

野戰型 VHF 頻段急造天線研製

作者／王廣義 士官長

提要

一、無線電通信具有的機動特性廣泛地運用在班、排、連、營的指管系統；第一線戰場詭譎多變且資源有限，戰損更是難免，天線系統乃為無線電機的耳目，當天線系統遭遇損壞時，如何立即修護或選擇替代品為本文研究動機。

二、先瞭解天線系統的基本特性，比較天線的型式與運用方式後，探討如何以簡易的材料或方式修護、替代損壞的天線，以有效支援任務遂行。

三、研究方法採用文獻分析法，蒐集相關文獻資料及實務經驗，加以綜合客觀分析，得到一個合理可行的方案；由天線基本特性、型式與運用為基礎，綜整提出野戰型急造天線製作要領。

四、無線電機的天線系統涵蓋範圍極廣，舉凡高頻 HF、特高頻 VHF、超高頻 UHF，均有相關無線電機天線系統與架設方式，本研究主要是針對陸軍目前無線電機所使用的特高頻 VHF 的天線系統部分進行探討，作者僅就美軍相關天線系統架設方式文獻探討及實務經驗作出建議。

關鍵字：VHF 野戰天線

前言

戰場環境與狀況常是詭譎多變，無線電通信端賴電磁波傳遞訊息，電磁波又稱為電波；訊息經無線電機處理後，須由天線系統將電能轉換成磁能，經過多次的電場與磁場能量交互轉換，達成訊息傳遞的目的，過程包含電磁波傳播的路徑與天線系統的運用。電波傳播過程易受天候、地形、地物等因素影響，造成信號衰減、雜訊干擾等現象，天線架設時應考量電波傳播過程的可能路徑，以獲得較為可靠的通信品質。天線系統能將發射機所產生的射頻電能轉換成電磁波，並將電磁波輻射至空間之中；也能將收集的電磁波能量轉變成對接收機有用的射頻電能。不同的天線系統型式，有不同的特性與限制，也形成了不同的運用方式，天線運用以所需之定向性為主要架設考慮條件，天線系統型式及架設方式決定了電波進行的方向及其所形成的電磁場範圍，也影響無線電機的通連品質。本文探討的目的與範圍：以野戰被覆線、保特瓶等材料與簡易

的製作要領，在短時間內獲得一個窄頻帶的野戰型急造天線，替代已經損壞的天線。

本文

一、天線的基本特性

(一)天線長度

天線長度常採用電波波長二分之一或四分之一製作，例如：半波天線約為電波波長的二分之一，其電波週期四分之一處可獲得最大的電波電流，饋電處多在天線的中央，而四分之一波長天線的饋電處多在天線的底端，如圖一。電波在空間的傳播速度近似光速（ 3×10^8 公尺／每秒），電波進入天線導體後，受到導體材質的影響而減緩其傳播速度，故天線的運用長度約為實際波長的 0.95，如下列公式：¹

