

都卜勒雷達

著者／林若嵐、蔡佳蓉、陳禹廷、陳楷賢

海軍官校正期100年班學生

- 一、介紹都卜勒效應，以作為其他應用的基礎理論。
- 二、介紹都卜勒雷達的工作原理，使對都卜勒雷達有基本的認識。
- 三、從氣象雷達、測速雷達及配合科技日新月異的特點，介紹較新科技，來探討都卜勒效應之應用。

壹、前言

我們都有這樣的經驗，當你被平交道的欄杆阻擋的時候，如果注意聽火車的汽笛聲，你會發現火車自遠方來時笛聲悠揚，離你而去時則低鳴如訴，到底是為什麼呢？這種效應就是所謂的都卜勒效應。

都卜勒效應在醫療、光學…等方面廣泛應用，而都卜勒雷達，正是都卜勒效應應用裡最廣為人知的部份，都卜勒雷達在現今有其一定的運用及重要性，因此我們對此類型雷達應有基本的了解。再者，隨著電子科技的快速發展，都卜勒雷達的內涵和研究內容都在不斷地拓展，其發展有越來越精密的趨勢，對其了解更應有同步的認識。本文將以深入淺出的方式，從都卜勒效應的角度去探討在氣象、測速、軍事上的雷達應用。

貳、原理

一、雷達

1. 簡介

雷達（RADAR）這個名稱是英文 Radio Detection and Ranging（無線電偵測和定距）的縮寫。雷達為利

用電磁波以偵搜目標之有無，測定目標位置、速度和有關參數的電子設備。它將電磁能量以定向方式發射至空間之中，藉由接收空間內存在物體所反射之電波，根據不同形式的雷達可以計算出該物體之方向，高度及速度，並且可以探測物體的形狀，以地面為目標的雷達可以探測地面的精確形狀。

2. 雷達基本方程式

$$(1) V_{\max} = \pm \lambda PRF / 4$$

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

其中PRF(PULSE REPETITION FREQUENCY)為指單位時間內所發射的脈波的數量，並由方程式可知，PRF和雷達最大可測距離 $R_{\max}$ 及最大速度 $V_{\max}$ 有關。

二、都卜勒效應The Doppler Effect

都卜勒效應是波源和觀察者有相對運動時，觀察者接受到波的頻率與波源發出的頻率並不相同而產生的現象，也因此能夠廣泛用於偵測物體運動的路徑與速度。以下從聲波和光波兩者的角度來做解釋：

（一）聲波：

1. 定義

當聲源 (S) 與觀察者 (O) 間彼此有相對運動時，以致觀察者所聽到的頻率 (f) 與聲源所發出的原始頻率 (f₀) 有所不同，稱之為都卜勒效應。

2. 公式：

都卜勒效應僅發生在 S 與 O 連心線 上有相對運動時才會產生，若 S 與 O 相對靠近時，頻率變高；S 與 O 相對遠離時，頻率變低。

(1) S 靠近或遠離

$$\lambda = \lambda_0 \mp v_s T \quad ; \quad f = \frac{v}{v \mp v_s} f_0 \quad \begin{array}{l} \text{靠近時帶(-)} \\ \text{遠離時帶(+)} \end{array}$$

(2) O 靠近或遠離

$$\lambda = \lambda_0 \quad ; \quad f = \frac{v \pm v_o}{v} f_0 \quad \begin{array}{l} \text{靠近時帶(+)} \\ \text{遠離時帶(-)} \end{array}$$

總結：

$$\Rightarrow \quad f = \frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} f_0$$

二、光波(無線電波)：

(一) 定義

光是一種典型波源，當觀察者接近光源時，觀察者收到的光波頻率較光源實際發出的光波頻率高，反之遠離時，頻率則減低，此現象即為都卜勒效應。

(二) 公式：

都卜勒效應改變的頻率大小 $\Delta \lambda$ ，與光源頻率 λ 、電磁波傳播沿觀察者觀測方向的速度 v_r 成正比。(式中 c 為光速)

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c} \quad \text{或} \quad v_r = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} c$$

