舊爆藥的處理，首先要提到的即為銷毀處理，「銷毀處理」^[8]係將爆藥利用各種手段轉化為惰性或更穩定的物質，使其喪失燃燒或爆炸的能力。在選擇運用哪一種銷毀方法的同時，首先要考慮安全的問題，再考慮其他有關經濟、污染、對週邊影響等因素，使爆藥銷毀的同時，不造成其他不良的影響，目前國外對於爆藥的處理方法可區分為傳統及環保的處理方法等兩種類型，介紹如下：

(一) 傳統的處理方法：

1、露天焚燒法：

將廢舊的爆藥運至遠離城市的場地進行露天焚燒，進行焚燒時將廢舊之爆藥分散地鋪設於焚燒場地內，再利用電氣點火之方式實施遠距離引燃，其點火方式分為普通點火鏈、可燃物點火鏈及電氣

註7 同註 6，頁 475。

註8 王澤山，《廢棄火炸藥的處理與再利用》（北京：國防工業出版社，1999 年 4 月），頁 56。

點火鏈等 3 種^[9]。

露天焚燒方法具有操作簡單、經濟、需投資的機具費用亦較為低廉的優點，但因廢舊的爆藥燃燒後所形成大量內含氮氧化物、高致癌物的濃煙，及諸如鉍、硒等鹵化物及其它的固態燃燒產物、致癌物，將隨空氣、水源或土壤殘害人類和環境，故美國在 80 年代起已逐漸廢止露天焚燒方法，改採用其他方法。

可用露天焚燒法銷毀之彈藥：包括黑藥、無煙藥、散裝炸藥、煙火照明劑、輕兵器彈藥、火工零件、砲彈、空包彈、催淚彈、煙幕彈等。

2、露天爆毀法：

係裝置起爆藥包並使用電雷管（雷管）引爆，藉其爆炸力量引爆待處理之廢舊爆藥並將其銷毀。點火方式通常採用電氣點火及普通點火兩種方式。露天爆毀方法與露天焚燒法相同具有操作簡單、經濟、需投資的機具費用亦較為低廉的優點，但其所產生之噪音及環境污染物、致癌物等亦為現今環境保護所不容。

可用露天爆毀法銷毀之彈藥：包括各式地雷、高爆彈頭、高爆砲彈、殺傷及煙幕黃磷手榴彈及槍榴彈等^[10]。

3、土壤（深井）掩埋法：

將廢棄爆藥直接或加工成漿狀，再運輸至掩埋場，注入土壤或深井內掩埋。此種方法雖安全不易爆炸，但容易造成地下水源的污染。

4、海洋傾倒：

將廢爆藥直接或加以固化包裝後，傾倒於深海、海溝中。

上述的處理方法大多受現今環境法令所不容，除了環境污染外，有些方法還潛在著危險，例如露天焚燒、爆毀會污染空氣、土壤（深井）掩埋、海洋傾倒等方法不僅沒有消除爆炸危險性，即使掩埋著許多年的爆藥，仍然具有爆炸的危險，更易造成地下水源及海洋污染。因此這些方法將會逐漸被廢止。

（二）環保的處理方法：

註9 郭晃佑，《國軍廢彈藥處理作業研析》（學術研究，後勤學校，桃園，2000）。

註10 同上註。

1、焚化爐焚燒法：

焚化爐焚燒法^[11]是讓爆藥置於被控制的環境下焚燒，被控制的要素是溫度、時間及焚化爐內氣體流動狀態，良好的控制使焚燒的爆藥充分的被分解氧化，並使廢氣中的氮氧化物含量降至最低限度，是目前美國及多數已開發國家處理爆藥主要的使用方法。焚化爐焚燒法主要的缺點是建造所需的設備、維修及燃料的消耗較為龐大，維持的經費甚巨。

2、拆毀法：

淘汰棄用及不堪使用之廢壞彈藥具安全裝置未備發者，可用拆毀方法處理；拆卸包括彈藥分解，摘除引信等過程，並以水做冷卻液將地雷、炸彈等彈裝炸藥鋸斷分成幾個部份，此時內裝之爆藥即暴露出來。所有的拆毀過程均須在隔音及防爆的室內進行，經拆毀法處理後之引信、傳爆管及其他火工零件，尚需配合燒毀法、爆毀法或脫藥法等方法銷毀。

