

# 濕熱作業環境通風控制案例 探討

Case Studies on Industrial Ventilation Control for Humid and Hot Workplaces



濕熱作業環境通風控制案例探討 ILOSH103-H305

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號  
電話：(02) 26607600  
傳真：(02) 26607732  
網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-04-4774-3



GPN:1010400815  
定價：新台幣200元

# 濕熱作業環境通風控制案例探討

## **Case Studies on Industrial Ventilation Control for Humid and Hot Workplaces**

# 濕熱作業環境通風控制案例探討

## Case Studies on Industrial Ventilation Control for Humid and Hot Workplaces

研究主持人：王順志、莊侑哲

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 103 年 03 月 01 日至 103 年 12 月 30 日

**\*本研究報告公開予各單位參考\***  
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
中華民國 104 年 04 月

# 摘要

存在高氣溫、熱輻射等物理條件的室內外工作環境，勞工身體若不能及時散熱，就容易因熱危害而影響健康，西方工業國家早已針對進行長期且廣泛的研究。台灣位於海洋環繞的亞熱帶，天候與西方工業國（大多位於溫帶）顯然不同，台灣勞工的身體，除了吸收高氣溫環境空氣的加熱、陽光或生產機具的輻射熱，還要額外承受空氣相對濕度偏高導致的汗水蒸發困難，其中最嚴重的高氣溫潮濕環境，就出現在夏季通風散熱不良的各種 3K 產業廠房。

本計畫首先訪查典型的台灣乾熱型、濕熱型廠房，初步比較乾熱與溼熱作業環境對勞工健康的影響，繼而蒐集各國研究文獻與相關國際規範，分析廠房氣溫、空氣相對溼度、廠房熱輻射、勞工衣著、工作負荷對勞工健康的影響，挑選適合台灣地區的國際規範與量測方法，作為可與日後類似研究案例相互比較的共同基準。本計畫的第二部分是現場訪視與理論應用：先派員前往多個濕熱作業廠房進行熱環境因子測定，掌握國內產業現況，據以擬定初步通風散熱對策；接著舉行專家會議，從訪查結果中挑選 2 個案例，具體實施通風散熱輔導，以改善環境濕熱問題。透過理論與現場訪查的相互印證，利用 ISO 7933 標準的熱危害預測模式（PHS model）評估勞工容許工作暴露時間，本計畫順利建立二者的關係並建立相關模式。

本計畫成果包括初級產品「熱環境容許暴露時間對照表」，適合一般勞工使用，可快速評估當前濕熱環境，決定可持續工作的時間；本計畫第二項成果為「高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體」，適合專業人員使用，可利用此軟體輔助調整各項參數，以兼顧勞工健康與可持續工作時間。除了前述應用產品，本計畫於現場訪查與研究中，獲得「氣溫超過 30°C、水蒸氣壓超過 3kPa」的關鍵條件，擬提供給政府相關單位，作為濕熱作業場所的建議判定指標。

關鍵詞：濕熱環境、通風、量測

# Abstract

High temperature and strong thermal radiation at indoor/outdoor workplaces can be hazardous to workers with poor body heat dissipation. Industrialized countries in western world have conducted intensive and extensive investigations on heat-related stress and occupational health.

While most of the industrialized countries in western world lie in cool and dry Temperate zone, Taiwan is a small island surround by warm, humid sub-tropical ocean. High air temperature, strong thermal radiation, and highly humid air are almost equally hazardous to Taiwanese workers, since in worst cases of 3K-industry workplaces, sweat over worker's body evaporates poorly in hot and humid environment.

In this project, some selected hot-and-dry, hot-and-humid indoor workplaces are visited for elementary comparison on occupational effects. An extensive survey on international guidelines and standards is taken to analyze the heat stress contributions of room temperature, related humidity, thermal radiation, worker clothing and work load. Among the guidelines and standards, the most popular and proper method is chosen for inter-comparison with future studies. As the second part of this project, we sent a squadron of occupational health specialists to investigate environment factors of several hot and humid factories. Control strategies of industrial ventilation are proposed after two typical cases are chosen and carefully examined by an expert committee.

Based on localized key factors, ISO 7933 with PHS model is chosen to estimate allowable exposure time of Taiwanese workers in such humid and hot workplaces. As the first product of this project, some "at-a-glance" tables are printed as convenient resource for occupational health specialists so they can easily estimate health condition of the workers. The second product is a software package designed for scholars and experts to give an optimized entire combination amongst worker health condition, clothing, room temperature, humidity of room air, heat radiation from working facility, and endurance time of each worker. In addition to the two products, we propose the definition of a "humid and hot workplace" with the following key conditions: room temperature is not less than 30 degrees Celsius, and evaporation pressure of water is not less than 3kPa.

Key Words: humid and hot environment, industrial ventilation, measurement.

# 目錄

摘 要.....	i
Abstract .....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vii
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 3K 產業的濕熱作業環境.....	3
第三節 計畫目的與工作項目.....	4
第二章 文獻回顧.....	6
第一節 概說.....	6
第二節 熱環境與高溫作業危害.....	8
第三節 濕熱作業環境及其對人體健康影響.....	10
第四節 熱作業環境風險評估策略之國際標準.....	14
第五節 熱危害評估模式.....	23
第六節 蒙地卡羅模擬法.....	25
第七節 田口系統分析技術.....	25
第八節 熱環境控制技術.....	27
第三章 研究方法及步驟.....	36
第四章 廠房自然通風散熱原理.....	42
第一節 氣體熱上升作用簡介.....	42
第二節 文氏管效應簡介.....	45
第三節 誘導氣流原理簡介.....	47
第四節 廠房自然通風器概略分類.....	51
第五節 太子樓與其衍生通風器原理概說.....	55
第六節 其他自然通風器原理概說.....	61

第七節 廠房通風、散熱、排濕的觀念異同.....	65
第五章 研究結果與討論.....	67
第一節 濕熱作業環境之定義與訪視對象選擇.....	67
第二節 濕熱作業環境現場調查訪視及測定.....	68
第三節 濕熱作業環境參數量測評估結果.....	70
第四節 C 場所濕熱作業廠房案例.....	75
第五節 D 場所濕熱作業廠房案例.....	80
第六節 E 場所濕熱作業廠房改善案例.....	82
第七節 G 場所濕熱作業廠房改善案例.....	84
第八節 H 場所濕熱作業廠房改善案例.....	88
第九節 電腦分析軟體開發.....	92
第六章 結論.....	97
第一節 結論.....	97
第二節 建議.....	98
誌謝.....	100
參考文獻.....	101
附錄一：軟體操作介面說明書.....	104
附錄二：熱環境容許暴露時間對照表.....	109
附錄三：熱環境綜合溫度熱指數(WBGT 值)對照表.....	119
附錄四：ISO 7933 的 PHS 模式推估公式.....	123
附錄五：水蒸氣壓力單位換算對照表.....	125
附錄六：工作負荷代謝熱單位換算對照表.....	126

# 圖目錄

圖 1 舉例說明廠房內部氣溫與高度的概略關係.....	1
圖 2 屋脊通風口、氣窗、大門通風散熱排濕綜合案例.....	2
圖 3 空氣濕度線圖（PSYCHROMETRIC CHART）.....	30
圖 4 空氣濕度線圖上的加濕與除濕過程示意圖.....	31
圖 5 夏季與冬季的熱舒適範圍示意圖.....	31
圖 6 本計畫執行程序.....	38
圖 7 廠房熱氣對流：左為密閉廠房的內循環，右為開放廠房的外循環.....	42
圖 8 電烙鐵（左）與蠟燭（右）的氣體熱上升現象.....	43
圖 9 製程設備發熱（左）與陽光輻射（右）造成的氣體熱上升現象.....	44
圖 10 配合外部熱對流循環所作的廠房自然通風流路規劃.....	44
圖 11 風管截面積變化對各項通風物理性質的影響.....	45
圖 12 文氏管效應與熱上升原理共同促進廠房熱廢氣的移除.....	46
圖 13 無扇葉電風扇能造成極大風量的原理.....	47
圖 14 空氣移動器的通風原理舉例（ <a href="http://www.lifetime-reliability.com/">HTTP://WWW.LIFETIME-RELIABILITY.COM/</a> ）.....	48
圖 15 常見渦輪自然通風器的構造舉例（ <a href="http://www.roofquip.co.nz/">HTTP://WWW.ROOFQUIP.CO.NZ/</a> ）.....	49
圖 16 渦輪自然通風器的環形驅動氣流（藍色）與誘導氣流（紅色）.....	49
圖 17 國人研發的「光電－風能複合通風器」.....	53
圖 18 屋頂窗（ROOF MONITOR）俗稱太子樓（臺灣）或越屋檐（日本）.....	56
圖 19 傳統太子樓的通風散熱原理示意.....	56
圖 20 因應風雨威脅所作的各種太子樓修改方案.....	57
圖 21 第一類似太子樓的通風原理.....	58
圖 22 「廠房屋頂面第一類似太子樓」的通風原理（僅為舉例）.....	58
圖 23 第二類似太子樓通風原理示意.....	59
圖 24 文氏管效應太子樓通風原理（左）與大陸地區安裝案例.....	60
圖 25 可轉向的文氏管效應太子樓（半被動通風器）原理示意.....	60
圖 26 可轉向水平排氣口（半被動通風器）原理示意.....	62
圖 27 波斯風塔的外觀（左）與運轉原理（右）.....	63
圖 28 太陽塔運轉原理示意.....	64
圖 29 針織黑網覆蓋廠房屋頂可降低蒙皮對陽光熱輻射的吸收率.....	66
圖 30 環境條件對生理參數的影響.....	67



圖 31 C 場所廠房色染子筒作業區現場照片 .....	77
圖 32 色染子筒作業區熱水鍋爐的熱影像分析照片 .....	78
圖 33 色染子筒作業區鐵皮屋頂塗反光漆與遮布處理比較 .....	79
圖 34 D 場所廠房現場照片 .....	81
圖 35 E 場所廠房染整作業區照片 .....	82
圖 36 E 場所廠房染整作業區熱影像分析結果 .....	83
圖 37 G 場所廠房水針不織布作業區平面示意圖 .....	85
圖 38 G 場所廠房水針不織布作業區熱影像分析結果 .....	87
圖 39 H 場所廠房熱水鍋爐作業區平面示意圖 .....	89
圖 40 H 場所廠房熱水鍋爐作業區局部照片 .....	90
圖 41 H 場所廠房熱水鍋爐作業區熱影像分析結果 .....	91
圖 42 高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體畫面 .....	94
圖 43 高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析計算結果呈現 .....	94
圖 44 容許變異偏差調整區選擇改變 TA±20%的結果呈現 .....	95
圖 45 容許變異偏差調整區選擇改變 PA±15%的結果呈現 .....	95
圖 46 容許變異偏差調整區選擇同時改變 TA±20%與 PA±15%的結果呈現 .....	96

# 表目錄

表 1 觀察法之各項參數配分表(ISO 15265:2004).....	16
表 2 熱環境量測儀器特性(ISO 7726).....	18
表 3 熱環境量測儀器特性(ISO 7726)(續).....	19
表 4 室內氣候條件對人體舒適度的評價（劉加平、楊柳）.....	20
表 5 代謝率的分類層級與其 WBGT 參考值(ISO 7243, 1989).....	21
表 6 穿著個人防護具之代謝率增加量(BS 7963:2000).....	22
表 7 PHS 模式(ISO 7933)所採用的建議限值.....	23
表 8 溫濕狀態條件變化及其使用設備選用參考.....	32
表 9 空氣冷卻方式優缺點比較.....	33
表 10 熱環境通風控制效果評估舉例.....	35
表 11 本計畫熱環境因子測定儀器設備.....	39
表 12 「濕熱作業環境通風控制實例訪查研究」現場調查紀錄表.....	40
表 13 代謝率估計法(ISO 8996).....	41
表 14 廠房自然通風器概略分類與用途（1/2）.....	54
表 15 廠房自然通風器概略分類與用途（2/2）.....	55
表 16 現場熱環境測定結果總表.....	71
表 17 利用 ISO 7933 的 PHS 模式分析未熱適應者的容許暴露時間.....	73
表 18 利用 ISO 7933 的 PHS 模式分析已熱適應者的容許暴露時間.....	74
表 19 G場所廠房水針不織布作業區改善前後比較.....	85
表 20 H場所廠房熱水鍋爐作業區改善前後比較.....	92
表 21 建築節能與熱工程設計的主要內容與目的.....	100



# 第一章 計畫概述

## 第一節 前言

近 10 年來，地球暖化現象逐漸波及台灣，臺灣地區夏季平地氣溫高於正常體溫的日數有遞增的趨勢，其中於戶外工作場所進行作業的勞工，其身體不僅直接承受陽光幅射，高氣溫、高相對溼度的環境空氣同樣能影響勞工健康。

以台灣地區常見的「鐵皮屋（金屬構造廠房）」為例，即使廠房內部容納機具、人員與物料的空間綽綽有餘，為了節約廠房通風、散熱、排除濕氣所需的電力，大多刻意將廠房淨高設計為 6 公尺（20 呎）以上，使濕熱空氣受浮力影響而自動上升到人員作業空間之上，此概念呈現如圖 1。

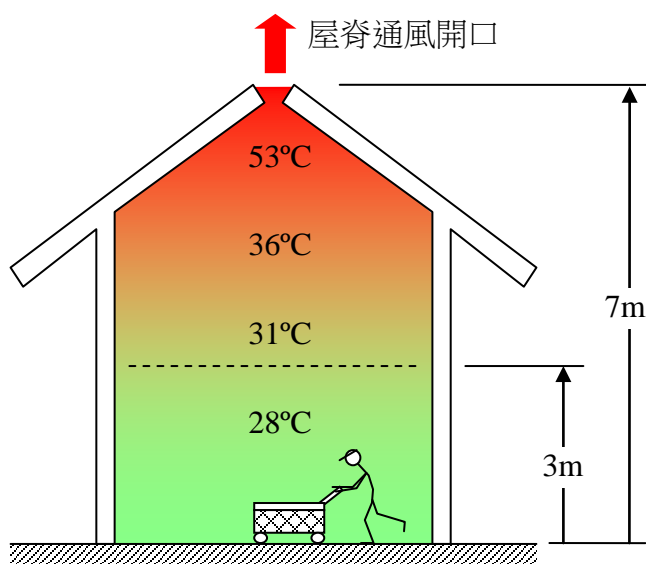


圖 1 舉例說明廠房內部氣溫與高度的概略關係

為避免使廠房內部空間變成高溫、高濕、不宜長時間工作的環境，事業單位不得不設法進行環境改善，否則可能顯著影響廠內的勞工健康。在各種改善技術當中，「通風換氣」是可用工具種類多、應用搭配較靈活的常見技術：藉由室內外空氣的大量交換，可移除廠房內的濕熱空氣，並以較新鮮涼爽的戶外空氣取代之。為了提高事業單位的採納意願，各種廠房通風換氣設施大多借助免費能源（熱氣上升浮力、風力、太

陽光電），如今台灣地區的廠房已大量應用此類設施。

圖 2 是一個典型的濕熱廠房通風換氣控制案例，其原理如下：夏季陽光曝曬廠房屋頂，使廠房內部高處的廢氣溫度升高（研究人員曾測得 55°C 的高溫）並持續向下累積，而位於廠房最高處的屋脊通風開口，恰好可以利用熱氣的浮力來排放這個廢氣；圖右的下風側氣窗，利用風力捲出廠房內的濕熱廢氣，並由圖左的上風側氣窗引入較涼爽的戶外空氣；為了補足由屋脊通風開口與氣窗排放的濕熱廢氣，自圖左下方廠房低處大門自動補充流入戶外較新鮮、較涼爽的空气，使位於地面的勞工，能工作於較舒適新鮮的環境空氣裡。

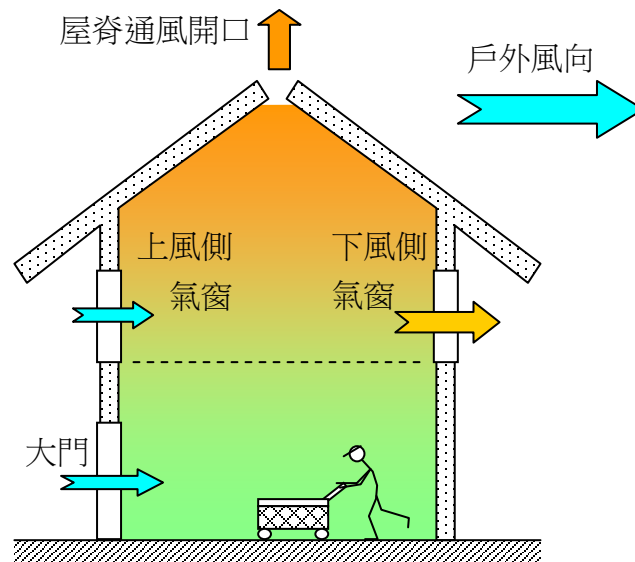


圖 2 屋脊通風口、氣窗、大門通風散熱排濕綜合案例

廠房作業環境的空氣濕熱問題，受社會各界重視的程度逐年提高，近年來已成為勞工團體的關注焦點（例如高溫假、高溫津貼等議題）。我國政府就高溫作業環境對勞工健康的影響經常保持關注，近 3 年夏季最高氣溫屢創新高，政府迅速作出反應，除了配套增訂熱危害預防相關法規[1]、於每年夏季來臨前及時發布相關宣導資料[2]與工安警訊，勞動部勞動及職業安全衛生研究所也提供「高氣溫勞工熱危害預防指引」等技術資源，使事業單位得知如何因應暑熱危害，保護勞工健康。

雖然事業單位已得知如何搭建相關設施以因應暑熱期間的潛在危害，包括如何緊

急照護中暑勞工，但作業環境每天的氣溫、相對溼度、熱幅射（含陽光熱幅射與製程設備熱幅射）情況不同，職業衛生專業人員若能事先評估當前勞工於特定作業場所的容許工作時間，並積極引進通風／排濕／散熱等環境空氣控制技術，則勞工健康可獲得更好的保障。這也是推動本計畫的初衷。

## 第二節 3K 產業的濕熱作業環境

俗稱的 3K 產業，其名稱中的「3K」是指骯髒、危險、辛苦的意思[3]。夏秋兩季暑熱期間，在潮濕、悶熱的廠房環境中長時間工作，容易因累積的熱應力而影響健康，因此大多數濕熱作業廠房符合 3K 產業定義。舉例而言，傳統砂模鑄造廠、水淬與油淬熱處理廠、紡織染整廠、大型洗衣廠、農產品殺青場、家禽屠體濕式褪毛場、食品蒸煮廚房等，都是製程中必須對水加熱並大量蒸發的 3K 產業作業場所，其廠房空間均屬濕熱作業環境。除此之外，另有許多事業單位，因為廠房正好位於夏季高氣溫且高相對濕度的地區（例如夏季多雨的臺北盆地），此類事業單位的廠房只需存在加熱設備，就能使廠房內部變成空氣濕熱異常的環境，使勞工汗流浹背，苦不堪言。

事業單位如何對濕熱作業環境實施工程改善，或對勞工的作業內容與時間作有系統的評估管理，使勞工在濕熱環境中工作時，能提前規避對勞工健康不利的影響？由於事業單位的經營無不考慮永續、成長、成本，因此以下的綜合方針，往往是事業單位最優先（同時也是較常見的）考量重點。

- 一、以單純的行政管理方式，因應「每年只會偶爾出現幾次」且「不至於危及勞工安全」的濕熱作業健康風險，待日後了解問題成因之後，再設法搭配環境工程改善技術徹底解決。單純的行政管理方式，包括提供濕熱作業安全衛生教育訓練、指定勞工穿著適當衣物、依個別勞工的體能狀況調整作業負荷、分配每小時工作與休息時間的分配比例、就近給予充足的清涼飲水與鹽片、開放使用淋浴設施與冷氣休息室、指定專人密切觀察勞工健康狀況等。
- 二、採用工程改善技術，改善廠房的通風散熱效益，且以不需使用能源，或只需利用自然能源的廠房自然通風散熱技術為優先（具體的技術種類將於本文件後續章節介紹）。

- 三、無法採用自然通風散熱技術，或採用後仍無法解決問題時，則補充採用耗電低、成本低的機械通風設備（例如穿牆式軸流換氣風扇）。
- 四、當局部區域存在發熱功率巨大的設施，能對空氣加熱、加濕或對周遭環境作熱輻射時，則進一步採用較昂貴的包圍式氣罩與局部排氣裝置，使濕熱氣體排出廠房。
- 五、若採取前述工程改善技術都不能解決問題，則另採取「以熱絕緣材料包圍或隔離生產設施、搭建局部斷熱牆、搭建廠房隔熱屋頂或雙重屋頂、遠距操作發熱設備」等林林總總的輔助控制措施。

由以上的說明，可知以工業通風為主的工程控制技術，是對抗濕熱作業環境的優先選項，事業單位若具備較完整的通風技術觀念，則可設法改善廠房的空氣品質與物理性質，以保障勞工作業安全。在過去，勞工安全衛生研究所已推出多種新式通風控制與量測技術，可針對不同的運用目的，預先評估作業環境的通風需求，以及實施新技術後能對作業環境造成多少幅度的改善。

本計畫探討以通風控制技術為核心的濕熱作業環境控制與管理方案，實地訪查並監測各種濕熱作業環境，了解濕熱的環境空氣對勞工健康的危害，並提供通風改善的思路，最後打破技術的壁壘，將一切有助於改善濕熱作業環境的工程與管理技術，作綜合性質的配套運用，推出適當的應用產品。

### 第三節 計畫目的與工作項目

本研究計畫的目的是將「廠房通風散熱工程控制技術」與「傳統熱危害評估管理技術」進行深度結合，具體的工作項目以濕熱環境的環境改善需求為中心，進行各種理論研討與現場實地訪視。本計畫除了基礎學術研究之外，同時實施 5 個濕熱作業廠房進行訪視與環境監測，並就個別訪視案例，提供初步管理與環境改善建議，部分較可行的案例則深入提供更完整的通風改善方案，所得研究成果作為本所下一年度通風研究的參考，並提供勞動部做為宣導事業單位進行相關改善的資料依據。

- 一、蒐集各種廠房自然通風散熱技術、國內外研究文獻與標準，了解通風控制、防範濕熱作業環境危害之作法及相關數據資料。

- (一) 探討永久性或半永久性的廠房自然通風散熱設施，其原理與運轉特性為重點。
  - (二) 蒐集國內外研究文獻與國際標準，以能與我國職業安全衛生政策、環境改善工程技術相互呼應者為重點。
  - (三) 蒐集除通風以外的輔助工程技術資源，以能有效改善濕熱作業環境者為重點。
- 二、適當選擇濕熱作業環境，前往廠房進行實地訪視，進行熱環境因子測定，以了解國內濕熱作業環境的現況，及對勞工容許暴露時間的影響。
- (四) 開發可提供事業單位使用的電腦軟體，其功能包括「熱危害控制」以及「節能效率評估」。利用節能為誘因，鼓勵事業單位採用此軟體，可據以評估勞工在濕熱作業環境的容許工作暴露時間，並評估為實現環境改善所需的通風換氣性能。
  - (五) 針對接受訪視的國內高溫高濕作業廠房，探討如何利用廠房自然通風換氣、機械式通風換氣、局部排氣、其餘輔助控制措施等工程控制技術，以降低熱危害風險、延長勞工容許暴露時間。
  - (六) 針對較有意願的受訪案例，輔導事業單位如何具體利用通風散熱技術，改善其濕熱作業環境，並作為示範單位，以提供相關事業單位參考。



## 第二章 文獻回顧

### 第一節 概說

高溫高濕的作業環境，不僅會使勞工感到不適，也可能因疲勞而釀成職業災害。為此，事業單位若能提供舒適健康的工作環境，則有機會提高勞工的生產力、降低職業災害的發生率。然而，台灣地屬亞熱帶海洋氣候區，夏季氣溫不僅接近人類體溫，且空氣相對濕度經常偏高，勞工在潮濕悶熱的環境空氣中賣力工作，即使身體大量流汗，也無法立即蒸發，勞工身體因而無法順利散熱。

在氣候相對乾燥涼爽的溫帶工業先進地區，例如日本、北美、中歐、地中海北岸等，關於作業環境空氣溫濕度的控制，其難度遠較台灣地區更為容易。我們必須瞭解並承認各國環境空氣物理條件的差異，正視台灣地區氣候的潮濕溫暖特性，將環境控制視為職業安全衛生管理的重要課題，才能因應由濕熱作業環境造成的種種問題。

當勞工在鍋爐間擔任鍋爐監控人員、在金屬熔爐旁擔任操作員、在熱鍛車進行鍛造工作、在熔融玻璃製瓶機旁進行維修工作，或身處於各種生產機具的熱輻射影響範圍時，勞工身體可能經由「熱對流、熱輻射」等熱交換機制而吸收過多的熱，特別容易造成熱危害。除此之外，戶外工作者在暑熱期間從事戶外工作，也可能因戶外環境氣溫高於正常體溫而自空氣吸熱，或吸收近中午時段旺盛的陽光輻射熱，因而造成身體不適，甚至引發皮膚癌等相關疾病。

勞工身體表面自環境吸收前述的熱之後，經勞工個體的熱生理調節，而以流汗濕潤體表、繼而自皮膚表面蒸發汗水，或提高體表溫度等方式，設法將多餘的熱散發到週遭環境中，否則持續吸熱將會使勞工體內溫度上升，惡化疲倦感覺，使發生意外事故的機率增加，繼而誘發熱疾病，甚至因急性熱衰竭而死亡。為防範勞工因此受害，我國於 103 年修訂的「職業安全衛生設施規則」之中，以第 303 條至第 308 條規定室內作業場所之溫度及濕度要求如下：

第 303 條 雇主對於顯著濕熱、寒冷之室內作業場所，對勞工健康有危害之虞者，應設置冷氣、暖氣或採取通風等適當之空氣調節設施。

第 304 條 雇主於室內作業場所設置有發散大量熱源之熔融爐、爐灶時，應設置局部排氣或整體換氣裝置，將熱空氣直接排出室外，或採取隔離、屏障或其他防止勞工熱危害之適當措施。

第 305 條 雇主對於已加熱之窯爐，非在適當冷卻後不得使勞工進入其內部從事作業。

第 306 條 雇主對作業上必須實施人工濕潤時，應使用清潔之水源噴霧，並避免噴霧器及其過濾裝置受細菌及其他化學物質之污染。人工濕潤工作場所濕球溫度超過攝氏二十七度，或濕球與乾球溫度相差攝氏一·四度以下時，應立即停止人工濕潤。

第 307 條 對中央空調系統採用噴霧處理時，噴霧器及其過濾裝置，應避免受細菌及其他化學物質之污染。

第 308 條 雇主對坑內之溫度，應保持在攝氏三十七度以下；溫度在攝氏三十七度以上時，應使勞工停止作業。但已採取防止高溫危害人體之措施、從事救護或防止危害之搶救作業者，不在此限。

於戶外作業的伐木工、農夫、營建工人等勞工，在「職業安全衛生設施規則」第 324-5 條規定，雇主使勞工於夏季期間從事戶外作業，為防範高氣溫環境引起之熱疾病，應視天候狀況採取下列危害預防措施：

- 一、降低作業場所之溫度。
- 二、提供陰涼之休息場所。
- 三、提供適當之飲料或食鹽水。
- 四、調整作業時間。
- 五、增加作業場所巡視之頻率。
- 六、實施健康管理及適當安排工作。
- 七、留意勞工作業前及作業中之健康狀況。
- 八、實施勞工熱疾病預防相關教育宣導。
- 九、建立緊急醫療、通報及應變處理機制。

在熱逸散嚴重的廠房，其室內空氣溫度會比室外空氣溫度更高，通常也存在高輻

射熱，此時如果又有水蒸氣大量釋放在廠房內部空間，則往往形成濕熱作業環境，不利於作業勞工排汗蒸發散熱，進而引起熱相關疾病。目前已知人體對其所處環境的冷熱感覺，主要受到下列三項因素影響：

- 一、環境參數：包括環境氣溫( air temperature,  $T_a$ )，環境空氣相對濕度( relative humidity, RH)，環境風速( air velocity,  $V_a$ )，輻射熱( radiant heat,  $R$ )。註：輻射熱係利用黑球溫度(  $T_g$ )、環境氣溫(  $T_a$ )與風速(  $V_a$ )求得。
- 二、身體代謝產熱量( metabolic heat,  $M$ )：由工作負荷量或運動強度及其工作型態決定。
- 三、衣著熱絕緣值( clothing insulation, clo)：受衣著的材質、厚度、織法、合身程度、衣服的剪裁開口數目及穿著時的身體姿勢與環境因素等影響。

基本上，過去的學者研究濕熱作業環境的主要目的，除了避免熱應力( heat stress)對人體產生健康危害之外，主要在於為人類的生活提供最佳的熱舒適條件，並滿足節省能源耗費，且不影響工作效率[4]。以台灣夏季潮濕炎熱的氣候而言，利用廠房自然通風散熱的設計，或是採取機械通風換氣技術，設法降低室內高溫高濕引起的危害，是迫切需要探討的職業衛生議題。

## 第二節 熱環境與高溫作業危害

通常我們將「能影響人體冷熱感覺的各種因素」構成的一群綜合條件，統稱為熱環境( thermal environment)，這其實是一種試圖採用抽象數學模型來描述真實世界濕熱環境特性的權宜作法。在本計畫中，關於熱環境的描述，側重於周遭環境與暴露個體之間的熱交換特性。

依美國職業安全衛生研究所( National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)於1986年的定義，以及世界衛生組織( WHO, World Health Organization)於1969年的定義，所謂熱環境，是指外在環境與暴露個體的熱交換，以及暴露個體的體內因工作負荷生成的代謝熱，透過暴露個體的熱生理調節後，仍可使暴露個體的體內溫度或體心溫度升高到38℃以上的環境。前述的定義方式相當嚴格，主要是針對容易造成人體熱危害的炎熱環境( hot environment)所作的定義。

所謂熱應力（heat stress）是指在暴露個體的體內生成的「工作代謝產熱量」，與外在環境因素（氣溫、相對濕度、風速及輻射熱等）、衣著種類等條件共同作用，影響暴露個體的身體對環境的散熱，進而使暴露個體的身體，於體內產生熱負荷或熱蓄積的情形。

當勞工身體承受熱應力時，身體為了有效散熱，因而發生一連串的生理變化，如心跳速率加快、流汗率增加、皮膚血流量升高等。前述的生理變化，目的都是要設法將體溫調節在正常範圍。發生前述的生理變化之後，勞工可能因汗水濕透衣物、汗水無法蒸發而感到不適，並進而影響熱應力的蓄積。如果勞工身體承受的熱應力無法穩定下來，而是持續惡化，則因為體內過量的熱蓄積，使體溫升高到 38 °C 以上，此時可能引發熱相關疾病，甚至死亡。

前述因熱應力產生的種種生理變化，統稱為熱應變（heat strain），所造成不良的健康影響，則稱為熱危害。

高溫作業是人類產業活動中，較具危險性且不可避免的工作之一。關於高溫作業環境對於人體所造成的負面影響，經調查研究顯示，當熱蓄積到達某一程度時，最初會出現「不舒服」反應。勞工感到不舒服時，通常會藉由自行減少工作量、放緩工作步調、增加休息時間、有意降低工作效率等種種方式，以減少身體的熱蓄積。然而勞工若持續暴露於同一種熱環境中，則體內熱蓄積會持續增加，進而使體內熱調節機轉失調，因而出現熱衰竭（heat exhaustion）、熱痙攣（heat cramps）及熱中暑（heat stroke）等症狀，最後可能導致死亡。

為保護高溫作業勞工，於 1974 年，美國政府工業衛生技師協會（ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists）[5]採用作業環境測得的綜合溫度熱指數（WBGT, wet bulb globe temperature）及個別勞工的工作負荷（workload）為參數，以「勞工肛溫（rectal temperature）不得超過 38 °C」的生理條件為前提，規範在不同工作負荷條件下，不同 WBGT 範圍的每小時作息時間比例。

前述 ACGIH 的作法，主要是依據 Dukes-Dobos 及 Henschel[6]在 1973 年的研究結果。我國獲得此技術資源後，衡量國情特色，參考 ACGIH 的作法，也在 1974 年訂定「高溫作業勞工作息時間標準」，並於 1998 年再次修正，以規範各種作業情形每小時

作息時間比例。

近年來，世界各地常見氣候異常現象，吸引媒體競相報導。當前於若干氣候乾燥的地理區域，夏季白天氣溫高於 38 °C 的情況並不罕見，初來乍到的觀光客為此叫苦連天，但當地人民卻能正常生存，這種現象說明人體對熱環境具有一定程度的適應能力，但需要適當的時間，才能適應新的熱環境。為此，政府利用 103 年職業安全衛生法修法的機會，增列第 6 條之 1，該條文要求雇主對於首次從事高溫作業之勞工，應規劃適當的「熱適應期間」，並採取必要措施，以增加其生理機能調適能力。

### 第三節 濕熱作業環境及其對人體健康影響

濕熱作業環境是指溫暖潮濕類型的作業環境，其氣象條件特點是氣溫高，相對濕度高，而熱輻射強度不大，具體的場所如濕熱作業廠房內部，以及台灣地區夏季白天的濕熱戶外工地。濕熱作業環境主要是由於生產過程中產生大量水蒸氣、環境存在自然的水份蒸發機制，或因為生產上要求保持較高的相對濕度所致，例如染整、食品加工、造紙等工業中，在以水加熱或進行原料蒸煮時，廠房內的氣溫可高達 35°C 以上，相對濕度常可達 75 % 以上。

一般認為當絕對濕度達到 3.5kPa（對應於濕球溫度為 27°C 的飽和空氣）以上的環境時，皮膚與其所處環境的絕對濕度差較小，此時汗水大部分是從體表皮膚直接滴落，故不利於排汗蒸發散熱，容易導致人體內熱蓄積情形。

根據 Malchaire 等人[7]的研究，氣溫達 35°C 且環境空氣的絕對濕度大於 3kPa 時，該環境就可歸類為濕熱環境。Kerslake[8]的研究也指出，環境空氣的水蒸氣壓若高於 4.9kPa，將使體表皮膚完全潮濕，因而無法藉由排汗蒸發散熱，同時導致平均皮膚溫度明顯升高。

Candas 與 Hoeft[9]進行了濕熱環境的衣著與熱生理效應的詳細實驗研究，他們的研究發現可整理如下。

一、當環境空氣的水蒸氣壓達 2.2kPa 時，受試對象若穿著隔熱效果相當於 0.53clo 衣物，則其汗水累積在衣服上的重量呈現指數增加，且體心溫度的增加速率也與環境的水蒸氣壓有關。

二、如果受試對象身上穿著普通衣物，當水蒸氣壓達 2.3kPa 以上，體心溫度即有明顯增加；受試對象若裸露上半身，則水蒸氣壓必須達到 3.7 kPa 以上，體心溫度才會出現明顯增加的情形。

三、若以衣著覆蓋部位的皮膚汗濕率來觀察，水蒸氣壓低於 2.5kPa 時，受試對象的皮膚汗濕率約為 53%，且汗濕率不受環境空氣相對濕度的影響；當水蒸氣壓大於 2.5kPa（相當於環境空氣露點溫度落在 21-22°C 的範圍），則正常穿著衣物的受試對象皮膚排汗增加；若利用這個排汗增加的曲線，以外插法作預估，則可發現水蒸氣壓達 3.6kPa（相當於環境空氣的露點溫度落在 27-28°C 的範圍）時，會發生汗水的水蒸氣凝結（condensation）問題，這時受試對象的皮膚汗濕率將達到 100%。換句話說，環境空氣的水蒸氣壓達 3.6kPa 時，人體就無法以排汗蒸發的方式散熱。

關於人體對熱環境的熱適應研究，Bell 與 Walters 等人[10]利用 31 位未曾進行熱適應的受試者，在環境風速固定且無輻射熱源的環境中，給予固定的工作負荷，然後分別設定不同的環境空氣溫濕度的組合條件，進行一系列人體實驗，紀錄受試者達到熱崩潰（heat collapse）時所需的時間，並推估不同環境條件組合下，5% 人口的安全暴露時間。他們發現安全暴露時間（x）與環境空氣溫濕度指標（ $y=0.3 \times T_a + 0.7 \times T_{wb}$ ）之間，呈現對數線性相關，其公式如下：

$$\log_e y = 7.84 - 0.116x \dots\dots\dots (1)$$

其中  $T_a$  為空氣溫度(°C)

$T_{wb}$  為濕球溫度(°C)

Sakate[11]認為濕熱作業環境以釋放水蒸氣的潛熱為主，熱暴露對勞工的影響並不明顯，但因為空氣中含有大量的溫濕水蒸氣，造成人體排汗無法有效的從體表皮膚蒸發散熱，而是由皮膚直接滴落，所以它造成的潛在危害比高溫乾燥（乾熱）作業環境還要嚴重。

一般溫暖潮濕作業環境以造紙工廠、紡織廠、染整廠或食品烹煮處理作業為多，該環境較適合採用以機械力替代人力方式降低工作負荷，並利用作息時間分配、補充水分等行政管理方法避免產生熱危害。在環境控制方面，利用通風工程技術並採行適當降溫與除濕措施，是改善作業環境的可行方法。

Dehghan 等人[12]在伊朗南方炎熱潮濕的環境中，將 71 位勞工依據 BMI 區分為肥胖 (BMI>25) 與正常 (BMI<25) 兩組，然後以心臟危害 (cardiac strain) 指標為標的，比較胖瘦兩組勞工的差異，研究結果發現具有統計上的顯著意義，他們提出「在濕熱環境應避免僱用 BMI 值大於 25 的肥胖勞工」的建議。

Sen Gupta 等人[13]藉由人體實驗，探討印度人在乾熱 (WBGT=34.7°C)、濕熱 (WBGT=34.8°C) 及舒適 (WBGT=23.5°C) 等三種不同的環境下，連續工作時出現的生理反應。他們的研究結果顯示，人體在濕熱環境下的最大攝氧能力 (maximum oxygen uptake capacity,  $VO_{2max}$ ) 與可持續工作時間，都比乾熱環境下的數據顯著更低，而在濕熱環境固定耗氧量的心跳速率、流汗速率、皮膚溫度都比乾熱環境顯著增加，主要是因為濕熱環境使身體不容易以排汗蒸發散熱的方式調節體溫，導致工作能力降低。

