

探討HF高頻無線電透過NVIS技術解決通信盲區訊號傳遞之研析

作者/林聖庭上尉

摘要

- 一、本研究目的改善HF高頻無線電系統通聯方式採用天波或直接波傳遞訊號達到遠距離通信之手段，而天波是透過電離層將訊號傳遞至數百公里外，直接波訊號適用於短距離訊號傳遞。
- 二、如遇地障因素造成阻隔則會產生通信盲區，不利於短距離通聯，唯有透過NVIS近似垂直投射天波方式才可解決此問題。
- 三、透過文獻收集無線電起源、特性與發展、無線電通信距離及通聯限制、NVIS技術應用發展等相關資訊進行研究，藉由數據分析本軍現行通信設備通聯狀況，透過各國針對NVIA技術運用於軍(民)用裝備經驗及效益成果作分析及比較，取得優劣分析結果，進而強化通信效能。

關鍵詞：短波、高頻無線電、電離層、NVIS、近似垂直投射天波

前言

HF高頻無線電系統通信傳輸特性主要運用於海上通信及長距離地面通信，對於短距離地面通信較為不利，特別以本島多山區丘陵地形易造成通信盲區不利於高頻無線電通聯，利用近似垂直投射天波(Near Vertical Incidence Skywave, NVIS)技術將訊號傳遞至電離層，將訊號發送角度由原先45度角改為70至90度角，降低訊號於電離層跳躍次數，採用近似垂直方式透過電離層一次反射，克服地形及障礙物因素達成通信構連，為本文研究之目的。

HF高頻無線電通信簡介

一、高頻(HF)無線電定義

短波(short wave, SW)是國際上常用於無線電的一個波長範圍(如表一)，其對應的頻率範圍被稱為高頻(high frequency, HF)，另短波的波長範圍是10米至100米，高頻的範圍則是3MHz到30MHz，短波波段的電磁波除了能夠利用地波傳播外，還可通過電離層的反射進行遠距離傳輸，因此國際廣播通常都位於短波波段¹。

¹ 〈短波〉《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%9F%AD%E6%B3%A2>，SEP. 18, 2020

表1 頻率與波長對照表

頻段名稱	縮寫	頻率範圍	波段	波長範圍
低頻	LF	30KHz-300KHz	長波	10 km – 1 km
中頻	MF	300KHz-3MHz	中波	1 km – 100 m
高頻	HF	3MHz-30MHz	短波	100 m – 10 m
甚高頻	VHF	30MHz-300MHz	米波	10 m – 1 m
特高頻	UHF	300MHz-3GHz	分米波	1 m – 100 cm
超高頻	SHF	3GHz-30GHz	厘米波	100 cm – 10 cm
極高頻	EHF	30GHz-300GHz	毫米波	10 cm – 1 cm

資料來源: 作者自繪。

二、訊號傳播路徑

(一)電離層

電離層傳輸為通信傳輸路徑之一，通信訊號於電離層通道中經過多次反射達，被廣泛運用於遠距離無線電通信訊號傳送，主要造成訊號反射因素為電離層中帶有「電漿頻率」所致，當氣體處於高溫或強磁場狀態下，遭受外在自由電子所撞擊後會釋放出電子而形成「電漿態」(如圖1)，然而不同型態的電漿會產生不同對應頻率，當電磁波撞擊到電漿的表面時，電磁波頻率等於或低於電漿頻率，則該電磁波就會被屏蔽在外面而無法穿透，反之當電磁波頻率高於電漿頻率則能穿透，電漿頻率與電離層電子密度有關，電子密度越大，被反射的電磁波頻率越高，電子密度越小，被反射的電磁頻率越低²。

圖1 地球電離層產生示意圖



資料來源: 〈地球磁場〉《每日頭條》，<https://kknews.cc/zh-hk/science/pvm4r88.html>，SEP. 18, 2020

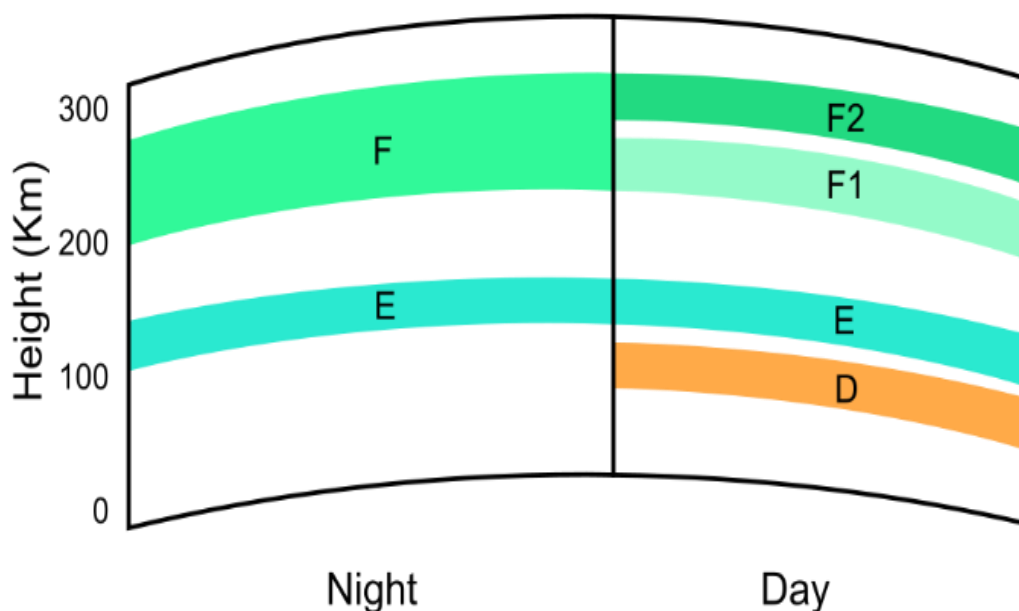
²國立中央大學太空科學與工程學系 楊雅惠，〈電離層的電波傳播〉，<http://www.ss.ncu.edu.tw/~yhyang/103-2/si/Notes-20150618.pdf>，SEP. 18, 2020

1.D層-日間電離層最低的一層，距離地球表面48至88公里。主要是一氧化氮(NO)為主，受到波長為121.6nm(Lyman-alpha)的太陽光作用游離成 NO+以及氮氣分子(N2)和氧氣分子(O2)被X射線照射所游離，由於此層電子濃度較低，因此對於高頻無線電波影響較小，但頻率小於10MHz以下的無線電波仍可能會被其吸收。日落後，光化效果減弱游離作用消失，加上D層中的電漿粒子與中性大氣碰撞頻率相當高，會使得電漿粒子還原為中性氣體，故D層會於夜間消失殆盡。

2.E層-夜間電離層最低的一層，距離地球表面88至136公里。主要成分為氧氣分子，受到波長為1-10nm(X射線)和紫外線所離化而成的電漿粒子，此層電子濃度較低，僅能反射頻率低於10MHz的電波，頻率高於10MHz的電波它有吸收及穿透的作用。

3.F層-在地面以上136公里至400公里，最主要來源為受到紫外線離化的氧氣原子，其為電離層中電子濃度最高的區域，F層對於電波傳播來說是最重要的層，白天分為F1和F2兩個層，夜間F層合併為一個層，大多數無線電波天波傳送是F層形成的，僅能反射頻率低於30MHz的電波，頻率高於30MHz的電波時，易產生吸收或穿透的作用。³

圖2 電離層日夜高度差異圖[5]

