

橫渡兩洋之氣球探空 林則銘譯

一、提 要

利用受控制飄浮於大氣某等壓面上並裝有儀器之氣球，以行探測高空實況，為收集高空資料的新觀念。為實現此目的，橫渡兩洋之氣球探空 (Transosonde) 的儀器系統，業經完成。並經實驗證明，有關此系統之技術方面，及對氣象之應用，皆具實用價值。在多次實驗中，由沿岸高週率無線電定向站所組成之探測網，曾追蹤越洋探空氣球至數千哩之遙。氣球之路徑為主要之氣象資料來源。由氣球沿等壓面之路徑，可直接推算風之速度及加速度，以此有價值之資料供地面圖分析及研究之用。氣球之路徑，於穿過主要之槽或脊時，常顯示其特徵，以為地面圖分析及長期預報之重要資料；此外，尚可由一組氣球之路徑，以測量其路徑中之加速及減速。越洋探空氣球尚可附帶收集氣溫，溫度遞減率，風切變及其他氣象因素之資料。總之，此系統可應用於全球任何缺乏之高空資料之區域，其經濟有效價值可與現有之他種系統一較短長。

二、前 言

用越洋探空氣球以收集資料之觀念，係奧爾維 (H. T. Orville) 海軍上校一九五〇年元月，於就任美國氣象學會會長時，向該會所提出者。此觀念係欲利用一越洋之氣球探空系統，此氣球係置於某等壓面上，可隨高空氣流飄洋過海，並用其可以降落的附件，週期性的探測該氣壓面以下的各大氣層。各層大氣現況由氣球上之感應器感受後，即轉發至沿海岸諸探測站，且可以適當之定向技術，定出每一報告之發佈位置。

航空局及海軍研究實驗室曾研究此觀念能否實際施行，經初步研究之結果指出，裝有儀器並能越洋飛行之氣球可以設計；且指出如配以適當之電源及發射機，可以高週率無線電定向臺組成之追蹤網定出氣球之位置，於其所發定向電波中加以摩氏電碼即可發佈氣象報告。雖然事實上所收集位於氣球高度以下，海洋上空各氣層之投下探空資料，因無法用以定出各大氣層之氣流型而僅具有限價值；但於氣球所飄浮之大氣層，任何時間皆可決定氣球附近區域之運動場。此係吾人設想片段之飛行路徑即沿等壓面風向量之位移之故。以風場表示運動場較用氣壓場為佳之確證，更充分支持氣球飛行路徑較其所得垂直探空記錄更具重大價值之爭論。高得森氏 (Godson) 曾詳盡討論以氣壓場代表運動場之缺點，周倫 (Joern)，希爾曼 (Sherman)，及其他多人之研究結果，亦指出利用氣流型以預報天氣，可得與用氣壓型相同或更佳之結果；於熱帶分析中，因氣壓場不能決定速度場之結構，此結果更屬實。

因風速及其加速可直接由等壓面上氣球路徑中求出，故路徑可供適合於等壓面分析標準氣象技術所需之資料。因之當依據甚少假定之天然氣流資料，更直接決定運動場時，仍保有等高線分析之優點。如此即獲得路徑系統之最初思構，而異於近日利用之投下儀器。

三、裝 備

此系統須含有下列三項裝備：

- ① 氣球及維持其飛行於等壓面之控制裝備。
- ② 一含有氣象感應器，發射機及電源之空降氣象臺。
- ③ 一高週率無線電臺所組成之定向網，用以週期性定出氣球之位置及收集氣象報告。

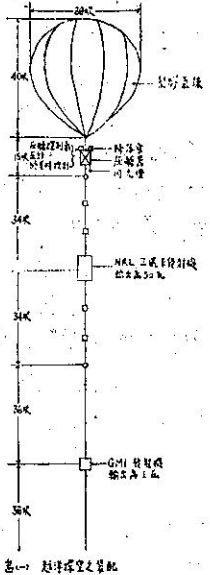
依照上述需求所配成之實驗性裝備，於一九五二年在美國奧勒岡州壘勒莫克 (Tillamook, Oregon) 首次施放。施放結果經有系統之分析後，裝備上之弱點已被校正。其最後決定之裝備如下：

