

# 中國醫藥大學

碩士論文

編號：DOSH-0211

暫留區環境熱舒適要求之實測調查  
A Field Survey on Thermal Comfort in  
Transitional Spaces

所別：職業安全與衛生學系碩士班

指導教授：黃瑞隆 博士

學生：王聖慈 Wang, Sheng-Tzu

學號：9472011

中華民國 96 年 6 月

# 致謝

先誠摯的感謝指導教授黃瑞隆博士，老師悉心的教導使我得以一窺熱舒適領域的深奧，不時的討論並指點我正確的方向，使我在研究所這二年中獲益匪淺。

在論文審查的過程中，感謝口試委員 陳振華老師、 林子平老師以及鄭明仁老師的不吝指教，使得論文架構以及內容缺失得以補充完整。感謝 賴俊雄老師、 王文忻老師、 廖宏章老師、 趙克平老師、 蔡詩偉老師、 張大元老師、 許文信老師、 林文海老師以及 陳強琛老師在課堂上的授業解惑，提升其他專業領域的學習視野。

兩年裡的日子，實驗室裡共同的生活點滴，學術上的討論、言不及義的閒扯、趕作業的革命情感，感謝眾位學長姐、同學、學弟妹的共同砥礪，你們的陪伴讓兩年的研究生活變得絢麗多彩。

感謝昭明、瑞宏學長以及研究室學妹嫻真、茹涵、婉珩、家蓁、家仔、彥伶、玉潔、玉婷在研究上的支持與協助，感謝乃榕同學、系辦公室的雯倩、以及碩士班同學的幫忙與鼓勵，恭喜我們順利走過這兩年。

以此文獻給我摯愛的雙親以及所有幫助過我的人，並致上最高的敬意與謝意。

## 摘要

當人們進出暫留區時會感受到明顯的溫度變化，暫留區的定義是指人們通常停留不超過一小時的場所，例如：郵局、銀行...等。目前的 ASHRAE STANDARD 55 對於暫留區的室內舒適度並無明確的建議，是以本研究採現場實驗法，以幫助了解暫留區的舒適度，以及暫留區與長期停留區間的舒適度差別。

本研究同時採用環境量測與問卷調查兩種方式，在一家顧客服務處進行實驗，受測對象為該服務處的員工顧客。有效問卷總共蒐集到 800 份，當中 213 份是員工，587 份是顧客。

本研究結果顯示：中性溫度：員工為  $27.1^{\circ}\text{CET}^*$ ，顧客為  $26.6^{\circ}\text{CET}^*$ ；喜好溫度：員工為  $25.6^{\circ}\text{CET}^*$ ，顧客為  $24.7^{\circ}\text{CET}^*$ 。相較於員工，顧客的中性溫度與喜好溫度皆較低，顯示顧客想要有較涼爽的環境。80%熱接受舒適範圍：員工為  $24.0\sim 27.9^{\circ}\text{CET}^*$ ，顧客為  $24.4\sim 28.8^{\circ}\text{CET}^*$ 。相較於 ASHRAE STANDARD 55 夏季空調環境的 80%熱接受舒適範圍，員工有相同的熱接受範圍，顧客則有較高的接受上限。

關鍵字：熱舒適、暫留區、現場實測

## ABSTRACT

People experience suddenly step changes in temperature while entering transitional spaces from hot outdoor, such as post offices, banks, etc. People often stay in transitional space less than one hour that there is no change to make them in thermally stable stay. Up to now, the habit thermal comfort standard, which is best on thermally stable model such as ASHRAE STANDARD 55 have not any suggestion for thermal space based on ASHRAE STANDARD 55. We therefore applied a field survey to understand: (1) The thermal comfort in transitional spaces; (2) The differences of comfort between transitional and stable spaces. In this study both environment measurement and survey questionnaires were applied simultaneously in a customer service center to investigate the subjective thermal response and comfort perception of employees and customers. A total of 800 completed questionnaires were collected, 213 from employees and 587 from customers. The result shows that employees and customers had the neutral temperature occurred at  $27.1^{\circ}\text{CET}^*$  and  $25.6^{\circ}\text{CET}^*$ . The preferred temperature for employees and customers were at  $25.6^{\circ}\text{CET}^*$  and  $24.7^{\circ}\text{CET}^*$ . Customers have neutral and preferred temperature lower than employees, suggesting that cooler environment. The range of 80% acceptability for employees and customers were  $24.0\sim 27.9^{\circ}\text{CET}^*$  and  $24.4\sim 28.8^{\circ}\text{CET}^*$ . Compared with the range of ASHRAE STANDARD 55 of the range for employees is similar to comfort range of ASHRAE STANDARD 55, while that for customers was shift to high temperature side.

Keyword: thermal comfort, transitional space, field survey

# 目錄

第一章 緒論 .....	1
第一節 研究背景與目的 .....	1
第二節 暫留區的定義 .....	2
第三節 文獻探討 .....	4
第四節 研究內容與流程 .....	16
第二章 研究方法 .....	20
第一節 調查對象 .....	20
第二節 儀器設備 .....	22
第三節 衣著量與活動量介紹 .....	28
第四節 問卷內容 .....	30
第五節 實驗步驟 .....	32
第三章 問卷與物測結果 .....	39
第一節 受測者基本資料整理 .....	39
第二節 衣著量整理 .....	41
第三節 其他環境影響因子整理 .....	42
第四節 物測數據彙整 .....	44
第五節 受測者的熱評估 .....	45

第四章 討論	57
第一節 熱敏感度與中性溫度	57
第二節 喜好溫度	61
第三節 熱可接受範圍	68
第四節 最低不滿意率	74
第五節 與其他文獻比較	77
第五章 結論與建議	79
第一節 結論	79
第二節 未來研究	80
參考文獻	82



## 表目錄

表 1-1	中性溫度	15
表 2-1	ISO 7726 物理性測定所需儀器標準	22
表 2-2	實驗儀器設備規格	26
表 2-3	各類服裝 clo 值	29
表 2-4	人體在不同狀態下的新陳代謝率	31
表 2-5	RP-462 問卷	33
表 2-6	RP-921 問卷	34
表 2-7	本研究問卷內容	36
表 3-1	員工受測者對其它環境因子投票數	43
表 3-2	顧客受測者對其它環境因子投票數	43
表 3-3	每次實驗的物理性環境參數	48
表 3-4	熱感覺卡方齊一性檢定結果	53
表 3-5	熱喜好卡方齊一性檢定結果	55
表 3-6	熱接受卡方齊一性檢定結果	55
表 4-1	員工對熱感覺投票數統計表	57
表 4-2	顧客對熱感覺投票數統計表	58
表 4-3	全體受測者對熱感覺投票數統計表	59
表 4-4	敏感度公式與中性溫度整理表	61

表 4-5	員工受測者熱喜好統計表	62
表 4-6	顧客受測者熱喜好統計表	63
表 4-7	全體受測者熱喜好統計表	63
表 4-8	喜好溫度與公式整理表	68
表 4-9	員工受測者熱接受統計表	69
表 4-10	顧客受測者熱接受統計表	60
表 4-11	全體受測者熱接受統計表	70
表 4-12	熱接受度分析之公式與範圍整理表	71
表 4-13	熱接受度分析之公式與範圍整理表	73
表 4-14	暫留區中性、喜好、熱接受溫度彙整表	74



## 圖目錄

圖 1-1	三種暫留區類型	3
圖 1-2	PMV-PPD 關係圖	10
圖 1-3	動態條件下冷熱刺激的不同反應	12
圖 1-4	研究流程	19
圖 2-1	實驗建築物外貌	21
圖 2-2	顧客服務中心平面圖及測點擺放位置	21
圖 2-3	其他熱舒適相關研究所使用的儀器設備	24
圖 2-4	現場量測用之室內氣候採擷系統	26
圖 2-5	實驗現場量儀器擺放情況	27
圖 2-6	員工填寫問卷情形	38
圖 2-7	顧客填寫問卷情形	38
圖 3-1	員工與顧客受測者年齡百分比分佈	40
圖 3-2	員工與顧客受測者身高百分比分佈	40
圖 3-3	員工與顧客受測者體重百分比分佈	41
圖 3-4	員工與顧客受測者衣著量分佈情形	42
圖 3-5	員工受測者對其它環境因子反應分佈	43
圖 3-6	顧客受測者對其它環境因子反應分佈	44
圖 3-7	每次實驗室內外溫度分佈範圍	47

圖 3-8	每次實驗室內外溫度平均值分佈	48
圖 3-9	每次實驗之員工問卷分佈	48
圖 3-10	每次實驗之顧客問卷分佈	49
圖 3-11	受測者熱感覺分佈百分比	49
圖 3-12	員工受測者熱喜好分佈百分比	50
圖 3-13	員工受測者熱接受投票分佈百分比	51
圖 3-14	員工在每個溫度梯度下的熱感覺百分比	52
圖 3-15	顧客在每個溫度梯度下的熱感覺百分比	52
圖 3-16	員工在每個溫度梯度下的熱喜好百分比	54
圖 3-17	顧客在每個溫度梯度下的熱喜好百分比	54
圖 3-18	員工在每個溫度梯度下的熱接受百分比	56
圖 3-19	顧客在每個溫度梯度下的熱接受百分比	56
圖 4-1	員工的熱敏感與中性溫度分析	59
圖 4-2	顧客的熱敏感與中性溫度分析	59
圖 4-3	全體的熱敏感與中性溫度分析	60
圖 4-4	員工、顧客與全體受測者 PMV 與中性溫度分析	60
圖 4-5	員工熱喜好迴歸曲線圖	64
圖 4-6	顧客熱喜好迴歸曲線圖	64
圖 4-7	全體受測者熱喜好迴歸曲線圖	65

圖 4-8	員工熱喜好與 ET*分析圖	66
圖 4-9	顧客熱喜好與 ET*分析圖	66
圖 4-10	全體受測者熱喜好與 ET*分析圖	67
圖 4-11	員工熱可接受範圍直接評估分析	70
圖 4-12	顧客熱可接受範圍直接評估分析	71
圖 4-13	全體受測者熱可接受範圍直接評估分析	71
圖 4-14	員工熱可接受範圍間接評估分析	72
圖 4-15	顧客熱可接受範圍間接評估分析	73
圖 4-16	全體受測者熱可接受範圍間接評估分析	73
圖 4-17	員工熱可接受範圍評估分析	74
圖 4-18	顧客熱可接受範圍評估分析	75
圖 4-19	全體受測者熱可接受範圍評估分析	75
圖 4-20	員工 TSV 與 PPD 關係圖	76
圖 4-21	顧客 TSV 與 PPD 關係圖	76
圖 4-22	全體受測者 TSV 與 PPD 關係圖	77

# 第一章 緒論

## 第一節 研究背景與目的

隨著現代科技與建築技術的進步，如何創造更加舒適、健康與節能的室內環境，已成為建築及室內環境設計的要發展方向，室內環境和人體熱舒適(Thermal comfort)的議題，也越來越受到人們的關心與重視。

室內環境與人體熱舒適影響的研究以 1919 年美國冷凍空調工程協會 (ASHRAE)<sup>(1)</sup> 在匹茲堡實驗室中的研究做為開端。在二十年代初期<sup>(2)</sup>，Houghton 和 Yaglou 引進了有效溫度指標，由於該指數將溫度、溼度和舒適性聯合起來，成了冷凍空調技師與環境工程師有用的工具。

在 Pierce 實驗室工作的 Winslow 等人把對熱舒適愉快的主觀反應和生理學反應與環境條件聯合起來研究，發現在熱環境下的皮膚會排汗，皮膚的溼潤度對於舒適感是一個主要的因素。六十年代後期，人體熱舒適的發展在美國奠定了根基。美國冷凍空調工程協會在堪薩斯州立大學的環境實驗室曾進行了大量的研究和實驗，提供了舒適性相關的數據，這些數據成為丹麥工藝大學 Fanger<sup>(3)</sup> 的人體熱舒適性方面的研究基礎。

七十年代，研究者對於環境變量對人體散熱和人體熱感覺有了更進一步的認識。至此之後，在世界各地都發展了人體熱舒適要求的實驗研究工作。經過各種實驗研究，研究人員已在熱舒適領域得出了一些重要的結論，並制定了一系列有關人體熱舒適性的標準和指標，例如 ASHRAE STANDARD 55、ISO7730<sup>(4)</sup> 等。

舒適是人透過感覺器官獲得身體或精神上覺得愉悅的感覺，給人們提供舒適的室內環境是世界各地人體熱舒適研究人員的共目同標。但是到目前為止，在熱舒適方面所做的研究工作多大是由美國以及歐洲等一些西方國家發展較成熟。現在在世界各地所沿用的熱舒適標準例如

ASHRAE STANDARD 55 的使用並沒有考慮不同地區建築形式的不同、氣候的不同、種族的不同、人待在室內情況的不同等等因素。現在已有一些研究者對熱舒適標準的普遍適用性提出了質疑。他們認為建築形式、氣候、種族等等因素的差異可能造成世界各地人們在相同的熱環境中的熱感覺不同，對熱舒適性的要求也不同。所以在使用熱舒適標準的時候，需要因為各種不同原因，對熱舒適標準進行一些修正，因此有必要在各個地方發展當地的熱舒適性研究。

當各地積極展開熱舒適研究時，從熱舒適本質來說，可分為穩態(steady)和暫態(transient)。穩態觀點認為，熱舒適和熱感覺完全相同，也就是熱中性即代表舒適，當然空氣溼度和風速都必須維持在適當的水平。暫態觀點則認為熱舒適不能在穩態的條件下存在，只能在動態過程中出現。具體來說，舒適不是一種狀態，而是一種過程。

目前國際上研究人體熱舒適性所採用的觀點大多為穩態觀點。但穩態和暫態觀點的討論持續的進行著，不同的研究學者，各持有不同的觀點。穩態觀點是從研究方法出發，其主要是透過實驗了解人的熱感覺，以實驗得到的熱感覺來衡量人體是否舒適。暫態觀點則是從時間、動態的角度出發，因為在概念上更注重過程和狀態之間的差別。

本研究研究方向是短暫停留區的人體熱舒適，透過現場實測與統計分析了解暫留區人們的熱舒適要求條件是否與穩定區人們的熱舒適要求條件相同，確定暫留區人們對熱舒適的需求條件，找到他們的熱接受範圍、中性溫度與喜好溫度，並與穩態區人們的熱舒適需求做比較，區分暫態與穩態環境下人們對熱舒適區求的差別。

## 第二節 暫留區的定義

暫留區是相對於長期停留而提出的概念，它和長期停留的區別在於時

間上的差異。在現實生活中，有很多人們停留不會超過一小時的場所，例如：中小型商場、候車室、銀行、郵局等等。我們把具有這種特點的區域定義為短暫停留區。短暫停留區的第一項特質是時間上的限制，但是時間因素並不是其充要條件，還應該具有以下必要條件：

- (1) 明顯的溫度場變化。人們從較高溫度的環境進入較低溫度環境，或從較低溫度的環境進入較高溫度的環境。目前研究重點都是針對於冬、夏季由室外進入比室外暖或涼的室內。
- (2) 必需對人體而言是短暫停留的，例如對於教室裡的學生，如果學生在教室裡持續上課四至五個小時，那麼對於學生而言，教室的環境就不是短暫停留區；但如果學生只在裡面停留一個小時以內，便離開教室，那麼教室對學生而言就是短暫停留區。因此短暫停留區是一個相對的概念。

暫留區分為三種類型，第一種類型為位於大樓內的過度空間，比如：旅館大廳、提供人們進進出出的門廊。第二類型亦被納入建築物本體或與建築物相連，例如：陽台、門廊，走廊(包括街道或騎樓)。第三類型為不與任何建築物連接的獨立個體，其構成的熱環境端看該建築物的設計方式。例如：涼亭、公車站等。圖 1-1 為暫留區與建築物本體之相對位置，白色空間為建築物本體，黑色部份為暫留區空間。

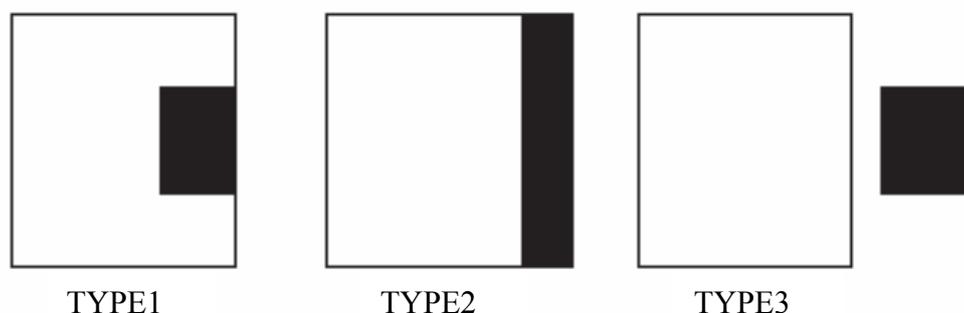


圖 1-1 三種暫留區類型

### 第三節 文獻探討

#### (A) 人體在穩定環境的熱平衡

人體透過攝取食物，從食物中攝取能量 同時透過不同的模式產生熱量。為了使人體維持舒適的感覺以及生理上的需要，人體需要與周遭環境進行熱交換。從巨觀的角度來看，當人體內部產生熱量及人體與周遭環境進行熱交換等過程以達到熱平衡，使平衡維持在人體健康的狀態，此時人體的感受是最舒適的。不過要實現人體舒適僅僅追求人體與周遭環境的熱平衡是不夠的。例如當人體皮膚表面的汗液不能及時蒸發時，雖然人體與周遭環境達到熱平衡，人體也不會感到舒適。

因此，想要更深入的研究人體熱舒適，要從人體與周圍環境的熱、溼交換過程開始，結合人體生理調節過程，研究人體對熱舒適環境的要求。大多數對人體與外界環境的熱交換模型以及測量人體熱感覺的方法是類似的，因為它們都是以傳統的熱傳學為基礎，並借助經驗公式來描述人體生理調節機制。

人體是一個開放且複雜的系統，人體和外界環境存在著各種複雜的關係。但是從熱學的觀點而言，就是兩條路徑：產熱和散熱。從工程學的觀點來看，人體可以看作一個發熱機，人體的所做的功就是把食物的化學能轉化為外部功和熱量。人在體內產生熱量，又必須以和產熱同樣的速率散熱。Fanger 教授由此建立了著名的穩態傳熱模型，這個模型假定人體處於一個熱平衡狀態即淨得熱量為零。人體與其周遭環境之間的能量交換的基本熱力學過程可用下式描述：

$$\Delta S = M \pm R \pm C - E - W \quad (1-1)$$

式中，

$\Delta S$ ：人體的熱平衡差

M：人體代謝產熱量

R：穿著衣服的人體外表面與其周圍環境之間的輻射散熱量

C：穿著衣服的人體外表面與其周圍環境之間的對流散熱量

E：人體蒸發散熱量總合

W：人體所做的機械功

如果 R、C 只考慮失熱，且人體處於熱平衡狀態時， $\Delta S=0$ ，則式子(1-1)

可寫成：

$$M - R - C - E - W = 0 \quad (1-2)$$

公式(1-2)表示人體處於熱平衡狀態，Fanger 以此式為出發點，借鑒前人的實驗結果，又進行了大量的實驗，從得出公式(1-2)中各項數學關係式，建立了 Fanger 熱舒適方程。

新陳代謝就是有機體生命活動產物的吸收、變化、儲存與排泄過程的總和。在人體能量交換的過程計算中，新陳代謝起著重要的做作。對單位面積的新陳代謝自由能產熱量 M 的估算乃是任何熱平衡物理分析方法的核心。在某些特定情況下，借助量測受試者的呼吸量和耗養量就可以精確的確定 M 值。但這並非任何場合都是可行的。較簡單的估計方式也是本研究所採用的方式為使用已發表的量測數據來估算代謝率。用來表示每單位表面積的代謝率單位為 met，體表面積 1.8 平方公尺的成年人靜坐時，新陳代謝率為  $1\text{met}=58.2\text{W}/\text{m}^2$ 。人體表面積的計算公式可由(1-3)式表示：

$$A_{Du} = 0.202 \times m^{0.425} \times h^{0.72} \quad (1-3)$$

式中，

$A_{Du}$ ：人體表面積( $\text{m}^2$ )

m：人體質量(kg)

h：人體高度(m)

溫度在絕對零度以上的一切物體都會發出熱輻射，除了良好的反射體或完全處於絕對零度以下的系統外，所有的物體都處於與其周遭環境進行的輻射能量交換。人體也不例外，無時無刻都在與周遭環境進行輻射換熱。人體對環境的正常輻射散熱無法直接感覺，但是當人坐在密閉功能很好的冷窗戶附近時，輻射散熱就變的很顯著，會覺得有寒風吹進來，稱之為輻射吹風感(radiation-draught)<sup>(7)</sup>。但就許多室內情況而言，周圍表面是處在相當均勻的溫度之下的，因此輻射環境可以令人滿意地用平均輻射溫度 $T_r$ 加以描述。單位人體表面積的輻射損失 $R(W/m^2)$ 可利用 Stefan-Boltzmann<sup>(8)</sup>定律推導並用下式表示出：

$$R = 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \quad (1-4)$$

式中，

$f_{cl}$ ：衣著係數，即穿著衣服的外表面積和包裹住的體表面積比

$t_{cl}$ ：服裝外表面溫度， $^{\circ}C$

$t_r$ ：環境的平均輻射溫度， $^{\circ}C$

所謂對流熱交換，係指流體流過固體表面所發生的熱量交換。由於產生流動的原因不同，對流熱交換可分為強制對流熱交換與自然對流熱交換兩大類。前者是由外部動力機器所造成，後者通常是由於流體內部的密度差所引起。兩種流動的成因不同，流體中的速度場也有差別所以換熱規律不一樣。對人體而言，人的表面溫度通常比環境空氣溫度高，在人的皮膚和服裝之間的空氣層是比較暖和的，這一區的暖空氣可能會隨著氣流流動而被帶走。在無氣流的情況下，暖空氣因為密度較低，自然浮力會使它上升然後由冷空氣取而代之。在這兩種情況下被人體加熱的空氣都會被排除而熱量也就隨之被帶走，這就形成了對流過程。

汗的產生和蒸發是人體最有效的溫度控制機制。皮膚的水份蒸發首先需要從液態變成氣態，蒸氣隨著氣流流動而離開皮膚。水蒸氣分子的擴散過程是一個傳遞過程，驅使介質傳遞的動力是水蒸氣在空氣裡的濃度梯度。水蒸氣的濃度梯度正比於皮膚表面與周圍空氣中的水蒸氣壓。因此溼潤皮膚蒸發熱損失方程式為：

$$E_{MAX} = h_e(p_{ssk} - p_a) \quad (1-5)$$

式中，

$E_{MAX}$ ：蒸發熱損失( $W/m^2$ )

$h_e$ ：蒸發熱係數( $W/m^2 \cdot 10^2pa$ )

$p_{ssk}$ ：蒸氣壓力( $10^2pa$ )

$p_a$ ：周圍空氣中的水蒸氣分壓力( $10^2pa$ )

體溫調節排汗的功能是一種在炎熱環境條件下防止體溫升高的控制方式。但在不需要體溫調節排汗的涼爽環境中，仍有水分從人體散出。其中一部份直接以小便、唾液、眼淚之類的液體排出。儘管排出量很大，但並不出現在熱平衡方程中，因為它是在與體溫溫度相同的情況下以液體形態散出，且其排出後並不具有冷卻的效果。這些水分的散失可以歸類為不易察覺的水分損失，這類水分損失主要有三種：水分通過皮膚的擴散、情緒性出汗和呼吸損失。Zollner 和 Brebner<sup>(8)</sup>等人曾經進行過一些試圖排除所有汗腺作用的測試工作，測試結果可以歸納為：

$$E_{is} = 4.0 + 0.12(p_{ssk} - p_a) \quad (1-6)$$

式中  $E_{is}$  是不易被察覺到的出汗熱損失。該式應用於  $20 \times 10^2 < (p_{ssk} - p_a) < 50 \times 10^2pa$  的測試範圍。

吸入肺部呼吸道裡的空氣既被加熱又被加溼，而這熱量並不在呼氣時完全散出。當空氣呼出時，在呼吸道裡起再生再生熱交換的作用，呼吸

道從呼出的空氣中回收顯熱和潛熱。儘管如此，還是會有淨呼吸熱損失，單位人體表面積的呼吸顯熱損失  $C_{res}$  ( $W/m^2$ ) 系由下式給出：

$$C_{res} = 0.0014M(34 - T_a) \quad (1-7)$$

單位人體表面積的呼吸潛熱損失  $E_{res}$  取決於環境的水氣分壓力百帕，且為：

$$E_{res} = 0.0017M(58.6 - p_a) \quad (1-8)$$

人體與外界環境的熱交換與人體不同的生理反應區和行為反應區有著密切的關係。當裸體的人處於新有效溫度為  $29\sim 31^\circ C$  環境中或穿著衣服的人(衣服熱阻係數為  $0.6clo$ )靜坐在新有效溫度  $23\sim 27^\circ C$  的環境中，這時身體沒有被加熱也沒有被冷卻，且人體的蒸發熱損失也沒有變化，在這個熱環境中人的感覺不冷也不熱，不需要自身的生理調節機能來保持人體正常的體溫，所以稱該溫度為中性溫度。