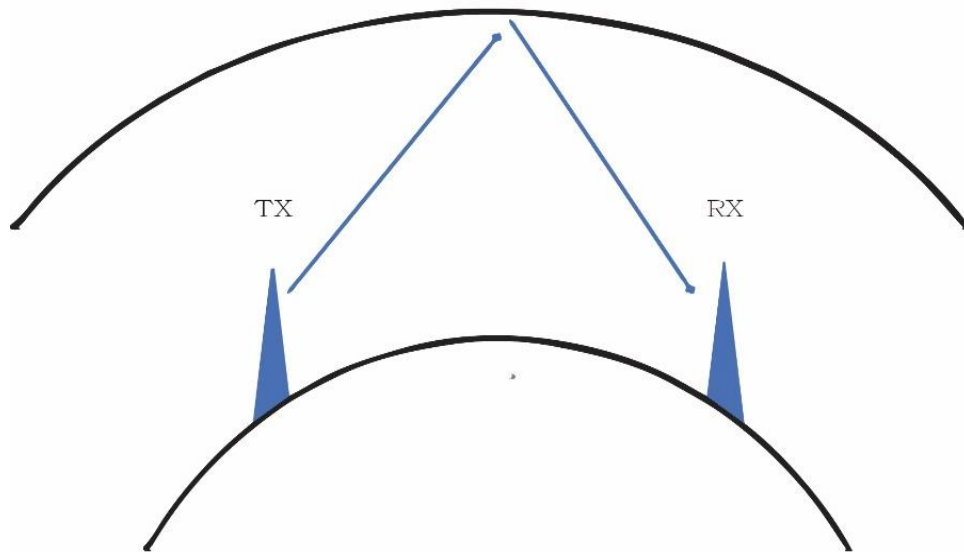


資料來源：〈電離層〉《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E7%A6%BB%E5%B1%82>，SEP. 18, 2

(二)「天波」透過對流層中空氣傳遞訊號(如圖3)，主要受到大氣壓力所影響，大氣壓力的大小與空氣密度、濕度及溫度有關，當壓力有所改變時會造成傳遞產生折射，訊號進入相對大氣壓力低的區域會產生向下折射效果，訊號進入相對大氣壓力高的區域會產生向上折射效果，而日夜溫差改變就可能造成訊號於對流層傳遞有所影響。

³輔仁大學，〈太空物理學-第四章地球的大氣層與電離層〉，<https://irsl.ss.ncu.edu.tw/media/course/106%E5%B9%B4%E7%AC%AC2%E5%AD%B8%E6%9C%9F%E8%BC%94%E4%BB%81%E5%A4%A7%E5%AD%B8%E5%A4%AA%E7%A9%BA%E7%89%A9%E7%90%86%E7%AC%AC4%E7%AB%A0%E5%9C%B0%E7%90%83%E7%9A%84%E5%A4%A7%E6%B0%A3%E5%B1%A4%E8%88%87%E9%9B%BB%E9%9B%A2%E5%B1%A4.pdf>，SEP. 18, 2020

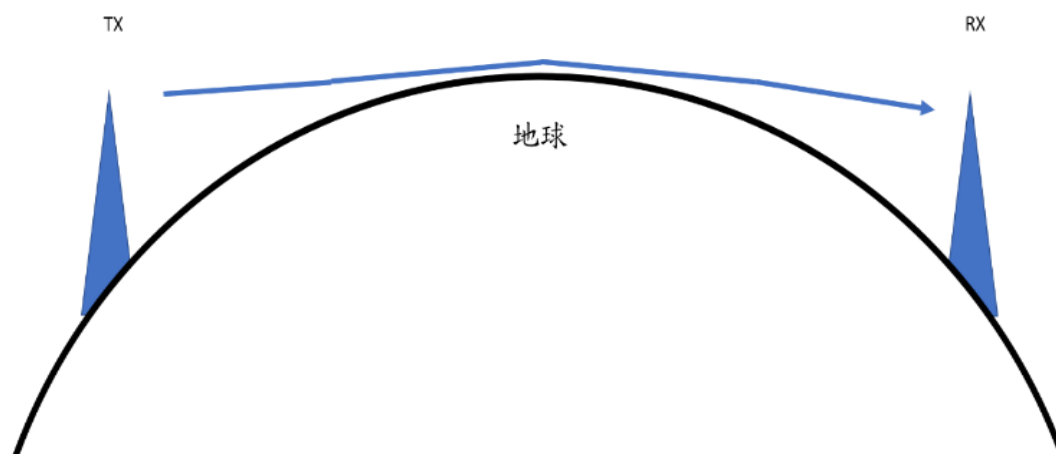
圖3 天波傳輸示意圖



資料來源:作者自繪

(三)「地波」電訊號沿地球表面方向前進又稱為表面波(如圖4)，傳波特性大部分取決於地球表面傳導性與電波的頻率，且此頻率需沿特定的訊號路徑才可存在，當頻率在30MHz以下時，則以表面波方式呈現。頻率低於30MHz及高於10MHz時，則地面絕緣係數將會決定表面波傳遞特性(如表2)。頻率高於30MHz時，表面波傳遞易造成訊號損失，僅能透過直接波方式傳遞。

圖4 地波傳輸示意圖



資料來源:作者自繪

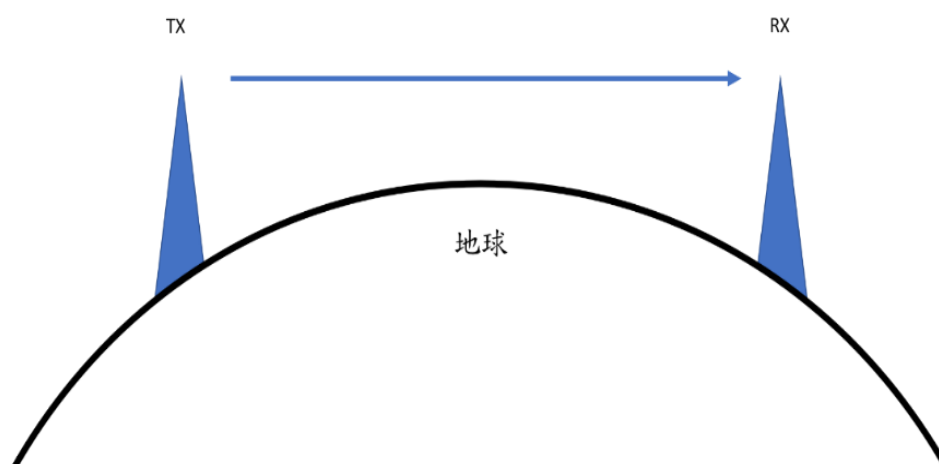
表2 地球表面導電性對照表

表面總類	導電率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	導電性
大海	80	最好
湖泊	80	良好
泥地	30	良好
土地	15	良好
碎石地	7	不良
沙漠	4	不良
叢林	1	不可用

資料來源: DEPARTMENT OF THE ARMY, ANTENNAS AND RADIO PROPAGATION (Place of publication : United States Government Printing Office, 1953 Year)

(四)「直接波」電波的傳輸以直線方向為主(如圖5)，發射天線與接收天線之間直接經由空氣傳播，視距傳輸容易受到障礙物的阻擋，尤其受制於地球圓弧的地形，為了增大傳輸距離，發射天線和接收天線必須建於地形高點或透過鐵塔增加高度，則通信最遠距離介於20至50公里。

圖5 直接波傳輸示意圖

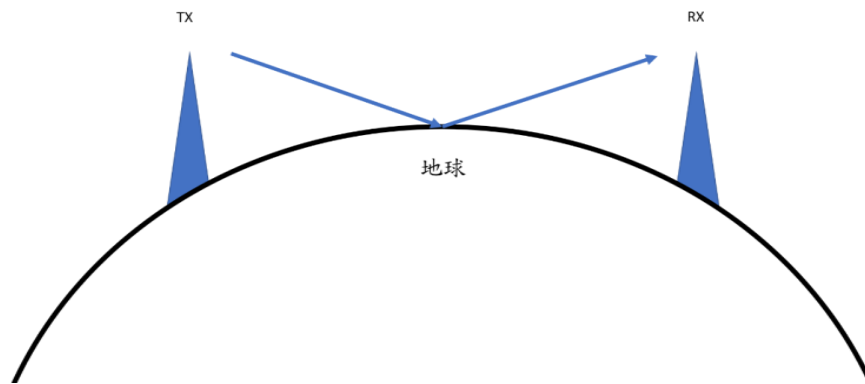


資料來源:作者自繪

(五)「地面反射波」顧名思義透過地面或海洋反射後達到訊號傳遞效果(如圖6)，訊號經過反射後，除了會造成訊號電能衰減外，也會造成 180° 相位偏移，需透過通信設備解調後轉換成可用

