

氣象折射對雷達作業之影響

卓 莊 裕

Weather Refraction Effects on Radar Operations

一、前言

雷達對目標物的搜索，往往因受大氣之超折射作用，有使其水平涵蓋擴展，而產生雷達孔之現象，甚至有吾人肉眼能見的目標物，在雷達幕上反不能顯示出之現象，故其對航空管制及防空之影響甚大。據此本文僅簡介產生雷達孔的原因以及氣象人員與雷達人員所應熟知大氣影響雷達折射之情況及彌補因天氣而造成「雷達孔」之缺陷。

二、影響雷達涵蓋之因素

1. 裝備維護：假定雷達發射機的發射效能或接收機的靈敏度，由於維護不良而低於標準時，則雷達涵蓋必然受到影響。

2. 操作：目標物之所以能在雷達幕上顯示，一方面是由於雷達本身的性能，但另一方面是賴於人員之適當操作，故操作是否適當雷達涵蓋也會受到影響。

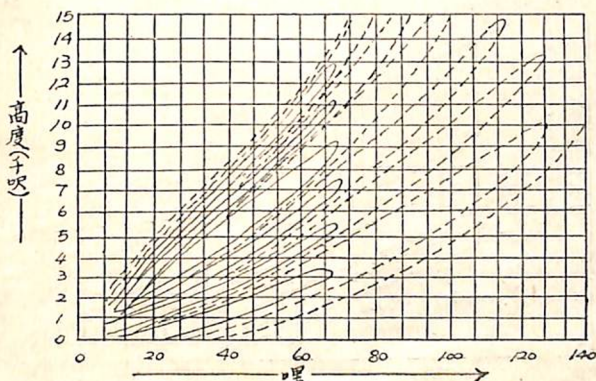
3. 週率：雷達波的週率愈大其所受氣象的影響亦愈顯著，如果空氣有成層厚度現象，用該層中的波長行進來表示，其所得的數值愈大，則顯著的折射愈可能發生。

4. 地面反射：（討論於後）。

5. 大氣折射：（討論於後）。

三、地面反射

（如圖一）從雷達發射出來的電磁波碰到地面或海面，就會產生反射作用，這種作用即能造成雷達波

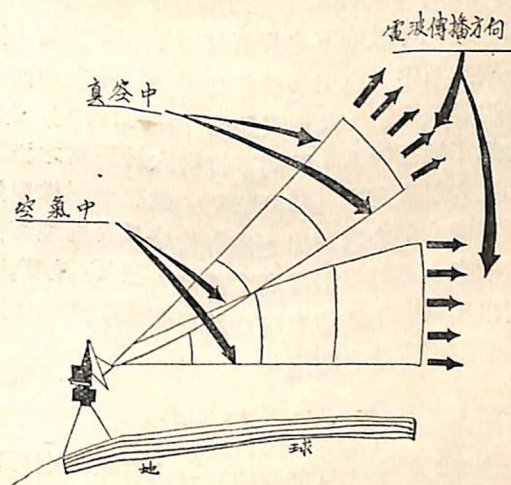


圖一 地面反射

的下列二種變形(一)在反射回去的電磁波與發射機發射出來的電波相位一致的部份，則增加了電波的能量。(二)在反射回去的電波與發射機發射出來的電波相位相反的部份，則減弱了電波能量，由於上述二種變形致使雷達偵察範圍增大與縮小間產生變動因而造成雷達幕上目標物時隱時顯的現象。但這種反射作用係由微弱的雷達天線邊葉所造成，欲消除這種障礙，可以調整時間控制器的靈敏度或增加雷達天線傾度。

