

對於改良氣象自記儀器夜間訂正方法的 初步建議

沈 燦 燦

(地理系)

目 錄

前言

- 一、目前我國氣象工作中所採用的夜間訂正的方法、原理和缺點。
- 二、改良方法。
- 三、改良方法所持的論據。
- 四、結論。

前 言

目前我國許多氣象台站，都不設置夜間觀測，夜間各項紀錄，由自記儀器施以夜間訂正後得出，如氣溫；氣壓；相對濕度；都是這樣。在一般正常情況下，以現在所應用的訂正法訂正後所得的紀錄，大致和實測相差甚微，頗能切合實用。但仔細地去研究一下，如果氣象變化不按典型規律時，則夜間訂正值和實際觀測值相差極遠，甚者至於此升彼降，此大彼小，完全不合理。在氣象變化過程中，規律性的天氣固然常見，但突變的天氣也很多，尤其是颶風；寒潮；鋒面過境時，氣象變化得較利害，如果訂正法不切合實際時，則在氣象研究上和實際工作中蒙受很大的損失。筆者往昔在氣象機構工作的幾年中，曾留意過這件事，並作過初步研究，覺得有改良這個訂正方法的必要，故草成雜議，作初步的改良，以便引起氣象學界方面的注意，惟由於設備條件和作者水平所限，文內還有許多須待方家指正和提出批評的地方，而且因時間和設備所限，本文內容所述的改良建議未經實踐，發表本文的目的，不過是想作“拋磚引玉”之舉，希望因此能得專家的注意，使氣象觀測計算工作得到進一步的改善，這就是作者的本意。

一、目前我國氣象工作中 採用的夜間訂正的方法、原理和缺點。

目前自記儀器夜間訂正法是假定儀器差值隨時間作規律變化，將誤差平均分配於各段時間內。訂正公式如下：

$$D_n = D_0 + (\text{從 } T_0 \text{ 到 } T_n \text{ 的時間}) \times \frac{D_m - D_0}{\text{從 } T_0 \text{ 到 } T_m \text{ 的時間}} \dots\dots\dots(1)$$

式中 T_0, T_m 為接近於 T_n 的前後兩個實測時間。

D_0 為 T_0 時實測觀測值減去 T_0 時自記紀錄的數值（即 T_0 時的儀器差）。

D_m 為 T_m 時實測觀測值減去 T_m 時自記紀錄的數值（即 T_m 時的儀器差）。

D_n 為 T_n 時自記儀器的訂正數值。

T_n 為所要訂正數值的紀錄時間。

（例）：某站21時氣溫觀測為 21.7°C ，翌日觀測值為 13.5°C ，自記儀21時至翌日6時按序為18.6, 17.9, 17.3, 16.5, 15.8, 15.0, 14.1, 13.8, 13.4, 12.2 ($^{\circ}\text{C}$)，求各時的訂正值。

（解）：以21時為 T_0 ，翌日6時為 T_m

$$\text{現 } D_0 = 21.7 - 18.6 = +3.1^{\circ}\text{C}$$

$$D_m = 13.5 - 12.2 = +1.3^{\circ}\text{C}$$

則每小時平均儀器差（即公差）

$$= \frac{D_m - D_0}{\text{從 } T_0 \text{ 到 } T_m \text{ 時間}} = \frac{1.3^{\circ}\text{C} - 3.1^{\circ}\text{C}}{9} = \frac{-1.8}{9} = -0.2^{\circ}\text{C}$$

$$D_n = +3.1^{\circ}\text{C} + (\text{從 } T_0 \text{ 到 } T_n \text{ 之時間}) \times 0.2$$

則按序訂正或用下表列出每小時的訂正值（以 $^{\circ}\text{C}$ 為單位）。

時	間	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
實	測	21.7									13.5 $^{\circ}\text{C}$
自	記	18.6	17.9	17.3	16.5	15.8	15.0	14.1	13.8	13.4	12.2
儀	器	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3
訂	正	21.7	20.8	20.0	19.0	18.1	17.1	16.0	15.5	14.9	13.5

