



國防科學

雷雨飛行所需明瞭之氣象知識

黃惟敬

Thunderstorm And Flying Safety

前言

雷雨為具有劇烈破壞性的惡劣天氣現象之一，位於熱帶及副熱帶海島的台灣，緯度低而地形複雜，且受海陸風影響，在在均為雷雨生成的有利條件。過去本軍、民間及友軍飛機因雷雨失事之例證頗多，時值夏令為雷雨孳生之旺盛季節，為防患於未然，提高對雷雨飛行警覺、確保戰力、增進飛安計、特撰文介紹、以利參考。

一、認識雷雨

雷雨是純粹的氣象科學問題，亦為航空氣象中之重要課題，是飛行員訓練過程之必讀科目，在實際飛行時，尤時有和雷雨遭遇之可能，故平日需研究體會，深切瞭解，始能在面臨此種惡劣天氣時，因已有所準備，而能從容應付。

(一)何謂雷雨——按世界氣象組織之定義為：「

凡有雷電之陣雨謂之雷雨」。故凡有雷無雨或陣雨皆非雷雨。

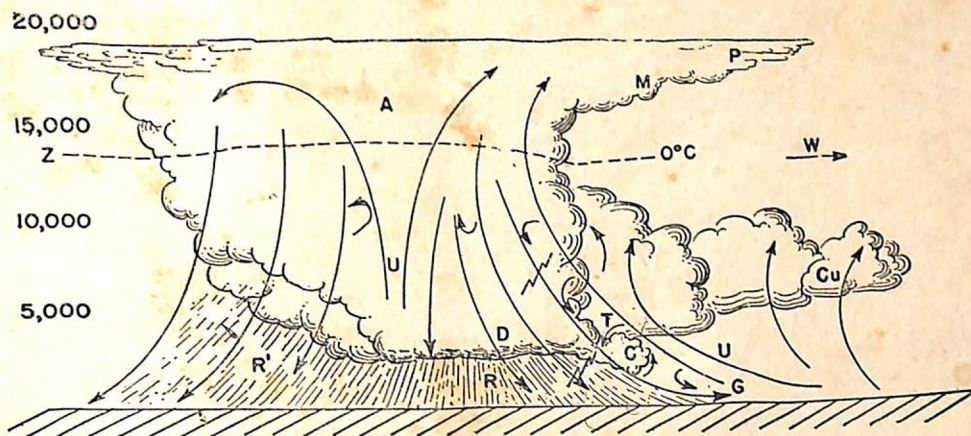
(二)雷雨之分類

1. 氣團雷雨——亦名熱雷雨，雷陣雨或地方性雷雨。主生成於一個氣團之內，與界面無涉，以成因分為：

(1)由於分局部對流而起者——此型雷雨最為習見，其強度，範圍，每視地面受熱程度而定，故溫帶夏季最盛；熱帶及副熱帶則以夏秋為多。其特徵為：

A. 發展迅速 B. 範圍小 C. 運動小且有停留性 D. 局部性降水強度大 E. 強烈的下降氣流，局部有雹 F. 多生成於日變化氣溫最高時或其後。標式氣團雷雨之剖面（參見圖一）。

(2)由於冷氣團下部增暖而起者——此種氣團以台灣而言，多指極地大陸高壓南下變性而成。時季



圖一

「圖說」——A砧狀 C滾軸狀雲 Cu先行積雲 D下降氣流 G強陣風 M乳房狀積雲 P砧狀前凸部份（偽卷雲）R主要雨或雹區 R'第二雨區 T劇烈亂流 U上升氣流 W風向 Z零度等溫線

