

氣象小叢書

蒸發與濕度

宓觀著

石廷漢主編

資料室

23

2



A215287

福建省氣象局出版

1941

529²³
172

氣象叢書

蒸發與濕度

必觀者

石延漢主編



福建省氣象局出版

點 77.2.10 茶

國立政治大學圖書館典藏
由國家圖書館數位化

215287

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

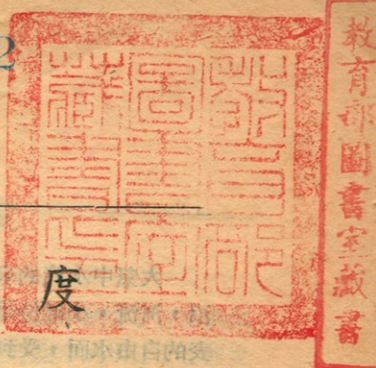
第三章 濕 度

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

328.61
3046
01932

氣象小叢書

蒸發與濕度

交觀著

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，漸漸變冷成爲液態或固態的質點，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

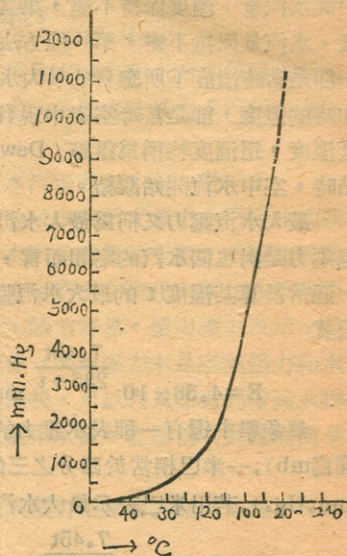
由精確實驗的結果，攝氏 100 度時水的蒸發熱為五三八

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(Satur-
ation 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 Satur-
ated 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)爲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，這溫度特稱爲露點 (Dew Point)，因爲溫度降至露點時，空中水汽開始凝結。

最大水汽壓力又稱爲最大水汽張力，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

【5】

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:

最大水汽張力表(mm.)

表(一)

溫度 攝氏	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
0	4.58	4.61	4.65	4.68	4.72	4.75	4.78	4.82	4.85	4.89
1	4.92	4.96	5.00	5.03	5.07	5.11	5.14	5.18	5.22	5.25
2	5.29	5.33	5.37	5.41	5.45	5.48	5.52	5.56	5.60	5.64
3	5.68	5.72	5.76	5.80	5.85	5.89	5.93	5.97	6.01	6.06
4	6.10	6.14	6.19	6.23	6.27	6.32	6.36	6.41	6.45	6.50
5	6.54	6.59	6.63	6.68	6.73	6.77	6.82	6.87	6.92	6.96
6	7.01	7.06	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.41	7.46
7	7.51	7.57	7.62	7.67	7.72	7.78	7.83	7.88	7.94	7.99
8	8.05	8.10	8.16	8.21	8.27	8.32	8.38	8.44	8.49	8.55
9	8.61	8.67	8.73	8.79	8.85	8.91	8.97	9.03	9.09	9.15
10	9.21	9.27	9.33	9.40	9.46	9.52	9.59	9.65	9.72	9.78
11	9.85	9.91	9.98	10.04	10.11	10.18	10.25	10.31	10.38	10.45
12	10.52	10.59	10.66	10.73	10.80	10.87	10.97	11.02	11.09	11.16
13	11.24	11.31	11.38	11.46	11.53	11.61	11.68	11.76	11.84	11.92
14	11.99	12.07	12.15	12.23	12.31	12.39	12.47	12.55	12.63	12.71
15	12.79	12.88	12.96	13.04	13.13	13.21	13.30	13.38	13.47	13.56
16	13.64	13.73	13.82	13.91	14.00	14.08	14.17	14.27	14.36	14.45
17	14.54	14.63	14.73	14.82	14.91	15.01	15.10	15.20	15.29	15.39
18	15.49	15.59	15.68	15.78	15.88	15.98	16.08	16.18	16.29	16.39
19	16.49	16.59	16.70	16.80	16.91	17.01	17.12	17.22	17.33	17.44
20	17.55	17.66	17.77	17.88	17.99	18.10	18.21	18.32	18.44	18.55
21	18.67	18.78	18.90	19.01	19.13	19.25	19.37	19.48	19.60	19.72
22	19.84	19.97	20.09	20.21	20.33	20.46	20.58	20.71	20.83	20.96
23	21.09	21.22	21.34	21.47	21.60	21.73	21.87	22.00	22.13	22.26
24	22.40	22.53	22.67	22.81	22.94	23.08	23.22	23.36	23.50	23.64
25	23.78	23.92	24.07	24.21	24.35	24.50	24.64	24.79	24.94	25.09
26	25.24	25.39	25.54	25.69	25.84	25.99	26.15	26.30	26.46	26.61
27	26.77	26.93	27.08	27.24	27.40	27.56	27.73	27.89	28.05	28.22
28	28.38	28.55	28.71	28.88	29.05	29.22	29.39	29.56	29.73	29.90
29	30.08	30.25	30.43	30.60	30.78	30.96	31.14	31.32	31.50	31.68
30	31.86	32.04	32.23	32.41	32.60	32.79	32.97	33.16	33.35	33.54

表(二) 飽和蒸汽量(gr./m^3)與最大水汽張力(mm. Hg.)

t $^{\circ}\text{C.}$	P mm.	ρ g./m.^3	t $^{\circ}\text{C.}$	P mm.	ρ g./m.^3	t $^{\circ}\text{C.}$	P mm.	ρ g./m.^3	t $^{\circ}\text{C.}$	P mm.	ρ g./m.^3
-10	1.95	2.14	0	4.18	4.82	+10	9.2	9.4	+20	17.5	17.3
-9	2.13	2.33	+1	4.9	5.2	11	9.8	10.0	21	18.7	18.3
-8	2.32	2.54	2	5.3	5.6	12	10.5	10.7	22	19.8	19.4
-7	2.53	2.76	3	5.7	6.0	13	11.2	11.4	23	21.1	20.6
-6	2.76	2.99	4	6.1	6.4	14	12.0	12.1	24	22.4	21.8
-5	3.01	3.24	5	6.5	6.8	15	12.8	12.8	25	23.8	23.0
-4	3.28	3.51	6	7.0	7.3	16	13.6	13.6	26	25.2	24.4
-3	3.57	3.81	7	7.5	7.8	17	14.5	14.5	27	26.7	25.8
-2	3.88	4.13	8	8.0	8.3	18	15.5	15.4	28	28.3	27.2
-1	4.22	4.47	9	8.6	8.8	19	16.5	16.3	29	30.0	28.7

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，曝露於空中，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

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。

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



圖(二) 蒸 發 計

(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)，盆中充銅柱注水之時，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

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

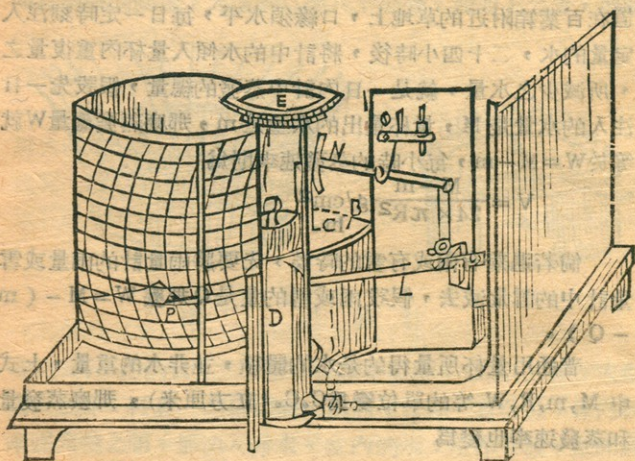
倘若遇着有雨或有雪的時候，先要將雨量計的雨量或雪量計中的雪量減去，假設雨或雪的量是 Q 那麼 $W = M - (m - Q)$ 。