人體對周圍環境的溫溼感覺是一個非常複雜的過程，人體與周圍環境不僅存在質量與熱量的熱力過程，而且存在人的主觀意識作用和客觀生理調節調整過程。在對人體熱舒適環境的研究中，需要考慮對周圍環境的客觀評估，如空氣溫度、溼度和風速皆需考量入內，也應考慮人對周圍環境的主觀評價。將二者相結合、量化才能客觀公正地得出人體對環境的要求，進而對生活中的熱環境提供改善的方法。

在 PMV 以及 PPD 的部份，根據 ISO 7730 的定義，熱環境的舒適為「當人的下意識對所處的熱環境表示滿意時的狀況」。人體對熱環境感到滿意的基本條件，是人體與環境維持熱平衡。而人體與環境的熱平衡，受到人體的活動量 (activity) 和衣著量 (clothing)，以及環境的參數包括溫度、平均輻射溫度 (mean radiation temperature, MRT)、風速和濕度的影響。若能測得室內環境中的各項參數，則可根據 ISO 7730 計算出用來

表示室內熱環境舒適度的 PMV 與 PPD 指標

PMV 是建立在人體保持熱平衡的條件下，當人體保持熱平衡時，體內的新陳代謝熱會與人體的散熱量保持平衡。在一般熱環境中，人體主要是靠皮膚以及呼吸來調整體內溫度，以保持熱平衡。根據 Fanger 在 1972 年對 1300 個受測者的實驗結果，所得的 PMV 計算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times \{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \\ & \times [5733 - 6.99 \times (M - W) - P_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] \\ & + 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - P_a) - 0.0014M \times (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl} \\ & \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a) \} \quad (1-9) \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} t_{cl} = & 35.7 - 0.028 \times (M - W) - I_{cl} \times \{ 3.96 \times 10^{-8}f_{cl} \\ & \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a) \} \quad (1-10) \end{aligned}$$

$$h_c = 2.38 \times (t_{cl} - t_a)^{0.25} \text{ or } h_c = 12.1v^{0.5} \quad (1-11)$$

$$f_{cl} = 1.00 + 1.29I_{cl} \text{ for } I_{cl} < 0 \leq 0.78 \text{ m}^2\text{kW}^{-1} \quad (1-12)$$

$$\text{or } f_{cl} = 1.05 + 0.645I_{cl} \text{ for } I_{cl} > 0.78 \text{ m}^2\text{kW}^{-1} \quad (1-13)$$

ISO 7730 亦建議公式的適用範圍如下：

$$-2 < \text{PMV} < 2$$

$$M = 46 \text{ W/m}^2 \text{ to } 232 \text{ W/m}^2 \text{ (0.8 met to 4 met)}$$

$$I_{cl} = 0 \text{ m}^\circ\text{C/W to } 0.310 \text{ m}^\circ\text{C/W} \text{ (0 clo to 2 clo)}$$

$$T_a = 10^\circ\text{C to } 30^\circ\text{C}$$

$$T_r = 10^\circ\text{C to } 40^\circ\text{C}$$

$$V_{ar} = 0 \text{ m/s to } 1 \text{ m/s}$$

$$P_a = 0 \text{ pa to } 2700 \text{ pa}$$

$$\text{RH} = 30\% \text{ to } 70\%$$

人體活動量隨著熱感覺投票值 Y 對熱負荷 L 的關係式為：

$$Y = 0.302 \exp^{(-0.036M)} + 0.028L \quad (1-14)$$

其中 Y 為平均熱感覺投票指標，也就是 Fanger 提出的預測平均熱感覺投票指標。

PMV 指標是預測群體的平均反應，但是每個人的感覺雖然在平均值附近，卻不一定相同，預測不滿意百分比指標用來表示對熱環境不滿意的百分比。PPD 可以定義為在某一個熱環境中，熱感覺投票值為-3、-2、+2 與+3 的投票數占所有投票數的百分率。雖然在投票值為+1 或-1 時也有可能對該環境感到不滿意，但是 Gagge 等人通過實驗發現當該熱環境令人不滿意時，絕大多數人的投票值都為-3、-2、+2 與+3，因此我們可以不用考慮投票值為+1 或-1 時的情況。Fanger 教授通過整理大量的實驗數據，得到 PMV-PPD 關係式：

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)] \quad (1-15)$$

PMV-PPD 的變化曲線，如圖 1-2 所示。

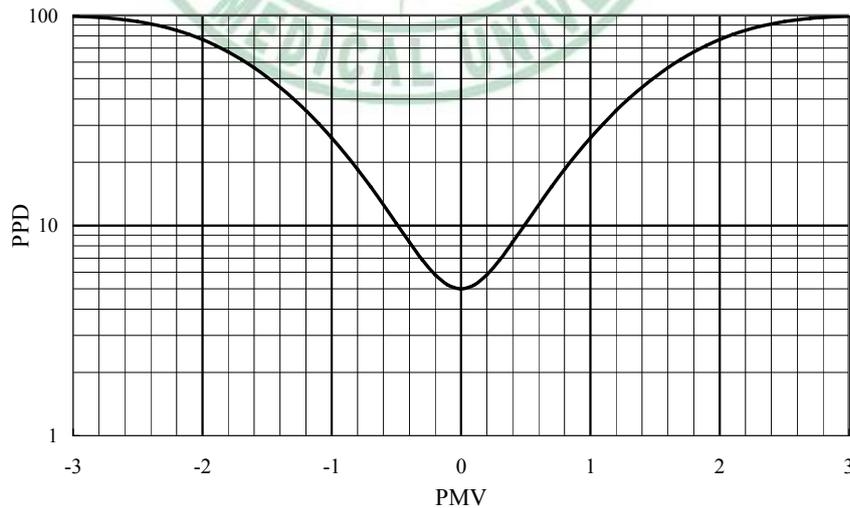


圖 1-2 PMV-PPD 關係圖

圖中曲線相對於 PMV 為零值是對稱的，此時不舒適程度為最小。按照 Fanger 的意見，這個最小值為 5%，換句話說，在二十個人當中只有一個人認為所處的熱環境是不舒服的。ISO 7730 對 PMV-PPD 指標的建議值為：PPD<10%，即 PMV 值在-0.5~+0.5 之間，相當於在人群中有 10%的人感覺不滿意。

## (B) 動態能量平衡模式

在日常生活中，如果只是單純追求熱舒適的意義，無論是廣義或狹義，表相或本質，都沒有任何意義。到目前為止，對於熱舒適的解釋並不一致。從根本上來說，可分為穩態(steady)與暫態(transient)兩種觀點。穩態觀點認為熱舒適和熱感覺完全相同，也就是說熱中性即是熱舒適。暫態觀點則認為熱舒適不能在穩態條件下存在，只能在動態過程中出現。更具體的說，舒適不是一個狀態，而是一種過程，與之相對的則是不舒適過程。舉例來說，當人體溫度低於熱中性溫度時，適度熱刺激會使人們產生舒適和愉快的反應。如果保持此時的環境溫度不做任何改變，以使人體溫度維持在中性溫度，則人的主觀熱感覺也將處於微涼到微熱的區間內。需要注意的是，從暫態觀點來看，這並不是「舒適」狀態，而只是無差別狀態(或熱中性狀態)。此後再將溫度升高或降低，就會進入不舒適過程，最終覺得冷或熱。上述過程如圖 1-3 所示。

從圖 1-3 中可以看出，在動態狀態可以有條件的使舒適與不舒適交替出現，換句話說也就是舒適與不舒適為互補的條件。沒有不舒適也就不會有舒適存在，不舒適是產生舒適的前提，也就是包含著對舒適的期望。同時舒適也是不舒適的前提，包含著對不舒適的排斥。舒適是忍受不舒適的解脫過程，它不能持久存在，只能轉化為另一個不舒適過程，或趨近於無差別的狀態。因此，從暫態觀點來看，認為在穩態中性熱環境下

可以達到熱舒適是沒有根據的，那只能是一種無差別、無刺激的狀態。而且這種狀態的好處並沒有實際證據來支持。從衛生學的觀點，一些學者已經表示了人體長期處於熱中性是否有利的憂慮，並指出恆溫狀態對居住者的健康有害。

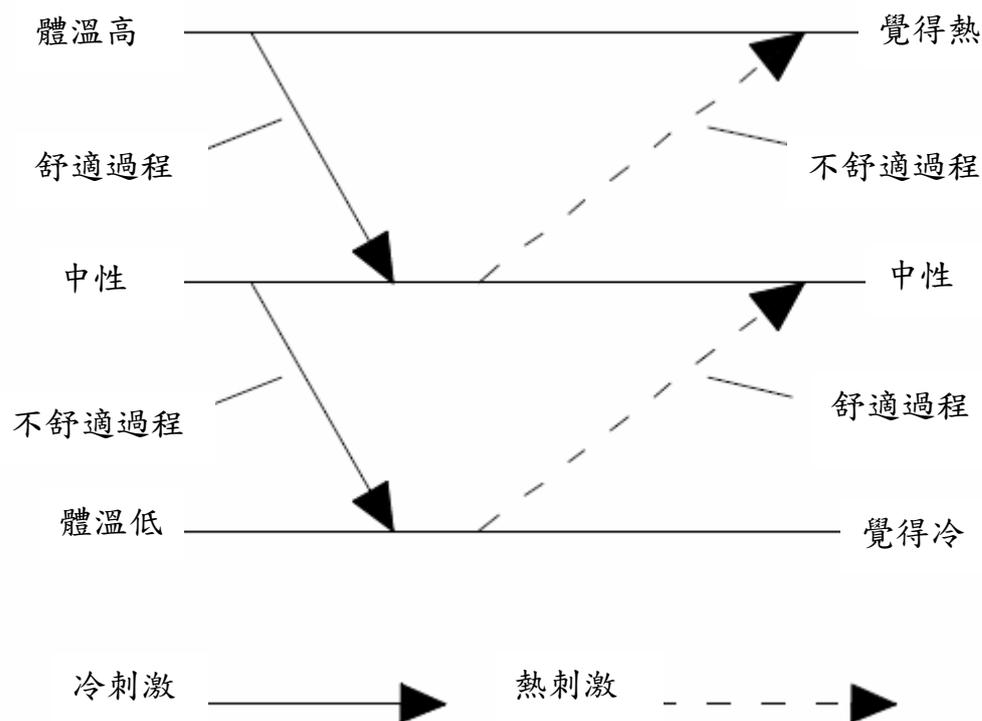


圖 1-3 動態條件下冷熱刺激的不同反應

在動態的熱環境中，人體與環境之間的熱交換雖然不再平衡，但仍然存在著熱平衡，以下列公式表示：

$$m - w - c - r - s = 0 \quad (1-11)$$

式中： $s$  = 人體蓄熱量 ( $W/m^2$ ) ；

增加的人體蓄熱量是由於環境的動態變化與人體的衣著量不可能隨時保持產熱量和散熱量完全相等，來不及散失的熱量會儲存於人體，當

環境溫度升高時，這部分蓄熱會導致人體溫度上升。與穩態熱交換平衡相較，在該式中各個參數都是隨著時間變化而波動的變數。將公式1-11對時間（t）求積分，並且假設初時蓄熱量為S0，可以得到不同時間的人體蓄熱量（S(t)），其公式如下：

$$S(t) = \int_0^t (m - w - c - r - e) dt = S_0 + \int_0^t S dt \quad (1-12)$$

由上述人體與穩態或動態環境之間的熱交換對比，可以得到下面幾點結論：

1. 人體達到穩態熱平衡時，人體與環境的熱交換量等於新陳代謝量，人體蓄熱量等於零。人體達到動態熱平衡時，人體蓄熱量是一個變量。
2. 人體達到穩態熱平衡時，人體蓄熱量是一個常數。當人體處於熱中性狀態時，人體蓄熱量等於零。當環境溫度高於熱中性狀態時的環境溫度，人體蓄熱量大於零，人體會感覺熱或暖；反之則人體會感覺冷或涼。
3. 在穩態熱平衡時，人體蓄熱量與環境溫度之間有一個對應的關係。在動態熱平衡時，人體蓄熱量則為時間的變量，人體蓄熱量與環境溫度不再是簡單的對應。
4. 人體有一定的蓄熱能力，蓄熱能力對環境熱波動有相當的緩衝作用。當環境溫度升高時可以吸收一部分來不及散失的熱量，當環境溫度降低時可以補充一部分多餘散失的熱量。

### (C) 文獻回顧

Jitkhajornwanich<sup>(10)</sup>在西元 1996 年於泰國曼谷對暫留區熱舒適進行實測調查。共有五個實測地點，包含二個自然通風的建築(學校與政府單位

辦公室)與三個具有空調系統的建築(建築事務所、高樓辦公室與複合式購物中心)，這五個地點皆具有符合暫留區的環境條件。同步使用問卷調查與現場實測進行實驗，在問卷方面詢問了熱敏感、熱喜好、對風速及溼度的感覺、活動量、衣著量與個人背景資料。現場實測量測乾球溫度、黑球溫度、相對溼度與風速。實驗時間從 1996 年十二月至 1997 年一月，共進行六天的實驗，每日實驗時間為早上 9:00 至下午 6:00。共有 593 個受測者參與實驗，實驗得出在曼谷地區人們對於暫留區中性溫度為  $27.1^{\circ}\text{C}$ ，熱接受範圍為  $25.5\sim 31.5^{\circ}\text{C}$ ，喜好溫度為  $26.7^{\circ}\text{C}$ ，曼谷地區的人們喜歡較涼爽的環境。

C.Y.CHUN 與 A.TAMURA<sup>(11)</sup>於西元 1997 年在日本橫濱對二條地下購物街(D 購物街與 P 購物街)與一家具有九層樓的百貨公司(T 百貨公司)進行熱舒適實測調查。實測時間為正值冬季的十二月、夏季的八月與進入秋季的十月，十二月與八月份的溫差差距達到  $20^{\circ}\text{C}$  以上。每次實測時間從早上八點至晚上八點，每二個小時進行一次實驗，受測對向為 16 位平均年齡 23 歲健康狀態良好的大學生。實驗進行方式為物理性參數量測與問卷填寫同時進行，將儀器擺放在離地 1 公尺高的地方測量，量測了空氣溫度、相對溼度與空氣風速三項環境參數；問卷則是詢問熱敏感度與熱舒適度。在 D 購物街與 P 購物街個有 14 個與 10 個測點，T 百貨公司則有 22 個測點。衣著量在八月、十月與十二月份分別為 0.5clo、0.8clo 與 1.5clo。實驗得出的中性溫度如表 1-1 所示。與有許多出口的地下購物街比起來，百貨公司的室內環境溫度較易控制所以穩定許多，在熱舒適的問卷調查統計發現，百貨公司內在三個實驗月份的熱舒適度分佈相近；但地下購物街的熱舒適分佈在三個實驗月份皆不相同，可見溫度起伏大的地方，舒適度分佈較大。

表 1-1 中性溫度(°C)

地下購物街			百貨公司		
八月	十月	十二月	八月	十月	十二月
25.6	24.8	21.5	25.7	23.5	23.2

Chun 與 Tamura<sup>(12)</sup>在 2004 年於日本橫濱的暫留空間與實驗室進行暫留區熱舒適實驗，在實驗室與現場調查的受測者分別為 36 位與 45 位健康狀態良好的大學生，穿著相同衣著量的服裝進行實驗。實驗艙中分成三個溫度不同的空間(A、B、C)，相對溼度皆控制在 50%，受測者依實驗所規劃的路徑在實驗艙內走動並填寫問卷。現場實測是在橫濱車站的地下街進行，地下街連接著車站、通道、購物中心與百貨公司。在地下街選定定點擺放儀量量測空氣溫度、溼度與風速，受測者在量測點之間以平穩的速度步行移動至下個定點並填寫問卷。實驗得出的結論是無論在實驗室或是現場實測所進行的實驗，以 24°C 為基準，從溫度較高的房間進入 24°C，會覺得舒適或過冷；從溫度較低的環境進入 24°C，會覺得舒適或有點熱。所以並不是只要是 24°C 的環境就會令人覺得舒適，前後溫度的溫差差距及受測者的適應性，影響著相同溫度下不同的熱感覺。

Chun<sup>(13)</sup>等人在 2004 發表的研究結果定義出暫留區共有三種類型。第一種類型為位於大樓內的過度空間，比如：旅館大廳、提供人們進進出出的門廊，當人們進出此空間，室外與室內環境條件在此被混合。第二種類型亦被納入建築物本體或與建築物相連，例如：陽台、門廊，走廊(包括街道或騎樓)。第三種類型為不與任何建築物連接的獨立個體，其構成的熱環境端看該建築物的設計方式。例如：藤蔓構成的涼亭、公車站、亭子等。Chun 等人在上述三種各式不同的暫留空間量測空氣溫度、相對溼度、黑球溫度、風速、太陽輻射以及在該環境下人們的活動量。實驗結

果表示在暫留空間下的人們活量情形與辦公室內的人們活動情形不同；暫留區大多是以阻斷太陽日射來達到讓人們覺得涼爽的空間。大多數暫留區的設計方式是配合當地氣候情況，建立人們所需要的熱環境，達到節省能源的目的，並不一定使用空調系統來控制熱環境。

俞準在2004年針對暫留區進行了參數分析的研究。在天津大學實驗室裡創造不同的熱環境，共有200名大學生參與實驗，採用問卷調查的形式進行研究，並結合近年發展起來的適應性模型來確定空氣中的溫濕度對冬、夏季暫留區人們的熱舒適影響程度。測試結果發現在被研究的對象中，包括被研究的建築物和受測的人員冬季中性溫度為 $17.26^{\circ}\text{C}$ ，80%滿意度的溫度範圍是 $14.14\text{ET}^{\ast}\sim 20.38\text{ET}^{\ast}$ 。夏季中性溫度為 $26.45^{\circ}\text{C}$ ，80%滿意度的溫度範圍是 $24.42\text{ET}^{\ast}\sim 28.99\text{ET}^{\ast}$ 。人們可以透過熱適應性行為來調整自身的熱感覺，這使得冬季暫留區熱舒適範圍比ASHRAE STANDARD 54-1992的冬季舒適區寬 $3.24^{\circ}\text{C}$ ，比ISO7730冬季舒適區寬 $1.38^{\circ}\text{C}$ 。夏季舒適區比ASHRAE STANDARD 54-1992的夏季舒適區寬 $1.07^{\circ}\text{C}$ ，比ISO 7730夏季舒適區寬 $2.29^{\circ}\text{C}$ 。而冬季現場調查顯示人們中性溫度僅為 $14.7\text{ET}^{\ast}$ ，因此對於人們停留時間較短的室內環境來說可以適當降低室內的設計參數。

#### 第四節 研究內容與流程

針對研究目的，建立研究的主要內容如下：

- (1) 比較以物理性環境測定測得的室內氣候及室外氣候的不同，穩定環境與暫留區接受舒適範圍之差異，以人們對於穩態環境與暫留區熱環境的舒適感受狀況。
- (2) 統計分析問卷調查結果，比較個人因素如性別、年齡、身高、體重、衣著量等的基本資料，以及受測者對受測環境的環境特性如照明、

噪音、空氣品質等的滿意度對於熱舒適性的影響差異。

(3) 由現場實測以及問卷資料找出穩定區與暫留區人們的中性溫度、喜好溫度與熱接受範圍，並與其他文獻做比較。

本研究主要為了探討穩態區與暫留區的差異性。首先對熱舒適的理論、熱舒適的標準、熱舒適的研究方法以及各種不同對象的熱舒適調查進行文獻研究，以建立研究的理論基礎。再以舒適度的理論，配合研究的主要目的，設計實驗進行的方法與流程。現場實測調查是採取使用一對一的方式，問卷調查與物理性環境量測同步進行。現場測量系統可以記錄空氣溫度、相對濕度、風速和黑球溫度，測量高度離地面 1 公尺高。根據物理測定資料求出新有效溫度 (new effective temperature, ET\*)、預測平均投票數 (Predicted Mean Vote, PMV)、預測不滿意度百分比 (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD) 並找出穩定區人們與暫留區人們的熱接受度範圍、喜好溫度以及中性溫度，再將其與其他國家對暫留區的研究做比較。

依照研究的流程，本論文分成五章，內容如下：

第一章為緒論，先以研究背景、動機與目的說明熱舒適的由來與暫留區與穩定區的不同以及文獻探討。暫留區環境舒適對人們與節省能源的重要性，舒適感覺的影響因子，暫留區人們與一般穩定區的人們的差異，以了解 ASHRAE STANDARD 55 在暫留區適用性上的問題。在研究內容中確定本研究進行的架構與方向，以及配合研究目的所應該要進行的檢測項目。最後經由研究流程確立實驗進行的程序以及評估方法。介紹人體在穩定環境下的熱平衡、暫留區的介紹及其與穩定環境的差別，以及探討與本研究相關的文獻，在其他地區針對暫留區所研究出的成果，獲得可行的研究方式以及評估方法。

第二章介紹實驗的流程、器具以及對象。詳細說明實驗進行的流程

與方式、實驗使用的儀器以及其選用的標準、架設的方法，介紹問卷的內容以及問題設計的目的，以及選擇實驗對象的原則，並針對所選擇的實驗地點作環境的介紹。

第三章、第四章為研究結果與討論，就所獲得的有效問卷分類與統計，針對員工與顧客的背景資料（如年齡、身高、體重等）以及實驗地區的環境特性（如噪音、照明、空氣品質等）滿意度做歸類整理，以確定其它環境因子對受測者對熱舒適度的判定是否受影響。觀察室內、室外的物理測定差異，並將結果呈現出來。比較三種滿意度的調查結果，以了解員工、顧客與全體受測者對於顧客服務中心熱舒適的需求。計算ET\*以及找出員工、顧客與全體受測者的中性溫度、喜好溫度和熱接受範圍，以各種評估的方式來了解暫留區與穩定區人們對熱環境的滿意程度，並量化暫留區與穩定區人們對熱環境舒適度的需求標準。再與其他文獻研究結果的中性溫度、喜好溫度與舒適範圍做比較，檢討其差異性。

第五章為結論，將實際實驗所得到的穩定區與暫留區熱舒適互相比對，對日後設計暫留區空調時所參考的標準作一建議，以期達到最能滿足每個人對環境熱舒適的需求條件。

圖 1-4 為本實驗研究流程，從實驗的規劃、設計，實驗的進行與實驗數據分析、比較，以及結果呈現與結論。

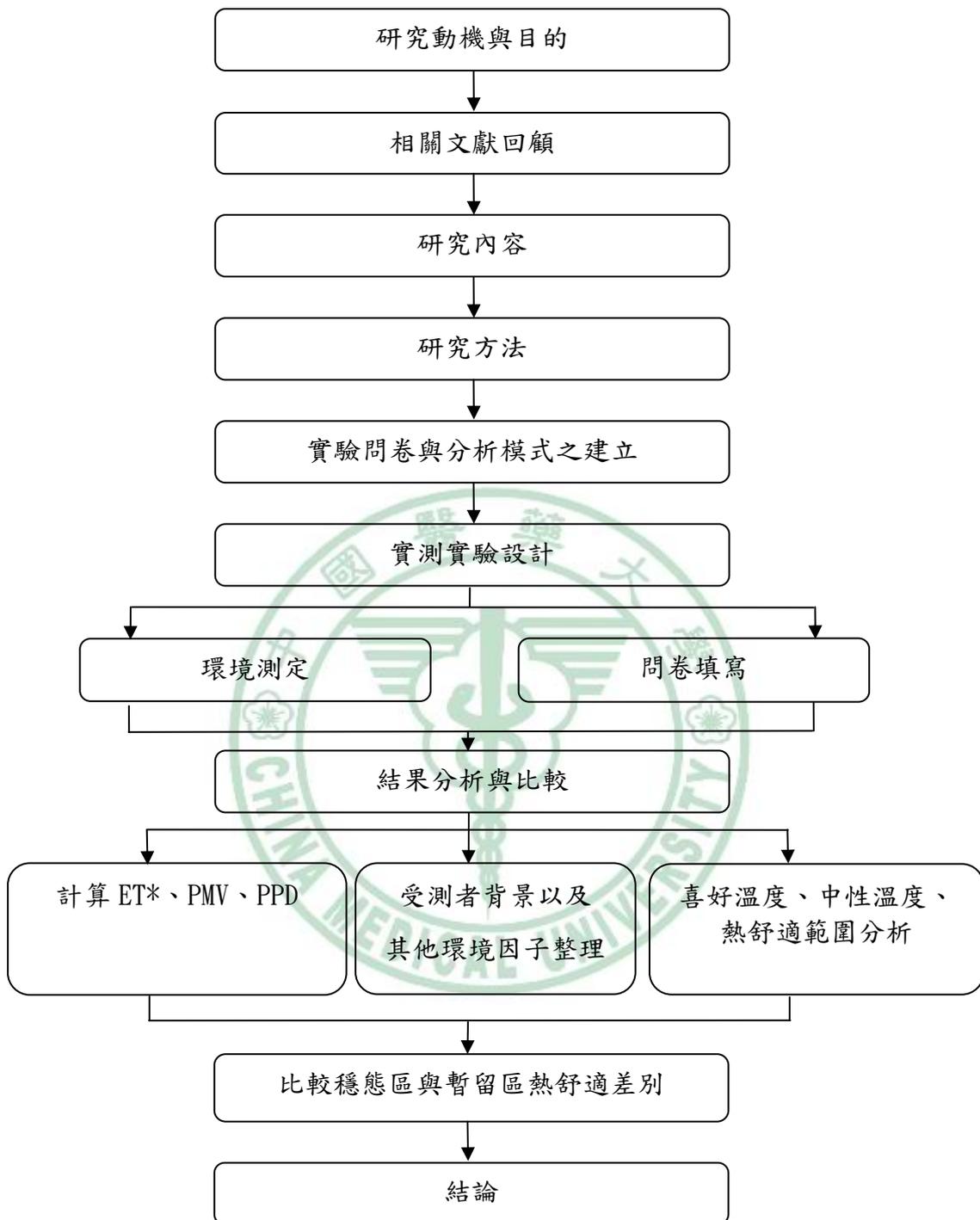


圖 1-4 研究流程

## 第二章 研究方法

### 第一節 調查對象

本文主要目的是想要調查暫留區人們的熱舒適性，因此選擇有許多人進出且停留不久的場所進行實驗。本研究選擇位於台中市北區某家公司的一樓顧客服務中心進行定點長時間調查。顧客服務中心是員工與顧客直接面對面辦理業務的窗口，員工長時間處於客服中心內工作，顧客從溫度較高的室外進入有空調系統的客服中心，停留時間大多不超過30分鐘。該棟大樓共有20層樓，地上十八層樓地下二層樓，坐東朝西，座落於中間有分隔島的四線道馬路旁，道路平日車輛往返眾多。大樓旁皆為獨棟式樓房，一部份為住家，一部份為店面，以經營餐飲業居多。大樓外觀貼了灰色壁磚，玻璃為青綠色反光玻璃，大樓兩旁皆有機車停車場，樓前馬路旁有汽車停車格，提供給辦理業務的顧客使用，大樓實際樣貌如圖2-1。