以春夏之交為多。然因秉性乾冷且間有高空逆溫，使對流雲層發展受阻，形成熱雷雨之機會不多。

(3)地形雷雨——多肇因於局部地區之優厚日射，空氣受熱膨脹，地面氣流輻合上升形成之積雨雲

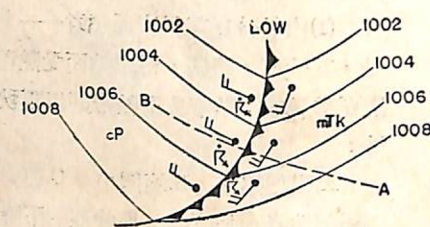
是。

A. 山嶽雷雨——山嶽雷雨之對流空氣，富地形「抬升」及「駐留」作用。前者有助於形成強大的凝結降水；後者更因山脈背風面之下沉作用，使正

當能源不斷，發展旺盛之雷雨為之却步，在山峯兩側形成雲雨之明顯界限，使雷雨發生駐留作用，故層層起伏，山波蕩漾區，常為雷雨活動之「雲牆」。飛行員在此等區域，切勿冒險試穿，因積雨雲籠罩山頭，飛機易於撞山，且山背面之下降氣流易使飛機失速。

B.海島與海岸雷雨——沿海地區之午後，冷濕空氣隨海風登陸，受熱後產生強大的對流性積雨雲，故沿海地區常為午後頻仍雷雨之「走廊」。

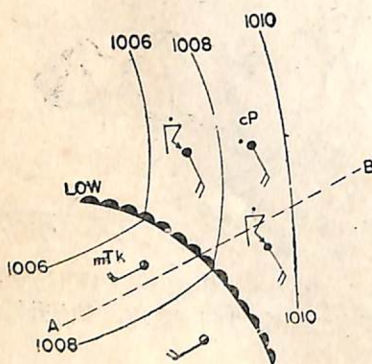
C.夜間雷雨——夜間地面冷卻，陸風盛行，冷空氣流至較暖之海上，故近海又為夜間雷雨的「淵藪」（本島岡山為夜間雷雨及早晨雷雨之特顯地區）。



圖二 冷面雷雨

下頻仍，低緯地區之濕空氣多已增暖，故易發生飢線雷雨。

(2)暖面雷雨——為暖空氣置冷空氣之上而成，與地面受熱多少無關，一旦暖空氣輻合加劇，減溫率增大，即可發生雷雨。惟其發生於高空，故性較溫和而多悶雷，且因暖面之雲系廣大深厚，積雨



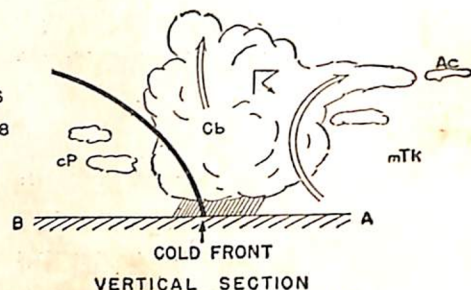
圖三 暖面雷雨

(4)滯留面雷雨——多指美國境內者，台灣區春夏過渡期，海峽經常所橫亘之滯留鋒，降水多，雷雨少。

2. 鋒面雷雨

(1)冷面雷雨——為冷空氣楔將暖空氣迫舉所造成之對流不安而形成。因冷面坡度峻急，兩種空氣迥異，故最強烈。此種雷雨可沿面前，面際及面後發展，故有面前面後及面際雷雨之名。面前雷雨與飢線雷雨（或線飢雷雨）（line Squalls or Squall lines thunderstorm）相近，然「飢線雷雨」却並非「冷面雷雨」，因飢線雷雨固與冷面相借而至，平行發展，然飢線每可先冷面75-300哩處，開始迫暖空氣上升造成雷雨。美國之飢線雷雨每與龍捲風相借而至，且多發生於落磯山以東及密士失必河間之中西部大平原。冷面雷雨（參見圖二）

