

客觀預報技術之最近發展 萬寶康

美國空軍氣象訓練政策在上年度內已有一重要之改變；即其各種有關預報之訓練歸併為兩個四十四週之班次，一為預報技術班(Weather Forecast Technician)，一為預報領班班(Weather Forecast Superintendent)前者屬於於基本訓練，後者屬於高級訓練，同時並將過去之高空預報班(High Altitude Forecaster，十二週)及氣候技術班(Climatological Technician，十八週)等短期班次取消，一律併入預報領班班之內。此兩種班次之受訓人員可能同時包括氣象軍官與士官。各自由國家之空軍當局在美國共同防禦法案支持之下，大多均派有氣象軍官或士官前往受訓中國空軍亦為其中之一。

預報領班班之教育計劃計包括有1011小時之訓練時數，其中數學 149 小時約佔 13.8%，高級分析 164 小時約佔 16.2%；預報 249 小時約佔 24.6%；客觀預報技術 143 小時約佔 14.1%，理論氣象 128 小時約佔 12.7%，有關專題講演 183 小時約佔 18.1%，除數學與理論氣象係繼續基本訓練作進一步之講解外，高級分析與預報係包括過去高空預報班之各主要課目，客觀預報技術部份除包括氣候技術班之各主要課目外，更將客觀預報技術併入講解。其他有關專題講演則包括雷達原理，微氣象學，海洋學，長期預報，水文學與大氣物理等課目。

客觀預報技術為近年興起之一種預報方法，頗為實地氣象工作者所重視，而正式列為訓練課目且與一般預報技術並駕齊驅，在氣象史上尚屬創舉。此項課目之 143 小時訓練時數中，包括統計學 46 小時約佔 32.2%，氣候資料整理(Climatological Techniques) 42 小時約佔 29.4%，標準圖表應用(Nomography) 50 小時約佔 7.0%，氣候資料分析(Synoptic Climatology) 5 小時約佔 3.5%，客觀預報技術 30 小時約佔 21%。在此 30 小時中，包括應用氣候學理論 5 小時約佔 16.7%，客觀預報方法 10 小時約佔 33.3% 及實習 15 小時佔 50%。

關於客觀預報技術之講解，在美國空軍方面除上述有關氣候技術各種教材外，主要以其天氣預報之客觀方法(Some Techniques for driving Objective Forecasting)一書為藍本。此書編列為 Awsm 105~40，其第一版係於 1953 年四月出版，曾經中國空軍當局譯印為翻譯叢書之一種(氣三)。惟其修正版復於 1955 年四月出版，其內容幾與第一版完全不同，並具有若干重要之改變與進步。該書所採用之客觀預報方法係以圖解法為限。茲將其修正版中若干特別值得注意之改進要點予以討論，以為作者前此所發表客觀預報法之原理與應用一文之補充。

1. 工作程序之劃分：在第一版中，本書係採用以下五個步驟：

- (a) 預報問題之確定。
- (b) 有關預報氣象因子之選擇。
- (c) 整理並分析適當之資料。
- (d) 以簡明方式敘述研究之結果。
- (e) 考核預報之效果。(以另外或當日之資料測驗之)。

在修正版中又根據 J. J. George 之意見增加為以下七個步驟：

- (a) 選擇所欲預報之氣象事業。
- (b) 確定所欲預報天氣狀況及其時間之極限。
- (c) 簡要敘述所欲預報之問題。
- (d) 列舉有關預報各種可能之氣象因子。
- (e) 整理並分析適當之資料。
- (f) 考核所得之預報方法(以獨立及當日資料測驗之)。
- (g) 以簡單直接之方式敘述所得之結果。

在上列七個步驟中，其前三個步驟實際均可歸納於原有之第一個步驟中。其第七個步驟在表面上似與原有之第四個步驟相同，但內容則完全不同，故新定之第五個步驟實包括原有第三，四兩個步驟，而新定之第七個步驟則可以從略。惟原有第一個步驟之細分，其目的在使預報問題之所在更為確定。在新定之第一步驟中，吾人可將影響當地最甚之氣象事象選定霧與昏雲，雲幕高，能見度，風速，溫度，雨量等。在第二步驟中，吾人可將所欲預報

