

淺談亂流—山岳波

陳俐如

一、亂流分類

亂流為影響飛航安全之天氣現象之一，成因複雜且預報困難。依其形成之原因可簡單歸為熱力亂流以及動力亂流兩大類。

(一)熱力亂流為熱力因素所造成，包含：

- 1 因地表加熱不均所造成垂直上升運動速度差異之亂流
- 2 因對流雲中垂直升降運動速度差異產生之亂流
- 3.雷雨系統伴隨之亂流，又可分為兩類，其一為雷雨系統內下沉氣流因水氣之再蒸發冷卻而向下加速形成下衝流，或下衝至地表水平面形成之陣風鋒面。其二為雷雨系統中雲內上升下降氣流及雲外冷暖氣流交替所形成之亂流，此項與對流雲中之亂流較為相似。
- 4 逆溫層之低空亂流，當逆溫層在地表形成時，因底層溫度低且風速小呈較穩定之狀態，而上層溫度高且風速強，便在其交界面形成亂流。

(二)動力亂流包含總類繁多，簡單分為

- 1 空氣流經不規則地表及障礙物所引起之亂流，山岳波便是氣流遇到巨大山脈障礙物而生成。鋒面對空氣流動而言亦是無形之界面，進而形成鋒面亂流；此外海陸風系統也具有類似之鋒面結構，亦會形成海陸風交替亂流。此因素形成亂流特性與障礙物粗糙度、風速、大氣穩定度有關。
- 2 由風切引起之亂流，主要是流體力學運動中只要有速度的不

同就會將能量轉換到較小尺度之運動，也就是產生較平均流尺度小之亂流渦旋。風切可分為風速的改變及風向的改變，噴流為一風速極大之系統，因此在噴流軸的兩側和上下方皆會有極強之風切，若是噴流條(jet streak)，則在其前後加減速區亦會有很強的水平風切。

影響飛安的亂流除上述之分類外，在實際飛航時，最害怕的是由強風切所引起、見不到對流雲的晴空亂流。晴空亂流在過去已有許多研究介紹，如「航空氣象」第八期林德恩撰寫之亂流與飛安對此課題有詳盡之介紹。以下部份就針對山岳波之特性做介紹，並提出一些有關之飛航建議。

二、山岳波特性

山岳波之定義為當強風過山後，在上風方向形成之背風波或渦旋。而依據其風速可分為以下四種流型：

- 1 風速在 10kt 以下為無明確亂流之平滑波型。
- 2 風速在 10 到 15kt 之間時，形成近乎駐留之停滯性波型。
- 3 風速在 16 到 20kt 之間時，形成波動型。
- 4 風速大於 20kt 或陣風強於 30kt 都會形成帶有翻滾之滾動型波型。

山岳波的結構特徵則可略分為山帽雲(Cap Cloud)、垂直往上傳遞之波動與破碎區 (Vertically-propagating Wave and Wave Breaking)、下波風(Downslope Winds)、水平翻滾渦旋及滾軸狀雲 (Horizontal Roll Vortices or Roter and Roter Clouds) 傳遞之山岳波及莢狀雲(Trapped Lee Waves and Lenticular Clouds)五點：

- 1 迎風波上升舉升在山頂形成之山帽雲。由山帽雲之強度可以推估山岳波的活躍性，一般山岳波波動愈強，山帽雲發展愈盛，但若是在水氣缺乏之狀態下，不一定或形成山帽雲(參考圖一)。
- 2 強風過山後因地型抬升形成波動，此波動往上垂直傳遞，在遇到對流層頂的時候破碎，形成亂流區。飛機在高空飛行時，有可能會碰到此往上傳之波動，亦有可能在波動破碎區附近遇到波動破碎產生之亂流而影響飛安。而這部份的波動和亂流不易預報且通常都沒有伴隨雲系，更加深其危險性(參考圖一、二)。
- 3 強風過山後順地形往下運動，若伴隨再蒸發冷卻順地形加速下衝。在某些極端案例中，此下衝風速可能達到山頂之二到三倍。此強風之環境會因強風切形成亂流，造成飛航之危險。此外亦可能在下流處形成流線跳躍區(Jump Region)，就如同陡峭河流會在進入平地瞬間往上跳躍一般(參考圖三)。
- 4 在流線跳躍區的下流因風速的劇烈改變通常會形成水平翻滾或滾轉渦旋(Horizontal Roll Vortices or Roter)，此部份亦為山岳波系統顯著之底層亂流之一。若是水氣充足便會形成滾軸狀雲，此時雲中伴隨有劇烈之亂流(參考圖三)。
- 5 在水平翻滾渦旋及滾軸狀雲上方是順風向傳遞之波動。主要是傳遞因強風切或是低穩定度下無法向上傳遞之剩餘能量。此波動主要在山脊數百英尺外，高度約在 25000feet 以下。而在波動的上升區，因舉升凝結而成雲，但在下沉區卻是蒸發，