四、大氣折射

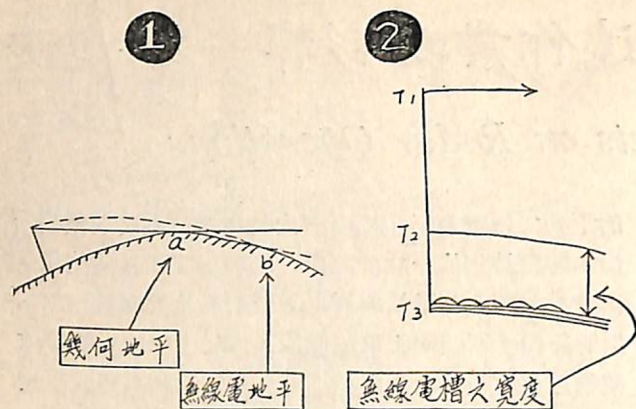
1. 大氣折射作用（如圖二）電磁波在真空中行進時，其所行路徑的上下邊緣，沒有速度上的差別，且



圖二 大氣折射作用

其傳播方向也和波鋒相垂直，但當雷達電磁波在空氣中行進時，由於高層空氣之密度小於低層，因之電磁波在高層空氣中之行進速度亦大於低層，故使電波呈彎曲型折射現象。

2. 折射強度（如圖三）由於大氣並非均勻一致，雷達波穿過折射性質不同之連續層次時，其路徑當屬曲線，而非直線，其彎曲程度與光波之彎曲度相同，Ta 射線係按一直線進行在 a 處與地球表面接觸，該處是為幾何地平，彎曲之射線 Tb 在幾何地平以外之 b 處觸及地面，是為無線電地平，在一標準或平均的大氣中射線曲度約當地球曲度之 $\frac{1}{4}$ ，因此無線電地平之延展約為幾何地平的 5%。



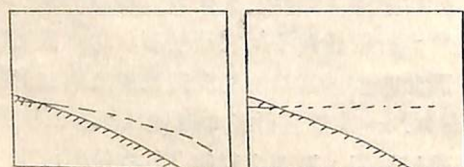
圖三 折射強度

由於新型雷達之迅速發展，所採用之波長亦隨之減短，使發現所用之波長愈短則「非光學」傳播的機會亦愈頻，有時觀測所得之地面目標物竟能超過計算應測得之距離若干倍，此種情況，經發現均與近地面各層之溫度、濕度隨高度而變化顯著之時機相偕，在此區域內無線電波向下之折射超過地球之曲度，因而陷入一層空氣中，由引導使其沿環繞地球之曲面傳播，其作用類似導波，此種現象即「槽化作用」，此種作用實為「超折射」，即向下折射大於正常之極端情況，如在大氣之高處（10,000呎）倘有一射線自無線電發射機向水平方向射出，僅能約略具有隨地面曲度之彎曲傾向，當該發射機高度甚低，在 T_2 及 T_3 間向水平射出，其向下彎曲竟能觸及地面因而產生連續之反射，而擴展雷達之測距。

五、折 射 率

1. 大氣折射率：（如圖四）一空氣質點之折射率 n 是指電磁波在真空中傳播之速度與大氣中傳播速度之比值，由於電波在真空中行進的速度大於空氣中行進的速度，因之折射率的數值也略大於一，為使該數值易於運用，故折射率係以 $N = (n-1) \times 10^6$ 表示之。

折射率 $B = (n-1) \times 10^6 + 0.012h$ (h 為高度) 是

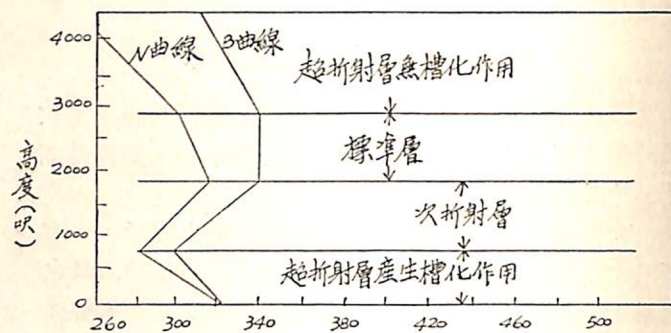


$N = (n-1) \times 10^6$ 真地球表示法
 $B = N + 0.012h$ 4/3地球修正法

圖四 大氣折射率

折射率 N 之修正，其目的為使反常之傳播情況更易於辨別，我們知道在一標準大氣（每千呎氣壓降低 35mb，溫度降低 2°C 水氣壓力降低 1mb）中高度每上升一呎折射率遞減 0.012 個單位，因此沿投影曲線加以 $-0.012h$ 之因子，則可使一標準大氣之投影，由曲線成為垂直線。

