

# 認識都卜勒氣象雷達 基本原理與性能

楊健生

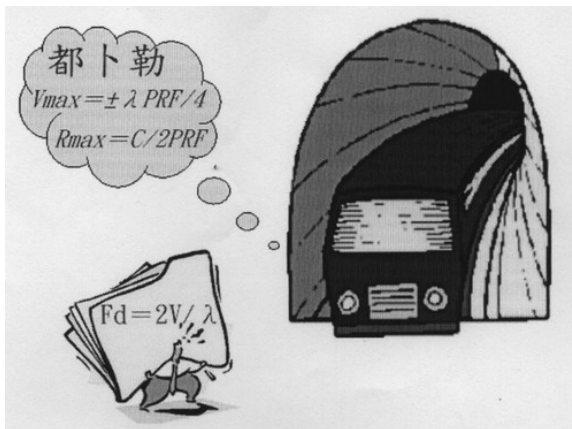
## 都卜勒氣象雷達演繹與發展

都卜勒氣象雷達在二次世界大戰後，經過將近三十年的研究與發展，而在 1980 年代末期終於進入實際作業階段，實際上都卜勒氣象雷達係由傳統氣象雷達所演變而來，都卜勒氣象雷達功能除了能偵測降水回波強度外、並可偵測雷達掃瞄範圍內的徑向風速分佈及亂流場。而早在 1960 年代即發現都卜勒效應原理可應用於氣象雷達偵測，但實際著手研究發展利用都卜勒氣象雷達用以取代原有傳統氣象雷達則是二十世紀末期的事，例如美國所屬聯邦航空總署 FAA 則大力推動發展之第二代氣象雷達(NEXRAD)計劃，以期於在二十世紀結束前全面取代目前全美國內各機場及海外各地之傳統氣象雷達，此外歐洲各國亦莫不如此，且已先有商用都卜勒氣象雷達產品問世。

交通部民用航空局飛航服務總台為確保飛航安全與加強台灣北部各民航機場危害天氣偵測守視、以及提高氣象服務品質，特於民國七十六年自北歐瑞典引進全亞洲首座作業用 C 波段都卜勒氣象雷達，並設立於中正國際機場，使國內開闢此下一代氣象雷達應用新紀元，此新一代都卜勒氣象雷達引進，以其具有之潛在能力，使得對即時天氣預報及預警技術產生極大震撼與更新，更進而對飛航安全及國家人民生命財產因劇烈天氣影響而降至最低。

## 都卜勒效應(Doppler Effect)

要了解都卜勒氣象雷達首先須知道何謂『都卜勒效應』，於一般基礎物理學中討論聲波時曾提出一都卜勒效應，而此效應則源於奧地利人都卜勒(Christian Johann Doppler, 1803-1853)，在其 1842 年論文中曾提及物體和觀測者的相對運動；即當聽者向靜止聲源運動時或是一個發射聲波的波源如正在接近你時，你所聽到的聲音頻率會比靜止不動時所聽到的為高，反之，當聽者離開靜止聲源運動或一個發射聲波的波源如正在遠離你時，你所聽到的聲音頻率會比靜止不動時所聽到的為低，這就稱為『都卜勒效應』並普遍通用於波動。



而日常生活中較為明顯例子如火車汽笛聲，其音調在接近聽者時會比在其經過後離開時為高，因當火車靠近時其笛音會變高此乃因聲波被壓縮之故，當火車遠離時笛音

變低此因為聲波被拉長，此即都卜勒效應。因此可知當聲源向靜止的觀測者運動時，其效應是波長的減短，因前方的波由於聲源的運動而被壓縮，使得觀測者所聽到的聲音頻率增加；而當聲源離開觀測者則所發出的波長比原來大，因遠離時則波前間的距離增加了，所以觀測者所聽到的聲音頻率較小。而都卜勒氣象雷達即是利用此原理當雷達波束發射後碰到一正在移動的目標，波束反射再回到發

