

氣象小叢書

# 蒸發與濕度

宓觀著

石延漢主編

福建省氣象局出版

1941



氣象小叢書

# 蒸發與濕度

宓觀著

石延漢主編

氣象局出版

氣象  
叢書

# 蒸發與濕度

中華民國三十年十二月出版

1—1000冊

著 者 必 觀

主 編 者 石 延 漢

出 版 兼 發 行 者 永安羲和山  
福建省氣象局

印 刷 者 大道印刷公司

經 售 處 各大書店

★.....★  
● 版權所有不准翻印 ●  
★.....★

◆定價國幣五角(外埠酌加郵費)◆

# 目 錄

## 第一章 水 汽

第一節 大氣中的水份 1

第二節 蒸發與飽和 2

## 第二章 蒸 發

第一節 蒸發量與蒸發速率 7

第二節 蒸發量的觀測 9

第三節 蒸發量之變化與分佈 14

第四節 蒸發與雨量 17

## 第三章 濕 度

第一節 濕度及其計量 19

第二節 濕度的觀測 22

第三節 濕度的分佈和變化 29

第四節 濕度與人生 37

# 蒸發與濕度

宓 觀 著

## 第一章 水汽

### 第一節 大氣中的水份

(Water Content in the Atmosphere)

構成大氣的氣體，大部份是氧和氮，水汽至多只佔容量百份之五。水汽的比重小，僅為空氣的百份之六十二，那麼大氣中水汽存在的高度，照理應該較大；但是水汽狀態變化的溫度範圍，比較氮，氧各種氣體狹小，在平常溫度時成液體狀態，一到攝氏零度，即可凝固為冰。正常狀態下，大氣溫度的垂直分佈，是向上遞減，大氣壓力的梯度，也是愈高愈小，水汽上升達到一定高度，漸漸變冷成為液態或固態的質點，這些質點互相併合，體積和重量同時增大，最後以各種不同的姿態，重復降落到地面，所以大氣中水汽的活動，多限於離地面十公里以內。

對於大氣中熱能的出入和天氣的變化，這些極少量的水汽；具有極重要的決定作用，其對於人類生活和動植物生理作用的影響，尤其不能忽視。所以大氣中水汽的消長，和因此引起的乾濕程度的變化，實在是值得注意的問題，本書所要敘述的重心，即在於此。

### 第二節 蒸發與飽和

(Evaporation and Saturation)

## 氣象小叢書

大氣中水汽的來源，大部份是來自地球表面的海洋，湖沼，河流，小部份是來自潮濕窪地和動植物的生理作用。地表的自由水面，受到太陽的輻射熱，溫度增高，水化為汽，逸散到空中，動植物的皮膚表面也有同樣的作用。這種由水變化為水汽的過程，名為蒸發作用 (Evaporation)，蒸發作用在任何溫度時都能存在，冰和雪的表面，也是不斷地有水汽蒸發，不過普通將這種蒸發叫做昇華 (Sublimation) 而已。

蒸發的物理意義，是基於水分子的活動。在某種情況下，水分子的活動，受各分子間相互的吸引力與排斥力的作用，維持相當的平衡狀態。倘外界有熱的供給，增加水分子本身的動能，得以擺脫鄰近分子間的吸引力，從原來狀態中解放出來，即刻飛出水面，擴散到空中，蒸發便是這樣成功的。

在溫度不太高時，氣態的水分子和液態或固態的水分子，只有潛能多寡的不同，本質上並未發生變化，這種潛能是以熱的姿態出現的，普通稱為潛熱 (Latent Heat)，潛熱的數量，是以單位質量的水，在溫度不變時，由某一狀態變為另一狀態所需的熱量為標準。質量一克的水，在溫度不變時，由液態變為氣態所需的熱量，稱為蒸發潛熱 (Latent Heat of Evaporation)，簡稱為蒸發熱，熱的單位用卡 (Calorie)。蒸發熱的單位為克卡 (Gramme-Calorie)，據 Regnault 氏的研究，水的蒸發熱，隨水的溫度高低而變，例如：