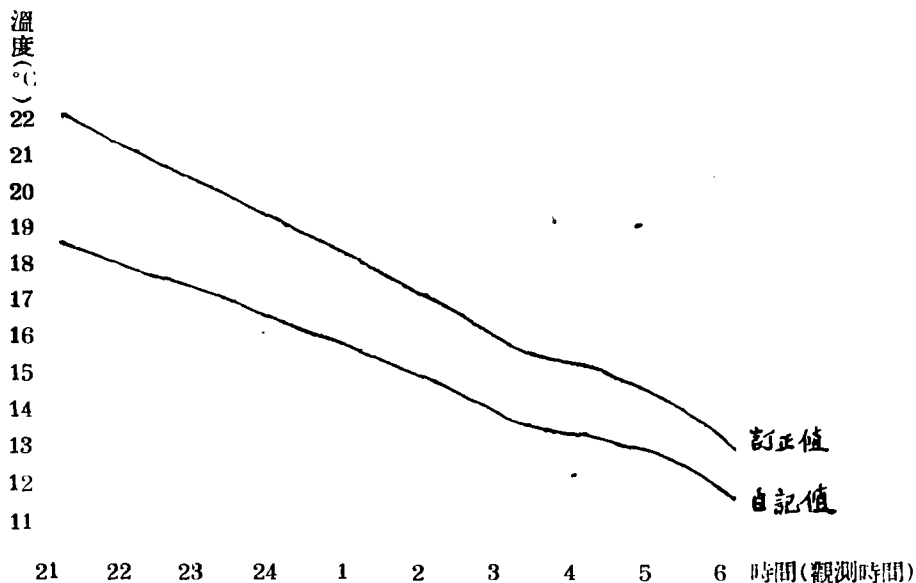
據此；則極明顯，公差 0.2 從 $\frac{D_n - D_0}{\text{從 } T_0 \text{ 到 } T_m \text{ 之時間}}$ 的公式內求出，為平均儀器

差，即單位時間平均儀器變差，可用等差級數法求出實值，即；

$$F_n = a + d(n-1) \dots \dots \dots (2)$$

(每項值等於首項值加上公差乘其前一項的項數)

(1)式與(2)式所不同者，只首項 D_0 為自記儀的儀器紀錄，而 a 則為前項值而已。如用座標表出，自記儀紀錄值曲線與訂正後曲線比較時，可以看出兩線接近於平行，即訂正值合理，至少與紀錄趨勢一致。



圖一 以上例為標準，作出的自記儀紀錄曲線與訂正值曲線。

顯然：

① D_n (公差) 主要是以觀測時間距離為函數，而不是以各時溫度變化程度為函數。

② 公差非儀器惰性或溫度各時的真實公差，而是若干時間內首尾溫度與儀器惰性或差數的平均值。

即以平均差與時間距離作函數得出的儀器差值，如果將自記值與訂正值比較一下，得出下列缺點：

① 按照物理上原理，在一定條件下（即溫度自記在氣壓與溫度相同下，或氣壓在溫度，濕度相同環境下），儀器槓桿和感應部分惰性的誤差，應與紀錄大小成比

例，即在一定自記紀錄值下，差誤應當一定，但用訂正法得出則不規則。

(2) 在自記儀紀錄值曲線是先平後升——/ 或先平後降——\ 時，按理訂正值趨勢亦應相同，唯實際上若自記儀紀錄有數小時是先平而後上升或下降時，則訂正出來的訂正曲線有—— 或—— 的弊病，和實際不相符。

