

氣象觀測自動化之評介與展望*

林 憲 男¹

摘 要

本文主要係分析氣象自動觀測系統輸出之觀測資料，與傳統人工觀測資料不一致的原因。作者除舉例分析之外，說明改善的方法，並認為氣象觀測自動化的目的，原是要取代傳統人工觀測，因此進行氣象觀測自動化時的觀念，應視氣象自動觀測系統為氣象觀測業務的一貫延續，設計方向應以能切合長久以來氣象觀測所遵循的程序及結為目的，但亦須配合潮流趨勢，將氣象自動觀測系統的領域擴大至與氣象資訊服務網路結合，進行整體規劃，才能獲致事半功倍的成果。

一、前 言

氣象觀測自動化研究，在許多氣象研究機構已進行許多年。一九七八年美國 NWS (National Weather Service)，將遙控氣象觀測系統 (Remote Automatic Meteorological Observing System) 簡稱 RAMOS，與一傳統觀測站，平行作業四個月，用以評估氣象觀測，全面自動化可行性及可靠性。結果發現；此自動觀測系統幾乎可完全取代傳統氣象觀測站人工觀測項目，及觀測作業程序。在當時；僅於美國一地，分屬於三個政府機構；National Weather Service(Department of Commerce—DOC)，Air Weather Service (Department of Defense—DOD) 及 Federal Aviation Administration (Department of Transportation—DOT)，約有一千二百個氣象觀測站，根據評估認為；氣象觀測自動化確實可行之後，即計劃逐次予以更新為自動觀測系統，期望以此減少人工成本負荷，避免人為觀測誤差，提供更迅速準確的氣象報告，來增進飛航安全及大幅提昇氣象預報，與突變天氣預警能力，此項決定；遂使研究觀測系統自動化風氣，風起雲湧，許多研究機構及氣象儀器廠商，都投入衆多人力物力，積極從事研究開發，並推出多種不同類型的氣象自動觀測系統行銷於市場。

我國中央氣象局，自民國七十年開始進行地面氣象自動觀測自動化工作，至目前為止，共有十七

個所屬氣象測站，納入地面氣象自動觀測系統之中，在推動氣象觀測自動化過程，以及實際運轉所得到的經驗，均發現許多值得深入探討的問題，本文主要係換對氣象自動觀測系統輸出資料，與傳統氣象儀器觀測資料的差異情形進行分析，並舉例說明合理的資料處理程序，以消除或減少此種資料差異，提供有關單位及學者參考。

二、氣象自動觀測系統輸出資料與傳統氣象儀器觀測資料差異的原因分析

氣象儀器指示或輸出數值，很難與真實值完全一致，依據目前的科技水準，只可能將氣象儀器指示或輸出值，儘量接近真實值，因為由氣象儀器，所獲得的指示或輸出資料數值，與下列三個因素有關：

1. 氣象儀器特性：指製造氣象儀器材料，氣象儀器結構，氣象儀器精密程度，設計氣象儀器所運用原理，以及氣象儀器的時間常數。
2. 架設氣象儀器環境：指氣象儀器所在處所週圍環境，與真實環境的差異程度。
3. 觀測方法或資料處理轉換程序：指由氣象儀器取得，計算，轉換或傳遞資料程序及方法。

觀察以上所述；可以理解二個不同的氣象儀器，要獲得絕對相同指示或輸出數值並不可能。例如：影響氣象儀器時間常數的因素非常之多，而儀器時間常數不相同，將很困難使二個氣象儀器有一致指示或輸出數值。

當氣象儀器周圍環境由一穩定狀態變化至另一

* 收稿日期：76年8月24日，送審日期：76年8月25日

1. 中央氣象局測政組儀器檢修科長

狀態時，氣象儀器的指示或輸出，由前一狀態改變至後一狀態之時間；必落後於真實時間，而指示或輸出滯後之時間長短，依儀器性質及結構而異，此滯後情形稱為氣象儀器的惰性。而其時間常數，可利用下式檢驗氣象儀器求得；

$$\lambda = \frac{0.4343t}{\log_{10} \left(\frac{X_1 - X_0}{X_2 - X_0} \right)} \dots\dots\dots(1)$$

X_0 ：校驗開始前，氣象儀器周圍，穩定的真實氣象要素數值。

(此真實值，以極精密型氣象標準儀器的指示值或輸出值為準)