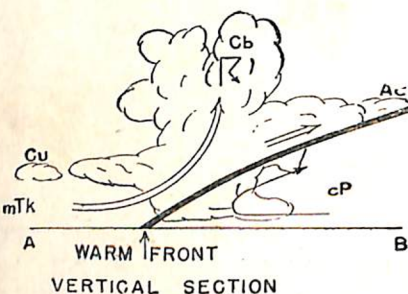
我國之飢線雷雨多見於春夏之交，該時寒潮南



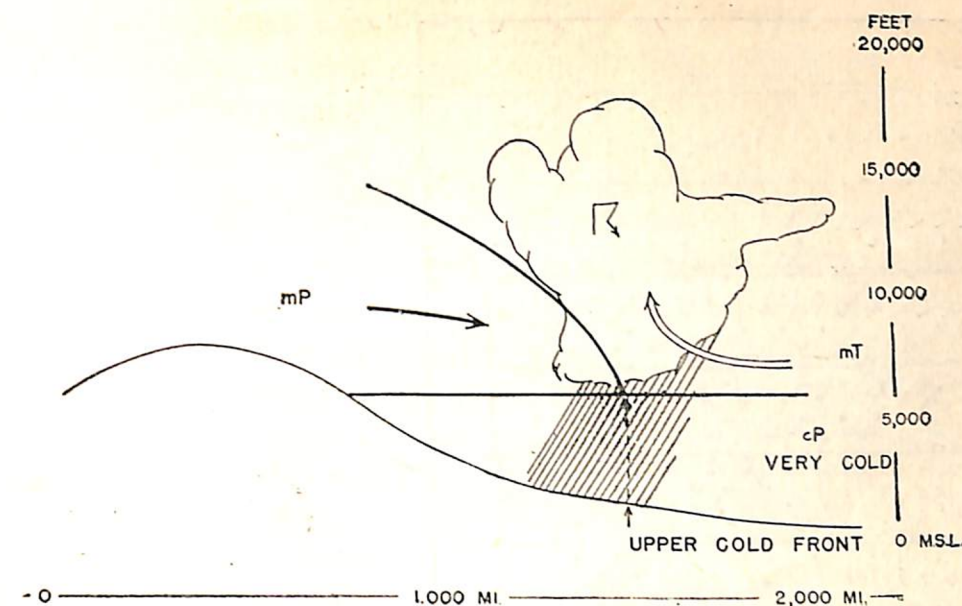
雲類多不顯。台灣區因非暖面形成地區，故此種雷雨不多，即使偶見，亦屬初生階段甚弱。