現在舉出下列幾個例子：

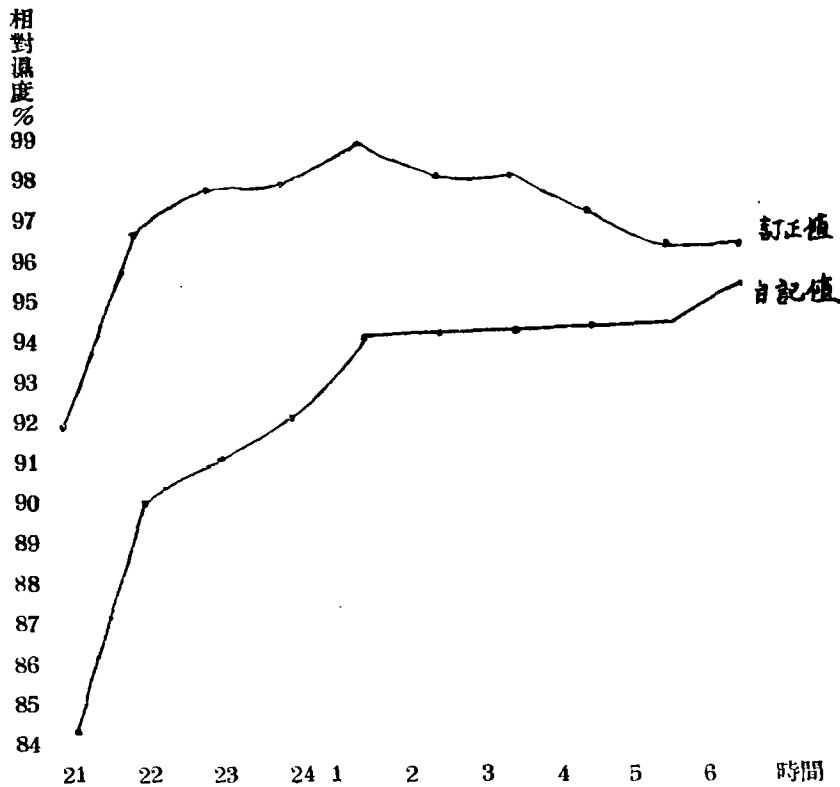
(例一)：廣州某年10月5日—6日夜間相對濕度自記儀器紀錄由21時到翌日晨6時按序為84, 90, 91, 92, 94, 94, 94, 94, 94, 95, 實測值21時為92, 6時為96, 求夜間訂正。

(解) 按 $D_n = D_0 + (\text{從 } T_0 \text{ 到 } T_n \text{ 的時間}) \times \frac{D_m - D_0}{\text{從 } T_0 \text{ 到 } T_m \text{ 的時間}}$ 公式求出公差為 -0.8。

則用表列法求出夜間訂正值如下：

時 間	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
實 測 值	92									96
自 記 值	84	90	91	92	94	94	94	94	94	95
儀 器 差	8.0	7.2	6.6	5.8	5.0	4.2	3.6	2.8	2.0	1
訂 正 值	92	97.2	97.6	97.8	99	98.2	97.6	96.8	96	96

註：濕度訂正本不要小數位，但為明顯比較，表中仍用小數，但繪畫曲線時則按規定四捨五入消去小數位。



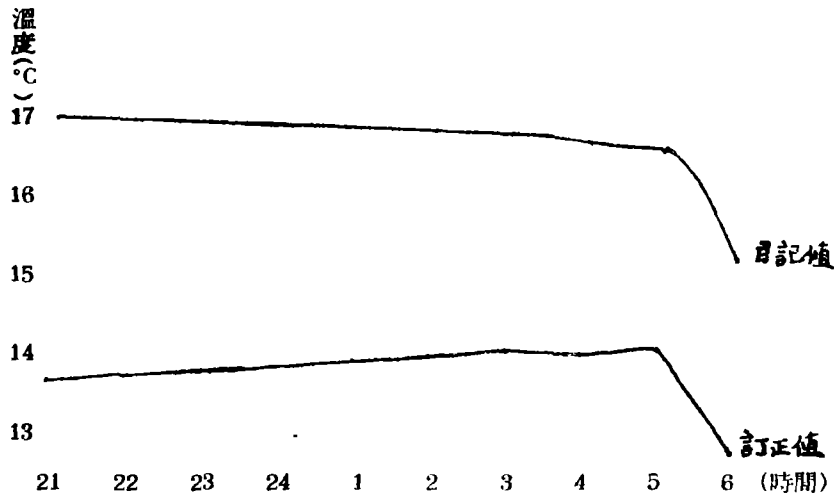
圖二 廣州1954年10月5日—6日相對濕度自記儀曲線與訂正值曲線

(例二) 廣州某年3月29日至30日夜間溫度自記儀紀錄由21時至翌日6時按序為17, 17, 17, 17, 17, 17, 17, 17, 16.9, 16.9, 15.5(°c)實測值21時為13.6°c, 06時為13.0°c, 求夜間訂正值。

