

## 一個工廠中的室內氣象研究

(五月二十八日在廣西省政府學術講演席上講)

陳 立

A Study of the Room Meteorological  
Conditions of a Cotton Mill

By Chen-li

This was a lecture given before an assembly of technical men, sponsored by Kwangsi Provincial Government. The material was drawn from an investigation in a cotton mill in Kiangsu, China.

As an illustration as how the atmospheric conditions affect the welfare and efficiency of the factory workers, the following wellknown phenomena are here cited: air temperature, temperature gradient, air convection, cooling power and humidity.

The survey showed that the temperature in the Weaving Department was tropical, while that in the Spinning Room, semi-tropical. A new conception of Horizontal Temperature Gradient was introduced, its derivation being based on periodicity analysis. The Horizontal Temperature Gradient was shown to possess similar effects as its vertical component. Both were conducive to poor feeling tone and lowered productivity.

Air convection was determined by kata-thermometer readings, and so was also the cooling power. Excessive heat was traced as the cause of insufficient cooling power.

Humidity is vital in textile factories because of its diametrically opposing effects on cotton fibers and human welfare. Very fine adjustment in humidity is therefore necessary. From the data gathered it was shown how the adjustment lacked nicety in

the Spinning Department, and how "over-compensation" in the Weaving Room upset the regulation. Furthermore, humidity was noticeably unevenly distributed in the Weaving Room, which necessitated an unbearably high humidity, over 85%. Better convection should serve as the remedy.

The excessive heat in the Spinning Room was due to poor wiring of the motors, so re-wiring and a new lay-out plan (including both the motors and the ventilation system) were recommended. Cooling power might be pulled up more than two units, and efficiency some 40%. Excessive heat was traced to the steam humidifiers in the Weaving Room, so cold water atomizers were recommended. Lowered air temperature, together with improved air convection and better regulated humidification system might raise the efficiency of the weavers to double their present productivity.

在工業心理學的千端萬緒的可能貢獻中，今天要特別提出一縷來，作一個具體的舉例，好像電影中的 Close up 鏡頭。例中的工廠是個規模不甚大的紡織廠，有一千二百工人，雖然在比較的內地，但建築却是很新式的。經營的人也很努力，牠很可以代表中國目前的一般比較進步些的工廠。我們這裏所要提的材料，都是根據去年四月在該廠的考察結果。我們同時進行好幾個問題，室內氣象，即其一。室內氣象是一個比較新的名詞，但是快要成爲很重要的一種學問。人類一步一步的征服自然，自然環境的勢力便一天一天的馴服在人的控制之下，所以大氣氣象對於人的影響便逐漸減少。氣象統制就形成大氣與室內氣象的隔緣，而室內氣象便日漸獨立，日漸加增其重要性。

室內氣象有些什麼可以研究的呢？第一是溫度，這用不着解釋。第二是溫度分佈或溫度差率 Temperature Gradient。在天氣圖上有一個一個的圈，叫作等壓線，在地形圖上有等高線，同樣在溫度的分佈上，亦可同樣繪出等溫線來。溫度差率就是表示這些等溫線的密度，或溫度變化的坡度的。空間是三度的，等溫線的圖表是兩度的，所以

空間的溫度差，應該有兩面的組成——縱的與橫的。縱的溫度差有比較方便的標系，如地平面。我們祇要測量距離地面高低不同的兩點，我們就可以得着縱的溫度差率。但橫的溫度差則缺乏這種方便的標系，所以決定頗費事。我們將用一種統計的概念來代表牠，這一點姑留在後面細講。

第三點是氣流，這等於普通氣象中的風速。不過氣流不能用風速計來測量，因為風速計要較大的壓力來推動。室內氣流是不夠推動風速計的。我們應用減冷現象 Cooling 來測量氣流。例如要一碗茶冷下去，便有兩種辦法。一種便是把牠浸在冷水中，就是設法使牠與其週遭的溫度差別加大，還有就是吹動氣流，加增氣流的速度。所以從降冷的速度，我們可以求出氣流的速度來。這就是牛頓的降冷率：

$$t = \frac{k}{(a + bv^n) \theta} \quad \bullet \quad \theta \text{ 是熱體與其週遭的溫度差, } v \text{ 是氣流的速度。}$$