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

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

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。

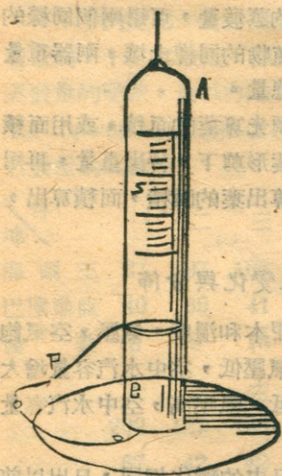
(二)自記蒸發計 (Self-record Evaporimeter), 圖(三)為 Houdaille 式自記蒸發計，D 是金屬圓筒，內注清水；筒的下端有一連通管 F 和水槽 B 相連，因此 D 和 B 中的水位同高，B 的水中有一浮子 C，用絲條連接在槽外的槓桿一端 N 上，槓桿的另一端和自記筆桿 L 相連；A 是包在時鐘外面的自



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



圖(四)

Piche 式蒸發計

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

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。

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 γ ，圓筒半徑 ρ ，蒸發

，S的刻度是用相當的厘米數刻成的。

計算土面或植物葉面的蒸發量，又可用一定面積的容水器，內盛一定深度的水，然後將土壤放在器中，先將重量秤出，於一定時間後，再秤其蒸發後的重量，前後的差值，便是要求的蒸發總量。若計算植物的蒸發量，可用兩個同樣的盛水器，一僅盛土壤，一盛種有植物的同樣土壤，兩器重量減去後的差值，就是植物的蒸發總量。

要求植物葉面的蒸發量，必須先算葉的面積，或用面積計(Planimeter)計算，或將紙依葉形剪下，秤出重量，再用與已知面積的紙的重量相比較，算出葉的面積，面積算出，葉的蒸發量也可以算出。

第三節 蒸發量之變化與分佈

(1)蒸發量的變化 蒸發作用本和溫度，氣壓，空氣飽和度有密切關係，日中溫度高，氣壓低，空中水汽容量增大，蒸發量也隨着增加，夜間溫度低，氣壓高，空中水汽容量減小，蒸發量也隨着減少。

蒸發量日中的變化，與氣溫日中的變化相同，日出以前最小，午後最大，茲舉埃及的開羅(Cairo)的蒸發量為例

時間	0-3	3-6	6-9	9-12	12-3	
一月	3.0	3.9	4.6	9.3	15.0	mm.
七月	3.9	3.4	7.9	24.2	40.2	mm. = A
全年	38.1	41.6	70.5	213.7	332.0	mm. = V

蒸發與濕度

時間	3-6	6-9	9-12	
一月	11.0	6.6	4.7	mm.
七月	33.0	28.2	13.8	mm.
全年	267.7	176.2	97.5	mm.

年中的變化，也和溫度的變化大致相同，內陸六月蒸發量最高，十二月最低，海島上最高在八九月，最低在二月，蒸發量的變差，也以內陸為最大，海島上最小，下表是海爾王 (Helwan)，巴達維亞 (Batavia)，倫敦 (London) 三地蒸發量的比較：

月 地	一	二	三	四	五	六	七	八	九
海 爾 王	87	97	163	226	294	322	305	271	227
巴 達 維 亞	40	35	41	42	40	37	50	68	68
倫 敦	6	9	18	37	63	75	75	61	38
	十	十一	十二	年	變差				
	202	127	85	2205	237.mm.				
	67	42	42	572	33.um.				
	18	9	4	413	71.mm.				

(2) 蒸發量的分佈 蒸發量最高紀錄，是在信風帶沙漠地方，最高數值年總量可達六千毫米，撒哈拉沙漠夏季最乾燥之月的空氣中水汽量實際比英倫三島冬季潮濕空氣中的水汽量更多，所以當地空氣，或由於冷流的影響，或由於高山的阻隔，一經冷卻，即可發生暴雨。下表是撒哈拉 (Sahara)

氣象小叢書

和蘇丹 (Sudan) 各地的年濕發總量

Wadi Halfa	Atbara	Khartoum	Mongalla	Assuan
5920	6250	5400	2260	3700mm.

赤道地方，蒸發量較信風帶低，全年蒸發總量大約在五〇八——七六二毫米之間，西風帶的蒸發量更小，如上述倫敦年平均蒸發量為四一三毫米，大陸內部大致為六三五毫米。

。下表為全球各帶年蒸發量分佈的情形

緯度	90-80N	80-70	70-60	60-50	50-40	40-30
海面	(5)	(9)	12	40	70	96
陸面	(5)	(9)	(12)	36	33	38
全球	(5)	(9)	(12)	38	51	71
	30-20	20-10	10-0	(單位 em.)		
	115	120	100			
	50	79	115			
	91	109	103			
緯度	0°-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
海面	114	120	112	89	58	23
陸面	122	90	41	51	(50)	(20)
全球	116	113	96	85	58	23
	60-70	70-80	80-90° S	平均		
	(9)	(5)	0	84.2		
	(10)	(5)	(5)	50.4		
	(9)	(7)	(5)	74.3		

蒸發與濕度

上表所示全球各帶蒸發量的分佈，極其規律，大致赤道偏南地方最高，以後緯度漸高蒸發量漸減少，極地最小，表中有括弧的數字，是表示紀錄缺乏，大致估計填入的。全球平均每年蒸發量為七四三毫米，即每年有三七九〇〇〇立方公厘的水，蒸發到空中，全部的百分之八十是來自海洋，百分之二十來自陸地，所以平均海洋的蒸發量比陸地大。

高度愈高，蒸發量增加也愈速，South Rhodesia的Bulawayo 的高度有一四〇〇米，蒸發量約為二七〇〇毫米。Palestine的高原也有同樣的情形，特別是在天氣晴朗，風力強大的時候，高山頂的蒸發量特別旺盛。

第四節 蒸發與雨量

蒸發量的消長似乎可想做和雨量的豐吝有相反關係，實際上却不盡然，固然冷流海岸(Cold Water Coast)雨量很少，空氣中的水汽容量反相當的大；但在溫帶大陸內部，夏季是雨季，同時也是蒸發量最高的季節，就蒸發和降雨的總量而言：大陸內部和沙漠地帶蒸發量都比雨量大，即在信風帶內海洋面上，年平均蒸發量大致在一〇一六——一二七〇毫米之間，也要高出年雨量三倍至四倍。在澳洲沙漠中，平均年蒸發量超過二五四〇毫米，(在Perth為一六七六毫米，Sydney為九六五毫米)。下表是大陸各地蒸發量和雨量的比較：

地 名	蒸發量 (mm.)	雨量 (mm.)	差值
Leningrad	320	470	-150

氣象小叢書

Moscow	420	540	- 120
Astrachan	740	160	580
Alexandrovsk	2320	60	2260
北平	910	635	275
青島	710	664	46

