

透地雷達運用於探雷作業之研究

作者/張勛鈐士官長

提 要

- 一、國軍現今探雷所使用之地雷搜索器，雖能夠適應各式各樣的天候與地形，但金屬探測對於塑膠地雷探測性低，使得整體探雷效率不彰，對於目前雷區與急造式爆裂物(IED)的運用方式多變且使用多樣材質，探雷設備需要具備辨識雷種、高準確性、低誤報率、快速探雷及定位之效能，方能適應變幻莫測的各種狀況。
- 二、透地雷達的原理，是利用電磁波反射的原理來標定目標物，發射端不斷發射電磁波於固定標的物上，接收端將反射回來之信號儲存於主機中，分析反射回來之信號來判別標的物之性質
- 三、透地雷達具有儀器輕便、探測具非破壞性、探測結果解析度高、資料處理及雷達圖判釋較為容易等四大特點，因此在淺層地層探測具有相當的實用性，雖然能夠辨別出不同種類的地雷與位置，但仍有其受限因素，目前世界各國都有所著墨於改進這些探測技術，未來的探雷技術可以達到體積小、辨識率高、全天候、全地形運用的成效。

關鍵詞：透地雷達、金屬探測、地雷。

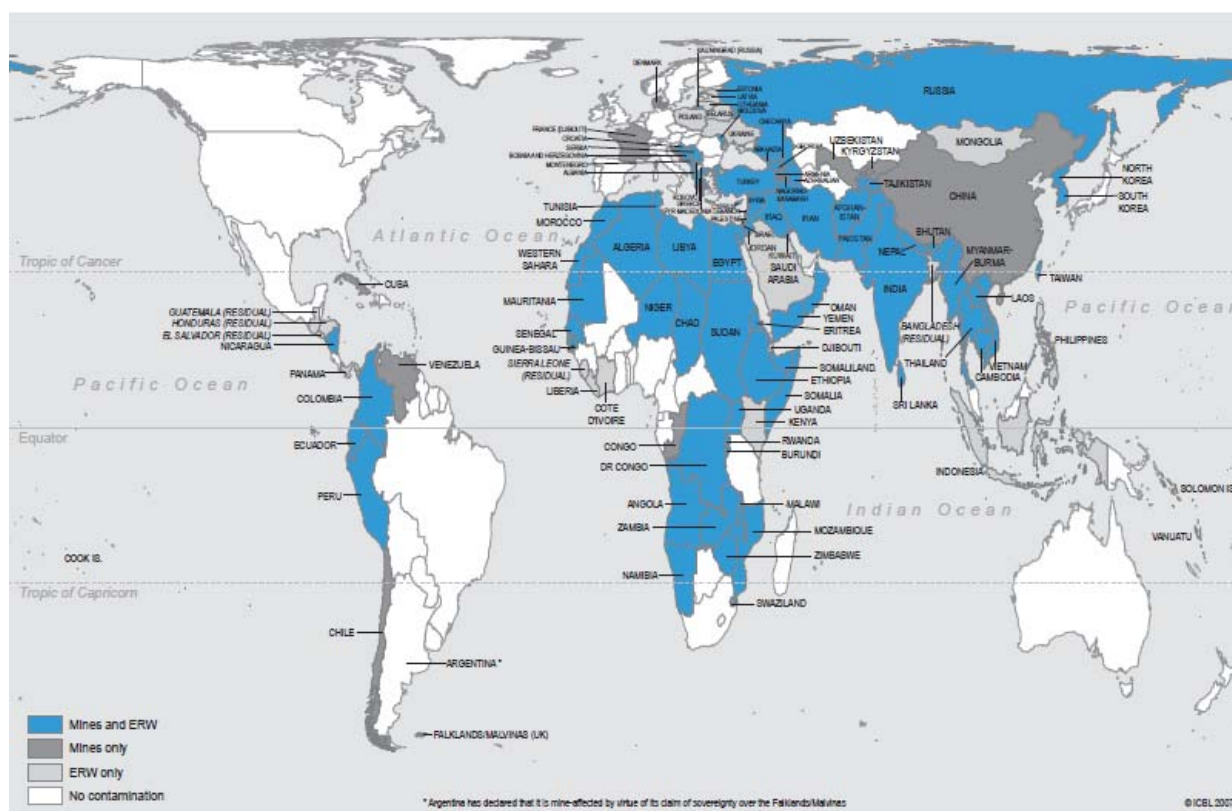
前 言

工兵為陸軍主要戰鬥支援部隊，戰時負有促進我軍機動、阻礙敵軍機動、提高我軍戰力、削弱敵軍戰力、勤務支援等任務，¹而其中促進我軍機動乃是工兵部隊的主要任務，運用排雷的技巧使部隊運動順暢，不啻是一重要課題，遑論在急造式爆裂物(Improvised explosive device, IED)運用廣泛的現在，有效的排除地雷與急造式爆裂物更是國軍需要持續學習的。現今所使用的金屬探測器類型的地雷搜索器，雖能夠適應各式各樣的天候與地形，但在詭譎多變的戰場環境中，地雷或急造式爆裂物透過埋設、鋪設及偽裝後，並不會一直處於相同的環境條件下，它會因為震動、下雨、風暴、沙塵等等因素，導致它腐蝕及移動，進而影響到地雷搜索器的探雷效能。

¹ 國防部陸軍司令部印頒，《工兵部隊指揮教則(第二版)》(臺北：國防部，2008年11月)，頁1-1。

根據統計，全球已經設置的地雷約有 50-150 百萬個（如圖一）²，它被使用在各種地形之中，沙漠（例如索馬利亞、科威特）、山區（例如阿富汗、薩爾瓦多）、叢林（例如柬埔寨、越南）及城市（例如貝魯特、前南斯拉夫），透過實地測試與比較，金屬探測器類型的地雷搜索器並不能探測出所有的地雷，且有極高的誤報率，³這無疑是加重探雷作業人員的危險。

目前雷區與急造式爆裂物的運用方式多變且使用多樣材質，所以探雷的設備需要具備辨識雷種、高準確性、低誤報率、快速探雷及定位之效能，方能適應變幻莫測的各種狀況，期望透過此研究探討透地雷達運用於探雷作業時所能獲得的成效，藉分析透地雷達的原理、功能及其提高探雷效能的技術，思索利用透地雷達技術提升探雷效能的可能性。國外對此項技術運用已有相當的發展，並陸續推出功能新穎的設備，國軍若能對此技術深入研究，進行研發或採購現行發展技術成熟的產品，必能提升國軍探雷能力。



圖一 全球地雷(Mine)及爆裂物(ERW)分佈圖

資料來源：International Campaign to Ban Landmines, "Global Contamination from Mines and Explosive Remnants of War", Landmine Monitor Report 2007: Towards a Mine-Free World, (Mines Action Canada, 2007).