溫度 (°C)	0°	10°	20°	30°
蒸發熱 (Cal/gr)	606.5	599.55	592.6	585.65

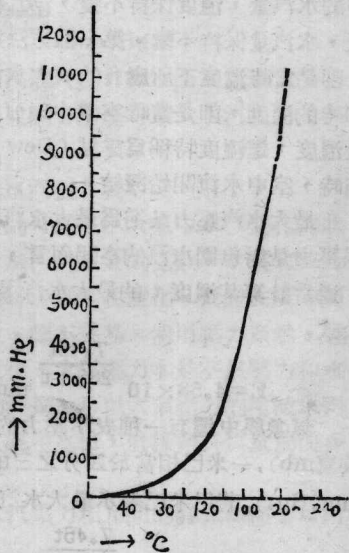
由精確實驗的結果，攝氏 100 度時水的蒸發熱為五三八

## 蒸發與濕度

• 一克卡。

在自由水面運動的水分子，比較水面下的分子容易飛出  
水外，繼續不斷地逸散到空中，同時空中的水分子也能重  
行返入水面，但據實驗結果，在一定溫度下，常定的單位體  
積空氣中，只能容受一定數目的水汽分子。倘使某溫度時，  
大氣中現有的水汽分子數目，比這定值小時，自水面逸出  
的分子必多於重返水面的分子，空中的水分子就會逐漸增加，  
最後在到達某定值時，

飛出與飛入的分子數目  
適相平衡。這種平衡狀  
態稱為飽和狀態(Satu-  
ration State)。在飽和  
狀態的空氣稱為飽和空  
氣(Saturated Air)。一  
立方米飽和空氣中水分  
子的總質量稱為飽和水  
汽量(Amount of Satu-  
rated Water Vapour)，  
普通以克表之。飽和水  
氣量對於水面所生的部  
份壓力，稱為最大水汽  
壓力(Saturated Vapo-  
ur Pressure)，普通以相  
當的水銀柱毫米高表之  
(mm.Hg.)。



圖(一) 水汽張力曲線圖

## 氣象小叢書

飽和水汽量和最大水汽壓力都是溫度的函數，溫度愈高，飽和水汽量愈多，最大汽壓力也愈大。在同一溫度時，兩者的數值，自不相同，但在普通溫度時，相差甚微。圖(一)為最大水汽壓力與溫度之關係，溫度上升最大水汽壓力起初增加較慢，以後漸漸變快。

水汽量或水汽壓力與溫度的關係如此密切，所以要從未飽和狀態達到飽和狀態時，是有兩種手續：一種是增加空氣中的水汽量，溫度保持不變，第二種方法，是降低空氣的溫度，水汽量保持不變。第一種方法達到飽和時所有的水汽量，即是當時溫度下所應有的最大水汽量，第二種方法達到飽和時的溫度，即是當時空氣中現有水汽量，適相於最大水汽量溫度，這溫度特稱為露點 (Dew Point)，因為溫度降至露點時，空中水汽開始凝結。

最大水汽壓力又稱為最大水汽張力，其實是一樣的。不過壓力是對包圍水汽的空間而言，張力是就水汽的本身說的。通常計算某溫度  $t$  的最大水汽張力  $E$ ，是用 Magnus 的經驗公式

$$E = 4.58 \times 10^{\frac{7.45t}{235+t}} \text{ mm. Hg.}$$

氣象學中還有一種表示壓力的單位，叫做米巴 (millibar, 簡寫 mb)，一米巴相當於四分之三的毫米水銀柱高 ( $1 \text{ mb} = \frac{3}{4} \text{ mm. Hg.}$ )，若用米巴表示最大水汽壓力 Magnus 的公式變成

$$E = 6.10 \times 10^{\frac{7.45t}{235+t}} \text{ mb.}$$



## 蒸發與濕度

從這公式裏可以看出氣溫在攝氏零度時的最大水汽張力是4.58mm.Hg.或 6.10 mb.

冰也可因昇華而蒸發，所以冰面上的空氣，也可到達其飽和度，但是依德國物理學者 Kirchhoff 氏的研究，攝氏零度時之最大水汽張力曲線和冰面最大水汽張力曲線，並非一連續曲線。所以冰面最大水汽張力要用另法計算，普通多用 Thiesen 氏的公式，即

$$E_i = 4.58 \times 10^{\frac{9.78t}{273+t}} \text{ mm.Hg.}$$

在攝氏零度時，冰面水汽最大張力和水面水汽最大張力數值相等，實際應用已有製成的各溫度時最大水汽張力表，一查即得，不用計算。

下面為我國通用的最大水汽張力表（表-附下）

水汽量和水汽壓力同樣的可以表示大氣中水汽變化的狀態，但在實際上要知道空中水汽的重量的克數，手續比較麻煩，因為空氣溫度和水汽是時時刻刻在變化。要想在短時間內直接測得水汽精確的克數，頗不容易。倘用壓力表示，要便利得多。依照 Dalton 氏定律，大氣壓力本是空氣壓力和水汽壓力的總和，水汽壓力的消長，可以大氣壓力的增減求得，比較用強烈的乾燥劑吸收空中水份，直接稱其質量簡便多了。