我們用「卡他」kata 計，溫度從華氏百度降冷到九十五度，因為溫度是固定的，所以氣流的速度便可以求得。

第四是降冷率 Cooling Power。這是一個比較複雜的數量，牠的定義是：一個在常人體溫左右的熱體，平均 36.5°C，每一平方公分面積在每一秒鐘內所失去的熱量，以千分之一「卡」計。因為「卡他」計的溫度和體積是固定的，所以牠所失去的熱量是固定的，從卡他計自百度冷到九十五度的時間，便可推算出該處的降冷率。

第五是溼度，有相對與絕對兩種計法，亦用不着說明。

氣壓的影響是尚無定議的，室內與大氣的氣壓相差很少。所以不必提及。此外如空氣的化學組成，電化現象，ions 輻射的量與質等等都在室內氣象佔地位的，不過我們沒有工夫考慮。其他較複雜的度表如有效溫度，總和溫度，等值溫度，作用溫度，和其他，今天限於時間，也都不能提及了。

既然有了基本概念，我們可以進而考慮測量的結果，不過亦祇得限於兩間，織布間與細紗間。先提溫度。細紗間曾經測量二十九次，每次十一個地點；織布間二十次，每次十三個地點。結論是：在我們的測量期間，細紗間的溫度要比大氣的溫度高 7°C，約等於 13°F。織布間則更加利害，室內溫度要比大氣溫度高 10.5°C，即 19°F，所以大氣溫度才七十度，織布間便要熱到八十九度了，這樣大的差別是

值得注意的。如果我們研究室內室外的溫度差別和大氣溫度的關係，我們發現室內室外的溫度差不是一個常數，而與大氣溫度成反比。那是說，大氣溫度高時，則室內室外的溫度差別小；反之，大氣溫度低時，則室內與室外的溫度差別大。〔參觀圖一、二〕為簡單計，我們可以用兩行直線方程式表示這兩間的這種室內室外溫度關係。

細紗間： $T_d = 12.9 - 0.337T_e$ , or  $T_i = 12.9 + 0.663T_e$ ;

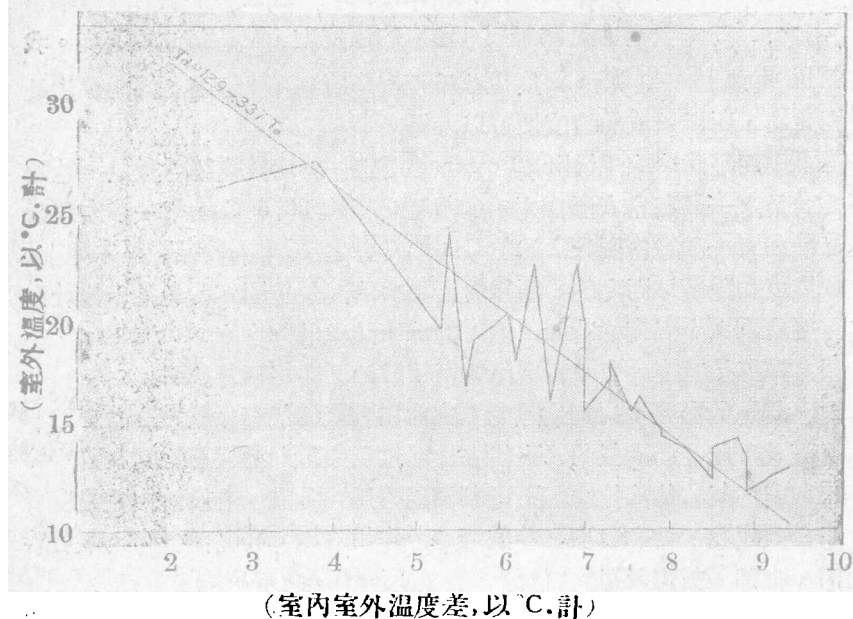
織布間： $T_e = 23.6 - 0.732T_d$ , or  $T_i = 23.6 + 0.268T_e$ ;