之通信訊號。

圖6 地面反射波傳輸示意圖



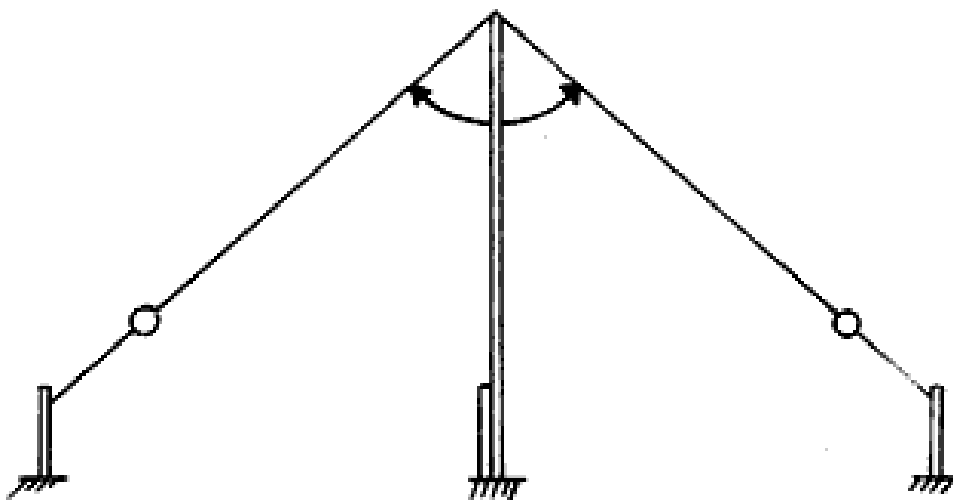
資料來源:作者自繪

三、天線種類介紹

市售天線型式繁多要給天線分類是一件非常困難的事情，但不同用途、不同頻段的天線，在測量技術要求上都有不同，天線的分類大致依照工作特性、用途、頻率波長而分類，另外可以依照型式結構為天線類。本篇幅主要探討高頻無線電通信特性，因此針對常見的偶極天線等三種實施介紹。

(一)偶極天線 (Dipole Antenna) 是在無線電通信中(如圖7)，它的總長度近似為工作波長的一半，使用最早、結構最簡單、應用最廣泛的一類天線。它由一對對稱放置的導體構成，導體相互靠近的兩端分別與饋電線相連，電波信號從天線中心饋入導體；用作接收天線時，也在天線中心從導體中獲取較佳接收訊號。這種天線在遠處產生的輻射場是軸對稱的，而駐波的波長正好是天線產生或接收的電磁波的波長相同。

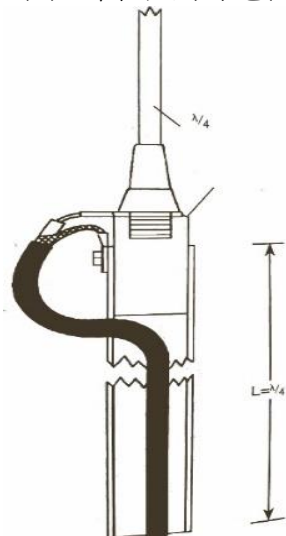
圖7 偶極天線示意圖



資料來源:〈水平偶極天線的有效架設方法〉《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/01/01096.htm>，SEP. 18, 2020

(二)單極天線 (Vertical Antenna) 為四分之一波長天線又稱為單極天線(如圖8)，該天線採直立方式接收，可透過饋線連接接地導體延伸訊號接收效能，單極天線與偶極天線的差異，垂直平面上的輻射方向形狀相似，唯獨缺少向下輻射面，在水平面上，單極天線是全向性的，而偶極天線則是具有方向性的。

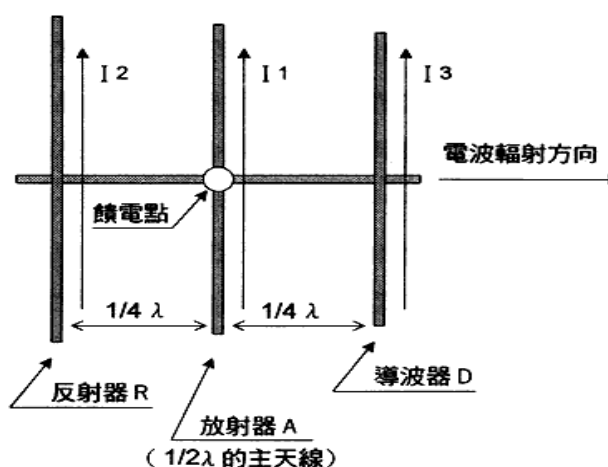
圖8 單極天線示意圖



資料來源: 劉佳琪,《實用天線手冊》,第五版(出版地:北京:電子工業出版社,民國/西元2016年月)

(三)八木天線(Yagi Antenna)也稱為「引向天線」(如圖9)，是一種定向天線。這種天線是1928年由日本天線專家八木秀次和宇田新太郎兩人設計的，基於偶極天線發展演化而來。最簡單的八木天線由三單元所組成，具有一根半波長的偶極天線和位於偶極天線前後的導波器和反射器構成。其中導波器的長度為略小於半波長，反射器的長度為略大於半波長。反射器與放射器、放射器與導波器之間的距離為四分之一波長，設計相較偶極天線及單極天線來得困難，但優點可透過引向器可以增強天線的方向性和增益。⁴

圖9 八木天線示意圖



資料來源: 八木天線單一指向的原理》《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/44/44058.htm>，SEP. 18, 2020

⁴八木天線單一指向的原理》《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/44/44058.htm>，SEP. 18, 2020

四、小結

HF高頻無線電通訊方式區分為以下兩種，長距離訊號傳播主要透過電離層反射使訊號傳遞至500公里至1000公里外的距離；短距離通聯傳播路徑透過地波方式傳遞訊號藉由導電度較佳的區域，如海洋、湖泊等地區傳遞，也可透過直接波方式傳遞至50公里內的距離，台灣本島多屬於短距離通聯礙地理環境因素，常導致通聯成效不佳情事發生。

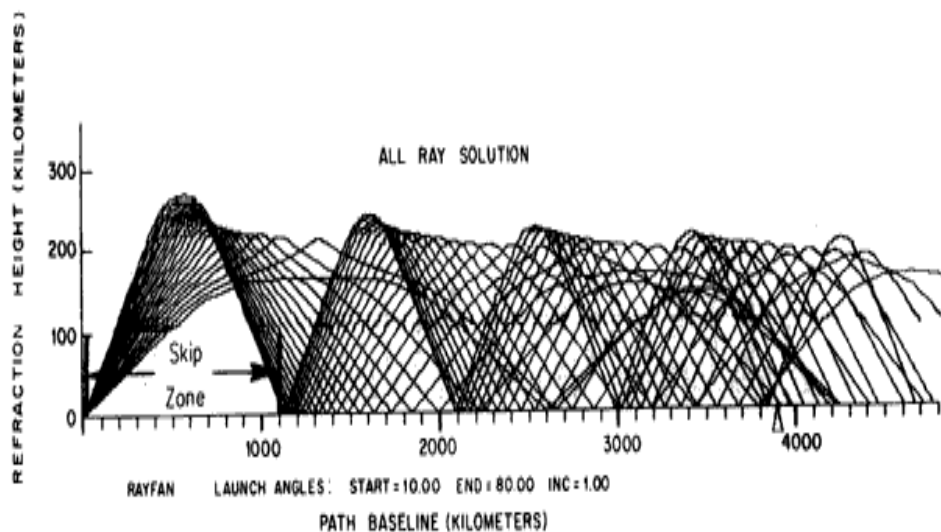
目前常見高頻無線電所使用天線類別區分為三大類別，偶極天線架設快速且適用於遠距離傳輸使用，單極天線適合全向性接收及短距離通聯，八木天線雖設備笨重但具高度指向性特性適合針對特定方向接收微弱訊號，因此選擇適當天線依據訊號輻射效能不同，賦予其正確通聯手段可提高通聯成效。

NVIS(Near vertical incidence skywave)技術

一、NVIS運行原理

高頻無線電之所以能實施遠距離通訊完全是藉由電離層來實施傳遞，將訊號傳遞至最遠地方，於電離層通道中跳躍可傳遞至數千公里外，卻從未思考過傳輸特性所造成的先天缺陷，訊號進入電離層無法短距離透過反射返回地面，即為電離層「跳躍死區」(如圖10)。