氣象事象及其時間之極限予以確定，如將雲幕高與能見度確定為 300 呎與 $\frac{1}{2}$ 哩，600 呎與一哩或 1000 呎與 3 哩等，或將風速確定為 25 哩，35 哩或 50 哩等。至於此種預報氣象事象發生之時間則必須確定在最後一次觀測時間後之 6, 12, 18 或 24 小時等。但最後一次之觀測時間必須先行決定，以為預報可能應用最後一次資料之依據。如欲於 1600 發佈一次霧與層雲之預報，其最後一次之觀測時間應為 1530，如欲於 0800 發佈一次雷雨之預報，則其最後一次之觀測時間應為 0730。各地面觀測時間能與高空觀測時間盡量接近則更佳，因在一次預報常同時需要此兩種資料。在第三個步驟中，必須將所欲預報之問題簡要予以敘述，以下為其兩個範例：

(a) 由 0530 之觀測預，報當日 1200 至 2400 間雷雨之發生與否。

(b) 由 1530 之觀測，預報 1600 至翌晨 1000 間延續兩小時以上低於 300 呎雲幕高及小於 $\frac{1}{2}$ 哩之能見度。

由此可見此三個步驟實與原有之第一個步驟無異，但比較更精細確定。為簡單明瞭起見，作者認為仍以維持原有之五個步驟或竟將原有之第三、四步驟合併而簡化為四個步驟為適宜。

2. 預報問題之分類：在本書第一版中將適用圖解法之客觀預報方法分為當地預報 (Local Forecast) 及區域預報 (Regional Forecast) 兩類。一般之客觀預報方法僅適用於當地預報，對於區域預報之嘗試係 J. J. George 等 (1951) 所開始，但不見十分成功，故作者前此對預報問題分類時，即將此一類略去。修正版中未見對區域預報予以重視，此種觀點與作者完全一致。

關於當地客觀預報方法之分類，作者過去曾分為有無發生及數值多寡兩類，本書修正版中則將預報問題按性質分為以下四種：

- (a) 有無發生。
- (b) 發生時間。
- (c) 延續時間。
- (d) 發生強度，如降水量，最高或最低溫度，能見度或風速等。

再將此四種預報問題歸納為兩類

- (a) 有無發生 (Yes or No)。
- (b) 何時或多寡 (When or How much)。

其第一類與作者意見相同，其第二類則較作者意見更為明顯。此兩類客觀預報方法之原理業經作者詳加闡釋，可補償本書之不足。

3. 資料之整理與分析：一種預報問題既經確定之後，其所需資料即須加以一番整理始可直接應用，否則龐雜繁多，必致無從着手。本書修正版中提供一種便利之方法，可作為吾人之借鑑。此等資料之來源可得自地面觀測紀錄，高空觀測紀錄或歷史天氣圖，應用時可將其摘錄於一種按需要而任意設計之登記表中。此種登記工作雖云比較枯燥，但如能整理得法即可節省不少人力與時間。下方即為此種紀錄登記表之一範例。

JAN 1953

OB. NO.	DATE	OCCUR DAY	SKY	VIS	1530 (LOCAL) SURFACE			1800 F. 3000 FT.		1500 F. 850 MB				
					WEA	P	T	T _d	WIND DD VV	WIND DD VV	HH	T	T _d	
124	1		0	15		2.05	56	45	ESE	10	1015	479	-1	-3
125	2		500	10		1.84	54	46	SE	8	1214	481	0	-1
126	3	X	300	8		1.42	55	48	SE	8	1520	512	6	2
127	4		70	1	L-F	0.98	52	51	SW	4	2108	476	6	5
128	5		200	15+		1.53	43	36	NW	15	3223	472	-5	-11
129	6													
130	7													
131	8	X												
132	9	X												
133	10													
134	11													
135	12													
136	13	X												
137	14													
138	15	X												
ETC.														