射處時，利用頻率發生的改變則可推算出目標物相對於雷達的移動速度。

## 都卜勒氣象雷達原理

當我們了解了什麼是都卜勒效應後，進而我們再來看看都卜勒氣象雷達是如何利用上述原理以及雷達方程式來偵測天氣系統，由上討論都卜勒效應中，我們可知道其實都卜勒氣象雷達原理，係應用雷達所發射電磁波頻率與接收電磁波頻率之差來推算目標物移動的速度。然都卜勒氣象雷達所產生的頻率差  $f_D$  (Doppler Frequency Shift) 和目標物移動之徑向速度  $v$  關係，可由  $f_D = 2v/\lambda$  方程導算而得，而其中  $\lambda$  為雷達波長 (WaveLength)。由於上述關係為假設回波只遇到一個目標物，如單一雨滴，然而實際上雷達波束解析有脈波寬 (Pulse Width) 與波束寬 (BeamWidth)，所以每一個脈波反射回來時是代表一個脈波體積 (Pulse Volume) 內，所有目標物總和起來的整體特性，而又可稱之此體積為解析體積 (Resolution Volume)，在此體積內的目標物 (如水滴) 有不同的大小、形狀及速度，因此前後二個脈波所偵測到的解析體積特性就會有所不同，而我們取一整串回波脈動資料構成一時間序列並將此序列作波譜分析，如富氏轉換分析 (Fast Fourier Transform) 即可得到都卜勒波譜 (Doppler Spectrum)，而此種利用發射與接收訊號的頻率相位變化關係特性，用以測量或識別移動目標物雷達，則又稱同調雷達 (Coherent Radar)，在氣象上用以測量高空風之超高頻 (UHF) 雷達亦屬於同調雷達，此類型雷達除了可偵測目標物的反射訊號外，並還具有測量目標物的徑向移動速

度功能，然而此類型雷達發射與接收軟、硬體構造皆比非同調雷達 (InCoherent Radar) 複雜許多，因此相對造價亦較昂貴。

## 雷達波長 WAVE LENGTH

由於雷達訊號傳遞是以電磁波形式發射與接收，然電磁波因波長之不同而可分為下列各波段：

$10^3\text{m}$	$10^2\text{m}$	$10\text{m}$	$1\text{m}$	$10^{-1}\text{m}$	$10^{-3}\text{m}$	$10^{-6}\text{m}$	$10^{-7}\text{m}$
Radio	VHF	UHF	Micro Wave	~	Vis		

氣象雷達所採用的電磁波波段 BAND 則位於 Micro Wave 波段中，即波長在  $10^{-1}\text{m}$  至  $10^{-3}\text{m}$  間，此外一般氣象雷達依波長不同又可分為下列數種：

波段 BAND	波長範圍(cm)	頻率範圍(GHz)
K 【 1cm】	0.7cm~2.5cm	12~40 30000MHz
X 【 3cm】	2.5cm~3.8cm	8~12 10000MHz
C 【 5cm】	3.8cm~7.5cm	4~8 6000MHz

S 【10cm】	7.5cm~15cm	2~4	3000MHz
L 【20cm】	>15cm	<2	1500MHz
【註】 1GHz=1000MHz			

通常波長較長氣象雷達偵測範圍較遠，電磁波衰減現象較小，但 Ground Clutter 之抑制功能則較差；而波長較短之氣象雷達偵測範圍較小、電磁波衰減現象較大，但 Ground Clutter 之抑制功能則較好。

### 脈波寬 PULSE WIDTH 或脈波長度 PULSE LENGTH

用以決定所能取樣大小此亦為解析空間，由於脈波長度增加，其信號強度亦隨之增加，因此較長脈波長度能偵測較弱與較遠目標物，唯對目標物解析度(RESOLUTION)較差，例如雷達取樣速率(Sampling Rate)為 1.8MHz，則其脈波長度 =  $1/1.8\text{MHz}$  即為 0.55  $\mu\text{sec}$  微秒，進而可利用雷達基本公式  $C \cdot t/2$  推算出該雷達取樣間距(RANGE BIN)為 83.3 公尺，其中 C 為光速。