可用拆毀法處理之彈藥：包括固定式或半固定式地雷、彈藥、迫擊砲彈、火箭彈、殺傷手榴彈、各式催淚手榴彈等。

3、熱解脫藥法：

將已拆除火工另件之地雷、彈裝炸藥利用熱蒸氣或熱水，以蒸或煮方式，使地雷的內裝藥受熱熔融脫離彈體，溶出之炸藥可逕行銷毀或回收（如圖9）。適用於內裝梯恩梯、B炸藥之彈裝炸藥。

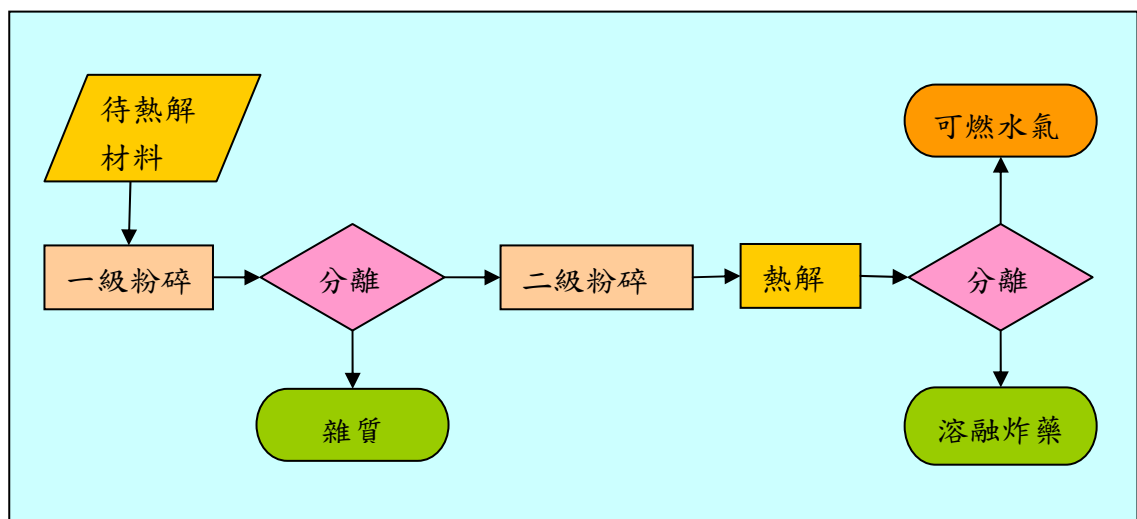


圖9 熱解脫藥法處理廢舊火炸藥流程圖^[12]

註11 同註8，頁5。

註12 同註8，頁6。

4、加鹼水解法^[13]：

為一種較簡單又經濟的方法，例如運用氫氧化鈉和氨水，就可以將多種發射藥、炸藥、煙火劑發生水解反應，以使爆藥喪失或降低含能量，其水解反應速度取決於被水解材料的顆粒度、反應強度以及攪拌強度。

究竟選擇哪一種銷毀方法，要視銷毀對象及銷毀環境而定，一般而言「爆炸法」適於銷毀能夠引爆的火炸藥，如猛炸藥、火工品、地雷、手榴彈等。「燃燒法」適於銷毀能燃燒並且不易轉成爆轟的爆藥，如發射藥、推進劑、延期藥、底火、引信等。「化學法」適用於銷毀起爆藥、毒劑、及被爆藥污染的物體，「水融法」適於銷毀遇水即失去爆發能力的爆藥，如某些混合炸藥等。

二、國內廢舊彈藥處理方法：

（一）處理場地：

目前本軍廢彈銷毀作業場地屬合法場地者，僅北部及南部地區各一處，負責處理三軍通用彈藥之廢彈，北部地區處理中心因其腹地狹小，且週邊環境正積極開發中，目前已不適合各式彈藥之銷毀處理，尤其是大型砲彈及飛彈的銷毀處理，必須另覓場地，方能執行任務。南部地區銷毀作業場隸屬南部地區彈藥庫，下轄綜合組、拆解廠、熱處理所、接撥分庫四個單位，現有拆解廠、熱能量處理所等兩座廠房及開放式燒爆毀場，為目前國軍最先進廢棄彈藥處理單位，也是目前東亞最大之廢彈處理中心^[14]。