(解): 按上法求出公差為+0.1°c

則用表列法求出夜間訂正值如下:

時 間	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
實 測 值	13.6°C									13.0°C
自 記 值	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	16.9	16.9	15.5
儀 器 差	-3.4	-3.3	-3.2	-3.1	-3.0	-2.9	-2.8	-2.7	-2.6	-2.5
訂 正 值	13.6	13.7	13.8	13.9	14.0	14.1	14.2	14.2	14.3	13.0

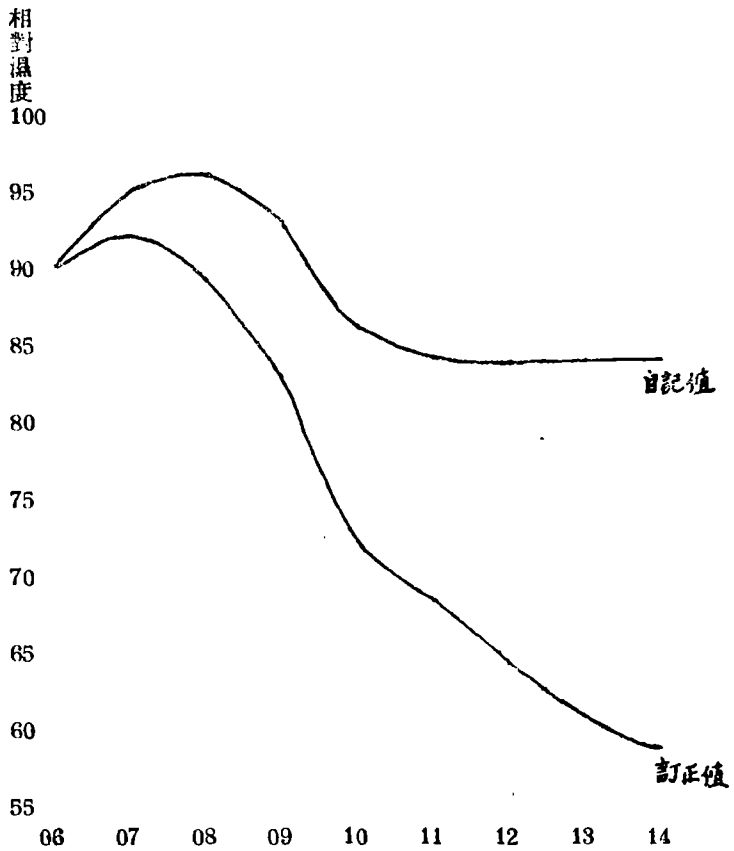


圖三 廣州1954年3月29—30日溫度自記儀曲線與訂正曲線

(例三) 廣州某年3月30日06時至14時濕度自記紀錄按序為90, 95, 96, 93, 86, 84, 84, 84, 84, 實測值06時為90, 14時為58, 求各時訂正值。

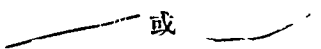




(解): 按上法求得公差為-3.3

時間	06	07	08	09	10	11	12	13	14
實測值	90								58
自記值	90	95	96	93	86	84	84	84	84
儀器差	0	-3.3	-6.6	-9.9	-13.2	-16.5	-19.8	-23.1	-26
訂正值	90	91.7	89.4	83.1	72.8	67.5	64.2	60.9	58



圖四 廣州1954年3月30日03時至14時溫度自記儀曲線與訂正曲線

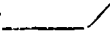
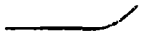



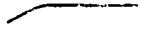
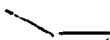
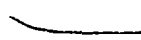


