

論 著

腸膜之特性及其在無線電探空儀上的應用*

嚴開偉 張 鈞

(北 京 大 學)

提 要

本文介紹了作者處理的腸膜濕度元件的特性。當元件切截為 1—1.5 毫米寬之長條狀時,由實驗室內及高空探測結果指出:

1. 施於元件之拉力不得大於 5 克重,否則檢定曲線不穩定。
2. 如一元件已適應某種程度之張力,改變張力則檢定曲線亦改變。
3. 通常長度隨相對濕度之變化極接近“給呂薩克”尺度,但經過特殊處理後,可使之接近線性關係。
4. 具有顯著之癱瘓效應。但相對濕度達 70—75% 時,癱瘓現象立即消失。
5. 表面附有水層時,尺度不穩定。

以上所述各種性質,其他各種類型的元件亦多少地存在,但作者處理之腸膜更有下列重要優點。即

6. 在低溫時仍極靈敏,滯性係數很小,與德製旋髮相當(圖 5)。

由於滯性係數很小,故作者處理的腸膜當為高空觀測工作中極有用之工具。

作者在北京選擇了不同的天氣施放探空儀,同時進行了毛髮、旋髮及腸膜的比較工作,文中也列舉了部分這方面的記錄及分析結果。

大氣中水分含量隨高度變化劇烈。中緯度及低緯度地區暖季地面絕對濕度約為 20—30 克/米³,至對流層頂部及平流層底部一般低至 10⁻⁴—10⁻⁵ 克/米³。利用無線電探空儀進行高空探測時,如此巨大之變化僅發生在幾十分鐘之內。至於氣溫低至零下幾十度,相對濕度在 200—300 米內由極低變至極高或由極高變至極低之情況亦不少見,由於探空儀上探測濕度的系統必須簡單、輕巧、經濟、且反應迅速,因此改進探空儀濕度反應系統,以精確地取得濕度記錄的方法,迄今仍是高空氣象學的重要工作之一。目前探空儀上所使用之濕度系統有兩大類,一類利用化學劑,一類利用毛髮(包括常用

* 本文係中央氣象局與北京大學合作研究工作之一。1956 年 11 月 28 日收到。

毛髮、腸膜、旋髮等)。前者適用於調低頻式探空儀,後者適用於調高頻式、時距式及電碼式探空儀。

北京大學氣象專業氣象觀測法及高空氣象實驗室,爲了改進目前國內高空濕度探測及地面低溫情況下濕度觀測工作,對腸膜進行了若干實驗。本文即對應用腸膜探測高空濕度的實驗結果,作一簡單的介紹。

一. 實驗方法及設備

實驗分兩部分:一部分在實驗室進行,主要瞭解腸膜基本特性;一部分施放探空儀,進行自由大氣濕度的探測。

在實驗室內,當溫度高於 -5°C 時,利用混合法控制濕度。在閉合容器中(圖1),令相對濕度達到 95% 以上,然後注入部分乾空氣,容器中裝有電扇,使空氣迅速充分混合,並裝有通風乾濕球溫度表以測定混合後的空氣濕度。低濕度至高濕度的變化,則可注入水蒸汽於容器中。作者所用之容器容積約爲 0.2 立方米。根據通風乾濕球溫度變化,估計由於濕球水分的蒸發以及內外空氣通過容器壁的空隙而發生交換,所引起的相對濕度變化,如在容器外相對濕度高至 70%,容器內低至 20% 的時候,5 分鐘內不到 1%。

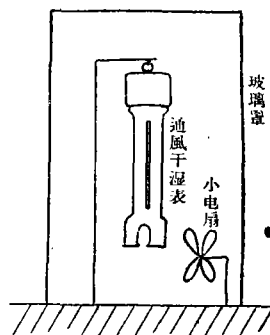


圖 1.