有塑膠外罩之氣球，其外罩為十四塊三角形，厚0.0025吋 (2.5mil) 之雙膜異量乙稀 (Polyethylene) 膠結而成。沿每三角片之結縫處及中央，皆置有玻璃線頭，用以携帶裝備。

氣球係以「上限及壓艙控制系統」(Ceiling and Ballast Control System) 控制其氣壓高度，使飛行於二極限之間。氣球之上限，為定容氣球足以支持其載重之最大氣壓高度。當氣球升越此高度時，氣體即由氣球底部之開口管排出，以減小其浮力而阻止其再行上升。壓艙控制系統係一氣壓開關，此開關可管制壓艙活門 (壓艙內

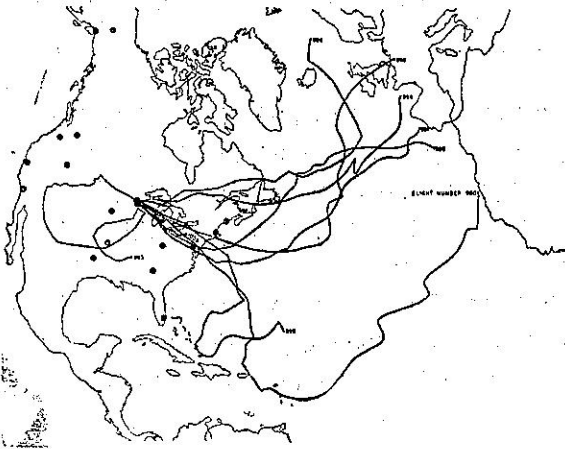
裝沙粒(譯者)，當氣球降至其控制高度以下時，活門即開啓以減輕載重而阻止其下降。

發射機爲普通型者，其輸出爲50瓦(Watts)。其電源爲一串並聯之58BA-38乾電池，供300v及700v之板壓，及另一66安培小時之酸類蓄電池以供6v之燈絲電壓。電池包以間隔爲一吋之鋁箔四層，用以隔絕熱量，俾能於低溫之環境中自電池獲得足夠之電能。此外電池及發射機係置於有絲棉墊之盒中，並蓋以透明之異量乙稀塑膠蓋，俾可藉花房作用以保溫。發射機每隔二小時分別以6024KC；12,855KC及19,282KC之週率，依次各別工作五分鐘。一直流時控摩托管制其燈絲電壓及天線聯接開關，以定其所發射之週率。一改良之AN/AMT-3投下探空儀用以感應週圍之氣壓，及發射機盒表面之溫度，並將其變爲摩氏電碼而發射之。所發信號於每五分鐘發射中，有兩次三十秒之間歇停頓，以助定向臺之定向。



四、明尼波利斯基地之實驗

十隻配有上述裝備之氣球於一九五三年在美國明尼波利斯 (Minneapolis) 基地施放。每個飛昇氣球裝備之總重量爲660 磅。所有氣球皆被控制飄浮於300m之氣壓面，且藉預置之時控器使其於抵達歐洲或非洲海岸前降落。其降落之時間，係由各氣球之預報路徑中選擇。利用海軍及聯邦通信委員會 (FCC) 之設備，每隔二小時可以無線電定向技術定出氣球之位置一次。



圖(二) 越洋探空氣球路徑圖

。此種定向臺之數量及分佈情況，可定出各種無線電發射路徑之方位及距離與電離層之情況。越洋探空系統之所以切合實用，主要係因其可被連續正確追蹤至數千哩之遙。因此，吾人已應用由於 FCC 參加越洋探空計劃所得之大量追蹤資料，以尋求高週率無線電定向網對越洋探空氣球追蹤之實際情況。圖(三)示 FCC 定向臺對發射時間爲十五分鐘之越洋探空氣球，定向3212次之分析結果。其縱坐標爲由三種週率所獲得可用定向點之百分率，橫坐標則爲距離。根據此資料於三千哩之距離內，定向臺能獲所用定向點之百分率爲 0.88，於三千哩內則爲 0.83。由此亦可知 50 瓦發射機所發之能量足夠越洋追蹤氣球之用。此外此分析結果尚顯示，應用 6420KC 及 12,855KC 二波段甚爲適宜，因於所遇多數無線電傳播情況下，可收集良好連續之資料。