生理疲勞指數 PSI (physiological strain index, PSI) 是藉由疲勞量表 (一種問卷) 評估出來的無因次參數，可用於呈現接受評估者自覺疲勞的嚴重程度。Shi 等人[14]利用氣候艙 (climate chamber) 模擬濕熱環境，並進行人體實驗：在不同氣溫 ( $t_a=32, 36, 40$  °C) 與相對濕度 (RH=40, 60, 90 %) 的環境組合下，搭配不同的工作負荷量 (輕、中、重) 與生理參數 (流汗速率、直腸溫度、心跳速率與 PSI 等)，進行多變數的回歸 (multiple regressions) 分析。研究結果顯示，「氣溫與相對濕度」兩者存在複合效應 (combined effect)，並且可以利用環境空氣焓值 (enthalpy of air) 來呈現這種複合效應造成的影響，如果再加上工作負荷輕重的影響，則會對「流汗速率、直腸溫度、心跳速率」等生理參數產生正影響。

前述 Shi 等人的研究結果聽起來嚴謹但有些拗口，以下用較淺白的方式重新說明：在濕熱作業環境中，「環境氣溫偏溫」與「環境空氣相對濕度偏高」都是對勞工健康不利的條件，而且可以用環境空氣的焓值，來呈現這種不利的嚴重程度 (環境空氣的焓值愈高，對勞工健康愈不利)；除此之外，暴露在高焓值的環境空氣中，勞工若從事重負荷的工作，則後果相當於火上加油，會使勞工的「流汗速率、直腸溫度、心跳速率」一起增加，最終導致勞工健康受損。

Maughan 等人[15]利用環境模擬暴露艙進行人體實驗：環境氣溫維持在  $30.2 \pm 0.2$  °C 的範圍，受測者的運動強度維持為中等 (70%  $Vo_{2max}$ )，然後針對四種不同的環境

空氣相對濕度 (RH=24, 40, 60, 80 % )，分別量測受試者的體溫、皮膚溫度、心跳速率、皮膚血流量、皮膚血管導電度的變化。研究結果顯示，雖然看不出體溫與心跳速率受環境相對濕度變化的影響，但關於皮膚溫度及流汗速率這兩者，在高相對濕度 (RH=60, 80%) 的條件下較高，而在低相對濕度 (RH=24%) 的條件下較低，具有統計上的顯著差異。換句話說，即使環境氣溫無變化，運動強度也始終維持為中等，在比較潮濕的環境空氣中，人體的皮膚溫度較高，且流汗速率較快，使勞工的綜合工作能力受到負面影響。

在涼爽的季節，Ye 等人[16]前往位於瀋陽與上海的不同工廠，調查包括室內環境溫度的數個因素對作業人員生產力的影響。研究結果發現在「微涼或微暖」的作業環境中，勞工的生產力比「熱適中或熱舒適環境」的生產力更高；他們認為維持良好的室內空氣品質遠較其他熱環境的改善，更能提高勞工的生產力。Ye 等人發現氣溫 35 °C 的生產力較氣溫 25 °C 的生產力低了 9%，並建議環境氣溫宜維持在 24.8 °C。除此之外，考量各種因素對生產力的影響，他們認為應改善的優先順序為：(1)空氣品質，(2)舒適程度，(3)冷熱感覺，(4)工作日，(5)勞工的情緒狀態。Ye 等人針對室內環境溫度與生產力的相關性，提出下列公式：

$$y = -0.049x^2 + 2.427x + 74.100 \quad (r^2 = 0.592) \dots\dots\dots (2)$$

其中 y 為生產力 (productivity)

x 為室內環境溫度(°C)

關於人體的水份散失，正常情況下人體每天由呼吸道蒸發散失的水份約為 200-400 克；在舒適安靜的條件下，透過皮膚蒸發的水分約為每日 600-800 克；在最炎熱的情況下，每小時可以流失約 1000-1500 克的汗水。雖然一提到濕熱環境，就容易聯想到流汗與乾渴，不過我們必須了解的是，勞工身體水份散失的速率，只是人體對熱環境種種生理反應之一而已。

影響人體對熱環境生理反應的因素很多，既有環境固有的因素（氣溫、空氣相對濕度、環境風速與熱輻射），又有個人活動量、衣著條件等因素，若將熱環境看作是多維空間中的一個點或區域，則我們在界定這一區域時，會因為採用的條件不同，因而表現為不同的評價標準。一般而言，熱環境的評價方式，可分為以下三類。



- 一、安全標準範圍：在此範圍內，不會影響勞工身體健康，勞工身體的熱調節系統不會失調，勞工身體的生理機制不損失，也不會死亡。
- 二、工作效率標準範圍：在此範圍內，環境冷熱狀況只會影響勞工的身心反應能力，繼而影響勞工從事體力勞動和腦力勞動的效率。
- 三、舒適標準範圍：在此範圍內，冷熱適中，熱感覺舒適，勞工身體為了自我調節機能而承擔的熱應變最小。

上述的舒適標準範圍與工作效率標準範圍，乍看似乎相似，但彼此涵蓋的範圍不見得相同。不過話說回來，在任何情況下，都要優先考慮安全標準，其他林林總總的標準，均應該落在安全標準的範圍內，否則沒有討論的必要。

## 第四節 熱作業環境風險評估策略之國際標準

國際標準組織（International Organization for Standardization, ISO）為預防在冷熱環境中工作引起的危害，提出一套針對生理反應與不舒適程度等的風險評估策略（ISO15265, 2004）。該標準針對各種不同工作狀況作深入分析，以利發掘環境中存在的問題；除此之外，該標準也可視為一種蒐集相關資訊的工具，可輔助實施風險評估、控制，以及擬訂妥善預防策略，降低工作環境所造成的健康風險。

ISO15265(2004)的評估策略，分為觀察、分析以及專家評估三階段。大部分的問題可利用簡單或直接的觀察方式發現，根據觀察階段所得之結果，部分需進一步由管理階層進行氣候參數與相關背景資訊蒐集，以及後續的分析。針對特殊或較複雜的情況，則需由管理階層結合具相關專業知識與經驗的專家，進行進一步的參數量測以及分析研判。這三階段評估說明如下：

### 一、 第一階段（觀察法，Observation）

本階段由工作人員結合管理階層共同進行，針對每天或全年的一般工作情形、環境條件、冷應力發生源及型態加以界定，以作為是否進行第二階段分析的參考。一般而言，引起危害的相關參數包括：(1)氣溫，(2)濕度，(3)熱輻射熱，(4)風速等環境參數，以及工作負荷與個人衣著等。因此本階段藉由工作人員針對上述條件加上個人感受認知，填寫如表 1 的問卷，如果各問項的配分大於 1 或小於-1，則需進一步標示該參數

的重要性（例如來源，位置等）。表 1 問卷的設計方式，配分 0 為最佳情形，當勞工填寫的選項配分不是最佳情形時，則需進行進一步的量測，以利實施危害預防。單項參數配分偏離 0 愈明顯，則表示進一步分析的必要性愈高，只要分析結果的加總配分或單項配分偏離 $\pm 1$ ，就必須進行第二階段分析。

## 二、 第二階段（分析法，Analysis）

本階段分析法的目的，是利用第一階段以及與第一階段有關的後續環境測定結果，共同評估為避免危害發生的相關參數最佳範圍（最小值與最大值），並決定下一個階段（專家評估階段）是否有必要執行。本階段首先由管理階層針對作業環境中各種作業種類、平均及最長工作時間、作業員工人數等詳加描述，並針對第一階段員工問卷中除個人感受之外的 6 種參數（氣溫 Ta、濕度 RH、輻射熱 Tg、風速 Va、工作負荷 M、衣著熱阻值 clo），作更精確的量測與記錄。

除此之外，根據上述 6 項參數的量測結果，依據相關標準評估衣著熱阻值需求（IREQ）、熱舒適指標（PMV 與 PPD）、綜合溫度熱指數（wet-bulb globe temperature, WBGT）、熱應變以及容許暴露時間，作為該環境有關危害的風險評估依據，以判定目前的作業方式是否可接受，或是否符合相關標準建議的規定。如未滿足需要，則應嘗試評估為達到最佳工作條件的前提下，各項參數的範圍以及各種預防或控制方法。

## 三、 第三階段（專家評估法，Expert）

此階段的目的是，針對第二階段需進一步分析的項目，分析冷熱應力來源及情況，由具經驗的專家作更精確的參數量測與界定，並提出每個工作類型所需的特定危害預防方式。實施第三階段時，專家需實地詳細了解現場狀態，並決定尚待進一步分析的工作類型，此外還要對目前的風險加以評估。第三階段的工作項目，包括對於每一類作業的作業時間、環境溫度、濕度、輻射熱、風速、工作負荷、衣著熱阻值等參數，實施精確的量測與資料蒐集，以了解各參數的平均值與極值（極大或極小）。利用這些參數，可評估每一類作業的風險，例如為避免某相關危害發生所需的 IREQ、舒適度評估（PMV 與 PPD），或熱應變等。接下來則針對某一參數或整組參數提出修正，甚至實工作時程調整。另外，專家亦可提出預防、控制等改善策略，以及個人防護等建議，以達到保護作業勞工避免相關危害的目的。

表 1 觀察法之各項參數配分表(ISO 15265:2004)

環境參數	配分	狀況描述
氣溫	-3	全身感覺冰冷，氣溫低於 0°C
	-2	氣溫介於 0~10 °C 之間
	-1	氣溫介於 10~18 °C 之間
	0	氣溫介於 18~25 °C 之間
	1	氣溫介於 25~32 °C 之間
	2	氣溫介於 32~40 °C 之間
	3	氣溫超過 40 °C
濕度	-1	約 2~3 小時會感覺喉嚨乾燥、眼睛乾澀
	0	正常
	1	皮膚微濕
	2	皮膚完全濕透
輻射熱	-1	約 2~3 分鐘臉部感覺到冷
	0	無法識別有無輻射熱存在
	1	約 2~3 分鐘臉部感覺到溫暖
	2	超過 2 分鐘後臉部產生無法忍受的疼痛
	3	立即有灼傷的感覺
風速	-2	強勁冷風吹拂
	-1	冷風微微吹拂
	0	無明顯氣流感覺
	1	暖風微微吹拂
	2	強勁暖風吹拂
工作負荷量	0	辦公室作業：輕鬆、輕微肌肉活動、偶爾有正常風速吹拂
	1	手部或腿部的中度工作：使用重機械或走路
	2	手臂或身體的重度工作：搬運重物、鏟物、木材切割、攜帶重物快速走路
	3	以高速進行的極重度工作：上樓或爬梯
衣服穿著	0	輕質柔軟不影響作業的衣物
	1	穿著有些影響作業活動的長袖或長褲
	2	穿著笨重的防輻射、潮濕或禦寒之衣物
	3	穿著含手套、面罩與安全鞋的連身衣物
勞工個人感受	-3	全身顫抖且明顯不舒適感
	-2	明顯有局部不舒適感，全身有涼快感覺
	-1	輕微局部有涼冷不舒適感覺
	0	無不舒適感
	1	輕微出汗及不舒適感，感覺口渴
	2	大量排汗，明顯感到口渴且需調整工作步調
	3	極度流汗，工作感覺疲倦，特殊衣著

註：只要其加總的配分值或單項偏離  $\pm 1$  時即應再進一步進行作業環境測定分析。

除了 ISO15265 標準，其他國際標準如 ISO 7726 (1998)，主要是規定熱環境參數測定儀器設備的準確度要求水準，相關儀器準確度要求請參考表 2 與表 3 之內容。

ISO 7730 (2005)主要是規定利用 PMV 與 PPD 當作熱舒適評估指標。一般室內氣候條件對人體舒適度的評價請參考表 4 之內容[17]。ISO 7933 (2004)是利用熱平衡方程式進行熱危害預測模式 (PHS model) 的開發，本文件會在稍後的章節裡，說明如何採用此標準撰寫電腦計算程式，以求得容許工作暴露時間。

ISO 10551(1995)主要利用冷熱環境主觀判斷評估法，用於進行簡易查核及勞工個人主觀評估。ISO 7243 (1989)則規定 WBGT 的測定評估方法，並列出建議高溫作業下各種工作負荷之最大綜合溫度熱指數值 (表 5)。目前國際標準組織也已著手檢討修正此一國際標準。

BS 7963 (2000)主要應用在評估勞工穿著個人防護具的代謝率增加量 (表 6)，以及說明其 WBGT 的評估方法。CNS 15537 (2012)室內環境熱舒適度量測法屬於我國的國家標準，用來評估及測定室內環境熱舒適度。ACGIH (2007) Heat stress and strain 屬於 ACGIH 的熱危害預防與管制的說明文件，該文件會定期檢討更新。

表 2 熱環境量測儀器特性(ISO 7726)

物理參數		C 級(舒適)			S 級(熱應力)			備註
		量測範圍	準確度	回應時間	量測範圍	準確度	回應時間	
空氣溫度	符號							
	$T_a$	10   30°C	基本要求: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 理想要求: $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 以上基準在 $ T_{mrr} - T_a $ 為 $10^\circ\text{C}$ 時應確均會符合 要求。	依量測儀器的特性而定, 原則上愈短愈好。	-40   120°C	基本要求: -40 至 $0^\circ\text{C}$ : $\pm(0.5+0.01  T_a )^\circ\text{C}$ 0 至 $50^\circ\text{C}$ : $\pm 0.5^\circ\text{C}$ >50 至 $120^\circ\text{C}$ : $\pm(0.5+0.44(T_a-50))^\circ\text{C}$ 理想要求: 基本要求準確度的一半 以上基準至少在 $ T_{mrr} - T_a  = 20^\circ\text{C}$ 時, 應確定均會符合要求。	依量測儀器的特性而定, 原則上愈短愈好。	感測頭應予以有效保護以防止牆面之冷或熱所造成之熱輻射的影響。 量測時, 若以 1 分鐘之平均值來代表亦屬可行。
輻射溫度	符號							
	$T_{mrr}$	10   40°C	基本要求: $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 理想要求: 若使用一般儀器, 在某些情況可能會難以符合、甚或不可能符合時。當不可能符合時, 則應列出實際之量測準確度。	依量測儀器的特性而定, 原則上愈短愈好。	-40°C   150°C	基本要求: -40 至 $0^\circ\text{C}$ : $\pm(5+0.02  T_{mrr} )^\circ\text{C}$ 0 至 $50^\circ\text{C}$ : $\pm 5^\circ\text{C}$ 50 至 $150^\circ\text{C}$ : $\pm(5+0.08(T_{mrr}-50))^\circ\text{C}$ 理想要求: -40 至 $0^\circ\text{C}$ : $\pm(0.5+0.01  T_{mrr} )^\circ\text{C}$ 0 至 $50^\circ\text{C}$ : $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 50 至 $150^\circ\text{C}$ : $\pm(0.5+0.04(T_{mrr}-50))^\circ\text{C}$	依量測儀器的特性而定, 原則上愈短愈好。	如以黑球量測, 則平均輻射溫度之不準確度在 C 級及 S 級時分別可達 $\pm 5^\circ\text{C}$ 及 $\pm 20^\circ\text{C}$ , 此誤差與環境及 $V_a$ , $T_a$ 及 $T_g$ 之不準確度有關。
非對稱輻射溫度	符號							
	$\Delta t_{pr}$	0   20K	基本基準: $\pm 1\text{K}$ 理想基準: $\pm 0.5\text{K}$	依量測儀器的特性而定, 原則上愈短愈好。	0   200K	基本要求: 0 至 $20\text{K}$ : $\pm 2\text{K}$ 20 至 $200\text{K}$ : $\pm 0.1 \Delta t_{pr}$ 理想要求: 0 至 $20\text{K}$ : $\pm 1\text{K}$ 20 至 $200\text{K}$ : $\pm 0.05 \Delta t_{pr}$	依量測儀器的特性而定, 原則上愈短愈好。	
空氣流速	符號							
	$V_a$	0.05   1 m/sec	基本基準: $ 0.05+0.05V_a  \text{ m/s}$ 理想基準: $ 0.02+0.07V_a  \text{ m/s}$ 以上基準只要風向的角度在下列數值以內時均 需確定會符合要求。 $\omega=3\pi\text{sr}$	基本基準: 1s 理想基準: 0.5s	0.2   10 m/sec	基本要求: $ 0.1+0.05V_a  \text{ m/sec}$ 理想要求: $ 0.05+0.05V_a  \text{ m/sec}$ 以上基準只要風向的角度在下列數值以內時均 需確定會符合要求。 $\omega=3\pi\text{sr}$	依量測儀器的特性而定, 原則上愈短愈好。	除非氣流是單一風向, 否則無論其風向為何, 感測頭均應量測有效風速。 量測時若以 3 分鐘之平均值來代表之亦屬可行。 亂流的程度為量測舒適指標之重要因子, 因此應以風速之標準差表示之。 對於冷環境建議均使用 C 級儀器, 不論其是用於舒適或極冷之熱壓力分析時。

表 3 熱環境量測儀器特性(ISO 7726)(續)

物理參數	符號	C 級(舒適)			S 級(熱壓力)			備註
		量測範圍	準確度	回應時間(90%)	量測範圍	準確度	回應時間(90%)	
基本物理性參數 絕對濕度 以水蒸氣 之部分分 壓示之	$P_a$	0.5   25kPa	$\pm 0.15$ kPa 本基準在空氣溫度相 等時，或大於 30 $^{\circ}\text{C}$ 以上，並且 $ T_{mrt} - T_a $ 差值大 於 10 $^{\circ}\text{C}$ 以上時，均 需確定符合以上 要求。	依量測儀器的 特性而定，原 則上愈短愈 好。	0.5   6.0kPa	$\pm 0.15$ kPa 本基準在空氣溫度與牆壁溫度相 等或大於 30 $^{\circ}\text{C}$ 以上，並且 $ T_{mrt} - T_a $ 差值至少 10 $^{\circ}\text{C}$ 以上時， 均需確定符合以上要求。	依量測儀器的 特性而定，原 則上愈短愈 好。	
自然濕球 溫度	$T_{nwb}$	不建議使用				$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	依量測儀器的 特性而定，原 則上愈短愈 好。	感測頭之特性已規範。
黑球溫度	$T_g$	當評估舒適程度時，不建議 使用				20~50 $^{\circ}\text{C}$ : $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ >50~120 $^{\circ}\text{C}$ : $\pm 1^{\circ}\text{C}$	依量測儀器的 特性而定，原 則上愈短愈 好。	感測頭之特性已規範。黑球亦 可於冷、中溫及熱環境中用來 評估平均輻射溫度。
濕黑球溫 度	$T_{wg}$	不建議使用				$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	依量測儀器的 特性而定，原 則上愈短愈 好。	量測 $T_{mrt}$ 之球形溫度計，在做 為衍生性參數使用時，其準確 性要求可與黑球不同。感測頭 之特性已規範。

表 4 室內氣候條件對人體舒適度的評價（劉加平、楊柳[17]）

主觀感覺評價	愉快	合適	尚可	勉強	難受
生理感覺	涼爽	舒適	微熱	熱	很熱
空氣溫度(°C)	25.1~27.0	27.1~29.0	29.1~31.0	31.1~32.0	32.1~33.0
黑球溫度(°C)	25.6~27.8	27.8~29.7	29.7~32.0	32.5~32.7	33.4~33.5
相對濕度(%)	85~92	84~90	76~80	74~79	74~76
風速(m/s)	0.05~0.1	0.05~0.2	0.1~0.2	0.2~0.3	0.2~0.4
體心溫度(°C)	36.0~36.4	36.4~36.8	36.8~37.3	37.3~37.8	37.8~38.1
皮膚溫度(°C)	29.7~29.9	29.7~32.1	33.1~33.9	33.8~34.6	34.5~35.0
出汗情形	無	無	無	很少	較多
表現特徵	工作愉快，可穿襯衫；有微風時清爽；無微風時適宜；吃飯不出汗；夜間睡眠舒適	可穿襯衣；有微風時舒適；無微風時微熱，但不出汗；夜間睡眠舒適	感到稍熱；有微風時工作尚可；無微風時出微汗；夜間不易入睡；蒸發散熱增加	有風時勉強工作，但較乾燥；有微風時出微汗；夜間難睡眠，主要靠蒸發散熱	皮膚出汗，傢俱表面發熱；感覺悶熱，工作困難；雖有風，工作仍費勁。

表 5 代謝率的分類層級與其 WBGT 參考值(ISO 7243, 1989)

層級	代謝率範圍, M		用來計算平均代謝率的值		WBGT 參考值(°C)			舉例
	相對於單位皮膚表面積(W/m <sup>2</sup> )	對於平均皮膚表面積為 1.8 m <sup>2</sup> (W)	W/m <sup>2</sup>	W	經熱適應者	未經熱適應者		
0 休息	M<65	M<117	65	117	33°C	32°C	休息	
1 低代謝率工作	65<M<130	117<M<234	100	180	30°C	29°C	輕鬆的坐著;輕度的手部工作(寫字,打字,畫圖,縫紉,登錄);手部以及手臂活動(工作台簡易工作,檢查或組合輕的材料);手臂以及足部工作(正常狀態下開車,使用腳踏車)。	
2 中度代謝率工作	130<M<200	234<M<360	165	297	28°C	26°C	站立;鑽孔(小零件);銑床(小零件);旋轉螺絲釘;小電動旋轉器;低動力的機器;偶然的走動(速度 3.5km/h 以下)	
3 重度代謝率工作	200<M<260	360<M<468	230	414	無風狀態 25°C 26°C	有風狀態 22°C 23°C	持續的手部以及手臂工作(用鐵鎚敲打或填充物質);手臂以及腳部工作(非路面操作手推車,牽引機或建築設備);手臂以及軀幹活動(使用氣動式錘擊設備機,組合牽引機,攪拌水泥,間斷操作中度重量的物質,除草,採取水果或蔬菜);拖拉單輪或雙輪手推車,以 3.5km/h 到 5.5km/h 的速度走路;打鐵。	
4 極重度代謝率工作	M>260	M>468	290	522	23°C 25°C	18°C 20°C	強烈的手部以及軀幹活動;提重物,使用鏟子挖掘,以大錘手工錘擊,鋸木頭或是雕鑿硬木,用手割草,挖掘,以 5.5km/h 到 7km/h 的速度走路。推拉重負荷的單輪或雙輪手推車,鑄件毛邊去除,預鑄水泥之鋪放。	



表 6 穿著個人防護具之代謝率增加量(BS 7963:2000)

防護具類型	不同工作負荷下因為穿著防護具而導致的代謝率增加量					
	休息	輕度工作	中度工作	重度工作	極重度工作	
安全鞋或短統靴	0	5	10	15	20	
長統安全靴	0	10	20	30	40	
呼吸防護具(低、中度性能)	5	10	20	30	40	
呼吸防護具(高性能)	5	20	40	60	80	
自攜式呼吸防護具	10	30	60	95	125	
輕質連身透氣式化學防護衣	5	10	20	30	40	
含頭套、手套及靴的不透氣式連身化學防護衣(如 PVC 材質)	10	25	50	80	100	
高絕緣性半透氣性衣著(如消防防火衣)	15	35	70	115	155	

註一：所有數值均已取整數至 5 W/m<sup>2</sup> 進位。

註二：呼吸防護具係以 BS EN 143 的分類為 P1、P2、P3 三種。

註三：有些類型的個人防護具可能在從事極重度工作時無法持續維持作業。

註四：當從事靜態或坐姿工作穿著安全鞋時不會增加代謝率。

註五：本表所列數值係以實驗數據外插求得，如欲求得較準確測值須參考 BS EN 28996 方法進行測試。

## 第五節 熱危害評估模式

由於以生理量測方式可直接探討勞工的熱暴露危害，勞動部勞動及職業安全衛生研究所（簡稱勞研所）於 1998 年嘗試利用代謝率、流汗量、體心溫度和皮膚溫度等生理測值，依據 ISO 7933 (1989)評估模式的理論，建立適合國人的、在不同作業場所中的，生理觀點熱危害經驗推估模式，以探討高溫作業勞工的熱危害，並據以評估高溫作業勞工容許暴露時間。

就生理觀點而言，2004 年所修訂公佈的 ISO 7933，其採用的 PHS 評估模式，應足以有效保護高溫作業勞工免於熱危害，然而 ISO 7933 評估模式涉及許多經驗公式的推估，而這些經驗公式是以歐美國家的白人為測試對象，是以大陸型氣候環境為基礎的生理測值推導所得的結果，因此必須再考量台灣地區亞熱帶海洋型氣候與大陸型氣候的差異，以及國人與白人之間可能存在的生理差異（如平均身高、體重、膚色及對熱的適應性等）。然而在前述經驗推估模式中，有關導致熱危害的主要物理因子（如乾球溫度、黑球溫度、環境風速與相對濕度）對生理熱應變的影響程度究竟如何，則仍需進一步探討，才能據以研擬適用於台灣的有效熱危害改善控制策略。關於 PHS 模式(ISO 7933)所採用的建議限值請參考表 7。

表 7 PHS 模式(ISO 7933)所採用的建議限值

參考指標		未熱適應者	已熱適應者
最大汗濕率( $w_{max}$ )		0.85	1
最大流汗速率( $SW_{max}$ , $W/m^2$ )		$(M-32) \times A_D$	$1.25 \times (M-32) \times A_D$
最大失水量 ( $D_{limloss}$ )	$D_{limloss50}$ (公克)	7.5%的體重	7.5%的體重
	$D_{limloss95}$ (公克)	5%的體重	5%的體重
直腸溫度限值( $D_{limtre}$ , $^{\circ}C$ )		38	38

註： $w_{max}$  (maximum skin wettedness)； $SW_{max}$  (maximum sweat rate)； $D_{limloss50}$  (maximum water loss to protect a mean subject)； $D_{limloss95}$  (maximum water loss to protect 95% of the working population)； $D_{limtre}$  (maximum acceptable rectal temperature)

Rowlinson 與 Jia[18]利用在香港的 26 處營造作業勞工生理參數（心跳速率）與熱環境測定結果（WBGT, RH, Ta, Twb, Tg）應用 ISO 7933 (2004)的 PHS 模式進行分析，建立關於不同工作負荷下（重度工作：238Wm<sup>-2</sup>，中度工作：145Wm<sup>-2</sup>）的 WBGT 限值（連續 240 分鐘作業 WBGT 限值分別為重度工作 28.3°C 與中度工作 31.7°C）及其最大容許作業時間（Dlim）與作息時間分配，並開發可提供最適化作息時間分配管理決策與作業勞工自行調整工作時間的兩種工具。

Wang 等人[19]利用人體實驗，探討兩種不同熱環境（40°C，RH= 30%與 40%）實驗條件下，穿著三種不同衣物組合（Icl=0.63~2.01 clo）受試者的平均皮膚溫度、體心溫度及流汗速率，就觀察值與預測值作比較，發現當穿著厚重的防護衣（Icl > 1.0 clo）時，利用 ISO 7933 的 PHS 模式，對體心溫度、排汗蒸發速率的預測結果不具可靠性，且心跳速率隨運動時間與衣著的本身的熱阻值增加而增加，因此建議 PHS 模式應作修正，並利用人體實驗以個別評估計算的數據結果配合物理或生理參數進一步驗證。

Zheng 等人[20]利用模糊層級分析法（Fuzzy Analytic Hierarchy Process, AHP），針對工作、環境與勞工等 3 種主要因素，以及 10 種次要因素（工作本質、工作強度、工作期間、溫度、濕度、風速、熱輻射強度、工作年資、安全訓練，個人防護具使用），應用成對比較（pair-wise comparisons）方法進行計算，以求得整體的安全指標（safety index）、安全等級（safety grade）與早期警告等級（early warning grade）。評估結果顯示，此方法在極端環境（煤礦場，WBGT 值大於 30°C）具有工程實用性及有效性，可有效預防熱相關危害，保障勞工健康。

Sakoi 與 Mochida[21]提出等效綜合溫度熱指數（equivalent wet bulb globe temperature, eWBGT）的概念，這是以熱平衡方程式所建立的合理性指標，基於「標準狀態下的 WBGT 指標與人體熱蓄積量間具有線性關係」的特性開發而得，即使在固定的氣溫、熱輻射、水蒸氣壓與風速條件下，eWBGT 也會隨衣著的熱傳特性與水蒸氣阻抗而改變，比原來的 WBGT 測值（仍需考慮衣著修正量）更能準確評估潛在影響，而且沒有 ISO 7933 的 PHS 模式的不合理情形（在極端低濕度條件下，PHS 模式判斷水蒸氣壓升高反而會減少環境熱危害，這是與事實不合的判斷結果）。

## 第六節 蒙地卡羅模擬法

蒙地卡羅模擬法 (MCS, Monte Carlo simulation) 早已應用在眾多科學領域中，如一般民眾或勞工的暴露評估研究，以其做為探討不同暴露因子對健康效應影響之評估方法。蒙地卡羅模擬法的優點是「在有限時間、人力、與經濟因素等考量下，可提供快速且大量的模式預測結果」。此外，蒙地卡羅模擬法也常運用於彌補並解釋 PBPK 模式 (Physiologically based pharmacokinetic modelling) 中有關變項的不確定性與變異性分析。

蒙地卡羅模擬法的理論基礎是利用亂數產生器 (random number generator) 來製造模式的輸入參數 (input parameters) 的機率分布 (probability distribution)，再將其代入模式中，以推估輸入參數變異性對輸出 (output) 結果的影響。

在羅志綸[22]的碩士論文中，即採用前述方法，進行「熱作業環境變項改善最佳化系統」預估模式的研發。該研究先量測環境參數，並評估勞工生理代謝資料，然後以 ISO 7933(1989)的熱危害評估模式，進行容許暴露時間的推估，繼而以蒙地卡羅模擬及敏感度分析法，找出最有影響力的主要環境變項，接著利用環境空氣焓值最小的工程條件，找出容許暴露時間達 480 分鐘的熱作業環境條件，最後經熱暴露艙的實驗室驗證，發現該系統分析模式可合理有效地選取熱作業場所的改善策略，對控制熱環境危害有所助益。本計畫以羅志綸的研究結果為起點，沿用此技術，以確認濕熱作業環境的改善目標值。

Chen 等人[23]利用蒙地卡羅模擬法、敏感度分析法，對鋼鐵鑄造業進行評估，發現勞工的工作負荷與作業環境的平均輻射溫度，是引起熱危害的兩個重要因素，並認為降低工作負荷量與作業環境高溫爐逸散的輻射熱，是針對鋼鐵業的有效控制策略。

## 第七節 田口系統分析技術

田口系統分析技術 (Taguchi method) 由日本學者田口玄一於 1960 年代初期提出，主要是以統計與一般工程概念發展所得[24]。

基本上，田口系統分析技術包含三個步驟：系統設計 (system design)、參數設計 (parameter design) 以及允差設計 (tolerance design)。

- 一、系統設計：又稱機能設計，用於決定一個田口系統的架構，也就是決定「輸入與輸出」項目分別是甚麼。舉例來說，暴露於高溫環境（承受熱應力），可為輸入項目，而被熱應力影響的容許暴露時間長短（熱應變），則可為輸出項目。
- 二、參數設計：又稱為系統的穩健設計（robust design），是一種探討如何減少目標變異，且能調節其平均值至目標值的技術。參數設計的目的，在於使結果的平均值與目標值一致且變異最小。
- 三、允差設計：用於判斷構成系統的要素發生變異時，變異結果造成的改變程度。

利用田口系統分析技術評估某個製程時，在三個步驟當中，參數設計是最重要的步驟，參數設計若是作得好，就能獲得穩定、可靠的製程條件。進行參數設計時，通常會需考慮 2 種因素，即控制因素（control factor）與雜訊因素（noise factor），其中雜訊因素又稱為誤差因素。

- 一、控制因素：指其水準可由研究者自行掌握並決定的因素。
- 二、雜訊因素：與控制因素剛好相反，是研究者既不能預先設定，也不能保持，然而卻會影響製程所得產品機能特性的因素。

就具體作法而言，參數設計實驗是運用因素間「線性與非線性」的關係，找出控制因素與雜訊因素之間的交互作用，利用非線性關係來減少變異，利用線性關係來提高目標水準，亦即利用因子配置成直交表（orthogonal array）和計算 SN 比（S/N:signal to noise ratio），進而找出最佳因子水準組合[25]。

進行最佳化設計分析過程中，若面臨目標函數有很複雜的多設計變項及多水準組合而成時，若又要分析各設計變項及各水準對目標函數的影響，則將使分析工作變得十分冗長繁瑣；此時若引入田口式系統分析技術，不但可以減少相對於傳統分析方法的龐大實驗分析次數，又可得到各設計變項的最佳組合，進而得到目標函數的最佳設計，這就是田口系統分析技術廣受歡迎的原因。

基於田口系統分析技術，可以分析由很複雜的多設計變項及多水準組合而成的目標函數，並得到各設計變項於各水準對目標函數的影響，以及各設計變項對整體目標函數最佳化影響量的特性。在吳豐任[26]的碩士論文中，就利用了田口系統分析技術，

探討各環境因子與勞工生理熱應變關係，以及其影響比重，以利擬訂合理的工程控制策略。吳豐任的研究結果顯示，在各種環境因子之中，以水蒸氣壓(Pa)及環境風速(Va)為影響熱應變的主要及次要因子，顯見國內熱環境的改善，應以濕度控制為優先考慮項目，而通風換氣正是改變環境空氣相對濕度的最簡便工具。

## 第八節 熱環境控制技術

在一個工作環境中，其製程若散發空氣中有害物、廢熱氣體、潮濕蒸氣，且無法採用局部排氣裝置，或採行局部排氣裝置後，仍無法達到衛生標準時，應考慮輔以整體換氣。採用整體換氣時，應儘可能優先考慮採用自然通風設計，以節省能源與投資成本。倘若自然通風達不到衛生標準，或因製程要求，無法直接採用自然通風換氣時，則應考慮採用機械通風，或自然通風與機械通風並存的通風換氣作法[27]。

### 一、自然通風與綠化

產業界製程因浸泡、蒸煮設備散發大量水蒸氣，以及因軋鋼、冶煉、鍛壓、鑄造等製程散發大量熱量，進而導致環境高溫高濕，這樣的廠房作業環境，需要龐大的通風換氣量。評估廠房整體換氣設施所需的換氣量時，應優先考慮以自然通風原理進行空氣補充的可能性。廠房採用自然通風策略時，其進氣方向，一般與夏季主要風向呈 60-90 度夾角，且此夾角不宜小於 45 度，並同時考慮避免產生太陽西曬的問題；至於散熱量大的廠房，則應盡量採用單層建築[28]。以下分別說明空調控制技術與通風控制技術兩種概念。

Lai[29]利用低速風洞實驗設備模擬戶外的自然風，針對渦輪自然通風器 (turbine ventilator) 進行一系列的研究。當作研究對象的渦輪自然通風器，其公稱尺寸 (渦輪體直徑) 分別為 6, 14, 20 英吋 (均為常用尺寸)，通風器內部構造分為「有導風翼片」與「無導風翼片」這兩類。Lai 將風洞風速分別設定在 10, 15, 20, 25, 30 m/s (模擬一般戶外風速與強風來襲的情況)，然後比較(一)是否容許渦輪體隨風自轉，(二)渦輪體公稱尺寸的大小，(三)通風機內有無無安裝導風翼片 (inner vane) 等三種條件，進行廠房換氣風量的比較。

Lai 的研究結果發現，(一)渦輪體不轉動 (假設通風器故障的情況)，換氣風量與

戶外風速成正比；(二)渦輪體尺寸越大，戶外風速愈高，換氣風量就愈大，但渦輪體公稱直徑 14 吋與 20 吋的換氣風量差異不大；(三)通風機內部有無導風翼片，對換氣風量的影響不明顯。換句話說，由 Lai 的研究，我們得知渦輪自然通風器的尺寸不見得是愈大愈好，內部有無導風翼片的影響也不是很明顯，此類無動力通風器的通風換氣量，似乎存在某個上限。

廠房外表面的綠化，主要是透過植物的遮蔭作用，以及植物的水分蒸發作用，來調節廠房建築物吸收的太陽輻射熱，進而改變環境的熱濕平衡及建築結構的熱負荷。綠化對廠房建築環境的影響，主要有 2 個方面[30]。

- 一、降低建築物的能量消耗：在夏季，樹木遮擋太陽輻射，減少太陽透過窗戶的直接熱吸收，如果週邊有大面積的草坪，則對局部滲透和潛熱的影響非常顯著。
- 二、改善建築物週邊的熱環境：在夏季，綠化可透過樹葉遮蔭減少太陽直接的輻射熱吸收，降低建築物表面與其週邊地面的溫度，也可避免二次輻射或輻射的反射作用，改善建築物周圍的舒適度。

林波榮[31]也利用現場實測數據，以及數值模擬實驗，配合熱輻射的設定，模擬計算植物冠層對太陽短波輻射的反射、吸收、穿透作用，及周圍環境長波輻射熱交換。他發現每日特定日照時段、周遭有無建築物、廠房建築物座向、周遭樹木綠化等布置因素，都會對廠房室內外熱環境產生影響。

## 二、 廠房建築外殼材料

方煒[32]探討廠房建築物外表面塗上隔熱漆後，針對基礎熱傳性質的熱導係數、熱擴散係數、熱傳透率、反射率與吸收率等進行分析，並評估其對室內溫度、室外表面溫度的影響，結果發現隔熱漆兼具隔熱與遮熱功能，由於本身短波輻射反射率高及長波輻射放射率高，因此可大幅降低室外太陽輻射熱傳入廠房室內的量。

利用鐵皮鋼骨結構建築（俗稱鐵皮屋）進行白色隔熱漆處理前後比較，發現大氣溫度 34°C 時，塗佈隔熱漆的廠房建築物外表面，溫度可由 53°C 降到 33°C，室溫也由 36°C 降至 29°C；至於一般水泥 RC 結構廠房，在塗佈白色隔熱漆後，建築物外表面溫度由 51.8°C 降到 35°C，室溫也由 35 降至 30°C。

Su 與 Aynsley[33]利用室內外的氣溫、表面溫度、太陽輻射與紅外線輻射、風速與 WBGT，以澳洲濕熱城市湯斯維爾（Townsville）採用自然通風換氣的 25 間住家建築物為藍本，進行屋頂熱性能分析。

他們發現屋頂板的材質種類、屋頂是否採取絕熱處理（如塗漆或反射表面處理）、屋頂至居室天花板之間的閣樓空間高度，都會對室內環境氣溫造成影響。閣樓空間的平均氣溫，一般隨室外平均風速的增加而減少，至於閣樓空間的氣溫垂直分佈，高低差值介於  $0.1^{\circ}\text{C}$  到  $18^{\circ}\text{C}$  之間。

經過熱阻抗（thermal resistance value）分析後，他們提出在熱濕氣候採用自然通風的房屋，於設計時須考慮以下 2 個條件：(一)限制白天天花板表面溫度與地面以上 1 公尺高度的室內氣溫，使其相差不超過  $4^{\circ}\text{C}$ ；(二)提高屋頂結構在入夜後長波輻射的熱散失量。