當氣溫低於 -5°C 時,則採取露點控制法。飽和空氣經過溫度較低之恆溫槽(圖2),部分凝結的水汽由於槽的曲折構造遺留於槽內。由此導出的空氣經過一段保持恆溫之蛇形管進入裝有腸膜之玻璃管內。腸膜之一端固定在

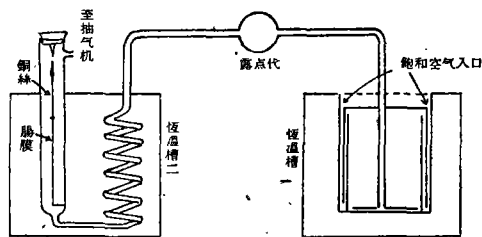


圖 2.

玻璃管底部,另一端連接一細銅絲,銅絲之另一端操縱一指標。腸膜之長度約爲 20 厘米,銅絲長度約爲 4—5 厘米。根據實驗當相對濕度接近 100 時,腸膜長度隨相對濕度之變化概量爲 10^{-3} 厘米,而銅絲之熱膨脹係數爲 10^{-5} ,因此可忽略銅絲之熱膨脹影響,直接用讀數顯微鏡觀察指標之移

動而得到腸膜長度之變化。玻管除指標部分外露,其他部分全浸入恆溫槽內,管內裝有二套熱電偶,一套熱電偶之一端裝置於腸膜中點位置,用以測量腸膜之平均溫度,另一套熱電偶之兩端分別置於腸膜之頭部及尾部用以測量梯度。實驗指出,兩端差小於 0.1°C 。進入蛇形管之空氣先通過露點儀測定露點。由於促使空氣在整個系統中流動,系統兩端維持 3—5 毫米水銀柱高之氣壓差。當室內氣壓在 750 毫米以上時,露點儀測

定之露點可認為與玻管內之露點相同。根據玻管內溫度及露點，就不難計算管內相對濕度。

露點儀由一銅棒構成，底端浸入冷源，頂端緊貼一表面光滑且鍍黑色之薄銅片，銅片下方有一加熱器控制銅片溫度。銅片邊沿銲接有銅絲及康銅絲形成的熱電偶溫度計，讀取銅片溫度。銅片上凝露與否由一放大鏡觀測之。這樣的構造原理與 Thornthwaite^[1] 及 Dobson^[2] 相同。試驗指出，當露點溫度高於 -40°C 時，測定露點很容易，一般可精確至 0.1°C 。

進行高空實驗時，所用的探空儀為芬蘭調高頻式及德製 H₅₀ 電碼式。

進行實驗所用之腸膜皆為條狀，寬約 1.5 毫米。

二. 腸 膜 的 尺 度

我們利用芬式探空儀^[3]，在圖 1 所示之濕度控制系統中進行了實驗。當溫度在 $20-5^{\circ}\text{C}$ 的範圍內時，經過適當處理後之腸膜，尺度變化適合給呂薩克^[4] 的規律。圖 3 中曲線 A 即為一例，橫坐標為相對濕度，用給呂薩克尺度表示，縱坐標為 z 值。很明顯，在這樣的坐標系統中，相對濕度隨 z 值的變化呈線性關係。作者曾用毛髮代腸膜，利用毛髮濕度計進行試驗亦得到相同結論。張靄琛^[6] 利用不同方法控制濕度，亦得到同樣的結果。如在相對濕度為 0 時，令腸膜之長度為 1，則當相對濕度增至 100 時，長度增長 2.5—4%，其值是隨處理過程而不同。August Lang^[5] 指出常用毛髮經過適當處理以後，可以使之不適合給呂薩克變化規律，作者發現腸膜亦可以有類似情況。在脫脂過程中予以適當安排，其尺度變化可呈線性規律。圖 3 B 為一例，橫坐標為濕度（線性尺度），縱坐標為 z 值。 z 值與相對濕度之間呈線性關係。所用腸膜與圖 3(A) 中的曲線相同。