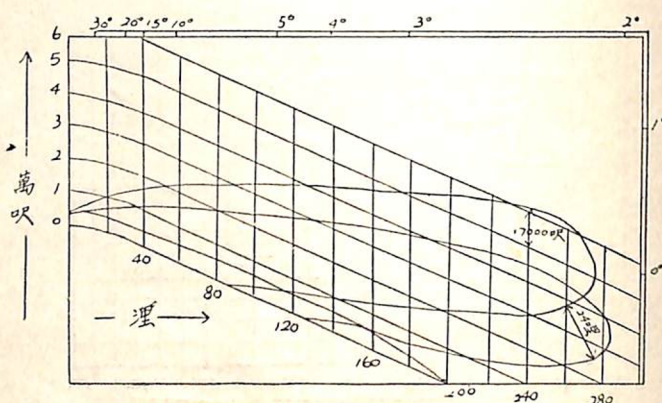
2. 折射情況（如圖五）在討論折射情況時，我們首先要知道大氣折射率 B 隨高度沒有變化亦即 $\frac{dB}{dh} = 0$ 該層稱之標準層，如果折射率 B 隨高度而增即 $\frac{dB}{dh} > 0$ 該層為次折射層，以上二者均不致發生陷波作用，如果折射率 B 隨高度而遞減 $\frac{dB}{dh} < 0$ ，則使



圖五：NS 投影之非標準折射情況圖

水平測距擴展，如果其遞減為 $\frac{dB}{dh} < -36/\text{千呎}$ 則該層可發生陷波作用，如圖所示近地面一層為超折射層，第二層為次折射層，第三層為標準層第四層是 $\frac{dB}{dh} > -36/\text{千呎}$ 的情況。

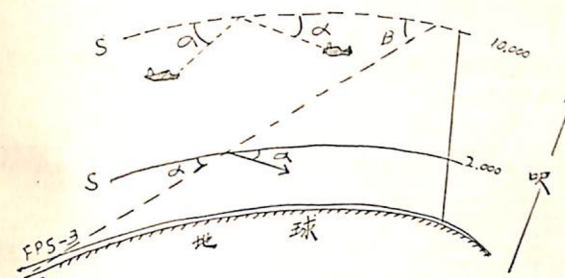
3. 水平測距與垂直涵蓋：（如圖六）為超折射（ $\frac{dB}{dh} < 0$ ）的情況時，可使水平測距擴展，而使垂直