電波的波長 λ ；單位：公尺（m）

$\lambda = (\text{光的傳播速度} / \text{電波的頻率})$

光的傳播速度 3×10^8 公尺/每秒（ $3 \times 10^8 \text{m/sec}$ ）

電波的頻率 F ；單位：週次/每秒（C/sec）

電波在導體傳播速度與空間傳播速度之比 0.95

二分之一波長天線長度 $L_{1/2}$ ；單位：公尺（m）

$L_{1/2} = (\lambda / 2) \times 0.95$

四分之一波長天線長度 $L_{1/4}$ ；單位：公尺（m）

$L_{1/4} = (\lambda / 4) \times 0.95$

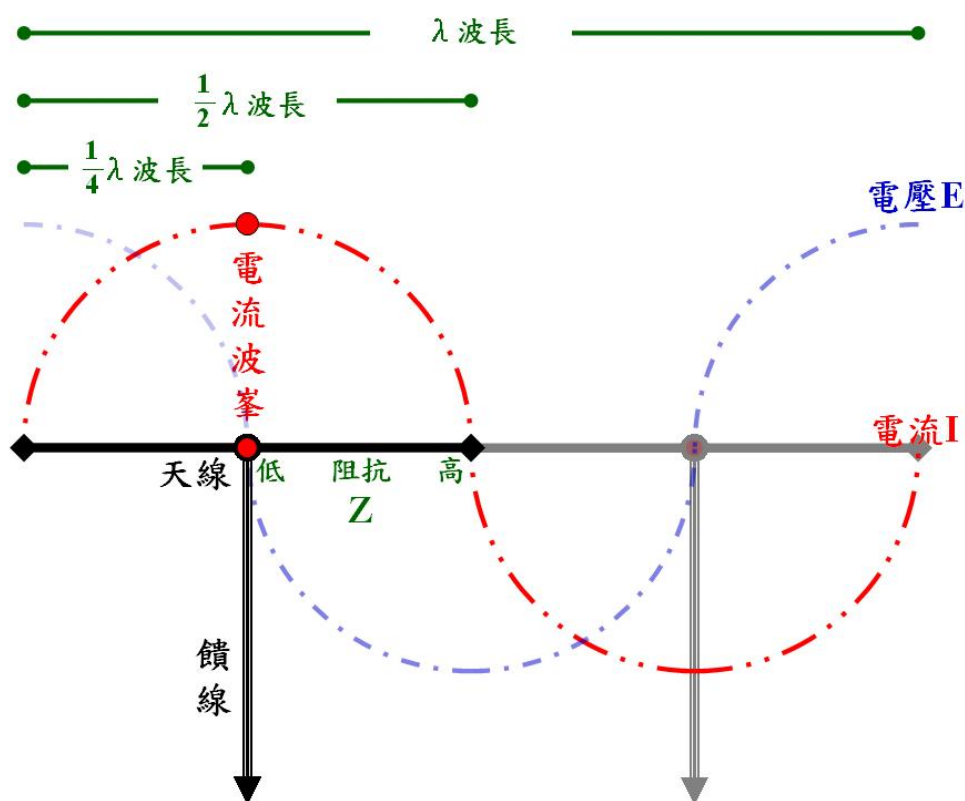
電波的頻率計算時，單位為：週次/每秒（C/sec），但在一般的運用習慣上會將頻率的單位記為：赫 Hz；每一赫即為一週次/每秒，後續內容於敘述頻率時均以 Hz 來說明。

表一 電波的頻率換算表

單位	$\times 1000000000$	$\times 1000000$	$\times 1000$	$\times 1$	中文簡稱
1Hz				1Hz	赫
1KHz				10^3Hz	千赫
1MHz			10^3KHz	10^6Hz	兆赫
1GHz		10^3MHz	10^6KHz	10^9Hz	秭赫
1THz	10^3GHz	10^6MHz	10^9KHz	10^{12}Hz	澗赫
1Hz 赫 = 1C/sec 週次/每秒					

（資料來源：作者整理）

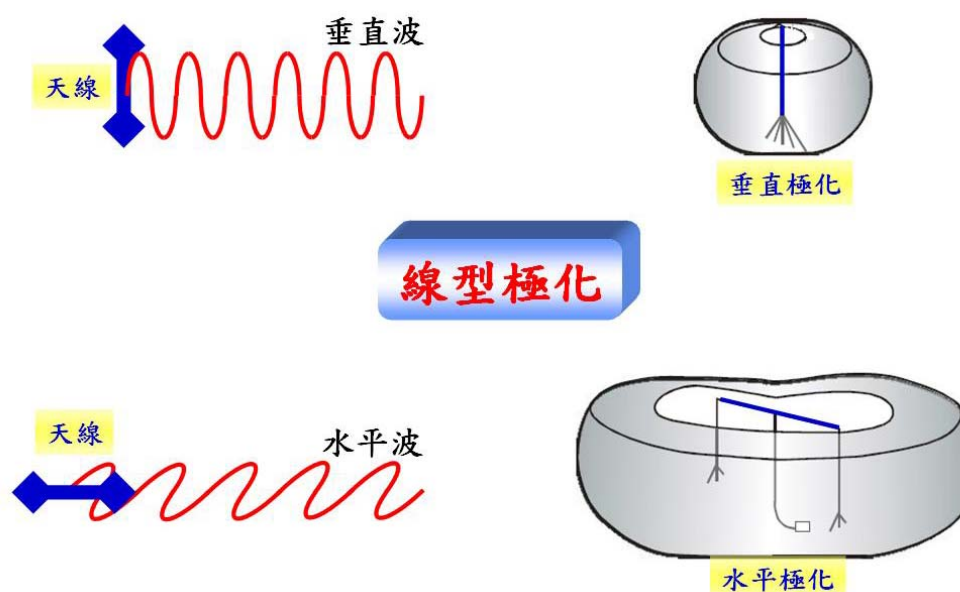
¹ 黃華馨，無線電學入門講座，第三版（台北市：無線電界雜誌社，87 年 1 月），頁 10。



圖一 半波天線的長度 (資料來源：作者繪製)

(二)天線極化

依安培右手定則 Ampere's right-hand rule，天線導體在通電後，會在導體的四周形成磁場，磁場的磁力線與天線導體的電力線，彼此的作用平面垂直。天線線型極化有兩種：平極極化、垂直極化，如圖二；天線導體在架設時與地平面平行，稱為水平極化；與地平面垂直，稱為垂直極化；因此天線極化取決於天線架設時天線導體（桿）與地面形成的夾角關係。



圖二 天線極化特性 (資料來源：作者繪製)