腸膜之處理過程影響尺度很大。當相對濕度大於 85% 時，處理不當之腸膜長度隨

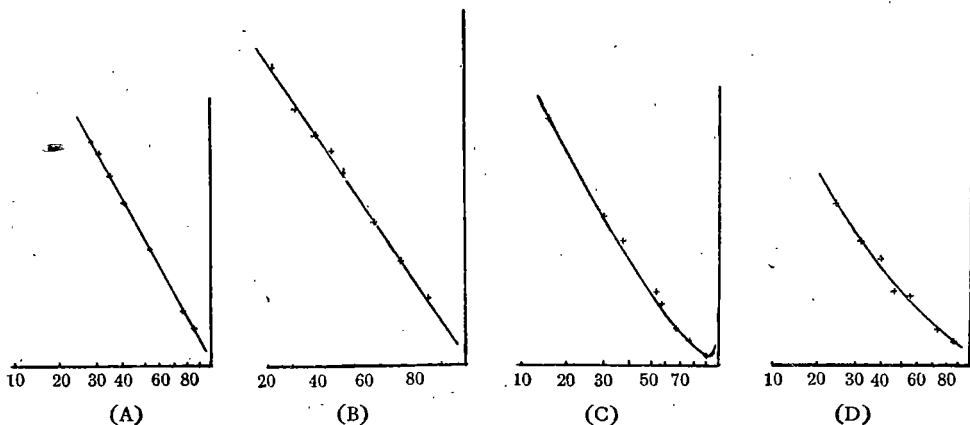


圖 3.

相對濕度增加而增長極少，甚至有些腸膜反隨相對濕度增加而縮短，形成雙值檢定曲線。圖 3 中曲線 C 爲一例，相對濕度大於 80% 時，同一 z 值在檢定曲線上有兩個相當之相對濕度值，一大於 90，一小於 90。

施於腸膜上之張力對腸膜之尺度也有很大的影響。具有如上述雙值檢定曲線之腸膜，如適當增加其所受之張力，可在一定程度上減少出現雙值之範圍，甚至消滅雙值現象。圖 3 中由線 D 卽爲一例，所用之腸膜與曲線 D 者相同，但所受之張力較大，則雙值現象就不明顯。

腸膜對其張力適應後，如改變張力，其尺度穩定過程甚屬有趣。當張力減少時，如令環境的相對濕度增至 90% 以上，腸膜長度先亦增加，至一定長度後，環境相對濕度雖維持不變，但腸膜却逐漸縮短。兩次張力差值愈大，收縮也愈多，甚至超過由相對濕度爲 0—100% 時所能變化的範圍。此時如減少相對濕度，腸膜仍按正常規律收縮。重複上述現象，腸膜之收縮現象仍將發生，但不如第一次嚴重。經過 3、4 次交互乾潮處理以後，才能適應新的張力。

當新的張力大於原有已適應張力時，如令環境交互乾潮，則腸膜長度將不斷增長，但增長程度隨乾潮次數增加而逐漸減少，終至適合新張力。

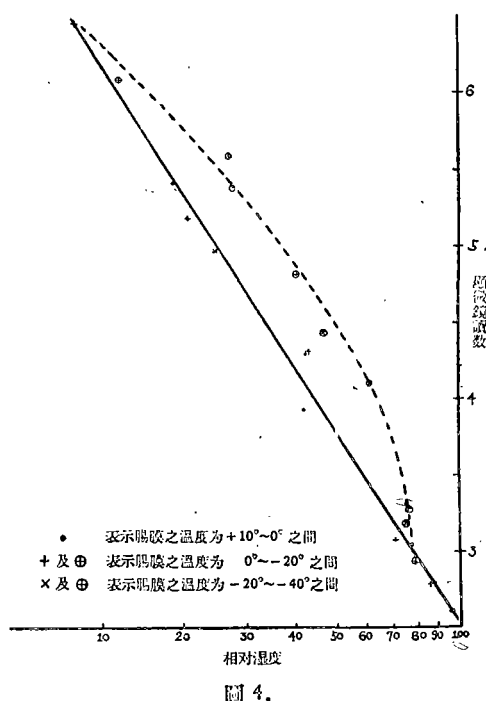
施於腸膜之張力過大，則尺度永不能穩定，作者曾在腸膜上施以較大張力，經過多次交互乾潮處理，其長度不斷增加，以至折斷。