蒸發與濕度

第三章 濕度

第一節 濕度及其計量

大氣中因地面的蒸發作用，無論何時何地都有水汽存在，單憑吾人感官所覺出的大氣之乾濕，不能代表大氣中真正水汽量的多寡，因為溫度也是決定大氣乾濕程度的重要因子。用大氣中真正水汽量的多寡，固然能表示大氣的乾濕程度，憑吾人感官所覺出的乾濕，也未常不可表示大氣的乾濕程度。凡是用數字表示大氣的乾濕程度，統稱為濕度 (Humidity)。

爲着各種不同的需要，表示濕度的標準和方法有好幾種：

(一) 絕對濕度 (Absolute Humidity)，某溫度時單位體積濕空氣中現有的水汽量，稱為絕對濕度。現在通用的體積單位是立方米 (Cubic Meter)，水汽量單位是克 (Gram)，假設 d 是溫度 T 時大氣中水汽的密度 (即每一 c.c. 之克數)， a 是絕對濕度，那麼

$$a = d \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

再令和 d 相當的一平方厘米面積上水汽張力是 p 達因 (Dyne)，按照熱力學氣體狀態方程式 (Equation of state) 可知

$$P = R_w T d$$

左中 R_w 是水汽氣體常數 (Gas constant)，根據實驗的結果， R_w 等於乾燥空氣氣體常數 R_a 的一·六〇四倍，或 $R_w = 1.604R_a$ 代入上式得

氣象小叢書

$$P = 1.604R_a Td \quad \text{或} \quad d = 0.623P/R_a T$$

再將 P 的單位改用 mm.Hg. 變為 e ，又因

$$P = e/0.75 \times 10^{-3}, R_a = 2.87 \times 10^6, T = 273(1 + \alpha t)$$

故得絕對濕度與水汽張力的關係如次：

$$a = \frac{0.623e \times 10^3 \times 10^6}{0.75 \times 2.87 \times 10^6 \times 273(1 + \alpha t)} = \frac{1.06e}{1 \times \alpha t} \text{ g/m}^3 \alpha = \frac{1}{273}$$

(二) 相對濕度 (Relative Humidity) 在某溫度時空氣中現有水汽張力與該溫度時最大水汽張力的比用百分數表示就是相對濕度，假使溫度 T 時水蒸汽張力為 e ，最大水蒸汽張力為 E ，那麼相對濕度 R 就等於

$$R = \frac{e}{E} \times 100$$

(三) 比較濕度 (Specific Humidity) 直接表示單位質量濕空氣中現有的水汽質量的標準，稱為比較濕度，假設濕空氣的密度是 ρ' ，則比較溫度

$$S' = \frac{d}{\rho'}$$

再由上述氣體狀態方程式 $S' = \frac{d}{\rho'} = \frac{e/R_w T}{p'/R'T} = \frac{eR'}{p'R_w}$

式中 R' 是濕空氣的氣體常數， p' 是濕空氣的壓力 (mm.)，又因 $R' = (1 + 0.604S)R$ ， $R_w = 1.604R$ 故

$$S' = \frac{eR'}{p'R_w} = \frac{e(1 + 0.604S)R}{p' \times 1.604R} = \frac{e(1 + 0.604S)}{p' \times 1.604}$$

$$\begin{aligned} \text{解出 } S \text{ 得 } S' &= \frac{e}{1.604p' - 0.604e} = \frac{5e}{8p' - 3e} = \frac{5}{8} \frac{e}{p'} \\ &= 0.623 \frac{e}{p'} \text{ g/g} \end{aligned}$$

蒸發與濕度

然因比較濕度之單位，通常乃用一千克空氣中所含水汽之克數，故可知 $S = 623 \frac{e}{p'}$ g/kg

(四) 混合比例 (Mischungsverhältnis) 一千克乾空氣中所混合的水汽克數，稱為混合比例，若令乾空氣的密度為 ρ ，按定義，混合比例等於 $m = \frac{d}{\rho}$

$$\text{或 } m = \frac{0.623e/RT}{\frac{1}{1000}(p' - e)/Rt} = \frac{0.623e}{p' - e} \text{ g/g} = 623 \frac{e}{p' - e} \text{ g/kg}$$

(五) 飽差 (Saturation Deficit) 在某溫度時一立方米中最大水汽量與現有水汽量的差值稱為飽差即

$$\begin{aligned} D &= W_E - W_e = \frac{E}{R_w T} - \frac{e}{R_w T} = (E - e) / R_w T \\ &= E \left(1 - \frac{e}{E} \right) / R_w T = W E \left(1 - \frac{R}{100} \right) \end{aligned}$$

此外還有一種生理飽差 (Physiological Saturation deficit) 和上述飽差略有不同，生理飽差是指某溫度時空中水汽量和與體溫相當的最大水汽量的差值，正常狀態人的體溫，大概保持在攝氏三六·七度左右，與這溫度相當的每一立方米的最大水汽量是四十五克，故生理飽差等於

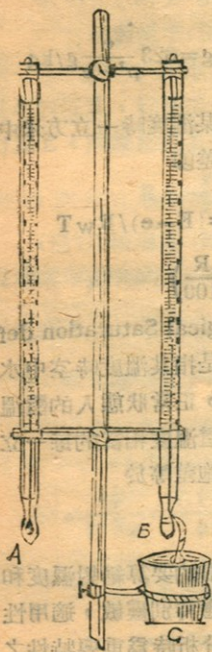
$$D_p = 45 - a = 45 - \frac{1.06e}{1 + \alpha t}$$

這裏舉出的幾種濕度表示法，最通用的要算絕對濕度和相對濕度，相對濕度對於溫度變化的反應特別靈敏，適用性也大；比較濕度，混合比例，對於氣團分析時為重要特性之

一，因一個氣團在未達凝結高度以前，無論氣團如何變化，比較濕度和混合比例是不變的；飽差與蒸發有密切關係，空氣的乾燥對於人類生理上的影響，也能用飽差判別，總之應用時須要何種濕度標準，應看所需要的目的而定。

第二節 濕度的觀測

依照前節所述的各種濕度的計算，很容易看出彼此之間是有互相關係的，只要已經知道其中的一種和當時的大氣溫度，其他各種濕度都可以算出來。平時觀測濕度，並非用直接方法測出空氣中真正水汽重量或水汽張力，而是利用溫度計的紀錄，從濕度與溫度的關係，間接地推算出濕度，一部份觀測濕度的儀器也是根據這原理製成的。下面是幾種通用的儀器和觀測方法的詳細說明：



圖(五) 乾濕球濕度計

(1) 乾濕球濕度計 (The Wet and dry bulb hydrometer) 這種濕度計是用兩隻同樣的溫度表製成的。如第五圖中的A和B是兩隻溫度表，不過B的水銀球部另用紗布包裹，再將一束棉線繫牢，棉線

蒸發與濕度

另一端放在盛有淨水的杯C中，杯中的水得棉綫纖維的毛管作用，不斷地運輸到紗布上蒸發，所以B特稱為濕球，A仍保持原狀特稱為乾球，濕球因要供給蒸發，所消耗一部份的熱能，結果其溫度的示度必比較同時乾球的溫度為低，利用兩隻溫度表的差值，可以算出絕對濕度，這種方法所根據的理由是這樣的：