第一表 紀錄登記表之一範例

表中表示 1953 年一月有無雷雨各日各種有關氣象因子之地面及高空觀測紀錄。有 X 號者表示雷雨發生之日期，無符號者則表示無雷雨發生之日期。各月必須分紙登記以免混淆。所蒐集之資料愈多愈好，一般以三年以上為原則，始可認為有力之依據。

經過整理之資料可以分佈圖 (Scatter Diagram) 方法分析之。此種方法之要領在選擇一種適用之方格紙，以任意兩個可能有關之氣象因子為縱橫坐標，盡量使其分度寬大以免多數標點過分之擁擠或重疊。下圖為此種分

佈圖之一範例。

圖中×號表示某種氣象事象發生之情形，○號表示其不發生之情形。在標出數月紀錄後，如此兩種標號之分佈毫無系統可尋，即證明此兩個氣象因子毫無相關關係，必須更換另外兩個氣象因子再行試驗，直至達到確定之結果為止。至於分佈圖中等值線 (Isolines) 之繪製方法作者原文中已有說明，此處不再重複。

4. 預報檢查單之應用：預報檢查單 (Forecast Checklist) 為協助客觀預報之一種有力工具。其內容包括所需要之資料，逐步工作程序及預報結果考核，在實際工作時可節省不少之人力與時間。下方為此種預報檢查單之一範例。

Denver 九月雷雨之預報

預報檢查單

日期 _____

需要資料

- a. Denver 地面露點 (2030M) _____ °C
- b. Denver 500mb 溫度 (0300z) _____ °C
- c. (a) - (b) _____ °C
- d. Denver 700mb 高度 (0300z) _____ (十呎)
- e. Boise 700mb 高度 (0300z) _____ (十呎)
- f. (a) - (e) _____ (十呎)
- g. 對流凝結面氣壓 (Denver, 0300z) _____ mb
- h. 結冰面 (Denver, 0300z) _____ mb
- i. (g) - (h) _____ mb

工作程序

1. 將 (c) 與 (f) 數值填入第 () 圖中，
各標點落於 B 區，預報無雷雨並停止工作
各標點落於 A 區，則進行下一步驟，
2. 如 (i) 數值 < -20mb，預報無雷雨 _____
如 (i) 數值 > -20mb，預報有雷雨 _____

實測結果

雷雨有 _____ 無 _____

此項預報檢查單適用於 Denver 於九月雷雨之預報，此種方法已見於作者原文，讀者可自行參閱。

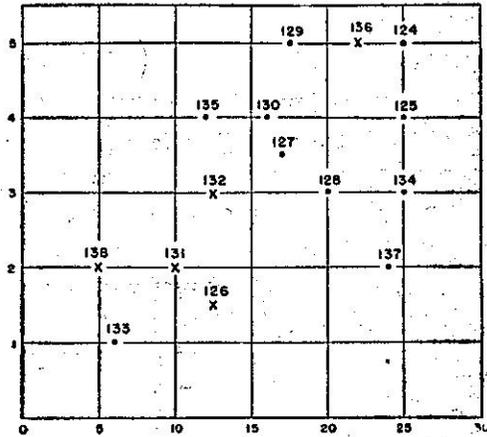
5. 定量預報之考核：客觀預報通常使用之考核方法祇顧及正誤預報次數之多少，而不考慮預報與實測偏差之多少，即將每一次預報之重量視作相等，不論預報之數值是否與實測有異。此種考核顯然僅適用於無發生一類之預報，而不適用於何時或多寡一類之預報。Vernon (1953) 曾設計一種所謂偏差技術得分 (Deviation Skill Score) 之計算方法以適應考核何時或多寡一類預報之需要。此種考核方法之優點在兼顧預報數值對於實測數值之線性偏差。

根據 Vernon 之定義可將偏差技術得分寫為：

$$S_a = \frac{\sum d_o - \sum d_r}{\sum d_o}$$

式中 $\sum d_o$ 表示預報數值與純粹機遇應有數值偏差之總和， $\sum d_r$ 表示預報數值與實測數值偏差之總和， S_a 即表示偏差技術得分以別於習用之技術得分 S 。

苟用通常之預報正誤次數紀錄表 (Contingency Table) 之行 (Rows) 與列 (Columns) 表示之，則吾



第一圖 分佈圖之一範例

人可得如下之結果：

$$\sum d_r = \sum (n_{rc} d_{rc})$$

及

$$\sum d_c = \sum \left(\frac{n_r n_c}{T} n_{rc} \right)$$

此處 n_r 為各行之總次數， n_c 為各列之總次數， n_{rc} 則為 r 行與 c 列所構成細胞包括之次數， d_{rc} 為此細胞對於零級 (Zero Class) 之級差 (Class Deviation)，即等於各細胞離開完全正確細胞 (Perfect-bit Cell)。如第三表所示，其第一行第一列之完全正確細胞為 (21-30) 其級數為零，故 (2230-2130) 細胞之級數為 1，(2330-2130) 細胞之級數為 2，餘類推。T 為預報之總次數。此種考核方法中之 d_c 與原有考核方法中之 D 相似，如所引用之資料甚廣，則 d_c 即可用以代表純粹由氣候狀況應得期望數值 (Climatological Expectancy)。