對於本實驗所用之腸膜，所施之力不得大於 5 克，如經過 3、4 次交互乾潮處理後，2、3 小時內尺度仍極穩定。

如腸膜所受之張力較大，放置潮濕空氣中過久，其長度將增加，但其檢定曲線非常接近平移（對芬式及德式探空儀而言），故在實際應用時，僅需根據基值測定平移檢定曲線即可。

爲了瞭解溫度對尺度的影響，首先令圖 2 中玻管溫度維持 20°C。逐漸減低第一恆溫槽溫度至 -20°C 左右，則玻管內相對濕度將由 97% 降至 5%。然後令第一

恆溫槽溫度維持 -20°C，逐漸降低玻管溫度至 -20°C，如此玻管內相對濕度將重新增至 84%。再令第一恆溫槽溫度降低至約 -40°C，玻管內相對濕度又逐漸降低至 10% 左



右。再令第一恆溫槽溫度維持不變，而令玻管溫度逐漸減低至約 -40°C ，則玻管內相對濕度又將逐漸增至 75% 左右。圖 4 為實驗結果，橫坐標為相對濕度（給呂薩克尺度），縱坐標為顯微鏡之讀數。實線系由高相對濕度趨向低相對濕度，虛線系由低相對濕度趨向高相對濕度。顯然對於實際工作而言，溫度對尺度的影響是可以忽略的。

有機物質構成之濕度元件，往往有癱瘓效應，膜之癱瘓效應亦極明顯。根據圖 4 中虛線及實線即可看出癱瘓效應約為 12%。但當相對濕度升至 70% 以上時，則癱瘓效應立即消除。

膜之尺度與大氣壓力無關，這一點已由張靄琛作過證明^[6]。

三. 腸 膜 的 滯 性

濕度元件的濕度隨時間的變化，可用下式表示

$$\alpha \frac{du}{dt} = -(u - u_0), \quad (1)$$

式中 u 為元件相對濕度， u_0 為外界之相對濕度， t 為時間。 α 稱為滯性係數，相當於改變元件所表示的相對濕度與外界相對濕度差值的 63% 所需時間。對有機物質構成之濕度元件而言， α 為絕對濕度及通風量的函數，且隨元件的性質而異。

實驗室內測定腸膜之 α 時，系將探空儀放在圖 1 所示的容器裏，使相對濕度超過 95%。然後掀開容器，並用電扇保持 2 米/秒之通風（室內大氣壓力近於 760 毫米），則腸膜迅速與外界乾空氣接觸，如在整個掀開容器以後的實驗過程中外界相對濕度近於不變，則可設外界相對濕度為 u_0 。讀下不同時間腸膜所示之 u 值，並繪出 u 值隨時間變化的曲線，然後根據公式 (1) 計算 α 。用這種方法僅能計算溫度高於 -10°C ，相對濕度大於 20% 情況下之 α 。結果如圖 5 中以 + 號所表示的各點。橫坐標為絕對濕度，用對數尺度表示，縱坐標為 α ，單位為秒。

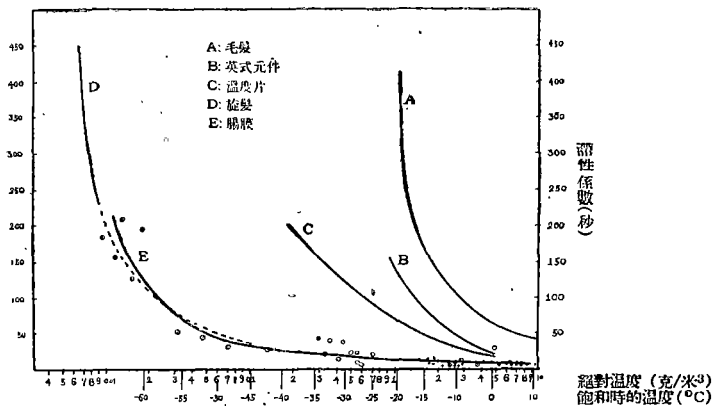


圖 5.