假使濕球沒有蒸發作用，所得的溫度應該和乾球的相等，若此時乾球的溫度為 t ，濕球因蒸發作用，溫度由 t 下降為 t' 。假設在乾球週圍流通的空氣量為 m 克，這時 m 克空氣溫度也降低 $(t-t')$ 度，放出 $(t-t')ms$ 卡熱，供給濕球蒸發。 S 為空氣的比熱，同時空氣因吸收濕球的水汽，達到飽和，由水汽張力 e ，變為溫度 t' 時的最大水汽張力 E 。設水汽的密度為 ρ ，氣壓為 B ，則 m 克空氣中原有的水汽量為 $\frac{e}{B}m\rho$ 克，與濕球接觸後，增加為 $\frac{E}{B}m\rho$ 克，故增加的水汽量為 $\frac{(E-e)}{B}m\rho$ 克。因之 m 克空氣從濕球所奪取的熱量為 $\frac{(E-e)}{B}m\rho l$ 卡， l 為蒸發熱。在濕球溫度穩定不變時，濕球所放出的熱與吸收的熱應該相等，故

$$\frac{(E-e)}{B}m\rho l = (t-t')ms$$

$$e = E - \frac{S}{\rho l} (t-t')B$$

S, ρ, l ，為常數，令 $\frac{S}{\rho l} = A$ ，上式可變為

氣象小叢書

$$e = E - AB(t - t') = E - 0.000642B(t - t')$$

這是乾濕球溫度計的基本公式，惟實用上還要將風速的影響計入，所以A不一定是常數。其值由實驗測定。我國目前採用的是美國氣象學者W. Ferrel氏測定的公式，

$$e = E - 0.000660B(t - t')(1 + 0.00115t')$$

應用時已有計算完備的表可檢查，只要知道 t' 和 $(t - t')$ ，絕對濕度即可求出。我國中央研究院氣象研究所出版的氣象常用表中的乾濕球溫度表，即是採用W. Ferrel氏公式製成的，但表中B是海平面上氣壓值(760mm. Hg.)，所以在檢表時，要加當時氣壓的改正，這校正方法如下：

假定大氣壓力為B和標準大氣壓力為760mm. Hg.時的絕對濕度為e和 e_0 ，那麼根據公式

$$e = E - 0.000660B(t - t')(1 + 0.00115t')$$

$$e_0 = E - 0.000660 \times 760(t - t')(1 + 0.00115t')$$

故 $e_0 - e = 0.000660(760 - B)(t - t')(1 + 0.00115t')$

由上式可知當時氣壓如大於760mm. Hg.，校正值是負的，如小於760mm. Hg.校正值是正的。相當於任何 $(t - t')$ 的 $(760 - B)$ 校正值可從氣象常用表中絕對濕度氣壓訂正表查出，所得校正值的正負，必須和 $(760 - B)$ 的符號一致。茲舉例如下：

設乾球溫度 $t = 30.1^\circ\text{C}$ ，濕球溫度 $t' = 26.6^\circ\text{C}$ ，氣壓 $B = 734.10$ ，則乾濕球溫度差 $t - t' = 35^\circ\text{C}$ ， $\Delta B = (760 - 734.10) = 25.90\text{mm. Hg.}$ 其值為正。

求絕對濕度

蒸發與濕度

查表(三) $t - t' = 3.5^\circ$, $t' = 26.0^\circ\text{C}$ 時絕對濕度
 $= 23.43\text{mm}$ 。

查表(四) 0.6° 縱行下 t' 小數訂正 $= 0.92\text{mm}$ 。

\therefore $t' = 26.6^\circ\text{C}$ 時絕對濕度 $= 24.35\text{mm}$ 。

再查表(五)，乾濕球差 3.5° 行 ΔB 訂正數

20	0.05	}	差 = 0.02
30	0.07		

用比例求得 25.90mm. Hg. 的訂正數為 $0.05 + (0.02 \times 2.59) = 0.10$

故 校正後絕對濕度為 $24.35 + 0.10 = 24.45\text{mm}$ 。

附表(三)乾濕球讀數之差表，(四)濕球溫度小數訂正表，(五)絕對濕度氣壓訂正表如下。

求絕對濕度的方法已如上述，絕對濕度一經知道，當時的相對濕度便可由上述公式 $R = \frac{E}{e} \times 100$ 求出，因為式中 E 是當時乾球溫度時的最大水汽張力，這數值可由前節最大水汽張力表查出代入公式，相對濕度 R 便可求得了。不過為便利計，在上述求絕對濕度表中，與某溫度時絕對濕度相當的相對濕度，也計算好了，只須一查即得。

由前例所得絕對濕度 $e = 24.45\text{mm}$ 。查表(一)溫度 30.1°C 的最大水汽張力 $E = 32.04\text{mm}$ 。依相對濕溫定義得

$$R = \frac{e}{E} \times 100 = \frac{24.45}{32.04} = 76.3\%$$

倘若要求露點，不能以此時濕球溫度當作當時水汽飽和時的露點，應將求得的絕對濕度的數值，從最大水汽張力表中反求出。

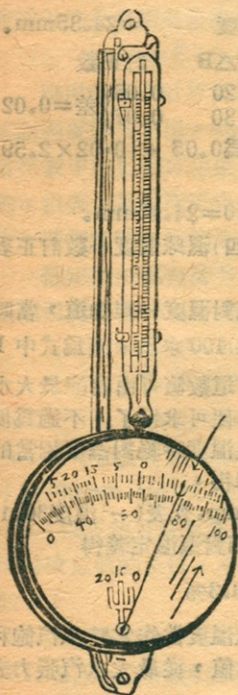
例如由前例絕對濕度 $e = 24.45\text{mm}$ 。查表(一)溫度 25.4°C $E = 24.35\text{mm}$ ，溫度 25.5°C ， $E = 24.50$ 。用比例求出露

氣象小叢書

點， $t = 25.46^{\circ}\text{C}$ 。普通溫度讀數，小數點後只取一位，故此時露點可看做 $t = 25.5^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 毛髮濕度計(Hair Hygrometer)，已經去脂的毛髮

由於空氣乾濕的不同，可以起伸縮作用。據理論上的研究，毛髮的伸縮是與相對濕度的對數成正比。普通所用的刻度，是先將相對濕度為零和為 100 時毛髮伸張的數值求出。然後將二者之間按對數的分度分為 100 分，這樣得出相對濕度的誤差，可到百分之五，所以毛髮濕度計普通只用作參考。但溫度在攝氏零度上下時，毛髮計的紀錄，反比較乾濕球濕度表精確。



圖(六)複式(Polymeteo)毛髮濕度計

毛髮計的構造，最簡單的是取一脫脂的人髮，一端固定，一端懸一重錘，同掛在一滑車上。滑車中心軸連一指針，毛髮因空氣乾濕所起的伸縮作用，使重量上下移動，於是滑車也隨着左右

乾濕球讀數之差 $t-t'$

表(三)