金屬是高熱容量物質，國內廠房常建造為金屬構造廠房，並於廠房表面鋪設鐵系金屬浪板，因此俗稱「鐵皮屋」。由於鐵皮本身是單薄的高導熱材料，因此金屬鐵皮屋可快速導熱，廠房氣溫緊密追隨戶外氣溫的變動，夏熱冬冷，晝熱夜冷，嚴重缺乏防寒避暑的居室功能。在濕熱的氣候較適合採用竹木、纖維類等低熱含量、高隔熱性能的建材，可以有效避免建築主體蓄熱後再輻射的困擾[34]。

### 三、 空調控制技術

在冷凍空調的研究領域，為了達到空調系統節能的目的，常須針對室內空氣焓值進行分析。所謂的焓（enthalpy），是描述空氣所具有的總能量的一種指標，對某一已知溫度、壓力及濕氣含量的空氣而言，焓代表它的潛在熱交換能力。焓值大的空氣，可以將熱傳遞給焓值小的空氣，但具體的熱傳遞方向與熱量大小，並非僅由溫度高低決定。舉例而言，溫度較低但濕度較高的空氣，可將水蒸氣擴散到溫度較高但濕度較低的空氣中，其最終的淨熱傳遞量為正值。空氣的焓值可分為顯熱和潛熱兩種，其中顯熱變化與空氣（包含乾空氣與水蒸氣）溫度變化有關，降溫即是移走顯熱。潛熱與水蒸氣的含量有關，除濕過程即是移走潛熱。

一般空氣的熱力性質主要包括：乾球溫度( $T_a$ )、濕球溫度( $T_{wb}$ )、相對濕度(RH)、



比濕(w)、比容(v)及焓值(h)。在空氣性質圖或濕度線圖 (psychrometric chart, 詳圖 3) 上, 每一個點都代表一種空氣狀態 (state), 而只要有前述任 2 個參數發生改變, 即可利用濕度線圖找到新的空氣狀態。

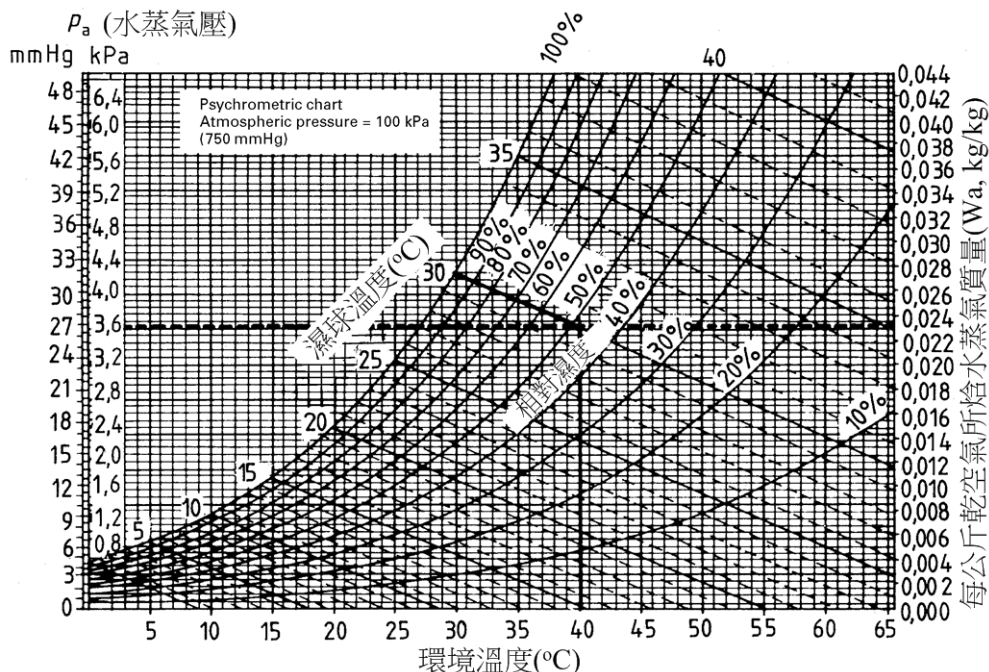


圖 3 空氣濕度線圖 (psychrometric chart)

常見的濕度圖是以乾球溫度 ( $T_a$ ) 為橫座標, 而以水蒸氣含量或絕對濕度 ( $d_a$ ) 為縱座標, 因此濕空氣的焓 ( $h_a$ , 或稱熱含量) 可用下列公式計算:

$$h_a = 1.01T_a + d_a(2500 + 1.84T_a) \dots\dots\dots (3)$$

其中  $h_a$  為焓, 單位 kJ/(kg 乾空氣)

$T_a$  為乾球溫度, 單位 °C

$d_a$  為絕對濕度, 單位 (kg 水)/(kg 乾空氣)

$$h_a = 1.01T_a + d_a(2500 + 1.84T_a)$$

空調系統進行室內空氣調節時, 不論是降溫還是除濕, 所消耗的冷凍能力無非是改變了室內空氣的焓值。採用電腦輔助焓值計算, 可隨時掌握室內空氣的狀態, 取得最佳舒適度的空氣狀態設定點, 快速對環境空氣的狀態變化作出適當反應。圖 4 所示為空氣加濕與除濕過程的示意圖, 其中 1 與 5 的箭頭方向分別代表等溫除濕與等溫加

濕過程，3 與 7 的箭頭方向分別代表顯加熱與顯冷卻過程，以此類推。

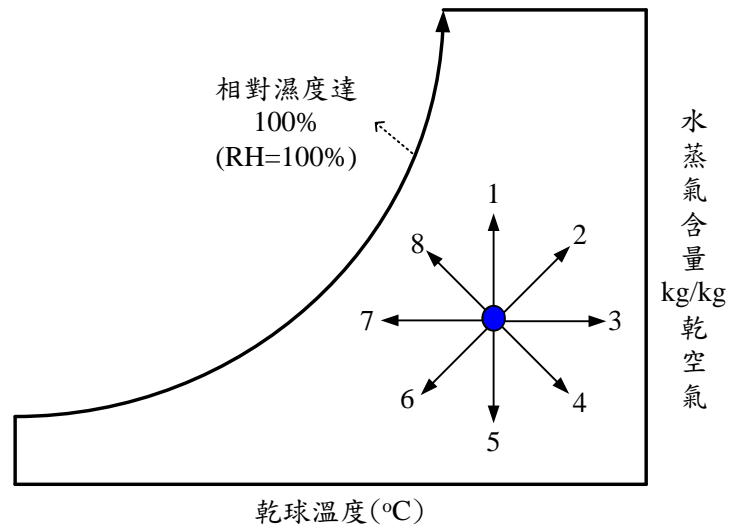


圖 4 空氣濕度線圖上的加濕與除濕過程示意圖

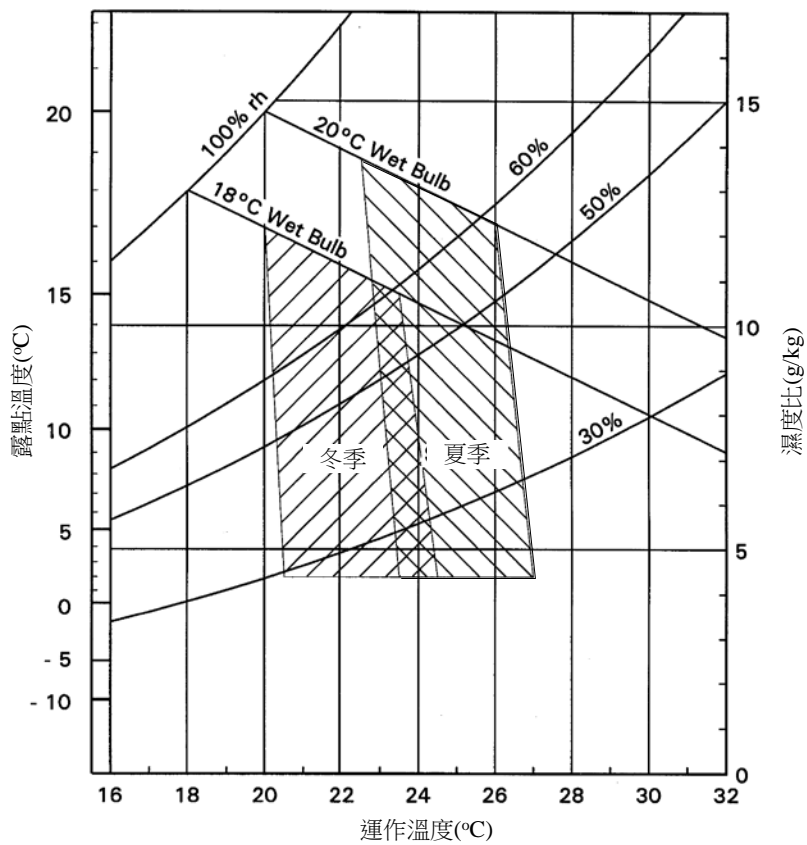


圖 5 夏季與冬季的熱舒適範圍示意圖

圖 4 各種溫濕狀態條件的變化，以及為實現這些變化所需使用的設備選用原則，可參考表 8 的資料。為了因應環境濕熱問題，如果需要設法冷卻環境空氣，則可參考表 9 的優缺點比較，以決定如何選擇適用的空氣冷卻裝置。

圖 5 的斜線陰影區域，是美國冷暖空調協會（American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Condition Engineers, ASHRAE）建議的舒適範圍[36]：考慮勞工以坐姿進行活動（sedentary activity），夏季衣著熱阻值假設為 0.5clo，冬季衣著熱阻值 g 假設為 0.9clo。圖中橫軸代表作業環境氣溫（operative temperature），縱軸則是作業環境空氣對應的露點溫度（dew point temperature）。

表 8 溫濕狀態條件變化及其使用設備選用參考[35]

中心點到濕度圖相關條件的狀態變化	變化過程	最終空氣條件	使用設備
1	僅有加濕	增加濕氣含量、比容量、濕球溫度、比焓量與飽和度	具增加水溫的空氣清洗器
2	加熱加濕	增加濕氣含量、比容量、濕球溫度、比焓量；降低飽和度百分比	蒸氣增濕器或再循環熱水噴霧
3	顯加熱	固定濕氣含量；增加比容量、濕球溫度、比焓量；降低飽和度百分比	蒸氣、熱水盤管或電熱器
4	加熱除濕	降低濕氣含量、比焓量與飽和度；增加比容量與濕球溫度	化學除濕器
5	單純除濕	降低濕氣含量與比容量；降低濕球溫度、比焓量與飽和度百分比	目前無實用性設備可供使用
6	冷卻除濕	降低濕氣含量、比容量、濕球溫度、比焓量與飽和度百分比	冰水空氣清洗器
7	顯冷卻	固定濕氣含量、飽和度百分比；降低比容量、濕球溫度與比焓量	降溫盤管及在露點溫度的空氣清洗器
8	冷卻加濕	增加濕氣含量、比容量、比焓量與飽和度百分比	空氣清洗器

表 9 空氣冷卻方式優缺點比較[27]

冷卻裝置	優點	缺點
噴水(霧)室	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.能實現各種空氣處理過程，不必另設加濕裝置；</li> <li>2.金屬耗量少，容易加工，造價低；</li> <li>3.能具有淨化空氣的輔助作用；</li> <li>4.能保證空調室內較高的相對濕度精度</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.水系統為開放式循環，較複雜；</li> <li>2.佔地面積大</li> <li>3.對水質的衛生要求高，水易受到汙染，須常更換；</li> <li>4.耗電較多</li> </ol>
水冷表面式空氣冷卻器	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.水系統為閉鎖式循環，省去水箱，冷卻器體積小，施工簡便；</li> <li>2.耗電較少；</li> <li>3.冷水不易流失，冷水溫差大，從而節約水量與冷量；</li> <li>4.水與空氣不接觸，不易汙染；</li> <li>5.在一般空調冷卻與加熱過程時，可以合用一盤管，冷熱源可採用同一管系和閥門</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.金屬耗量特別是有色金屬耗量大，加工複雜，價格貴；</li> <li>2.處理過程為等濕冷卻和降濕冷卻，不能用於加濕空氣等多變過程，因此須另設加濕器(加表面噴水可解決一般的冬季加濕問題)；</li> <li>3.不能淨化空氣</li> </ol>
直接蒸發式空氣冷卻器	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.結構緊湊，機房面積小，系統簡單，安裝方便；</li> <li>2.不用水介質，沒有一套冷水系統，直接靠冷媒蒸發吸熱，冷耗少，動力消耗小，投資省，同時空調房間降溫速度快，減少啟動運行時間；</li> <li>3.空調器距制冷壓縮機近且回氣管路較短時，制冷壓縮機可在較低的回氣溫度下工作，制冷效率較高</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.直接蒸發盤管的傳熱係數較低，為確保膨脹閥的正常工作，須還有 10%~15%的過熱面積；</li> <li>2.冷凍劑的管路壓力損失大，空調器具至摺壓縮機較遠且回汽管路較長時，會使用回氣管壓力降較大，制冷效率下降；</li> <li>3.制冷劑易於洩漏，要求密封嚴格</li> <li>4.系統蓄冷性較差</li> </ol>

由本章第三節的文獻討論，得知只要將作業環境的空氣焓值控制在指定範圍，勞工身體的冷熱感受就會趨於固定。這說明僅控制廠房氣溫是不夠的，必須隨時追蹤當前廠房空氣的焓值，才能確認空氣物理性質是否使勞工感到悶熱不適。

最小焓值法為此應運而生，且快速推廣應用於冷凍空調領域，有助於達到節能的目的。所謂最小焓值法，有別於傳統空調作法，不再以氣溫為唯一控制變項，而是同時控制溫度與濕度。運用焓值理論，可算出當前空氣狀態與目標空氣狀態之間的焓差，然後在空氣濕度線圖上，找出滿足目標狀態焓值的空氣狀態變化路徑，比較出耗能最

少的設定。本文件將在稍後的章節展示一電腦程式，可利用最小焓值法進行節能效率評估，以吸引事業單位採用本計畫的研究成果。

#### 四、機械通風控制技術

前述的各種空調作法，都是以空調系統設計概念中的「冷房控制技術」來實踐，然而對具有顯著釋放高溫蒸氣的作業環境而言，由於空調系統移除大量熱蒸氣所需支付的電費相當驚人，因此不能只採用空調作法來因應濕熱作業環境。

就本計畫意欲實現的目標而言，若能採用工業通風的局部排氣裝置，將熱蒸氣從發生源直接排放到戶外大氣（直接移除熱與濕氣，顯著節省空調能源），同時搭配整體換氣裝置（引進較涼爽的戶外空氣，稀釋廠房內部較濕熱的空氣）或空調冷氣設備（於勞工身體所在的局部小區域進行冷卻除濕），是否更能保障勞工健康、延長勞工的容許暴露時間，進而使勞資雙方同蒙其利？

表 10 所示的數據，是某個試圖利用工業風扇進行環境改善的熱環境控制案例。詳細比較改善前後的環測數據，當工業風扇造成的環境風速由 0.25 m/s 增加到 0.75 m/s 時，可觀察到以下的控制效果。

- 一、原本該熱環境的空氣就是溫暖潮濕，熱對流、熱傳導狀況均無改變，但最大蒸發散熱量增加為原來的 2 倍（ $142/73.5$ ），WBGT 值也有些微下降（降低  $0.4^{\circ}\text{C}$ ）。
- 二、由於該熱環境無明顯輻射熱源，勞工即使脫去上衣（半裸）吹電扇，也不會額外承受機具的輻射熱，但半裸勞工身體的最大蒸發散熱量，會因為衣著改變（增加體表蒸發汗水的表面積），提高為  $142/0.6=235.7$  kcal/h。對於長期工作於其中、體能已適應此熱環境的勞工而言，只要適量補充飲水與電解質，就能因為吹電扇使排汗順利蒸發，因而延長了容許工作暴露時間，此時其  $\text{HSI}=100\times(200/235.7)=84.9$ 。

目前各種廠房常見利用工業風扇來增加作業環境的風速，但由前述的分析結果，此舉的改善成效不大。如何利用局部排氣裝置與整體換氣裝置的組合，必要時採用空調系統以改善濕熱作業環境，同時兼顧節能及增加勞工容許暴露時間，才是本計畫的最重要課題。

表 10 熱環境通風控制效果評估舉例

環境參數	進行通風工程改善前		進行通風改善後
	半 裸	正常衣著	
$T_g$ (°C)	35.0	35.0	35.0
$T_a$ (°C)	35.0	35.0	35.0
$T_{nwb}$ (°C)	31.4	31.4	30.8
$P_a$ (mmHg)	30.0	30.0	30.0
$T_{wb}$ (°C)	30.3	30.3	30.3
$V_a$ (m/s)	0.25	0.25	0.75
WBGT(°C)	32.5	32.5	32.1
$T_{mrt}$ (°C)	35.0	35.0	35.0
$R$ (kcal/h)	0	0	0
$C$ (kcal/h)	0	0	0
$M$ (kcal/h)	200	200	200
$E_{req}$ (kcal/h)	200	200	200
$E_{max}$ (kcal/h)	123	73.5	142
$SR$ (L/h)	0.38*	0.33*	0.45

註：SR=流汗率；\* 此條件下，汗水主要是滴落。

### 第三章 研究方法及步驟

利用工業通風技術來因應濕熱環境造成的危害，使勞工身體達到「體內代謝熱」與「外在環境熱」的平衡，是高溫作業不可缺少的環境控制技術。本計畫採用 2004 年修正的 ISO 7933 熱暴露評估模式（PHS model）、田口式系統分析技術、蒙地卡羅模擬法，共同進行電腦應用程式撰寫，以最小焓值法找出容許暴露時間達 480 分鐘（相當於 8 小時）的熱作業環境條件，並開發設計適用於濕熱作業環境的工業通風控制技術（包括廠房自然通風換氣技術），整體研究方法及步驟請參考圖 6，說明如下。

- 一、蒐集國內外職場濕熱作業環境之文獻資料：利用學術資料庫查詢系統與國際標準網站，蒐集與濕熱作業環境、廠房自然通風散熱技術、作業環境通風改善相關的文獻資料，並由建築物通風與熱環境工程控制的書籍，整理有用的內容。
- 二、邀請具有熱環境評估與控制或工業通風與空調方面相關領域的專家學者，前往具有濕熱作業環境的廠房，協助進行熱環境因子測定，以掌握目前國內該類作業環境之現況根據環境參數以及現場記錄之勞工工作型態，並利用熱暴露評估模式獲致其容許工作暴露時間。本計畫邀請的專家學者包括林宜長、陳俊六、蔡朋枝、薛宏榮、黃耀銘、陳振華等六位。
- 三、進行熱環境因子測定時，使用的儀器設備如表 11，先使用 KEM WBGT-213A 熱中暑檢查計（heat stroke checker）進行快速評估（約 3~5 分鐘即可讀取綜合溫度熱指數、氣溫、相對濕度及黑球溫度測值），再利用 TESTO 480 系列主機搭配綜合溫度熱指數測定套組進行更精確的 WBGT 測定（架設 30 分鐘後讀取測值），隨後以無方向性的熱線式風速測棒進行風速測量（設定測定時間間隔為一分鐘）。廠房長寬高的尺寸則是採用手持式雷射測距儀（Leica Disto D5）進行測量。利用熱影像分析儀（Fluke Ti25）掃描尋找主要的輻射熱源。
- 四、根據產業製程特性與過去訪視經驗，以電話詢問的方式，徵求具有濕熱作業環境相關行業或廠商參與本計畫，邀請 6 位專家學者舉行專家會議，討論並選定 5 個適當之廠房進行現場訪視。排定參訪時間並且每場次至少有 3 位專家參與實地訪廠及進行熱環境因子測定，同時根據 ISO 7243 附錄 C 的評估報告範例，進行綜合

溫度熱指數（WBGT index）、勞工代謝產量與衣著熱阻值等資料蒐集。

- 五、每場次訪視並實施熱環境測定時，均填寫格式如表 12 的「濕熱作業環境通風控制實例訪查研究」現場調查紀錄表。必要時，再參考 ISO 8996 規範進行作業勞工的代謝率估計（表 13），主要是利用作業活動觀察法評估，且本計畫在實施容許暴露時間評估時，僅區分輕度、中度或重度工作負荷等 3 種等級。
- 六、參考 ISO 7933 規範的熱平衡方程式、田口系統分析技術、蒙地卡羅模擬法與最小焓值法，開發可供熱危害評估、控制及節能效率分析的電腦程式。
- 七、根據濕熱作業環境參數量測評估結果，以及勞工工作型態分析資料，利用 ISO 7933 規範（2004 版）熱暴露評估模式開發的電腦軟體程式，計算其容許暴露時間，並再次邀請專家學者舉行專家會議，討論利用工業通風進行熱危害工程控制之可行性，以及決定兼顧降低熱危害風險及節能效率的改善目標值。
- 八、針對熱危害風險高的廠商，徵求採行通風改善建議之意願與可行性，設計利用局部排氣裝置與整體換氣裝置的組合，必要時採用空調系統以改善濕熱作業環境，提出可同時兼顧節能及增加勞工容許暴露時間的改善策略，在完成通風工程改善後並評估是否符合設計要求。
- 九、彙整實驗數據資料，編撰成電子書，提供相關單位人員參考，以及未來可能的示範觀摩活動所需。



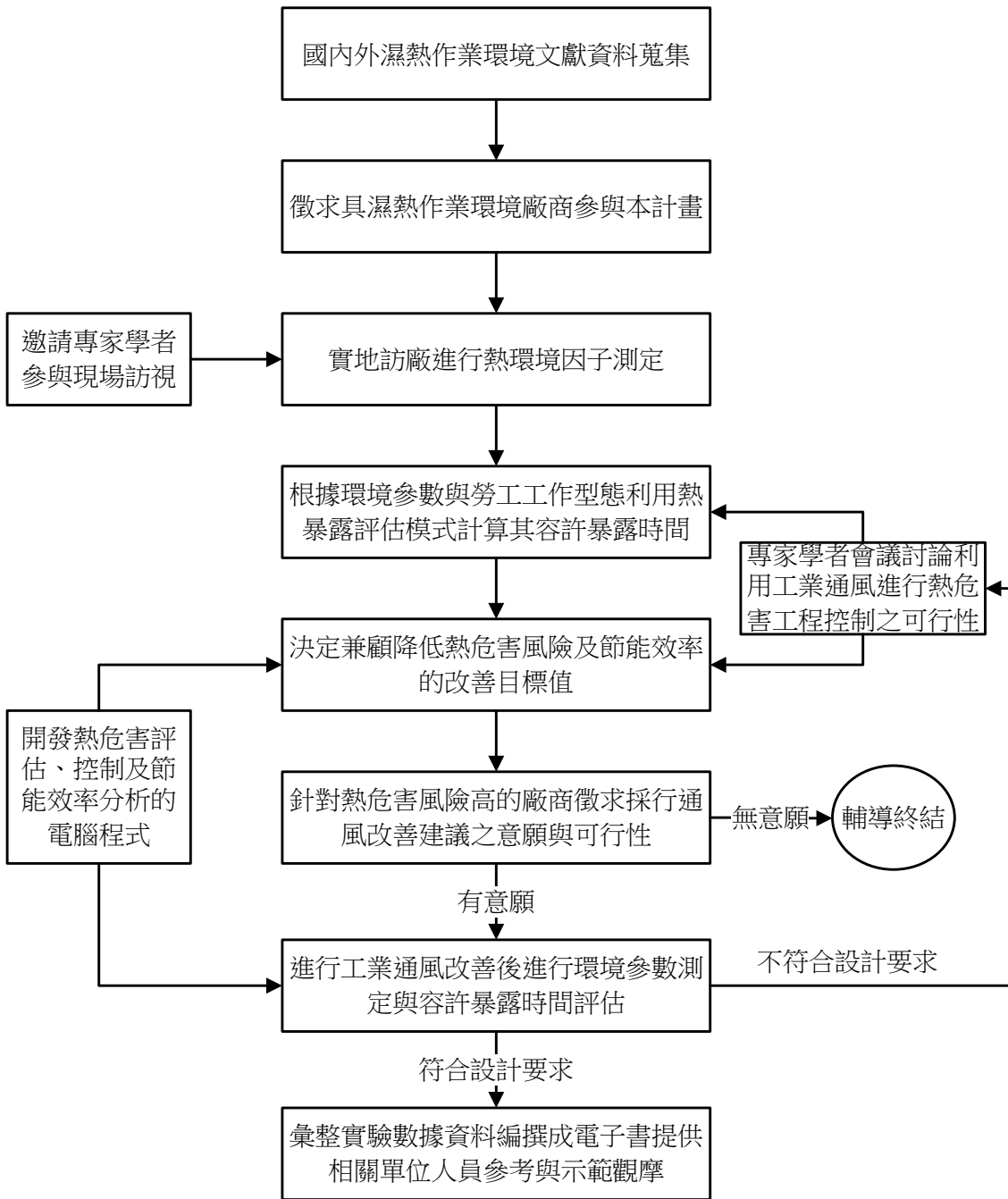


圖 6 本計畫執行情序

表 11 本計畫熱環境因子測定儀器設備

量測項目	測棒型號	測量範圍	準確度
風速與氣溫	TESTO-480 熱線式風速測棒(型號:06351050)	0-10 m/s 0-50 °C	$\pm(0.03\text{m/s}+5\%\text{m.v.})$ $\pm 0.5^\circ\text{C}$
綜合溫度熱指數測定套組(含腳架)	TESTO-480 黑球溫度、空氣溫度、自然濕球溫度(型號:06358888)	Tg:0-+120°C Ta:+10-~+60°C Tnwb:+5-+40°C	Class 1 $\pm(0.25^\circ\text{C}+0.03\%\text{ m.v.})$ $\pm(0.25^\circ\text{C}+0.03\%\text{ m.v.})$
熱影像分析儀(熱源位置的測量)	Fluke Ti25	-20°C -+350°C	$\pm 2^\circ\text{C}$ 或 $\pm 2\%$
熱中暑檢查計 (heat stroke checker)	KEM WBGT-213A	WBGT:0-50°C Ta:0-50°C RH:10-90% Tg:0-80°C	WBGT: $\pm 2^\circ\text{C}$ (15-35°C) Ta: $\pm 1^\circ\text{C}$ (15-35°C) RH: $\pm 5\%$ (20-80%) Tg: $\pm 2^\circ\text{C}$ (15-35°C)
廠房尺寸測量	Leica Disto D5-手持雷射測距儀	0.05~ 200 m	$\pm 1\text{mm}$



表 13 代謝率估計法(ISO 8996)

受測者: \_\_\_\_\_  
 觀察者: \_\_\_\_\_

日期: \_\_\_\_年 \_\_\_\_月 \_\_\_\_日 \_\_\_\_時 \_\_\_\_分

種類	原始觀察資料	單位代謝速率	代謝率(Watts)				
基礎代謝熱(A)	男: 79 女: 74	—					
姿勢(B)	坐姿	20					
	站姿	45					
活動類型(C)	身體的動作				對應下表查詢		
	N	H	1A	2A			WB
	費力程度						
	L	M	H	VH			
水平移動速率(D)	1m/min=3.29ft/min	3.3×Rate (m/min)					
垂直移動速率(E)	每秒 1 階梯=10 m/min	56×Rate (m/min)					
代謝率總和(A+B+C+D+E)							

單位: Watts

活動類型	工作負荷程度分類			
	輕度	中度	重度	極重度
雙手不需動(N)	0	0	0	0
手部作業(H)	25	55	70	80
單臂作業(1A)	65	100	135	170
雙臂作業(2A)	115	155	190	230
全身作業(WB)	225	340	505	700
費力程度描述	工作很容易完成(可連續工作)	工作需費力完成(有些吃力)	工作約 30~ 60 分鐘後需休息	工作約 15 分鐘後即需休息

衣著情形: \_\_\_\_\_

## 第四章 廠房自然通風散熱原理

前一章已說明本計畫的研究方法與步驟，本章為本計畫研究工作的基礎資源，首先介紹各種能應用於工業廠房的自然通風散熱技術。臺灣是東亞地形起伏最明顯的海島，同時又位於北半球信風帶，受高山阻隔、東北季風、海洋調節的綜合影響，各地天候差異大，因此各地區廠房為因應濕熱作業的環境控制需求，可選用的自然通風器也不盡相同。擇要說明各種廠房自然通風器的運作原理如下。

### 第一節 氣體熱上升作用簡介

廠房內熱空氣自動上升的現象，其實是廠房熱對流（heat convection）的一環。假設無陽光輻射熱問題、戶外無風、熱源位於廠房中央地面，則熱對流原理示意如圖 7。首先請看圖 7 左邊的密閉對稱廠房，因為熱源位於左右對稱的廠房空間正中央，因此「廠房內部空氣熱對流循環」的流場樣態也是左右對稱的。至於圖 7 右邊的開放型對稱廠房，原本「低處較高溫空氣上升」與「高處較低溫空氣下降」現象應該同時發生，但因廠房頂部有通風散熱孔洞，能容許廠房濕熱空氣自此排出，並使涼爽空氣自廠房底部的門口補入，於是形成尺寸規模近乎無限大的「廠房內外熱對流循環」與「空氣進出廠房之自然通風流路」。

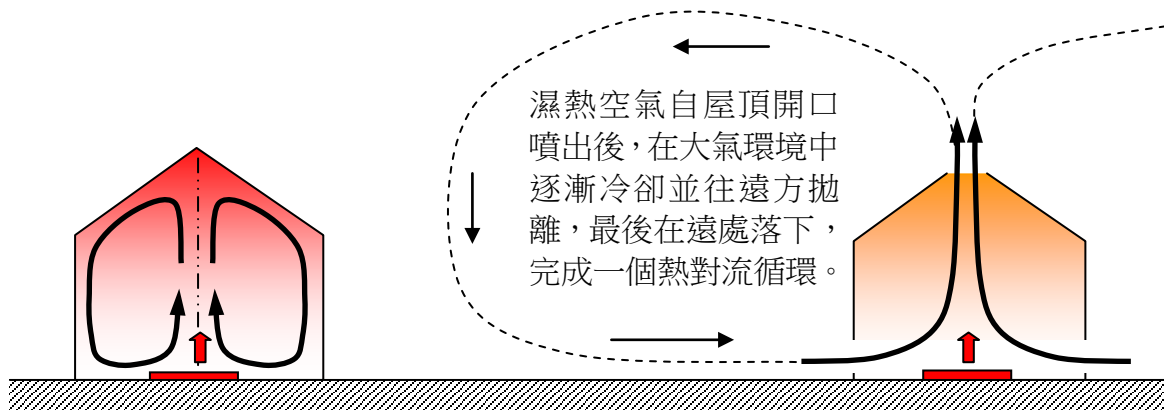


圖 7 廠房熱氣對流：左為密閉廠房的內循環，右為開放廠房的外循環

在過去，我們無法以肉眼目睹廠房內部氣體受熱上升的現象，只能利用手的冷熱

觸覺、人為植入的煙霧來間接評估熱氣流。所幸紋影攝影術（Schlieren Photography）的發明解決了這個問題。圖 8 是本計畫主持人利用紋影攝影術拍攝的 2 種氣體熱上升現象，其中左小圖為電烙鐵對環境空氣作「顯加熱」形成的熱氣流，右小圖則為蠟燭燃燒產生的高溫廢氣。注意：由於蠟燭燃燒廢氣含多種成分，因此蠟燭對空氣的作用不僅為顯加熱，其具體作用為「加熱、加濕、添加灰燼微粒」。

此外，電烙鐵的表面溫度至多不過 250°C，被電烙鐵加熱的空氣溫度則更低，因此熱上升速度不快，且其上升運動易受環境微弱側風的干擾；至於蠟燭燃燒排放的廢氣，其溫度可達 500°C，因此在畫面中形成「筆直」的熱上升運動。

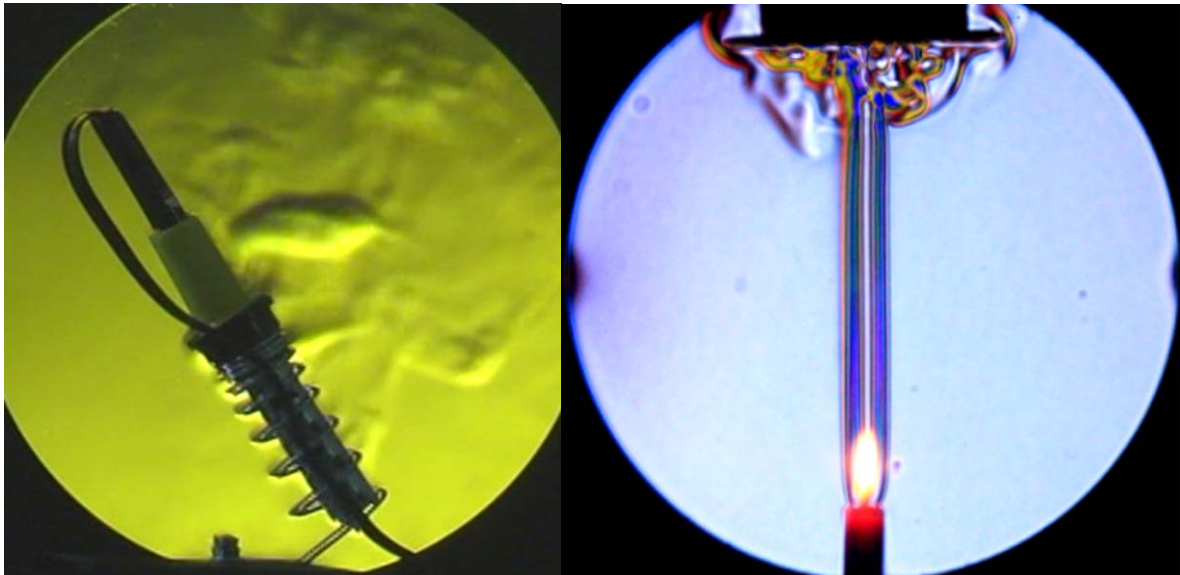


圖 8 電烙鐵（左）與蠟燭（右）的氣體熱上升現象

由理想氣體的狀態方程式，當環境氣壓不變時，氣體的絕對溫度與密度成反比。換句話說，氣溫愈高，氣體密度愈低。前述的物理現象若發生於廠房，可有圖 9 所示的 2 種常見模式。

- 一、如圖 9 左小圖，廠房內製程設備釋放高溫高濕廢氣時，因為濕熱廢氣的密度顯然低於環境空氣，因而形成浮力，使濕熱廢氣上升，並於上升途中逐漸與廠房內部空氣混合（藉由混合來消散熱量），最後在廠房高處形成一團溫暖空氣。
- 二、如圖 9 右小圖，廠房的左斜頂與左牆面直接迎向陽光，浪板蒙皮外表面吸收陽光

輻射熱，並將熱傳遞給廠房內部空氣，此時對於廠房內部空氣而言，左斜頂與左牆面吸收較多的陽光輻射熱，因而形成顯著熱源，使廠房氣溫上升；至於廠房右側的屋頂與牆面，因吸收較少的陽光輻射熱，因此對廠房的加熱較不明顯。

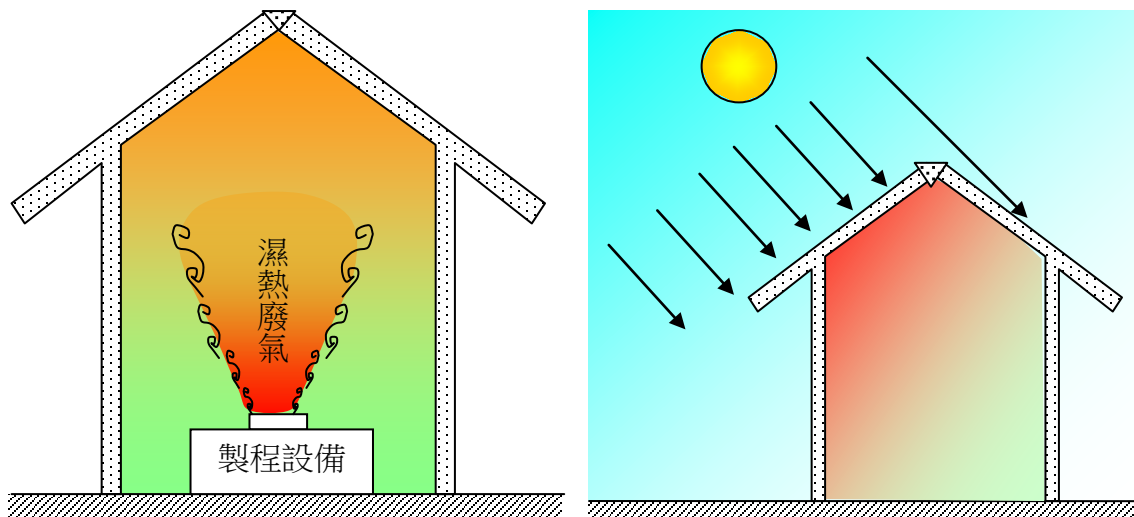


圖 9 製程設備發熱（左）與陽光輻射（右）造成的氣體熱上升現象

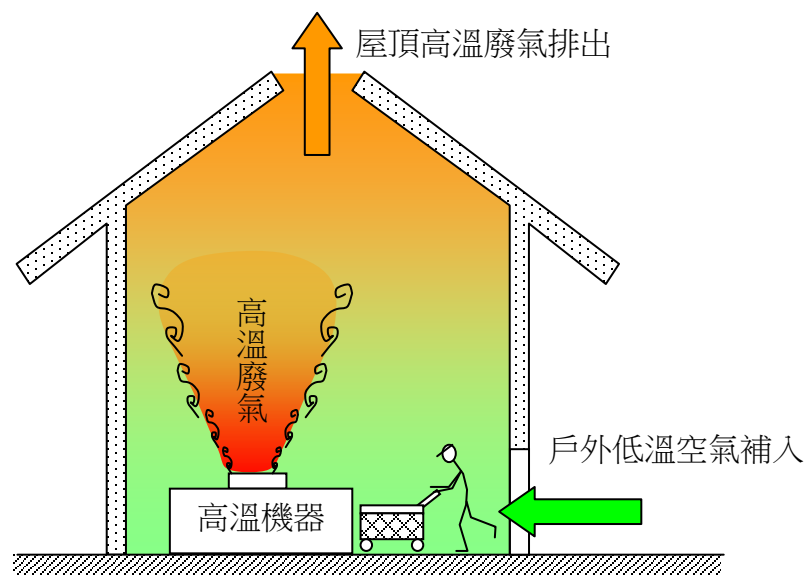


圖 10 配合外部熱對流循環所作的廠房自然通風流路規劃

空氣必須形成進出廠房的連續流路，才會存在穩定的通風換氣現象，圖 7 右小圖所示的外部熱對流循環就是個好例子。事業單位必須熟悉如何利用熱上升效應，妥為安排空氣流入、流出廠房的路徑，才能提升廠房的整體通風效益。以圖 10 為例，高溫