由此可見，如自記儀曲線循序上升或下降，作有規律變動時，等差級數法可以應用，求得與曲線相若的近似值，即自記儀上紀錄曲線變化如下列情況時，可以應用：

- (甲) 循序上升曲線  或 
- (乙) 循序下降曲線  或 
- (丙) 平衡不變曲線 

如果氣溫發生突然變化，先平後升，先平後降，先升後平，先降後平，微升後急升，或微降後急降，訂正值曲線便與自記儀曲線升降不吻合，或方向相反，並不互相平行上升或下降，顯然差誤重重，由以上三個例子中的兩條曲線比較，便瞭若指掌。故在上述曲線變化的情況下，毛病百出，差誤甚大。如圖四（例三）曲線中，11—14時之自記曲線濕度出現俱為84，但訂出值則為68，64，61，58。按理自記值俱為84時，訂正值應俱同一數值，即或因溫壓不同影響下亦應近似值，但竟相

差前後達10(68—58)，謬誤顯然。

顯然，在下列情況下，自記值夜間訂正法所得的結果不切合實際：

- (甲) 先平後升  或  。
- (乙) 先平後降  或  。
- (丙) 先升後平  或  。
- (丁) 先降後平  或  。
- (戊) 微降後急升  。
- (己) 微降後急降  。

總言之，即氣溫或其他氣象因素不按典型規律上升或下降時，訂正法不切實際。在通常天氣變化中，典型的變化固然常見，但非上述典型規律變化的天氣變化亦多，尤其是颱風，寒潮，冰雹，鋒而過境，等等惡劣天氣，這種天氣的研究在氣象學上具有重要的意義。因此，如果訂正值差誤甚大，引起紀錄的歪曲，對氣象和天氣研究上及實際氣象工作中發生一定不良的影響。故有改良現用訂正法的必要。

二、改良的方法

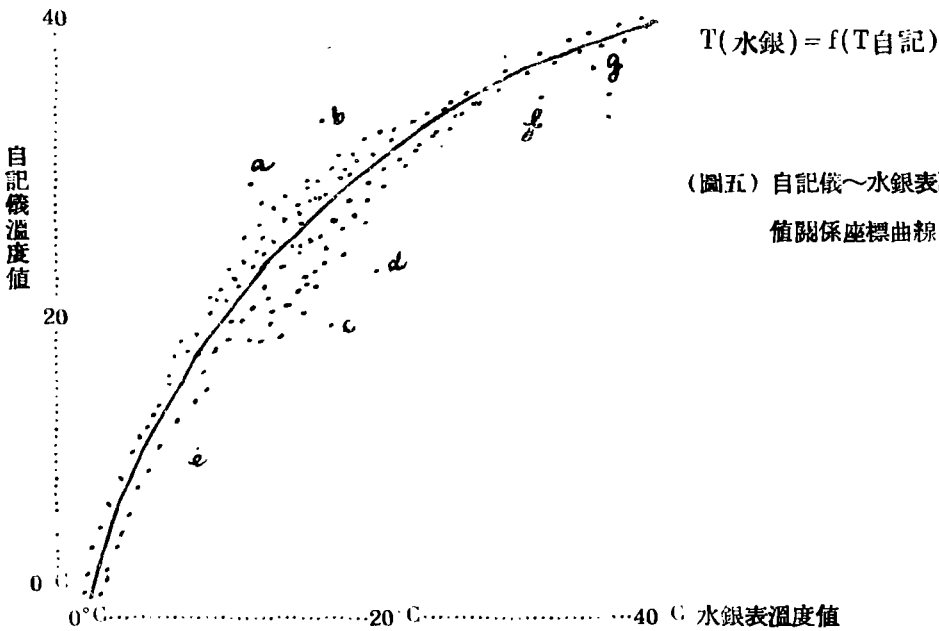
改良方法是先取一個應用的自記儀，放在應觀測的百百箱內（氣壓計則放在氣壓室），每半小時觀測自記儀值一次，並同時觀測水銀表值，得出該站兩種數值各約3000點，（愈多則愈好），每年分兩次觀測，春夏一次，秋冬一次，或可按各地氣溫不同情況，分別多季次觀測，然後將紀錄作成下列形式的表：

（以溫度為例）廣州溫度在 $0^{\circ} - 40^{\circ} \text{c}$ 之間已適用。

(表一)