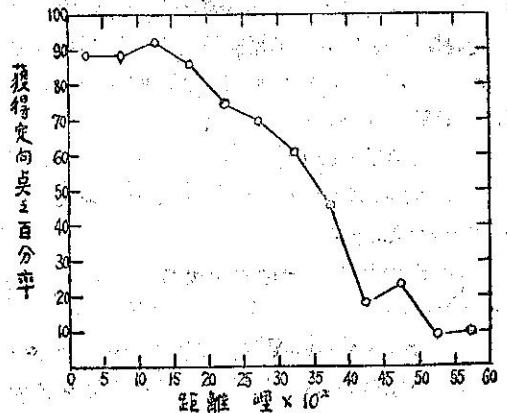
正確之定向點，可增加路徑資料之氣象價值。某定向點之

氣球飛行之時間爲二至四日，其路徑之長度平均爲 4540 哩。在飛行中從無因氣球故障墜落之情事，僅於第 1039 次飛行中因控制裝備失靈而過早降落，故極可信賴。簡單之控制技術，即可有效控制所有之氣球，各氣球飛行高度皆在兩千呎以內。於此多次之飛行中，已獲得越洋探空系統之實用技術；並供給資料，對越洋探空路徑在氣象上之重要，作一評價。最重要者，係此多次飛行已證明吾人可製出能載重 650 磅，作數日近乎等高飛行之氣球。且當其配有 50 瓦之高週率發射機時，可被高週率無線電定向網追蹤至數千哩之遙。

五、追蹤情況之分析

FCC定向網擁有阿德寇克型 (Adcock-Type) 定向臺十八座，十五座位於美國，二座位於阿拉斯加，一座位於夏威夷。美國及阿拉斯加定向臺之位置，見圖(二)黑圈

圖(三) 定向分析圖



正確性，係基於甚多之因素（有些因素尚未得知），因之僅能以此點與有時所定出氣球之精確位置相比較，以測量其準確度。作多次之比較，即可由資料之統計中，刻劃出一有特別工作方式之追蹤網。

實際應用之越洋探空系統，可能採用一如 FCC 所應用之阿德寇克型定向網。故應估計由此網所定各點方位之正確性。FCC 以定向網所定各點為中心，圈以半徑不同之圓，以指示其定向優劣之等級。每點之真正位置，有在此圓內之最大可能。圓之半徑為20哩者列為佳，40哩者為良好，60哩者為劣。決定追蹤所得定向點之正確性有二法；其一為以定向網報告之定向點位置，與氣球攜帶照像機所攝得之真正位置相較，另一為比較報告之定向點位置與由平滑行徑推證之位置。以下為各方法之探討：

一九五三年八月莫貝狄克 (Moby Dick) 氣球所作之S-85號越洋探空中，美國本土有26FCC 追蹤網定向點可與照像位置相比較。經分析此資料，知定向點之平均誤差為18.8哩。按FCC之優劣分等，定向點之位置，正確者佔58%，過低者為31%，過高者11%。

在海洋上空，無直接可供比較之資料時，追蹤網報告之定向點，可應用平滑推算法以求出代表氣流型長期變化之路徑，然後比較報告之定向點位置與平滑路徑中之相當位置。自明尼波利斯施放之990及991兩次探空其於大西洋之部份路徑，即應用此法；而以最近之海岸定向臺以東二千哩為與平滑路徑相較之極限，氣球過此界即不再推算，因過此即越出 FCC 定向網之正常工作區域，故無法研究其工作情況。經22次比較結果，報告之定向點與平滑路徑中所推算相當位置之平均差距為19哩。如此差距全屬定向點之差誤，則依FCC之優劣分等，其27%屬正確，59%過劣，14%極佳。