² International Campaign to Ban Landmines, "Global Contamination from Mines and Explosive Remnants of War", Landmine Monitor Report 2007: Towards a Mine-Free World, (Mines Action Canada, 2007)

³ Vallon MINEHOUND VMR2 Dual-Sensor Mine Detector Cobham Technical Services Antenna & Electronic Systems (www.cobham.com/technicalservices)

透地雷達簡介

一、透地雷達的原理

雷達波最早應用於軍事用途，直至 1960 年代才將透地雷達試驗方法正式應用於地層之探測。透地雷達（Ground penetrating radar, GPR），⁴是利用雷達波反射的原理來標定目標物，係由電壓為數百伏特的發射線圈，自地面發射高頻電磁波進入所欲探測之地層中，產生頻率範圍 10~2500 MHz 歷時為幾十億分之一秒（ns）的脈波（雷達波）射入地下或建築結構體內，因不同地層介電常數變化而產生反射波，如表一。⁵此一反射訊號經地下具不同電性物質的地層界面與埋藏體反射或地層內管線、空洞、層面、地下異常物分佈狀況及結構體內鋼筋等折射至地表，並由置放地表高靈敏度的接收天線接受此訊號，由接收到訊號時間的長短與波型的變化，為地面上的接收器所接收、放大、數位化後，經由資料處理後推測目標物之形貌，記錄成原始資料。

透地雷達因具有儀器輕便、探測具非破壞性、探測結果解析度高、資料處理及雷達圖判釋較為容易等四大特點，因此在淺層地層探測具有相當的實用性；就 RAMAC/GPR 系統的運作方式可分為以下五個步驟詳如圖二。⁶

（一）雷達控制器分別發送驅動信號至電子發射探頭及電子接收探頭。

（二）發射探頭接收到信號之後，發射天線就產生並發射雷達脈衝訊號。

（三）當雷達脈衝訊號經由介質向外傳播，遇到相對於介質其電磁性質不同的材料時，脈衝訊號就會產生反射現象。

（四）接收探頭每接收到一次反射訊號，就紀錄一個取樣點的反射訊號，並將此資料傳送到雷達控制器。重複以上四個步驟，就可以將一條軌跡上的取樣點收集完成。

（五）雷達控制器會將每一個傳送進來的取樣點資料，按照此資料在目前的軌跡中之正確位置排列放置。當一條軌跡完成後，全部資料會被傳送到電腦並自動儲存於硬碟中及顯示在電腦螢幕上。

⁴ 國立成功大學土木工程學系，http://140.116.36.131/cht/Equip_GPR.htm.

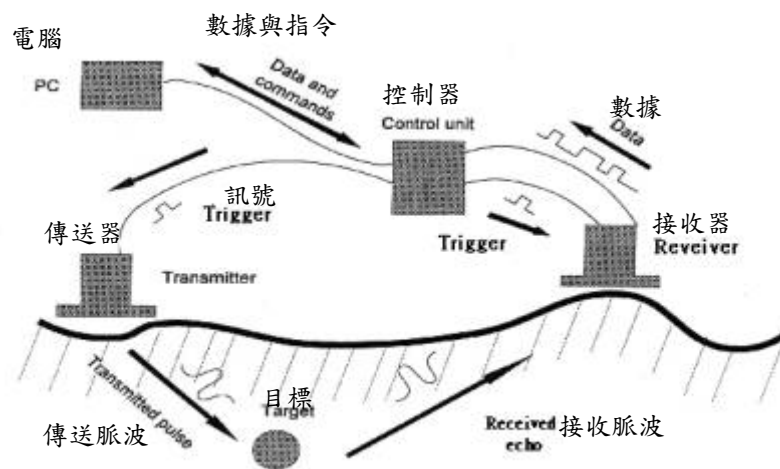
⁵ 賴俊呈，〈希伯特轉換於透地雷達信號之應用分析〉《國立成功大學土木工程研究所碩士論文》，2008 年 7 月，頁 13。

⁶ 梁宜婷，〈GPR 應用於水下探測之初步研究〉《國立成功大學土木工程研究所碩士論文》，2009 年 7 月，頁 11-12。

表一 常見物質介電常數表

介質名稱	電阻率 ρ (Ohm-m)	介電常數 K	速度 (m/ns)
乾沙	$10^3 \sim 10^7$	3~6	0.1~0.122
飽合含水沙	$10^2 \sim 10^4$	20~30	0.067~0.055
粉砂	$10^2 \sim 10^3$	5~30	0.134~0.055
頁岩	$10 \sim 10^3$	5~15	0.134~0.077
飽合含水黏土	1~10	5~40	0.134~0.047
溼土	50~100	30	0.055
墾殖土	200	15	0.077
岩質土	1000	7	0.113
乾砂質土	7100	3	0.173
濕砂質土	150	25	0.06
乾壤質土	9100	3	0.173
濕壤質土	500	19	0.069
乾黏土質土	3700	2	0.021
濕黏土質土	20	15	0.077
溼砂岩	25	6	0.122
乾石灰岩	10^9	7	0.113
濕石灰岩	40	4~8	0.15~0.106
濕玄武岩	100	8	0.106
花崗岩	$10^3 \sim 10^5$	4~6	0.15~0.122
淡水	$30 \sim 10^4$	81	0.033
冰凍層	$10^2 \sim 10^5$	4~8	0.15~0.106
乾雪	$10^5 \sim 10^6$	1	0.3
冰	$10^3 \sim 10^5$	3~4	0.173~0.15
水泥混凝土	0.1~1	6~11	0.09~0.12
空氣	無限大	1	0.3

資料來源：同註5



圖二 透地雷達基本原理示意圖

資料來源：同註6，頁12。

二、透地雷達諸元介紹

常見之透地雷達通常由五個部份組成，分別為控制器、天線組、供電盒、測距輪及個人筆記型電腦，本文所介紹之透地雷達儀器為瑞典製造，屬 RAMAC/GPR 系統，為 MALA GeoScience 公司所生產製造之產品，其主要特點是將以往可任意調整發射天線和接收天線相對位置之無罩式天線捨棄，而改為將發射與接收天線位置固定並罩在 PVC 盒內，稱為全罩式（shielded）天線，其優點是將天線頻率的發射和接收均在天線盒底部進行以隔離或減少外來環境所引起之雜訊。