廢氣上升排出，戶外低處涼空氣自廠房門窗補入，安排勞工站在靠近門窗開口的地面工作，如此一來，來自戶外的較涼爽空氣首先流經勞工的身體，然後才朝廠房深處的高溫機器方向流動，形成連續且合理的通風流路。

## 第二節 文氏管效應簡介

如圖 11 所示，若假設空氣為不可壓縮流體（incompressible fluid），則相當於假設空氣的密度不變，此時在一條風管內若存在穩定不變的空氣輸送狀態，則「質量守衡定律」退化為「風量守衡定律」：在任意兩個風管截面上，單位時間通過這兩個截面的空氣體積相等。

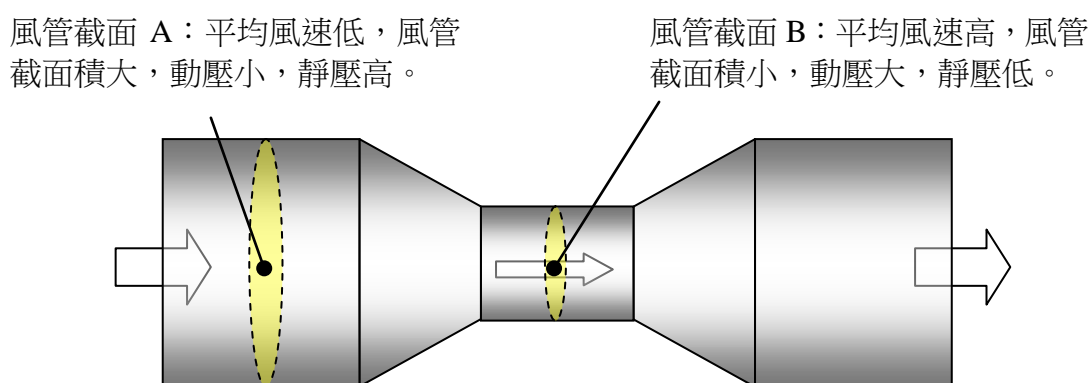


圖 11 風管截面積變化對各項通風物理性質的影響

根據柏努利方程式（Bernoulli's equation）的一維簡化型式，令  $\rho$  為空氣密度，令  $\bar{V}$  為任意風管截面的平均風速，令  $P_s$  為任意風管截面的靜壓，定義  $P_v \equiv 0.5\rho\bar{V}^2$  為任意風管截面的動壓， $P_s$  為任意截面的風管靜壓，定義全壓  $P_T = P_s + P_v$ ，若風管裡的空氣滿足「無黏滯性、不可壓縮」的條件，且在整條風管的延伸範圍內高程變化均可忽略，則滿足以下條件。

$$P_T \equiv P_s + P_v = P_s + 0.5\rho\bar{V}^2 = Const. \dots\dots\dots (4)$$

由(4)式得知，在任意風管截面上，動壓  $P_v$  與靜壓  $P_s$  之和（就是全壓  $P_s$ ）為常數。然而依照動壓的原始定義，動壓的數值不可能小於零，因此在風管截面積最小的部位，



有最大的動壓（正值），以及最小的靜壓（可為負值或正值）。如圖 12 所示的元件稱為文氏管（venturi），其工作原理稱為文氏管效應（Venturi Effect），若將文氏管應用為廠房屋頂被動式自然通風器，則稱為「文氏管通風器」。以下說明文氏管原理。

- 一、若戶外自然風由左向右吹，則空氣自圖 12 文氏管左端開口灌入。此處動壓大於零、靜壓略大於零。
- 二、空氣自入口管進入束縮段時，歷經加速降壓過程，此時風管截面積逐漸變小、動壓逐漸變大、靜壓逐漸變小且必為負值（低於環境氣壓）。
- 三、空氣自束縮段進入截面積最小的喉部時，來自下方的廠房熱廢氣、來自左方的涼爽空氣發生混合。在文氏管的喉部氣體混合位置，會發生風速與靜壓的向上跳躍，這是因為流經文氏管截面的風量在此處突然增加的緣故。
- 四、空氣自喉部進入擴張段時，歷經減速增壓過程，此時風管截面積逐漸變大、動壓逐漸變小、靜壓逐漸變大（但仍為低於環境氣壓的負值）。
- 五、空氣自擴張段進入圖 12 文氏管右端出口管時，此處的動壓高於左端入口管動壓（因為風量增加了），但靜壓趨近於零。圖 12 文氏管右側出口的靜壓略小於零，這是因為文氏管外形造成的形狀阻力，使文氏管右側出口形成相對負壓區。

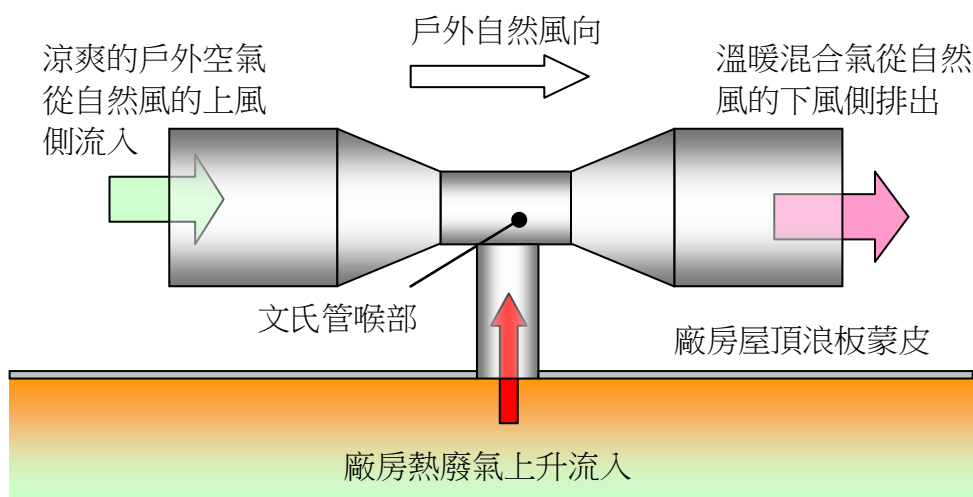


圖 12 文氏管效應與熱上升原理共同促進廠房熱廢氣的移除

文氏管效應運用於廠房自然通風器時，通常搭配使用尾翼，其作用如同船隻的尾舵，可使文氏管的入口始終維持在自然風的上風側。

### 第三節 誘導氣流原理簡介

空氣的運動，除了受主要驅動力（primary driving force）的影響之外，在無外力作用的區域，可受次要驅動力（secondary driving force）的影響。空氣的主要驅動力包括空氣噴流（jet）、空氣流陷（sink）等，次要驅動力可為剪應力（shear stress，由氣體黏滯性造成）、浮力（由密度差異造成），且次要驅動力促成的通風現象大多為大空間範圍的低速渦流，例如伴隨噴流、熱上升現象出現的渦流。

誘導氣流（induced airflow）是噴流與剪應力共同促成的空氣流動現象，在本計畫之前，此物理現象經常遭到忽略。近來市面上出現多種以「不會使嬰兒手指遭扇葉絞傷」為號召的無扇葉安全風扇（bladeless fan）或氣流倍增器（air multiplier），其通風原理如圖 13：低風量高速空氣噴流自圓環形本體的內緣縫隙向右噴出，因為噴流邊緣剪應力的作用，大量空氣被噴流裹挾向右流動，此時位於圓環形本體左方的空氣遭誘導而向右移動，以填補圓環形本體右方空氣離開後遺留的空間。

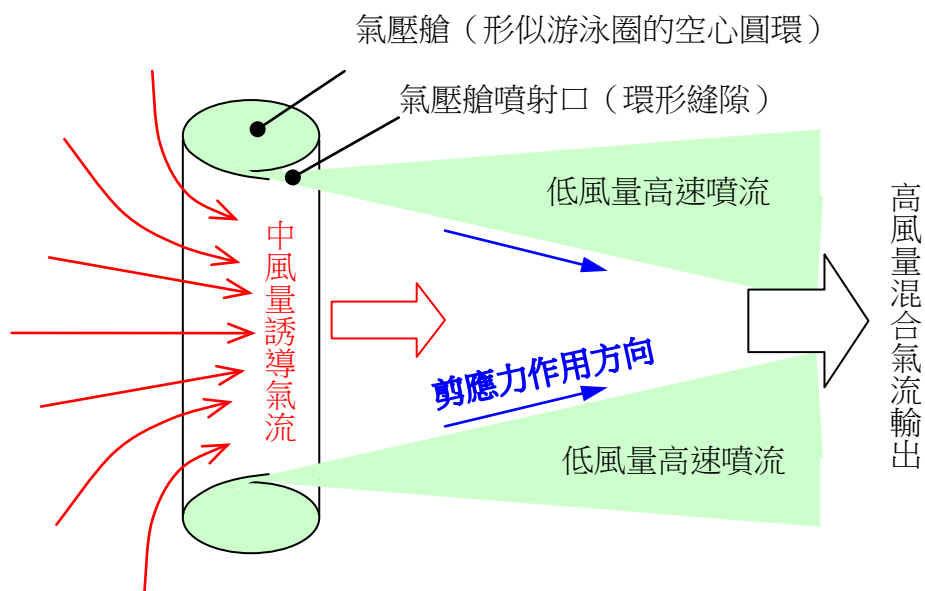


圖 13 無扇葉電風扇能造成極大風量的原理

除了前述的無扇葉電風扇，市面上也有數十種以壓縮空氣為能源、適用於侷限空

間通風換氣的移動式通風設備，稱為空氣移動器（air mover）。此類設備外觀類似喇叭，原理如圖 14：高壓空氣自喉部環形縫隙向右噴出，形成環形的高速驅動噴流；環狀噴流沿著喇叭狀的漸擴管裹挾大量空氣向右流動，此時位於空氣移動器左方的環境空氣受到誘導而向右移動，以填補右方空氣離開後遺留的空間。

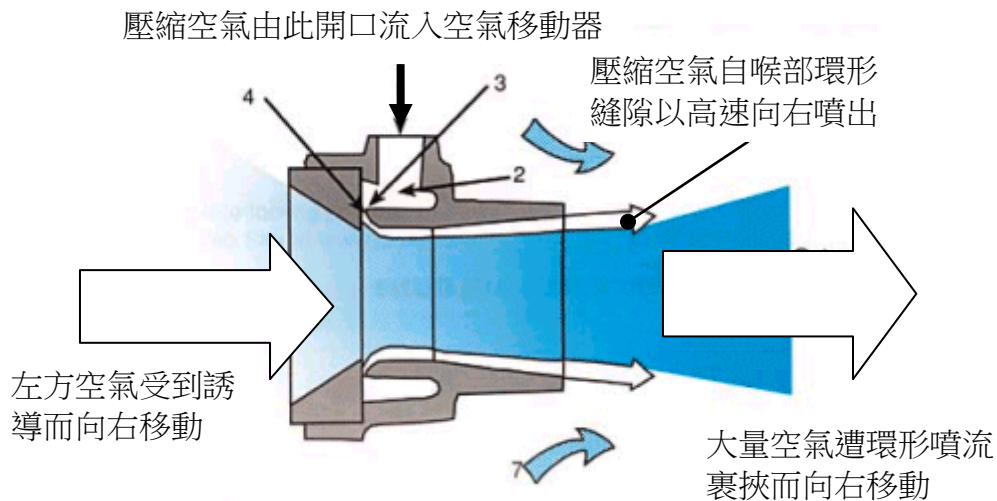


圖 14 空氣移動器的通風原理舉例 (<http://www.lifetime-reliability.com/>)

發生於濕熱作業場所的可用誘導氣流案例還有很多，但因為廠牌型號眾多，恕不逐一展示。對廠房自然通風設施而言，誘導氣流原理是促進廠房自然通風換氣的有利物理現象，且為「渦輪自然通風器」能發揮具體功效的重要原因。

臺灣地區常見的渦輪自然通風器，其外觀與構造如圖 15，其內部誘導氣流現象呈現如圖 16。當自然風掠過靜止的渦輪體時，由於渦輪體外表受風翼片的安排方式並非完全對稱，所有受風翼片對自然風的總阻力向量偏離渦輪體中軸，於是渦輪體承受偏心反力並形成「淨轉矩」，此淨轉矩驅動渦輪體由靜止狀態開始旋轉。注意圖 15 標示的環形縫隙，這個環形縫隙位於渦輪體翼片環與套筒之間；當渦輪體旋轉時，位於渦輪體內部的空氣被翼片內緣攪動產生離心力，並由翼片開口甩出戶外；此時為了補足被甩出的空氣，戶外空氣會從渦輪體下方的環形縫隙流入補足，這就形成了高速的環形驅動氣流，能誘導套筒內的空氣向上排放，繼而形成氣壓差異。圖 16 右小圖說明了前述的空氣流動補充過程，圖 16 左小圖則以藍色、紅色箭頭標示出驅動氣流與誘導氣流。

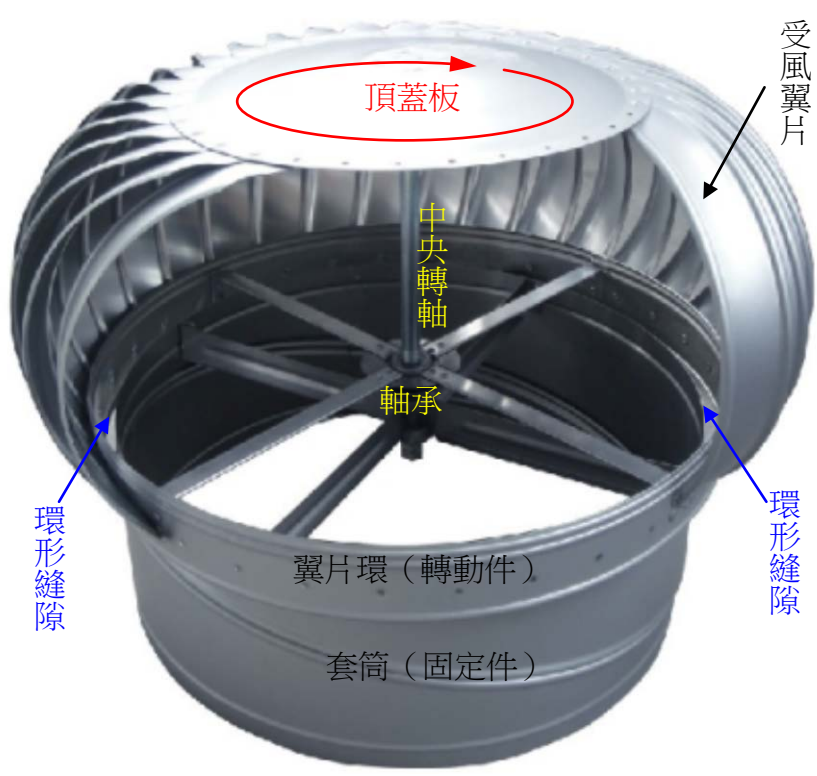


圖 15 常見渦輪自然通風器的構造舉例 (<http://www.roofquip.co.nz/>)

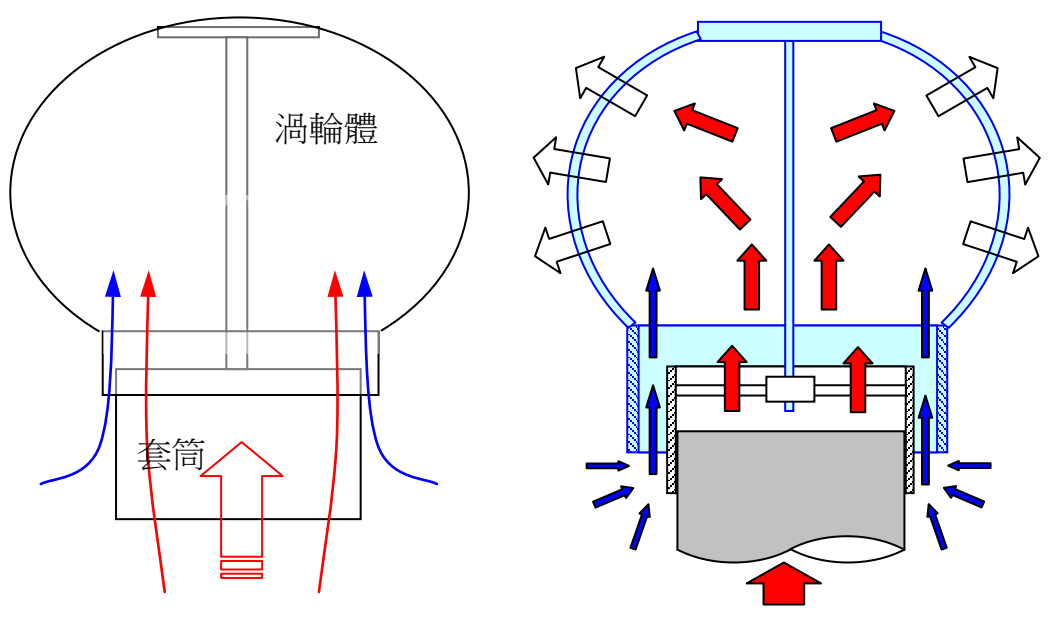


圖 16 渦輪自然通風器的環形驅動氣流 (藍色) 與誘導氣流 (紅色)

圖 16 左小圖所示的套筒，其下端通穿透濕熱作業廠房的屋頂，以便就近捕集匯聚在廠房天花板高度附近的廢熱氣體。以下延伸討論 5 種特例狀態。

- 一、空轉狀態：假設套筒因故阻塞，廠房熱空氣無法流入渦輪體，此時渦輪自然通風器處於「空轉狀態」，渦輪體排放的空氣不含來自廠房的廢熱空氣，而是 100% 由藍色環形縫隙氣流組成。
- 二、無效狀態：假設套筒下方的廠房空氣十分炎熱，且戶外無風，則渦輪自然通風器無法借助戶外風力而旋轉，其具體功能退化為「劣質煙囪」；此時的渦輪體，形同一具被動的渦輪機，被來自下方的紅色熱氣流推著旋轉。在本特例，由於紅色熱氣流因浮力而大量湧入渦輪體，然後自渦輪體的所有開口向外排放，因此藍色環形縫隙氣流的方向是「逆向朝下」。
- 三、低效狀態：假設套筒下方廠房空間炎熱、戶外風速不高，且圖 16 左小圖的藍色、紅色氣流進入渦輪體時，紅色氣流的風速，比藍色氣流來得快；此時自廠房上升的紅色熱氣流，會誘導藍色環形縫隙氣流向上流動。換句話說，在本特例，渦輪體並未好好地利用自然風來促進廠房排氣，這多半是因為擁有此廠房的事業單位，於採購渦輪自然通風器時，選擇了排氣容量太小的型號，才會導致這種現象。
- 四、正常狀態：假設戶外風速相當高，推動渦輪體快速旋轉，那麼圖 16 左小圖的藍色氣流，就會以較快的速度流入渦輪體，並因此顯著發揮誘導紅色氣流向上流動的作用，使因為熱浮力而自廠房上升的紅色氣流，順暢地向上、向外流出渦輪體。此時的渦輪自然通風器運轉於正常狀態，這也是事業單位購買它的主要目的。
- 五、高效狀態：假設套筒下方廠房空氣炎熱、戶外有高速的風，且圖 16 左小圖的藍色、紅色氣流，在進入渦輪體與套筒之間的環形縫隙時，兩個風速相等，則此時因熱浮力而產生的紅色氣流，與因戶外自然風速而產生的藍色氣流，兩者幾乎沒有誘導對方向上流動的作用。此時的渦輪自然通風器運轉於相較於該戶外風速的最高效率，其排氣風量處於滿載的狀態，但這樣的情況只是理想情況而已，事實上渦輪自然通風器經常運轉於正常狀態或低效狀態。

渦輪自然通風器的原理與空氣移動器（air mover）最接近，且與無扇葉電風扇（bladeless fan）差異較大。空氣移動器與無扇葉電風扇兩者的共同之處，是利用自環

狀縫隙噴出的反平面噴流為驅動氣流，誘導週遭靜止空氣跟著驅動氣流一起移動；空氣移動器與無扇葉電風扇兩者的最大差異，則是對周遭空氣可搬運範圍的限制：空氣移動器只能誘導環內側的靜止空氣移動（環外側緊貼著喇叭口壁面），無扇葉電風扇則能誘導環內側與外側的靜止空氣同時移動，因此空氣移動器即使搭配「略有壓力阻抗」的空氣導管，也能正常使用（適用於低壓高風量場合）；至於無扇葉電風扇，則僅適用於「無壓力阻抗，無導管，一味追求高風量」的場合，與普通家用電風扇的運轉條件十分吻合。

## 第四節 廠房自然通風器概略分類

廠房自然通風器可利用戶外自然風力、氣體熱上升原理、誘導氣流原理、貼附效應、「光電池－風扇」等方法，達到促進廠房通風換氣的目的。目前國內外常見的廠房自然通風器分類比較如表 14、表 15，以下簡介其構造與運轉原理。

一、被動通風器：顧名思義，此類通風器沒有可動元件，是一種附有特殊設計開口的建築附屬結構，通常安裝於廠房屋脊、屋頂斜面，或與雙層屋頂結合。廠房熱空氣自動上升並局部蓄積於被動通風器的暫存空間，然後再利用熱上升浮力、自然風力，使蓄積於暫存空間的熱空氣捲出戶外。為此，適於安裝被動通風器的廠房，必然有「廠房內部淨高較高、屋頂為斜頂」的共同特色。

(一) 屋脊通風器：通常安裝於斜頂廠房最高處的屋脊部位，由自然風捲出匯聚於此的廠房熱空氣。有時為了應付間歇出現的大量熱氣（例如每歷經一個製程循環才會排放一次的廢氣），還會在屋脊部位預留熱氣暫存空間。常見的屋脊通風器包括傳統太子樓、文氏管效應太子樓等。屋脊通風器若配合雙層屋頂，則可獲得更好的通風散熱效果。

(二) 垂直排氣道：可為利用煙囪效應排放高溫廢氣的煙囪、利用風力取得戶外空氣的波斯風塔，或利用陽光熱輻射的太陽塔。這些設施的共同特徵是擁有一條以垂直姿態貫穿廠房的垂直排氣管道，且均以垂直向上的方向排放熱氣。

(三) 屋頂面通風器：可安裝於斜頂式廠房或平頂式廠房，利用自然風將熱空氣捲出戶外。此類設計也可應用空氣貼附作用（Coanda Effect），利用貼附於屋頂面流動的空氣，達到某些預期的目的。雙層屋頂與屋脊通風器可合併為複合

建築構造，能降低廠房空氣對陽光輻射熱的吸收，是但雙層屋頂複合構造對廠房通風無顯著幫助，與本計畫目的差距較大，因此不作詳細的討論。

二、半被動通風器：此類通風器具有可自動調整姿態的輔助元件，可使通風器順應自然風的風向，提高廠房通風換氣效益，故此稱為半被動通風器。

(七) 側牆通風器：最常見的側牆通風器為安裝於屋頂下方、牆面高處的百葉窗，能同步開啟或同步關閉，以利採光與通風。

(八) 管狀通風器：在風力穩定、日夜風向顛倒的濱海廠房屋頂，常見「附有可轉向風標的水平排氣口」，能順應自然風自動調整水平排氣口的方向，使開口朝向自然風的下游，以便順風排放廠房內的熱空氣。若將前述的水平排氣口進一步修改為文氏管，則成為「附有可轉向風標的水平文氏管排氣口」，能產生更大的壓力差，適用於通風排氣較困難的廠房。

三、主動通風器：以渦輪自然通風器為代表案例，目前國內外已有十餘種形狀、功能不同的商品。渦輪自然通風器利用自然風力、熱上升原理、誘導氣流原理，可發揮優劣不一的廠房通風效果。

(一) 水平渦輪自然通風器：是較早期的渦輪自然通風器，較不能適應風速劇烈變化的環境，目前在臺灣地區很難找到這種廠房通風器，因此不多作介紹。

(二) 球狀渦輪自然通風器：如圖 15 所示，類似產品的廠牌型號可能多達千種，其浮動軸承設計能以「渦輪體上下短距離拋動」的方式來卸除暴風動能並降低轉數，使渦輪過載毀壞的機率降低，為目前臺灣地區最常見的廠房自然通風器。

(三) 光電－風能複合通風器：如圖 17 所示，利用太陽光電池輔助驅動渦輪自然通風器，使渦輪自然通風器在晴朗無風的天候中也能促進廠房通風換氣。

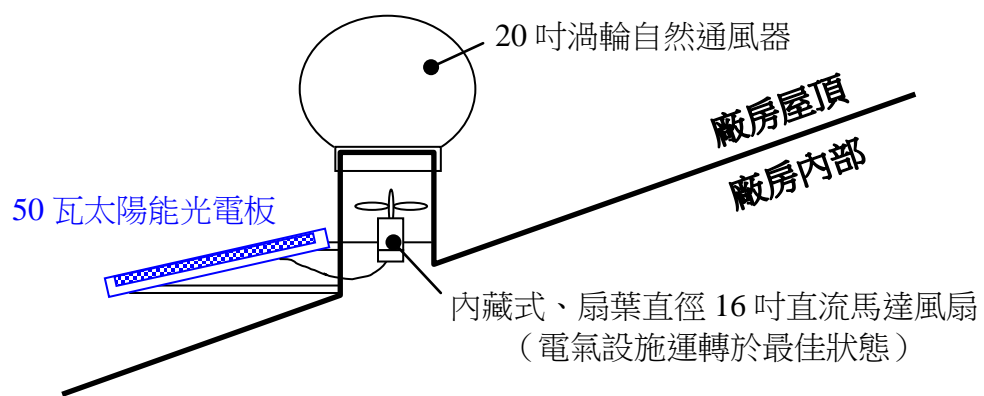


圖 17 國人研發的「光電—風能複合通風器」



表 14 廠房自然通風器概略分類與用途 (1/2)

分類	中分類	亞型	用途與備註
被動通風器	屋脊通風器	傳統太子樓	自 19 世紀起就設置於菸樓，能加速排放木材燻煙。目前常見於畜舍。利用空氣受熱上升原理排放室內熱氣，並利用自然風加速帶走熱氣。
		文氏管效應太子樓	結合文氏管效應的太子樓，大多為磚石或混凝土結構，常出現於降雨較少、風速偏高的沙漠地帶。自然風通過太子樓時，結構流路的斷面積逐漸收縮，使流路內的空氣加速、降壓，並於斷面積最小處銜接煙囪或廠房內部空間，能有效排放累積於建築物內的污濁氣體。
	垂直排氣道	煙囪	利用煙囪效應吸引廠房內空氣，沿煙囪向上排放。煙囪效應的來源可為廠房熱源或太陽輻射。
		波斯風塔	仰賴人力或控制設施始能操作，適合溫帶沙漠地區，利用水的蒸發潛熱、溫差與風力運作。
		太陽塔	由於雙層屋頂中的上層屋頂接受陽光輻射，位於雙層屋頂間隙內的空氣受熱上升，朝建築物中央的煙囪匯聚，隨即挾帶煙囪內的氣體一齊上升，使煙囪不得不持續自建築物內部低處汲取空氣，因而形成自然通風效果。
	屋頂面通風器	似太子樓	有多種結構，並非安裝於屋脊，而是貼伏於屋頂斜面。利用自然風與廠房內外溫差誘導氣體排出。不同產品各自標榜不同的特色，例如防雨、採光等。
	複合通風構造	雙層屋頂與屋脊複合通風器	將上層屋頂設計為對抗陽光熱輻射的構造，將下層屋頂設計為防雨防風構造，上下兩層之間的餘隙用於輸送被上層屋頂加熱的空氣，使其經屋脊通風器排放，減少廠房空氣對陽光輻射熱的吸收。

表 15 廠房自然通風器概略分類與用途 (2/2)

分類	中分類	亞型	用途與備註
半被動通風器	側牆通風器	同步啟閉百葉簾	於廠房牆面高處設置大面積的百葉簾開口。天氣晴朗炎熱時，同步開啟各百葉簾葉片以便採光，並促進通風散熱；天雨或天寒時，則同步關閉葉片。
	管狀通風器	附風標的可轉向排氣口	原理類似氣象站的風標，排氣管的出口為可轉動的橫向出口，藉由風標與自然風，使排氣出口始終朝著自然風的下游方向，使廠房廢氣加速排出。
		附風標的可轉向文氏管效應排氣口	原理類似文氏管效應太子樓，但由於風標的存在，文氏管始終平行於自然風向，通風換氣得以改善。
主動通風器	渦輪通風器	渦輪通風器	渦輪本身的原理類似於「前傾輪葉離心式排氣機」。渦輪外形可為球狀、橢球狀或平面渦輪。排氣原理係利用渦輪下方環形縫隙的誘導氣流，本身無法抵抗壓力損失，因此這類通風器不會產生負壓。
		光電－風能複合通風器	利用光電板將太陽能轉換為直流電，驅動電風扇，使渦輪自然通風器產生負壓。

## 第五節 太子樓與其衍生通風器原理概說

在前一節提到的廠房自然通風器之中，太子樓是最古老、最廣用的。由於以太子樓為原型衍生出來的廠房自然通風器種類最多，因此即使稱呼太子樓為廠房自然通風設備的鼻祖，也不為過。傳統太子樓的外觀如圖 18，原理說明如圖 19。本計畫研究人員找到的太子樓最古老記載，係歐洲中世紀城堡的警戒塔，其原始目的為供衛兵登高哨戒之用。開啟太子樓兩側的瞭望窗後，警戒塔內部低處因為炊煮、油燈照明而產生的濕熱廢氣便持續向上流入太子樓，並由自然風將濕熱廢氣捲出瞭望窗。由於太子樓的存在，使悶熱潮濕的警戒塔變成「空氣品質良好、涼爽宜人」的生活空間。

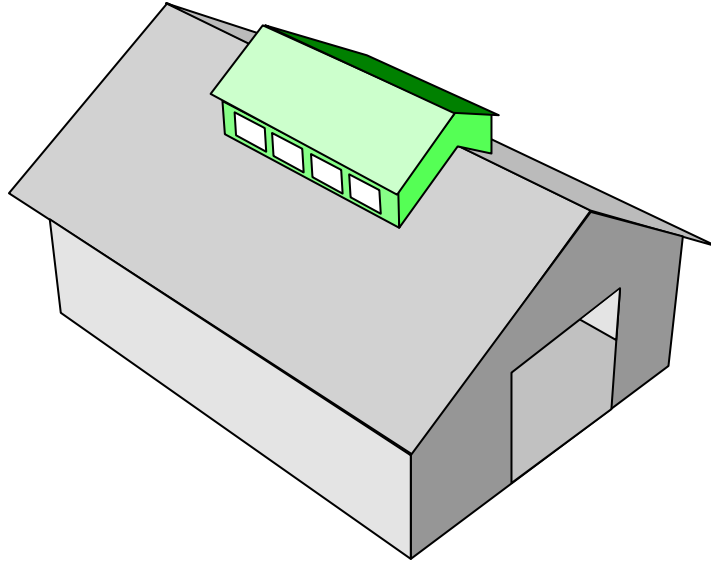


圖 18 屋頂窗 (roof monitor) 俗稱太子樓 (臺灣) 或越屋檐 (日本)

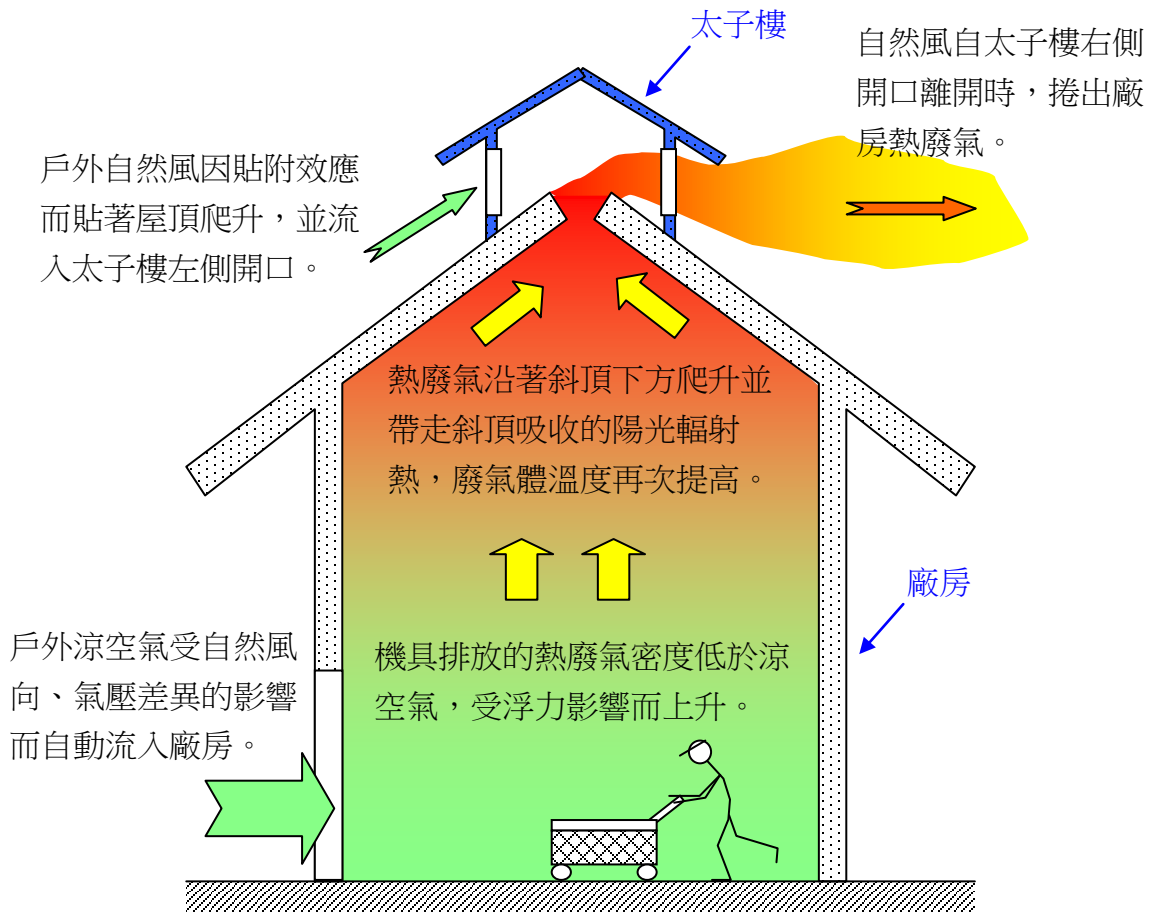


圖 19 傳統太子樓的通風散熱原理示意

19 世紀末，高雄市美濃區菸草產地已於菸樓頂部設置太子樓。關於臺灣地區特有的「太子樓」俗稱，由來已難考證，但研究人員發現一項有趣事實：奉祀「哪吒太子」的道教廟宇大多設有多重屋頂，其外觀乍看之下與圖 18 的太子樓頗為神似。

當開口面積夠大時，若以同樣的工程費用為比較基礎，則傳統太子樓擁有通風量最高、廠房散熱能力最好、搭建速度最快、建築工法最簡單、無專利限制等多重優點；然而自太子樓開口入侵的雨水，易造成廠房金屬結構銹蝕，這是傳統太子樓最常見的缺點。研究人員走訪臺灣中南部的金屬結構工業廠房，發現傳統太子樓已不多見，工業廠房為了避免雨水入侵問題，大多刻意縮小太子樓開口尺寸、將太子樓開口設計為百葉窗、拉寬太子樓結構的寬度、加大熱氣暫存空間的深度，或增設能阻擋雨水入侵、促進排水的附加零件，形成各種有趣且實用的設計方案，一併整理如圖 20。

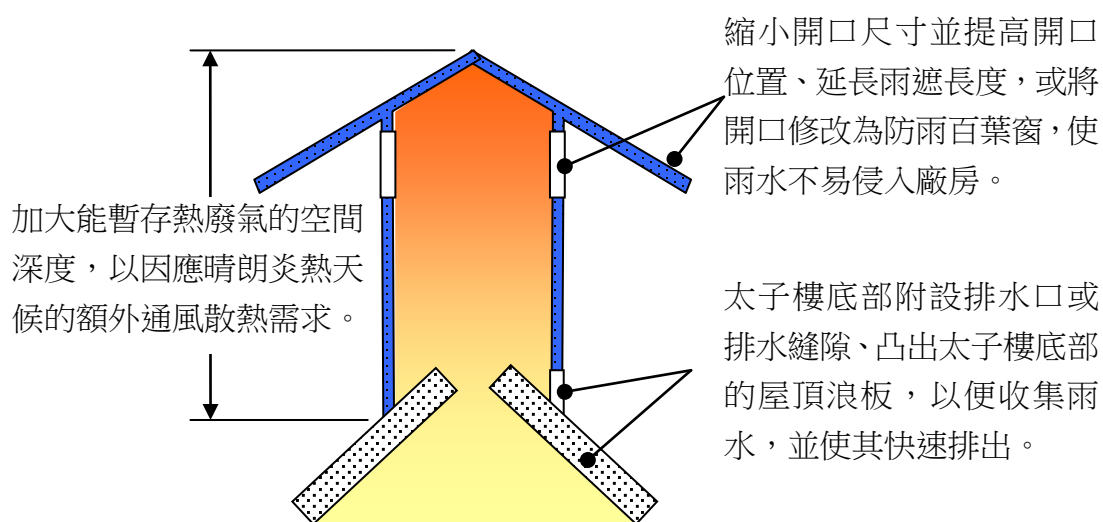


圖 20 因應風雨威脅所作的各種太子樓修改方案

若講求建築物外形美觀、廠房內無熱源、陽光熱輻射影響不大，且經常有自然風，則可改用如圖 21 所示的屋脊通風器（第一類似太子樓，常見於中歐與北美），其原理說明如下：熱廢氣自屋脊頂點的狹縫噴嘴向上排出；狹縫噴嘴的造型配合較低的進排氣格柵，可避免雨水流入廠房空間；貼附效應促使自然風貼附著廠房斜頂流入進氣格柵，在通過屋脊頂點的狹縫噴嘴時，與廠房熱廢氣混合，然後自出口格柵排出戶外。