$T_d$  = 室內室外之氣溫差

$T_i$  = 室內氣溫

$T_e$  = 室外氣溫

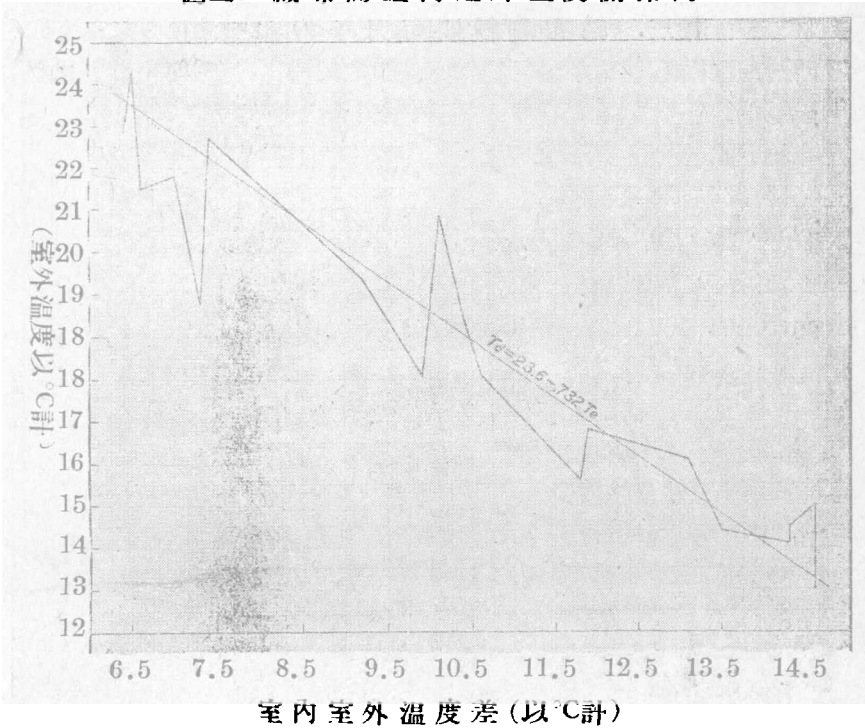
圖一. 細紗間室內室外溫度關係圖



這樣的公式，不是數學的遊戲而有其實際的意義！第一點，從這兩個方程式可以看出織布間比細紗間少受大氣氣象的影響。織布間一年四季的溫度差別不會很大。假若大氣間冬夏的溫度相差有  $30^{\circ}\text{C}$ ，則細紗間冬夏相差約  $20^{\circ}\text{C}$ ，織布間則冬夏相差不過  $8^{\circ}\text{C}$ 。我們測量的時間不過一月，但我們可以從這兩個方程式推測出該兩間的全年十二