位於高層企業大樓一樓的顧客服務中心，面積約300 m<sup>2</sup>。整棟大樓是由中央式的FCU系統供應冷氣，高度約1m的櫃檯，將一樓室內空間分隔成員工辦公區與顧客等待區，圖2-2為顧客服務中心的平面配置。客服中心內共有25名員工，其中10人位於前方櫃檯區，有3個員工專門辦理繳費業務，其餘7人的工作項目是與客戶面對面，解決辦理顧客的需求與問題。另外的15位員工座位在櫃檯後方，處理電話顧客服務及其它行政業務。員工上班時間為早上8:00至下午5:00，中午有一個小時的休息時間，採輪休制度。

客服中心開放給予顧客辦理業務的時間為早上8:30至下午5:00，每天約有80~120個顧客至客服中洽公，其中一半以上為繳費，其餘則為申請辦理不同需求或申訴問題。顧客大多騎乘摩托車，停放於辦公大樓左右

側的機車停車區，再由門口前廣場經由自動旋轉門進入具有空調系統的客服中心，以需要辦理的業務分門別類抽取號碼排，平均等待時間不超過十分鐘。等待叫號的顧客隨興坐於顧客等待區面對櫃檯右側的圓桌區或是左側長椅上，聊天、翻閱報紙、看電視牆或填具申請表單。



圖2-1 實驗建築物外貌

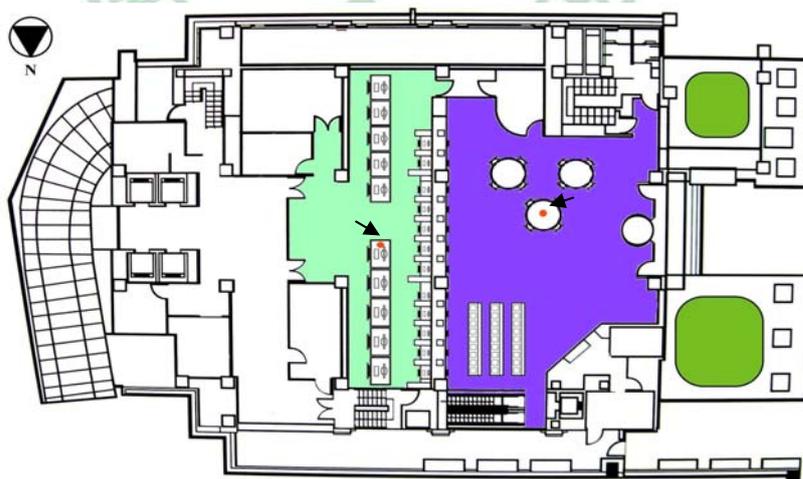


圖2-2 顧客服務中心平面圖及測點擺放位置

## 第二節 儀器設備

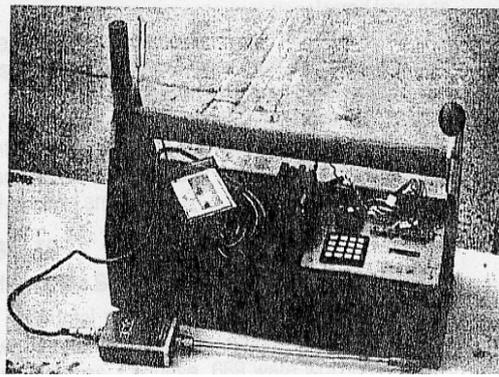
影響熱舒適的熱交換機制被以下六個因子影響：(1)乾球溫度(2)平均輻射溫度(3)相對溼度(4)空氣流動(5)活動量(6)衣著量。其中(1)~(4)皆屬於影響人體熱平衡的環境參數，必須依靠物理性測定儀器現場量測該環境下的物理條件。ISO STANDARD 7726 對於物理空氣溫度、平均輻射溫度、空氣速率與絕對溼度的性測定儀器有詳細規定，節錄於表 2-1。

表 2-1 ISO 7726 物理性測定所需儀器標準

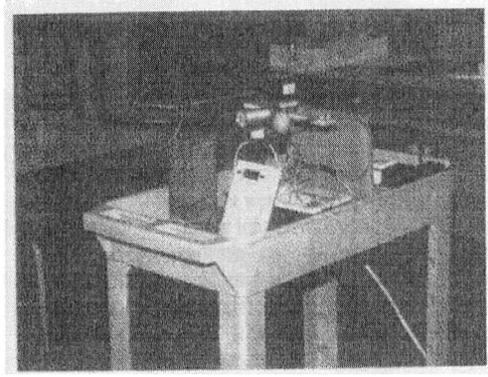
參數	測定範圍	準確度	反應時間 (90%)
空氣溫度	10~30°C	需求：±0.5°C 理想：±0.2°C 準確度在 $ t_r - t_a  \leq 10^\circ\text{C}$ 時有效	必須即時回應
平均輻射溫度	10~40°C	需求：±2°C 理想：±0.2°C	必須即時回應
空氣速率	0.05~1 m/s	需求：± $ 0.05 + 0.05V_a $ m/s 理想：± $ 0.02 + 0.07V_a $ m/s	反應時間 為十秒
絕對濕度 (以水蒸氣部分分壓示之)	0.5~25kPa	需求：±0.15kPa 基準在 $ T_{mrt} - T_a  \geq 10^\circ\text{C}$ 時，應確認符合要求。	依儀器的特性而定，原則上愈短愈好。
濕球溫度	無建議	無建議	無建議
黑球溫度	無建議	無建議	無建議

從過去至今使用現場實測方式進行熱舒適研究的學者，雖然所需的物理條件皆包含計算 SET\*、PMV 以及 PPD 的參數(黑球溫度、乾球溫度、相對溼度、衣著熱阻係數以及新陳代謝量)，但選用量測物理性環境因子所使用的儀器功能或許類似卻不盡相同。在過去曾經進行熱舒適相關實驗的學者所採用的儀器類型差異很大，1992 年 Busch<sup>(14)</sup>對泰國的辦公室環境進行調查，量測了乾球溫度、相對溼度、黑球溫度以及風速，所有的感測器與記錄器都裝在一個與標準工具箱類似大小的木盒中，如圖 2-3(a)，放置的高度與桌面高度相同。1998 年 Kwok<sup>(15)</sup>在夏威夷對中學自然通風以及空調教室進行調查，量測的環境因子有乾球溫度、黑球溫度、風速、溼度、二氧化碳濃度以及空氣微粒。所有儀器架設於推車上並與紀錄器連接，架設情形如圖 2-3(b)所示。

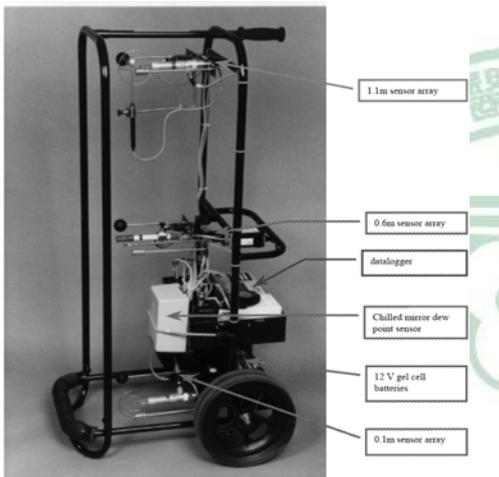
隨著時代進步，儀器愈來愈新穎，精密度也漸漸提高，後來研究熱舒適的學者在儀器上的選用也都遵循著 ASHRAE STANDARD 55 以及 ISO 7730 的規定。1998 年 Krzysztof<sup>(16)</sup>在澳洲的 Kalgoorlie -Boulder 對 22 個機械空調的辦公室環境進行研究，包括空氣溫度、黑球溫度、風速、露點溫度以及相對溼度，所使用的儀器如圖 2-3(c)。2005 年 Wang<sup>(17)</sup>量測了哈爾濱居住建築的熱舒適，量測的因子包括空氣溫度、相對溼度、不對稱輻射溫度以及風速。空氣溫度以及風速在三個高度量測，分別是 0.1 公尺、0.6 公尺以及 1.1 公尺；相對溼度於 1.1 公尺處量測。所使用的儀器照片如圖 2-3(d)、(e)。Henry<sup>(18)</sup>在印尼日惹對自然通風型住宅區熱舒適性探討研究，量測的因子包括空氣溫度、相對溼度、黑球溫度以及風速，其儀器設備如圖 2-3(f)所示。



(a) Busch所使用的儀器



(b) Kwok所使用的儀器



(c) Krzysztof所使用的儀器



(d) Wang所使用的儀器



(e) Wang所使用的儀器



(f) Henry所使用的儀器

圖2-3 其他熱舒適相關研究所使用的儀器設

從以上研究可知，雖然所測量的環境因子略有差異，可是某些因子如乾球溫度、黑球溫度、相對溼度或濕球溫度以及風速是每個研究中固定量測的參數。本研究參考過去的文獻與實驗的規畫，選擇了空氣溫度、相對溼度、風速以及輻射溫度作為量測的環境因子，在離地 1 公尺高的地方測量。溫度和相對溼度的測量是使用乾溼球電子式溫溼度計；風速是使用全方向性的熱線式風速計量器；平均輻射溫度的量測是使用 150mm 銅製黑球，將 K 型線式溫度棒置入黑球內，另一端連接紀錄器測得黑球溫度，再代入公式換算而得。其中平均輻射溫度是經由量測到的黑球溫度與空氣溫度帶入公式換算得知。其換算公式如下：

$$\bar{t}_r = [(t_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times v_a^{0.6} (t_g - t_a)]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (2-1)$$

其中，

$\bar{t}_r$ ：平均輻射溫度

$t_g$ ：黑球溫度

$v_a$ ：風速

$t_a$ ：乾球溫度；

所有感測器皆與紀錄器連接以即時紀錄實驗數據，並儲存在數據紀錄器中。本實驗所使用的儀器設備規格如表 2-2 所示。溫濕度與黑球感測器一起安裝於角架上，並與數據紀錄器組成一套室內氣候採擷系統；風速感測器與其專用紀錄器自成一套風速採擷系統，擺放在離地一公尺高的地方。實驗用儀器組合情形如圖 2-4 所示，儀器設備在實驗現場的擺放位置如圖 2-5(a)、(b)、(c)，圖 2-5(a)中圓圈標示為儀器擺放位置。

表 2-2 實驗儀器設備規格

項目	感測器	量測範圍(精密度)
乾球溫度	溫度感測器	-20~60°C(±0.7°C)
黑球溫度	K 型線式溫度棒 與標準黑球	-200~1370°C (讀值×0.01%±0.03°C)
相對溼度	RH 感測器	0~100%(±2.5%)
風速	全方向感測器	0~5m/s(±0.02m/s)
記錄器	CENTER314	每秒紀錄一次所有讀值

溫溼度感測器

風速感測器

溫度紀錄器

黑球

風速紀錄器



圖 2-4 現場量測用之室內氣候採擷系統



室內儀器擺放情形(a)



室內儀器擺放情形(b)



室外儀器架設情形(c)

圖 2-5 實驗現場量儀器擺放情況

### 第三節 衣著量與活動量介紹

衣著能減少人體熱量的流失進而調整人體的熱舒適感，例如冬季時人們會穿上厚重的衣物，以隔絕冷空氣的侵入，進而保持人體之溫度；夏季時，則會穿著短袖或通風涼快的衣物，以使體內溫度能快速散熱，保持溫度平衡，達到舒適程度。衣著的類別可根據其絕熱程度區分，一般衡量衣著的絕熱程度單位稱為 clo，當人全身赤裸時，衣著量為 0，而 1 clo 係指在 21.2°C、50%相對溼度、空氣流速為 0.1m/s 之條件下，人體感覺舒適時的衣著量，若以衣服隔熱程度表示則 1 clo 約等於 0.18m<sup>2</sup>h°C/kcl。各類服裝 clo 值詳列於表 2-3。因應氣溫變化，當人們覺得熱時，會選擇穿著較薄的衣褲，增加體熱擴散的速率；氣候愈寒冷，人們添加的衣物愈厚也愈多件，以達到阻絕熱量散失過快而保持住衣服內舒適的熱環境條件。

衣著量的計算是以累加方式算出全身的衣服量。參考表 2-3 的各類服裝 clo 值，例如參與本實驗進行的受測員工中的一位女性員工在夏天穿著內衣(0.01clo)、內褲(0.03clo)、短襯衫(0.19clo)、薄短裙(0.29clo)、短襪(0.02clo)與高跟鞋(0.03clo)，她的總衣著量為：

$$0.01 + 0.03 + 0.19 + 0.29 + 0.02 + 0.03 = 0.57(clo) \quad (2-2)$$

新陳代謝就是有機體生命代謝食物的吸收、變化、貯存與排泄過程的總和。人體進行一定的活動時就會在體內產生熱量，在人體換熱的能量交換過程計算中，新陳代謝扮演著重要角色。因此人體的新陳代謝率直接影響人體與周圍環境的熱交換。人體的新陳代謝率受到多種因素的影響，如肌肉活動強度、環境溫度高低、進食後時間長短、神經緊張程度、性別和年齡等。對單位面積的新陳代謝自由能產熱量 (M) 的估算乃是任何熱平衡物理分析方法的核心。在某些特定情況下

表2-3 各類服裝clo值

衣服の種類	Icl(clo)	衣服の種類	Icl(clo)
內衣		裙子	
胸罩	0.01	薄裙	0.14
短內褲	0.03	厚裙	0.23
男用內褲	0.04	薄無袖連身裙	0.23
T恤	0.08	厚無袖連身裙	0.27
短襯裙	0.14	薄短裙	0.29
長內褲	0.15	薄長裙	0.33
長襯裙	0.16	厚長裙	0.47
長內衣	0.20	毛線衣	
鞋類		薄無袖背心	0.13
運動短襪	0.02	厚無袖背心	0.22
連身褲襪	0.02	薄長袖	0.25
涼鞋	0.02	厚長袖	0.36
運動鞋	0.02	外套	
拖鞋	0.03	薄背心	0.10
皮鞋	0.03	厚背心	0.17
薄靴	0.06	單層薄夾克	0.36
厚靴	0.10	單層厚夾克	0.42
上衣		雙層薄夾克	0.44
無袖上衣	0.13	雙層厚夾克	0.48
短袖運動衫	0.17	睡衣	
短襯衫	0.19	薄無袖短睡衣	0.18
長襯衫	0.25	薄無袖長睡衣	0.20
長棉絨襯衫	0.34	短袖病衣	0.31
長運動衫	0.34	薄短袖睡衣	0.34
褲子		薄短睡褲	0.42
短褲	0.06	厚長袖睡衣	0.46
短運動褲	0.08	厚長袖短睡衣	0.48
薄西裝褲	0.15	厚長睡褲	0.57
厚西裝褲	0.24	厚長袖長睡衣	0.69
長運動褲	0.28		
馬褲	0.30		
吊帶褲	0.49		

，借助量測受試者的呼吸量和耗氧量就可以精確地確定 M 值。但這並非在任何場合都是可行的，我們必須從已發表的量測數據中來估算代謝率。代謝率從可由新陳代謝率表查到，表 2-4 列出了一般人在連續活動的狀態下的新陳代謝率。Met 為用來表示每單位 Dubois 面積的能量代謝率的單位，一個靜坐的人的能量代謝率為  $1\text{met}=58.2\text{W}/\text{m}^2$ 。

本實驗的實驗對向為顧客服務中心的員工與顧客，員工皆坐著處理業務，顧客來到客服中心，會先坐著休息等待叫號，輪到自己時，便坐在櫃檯前方，與員工面對面辦理業務。不管是員工與顧客皆處在相同狀態下的新陳代謝活動中，在辦公室內的活動類型從表 2-4 可以查得本實驗研究對象為事坐著整理文件的活動狀態，新陳代謝率為  $70\text{ W}/\text{m}^2$  或  $1.2\text{met}$ 。

#### 第四節 問卷內容

在問卷題目設計時，參考了幾份樣式不同的問卷，包括ASHRAE STANDARD 55與其推動的RP-462、702、821及921的問卷格式，其中RP-462是屬於較為簡易的問卷代表，RP-921問卷問答題數較多且完整，但卻也冗長。簡易與完整版問卷的相同點為它們皆將問卷概分為三大部份(基本資料、熱感覺與衣著量)，表2-5與表2-6列了RP-462<sup>(15)</sup>與RP-921部份問卷樣本。本實驗問卷針對員工與顧客對熱環境的需求及考慮填寫的便利性，從參考問卷裡挑選出重要且合適的題目設計成本實驗問卷。本實驗問卷共有7大題目，包含受測者背景資料、對熱環境的感覺詢問及其他環境因子滿意度調查，實際問卷顯示於表2-7。

表2-4 人體在不同狀態下的新陳代謝率

活動類型	活動狀態	W/m <sup>2</sup>	met
休息狀態	睡眠	40	0.7
	躺著	45	0.8
	靜坐	60	1.0
	放鬆地站立	70	1.2
行走	0.89m/s	115	2.0
	1.34m/s	150	2.6
	1.79m/s	220	3.8
辦公室內的活動	坐著看書	55	1.0
	寫字	60	1.0
	打字	65	1.1
	坐著整理文件	70	1.2
	站著整理文件	80	1.4
	徘徊	100	1.7
	舉東西/打包	120	2.1
駕駛/飛行	轎車	60~115	1.0~2.0
	飛機(正常飛行)	70	1.2
	飛機(著陸)	105	1.8
	飛機(戰鬥)	140	2.4
	重型車輛	185	3.2
其它工作活動	烹調	95~115	1.6~2.0
	打掃房間	115~200	2.0~3.4
	劇烈地四肢運動(坐姿)	130	2.2
機械加工	鋸	105	1.8
	輕型(用電工業)	115~142	2.0~2.4
	重型	235	4.0
	手提50kg的物品	235	4.0
	挖掘和鏟	235~280	4.0~4.8
其它休閒活動	跳舞(社交時)	140~255	2.4~4.4
	美容體操/鍛鍊	175~235	3.0~4.0
	打網球(單打)	210~270	3.6~4.0
	打籃球	290~440	5.0~7.6
	扳手腕(比賽)	410~505	7.0~8.7

員工與顧客使用的問卷相同，問卷內容分成三個主要部份。第一部份是詢問有關性別、年齡、身高、體重與衣著量等個人基本資料。第二部份是請受試者對所處的環境進行包括熱感覺、熱喜好和熱接受度的熱環境評估。其中熱感覺是採用 ASHRAE 傳統七個等級的熱感覺尺度，分別表示由冷至熱每個區間的感受程度，其定義範圍為：-3(冷)、-2(涼)、-1(微涼)、0(適中)、1(微暖)、2(暖)、3(熱)。本問卷為了讓受試者感受更明確，將此七個特級的熱感覺尺度細分成十三個選項，如表 2-7 中的第 4 題。熱喜好是詢問受試者對環境的喜好度，喜歡調涼爽點、不用改變或希望調暖和點，經由這個問題可以了解受訪者如果擁有選擇熱環境的權利，每個人的偏好。熱接受度則是直接詢問能否接受現在的熱溫度，以了解受試者在不能任意改變熱環境的狀態下，是否能夠接受所處的環境。

第三部份是詢問受試者對所處環境下的光環境、音環境、空氣品質的特性給予從很不滿意到很滿意的六個等級的評分。這個部份的結果，主要是用於調查受試者對顧客服務中心其他環境因子的滿意度是否會影響其對熱舒適的感覺，也是避免受試者將其對顧客服務中心裡的其他環境因子的不滿，轉移到對熱環境的評估上。

## 第五節 實驗步驟

本研究以現場量測與問卷調查同步進行的方式進行實測，以了解員工與顧客對於顧客服務中心環境的熱舒適要求。研究進行時間從 2006 年五月至十月份的週二、四早上 9:00 至下午 4:00 進行實驗，共進行了 22 次實驗。由於客服中心大廳內的環境並無顯著的變動，因此進

表 2-5 RP-462 問卷

<b>THERMAL ENVIRONMENT SURVEY</b>		Survey Number:
WHITE SECTIONS TO BE FILLED IN BY OCCUPANT		Surveyor's Name:
1. Occupant's Name:	<b>11. Occupant Location in Area</b> (Place an "X" in the approximate place where you most often work.) 	
2. Date:		
3. Time:		
4. Approx. Outside Air Temperature (°F or °C):		
5. Sky: <input type="checkbox"/> Clear <input type="checkbox"/> Mixed (Sun & Clouds) <input type="checkbox"/> Overcast		
6. Seasonal Conditions <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Spring <input type="checkbox"/> Summer <input type="checkbox"/> Fall		
<b>7. Occupant's Clothing</b> Please refer to the attached Table 1. Place a check mark next to the articles of clothing that you are currently wearing as you fill out this sheet. If you are wearing articles of clothing not listed in the table, please enter them into the space provided below. Article: Article:	<b>SURVEYOR'S USE ONLY</b> Clothing Insulation Summary: Total $I_{cl}$ = _____ clo	
<b>8. Occupant Activity Level</b> (Check the one that is most appropriate) 1. <input type="checkbox"/> Reclining 2. <input type="checkbox"/> Seated Quite 3. <input type="checkbox"/> Office, school 4. <input type="checkbox"/> Standing Relaxed 5. <input type="checkbox"/> Light Activity Standing 6. <input type="checkbox"/> Medium Activity, Standing 7. <input type="checkbox"/> High Activity	<b>Metabolic Rates (met)</b> 1. 0.8 met 2. 1.0 met 3. 1.2 met 4. 1.2 met 5. 1.6 met 6. 2.0 met 7. 3.0 met	
<b>9. Equipment</b> (Equipment adding or taking away from the heat load.)		<b>Total Heat Added/ Subtracted</b>
<b>Item</b> (computers, copiers, lighting, fans, etc.)	<b>Quantity</b>	
<b>10. General Thermal Comfort</b> (Check the one that is most appropriate) 1. <input type="checkbox"/> Hot 2. <input type="checkbox"/> Warm 3. <input type="checkbox"/> Slightly Warm 4. <input type="checkbox"/> Neutral 5. <input type="checkbox"/> Slightly Cool 6. <input type="checkbox"/> Cool 7. <input type="checkbox"/> Cold	<b>Thermal Sensation Scale</b> 1. +3 2. +2 3. +1 4. 0 5. -1 6. -2 7. -3	
<b>General Environment Comments:</b>		<b>Area Summary:</b> Room/Building Type:
		Outside Relative Humidity: %
		Thermostat Setting: °F or °C
		Humidity setpoint: %
		Total Number of Occupants:



表 2-6 ASHRAE STANDARD 55 編號 RP-921 問卷(續)

5. Please select the boxes that best represent how you feel at the moment about the AIR MOVEMENT in your office.

6	<input type="checkbox"/>	very acceptable
5	<input type="checkbox"/>	moderately acceptable
4	<input type="checkbox"/>	slightly acceptable
3	<input type="checkbox"/>	slightly unacceptable
2	<input type="checkbox"/>	moderately unacceptable
1	<input type="checkbox"/>	very unacceptable

I would like:

3	<input type="checkbox"/>	more air movement
2	<input type="checkbox"/>	no change
1	<input type="checkbox"/>	less air movement

6. (General Comfort) How comfortable is your office right now?