自記溫度		水銀溫度表								
表值	第一次	第二次						第 ⁿ 次	第 ⁿ⁺¹ 次	正常平均值
0°C										
(間距不定, 以觀測出現值為準)										
40°C										

表列出以後，正常平均值暫不計算，先按表上數值以自記計值為縱座標，以水銀溫度表紀錄為橫座標，點在座標圖上。



(圖五) 自記儀~水銀表兩者數值關係座標曲線圖

圖上 a, b, c, d, e, f, g 各點與一般點相差過遠，即偶然出現點子，並不正常，可能是儀器感應上發生毛病，可略而不計。然後在各點之間取平均距作一曲線，成 $T(\text{水銀}) = f(T\text{自記})$ 曲線，此即自記儀值與水銀表值之關係曲線，唯過於粗略，不

能應用，可改用下列方法製成精細曲線，然後應用。

第一步：

將上表每點自記溫度計值為標準，將可能出現的相應水銀表值（除去座標上的特殊點子），用下式代入平均

$$T_{cp} (\text{平均值}) = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1} + T_n}{n} = \frac{\sum_1^n T}{n} \dots\dots\dots (3)$$

得出該溫度時自記儀與水銀表的關係平均值，然後代入下式，看平均值是否正
常。

第二步

$$Z = \frac{100C_v}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (4)$$

式內 $Z =$ 平均誤差百分數

$n =$ 觀測點數

$v =$ 誤差係數

在氣象因素上，如誤差百分數少於 1% ，通常可當作平均正常值。

$$\text{而 } C_v = \frac{\delta}{K_{cp}} \dots\dots\dots (5)$$

式內 $\delta =$ 平均值的均方差

$K_{cp} =$ 平均變率

$$\text{而 } \delta^2 = \frac{\sum_1^n f_i (K - K_{cp})^2}{n} \dots\dots\dots (6)$$

式內 $f_i =$ 水銀表數值同值重現之次數

$K =$ 每點水銀表數值的變率

如求得 $Z > 1.0\%$ 時，則用：

第三步

$$n = \frac{C_v^2}{Z^2} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

令式中 $X = 1.0\%$

求出 n 的數值，如 n 為 x ，即要再觀測 $(x-n)$ 次同一自記儀溫度之水長表數值，重新代入 (3) 式，求得平均值，始為正常平均值。

(例)：某台站校訂自記儀溫度與水長溫度表關係數值，得出溫度計在 10°C 時，水長表數值為 10.5, 9.8, 9.5, 10.4, 10.6, 10.3, 10.5, 10.9, 9.2, 9.3, ($^{\circ}\text{C}$)，求 T_{cp} ，並審查此 T_{cp} 是否正常平均值。

解：可先用統計學上計算法列表計算。

(表二)

號次	水銀表溫度 ($T_{\text{水銀}}$)	水銀表溫度		$K = \frac{T_{\text{水銀}}}{T_{cp}}$	$K - K_{cp}$	$(K - K_{cp})^2$
		號次	遞減排列			
1	10.5	8	10.9	1.08	0.08	0.0064
2	9.8	5	10.6	1.05	0.05	0.0025
3	9.5	7	10.5	1.04	0.04	0.0016
4	10.4	1	10.5	1.04	0.04	0.0016
5	10.6	4	10.4	1.03	0.03	0.0009
6	10.3	6	10.3	1.02	0.02	0.0004
7	10.5	2	9.8	0.97	-0.03	0.0009
8	10.9	3	9.5	0.94	-0.06	0.0036
9	9.2	10	9.3	0.92	-0.08	0.0064
10	9.3	9	9.2	0.91	-0.09	0.0081
	總計		101.0	1.00		0.0324
	平均		$T_{cp}=10.1$	$K_{cp}=1.0$		

即：(1)用

$$\text{公式 } T_{cp} = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_{n-1} + T_n}{n}$$

求 $T_{cp}=10.1$

(2)再計算變率 K 及 $(K - K_{cp})$ ，爲了消去 (一) 號，將 $(K - K_{cp})$ 平方，
 得出 $(K - K_{cp})^2$ 之各項總和 = 0.0324。