個月的室溫。錯誤的機會很少，現在可以看細紗間與織布間十二個月

圖二. 織布間室內室外溫度關係圖

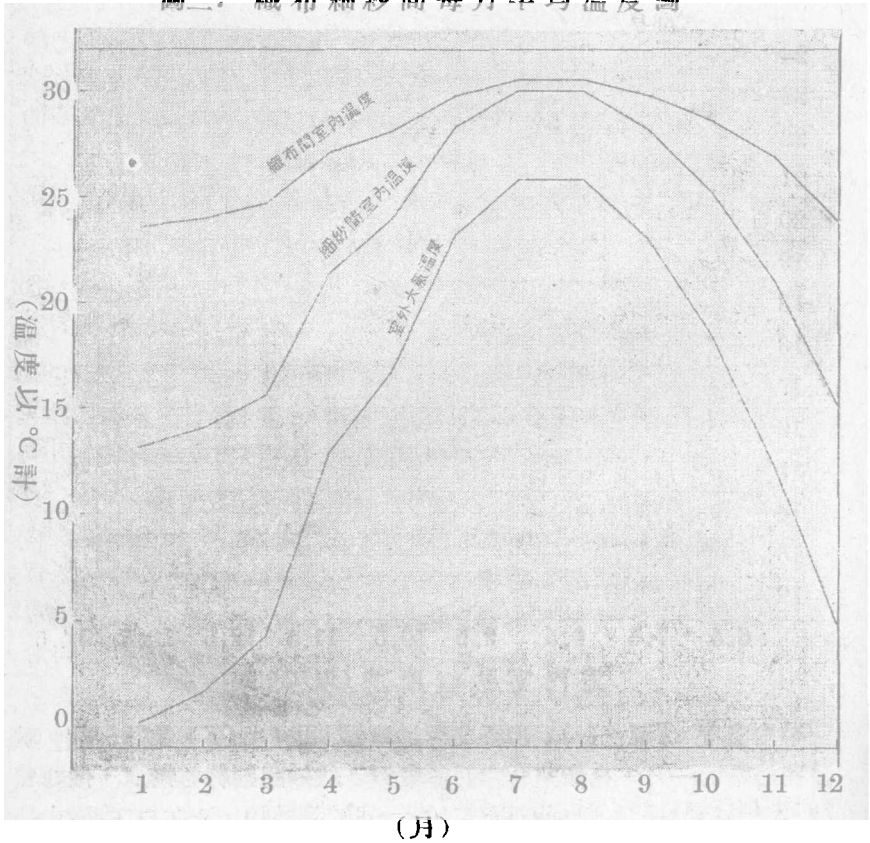


的平均溫度。『圖三』牠表明織布間的室溫，終年如夏，像熱帶般。就是在最冷的一月，也像室外六月的氣溫。細紗間則終年無夏，像亞熱帶般；最冷的一月，也如四月氣候。如此，這兩個公式的意義便十分顯明。織布間的氣溫是太高了，雖然工廠設在溫帶，但室內氣溫則如熱帶般。熱帶沒有產生什麼文明，正表明熱帶氣候是不適宜於人的活動的。所以織布間的生產能力很低。細紗間既如亞熱帶的國度，亞熱帶曾產生過印度與埃及的文明，但今日都衰落了。這等於說細紗間的生產能力，在工業不十分進步的環境中，或可苟活，但在近代的競爭激烈的市場中，便有些難以立足了。這似乎很與近代的棉業市況情形相近。

從這兩個公式中，我們還可以演繹出別的結論來。室外氣溫 $T_o$ 與

室內室外氣溫差 $T_d$ 成反比，在細紗間的相關係數等於-0.870，在織布間等於-0.940。牠表示很密切的關係。但純就物理的自然現象是不能

圖三. 織布細紗間每月平均溫度圖



解釋如此大的相關的。時間不許我們縷述我們推論的步驟。簡單的說，由輻射所失散的熱，應與大氣的溫度成比例，傳導與交流所失散的熱，則沒有這種關係。這剩餘的關係，我們以為不得不歸結於『人的因素』。我們說交流與氣溫沒有關係，這是根據於自然的現象。在人的控制下，則氣流與氣溫是有關係的。就簡單的事實說。在我們測量的時期間，大氣中的風速與溫度的相關係數是0.071，機誤是0.122，這表示氣溫與氣流的彼此獨立。但在人的控制下的室內氣象則不同。

氣流與室溫在細紗間的相關是 0.570，機誤是 0.102，機會大於萬比一。所以從這兩個公式我們又可以推衍出人如何的控制氣候，怎樣以氣流來調節室溫。

上面我們都是根據兩直線方程式的推論，在極端是不會準的。高度的公式自然可以準確着，所以我們用最小平方法推求其立方方程式如下：但時間不許我們作何種推論，不過表明以前的方程式是初步的逼近而已。

$$\text{細紗間 } te = 17.3632 - 3.0016td + 0.0277t^2d + 0.491t^3d;$$

$$\text{織布間 } te = 17.966 - 1.429td - 0.0164t^2d + 0.0163t^3d。$$

現在講氣溫的分佈。我們已經提過縱的溫度差率的測量方法，我們現在要講述橫的溫度差率的求法。應用的是統計的方法。根據的原理是週期分析。週期不一定要是時間的，例如原素週期率，週期是根據原子量或原子數的。任何循環的現象都可應用週期分析。普通的週期分析用不着 Fourier Series，有些簡單的方法可以應用。這裏應用兩種分析方法。第一種是根據均差，或均方差的。假若週期存在的，則將一個行列的數量按着假定的週期重疊着，所得的均差應比任何其他疊置方法的均差大。第二種可以說是『相』Phase 的相關。有循環則有『相』，週期相同，則『相』應相同。用統計的術語講，則『相』的相關應為正的。我們應用這兩種方法便發現氣溫的分佈十分固定，高的常高，低的常低。應用第一種方法，將氣溫的結果按着『位次』重疊着，其均差上午的為 16.0，下午的為 12.5。假若改為『時序』的疊置，則上午均差為 9.3，下午為 8.4。這無疑的表示按着位次的排列比按着時序的排列還整齊些。時序的排列是有一定的趨勢的，上午自下而升，下午則自上徐降，所以時序的排列，應該有一些週律的。但位次的排列更整齊，表示位次的溫度是如何大小有別，更固定不苟。應用第二種方法，『相』的相關，在細紗間相關係數等於 0.917，織布間等於 0.986，則氣溫的固定可知。