圖10 通信「跳躍死區」示意圖

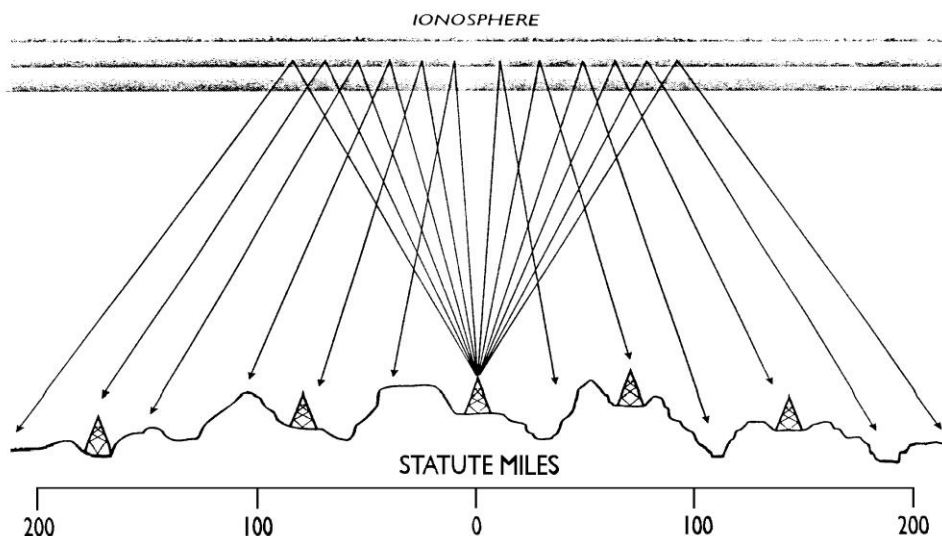


資料來源：〈PAUL's BASICS:幾乎垂直入射天波NVIS的應用技巧〉《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/4/44096.htm>，SEP. 18, 2020

高頻無線電用於短距離通信時，易遭受地形障礙所影響造成直接波或地波傳遞遭困難，因此可藉由電離層垂直反射方式解決傳輸問題，近似垂直投射天波通訊與所謂的遠距離通訊所不同的是，遠距離通訊欲達到良好效果，入射角是遠小於45度，而近似垂直投射天波的入射角則是遠大於45度，因此近似垂直入射天波折射返回地表時，就與發射台的距離很接近，由於此方法沒有所

調的跳躍死區，因此通訊區域幾乎可以涵蓋從發射台開始至半徑數百公里之內的完整區域（如圖11）。

圖11 NVIS通信傳輸示意圖



資料來源：〈Covert Communications〉《Survivalist Boards》，<https://www.survivalistboards.com/showthread.php?t=273848&styleid=10>，SEP. 18, 2020

二、現行無線電裝備透過NVIS傳遞方式探討

近似垂直投射天波傳輸首要作法為通聯頻率選定，了解電離層各層傳輸特性選定適當通信頻率，將訊號投射入電離層穿透D層，藉由E層或F層反射回地面，由下表得知傳輸高於25MHz訊號會穿透F層，而頻率低於10MHz時，可縮短傳輸距離，藉此降低訊號損失達成近似垂直投射天波傳遞方式(如表3)。⁵

若電臺位置訊號接收效能不佳時，可透過八木天線藉由指向性訊號發射提升接收效能，也可嘗試透過垂直角度發射方式實施通聯，但八木天線應用於高頻無線電頻率，整體架構過於笨重無法靈活轉向且造價昂貴相對降低架設便利性，另一種呈現方式則可透過單極天線的不同波長如1/2、1/4、1/8等天線設計(如表4)，改變電波反射成效及發射的角度，使訊號朝75至90度發射方向，也可獲得近似垂直投射的效果。

利用偶極天線改變天線架位置隨高度改變可達到不同天線發射場型(如圖12、表5)，此方式則是運用反射板概念透過地面反射增加訊號方向性，發射頻率影響天線長度及架設高度，一般建築物高度落在3至4樓層(9~12公尺)之間，若使用桅桿架設方式高度概約不超過7米，若高度再更高則會造成架設困難，因此可將已知適合垂直投射頻率經過換算後可獲得訊號波長，再將其數值帶入下表選取適合架設頻率及高度，當天線高度高於1/4波長時，此時垂直方向輻射角度會下降，就無法達到近似垂直投射效果，也並非無限縮短天線架設距離所產生極化效果越好，天線架設低於1/8

⁵ 〈PAUL's BASICS:幾乎垂直入射天波NVIS的應用技巧〉《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/44/44096.htm>，SEP. 18, 2020

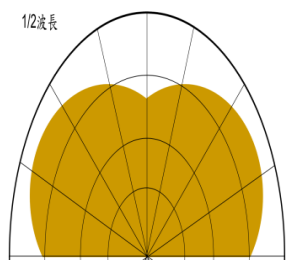
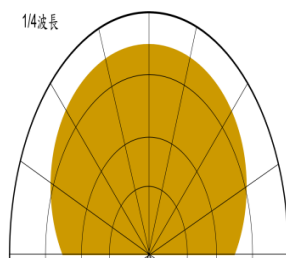
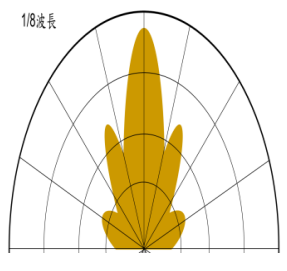
波長高度時，易造成發射訊號與地面反射訊號相互干擾及降低增益效果，因此適合發射高度介於1/4至1/8波長，才能有效將訊號發射至上空。

表3 頻率與電離層穿透反射關係表

頻率	D 層	E 層	F 層
3MHz	穿透	反射	反射
5 MHz	穿透	反射	反射
7 MHz	穿透	反射	反射
9 MHz	穿透	反射	反射
11 MHz	穿透	穿透	反射
13 MHz	穿透	穿透	反射
15 MHz	穿透	穿透	反射
17 MHz	穿透	穿透	反射
19 MHz	穿透	穿透	反射
21 MHz	穿透	穿透	反射
23 MHz	穿透	穿透	反射
25 MHz	穿透	穿透	穿透
27 MHz	穿透	穿透	穿透

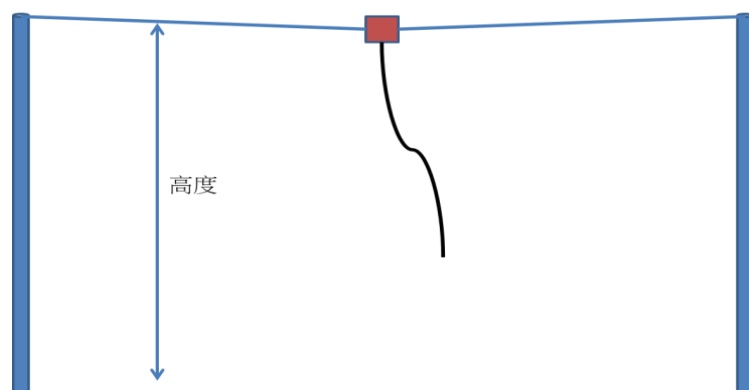
資料來源: PAUL's BASICS:幾乎垂直入射天波NVIS的應用技巧《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/44/44096.htm>，SEP. 18, 2020

表4 單極天線垂直方向場型比較表

波長	1/2 波長	1/4 波長	1/8 波長
場型			
輻射方位角	25-45 度	全向性	75-90 度

資料來源:作者自繪

圖12 偶極天線架設示意圖



資料來源:作者自繪

表5 理想天線架設高度對照表

頻率	波長 (米)	1/2 波長高 度(米)	3/8 波長 高度(米)	1/4 波長 高度(米)	1/8 波長 高度(米)	1/16 波長高 度(米)
3MHz	99.93	49.965	37.47375	24.9825	12.49125	6.245625
5 MHz	59.96	29.98	22.485	14.99	7.495	3.7475
7MHz	42.83	21.415	16.06125	10.7075	5.35375	2.676875
9MHz	33.31	16.655	12.49125	8.3275	4.16375	2.081875
11 MHz	27.25	13.625	10.21875	6.8125	3.40625	1.703125
13 MHz	23.06	11.53	8.6475	5.765	2.8825	1.44125
15 MHz	19.99	9.995	7.49625	4.9975	2.49875	1.249375
17 MHz	17.63	8.815	6.61125	4.4075	2.20375	1.101875
21 MHz	14.28	7.14	5.355	3.57	1.785	0.8925