復因暖面雷雨之潮濕氣層頂，多於夜間輻射散熱，故暖面雷雨之發生，夜間多於白晝。暖面雷雨（參見圖三）

(3)飢面雷雨（台灣少見。）



(5)高空冷面雷雨——與暖面雷雨相近而稍強。雷雨沿此鋒發生，鋒前被舉升之暖空氣大量增加。此型雷雨亦多見於春夏之交，且每為北下冷空氣之



圖四 高空冷面雷雨

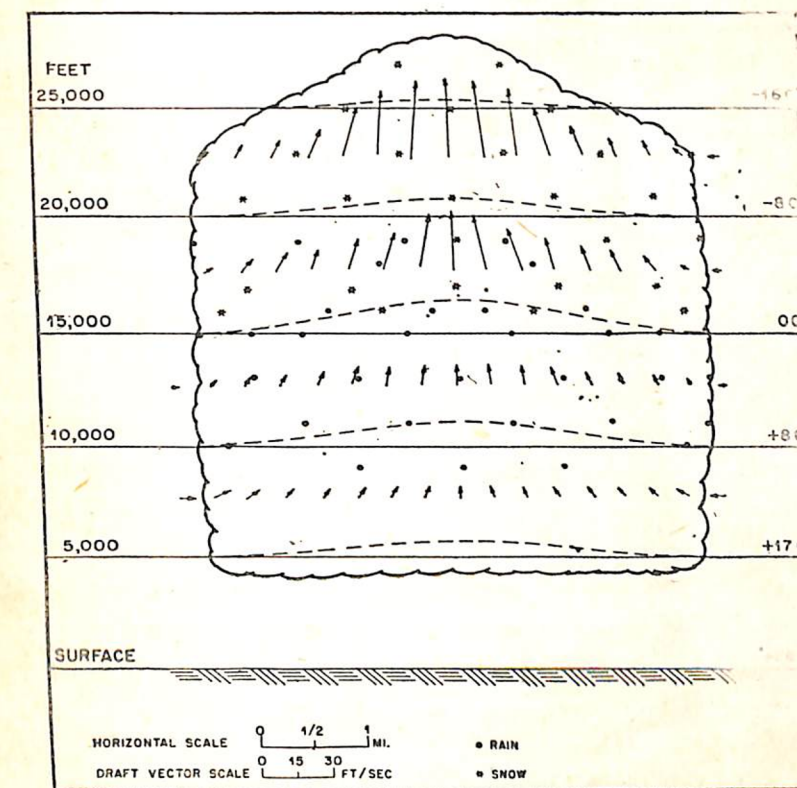
先聲。（參見圖四）

(二)雷雨的發展階段

任何雷雨之發展階段，皆為熱能的過渡表現，如無此明確的階段性天氣特性和雷雨細胞（單及多細胞見後述）生命週期之表徵，則雷雨預報與雷雨

飛行，將無所適從。

1.發展期（積雲期）——因此期積雲之堆積而發展成積雨雲（單細胞式雷雨）。其特徵為整個細胞中悉為上升氣流。上升氣流之最強處約在細胞之頂端，（標準頂高25,000呎）。（參見圖五）



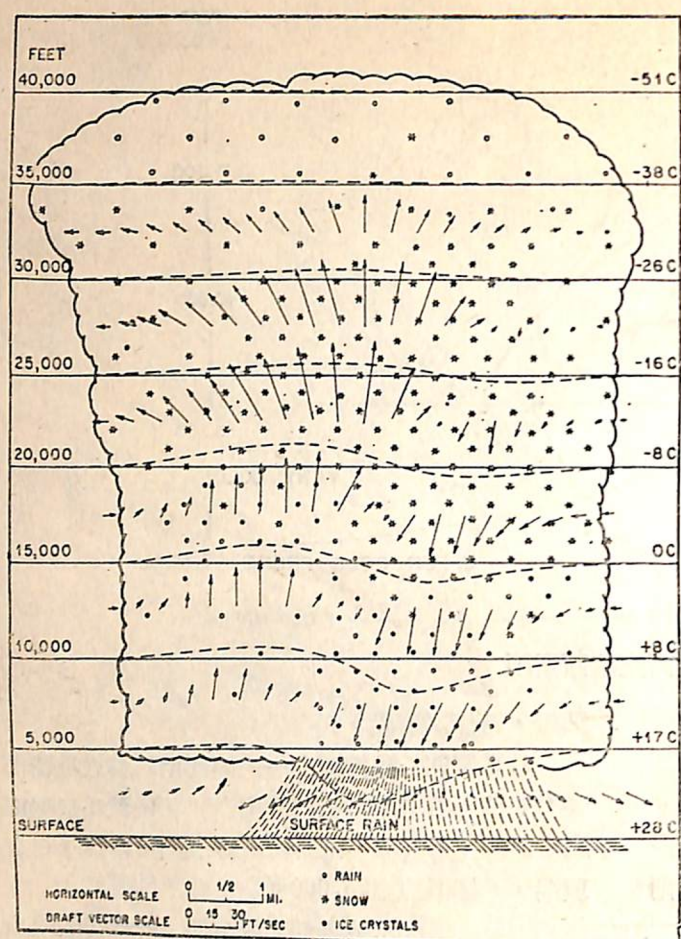
圖五 積雲期剖面

2.成熟期（降雨期）——特徵為上升及下降氣流同時存在，至少在細胞之下部如此。此期之初，上升氣流發展至最強階段，上升氣流之最強紀錄，據美國「雷雨計劃」之實測，有達秒速103呎者，（平均為30呎）。此時之下降氣流不若上升氣流強，且多位於雲系之下部，下降氣流開始及發生於凝結層，多與降水同時發生，降水係開始於雲底，除非在乾燥區，普通降水均及地面。地面同時所見者，除降水外，復有陣風及下降氣流之水平輻散。（參見圖六）

3.衰老期（消散期）——此期之特徵為上升氣流消匿，下降氣流盛行。整個細胞之溫度約較四週為低，有關重要要素，如溫度，氣壓，及風系等均隨逐漸減弱之陣性降水轉弱趨微，然後天霽雲消，恢復正常。（參見圖七）