既然氣溫分佈是十分固定的，則我們不必費許多工夫測量橫的溫度差率了。我們可以用各位次對於平均溫度的均差作指數。我們有什麼理由確定這個指數為橫的溫度差率呢？這不是單從抽象的考量得來，是從牠的具體屬性與縱的溫度差率相同而推得。這個指數，與縱的

溫度差率同一樣的與溫度沒有多大關係，在細紗間，縱的與溫度相關為 $-0.225$ ，橫的為 $0.150$ ，兩個都沒有確切的意義，因為要相關係數近乎 $0.5$ ，才能夠證明中間有關係存在。對於氣流的影響是相同的，一為 $-0.60$ ，一為 $-0.59$ ，同樣的可靠。這樣的考慮使我們認定我們所得的指數可以代表橫的溫度差率。

或有人要懷疑這種分析的意氣。氣溫分佈有什麼關係呢？縱的溫度差，特別是如我們所發現的正的溫度差率，如細紗間的 $0.6^{\circ}\text{C}$ . Per meter，意義是很明顯的。正的溫度差表示高層溫度高，低層溫度低，發生的反應是頭昏，沒精神，懶洋洋地想睡的一般狀態。人體是一個很善調節的有機體，因為腳低下比頭上面冷，血往下注，頭腦的活動便減少。既影響個人的舒適，也復影響生產的效能。橫的溫度差，雖然是一個新的概念，但是意義亦不難明瞭。統計的與實驗室的研究都證明單調的，少變化的，溫度分佈是不宜於心理活動的。亨丁頓在其文明與氣候一書中，特別指出風暴的頻次與文化的關係。在地理上風暴的頻次越大的，則其地文明愈高，例如北歐一帶。風暴是氣候轉變的一個癥候。所以風暴與文化的關係，可以解釋為在氣候少急促變化的地方，則氣候缺乏刺激性，那地方的文明不會突進。實驗室的結果，似乎與這樣的推論相平行。溫度少變化，心理作用也遲鈍些。但是橫的溫度差一概念是從溫度固定的事實上得來。那末橫的溫度差，與縱的相同，都一樣的減低心理活動能力，因而影響生產效能的減低。

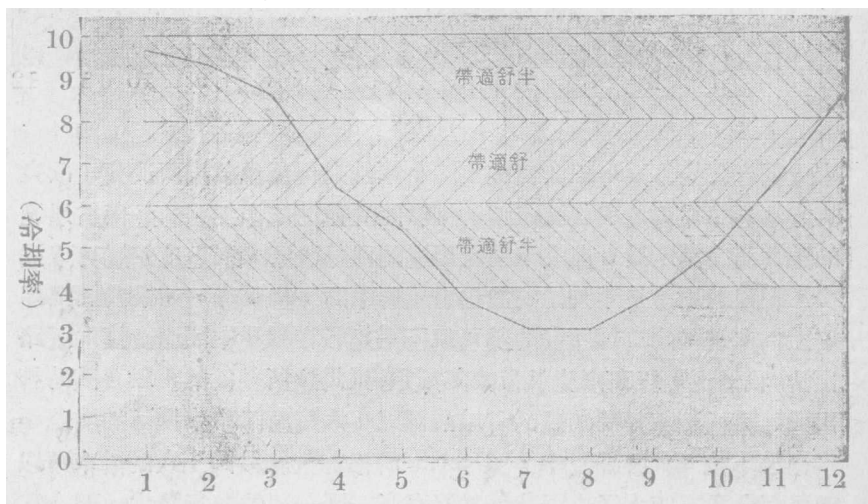
時間不允許我們一件一件的再細加分析了。我們現在姑將各個的影響提一提。氣流的重要，似乎不盡在乎維持 $\text{CO}_2$ 不使之過高。 $\text{CO}_2$ 的種種傳說，漸成古懂。即如六世紀在印度 Calcutta 的獄中，死去百餘人的一個大悲劇 Black Hole Incidence，現在亦證明不是因 $\text{CO}_2$ 而窒息死的。原因是一個人每小時要發出百多單位的熱，一兩百人，一小時便是二萬餘了！空氣的 Sp. heat 又小，所以氣溫加增便極高。反之，普通大氣中的 $\text{CO}_2$ ，祇萬分之四，要達百分之四，五時，人才會窒息。但空氣中的 $\text{CO}_2$ ，要達到百分之四，五時，在比較熱的地帶如印度，則從人身所發的熱，早夠把人中暑而死。但姑不必問是氣溫，或是 $\text{CO}_2$ ，在氣流通暢時，這一類的悲劇是不會發生的。這是氣流的功效一、上面已經提過，氣流與溫度差率成反比，約等於 $-0.60$ ，所以氣