利用探空儀之探測記錄計算 α 時，系假定在逆溫層及鋒區裏相對濕度隨高度接近線性變化。如探空儀在進入逆溫層或鋒區以前 1、2 分鐘內，探測到的相對濕度維持常數，而且在離開頂部後 1、2 分鐘內的相對濕度亦為常數，則可認為腸膜在逆溫層或鋒區的頂部及底部所表示的相對濕度即為外界之相對濕度。如令底部之相對濕度為 u_1 ，頂部之相對濕度為 u_2 ，逆溫層厚為 $z_2 - z_1$ ，則在逆溫層內任意高度 z 處之相對濕度 $u_0(z)$ ，可用下式表示：

$$u_0(z) = \frac{u_2 - u_1}{z_2 - z_1} (z - z_1), \quad (2)$$

根據在 z 高度上探測到之 u ，利用 (2) 式計算得的 $u_0(z)$ 以及 u 隨時間的變化，再利用公式 (1) 即可計算得 α 。圖 5 中 ○ 號所表示的各點即為計算結果。曲線 E 系根據實驗及高空探測結果繪出的平均曲線，圖中並給出了毛髮、旋髮及英式元件的曲線以資比較^[7]。從圖上看出，作者所採用的腸膜滯性係數遠較常用的毛髮及英式元件為優，滯性與德國旋髮相仿。

為了瞭解通風量對於腸膜滯性係數的影響，作者曾在溫度 18°C ，氣壓 760 毫米時，在不同通風速度下測定腸膜的滯性係數，而通風速度系用與腸膜並列之熱電偶測風儀測定的。圖 6 即為實驗結果，縱坐標為 α ，橫坐標為風速。由圖中看出，僅當風速小於

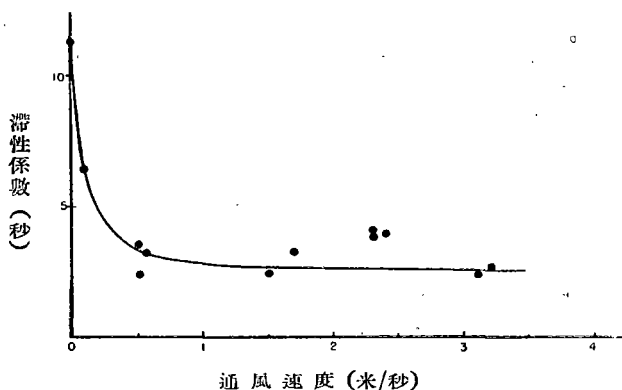


圖 6.

1 米/秒時， α 才隨風速減小而迅速增加，這對於升速為 6 米/秒之探空儀而言，在 100 毫巴以下似可不必要考慮通風量的影響。

應該指出英式元件亦為腸膜，Schulze^[7]指出當溫度為 -30°C ，相對濕度為 74% 時，腸膜之滯性係數大於 300 秒；P. Gondet 的實驗^[13]在 -20°C ，100% 時為 141 秒；根據 Glueckau^[8]之實驗，通風量為 3.4 米/秒時 α 值要小得多，在 -30°C ，80% 時為 70 秒，幾與美式元件^[9]相當。而作者所用之腸膜在同樣情況下 α 為 20 秒。同屬腸膜， α 值相差如此之多，這或者是由於處理方法不同的緣故，抑或有其他原因則不清楚了。

四. 與其他型式元件的實際比較

作者曾在同一探空儀上裝上兩種濕度元件，一為腸膜，一為毛髮或旋髮進行若干次比較。圖 7 為一雪天探測結果，使用元件為毛髮及腸膜。顯然探空儀經過了一鋒面，鋒區上界相對濕度達最小值，該處溫度為 -10°C ，毛髮反應較鈍，所示相對濕度僅為 47%，而腸膜所示為 13%，相差達 34%。再向上毛髮對相對濕度之反應更較腸膜為差。