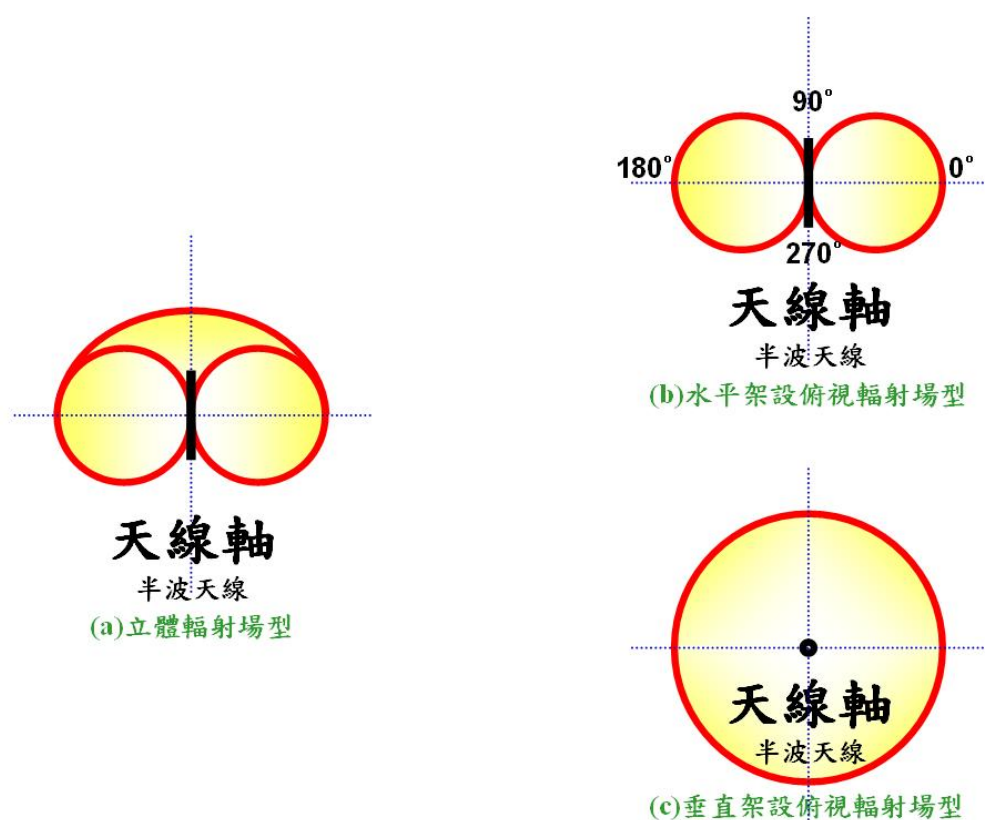
二、天線的型式與運用

(一) 天線型式與差異

當天線收集到電磁波時，電磁波即沿天線導體感應出一個信號電壓，其大小須視天線收集到的電磁波強度而定；以天線導體的長度區分型式有赫芝天線 Hertz Antenna 及馬可尼天線 Marconi Antenna。

1. 赫芝天線

也稱半波天線、偶極天線或不接地天線，天線長度等於發射信號波長的一半，在開放無物的空間中其立體輻射場型類似一個甜甜圈，如圖三(a)；此種天線架設可以採水平或垂直方式。與地面平行架設時，為水平極化的電波，俯視觀察的輻射場型，主要電波瓣葉是一對左右對稱的 8 字形，如圖三(b)。與地面垂直架設時，電磁波輻射方向與天線垂直，向四方均勻輻射，俯視觀察的輻射場型為一個圓形，如圖三(c)，為全向性天線。²



圖三 半波天線的輻射場型 (資料來源：作者整理)

2. 馬可尼天線

² 陸玉珠，無線電電子通信訓練教範，初版（桃園縣：國防部陸軍總司令部，91 年 10 月 15 日），頁 2-23～2-2-33。

也稱四分之一波長天線、接地天線或單極天線，天線長度為發射信號四分之一波長，是一種垂直且一端接地之天線，馬可尼天線的特性與赫芝天線相似，在開放無物的空間中其立體輻射場型類似半波天線，如圖三(a)，僅地面部分沒有電場存在的，架設時多採垂直或近乎垂直方式，與赫芝天線之不同處，在於馬可尼天線用一個接地面來代替半個赫芝天線，藉此可節省一半的天線長度。垂直極化的天線在地表平面上，產生一個環形的輻射場，其向上輻射的能量極少，但在地表上則向四週均勻的輻射，形成一個全向性天線的型式。

(二)運用的考量因素

天線的型式、大小和形狀，可依下列因素決定：工作頻率、輻射功率大小、所需之定向性、天線之用途。

1.工作頻率

因戰術位置不同，所形成的通信距離需求，為無線電通信首要的考量因素，不同的頻段有不同的傳播特性，天線架設應考慮工作頻率的電波傳播特性，一般傳播路徑以天波、地波來考量，例如：HF 高頻天線運用時，以天波通信³路徑為優先選擇，而鞭型天線不論背負型或車裝型均不適合於天波通信，所以運用偶極天線AT-1742 或近乎垂直天波天線(NVIS)RF-1936，於 45°角經F層第一次天波跳躍的距離即可達 280~760 公里。VHF特高頻天線運用時，無法運用天波傳遞路徑，但地波各種路徑均可運用，信號可靠度較天波通信為高，所以運用鞭型天線即可獲得不錯的效果，海平面通信距離受限於地球曲度，最遠約可達 58 公里。