儀器有五個部份組成，其中細目包含控制器、天線組、供電盒、光纖、訊號傳輸線、長度量測裝置、拖曳盒、拖曳把、個人筆記型電腦等共九個單元，各單元之功能分別敘述如下。⁷

（一）控制器（control unit）

雷達控制器是資料收集的管理者，組成架構包含電源供應部分、能產生決定性控制信號的模擬計算機部分以及內部電腦。一個32位元的信息處理機控制發射和接收時機、取樣頻率和軌跡的間隔、儲存新近完成的雷達資料於暫時的緩衝儲存器，並且將資料轉換到PC可操控介面。控制器可藉由訊號傳輸線平行輸出入端子RS-232 與電腦連接來接收電腦所發出之指令以及將緩衝儲存器中的資料傳送到電腦中。控制器之實體如圖三所示。



圖三 透地雷達主控制器
資料來源：同註7，頁39。

⁷ 黃丞傑，〈透地雷達探測異物之信號分析研究〉《國立成功大學土木工程研究所碩士論文》，2009年7月，頁35-38。

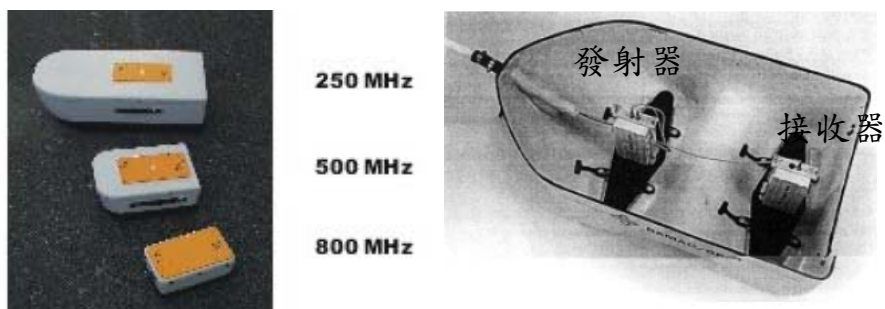
（二）天線組（antenna elements）

電子發射器和電子接收器兩者為成對的一組 天線組，天線配合所量測物體大小及深度作選擇，方可獲得較佳的效果，RAMAC/GPR操作手冊建議針對不同深度採用天線頻率如表二所示，天線照片如圖四所示。

表二 天線頻率選擇建議表

天線頻率 (MHz)	目標物尺寸 (m)	深度範圍(m)	
		土壤	岩石
25	≥1.0	25	40
50	≥0.5	20	30
100	0.1-1.0	12	20
200	0.05-0.50	8	15
500	≈0.05	3.5	5
1000	公分	1.5	3

資料來源：MALA GeoScience RAMAC/GPR操作手冊。



圖四 透地雷達天線

資料來源：同註7，頁39。

1. 電子發射器（transmitter electronics）

若發射電波連續不斷，則無法分辨發射波的哪一部份形成反射信號，也就是說無法測定出電波來回所需的時間，因此發射波必需加上可資辨識的記號，以確保其反射回來可以被認得出來。透地雷達系統乃是以脈波方式發射高頻電磁波，測量脈波發射與接收回波之間所需的時間，此方式稱為脈波雷達（pulsed radar）。每當接收到從雷達控制器經由光纖傳輸之觸發信號，電子發射器即產生高振幅脈衝波典型為370V 之電磁能量並且以100kHz 的重複頻率傳送到所屬的天線組，天線組再將脈波（pulse）轉變成為帶有一中心頻率之雷達脈衝波（impulse）發射至欲探測之受測體內進行檢測。

2. 電子接收器（receiver electronics）

從天線接收到的連續類比信號，電子接收器將之數位化成為整數，代表接

收到的雷達波的振幅，並經由光纖傳送到雷達控制單元。電子接收器共有兩條光纖與控制器相連，其中一條接收光纖（receiver fiber）是用來轉換由控制器所發出的控制信號，另一條資料蒐集光纖（data fiber）則是將蒐集所得資料傳送至控制器。

（三）供電盒（power supply）

本儀器使用之供電盒為自行設計組裝之電池組，利用七顆一號鎳氫電池串聯組裝而成，可產生約10.5V 的直流電源分別供電給控制器和天線組，每個供電盒約可使用2.5 小時，電池則需利用充電器成對充電，所需充電時間為七小時。

（四）光纖（optical fibers）（控制器—天線組）

控制器與電子發射器、接收器間的資料、信號傳輸皆由光纖傳送。其資料傳輸速度最高可達4MB/s，故在檢測時必須特別注意不可被彎曲並避免物理性之破壞，光纖接頭也必須保持乾淨（除非有必要，否則不要將光纖拔離控制器上之光纖接頭）。

通常使用平行輸出入線 RS-232 來傳遞控制器與個人電腦間的資料信號。

（六）長度量測裝置（length measuring devices）

測距輪測距輪（measuring wheel）之目的有二，一是量測拖曳盒拖行之距離，另一是以拖曳方式啟動接受天線接收資料，設定固定距離收集資料，其取樣間距可設定由2mm至99.99cm 不等，此設定值會改變影像解析度並影響資料分析判釋時的難易。測距輪應每半年進行校正一次，測距輪之實體如圖五所示。



圖五 測距輪

資料來源：同註7，頁39。

（七）拖曳盒（skid box）

本文所使用之透地雷達為全罩固定式天線，天線全罩於拖曳盒內可省去調整天線頻率及位置的麻煩與不便，並可保護天線且使外界的干擾降到最低。拖

曳盒的材質為PVC盒，為防水密封材料，並可讓透地雷達儀浮在水面上，但不保證水不會滲透進入天線盒內。拖曳盒之實體如圖六所示。



圖六 拖曳盒
資料來源：同註7，頁39。

（八）拖曳把（skid box handles）

由鋁合金所製成之拖曳把，藉由前端的活動扣環與天線盒相連接，以利檢測人員拖曳天線盒使量測路線符合規劃之測線要求。拖曳把之實體如圖七。



圖七 拖曳把
資料來源：同註7，頁39。

（九）個人筆記型電腦(external notebook computer)

筆記型電腦的使用功能為控制透地雷達之運作、資料擷取、量測顯示及儲存檢測結果以利事後分析。其中電腦所擔任之角色包括輸入介面、儀器控制、試驗結果顯示、資料儲存等工作。系統需求為Pentium 100MHz以上的處理器，32MB 以上記憶體。此外透地雷達資料分析軟體相當重要，由於透地雷達於施測時容易受到外界或地底下未知之物質所干擾，因此必須利用分析軟體做一些簡單之濾波（Filter）、振幅衰減補償（AGC）及找到時間零點等，讓分析之數