第二表為一種示範性之預報正誤次數紀錄表，表示某地發生霧之預報時間與實測時間。為求其簡單明瞭起見，假定霧之發生時間無論預報與實測均以表列時間為限，其他不在表列時間均以其最接近之表列時間表示之。

實測	預			報			總計
	2130	2230	2330	0050	0130	0230	
2130	7	5	1	0	1	0	14
2230	3	6	3	2	2	0	16
2330	2	2	3	4	2	2	12
0030	0	1	3	6	4	2	16
0130	0	1	3	4	5	5	18
0230	0	0	4	5	6	9	24
總計	12	15	17	18	20	18	100

第二表 霧發生時間之預報正誤次數紀錄表

由第二表所有資料計算偏差技術得分 s_d 可應用第三表及第六表為助，惟由第二表可知 $T=100$ ， n_r 可依次為 14，16，……，24 等， n_c 可依次為 12，15，……，18 等， n_{rc} 則可依次按 r 行與 c 列所構成之個別細胞決定之。

實測	預			報		
	2180	2230	2330	0030	0130	0230
2130	0	1	2	3	4	5
2230	1	0	1	2	3	4
2330	2	1	0	1	2	3
0030	3	2	1	0	1	2
0130	4	3	2	1	0	1
0230	5	4	3	2	1	0

第三表 每一細胞所代表之級差 d_{rc}

實測	預			報		
	2130	2230	2330	0030	0130	0230
2130	1.68	2.10	2.38	2.52	2.80	2.52
2230	1.92	2.40	2.72	2.88	3.20	2.88
2330	1.44	1.80	2.04	2.16	2.40	2.16
0030	1.92	2.40	2.72	2.88	3.20	2.88
0130	2.16	2.70	3.06	3.24	3.60	3.24
0230	2.88	3.60	4.08	4.32	4.80	4.32

第四表 每一細胞純粹由機遇可期得之次數 $(n_r n_c)/T$

實測	預			報		
	2130	2230	2330	0030	0130	0230
2130	0	2.10	4.76	7.56	11.20	12.60
2230	1.92	0	2.72	5.76	9.60	11.52
2330	2.88	1.80	0	2.16	4.80	6.48
0030	5.76	4.80	2.72	0	3.20	5.76
0130	8.64	8.10	6.12	3.24	0	3.24
0230	14.40	14.4	12.24	8.64	4.80	0

第五表 經過每一細胞偏差權衡後之機遇期得次數 $(d_{rc}) [(n_r n_c)/T]$ = 第三表 × 第四表

實測	預			報		
	2130	2230	2330	0030	0130	0230
2130	0	5	2	0	4	0
2230	3	0	3	4	6	0
2330	4	2	0	1	4	6
0030	0	2	3	0	4	4
0130	0	3	6	4	0	5
0230	0	0	12	10	6	0

第六表 經過每一細胞偏差權衡後之預報次數 $[(n_{rc}) (d_{rc})]$ = 第二表 × 第三表

將第五表中所有之數值相加可得：

$$\sum d_o = M \left(\frac{n_r R_o}{T} \right) d_{ro} = 193.2$$

同樣將第六表中所得之數值相加可得： $\sum d_f = \sum (d_{ro} n_{ro}) = 103$

根據 s_a 之定義可知

$$s_a = \frac{\sum d_o - \sum d_f}{\sum d_o} = \frac{193.92 - 103}{193.92} = \frac{90.92}{193.92} = .468$$

偏差技術得分 s_a 之變化亦為 0 至 1 有如習用技術得分 S 然。此種考核方法對於定量預報顯然極為便利。此種偏差技術得分 s_a 可反映預報誤差之多寡，而習用技術得分 S 則祇可表示正誤預報次數之比較。同時此種考核方法亦可鼓勵預報人員盡量確定其判斷之結果，而限制其模稜兩可 (Hedging)，如僅就其中間情形預報則其得分即將大為減低。