2.輻射功率大小

輻射功率大小與通信距離成正比，HF 高頻段的天波通信距離較遠，需較大的輻射功率，以補償傳遞過程中的各項衰減與干擾，以保證信號可被接收，輻射功率約可達 100W 以上，地波通信中 VHF 特高頻段輻射功率約可達 50W 以上。

3.所需之定向性

戰術機動時，以全向性天線為主要考量，以確保信號可被友台接收，部隊駐紮或使用無線電中繼時，則以定向性天線為主，以減低通信洩密機率並提高信號之可靠度。

4.天線之用途

³天波通信：指電波藉由「電離層」的反射、折射現象回到地面接收天線者；電離層分 D 層約離地 70~80Km，E 層約離地 100~125Km，F 層約離地 140~380Km，HF 高頻段多操作於 F 層，若入射角等於反射角，四十五度角之 HF 高頻天波通信距離約為 280~760Km。

以戰術作為決定，背負型、車裝型天線機動性、隱蔽性最高、作業時效高，為營級以下單位天線運用之主選，受限於頻寬窄、增益尚可，適合操作於特高頻段，高頻段則天線較長不適合部隊機動；營級以上因幅員較廣、作業範圍較廣，適合運用高增益天線 RC-292，延伸通信距離、克服地障。

表二 天線運用因素比較表

裝置型式	天線程式	工作頻率	輻射功率大小	定向性	天線用途
背負型	AT-892	VHF	1W	全向	戰鬥
背負型	AT-896	VHF	2W	全向	戰鬥
背負型	AT-271	HF、VHF	20W	全向	戰鬥
背負型	AT-406P	UHF	10W	全向	戰鬥
車裝型	AS-1729	VHF	70W	全向	戰鬥、戰術
車裝型	AS-3885	VHF	70W	全向	戰鬥、戰術
車裝型	AT-1011	HF	20W	全向	戰鬥、戰術
車裝型	AT-406V	UHF	10W	全向	戰鬥、戰術
基地型	AT-1742	HF	20W	水平、斜偶	戰術
基地型	RC-292	HF、VHF	35W	全向	戰術
基地型	AMX-85	VHF	50W	全向	戰術
基地型	RF-1936P	HF	125W	全向	戰術

(資料來源：作者整理)

三、急造天線製作方式

(一)制式天線常見的故障與精進作為

1.天線桿節斷裂

現用天線桿節種類計有 AT-892、AT-896、AT-3090LW、AT-3090SW、AT-3090SSW、AT-271、AT-1095、MS-116A、MS-117A、MS-118A、AB-21、AB-22、AB-23、AB-24、4332ABT、AT-406P，其中以銅管型式的天線 AT-3090LW、AT-3090SW、AT-3090SSW、MS-116A、MS-117A、MS-118A、AB-21、AB-22、AB-23、AB-24 較易折損斷裂。精進作為：於野外天線桿節斷裂時，可以金屬導線纏於斷裂兩端的外徑處（雖會造成信號衰減），增加其傳導特性，再以膠布或絕緣物加強其牢固性，避免將天線桿節以錯位方式固定，而減短天線長度。