圖 8 為腸衣、芬蘭旋髮和毛髮的比較。這次施放了兩根腸衣，其中一個與芬蘭旋髮和毛髮裝在一個探空儀上（這探空儀上沒有溫度和氣壓元件），另一根裝在另一探空儀上（這探空儀上有溫度和氣壓元件）。後一探空儀先放出，前一探空儀後放出，前後相隔 20 分鐘。四個濕度上升曲線繪在同一圖上，兩條腸衣濕度上升曲線除由於兩個探空儀的升速及施放時間不同而引起的出入外，基本上是一致的，毛髮和芬蘭旋髮的濕度上升曲線也是很相一致的，不過由於後者滯性係數大，所以較腸衣的曲線光滑得多。這次芬蘭旋髮的反應是相當遲鈍的。

圖 9 為另外一次腸衣與芬蘭旋髮的比較，這次芬蘭旋髮的反應較快，與腸衣的反應速度相差不多。這次在施放後約 7 分鐘起腸衣的示度總比芬蘭旋髮低 20%。

圖 10 為腸衣與德製旋髮比較的結果，似乎旋髮的反應較腸衣的反應慢一些。這次在 15 分鐘後腸衣的示度總與旋髮差 15% 左右。

在上面的幾次比較中，除第二次的四條曲線外，其他各次各種濕度元件探測到的相對濕度在 -30°C 以下相差達 15—20%，有時腸膜的示度高於旋髮有時低於旋髮，很難判斷究竟是那一示度正確。類似的現象在別

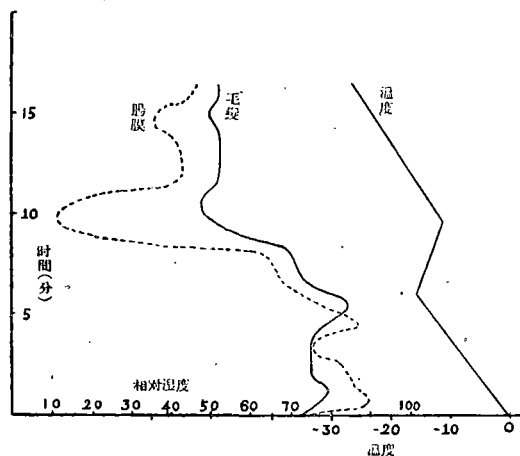


圖 7.

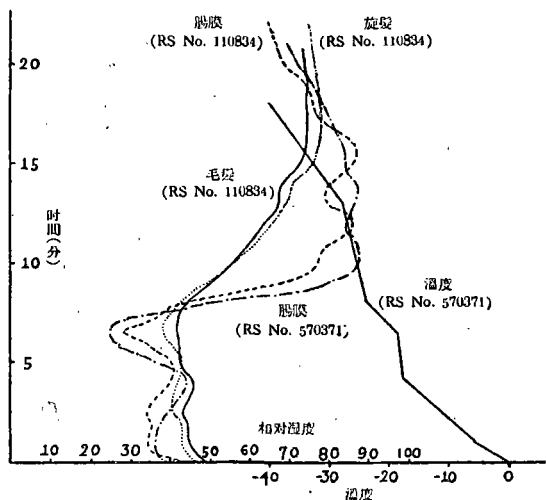


圖 8.

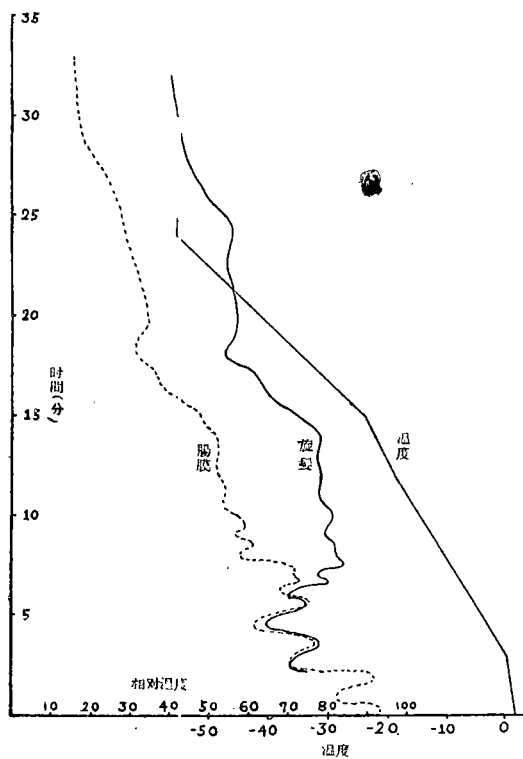


圖 9.