X_1 ：校驗開始前，受校檢氣象儀器的指示或輸出數值。

X_2 ：校驗終了，受校驗氣象儀器的最終指示或輸出數值。

t ：受校驗氣象儀器，由 X_1 變化至 X_2 所需要的時間。

氣象自動觀測系統所使用的氣象感應器，因需將周圍環境的物理量轉變為電的信號輸出，故與傳統氣象儀器並不完全相同，例如氣溫觀測，傳統氣象儀器多採用玻璃水銀溫度計，而氣象自動觀測系統則多採用電阻式白金溫度計 (Platinum RTD)，兩者無論在製造材料，設計原理，以及外觀形狀都不相同，因此；其儀器時間常數也不相同。根據實驗；以空氣為熱導介質，玻璃水銀溫度計在氣溫變化時，其指示值要達到與周圍環境對應值的時間約在一至二分鐘，而電阻式白金溫度計在相同測試所需的時間約在十至十五秒間，因此；氣象自動觀測系統，在氣溫觀測項目應比傳統氣象觀測，具有較快速反應能力。如果氣溫變化高峰或低峰數值的持續時間，短於玻璃水銀溫度計的滯後時間，則高峰或低峰氣溫數值必然在儀器真正指示或輸出前消失，無法在玻璃水銀溫度計的指示值中出現。類似於此；具有較大時間常數的雙金屬式溫度記錄儀，亦可能將短暫的氣溫峰值平緩化，而無法在紀錄曲線看出。

一般而言；氣象自動觀測系統所使用的氣象感應器，其時間常數值，比傳統氣象儀器小，此差異；將導致氣象自動觀測系統輸出資料，有較高或較低極端值出現，而出現時間也可能與傳統氣象儀器所指示或紀錄的時間不一致。

傳統氣象儀器氣溫及濕度觀測儀器，按規定需安裝在百葉箱內，雖然百葉箱有一定的製造及安裝規格要求，但顯然地面風速將影響其內部通風狀況，而輻射熱量對百葉箱內儀器的干擾程度，將隨太陽輻射的強弱而變，而氣溫感測部份，由輻射所產生的額外熱轉移，將產生誤差，因為；

$$T = R / [Ka(Re)^n / d] \dots\dots\dots(2)$$

R ：由氣溫感測部份吸收的淨輻量。

K ：乾燥空氣中的熱傳導係數。

d ：氣溫計感測部份直徑。

Re ：氣溫感測部份的 Reynolds number = vd/r 。

V ：通風速度。

由額外輻射熱量，所引起的氣溫觀測資料誤差在晴空無風狀況，百葉箱內氣溫計及氣溫儀的氣溫資料，日間可能有高於氣象自動觀測系統氣溫輸出資料，達攝氏一度以上的情形。而因氣象自動觀測系統氣溫及濕度感測部份，係安裝在較標準的測量環境中，通常均裝設於具有恆定通風速度的通風裝置中，其溫度及濕度感測部份亦有較佳輻射屏蔽。因此；如僅考慮感應器特性，通風輻射熱量等因素，氣象自動觀測系統的氣溫及濕度，應有較接近於真實環境，合理與穩定的輸出資料。

風之產生係因不同氣壓間所發生的氣流流動現象，因此風速可用下列表示；

$$V = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{P - P_0}{Kp}} \dots\dots\dots(3)$$

P ：氣壓值。

ρ ：空氣密度。

Kp ：轉換係數。

又不同的風速計，其距離常數亦異，風速計距離常數如下式；

$$K = 0.63VS \dots\dots\dots(4)$$

V = 風速值，以 M/S 計算。

S ：風速由零至 V 急變時，風速計由零至 V 輸出時，所需的時間，以秒計算。

風的觀測；於傳統方式係由電接回數計的紀錄，計算十分鐘平均風速，或由風向風速儀的紀錄求得十分鐘平均風速及瞬間最大風速。由於風是變動最頻繁，隨時可能有鉅大變化的氣象觀測項目，連續不斷的累計或記錄十分必要，否則可能漏失瞬間

峰值風速。於氣象自動觀測系統，對各觀測項目輸出信號，係用掃描取樣 (Sampling) 方式取得，其漏失瞬變信號的機率，與取樣頻率相關。因此風的觀測至少需要每秒鐘取樣一次，否則將發生與傳統觀測方式的風速資料不一致