6	<input type="checkbox"/>	very comfortable
5	<input type="checkbox"/>	moderately comfortable
4	<input type="checkbox"/>	slightly comfortable
3	<input type="checkbox"/>	slightly uncomfortable
2	<input type="checkbox"/>	moderately uncomfortable
1	<input type="checkbox"/>	very uncomfortable

7. (Temperature) What would you estimate the temperature to be RIGHT now? \_\_\_\_\_

8. (Activity) What activities have you been engaged in during the preceding hour?

	sitting quietly	sitting typing	standing still	on your feet working	driving a car	walking around
Last 10 minutes?	<input type="checkbox"/>					
The 10 minutes preceding?	<input type="checkbox"/>					
The 10 minutes before that?	<input type="checkbox"/>					
The half hour before that?	<input type="checkbox"/>					

表 2-7 本研究問卷內容

1. 填寫日期：\_\_\_\_\_時間（上午/下午）：\_\_\_\_\_地點：\_\_\_\_\_

2. 性別：\_\_\_\_\_年紀：\_\_\_\_\_身高：\_\_\_\_\_公分，體重：\_\_\_\_\_公斤

3.請填寫目前穿衣類型

3.1 衛生衣：【  】 1 無 2 短袖 3 長袖；【  】 厚薄度：1 薄 2 中等 3 厚

3.2 衣服：【  】 1 無 2 短袖 3 長袖；【  】 厚薄度：1 薄 2 中等 3 厚

3.3 褲(裙)子：【  】 1 無 2 短褲 3 長褲；【  】 厚薄度：1 薄 2 中等 3 厚

3.4 外套：【  】 1 無 2 短袖 3 長袖；【  】 厚薄度：1 薄 2 中等 3 厚

3.5 襪子：【  】 1 無 2 短襪 3 長襪；【  】 厚薄度：1 薄 2 中等 3 厚

3.6 鞋子：【  】 1 無 2 涼鞋(拖鞋) 3 包鞋

3.7 其他：【  】 1 無 2 圍巾 3 手套 4 圍巾與手套

**底下的問題我們想了解您對目前的室內狀態的感覺**

4. 請根據您對所處環境目前的熱環境的感覺，請直接圈選合適的數值代表：

冷	涼	微涼	剛好	微暖	暖	熱						
-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3

【  】 5. 您覺得目前的熱環境條件：1 可以接受 2 不能接受

【  】 6. 您希望目前的熱環境如何調整：1 調涼爽點 2 不用改變 3 調暖和點

7. 請對下列室內的環境特性，依您個人的感覺填寫合適的數值：

(1 很不滿意 2 不滿意 3 稍不滿意 4 稍滿意 5 滿意 6 很滿意)

【  】 7.1 光環境方面

【  】 7.2 音環境方面

【  】 7.3 室內空氣品質方面

行物理性量測時，在員工辦公區與顧客等候區各選擇一個離地一公尺高的代表性位置進行測量，在戶外也有另一套設備同時記錄戶外的氣候狀況。儀器設備擺放位置標示於圖 2-2 中箭頭所指的圓點。每次實驗在到達實驗現場後，先將實驗儀器置妥使其與周圍環境達穩定狀態。儀器安置完成後便啟動自動紀錄裝置，每十分鐘記錄一筆所量測到的乾球溫度、黑球溫度、相對溼度，風速則每五秒記錄一次。

參與實驗的人員包括客服中心的櫃檯員工與顧客，員工代表著處於長期停留區的受試者，顧客代表著短暫停留區的受試者。共有 12 位固定的櫃檯員工參與每次實驗受測，早上與下午各一次，受試員工包括九位女性員工，三位男性員工，每天平均服務顧客數在 80~120 人之間。顧客停留在該中心的時間約 30 分鐘內，實驗時採隨機選擇 20~30 位顧客參與實驗。每次實驗進行一開始，先將問卷發給參與實驗的員工受測者，待其較空閒時填寫，並紀錄填寫時所量測到的所有物理性環境參數。在顧客受試者部份，至顧客服務中心辦理業務的顧客中，找尋有意願參與的顧客，簡單介紹來意及實驗目的，在實驗人員的帶領下坐在實驗地點內的桌椅上，簡要說明實驗內容及問卷填寫方法後，讓受試者填寫一份問卷，並紀錄當時儀器上的物理性環境參數讀數，員工與顧客填寫問卷情形如圖 2-6 與圖 2-7。



圖 2-6 員工填寫問卷情形



圖 2-7 顧客填寫問卷情形

## 第三章 問卷與物測結果

### 第一節 受測者基本資料整理

本研究在 2006 年的五月至十月間，對顧客服務中心的員工與顧客進行 22 次實驗，共蒐集到 800 份有效樣本資料，其中代表穩定區受試者的員工問卷共 213 份，代表暫留區受試者的顧客問卷共 587 份。實驗期間有 12 位固定員工參與實驗進行，包括九位女性員工，三位男性員工。所有受測員工年齡分佈從 23 歲至 56 歲，平均年齡為 34 歲；身高介於 153~178 公分，平均為 165 公分高；體重介於 48~80 公斤，平均為 61 公斤重。

在實驗蒐集到的 587 份顧受測者問卷中，男性受測問卷有 260 份，占總問卷數的 44%，女性有 327 份，為總問卷數的 56%。參與實驗的女性顧客多於男性顧客，女性問卷數比男性多了 8%，是因為至顧客服務中心辦理業務或繳費的顧客女性比例較男性高，也因為家庭主婦較無時間壓力，參與實驗的意願比進出匆忙的上班族高出許多。

除了受測者的性別外，問卷中也詢問了年齡、身高與體重等基本資料。將參與實驗的員工與顧客受測者年齡以十歲為一個區間換算成百分比整理如圖 3-1。員工受測者在 20~30 歲之間為最大比例，占了 50%，其次為 30~40 歲及 50~60 歲，分別為 25%與 17%。顧客受訪者以 20~30 歲的人口為最多，占了所有受測者的 37%，其次為介於 30~40 歲之間的人口 22%與 40~50 歲的人口 20%，年紀愈高比例愈低，可以發現進出顧客服務中心的主要族群以青壯年為主。

圖 3-2 為員工與顧客受測者身高百分比分佈圖，從圖中看出員工的身高以 170~180 公分及 150~160 公分占大部份，分別為 33%及 42%。顧客受測者的身高分佈均勻，以 160~170 公分高的顧客受試者

占最高比例48%，向二端遞減，170~180公分的受試者占26%，150~160公分高的受測者占21%。

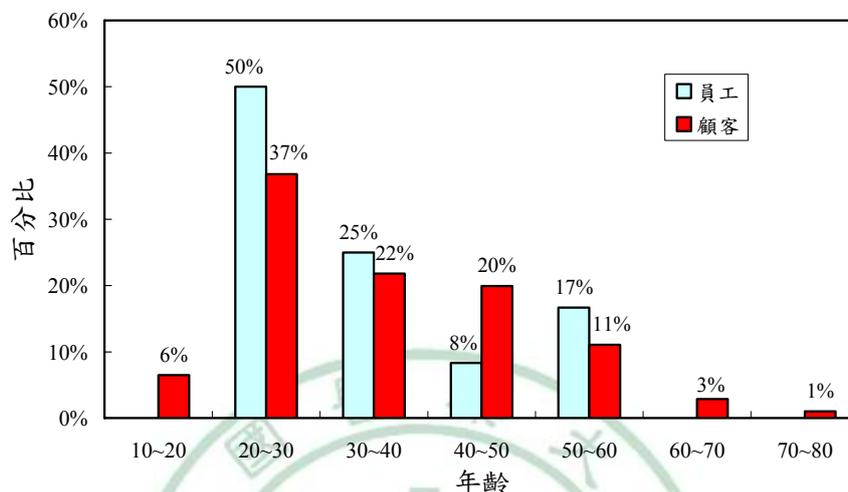


圖 3-1 員工與顧客受測者年齡百分比分佈

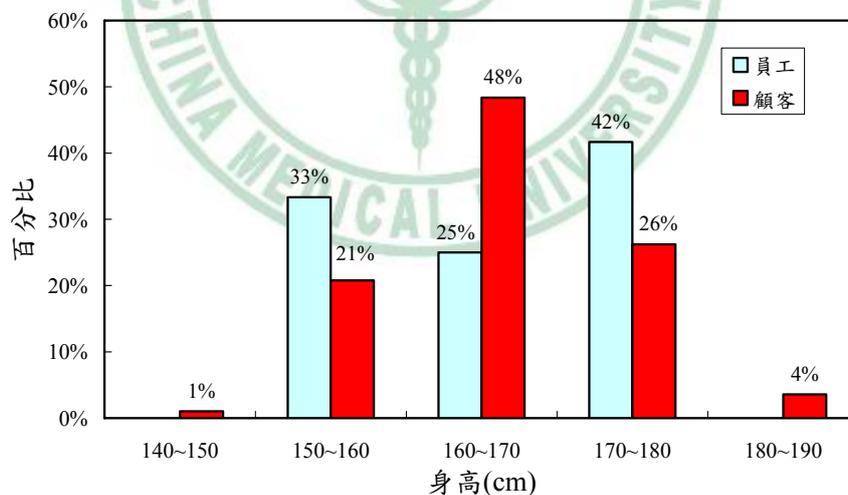


圖 3-2 員工與顧客受測者身高百分比分佈

在體重方面，50~60 公斤內的員工占了所有員工受測者的一半50%，其次為40~50公斤及80~90公斤，皆為17%。顧客受測者的體重分佈情形與他們的年齡分佈情況類似，以50~60公斤為最高點占了

36%，體重愈重，所占的比例也漸漸變低，60~70 公斤重占了 28%，70~80 及 40~50 公斤重的人數分別占了 14%，員工與顧客受測者體重百分比分佈情形顯示於圖 3-3。

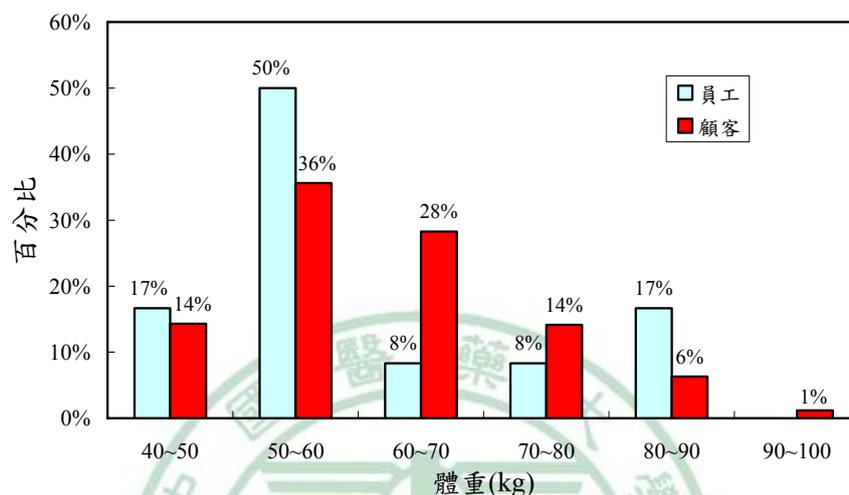


圖 3-3 員工與顧客受測者體重百分比分佈

## 第二節 衣著量整理

實驗時間在 2006 年的五月至十月，為台灣的夏季。女性員工穿著公司制服(短袖襯衫與短窄群)，因各人喜好不同有些人習慣著褲襪或絲襪，穿著包鞋或涼鞋；男性員工則穿著短袖襯衫與西裝長褲的制服，加上短襪與皮鞋。空調環境溫度如果較涼，覺得冷的員工會添加冬季的制服外套。顧客的衣著類型相較於員工廣泛了許多，各種厚薄度不同的短袖、長袖、短褲、短裙、長褲與長襪，短襪、長襪與各式鞋類，有些騎乘機車的顧客，穿著外套進出。將受測者在問卷上勾選的衣著型態換算出每位受測者的衣著量，將每筆衣著量整理計算出來顯示於圖 3-4，員工的衣著量介於 0.30~0.87 之間，平均衣著量為 0.50clo；顧客為衣著量介於 0.25~0.88 之間，平均衣著量為 0.51clo。

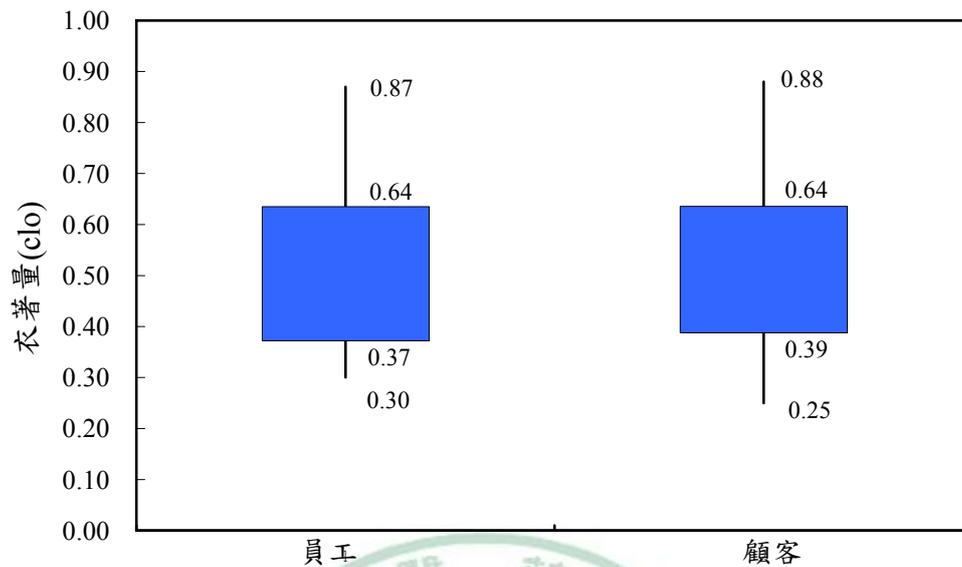


圖 3-4 員工與顧客受測者衣著量分佈情形

### 第三節 其他環境影響因子整理

在問卷的第三部份針對光環境、音環境與空氣品質環境因子進行調查，以了解其它環境因子是否會對受測者造成影響，使得熱環境評估來得不準確。將員工受測者對光環境、音環境及空氣品質因子的滿意度投票數整理於表 3-1，在每項環境因子中，選擇「稍滿意」及「滿意」的問卷數比其他滿意度選項來得高出許多。將所有投票數以百分比呈現於圖 3-5，有 85%的員工投票數對空氣品質表示滿意(選擇稍滿意、滿意與很滿意)；有 86%的員工投票數對音環境覺得滿意；有 88%的員工投票數滿意工作環境中光線給予的感受。

相同的為了排除其他環境因子的干擾，也對顧客進行環境因子的滿意度投票。將顧客受測者對光環境、音環境及空氣品質因子的滿意度投票數整理於表 3-2，選擇「稍滿意」及「滿意」的問卷數比其他滿意度選項來得高出許多。將所有投票數以百分比呈現於圖 3-6，有

92%的顧客投票數對空氣品質表示滿意(選擇稍滿意、滿意與很滿意)；有 85%的顧客投票數對音環境覺得滿意；有 90%的顧客投票數滿意顧客服務中心的光環境。

不論是員工或顧客受測者，對其它環境因子的感受大多覺得滿意，皆在 85%以上，如此一來，受測者在實驗進行時，對於熱感受的判定可以大膽排除受到其他因素影響而來得更精準。

表 3-1 員工受測者對其它環境因子投票數

	很不滿意	不滿意	稍不滿意	稍滿意	滿意	很滿意
光環境	1	4	22	77	79	30
音環境	6	7	20	75	82	23
空氣品質	1	8	25	79	78	22

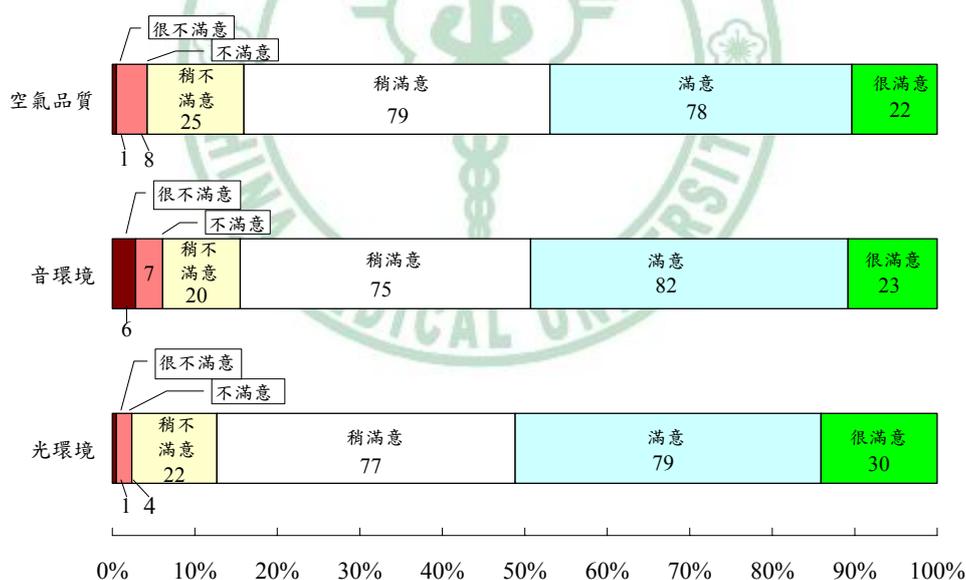


圖 3-5 員工受測者對其它環境因子反應分佈

表 3-2 顧客受測者對其它環境因子投票數

	很不滿意	不滿意	稍不滿意	稍滿意	滿意	很滿意
光環境	5	7	49	209	244	73
音環境	1	16	67	213	224	66
空氣品質	1	8	36	234	223	85

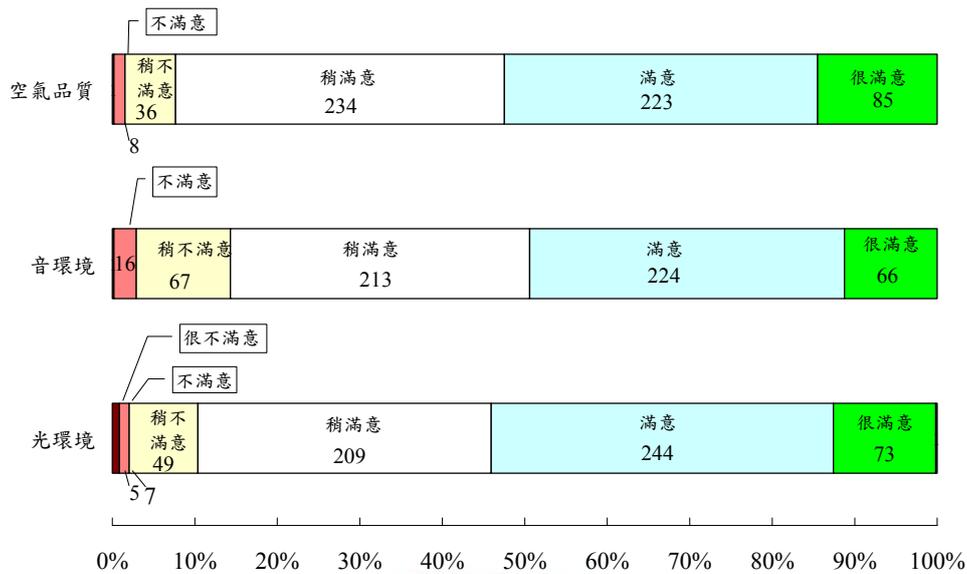


圖 3-6 顧客受測者對其它環境因子反應分佈

#### 第四節 物測數據彙整

實驗進行時，紀錄器會自動紀錄整個實驗過程中所量測到的溫溼度。表 3-3 為每次實驗量測到的室內乾球溫度、黑球溫度、相對溼度及風速的最大值、最小值、平均值及標準差。圖 3-7 為每一次實驗量測到的室內外溫度分佈，上層為室內溫度，下層為室外溫度。可以看出室內溫度在每次實驗所量測到的範圍較室外溫度來得小。整個實驗過程在室內所量測到的溫度分佈在 20°C~30°C 之間，每次實驗時間的全日室內溫差皆在 2°C 內，是因為顧客服務中心採用空調系統，溫度控制容易。室外所量測到的溫度分佈，因環境溫度的自然變化，室外溫度變化範圍較有空調系統的室內溫度範圍來得寬。實驗期間是台灣的夏季時間，室外溫度偏高，所量測到的室外溫度範圍在 26°C~36°C 之間。

將每次實驗量測到的室內、外溫度取其平均值顯示於圖 3-8，從圖中可以看出每次實驗室外溫度皆比室內溫度高，室內、外平均溫差

從 3°C 至 10.5°C 不等。

## 第五節 受測者的熱評估

本研究在實驗期間共進行了 24 次實驗，蒐集到 800 份有效樣本資料，其中代表穩定區受試者的員工問卷共 213 份，代表暫留區受試者的顧客問卷共 587 份。將參與每次實驗的員工受試者與顧客受試者問卷數，整理於圖 3-9 與圖 3-10。從圖中可以看出每一次所蒐集到的受試者問卷數數量有差異，是因為公司內部員工調度問題與當時洽公的顧客人數多寡，不同時期的工作量差異頗大。顧客多時，員工工作量大，也就是該公司所謂的旺季，顧客服務中心的員工持續處於忙碌狀態，參與實驗的意願相對來得也較低。當該公司沒有任何促銷活動或廣告推出時，顧客人數驟減，有意願參與實驗進行的顧客數就減少許多。

評估熱舒適的三個重要指標為熱感覺、熱喜好與熱接受度，也是問卷中最重要部份。圖 3-11 為員工與顧客受測者對熱感覺七個等級的投票數分佈。選擇微涼(-1)的員工投票數為最多，有 29%，其次為選擇剛好(0)的投票數占 27%，覺得涼(-2)的員工投票數也占了

表 3-3 每次實驗的物理性環境參數

實驗次數	乾球溫度				黑球溫度				相對溼度				風速			
	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差
1	26.1	25.2	25.5	0.4	26.0	25.2	25.6	0.2	72.5	65.9	68.2	1.7	0.3	0.2	0.3	0.0
2	23.4	22.6	22.9	0.2	23.5	22.6	22.9	0.3	69.3	62.6	65.6	2.2	0.2	0.0	0.0	0.0
3	26.5	23.4	25.8	0.5	26.7	25.8	26.4	0.2	93.5	73.5	76.4	3.8	0.1	0.0	0.0	0.0
4	29.8	28.9	29.4	0.2	30.1	29.5	29.8	0.2	63.2	59.6	61.5	0.8	0.3	0.0	0.1	0.1
5	28.7	27.3	27.7	0.3	28.7	27.8	28.1	0.3	54.9	49.8	52.4	1.5	0.2	0.0	0.1	0.1
6	27.9	26.5	27.3	0.3	29.5	27.2	28.0	0.5	59.5	47.9	49.6	2.0	0.5	0.1	0.3	0.1
7	27.2	26.3	26.6	0.2	28.2	27.0	27.3	0.3	51.9	48.1	50.1	0.9	0.2	0.1	0.1	0.1
8	28.9	28.0	28.4	0.3	29.2	28.2	28.8	0.2	52.9	44.9	47.9	2.8	0.3	0.0	0.1	0.1
9	28.7	28.3	28.6	0.1	29.2	28.3	29.0	0.3	49.1	46.0	48.3	1.2	0.1	0.0	0.1	0.0
10	29.2	28.0	28.5	0.3	29.9	28.4	29.3	0.3	57.4	50.1	54.4	2.4	0.2	0.0	0.1	0.1
11	22.3	21.6	22.1	0.2	23.8	22.5	22.8	0.3	67.0	60.0	65.7	1.1	0.2	0.1	0.2	0.0
12	22.3	20.7	21.4	0.6	23.6	21.1	22.1	0.9	68.0	62.5	65.2	1.8	0.5	0.1	0.3	0.1
13	21.7	21.0	21.4	0.3	22.1	21.2	21.6	0.3	67.6	63.3	65.3	1.2	0.4	0.1	0.3	0.1
14	21.0	19.8	20.3	0.3	23.0	20.3	20.8	0.5	68.1	62.0	65.6	1.5	0.5	0.1	0.3	0.1
15	21.2	20.3	20.6	0.3	21.7	20.9	21.2	0.3	64.2	61.7	62.7	0.8	0.4	0.1	0.2	0.1
16	21.2	20.1	20.7	0.4	21.5	20.3	20.8	0.5	61.1	57.3	58.7	1.3	0.4	0.0	0.2	0.1
17	21.2	20.0	20.8	0.3	21.6	20.7	21.2	0.2	67.3	62.7	64.2	1.3	0.6	0.1	0.3	0.1
18	24.5	23.0	23.7	0.5	24.5	23.4	24.0	0.3	58.0	53.9	55.2	1.1	0.2	0.1	0.2	0.0
19	23.6	22.9	23.2	0.2	23.9	23.4	23.6	0.2	58.9	55.3	56.9	1.0	0.3	0.1	0.1	0.1
20	23.3	22.7	22.8	0.1	24.1	23.2	23.4	0.2	56.5	54.2	55.1	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1
21	22.6	22.1	22.4	0.2	23.2	22.8	23.0	0.2	56.9	53.9	55.2	0.7	0.2	0.1	0.1	0.0
22	23.5	22.4	23.0	0.3	23.9	23.0	23.3	0.2	60.4	53.1	55.5	1.7	0.6	0.0	0.1	0.1