水汽量和與之相當的水汽壓力相互間的關係如何？可用下列公式推演出來：

假設在溫度  $t$  度時，一立方米大氣中水汽量為  $M$  克，與

## 氣象小叢書

此相當的水汽壓力為  $e$  mm. Hg. 按 Boyle-Gay-Lussac 定律。

$$\frac{e}{M} = R(273 + t)$$

式中  $R$  為水汽氣體常數 (Gas Constant of Water Vapour)

其值為

$$R = \frac{760}{0.623 \times 1293 \times 273} \text{ mm. Hg. / degree}$$

代入上式得 
$$M = \frac{0.623 \times 1293e}{760(1 + \alpha t)} = \frac{1.06e}{1 + \alpha t} \text{ gr/m}^3$$

式中  $\alpha = \frac{1}{273}$  為壓力係數 (Pressure coefficient), 故在溫度不變時, 水汽量與水汽壓力成正比例, 約在攝氏一六·三八度時, 水汽量幾與水汽壓力相等。所以在平常溫度下, 兩者的數值相差不大。倘  $M$  為溫度  $t$  時的飽和水汽量,  $e$  也變為最大水汽張力。表(二)即示這兩種量在攝氏零下 0 度至零上二九度間數值比較:

# 蒸發與濕度

## 第二章 蒸 發

### 第一節 蒸發量與蒸發速率

#### (Amount and Rate of Evaporation)

自由水面單位面積上所蒸發的水汽量稱為蒸發量(Amount of Evaporation)，普通以深度毫米數表之。自由水面單位面積上，單位時間內所蒸發之水汽毫米數，也就是單位時間內的蒸發量，稱為蒸發速率(Rate of Evaporation)。蒸發速率隨時隨地不同，影響速率的因子很多，下面舉出的是幾個重要的：

(1) 水面溫度 飽和狀態是隨着溫度而共變，溫度愈高，達到飽和時的水汽量也愈大，因為物體內能的增加，與絕對溫度成正比。溫度高，共給水汽分子的動能也大，容易飛出水面，換言之，是蒸發速率加快。溫度降低，結果正相反。

(2) 大氣壓力 自由水面所受的壓力，是大氣壓力，是水汽壓力和空氣壓力的總和，水面分子想跳出水面，必需具有反抗大氣壓力的能力。這樣所作的功稱為外功(External Work)。因之大氣壓力大；作的功也大。倘使外界不能供給充分的熱能，水面分子不易跳出水面，換言之，是蒸發速率變慢，同樣理由，大氣壓力小，蒸發的速率加快。高山的氣壓比較海面的氣壓低，所以高山曬物，容易乾燥，這是大氣壓力影響蒸發速率的極好的證明。

(3) 水面空氣的飽和度 空氣的飽和度是隨溫度的高低

而增減，所以在高溫時，距離飽和狀態尚遠的水汽量，可以在低溫度時變成飽和或者過飽和，水汽分子活動的方向，總是向飽和狀態進行。在某溫度時，大氣現有的水汽壓力，倘和同溫度最大水汽壓力相差甚大時，蒸發的速率必大，愈接近飽和，蒸發速率變小，過飽和時蒸發的速率更小，但不等於零，不過這時凝結作用（Condensation）特別顯著而已。

(4) 風的速度 在平靜大氣中，自由水面蒸發時，飛出水面的水汽分子，有一部份停留在水面附近，構成薄層，覆蓋水面，迅速達到飽和狀態，因此妨礙後來水汽份子的活動，倘此時風力不大，蒸發速率會逐漸變弱，如果風力加強，可以隨時將停留在水面水汽帶走，蒸發速率也隨之加強。

上述四種因子，可用Trabert氏的經驗公式表示之：

$$V = A(E - e)(1 + 0.00367t)\sqrt{W/B}$$

式中V為蒸發速率，E為溫度t時最大水汽壓力，e為同溫度時現有水汽壓力，W為風速，B為大氣壓力，A為比例常數。溫度，飽和度，風速的平方根，都和蒸發速率成正比例，大氣壓力與之成反比例。

(5) 蒸發面的形狀 蒸發面的形狀，頗能影響蒸發速率。粗糙的蒸發面與平滑的蒸發面，在外觀上面積雖然相等，但蒸發速率絕不相同，因為粗糙面上每一單位面積實際比較平滑面上同單位面積大，例如黏土面的蒸發速率，據(Mitscherlich)氏的實驗，比水面的蒸發速率要大一·二九——一·九四倍。同一平滑面又因球面與平面的不同，蒸發速率也不一樣。凸球面的蒸發速率要比水平大，凹球面的蒸發速