資料來源:作者自繪

三、小結

HF高頻無線電通訊於本島地形多山區丘嶺且城鎮密集，短距離通聯易受地理環境所阻礙，造成無線電透過電離層傳播不易，訊號傳遞易產生「跳躍死區」現象，解決方法可透過NVIS近似垂直投射天波傳遞方式獲得改善。

NVIS傳遞方式考量因素：

- (一)訊號投射角度：高投射角度(75度至90度)以近似垂直角度朝電離層發送訊號。
- (二)電離層穿透特性：頻率介於3 MHz至9MHz區間，訊號於電離層反射降低訊號衰減。
- (三)天線輻射場型：運用1/4、1/8、1/16等波長天線輻射角度可使訊號趨近於垂直投射效果。

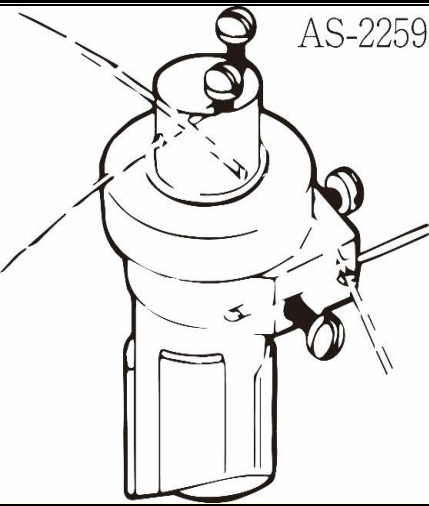
(四)天線架設高度：選定適當頻率與架設高度可提升訊號接收度及訊號輻射角度。

現行NVIS各國發展現況

一、AS-2259美國高頻無線電軍用NVIS天線

此天線為美軍所使用之天線，由位在美國密西根州RAMI天線製造公司所生產，此天線特點由2組共4條天線負責訊號傳遞(如表6)，且輻射角度75至90度提供高角度輻射（近乎垂直投射）使高頻無線電訊號傳播至從0至480里距離，增益效果相較一般偶極天線高2dB(1.2倍)，若採水平架設且滿足1/4波長時，增益效果高7 dB(2.2倍) (如表7)。⁶

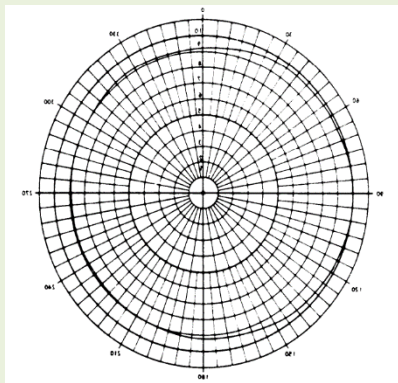
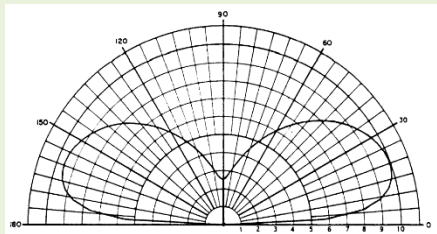
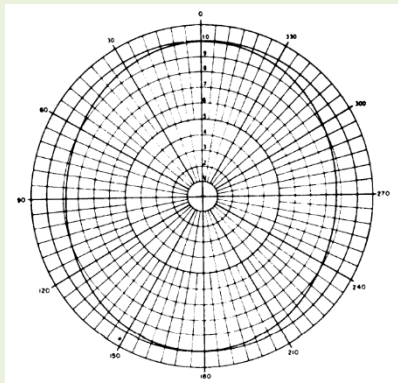
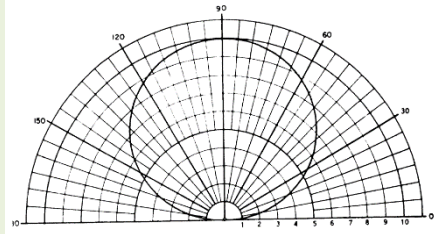
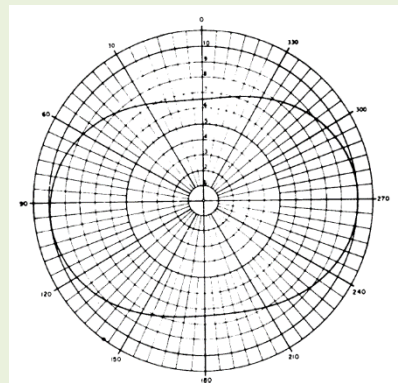
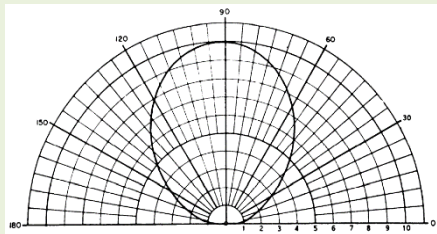
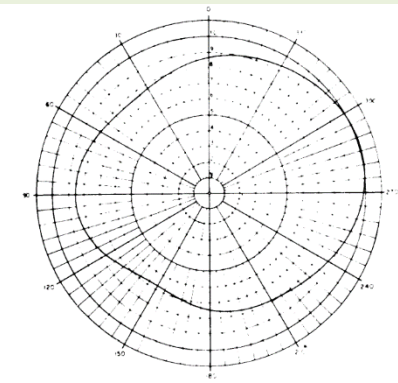
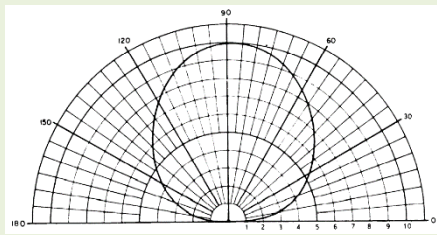
表6 AS-2259高頻無線電軍用NVIS天線裝備諸元表

		
AS-2259 裝備諸 元	頻率範圍	2-30MHz
	極化方式	水平及垂直
	功率	1000 瓦
	重量	14.7 磅(約 6.6 公斤)
	架設建議高度	1/4 波長
	架設最低高度	1/16 波長
	價格	未知

資料來源:作者自繪

⁶ Peter Miles ,〈40/15M BAND SLOPER〉《Amateur Radio Station》, https://vk6ysf.com/40m_sloper.htm , SEP. 18, 2020。