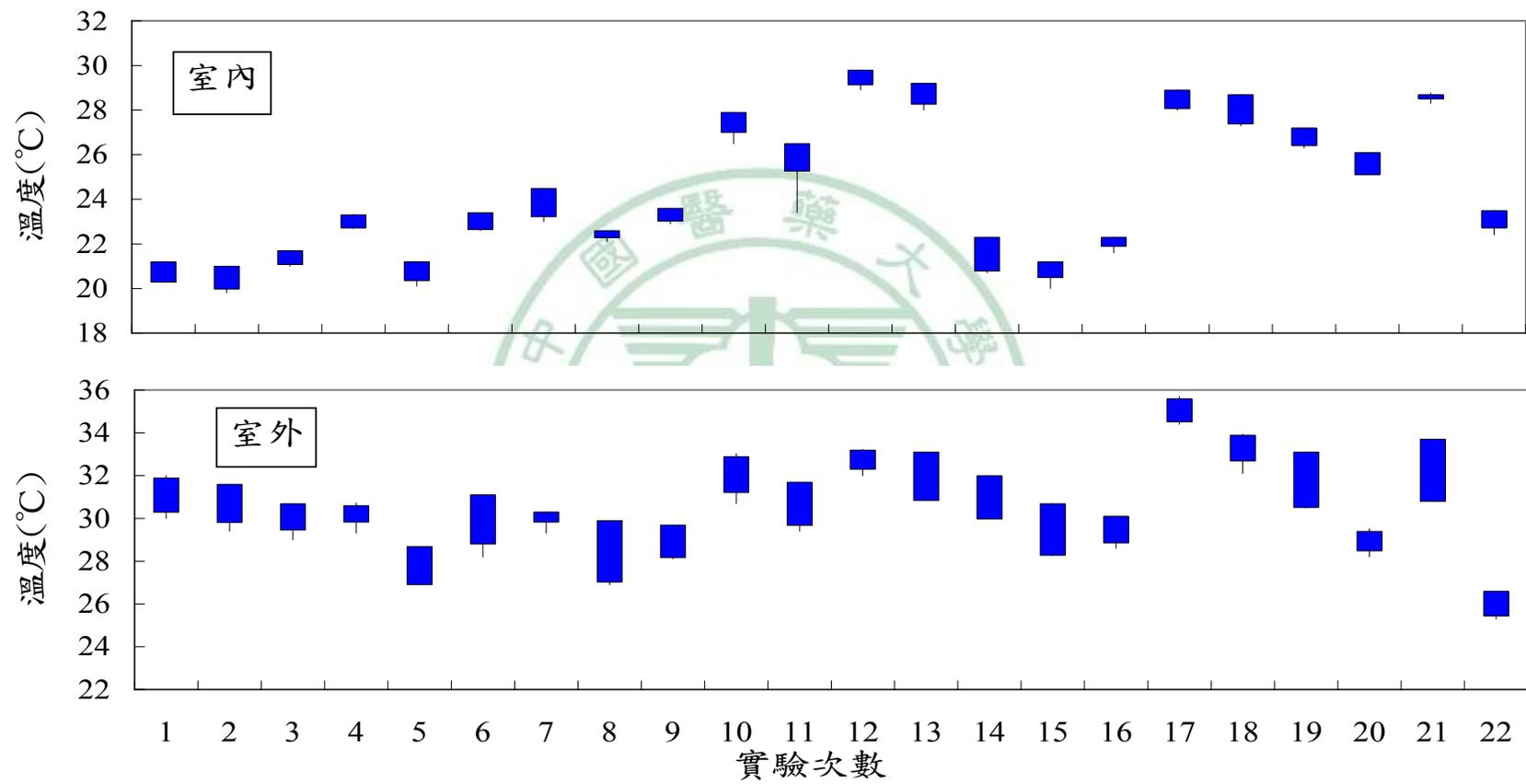


圖 3-7 每次實驗室內外溫度分佈範圍

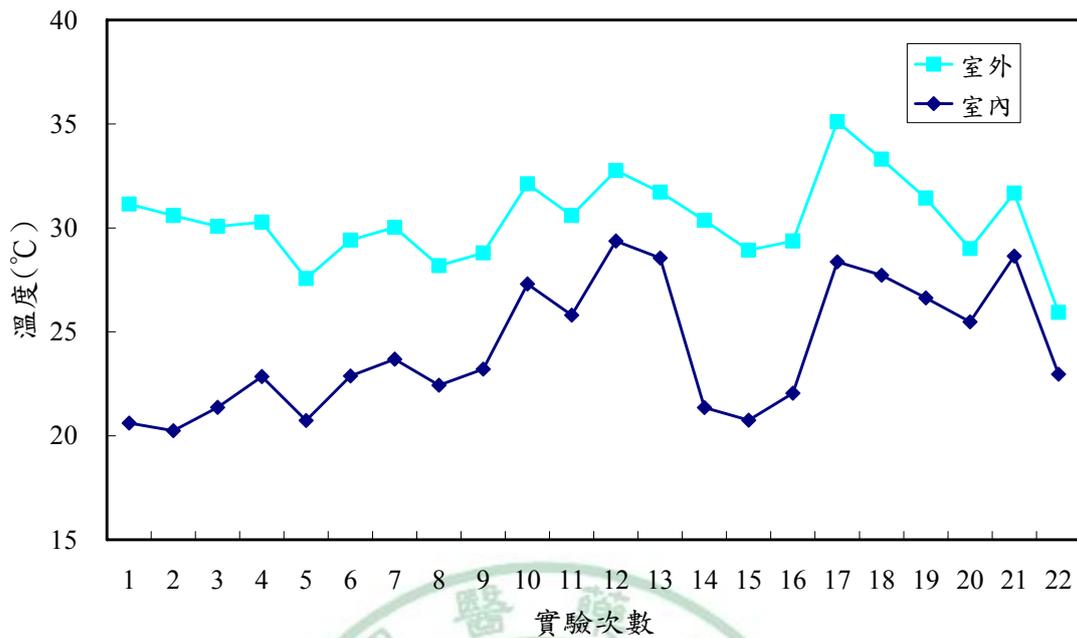


圖 3-8 每次實驗室內外溫度平均值分佈

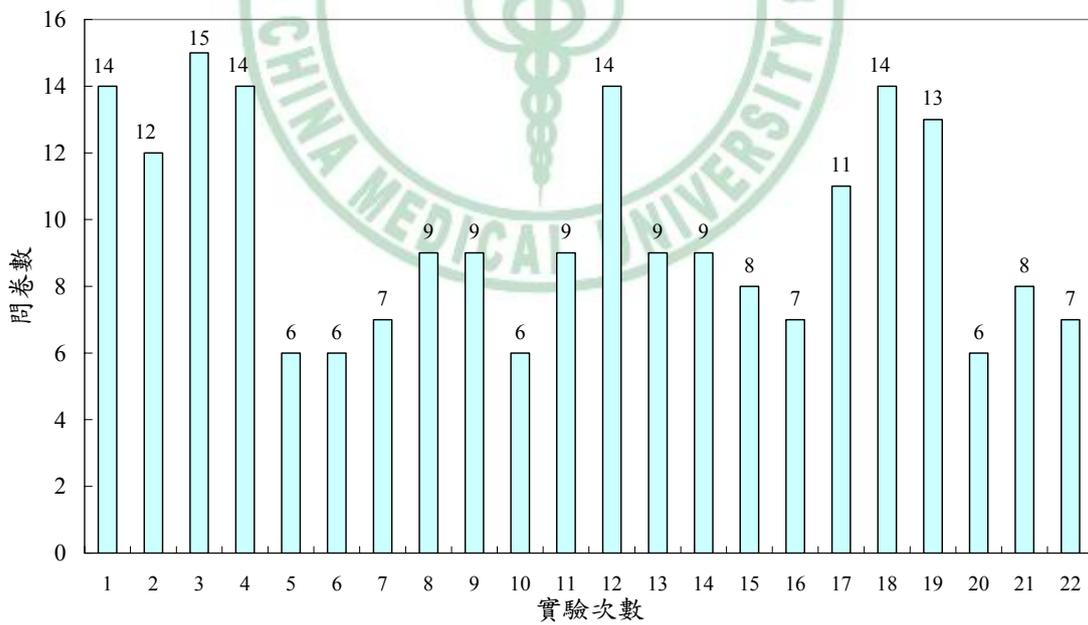


圖 3-9 每次實驗之員工問卷分佈

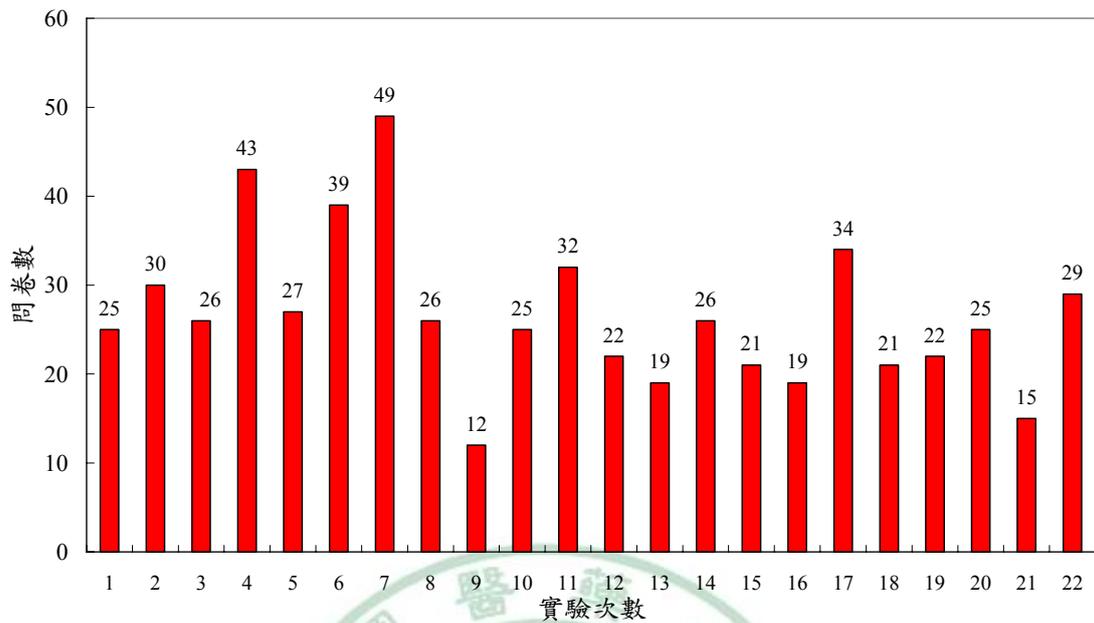


圖 3-10 每次實驗之顧客問卷分佈

23%。顧客受測者則以選擇剛好(0)的投票數百分比 28% 來得最多，覺得微涼(-1)與微暖(1)的顧客受測者問卷投票百分比分別為 27%與 18%。選擇冷(-3)、暖(2)與熱(3)的員工與顧客受測者相較於其他選項的熱感覺來得低許多。

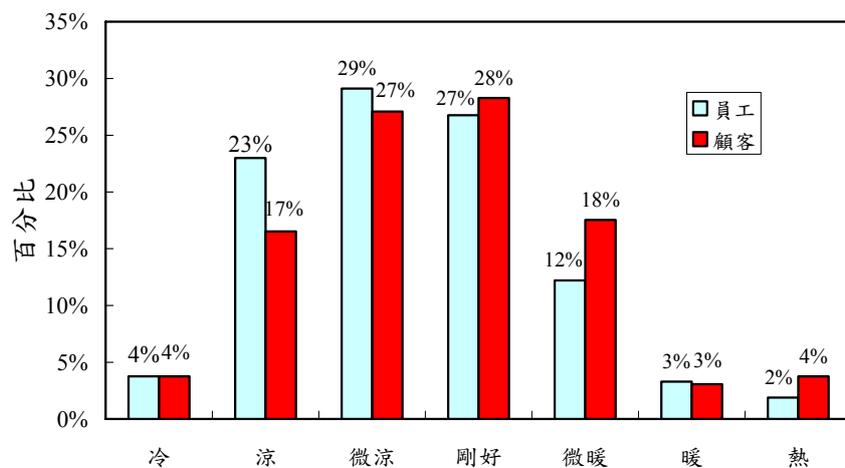


圖 3-11 受測者熱感覺分佈百分比

在員工受測者的熱喜好所有投票數中，有 65% 選擇「不用改變」，代表員工受測者大部份時間覺得適合當時工作環境的熱狀態，不需要再調冷或調暖。有 15% 覺得需要調冷及 20% 覺得需要調暖。在顧客受測者投票數中也有相同的情形，在 587 張有效問卷中，有 64% 的投票數選擇「不用改變」，代表顧客受測者有 377 人覺得喜歡當時客服中心的熱環境，有 19% 的受測者表示希望調涼及 17% 的受測者表示希望調暖。詳細分佈情況顯示於圖 3-12。

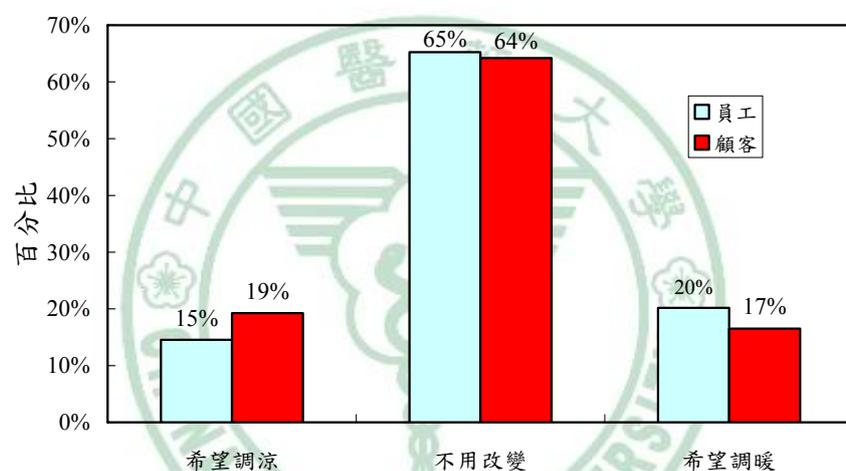


圖 3-12 受測者熱喜好分佈百分比

人們無法接受過冷或過熱的環境，但每個人體質不同，對於能夠接受或不能接受的溫度範圍差異頗大。圖 3-13 為員工與顧客受測者對顧客服務中心熱環境所做的接受度投票整理，在 213 份員工投票問卷中，有 159 票表示能夠接受客服中心的溫度，占了 75%。在 587 份顧客投票問卷中，有 478 票表示可以接受客服中心的熱環境，占了總投票數的 81%。顧客對客服中心的接受度多了員工 6%。

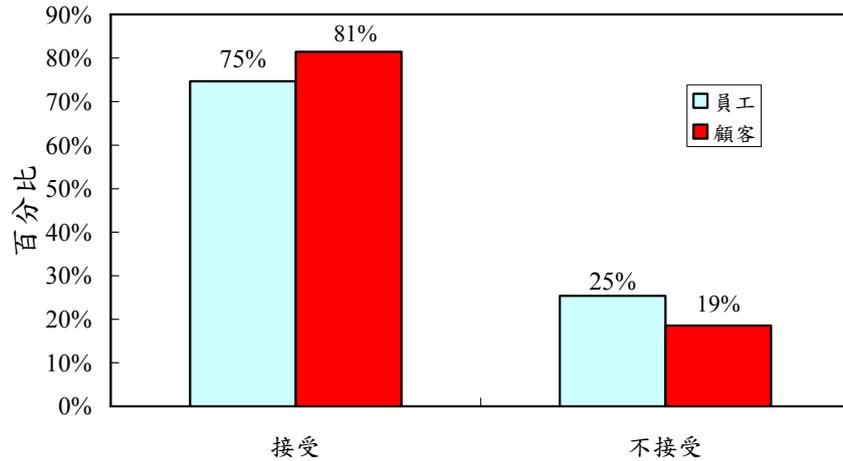


圖 3-13 受測者熱接受投票分佈百分比

將員工與顧客的問卷整理在當時量測到的物理性環境參數換算成操作溫度的每個溫度頻度下，整理於圖 3-14 與圖 3-15。操作溫度乃是乾球溫度與平均輻射溫度乘上以其對應的熱傳係數加權所得之指標。其公式如下：

$$T_o = \frac{h_c \times T_a + h_r \times T_{mrt}}{h_c + h_r} \quad (3-1)$$

其中，

$T_o$ =操作溫度 (°C)

$T_a$ =乾球溫度 (°C)

$T_{mrt}$ =平均輻射溫度 (°C)

$h_c$  對流熱傳係數

$h_r$  輻射熱傳係數

在圖 3-14 中，隨著溫度的上升，覺得熱的比例愈來愈高；隨著溫度的下降，覺得冷的員工比例漸漸上升。在操作溫度 25°C 時，有最高比例的員工投票數覺得剛剛好，在 24°C 時，有最高的員工比例覺得

微涼。在顧客受測者投票數中，從圖 3-15 可以看出在 26°C 時，有最高比例的顧客覺得剛剛好；在 23、24、25°C 時，選擇微涼占這三個操作溫度下的最高比例；在 27、28、29°C 時，選擇微暖占這三個操作溫度下的最高比例。

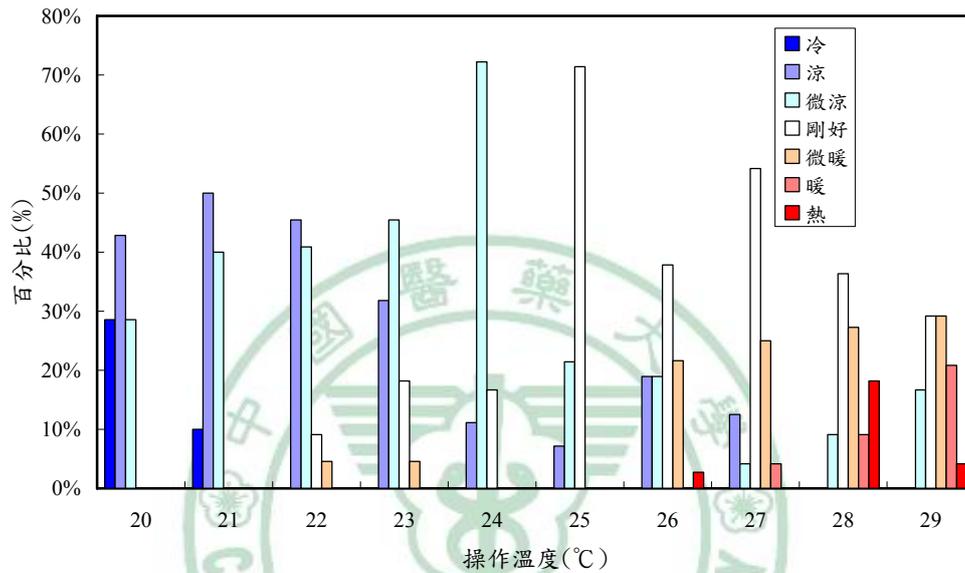


圖 3-14 員工在每個溫度梯度下的熱感覺百分比

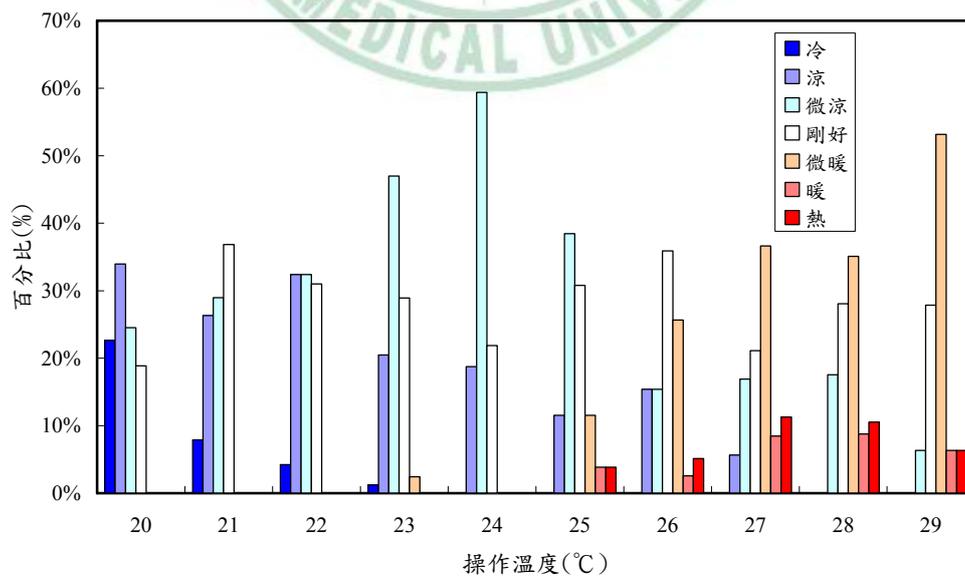


圖 3-15 顧客在每個溫度梯度下的熱感覺百分比

為了進一步了解員工與顧客在室內操作溫度下的分布情形，本文使用卡方齊一性檢定，來判斷每個溫度梯度下員工與顧客的熱感覺分佈。表 3-4 為卡方齊一性檢定的結果。在溫度頻度為 21°C 及 27°C 時，員工與顧客對熱感覺的分佈不一致，其餘溫度頻度皆表示相似。從分析檢定可以發現在 22°C~26°C 員工與顧客的熱感覺相同，在較冷或較冷的溫度下，就會出現不一致的熱感覺。

表 3-4 熱感覺卡方齊一性檢定結果

卡方 檢定	操作溫度(°C)									
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$\chi^2$ @	4.60	10.91	8.44	2.28	0.87	7.02	1.66	13.79	1.25	8.63
P 值	0.60	0.01*	0.08	0.68	0.83	0.22	0.89	0.02*	0.87	0.07

@95%水準的卡方值，在自由度等於 6 時，即  $\chi_{6,0.05}^2=12.59$ 。

\*未達顯著標準，即  $\chi^2 > \chi_{6,0.05}^2=12.59$  或 P 值  $< \alpha=0.05$ ，表示該溫度頻度下的性別或學校比例分配並不一致。

員工與顧客在每個操作溫度下的熱喜好百分比分佈如圖 3-16 與圖 3-17，員工在每個操作溫度下的百分比分佈可以明顯看出溫度愈高，「希望調涼」的比例跟著上升，從 20°C 的 0% 至 28°C 的 36% 與 29°C 的 25%。溫度愈低「希望調暖」的比例也隨著增加，從 29°C 的 8% 逐漸升高至 20°C 的 43%。但在每個溫度梯度下，占有所有投票數的最高比例皆為選擇「不用改變」。圖 3-9 為顧客在每個操作溫度下的百分比分佈，從圖中可以看出溫度愈高，「希望調涼」的比例跟著上升，從 20°C 的 2% 至 27°C、28°C 與 29°C 的 38%、25% 與 35%。溫度愈低「希望調暖」的比例也隨著增加，從 29°C 的 30% 逐次升高至 20°C 的 34%。顧客隨著溫度升高希望調涼增加的比例比員工來得多，希望調暖增加的比例比員工來得低。