2.天線連接不確實

AT-896 與 AT-892 天線鞭質部分長度相同但連接處螺紋長短不同，兩種天

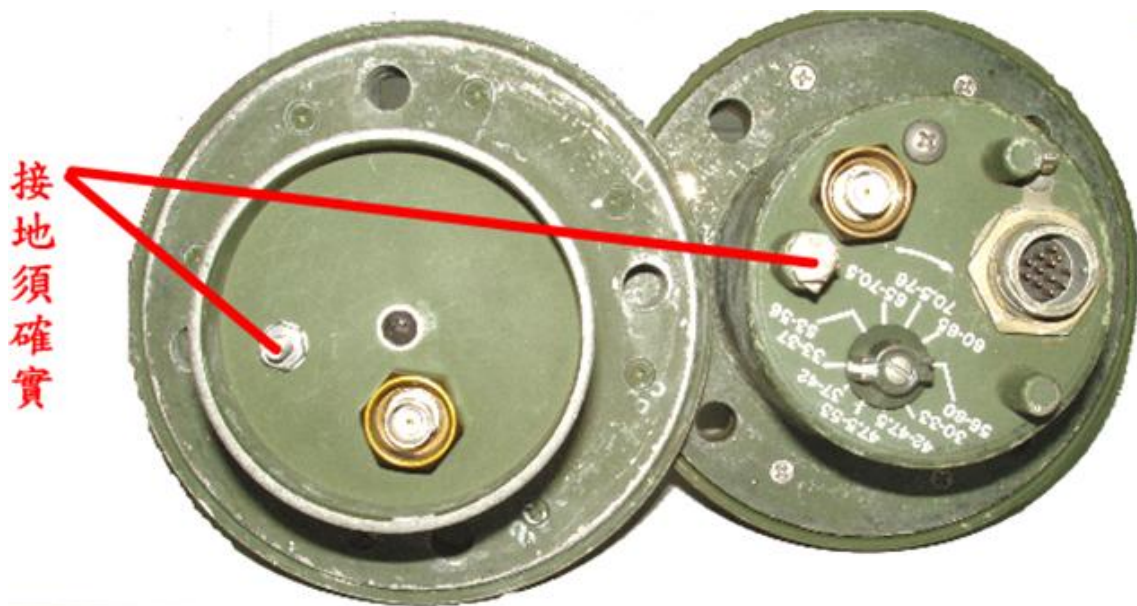
線不可互用，以避免天線與接收信機接合處連接不確實。AS-1729 天線組連接不確實常見原因為：下節天線 AS-1730 接合處內部彈簧圈未確實旋緊至天線桿節底部，造成下節天線桿 AS-1730 與匹配器 MX-6707 連接不確實，O 型環橡膠外露電氣接點開路反饋功率增加，所以下節天線桿連接前須確實將內部彈簧圈旋緊。精進作為：(1)加強器材的識別訓練，避免不同接頭型式的錯接發生，例如將各式無線電機之天線桿節同時陳列介紹，以對照接頭型式的差異，(2)落實器材檢整，每月定期的主官裝備檢查暨妥善鑑定檢查，應就檢查標準表特別加強天線匹配器 MX-6707 與下節天線桿 AS-1730 接合部位的接點與 O 型環檢查，避免天線系統形成斷路造成發射機損壞。(3)野外應急作為時，應特別注意天線桿節的極性，例如：AT-892 全桿節為陽極，接點不足時以金屬導體填補；AS-1730 中心點為陽極，內側螺紋為陰極，所以在處理陽極接點不足時，應避免與陰極造成短路。



圖四 天線及匹配器接點 (資料來源：作者繪製)

2. 接地不確實

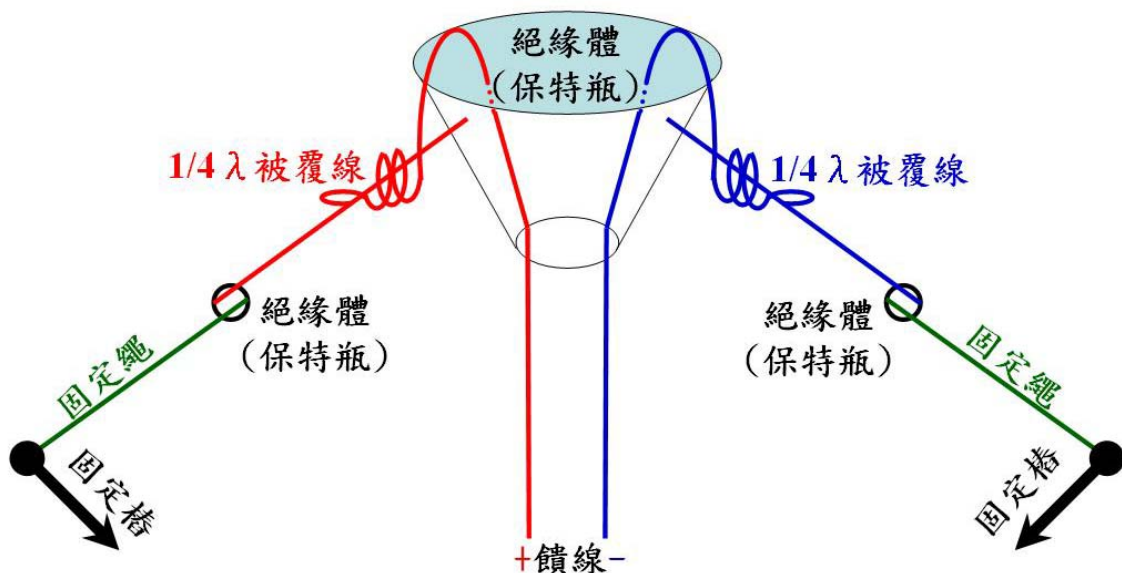
單極天線確實接地，可提高地波傳遞的穩定性，尤其於 HF 波段運用之偶極天線，若非使用天波傳遞為主要路徑，即應將收發信機確實接地，其餘 VHF 波段之天線多為四分之一波長天線，須藉由與大地接地形成較佳之鏡射效應，所以於非機動狀態時應確實接地，增加鏡射效應的面積，基地型式天線高度平均於十公尺以上，應力求作業場地平坦，因易遭雷擊，接地為主要避免電擊之保護措施，更應確實連接。精進作為：加強車輛停止時，完成車殼接地工作，檢查重點為：機架上、下層接地線、機架與工作平台螺絲、天線匹配器與車殼接地線。