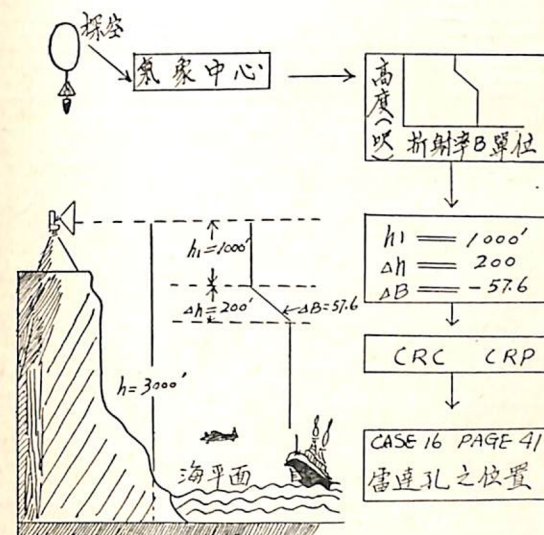
圖六 水平測距與垂直涵蓋

測距變低，乃因雷達發射出來的能量是一定的，如果水平方面的測距擴展，勢必減低垂直方面的測距。

4. 超折射層與高度之關係：（如圖七）所謂折射率，就地面雷達之性能而論，乃全為低層大氣之現象，在此處所映出之垂直面分為從地面至二千呎，二千



圖七 折射層與高度之關係



圖八 作業概況

呎至一萬呎，及一萬呎以上等三層， S 及 S' 層即所謂逆溫層，最左邊的一根 FPS-3 係雷達天線所發射出來的射線，該射線到達地面一點註以「a」，該「a」點即代表雷達水平，然後該雷達射線以一衡角，「 α 」穿過低層電槽或逆溫層，假若該射線能穿過而不反射回來，則將沿虛線至一萬呎高之面上，在該面上之衡角為「B」但由於地球曲面之故「B」角大於「 α 」角，簡言之，衡角是隨高度之增加而增大，如果該二層電槽或逆溫層之強度相同，則會使自地面天線發出之雷達射線，在低層起反射作用而高層無反射作用，這完全係雷達射線在低層之衡角小於高層之衡角，我們知道 FPS-3 雷達天線衡角通常是小於 1° ，如果小於 $1/2^\circ$ 就起反射作用，但該衡角的變小，完全寄於逆溫層的強度從此我們可以知道，在七千呎到八千呎高層大氣逆溫層之折射作用無需考慮，總括該點而言，折射層愈低影響電磁波的折射愈著。

六、作業概況

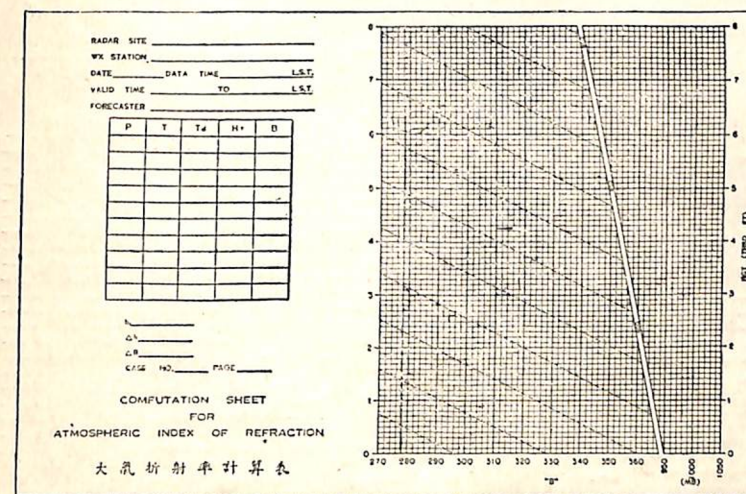
（如圖八）氣象單位先根據東港、馬公、桃園等三地探空測站所得溫度、濕度氣壓資料，算出自地面至八千呎各層次之折射率，並用大氣折射率計算表（如圖八之一）核算折射層之高度（ h_1 ），超折射層之厚度（ Δh ），及超折射層內折射率之變量（ ΔB ）三數值，供雷達單位雷達單位根據該三數值由雷達涵蓋目錄內查出雷達涵蓋種類號碼（Case No）及其頁數，並根據雷達涵蓋圖所顯示之圖形，查核雷達射線傳播之情況，作適當的處理（如查雷達孔的位置及寬度和決定如何利用相互傳報方法或改變天線傾斜度等措施以補救雷達孔之缺陷）。此項作業由氣象單位與雷達單位分別完成之。