茲根據上述已修正之工作程序按四個步驟方式再舉一例說明雲幕高與能見度之綜合客觀預報方法及有無發生與何時或多寡兩類預報問題之連帶關係。此例前一部份係取材於美國空軍氣象勤務部技術處考核發展科所發表之 **Andrews AFB** 各季低雲幕與能見度之客觀預報一文，原文刊載於 1954 年九月出版之美國空軍氣象技術公報，後一部份則取材於本文所根據修正版之天氣預報之客觀方法一書。

1. 最低限度雲幕高與能見度有無發生之預報：

(a) 低雲幕與能見度為影響 **Andrews AFB** 之一重要天氣現象，其可能飛行之最低限度雲幕高為 600 呎及 (或) 能見度為 1 哩。此處之目的在預報 1700Z 以後未來 12 至 18 小時此等最低限度以下雲幕高及 (或) 能見度之有無發生，並以 1630Z 之觀測紀錄為其最後可用資料。假定此種天氣現象可延續至兩小時以上，故成為該地影響飛行之一顯著問題。本文以春季之三、四五月為限。

(b) 根據美京首都機場美國氣象局氣象臺之建議及若干參與此項研究工作人員之經驗，認為有關此項預報問題之氣象因子為：

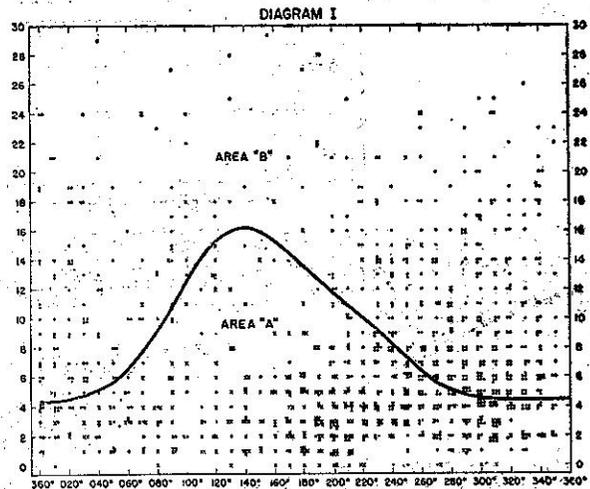
- ① 露點差。 ② 地面風速與風向。
- ③ 梯度風速與風向。 ④ 850mb 溫度與露體。
- ⑤ 穩定度。 ⑥ 氣壓變化。

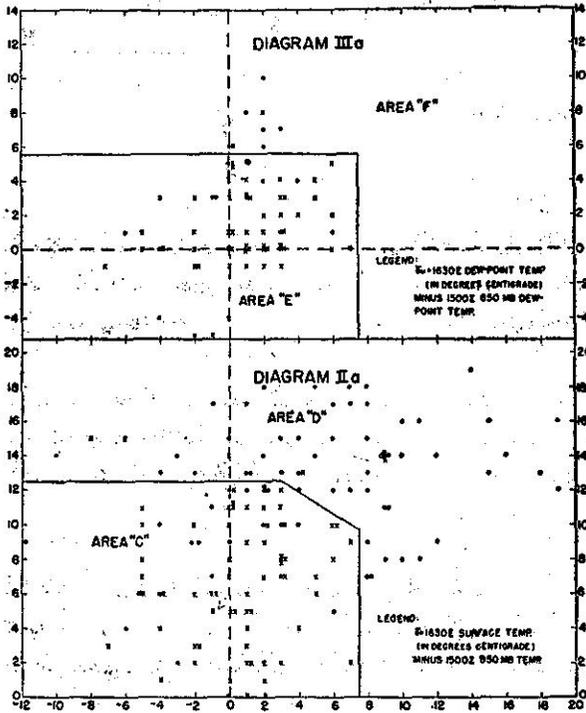
(c) 此項研究以 **Andrews AFB** 氣象臺之五年 (1948-1952) 地面觀測紀錄為基本資料。高空則取自各相同年份之高空氣象日報 (包括氣球測風及探空資料)。惟 1953 年之各種資料則未予合併應用以便作為獨立性之試驗資料。因所引用之地面及高空資料均有部份缺漏，故實際採用者僅有 50 個月約 1500 日之資料。