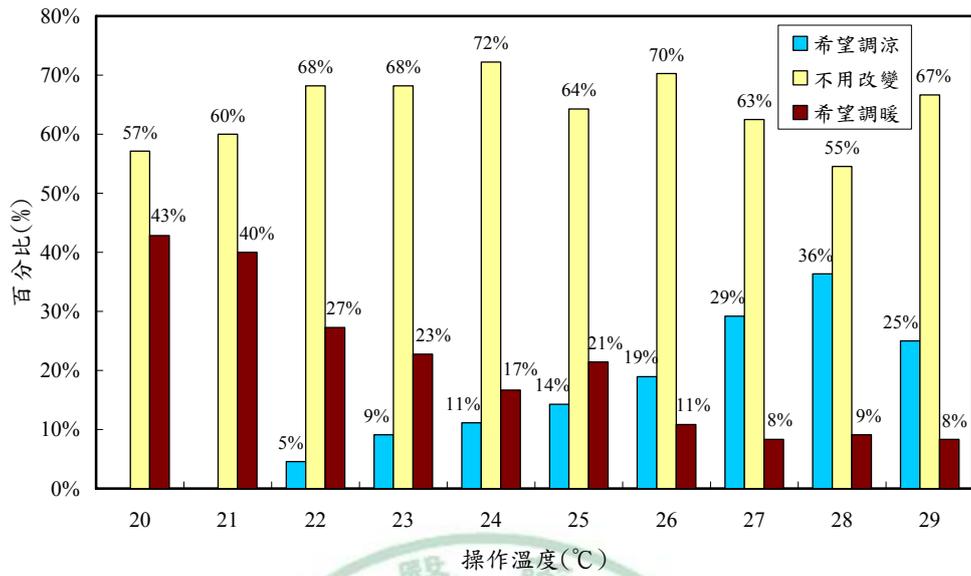


圖 3-16 員工在每個溫度梯度下的熱喜好百分比

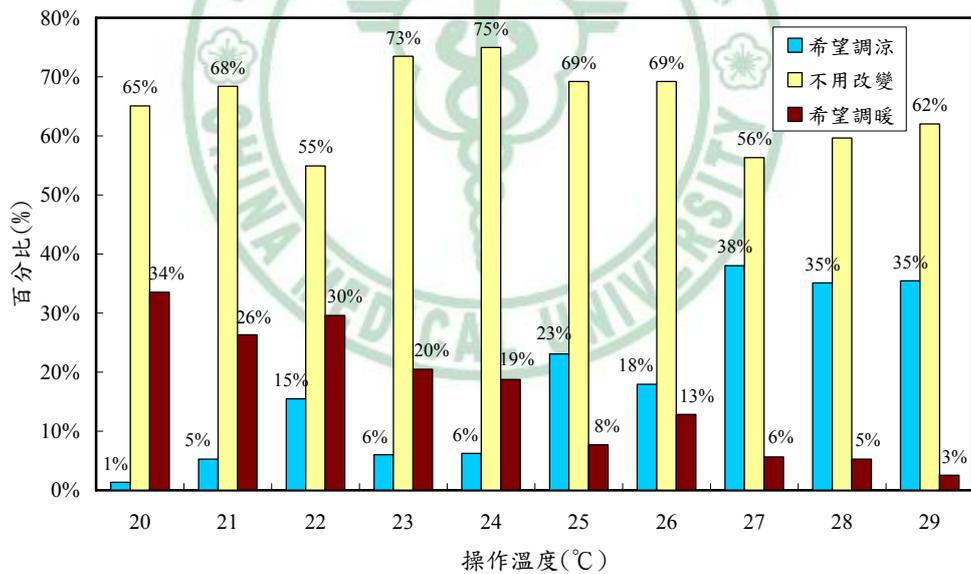


圖 3-17 顧客在每個溫度梯度下的熱喜好百分比

為了進一步了解員工與顧客在室內操作溫度下對熱喜好的分布情形，本文使用卡方齊一性檢定，來判斷每個溫度梯度下員工與顧客的熱喜好分佈。表 3-5 為卡方齊一性檢定的結果。在溫度頻度為 21°C 時，員工與顧客對熱感覺的分佈不一致，其餘溫度頻度皆表示相似。

表 3-5 熱喜好卡方齊一性檢定結果

卡方 檢定	操作溫度(°C)									
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$\chi^2$ @	1.75	10.91	2.10	0.35	0.38	1.76	0.08	0.72	0.27	2.27
P 值	0.42	0.01*	0.35	0.84	0.83	0.42	0.96	0.70	0.87	0.32

@95%水準的卡方值，在自由度等於 6 時，即  $\chi_{6,0.05}^2=12.59$ 。

\*未達顯著標準，即  $\chi^2 > \chi_{6,0.05}^2=12.59$  或 P 值  $< \alpha=0.05$ ，表示該溫度頻度下的性別或學校比例分配並不一致。

大部份員工受測者對熱環境的接受度表示可以接受，在 24°C 時有最高的接受度 94%，也就是有 6% 的員工受測者表示不能接受 24°C 的熱環境。隨著溫度提高或下降，表示不能接受的比例也跟著升高，員工在每個溫度梯度下的熱接受百分比如圖 3-18，在 21°C 時，有 40% 最高的不接受度。圖 3-19 為顧客在每個溫度梯度下的熱接受百分比，顧客受測者對熱環境接受度百分比分佈情形與員工類似，在 24°C 時到達百分之百的接受度，亦即沒有人覺得無法接受 24°C 時的熱環境。溫度上升與下降，選擇不接受的百分比也漸漸提高，但皆在 30% 內。從圖 3-18 與圖 3-19 可以得出 24°C 為員工與顧客接受度最高的溫度。

為了進一步了解員工與顧客在室內操作溫度下對熱接受的分布情形，本文使用卡方齊一性檢定，來判斷每個溫度梯度下員工與顧客的熱接受分佈。表 3-6 為卡方齊一性檢定的結果。在溫度頻度為 23°C 時，員工與顧客對熱接受的分佈不一致，其餘溫度頻度皆表示相似。

表 3-6 熱接受卡方齊一性檢定結果

卡方 檢定	操作溫度(°C)									
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$\chi^2$ @	1.29	3.03	2.05	8.23	1.81	0.15	0.16	1.00	0.10	0.04
P 值	0.26	0.08	0.15	0.00*	0.18	0.69	0.69	0.32	0.75	0.84

@95%水準的卡方值，在自由度等於 6 時，即  $\chi_{6,0.05}^2=12.59$ 。

\*未達顯著標準，即  $\chi^2 > \chi_{6,0.05}^2=12.59$  或 P 值  $< \alpha=0.05$ ，表示該溫度頻度下的性別或學校比例分配並不一致。

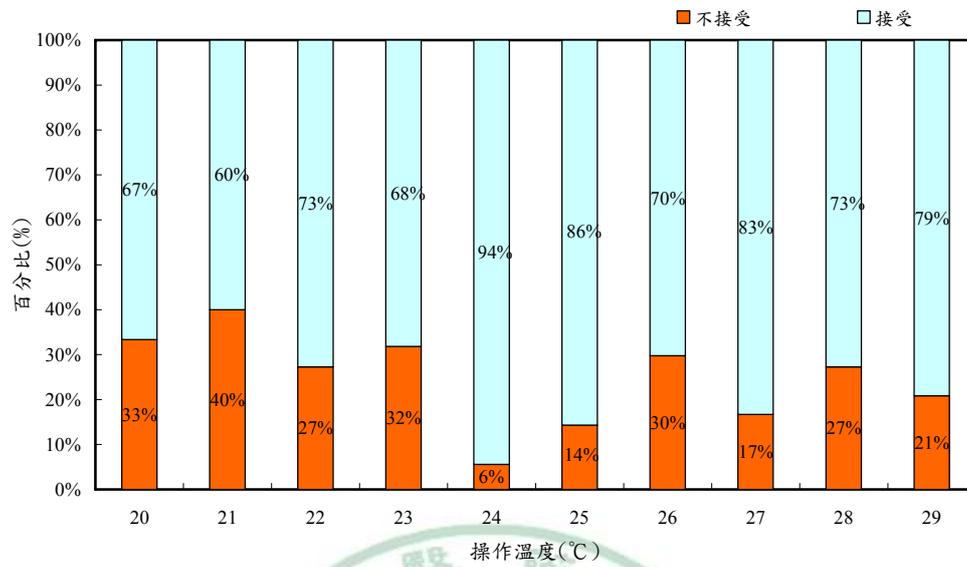


圖 3-18 員工在每個溫度梯度下的熱接受百分比

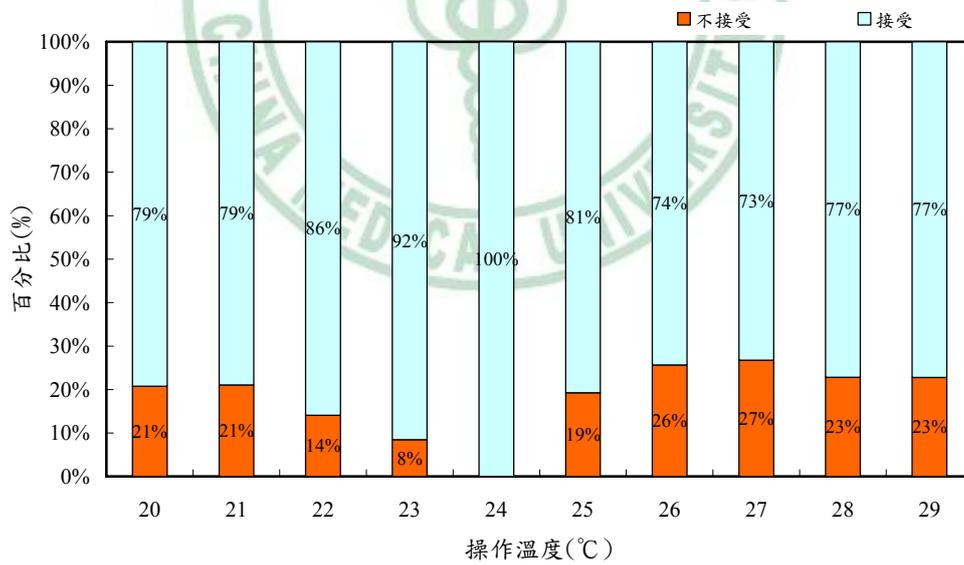


圖 3-19 顧客在每個溫度梯度下的熱接受百分比

## 第四章 討論

### 第一節 熱敏感度與中性溫度

熱敏感度是用來解釋室內人員對所處環境條件的敏感性，我們使用了每個溫度頻度的平均熱感尺度(MTSV)與 ET\*的迴歸曲線來了解辦公人員對室內溫度的敏感性。

將員工與顧客的熱感覺投票數調查結果，以每 1°C 為一頻度，將每一頻度中員工、顧客與全體受測者對七個熱感覺尺度的投票分布情形與該頻度下的 MTSV 統計整理於表 4-1、表 4-2 與表 4-3。

將表 4-1、4-2、4-3 中每一頻度內操作溫度與 MTSV 值使用線性迴歸分析，得出 MTSV 之線性迴歸線，顯示於圖 4-1、4-2、4-3，員工、顧客與全體受測者的熱敏感迴歸方程式分別如下：

$$\text{員工： } MTSV = 0.2682ET^* - 7.2624 \quad (4-1)$$

$$\text{顧客： } MTSV = 0.2245ET^* - 5.9562 \quad (4-2)$$

$$\text{全體： } MTSV = 0.2536ET^* - 6.8270 \quad (4-3)$$

表 4-1 員工對熱感覺投票數統計表

ET*	MTSV	熱感指標							合計
		-3	-2	-1	0	1	2	3	
20	-1.8	6	9	6	0	0	0	0	21
21	-1.6	2	10	8	0	0	0	0	20
22	-1.1	0	10	9	2	1	0	0	22
23	-0.9	0	7	10	4	1	0	0	22
24	-0.7	0	2	13	3	0	0	0	18
25	-0.4	0	1	3	10	0	0	0	14
26	-0.3	0	7	7	14	8	0	1	37
27	0.0	0	3	1	13	6	1	0	24
28	0.8	0	0	1	4	3	1	2	11
29	0.6	0	0	4	7	7	5	1	24

表 4-2 顧客對熱感覺投票數統計表

ET*	MTSV	熱感指標							合計
		-3	-2	-1	0	1	2	3	
20	-1.3	12	18	13	10	0	0	0	53
21	-0.9	6	20	22	28	0	0	0	76
22	-0.9	3	23	23	22	0	0	0	71
23	-0.7	1	17	39	24	2	0	0	83
24	-0.7	0	6	19	7	0	0	0	32
25	-0.2	0	3	10	8	3	1	1	26
26	0.0	0	6	6	14	10	1	2	39
27	0.5	0	4	12	15	26	6	8	71
28	0.6	0	0	10	16	20	5	6	57
29	0.6	0	0	5	22	42	5	5	79

表 4-3 全體受測者對熱感覺投票數統計表

ET*	MTSV	熱感指標							合計
		-3	-2	-1	0	1	2	3	
20	-1.7	18	27	19	10	0	0	0	74
21	-1.2	8	30	30	28	0	0	0	96
22	-1.1	3	33	32	24	1	0	0	93
23	-0.9	1	24	49	28	3	0	0	105
24	-1.0	0	8	32	10	0	0	0	50
25	-0.3	0	4	13	18	3	1	1	40
26	-0.1	0	13	13	28	18	1	3	76
27	0.5	0	7	13	28	32	7	8	95
28	0.7	0	0	11	20	23	6	8	68
29	0.8	0	0	9	29	49	10	6	103

每條迴歸線的判定係數( $R^2$ )皆在 0.9 以上。由公式(4-1)、(4-2)、(4-3)的斜率可以推算出，MTSV 每增加一單位，員工、顧客與全體受測者的 ET\*分別增加 3.7°C、4.5°C 與 3.9°C。可以發現對溫度變化的敏感度強弱由大至小為：員工>全體>顧客。

圖 4-4 為預測參數對 ET\*的分析圖，從圖中可以發現不論是員工、

顧客或全體受測者，因為衣著量相似，PMV 預測模型幾乎重疊。PMV 每增加一單位，預測出對溫度變化的敏感度，ET\*增加 3°C。將 PMV 預測模式與 MTSV 的敏感度比較，發現 PMV 預測模式得出的敏感度較員工、顧客與全體受測者來得敏感，會有此差異是跑為 PMV 公式存在著靜態模式，忽略了受測者的活動狀態與每位受測者之間的差別性。

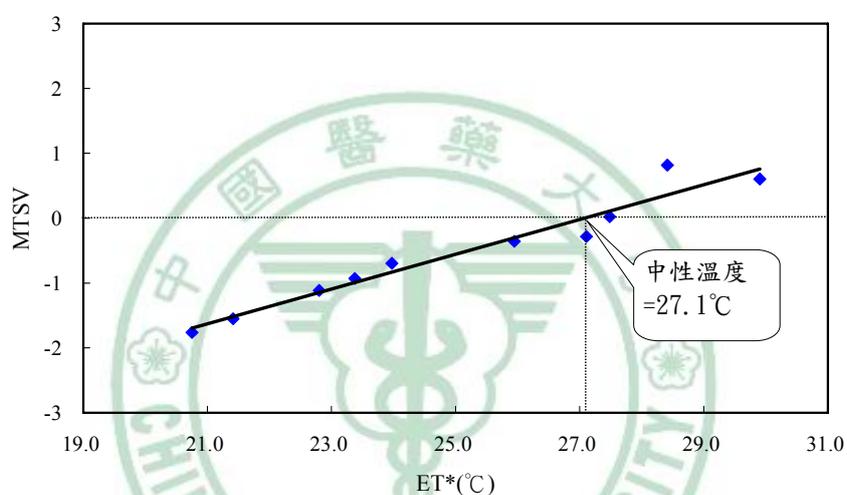


圖 4-1 員工的熱敏感與中性溫度分析

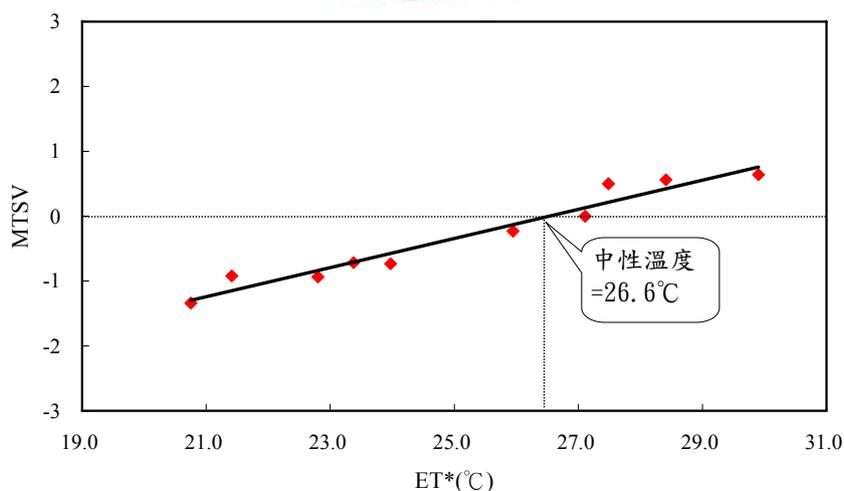


圖 4-2 顧客的熱敏感與中性溫度分析

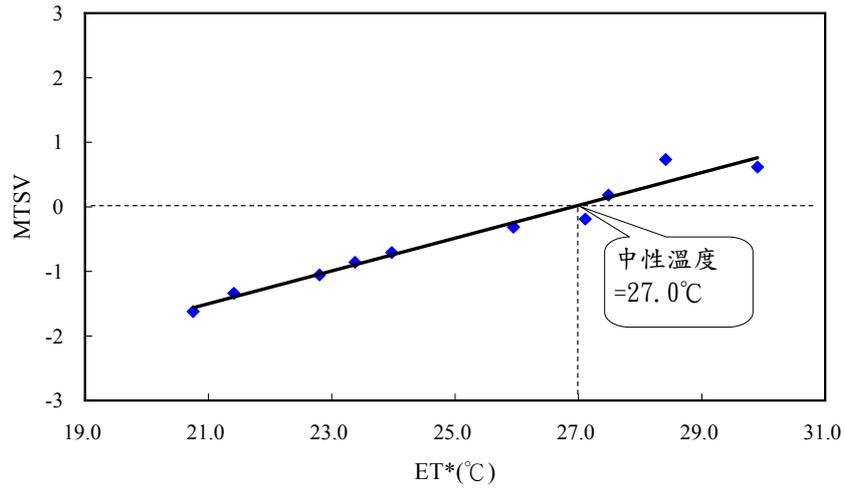


圖 4-3 全體的熱敏感與中性溫度分析

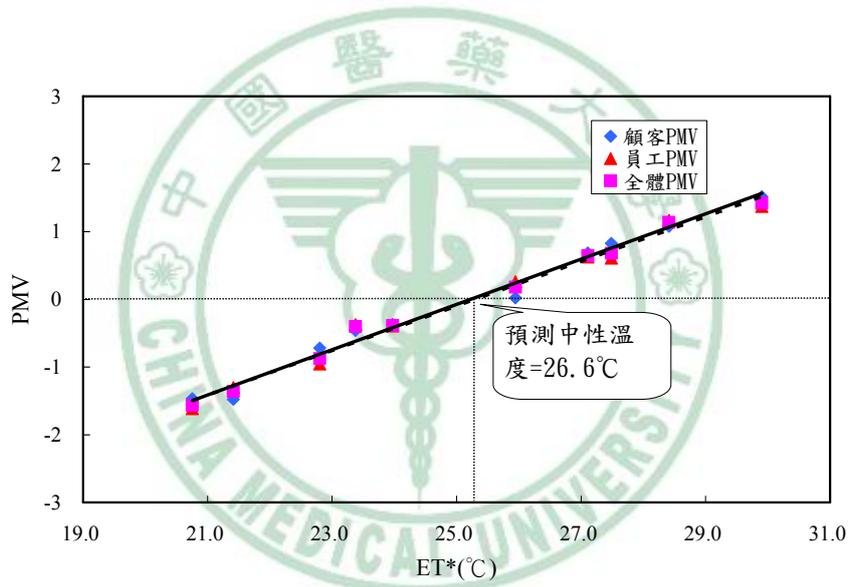


圖 4-4 員工、顧客與全體受測者 PMV 與中性溫度分析

中性溫度是指理論上人體感覺最舒適的環境溫度，可分為實測中性溫度和預測中性溫度。實測中性溫度是指受試者的實測熱感覺指標  $TSV=0$  時的環境溫度；而預測中性溫度是指當預測熱感覺指標  $PMV=0$  時的環境溫度。將圖 4-1、4-2、4-3、4-4 的 MTSV 與 PMV 值等於零所對應的溫度整理於表 4-4。員工的實測中性溫度為  $27.1^{\circ}\text{C}$ ，顧客的實測中性溫度為  $26.6^{\circ}\text{C}$ ，全體受測者的中性溫度介員

工與顧客之間為 27.0°C；預測中性溫度無論是員工、顧客或全體受測者皆落在 25.2°C。顧客的預測與實測中性溫度相差 1.4°C，員工的預測與實測中性溫度相差 1.9°C。實測與預測中性溫度明顯不同是因為皮膚的溼潤度與人體對環境的舒適感有直接關係，PMV 並無考慮到此項因素。PMV 公式是針對靜態模式，忽略了受測者的主觀活動量和每位受測者之間的差異性。員工的實測中性溫度溫較顧客與的實測中性溫度來得高，是因為顧客處於暫態環境，受試者剛從室外進入室內和在長期停留在該環境下相比，由於室內外溫差大，與已經適應環境中熱環境的員工相比較，在心裡上對中性溫度的認知有所不同。

表 4-4 敏感度公式與中性溫度整理表

		線性公式	判定係數	中性溫度 (ET*)
實測值	員工	$MTSV = 0.2682ET^* - 7.2624$	0.9452	27.1°C
	顧客	$MTSV = 0.2245ET^* - 5.9562$	0.9497	26.6°C
	全體	$MTSV = 0.2536ET^* - 6.8270$	0.9625	27.0°C
預測值	員工	$PMV = 0.3294ET^* - 8.3323$	0.9835	25.2°C
	顧客	$PMV = 0.3343ET^* - 8.4330$	0.9859	25.2°C
	全體	$PMV = 0.3310ET^* - 8.3659$	0.9899	25.2°C

## 第二節 喜好溫度

人們喜歡的熱環境可能比中性溫度高或低，在寒冷地區的人們，他們所喜好的熱環境可能偏向於比中性溫度稍暖和的溫度。而生活在較熱地區的人們，喜好溫度會比中性溫度偏向較涼爽的一側。因此喜好溫度並不等於中性溫度。最多人希望不用改變的溫度，就是喜好溫度。喜好溫度的計算採用兩種分析法，分別為機率分析法(probit analysis)和投票分析法。

將員工、顧客及全體受測者的熱喜好統計整理於表 4-5、表 4-6 與表 4-7，以每 1°CET\*為一頻度，統計每一溫度頻度中對「希望調涼」、「不同調整」與「希望調暖」的投票分布情形。從表 4-5 與表 4-6 中可以知道無論是在員工、顧客及全體受測者的熱喜好投票數中，選擇「不用改變」的票數比「希望調涼」與「希望調暖」得票數來得高。員工總投票數 213 票，選擇不用調整占了 139 票；顧客總投票數 587 票中，有 377 票表示不用調整目前的環境溫度。將員工與顧客對熱喜好投票數整合分配在每一頻度中，列於表 4-7，全體受測者總投票數 800 票中，有 516 票喜歡當時的熱環境。

在二種分析熱喜好的方法中，先選擇使用機率分析方法將實驗所蒐集到的受測者對熱喜好的投票數整理分析。機率分析方法是將受測者選擇「希望調冷」與「希望調暖」二種情況分開單獨處理。在統計學上使用非參數統計來檢測由實驗數據建立的機率模型。

表 4-5 員工受測者熱喜好統計表

ET*	希望調涼	不用改變	希望調暖	合計
20	0	12	9	21
21	0	12	8	20
22	1	15	6	22
23	2	15	5	22
24	2	13	3	18
25	2	9	3	14
26	7	26	4	37
27	7	15	2	24
28	4	6	1	11
29	6	16	2	24
合計	31	139	43	213

表 4-6 顧客受測者熱喜好統計表

ET*	希望調涼	不用改變	希望調暖	合計
20	3	33	17	53
21	4	52	20	76
22	11	39	21	71
23	5	61	17	83
24	2	24	6	32
25	6	18	2	26
26	7	27	5	39
27	27	40	4	71
28	20	34	3	57
29	28	49	2	79
合計	113	377	97	587

表 4-7 全體受測者熱喜好統計表

ET*	希望調涼	不用改變	希望調暖	合計
20	3	45	26	74
21	4	64	28	96
22	12	54	27	93
23	7	76	22	105
24	4	37	9	50
25	8	27	5	40
26	14	53	9	76
27	34	55	6	95
28	24	40	4	68
29	34	65	4	103
合計	144	516	140	800

將員工對熱喜好的投票分析結果整理於圖 4-5，從圖中可以看出員工「希望調冷」與「希望調暖」曲線相交於 25.1°C，即為員工的喜好溫度。圖 4-6 為顧客的熱喜好分析圖，在圖中「希望調冷」與「希望調暖」的曲線相交於 24.9°C，即為顧客的喜好溫度。將員工與顧客對熱喜好的投票數整合分析，其全體受測者的喜好溫度為 25°C，如圖 4-7。

使用機率分析法分析出的員工、顧客與全體受測者的喜好溫度分別為 25.1°C、24.9°C 以及 25°C，員工的喜好溫度高於顧客 0.2°C，全體受測者喜好溫度介於員工與顧客之間。