圖五 匹配器接地位置(資料來源：作者整理)

(二) 製作野戰型急造天線的準備工作

急造天線又稱求生天線 Survival-Antenna，適用於制式天線突然故障通信任務仍需遂行時，以方便取得的簡易材料製作臨時性天線，暫時取代故障的天線繼續完成工作，本次製作材料以野戰被覆線及保特瓶為主，天線構造如圖六。



圖六 野戰型急造天線構造(資料來源：作者整理)

1.考慮因素

線料長度：赫芝天線（雙極天線）二分之一波長度型式，如制式耦極天線 AT-1742，此種天線型式的優點為：天線長度較易計算、天線阻抗較易掌握、使用線料架設容易；缺點為：天線長度較長、所需線料較多、水平架設時所需作業空間較大。天線長度公式如下：

電波的波長 λ ；單位：公尺（m）

$\lambda = (\text{光的傳播速度} / \text{電波的頻率})$

光的傳播速度 3×10^8 公尺/每秒 ($3 \times 10^8 \text{m/sec}$)

電波的頻率 F；單位：週次/每秒 (C/sec)

電波在導體傳播速度與空間傳播速度之比 0.95

二分之一波長天線長度 $L_{1/2}$ ；單位：公尺（m）

$L_{1/2} = (\lambda / 2) \times 0.95$

2.所需工具與材料

(1)製作工具：作業人員平時隨車工具應準備：三用電表、絕緣虎頭鉗、鐵鎚、絕緣膠布、火烙鐵、量尺、刀具。

(2)蒐集材料：天線金屬導體以野戰被覆線約 5 公尺 2 條替代，絕緣體以保特瓶 3 個替代，固定繩、固定樁尋找適當的建築物樑柱替代。

3.製作的步驟要領

(1)計算天線長度：假設操作頻率 F 為 60MHz，代入上述公式可得到波長 λ 為 5 公尺，電波在導體傳播速度與空間傳播速度之比 0.95，所以二分之一波長天線長度約為 2.38 公尺，單邊長度約為 1.19 公尺即為 119 公分。

表三 V H F 特高頻段天線長度對照表

操作頻率(MHz)	二分之一波長(公尺)	四分之一波長(公尺)
90	1.58	0.79
85	1.68	0.84
80	1.78	0.89
75	1.90	0.95
70	2.04	1.02
65	2.19	1.10
60	2.38	1.19
55	2.59	1.30
50	2.85	1.43

45	3.17	1.58
40	3.56	1.78
35	4.07	2.04
30	4.75	2.38

(資料來源：作者整理)