七、範 例

雷達涵蓋種類號碼（Case No）

a. 標準情況：如果 $h_1 \Delta h$ 及 ΔB 完全適合雷達涵蓋目錄內之某一雷達涵蓋種類號碼：如 $h_1 = 2000'$ $\Delta h = 50'$ $\Delta B = -19.4$ 則其雷達涵蓋種類號碼為「1」頁數為「23」（如圖九） $h_1 = 0'$ $\Delta h = 50'$ $\Delta B = 19.4$ ，則其雷達涵蓋種類號碼為「23」頁數為「51」。（如圖十）

b. 非標準情況：(1) 如果 $h_1 \Delta h$ 及 ΔB 未能在雷達涵蓋目錄內查得符合的雷達涵蓋種類號碼，則以選擇相近者：如 $h_1 = -480'$ $\Delta h = 40'$ $\Delta B = -2.05'$ 則其相近者之雷達涵蓋種類號碼為「34」在「65」頁，（如圖十一）



圖八之一

因爲該雷達涵蓋種類號碼 (34) 之 $h_1 = -500'$ $\Delta h = 50'$ $\Delta B = -19.4$ 比較相近, (2) 可視情況, 用內插法, 求得雷達孔之位置與寬度: 如 $h_1 = 1250'$ $\Delta h = 200'$ $\Delta B = -40$ 該情形較 Case No「15」(如圖十二) 之 h_1 (1000') 高 250', ΔB (13.7) 相差 -2.4。但較 Case No「4」(如圖十三) 之 h_1 (2000') 低 750', ΔB -37.6 相差 -2.4, 從上述情形, B 值相差極小, 可以略而不計, 而其寬度相差頗大, 可影響雷達孔之位置與寬度因而我們可運用上述高度 h_1 之差值, 以內插法, 求得雷達孔之位置與寬度如后。

雷達孔之起點 雷達孔之寬度
在發射機以上 10,000 呎

Case	15	168 哩	50 哩
Case	4	191 哩	55 哩
內差值		174 哩	57 哩

在發射機以上 20,000 呎

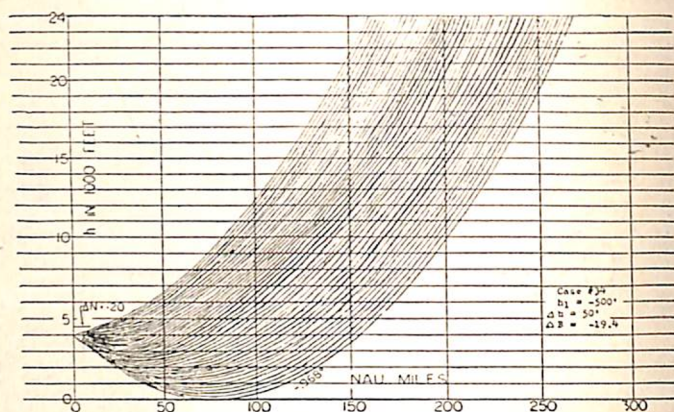
Case	15	218 哩	56 哩
Case	4	240 哩	52 哩
內差值		224 哩	55 哩

c. 特殊情況: 假定有極特殊之 $h_1 \Delta h$ 及 ΔB , 以致無法查出較適當之涵蓋種類號碼時, 則應據根 Δh 及 ΔB 資料之比值, 以決定雷達涵蓋是否正常。如果 $\frac{dB}{dh} = 0$ 則表示折射率隨高度沒有變化雷達涵蓋正常, 如果 $\frac{dB}{dh} > 0$ 則表示折射率隨高度而增雷達水平涵