據能更加精確，讓輸出剖面能更加突顯量測物之情況。

三、應用的範圍

透地雷達相關的應用範圍十分廣泛，⁸大致可歸納為以下五大領域：

（一）土木工程類：地下管線和孔洞調查、樓版鋼筋探測、橋面版品質調查及混凝土構造物和道路品質調查。

（二）環境工程類：化學沈積物調查、地下掩埋場探測、海域探測及地下儲存槽滲漏檢測。

（三）地質環境類：地下水深度、地層構造調查、水壩及隧道裂隙調查。

（四）軍事用途類：搜尋偵測地雷及機場跑道之完整性檢查。

（五）考古調查類：地下陵墓及古物調查。

應用的領域雖多，但是歸納起來就是藉由獲取雷達波之反射結果，利用雷達波在不同情況下的反射特性及雷達剖面圖之特徵，推估欲瞭解目標物的幾何形狀和其位置。

四、透地雷達的特性

（一）透地雷達的優點⁹

針對透地雷達儀儀器本身的特性及試驗程序，其在進行施測時約可整理出以下優點。

1.攜帶輕便：現今天線頻率在 250~800MHz 之間最新型的透地雷達儀，原則上一人便可攜帶並於現地進行施測，而使用舊型的儀器亦只需二人便可進行試驗。

2.非破壞性：透地雷達法屬於非破壞檢測，在施測時完全不會破壞現場，且這種探測深度也多能符合工程上之需求，因此近年來被廣泛地應用於工程方面。

3.資料取得迅速：透地雷達於現地進行試驗時十分迅速，其施測的速率受所設定的取樣間距影響，取樣間距愈大則拖曳速度愈快，一般非大範圍的管線及孔洞調查在數小時內即可完成。

4.幾何位置精確：透地雷達在施測軌跡方向上的座標位置精確，惟深度位置需利用共同中點反射法或多角度反射折射法等回波測速法進行評估，以作為時間座標及深度的轉換。

5.解析度高：雖然透地雷達探測深度淺，但對地下結構的高解析能力是其

⁸ 張英旻，〈利用透地雷達及電磁波影像處理技術於道路管線探測之研究〉《國立中央大學土木工程研究所碩士論文》，2003 年 7 月，頁 6。

⁹ 同註 7，頁 12。

他地球物理探測方法所不及的。

（二）透地雷達的限制¹⁰

限制及注意事項，使其解析力達到最佳化。

1.透地雷達天線之中心頻率決定最佳解析度的範圍，以隧道安檢之需求（約 20 公分至 90 公分之厚度）為例，以採用頻率 800MHz 為宜。

2.固體介質之電阻不可太低——例如泥、濁水之電阻率頗低（約 1Ω-m）會造成電磁波衰減過快，造成偵測範圍過小。

3.強散射物質（如鋼筋）會遮蔽其後之反射並造成散射現象，干擾周圍物質之反射雷達波降低雷達波之解析能力。

4.透地雷達在大部分的場合無法直接判別水的存在，但在小部分特殊狀況（如乾/濕界面極為明顯時可造成明顯反射）有可能測知含水區之範圍。

5.透地雷達資料的判斷具有一定程度的主觀性。因此分析者的經驗及建立足夠的資料庫檔案進行比對，對於判釋的正確性十分重要。

五、小結

透地雷達若要能使用在軍事領域上，首先要克服的就是水分對於作業的影響，其次才是資料的後處理改進，畢竟現今作戰已經朝向全天候、全方位、全縱深立體作戰發展，若是無法在任何環境及天候下使用，對於使用它的戰士而言，無疑是一種累贅，更有可能危害使用者的生命安全，所以將透地雷達的辨識效果與金屬探測器的全天候使用結合，就成為目前各國研發的課題。

運用透地雷達提升探雷效能的方法與例證

一、提升透地雷達探雷辨識能力的方法

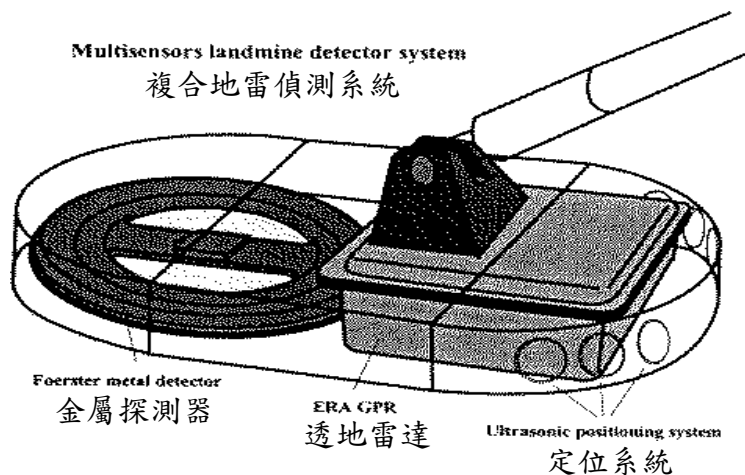
使用金屬探測器類型的地雷搜索器，不能有效的排除所有類型的地雷，除了誤判以及受金屬物質干擾之外，金屬探測器類型的地雷搜索器，最大的問題就是不能辨別非金屬的雷種，而通常非金屬的雷種，又多以人員殺傷雷為多，體積較小，多以塑料製成，而且隨著時間推移，體積較小的人員殺傷雷，金屬部位會有所損傷或腐蝕，而且人員殺傷雷容易藏匿於各種地型及環境的特性，在這樣的環境因素影響之下，使用金屬探測器類型的地雷搜索器完成聯合國地雷檢測目標的 99.6%，¹¹幾乎不可能完成。於是結合透地雷達功能的地雷搜索器這樣的想法慢慢被發展出來。透地雷達的偵測原理，讓它可以辨識隱藏於地

¹⁰ 施議傑，〈透地雷達試驗結果判釋之初步研究〉《國立成功大學土木工程研究所碩士論文》，2002 年 6 月，頁 11-12。

¹¹ Arnie Heller, "LANDMARC Making Land-Mine Detection and Removal Practical", Science & Technology Review November 1997.

面下的各種異質物體，並且不受限於金屬物質干擾，以及可以透過螢幕直接瞭解異質物體的可能位置與大小，在瑞士的聯邦理工學院對於將透地雷達應用於除雷科技做了一系列的研究，¹²結合透地雷達與金屬探測器兩種偵測方式，做了相關的研究（偵測方式示意圖如圖八），而就其比較人員殺傷雷(AP)以及石頭於地面下的透地雷達影像，可以明顯辨識出兩者的不同（如圖九—十一）。

透過結合兩者功能的複合系統，其地雷辨識率是僅使用標準金屬探測掃雷系統的七倍，¹³這樣的成效對於消弭掃雷過程產生的誤報及減少人員傷亡具有相當的功效。即便如此，手持式的複合式地雷偵測系統的效能仍有改進的空間，畢竟透地雷達的成像清晰度受到使用時的理想頻率和土壤含水量所影響，根據 Gary Koh 和 Lillian D. Wakeley 的研究，¹⁴隨著土壤含水量的提高，信號就會跟著衰減，對此在運用這些檢測技術上就需要格外注意其缺點，並藉由多樣化的強化措施，來提高影像的辨識及正確率。