(2)饋送器，取一個保特瓶將瓶口朝下，瓶底兩側以 4 公尺的被覆線以對稱方式各自穿過瓶身，將兩側被覆線除去被覆後各自取線端纏繞被覆線線身，如圖七。

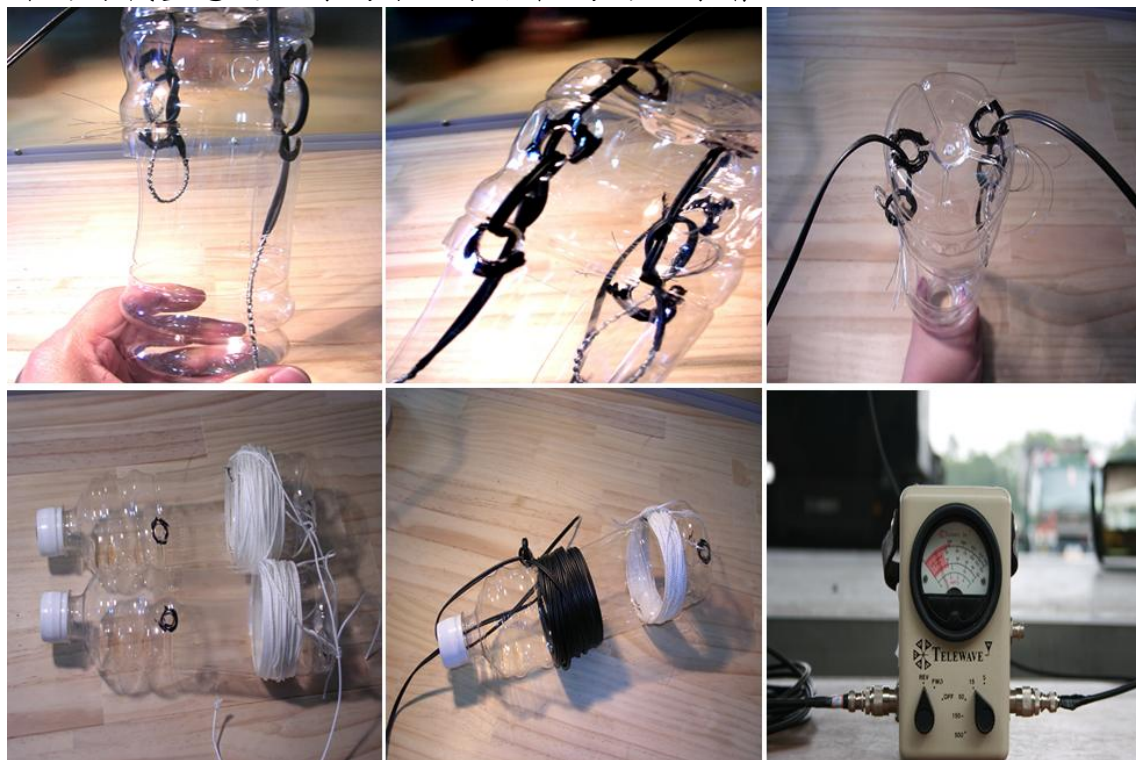
(3)天線，以量尺將被覆線 1.02 公尺處彎折註記。

(4)絕緣體，取一個保特瓶一端收納多餘之被覆線，保特瓶另一端以綿繩或塑膠繩纏繞固定，如圖七。

(5)固定樁，取較粗的樹枝一端收納多餘之綿繩或塑膠繩。

(6)饋線連接，取同軸電纜 BNC 接頭連接至無線電收發信機面板的 BNC 天線連接座上，另一端將同軸電纜除去包覆，勿破壞外圈的編織地網，及內圈絞線，將外圈地網與饋送器右側被覆線金屬部分連接，內圈中心絞線與饋送器左側天線金屬線連接。

(7)架設作業，尋找適當的開設地點，可利用大樓屋頂、大樹或支撐桅桿將製作的野戰型急造天線高架，求取較高的天線增益。



圖七 饋送器與絕緣體製作要領(資料來源：作者整理)

(三)驗證成果

1. 驗證方法

運用無線電機本身之簡易測試功能，檢測野戰型急造天線是否可以正常運用，例如：37A 系列無線電機提供反射功率過大的裝備保護電路，將無線電機置於高功率位置時，按下發話鍵使無線電機發射工作，顯示面板無電壓駐波比過大的告警時，表示天線迴路沒有問題，若無線電機告警應重新檢視天線各部，不可強行使用；另外運用瓦特表 model-44 測試記錄前進功率與反射功率的數值後計算出天線的電壓駐波比，如圖八。



圖八 野戰型急造天線驗證架構(資料來源：作者整理)