濕球 t'	3.0		3.1		3.2		3.3		3.4		3.5		3.6		3.7		3.8		3.9	
	絕對	相對	絕對	相對	絕對	相對	絕對	相對	絕對	相對	絕對	相對	絕對	相對	絕對	相對	絕對	相對	絕對	相對
	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%
16	12.11	73	12.06	73	12.01	72	11.96	71	11.91	70	11.86	70	11.80	69	11.75	68	11.70	68	11.65	67
17	13.00	74	12.95	73	12.90	73	12.85	72	12.80	71	12.74	70	12.69	70	12.64	69	12.59	68	12.54	68
18	13.95	75	13.90	74	13.85	73	13.80	73	13.75	72	13.69	71	13.64	70	13.59	70	13.54	69	13.49	68
19	14.95	75	14.90	75	14.85	74	14.80	73	14.75	73	14.69	72	14.64	71	14.59	70	14.54	70	14.49	69
20	16.01	76	15.96	75	15.91	75	15.86	74	15.81	73	15.75	73	15.70	72	15.65	71	15.60	70	15.55	70
21	17.12	76	17.07	76	17.02	75	16.97	74	16.91	74	16.86	73	16.81	72	16.76	72	16.71	71	16.66	70
22	18.30	77	18.25	76	18.20	76	18.15	75	18.09	74	18.04	74	17.99	73	17.94	72	17.89	72	17.84	71
23	19.54	77	19.49	77	19.44	76	19.39	75	19.33	75	19.28	74	19.23	74	19.19	73	19.13	72	19.08	72
24	20.85	78	20.80	77	20.75	77	20.70	76	20.64	75	20.59	75	20.54	74	20.49	73	20.44	73	20.39	72
25	22.23	78	22.18	78	22.13	77	22.08	76	22.02	76	21.97	75	21.92	75	21.87	74	21.82	73	21.77	73
26	23.69	79	23.64	78	23.59	78	23.54	77	23.48	76	23.43	76	23.38	75	23.33	74	23.28	74	23.23	73
27	25.22	79	25.17	79	25.12	78	25.07	77	25.01	77	24.96	76	24.91	76	24.86	75	24.81	74	24.76	74
28	26.83	80	26.78	79	26.73	78	26.68	78	26.62	77	26.57	77	26.52	76	26.47	75	26.42	75	26.36	74
29	28.52	80	28.47	79	28.42	79	28.36	78	28.31	78	28.26	77	28.21	77	28.16	76	28.11	75	28.05	75
30	30.30	80	30.25	80	30.20	79	30.14	78	30.09	78	30.04	77	29.99	77	29.94	76	29.89	76	29.83	75

絕 對 濕 度

濕球溫度小數訂正表

(表四)

濕球	一 度 十 分 之 幾								
	t'	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
16	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.53	0.62	0.71	0.80
17	0.10	0.19	0.29	0.38	0.48	0.57	0.67	0.76	0.86
18	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
19	0.11	0.21	0.32	0.42	0.53	0.64	0.74	0.85	0.95
20	0.11	0.22	0.33	0.44	0.56	0.67	0.78	0.89	1.00
21	0.12	0.24	0.35	0.47	0.59	0.71	0.83	0.94	1.06
22	0.12	0.25	0.37	0.50	0.62	0.74	0.87	0.99	1.12
23	0.13	0.26	0.39	0.52	0.66	0.79	0.92	1.05	1.18
24	0.14	0.28	0.41	0.55	0.69	0.83	0.97	1.10	1.24
25	0.15	0.29	0.44	0.58	0.73	0.88	1.02	1.17	1.31
26	0.15	0.31	0.46	0.61	0.77	0.92	1.07	1.22	1.37
27	0.16	0.32	0.48	0.64	0.81	0.97	1.13	1.29	1.45
28	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85	1.01	1.18	1.35	1.52
29	0.18	0.36	0.53	0.71	0.89	1.07	1.25	1.42	1.60
30	0.19	0.38	0.56	0.75	0.94	1.13	1.32	1.50	1.69
31	0.20	0.39	0.59	0.78	0.98	1.18	1.37	1.57	1.76
32	0.21	0.41	0.62	0.83	1.04	1.24	1.45	1.66	1.86
33	0.22	0.43	0.65	0.87	1.09	1.30	1.52	1.74	1.95
34	0.23	0.46	0.68	0.91	1.14	1.37	1.60	1.82	2.05
35	0.24	0.48	0.72	0.96	1.20	1.43	1.67	1.91	2.15

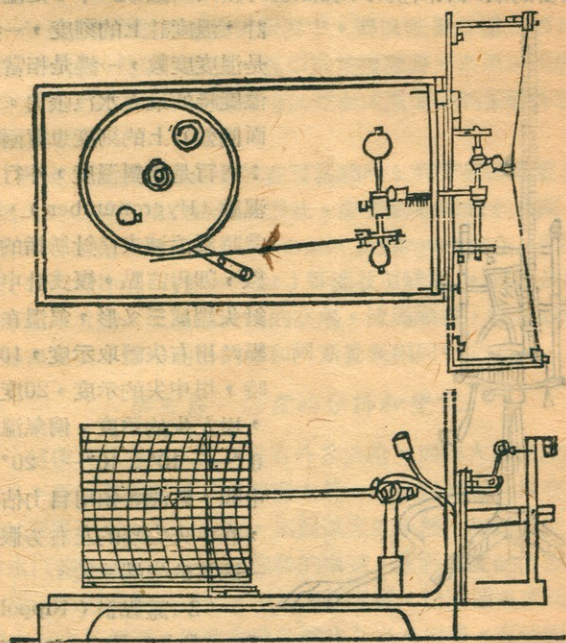
絕 對 濕 度 氣 壓 訂 正 表 (表五)

乾濕 球差	氣 壓 讀 數 七 六 〇 耗 以 上 或 以 下									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
2.1	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14
2.2	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14
2.3	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15
2.4	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16
2.5	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16
2.6	0.02	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17
2.7	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18
2.8	0.02	0.04	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18
2.9	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
3.0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
3.1	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
3.2	0.02	0.04	0.06	0.08	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21
3.3	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.22
3.4	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.16	0.18	0.20	0.22
3.5	0.02	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23
3.6	0.02	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14	0.17	0.19	0.21	0.24
3.7	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24
3.8	0.03	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22	0.25
3.9	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25
4.0	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26

蒸發與濕度

旋轉，指針在刻度盤上，便指出當時相對濕度。複式毛髮濕度計(Polymer)便是這樣作成的。(如六圖)

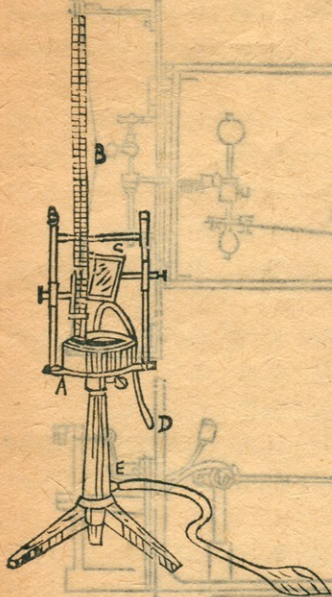
倘若將毛髮束的兩端固定，束的中間用一鈎拉直，這鈎又聯在一槓杆上，這槓杆的他端有一自記筆，這樣因毛髮伸縮而起的鈎的移動，逐漸傳達到自記筆上。於是自記紙便記



圖(七) Richard 自記毛髮濕度計

氣象小叢書

下一日中相對濕度變化的曲線，Richard 自記濕度計的構造，正如上述（見(七)圖）。毛髮濕度計所得的數值是相對濕度，利用當時的氣溫紀錄，可以算出絕對濕度和露點。若用複式毛髮濕度計，可從計上刻度及附屬溫度計，將氣溫與此氣溫相當的最大水汽張力，露點同時讀出。圖(七)中T是溫度計，溫度計上的刻度，一邊