經以各種組合方法將不同時地之上述各有關氣象因子應用分佈圖予以分析後，發現其中應以以下各氣象因子為重要：

- ① 地面風向。
- ② 1000 呎風向。
- ③ 3000 呎風向。
- ④ 以上各高度風速。
- ⑤ 12 小時地面氣壓變化。
- ⑥ 6 小時地面溫度變化。
- ⑦ 地面露點差。
- ⑧ 850mb 露點差。

尤以 **DCA** (美京首都機場) 1500Z 之 3000 呎風向與 1500Z 之 850mb 露點差之一種組合結果最為顯著，有如第二圖所示。圖中 A 區表示多數此等最低限度以下雲幕高及 (或) 能見度發生之區域，B 區則表示多數此等最低限度以下雲幕高及 (或) 能見度發生此等最低限度以上雲幕高及 (或) 能見度不發生之區域。





第二圖 Andrews AFB 各月 850mb 露點差與 3000呎風向所組成之分佈圖×表示 600 呎及(或) 1 哩以下之雲幕高與能見度，•表示 600 呎及 (或) 1 哩以上之雲幕高與能見度。

欲進一步鑑別A區最低限度以下雲幕高及(或)能見度之究竟是否發生，復經選擇以下各有關氣象因子為研究之對象：

- ① 850mb 溫度。
- ② 風向隨高度之變化量。
- ③ 地面露點差隨時間之變化。
- ④ 地面與 850mb 之溫度差(穩定度)。
- ⑤ 地面與 850mb 之露差差。
- ⑥ 850mb 之溫度梯度(各選擇測站間之較差)
- ⑦ 850mb 之露點梯度(各選擇測站間之較差)

經分析結果，發現其中以 ADW (Andrews AFB) 163°E 與 1030E 地面露點差 (F°) 之較差及 ADW 1630E 地面溫度 (C°) 與 DCA 1530Z 850mb 溫度 (C°) 較差 (以 γ 表示之) 之一種組合結果最為顯著，有如第三圖所示。此圖僅限用於春季三、四、五各月。

第五圖 (a) Andrews AFB 春季穩定度指標 γ 與地面露點差變化所組成之分佈圖。

(b) Andrews AFB 春季穩定度指標 γ 與濕溫度 γ_w 較差及地面露點差變化所組成之分佈圖×表示 600 呎及 (或) 1 哩以下之雲幕高與能見度，•表示 600 呎及 (或) 1 哩以上之雲幕高與能見度。

第五圖分為 (a) 與 (b) 兩部份：在 (a) 部份所示之分佈圖係以穩定度指標 γ 與地面露點差變化為坐標，並以目力將其劃分為 C 與 D 兩區。C 區表示最低限度以下雲幕高與能見度發生之區域，D 區表示最低限度以上雲幕高與能見度發生之區域。因欲使其最低限度以下與以上雲幕高與能見度發生區域更行明顯分開起見，乃再以穩定度指標 γ 與濕溫度遞減率 γ_w 較差與地面露點差變化為坐標繪製分佈圖，有如 (b) 部份所示。但其結果無甚增益，大致與 (a) 部份相似，由此可證明兩者均有相當之真實性。

(d) 此項研究結果經以 1953 年之各種資料予以考核，其結果可以下方之預報正誤次數紀錄表表示之。

	最低限度以下	最低限度以上	總 數
最低限度以下	41	17	58
最低限度以上	11	252	263
總 數	52	269	321

準確率 91% 技術得分 17

此種方法有以下三個限制：①在觀測時間如天氣狀況適在臨界狀態或在最低限度之雲幕高與能見度以下，則此種方法不適用。②如有一界面已經過或預報將在觀測時間二、三小時經過，則此種方法不可靠。③不可用以預報純粹之輻射性地霧。

Andrews AFB 雲幕高與能見度之預報

預報檢查單 日期 _____

需要資料

(a) DCA 3000呎風向 (1500z) _____

(b) DCA 850mb 露點差 (1500z) _____ °C

(c) 1630E 地面 T-T_d _____ °F

(d) 1030E 地面 T-T_d _____ °F

- (e) (c)-(d) _____ °F (f) 1630E 地面 T _____ °C
 (g) 1500z 850mb T _____ °C (h) (f)-(g) _____ °F
 (i) 1630E 地面 T_d _____ °C (j) 1500z 850mb T_d _____ °C
 (k) (i)-(j) _____ °C