## 蒸發與濕度

率則比水平面小。因為從凸球面斜飛出的水汽分子，與同球面上鄰近水分子的距離，比較水平面上斜飛出的水汽分子，與同平面上鄰近水分子的距離遠，彼此間的吸引作用較弱，故在同樣情況下，空中水汽對於水平面已達飽和，但對於球面，蒸發作用並未達到平衡狀態，凹球面情形正相反，凹面內側飛出的水分子比較水平面容易受鄰近分子的影響，不易飛散空中，雖然空氣未達飽和，蒸發速率已現疲滯狀態。

(6) 水中鹽分 在含有鹽分的水中，水面的水分子一部份被鹽分子所替代，表面的水分子數目略有減少，跑出的也就較少，而且水分子要脫離水面之前，除了必須有充分能量克服水分子間的相互吸力外，還要反抗水分子與鹽份子間的相互吸力，所以在同樣情形下，淡水蒸發的速率要比鹽水的快，普通海水的蒸發速率約較淡水的速率小百分之五。

(7) 水面油類 在飄浮着油類的水面上，水分子和大氣的交通，被這一層油類的分子阻塞，水分子不易飛出，滿蓋着油類的水面上，幾乎沒有蒸發，農田上的水也可以飄浮着的油膜減少牠的蒸發速率。

### 第二節 蒸發量的觀測

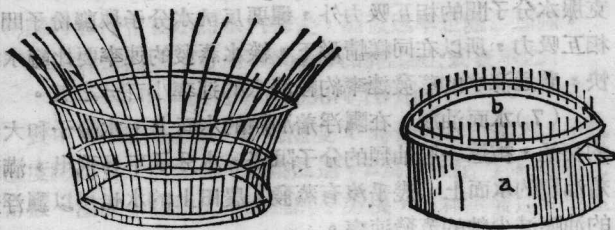
現在通用觀測蒸發的方法有兩種：一種是曝露蒸發(Evaporation in Sunshine)，將蒸發計放在草地上，暴露於空中，可以直接承受太陽的輻射和雨雪的浸漬；另一種是蔭蔽蒸發(Evaporation in Shade)，是將蒸發計放在百葉箱內，日光和雨雪的影響，可以隔絕，又因百葉箱中的風速只有箱外風速的十分之一，所以兩種蒸發計的蒸發量不能相同，大概

## 氣象小叢書

蔭蔽蒸發量要比曝露蒸發量小。

觀測蒸發量的儀器，名爲蒸發計 (Evaporimeter)，普通採用的分蒸發計和自記蒸發計兩種。用蒸發計所得的蒸發量並不能代表各地的真正蒸發量，因爲蒸發計中水的供給，純粹是人爲的，而地面自然的蓄水，却不能到處是取之不盡，用之不竭的，乾燥的地方，雖然空氣中水汽極缺乏，蒸發作用並不旺盛，所以用蒸發計測得的蒸發量，只能表示當日空氣中應有的蒸發量，不能看作真正的蒸發量。

(一)蒸發計 (Evaporimeter)，通用蒸發計有大小型兩種：同爲銅製的圓盆，大型的口徑八十公分，深四十公分，如圖



圖(二) 蒸 發 計

(二) a；小型的口徑二十公分，深十公分，如圖(二) b，大型圓盆之外，再套一同低同高的圓筒，口徑一百公分，盆內和兩圓筒壁之間，都注入淨水，盆內的水，用作蒸發，壁間的水，用來防止外壁因日光輻射所起的導熱作用 (Conduction of Heat)，盆中立一銅柱，注水之時，使水面恰同柱頂同

## 蒸發與濕度

高，二十四小時後，水面因蒸發降低在銅柱頂下，再用有刻度之量杯從外面注水補充，使水面重復升高至原狀，量杯傾入的總量，就是二十四小時內盆中蒸發的總量，設盆的半徑為  $R$ ，每小時平均蒸發量或平均蒸發速率為  $V$ ，傾入的水量為  $W$ ，則

$$V = \frac{W}{24 \times \pi R^2} \text{ g/cm}^2 \text{ hr.}$$

小型蒸發計，沒有防熱的保護，盆旁有一嘴狀物，作傾水之用，盆的口緣，用黃銅製成，外壁成刀刃形，可以防止雨點反撥或泥水濺入，計的內部全塗白色，或鍍錫，多安置在百葉箱附近的草地上，口緣須水平，每日一定時刻注入定量的水，二十四小時後，將計中的水傾入量杯內重復量之，所減少之水量，就是一日內計中蒸發的總量，假設先一日注入的水量是  $M$ ，量杯量出的水量是  $m$ ，那麼蒸發總量  $W$  就等於  $W = M - m$ ，每小時的蒸發速率則為