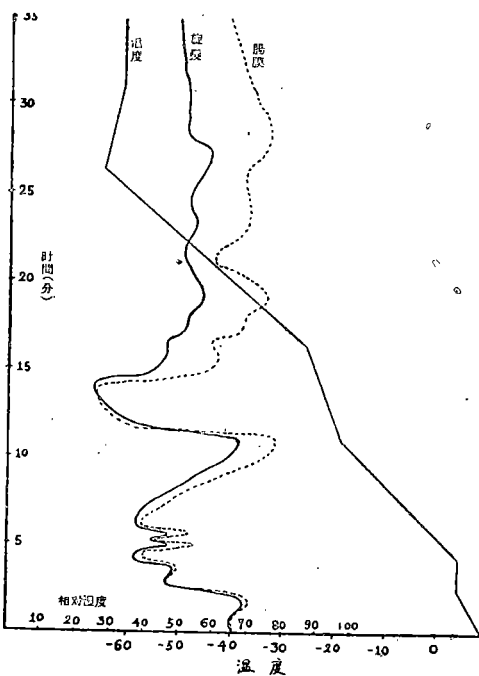


圖 10.

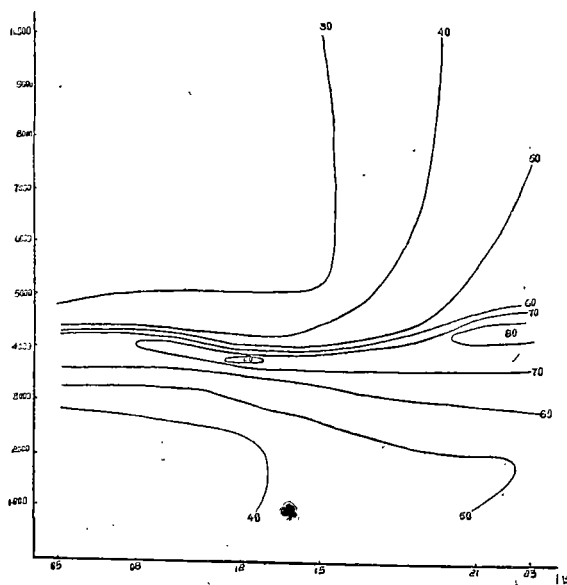


圖 11.

人的比較中也遇到過，如英式元件的示度與用露點儀在飛機上觀測的結果平均也相差到 15% 左右^[10]。另外 Nyberg 指出，在 0°C 時滯性係數為 60 秒的毛髮，在高 1 千米的地方出雲，雲上的相對濕度為 40% 時，毛髮的示度永遠也不會指 40%，而最後在 8 千米高處極限為 49%^[11]。

圖 11 為某次高壓後部的探測結果，縱坐標為高度，橫坐標為時間。實線為相對濕度等值線。由圖可看出 4 千米處逆溫層底的相對濕度隨高度之陡增現象。但 23 時之芬式旋髮記錄幾完全無反應（根據中央氣象台記錄）。

五. 利用腸膜探測到的幾種天氣現象

腸膜之最大優點在於對相對濕度反應迅速，故在高空探測中能正確反應天氣現象。根據我們的初步實驗，已發現下列幾種現象：

1) 在冷鋒以上，接近鋒區上限往往有一濕度極小氣層。氣層厚度一般不超過 1 千米。北美也由飛機觀測到類似現象，Sowyer^[12] 推測系由沿鋒面上下沉氣流所形成，在北京也可能有相同的形成原因。圖 7 即為一例。這種現象多發生於降雪及陰天。