(四)雷雨中之劇烈天氣現象（以發展充分之標準雷雨為準）

1.上升氣流——猛烈的上升氣流常



圖六 降水期剖面

使飛機之高度突然上升。在美國之「雷雨計劃」試驗期，一架飛機在上升氣流中曾創下從4800呎突然上升2000呎之記錄。

2. 亂流——以成熟期為最顯著，因該期上升及下降氣流之猛烈衝擊，而發生巨大之擾動，飛機在其中顛簸不安。此種情形尤以在積雨雲前部低層之滾軸狀雲中為最。根據美軍偵察結果，所獲亂流強度高度之資料（參見附表一、二），其中最強之亂流高度位於14000-20000呎間。

亂流與升降氣流之區別，係後者之運動有固定之向量，且速率一般較為規律。其情形有如壯年期後之河流，流速平緩，流量固定；而前者則無固定方向，且流速亦不均勻，如河流中之急流險灘或渦旋。亂流之交錯橫溢，除與熱能有關之大氣騷動外，陣風參與其間之推波助瀾亦很重要。據知陣風之形成，並不單純為大氣穩定度垂直方面之風變（切力），即水平方向亦有差異甚大之風變現象存在。在「雷雨計劃」期，曾以二架飛機分從2,000呎與6,000呎高度飛入積雨雲中，前者起落之差為6,000

呎；後者則為1,600呎，可見在不同高度之亂流，其強弱差異甚大。普通雲底之下5,000-10,000呎內之亂流及陣風會隨高度增加，而近雲頂及雲底處則最弱。

3. 電霰——大者為霰，小者為霰，二者皆為水雲組成，對機體結構有嚴重破壞性。電霰最初之降水型態仍為水滴，當其下降過程被上升氣流携至結冰線以上，始凝結為冰，（上升氣流之強度如超過秒速8呎，水滴即不易下降），然後翻滾於上升下降氣流間，由於和他種降水物（冰晶、水、雪等）的撞擊，體積增大而後降落。

冰電之生成與地形等因素有關，故並非所有雷雨均含冰電。據實際調查，美國大平原及落磯山區附近，其含電雷雨次數，較美國中、西、南、東各區多四至八倍，雖後者之雷雨發生總次數較前者大2-3倍。冰電體積之最大世界紀錄，有大至一磅半者，體積比一個棒球還要大，可謂驚人！

電霰之生成區，多在結冰線與雲頂高度間，其平均高度為16,000-21,000呎間，從空中驅散之冰電，有時可及積雨雲邊緣之晴朗區數英里。

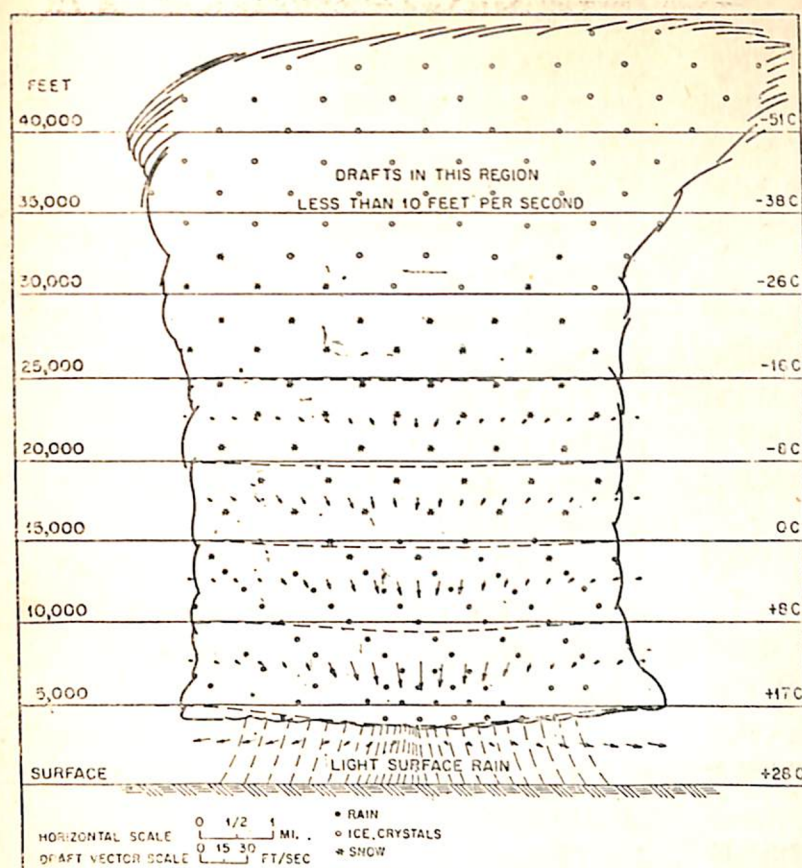
4. 積水——亦為雷雨飛行的嚴重問題之一，積雨雲頂部泰半已為水晶雲（卷雲）飛機飛入其中結水之機會反少。但在此層之下，約15°-30°F區之高度層，其水份以過冷水態存在，一經擾動即可結水。在「雷雨計劃」中發現，飛機在20000呎高度層通過，結水率為百分之五十。飛機之任何部位皆可結水，然以汽化器結水為最。汽化器結水通常以18°-(-10)°C為最多。