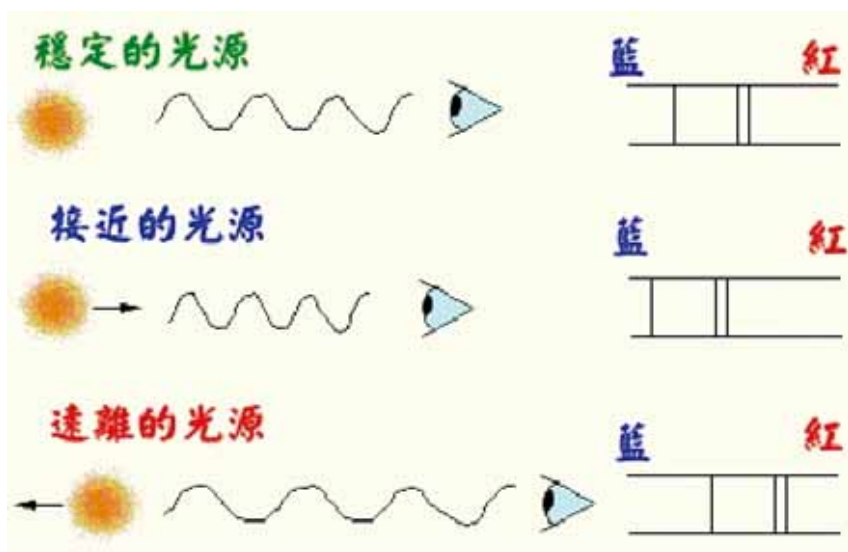
(1) 波傳播沿觀察者觀測方向的速度 v_r 為正值，表示光源正在遠離觀測者。

(2) 波傳播沿觀察者觀測方向的速度 v_r 為負值，表示光源正在靠近觀測者。

(三) 都卜勒雷達

從上分別介紹雷達、及都卜勒效應後，大略就可以知道是都卜勒雷達，簡言之，都卜勒雷達就是應用了都卜勒效應所製造的雷達系統，能夠即時反應出目標的位置，速度，路徑。此外，還可以藉由軟硬體的设计，將偵測目標的範圍縮小，基於這些功能讓都卜勒雷達在我國軍方用途廣泛。

另外，都卜勒雷達有另兩個缺點：第一，由於都卜勒效應為運用相對運動來偵測。當目標的移動速度為 0 時，都卜勒雷達就無法偵測。第二，都卜勒雷達不能用於偵測固定目標，類似直昇機或是垂直起降機定於空中不動時，都卜勒雷達就偵測不到。而目標速度低於設定範圍時，訊號會被濾去。此時就需要其他手段來輔助。所以都卜勒雷達主要用於防空、氣象、空中預警等目標會移動的情況，因此，我們下面所提到的應用，都是基於我們現在所提及的。



圖片來源:恆星特徵 陳輝樺

參、應用

一、都卜勒氣象雷達

(一)都卜勒氣象雷達原理:

此雷達是應用其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。我們設兩者頻率差為其中 f_D (Doppler Frequency Shift)、目標物移動的徑向速度 v 、 L 為雷達波長(WaveLength)。

$$f_D = 2v/L$$

由於上述關係,假設雷達發射波只遇到一個目標物(如單一雨滴)即反射回來,此回波成一波束,而波束實際上在雷達上解析分為脈波寬(Pulse Width)與波束寬

(BeamWidth)。並藉由這樣的收發波方式來,來偵測風向、大氣中的水氣…等,進而發揮廣泛的功用

二、影響都卜勒氣象雷達的因素

(一)雷達波長 WAVE LENGTH

都卜勒氣象雷達所採用的電磁波波段是位於Micro Wave 波段²中(波長在10-1m至10-3m 間)。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,反之波長較短之氣象雷達偵測範圍較小、電磁波衰減現象較大。

(二)脈波寬 PULSE WIDTH或脈波長度PULSE LENGTH

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。

(三) 往復脈頻 PRF

由先前的雷達基本方程來看，當都卜勒氣象雷達選定波長 λ 及 PRF 後其可測距離與速度就限定；此外如果偵測的目標物距離、速度超出可測範圍則會產生折返與二次回波現象。

(四) 雷達解析 (RADAR RESOLUTION)

1. 距離解析 (RANGE RESOLUTION)

是指在「於同一方向、不同距離」相鄰數個目標物，能分別顯示之能力。這種解析能力受脈波長度影響，脈波長度越窄則距離解析能力越佳，解析度越佳則用此雷達螢幕所呈現的資料也就越完整。

2. 方位解析或波束解析 (AZIMUTH or BEAM RESOLUTION)

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。當目標物間之離大於等於波束寬度時，方具有方位解析能力。

三、功用

(一) 天氣系統垂直發展高度與強度

(二) 天氣系統移動方向與速度

(三) 測得雲滴的徑向速度 (即接近或遠離雷達天線方向的速度)

(四) 觀測颱風動向

四、都卜勒測速雷達

(一) 都卜勒測速雷達原理：

我國警方所使用的測速雷達也是以都卜勒效應為基礎所設計的都卜勒雷達，其測速方式是用其所偵測到發射出的無線電波，及反彈回來的無線電波兩者之間的頻率變化。然後，由這兩個不同頻率的差值，依特定的比例關係，而計算是該波所碰撞到物體的速度，即為所偵測的車速。