由前述舉例說明；不難瞭解氣象自動觀測系統與傳統氣象觀測之間，確有甚多不同處，但並不表示氣象自動觀測系統所輸出的資料，一定比傳統觀測所得到的資料正確。因為傳統氣象觀測的資料誤差原因，通常除儀器特性限制所發生的誤差及環境因素誤差較難更正外，大部份為可避免的人為錯誤，而氣象自動觀測系統，則尚有許多因素會使最終資料輸出值發生錯誤，例如；取樣頻率的適當與否，電子信號轉換為觀測資料的轉換係數，運算處理與觀測程序及觀測定義的互相配合問題，以至電子組件的穩定及可靠程度，電源問題，電磁波干擾問題，儀器校驗問題……等等，都可能使最終輸出值發生錯誤，因此不適當的氣象自動系統硬體或軟體，將使其比傳統氣象觀測更不可靠。

三、如何得到合理的氣象自動觀測系統輸出資料

由前述；可瞭解氣象自動觀測系統，要得到合理輸出資料，所牽涉的問題很多，每一問題都必須仔細考慮及以合理方法解決，否則會泛生許多困擾。而且必須體認；長久以來，吾人使用玻璃水銀溫度計，水銀氣壓計……等傳統氣象儀器，進行天氣觀測，如僅就儀器及使用目的而言，應是十分適切妥當，而氣象自動觀測系統，雖然有較佳的靈敏度，但建立氣象自動觀測資料，假如以前；因為玻璃水銀溫度計或雙金屬式溫度儀，因儀器時間常數較大，忽略了一些暫態的氣溫變動資料，新建立的地面氣象自動觀測系統，並無需刻意去觀測這些原本被忽略的暫態現象，或許這些暫態現象，長久以來就被認為不代表普遍的環境狀況。因此；以下的敘述都本於此種觀念，探討如何使氣象自動觀測系統輸出資料成為傳統氣象觀測資料的延續。但是如果氣象觀測系統不做為天氣觀測，當然可以依據需要加以修改以資配合特定需求目的。

(一)系統規劃

氣象自動觀測系統的規劃，須依據需求擬定功能要求項目，繪製系統結構圖。系統構成應以組件

方式 (Modular) 構成，硬體及軟體必須互相配合考慮，使達到容易組合 (Simply configured)，彈性 (Flexibility) 擴充能力，高度可靠性 (Highly reliable)，維護容易，及多功能的特性，其自動處理及傳遞氣象資料的功能要求至少為：

1. 依據設定時距 (Preslected time intervals)，自動執行氣象觀測。
2. 於特別天氣時，自動進行特別天氣觀測。(Make special observations when appropriate)
3. 依據適當的觀測定義程序 (Applicable algorithms)，處理及傳遞氣象資料
4. 具備氣象觀測資料品質監測 (Monitor quality)，及系統自我監測能力。
5. 具備多通路氣象資料分送 (Disseminate) 傳遞能力。
6. 氣象資料及系統狀況儲存能力。
7. 具備人工鍵入及修改氣象觀測資料能力
8. 可查詢先前氣象資料或系統狀況功能。
9. 可當地或遠地遙控系統運作。

氣象自動系統所需的電源，必須分配備不斷電系統 (Uninterrupted power system)，以免因電源的瞬間中斷，或不穩定，造成資料中斷，錯誤，甚至損壞氣象自動觀測系統儀器設備。

必須要求；所有用於氣象自動觀測系統的半導體，積體電路等零件，以及電子組件，都必須經過動態崩應試驗 (Dynamic burn in test)，以確保氣象自動觀測系統的可信賴度 (Reliability)。在臺灣地區由於雷雨機會很多，雷擊經常對儀器造成損壞，因此必須考慮避雷裝置。

(二)觀測資料蒐集

觀測資料蒐集，首先要決定各觀測項目適當的取樣頻率，此係依據各觀測項目感應器特性，及觀測項目性質來決定，下面列出各主要觀測項目的最低取樣頻率要求；

1. 風速及風向：每秒一次。
2. 氣壓：每十秒一次。
3. 溫度及露點溫度：每十秒一次。
4. 降水開始 (Precipitation occurrence)：降水發生時觸發。
5. 降水累積 (Precipitation accumulation)。