5. 雷電現象——雷電是飛行員穿越雷雨時心理上最大之威脅。強烈的閃電會使飛行員發生短時之盲視，且因天電干擾會使通信不靈，機體部份被灼成小孔。然因飛機為良導體不會發生電阻現象，故絕少聞閃電對人員及飛機有何致命傷害。

至於此一現象所由發生之理論性探討，則多因校驗困難而無滿意解釋。經公認之較權威理論有「水滴破碎說」、「離子捕獲說」及「沃克曼雷諾斯效應」（Wokman-Reynolds Effect）數種。

(四)雷雨之分佈

雷雨之分佈正如其他天氣現象各地不同，此因各地之緯度，洋流及地形之相異有以致之。要言之



圖七 消散期剖面

，就空氣受熱之多寡言，應南多於北，就地形效應言，則山岳島嶼應多於平原盆地。山岳之迎風面更多舉升作用，海島水陸溫差大，極利冷暖空氣對流，故每為雷雨之溫床。有關中國大陸及台灣重要地區雷雨分佈頻率（參見附表三）。

二、雷雨與飛行

每位飛行員幾乎都無可避免的要和雷雨遭遇，看過上面的敘述，你對雷雨的瞭解已經不少了。現在你面臨的如果是一團險惡的雷雨，你將何去何從？如果在起飛前，你的飛行計劃已因氣象人員之提示，對雷雨的發展已胸有成竹，那該是十分令人慶幸的！

就所知有關雷雨飛行的技術和方法很多，茲就「飛安」意識，特以列舉方式，提出下列討論，以利參考。

(一)雷雨強度之估計判斷，從外貌體認一雷雨之強弱，頗有助於行員對雷雨之趨避。

1. 雲型——如屬高聳積雨雲且具雲砧及滾軸狀雲系，則多屬強雷雨無疑，應當避開。尤其具煙肉狀與地面相連之雲柱，更當盡速採取與其移動方向

相反之遠離飛行，因為這是龍捲風型之雷雨，其強風破壞性，是所有天氣現象中之「王牌」。

2. 閃電——閃電和雷聲頻率大而強，當為強雷雨訊號。如閃電之方向呈垂直向，則屬雷雨之發展期與成熟期，如呈水平則為雷雨後或消散期。

3. 雨區——從雲底至地面之臨狀黑幕為陣雨區所在。雨區之寬度和其背景之黑暗程度，是雷雨強弱之另一指標。

(二)穿越雷雨時有利情勢之選擇

1. 如遇界面雷雨（尤其冷面及離線雷雨）宜採最短路線之橫切通過法（如確知界面之強度和寬度不大）。不幸如遇起落之機場的航線和此界面平行，則應選定副目的地，改變航線飛行。

2. 避開所有各式雷雨的強烈亂流區，尤其冷面及熱力雷雨之亂流，可從高空發展至地面。亂流以成熟期為最強，在下降氣流之四週亦有上升氣流交錯輻輳其間，飛機在其中顛簸至巨，每易失去控制。

3. 避開雲中之黑暗區——黑暗區中因雲最厚，雨最密，故為惡劣天氣製造的大本營。豪雨時之能見度有時會伸手不見五指，萬一飛行員飛入其中，除不可輕易改變航向以免迷航外，應趕快打開座艙燈，穩定情緒，密切注視儀表變化，俾適時應變，採取改正行為。