（二）執行權責：

目前陸軍負責廢彈銷毀處理的單位，係按作戰地區與任務，區分為野戰及基地兩部份：

- 1、野戰部份：由戰區未爆彈處理組負責處理戰區(防區)產生之廢彈。
- 2、基地部份：處理經檢整後產生之廢彈。

就前者言其作業能量目前已達飽和；而後者則作業量較多，目前處理能量亦受環境所限僅實施少量燒毀作業^[15]。

（三）銷毀方式：

註13 同註8，頁5。

註14 羅兆洧，《精進彈藥銷毀作業之研究》（學術研究，後勤學校，桃園，2004）。

註15 同註14。

彈藥銷毀方法，計有拆毀、爆毀、燒毀、脫藥、化學法等。銷毀所用的方法係依據待銷毀物內裝藥之藥量、性質及銷毀場設備、地形等因素，選擇最適當之銷毀方法；而彈藥銷毀方法中又以爆毀法最為經濟有效；可是實施爆毀需要較大的作業幅員，方能確保安全；如今受到作業環境的限制，以致彈藥銷毀的方法必須適度的調整，目前處理方法常改以拆卸法，將彈藥先行卸火，再以化整為零、少量多次的作業方式，進行銷毀。

（四）限制因素：

- 1、役期縮短人才培養困難：爆藥處理的人才須經過學校專業的訓練及實務工作上不斷的歷鍊，才能培養出一名專業的處理人才，然而士兵服役的役期逐年的縮短，從學校結訓後到單位服務 6-8 個月即告退伍，人員流動率高，專業技術與知能傳承不易。
- 2、未配賦專業處理設備：目前國內僅有南、北兩處彈藥庫具備自動化的彈藥拆解、熱能量處理設備，外島未爆組並未配賦是項銷毀設備，廢棄爆藥處理時，多將爆藥火工零件拆毀後再以燒毀或爆毀方式處理，每次作業危險性高、能量有限。
- 3、處理場地缺乏高安全性：目前外島處理廢彈的場地多為露天，處理時藉由二至三道土堤的掩護實施彈藥的燃爆，但是露天場地對碎片阻隔效果不佳，所以能處理的多為步、機槍彈、手榴彈、廢砲彈等低爆性彈藥之內裝藥，至於地雷等具高爆性威力之彈種，則缺乏專業之處理場地，催爆處理時容易因破片的飛濺肇生人員的危險。
- 4、欠缺吸引國內廠商投入的誘因：依國防部政策指導，為維護海運船艦安全，外島未爆組無處理能量之廢彈（地雷、黃磷彈、除役飛彈、火箭、大型艦砲彈及化學彈藥等）不回運本島，以「委商方式」辦理^[16]；惟爆藥處理的標案無持續性及長遠性，廠商在投入處理設備及人員訓練的投資後，做完前一個標案後，卻看不到下一個標案在哪裡，成本的回收遙遙無期，造成國內廠商興趣缺缺，甚至望之卻步。
- 5、國內研究機構及技術鮮少：在台灣除了隧道及採礦工程外，鮮少會運用爆藥實施作業，因此學術界對於爆藥的研究就不如大陸及美、加等國家的進步，相關技術與試驗數據亦相對較少。

註16 同註 9。

肆、廢舊地雷處理法研析

一、引信拆除：

廢舊地雷的處理有一定的流程（如圖 10），為了將廢舊地雷安全的進行銷毀或回收、利用，首先要將引信從地雷中取出來，因為地雷形式不同，取出引信的技巧亦不相同。

地雷引信一般都與雷體的金屬或非金屬組件結合在一起，想要把引信從中分解出來具有一定的危險性及難度，如引信可能爆炸，部份零件銹蝕不易拆解等，若地雷引信無法拆除，則該枚地雷最終僅能運用爆毀法將其銷毀。拆解地雷引信時應於封閉建築物行之，並使用機械手臂實施作業，以確保作業人員安全。