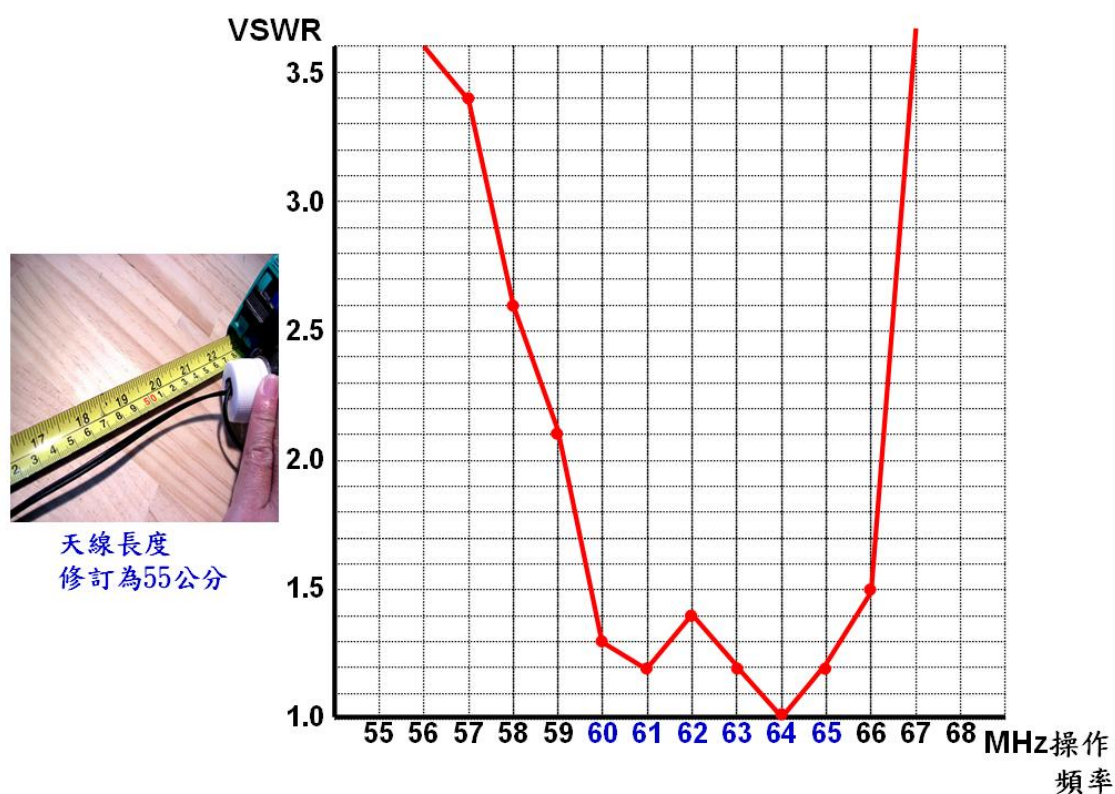
2. 驗證時的天線長度修訂

原假設操作頻率 F 為 60MHz，天線單邊長度約為 1.19 公尺即為 119 公分。實際驗證過程中 37A 無線電機操作在 60MHz 時不斷發出電壓駐波比過大的告警，嘗試將天線長度縮短往下修訂，直到天線單邊長度約為 0.55 公尺即為 55 公分時，才較符合驗證頻率 60MHz 而 37A 無線電機未再發出警告，如表四。

表四 天線長度修訂後驗證統計表

操作頻率 MHz	前進功率 W	反射功率 W	電壓駐波比
56	X	20	X
57	40	22	3.4
58	65	29	2.6
59	65	23	2.1
60	55	8	1.3
61	55	5	1.2
62	55	10	1.4
63	40	3	1.2
64	40	0	1.0
65	50	3.5	1.2
66	40	8	1.5
67	X	29	X

(資料來源：作者整理)



圖九 天線長度修訂後電壓駐波比曲線圖(資料來源：作者整理)

3. 運用野戰被覆線時，天線長度計算必須加入修訂係數，本次驗證結果約為 0.44 即為假設操作頻率 F 為 60MHz，代入上述公式可得到波長 λ 為 5 公尺，電波在被覆線內傳播速度與空間傳播速度之比 0.44，所以二分之一波長天線長度約為 1.10 公尺，單邊長度約為 0.55 公尺即為 55 公分。

表五 運用野戰被覆線之急造天線長度修訂對照表

操作頻率(MHz)	二分之一波長(公尺)	四分之一波長(公尺)
90	0.73	0.37
85	0.78	0.39
80	0.83	0.41
75	0.88	0.44
70	0.94	0.47
65	1.02	0.51
60	1.10	0.55
55	1.20	0.60
50	1.32	0.66
45	1.47	0.73
40	1.65	0.83
35	1.89	0.94
30	2.20	1.10

(資料來源：作者整理)

結論

第一線戰鬥人員的火力支援與協調工作均賴無線電通信，無線電通信的暢通即為確保第一線戰鬥人員的生命，天線系統為無線電機的門戶，如何能令出大門，即為平日訓練的重要課題，天線運用由戰術作為決定，因應戰況的需求，妥善地運用天線系統能提昇無線電通信的可靠性，因此，對天線各項技術特性及野戰型急造天線的製作方式之能量累積有其需要。避免人員對野戰型急造天線製作方式的不了解，造成天線運用不當乃至天線損壞或無法通連，無線電系統中，若野戰型急造天線製作不良或損壞，其造成的影響輕則信號無法傳遞，重則無線電機的發射功率電路晶體燒燬，近而影響作戰任務的遂行，不可不謹慎以對。

參考資料

- 一、林育生，多波道電子通信訓練教範，二版，桃園縣，陸軍總司令部，民國 94 年 6 月。
- 二、陸玉珠，AN/PRC-77、AN/GRC-160 無線電機操作手冊，初版，桃園縣，陸軍總司令部，民國 90 年 11 月 5 日。
- 三、陸玉珠，AN/VRC-46、47、49 無線電機操作手冊，初版，桃園縣，陸軍總司令部，民國 90 年 11 月 5 日。

四、游祥榮，VHF 跳頻無線電機操作手冊，初版，桃園縣，陸軍總司令部，民國 90 年 6 月 29 日。

五、郭宗鑫，AN/GRC-406 對空機操作手冊，初版，桃園縣，陸軍總司令部，民國 90 年 11 月 5 日。

六、游祥榮，AN/PRC-174、VRC-174、176 無線電機操作手冊，初版，桃園縣，陸軍總司令部，民國 90 年 11 月 5 日。

七、游祥榮，無線電機操作手冊(RF-5000HF 無線電機)，初版，桃園縣，陸軍總司令部，民國 90 年 8 月 16 日。

八、謝志德，班、排式手持無線電機(HR-93)操作手冊，初版，桃園縣，國防部陸軍司令部，民國 96 年 10 月 11 日。

九、U.S. Marine-Corps,Field-Antenna-Handbook,MCRP 6-22D,1-June-1999。