(3)則平均值之均方差可用(6)式求出 $\sigma^2 = \frac{\sum_1^n f_i (K - K_{cp})^2}{n}$

但在數學推理知 σ^2 的分母最好以 $(n-1)$ 代 n 。

故可改成

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^n f_i (K - K_{cp})^2}{n-1} \dots\dots\dots (8)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_1^n f_i (K - K_{cp})^2}}{\sqrt{n-1}} \dots\dots\dots (9)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{\sqrt{0.0324}}{\sqrt{9}} \\ &= \pm 0.019 \quad \text{通常取正值。} \end{aligned}$$

(4)再求變差係數

$$C_v = \frac{\sigma}{cK_p} = \frac{0.019}{1} = 0.019$$

(5)再代入

$$\begin{aligned} Z &= \frac{C_v}{\sqrt{n}} \times 100 = \frac{0.019}{\sqrt{10}} \times 100 \\ &= 0.006 \times 100 = 0.6\% \end{aligned}$$

則知誤差 < 1%，是正常平均值。

(6)如 > 1%時，則可用 $n = \frac{C_v^2}{Z^2} \times 100$ ，求出 n 所須的觀測次數，多進

行觀測校訂，便可得出正常平均值。

同樣，按 (表一) 中自記溫度表值，順序求每值的正常平均值。然後將正常平均值校正 (圖五) 中的 T (水尺) = f [T (自記)] 曲線，使各點的正常平均值均

落在曲線上，得出標準關係曲線（自記計的水銀表溫度關係曲線）。

曲線校正後，便可使用，夜間訂正時，自記紀錄若干度，可在縱座標上找出，引平行橫軸平行線，相交於曲線 $T(\text{水銀}) = f(T \text{自記})$ ，然後作垂直線交於橫軸，橫軸所指溫度，便是訂正應得的溫度。

或可用上列曲線作出正常用表應用，則應用時更形簡便。

(表三)

自記計值	訂正值
0.0 (°C)	
0.1	
0.2	
0.3	
⋮	
48°C	

每隔 0.1°C 為準。

①廣州由 0.0°C—40°C 已夠應用，若其他台站，可按當地極端值所出現的範圍為準。

②4—9月可用一個表，10—3月可用另一個表，則更覺簡便。

以上方法所求出的訂正值（以溫度為例），所受氣壓及濕度影響，已平均計算在內，故影響不大，如要更準確，可按上述原理製出“溫度濕度訂正表”和“溫度氣壓訂正表”加以訂正。

或用最小二乘法求出該曲線的方程式，則應用更為方便。

方法：

將資料分組按下列三個方程式求出曲線方程式的三個常數(a, b, c)

1. $\Sigma y = Na + b\Sigma x + c\Sigma x^2$ (10a)

2. $\Sigma xy = a\Sigma x + b\Sigma x^2 + c\Sigma x^3$ (10b)

3. $\Sigma x^2y = a\Sigma x^2 + b\Sigma x^3 + c\Sigma x^4$ (10c)

x 代表自記儀每組平均值

y 代表水銀表實測每組平均值。

聯立解之，即得 a, b, c 之值。

（解式時，將所有自記儀值按 0—0.9°C, 1—1.9°C, ……，39—40°C，等分為若干小組，y 則隨 x 值的相應值分組，x 及 y 俱為每組的平均值數。）

代入拋物線方程式 $y = a + bx + cx^2$ (即10a式)

求出兩者相關曲線方程式 $y = a' + b'x + c'x^2$

將假定所須的自記溫度計值用公式算出相應的水銀表值，便可應用。（或按〔表三〕方式製成一常用表）。

三、改正方法所持的論據

按自記儀構造原理，原應與實測用的儀器感應一致，但每因自記儀構成部分的金屬與毛髮隨氣象因素變化所起的惰性不同，且金屬部分受溫度因素影響而發生較大的線脹。因此，即使同一氣象因素出現，亦會出現較實測或多或少的數值，形成了變差。儀器應用時間較久，則惰性與膨脹性較安定，變差變幅漸漸減少。因此，若將出現數值取其正常平均值，是可有代表性的。新方法用正常平均值訂正，則訂正時，在相同情況下，所得出的訂正值只有一個。如果有氣壓或溫度不同的影響，則可施以其他因素影響的訂正。但在通常情況下，這種影響甚微，並且在計算正常平均值過程中，已將影響平均於訂正值當中，故可畧而不計。