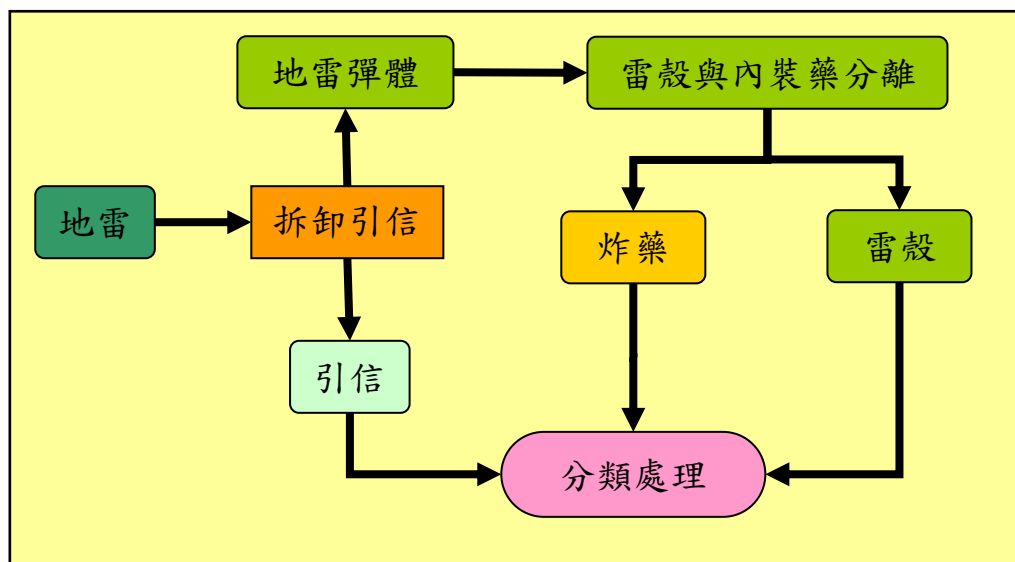


圖 10 廢棄地雷銷毀處理流程

二、雷殼與內裝藥分離處理：

拆除引信後，若是以焚燒法、化學還原法等方法處理廢棄地雷的內裝藥，將雷殼與內裝藥分離是在處理廢棄地雷時所必須的作業，應用於雷殼與內裝藥分離的方法如下：

（一）切割法：切割法一般用於粗粉碎（一級粉碎），主要用於切割整顆的地雷，將地雷切割成數小塊以方便後續的處理，可用於地雷切割的機具種類介紹如下：

- 1、彈體鋼鋸機：主要將雷殼完整無法脫藥之地雷，切割成數小塊（視銷毀爐能量限制而定）以方便後續脫藥或粉碎作業。作業時以手動方式將地雷推至適當切割位置，再操作鋼鋸機切割，切割的同時持續噴出潤滑劑，以防止火花產生，導致意外災害。

2、水刀切割系統：將水以超高壓的方式噴出，用以切割彈體。全套配合機器手臂採用自動化作業，可避免因意外事件而傷及人員。

3、機器手臂：為一代替人員作業之自動化機械，用於水刀切割系統中夾取彈藥之危險工作，以保障作業人員安全。

(二) 脫藥法：脫藥作業一般運用蒸氣或熱水，以蒸或煮的方式使內裝藥脫離彈體。脫藥後之爆藥仍須與其他銷毀法配合，以完成最後處理。脫藥法因其安全性較高，受作業地區限制較少，且可大量作業，故為目前廢棄彈藥處理的主要方法之一。應用於脫藥的方法如下：

1、蒸氣脫藥：係利用高溫蒸氣將爆藥溶流出；但會產生有毒蒸氣，工作中特應注意通風及操作安全。蒸氣脫藥又可分為下列兩種方式：

(1) 直接蒸氣脫藥法：藉蒸氣之熱及沖刷力直接噴向藥面，使其溶解流出。其優點為噴藥速度快，缺點則為溶解出之炸藥含水量及雜質多，且產生之廢水必須使用化學藥劑，如過氧化氫 (H_2O_2)、活性碳等藥劑進行脫色、脫臭後方可排放。

(2) 間接蒸氣脫藥法：藉蒸氣對彈體外部加熱，使彈裝藥受熱溶出。其優點為溶解出之火藥含水量少，缺點則為消耗蒸氣大，脫藥速度慢。

2、水煮脫藥：水煮脫藥法與直接蒸氣脫藥法大同小異，即將處理箱內通入 3~5 個大氣壓力的熱蒸氣，一面攪拌均溫，一面使箱中水溫加熱至攝氏 82~96℃，如能將氣嘴對正彈孔，則脫藥速度比直接蒸氣脫藥法更快，適用於內裝 TNT 炸藥之彈頭。

(三) 粉碎法：

內裝藥經過粉碎後可增加物化反應的介面，加速爆藥的轉化過程，應用於粉碎的方法如下：

1、輾磨機：對韌性或脆性的爆藥輾薄或輾碎，一般用於粗粉碎，輾磨過後的爆藥常成片狀，須再經過細粉碎之處理。

2、錘式粉碎機：錘式粉碎機是靠重錘的撞擊來粉碎爆藥顆粒，機器下方設有篩網，經錘擊後顆粒達到要求大小的爆藥隨冷卻水通過下方式篩網流出，篩網大小可以調整，粉碎後的爆藥顆粒大小並存，細微的顆粒在冷卻水中懸浮，乾燥時容易形成粉塵。