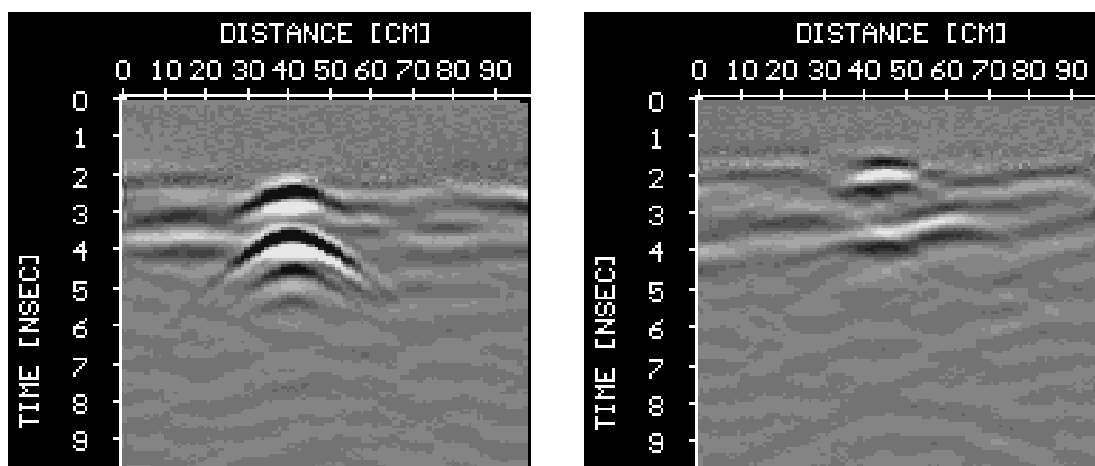
圖八 複合式地雷偵測系統

資料來源：C.Bruschini et al., "Ground Penetrating Radar and Induction Coil Sensor Imaging for Antipersonnel Mine Detection" GPR'96, Sendai, Sept 30 - Oct 3, 1996, pp 211.

¹² C.Bruschini et al., "Ground Penetrating Radar and Induction Coil Sensor Imaging for Antipersonnel Mine Detection" GPR'96, Sendai, Sept 30 - Oct 3, 1996, pp 211-216.

¹³ D.J Daniels, "Ground Penetrating Radar for Buried Landmine and IED Detection", UNEXPLODED ORDNANCE DETECTION AND MITIGATION NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics, 2009, 89-111.

¹⁴ Gary Koh and Lillian D. Wakeley, "EFFECT OF MOISTURE ON RADAR ATTENUATION IN DESERT SOILS", US Army Engineer and Research Development Center.

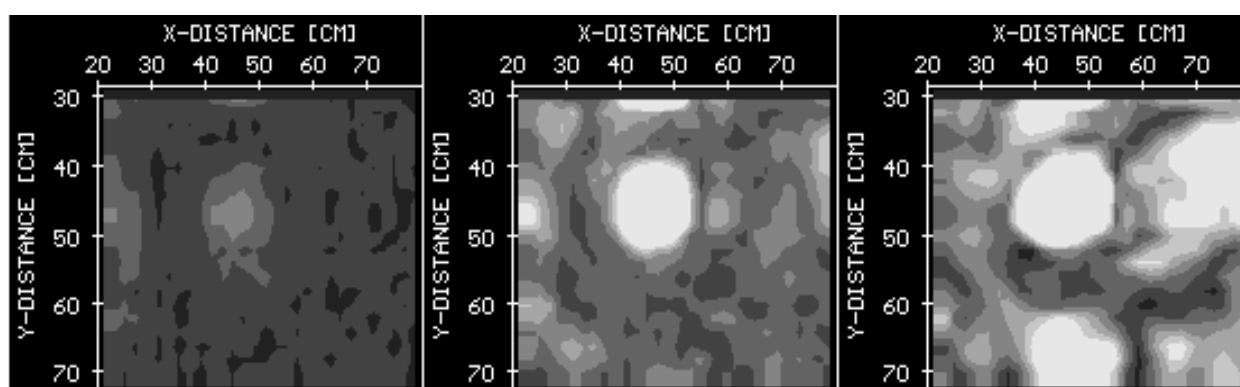


(a)

(b)

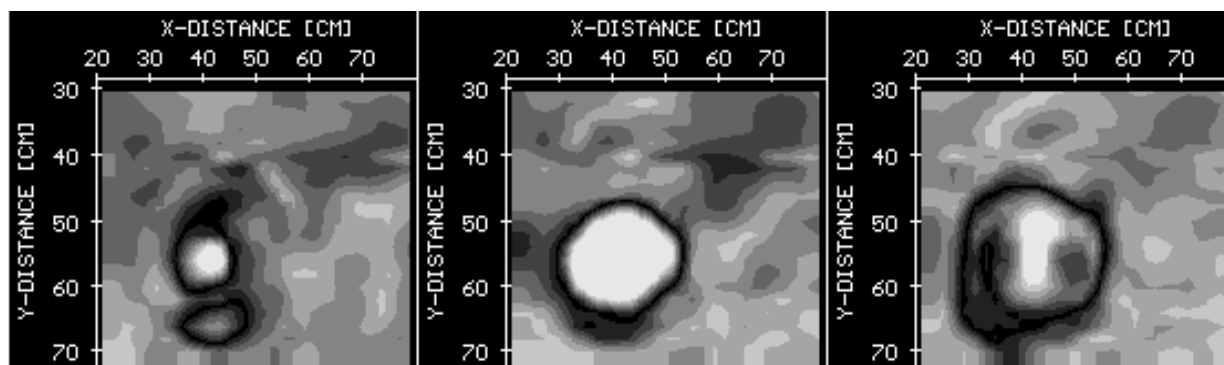
圖九 (a)沙土中的人員殺傷雷掃瞄影像 (b)沙土中的石頭掃瞄影像

資料來源：C.Bruschini et al., "Ground Penetrating Radar and Induction Coil Sensor Imaging for Antipersonnel Mine Detection" GPR'96, Sendai, Sept 30 - Oct 3, 1996, pp 212.



圖十 沙土中的人員殺傷雷影像剖面圖（掃瞄頻率為 1/1.5/2 ns）

資料來源：C.Bruschini et al., "Ground Penetrating Radar and Induction Coil Sensor Imaging for Antipersonnel Mine Detection" GPR'96, Sendai, Sept 30 - Oct 3, 1996, pp 213.



圖十一 沙土中的石頭影像剖面圖（掃瞄頻率為 1/1.5/2 ns）

資料來源：C.Bruschini et al., "Ground Penetrating Radar and Induction Coil Sensor Imaging for Antipersonnel Mine Detection" GPR'96, Sendai, Sept 30 - Oct 3, 1996, pp 214.