在定向網正常工作區域內追蹤氣球，其 FCC 優劣等第不變，且至多估計其定向點之平均誤差約為19哩。

六、資料之代表性

越洋探空氣球之加速作用，可視為係由各種大小不同之渦旋所造成。較氣球小之渦旋所造成之極短期加速對氣球無影響，但對大小與氣球相同至數百呎之渦旋之加速反應極速。此等中度渦旋如其平均壽命超過數分鐘時，可視為等熱帶性 (Isotropic)，因其將有擾亂氣球之作用。真正之問題在於尋求數哩或更大之大渦旋對氣球之影響。有關大氣環流中之渦動之著作，布魯克斯 (Brooks) 等曾指出，甚至極大之大氣渦旋，在水平方向亦趨於同性之狀態。因之即使經一較長期間，在氣球之路徑上亦無堆積之渦旋影響。

唯一有關大渦旋作用之實驗證據，為摩爾 (Moore)，史密司 (Smith)，及葛爾斯威克 (Gaalswyk) 之著作，三氏曾研究多個等壓面飄流氣球之結果。氣球係自猶他州俄格頓 (Ogden, Utah) 施放，被控制飄行於 300mb 之氣壓面，並以飛機定出其飄行時各點之位置。據觀測結果，此一組氣球於觀測期間內皆相密接，故可知渦旋之擴散作用，對此多次飄行氣球之影響，可忽略不計。

七、氣象資料

風速可自越洋探空氣球之片段路徑中以下列公式求之：
$$\Delta = \gamma / (t_2 - t_1) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

V 為二定點間 (t₂—t₁) 時間內之平均風速。γ 為氣球於此二點間所測得之位移。位移向量誤差 Δγ，應與決定位移向量之二定點間向量誤差之差值相等。吾人以標準誤差 σΔγ 表示位移向量誤差，以二定點間所經過之時間除之，則可得標準風向量誤差 σΔV，其公式為：

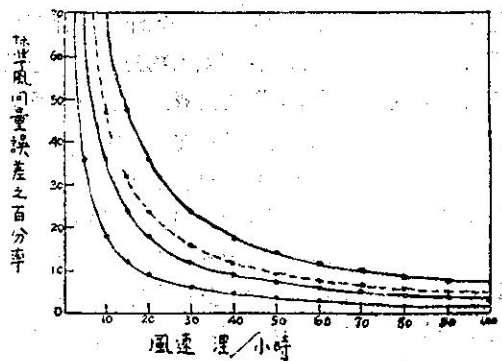
$$\sigma \Delta V = \sigma \Delta \gamma / (t_2 - t_1) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

分析 S85 號探空中十三對定向點之結果，指出其標準風向量誤差為14.2時哩。

如 E 為標準風向量誤差與真正風速之百分比，則依公式 (2) 可得：

$$E = 100 \sigma \Delta \gamma / V (t_2 - t_1) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

式中 V 為 (t₂—t₁) 時間內之平均風速。依公式，當平均風



圖四、風速標準率曲線

速 V 或 (t_2-t_1) 增大時， E 皆減小。圖(四)表示 E 隨時間間隔 (t_2-t_1) 為2, 4及8小時之平均風速之變化。圖中虛曲線表示地面自動追蹤探空儀GMD—IA所測得風之精確度以供比較。由圖(四)之曲線可知，S—85探空中，基於FCC定向點之精確度所定之路徑風速，當所取時間間隔近於三小時時，可與GMD—IA所得風速之精確度相比較。

水平加速可以沿路徑各點之風速以推求之。平均水平加速向量 A ，可以下式表示：

$$A = (V_2 - V_1) / T \dots\dots\dots ④$$

V_2 及 V_1 為間隔 T 時間之二速度向量。 A 亦可以位移向量表示之：

$$A = (\gamma_2/t_2 - \gamma_1/t_1) T^{-1} \dots\dots\dots ⑤$$

t_2 及 t_1 分別為定點間位移向量为 γ_2 及 γ_1 之間隔時間。當 γ_2 及 γ_1 之標準位移誤差相等，且於 $t_2=t_1=t$ 之情況下，其加速之標準向量誤差 $\sigma\Delta V$ 為：
 $\sigma\Delta V = 2\frac{1}{2}\sigma\Delta\gamma/tT \dots\dots\dots ⑥$