顯然，新法若用函數方程式表示，為：

$$T(\text{自記}) = \frac{\sum_{i=1}^n f(T_{\text{水銀}})}{n}$$

$$T(\text{自記}) = f(T_{\text{水銀正常平均值}})$$

故兩者的關係並不是以時間為函數所得到的公差，而是以金屬機械誤差所皈依得到的公差，故較合於物理學上的理論。

在數學上，在一定值所得到的 n 次關係值中，有些是千次不一現的數值，其餘大部分是常見的近似值。千次不一現的數值可被視為突變，是不可靠的，常出現的方才可靠。得出的關係數值愈多，則兩者的關係愈可靠。在數學上，設某數的真值為 x ，

n 次出現的關係近似值為 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 時，

則誤差為： $(x-x_1), (x-x_2), (x-x_3), \dots, (x-x_n)$ ，

求正數，則將之平方：

$$(x-x_1)^2, (x-x_2)^2, (x-x_3)^2, \dots, (x-x_n)^2,$$

$$\text{令 } f(x) = (x-x_1)^2 + (x-x_2)^2 + (x-x_3)^2, \dots + (x-x_n)^2 \dots (10)$$

使 $f(x)$ 的值成極小之 x 值，叫做 x 的最可能值

故求 x 的最可能值為微分(10)式

即

$$f'(x) = 2(x-x_1) + 2(x-x_2) + \dots + 2(x-x_n)$$

兩次微分之：

$$f''(x) = 2(n-0) = 2n > 0$$

即 $f'(x)$ 為最少值

令 $f'(x) = 0$

得 $nx - (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = 0$

$$x = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{2} \dots\dots\dots (11)$$

在此值時 $f'(x)$ 為最小值。

顯然，上述論證(11)式與(3)式相當同，故所得之值再加以正常平均值的誤差訂正，結果當更可靠。

根據蘇聯氣象工作者的經驗，在 -5°C 至 12°C 時，毛髮濕度表與實際濕度訂正值亦用此法，唯其結果取粗略的直線而這裏則取更精密的訂正曲線。又蘇聯水文專家也曾用這種相關方法求河流中水位和流量的關係值，（見水分分析與統計及河流學等書）以推求水位の流量關係表，但河流中要求不如氣象夜間訂正值的精密，故關係值較粗略。

四 結 論

從上述理論，可得出下列幾點應用新方法的結論：

（一）在任何氣象變化情況下，自記計曲線值與訂正值曲線趨勢一致，無矛盾不合理之弊。

（二）以後在觀測訂正過程中，可以積累更多自記計の水尺表實測的關係數值，加入表中計算 T_{cp} ，使 T_{cp} 日漸更形準確。

（三）夜間訂正值多用作氣候統計及氣象學和天氣學研究上用，製算訂正值表所須的時間較長，在這一段時間內雖然訂正不及時，但影响不大。而表製成後，則應用便捷。

（四）缺點：

- ①台站自記計要自定一個，訂正直至金屬改變已成定值時，用此法始準確。
- ②如換用另一個自記計或水尺實測用的儀器時，須另作一個新的訂正值表。
- ③計算訂正值表手續較繁，過程費時較多
- ④每年要分兩次觀測訂正關係數值，使製表時間延長。

後記：本文除得導師陳世訓教授指導外，並得王正憲教授指正，謹表謝意。

參 考 文 獻

- (1) 氣象觀測暫行規範（地面部分） 中央氣象局(1954年)
- (2) 氣象器械學 王應諱譯
- (3) 普通物理學（上冊） 福里斯著
- (4) 高等數學教程 B. N. 斯米爾諾夫著
- (5) 河流學 Б. А. 阿波洛夫著
- (6) 陸地水文學 А. В. 奧基耶夫斯基著
- (7) 水文分析與計算 Б. Б. 波來柯夫著
- (8) 中山大學氣象觀測資料。

（本文於1956年4月10日收到）