此外透地雷達運用於探雷辨識上，主要是借重其辨識地層下物體的能力並透過成像技術讓使用者能易於辨識探測物體，所以需要改善的技術改進方式如下所述：

（一）訊號擷取部分：透過提高雷達波頻率、遮蔽雜訊、改善接收效能及多頻道掃描等方式，提高訊號擷取的功能。

（二）雜訊處理部分：針對各種地質、環境因素考量不同雜訊處理抑制措施，將雜訊予以過濾及抑制。

（三）成像技術：藉由提高訊號來源，將訊號源透過 3D 成像的技術，提供更高的直接辨識手段。

然而，這些技術都有持續的研究，並陸續將其投入探雷辨識領域之中。

二、各國運用例證

（一）美軍運用例證

美軍所採用的 AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統（Handheld Standoff Mine Detection System ,HSTAMIDS），¹⁵運用在伊拉克、阿富汗等地，它結合了透地雷達（GPR）和改進的金屬探測（MD）技術，並運用一種支援目標識別的運算方法，這個科技可以在找出可疑目標時準確的告知操作者，這項技術為 AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統提供強大的檢測概率（Pd），¹⁶可辨別大型和小型金屬和非金屬反坦克和人員殺傷地雷。AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統增強了檢測體積更小的金屬人員殺傷地雷或是其他材質的人員殺傷雷的功能，包括：木製地雷、塑膠地雷、反坦克地雷和反步兵地雷等，當探測到地雷後會發出報警聲，提醒操作人員注意，並允許操作者藉由調頻方式來降低金屬干擾。AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統可說是當今世界上最為先進的可攜式地雷探測裝置之一，該探雷器不但採用了多重處理器控制系統，而且所使用的程式也非常完善，這使得其偵測地雷的準確率被提升至 95%。¹⁷同時，AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統發生錯誤報警的概率也明顯低於同類探測儀器，AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統使用普通電池供電，重量約 3.7 千克，非常方便攜帶，如圖十二所示。

除了用於探測地雷外，AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統還可被用來搜尋埋藏在地下的管道、隱秘的地道入口和自然形成的地下洞穴。正是由於功能的多

¹⁵ 全球安全網站,“AN/PSS-14 Handheld Standoff Mine Detection System(HSTAMIDS)”,<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/hstamids.htm>).

¹⁶ hubao.an 的博客，美國媒體披露 12 種美軍最新型裝備，<http://hubao.an.blog.163.com/blog/static/41886843201010734135309/>).

¹⁷ Colin Hatchard, “AN/PSS-14(HSTAMIDS - Handheld Standoff Mine Detection System)”, CyTerra Corporation.

樣性，使得其不但在城市作戰條件下必不可少，而且在民用領域也具有不錯的應用前景，例如尋找輸氣管道和探寶等。自 2003 年發表之後，2006 年美國採購 1 萬 7,000 具，並運用於各項作戰之中，未來並規劃該設備為美軍制式單兵裝備。



圖十二 AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統
資料來源：2007 年 12 月美軍工兵季刊。

（二）英國及德國例證

英國及德國所共同研發的 MINEHOUND VMR2 地雷搜索器是結合透地雷達（GPR）和改進的金屬探測（MD）技術，是專為排雷行動所設計，於柬埔寨、波斯尼亞及安哥拉等國使用。透過為操作者提供清晰的音頻信號，提醒存在一個潛在的地雷威脅。金屬檢測器的音頻提供精確的位置信息和金屬大小標誌，透地雷達則提供了額外的位置和深度的訊息，並確定了雷達截面上的目標。這兩種探測功能可單獨或一起使用，在透地雷達音響下可以找出最小的地雷，但卻會將金屬碎片予以排除，這意味著，通常會導致金屬搜索器誤報的彈殼、小武器子彈和彈片被系統所剔除。其諸元介紹如圖十三。¹⁸

¹⁸ Vallon MINEHOUND VMR2 Dual-Sensor (www.cobham.com/140407/aes_minehound_world_010909.pdf).



圖十三 MINEHOUND VMR2 地雷搜索器諸元

資料來源：http://www.wmrobots.com/images/VMR2_leaflet_07-2010.pdf.

三、小結

目前世界各國地雷搜索器的研製方向，都隨著現今的作戰模式而增強，不論是車載式或機載式的探雷設備都陸陸續續的研製，但是在手持式的地雷搜索器研發上面，侷限於實用性及大小上，目前還是不能跳脫出結合金屬探測器及透地雷達的複合式機型，倘若要增進國軍探雷效能，無疑要深入瞭解複合式的探雷系統，才能跟上國際腳步，提升探雷效能。

提升國軍探雷效能的作為

一、國軍現有探雷設備及功能

國軍地雷搜索之方法有目視、探針及儀器探測等 3 種方法，依儀器探測種類，國軍現行裝備區分地雷搜索器、磁性探測儀、磁力定位儀等 3 種。¹⁹

（一）地雷搜索器搜索：以連續性電磁場及脈衝電流改變之原理實施偵測，該種方法屬於淺層搜索。現行使用設備為 ATMID(ALLTERRAIN MINE DETECTOR)全地形地雷搜索器，²⁰包含控制盒總成、搜索桿總成、搜索盤總成、耳機總成、儲存箱、攜行袋及測試片等，其各部諸元如圖十四所示。

¹⁹ 國防部陸軍司令部印頒，《地雷作業手冊(第一版)》（臺北：國防部，2008 年 12 月），頁 3-1。

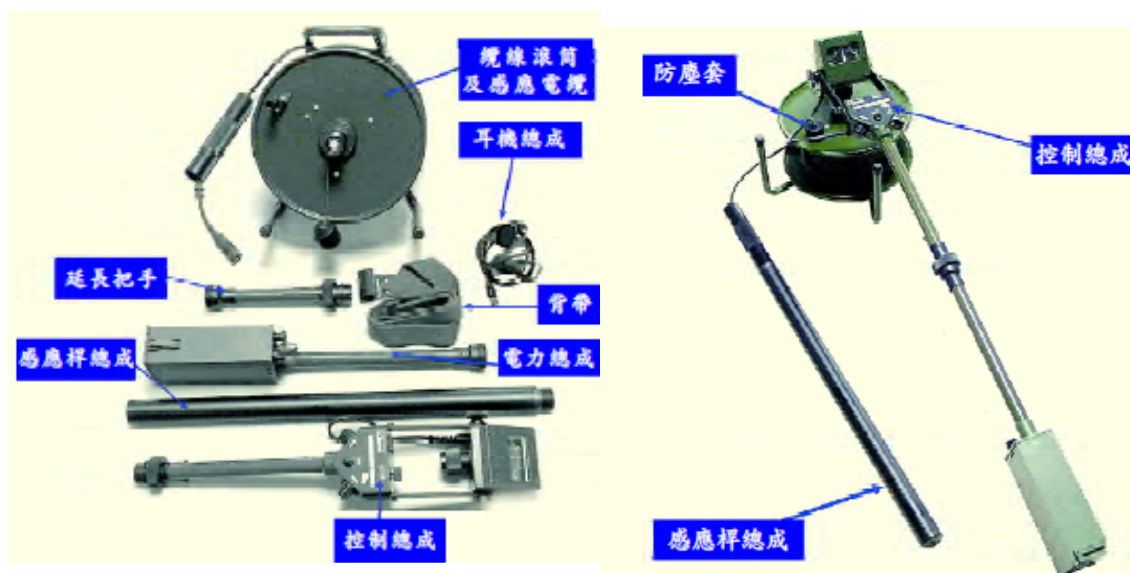
²⁰ 國防部陸軍司令部印頒，《地雷搜索器暨防護裝備操作手冊(第一版)》（臺北：國防部，2007 年 11 月），頁 1-3。