流高的，溫度分佈也好些，這樣自氣溫的分佈上，氣流又可間接影響人的康健與生產能力。此其二。再有一點是氣流大的，溼度分佈也平均些，這一點留在下面講。

第四項降冷率是很重要的。據許多人的研究，為一般靜坐不大動的人，降冷率以六為最佳。過與不及皆不好。工作的性質對於降冷率的標準很有關係。輕點勞動需要七，八，重點的就要九或十，很重如打鐵的工作，便需要十幾了。現在姑以紡織工人的舒適域是六到八。

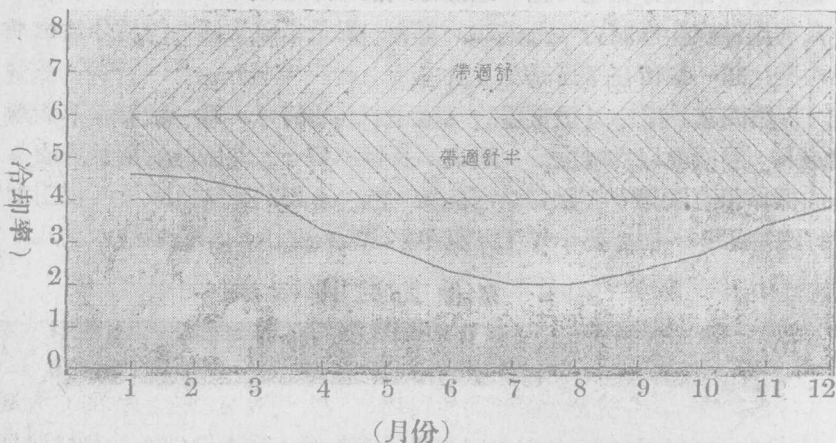
圖四. 細紗間之降冷率



(月份)

圖四，五將細紗間與織布間每月的平均降冷率圖示下來了。顯明的織布間是經年不及標準，細紗間則大半與標準相近。這個圖表有什麼意義呢？據Ireland諸人的報告，如果我們以降冷率等於六為標準，則降低率每差一單位，效率可以減低百分之二十。所以降冷率到三與四時，效率便祇有百分之四十到六十了！據本人前年在該廠調查該處織布工人的效率結果，用三種不同的方法計算，結果都祇有百分之五十五，相差都不到百分之一。調查時間也是四月，據圖，冷率應該是 3.4。效率應該祇有百分之五六十。但織布間在夏季的降冷率可以低到 2 以下，那時候的效率豈不更低？所以降冷率的關係是很顯明的。降冷

圖五. 織布間之降冷率



率太低有什麼方法可以改良呢？降冷率既為溫度與氣流所決定，改良的方法應該從溫度與氣流着手。細紗間的熱的來源無疑的是由於馬達的陳舊而發熱所致。那末如果將馬達的內線改裝，則熱度無疑可以減少。現在的馬達是平列的安置在場屋的中間，凡兩行，如果我們把馬達搬到兩邊，則馬達所發的熱可以不必逗留在場屋中間而直接向近路出去。我們更可以在兩旁裝置抽氣風扇，則馬達所發的熱，就可隨時帶出去。這樣，細紗間無疑的可以減低五、六度而降冷率便可加增差不多兩個單位。如此在夏季，據Ireland的推算，細紗間工人的效率可以加增百分之三四十了！同時因為沒有了一團一團的熱氣發生，而冷空氣，因為屋上已裝的通風管，從頭上吹下來，熱空氣因建議中的抽氣裝置而從低下的兩旁流出，那末不但縱的溫度差可以由正而負，而橫的溫度差也可以減少。這樣溫度的分佈合理得多，則精神可以振刷起來，也就間接影響工作的效能。織布間的降冷率改良辦法下面再提。