工作程序

- ①將 (a) 與 (b) 數值填入第二圖中，
 如標點落於 B 區預報無最低限度以下雲幕高與能見度並停止工作。
 如標點落於 A 區則進行下一步驟。
 ②將 (e) 與 (h) 數值填入第五圖 A 部份，
 如標點落於 C 區預報有最低限度以下雲幕高與能見度並停止工作。
 如標點落於 D 區預報無最低限度以下雲幕高與能見度並停止工作。

實測結果

最低限度以下雲幕高與能見度有 _____ 無 _____

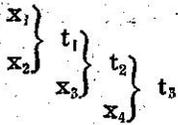
2. 最低限度以下雲幕高與能見度發生時間之預報：

a. 此項預報問題為在每日 1630E 預報 1630E 至翌晨 1030E 間最低限度 600 呎及 (或) 1 哩以下雲幕高與能見度發生之時間。此種方法之有效時間為春季三、四、五月。

b. 此項時間問題之有關氣象因子為 Andrews AFB 觀測所得之以下各種資料：

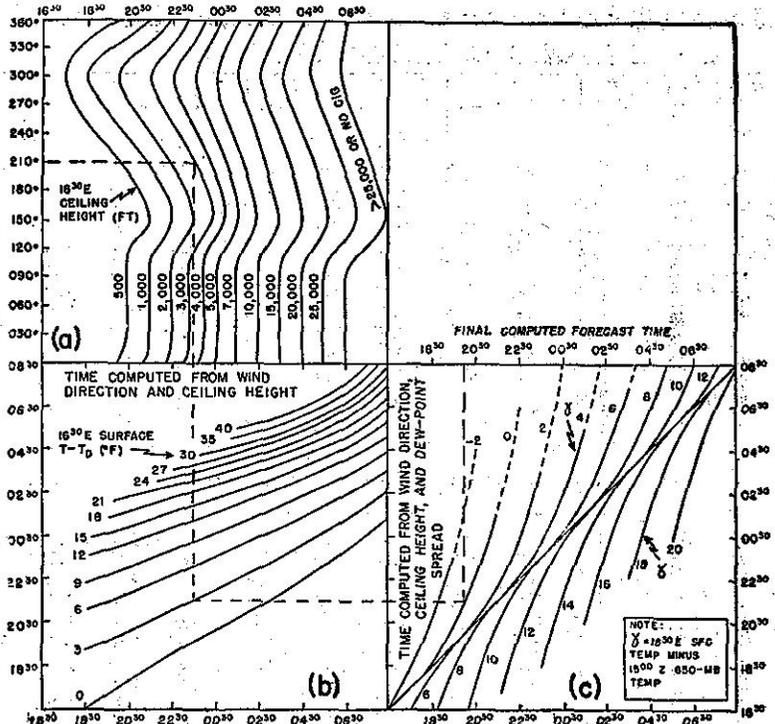
- ① 1500z 3000呎風向。 ② 1630E 雲幕高。 ③ 1630E 地面溫度露點差 T-T_D。
 ④ 穩定度指標 γ (即地面溫度減 850mb 溫度)。

c. 上述四項有關氣象因子，如以 x₁ 代表 1500z 3000呎風向，x₂ 代表 1630E 雲幕高，x₃ 代表 1630E 地面溫度露點差，x₄ 代表穩定度指標 γ，則此四項有關氣象因子可按以下組合方式循序分析之。



其中 t₁ 表示所預報最低限度以下雲幕高與能見度發生時間之第一近似值，t₂ 表示其第二近似值，t₃ 表示其第三近似值亦即為其最後之預報發生時間。每經一次改善則其預報之結果愈益正確，由實際應用之經驗，可知此項預報問題經過三次之改善後，已勿須再行改善。此三個分佈圖有如第六圖 (a)，(b)，(c) 三部份所示。

設春季某日 Andrews AFB 所測得 1500z 3000 呎風向為 210°，1630E 雲幕高為 3000 呎，1630E 地面溫度露點差為 3°F，γ 之數值 (1630E 地面溫度減 1500z 850mb 溫度較差) 為零，由第六圖按 (a)，(b)，(c) 三個分佈圖循序而進，即可獲知其最低限度以下雲幕高與能見度之發生時間應在 2030E 附近。(下轉第 34 頁)



第六圖 Andrews AFB 春季最低限度以下雲幕高與能見發生時間之預報。