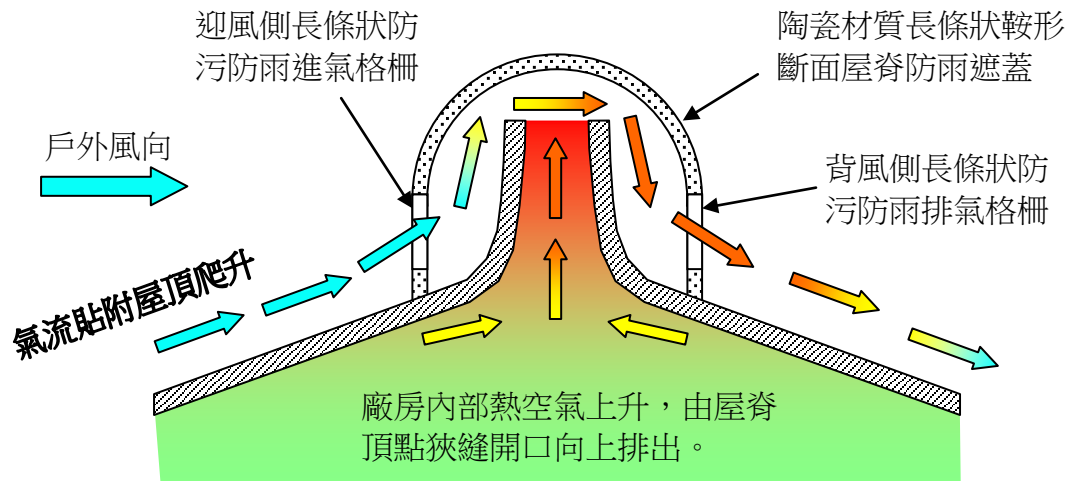


圖 21 第一類似太子樓的通風原理

第一類似太子樓不但能安裝在屋脊，也能在局部修改後，變成廠房屋頂面專用的被動通風器，以提升廠房的總換氣風量。此類產品製造容易，因此在 1998-2005 年間，臺灣地區出現許多專門生產「廠房屋頂面第一類似太子樓」相關產品的廠商。

由於同類型產品太多，各有不同的細部特色，本文件無法全部介紹，因此只能選擇較具代表性的一個例子，說明其通風原理如圖 22：自然風由右向左，受貼附效應影響而沿著廠房屋頂面爬升，隨即自狹縫入口灌入正壓混合腔；自然風在正壓混合腔內以渦流捲入部分熱空氣，消散部分動能，然後向上排放；在屋頂面位置較高的下風側，廠房熱空氣進入負壓混合腔，部分自狹縫出口排放，其餘自上方排放。

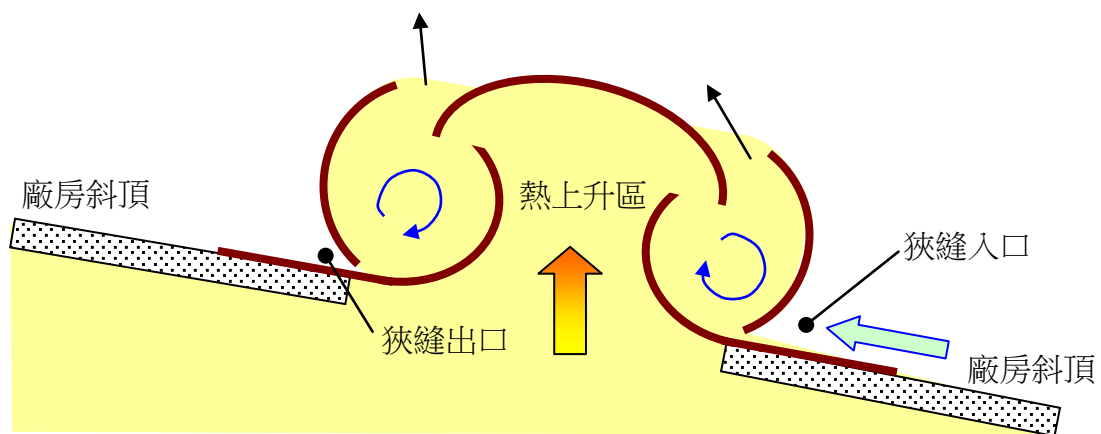


圖 22 「廠房屋頂面第一類似太子樓」的通風原理（僅為舉例）

若工廠所在地區於氣候炎熱（夏秋兩季）、氣候寒冷（冬春兩季）時有風向相反的季節風，且廠房內部空氣中不含環保法規管制的排放物，則適用第二類似太子樓，其原理如圖 23。第二類太子樓利用自然風「風速與離地高度概略成正比」的特性，順應季節風的風向，將廠房低處開口（門窗）與屋頂採光通風窗設在廠房建築物的同一側。在炎熱的夏秋兩季，屋頂採光通風窗完全開啟，此時鋸齒狀的廠房斜頂能促進廢熱氣體自採光通風窗排放到戶外，而高低兩處的風速差促使較涼爽的外空氣自廠房低處的門窗開口流入勞工作業區；在寒冷的冬春兩季，廠房屋頂採光通風窗僅部份開啟（或不開啟），可充分利用日光照明及太陽輻射熱。

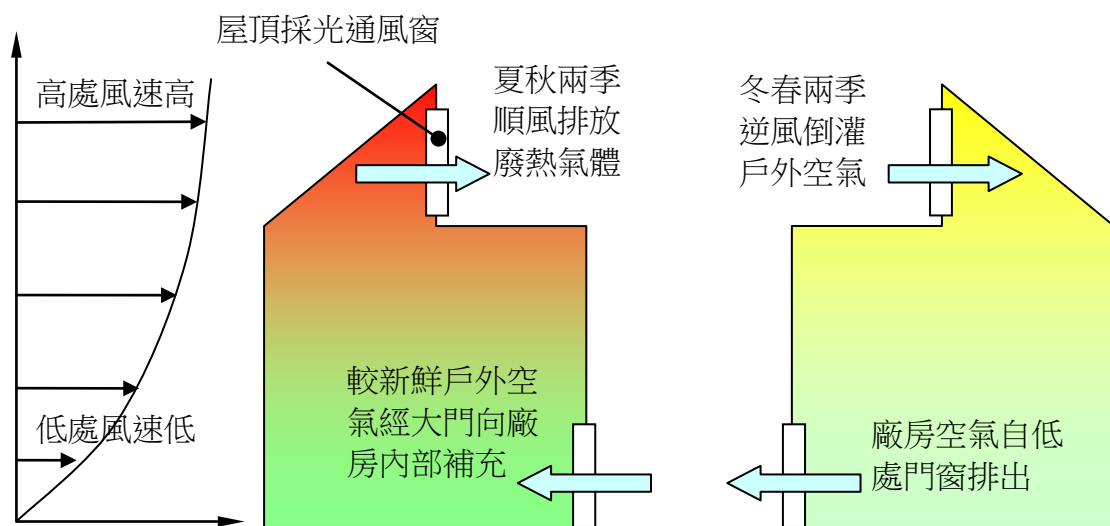


圖 23 第二類似太子樓通風原理示意

文氏管效應太子樓通常搭配垂直排氣道，具體呈現為排氣道末端的風帽（cap），通常為陶瓷、混凝土或鋼筋混凝土結構，可安裝於屋脊或屋頂面。以大陸地區某被動通風器安裝案例說明其原理如圖 24：自然風由左向右吹，進入文氏管效應太子樓後，因為管道斷面積縮減而逐漸加速減壓，於斷面積最小的喉部達到最高風速與最低氣壓，恰好將位於喉部垂直管道內的廠房熱廢氣抽出。

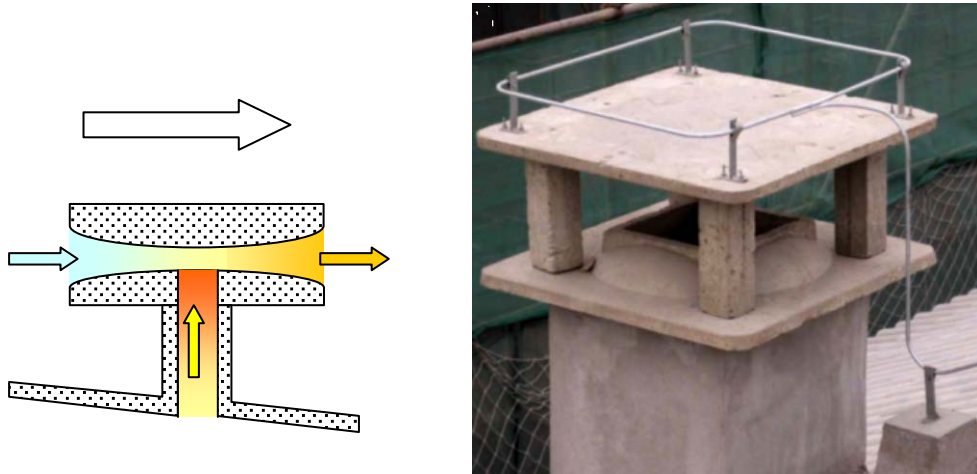


圖 24 文氏管效應太子樓通風原理（左）與大陸地區安裝案例

「風標」的外形類似飛機的垂直尾翼，常見於氣象單位使用的風速風向計。若將文氏管效應太子樓與風標結合為一體，則形成一種新的半被動自然通風器，可隨著自然風的風向變化，自動調整文氏管的姿態，以便充分利用自然風將廠房內部的熱廢氣捲出戶外。此類通風器的概略外形如圖 25 所示（刻意將原設計作修改，但功能不變），由於其專利期限尚未屆滿，因此不詳細介紹其原理。

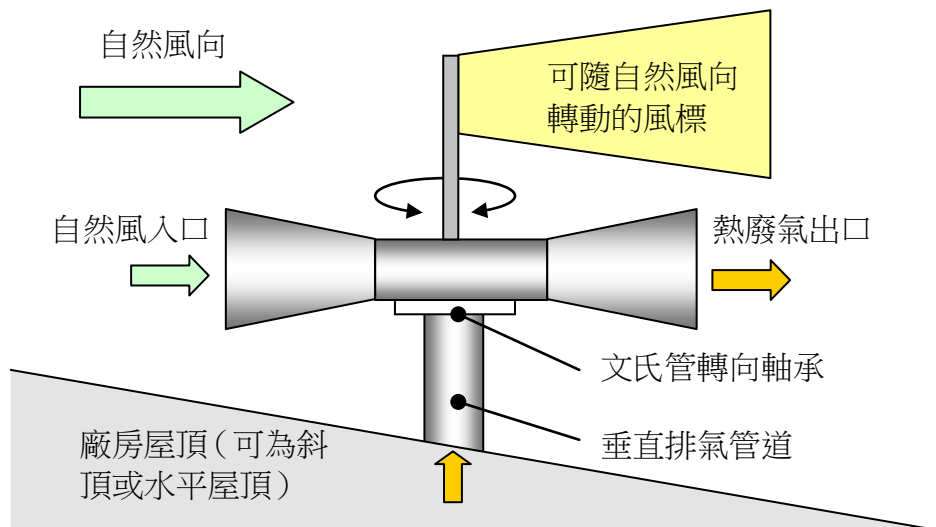


圖 25 可轉向的文氏管效應太子樓（半被動通風器）原理示意

## 第六節 其他自然通風器原理概說

本節所稱的其他自然通風器，係指具有顯著原創性的特殊廠房自然通風器。由於篇幅有限，只擇要討論「可轉向水平排氣口、波斯風塔、太陽塔」這三種。

首先說明「可轉向水平排氣口」的原理。可轉向水平排氣口的外形與構造示意如圖 26，乍看之下與「可轉向的文氏管效應太子樓」十分接近，但它的主要驅動力來自煙囪效應、誘導氣流、熱上升原理，在濱海工業區十分常見，普遍裝設在平坦的廠房屋頂，或傾斜角在  $15^\circ$  以下的微斜屋頂。可轉向水平排氣口的廠房通風能力是由三種原理共同促成，說明此三種原理如下。

- 一、熱上升原理：廠房熱空氣因為密度差而自動上升匯聚到排放導管，流經  $90^\circ$  彎管後，由水平出口排放到戶外大氣。
- 二、誘導氣流：自然風流經通風器週遭空間時，尾翼會自動將排氣口轉向自然風下游。如圖 26 上方俯視圖所示，自然風的風速通常遠高於「純粹因為熱上升原理而產生的排氣速率」，當自然風流經排氣口區域時，由於空氣黏滯性、排氣口內外空氣速度差而產生的剪應力，會加速誘導排氣口內的熱空氣順風排出。
- 三、煙囪效應：若將可轉向水平排氣口的下端，銜接於煙囪、廠房地面機具的廢氣排放口，而非直接銜接於廠房天花板，則由於地面自然風的風速低於高處自然風的風速，使煙囪內部氣壓低於地面環境氣壓，此時將發生煙囪效應，有助於排放廢氣。



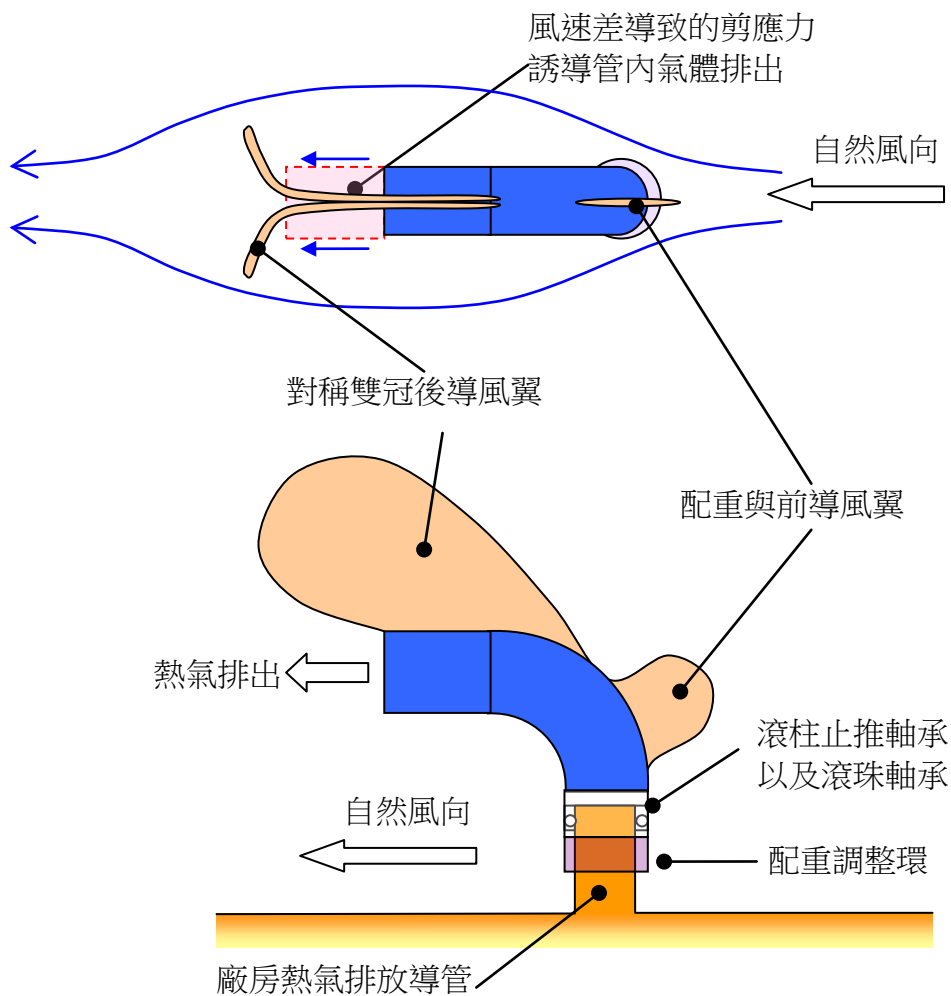


圖 26 可轉向水平排氣口（半被動通風器）原理示意

接下來要介紹的自然通風器是「波斯風塔（wind catcher）」。由於波斯風塔採用的通風空調技術十分合理，在沙漠地區發揮天然冷氣機、天然冰箱、自然通風器等功能，因此至今仍流行於伊朗高原與阿拉伯半島。為避免離題，本文件只介紹其中的自然通風原理。如圖 27 所示為波斯風塔的「六角形版本」，可將自然風向分為六種。在迎風側，自然風流入風塔進氣口後，立刻轉 90 度往下噴入廠房空間；在背風側，室內濕熱空氣於天花板高度匯聚流入排氣口，然後再轉 90 度排放到戶外。

由工業通風的基本常識，我們知道當導管的搬運風速、截面形狀尺寸都維持不變時，排出氣體的有效作用距離，比吸入氣體的有效作用距離遠得多（通常兩者的大小比例為 30-40 倍）。雖然波斯風塔的「進氣口」與「排氣口」的尺寸形狀都完全相同，

但氣溫較低的自然風由進氣口垂直噴入廠房時，涼風直達地面勞工作業區，使勞工享受涼爽空氣；在另一側的排氣口，由於流陷（sink）的物理特徵是就近捕集空氣，因此靠近天花板的高處熱空氣會被排氣口優先捕集。波斯風塔的物理特性對於廠房通風散熱而言極為有利，而且完全不耗用電力，不愧是古人的智慧結晶。

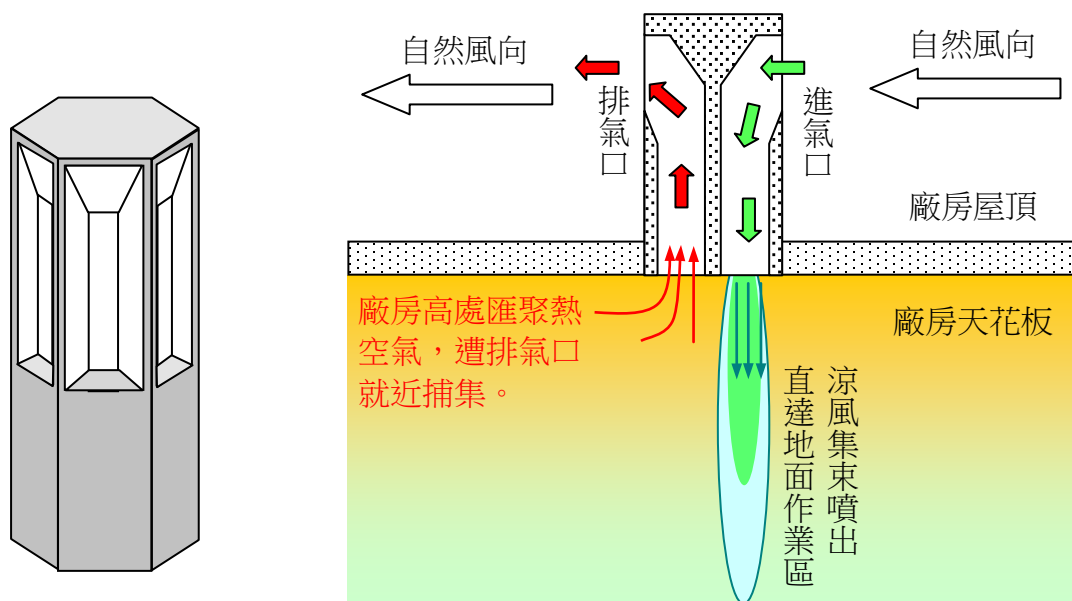


圖 27 波斯風塔的外觀（左）與運轉原理（右）

對臺灣地區的廠房建築物而言，波斯風塔、太子樓之類的建築物屋頂附屬設施，擁有良好的通風換氣特性，其建造技術不難，且無專利限制，實是良好的廠房自然通風器，但因為以下因素，波斯風塔在臺灣地區並不常見。

- 一、風雨天候不宜使用：風塔無法抵禦由風攜帶的雨水，易造成廠房內部積水。
- 二、嚴寒天候不宜使用：冷風可由進氣口直達地面勞工作業區，易使勞工身體失溫。
- 三、潮濕天候不宜使用：波斯風塔造成的換氣量很大，於潮濕天候下，過度換氣易造成廠房內部堆放的原物料發霉。
- 四、不宜搭配冷氣使用：對於力求節能、希望「在法令容許範圍內盡量減少通風量」的冷氣廠房而言，由於波斯風塔的通風換氣率並非固定（通風量與戶外風速成正比），在戶外高風速的情況下會增加冷氣電費支出，因此不適用。

雖然波斯風塔不宜直接安裝於廠房，但目前國外已有多種具抗風雨能力的波斯風塔產品（不具普遍性，因此不便討論）；此外，若在波斯風塔的原形設計中增設某些控制元件，例如可遙控調整波斯風塔開口大小的工具，則可揚長閉短，在炎熱乾燥天候下發揮優良的廠房通風散熱功能。

如圖 28 所示為太陽塔（solar tower），發明於 20 世紀中期，其原始目的是利用空氣熱上升現象驅動發電機，為太陽能發電設施。後來因為光電池的熱電轉換效率更高，太陽塔便逐漸沒落。近十年來，在各國設計、建造綠能建築物的風潮中，太陽塔再次受到重視，因為太陽塔不但可用於發電，也可用於促進廠房的通風散熱。太陽塔若與廠房鍋爐煙囪一併設計成複合設施，則可發揮多重功能，說明其原理如下。

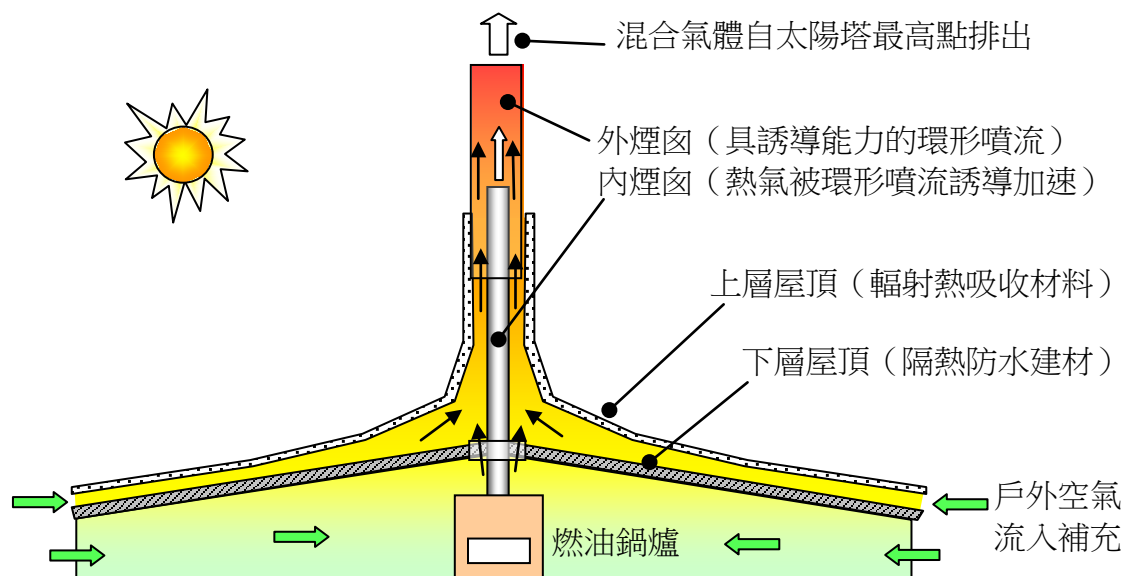


圖 28 太陽塔運轉原理示意

- 一、圖 28 所示廠房設有雙層屋頂：上層屋頂為熱的良導體，其表面黑色塗裝有助於吸收陽光輻射熱；下層屋頂為隔熱防水建材。地面勞工作業區設有連通戶外的門窗。內煙囪於廠房中央位置穿透下層屋頂並留下環形縫隙，可使匯聚餘此處的熱空氣廠房通風散熱。
- 二、陽光照射在上層屋頂表面，上層屋頂吸收陽光輻射熱，並轉而加熱位於上、下兩

層屋頂縫隙裏的空氣。縫隙空氣受熱後膨脹上升，沿著外煙囪向上排放。廠房燃油鍋爐的高溫燃燒廢氣，沿著內煙囪向上排放。內外煙囪的空氣熱上升現象，分別以燃油燃燒發熱與陽光輻射加熱為主要驅動力，這兩種熱上升現象都會從低處補充引入戶外較涼爽的空氣，以促進廠房的通風散熱。

三、氣流誘導關係：在內、外煙囪氣流匯聚位置，如果廠房鍋爐未運轉，則外煙囪的熱氣流成為主導氣流，會誘導內煙囪的氣體向上排放，形成單純的廠房通風換氣模式；如果廠房鍋爐運轉，且內煙囪廢氣溫度高於外煙囪的氣溫，此時內煙囪的燃燒廢氣成為主導氣流，會誘導外煙囪空氣向上排放。

雖然外觀比較特殊，但太陽塔搭配避雷設施並作局部修改後，相當適用於亞熱帶地區的大面積廠房，且可配合廠房佔地面積與幾何形狀改變其結構，不限於圖 28 的全對稱式。舉例來說，可將圖中的鍋爐挪到一旁，並將屋頂建造為單斜式，使屋頂迎向偏南的陽光。

## 第七節 廠房通風、散熱、排濕的觀念異同

地處亞熱帶的臺灣，氣候溫暖潮濕，在年平均降雨日數較少的西南平原，白天廠房氣溫經常偏高，若廠房內有蒸汽鍋爐等設施，則大量蒸發的水氣將使廠房形成溫暖潮濕的環境。天氣冷時，事業單位可利用保暖制服來保護勞工，但氣溫若接近或高於勞工體溫，則空調系統需大量消耗能源，因此事業單位十分關心如何使廠房排濕散熱。風吹過人體週遭空間時，通常能促進人體散熱（汗水蒸發吸收體熱），基於這樣的感官經驗，不明就裡的事業單位往往將「通風、排濕、散熱」混為一談。舉例來說，廠房管理者為加強廠房散熱而安裝自然通風器，當通風換氣率提升到足以滿足散熱需求時，廠房空氣品質自動獲得改善。在這個案例中，雖然廠房管理者誤以為「散熱」是唯一的需求，但卻在改善工程完成後意外獲得副產品，即良好的廠房空氣品質。

1970-1995 年間，抗陽光輻射的蒙皮建材尚未普及，小型加壓水泵售價逐年降低，到處都看得到標榜「超大鐵門」的金屬構造蒙皮廠房。當時臺灣曾出現「專門為廠房安裝噴水設施」的有趣行業，使工業區常見以下奇景：事業單位利用小型加壓水泵、鋼管將自來水加壓輸送到廠房屋頂，然後以園藝用灑水頭持續澆濕廠房屋頂，試圖藉

此為廠房降溫。

屋頂金屬蒙皮確實能吸收陽光輻射熱並間接加熱廠房內部空氣，但這只是夏季白天廠房氣溫偏高的原因之一。由於製程設備與勞工通常位於地面，能近距離影響勞工身體冷熱感受的濕熱空氣，基本上來自製程設備（釋放熱氣、熱水蒸氣、熱輻射）。由此看來，若捨棄促進廠房通風換氣的作法，改以自來水澆濕廠房屋頂的工法取代，則不僅妨礙廢熱空氣自廠房屋頂排出，且有「無法同時改善廠內空氣品質、水電費用高」等缺點，因此在 1995 年後，這種屋頂灑水工法已陸續遭到淘汰，由各種廠房自然通風器取代之。

除了採用廠房自然通風器、大型門窗開口的金屬構造蒙皮廠房之外，針對一般平頂式鋼筋混凝土工業廠房（外形扁平、樓高 35m 以下）而言，目前已有較新的隔熱工法，是在廠房平頂覆蓋黑色針織網（價格低廉的網狀材料）：以 10cm 間隙，將多片面積 2-3m<sup>2</sup> 的黑色針織網整齊覆蓋廠房屋頂，隔熱原理如圖 29：大部分陽光輻射熱由黑網纖維搶先吸收，只有少部分陽光直達屋頂；由於塑膠網纖維熱傳導性差，黑色纖維表面吸收輻射熱後溫度遽升，使纖維上表面空氣受熱上升，週遭較涼爽的環境空氣則自下方或黑網側邊的間隙補充流入，使廠房屋頂面溫度得以降低。

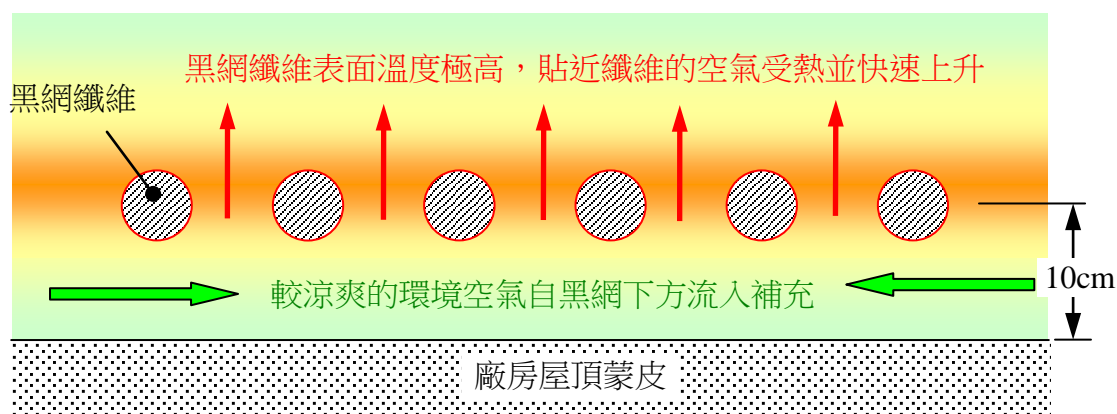


圖 29 針織黑網覆蓋廠房屋頂可降低蒙皮對陽光熱輻射的吸收率

# 第五章 研究結果與討論

## 第一節 濕熱作業環境之定義與訪視對象選擇

本計畫對廠房自然通風、散熱、排濕的基礎技術研究，與濕熱作業廠房的環境監測調查，是彼此獨立的兩個研究分項工作。在濕熱作業廠房的訪視工作方面，本計畫於 103 年 07 月與 10 月分別召開專家學者會議，決議參考 ASHRAE 於 2013 年提出的環境條件對生理參數影響（圖 30），以「氣溫達 35 °C 且絕對濕度大於 3 kPa」作為濕熱作業環境的認定基準。

經由現場接洽及電話訪問，分別與巴沙諾瓦股份有限公司高雄港店（A 場所）、大成長城企業股份有限公司柳營肉品場（B 場所）、南緯實業股份有限公司（C 場所）、得力實業股份有限公司（D 場所）、宏遠興業股份有限公司（E 場所）、南六企業股份有限公司（F 場所）、康那香企業股份有限公司（G 場所）、生春堂製藥工業股份有限公司（H 場所）等 8 個事業單位聯繫，並完成進行濕熱作業環境測定與評估。於 11 月底前再將濕熱作業環境參數量測評估結果送請專家學者進行審查。

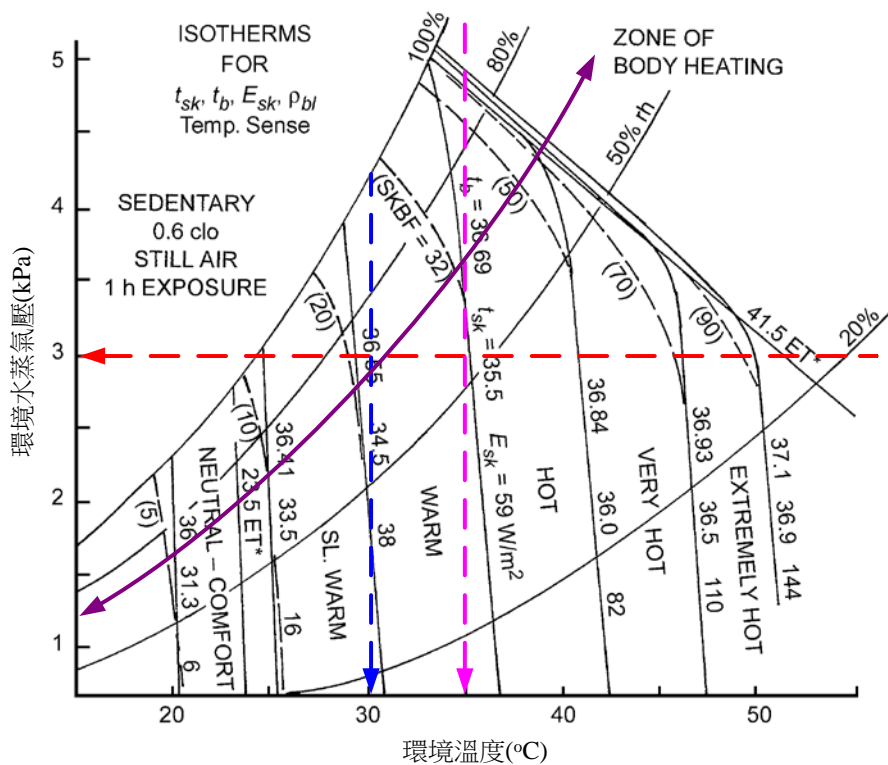


圖 30 環境條件對生理參數的影響

## 第二節 濕熱作業環境現場調查訪視及測定

依據 ISO 7243(1989)的要求，實施熱環境測定時，需先進行現場調查訪視，其查核表內容一般包括下列數項：

### 一、現場描述，並回答下列問題

- (一) 事業單位的型態種類？
- (二) 現存使用的產熱設備或製程？
- (三) 作業勞工是否曾發生熱危害相關病史？
- (四) 熱源評估：
  - 1. 是穩定性或間斷性熱源？
  - 2. 暴露之勞工人數？
  - 3. 每日工作時數？
  - 4. 是否提供飲水及食鹽？
  - 5. 是否有受過訓練的監督管理人員可以偵測評估熱危害徵候？

### 二、檢查作業現場的氣候因素：

- (一) 作業現場溫度？
- (二) 相對濕度？
- (三) 風速？
- (四) 最近氣候變化情形？

### 三、減低熱量的工程控制：

- (一) 通風設備設置在何處？
- (二) 通風設備是否正常操作？
- (三) 空氣調節設備在何處？
- (四) 空氣調節是否正常操作？
- (五) 風扇設置在何處？
- (六) 風扇是否正常操作？
- (七) 在發生源與暴露者間是否使用屏蔽、絕熱材料？
- (八) 反射屏蔽面是否清潔？

#### 四、偵測、評估、預防或減低熱危害的工作實務：

##### (一) 訓練計畫

1. 內容？
2. 在何處進行？
3. 對象為何人？

##### (二) 水份與體液的補充？

##### (三) 人員是否經過熱適應？

##### (四) 作息時間分配情形？

##### (五) 工作時程表？

##### (六) 有無休息區(溫度最好低於 25°C)的設置？

##### (七) 熱環境監測計畫？

##### (八) 安全作業標準是否建立？

#### 五、個人防護具

##### (一) 是否穿著反射性衣物？

##### (二) 是否使用冰冷或水冷式的衣著？

##### (三) 是否使用加濕處理的貼身衣物？

##### (四) 是否使用氣體冷卻循環系統？

#### 六、急救訓練計畫

##### (一) 是否有訓練合格的急救人員？

##### (二) 是否供應快速降溫設備？

##### (三) 接受醫療照護的流程？

##### (四) 熱中暑的病患是否可以很快運送至醫療部門？

#### 七、醫療篩檢及監測計畫（健康管理）

##### (一) 內容？

##### (二) 誰負責管理、執行？

根據上述內容檢核後，粗略評估熱暴露較嚴重的作業場所及可能作業員工，將其列為進行熱危害測定評估的場所及對象。



現場評估的相對濕度與空氣溫度可以參考附件六換算成水蒸氣壓力(kPa)，工作負荷的單位換算則參考附件七利用體表面積估算公式後進行換算。

### 第三節 濕熱作業環境參數量測評估結果

#### 一、 濕熱作業廠商訪視背景說明

本計畫共訪視巴沙諾瓦股份有限公司高雄港店、大成長城企業股份有限公司柳營肉品場、南緯實業股份有限公司、得力實業股份有限公司、宏遠興業股份有限公司、南六企業股份有限公司、康那香企業股份有限公司、生春堂製藥工業股份有限公司等 8 個事業單位，但訪視後只挑選 5 個案例進行現場熱環境測定，原因說明如下。

- (一) 大成長城企業股份有限公司柳營肉品場的熱蒸氣燙毛除毛區，因為製程設備需要採取大規模的變更，事業單位暫不考慮採取通風改善技術。
- (二) 巴沙諾瓦股份有限公司屬於餐廳營業場所，目前不考慮提供通風改善。
- (三) 南六企業股份有限公司水針不織布作業區，已利用空調及裝設屋頂機械式排風機改善，但本案例採用的是冷氣空調、乾操作業區隔離及裝設屋頂型排氣機來進行熱環境改善，夏季時廠房作業區氣溫可維持在 35°C 以下，但為此增加龐大的電費支出。

實際完成現場熱環境測定者有以下 5 個事業單位，說明其濕熱作業如下。

1. 南緯實業股份有限公司：色染子筒作業區
2. 得力實業股份有限公司：染整廠房
3. 宏遠興業股份有限公司：染整作業區
4. 康那香企業股份有限公司：水針不織布作業區
5. 生春堂製藥工業股份有限公司：熱水鍋爐作業區

在前述 5 個事業單位當中，於本計畫執行期間已進行改善的有康那香企業股份有限公司、生春堂製藥工業股份有限公司、南緯實業股份有限公司等 3 個事業單位。

#### 二、 現場熱環境測定分析結果

關於 5 個事業單位的現場熱環境測定分析結果，總表如表 16，經比較分析後發現以下的特色。

- (一) 在陰天陽光不直射的情況下，於廠區周界測得夏季白天氣溫都超過 33℃，水蒸氣壓接近 3kPa，符合本計畫專家會議對濕熱作業環境的定義。
- (二) 雖然有人力推車等工具，勞工作業負荷都可歸類為中度工作負荷。
- (三) 由於生產製程的需要，環境風速都小於 1 m/s。
- (四) 綜合溫度熱指數（WBGT）測值都超過 30℃。
- (五) 作業環境的設備管線，內有高溫流體，大部分採取管壁絕緣包覆，但黑球溫度仍稍高於氣溫，經紅外線熱影像分析儀掃描結果，發現其輻射熱源主要是來自於廠房的鐵皮屋頂、加熱乾燥設備或是蒸氣鍋爐。
- (六) 於夏季白天，勞工承受的輻射熱主要來自日照廠房結構、再由升溫後的廠房結構對勞工身體釋放的輻射熱，少部分是管線設備絕緣老化破損造成。