：每分鐘累計一次。

6. 雲層高度 (Cloud layer height)：每十二至三十秒一次。

7. 能見度 (Visibility)：每三十秒一次。

8. 雷雨 (Thunderstorm)：於發生時觸發。

9. 太陽輻射：每秒一次。

10. 日照時數：每秒一次。

(三) 觀測資料初步處理

由各觀測項目所得到的取樣資料，必須處理為每分鐘觀測資料，此為儲存於系統儲存設備中最基本的觀測資料，可進一步處理為相關氣象資料，各觀測項目每分鐘資料值，及各觀測項目平均值，累積值的舉例如下：

1. 風速及風向：由取樣資料計算五秒鐘平均風速或風向值，每秒鐘更新 (Update) 一次，由五秒鐘平均風速或風向值計算一分鐘平均風速或風向值，取二分鐘平均風速或風向值，每分鐘更新一次。

2. 氣壓：由取樣資料計算一分鐘平均氣壓值，每分鐘更新一次。

3. 溫度及露點溫度：由取樣資料計算一分鐘平均溫度或露點溫度值，取五分鐘平均溫度或露點溫度值，每分鐘更新一次。

4. 降水開始：記錄降水發生當時的時間。

5. 降水累積：計算每分鐘累積值，及一，三，六及二十四小時累積值。

6. 雲層高度：每次取樣雲層高度值，及三十分鐘累積雲量，每分鐘更新一次。

7. 能見度：由取樣資料計算每分鐘日或夜視程值，每分鐘更新一次。

8. 雷雨：記錄發生當時的時間。

9. 太陽輻射：由取樣資料計算每分鐘累積值。

10. 日照時數：由取樣資料計算累積值，以分鐘累進。

(四) 觀測資料品質檢查及進一步處理

氣象自動觀測系統因為有許多原因，會使其發生輸出資料錯誤，例如經由空中或其他用電設備，所產生的電磁波干擾，以及因零件缺陷所發生的軟性錯誤 (Soft error，所謂軟性錯誤，係指時好時壞的情形，等都時難於防範，但却可能使觀測資料進一步處理程序較繁複，僅舉溫度及風觀測的資料品質檢查與進一步處理程序說明如下：

A. 溫度觀測資料品質檢查及進一步處理程序

1. 讀取溫度取樣觀測資料，每十秒鐘一次。

2. 檢查溫度觀測值，應在設定的高限與低限範圍內，如若否，則記錄此次溫度觀測資料缺。

3. 與前一分鐘溫度觀測值比較，如下一分鐘溫度觀測值變化超過攝氏 3.3 度，記錄此次溫度觀測資料缺。

4. 如溫度觀測資料通過 2 及 3 的檢查，儲存此資料，並計算一分鐘平均溫度值，如一分鐘內僅缺一次，以五次平均求一分鐘平均溫度值，否則記錄此分鐘溫度資料。由一分鐘平均溫度值求五分鐘平均溫度值。輸出此平均溫度值，每分鐘平均，否則記錄此五分鐘平均溫度值缺。

5. 每小時定時觀測前的最後五分鐘平均溫度值，做為該小時溫度資料輸出。

6. 由儲存的五分鐘平均溫度值，求每小時最高及最低溫度值，如該小時內有缺五分鐘平均溫度值時，記錄該小時最高及最低溫度值缺。儲存每小時最高及最低溫度值。

7. 每六小時自動由每小時最高及最低溫度值。

8. 在下列 GMT 時間求出最高及最低溫度值；

2350 12小時最高溫度/18小時最低溫度。

0550 24小時最高溫度/24小時最低溫度。

1150 前一天最高溫度/12小時最低溫度。

1750 12小時最高溫度/24小時最低溫度。

9. 以 4TxTxTnTn 格式輸出

TxTx=最高溫度

TnTn=最低溫度

(溫度值-100後填入)

10. 由每小時最高及最低溫度值求 LST 2350 至 LST 2350 之最高及最低溫度值。

B. 風觀測資料品質檢查及進一步處理程序；

風的觀測；於傳統氣象觀測中，無論平均風速或瞬間風速，均是以十分鐘區間的平均值或出現的瞬間為準，但於氣象自動觀測系統，許多研究文獻均認為平均風向或風速取二分鐘平均值較適宜，例如美國 ASOS 系統 (Automated Surface Observing System)，其風觀測資料係取二分鐘平均值，其程序舉例如下：