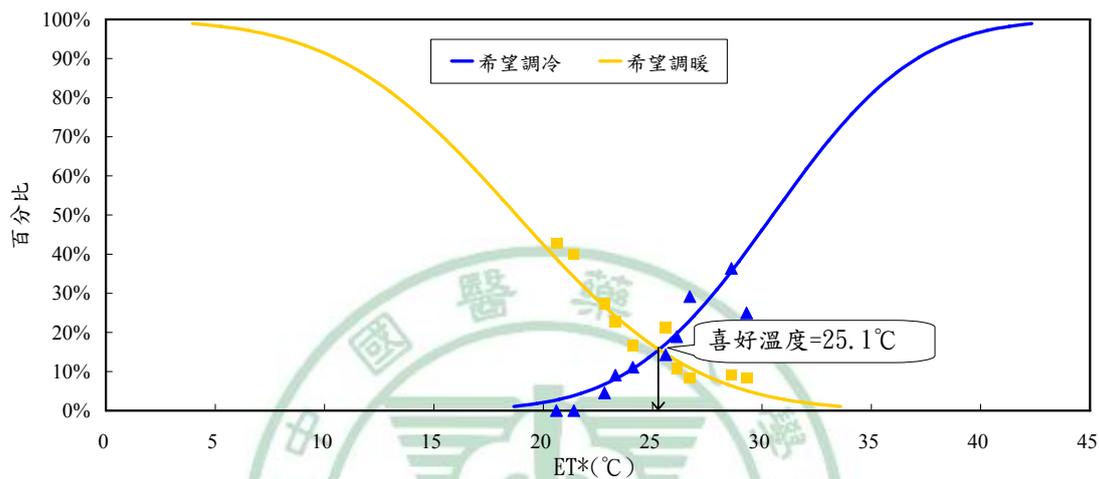


圖 4-5 員工熱喜好迴歸曲線圖

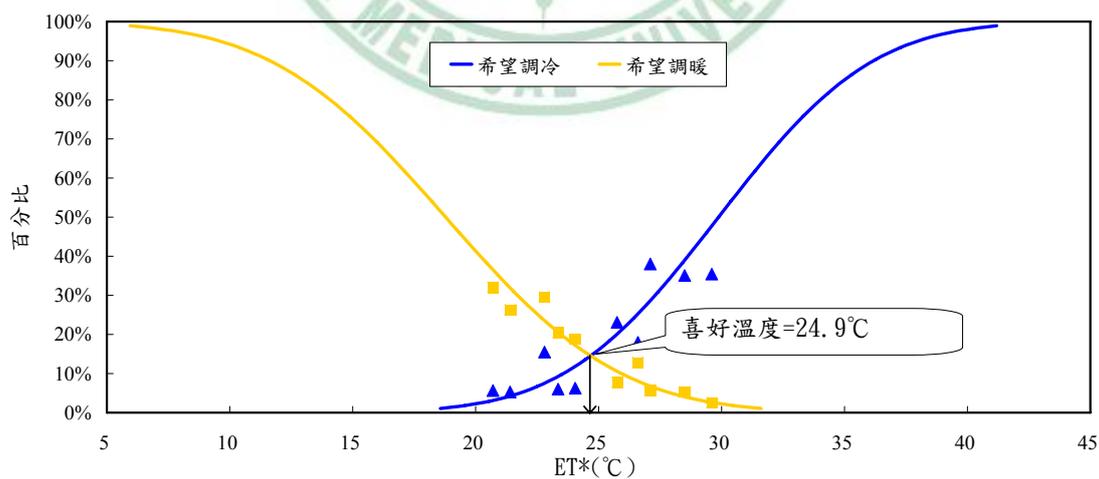


圖 4-6 顧客熱喜好迴歸曲線圖

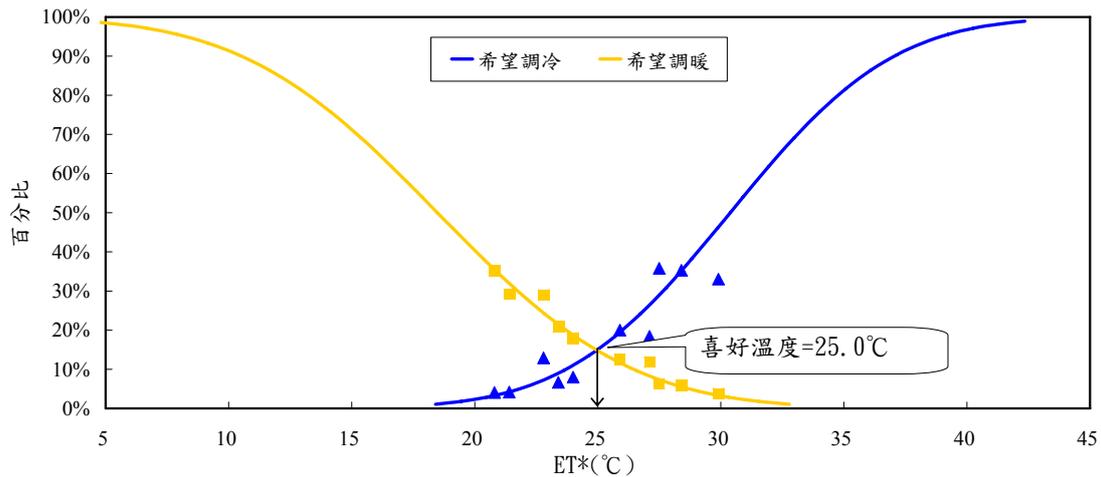


圖 4-7 全體受測者熱喜好迴歸曲線圖

通過投票分析法亦可得到喜好溫度。其分析方法是運用線性迴歸方法分析受測者的熱期望值(Thermal Expect, TE)對室內溫度的敏感性，獨立變量為新有效溫度  $ET^*$ 。「希望調涼」的 TE 值為-1、「不用調整」為 0、「希望調暖」為 1。在每個溫度梯度下將員工、顧客與全體受測者進行迴歸分析，分析結果顯示於圖 4-8、圖 4-9 與圖 4-10。

使用迴歸分析分析出的 TE 線性迴歸線，在不同受測對向各有不同的方程式，其方程式分別如下：

$$\text{員工：} TE = -0.0797ET^* + 2.0424 \quad (4-4)$$

$$\text{顧客：} TE = -0.0714ET^* + 1.7637 \quad (4-5)$$

$$\text{全體：} TE = -0.0733ET^* + 1.8281 \quad (4-6)$$

當  $TE=0$  時，所對應出的  $ET^*$  即為喜好溫度。經由分析結果圖或代入分析出的方程式可以得知員工、顧客及全體受測者的喜好溫度分別為  $25.7^{\circ}\text{C}$ 、 $24.7^{\circ}\text{C}$  以及  $25^{\circ}\text{C}$ 。分析出來的線性方程式、判定係數及喜好溫度詳列於表 4-8。

使用投票數分析法分析出的員工、顧客與全體受測者的喜好溫度分別為  $25.7^{\circ}\text{C}$ 、 $24.7^{\circ}\text{C}$  以及  $25^{\circ}\text{C}$ ，員工的喜好溫度高於顧客  $1^{\circ}\text{C}$ ，全

體受測者喜好溫度介於員工與顧客之間。

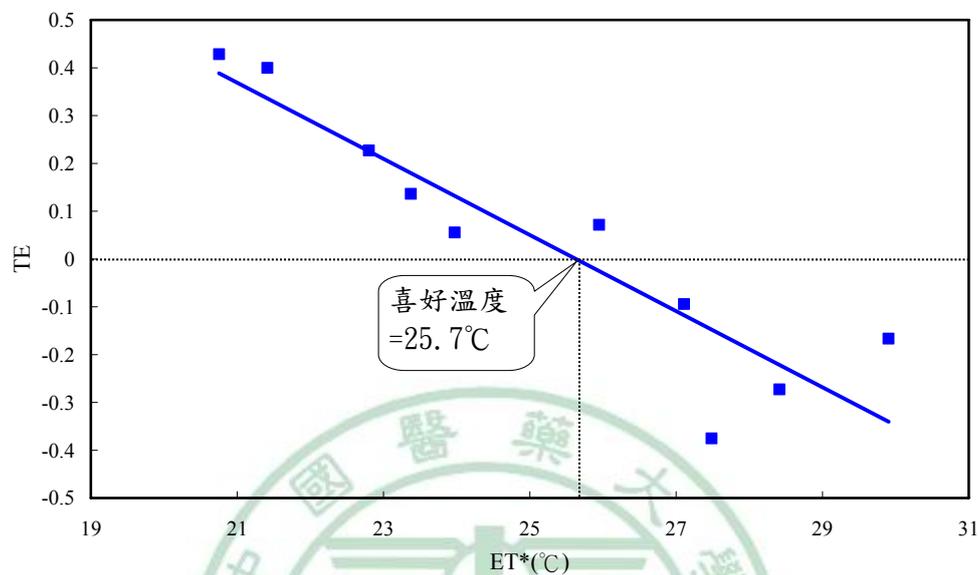


圖 4-8 員工熱喜好與 ET\*分析圖

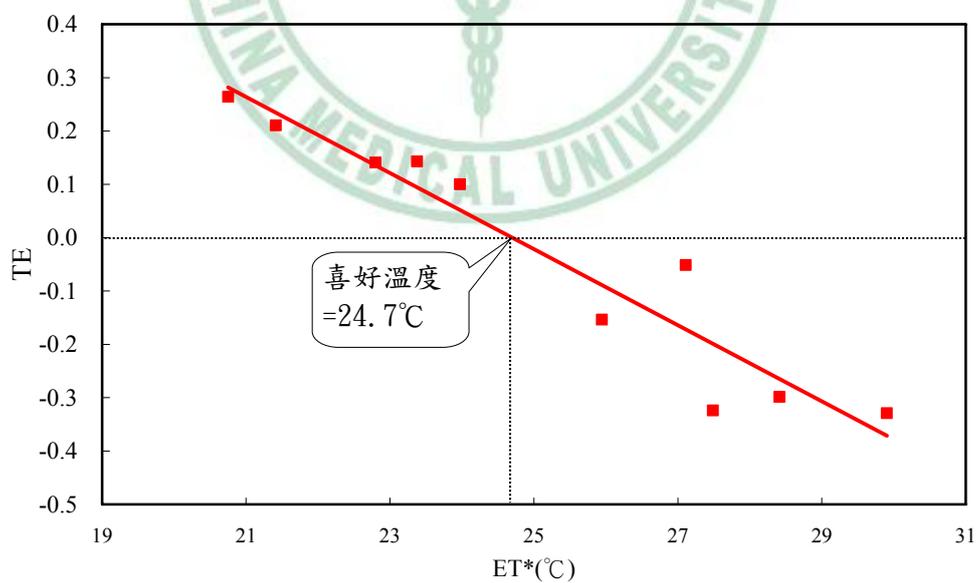


圖 4-9 顧客熱喜好與 ET\*分析圖

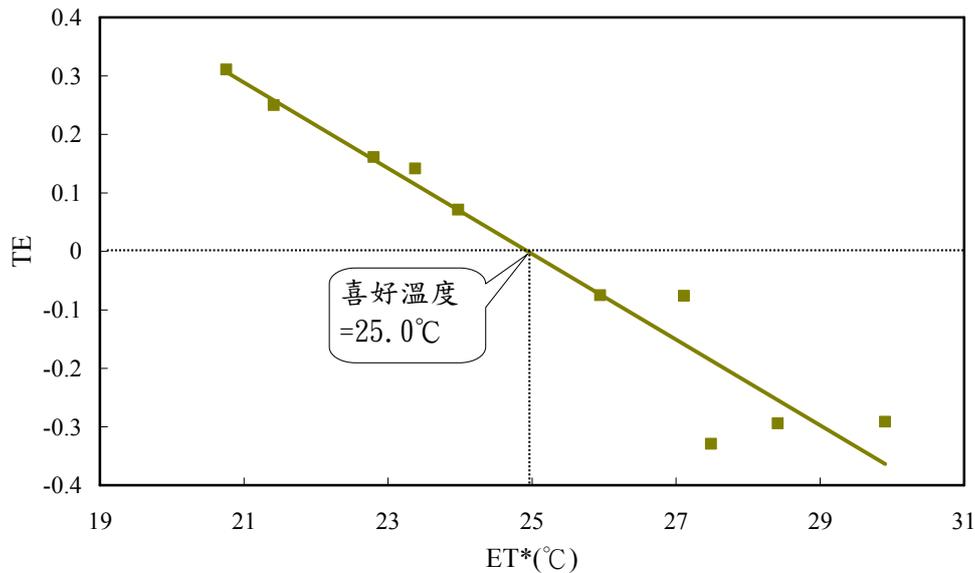


圖 4-10 全體受測者熱喜好與 ET\*分析圖

表 4-8 喜好溫度與公式整理表

投票分析法	線性公式	判定係數	喜好溫度(ET*)
員工	$TE = -0.0797ET^* + 2.0424$	0.836	25.6°C
顧客	$TE = -0.0714ET^* + 1.7637$	0.9113	24.7°C
全體	$TE = -0.0733ET^* + 1.8281$	0.9302	24.9°C

全體受測者的喜好溫度在機率分析法與投票分析法皆為 25°C，顧客的喜好溫度無論是在機率分析法或投票數分析法中皆較員工喜好溫度來得低，是因為顧客從氣溫較高甚至覺得炎熱的室外進入室內，心理上會希望得到非常涼爽的環境。員工長時間處於相同環境下，身體與顧客服務中心內的熱環境達到平衡，雖然員工也喜歡較涼爽的環境，但較顧客來得緩和。

從中性溫度和期望溫度的統計結果可以看到，無論是機率分析法或是投票分析法，在員工、顧客及全體受測者中，所得到的喜好溫度皆低於中性溫度(員工 27.1°C；顧客 26.6°C，全體受測者 27.0°C)。可以證明較炎熱的地區人們對喜好溫度的期望值會低於中性溫度。

### 第三節 熱可接受範圍

熱環境的可接受度分析有三種方法。第一種方法為直接詢問可否接受當時的熱環境溫度；第二種方法是選擇七個熱感指標中包括微涼(-1)、剛好(0)及微暖(1)等三項指標視為可以接受熱環境，其餘的四種尺標則代表不能接受；第三種方法是將熱感尺度評估中選擇很冷(-3)、冷(-2)、熱(2)和很熱(3)的投票數與每個溫度頻度下的總投票數進行分析。在 ASHRAE STANDARD 55 中規定，80%居住者表示可以接受的熱環境條件，稱為熱接受度即為熱接受範圍。

將問卷所蒐集到員工、顧客以及全體受測者對「熱接受度」在每一溫度頻度中表示「接受」與「不接受」的投票數整理於表 4-9、表 4-10 與表 4-11。員工對接受度的投票數共有 213 票，159 票選擇「接受」，54 票選擇「不接受」；在 587 份顧客對熱接受的投票數裡，有 478 票表示能夠接受當時的熱環境，剩餘的 109 票表示不能接受。將所有投票數整合起來，在 800 張總得票數裡共有 637 票可以接受，163 票不接受。無論是在員工、顧客或全體受測者的選擇裡，選擇「接受」的得票數遠大於「不接受」的得票數。

首先使用第一種評估熱接受範圍的分析法進行評估，將問卷中選擇「接受」與「不接受」的投票數，在每 1°C 溫度頻度中整理分析，分析結果呈現於圖 4-11、圖 4-12 與圖 4-13。圖 4-11 可以看出員工受測者在 80%接受範圍為 24.9~27.9°C，圖 4-12 顧客受測者的 80%接受範圍為 20.7~27.0°C，圖 4-13 全體受測者的接受範圍為 21.0~27.1°C。將員工、顧客以及全體受測者這三個對向所分析出的線性公式、判定值與接受範圍列於表 4-12。員工、顧客或全體受測者在分析上的判定係數分別為 0.447、0.447 及 0.330，呈現較低的現象。

表 4-9 員工受測者熱接受統計表

ET*	接受	不接受	合計
20	14	7	21
21	12	8	20
22	16	6	22
23	15	7	22
24	17	1	18
25	12	2	14
26	39	14	53
27	7	1	8
28	8	3	11
29	19	5	24
合計	159	54	213

表 4-10 顧客受測者熱接受統計表

ET*	接受	不接受	合計
20	42	11.0	53
21	60	16.0	76
22	61	10.0	71
23	98	7.0	105
24	10	0.0	10
25	21	5.0	26
26	29	10.0	39
27	52	19.0	71
28	44	13.0	57
29	61	18.0	79
合計	478	109	587

表 4-11 全體受測者熱接受統計表

ET*	接受	不接受	合計
20	56	18	74
21	72	24	96
22	77	16	93
23	113	14	127
24	27	1	28
25	33	7	40
26	68	24	92
27	59	20	79
28	52	16	68
29	80	23	103
合計	637	163	800

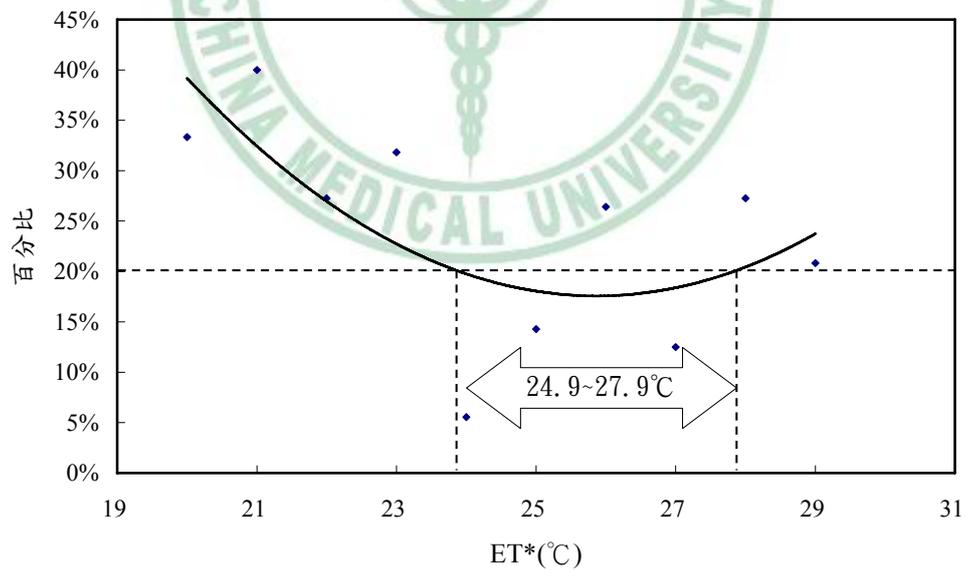


圖 4-11 員工熱可接受範圍直接評估分析

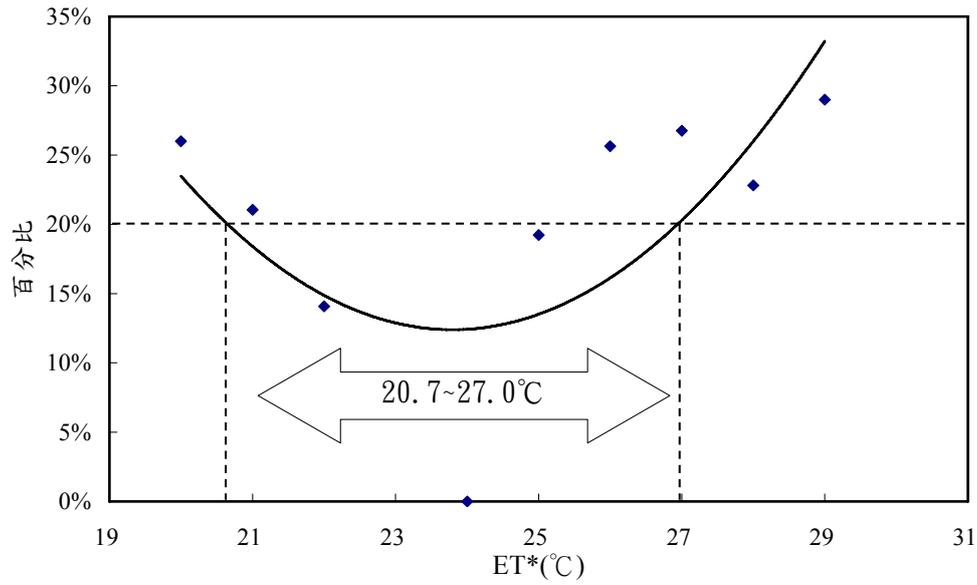


圖 4-12 顧客熱可接受範圍直接評估分析

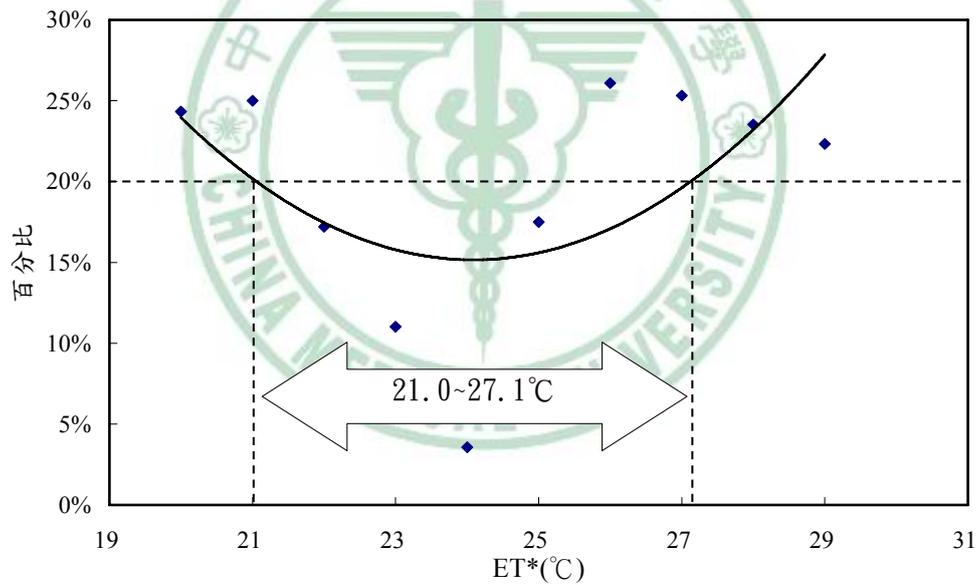


圖 4-13 全體受測者熱可接受範圍直接評估分析

表 4-12 熱接受度分析之公式與範圍整理表

	線性公式	判定係數	可接受範圍(°C)
員工	百分比 = $0.0063ET^2 - 0.3247ET + 4.3753$	0.4469	24.9~27.9
顧客	百分比 = $0.0077ET^2 - 0.366ET + 4.47850$	0.4469	20.7~27.0
全體	百分比 = $0.0053ET^2 - 0.2534ET + 3.2034$	0.3298	21.0~27.1

因第一種分析方法所得到的效果不顯著，使用第二種分析方法來分析評估熱接受範圍。在七個熱感指標中包括微涼(-1)、剛好(0)及微暖(1)等三項指標視為可以接受熱環境，其餘的四種尺標則代表不能接受。將每一溫度頻度中的七個熱感指標歸類進行分析，所得到的 80% 不接受範圍如圖 4-14、圖 4-15 及圖 4-16。從圖中可以看出員工的熱可接受範圍為 24.0~27.9°C，顧客的熱可接受範圍為 24.4~28.8°C，全體受測者的熱接受範圍介於 24.1~28.5°C 之間。將員工、顧客以及全體受測者這三個對向所分析出的線性公式、判定值與接受範圍列於表 4-13。從表中可以看到員工、顧客或全體受測者在分析上的判定係數分別為 0.9207、0.7349 及 0.8348，比直接分析法高得許多。