圖(八) 露點計

計，溫度計上的刻度，一邊是溫度度數，一邊是相當各溫度時的最大水汽張力。下面圓盤C上的刻度也有兩行：內行是相對濕度，外行是濕數(Hygronumber)，從當時氣溫減去指針所指的濕數，即得露點。複式計中指針尖端成三叉形，氣溫在零點時用右尖讀取示度，10度時，用中尖的示度。20度時，用左尖的示度。倘氣溫在 0° — 10° 或 10° — 20° 的中間，觀測者須用目力估計，在中央尖端的左右方假想一適當的尖端讀數。

(3) 露點計 (Nippoldt Dew Point Hygrometer)

第(八)圖A是具有兩重壁的

蒸發與濕度

金屬皿，兩壁中間盛滿以脫（Ether），E是空氣壓縮器，通入以脫中，A中盛水銀，溫度計B的彎曲水銀球部恰插入水銀面下。用時，壓E中空氣輸入以脫中，使起泡蒸發，由D管逸出A壁，使水銀逐漸降冷，於是水銀面上有露生成，此時溫度計的示度就是露點。C是反射鏡，幫助觀測結露用的。

在上述幾種觀測濕度的儀器中，要以乾濕球溫度表比較準確，其他都是用作參攷。假如為某種需要，必須用毛髮表或自記濕度計等時，也應時時以乾濕球溫度表的讀數作標準，加以校正。

乾濕球溫度表普通是放在百葉箱內，有時因通風量不足，濕球的蒸發作用受阻滯，因此，影響到紀錄的不正確。於是有阿斯曼通風濕度表（Assmann Hygrometer），手搖濕度表（Whirling Hygrometer）等補救這缺點。前者是用筆速等轉的電扇，使濕球表面的空氣，流通順暢，後者是用手旋轉濕度表，作用的目的也和阿斯曼表相同。

第三節 濕度的分佈和變化

倘使大氣中的水汽，沒有外界供給，同時大氣溫度的變化又不致冷到露點以下，那麼大氣中的絕對濕度，只有因水汽的膨脹而生的些許變化。相對濕度就不然，相對濕度是表示水汽飽和度的大小的。飽和的增減，全看溫度的情形決定，所以相對濕度的變化，不能離開溫度，這兩種濕度既然在根本上大不相同，因此在分佈變化上也不相同，有時而且相反，同時在應用上的目的也是各別，以後還要討論到的。

氣象小叢書

其他如比較濕度，混合比例，是和絕對濕度成正比，在分析高空記錄時，應用甚廣，本書僅就手邊現有的資料，將其變化與分佈情形略予提及，不能作詳盡的討論。

(一) 濕度的分佈

(1) 縱的分佈

絕對濕度是隨高度遞減，高度愈高，減低愈快。因為空氣溫度是向上降低，下層的水汽，升到相當高度便要凝結為水，向下降落，上層水汽稀少，所以絕對濕度要小。德國氣象學家漢思 (Hann) 氏，求出一計算絕對濕度和高度的公式。

$$\log e^h = \log e_0 - \frac{h}{6500}$$

式中 e^h 是代表高度為 h 時的絕對濕度。 e_0 是海平面上的絕對濕度。假設地面的絕對濕度是一〇毫米，由下表計算值可知水汽的全量十分之九是在六五〇〇米以下的。

高度 (m.)	0	500	1000	2000	3000	5000
濕度 (mm.)	10.0	8.4	7.0	4.9	3.5	1.7

絕對濕度向上減少，在自由大氣中 (Free Air) 和在高山上又不相同，由於山上也有水汽蒸發，因此山地向上減低的數值不及自由大氣中來得大，從下表可以明白看出

高度 (km.)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
自由大氣 (mm.)	0.83	0.68	0.51	0.41	0.34	0.26	0.20
高山 (mm.)	0.83	0.70	0.58	0.48	0.40	0.34	0.28
	4.0	4.5	5.0	6.0			
	0.17	0.14	0.11	0.054			
	0.23	0.19	0.16	—			

蒸發與濕度

比較濕度，相對濕度，混合比例也是向上減低，但遠不及絕對濕度的規律。其中以混合比例與比較濕度的數值極其近似，二者分佈的情形，可用其中之一代表，下表是 Batavia 高空觀測的結果。

高度(m.)	0	1000	2000	3000	4000	5000
相對濕度(%)	86	77	74	66	64	60
混合比例(g/kg)	18.7	15.9	14.2	10.2	7.8	5.9

混合比例，相對濕度向上減低，極不規律，與當地天氣大有關係，換言之，與當地盤據的氣團有關，例如北平每當夏季變性熱帶海洋氣團到達之時，混合比例向上減低率極小，而相對濕度減至一定高度時，反向上增加，如下表。

高度(m)	70.5	500	1000	2000
相對濕度(%)	40	42	47	65
混合比例(g/kg)	11.1	8.8	7.8	6.6

(2) 橫的分佈

絕對濕度在赤道上最大，因赤道地方河流窪地，縱橫錯列，植物生長濃密，可以充分供給水汽，使低層大氣中水汽容易到達飽和。高壓盤據的區域，如亞洲冬季絕對濕度最小，因這些地方距海很遠，即使由海洋來的溫濕氣團，也因長途跋涉，變成乾冷。同時由於高壓中空氣下沉的原故，所以絕對濕度很小。在這兩極端情形中間，絕對濕度的分佈似乎和緯度沒有一定的關係。

相對濕度的分佈，在海洋上各處幾乎相同，由海岸向內陸，逐漸減少。在緯度上的分佈和絕對濕度相反，大致是在

氣象小叢書

赤道上的小，在兩極大，緯度三〇度左右又是最小。同時受天氣變化的影響，情形變化，極不規定。例如紐芬蘭附近，從海洋暖流上流來的暖風，恰經過冷流上面，遂發大霧，故其相對濕度長期間都是百分之百。

下面是北半球各緯度相對濕度和絕對濕度的多年均值，並將溫度列入，以作參攷。

緯度	70-60	60-50	50-40	40-30	30-20
溫度(°c)	-7.0	1.2	8.7	15.3	21.9
相對顯度(%)	80	78	74	70	71
絕對濕度(g/m ³)	3.1	4.9	7.0	9.7	13.8
	20-10	10-0			
	25.4	25.5			
	75	79			
	17.2	18.9			

下面再舉歐亞兩洲各地濕度分佈的例子，可以看出兩濕度有由海岸向內陸減低的趨勢：

地名	巴黎	維也納	埃利薩威格	盧根	伊爾吉斯	土爾基斯坦
相對濕度(%)	79	76	75	70	70	91
絕對濕度 mm.)	7.5	7.1	6.6	6.4	5.1	6.6
	香港	上海	青島	南京	北平	西安
	77.4	80.2	72.0	74.0	63.8	69.7
	16.1	11.8	11.1	9.2	6.4	—

(二) 濕度的變化

(一) 絕對濕度日變化 (Diurnal Variation of Absolute

蒸發與濕度

Humidity)。

絕對濕度日變化的曲線，大致有兩不同的狀態。第一種出現在冬季，與每日溫度曲線相符合，一日中有一次最高，一次最低。最高出現在每日下午第十四時至十五時，最低出現在上午日出之時，因為在日出時，溫度漸增，蒸發作用逐漸旺盛，空氣中水汽也增加，這樣繼續到溫度升至最高點。此後氣溫雖下降，但蒸發作用，仍未停止，所以午後十四時至十五時左右，絕對濕度增至最大限度，這時氣溫再繼續下降，地面的蒸發也逐漸衰減，大氣下層的水汽反大量的擴散 (Diffusion) 到上層大氣中，於是地面的絕對濕度開始減弱，到夜間蒸發作用幾乎停滯，空中水汽又因降冷凝結，到了第二天日出之前，絕對濕度降到最低點。