1. 讀取風向或風速取樣資料，至少每秒鐘一次。

2. 檢查風向或風速資料，應在設定高限及低限範圍內，如若則記錄此次風向或風速觀測資料缺。

3. 計算五秒鐘平均風向或風速值，每秒鐘更新一次，儲存此資料。（儲存二分鐘）
4. 以五秒鐘平均風向或風速值計算一分鐘平均風向或風速值，以一分鐘平均風向或風速值計算二分鐘平均風向或風速值，儲存並輸出此資料，每分鐘更新一次。風向以36方位輸出，如風向為0度時輸出36，如平均風速小於1m/s時風向輸出為「0000」。
5. 每分鐘檢查並儲存五秒鐘平均風向或風速的最大值。（儲存10分鐘）
6. 如二分鐘平均風速值大於1.5m/s時，由5所儲存的最高風速資料，求最近十分鐘最大瞬間風速值。
7. 將二分鐘平均風速值與最近十分鐘瞬間最大風速比較，如瞬間最大風速大於平均風速2.5m/s以上時，以 WdwsGgg 格式輸出瞬間風速值。

Wd=風向

Ws=平均風速

G=瞬間風

gg=瞬間風速值

以上所舉例子僅是觀測資料品質檢查及處理程序的大要，實際上要考慮的細節，可能遠比舉出者多，但可以看出，觀測資料值是以動態時間平均法求得，輸出資料將具有較平緩與合理的變化曲線，可切合真實的環境變化，如果；一氣象自動觀測系統觀測資料處理程序，僅採用簡單的定時距平均法，且又欠缺觀測資料品質檢查程序，將很難避免觀測資料錯誤，亦難與傳統儀器的觀測資料值，有良好一致性。故如何為氣象自動觀測系統，設計一適當的觀測資料品質檢查與資料處理程序，是非常重要的工作。

四、結 構

隨著氣象觀測自動化的推動，一種期望以現代化科技技術，建立一個具有多功能與高效率的氣象資料傳遞及分送系統觀念，逐漸形成，此為一先進的整體運作觀念與構想，為將此構想付諸實行；1984年三月，麥克唐納公司 (McDonald Dett-

wiler) 與哈瑞森公司 (Harris Corporation) 合作，為美國空軍設計自動天氣資料分送系統 (Automated Weather Distribution System 簡稱 AWDS)，而 National Weather Service 計畫於1990年代啓用 Advanced Weather Interactive Processing System 簡稱 AWIPS-90，以取代目前的 AFOS (Automatic of Field Operations and Services)，以及 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 所積極推動的 Data Access System 等等都顯示了這種發展趨勢。建系統的目的；是希望在有效運用，由氣象自動觀測系統所蒐集的氣象觀測資料之外，並考慮如何使有關機構以及社會大眾，分享迅速確實的氣象資訊情報。因而；此系統必須能依據最新天氣資料，迅速得到氣象預報分析資料，此包含圖形顯示的電腦資訊產品，立即傳遞到有關的單位，為要配合此系統高效率整體作業需求，必須將各相關單位設計為一系列特殊的電腦工作站，將其觀測，圖表及通信作業都結為一體。

此整體作業觀念的潮流，迫使氣象自動觀測系統不得不重新調整其結構與功能要求，而不能僅侷限在滿足觀測要求的範圍，故今日；要建立一氣象自動觀測系統，其所要考慮的，將不僅是資料的蒐集與傳遞而已，而是需要考慮許多與整體作業有關的配合問題。我國中央氣象局目前所面臨的，正是這種觀念的轉捩點，預料將繼續以團隊合作的精神，共同為如何使氣象服務觀測系統結為一體而努力，預期不久將來，即可獲得完美的結果。

關鍵詞	地面氣象觀測，自動系統掃描取樣。
Key words	Automatic Meteorological Surface Observation System Scanning Sampling

參 考 文 獻

1. 日本氣象廳氣象測器檢定指針。
2. Request of propose for the acquisition automatic observing system.

Development Direction and Prospect of Automatically Meteorological Surface Observation

Hsien-Nan Lin

Weather Equipment Section, C. W. B.

ABSTRACT

This paper intends to analyze the reasons which caused the difference between output data of Automated Meteorological Surface Observing Systems and the data of traditional observation instruments. The author gives some suggestion about system design, data validation and data processing, which can improve the data quality obtain by the Automated Meteorological Surface Observing Systems.