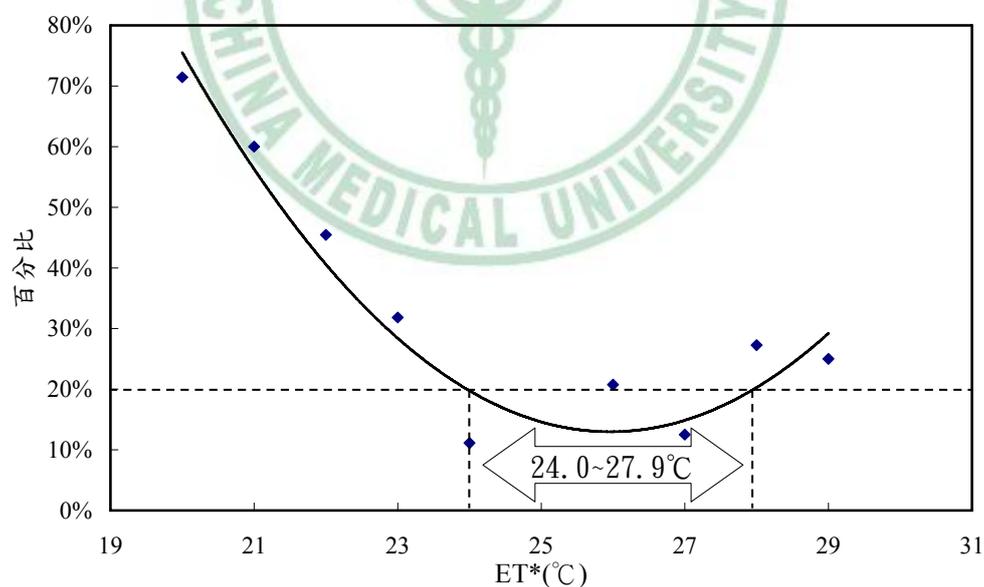


圖 4-14 員工熱可接受範圍間接評估分析

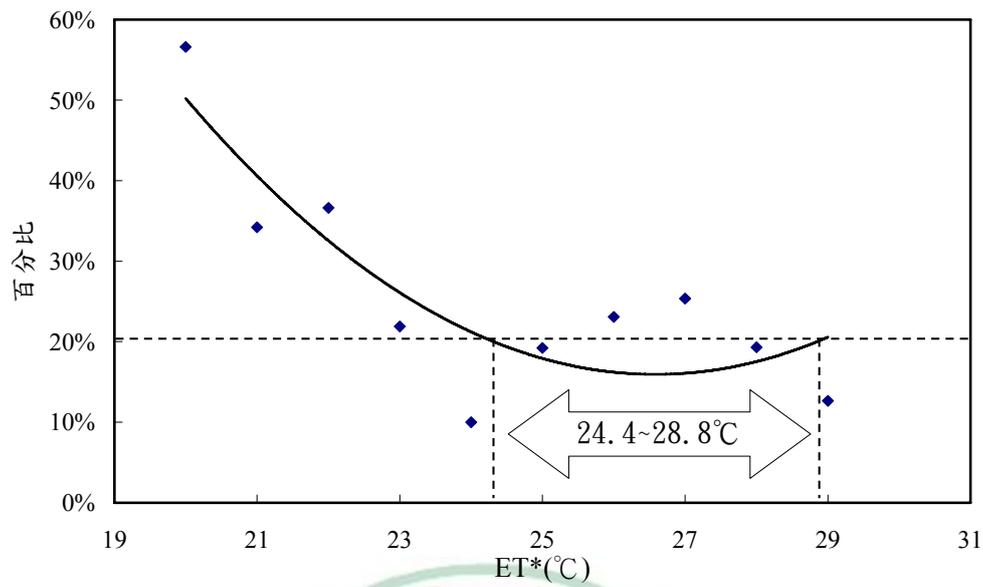


圖 4-15 顧客熱可接受範圍間接評估分析

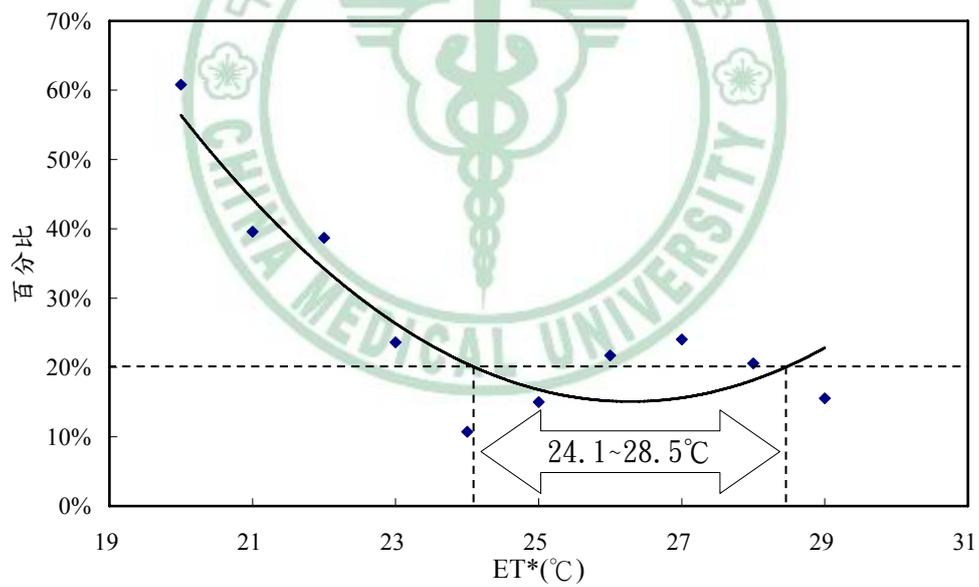


圖 4-16 全體受測者熱可接受範圍間接評估分析

表 4-13 熱接受度分析之公式與範圍整理表

	線性公式	判定係數	可接受範圍(°C)
員工	百分比 = $0.0176ET^2 - 0.9135ET + 11.987$	0.9207	24.0~27.9
顧客	百分比 = $0.0079ET^2 - 0.4204ET + 5.747$	0.7349	24.4~28.8
全體	百分比 = $0.0105ET^2 - 0.5509ET + 7.3887$	0.8348	24.1~28.5

第三種分析方法是將熱感尺度評估中選擇很冷(-3)、冷(-2)及以熱(2)、很熱(3)的投票數在每個溫度頻度下的投票數進行分析。圖 4-17 中「覺得熱」曲線在可定義出員工在 80%的熱接受範圍上限為 26.8°C，「覺得冷」曲線可定義出員工在 80%的熱接受範圍下限為 24.3°C；圖 4-18 可以發現顧客受測者在 80%的熱接受溫度範圍上限為 28.5，下限為 24.3°C；圖 4-19 顯示了全體受測者的 80%熱可接受溫度範圍為 24.0~27.4°C。

#### 第四節 最低不滿意率

按照 Fanger 的 PMV 與 PPD 關係的求解方法，由本次實驗的結果得出實測 PPD 與 TSV 的數據統計分析圖顯示於圖 4-20、圖 4-21 與圖 4-22。從統計分析圖 4-20 中可以看出員工在 TSV=0 時，實測最低不滿意率等於 15%，高於 Fanger 的實測最低不滿意率(5%)。圖 4-21 可

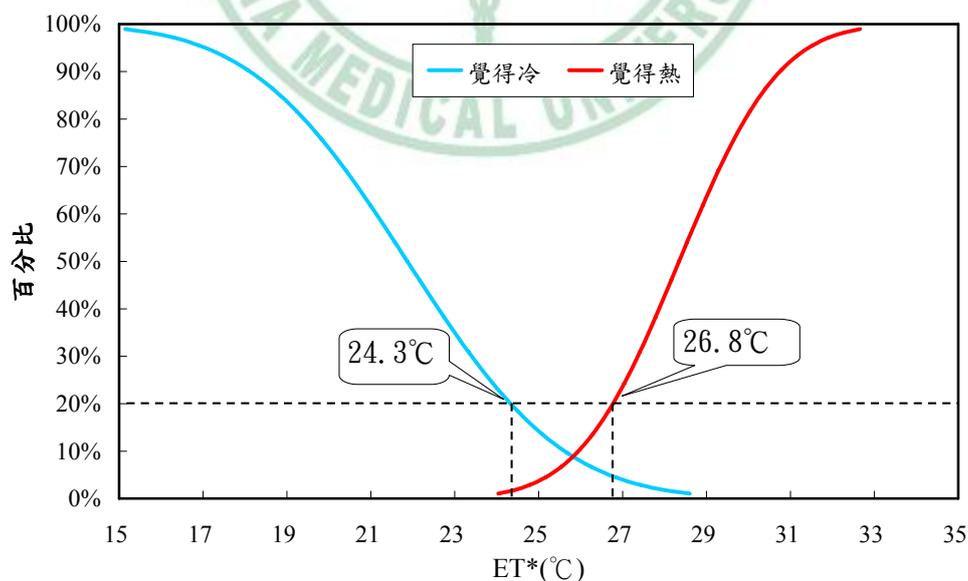


圖 4-17 員工熱可接受範圍評估分析

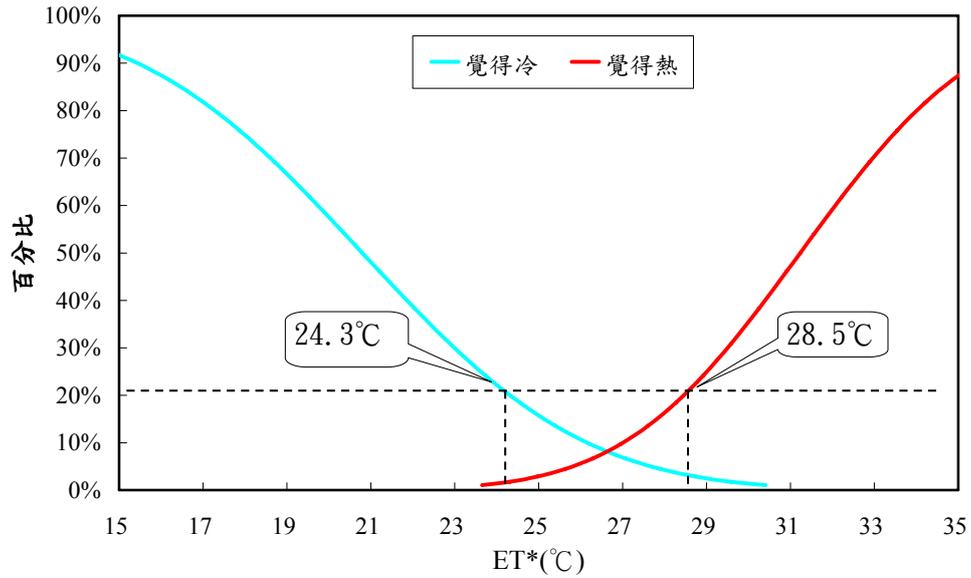


圖 4-18 顧客熱可接受範圍評估分析

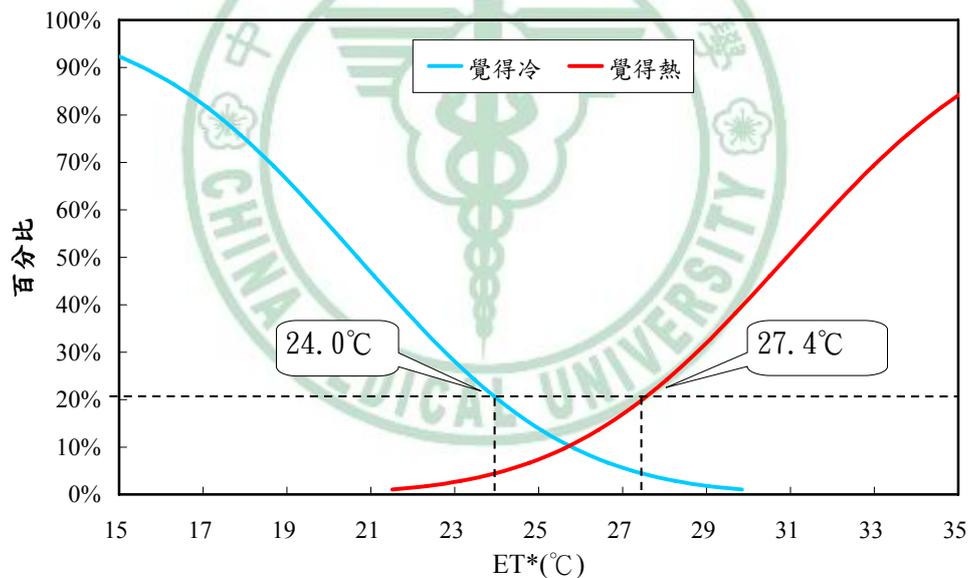


圖 4-19 全體受測者熱可接受範圍評估分析

以看出顧客在 TSV=0 時，實測最低不滿意率等於 6%，略高於 Fanger 的實測最低不滿意率(5%)。圖 4-22 可以看出全體受測者在 TSV=0 時，實測最低不滿意率為 10%，高於 Fanger 的實測最低不滿意率 (5%)。預測不滿意百分率表示對熱環境的不滿意的百分比，其提出的

原因就是由於人與人之間生理存在的差別。從本實驗分析出來的結果可以發現顧客對環境比員工來得較容易滿足。是因為顧客從較惡劣的室外環境(炎熱)進入比室外涼爽的地方，只要有涼爽的感覺，就覺得滿足。

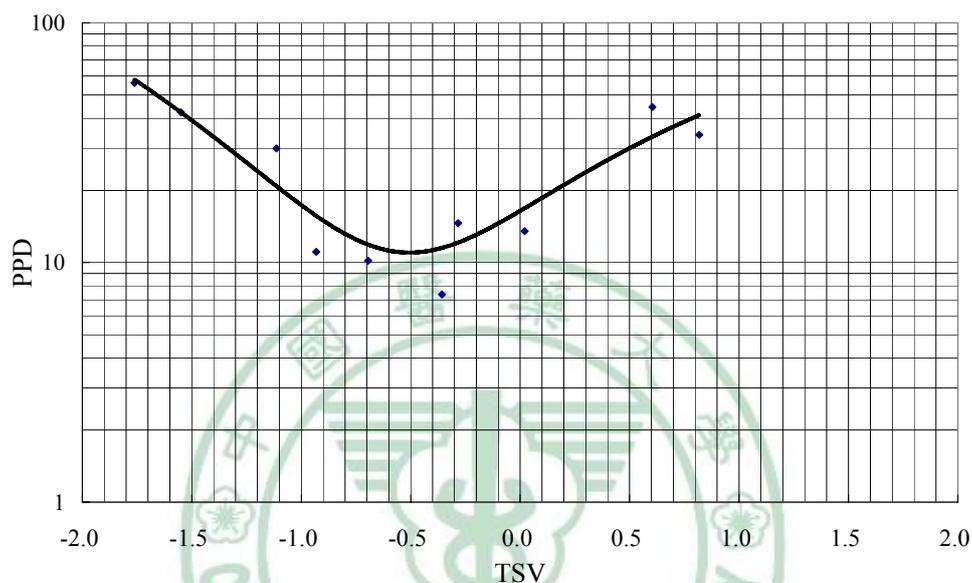


圖 4-20 員工 TSV 與 PPD 關係圖

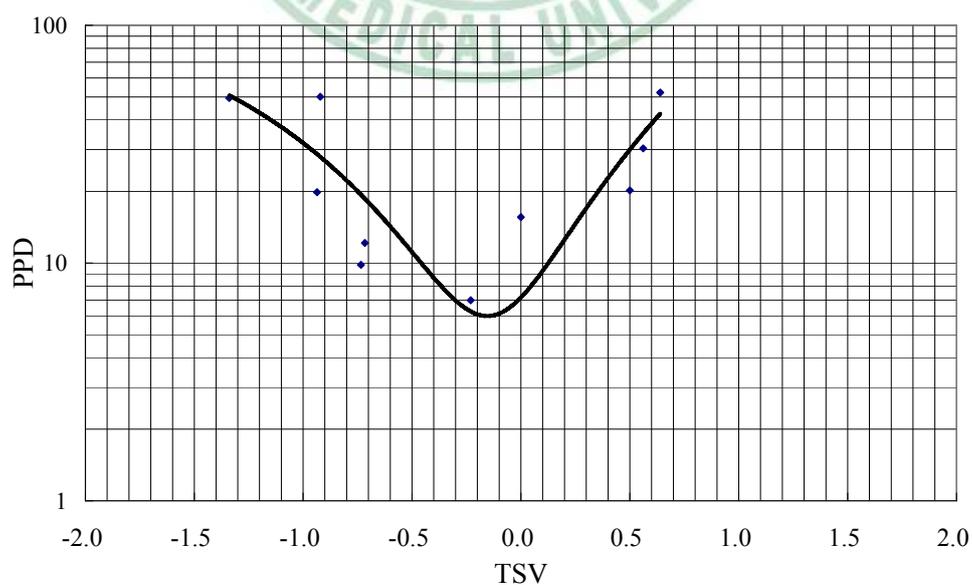


圖 4-21 顧客 TSV 與 PPD 關係圖

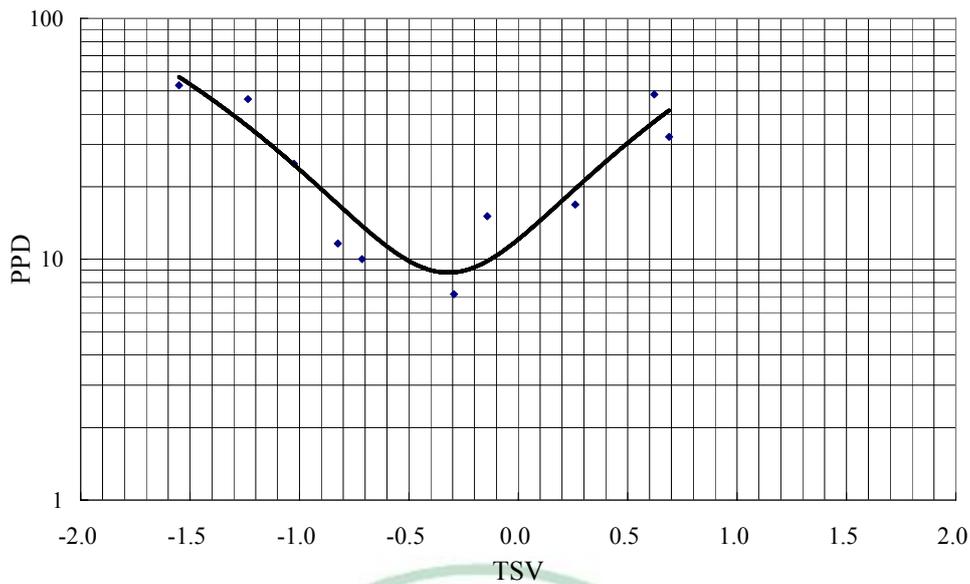


圖 4-22 全體受測者 TSV 與 PPD 關係圖

### 第五節 與其他文獻比較

在台灣進行暫留區熱舒適性現場調查的研究至今尚無任何成果發表，因此我們與其他地區相類似的研究成果做比較，顯示於表 4-14 中。在表 4-14 的中性溫度可以看出在泰國、中國大陸與台灣暫留區的中性溫度相近，高於日本的地下街與百貨公司中性溫度  $1^{\circ}\text{C}$ 。主要原因為日本地處高緯地區，氣候沒有泰國、中國大陸與台灣來得溼熱，相對的中性溫度較涼一些。在喜好溫度上，台灣民眾對暫留區所要求的喜溫度為  $24.7^{\circ}\text{C}$  較中國大陸的  $26.7^{\circ}\text{C}$  低了  $2^{\circ}\text{C}$ ，代表居住在台灣的人們心裡上對環境的要求較嚴格。在熱接受範圍裡，泰國曼谷的熱接受範圍為  $25.5\sim 31.5^{\circ}\text{C}$ ，中國大陸及台灣分別為  $24.4\sim 29.0^{\circ}\text{C}$  與  $24.4\sim 28.8^{\circ}\text{C}$ ，泰國曼谷的熱接受範圍的上限比中國大陸與台灣高了  $2^{\circ}\text{C}$ ，是因為泰國所處緯度又比台灣及中國大陸低的關係，屬於熱帶性氣候。

表 4-14 暫留區中性、喜好、熱接受溫度彙整表

年份	研究者	實驗地點	地點	中性溫度	喜好溫度	熱接受範圍
1996	Jitkha-jornwanich	辦公室暫留空間	泰國曼谷	26.7°C	N/A	25.5~31.5°C
1997	C.Y.CHUN	地下街	日本	25.6°C	N/A	N/A
	A.TAMURA	百貨公司		25.7°C	N/A	N/A
2004	俞準	實驗室氣候艙	中國大陸	26.5°C	26.7°C	24.4~29.0°C
2007	本文	顧客服務中心	台灣	26.6°C	24.7°C	24.4~28.8°C



## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

本文透過顧客服務中心的員工與顧客現場調查，共蒐集了 800 份有效問卷，其中員工有 213 份，顧客有 587 份。員工代表處於穩定環境下的受測者，顧客為暫留區的代表，二者明顯的差異為員工長時間待在客服中心內工作，顧客則為短暫進出辦理業務，且顧客從炎熱的室外環境進入涼爽的室內，雖然身處相同環境相同溫度下，但員工與顧客的感受程度並不相同。本研究的重要結論如下：

- 1、 經過整理分析問卷中的其它環境因子(光、聲音與空氣品質)，無論是員工或顧客對於其它環境因子的每一項滿意度皆高於 85%，可以排除其它環境因子是否影響受測者對於熱舒適感受的判斷。
- 2、 員工、顧客與全體受測者的熱敏感度皆不相同，當 MTSV 增加一單位，員工、顧客與全體受測者的 ET\* 分別增加 3.7°C、4.5°C 及 3.9°C。員工對溫度的敏感度較顧客來得大。
- 3、 員工、顧客與全體受測者的中性溫度為 27.1°C、26.6°C 與 27.0°C，皆高於預測中性溫度 25.2°C。顧客的中性溫度低於員工 0.5°C，是因為顧客處於暫態環境，受測者剛從室外進入較涼爽的室內，比起長期停留在室內環境的員工，在心裡上對中性溫度的認知有所不同。
- 4、 本研究使用二種分析方法整理分析員工、顧客與全體受測者的喜好溫度，第一種析方法得出員工、顧客與全體受測者的喜好溫度為 25.7°C、24.7°C 及 25.0°C；第二種分析方法得出的員工、顧客與全體受測者的喜好溫度為 25.6°C、24.7°C 及 24.9°C。
- 5、 員工與顧客的喜好溫度皆比中性溫度高，可以證明較炎熱的地

區人們對喜好溫度的期望會比中性溫度來得低，也就是說熱中性並不是人們認為的最佳熱狀態。雖然員工與顧客皆喜歡較涼爽的環境，但顧客比員工喜歡更涼爽的環境，員工的喜好溫度比顧客高了 1°C。

- 6、 員工的 80%熱可接受範圍為 24.0°C~27.9°C，顧客的 80%熱可接受範圍為 24.4~28.8°C，顧客的熱可接受範圍較員工寬了 0.5°C。
- 7、 員工的最低不滿意率為 15%，顧客的最低不滿意率為 6%，稍高於 Fanger 所定義出的最低不滿意率 5%。顧客對環境比員工來得容易滿足。是因為顧客從炎熱的室外環境進入比室外涼爽的地方，只要有涼爽的感覺，就覺得滿足。
- 8、 相較於 ASHRAE STANDARD 55 夏季空調環境的 80%熱接受舒適範圍，員工有相同的熱接受範圍，顧客則有些許高的接受上限。

## 第二節 未來研究

本次研究主要針對顧客服務中心的員工與顧客對熱舒適性的探討，所調查的對向主要為至客服中心辦理業務的顧客。在生活中屬於暫留區的空間並不只有顧客服務中心，在不同空間下的人們，活動量與衣著量並不會相同。期望建立全面性樣本研究，具體後續研究方向說明如下：

- 1、 本次研究以一家顧客服務中心為調查對象，有效樣本 800 份，但若整合其他類型的顧客服務中心或辦事處納入研究，可以將相同類型暫留區研究得更完整。

- 2、暫留區所包含的環境空間很廣，地下街往來的行人、購物中心的人們、在車站等車或趕車的民眾，有不同於顧客服務中心的衣著量及活動量，本文並未探討其他類型的暫留區。如要完整建立暫留區的熱舒適性，未來可針對車站、購物中心進行研究。
- 3、在研究對象上可探討各種暫留區中的人們對熱舒適的差異性，找到兩者皆覺得舒適的環境條件，給予建築或空調設計時，提供參考意見。



## 參考文獻

- (1) ASHRAE, ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, America Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, (1992).
- (2) 王昭俊、王剛、廉親明，室內熱環境研究歷史與現狀，哈爾濱建築大學學報，(2000)，p. 97-102。
- (3) P. O. Fanger, Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. Copenhagen: Danish Technical Press, (1970).
- (4) ISO 7730. Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort. 2nd. ed. Vol. ISO 7730: 1994 (E). International Standard Organization, (1994).
- (5) 俞準，暫留區熱舒適性參數研究，華北電力大學，(2004)。
- (6) Schiller, G., E. Arens, F. Bauman, C. Benton, M. Fountain, T. Doherty and K. Craik. "A field study of thermal environments and comfort in office buildings," ASHRAE RP-462 Final Report, (1988).
- (7) 蔣薇，人體熱舒適性的實驗研究，天津大學，(2001)。
- (8) Shuzo Murakami, Shinsuke Kato, Jie Zeng. Combined simulation of airflow, radiation and moisture transport for heat release from a human body. Building and Environment, p.489-500, (2000).
- (9) A. Auliciems, The atmospheric environment: A study of comfort and performance. University of Toronto Press, (1972).
- (10) Kitchai Jitkhajornwanich, Thermal comfort in Transitional Spaces in the Cool Season of Bangkok, p. 1181-1193, (1996).
- (11) C. Y. CHUN, A. TAMURA, Thermal Environment and Human

Responses in Underground Shopping Malls vs Department Stores in Japan, (1997).

- (12) Chungyoon Chun, Akihiro Tamura, Thermal comfort in urban transitional spaces, (2004).
- (13) Chungyoon Chun, Alison Kwok, Akihiro Tamura, Thermal comfort in transitional spaces-basic concepts: literature review and trial measurement, (2004).
- (14) J. F. Busch, Thermal responses to the Thai office environment, ASHRAE Transactions 96 ( 1 ) , p. 859-872, (1992).
- (15) A. G. Kwok, Thermal comfort in tropical classrooms, ASHRAE Transactions 104 ( 1B ) , p. 1031-1047, (1998).
- (16) Krzysztof C., R. J. De Dear, “Field study of occupant comfort and office thermal environments in a hot-arid climate”, ASHRAE RP-921 Final Report, (1998).
- (17) Z. J. Wang, A field study of the thermal comfort in residential buildings in Harbin, Building and Environment 41, p. 1034–1039, (2006).
- (18) Henry Feriadi, Nyuk Hien Wong, Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia, (2004).
- (19) 簡瑞宏，醫院病房熱環境之舒適要求實測調查研究，中國醫藥大學，(2006)。
- (20) 黃教誠，大學教室熱舒適範圍之實測調查研究，逢甲大學，(2005)。