圖十四 全地形地雷搜索器

資料來源：同註 20

（二）磁性探測儀搜索：運用地球磁場與金屬磁性反應原理實施探測，該種方法屬於深層探測。現行使用設備為 EL-1303D 磁性探測儀，唯一可在地面、水面上下或洞穴偵測之組合探測儀，主要針對含有鐵質金屬物質實施偵測，其組件如圖十五所示。

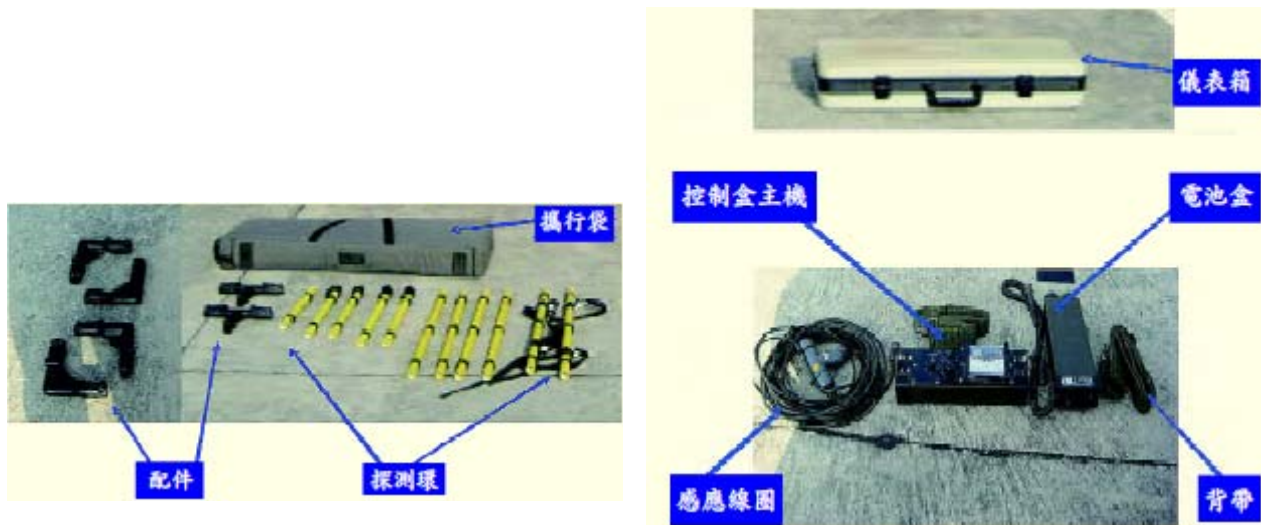


圖十五 磁性探測儀

資料來源：同註 19，頁 3-24。

（三）磁力探測儀搜索：使用脈衝波感應原理進行探測地雷，該種方法屬於深層搜索。現行使用設備為 UPEX740 磁力探測儀，又稱為環形磁場金屬探測器，是用在廣域、深層搜尋，可進行中型至大型大尺寸金屬物品的磁力定位探

測，可搜索出鐵金屬、非金屬或合金等物品，其組件包含探測環及控制主機兩大部分如圖十六所示。



圖十六 探測環諸元
資料來源：同註 19，頁 3-44。

二、如何提升國軍探雷效能

國內研究透地雷達的學者不在少數，但用於軍事領域的研究卻沒有人涉略，這是國內環境趨勢導致，畢竟國內沒有那樣的作戰環境與需求，假如想讓學者投入這樣的研究，並自行研發改良，這樣對於提升國軍效能可謂緩不濟急，畢竟國外對於這項科技應用於軍事領域上已經著墨一段時間，且也發展出各種新型產品，所以透過採購功能性強大的新型探雷設備，除了可以提升排雷的效能外，還能透過搭配設備採購時的教育訓練，反思現行排雷模式，思索出改善排雷的各種手段。

以 MINEHOUND VMR2 地雷搜索器為例，透過在東埔寨（Cambodia）、波斯尼亞（Bosnia）及安哥拉（Angola）等三種天候地質迥異的環境實際測試，與現行使用之金屬型搜索設備 ATMID、MIL/D1 及 Ebinger 420 比較，分別較 ATMID 減少 5 倍、MIL D1 減少 7 倍及 Ebinger 420 減少 7 倍誤報率，亦即在同樣的條件下，使用傳統金屬探測器需較新型探測器多 4-6 倍的作業時間，而且還不見得能夠將所有地雷清除，這對於從事地雷搜索工作的人員無疑是增加極大的風險，畢竟能縮短在雷區的作業時間，即是對作業人員的一項保障。

三、小結

「工欲善其事，必先利其器」，曾遭受地雷荼害的區域，透過使用新型的複合式探雷設備，並經過一系列的接裝教育訓練後，所提升的探雷效率是非常可觀的，國軍相對於其他國家算是具有較高素質的部隊，只是目前缺乏較強力