溼度更得籠統地講了。紡織廠和許多別的工廠在這一點是特別的。因為紡織的原料是有機的纖維。也很受氣候的影響。特別是溼度。所以在紡織廠我們不但要顧慮到溼度對於人的關係，也得顧慮到溼度對於棉花纖維的關係。在紡與織的過程中，棉花因為要受摩擦，所以便發生靜電現象。溫度高，則棉花纖維吸收的水分多，水能傳電，所以靜電不容易積聚。當溼度低棉花燥的時候，則乾的纖維不會傳電，

靜電便會增加。結果，棉花纖維因為靜電現象而被逐而飛去。結果一方面紗容易斷，工作效能減低，再則纖維飛到空中，變為揚塵，有害於健康。所以在紡織廠溼度不能太低。但溼度太高，則對於人的康健也有害。一個應用的科學家，便應該雙方兼顧，所以溼度便應該惟精惟微的調節着恰到好處，多不得，也少不得。但事實上則並不如此。

下面兩個關於溼度的方程式便可證明：

$$\text{織布間：} H_i = 88.4 - 0.046H_e$$

$$\text{細紗間：} H_i = 17 + 0.445H_e$$

$H_i$  = 室內空氣溼度

$H_e$  = 室外空氣溼度

這兩個公式第一點表明織布間的溼度是不大受大氣溼度影響的。大氣溼度加減百分之廿時，織布間裏的溼度加減不到百分之一，細紗間則加減百分之九。大氣中的溼度差百分之四五十是常有的，所以細紗間的溼度差百分之廿是常有的。因此細紗間的溼度有時不到百分之卅，所以常慮太燥，斷紗甚多，效率既低，飛塵也多，所以工人康健吃虧。這是細紗間溼度的調劑欠當之處。織布的間溼度，按上面的公式，則與大氣的溼度成反比。室內室外的溼度差與室外相關係數大過  $-0.98$ 。這種現象，我們稱為彌補過當作用 (Over-Compensation)。原因亦在於溼度調劑的失當。在織布間裝有加潮器，當事者覺得大氣溼度太低時，則拚命加潮，以致太過，大氣溼度太高時，則閉塞加潮器，因而比較太燥。這也是調劑溼度不當的一個證據。織布間因溼度調劑失當，每嫌太高，有時高過百分之八十七。工人工作效率便遭打擊。又因織布間的氣流速度小，所以溼度的分佈不均，水分的功用，便沒有達到牠的最高限度。因為好像一根鏈子，決定其強度的是其中最脆的一環；因此溼度分配不均時，全體溼度的效用也為那最低溼度所決定。所以織布間的濕度是未曾充分利用的。如果濕度分配平均些，那末高的濕度是不必需要的。這樣，工人便舒服多了，工作效能定可提高的。

現在我們可以建議織布間的改良辦法。氣流的速度應該加增，一方面使濕度用不着現在這樣高，平均等於百分之八十五，一方面使降冷率提高。濕度減低，那末溫度也減低，因為織布間的加潮，是蒸汽

，潮越加多，則溫度越高。我們以為或者加潮裝置可以改蒸汽為冷水的(Atomizers)，則氣溫不因加潮而增，反可因加潮而減。則氣溫平均有減低  $10^{\circ}\text{C}$  以上的可能。這樣，再加上氣流的作用，降冷率可以加增 3.4 而工作效能或可加增一倍，工人也就感覺更舒適了。

也許有人要懷疑上面所講的與工業心理學的關係，以為一點心理學的成分也沒有。這是惑於心物二元的見解，以為心理學是不涉及物質的。其實身心是沒法分離的，所以心理學不得不涉及物質。況且工業心理學是一種應用科學，應用科學更不能離開實物，更不能不涉及別的科學。因為理論科學尚可將他的領域抽象化，把他所不關心的條件，用實驗的方法，一個一個的刷去，但應用科學則不能如此，因為實態是整個的，牽一動萬，決不能任他隨意剖割，所以一個應用科學家便不得不隨地利用其他的科學。正如醫師可以利用藥物，也可用物理的方法如紫外線如 X 光：他可以應用物理的，化學的，生物的甚至心理學的方法來治療，所以工業心理學者便同樣可以應用，數理物理化學生物甚至社會經濟的知識。提高工作效能，保障工人幸福，減少生產的消耗，凡涉及人的因素的，都是工業心理學的領域。今天所講的，到底沒有離開這一個標準過。雖然掛一漏萬，都是些卑的無甚高論，但目的祇在闡明科學應用，雖然該在大處着眼，但還得從小處下手。