3、切削機：切削機是用旋轉的切刀切削爆藥，其粉碎爆藥的速度相當快速，顆粒的粒徑大小也較為平均，粉碎的過程要使用冷卻劑或其

他安全措施。

三、地雷內裝藥（爆藥）處理：

針對目前外島排雷產生的廢棄地雷內裝藥種類，列舉地雷處理方法如下：

（一）燃爆處理法：

因變形、鏽死等原因難以拆解或拆解時可能有引爆之危險的地雷，可採用燃爆法銷毀^[17]，可區分為露天爆毀及爆轟室爆毀等兩種方式。

- 1、露天爆毀：必須在遠離城市及人群的地方實施，採用露天爆毀法的場地應符合有天然屏障（例如山谷、盆地、海灘等的隱蔽地區），場地內無磚、石等堅硬物，場地設在下風處，並與外界溝通、交通與通訊方便，若場地允許，應建立長久的銷毀場地（如圖 11），以確保作業的安全。

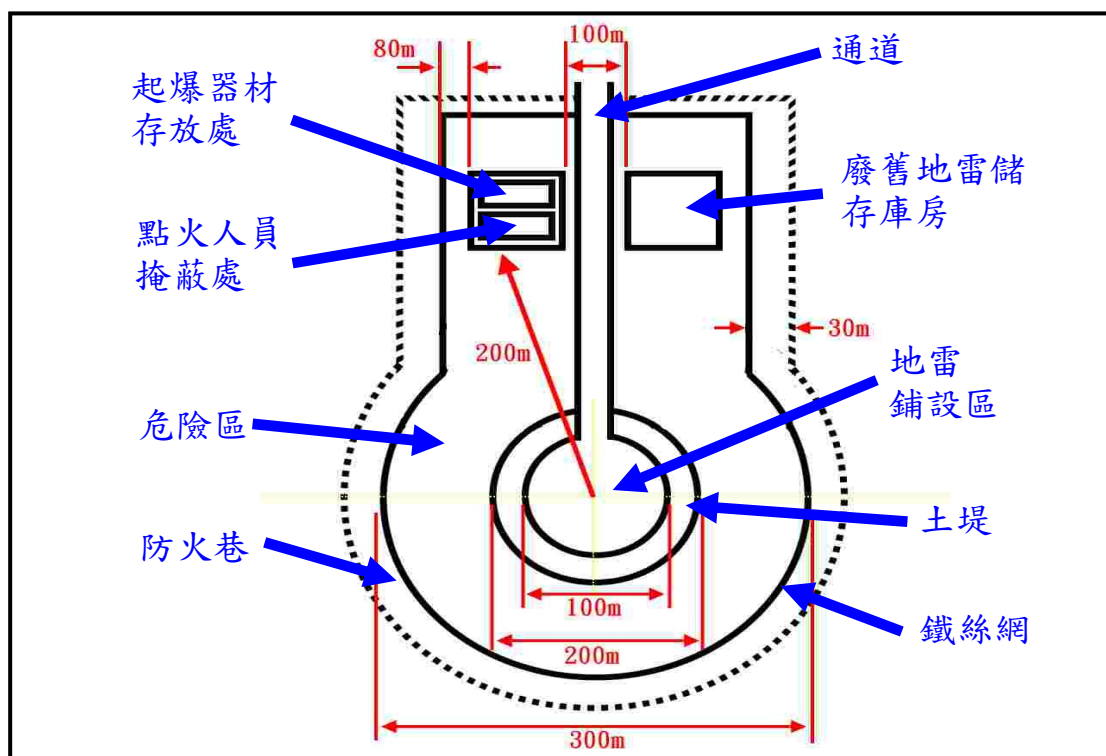


圖 11 露天爆毀場地設施平面圖^[18]

1. 點火人員掩蔽位置應選定於上風處，出入口背向銷毀場地。
2. 設有能夠承受衝擊的土堤或檔牆，牆上設有防護之觀察孔。

註17 同註 8，頁 59。

註18 同註 8，頁 58。

2、爆轟室銷毀：露天爆毀地雷、爆藥易造成有害氣體、噪音和金屬碎片的污染，因此美國西南研究所分析了耐爆炸衝擊的掩體結構，設計了鋼質圓頂鋼筋混凝土水槽式及鋼筋混凝土圓頂水槽式兩種爆轟室（如圖 12、13），此種兩種爆轟室均能承受相當於 45 公斤（100 磅）TNT 爆藥量的爆炸作用，並具備下列幾項優點：