進而形成莢狀雲(參考圖四)。

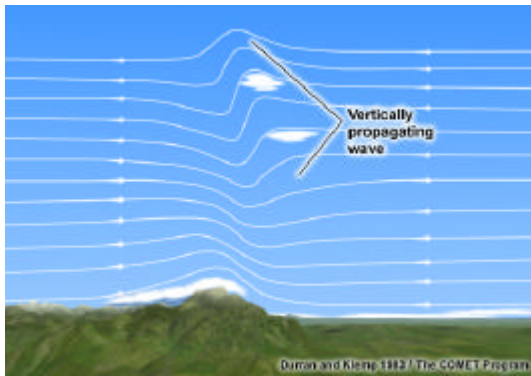
因此在山岳波系統中除了迎風波之降水外，可見到三道雲系如圖二，分別為山帽雲、滾軸狀雲、莢狀雲(參考圖五)。

在「航空氣象」第十八期劉昭民撰寫之綜論惡劣天氣預報中對臺灣地區之山岳波系統做一整理：冬季時，若東北風翻越中央山脈之風速大於 25kt，且風向與山脈走向夾角呈 50 度以上，則在中央山脈上方 4000 呎及背風面之空域發生中度亂流的機會高，且可延伸到下游 120 哩遠。夏季時，若西南風之風速大於 25kt，則山脈東側多山岳波。

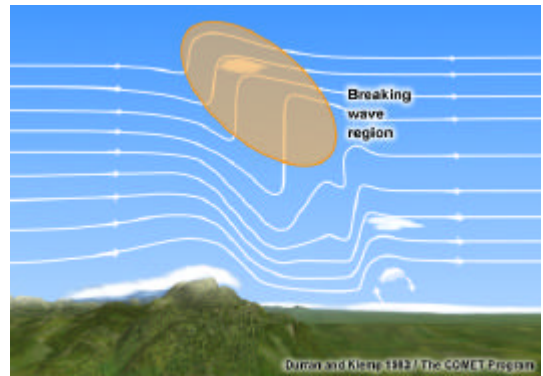
三、建議飛航策略

山岳波系統因範圍寬廣且當中亂流強度及分佈不一，對飛航有極大之影響，以下列舉幾項飛機對於此情況之應變措施(取自「晴空亂流」)：

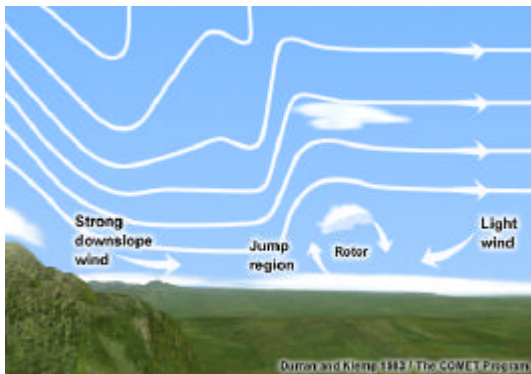
- 1 避開山帽雲、滾軸雲、莢狀雲，因雲中及其四周晴空皆有中度到強烈之亂流及升降氣流。
- 2 民航機飛行時需提升高度到距山頂三分之二的山脈高度以上，在此高度時，若遇到山岳波之下降氣流，方不至於失去高度。
- 3 以山脈走向之 45 度角穿越，勿垂直飛越，以方便在遇亂流及下降氣流時回轉。
- 4 注意氣壓高度表是否因背山低壓而高估高度產生高度誤差。
- 5 按照規定的速度穿越亂流區。



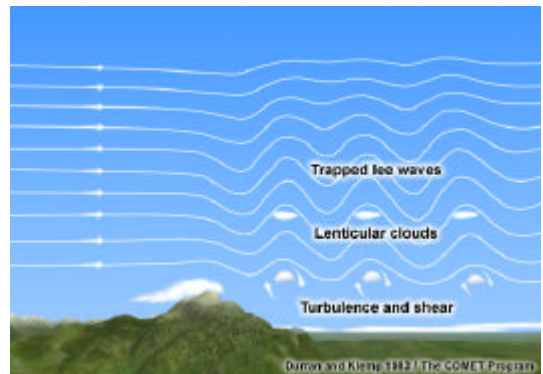
圖一



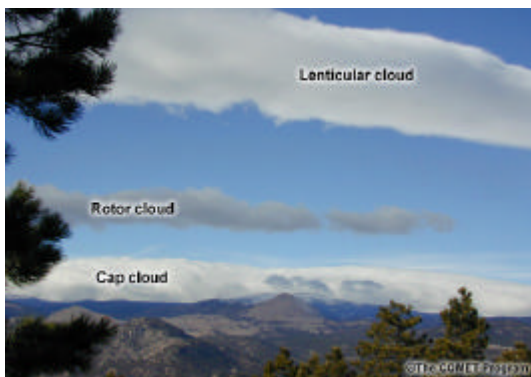
圖二



圖三



圖四



圖五

以上圖片取自網頁 <http://meted.ucar.edu/mesoprim/mtnwave/print.htm#2>

四、參考資料

- 1、「航空氣象」第十八期劉昭民撰寫之綜論惡劣天氣預報

- 2、 「航空氣象」第八期林德恩撰寫之亂流與飛安
- 3、 <http://meted.ucar.edu/mesoprim/mtnwave/print.htm#2>



作者為台北航空氣象中心 2006 年新進人員