4. 根據新雷觀凡發展成熟之雷雨，皆為叢式細胞式雷雨羣，飛行員不得從雷雨羣之右下側進入（設雷雨羣移行之方向為西南東北向），因該區多為上升氣流最猖獗之新生細胞發源處。

(三)決定最佳飛行路徑之南針

1. 冷面雷雨及其他與雷雨線相連延伸發展之雷雨，其高空有數個孤立狀積雨頂組成，間可發現晴空區，其中10,000呎至14,000呎為可資利用之高度極限。此種介於較低積雲頂和積雨雲頂間之開闊區，常有舒適合理的飛行路線，但對積雲頂飛行要留幾分戒心，最少要保持2,500呎距離。

2. 在積雨雲中層之密雲下，勿沿雷雨或雷雨羣作接近飛行。保持在藍天或高的密雲下飛行。因雷雨在層積雲，高積雲或高層雲上有發展壯大之趨勢，且在離線雲前可能出現豪雨或/及水電，又因下

降氣流，亦可能遭遇強亂流。

3. 勿嘗試穿越活躍雷雨之「亮點」和「綠色」區，因其為強烈亂流及冰雹區。「亮點」意為該區之雲塊有堅實之薄膜狀白色組織，且積雲中缺乏激烈顯著的顏色區分線。有證據說明該處迅速之凝結，係由於降落的水分子質點存在，可能有冰雹及強烈氣流之製造併存。

4. 勿以低飛之意圖，向着颶線雲下降逼近，因這種運動，可使飛機正常的滑行路徑，因颶線雲下之下降氣流和飛機之下降率而趨增加，且指示空速可能加速至超過拉起機頭的極限速度之外。但如有降低高度飛行之必要，要在大大減低空速下謹慎為之。

5. 勿嘗試颶線式冷面及面前雷雨情況下的飛行，保持作晴空或上有高密雲情況下飛行。

6. 盛夏之際，夜間偶有高空雷雨發生，此種雷雨不與地面任何界面系統相聯，呈孤立而強度較弱之姿態存在。故在雲底飛行，應該舒適安全。然需知此種雷雨線與地面冷面確屬無關，故應預先參考當時天氣圖。

7. 航線右偏120 飛行法——一般雷雨移動軌跡咸呈西南東北向，為避免遭遇雷雨並等待其移去，可採各方向右偏120 的飛行法。

8. 根據各高度亂流強度觀測，在開闊的無山或平原區，可採雲下6,000 呎高度穿越飛行。如飛機裝備性能許可，亦可作雲頂高度以上之高空飛行。

附表一

高 (呎) 度	強 度
14000—20000	極劇烈
25000—29000	次劇烈 (多雪)
20000—25000	次劇烈至中度
10000—14000	偶劇烈多數為中度
6000—10000	中至輕度
6000—	輕偶中

9. 勿以生命打賭——在各種雷雨飛行中，最安全的保證，還是「避開雷雨」飛行為上策。再說一句，尤對正當降水的積雨雲最少要保持2,500 呎的水平距離。

三、其他支援任務

(一) 靈活的通信指揮——包括航管，戰管等一切通信指揮單位，在「安全第一」的中心思想下，發揮靈活的通信指揮機能，務需適時適切，傳遞氣象及飛航情報，助為飛安之保障。

(二) 導航單位的進場導引雷達及通信指揮車等輔助設施，更需經常開放，尤須在執行任務時期有飛機在空中活動，更需密切監視，以利在惡劣天氣下的飛機之突然進場。

(三) 氣象人員在作好天氣預報外，更需作好經常的「天氣守視」，一遇天氣突變，在編碼前，需先以電話立即通知塔台及作戰組，轉報 CRC 及 CRP 等管制單位，以便適時通知在空飛機。

總結，凡事豫則立，不豫則廢。「天」雖有不測風雲，然天氣終屬科學範圍，有其「理性」之定則可尋，所以我們不可貿然言「颶風可發生於北極」或「赤道區地面上夏天會白雪皚皚」等不合科學事理的話。證諸事實，其所以有許多飛行失事，實皆為「人謀不臧」之結果。茲特為避免雷雨飛行失事，確保我軍戰力起見，參酌中外有關雷雨原理及本島夏季雷雨特多情況下，撰成本文，期能在雷雨飛行實際作業中，有所收益，是盼也。