應用此公式時，其平均週期之乘積 tT ，決不可過大，致算出過大之加速；但其數值必需大至能平均免除短期氣流型之偏差。例如，於標準位移誤差為14.2哩之S—85探空，取 $t=3$ 小時， $T=6$ 小時之計算結果，其標準加速誤差為每小時1.1時哩，遠小於通常於對流層上界所見，發展良好之環流之一般加速。

氣球路徑於經過存在於對流層高層氣流型中之主槽或主楔時，可定出其特性，以為一覽天氣圖分析及長期預報之最重要報告。一組連續之氣球路徑可用以計算槽之速度，加速或減速。追蹤定向之精確度雖可能極劣，但仍能提供關於槽楔運動之有用報告。

八、可能附帶收集之氣象資料

隨儀器系統之進步，附加資料之收集，有實現之可能。例如，氣球定壓面之高度，於氣球上升或下降時，極易以此系統所裝有之類似無線電探空的大氣探測儀器測得之。於路徑中間之各點，雖可有資利用之方法以求其高度之近似值，但其高度不能單獨以路徑之資料決定之。於氣球附近之區域，雖勿需高度之報告以構成其等高線型式；但高度之報告，可助此類等高線與其周圍等高線之聯接。於洋面上空可能精確而直接測量氣球高度之方法，係應用雷達高度表。雖因重量及價格關係，雷達高度表未被早期採用，然吾人現正設法設計一可用於越洋探空系統之雷達高度表。由投下探空儀之垂直探測紀錄中，亦可計算氣球之高度。設計一以高週率波段發射之摩氏電碼自動發報機，有實現之可能；此發射機發射之信號有足夠之能量，可直接為追蹤網所屬之電臺所接收。含有六個或六個以上定向臺之標準追蹤網，對十至廿瓦之發射信號，可望有0.9或更佳之接收率。

沿氣球路徑溫度之測量，實使越洋探空資料之氣象價值大為增加。以熱感應絲為自動平衡電橋線路之一支，加以有數級之電碼系統(Servo-driven Coding System)，即可發射連續之溫度信號。因氣球與其周圍空氣間常有較小之相對運動，故需將溫度感應器小心封閉，並設強力通風設備，俾可得有代表性之測量記錄。於某些應用上氣壓可為決定精確溫度測量之極限因子，故需顧及氣壓測量之精確性。一九五五年春於加里福尼亞州維納利斯(Vernalis, California)所放之越洋探空已用上述方法以測量溫度，因其資料尚在分析中，目前尚無有關此方法之價值之結論。

對流層高層濕度之測量為一難題，需用良好精巧之技術以解決之。目前僅有露點濕度表似可供實用，但需大加簡化後始可應用於越洋探空中。

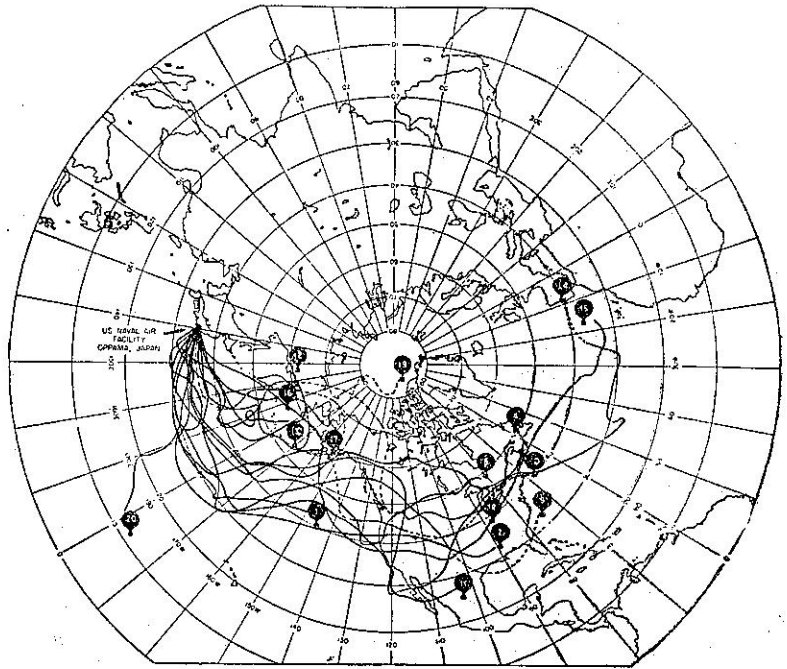
測量溫度遞減率，可較正路徑中，因氣球偏離等壓面而有誤差之溫度值。測重風切變，為求氣球上下區域內風速之方法。上述二種測量必需行之於路徑以上或以下之空氣層中。懸於氣球下方之儀器可測量較低之氣層，因越過氣球之水平風速可忽略不計，此儀器測得之風速可用以表示儀器與氣球間氣層之風切變。風速可被由熱感應原素所造成之高度精確儀器以測量之，風向則以風標或磁定向器以測定之。對溫度遞減率之測量可用三種不同之方法，其法為。①於二氣層內各別測量其溫度。②二層間之微分測量。③以同一儀器先測一層，再測他層。因直接由運動方程決定垂直速度，需用極準確之溫度遞減率資料，故需根據上列每種方法所有之誤差，以選用最適當之方法。無論如何，吾人可望努力以發展可精確測量溫度遞減之儀器。以投下探空儀測量溫度遞減率，係屬上列第③類方法。投下探空儀係含於越洋探空之空降部份內，為測量高度之儀器，亦用以測量溫度遞減率。