表 16 現場熱環境測定結果總表

事業單位	工作場所	Ta(°C)	Tg(°C)	Tmrt(°C)	RH(%)	Twb(°C)	VP(kPa)	Va(m/s)	WBGT(°C)
南緯	紡織廠	33.0	34.4	35.1	67.5	27.8	3.394	0.10	30.4
	色染子筒 1	34.8	37.1	39.6	60.4	28.1	3.357	0.34	31.7
	色染子筒 2	38.0	39.1	41.0	54.7	29.7	3.622	0.75	33.0
	色染子筒 3	38.6	40.0	42.5	55.4	30.4	3.789	0.82	34.6
	場外週界	33.5	35.2	37.5	58.6	26.6	3.030	0.50	30.2
得力實業	浸漿乾燥 1(內)	44.6	45.7	46.5	59.7	33.7	4.500	0.20	39.5
	浸漿乾燥 2(外)	33.0	35.6	37.7	57.7	26.0	2.901	0.20	29.7
宏遠興業	染整區 1	35.1	37.7	40.0	61.8	28.6	3.492	0.24	32.2
	染整區 2	35.7	38.3	40.5	61.3	29.1	3.581	0.24	32.8
	染整區 3	35.7	38.5	40.9	63.0	29.4	3.680	0.24	32.9
	染整區 4	36.1	38.8	41.1	56.0	28.4	3.344	0.24	32.8
	染整區 5	37.3	39.4	41.2	53.6	28.9	3.417	0.24	33.0
	染整區 6	37.3	39.6	41.6	54.0	29.0	3.442	0.24	33.0
	廠外周界	33.3	36.5	39.3	52.9	25.4	2.705	0.24	29.5
	廠外周界	33.0	36.1	39.3	53.7	25.4	2.705	0.24	29.4
生春堂	熱水鍋爐區	38	41	43.9	52.3	29.2	3.463	0.3	33.1
康那香	水針不織布作業區	40	42.7	45.5	48.5	30	3.575	0.35	33.9

附註：Ta：氣溫(°C)；Tg：黑球溫度(°C)；Tmrt：平均輻射溫度(°C)；RH：相對濕度(%)；Twb：濕球溫度(°C)；VP：水蒸氣壓(kPa)；Va：風速(m/s)；WBGT：綜合溫度熱指數(°C)。浸漿乾燥 1(內)為作業場所內，浸漿乾燥 2(外)為作業場所外入口處。

### 三、 利用 PHS 模式進行熱危害分析

假設所有勞工的工作負荷量均為 300 瓦，衣著熱阻值均為 0.6 clo，在每日工作 8 小時的條件下，由表 16 現場熱環境測定的結果，利用 ISO 7933 的 PHS 模式進行熱危害分析，分別得到表 17 和表 18，其中表 17 為未經熱適應工作者的容許暴露時間的分析結果，而表 18 則為已經熱適應工作者的容許暴露時間的分析結果。

從表 17 的結果發現，未經熱適應勞工的 8 小時總排汗量，都遠超過 5,000 克，但工作場所為濕熱作業場所，不易進行排汗蒸發散熱，因此最高的直腸溫度（肛溫）都會超過 39.2°C 的建議限值。未經熱適應的勞工，因為熱蓄積造成體溫升高，其容許暴露時間都在 100 分鐘以下，顯見鼓勵勞工多攝取水分並提供有空調的休息室進行休息是非常必要的。

至於表 18 的熱適應勞工分析結果，發現濕熱作業場所 8 小時的總排汗量都超過 7,000 公克，同樣因為熱蓄積造成體溫升高，其容許暴露時間都在 250 分鐘以下。

由表 17 和表 18 的比較，可發現經熱適應的工作者，其排汗蒸發功能提升，對於熱危害預防有所助益，因此容許暴露時間也較長。

表 17 利用 ISO 7933 的 PHS 模式分析未熱適應者的容許暴露時間

廠商名稱	工作場所	總排汗量 (g)	最高肛 溫(°C)	D <sub>limtre</sub> (min)	D <sub>limloss50</sub> (min)	D <sub>limloss95</sub> (min)	AET-NA
南緯	紡織廠	5,580	>39.2	57	>480	316	57
	色染子筒 1	10,684	>39.2	66	468	315	66
	色染子筒 2	10,976	>39.2	77	467	314	77
	色染子筒 3	10,968	>39.2	59	467	314	59
	場外週界	5,375	37.5	>480	>480	354	354
得力實業	浸漿乾燥 1	6,019	>39.2	24	468	316	24
	浸漿乾燥 2	5,856	>39.2	101	480	319	101
宏遠興業	染整區 1	6,022	>39.2	50	467	314	50
	染整區 2	6,035	>39.2	45	467	314	45
	染整區 3	6,032	>39.2	42	467	314	42
	染整區 4	6,061	>39.2	50	465	313	50
	染整區 5	6,060	>39.2	45	465	313	45
	染整區 6	6,059	>39.2	44	465	313	44
	廠外周界	5,937	38.5	169	474	318	169
	廠外周界	5,860	38.3	212	480	321	212
生春堂	熱水鍋爐區	5,812	>39.2	42	465	313	42
康那香	水針不織布作 業區	5,811	>39.2	37	465	314	37

表 18 利用 ISO 7933 的 PHS 模式分析已熱適應者的容許暴露時間

廠商名稱	工作場所	總排汗量 (g)	最高肛 溫(°C)	D <sub>limtre</sub> (min)	D <sub>limloss50</sub> (min)	D <sub>limloss95</sub> (min)	AET-A
南緯	紡織廠	12,709	>39.2	82	381	257	82
	色染子筒 1	13,618	38.7	142	379	257	142
	色染子筒 2	13,612	38.3	248	379	257	248
	色染子筒 3	13,624	39	108	378	255	108
	場外週界	5,375	37.5	>480	>480	354	354
得力實業	浸漿乾燥 1	7,488	>39.2	25	378	256	25
	浸漿乾燥 2	7,047	37.5	>480	403	274	274
宏遠興業	染整區 1	7,512	>39.2	70	377	255	70
	染整區 2	7,516	>39.2	60	377	255	60
	染整區 3	7,510	>39.2	54	377	255	54
	染整區 4	7,522	>39.2	74	377	255	74
	染整區 5	7,528	>39.2	63	376	254	63
	染整區 6	7,527	>39.2	60	376	254	60
	廠外周界	6,438	37.5	>480	439	298	298
	廠外周界	6,217	37.5	>480	454	308	308
生春堂	熱水鍋爐區	7,221	>39.2	57	376	254	57
康那香	水針不織布作 業區	7,220	>39.2	47	377	254	47

備註：

D<sub>lim</sub> (maximum allowable exposure time)：最大容許暴露時間(min)。

D<sub>limtre</sub> (maximum allowable exposure time for heat storage)：以熱蓄積推估的最大容許暴露時間(min)。

D<sub>limloss50</sub> (maximum allowable exposure time for water loss, mean subject)：以汗水流失量推估的平均人容許暴露時間(min)。

D<sub>limloss95</sub> (maximum allowable exposure time for water loss, 95 % of the working population)：以汗水流失量推估涵蓋 95% 工作人口的容許暴露時間(min)。

AET-NA：未熱適應者的容許暴露時間(min)；是取 D<sub>limtre</sub> 與 D<sub>limloss95</sub> 兩者中較小者決定之。

AET-A：已熱適應者的容許暴露時間(min)；是取 D<sub>limtre</sub> 與 D<sub>limloss95</sub> 兩者中較小者決定之。

## 四、改善通風環境之建議

經現場訪視、作業環境熱環境測定分析、容許暴露時間推估後，可發現濕熱作業環境如能應用自然通風設計或輔助機械通風換氣，均能有效降低熱暴露危害。自下一節起，分別針對 5 個事業單位提出改善建議。各案例的名稱定義方式，情參考本文件第五章第一節。

### 第四節 C 場所濕熱作業廠房案例

事業單位在色染子筒作業區（圖 31）已安裝 5 台大型工業排風扇，使廠房呈現微負壓狀態，吸引戶外空氣自門窗開口流入補充。然而各工業排風扇的設置高度不足（目視離地高度約 6-7 公尺），且現場堆高機與人力運送車的出入口設計不良，於是微負壓地廠房只能從戶外柏油鋪面區域引入氣溫相對較高的空氣（夏季柏油鋪面表面溫度可高達 60°C 之譜）。除此之外，廠區環境綠化與自然遮蔭明顯不足，各廠房均為鐵皮屋頂，夏季中午日曬最嚴重期間，屋頂內表面溫度都超過 50°C；廠房內部為色染子筒進行加熱的熱水鍋爐，其表面平均溫度介於 50-90°C 之間（圖 32）。事業單位配合本計畫訪視人員（中華醫事大學莊宥哲老師）的建議，已進行以下改善工作。

- 一、就近委託太陽能發電設施廠商，規劃於廠房屋頂架設太陽能光電板的可行性，預期對於熱環境改善會有幫助。
- 二、檢討並準備將機械通風設施遷移到較高的位置，使製程排放的熱蒸氣有效排放到戶外大氣。
- 三、規劃進行廠房補氣入口外圍的露天柏油鋪面綠化改善，使部分柏油鋪面恢復為透水表面，並種植綠色植物，以降低微負壓廠房的補氣溫度，進而降低廠房熱危害。

由於該事業單位的太陽能光電板架設工程，預計要到 104 年夏季來臨前才能動工，但本計畫在 103 年底就必須結束，經訪視人員與事業單位協調結果，同意先在鐵皮屋頂上表面局部塗佈反光漆，以進行通風散熱輔助技術的改善測試，改善結果整理如圖 33。

比較圖 33 上方的 2 個小圖，可發現廠房屋頂外表面塗佈反光漆後，能有效反射

陽光的熱輸入，在紅外線熱影像分析儀的視野中，看到屋頂外表面塗佈反光漆之後，屋頂內表面的溫度可降低至少 8°C，此溫差的貢獻是使屋頂對勞工身體與廠房室內環境的總加熱作用（熱傳導、熱對流、熱輻射）降低。然而話說回來，屋頂內表面溫度雖高達 46°C，但屋頂與勞工身體的垂直距離較遠，因此屋頂對勞工身體的熱輻射影響有限，真正具體減輕的是「屋頂對廠房室內高處空氣的加熱作用（傳導與對流）」，不過這樣的改善還不夠，因為廠房內部的空氣存在垂直對流現象，還是會使廠房低處空氣與高處空氣混合。

為此訪視人員繼續採用「遮布」來阻斷垂直空氣混合，請比較圖 33 中間的 2 個小圖（有遮布的情況），以及下方小圖（無遮布的地方）：在屋頂內表面下方加掛遮布後，遮布下表面的溫度最多可降低達 18°C，這是因為高溫空氣被有效拘束在「屋頂內表面與遮布之間」的空間。

由以上說明，顯示「於廠房屋頂外表面塗佈反光漆、於廠房屋頂內表面下方大面積懸掛遮布」這 2 種通風散熱輔助方法，對於濕熱作業廠房的環境改善都有效果，事業單位若在 104 年夏季來臨前完成屋頂太陽能光電板的鋪設，對於未來夏季的廠房濕熱環境改善，預期會有明顯成效。本計畫採行的廠房屋頂塗佈反光漆方式，係以塗佈三層為準，其每坪成本約 1.5-2.5 千元左右，預計可維持約二年壽命。



圖 31 C 場所廠房色染子筒作業區現場照片



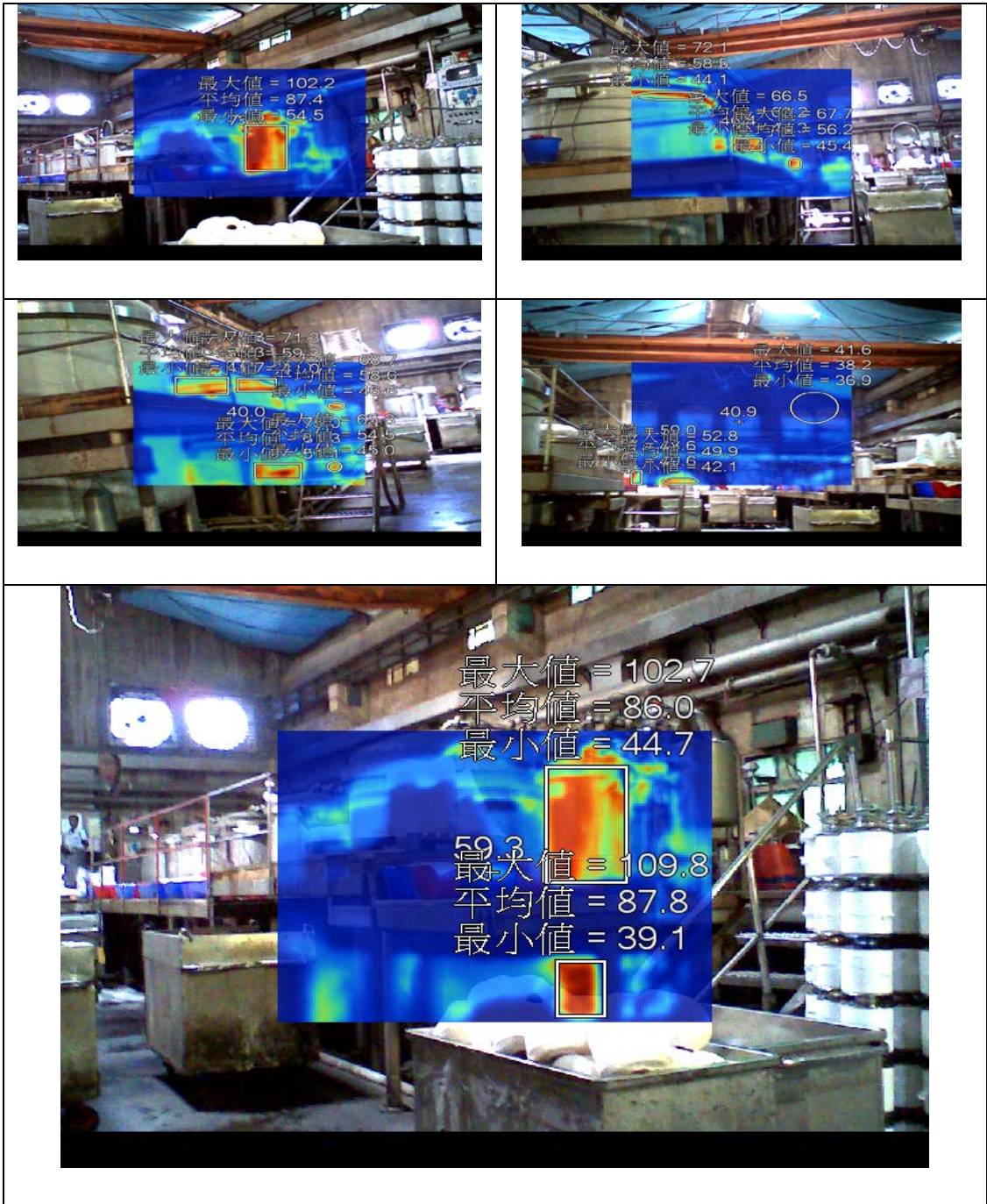
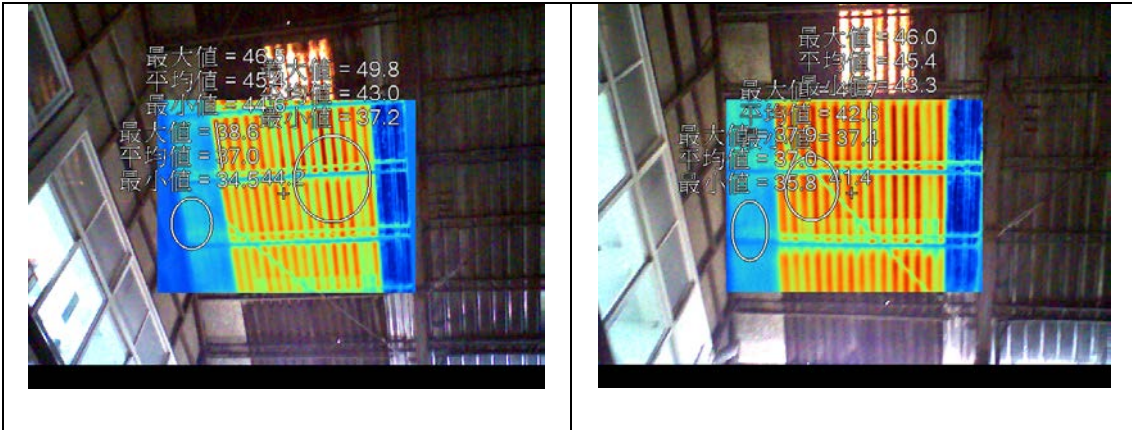
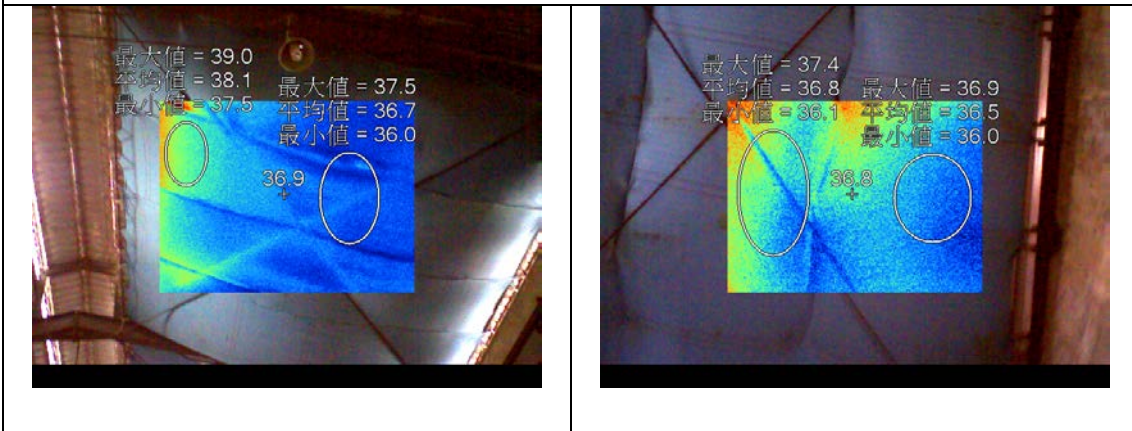


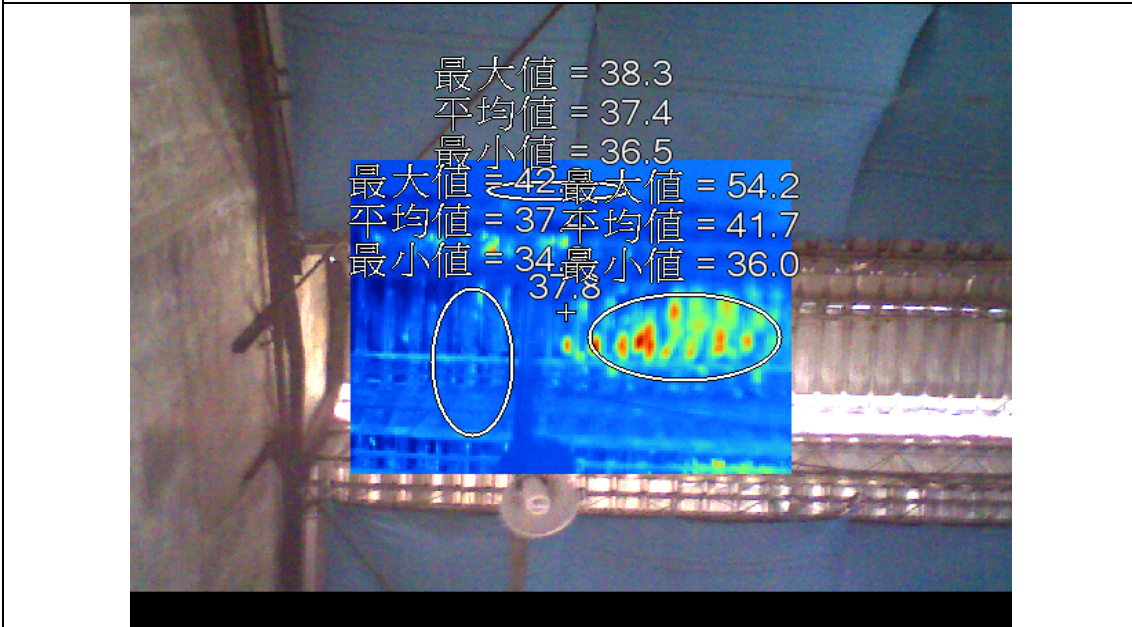
圖 32 色染子筒作業區熱水鍋爐的熱影像分析照片



鐵皮屋頂有塗反光漆(藍色區，溫度介於 34~39°C)與未塗反光漆(紅色區，溫度介於 43~46°C)的熱影像分析結果比較(今年 11 月 27 日)



鐵皮屋頂採取遮布處理熱影像分析結果比較(溫度介於 36-39°C) (今年 11 月 27 日)



鐵皮屋頂未採取遮布處理的熱影像分析結果比較(相差最大達 18°C)

圖 33 色染子筒作業區鐵皮屋頂塗反光漆與遮布處理比較

## 第五節 D場所濕熱作業廠房案例

事業單位的廠房內部空間寬敞（廠房長度 50m，寬度 25m，高度 15m 以上），請參考圖 34。廠房設有大型工業用排氣風扇，並配合施作自然通風設施，但採光窗開啟（照片中明亮的橫條開口）反而不利於空氣對流降溫，其原因分析如下：

- 一、排氣風扇將廠房內部空氣大量排放到戶外，使廠房內部空間呈現微負壓；
- 二、廠房空間的微負壓，使戶外空氣自廠房開口（門、窗）流入廠房內部空間；
- 三、廠房內部濕熱製程產生大量濕氣與熱氣，因為熱浮力而自動上升，原本應該上升到接近屋頂的高度後，再由採光窗的自然通風換氣開口溢出戶外；
- 四、然而廠房空間的微負壓卻有阻止熱氣外溢的趨勢，這是因為微負壓能驅動戶外空氣經採光窗開口流入廠房室內空間。
- 五、由於以上原因，熱氣上升並溢出戶外的有利趨勢，與廠房微負壓驅使戶外空氣流入室內的趨勢相互抵銷，結果就是造成廠房內部換氣不足、濕熱氣體排不出去。

檢討整個案例，訪視人員歸納出以下幾點：(1)廠區戶外環境的綠化遮蔭明顯不足，致使近地面氣溫偏高；(2)鐵皮屋頂承受日照，對廠房內部空氣間接加熱；(3)機械排氣風扇與自然通風開口的搭配不理想（上面已作了詳細分析），致使濕熱氣體排不出去。前述這 3 點，就是使本案例的廠房內部氣溫與空氣相對濕度都居高不下的主要原因，大型機械通風換氣設施所需的電力，因而無謂浪費。

除此之外，在本案例的浸漿乾操作業區（內部空間為 15m 長、12m 寬、4m 高），雖然設有局部排氣與送風裝置，但熱流質管路的熱絕緣包覆已年久失修，熾熱管線表面直接暴露於空氣中，且此作業區的氣罩設計存在相當缺陷，導致熱蒸氣向廠房內部環境直接逸散，無法由氣罩有效補集排放，使廠房內部空氣濕熱問題更形嚴重。

訪視人員提供建議如下：(1)由於紡織細線時有斷線問題，必須使勞工進入潮濕熾熱環境中進行後續處理，因此建議事業單位平時宜加強熱危害預防管理的一般教育訓練與緊急應變訓練；(2)本案例雖無法立即實施環境改善，但日後可考慮配合製程設備的更新，連同熱危害控制、濕熱作業環境通風排氣措施一併進行規劃。



圖 34 D場所廠房現場照片

## 第六節 E 場所濕熱作業廠房改善案例

事業單位廠區的綠化成效卓著，其室內染整作業區（圖 35）採用包圍式氣罩與局部排氣裝置經將富含水份的熱蒸氣就近吸引排除（圖 36e）。訪視人員執行實地訪視與熱環境測定時，發現廠房鐵皮屋頂隔熱效果較差，夏季白天的陽光輻射，是廠房受熱的主要供應源（圖 36b）。除此之外，廠房內部設有較多的熱蒸氣管線，其絕緣包覆常見破損（圖 36d）或未包覆的情形。

事業單位為了因應廠房內的熱危害，自行在作業區周遭懸掛設置高壓水管線與霧化器，企圖以噴灑水霧的方位為勞工身體降溫；然而廠房內的空氣絕對濕度（即濕度比）原本已經太高，噴灑水霧後，反而提高濕空氣的水蒸氣分壓，使環境空氣由「炎熱潮濕」變成「溫暖但更潮濕」，非常不利於勞工身體排汗蒸發散熱。

訪視人員建議可將熱蒸氣管線移至廠房外，並進行熱絕緣包覆處理，再針對鐵皮屋頂採用「塗反光漆」或「雙層屋頂」設計，以利自然通風、散熱、排濕。



圖 35 E 場所廠房染整作業區照片

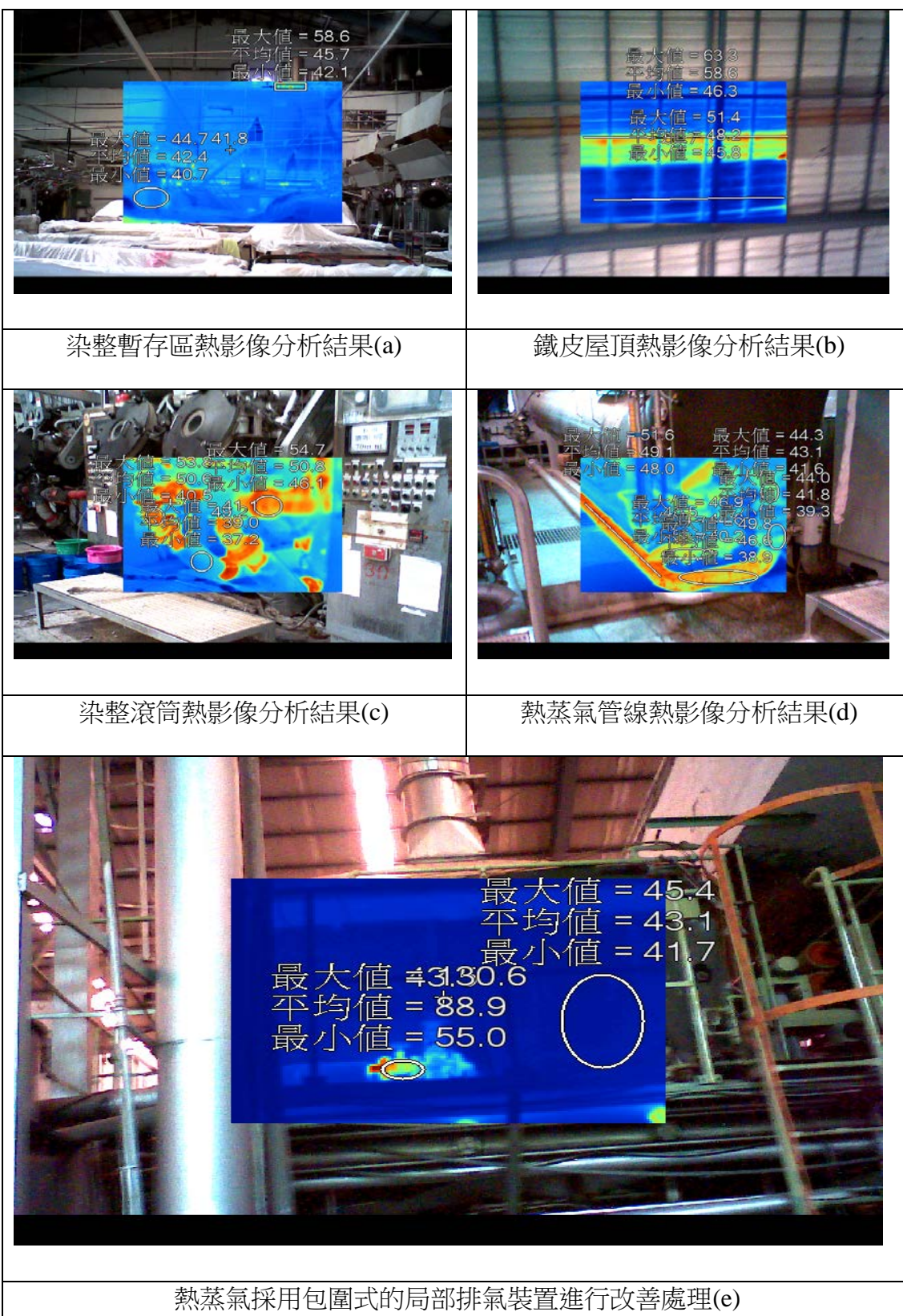


圖 36 E 場所廠房染整作業區熱影像分析結果

## 第七節 G 場所濕熱作業廠房改善案例

事業單位位於台南市的某廠房，是地面三層結構，有熱蒸氣釋放、環境濕熱的製程位於一樓，為水針機、乾燥機的作業區（水針不織布作業區）與分條包裝區。一樓廠房乾燥作業區的長寬高分別為 64.5m、11.8m 與 5.3m；分條包裝區的長寬高則分別為 31.9m、29.4m 與 5.8m，平面示意圖如圖 37（註：為維護製程技術機密，事業單位謝絕拍照）。原廠房的設計目的是生產水針不織布，須維持廠房環境的空氣清淨度，以避免受外界空氣污染物的影響，因此廠房結構的門窗等開口較少。

由於乾燥機加熱時，無法避免熱蒸氣逸散，使廠房內部氣溫升高，約比戶外環境氣溫高 10-15°C；每到暑熱季高，廠房內部的白天氣溫往往高達 40°C 以上（此數據由事業單位提供）。為減輕勞工身體不適，事業單位安裝點狀冷氣送風裝置（局部冷氣配送空調），使站立於冷氣供應點的勞工身體能暫時散熱降溫，但此裝置的效果不佳。

為了改善環境，使分條包裝區的勞工能夠連續作業且避免熱危害，事業單位於本計畫即將結束時（103 年 11 月中旬），引進了具隔熱功能的冷凍庫板，打算圍繞廠內的發熱設施，搭建高聳的隔熱牆，以便將熱蒸氣局限在乾燥作業區，此外也配合安裝進、排氣機，使包圍區持續通風散熱，以避免包圍區蓄熱昇溫。前述的包圍趨，於堆高機出入之處，於隔熱牆開挖長寬都是 3m 的電動捲門；同時在分條包裝區安裝俗稱水冷扇（swamp fan）的蒸發式冷氣機，以降低參觀走道的氣溫。

現場進行熱環境測定評估後發現，隔熱牆初步施工完成、但尚未設置電動捲門時，濕熱的乾燥機作業區、相對涼爽的分條包裝區，氣差已有 2-4°C（詳表 19）。訪視人員認為，本案例電動捲門與進排氣機完成後，熱阻隔效果更佳，對熱環境改善會有顯著效果。補充說明熱影像分析結果如下。

- 一、水針不織布作業區：主要輻射熱來源是乾燥機（圖 38d 至圖 38g），熱蒸氣逸散（圖 38c）則是造成廠房屋頂內表面溫度達 42°C 以上（圖 38a、圖 38b）的禍首。
- 二、分條包裝區：主要廢熱來源是不織布的加熱捲筒（圖 38h），其影響包括以熱對流方式對環境散熱，以及些微的熱輻射作用。



乾燥區(長64.7m,寬11.8m,高5.3m=4015.6m<sup>3</sup>)



分條包裝區(長31.9m,寬29.4m,高5.8m=5491.7m<sup>3</sup>)

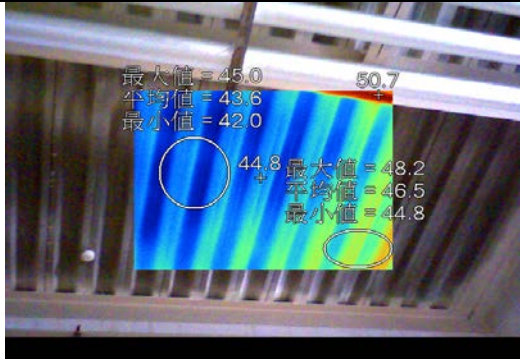
圖 37 G 場所廠房水針不織布作業區平面示意圖

表 19 G 場所廠房水針不織布作業區改善前後比較

廠商名稱	工作場所	氣溫 (°C)	黑球溫 度(°C)	Tmrt (°C)	RH (%)	Twb (°C)	VP (kPa)	Va (m/s)	WBGT (°C)
G 場所 (改善前)	分條包裝區	40	42.7	45.5	48.5	30	3.575	0.35	33.9
G 場所 (改善後)	分條包裝 I	29.8	31.5	33.3	52	22.3	2.18	0.3	25.8
	分條包裝 I	29.9	31.7	33.6	50.7	22.1	2.138	0.3	25.8
	水針區 I	33.1	35.9	38.7	44.2	23.4	2.235	0.3	28.1
	乾燥區 A	32.1	34.9	41.5	44.8	22.7	2.141	1.25	27.5
	乾燥區 B	32.9	35	38.2	44.2	23.3	2.21	0.6	27.5
	乾燥區 C	33	35.5	38.3	46.7	23.9	2.348	0.35	28.1
	乾燥區 D	34	37.6	42.7	41.1	23.5	2.185	0.55	28.6
	室外	23.7	27.5	36.7	58.5	18.2	1.714	1.2	21.5

註：改善前係由事業單位提供資料分析結果

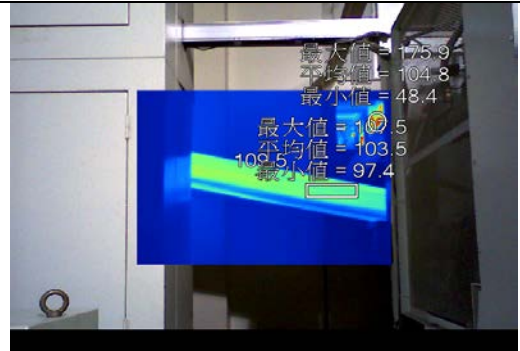




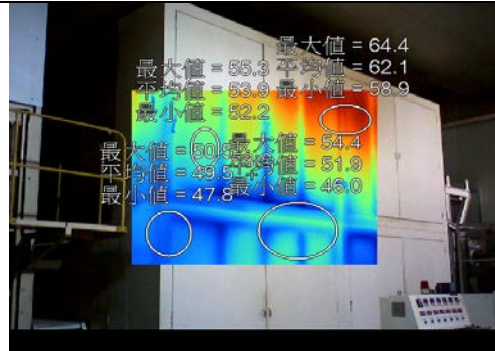
作業區屋頂(a)



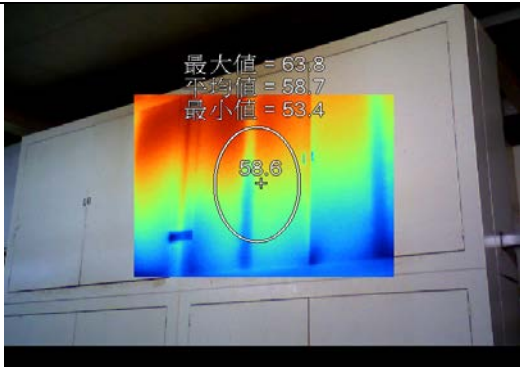
作業區屋頂(b)



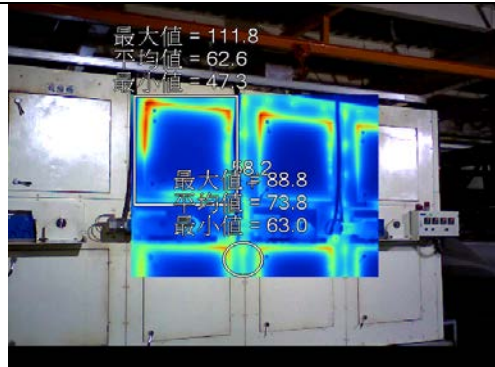
剛乾燥出爐的不織布(c)



乾燥機(d)



乾燥機(e)



乾燥機(f)

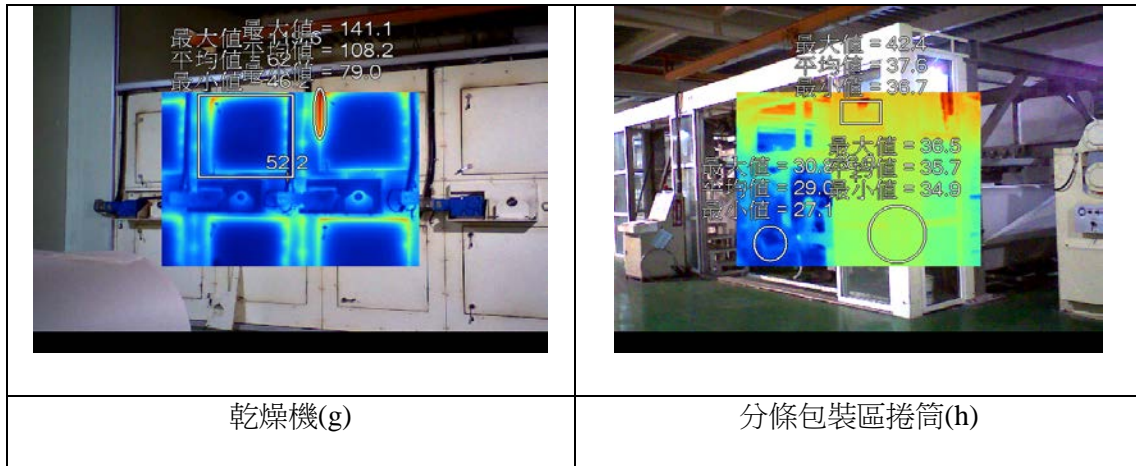


圖 38 G 場所廠房水針不織布作業區熱影像分析結果

## 第八節 H 場所濕熱作業廠房改善案例

事業單位廠房為地面 3 層 RC 結構，為設有中央空調系統的冷氣廠房。位於一樓熱水鍋爐作業區，是由「作業子區、鍋爐子區」這二個區塊組合而成，作業子區的長寬高分別為 6.97m×3.13m×3.76m，鍋爐子區的長寬高則分別為 12.87m×3.67m×7.22m，共有 10 座熱水鍋爐進行中藥蒸煮炮製（詳圖 39 與圖 40）。大批蒸煮中藥材時，自鍋爐釋放的濕熱廢氣總量十分可觀。

本案例濕熱作業環境改善前，係採用 2 部工業通風扇，加裝延長排氣風管，將潮濕的熱蒸氣引到室外排放，但室內氣溫仍可達 40℃ 以上（此數據由事業單位提供）；人員於此作業區工作時，熱危害風險極高，且環境噪音顯然高於 85dBA。

由於通風散熱排濕的效果不佳，事業單位隨即增設 6 部工業通風扇，不再裝設排氣風管，直接將廠房內的濕熱空氣排放到戶外大氣，使作業區氣溫降到可忍受的程度，但運轉於低效率狀態的工業通風扇，其運轉噪音超過 90dBA，且因此增加空調冷氣的流失量，最後造成電費的巨額支出。

訪視人員與事業單位協調，嘗試將 8 部工業通風扇全部關閉，此時背景環境噪音不超過 75 dBA；若僅開啟 6 部未加裝風管的工業通風扇，則鍋爐區氣溫可堪忍受，且噪音量低於 85 dBA，冷氣流失也較少。