的資源來輔助國軍提升整體素質，若是能夠讓國軍配備更先進的裝備，相信對於整體戰力必能有顯著的改進。

結 語

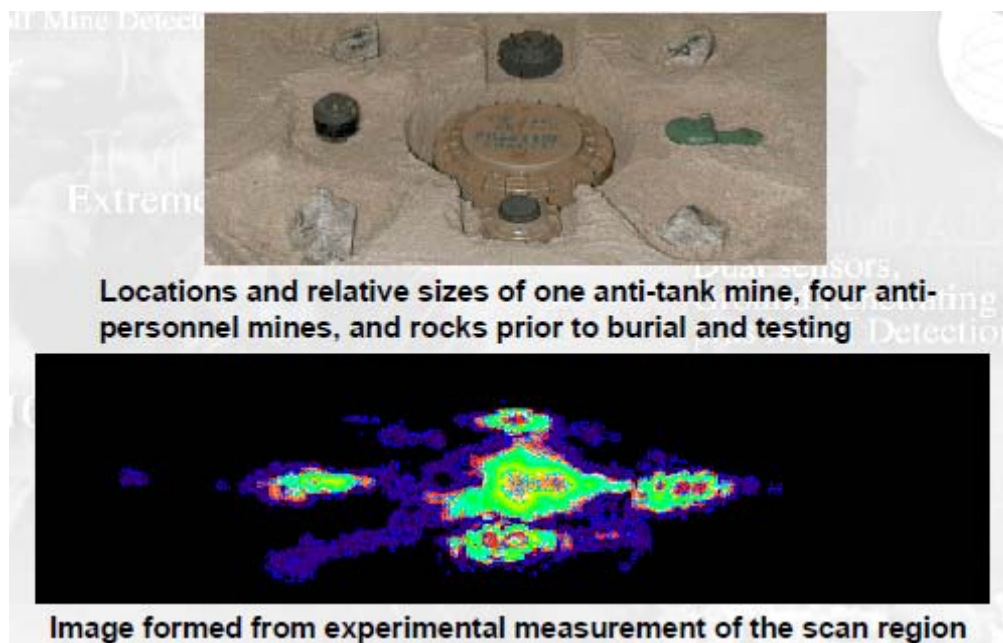
透地雷達技術雖然能夠辨別出不同種類的地雷與位置，但仍有其受限因素，除了裝備昂貴及辨識上需要的高技術性，此外不能探測水中物質，對於全天候、全地形的現代作戰環境，實在是一大缺陷。但就現階段而言，結合了金屬探測器以及透地雷達功能的 AN/PSS-14 手持式地雷搜索系統或 MIMEHOUND VMR2 地雷搜索器，對於上述缺點已有所改善，更是現今單兵探雷的利器，其中 AN/PSS-14 更是列入美軍未來單兵的標準配備，國軍若要提升探雷效能，採購這項設備不啻為一項值得思考的方案，此外透過搭配各式的車載掃雷系統，對於掃雷功效的更是有顯著的功效，譬如 Husky-Mounted Detection System 車載式掃雷系統（如圖十七），²¹就受到參與訓練與使用的學員一致的讚賞，其中 Ray L. Shanle 就說「新系統跟舊系統最大的差別在於我們可以直接看到地面下的 IED」。目前世界各國都有所著墨於改進這些探測技術，譬如美國 Cy Terra 公司，所提出新的聲波振動探雷技術來研討改進探雷技術（如圖十八），可以利用聲波掃瞄圖像來辨識爆裂物種類及大小，相信隨著科技技術的演進，未來的排雷技術可以達到體積小、辨識率高、全天候、全地形運用的成效。



圖十七 Husky-Mounted Detection System 車載式掃雷系統

資料來源：同註 21

²¹ Written by U.S. Army Sgt. Brent C. Powell, "Course teaches Soldiers how to use ground penetrating radar system to defeat IED threats", 3rd Brigade, 101st Airborne Division Thursday, 19 August 2010 17:56.



圖十八 利用聲波振動掃雷的影像

資料來源：Colin Hatchard, AN/PSS-14(HSTAMIDS - Handheld Standoff Mine Detection System), CyTerra Corporation.

作者簡介

張勛鈴士官長，工校技勤 34 期（86 年班）、工校士高班 97-1 期、陸專校士正班 36 期，曾任助教，現任職於陸軍工兵學校戰工組教官。

參考文獻

- 一、國防部陸軍司令部印頒，《工兵部隊指揮教則(第二版)》，2008年11月。
- 二、2007年12月美軍工兵季刊。
- 三、國防部陸軍司令部印頒，《地雷作業手冊(第一版)》，2008年12月。
- 四、國防部陸軍司令部印頒，《地雷搜索器暨防護裝備操作手冊(第一版)》，2007年11月。
- 五、國立成功大學土木工程學系，http://140.116.36.131/cht/Equip_GPR.htm.
- 六、賴俊呈，〈希伯特轉換於透地雷達信號之應用分析〉《國立成功大學土木工程研究所碩士論文》，2008年7月，頁13。
- 七、梁宜婷，〈GPR應用於水下探測之初步研究〉《國立成功大學土木工程研究所碩士論文》，2009年7月，頁11-12。
- 八、黃丞傑，〈透地雷達探測異物之信號分析研究〉《國立成功大學土木工程研究所碩士論文》，2009年7月，頁11-12。

研究所碩士論文》，2009年7月，頁35-40。

- 九、Arnie Heller, "LANDMARC Making Land-Mine Detection and Removal Practical", Science & Technology Review November 1997.
- 十、C.Bruschini et al., "Ground Penetrating Radar and Induction Coil Sensor Imaging for Antipersonnel Mine Detection" GPR'96, Sendai, Sept 30 - Oct 3, 1996, pp 211-216.
- 十一、D.J Daniels, "Ground Penetrating Radar for Buried Landmine and IED Detection", UNEXPLODED ORDNANCE DETECTION AND MITIGATION NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics, 2009, 89-111.
- 十二、Gary Koh and Lillian D. Wakeley, "EFFECT OF MOISTURE ON RADAR ATTENUATION IN DESERT SOILS", US Army Engineer and Research Development Center.
- 十三、全球安全網站,"AN/PSS-14 Handheld Standoff Mine Detection System(HST AMIDS)",<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/hstamids.htm>.
- 十四、hubao.an的博客，美國媒體披露12種美軍最新型裝備，<http://hubao.an.blog.163.com/blog/static/41886843201010734135309/>.
- 十五、Colin Hatchard, "AN/PSS-14(HSTAMIDS - Handheld Standoff Mine Detection System)", CyTerra Corporation.
- 十六、Vallon MINEHOUND VMR2 Dual-Sensor, www.cobham.com/140407/aesminehound_world_010909.pdf.
- 十七、U.S. Army Sgt. Brent C. Powell, "Course teaches Soldiers how to use ground penetrating radar system to defeat IED threats", 3rd Brigade, 101st Airborne Division Thursday, 19 August 2010 17:56.
- 十八、MALA GeoScience公司網頁，http://vip.web66.com.tw/web66/_file/2052/upload/selfpage/16481.html#TOP.
- 十九、International Campaign to Ban Landmines, "Global Contamination from Mines and Explosive Remnants of War", Landmine Monitor Report 2007: Towards a Mine-Free World, (Mines Action Canada, 2007)
- 二十、Vallon MINEHOUND VMR2 Dual-Sensor Mine Detector Cobham Technical Services Antenna & Electronic Systems, www.cobham.com/technicalservices.