- （1）減低爆破噪音，並阻止破片飛散，便於收集破片。
- （2）利用水降低爆藥衝擊波，減輕頂蓋負擔。
- （3）利用水將飛散的破片減速，使其不溢出水面，也不會撞擊槽壁。
- （4）爆藥爆炸後的產物被留在水中，減少廢棄物排放。

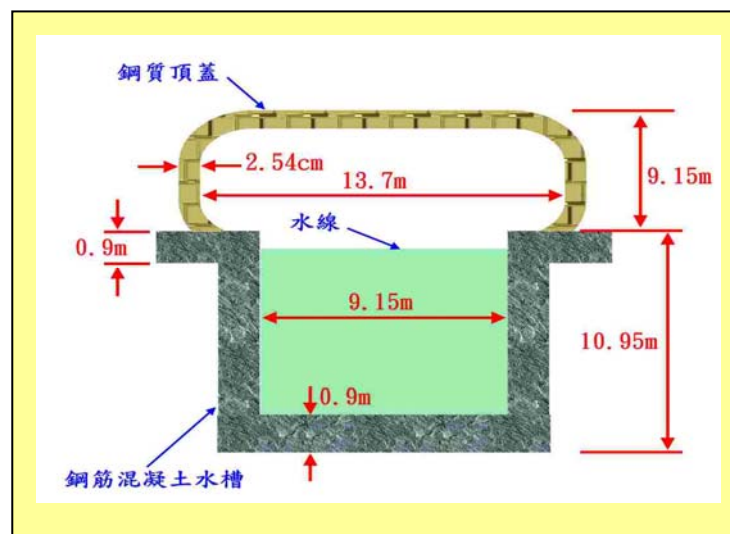


圖 12 鋼質圓頂鋼筋混凝土水槽式爆轟室^[19]

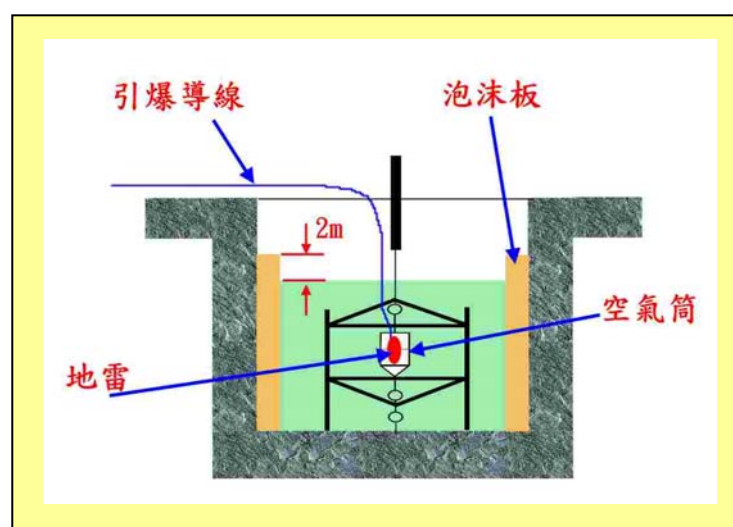


圖 13 鋼筋混凝土圓頂、水槽式爆轟室^[20]

註19 同註 8，頁 237。

利用爆轟室實施廢棄爆藥處理，可將爆炸氣體限制在爆轟室內，並通過排氣裝置將氣體過濾後排放，以減低氣體的污染。完成一次銷毀操作的週期約為 25-30 分鐘，使用爆毀室處理地雷可達到銷毀數量較大，排放污染氣體較少，和操作迅速三項要求。

（二）焚燒法：

經粉碎後的地雷內裝藥，可用焚燒法實施處理，焚燒法區分焚化爐處理及露天處理等兩種方法：

1、焚化爐焚燒法：

廢棄地雷、爆藥無論是固態或是液態都佔據了一定空間，它的存在對人類造成一定的危險。而利用焚化爐能創造較好的焚燒條件及環境的特性，讓爆藥在焚化的過程中有效轉化為一氧化碳、二氧化碳、水和少量灰燼，解除爆藥爆炸的危險性，使爆藥體積減少約 90%以上，減少爆藥佔據的空間，在焚燒的同時並對廢氣及灰燼進行處理，減少燃燒產物中的毒性成分，使排放物達到環保的標準。