訪視人員一行於 103 年 11 月 27 日中午，進行 H 場所熱水鍋爐作業區的熱影像分析結果，結果如圖 41 與表 20 所示。本案例的鍋爐，其表面平均溫度高達 60-70℃，且因為作業需要，經常必須開啟鍋爐蓋，進行熱水鍋爐內部沖洗，這個清洗過程會有大量的熱水蒸氣釋放。在圖 41 與表 20 之中，所謂「改善前」係指不開啟工業通風扇的情況，「改善後」則是指開啟 6 部工業通風扇的情況。比較改善前後的狀況，可發現作業區溫差達 6 °C 以上，改善後輻射熱與水蒸氣壓也大幅降低，控制效果顯著。

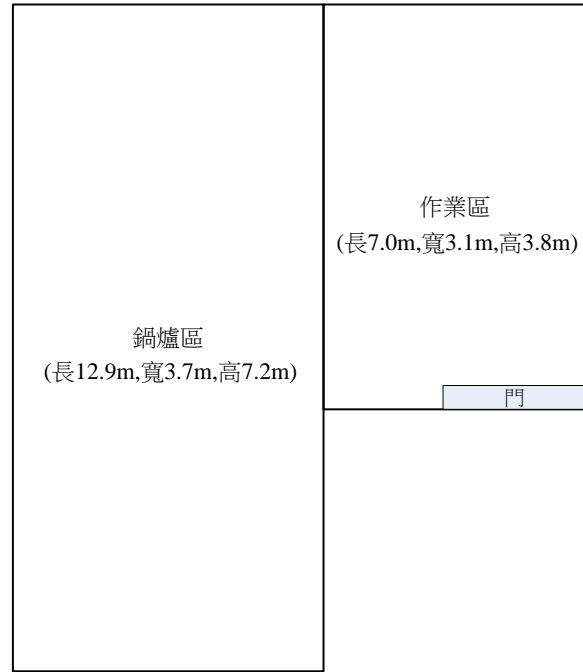


圖 39 H場所廠房熱水鍋爐作業區平面示意圖



圖 40 H場所廠房熱水鍋爐作業區局部照片

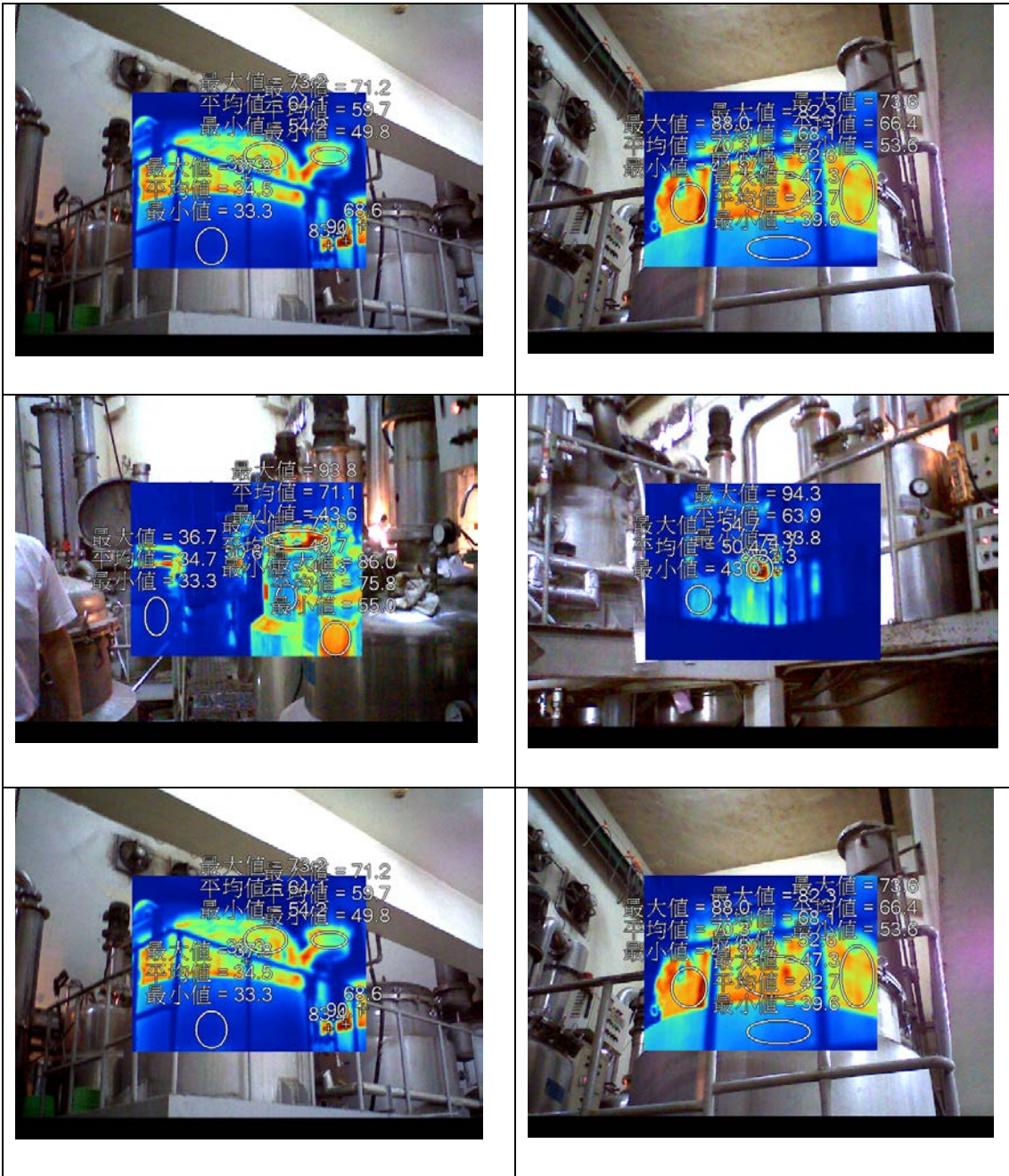


圖 41 H場所廠房熱水鍋爐作業區熱影像分析結果

表 20 H場所廠房熱水鍋爐作業區改善前後比較

廠商名稱	工作場所	氣溫 (°C)	黑球溫 度(°C)	Tmrt (°C)	RH (%)	Twb (°C)	VP (kPa)	Va (m/s)	WBGT (°C)
生春堂 (改善前)	鍋爐區	38	41	43.9	52.3	29.2	3.463	0.3	33.1
生春堂 (改善後)	作業區 A	27.7	29.6	31.6	61.1	22	2.268	0.3	24.9
	作業區 B	28	29.7	31.5	60.8	22.2	2.297	0.3	25.2
	鍋爐區	31.3	32.2	33.2	63.3	25.6	2.891	0.3	28.1

## 第九節 電腦分析軟體開發

「高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體」(ISO7933\_PHS\_V2)已於實施本計畫時同步開發完成，預計於測試無誤後另行公布（可能為有償或無償使用）。安裝使用本軟體的步驟如下。

- 一、首先將下載檔案解壓縮，開啟 ISO7933\_PHS\_V2 資料夾，可看見此資料夾裡有 data 與 Installer 這 2 個子資料夾、ISO7933\_PHS\_V2 的應用程式、組態設定檔案等。
- 二、接著開啟 Installer 子資料夾，setup 應用程式，點選此程式，然按下鍵盤的「輸入鍵」，進行 LabView 系統軟體執行環境的安裝，約需等待數分鐘。
- 三、LabView 系統軟體執行環境的安裝完成後，回到上一層資料夾，以滑鼠點選應用程式 ISO7933\_PHS\_V2，連按左鍵 2 次，即可開啟「高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體」，其進入畫面如圖 42。詳細操作介面說明請參考附錄一。
- 四、使用時，首先注意螢幕畫面左側「環境因子之控制水準」輸入方塊，在此分別輸入相關資料：
  - (一) 基本資料：體重 (kg)、身高 (cm)、工作時間 (mins)
  - (二) 飲水限制（未提供飲水、飲水不設限等二種選擇）
  - (三) 角度 (degree)、行走速度 (m/s)、作業姿勢（站姿、坐姿、跪姿等三種選擇）
  - (四) 廠內空氣溫度 Ta (°C)、廠內環境空氣相對濕度 RH (%)、環境黑球溫度 Tg (°C)、環境風速 Va (m/sec)

(五) 工作負荷 Met (重度工作：230 W/m<sup>2</sup>；中度工作：165 W/m<sup>2</sup>；輕度工作：98 W/m<sup>2</sup>，亦可手動輸入瓦數)

(六) 衣著熱阻值 Icl (0.5 clo：短內衣褲、短袖襯衫、輕質長褲、薄襪及短統鞋；0.61 clo：內褲、襯衫、合身褲短襪及短統鞋；0.7 clo：內衣褲、鍋爐工作服、短襪及短統鞋；0.9 clo：內衣褲、短袖上衣、長褲、罩衫、短襪及短統鞋；1.0 clo：褲子、短袖上衣、長褲、夾克、短襪及短統鞋，亦可手動輸入)

五、輸入完畢後，再選擇勞工健康狀況的判定基準，其中 accl<50 代表勞工初來乍到，身體尚未適應濕熱環境，accl>50 則代表勞工身體已適應濕熱環境。

六、所有參數設定完畢後，在螢幕畫面下方的環境因子輸入處點選「OK」，即可算出相關數據，並呈現於圖 43 中央的紅色線條欄位。計算結果包括環境的飽和蒸氣壓 Psa(kPa)、水蒸氣壓 Pa(kPa)、輻射溫度 Tr(°C)、濕球溫度 Twb(°C)、最大體溫(°C)、最大流汗量(g)、Dlimtre(mins)、Dlimloss50(mins)、Dlimloss90(mins)與 AET(mins)。這些數據的意義請參考本文件第二章與本文件附錄，或參考相關的 ISO 規範。

七、操作至此只是完成了初步計算，接著可以由「容許變異偏差調整區」選擇改變 Ta、Pa、Tr、Va 或 M 等參數。本軟體提供每項參數的預設變更範圍，包括±5%、±10%、±15%、±20%、±30%等 5 種選擇。為節省運算時間，建議每次選擇變更的參數，最好不超過 2 個，否則程式疊代所需時間會比較長。

八、圖 44 為容許變異偏差調整區選擇改變 Ta±20%的計算結果：本軟體利用最小焓值分析法，將調整後的 AET(mins)、潛熱變化(kJ/kg)、顯熱變化(kJ/kg)、最小焓值(kJ/kg)等計算結果，呈現在「容許變異偏差調整區」上方，並將調整後的 Ta、Psa、Pa、RH、Tr、Va 與 Met 呈現在「容許變異偏差調整區」右方紅色線條方塊處。

九、圖 45 為容許變異偏差調整區選擇改變 Pa±15%的計算結果；圖 46 則為容許變異偏差調整區選擇同時改變 Ta±20%與 Pa±15%的結果。

附錄二為利用 ISO 7933 的 PHS 模式所求得熱環境容許暴露時間對照表，而附錄三則是其對應的熱環境綜合溫度熱指數 (WBGT 值) 對照表。



### 高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體 ver.2

**環境因子之控制水準**

體重(kg)

身高(m)

工作時間(mins)

飲水限制

角度(degree)

行走速度(m/s)

作業姿勢

廠內溫度Ta(oC)

廠內溫度RH(%)

黑球溫度Tg(oC)

空氣速度Va(m/sec)

工作負荷量Met(W/m2)

手動輸入Met(W/m2)

衣著熱阻值 Icl(clo)

手動輸入clo

選擇判定基準 (acc1)

**計算結果**

Psa (kpa)

水蒸氣壓Pa(kpa)

輻射溫度Tr(oC)

濕球溫度Twb(oC)

最大體溫 (oC)

最大流汗量(g)

Dimtre (mins)

Dimloss50 (mins)

Dimloss95 (mins)

AET(mins)

調整後AET(mins)

潛熱變化(kJ/kg)

顯熱變化(kJ/kg)

最小焓值(kJ/kg)

調整後Ta

調整後Psa(kpa)

調整後Pa(kpa)

調整後RH(%)

調整後Tr

調整後Va

調整後Met

訊息欄 環境因子輸入  變異偏差輸入

請輸入環境因子之控制水準，並選擇您想用之運算模式及勞工的熱適應狀態，完成後請按環境因子輸入鍵。

圖 42 高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體畫面

### 高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體 ver.2

**環境因子之控制水準**

體重(kg)

身高(m)

工作時間(mins)

飲水限制

角度(degree)

行走速度(m/s)

作業姿勢

廠內溫度Ta(oC)

廠內溫度RH(%)

黑球溫度Tg(oC)

空氣速度Va(m/sec)

工作負荷量Met(W/m2)

手動輸入Met(W/m2)

衣著熱阻值 Icl(clo)

手動輸入clo

選擇判定基準 (acc1)

**計算結果**

Psa (kpa)

水蒸氣壓Pa(kpa)

輻射溫度Tr(oC)

濕球溫度Twb(oC)

最大體溫 (oC)

最大流汗量(g)

Dimtre (mins)

Dimloss50 (mins)

Dimloss95 (mins)

AET(mins)

調整後AET(mins)

潛熱變化(kJ/kg)

顯熱變化(kJ/kg)

最小焓值(kJ/kg)

調整後Ta

調整後Psa(kpa)

調整後Pa(kpa)

調整後RH(%)

調整後Tr

調整後Va

調整後Met

訊息欄 環境因子輸入  變異偏差輸入

請選擇將改變之參數及容許之變異偏差後，請按變異偏差輸入鍵。為了縮短運算時間，建議一次只選擇兩項參數調整。

圖 43 高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析計算結果呈現

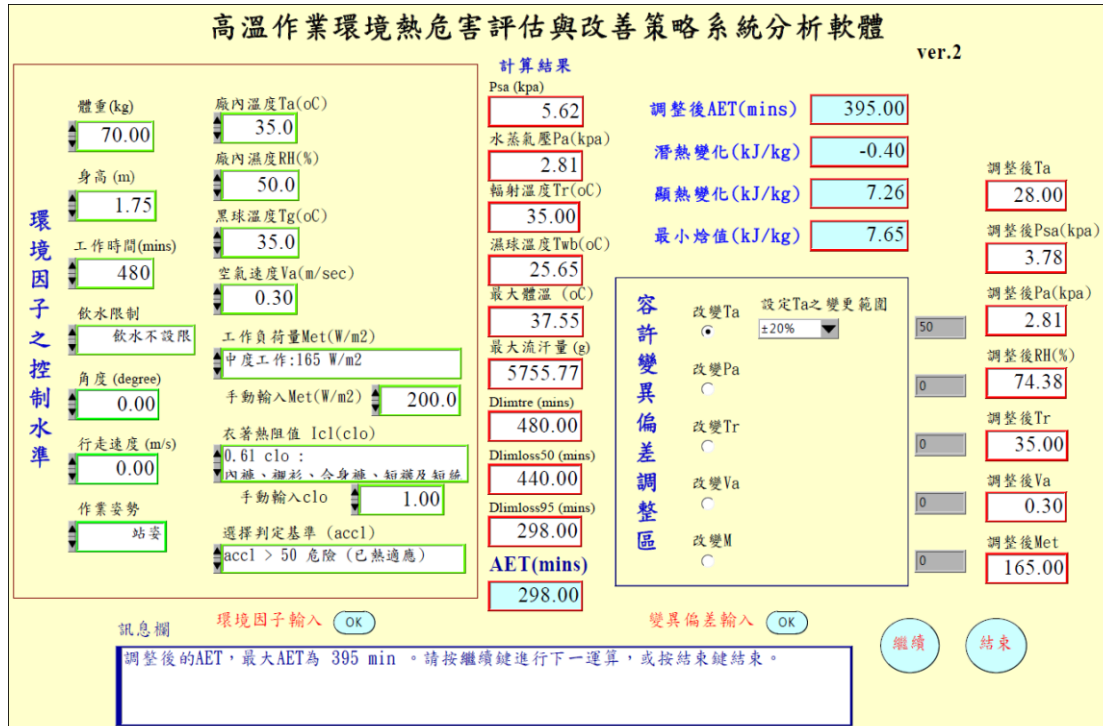


圖 44 容許變異偏差調整區選擇改變 Ta±20%的結果呈現



圖 45 容許變異偏差調整區選擇改變 Pa±15%的結果呈現

**高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體** ver.2

**環境因子之控制水準**

體重(kg)

身高(m)

工作時間(mins)

飲水限制

角度(degree)

行走速度(m/s)

作業姿勢

廠內溫度Ta(oC)

廠內濕度RH(%)

黑球溫度Tg(oC)

空氣速度Va(m/sec)

工作負荷量Met(W/m2)

手動輸入Met(W/m2)

衣著熱阻值 Icl(clo)

手動輸入clo

選擇判定基準 (acc1)

**計算結果**

Psa (kpa)

水蒸氣壓Pa(kpa)

輻射溫度Tr(oC)

濕球溫度Twb(oC)

最大體溫 (oC)

最大流汗量(g)

Dimtre (mins)

Dimloss50 (mins)

Dimloss95 (mins)

**AET(mins)**

調整後AET(mins)

潛熱變化(kJ/kg)

顯熱變化(kJ/kg)

最小冷值(kJ/kg)

調整後Ta

調整後Psa(kpa)

調整後Pa(kpa)

調整後RH(%)

調整後Tr

調整後Va

調整後Met

**容許變異偏差調整區**

改變Ta  設定Ta之變更範圍

改變Pa  設定Pa之變更範圍

改變Tr

改變Va

改變M

訊息欄

調整後的AET, 最大AET為 433 min。請按繼續鍵進行下一運算, 或按結束鍵結束。

圖 46 容許變異偏差調整區選擇同時改變 Ta±20%與 Pa±15%的結果呈現

# 第六章 結論

## 第一節 結論

本計畫集結人力物力，在多位學者專家的強力支援與參與本計畫各研究人員的堅持下，歷經漫長的文獻蒐集、理論研討、個案分析、學者專家參與、實地訪廠分析製程、實施現場濕熱環境測定，最後還對個別案例分別提供輔導建議，使事業單位明瞭濕熱作業環境如何實施通風改善。首先簡介本計畫結論。

- 一、實地訪問事業單位的濕熱作業廠房，行前與事業單位充分溝通，訪視時認真了解製程特性與事業單位的需求，事後又以雙贏的心態，與事業單位共同分析「通風改善投入」與「環境改善效果」，這樣的作法，有助於建立並累積國內廠房濕熱作業環境通風改善案例，日後需要時，可協調改善效果最佳的事業單位擔任模範案例，以便加速推廣廠房通風、散熱、排濕相關技術，使勞工健康獲得具體保障。
- 二、本計畫詳細分析各種廠房通風、散熱、排濕相關技術的原理，前往現場實際了解事業單位的困難，事後除了提出自然通風、機械通風等改善建議，同時也針對「廠房頂樓加掛遮陽網、廠房屋頂塗佈反光漆、廠房內部高處張掛遮布」等輔助技術進行研討，目的都是為了減輕廠房內部空氣潮濕悶熱的問題。事實證明這種不拘泥一格、不畫地自限、只以解決實務問題為目標的研究模式，是極具可行性的研究方式，相關技術與經驗的累積速度明顯可見。
- 三、參與本計畫研究工作的莊侑哲老師，協助開發「高溫作業環境熱危害評估與改善策略系統分析軟體」，連同本文件附錄二、附錄三的便利對照表，配套組成一份完整工具，可供政府勞動檢查員、從事職業衛生專業工作的技師、學者專家、事業單位職業衛生管理人員使用，是熱環境作業勞工健康危害評估快速有效的分析工具。使用這套工具的簡明速查表，能在短短一兩分鐘內，概略評定勞工於當前濕熱環境可工作的時間，同時也能藉由電腦軟體的詳細參數輸入，進行較專業深入的分析，以確認個別疑難製程的勞工可工作時間，並據以進行通風改善目標設定值的擬訂。
- 四、事業單位如欲立竿見影地降低濕熱作業環境中的勞工健康，可利用輔助工具減輕

勞工的工作負荷量，並依照本文件第四章提供的各種自然通風、散熱、排濕技術，綜合採行廠房自然通風、機械通風設施，以有效改善濕熱環境，減少熱危害風險。

## 第二節 建議

- 一、依本文件第二章相關文獻的分析結果，以及美國 ASHRAE 組織的建議，綜合提出「濕熱作業場所判定建議指標」如下：作業環境的氣溫超過 30°C，且空氣水蒸氣壓（濕空氣中的水蒸氣分壓）超過 3kPa。此指標的建立，有助於區分乾熱型作業環境與濕熱型作業環境，有利於日後政府實施各項管理措施、研擬勞工作業環境改善策略、以及擬訂修改相關法令。
- 二、本計畫發現 ISO 7933 規範的 PHS 模式，不適用於勞工衣著熱絕緣值大於 1 clo 的情況，且在重度工作、環境空氣相對濕度偏低的情況下，會導致容許暴露時間推估不合理的結果。
- 三、我國濕熱作業勞工的熱危害風險，與暑熱季節的戶外氣溫、大氣相對濕度變化關係密切，運用通風控制，配合建築節能與熱工程設計（參考表 21）是較徹底可行的改善方法，但須於廠房規劃建設階段就及時實施。
- 四、本文件第四章提供的廠房自然通風、散熱、排濕技術，如同該章的分析，需視廠房座落於台灣的哪一個地區，才能針對該地區的氣候特性，作最適當的選擇。在本計畫的後續研究工作中，我們將投入更多人力，進行事業單位廠房的訪視工作，以建立更詳盡的技術資料。

表 21 建築節能與熱工程設計的主要內容與目的[27]

主要內容		目的	
建築節能設計	採暖建築節能設計	建築物佈置及型體設計	使建築物佈置和型體設計有利於節約能源消耗
		圍護結構設計	保證各部分圍護結構的傳熱係數、窗牆面積比和窗戶氣密性能符合規定要求
		採暖系統設計	保證採暖系統和管道保溫設計等符合規定要求
	空調系統節能設計	建築物及房間佈置	使建築物及房間佈置有利於節約空調能源消耗
		圍護結構設計	保證各部分圍護結構的傳熱係數、窗牆面積比和窗戶氣密性能符合規定要求
		空調系統設計	保證空調系統滿足使用要求，並符合節能與經濟原則
建築熱工程設計	冬季保溫設計	圍護結構防潮設計	保證室內表面不凝結水氣並滿足基本的衛生要求，保證在正常使用條件下結構內部不出現冷凝水聚積情形
		圍護結構防空氣滲透設計	保證圍護結構和門窗的氣密性符合規定要求
	夏季防熱設計	室外熱環境設計	利用地形、水文等自然環境，並採用綠化措施以改善室外熱環境
		圍護結構隔熱設計	保證圍護結構隔熱性能符合規定要求
		窗戶遮陽設計	使遮陽形式和構造與地區氣候條件、房間使用要求和窗戶朝向等相適應
		自然通風設計	使建築物群體和單體佈置、門窗開口位置、面積開啟方式有利於自然通風

## 誌謝

本研究計畫參與人員除本所職業衛生研究組副研究員王順志、助理研究員林亮均之外，另包括中華醫事大學副教授莊侑哲、長榮大學副教授戴聿彤、中華醫事大學陳建嘉，以及參與指導本計畫的專家學者（中國勞工安全衛生管理學會榮譽理事長林宜長、高雄第一科技大學環安系副教授陳俊六、成功大學教授蔡朋枝、勞動部職業安全衛生署南區職業安全衛生中心副主任薛宏榮、高雄市政府勞工局勞動檢查處化工及職業衛生科長黃耀銘、中國醫藥大學職業安全與衛生學系副教授陳振羣），謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] 職業安全衛生設施規則，第十二章之一，第 324-6 條。
- [2] 「夏日戶外作業高氣溫危害預防」宣導資料，勞動部職業安全衛生署網站。
- [3] 中華民國台灣地區勞動統計月報，勞動部出版品。
- [4] 魏潤柏、徐文華：熱環境，同濟大學出版社，1994。
- [5] American Industrial Hygiene Association. Heating and cooling for man in industry. 2<sup>nd</sup> Edition. AIHA Press, 1975.
- [6] Dukes-Dobos F, Henschel A. Development of permissible heat exposure limits for occupational work. ASHRAE J 1973: 57-62.
- [7] Malchaire JPA, Kampmann B, Mehnert P, Gebhardt H, Havenith G, Den HE, et al. Development and validation of the predicted heat strain model. Ann Occup Hyg 2001;45(2):123-135.
- [8] Kerslake DM. The stress of hot environments. Cambridge University Press, London, 1972.
- [9] Candas V, Hoelt A. Clothing, assessment and effects on thermophysiological responses of man working in humid heat. Ergonomics 1995;38(1):115-127.
- [10] Bell CR, Walters JD. Reactions of men working in hot and humid conditions. J Appl Physiol 1969;27(5):684-686.
- [11] Sakate T. The effect of air temperature on physical working capacity. J. Human Ergol 1978;7:127-134.
- [12] Dehghan H, Mortazavi SB, Jafari MJ, Maracy MR. Cardiac strain between normal weight and overweight workers in hot/humid weather in the Persian Gulf. Int J Prev Med 2013;4(10):1147-1153.
- [13] Sen Gupta J, Swamy YV, Pichan G, Dimri GP. Physiological responses during continuous work in hot dry and hot humid environments in Indians. Int J Biometeor 1984;28(2):137-146.
- [14] Shi X, Zhu N, Zheng G. The combined effect of temperature, relative humidity and work intensity on human strain in hot and humid environments. Build Environ 2013;69:72-80



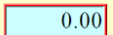

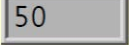
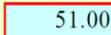
- [15] Maughan R, Otani H, Watson P. Influence of relative humidity on prolonged exercise capacity in a warm environment. *Eur J Appl Physiol* 2012;112:2313-2321.
- [16] Ye X, Chen H, Lian Zi. Thermal environment and productivity in the factory. *ASHRAE Trans* 2010;116(1):590-599.
- [17] 劉加平、楊柳：室內熱環境設計，機械工業出版社，2005。
- [18] Rowlinson S, Jia YA. Application of the predicted heat strain model in development of localized, threshold-based heat stress management guidelines for the construction industry. *Ann Occup Hyg* 2014;58(3):326-339
- [19] Wang F, Kuklane K, Gao C, Holmer I. Can the PHS model (ISO7933) predict reasonable thermophysiological responses while wearing protective clothing in hot environments? *Physiol Meas* 2011;32: 239-249.
- [20] Zheng G, Zhu N, Tian Z, Chen Y, Sun B. Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments. *Safety Science* 2012;50: 228-239.
- [21] Sakoi T, Mochida T. Concept of the equivalent wet bulb globe temperature index for indicating safe thermal occupational environments. *Build Environ* 2013;67:167-178.
- [22] 羅志綸：熱作業環境變項改善最佳化系統預估模式之研發，國立成功大學環境醫學研究所碩士論文，2002。
- [23] Chen WY, Lo CL, Chen CP, Juang YJ, Yoon C, Tsai PJ. Prioritizing factors associated with thermal stresses imposed on workers in steel and iron casting industries using the Monte Carlo simulation and sensitivity analysis. *J Occup Health* 2014.  
([https://www.jstage.jst.go.jp/article/joh/advpub/0/advpub\\_14-0078-FS/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/joh/advpub/0/advpub_14-0078-FS/_article))
- [24] Taguchi G, Konishi S, Wu Y. Taguchi methods, research and development. Dearborn, Mich., American Supplier Institute 1-73, 1992.
- [25] Taguchi G, Konishi S, Wu Y. Taguchi methods, signal-to-noise ratio for quality evaluation. Dearborn, Mich., American Supplier Institute: 9-84, 1991.
- [26] 吳豐任：生理觀點之高溫作業熱危害評估模式之應用，國立成功大學環境醫學研究所碩士論文，2000。
- [27] 許居鶴、陸哲明、鄺子強：機械工業採暖通風與空調設計手冊，同濟大學出版社，2007。
- [28] 王新泉：通風工程學，機械工業出版社，2008。

- [29] Lai CM. Experiments on the ventilation efficiency of turbine ventilators used for building and factory ventilation. *Energy Build* 2003;35:927-932.
- [30] 王丹尼：綠色植物對建築熱環境影響的實驗研究，清華大學碩士論文(中國大陸)，1999。
- [31] 林波榮：綠化對室外熱環境影響的研究。清華大學博士論文(中國大陸)，2004。
- [32] 方煒：建築設施空調節能設計新思維-市售隔熱漆產品遮熱性能之再思考，2007。
- [33] Su B, Aynsley R. A case study of roof thermal performance in naturally ventilated houses in hot humid climate under summer conditions. *Arch Sci Rev* 2006; 49(4): 399-407.
- [34] 林憲德：人居熱環境。詹氏書局，2009。
- [35] Goodfellow H, Tahti E. *Industrial ventilation design guidebook*. Academic Press, 2001.
- [36] ASHRAE. *ASHRAE handbook: fundamentals (chapter 8 thermal comfort)*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Atlanta, GA: ASHRAE, 2013.






## 附錄一：軟體操作介面說明書

符號	符號意義說明
體重(kg) <input type="text" value="75.00"/>	輸入受測者體重，單位公斤(kg)。
身高(m) <input type="text" value="1.80"/>	輸入受測者身高，單位公尺(m)。
工作時間(mms) <input type="text" value="480"/>	輸入該場所工作時間，單位分鐘(min)。
飲水限制 <input type="text" value="飲水不設限"/>	評估受測者的飲水是否受限制(有未提供飲水、飲水不設限等二種選擇)。
角度 (degree) <input type="text" value="0.00"/>	風向與受測者行走方向的夾角，單位是度(degree)。
行走速度 (m/s) <input type="text" value="0.00"/>	受測者行走速度，單位是每秒公尺數(m/s)。
作業姿勢 <input type="text" value="站姿"/>	受測者的作業姿勢(有站姿、坐姿、跪姿等三種選擇)。
廠內溫度Ta(oC) <input type="text" value="40.0"/>	受測者作業場所氣溫，單位是攝氏溫度( °C)
廠內濕度RH(%) <input type="text" value="50.0"/>	受測者作業場所相對濕度，單位是百分比(%)。
黑球溫度Tg(oC) <input type="text" value="40.0"/>	受測者作業場所黑球溫度，單位是攝氏溫度( °C)
空氣速度Va(m/sec) <input type="text" value="0.30"/>	受測者作業場所空氣速度(或風速)，單位是每秒公尺數(m/s)。
工作負荷量Met(W/m2) <input type="text" value="重度工作: 230 W/m2"/>	受測者工作負荷量(或代謝產熱量)，單位是每平方公尺瓦特數(W/m2)，可選擇重度工作：230 W/m2；中度工作：165 W/m2；輕度工作：98 W/m2 及手動輸入等。
手動輸入Met(W/m2) <input type="text" value="200.0"/>	採用手動輸入所評估得到之工作負荷量，單位是每平方公尺瓦特數(W/m2)。
衣著熱阻值 Icl(clo) <input type="text" value="0.7 clo :"/> <input type="text" value="內衣褲、鍋爐工作服、短襪及短絲"/>	受測者的衣著熱阻值評估結果，單位是 clo，可選擇有(1)0.5 clo：短內衣褲、短袖襯衫、輕質長褲、薄襪及短統鞋；(2)0.61 clo：內褲、襯衫、合身褲短襪及短統鞋；

符號	符號意義說明
	(3)0.7 clo：內衣褲、鍋爐工作服、短襪及短統鞋；(4)0.9 clo：內衣褲、短袖上衣、長褲、罩衫、短襪及短統鞋；(5)1.0 clo：褲子、短袖上衣、長褲、夾克、短襪及短統鞋；及(6)手動輸入等六種。
手動輸入clo <input type="text" value="1.00"/>	採用手動輸入所評估得到之衣著熱阻值，單位是 clo
選擇判定基準 (accl) <input type="radio"/> accl > 50 危險 (已熱適應)	選擇判定基準，有未熱適應 (accl<50)與已熱適應 (accl>50)等二種選擇。
環境因子輸入 <input type="button" value="OK"/>	環境因子之方塊內資料確認後按下 OK 鍵，即可進行容許暴露時間評估，並將輸入環境條件的 Psa(kPa)、水蒸氣壓 Pa(kPa)、平均輻射溫度 Tr(°C)、濕球溫度 Twb(°C)、最大體溫(°C)、最大流汗量(g)、Dlimtre(mins)、Dlimloss50(mins)、Dlimloss90(mins)與 AET(mins)計算結果呈現在中間紅色線條方塊處。
Psa (kpa) <input type="text" value="5.62"/>	該環境氣溫下的飽和水蒸氣壓計算結果，單位是 kPa。
水蒸氣壓Pa(kpa) <input type="text" value="2.50"/>	該環境氣溫與相對濕度條件下的水蒸氣壓計算結果，單位是 kPa。
輻射溫度Tr(°C) <input type="text" value="40.00"/>	該環境氣溫、黑球溫度與風速條件下的平均輻射溫度計算結果，單位是攝氏溫度( °C)
濕球溫度Twb(°C) <input type="text" value="36.80"/>	該環境氣溫與相對濕度條件下的濕球溫度計算結果，單位是攝氏溫度( °C)
最大體溫 (°C) <input type="text" value="36.80"/>	該環境參數、工作負荷量與衣著條件組合下預測之最大體心溫度，單位是攝氏溫度( °C)
最大流汗量 (g) <input type="text" value="34.10"/>	該環境參數、工作負荷量與衣著條件組合下預測之最大流汗量，單位是公克(g)。
Dlimtre (mins) <input type="text" value="0.00"/>	該環境參數、工作負荷量與衣著條件組合下，以身體熱蓄積推估的最大容許暴露時間，單位是分鐘(min)。
Dlimloss50 (mins) <input type="text" value="0.00"/>	該環境參數、工作負荷量與衣著條件組合下，以身體汗水流失量推估的平均人容許暴露時間，單位是分鐘(min)。
Dlimloss95 (mins) <input type="text" value="0.00"/>	該環境參數、工作負荷量與衣著條件組合下，以汗水流失量推估涵蓋 95%工作人口的容許暴露時間，單位

符號	符號意義說明
	是分鐘(min)。
<b>AET(mins)</b> 	取 Dlimtre 與 Dlimloss95 兩者中較小者決定之容許暴露時間，單位是分鐘(min)。
改變 Ta 設定 Ta 之變更範圍 <input checked="" type="radio"/> ±20%	由「容許變異偏差調整區」的方塊內選擇改變 Ta、Pa、Tr、Va 或 M 等參數，其每項參數設定之變更範圍有 ±5%、±10%、±15%、±20%、±30% 等 5 種選擇，為節省運算時間，建議每次選擇變更的參數不超過 2 個。變更範圍選擇可從圖示是選擇改變氣溫(Ta)及其設定氣溫的變更是在±20%範圍內。變更範圍的選擇可從圖示右側捲軸的倒三角形(▼)處進行選擇。
改變 Pa 設定 Pa 之變更範圍 <input checked="" type="radio"/> ±15%	圖式是選擇改變水蒸氣壓(Pa)及其設定的變更是在 ±15%範圍內。
改變 Tr 設定 Tr 之變更範圍 <input checked="" type="radio"/> ±15%	圖式是選擇改變平均輻射溫度(Tr)及其設定的變更是在 ±15%範圍內。
改變 Va 設定 Va 之變更範圍 <input checked="" type="radio"/> ±15%	圖式是選擇改變空氣速度(Va)及其設定的變更是在 ±15%範圍內。
改變 M 設定 Met 之變更範圍 <input checked="" type="radio"/> ±15%	圖式是選擇改變工作負荷量(M)及其設定的變更是在 ±15%範圍內。
變異偏差輸入 <input type="button" value="OK"/>	當選擇要變更的參數及其變異偏差範圍確認無誤後，按下「容許變異偏差調整區」方塊下方的 OK 鍵即進行最小焓值分析，此時在方塊右側所對應選擇的參數灰色區塊內數字運算會由小到大逐次增加(從 0 跑到 50 後停止)，當全部運算結束後可在「容許變異偏差調整區」方塊上方示調整後的 AET(mins)、潛熱變化(kJ/kg)、顯熱變化(kJ/kg)、最小焓值(kJ/kg)，及在「容許變異偏差調整區」方塊右側顯示調整後的氣溫(Ta)、飽和水蒸氣壓(Psa)、水蒸氣壓(Pa)、相對濕度(RH)、平均輻射溫度(Tr)、空氣速度(Va)與工作負荷量(Met)。
	最小焓值分析時，如未被選擇進行參數調整變更的對應參數灰色區塊內數值會維持在 0 的狀態。
	最小焓值分析時，如被選擇進行參數調整變更的對應參數灰色區塊內數值在運算結束會維持在 50 的狀態。
調整後 AET(mins) 	進行最小焓值分析後，顯示變更調整後的容許暴露時間 AET(mins)計算結果。

符號	符號意義說明
潛熱變化(kJ/kg) <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">9.03</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更調整後的潛熱變化(kJ/kg)計算結果。
顯熱變化(kJ/kg) <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">0.26</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更調整後的顯熱變化(kJ/kg)計算結果。
最小焓值(kJ/kg) <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">9.29</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更調整後的最小焓值(kJ/kg)計算結果。最小焓值是由潛熱變化量與顯熱變化量兩者相加所得到。
調整後Ta <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">40.00</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更參數運算後的調整後氣溫(Ta)數值。
調整後Psa(kpa) <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">7.37</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更參數運算後的調整後飽和水蒸氣壓(Psa)數值。
調整後Pa(kpa) <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">3.13</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更參數運算後的調整後水蒸氣壓(Pa)數值。
調整後RH(%) <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">42.50</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更參數運算後的調整後相對濕度(RH)數值。
調整後Tr <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">40.00</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更參數運算後的調整後平均輻射溫度(Tr)數值。
調整後Va <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">0.30</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更參數運算後的調整後空氣速度(Va)數值。
調整後Met <span style="border: 1px solid red; padding: 2px;">195.50</span>	進行最小焓值分析後，顯示變更參數運算後的調整後工作負荷量(Met)數值。
訊息欄	<p>啟始畫面底部的訊息欄內會在剛開始操作本軟體時出現「請輸入環境因子之控制水準，並選擇您想用之運算模式及勞工的熱適應狀態，完成後請按環境因子輸入鍵。」的訊息。</p> <p>在完成第一階段的輸入環境條件分析後，訊息欄內會出現「請選擇將改變之參數及容許之變異偏差後，請按變異偏差輸入鍵。為了縮短運算時間，建議一次只選擇兩項參數調整。」的訊息。</p> <p>接著在完成第二階段最小焓值分析後，訊息欄內會出現「調整後的 AET，最大 AET 為***min。請按繼續鍵進行下一運算，或按結束鍵結束。」的訊息。其中最大 AET 的時間會受選擇參數及其變動範圍而改變，並非是固定值。</p>