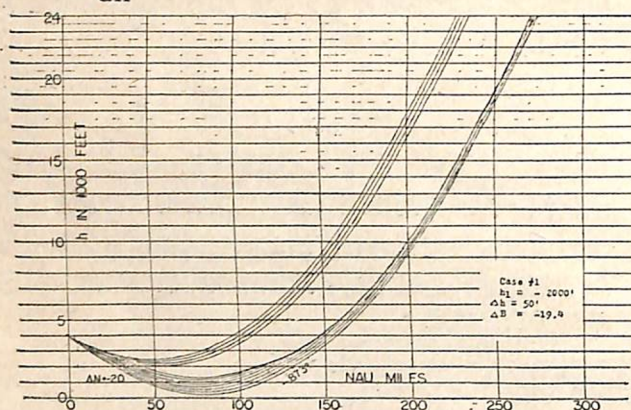
蓋較正常縮短, 如果 $\frac{dB}{dh} < 0$ 則表示雷達水平涵蓋擴展, 如果 $\frac{dB}{dh} < -36$ 千呎則表示有陷波作用產生。

八、結 論

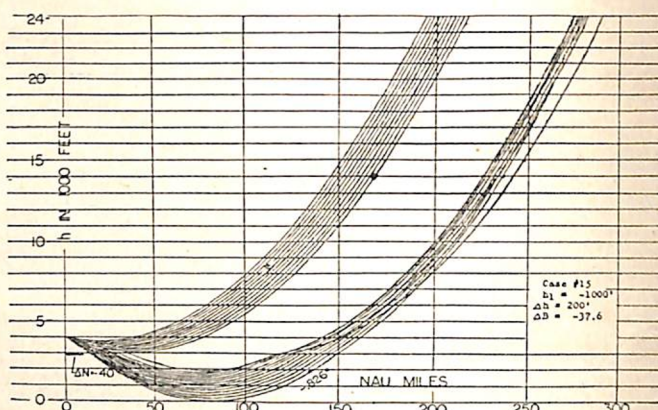
影響雷達涵蓋的因素很多; 諸如地面的反射, 及對雷達機的維護, 操作是否良好適當等均是, 而氣象效應影響雷達涵蓋僅爲其中重要因素之一, 影響關係仍有待我們氣象及雷達人員通力合作, 繼續研究探討, 謀求更進一步的發展。



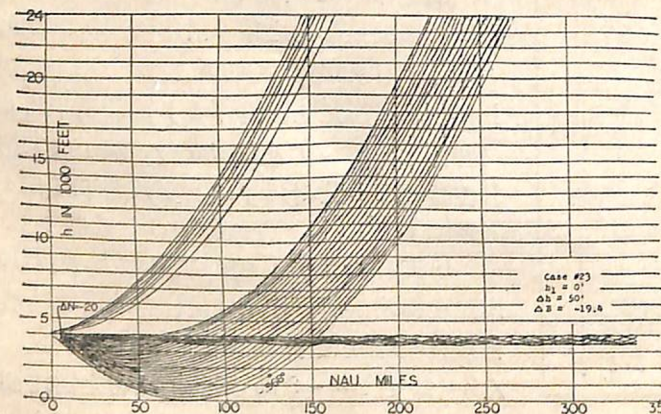
圖十一 涵蓋種類號碼非標準情況(圖A)



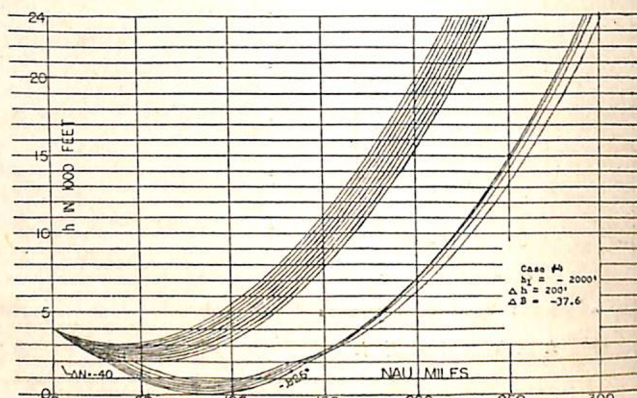
圖九 涵蓋種類號碼標準情況(圖A)



圖十二 涵蓋種類號碼非標準情況(圖B)



圖十 涵蓋種類號碼標準情況(圖B)



圖十三 涵蓋種類號碼非標準情況(圖C)