第二種絕對濕度變化曲線，是出現於內陸夏季，每日有兩次最高兩次最低，第一次最高出現在二十時至廿一時。第一次最低出現在日出之時，第二次最低在十六時至十七時，但夏季海岸地方的變化曲線和第一種相同。熱帶全部和中緯夏季內陸都有對流發生，日中對流特別強盛，上升的空氣將下層的濕氣帶走，這樣形成十六時至十七時的最低。以後對流作用衰退，地面因夏季日照很長，蒸發作用仍然繼續進行，低層大氣的水汽漸漸增加，在二十時至廿一時成極大。夜間因地面降冷，空中水汽來源減少，到第二天日出之前，絕對濕度也減至最低，這和第一種情形相同，日出以後對流作用漸起，地面擴散作用增強，低層大氣中可以保持極多水汽，因此在八時至九時的絕對濕度也有一次最大的出現，但在

海岸地方，因水汽供給容易，所以八時至九時的最大和十六時至十七時的最小都不能出現。

以上情形只限於近地面的低層空氣，但在自由大氣和高山上又有不同，大致在三公里以上高層大氣中，冬季絕對濕度日中沒有什麼變化，僅夏季午前九時，有一最高，午後四時至五時有一最低。由於在三公里以上的高空中，所受地面蒸發的影響不多，只有在夏季對流作用旺盛的時候，才有較弱的變化。高山上的情形和地面相同，絕對濕度日變化曲線，與溫度日變化曲線一致。因為高山上的風比地面要大，對流作用是不容易發生的。

(2) 相對濕度的日變化 (Diurnal Variation of Relative Humidity)

相對濕度的日變化正與溫度的日變化相反，尤其在溫度變化急劇的地方，這種關係最顯明。每日有一次最高和一次最低，最高出現大概在日出之時，最低出現在十四時至十五時，因日出之後氣溫增加，雖然絕對濕度也隨着增加，但這時空氣中水汽的可能容量，增加太快，換句話說，空中水汽的飽和量加大，這時的相對濕度很低。下午溫度降低之時，雖絕對濕度也隨着減低，但空氣中水汽的可能容量減低更快，所以相對濕度變成極大。假若夜間天氣晴朗無風，空中水汽往往在清晨成飽和狀態，所以相對濕度自記紙上，最大濕度不是一個高峯而是一條較高的平線。在高山最高出現在下午或夜間，最低出現在清晨或正午。天氣晴朗時，相對濕度比較陰曇時大，濱海的地方每日有海風和陸風的變換，海風吹時，相對濕度大，陸風吹時，相對濕度小。

蒸發與濕度

(3) 絕對濕度的年變化 (Annual Variation of Absolute Humidity)

絕對濕度年變化曲線大致和溫度的年變化曲線相同，僅有少數的例外。一年中最大絕對濕度出現在夏季，最低出現在冬季，因為夏季蒸發極旺，生物的繁殖也強，所以絕對濕度夏季呈極大，但在季候風區域或熱帶內，絕對濕度最大時不在夏季，而是在雨季，絕對濕度年變化曲線的波幅，完全與溫度年變化曲線的波幅有密切關係，下表是歐亞兩洲的實例：

地名	巴 黎	維 也 納	埃 利 薩 威 格
	冬 夏	冬 夏	冬 夏
絕對濕度 (mm.)	5.0 10.3	3.7 11.1	3.1 10.9
地名	盧 根	伊 爾 幾 司	士 爾 基 斯 坦
	冬 夏	冬 夏	冬 夏
絕對濕度 (mm.)	2.8 10.7	1.6 9.5	3.0 11.0

下表是上海南京青島北平香港五處絕對濕度年中分佈的情形：

地名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
上海	4.4	4.8	11.8	9.1	12.9	17.5	22.3	22.3
南京	4.0	4.7	6.3	8.9	13.1	17.0	21.9	21.7
青島	2.9	3.1	5.9	6.4	9.8	14.2	19.6	19.6
北平	2.0	2.3	4.1	5.7	8.9	13.7	19.3	18.7
香港	9.8	9.1	3.4	16.1	19.6	21.9	23.1	22.6

氣象小叢書

地名 \ 月	9	10	11	12
上海	17.3	11.4	7.5	5.3mm.
南京	15.2	9.6	6.5	5.1mm.
青島	13.4	8.2	5.5	3.6mm.
北平	12.2	7.1	3.6	2.3mm.
港香	20.5	16.6	12.3	9.7mm.

(4) 相對濕度的年變化 (Annual Variation of Relative Humidity)

相對濕度年變化曲線大致和溫度年變化曲線相反，但是受地勢的影響，變化不甚規律，一般的情形，是六月最小，十一月最大，但在特殊的地方，如我國季候風區域，冬季乾燥多晴天，夏季潮濕多雨天，情形正相反。近海地方年中變差小，內陸變差大，高山上的年變化和地面恰相反，最小在冬季，最大在夏季，下表是歐亞兩洲的實例：

地名	巴黎	維也納	埃利薩威格	盧根	伊爾幾司	土爾其斯坦
冬(%)	86	83	86	81	82	(81)
夏(%)	73	70	63	60	45	41

下表是我國各地相對濕度年中變化情形

地名	1	2	3	4	5	6	7
香港(%)	72.9	77.0	81.9	84.3	83.5	82.6	82.0
上海(%)	78.3	78.6	78.3	79.2	79.4	84.2	84.1
青島(%)	65.4	65.9	67.1	69.3	75.2	82.0	89.1
南京(%)	77.8	78.2	67.7	72.2	74.6	77.0	78.1
北平(%)	65.8	62.4	58.7	50.0	53.3	60.8	76.4
西安(%)	71.8	69.1	62.2	63.5	63.7	57.7	68.7
廈門(%)	76.7	79.5	79.9	80.6	81.3	81.6	79.2

蒸發與濕度

昆明 (%)	54.0	50.1	48.0	51.3	57.5	71.0	75.0
公主嶺 (%)	77	71	56	45	46	53	67
地名	8	9	10	11	12		
香港 (%)	82.8	77.4	70.9	66.4	67.4		
上海 (%)	84.0	83.0	79.0	77.5	76.3		
青島 (%)	83.3	73.4	65.4	64.1	63.6		
南京 (%)	78.2	74.2	66.6	66.0	77.6		
北平 (%)	77.3	76.2	61.9	64.0	64.8		
西安 (%)	78.6	77.9	75.1	76.2	71.8		
廈門 (%)	79.4	74.1	69.7	71.7	74.7		
昆明 (%)	73.2	70.6	71.0	67.4	60.3		
公主嶺 (%)	68	58	57	59	69		

第四節 濕度與人生

我們平時感覺乾燥或潮濕，與空氣真正的水汽量的多少的關係，反小與氣溫的高低關係較大，撒哈拉 (Sahara) 大沙漠夏季非常乾燥，英格蘭 (England) 冬季非常潮濕，其實撒哈拉夏季空氣中的水汽遠多於英格蘭冬季空氣中的水汽量，僅僅因為溫度的不同，我們的感覺也不同。我們感覺乾燥或潮濕是由當時空氣中的水汽量距飽和程度的遠近而定。倘若距飽和程度遠，皮膚上的蒸發作用進行很快，將身上的一部份熱帶走，所以在夏季乾熱的天氣反覺涼爽。冬季乾冷的天氣，因為蒸發太快，體溫不易保持，我們反覺不舒適，相反的潮熱的天氣，令人悶塞。也可以同理說明。我們對於風的本身，並無憎愛，但夏季總喜歡迎風，冬季又避風，也是同一的理由，總之人類對於乾濕的感覺，是由於相對濕度，