表7 AS-2259不同頻率對應輻射角度對照表

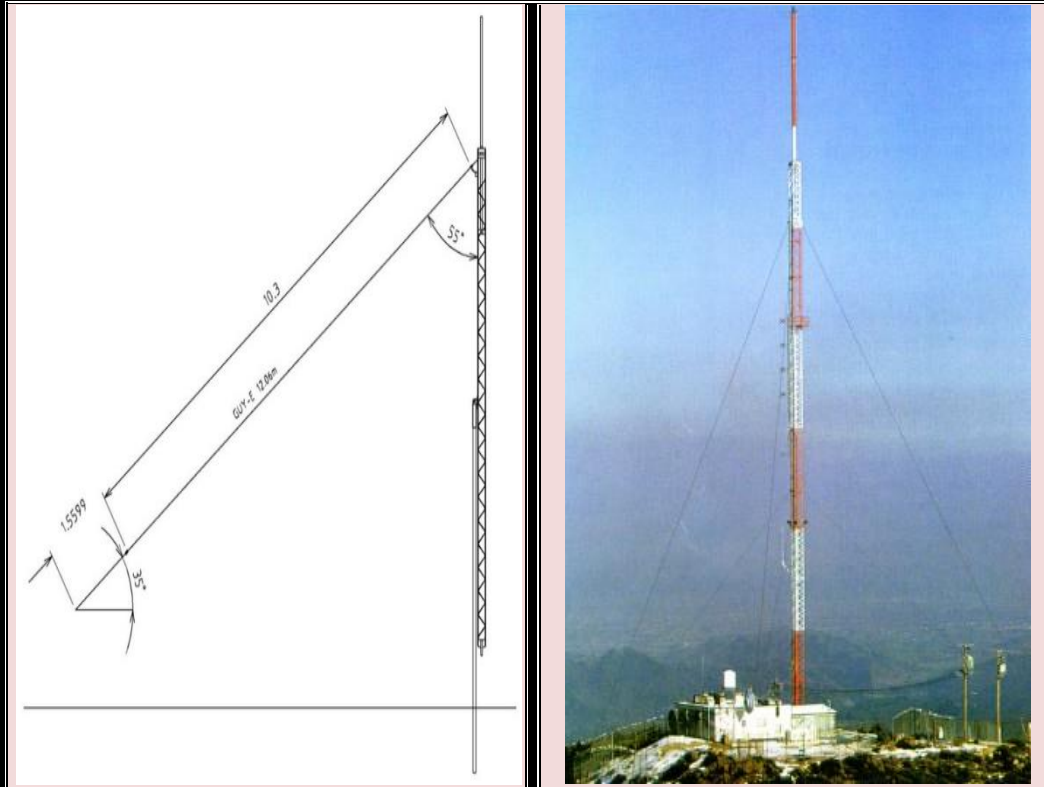
頻率	水平方向電場	垂直方向電場
2.5MHz		
6 MHz		
9.5 MHz		
15.5 MHz		

資料來源: Peter Miles, 〈40/15M BAND SLOPER〉《Amateur Radio Station》, https://vk6ysf.com/40m_sloper.htm, SEP. 18, 2020。

二、SLOPER斜極NVIS天線

為一般廣播電塔常用之天線型式，利用1/4波長長度之單極天線，利用天線桿節或通信鐵塔方式架設(如表8、9)⁷，天線與地面呈35°角，無線電訊號輻射場型可滿足近似垂直投射角度70°至90°角，天線架設方式適合用於固定式電台所使用。

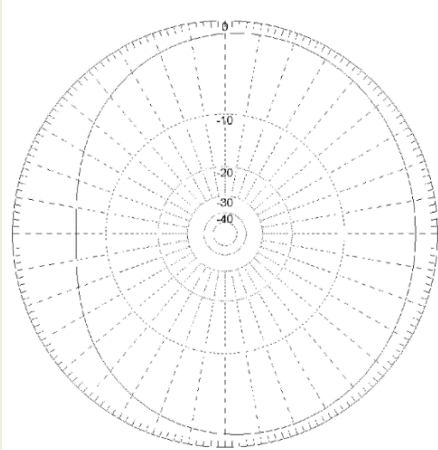
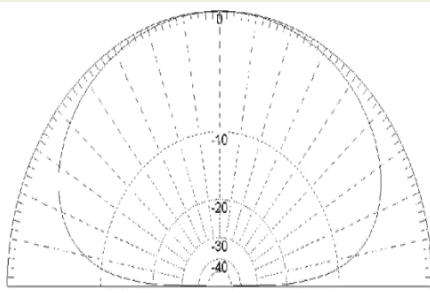
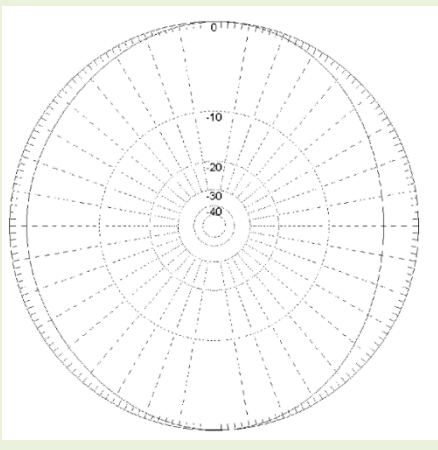
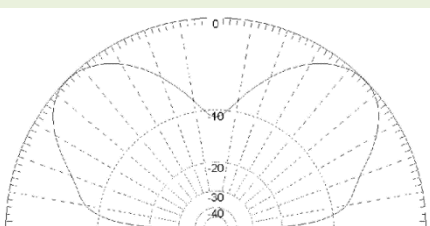
表8 SLOPER斜極天線裝備諸元表

		
SLOPER 裝備諸元	頻率範圍	7-21MHz
	極化方式	水平及垂直
	功率	1000 瓦
	天線長度	10.3 米
	天線角度	35°
	天線材質	鍍鋅鋼
	價格	昂貴(數百萬元)

資料來源: Peter Miles, 〈40/15M BAND SLOPER〉《Amateur Radio Station》, https://vk6ysf.com/40m_sloper.htm, SEP. 18, 2020。

⁷ Peter Miles, 〈40/15M BAND SLOPER〉《Amateur Radio Station》, https://vk6ysf.com/40m_sloper.htm, SEP. 18, 2020。

表9 SLOPER Antenna 7、21.5MHz對應輻射角度對照表

頻率	水平方向電場	垂直方向電場
7MHz		
21.5 MHz		

資料來源: Peter Miles,〈40/15M BAND SLOPER〉《Amateur Radio Station》, https://vk6ysf.com/40m_sloper.htm, SEP. 18, 2020。

三、T2FD - NVIS天線

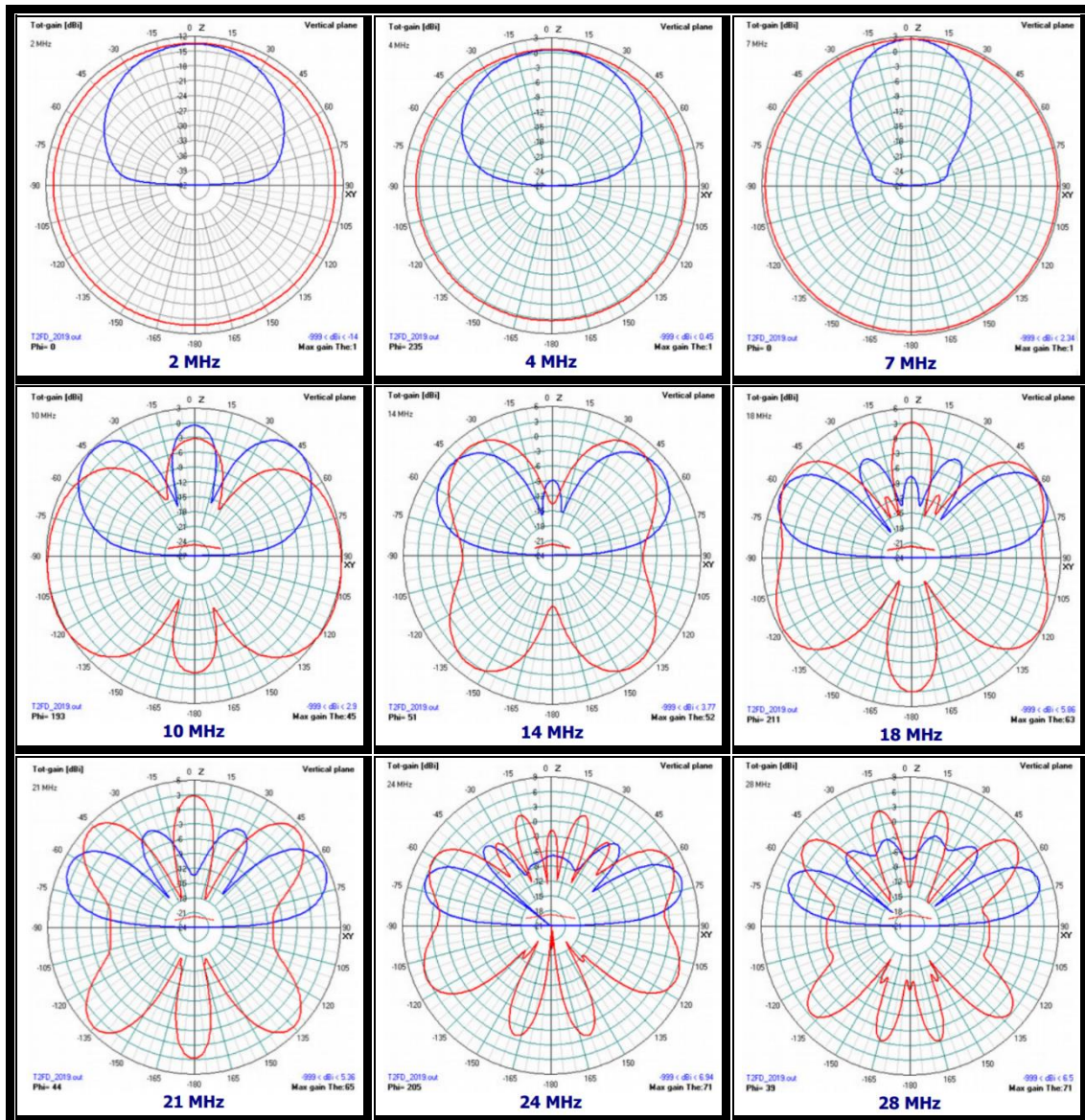
起源於1940年第二次世界大戰期間在聖地亞哥海軍基地所開發的TTFD天線，早期設計用於海上船舶所使用，於1980年後業餘無線電發展盛興，由業餘無線電廠商與無線電愛好者共同開發適用於一般環境T2FD天線(如表10)，至今仍販售此天線型式之廠商計有DIAMOND、YAESU等多家天線大廠；此天線設計優點為帶寬頻率天線，一組天線可滿足多種頻率需求，缺點為天線反饋電壓所產生駐波則略高於傳統偶極天線，若搭配天線調諧器使用可提供更佳訊號傳輸效能，於表11可得知頻率2至12MHz時，訊號輻射角度於45°至90°角，此時有利於近似垂直投射傳遞，頻率高於14MHz時，訊號輻射角度大幅下降低於45°角，對於近似垂直投射傳遞效果不佳。