(二) 影響測速因素

要討論影響測速因素，其實就是在討論影響雷達波覆蓋範圍的因素，因為只要在雷達波的覆蓋範圍內幾乎可以測速。影響要素如下：

1. 雷達的功率：功率高的雷達，其雷達波的涵蓋範圍較廣且受到干擾的程度也較小。

2. 電波接收器的靈敏度：所謂「接收機靈敏度」，係雷達接收機在背景雜訊下仍可接收到最小的反射信號強度，通常以「分貝 (dB)」表示；換句話說，雷達接收機能處理愈微弱的信號，雷達的偵測能力就愈佳。

3. 天線：根據規定，天線頻率範圍為 10.525GHz 至 36GHz。

4. 欲偵測物體的體積大小：欲偵測的物體體積越大，雷達反射的面積就越大，就越有機會回波至雷達，故能偵測到的距離也越長。

5. 雷達與欲偵測物體的距離：距離越近偵測效果就越好。

6. 欲偵測物體與雷達天線的相對位置及角度：雷達置放的位置與車輛行經的路徑有一個角度，如果不平行

的話，則雷達所偵測到的速度將比實際上來的慢(即是取 $\cos$ 值)，所以若雷達要正常地發揮測速功能，該雷達必須與被測車輛同一路徑上。

五、測速地點選擇

基於上述影響測速種種因素，測速地點的選擇就和欲偵測物體的體積及欲偵測物體的距離有關，再者，雷達測速的基本原理就是藉由車輛所反射回來的電磁波來計算車速。因此，路段的大型路標、廣告板、金屬柵欄、防撞護欄等皆會影響雷達電波的反射，故理想的測速照相地點，應該位在空曠無阻礙且沒有大型反射物的道路上。

六、相位陣列雷達

(一) 相位陣列雷達原理

為什麼相位陣列雷達是都卜勒雷達的一種呢?簡單來說是利用大量個別控制的小型天線單元(又稱移相器，Phase Shifter³)排列成天線陣面，每個天線單元都有獨立的開關控制，藉此來控制各天線單元發射的時間，形成時間差，之後再經過混波器就能合成不同相位，最後經都卜勒放大顯示於顯示器上，使我們可知道目標的位置。所以相位陣列雷達基本上仍為都卜勒雷達，只是由相位陣列來操控天線的方向。

此外，因其任何一個天線都可收發雷達波，所以而鄰近的數個天線就如同一個雷達的功能。偵測時，選定其中一個區塊或數個區塊來進行單一目標或區域掃描，使整個雷達可同時對許多目標或區域進行掃描或追蹤，進而等同於多個雷達。

七、我國相位陣列雷達應用

目前我國海軍據所了解目前僅應用AN/SPS-48E此型雷達(如圖1)，此雷達為一個三度空間的遠程空中監視雷達，可配置於地面(固定站點和移動電話)和船上的應用。它如同其他種的相位陣列雷達一樣，可以在方位和仰角轉向提供平面位置和高度的空中目標信息。



圖1 為AN/SPS-48E



圖2 圖為AN/SPS-48E於基隆級之相關位置

如圖2所示，其裝置是在基隆級艦艇上使用，基座位置安裝在主桅，以升起面向艦艏的方式配置，目的是降低主桅杆所導致的電磁干擾，其在基隆級上所擔任的角色就是偵測及追蹤低空來襲的攻船飛彈，對我國防衛有其存在的價值。

肆、結論

綜觀上述即可知道，看似簡單的都卜勒效應，與功能實際雷達做結合，製成了更多樣且更方便的都卜勒雷達。與海軍更是密不可分，所提及的都卜勒氣象雷達在氣象的預測，是大氣海洋局不可或缺的裝備，更是海軍任務執行安全與否的關鍵之一；再者，相位陣列雷達是雷達隨科技日新月異、更加進步的一項事實，此項雷達早以在美國、法國、英國等國家廣泛使用，是一種具有優勢的雷達，此種類型的雷達，其原理也不外乎包含都卜勒效應，以上種種，就可知道都卜勒效應與都卜勒雷達的重要由此可知，因此，對此有基礎的認識是我們所必須具備的。

伍、參考資料

1. <http://blog.roodo.com/woodyizie/archives/13563.html>
2. 恆星特徵 陳輝樺 http://203.72.210.16/aeaa/courses/2006_courses/lec17.html
3. 都卜勒效應 [http://www.tnsh.tn.edu.tw/teach/phi/physicsteaching/phys-PDF/mark%20\(48\).PDF](http://www.tnsh.tn.edu.tw/teach/phi/physicsteaching/phys-PDF/mark%20(48).PDF)
4. 認識都卜勒氣象雷達—基本原理與性能 楊健生
5. 詹氏年鑑 AN/SPS-48E(United States), Naval/coastal surveillance and navigation radar 📡

- 1 徑向速度:因物體運動時,其速度的方向可分為其切線方向及垂直,方向,而垂直速度即是徑向速度。
- 2 電磁波因波長不同其波段可分區如圖(圖片來源:認識都卜勒氣象雷達—基本原理與性能 楊健生)



- 3 能夠對波的相位進行調整的一種裝置。