而國外經過多年的實驗，研究了「氣旋式」、「多膛焚燒式」、「流化床焚燒式」、「轉窯焚燒式」、「電焚燒式」等多種能夠完善控制爆藥焚燒的焚化爐^[21]，且美國多處陸軍彈藥廠（庫）已陸續建造及使用了不同形式的焚化爐，逐步取代了露天焚燒的銷毀作業。

但是由於焚化爐銷毀方法在設備、機器運作及維修方面所需經費較高，目前僅有少數國家採用，其他國家仍是使用露天焚燒法，但經過實驗證明焚化爐焚燒法仍是大量銷毀廢棄爆藥並減少污染最有效的方法之一。

2、露天焚毀法：

焚毀場地配置同圖 11，目前多數國家在處理廢棄炸藥仍然使用露天焚毀法，此方法於焚燒時易造成大量有毒氣體污染空氣，於倡導環境保護的今日應避免使用。

（三）化學還原法^[22]：

運用化學的還原反應，可以將廢棄的爆藥轉變為無害的物質或轉化為容易再處理的物質，常用的還原劑有二氧化硫、硫酸鈉、亞

註20 同註 19。

註21 同註 8，頁 241。

註22 同註 8，頁 280。

硫酸鈉、硫酸亞鐵、硼氫化鈉和硝化鈉等。

科學家庫巴雷維茲（John W. Kubarewicz）等人在試驗中用硫化物對 TNT 爆藥實施還原試驗，經試驗得知硫化物是 TNT 有效的還原劑，在溫度 3℃ 至 30℃ 間，可使 TNT 還原率達到近 100%，所產生的反應產物及副產物對衝擊作用及摩擦作用均不敏感。

而處理廢棄爆藥在選擇還原劑時應儘可能的滿足下列條件：

- 1、對爆藥有良好的還原作用。
- 2、反應生成物不會造成二次污染。
- 3、價格合理，使用方便
- 4、長溫下進行的還原反應迅速。
- 5、反應前後不需要大幅調整 PH 值。

四、處理效益分析：

（一）依雷殼與內裝藥分離處理效益分析：

- 1、依作業時間分析：切割法以水刀切割法較為快速，脫藥法以水煮脫藥、粉碎法以切削機處理較迅速。
- 2、依投資成本分析：切割法以彈體鋼鋸機設備費用較為便宜，脫藥法所需設備費用概等、粉碎法以輾磨機設備較便宜。
- 3、依環境保護分析：切割法以水刀切割系統設備較為環保，脫藥法以間接蒸氣脫藥法產生污染較小、粉碎法以切削機設備較佳。
- 4、依作業安全分析：切割法以水刀切割法配合機械手臂作業較為安全，脫藥法以間接蒸氣脫藥法、粉碎法以切削機較安全。
- 5、小結論：若因切割作業不慎，會引起爆炸產生危險，故將「作業安全」視為本段分析優先考量的主因素、「投資成本」、「作業時間」、「環境保護」為次因素，分析結果建議以水刀切割法配合機械手臂作業較為安全與迅速及有效，於設備建構時應配合其他硬體設施(如爆藥切割室、廢水處理設備等)同時建構。

（二）依地雷內裝藥（爆藥）處理分析：

- 1、依作業時間分析：以露天爆毀法較為快速，露天焚燒法次之，化學還原法最慢。
- 2、依投資成本分析：以露天爆毀法所需費用最少，露天焚燒法次之，焚化爐焚燒法最貴。
- 3、依環境保護分析：以焚化爐焚燒法最能節能與環保，爆毀室銷毀法

次之，露天爆毀、焚燒法最不環保。

4、依作業安全分析：以爆毀室銷毀法安全，焚化爐焚燒法次之，露天爆毀、焚燒法最不安全。

5、小結論：內裝藥（爆藥）處理分析以「作業安全」、「環境保護」為分析之主因素，「投資成本」、「作業時間」為次因素，分析結果建議以爆毀室銷毀法及焚化爐焚燒法較為安全與迅速及有效，於設備建構時亦應配合其他硬體設施（如爆藥切割室、廢水處理設備等）同時建構。