附表二

高 度 (呎)	飛 行 次 數	強 度		
		輕	中	重
25000	155	50.9	25.2	23.2
20000	237	43.1	34.5	21.5
15000	267	38.5	37.1	24.4
10000	270	37.8	42.2	20.0
6000	167	58.7	25.1	16.2

附表三

月 份 地 名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
北 平	0.0	0.0	0.0	0.3	1.8	4.5	6.5	5.3	1.5	0.3	0.3	0.3	20.8
山海關	0.0	0.0	0.0	2.5	4.5	1.5	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	10.5
青 島	0.0	0.1	0.4	1.0	2.0	2.1	3.7	2.3	0.6	0.3	0.1	0.0	12.6
歸 綏	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	3.5	8.5	4.0	2.0	1.0	0.0	0.0	21.5
西 安	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	0.6	1.2	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	4.2
廣 元	0.0	0.0	0.1	0.6	1.1	1.0	1.9	2.1	0.9	0.3	0.0	0.0	8.0
蚌 埠	0.0	0.0	1.0	1.0	0.7	1.0	4.3	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7
海 州	0.0	0.0	0.5	1.0	1.5	0.5	4.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.5
南 京	0.2	0.3	1.3	1.7	1.6	2.7	5.0	4.0	1.0	0.2	0.2	0.1	18.3
上 海	0.0	0.2	0.6	0.8	1.3	1.7	3.3	3.6	0.9	0.2	0.1	0.1	12.9
漢 口	0.2	0.4	1.8	2.5	1.9	2.2	3.4	2.7	0.4	0.1	0.2	0.1	15.9
重 慶	0.0	0.1	2.1	1.4	1.7	0.9	2.3	2.0	0.6	0.3	0.2	0.0	11.6
康 定	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
溫 州	0.0	0.1	0.3	0.7	0.6	0.8	0.8	1.2	0.3	0.1	0.0	0.0	4.9
貴 陽	0.0	1.0	1.0	2.0	5.0	6.0	3.0	7.0	4.0	0.0	1.0	0.0	30.0
香 港	0.1	0.3	2.0	4.1	5.8	5.9	6.0	6.4	3.5	0.7	0.1	0.1	35.0
台 北	0.0	0.4	0.2	1.1	1.6	3.3	5.1	3.8	1.3	0.2	0.0	0.0	16.8
台 中	0.3	0.4	0.5	0.5	3.2	5.5	4.5	3.7	2.7	0.4	0.4	0.1	22.1
馬 公	0.0	0.1	0.4	1.2	1.0	1.2	0.7	0.8	0.5	0.1	0.0	0.0	6.2
台 南	0.0	0.1	0.4	0.8	1.6	3.1	5.2	3.8	2.3	0.3	0.1	0.0	17.9
花 蓮	0.0	0.0	0.3	1.1	2.0	1.7	1.0	1.4	1.1	0.3	0.5	0.1	9.1
附 註	1. 表中數字為多年來之平均值，可代表一地區之雷雨多寡趨勢。 2. 單位為日，某日如有雷雨發生不論時間之久暫概為「雷雨日」。												

(上接第30頁)

總之，太陽在人類生活圈中，係能量之總源，太陽風即其傳遞能量及於四週的方法之一。由於科學家鍥而不捨的研究，及一再修正才得到今日的結果。張博士說：「研究科學要使理論與經驗揉合為一體，因為一種科學上的發現，需靠敏捷的思想及靈活的反應，不然稍縱即逝的自然現象，永不能為

人類所透澈瞭解。」此話對我們從事自然奧秘探討的人，應有很大的教育與啟發作用。

(註) 氣體核子火箭 (Gas Nuclear Rocket) 理論始於一九四六年。張博士擔任 NASA/Lewis Laboratory 顧問時專門指導研究其可能性，結果由沖洗碗中飯粒得到啟示，親自監督制成第一具模型 (用玻璃制成)。