九、太平洋越洋探空之施放

中緯度氣象報告網之最大空隙係位於太平洋中，其高空資料稀疏情況，遠較美國為甚。此區域以 $40^{\circ}N$, 170°

E 爲中心，於對流層之高層有一平均西風氣流，以致日本每日所放之氣球，必形成橫跨太平洋至北美西岸之一串順序路徑。例如各季每日約有三隻氣球同時穿越太平洋，夏季則爲六隻。因此對飛越太平洋氣球之追蹤爲吾人考慮之首要，故由任意六定向臺所組成之追蹤網，於此區域內獲得定向點之可能率已被估出；由四個或四個以上定向臺所得定向點之可能率，於太平洋中區甚佳，爲0.80至0.94，但至邊區則降至0.48。但於太平洋邊區因有鄰近之陸上探空臺，故此區之資料較不重要。

爲測驗飄越太平洋之越洋探空可否實行，美國海軍航空局利用日本橫須賀(Oppama)基地之美國海軍航空設備，於一九五六年一至二月間，曾做越太平洋探空施放實驗。以與明尼波利斯實驗所用者相同之氣球裝備及 FCC 追蹤臺，旋放300mb 越洋探空廿個。如圖(五)所示，其中十六個被 FCC 追蹤臺至已知之距離。此多次飛行之平均值如下：距離七千哩，飛行時間八十小時，速度80哩。其中以第14號越洋探空飛行之距離及時間最長，約於128小時內飛行14,000哩，第2號速度最快，當行近西徑 160° 時，其速度超過每小時250哩。一般論之，於中北太平洋追蹤情況良好，甚至於距美國最近之夏威夷及阿拉斯加二追蹤臺之工作情况亦然。此次實驗顯示飛越太平洋之越洋探空可供實用。



圖(五) 太平洋越洋探空路徑圖

十、摘要及結論

讀者欲得有關越洋探空之詳盡報告，尤其關於其於氣象上之應用，可參考奈伯吉 (Neiburger) 安吉爾 (Angell) 二氏大作。該文對越洋探空之氣象曾有詳盡分析。本文主要說明此系統可實用於任何地區，其機械及氣象方面之研討，明顯指出此一收集天氣報告之方法可就其經濟價值與今日所用之其他一較短長。越洋探空已爲氣象學者就資料收集方向闢一新門徑。以氣球路徑爲主要之資料來源，可供風速及加速，槽及脊之位置，加速及減速之報告。此外，此系統尚能測量其他如溫度，溫度遞減率，風切變等氣象因子。於地球上目前特別缺乏高空資料之區域，以此系統以收集資料，可對氣象分析及預報有重大幫助。太平洋越洋探空之施放，已證明此越洋探空工作可以實用。最後，越洋探空資料經研究分析後，可探悉大氣之動力運動情況。

譯自：Bulletin of AMS, Sept. 1956.

作者：A. D. Anderson & Henry J. Masten Brook