表10 T2FD天線裝備諸元表

T2FD 裝備諸元	WD330	WD3300J
	WD330	WD3300J
	頻率範圍	2-30MHz
	極化方式	水平及垂直
	功率	150 瓦
	長度	25 米
	重量	6.7 磅(3.1 公斤)
	天線材質	銅線
	價格	便宜(約1萬5千元)

資料來源: T2FD, HF DIPOLANTENNA)《Diamond Antenna》, http://www.korpi.biz/T2FD_NVIS.pdf, SEP. 18, 2020

表11 T2FD不同頻率對應輻射角度對照表



資料來源: T2FD, Terminated & Twisted Folded Dipole, NVIS)《Korpi》, http://www.korpi.biz/T2FD_NVIS.pdf, SEP. 18, 2020

本軍現行HF無線電運用作法

一、AT-1742偶極天線介紹

AT-1742偶極天線系統共分為三大組成(如表12)，分別為F-198饋線、W-198天線及C-198控繩，天線主要的透過射頻導線連接Dipole Fixture偶極天線夾具後，將主機訊號分為正極與負極兩端分別連接兩條天線實施通信訊號傳輸，偶極天線特性即為通信主機透過雙邊等長天線傳輸而來，於1966年間結合美軍所使用通信機AN/PRC-74及AN/GRC-106高頻無線電機所配賦通聯所使用天線，而本軍現行所使用通信裝備為AN/PRC-174結合此天線通聯。

表12 AT-1742偶極天線裝備介紹表

圖片			
名稱	Dipole Fixture	Antenna Wire	Antenna Rope

資料來源: Radionerds.com無線電開放資料庫 <https://radionerds.com/index.php/AN~PRC-74>，SEP. 18, 2020

偶極天線又稱為半波天線，天線設計是由兩組單邊1/4波長長度天線組成1/2波長天線，而天線長度相較於一般單極天線更需較大的場地才能完成天線架設，常用天線長度計算方法為 長度 $L(m)=71.37/\text{頻率}F(\text{MHz})$ (如表13)。

表13 偶極天線線單邊長度換算表

偶極天線線單邊長度換算表					
頻率 (MHz)	長度 (公尺)	頻率 (MHz)	長度 (公尺)	頻率 (MHz)	長度 (公尺)
2.00	35.68	10.00	7.13	18.00	3.96
3.00	23.79	11.00	6.48	19.00	3.75
4.00	17.84	12.00	5.94	20.00	3.56
5.0	14.27	13.00	5.49	21.00	3.39
6.00	11.89	14.00	5.09	22.00	3.24
7.00	10.19	15.00	4.75	23.00	3.10
8.00	8.92	16.00	4.46	24.00	2.97
9.00	7.93	17.00	4.19	25.00	2.85

資料來源:作者自繪

二、天線架設方式介紹

常用架設方法主要區分為三大類：倒V型偶極、斜偶極及水平偶極(如表14)，而最常使用的架設方式為倒V型偶極架設法，此架設方式特點為中心點相較於天線兩端高的天線架設方法，中心需透過物體支撐天線使其能呈現倒V形狀，於兩組1/4波長天線之間夾角需介於90°至120°，以3MHz頻率天線最大夾角120°為例天線長度單邊長23.79公尺，中心饋電點需離地11.5公尺及地面架設環境需達39.94公尺才能達到理想架設角度，雖接收及發射效率為斜偶極及水平偶極架設為最佳方法，但相較於兩者倒V型架設方法更能節省架設空間。

表14 偶極天線理想架設方式介紹表

名稱	倒 V 型偶極	斜極偶極	水平偶極
示意圖			
使用頻率	3MHz(單邊長 23.79 公尺)		
架設高度	11.5	31.9	22.5
地面寬度	39.94	31.9	45.17

資料來源: Radionerds.com無線電開放資料庫 <https://radionerds.com/index.php/AN~PRC-74> , SEP. 18, 2020]

三、本島訊號通聯狀況

台灣本島HF高頻無線電訊號通聯品質經測試，發射地點由台北市透過偶極天線架設通聯成效分析驗證結果(如表15)，在遠距離100至150公里以外地區能獲得較佳訊號品質，而位於北部週邊地區通訊品質均低於中南部，而離島地區相較本島無地形地障阻礙因此可獲得較佳通聯品質。

三、小結

本軍現行部隊普遍配發裝備為VRC-174無線電機，採用AT-1742偶極天線其特性設計構造簡易且架設迅速，天線長度換算($L=71.37/\text{頻率}$)僅需透過簡單計算方式就可適用於各種頻率，具有高度便利性，因此適用於變化快速的作戰環境，然而偶極天線缺點則是需具備較大幅員架設空間，空間不足將導致訊號無法完全輻射。

以台灣地區通聯品質為例，外離島地區因受地形阻隔因素小，通聯狀況相較本島良好，通信距離100公里以上地區，因受電離層傳播效應影響可獲得較好通聯品質，小於50公里地區距離越短通聯狀況越差，凸顯出本文所提「通信盲區」之效應。

表15 臺灣本島通聯狀況訊號品質分析表

排名	地區	距離(公里)	無線電通達率(%)			
			9 月份	10 月份	11 月份	平均值
1	馬祖	190	78.38	81.58	91.89	83.95
2	金門	320	62.16	89.47	78.38	76.67
3	台南	260	69.7	78.95	78.38	75.67667
4	花蓮	110	58.82	89.47	78.38	75.55667
5	台中	115	45.71	92.11	86.49	74.77
6	東引	185	51.35	86.84	70.27	69.48667
7	高雄	260	64.52	71.05	70.27	68.61333
8	澎湖	250	67.57	86.84	61.11	71.84
9	中壢	30	55.56	57.89	62.16	58.53667
10	台東	250	46.15	35.71	78.57	53.47667
11	宜蘭	40	23.08	35.71	21.43	26.74
12	淡水	17	23.08	14.29	35.71	24.36