五、綜合分析：

綜合「作業時間」、「投資成本」、「環境保護」、「作業安全」等因素考量，綜合分析所得以「爆毀室處理法」為較優之處理方法，理由為爆毀室處理廢棄爆藥時具有下述特性：

- （一）可重複處理地雷。
- （二）作業前直接置入爆毀室即可。
- （三）不需事先拆除引信。
- （四）催爆時產生之噪音能有效抑制。
- （五）廢氣可經由空氣過濾系統過濾減少污染。
- （六）安全性高、作業速度快。

雖然作業初期需在設備建購上投資較多成本，但在設備建構完成後，在處理廢棄地雷、爆藥時不僅可達到處理及後續維持成本上所需價格低廉，對於處理風險管理及環境保護等問題亦不需要處理單位多加費心考慮，亦不會造成週邊居民的抗爭與民怨，使處理單位在作業時可投入全般心力依照欲處理之能量及進度逕行處理，而不需擔心其他問題，此等設備較適合國軍目前之廢地雷處理方式。

伍、精進做法與建議

一、建立完善的廢棄地雷處理場地：

一座良好的銷毀場地需要幅員遼闊、地形平坦、土質堅實且需遠離城鎮人口稠密之處，選擇作業環境適當，則可使作業順利進行。因此，目前最迫切需要積極尋求一處合法之廢棄地雷處理專業場地；而場地的尋覓及土地的獲得是棘手的問題，應透過相關管道進行協商，集思廣益共謀決策，尋求解決之道。

二、改善作業方法：

現行的銷毀作業仍是以「就地引爆露天銷毀」為主，從前以爆毀方式處理固可大量處理，為較快速且經濟的銷毀處理法，可是其背後所隱藏的高危險性及高污染的問題已不能為社會大眾所接受；如今時空因素的變遷，我們惟有改變作業方式一途，在處理廢舊地雷前必需先行考量作業環境的安全，在不影響現有作業場週邊居民生命財產安全的前提下，審慎評估以脫藥法、燒毀法及拆解法等其他方式來進行廢舊地雷銷毀工作，雖然其他處理方法的處理能量不如直接爆毀法快速，但仍能使既有之任務繼續執行。

三、落實人員培訓：

培育彈藥銷毀處理人員，除了要有紮實的教育且經過嚴格的訓練外，並且要落實經驗傳承與發展經營，若能檢討適當人員至國外接受更先進的技術與知識訓練，或聘請國外專家至國內傳授新知，對象可擴大至全軍相關作業單位選派志願役優秀本職人員及督導幹部參加，以增加廢彈處理專業知識及技術，提昇銷毀作業技術水準與作業能量。始能使專業人才長留久用，作業技術不斷精進，奠定廢舊地雷銷毀作業根基。

四、成立彈藥銷毀顧問專業單位：

目前許多彈藥銷毀專長人員，考慮爾後個人出路與社會現行工作無法結合，均不熱衷於此項工作留營意願低落，導致相關專業人員不斷流失，專業技術無法傳承及精進。若國軍在排雷的同時能研擬成立一個廢舊地雷處理專責機構，收編這一方面優秀人員加以培養訓練，使其具備持續蒐集、彙整各種處理技術的能力，並能輔導未爆彈處理部隊執行廢舊地雷的處理，相信此一機構的成立，將可留住專業人才，使有心從事此項工作人員，自我充實與精進本職學能，使我國未爆彈藥處理技術能夠更進步、成熟。相信對我軍及全國(含警政)彈藥銷毀之助益匪淺。

五、鼓勵國內廠商參與廢彈處理作業：

國軍現有設備，僅能將廢棄彈藥、地雷作消極銷毀，並無法進一步執行有用之資源回收工作，另廢棄彈藥地雷處理危險性極高，萬一意外發生，往往造成役男家屬不諒解及輿論攻擊；以往因彈藥具敏感特性，政策上始終未開放予民間處理，若能將相關經驗移轉予國內廠商並鼓勵具專業處理技術之廠商從事處理工作，如此可促進國內廢彈處理技術發展與投資意願，增進廢彈處理效率，提昇處理技術。

陸、結語

排雷為工兵部隊近年重點工作之一，是一項具有危險性及技術性之工作，國軍因排雷產生之廢棄地雷，會陸續佔用有限之庫存空間，不僅有其潛在之危險，亦影響排雷任務之遂行，而排雷與廢棄地雷處理已成為今後經常性任務，因此對專業人員之訓練及技術提昇刻不容緩。爾後期能不斷引進處理的新觀念、新方法、新機具及新設備，並建立完善制度，以全面提高廢棄地雷處理作業水準，確保廢棄地雷銷毀作業安全、順利。