### 往復脈頻 PRF

PRF(PULSE REPETITION FREQUENCY)為指單位時間內所發射的脈波數量，如 PRF=1200Hz 則是指每 1/1200 秒發射一組脈波，而由雷達基本方程

$$V_{\max} = \pm PRF/4$$

$$R_{\max} = C/2PRF$$

可知，PRF 主要與雷達最大可測距離  $R_{\max}$  及最大可測未折返速度 (UNAMBIGUOUS VELOCITY) $V_{\max}$  有關，因此當都卜勒氣象雷達選定波長 及 PRF 後其可測距離與速度即被限定；此外如偵測之目標物的距離、速度超出可測範圍則可會產生折返(FOLDING)與二次回波(SECOND TRIP ECHO)現象。

然由於 PRF 與  $V_{\max}$  成正比關係但卻與  $R_{\max}$  成反比，此即當增加 PRF 時可增加最大可測未折返風速，但相對會減短雷達最大可測距離，但如採雙脈波往復頻率(DUAL PRF)則可提高最大未折返風速可測範圍。例如波長 為 5.3cm 雷達，以 1200Hz 為 HIGH PRF 並且採 4:3 比值，此即 LOW PRF 為 900Hz，而所採用之 DUAL PRF 分別為 1200Hz 與 900Hz，因此可由基本公式  $V_{\max} = \pm PRF/4$  中，可算出  $V_{\text{HIGH}} = 16\text{m/s}$ 、 $V_{\text{LOW}} = 12\text{m/s}$ ，故可由  $4V_{\text{LOW}} = 3V_{\text{HIGH}}$  得出可測最大未折返風速值為  $\pm 48\text{m/s}$ ，而其最大可測距離則可由  $R_{\max} = C/2PRF$  公式導出為 125Km。

### 氣象雷達解析(RADAR RESOLUTION)

其可分為距離解析(RANGE RESOLUTION)與方位解析或波束解析(AZIMUTH or BEAM RESOLUTION)兩種，所謂距離解析乃指『於同一方向、不同距離』相鄰數個目標物，能分別顯示之能力，此與脈波長度有關，脈波長度越窄則距離解析能力越佳，因當同一方向兩目標物間的距離大於脈波長度時，則雷達幕能分別顯示兩目標物之回波，若兩目標間距離小於脈波長度則只能顯示一目標物回

波；而方位解析為指『同一距離、不同方向』相鄰數個目標物，能分別顯示之能力，此與雷達天線波束寬度(RADAR BEAM)有關，波束寬度越窄則方位解析能力越佳，且波束寬度與距離成正比，即當雷達天線位置距目標物越遠則波束會越寬、方位解析能力減低，所以目標距天線位置之不同其方位解析亦不同，目標物間之離大於等於波束寬度時，方具有方位解析能力。

## 回顧與練習

下表為某雷達部份規格，由表中可否初步瞭解該雷達性能，

PEAK POWER	Minimum 250 kW、 Typical 350kW
FREQUENCY	5.6~5.65GHz
WAVE LENGTH	5.3cm
PULSE WIDTH	0.6、 0.8、 2.0 μ sec
PRF	250Hz~1666Hz
PRF RADIO	3 : 2、 4 : 3、 5 : 4
BEAM WIDTH	0.89 °

如：此都卜勒雷達屬於何波段(波長)氣象雷達？

該雷達最小取樣間距(RANGE BIN)為何？

最大可測距離為多少？

最大可測未折返(UNAMBIGUOUS VELOCITY)風速？

【解答請參 86 頁】

---

作者為中正航空氣象台雷達席預報員