資料來源:作者自繪

結論與建議

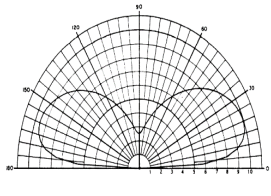
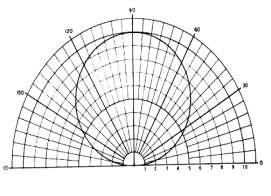
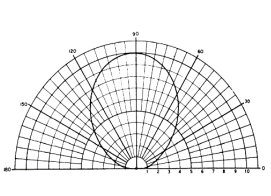
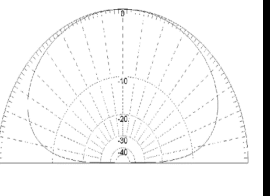
在面對現代戰場態勢變化快速，無線電通聯訊息傳遞速度成為決定戰場存亡關鍵因素。當前高頻無線電通信主要用於結合莫爾斯電碼實施空中火力支援申請作業，此過程需迅速且確實傳遞訊息以達作戰任務之首要。臺灣本島地理環境南北狹長約398公里、東西橫寬144公里，地形多山區丘嶺對高頻無線電通聯而言充滿挑戰性，因地形複雜所造成高頻無線電特有的「通信死區」訊號傳播障礙。高頻無線電通信所使用頻率參數也影響了天波反射效能，由頻率與電離層穿透反射關係表得知頻率越高穿透效能越佳，當頻率高於25MHz時，絕大部份訊號將會穿透電離層造成訊號傳遞不良，透過天波反射最為適當之頻率選定範圍落在3-9MHz，該區間主要需透過電離層中F層通道產生反射將訊號達到訊號傳輸之目的，現今通信部隊所配發天線為AT-1742天線偶極天線，為求架設時效主要以倒V型架設方式輔以水平及斜偶極架設方式實施，且架設高度無法達「理想天線架設高度對照表」所列之標準，易造成訊號輻射效能不完全，導致短距離通聯成效不佳情事發生。

一、運用NVIS天線特性改善通聯品質

當前科技日新月異，無線電天線技術已發展成熟，T2FD帶寬天線優點能囊括較大頻率範圍無需反覆隨頻率調整天線長度，相較於傳統偶極天線需對應無線電所使用之頻率，改變天線長度才可實施通聯作業，帶寬天線運用營區於固定式通信電臺更可降低天線反覆架設所造成裝備損壞，

減低人員於高樓架設衍生作業風險；美軍所使用AS-2259天線屬NVIS野戰架設天線，同樣具備可靠通信品質及滿足快速架設時效，符合本軍部隊訓練架設所需，使訊號傳遞採近似垂直投射傳遞方法，能有效改善短距離傳輸不佳狀況。上述兩項裝備若能透過現貨市場商品，滿足部隊作戰訓練運用之所需，將可降低裝備研發成本，進而改善本軍高頻無線電通聯成效。

表16 高頻無線電天線差異比較表

品名	AT-1742	AS-2259	T2FD	SLOPER 天線
頻率	2-30MHz			7-21 MHz
功率	1000 瓦	1000 瓦	150 瓦	1000 瓦
長度	5~70 米		25 米	5~70 米
重量	2 公斤	6.6 公斤	3.1 公斤	
價格	3 千元	不明	1.5 萬元	數百萬元
適用範圍	野戰架設	野戰架設	固定電臺	固定電臺
架設速度	最快	快	慢	最慢
輻射方向				

資料來源:作者自繪

二、掌握電磁頻譜提升通聯成效

電磁頻譜管理及規劃更是位居關鍵的角色，嚴重影響作戰的成敗因素，故頻譜管理運作是現代戰爭中一重要環節，本軍的頻率運用是由國防部集中統一管制運用，特別在HF高頻無線電頻率規劃使用上具備非常重要的因素，HF頻帶並非專規劃為軍用所設計規劃，在此範圍內使用者計有航空、船舶、業餘及各國廣播通訊電臺等各種單位使用，通聯模式大多為非加密訊號，需透過人工加密及莫爾斯電碼發送才能傳遞，若要滿足3-9MHz頻率範圍實施通聯，將會增加頻率規劃上困難度，因此在有限的頻率下能達成通聯，更需要完善頻率規劃及良好天線傳輸系統的配合。

三、改善本軍現有通信裝備架設方法

本軍現行高頻無線電使用裝備為AT-1742偶極天線，設計結構簡易於戰場中能快速架設使通信

構聯及迅速撤收轉換戰術位置，因天線訊號輻射角度較低，適合用於遠距離通信，遇地形複雜且通信距離較短的環境，易造成所謂「通信死區」。

通信部隊於電臺開設時，可多加利用理想天線架設高度對照表適度調整架設高度，依照不同頻率所對應天線架設高度約4至8公尺，使天線提升訊號接收度及升高訊號輻射角度，能適當改善通信訊號接收效能及通聯品質；若環境架設不允許天線高架狀況時，就必需搭配具NVIS特性的天線改變訊號投射角度，以達成短距離通聯之目的滿足作戰所需。

參考文獻

- 一、〈短波〉《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%9F%AD%E6%B3%A2>，SEP. 18, 2020
- 二、國立中央大學太空科學與工程學系 楊雅惠，〈電離層的電波傳播〉，<http://www.ss.ncu.edu.tw/yhyang/103-2/si/Notes-20150618.pdf>，SEP. 18, 2020。
- 三、〈地球磁場〉《每日頭條》，<https://kknews.cc/zh-hk/science/pvm4r88.html>，SEP. 18, 2020。
- 四、輔仁大學，〈太空物理學-第四章地球的大氣層與電離層〉，<https://irsl.ss.ncu.edu.tw/media/course/106%E5%B9%B4%E7%AC%AC2%E5%AD%B8%E6%9C%9F%E8%BC%94%E4%BB%81%E5%A4%A7%E5%AD%B8%E5%A4%AA%E7%A9%BA%E7%89%A9%E7%90%86/%E7%AC%AC4%E7%AB%A0-%E5%9C%B0%E7%90%83%E7%9A%84%E5%A4%A7%E6%B0%A3%E5%B1%A4%E8%88%87%E9%9B%BB%E9%9B%A2%E5%B1%A4.pdf>，SEP. 18, 2020。
- 五、〈電離層〉《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E7%A6%BB%E5%B1%82>，SEP. 18, 2020。
- 六、DEPARTMENT OF THE ARMY, ANTENNAS AND RADIO PROPAGATION (Place of publication : United States Government Printing Office,1953Year)。
- 七、〈水平偶極天線的有效架設方法〉《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/01/01096.htm>，SEP. 18, 2020。
- 八、劉佳琪，《實用天線手冊》，第五版（出版地：北京:電子工業出版社，民國/西元2016年月）
- 九、CQ現代通信，〈業餘無線電中常見8種天線形式〉《現代通信，中國火腿自己的雜誌》，<https://kknews.cc/zh-tw/tech/ro6qx.html>，SEP. 18, 2020。
- 十、〈八木天線單一指向的原理〉《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/44/44058.htm>，SEP.18, 2020。
- 十一、〈PAUL's BASICS:幾乎垂直入射天波NVIS的應用技巧〉《CQ業餘無線電》，<https://www.qsl.net/bv3fg/cqm/44/44096.htm>，SEP. 18, 2020。
- 十二、〈Covert Communications〉《Survivalist Boards》，<https://www.survivalistboards.com/showthread.php?t=273848&styleid=10>，SEP. 18, 2020。



- 十三、HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY, ANTENNA AS-2259/GR (Place of publication : United States Government Printing Office, 1986 Year)。
- 十四、Peter Miles, 〈40/15M BAND SLOPER〉《Amateur Radio Station》, https://vk6ysf.com/40m_sloper.htm, SEP. 18, 2020。
- 十五、〈T2FD, HF DIPOLE ANTENNA〉《Diamond Antenna》, http://www.korpi.biz/T2FD_NVIS.pdf, SEP. 18, 2020。
- 十六、〈T2FD, Terminated & Twisted Folded Dipole, NVIS〉《Korpi》, http://www.korpi.biz/T2FD_NVIS.pdf, SEP. 18, 2020。
- 十七、Radionerds.com無線電開放資料庫 <https://radionerds.com/index.php/AN~PRC-74>, SEP. 18, 2020

作者簡介

林聖庭上尉：專業軍官班104年班。經歷：排長、通信官；現任陸軍通信電子資訊中心訓練通信電戰組教官。