2) 北京陰天及雪天往往近地面空氣極為乾燥，根據探空記錄，此乾燥層與以上雲層為鋒區所隔開。鋒區厚度不過幾百米，且逆溫現象並不顯著，鋒區底部相對濕度可低至 20 以下。由濕度分佈的判斷，似乎鋒區以下冷空氣為下降氣流，以上為上升氣流，然分界線如此明顯是否由於地形的影響是值得考慮的。圖 8 即為一例。

3) 北京對流層頂部及平流層底部，有時相對濕度可達飽和（對冰而言）。圖 10 即為一例。Dobson 在英格蘭利用露點儀亦觀測到類似現象^[2]。

4) 北京天氣轉壞之前，對流層中部及上部往往濕度先增加，作者曾多次發現此種現象，可作為預報工作中之參考。

* * *

北京大學所製之腸膜在尺度方面雖有種種缺點，但可加以適當措施減少其影響，且就目前已使用之其他各種元件來說，亦各有缺點^[7,9]。腸膜最大優點是反應迅速，故為目前高空探測工作中之優良元件。用以探測雲高及雲厚尤屬簡便可靠。

作者承蒙李文祿、方迪英同志協助處理腸膜，裝置實驗設備，張靄琛同志協助進行若干實驗，謹此一并致謝。

參 考 文 獻

- [1] Thorntwaite, C. W. and Owen, J. C., A new dew point recorder for measuring atmospheric moisture. *Mon. Wea. Rev. Wash.*, **68**, 315—318.
- [2] Dobson and Brewer, A. W., Water vapour in the upper air. *Compendium of Meteorology*.
- [3] Mauri Tommila and Vilho Väisälä, *Handbook of sounding*. Helsinki, 1947.
- [4] Vilho Väisälä, The log coefficient of hygroscopic hygrometer. *Geophysica*, **14**, 3.
- [5] August Larg, Über Nevre Untersuchungen an Hygrometer haaren. *Ann. Met.*, **6**, 1953—1954.
- [6] 張國琛, 腸膜在地面觀測中的應用. 待發表.
- [7] Werner Schulze, Über die Eichstabilität des gewalzten Harres. *Ann. Met.*, **6**, 7—8.
- [8] Glueckauf, E., Investigation on absorption hygrometer at low temperature. *Pro. Phys. Soc. Lond.*, **59**, 344—365, 1947.
- [9] Wexler, R. and Swing, D., Low temperature performance of radiosonde electric hygrometer elements. *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **43**, 49—56, 1949.
- [10] Dobson, G. M. B. and Brewer, A. W., *Compendium of meteorology*.
- [11] Middleton, W. E. K., *Meteorological instruments*.
- [12] J. S., Savvyer M. A., The free atmosphere in the vicinity of front. *Geophys. Mem. Lond.*, **96**, 1950—1952.
- [13] Gondet, P., Étude des hygrometres à bandrches (Peaux de batteur d'or) 1re Année—No. 2, 1949.

A STUDY ON THE GOLD BEATERS SKIN HYGROMETRIC ELEMENT

YEN KAI-WAI and CHANG CHUN

(Peking University)

ABSTRACT

In the present paper, a study of the so called "Gold beaters skin" hygrometric membrane made by the authors is given. When cut in strips of 1—1.5 mm in width, experimental results in the laboratory and upper air sounding data show that:

1. The force applied on each strip must be less than 5 gms. or other wise the calibration will be unstable.
2. If an element is in habit of certain tension, the calibration will be changed when the tension is changed.
3. The relation between elongation and relative humidity follows the so-called "Gay-Lussac" scale generally, but by special treatment a linear relationship may be obtained.
4. It gives large hysteresis cycle and the hysteresis phenomenon will be entirely removed as soon as relative humidity reaches 70—75%.
5. The calibration will be changed when the element is covered with a film of water.

The above stated properties also possess some of other kinds of organic hygrometric elements, but beside these we found that:

6. Our elements are very sensitive at low temperature and have very small lag coefficient comparable to that of Frankenberg hair (fig. 5) using in Western Germany.

Because of this small lag coefficient, our hygrometric element may be proved useful in aerological measurements. Comparison between upper air sounding data obtained by using ordinary hair, Frankenberg hair and our elements on selected weather situations in Peking are also discussed.