$$V = \frac{M - m}{24 \times \pi R^2} \text{ g/cm}^2 \text{ hr.}$$

倘若遇着有雨或有雪的時候，先要將雨量計的雨量或雪量計中的雪量減去，假設雨或雪的量是  $Q$  那麼  $W = M - (m - Q)$ 。

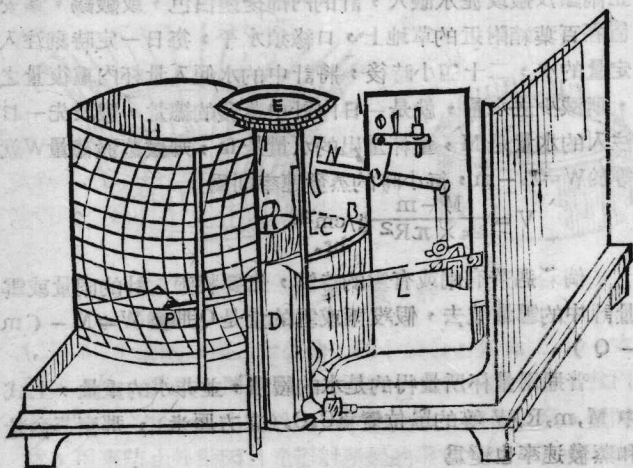
普通用量杯所量得的是水的體積，並非水的重量，上式中  $M, m, R, W$  等的單位變為 C.C. (立方厘米)，那麼蒸發量和蒸發速率也變為

$$W = \frac{(M - m)}{\pi R^2} \times 10 \text{ mm.} \quad V = \frac{(M - m) \times 10}{24 \pi R^2} \text{ mm./hr.}$$

## 氣象小叢書

上述大小型兩種蒸發計上部，都添上一盆狀金屬柵，防止鳥獸在盆中飲水或沐浴，安放的地方，必須先設一堅固的台座，然後將蒸發計放在座上，計外塗白色，防止傳熱作用，不致影響正確的蒸發量。

(二)自記蒸發計 (Self-record Evaporimeter), 圖(三)為 Houdaille 式自記蒸發計, D 是金屬圓筒, 內注清水; 筒的下端有一連通管 F 和水槽 B 相連, 因此 D 和 B 中的水位同高, B 的水中有一浮子 C, 用絲條連接在槽外的槓桿一端 N 上, 槓桿的另一端和自記筆桿 L 相連; A 是包在時鐘外面的自

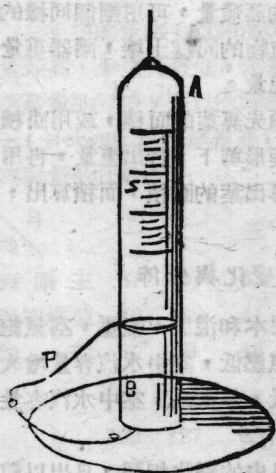


圖(三) Houdaille式自記蒸發計



## 蒸發與濕度

記紙，隨着時鐘按時旋轉，圓筒D的上端，是蒸發吸收紙E，E和D中水面有絲線連接，D中的水，因絲線的毛細管作用繼續上升輸到E供給蒸發，D中水面降低，B中的水就源源流入D中維持兩水面的平衡，B中水面也降低，浮子C也隨着下落，牽動槓桿，再由槓桿的放大作用，鋼筆尖P遂在自記紙上畫出各時間蒸發曲線。



圖(四)

Piche 式蒸發計

此外在農業上尚有觀測蒸發量其他方法，略述如下：

Piche 式蒸發計，第(四)圖中A B 是一倒立的一端封閉玻璃管，內徑約為 10 mm，長 70 mm.，管下端蓋以厚吸收紙，用彈簧 F 壓住紙的下面，不令脫落，紙中央穿一小孔，管內注入一定量的水，水由紙的兩面蒸發，管內水柱降低，蒸發量可從刻度 S 讀出，假設紙的半徑是  $\gamma$ ，圓筒半徑  $\rho$ ，蒸發

面積應等於

$$A = 2\pi\gamma^2 - \pi\rho^2 = (2\gamma^2 - \rho^2)\pi$$

蒸發量就等於

$$V = \frac{W}{(2\gamma^2 - \rho^2)\pi}$$

若 W 表示水的體積，V 的單位是厘米