氣象小叢書

不是由於絕對濕度。

我們每日身體有一部份熱是用來蒸發肺和皮膚裏的水汽，當大氣溫度高於體溫時，爲要保持體溫不變，不得不多多的蒸發，因此體內水份的供給，非常重要。假使這冷却作用，一旦由於內在的原因——疲乏，呼吸器官有病，或水份缺乏，——或外界的環境——皮膚附近的空氣已達飽和或近於飽和而空氣平靜無風等——不能順利進行，容易發生熱病，甚至於有生命的危險。美國東部夏季每年“熱浪”(Heat Wave)來時，許多不服水土的人，在這潮熱天氣中覺得非常痛苦。

有風吹送之時，可以時時交換皮膚附近的空氣，這對於生理上的冷却作用影響極大，倘若這時流動的空氣很乾燥，那麼蒸發加快，溫度降低更多，倘若流動空氣很潮濕，那麼身上的衣服漸漸潤濕，失掉保護熱力的作用。甚至更消耗多量的體熱，用來蒸發空氣中的水珠。大氣溫度一升一降，我們的身體對於濕度的變遷感覺特別靈敏，只有在正常溫度下，空中濕度的變遷，才不容易覺出。住在東歐的人，對於春季強烈而又乾冷的東北風，尤其感覺難受。但在冬季氣溫小於攝氏五度時，潮濕的風也一樣的不舒適，反覺得比內陸氣溫在攝氏十度時無風的天氣中還要冷。


蒸發降冷本是身體的正常工作，也是維持健康，汗液發的必需工作，不能過度進行，只有在健康的身體內，才有伸縮的餘地。黑人的皮膚，可以加強太陽熱力的吸收，對於排洩器官更有刺激作用。空氣與人的身體接觸，——一部份被吸入肺部，溫度增高到攝氏三十二度以上，一部份停留在皮膚

蒸發與濕度

上，隨着空氣流動的快慢和衣服質料的不同，溫度也能從二十一度升高至三十二度以上，空氣乾冷流動極快之時，冷卻的作用最大；空氣溫潤，平靜無風之時冷卻作用最小，溫帶大陸內部冬季，這第一種情形可常見。在有相當可觀的冷卻的程度時，氣候新鮮興奮，但在 Canada 和 Siberia 的內部，冬季太冷，尤其是風多，所穿的衣服太厚，結果是和這新鮮而令人興奮的氣候的優點正相抵消，幸而這種情形是不常見，普通都是無風或者只是微風飄動而已。赤道地方又是另一種極端情形，氣溫是略較體溫低些。這種疲滯的空氣在全年中都是近於飽和狀態，甚至到夜間也不見減低，歐洲人到了這些地方，即刻變成衰弱無力，結果做了各種熱帶病的犧牲者，同樣情形也可以發見於赤道與信風沙漠區間的熱帶地方；例如在蘇丹，印度，中國的西南部，澳洲的北部，巴西，中美洲和美國的東南部，不過這些地方的冬季還不算難過。

在酷熱的沙漠地帶，夏季的氣溫大半超過體溫，甚至可到四十九度，這樣高熱的空氣，與人類身體接觸，溫度即刻降低，其中相對濕度增加。不過這些地方的空氣很乾燥，相對濕度的增加不能很大，同時每天最熱時，風力也強，所以反比稱爲“白人的墳墓”的圭內拉（Guinea）海岸還要適於生活，圭內拉海岸的氣溫，比較要低下十一度，不過空氣中是充滿着飽和的水汽，同樣的情形，美國西南部高原夏季氣溫雖高，但因為乾燥多風，反比潮濕燠熱的下密士失必河盆地好些。

冬季阿爾卑斯山高山山谷的氣候，極適宜於健康，由於那裏的空氣燥乾適中，而又不大冷，又因為空氣稀薄，蒸發



氣象小叢書

活躍，令人呼吸深長。用溫度的變化來指示對於人類健康和幸福的關係，濕球溫度表要比乾球溫度表更適用些，因為濕球溫度的情形和我們皮膚表面的蒸發情形很相類似。澳洲夏季乾球所指的溫度極高，但因空氣乾燥，體溫減低。在極熱的地方，夏天濕球溫度表最高的紀錄，比乾球的要低到十九度以上。所以全世界最熱的信風帶沙漠內，雖然熱得令人難受，却不是有害於人類的地方。

濕球溫度表還不能完全指出大氣適應生理的條件，因為人的身體頗像一支肉體的濕球溫度表，時常維持體溫在三六·六度左右，而不能代表空氣的溫度，因此使我們想到相當於體溫的飽和水汽量，與當時絕對濕度的差值之求出非常重要，這種差值我們叫做生理飽差 (Physiological Saturation Deficit) 歐洲西北部或者加拿大的太平洋沿岸的標準冬季氣溫是四·四度，相對濕度是百分之八十，那麼絕對濕度就等於

$$e = R.E. = 0.80 \times 6.8 = 5.4 \text{ g/m}^3$$

生理飽差即等於 $P.S.D. = 45 - 5.4 = 39.6 \text{ g/m}^3$ 。夏季氣溫是二一·三度，相對濕度是百分之六十，求得生理飽差是三四·六。在撒哈拉沙漠氣溫是一一·五度，相對濕度是百分之二十，生理飽差是二八·二，總之生理飽差值愈高，蒸發作用愈活躍，結果降冷作用愈大。絕對濕度在上述方面雖然不及相對濕度重要，但有時也不能忽視，例如，在極地探險者，往往在飽和空氣中，仍然感覺口渴，有時在霧中發現有烟草完全乾燥而容易碎成粉末的，這是由於絕對濕度太小，雖在相當溫度下已達飽和狀態，但這飽和量還不能滿足生物的最低需要。

氣象
叢書
小

蒸發與濕度

中華民國三十年十二月出版

1—1000冊

著 作 者 宓 觀

主 編 者 石 延 漢

出 版 兼
發 行 者 永安義和山
 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)◆

勘誤表

32	32	30	30	25	25	20	19	19	16	16	10	9	8	4	4	2	頁
24	5	12	9	20	19	13	20	6	12	1	12	11	9	11	2	11	行
11	22	5	4	15	8	10	1	19	7	9	9	22	20	20	10	7	字
Ab8leute	漏 [平]字	濕	思	溫	溫	溫	160.4R	溫	em.	濕	低	份	份	漏 [當]字	漏 [水]字	罷	誤
Absolute	平	刪去	恩	度	濕	濕	160.4Ra	濕	em.	蒸	底	分	分	當	水	擺	正

期限卡

Date Due

國立政治大學圖書館

頁
十
五
第
五
冊

38
3
1

著者 宓 觀 書 碼 529·23
Author Call No. 172

書 名 蒸餾與濕度
Title

登錄號碼 215287
Accession No.

月日	借閱者	月日	借閱者
Date	Borrower's Name	Date	Borrower's Name

國立政治大學圖書館

書 碼 529·23
172

登錄號碼 215287