符號	符號意義說明
	<p>按下右下側的繼續鍵後，即可重複啟始畫面第一階段的輸入環境條件分析。</p>
	<p>按下右下側的結束鍵後，即可結束本電腦軟體程式運算功能。此時就可以在功能列的檔案(<b>File</b>)處選擇離開(<b>Exit</b>)本電腦軟體程式。</p>
	<p>功能列下方的此項符號表示已按下結束鍵，本電腦軟體程式停止運算或等待啟動。</p>
	<p>功能列下方的此項符號表示已用滑鼠按下啟動鍵，本電腦軟體程式啟動並可進行輸入與分析運算。</p>
	<p>功能列下方的此項符號表示連續運算功能停止。</p>

## 附錄二：熱環境容許暴露時間對照表

為便利呈現起見，自次頁起編排此方便速查的對照表，請翻頁。



熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
20	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
30	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	476
40	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	453	391
50	480	480	480	480	480	480	480	480	480	406	329	164
60	480	480	480	480	480	480	480	447	353	141	83	59
70	480	480	480	480	480	480	403	154	86	60	47	38
80	480	480	480	480	480	228	101	66	49	40	33	29
85	480	480	480	480	381	116	72	52	41	34	30	28

熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
20	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
30	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
40	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	444
50	480	480	480	480	480	480	480	480	480	477	397	315
60	480	480	480	480	480	480	480	480	480	332	125	72
70	480	480	480	480	480	480	480	374	127	72	51	40
80	480	480	480	480	480	447	163	80	54	41	33	28
85	480	480	480	480	480	218	89	57	43	34	29	27

熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
20	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
30	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
40	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
50	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	431
60	480	480	480	480	480	480	480	480	480	468	359	247
70	480	480	480	480	480	480	480	480	390	172	68	44
80	480	480	480	480	480	480	479	227	72	45	33	27
85	480	480	480	480	480	480	373	79	47	34	28	26

註：夏季工作服(0.6clo)，輕度工作負荷量(98W/m<sup>2</sup>)，站姿作業，已熱適應，身高 175cm，體重 70 公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於 120 到 480 分鐘)  
 環境分級 3：經過 30 到 120 分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於 30 到 120 分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於 30 分鐘，需立即的限制；<30 分鐘)

熱環境容許暴露時間對照表( $T_g - T_a = 2^\circ\text{C}$ ,  $V_a = 0.3 \text{ m/s}$ )

環境氣溫( $T_a$ , $^\circ\text{C}$ )												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
20	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	462
30	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	455	414
40	480	480	480	480	480	480	480	480	480	437	382	324
50	480	480	480	480	480	480	480	476	404	326	234	108
60	480	480	480	480	480	480	449	356	198	99	67	51
70	480	480	480	480	480	406	244	105	69	52	42	35
80	480	480	480	480	391	133	79	56	44	36	31	27
85	480	480	480	480	164	88	60	46	38	32	28	26

熱環境容許暴露時間對照表( $T_g - T_a = 2^\circ\text{C}$ ,  $V_a = 0.5 \text{ m/s}$ )

環境氣溫( $T_a$ , $^\circ\text{C}$ )												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
20	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	476
30	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	479	441
40	480	480	480	480	480	480	480	480	480	475	426	376
50	480	480	480	480	480	480	480	480	461	394	319	264
60	480	480	480	480	480	480	480	431	336	191	89	59
70	480	480	480	480	480	480	379	207	90	59	45	36
80	480	480	480	480	472	355	107	65	47	37	31	27
85	480	480	480	480	396	126	71	50	39	32	27	26

熱環境容許暴露時間對照表( $T_g - T_a = 2^\circ\text{C}$ ,  $V_a = 1.0 \text{ m/s}$ )

環境氣溫( $T_a$ , $^\circ\text{C}$ )												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
20	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
30	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	468
40	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	475	435
50	480	480	480	480	480	480	480	480	480	475	421	361
60	480	480	480	480	480	480	480	480	462	381	287	125
70	480	480	480	480	480	480	480	427	312	108	57	40
80	480	480	480	480	480	480	363	126	60	41	31	25
85	480	480	480	480	480	406	156	65	42	32	26	24

註：夏季工作服(0.6clo)，輕度工作負荷量( $98\text{W/m}^2$ )，站姿作業，已熱適應，身高 175cm，體重 70 公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於 120 到 480 分鐘)  
 環境分級 3：經過 30 到 120 分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於 30 到 120 分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於 30 分鐘，需立即的限制；<30 分鐘)

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	468	443	419
20	480	480	480	480	480	480	480	480	475	445	416	388
30	480	480	480	480	480	480	480	480	443	407	372	336
40	480	480	480	480	480	480	480	437	391	343	293	254
50	480	480	480	480	480	480	423	362	299	228	107	72
60	480	480	480	480	477	402	325	208	102	69	52	43
70	480	480	480	470	372	282	113	72	54	43	36	31
80	480	480	461	360	148	84	59	46	38	32	28	25
85	480	480	398	191	95	64	49	40	33	29	26	24

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	469	445	422
20	480	480	480	480	480	480	480	480	480	453	426	400
30	480	480	480	480	480	480	480	480	458	426	394	362
40	480	480	480	480	480	480	480	461	421	380	337	291
50	480	480	480	480	480	480	460	408	353	291	253	107
60	480	480	480	480	480	455	386	308	226	94	62	47
70	480	480	480	480	441	350	274	99	63	47	38	32
80	480	480	480	427	329	125	71	51	40	33	28	25
85	480	480	480	363	154	79	54	42	34	29	25	23

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	480	480	480	465	441	420
20	480	480	480	480	480	480	480	480	480	457	433	410
30	480	480	480	480	480	480	480	480	473	444	417	391
40	480	480	480	480	480	480	480	480	454	421	388	355
50	480	480	480	480	480	480	480	463	421	377	330	277
60	480	480	480	480	480	480	468	413	352	279	233	74
70	480	480	480	480	480	469	394	301	185	70	45	34
80	480	480	480	480	464	358	271	77	48	35	28	24
85	480	480	480	480	401	292	87	51	37	29	24	22

註：夏季工作服(0.6clo)，輕度工作負荷量(98W/m<sup>2</sup>)，站姿作業，已熱適應，身高 175cm，體重 70 公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於 120 到 480 分鐘)  
 環境分級 3：經過 30 到 120 分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於 30 到 120 分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於 30 分鐘，需立即的限制；<30 分鐘)

熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	459	438	419	400	382	366	350
20	480	480	480	480	473	449	427	406	385	366	347	328
30	480	480	480	480	460	435	410	386	362	339	315	292
40	480	480	480	472	442	413	384	355	325	293	260	194
50	480	480	480	449	414	378	341	301	257	163	82	58
60	480	480	456	414	369	320	265	133	73	53	42	35
70	480	464	412	355	290	142	75	54	42	34	29	26
80	473	409	337	233	85	58	44	36	30	26	23	21
85	444	370	294	97	62	47	37	31	27	23	21	20

熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	473	451	431	412	394	377	361
20	480	480	480	480	480	467	444	423	402	383	364	346
30	480	480	480	480	480	457	433	409	386	364	342	320
40	480	480	480	480	480	442	414	387	359	331	302	271
50	480	480	480	480	460	418	384	348	311	269	204	85
60	480	480	480	460	419	376	329	276	205	76	51	39
70	480	480	469	419	363	299	191	75	51	38	31	27
80	480	479	417	344	271	84	54	40	32	27	23	20
85	480	452	376	292	95	58	42	33	27	23	21	19

熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	480	480	468	445	425	406	388	371
20	480	480	480	480	480	480	465	442	421	401	382	364
30	480	480	480	480	480	480	460	436	413	392	371	351
40	480	480	480	480	480	480	452	426	400	375	351	326
50	480	480	480	480	480	469	438	407	376	343	309	270
60	480	480	480	480	480	449	410	370	325	272	138	63
70	480	480	480	480	459	410	354	287	160	58	38	29
80	480	480	480	468	404	324	210	61	39	29	23	20
85	480	480	480	437	354	263	66	40	30	24	20	19

註：夏季工作服(0.6clo)，中度工作負荷量(165W/m<sup>2</sup>)，站姿作業，已熱適應，身高 175cm，體重 70 公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於 120 到 480 分鐘)  
 環境分級 3：經過 30 到 120 分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於 30 到 120 分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於 30 分鐘，需立即的限制；<30 分鐘)

熱環境容許暴露時間對照表( $T_g - T_a = 2^\circ\text{C}$ ,  $V_a = 0.3 \text{ m/s}$ )

環境氣溫( $T_a$ , $^\circ\text{C}$ )												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	462	441	422	403	386	369	353	338	323
20	480	480	477	454	432	411	391	372	353	335	318	301
30	480	480	468	443	419	396	373	351	329	307	285	263
40	480	480	454	426	323	373	346	318	290	260	206	94
50	480	466	434	402	370	336	301	263	201	92	65	48
60	480	443	405	365	323	276	253	90	61	46	38	32
70	452	407	358	304	256	95	63	47	38	32	28	24
80	410	350	284	121	70	51	40	33	28	25	22	20
85	380	309	156	76	54	42	34	29	25	22	20	19

熱環境容許暴露時間對照表( $T_g - T_a = 2^\circ\text{C}$ ,  $V_a = 0.5 \text{ m/s}$ )

環境氣溫( $T_a$ , $^\circ\text{C}$ )												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	473	452	432	413	395	378	362	347	333
20	480	480	480	468	446	425	405	386	367	350	333	317
30	480	480	480	461	437	414	392	371	350	330	310	290
40	480	480	477	450	423	398	373	348	322	296	268	251
50	480	480	463	433	403	372	341	308	272	252	93	62
60	480	478	443	407	369	329	285	253	99	61	44	35
70	480	453	410	364	311	256	106	62	44	35	29	25
80	466	414	356	287	138	68	47	36	30	25	22	20
85	445	385	314	193	74	50	38	31	26	22	20	19

熱環境容許暴露時間對照表( $T_g - T_a = 2^\circ\text{C}$ ,  $V_a = 1.0 \text{ m/s}$ )

環境氣溫( $T_a$ , $^\circ\text{C}$ )												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	480	480	480	480	466	444	424	405	387	371	356	341
20	480	480	480	480	464	441	420	401	382	365	349	333
30	480	480	480	480	461	437	415	394	374	355	337	320
40	480	480	480	480	455	430	406	383	360	338	316	293
50	480	480	480	474	445	417	390	363	335	306	274	251
60	480	480	480	462	429	396	362	325	284	252	78	48
70	480	480	480	441	401	356	306	254	89	49	35	27
80	480	480	454	403	345	272	113	52	35	28	23	19
85	480	480	433	372	296	144	56	37	28	23	19	18

註：夏季工作服(0.6clo)，中度工作負荷量( $165\text{W/m}^2$ )，站姿作業，已熱適應，身高175cm，體重70公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於120到480分鐘)  
 環境分級 3：經過30到120分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於30到120分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於30分鐘，需立即的限制；<30分鐘)

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
容許暴露時間(分鐘)												
10	467	446	426	407	390	373	357	342	328	314	301	288
20	461	439	418	398	380	362	344	327	311	295	279	264
30	452	429	407	386	365	345	325	305	285	265	250	121
40	441	416	392	368	344	320	295	270	251	121	76	58
50	426	398	370	342	312	281	253	137	80	60	47	39
60	406	372	338	302	262	195	91	63	47	38	33	29
70	375	334	289	254	109	67	49	39	33	29	25	23
80	330	275	157	77	55	42	35	30	26	23	21	19
85	299	253	87	59	45	36	31	27	24	21	19	18

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
容許暴露時間(分鐘)												
10	474	452	432	414	396	379	364	349	335	321	308	296
20	470	448	427	407	389	371	354	338	323	308	293	279
30	464	441	419	399	379	359	341	322	304	286	268	250
40	457	432	409	386	364	342	319	297	274	251	126	74
50	447	420	394	367	341	314	286	255	147	78	56	43
60	432	402	371	339	306	269	230	89	60	45	36	31
70	411	375	336	294	254	116	68	47	37	31	26	23
80	380	333	279	239	79	52	39	32	27	24	21	19
85	358	303	255	91	56	41	33	28	24	21	19	18

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
容許暴露時間(分鐘)												
10	480	463	441	421	403	386	370	354	340	327	314	303
20	480	462	440	419	400	382	365	350	335	320	307	294
30	480	460	437	415	396	377	359	342	326	310	294	279
40	480	456	432	410	389	368	349	330	311	292	272	252
50	477	451	425	401	378	355	332	308	284	258	123	64
60	471	442	415	388	360	332	303	270	197	73	47	36
70	461	430	398	365	331	292	253	92	53	38	30	25
80	447	409	370	326	275	159	65	41	31	25	21	18
85	436	395	349	295	254	77	44	32	26	22	19	17

註：夏季工作服(0.6clo)，中度工作負荷量(165W/m<sup>2</sup>)，站姿作業，已熱適應，身高 175cm，體重 70 公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於 120 到 480 分鐘)  
 環境分級 3：經過 30 到 120 分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於 30 到 120 分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於 30 分鐘，需立即的限制；<30 分鐘)

熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	383	368	354	341	328	315	62	54	50	46	44	43
20	377	361	346	331	317	304	291	278	265	252	240	227
30	368	351	335	319	303	287	272	256	240	224	208	190
40	357	338	320	301	282	263	244	223	201	180	66	49
50	342	320	298	276	252	226	198	80	54	44	38	33
60	321	295	267	237	205	72	52	42	37	32	28	25
70	290	257	219	76	53	43	37	32	27	24	22	20
80	245	100	59	46	38	33	28	25	22	20	18	17
85	139	64	48	40	34	29	25	22	20	18	17	16

熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	402	386	371	357	73	55	48	44	42	39	38	36
20	398	381	366	351	336	87	59	52	48	46	44	42
30	392	375	358	342	326	311	296	281	267	252	237	221
40	385	366	348	330	312	294	276	257	238	218	196	139
50	374	353	333	312	290	268	244	218	189	71	49	40
60	360	335	310	284	256	224	172	61	45	37	31	27
70	339	309	276	240	166	61	45	37	31	26	23	20
80	307	267	221	69	48	38	32	27	23	20	18	17
85	285	237	78	50	40	33	27	24	21	18	17	16

熱環境容許暴露時間對照表(Ta=Tg, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	433	414	397	69	51	44	40	37	35	33	31	30
20	432	413	395	378	57	48	43	39	37	35	33	32
30	430	410	392	374	74	53	47	43	40	38	37	36
40	427	407	387	369	351	80	57	51	48	47	47	49
50	423	401	380	360	340	321	301	281	259	236	210	180
60	417	393	370	347	323	299	272	243	209	112	48	36
70	407	380	353	325	294	259	217	80	45	34	26	22
80	392	360	325	285	238	90	47	34	27	22	19	16
85	381	345	303	254	115	49	36	27	22	19	16	15

註：夏季工作服(0.6clo)，重度工作負荷量(230W/m<sup>2</sup>)，站姿作業，已熱適應，身高175cm，體重70公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於 120 到 480 分鐘)  
 環境分級 3：經過 30 到 120 分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於 30 到 120 分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於 30 分鐘，需立即的限制；<30 分鐘)

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=2°C, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	357	343	330	318	68	56	51	47	45	43	41	40
20	350	336	322	308	295	283	270	77	68	65	65	72
30	341	325	310	295	281	266	251	236	221	206	190	120
40	329	312	295	277	259	241	222	202	181	77	53	44
50	314	293	272	251	228	203	120	62	48	40	35	31
60	292	267	240	211	98	59	46	39	34	30	26	23
70	261	228	117	62	47	40	34	30	26	23	21	19
80	217	72	51	42	36	31	27	24	21	19	18	16
85	84	55	44	37	32	27	24	22	20	18	16	15

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=2°C, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	372	358	344	59	50	46	42	40	38	36	35	34
20	367	353	338	325	61	53	48	45	43	42	41	40
30	361	346	330	316	301	287	79	67	65	69	218	203
40	353	336	319	303	286	270	253	235	217	198	179	61
50	342	323	304	284	264	243	220	195	113	56	44	37
60	327	305	281	256	229	199	82	52	41	34	29	25
70	305	277	246	211	84	52	41	34	29	25	22	20
80	273	235	117	57	43	36	30	25	22	20	18	16
85	251	208	63	46	37	31	26	23	20	18	16	15

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=2°C, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間											
10	396	380	56	47	42	38	36	34	32	31	29	28
20	394	378	65	50	44	40	38	36	34	32	31	30
30	392	375	359	57	48	44	41	38	37	35	34	34
40	389	371	354	337	57	50	46	44	43	42	43	46
50	384	365	347	329	311	293	275	256	236	214	189	66
60	377	356	336	315	293	271	246	219	187	64	43	32
70	367	343	318	292	264	231	192	63	42	31	25	21
80	351	322	290	254	209	69	43	32	25	21	18	16
85	340	307	269	223	79	45	33	26	21	18	16	15

註：夏季工作服(0.6clo)，重度工作負荷量(230W/m<sup>2</sup>)，站姿作業，已熱適應，身高175cm，體重70公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於 120 到 480 分鐘)  
 環境分級 3：經過 30 到 120 分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於 30 到 120 分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於 30 分鐘，需立即的限制；<30 分鐘)



熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	322	310	60	53	48	46	43	42	40	39	38	38
20	314	302	289	277	67	60	56	55	54	55	58	65
30	305	291	277	263	250	236	223	209	195	180	67	50
40	292	276	261	244	228	211	193	169	64	50	42	38
50	276	257	237	217	195	148	63	48	41	36	31	27
60	253	229	204	121	62	48	40	35	30	27	24	22
70	221	184	67	50	41	36	31	27	24	22	20	18
80	84	55	44	38	32	28	25	22	20	18	17	16
85	60	46	39	34	29	25	23	20	19	17	16	15

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	68	54	48	44	41	39	37	36	34	33	32	32
20	328	66	54	49	45	43	41	40	39	38	38	37
30	321	307	116	63	56	53	52	51	53	56	71	178
40	312	297	282	268	253	238	222	206	189	88	52	43
50	301	283	266	248	230	210	188	87	54	44	37	31
60	285	264	242	219	194	106	55	43	36	30	26	23
70	262	236	207	125	58	44	36	30	26	23	21	19
80	229	194	67	47	39	32	27	23	21	19	17	16
85	206	76	50	40	33	28	24	21	19	17	16	15

熱環境容許暴露時間對照表(Tg-Ta=5°C, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	容許暴露時間(分鐘)											
10	52	45	40	37	35	33	31	30	29	28	27	26
20	56	47	42	39	36	34	33	31	30	29	29	28
30	66	51	45	41	39	37	35	34	33	32	31	31
40	341	59	50	45	42	40	39	38	38	38	40	44
50	335	319	64	55	51	50	51	56	206	186	58	43
60	328	310	292	274	255	235	213	187	65	45	34	28
70	317	296	275	251	226	196	84	49	35	28	23	20
80	301	275	247	213	180	54	37	28	23	20	18	16
85	290	260	226	184	58	39	29	24	20	18	16	14

註：夏季工作服(0.6clo)，重度工作負荷量(230W/m<sup>2</sup>)，站姿作業，已熱適應，身高 175cm，體重 70 公斤。  
 環境分級 1：舒適(無安全顧慮)或無安全顧慮的不舒適  
 環境分級 2：經過幾個小時的暴露會有脫水的風險(長時間暴露需限制；暴露時間介於 120 到 480 分鐘)  
 環境分級 3：經過 30 到 120 分鐘的暴露會有健康危害(短時間暴露需限制；暴露時間介於 30 到 120 分鐘)  
 環境分級 4：短時間的暴露就會有健康危害(暴露需低於 30 分鐘，需立即的限制；<30 分鐘)

### 附錄三：熱環境綜合溫度熱指數(WBGT 值)對照表

為便利呈現起見，自次頁起編排此對照表，請翻頁。

熱環境 WBGT 值對照表(Ta=Tg, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	17.5	18.2	18.9	19.6	20.3	21.0	21.7	22.4	23.1	23.7	24.4	25.1
20	19.0	19.7	20.5	21.3	22.0	22.8	23.5	24.3	25.0	25.8	26.5	27.3
30	20.4	21.2	22.0	22.8	23.6	24.4	25.2	26.0	26.8	27.6	28.4	29.2
40	21.7	22.5	23.4	24.2	25.1	25.9	26.8	27.6	28.4	29.3	30.1	31.0
50	22.9	23.8	24.7	25.5	26.4	27.3	28.2	29.1	29.9	30.8	31.7	32.6
60	24.0	24.9	25.9	26.8	27.7	28.6	29.5	30.4	31.3	32.2	33.2	34.1
70	25.1	26.0	27.0	27.9	28.9	29.8	30.7	31.7	32.6	33.6	34.5	35.4
80	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	30.9	31.9	32.9	33.8	34.8	35.7	36.7
85	26.6	27.6	28.6	29.5	30.5	31.5	32.4	33.4	34.4	35.4	36.3	37.3

熱環境 WBGT 值對照表(Ta=Tg, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	17.3	18.0	18.7	19.4	20.0	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.2	24.8
20	18.8	19.6	20.3	21.1	21.8	22.6	23.3	24.1	24.8	25.6	26.3	27.1
30	20.2	21.0	21.8	22.6	23.4	24.3	25.1	25.9	26.7	27.5	28.3	29.1
40	21.6	22.4	23.3	24.1	24.9	25.8	26.6	27.5	28.3	29.2	30.0	30.9
50	22.8	23.7	24.6	25.4	26.3	27.2	28.1	29.0	29.9	30.7	31.6	32.5
60	24.0	24.9	25.8	26.7	27.6	28.5	29.4	30.4	31.3	32.2	33.1	34.0
70	25.1	26.0	26.9	27.9	28.8	29.8	30.7	31.6	32.6	33.5	34.5	35.4
80	26.1	27.1	28.0	29.0	29.9	30.9	31.9	32.8	33.8	34.8	35.7	36.7
85	26.6	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.4	33.4	34.4	35.3	36.3	37.3

熱環境 WBGT 值對照表(Ta=Tg, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	17.0	17.7	18.4	19.1	19.8	20.5	21.2	21.8	22.5	23.2	23.9	24.6
20	18.6	19.4	20.1	20.9	21.6	22.4	23.1	23.9	24.6	25.4	26.1	26.9
30	20.1	20.9	21.7	22.5	23.3	24.1	24.9	25.7	26.5	27.3	28.1	28.9
40	21.4	22.3	23.1	24.0	24.8	25.7	26.5	27.4	28.2	29.1	29.9	30.8
50	22.7	23.6	24.5	25.4	26.2	27.1	28.0	28.9	29.8	30.7	31.5	32.4
60	23.9	24.8	25.7	26.6	27.5	28.5	29.4	30.3	31.2	32.1	33.0	33.9
70	25.0	26.0	26.9	27.8	28.8	29.7	30.6	31.6	32.5	33.5	34.4	35.4
80	26.1	27.0	28.0	29.0	29.9	30.9	31.8	32.8	33.8	34.7	35.7	36.7
85	26.6	27.5	28.5	29.5	30.5	31.4	32.4	33.4	34.4	35.3	36.3	37.3

WBGT < 25.0	從事中度以下的工作負荷時無熱危害
25.0 ≤ WBGT < 28.0	從事中度以下的工作負荷時需注意熱危害
28.0 ≤ WBGT < 30.5	從事中度以下的工作負荷時需提出熱危害警戒
30.5 ≤ WBGT < 32.0	從事中度以下的工作負荷時需提出熱危害嚴重警戒
32.0 ≤ WBGT < 37.0	從事中度以下的工作負荷時其熱危害屬於危險級(應禁止從事中度或重度工作)
WBGT ≥ 37.0	除緊急搶救外，停止一切作業活動

熱環境 WBGT 值對照表(Tg-Ta =2°C, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	18.5	19.2	19.9	20.6	21.3	22.0	22.6	23.3	24.0	24.7	25.4	26.1
20	20.0	20.7	21.5	22.2	23.0	23.7	24.5	25.2	26.0	26.7	27.4	28.2
30	21.3	22.1	22.9	23.7	24.5	25.3	26.1	26.9	27.7	28.5	29.3	30.1
40	22.6	23.4	24.3	25.1	26.0	26.8	27.6	28.5	29.3	30.2	31.0	31.8
50	23.8	24.7	25.5	26.4	27.3	28.2	29.0	29.9	30.8	31.7	32.6	33.4
60	24.9	25.8	26.7	27.6	28.5	29.4	30.3	31.3	32.3	33.1	34.0	34.9
70	26.0	26.9	27.8	28.8	29.7	30.6	31.6	32.5	33.4	34.4	35.3	36.2
80	27.0	27.9	28.9	29.8	30.8	31.8	32.7	33.7	34.6	35.6	36.5	37.5
85	27.5	28.4	29.4	30.4	31.3	32.3	33.3	34.2	35.2	36.1	37.1	38.1

熱環境 WBGT 值對照表(Tg-Ta=2°C, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	18.3	19.0	19.7	20.3	21.0	21.7	22.4	23.1	23.8	24.4	25.1	25.8
20	19.8	20.5	21.3	22.0	22.8	23.5	24.3	25.0	25.7	26.5	27.2	28.0
30	21.2	22.0	22.8	23.6	24.4	25.2	26.0	26.8	27.5	28.3	29.1	29.9
40	22.5	23.3	24.2	25.0	25.8	26.7	27.5	28.4	29.2	30.0	30.9	31.7
50	23.7	24.6	25.5	26.3	27.2	28.1	28.9	29.8	30.7	31.6	32.5	33.3
60	24.9	25.8	26.7	27.6	28.5	29.4	30.3	31.2	32.1	33.0	33.9	34.8
70	25.9	26.9	27.8	28.7	29.7	30.6	31.5	32.5	33.4	34.3	35.2	36.2
80	26.9	27.9	28.9	29.8	30.8	31.7	32.7	33.6	34.6	35.5	36.5	37.5
85	27.4	28.4	29.4	30.3	31.3	32.3	33.2	34.2	35.2	36.1	37.1	38.1

熱環境 WBGT 值對照表(Tg-Ta=2°C, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	18.0	18.7	19.4	20.1	20.8	21.5	22.1	22.8	23.5	24.2	24.8	25.5
20	19.6	20.3	21.1	21.8	22.6	23.3	24.1	24.8	25.5	26.3	27.0	27.8
30	21.0	21.8	22.6	23.4	24.2	25.0	25.8	26.6	27.4	28.2	29.0	29.8
40	22.4	23.2	24.0	24.9	25.7	26.6	27.4	28.2	29.1	29.9	30.8	31.6
50	23.6	24.5	25.4	26.2	27.1	28.0	28.9	29.7	30.6	31.5	32.4	33.2
60	24.8	25.7	26.6	27.5	28.4	29.3	30.2	31.1	32.0	32.9	33.8	34.8
70	25.9	26.8	27.7	28.7	29.6	30.5	31.5	32.4	33.3	34.3	35.2	36.1
80	26.9	27.9	28.8	29.8	30.7	31.7	32.6	33.6	34.6	35.5	36.5	37.4
85	27.4	28.4	29.3	30.3	31.3	32.2	33.2	34.2	35.1	36.1	37.1	38.0

WBGT < 25.0	從事中度以下的工作負荷時無熱危害
25.0 ≤ WBGT < 28.0	從事中度以下的工作負荷時需注意熱危害
28.0 ≤ WBGT < 30.5	從事中度以下的工作負荷時需提出熱危害警戒
30.5 ≤ WBGT < 32.0	從事中度以下的工作負荷時需提出熱危害嚴重警戒
32.0 ≤ WBGT < 37.0	從事中度以下的工作負荷時其熱危害屬於危險級(應禁止從事中度或重度工作)
WBGT ≥ 37.0	除緊急搶救外，停止一切作業活動

熱環境 WBGT 值對照表(Tg-Ta=5°C, Va=0.3 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	20.0	20.7	21.4	22.1	22.7	23.4	24.1	24.8	25.4	26.1	26.8	27.5
20	21.4	22.2	22.9	23.6	24.4	25.1	25.9	26.6	27.3	28.1	28.8	29.5
30	22.8	23.5	24.3	25.1	25.9	26.7	27.5	28.3	29.0	29.8	30.6	31.4
40	24.0	24.8	25.6	26.5	27.3	28.1	29.0	29.8	30.6	31.5	32.3	33.1
50	25.2	26.0	26.9	27.7	28.6	29.5	30.3	31.2	32.1	32.9	33.8	34.7
60	26.3	27.1	28.0	28.9	29.8	30.7	31.6	32.5	33.4	34.3	35.2	36.1
70	27.3	28.2	29.1	30.0	31.0	31.9	32.8	33.7	34.7	35.6	36.5	37.4
80	28.3	29.2	30.2	31.1	32.0	33.0	33.9	34.9	35.8	36.8	37.7	38.7
85	28.7	29.7	30.6	31.6	32.6	33.5	34.5	35.4	36.4	37.3	38.3	39.2

熱環境 WBGT 值對照表(Tg-Ta=5°C, Va=0.5 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	19.8	20.4	21.1	21.8	22.5	23.2	23.8	24.5	25.2	25.8	26.5	27.2
20	21.2	22.0	22.7	23.4	24.2	24.9	25.6	26.4	27.1	27.9	28.6	29.3
30	22.6	23.4	24.2	24.9	25.7	26.5	27.3	28.1	28.9	29.7	30.5	31.2
40	23.9	24.7	25.5	26.3	27.2	28.0	28.8	29.7	30.5	31.3	32.2	33.0
50	25.1	25.9	26.8	27.6	28.5	29.4	30.2	31.1	32.0	32.8	33.7	34.6
60	26.2	27.1	28.0	28.8	29.7	30.6	31.5	32.4	33.3	34.2	35.1	36.0
70	27.2	28.1	29.1	30.0	30.9	31.8	32.7	33.7	34.6	35.5	36.4	37.4
80	28.2	29.2	30.1	31.0	32.0	32.9	33.9	34.8	35.8	36.7	37.7	38.6
85	28.7	29.7	30.6	31.6	32.5	33.5	34.4	35.4	36.3	37.3	38.3	39.2

熱環境 WBGT 值對照表(Tg-Ta=5°C, Va=1.0 m/s)

環境氣溫(Ta, °C)												
相對濕度 (RH, %)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	WBGT 值(°C)											
10	19.5	20.2	20.9	21.6	22.2	22.9	23.6	24.2	24.9	25.6	26.2	26.9
20	21.0	21.8	22.5	23.2	24.0	24.7	25.4	26.2	26.9	27.6	28.4	29.1
30	22.4	23.2	24.0	24.8	25.6	26.4	27.1	27.9	28.7	29.5	30.3	31.1
40	23.7	24.6	25.4	26.2	27.0	27.9	28.7	29.5	30.4	31.2	32.0	32.9
50	25.0	25.8	26.7	27.5	28.4	29.3	30.1	31.0	31.9	32.7	33.6	34.5
60	26.1	27.0	27.9	28.8	29.7	30.6	31.5	32.4	33.3	34.2	35.0	36.0
70	27.2	28.1	29.0	29.9	30.9	31.8	32.7	33.6	34.5	35.5	36.4	37.3
80	28.2	29.1	30.1	31.0	32.0	32.9	33.8	34.8	35.7	36.7	37.6	38.6
85	28.7	29.6	30.6	31.5	32.5	33.4	34.4	35.4	36.3	37.3	38.2	39.2

WBGT < 25.0	從事中度以下的工作負荷時無熱危害
25.0 ≤ WBGT < 28.0	從事中度以下的工作負荷時需注意熱危害
28.0 ≤ WBGT < 30.5	從事中度以下的工作負荷時需提出熱危害警戒
30.5 ≤ WBGT < 32.0	從事中度以下的工作負荷時需提出熱危害嚴重警戒
32.0 ≤ WBGT < 37.0	從事中度以下的工作負荷時其熱危害屬於危險級(應禁止從事中度或重度工作)
WBGT ≥ 37.0	除緊急搶救外，停止一切作業活動

## 附錄四：ISO 7933 的 PHS 模式推估公式

$M-W=C_{res}+E_{res}+K+C+R+E+S$	(1)熱平衡方程式
$C_{res}=0.072\times c_p\times V\times(T_{ex}-T_a)/A_{Du}$	(2)呼吸對流熱交換
$E_{res}=0.072\times c_e\times V\times(W_{ex}-W_a)/A_{Du}$	(3)呼吸蒸發散熱量
$C=h_{cdyn}\times f_{cl}\times(T_{sk}-T_a)$	(4)身體皮膚對流熱交換
$R=h_r\times f_{cl}\times(T_{sk}-T_r)$	(5)身體皮膚輻射熱交換
$E_{max}=(p_{sk,s}-p_a)/R_{tdyn}$	(6)皮膚最大蒸發散熱量
$E=w\times E_{max}$	(7)身體蒸發散熱量
$E+S=M-W-C_{res}-E_{res}-C-R$	(8)不列入傳導熱平衡方程式
$E_{req}=M-W-C_{res}-E_{res}-C-R-dS_{eq}$	(9)熱平衡需要蒸發散熱量
$w_{req}=E_{req}/E_{max}$	(10)需要蒸發汗濕率
$S w_{req}=E_{req}/r_{req}$	(11)需要蒸發排汗速率
$S w_{max}=2.6(M-32)\times A_{Du} \quad (650gh^{-1}\sim 1000gh^{-1})$	(12)最大蒸發排汗速率
$S w_{max}=(M-32)\times A_{Du} \quad (250Wm^{-2}\sim 400Wm^{-2})$	(13)最大蒸發排汗速率
$A_{Du}=0.202\times BW^{0.425}\times BH^{0.725}$	(14)身體表面積
$T_r=((T_g+273)^4+2.5\times 10^8\times v_a^{0.6}\times(T_g-T_a)^{0.25}-273$	(15)平均輻射溫度
$p_a=(RH/100)\times(0.611\times\exp((17.27\times T_a)/(T_a+237.3)))$	(16)水蒸氣壓力
$p_{sa}=0.611\times\exp((17.27\times T_a)/(T_a+237.3))$	(17)飽和水蒸氣壓力
$r_{req}=(1-w_{req}^2)/2 \quad (w_{req}\leq 1)$	(18)排汗需要蒸發效率
$r_{req}=(2-w_{req}^2)/2 \quad (w_{req}> 1)$	(19)排汗需要蒸發效率
$k_{sw}=\exp(-incr/10)$	(20)預測流汗率 k 分率
$RH=100\times(p_a/p_{sa})$	
$C_{res}=1.52\times 10^{-3}\times M(28.56+0.641p_a+0.885T_a)$	(A.1)呼吸對流熱交換
$E_{res}=1.27\times 10^{-3}\times M(59.34+0.53T_a-11.63p_a)$	(A.2)呼吸蒸發散熱量
$T_{sk,eq\ cl}=12.17+0.020t_a+0.044T_r+0.194p_a-0.253v_a+0.005346M+0.51274T_{re} \quad (I_{cl}\geq 0.6\ clo)$	(A.3)衣著時穩態平均皮膚溫度
$T_{sk,eq\ nu}=7.19+0.064T_a+0.061T_r+0.198p_a-0.348V_a+0.616T_{re} \quad (I_{cl}\leq 0.2\ clo)$	(A.3)裸身時穩態平均皮膚溫度
<p>度</p>	
$t_{sk,eq}=t_{sk,eq\ nu}+2.5(t_{sk,eq\ cl}-t_{sk,eq\ nu}) \quad (I_{cl}>0.2) \quad (0.6<I_{cl}<0.2)$	(A.3)穩態平均皮膚溫度
$t_{sk,i}=0.7165t_{sk,i-1}+0.2835t_{sk,eq}$	(A.4)時間 $t_i$ 的皮膚溫度
$t_{cr,eq}=0.0036(M-55)+36.8$	(A.5)特定代謝熱量之體心溫度
<p>度</p>	
$t_{cr}=36.8+(t_{cr,eq}-36.8)\times(1-\exp(-t/10))$	(A.6)體心溫度
$t_{cr,eq\ i}=t_{cr,eq\ i-1}\times k+t_{cr,eq}\times(1-k) \quad k=\exp(-incr/10)$	(A.7)時間 $t_i$ 的體心溫度
$dS_{eq}=c_{sp}\times(t_{cr,eq\ i}-t_{cr,eq\ i-1})\times(1-\alpha)$	(A.8)體溫增加代謝熱蓄積速率
<p>率</p>	
$C+R=(T_{sk}-T_a)/I_{tot\ st}$	(A.9)顯熱交換量
$I_{tot\ st}=I_{cl\ st}+(I_{a\ st}/f_{cl})$	(A.10)總靜衣著熱阻值
$f_{cl}=1+1.97I_{cl\ st}$	(A.11)皮膚衣著覆蓋面積

$I_{tot\ dyn}=C_{orr,tot}\times I_{tot\ st}$	(A.12)總動態衣著熱阻值
$I_a\ dyn=C_{orr,la}\times I_a\ st$	(A.13)動態邊界層熱阻值
$C_{orr,tot}=C_{orr,cl}=\exp(0.043-0.398v_{ar}+0.066(v_{ar}^2)-0.378v_w+0.094(v_w^2))$	(A.14)動態衣著熱阻值修正量
$C_{orr,tot}=C_{orr,la}=e^{(-0.472v_{ar}+0.047(v_{ar}^2)-0.342v_w+0.117(v_w^2))}$	(A.15)動態衣著熱阻值修正量
$C_{orr,tot}=(0.6-I_{cl})C_{orr,la}+I_{cl}\times C_{orr,cl}$	(A.16)動態衣著熱阻值修正量
$v_w=0.0052(M-58) \quad v_w\leq 0.7\text{m/s}$	(A.17)行走速度
$I_{cl\ dyn}=I_{tot\ dyn}-(I_a\ dyn/f_{cl})$	(A.18)動態衣著熱阻值
$C+R=f_{cl}\times(h_{cdyn}\times(t_{cl}-t_a)+hr\times(t_{cl}-T_r))$	(A.19)顯熱交換量
$C+R=(t_{sk}-t_{cl})/I_{cl\ dyn}$	(A.20)顯熱交換量
$h_{cdyn}=2.38\times t_{sk}-t_a ^{0.25}$ (自然通風)	(A.21)動態對流熱傳係數
$h_{cdyn}=3.5+5.2\times v_{ar}$ (強制通風, $v_{ar}<1\text{m/s}$ )	(A.22)動態對流熱傳係數
$h_{cdyn}=8.7\times v_{ar}^{0.6}$ (強制通風, $v_{ar}\geq 1\text{m/s}$ )	(A.23)動態對流熱傳係數
$h_r=\sigma\times\varepsilon\times A_F/A_{Du}\times[(t_{cl}+273)^4-(T_r+273)^4]/(t_{cl}-T_r)$	(A.24)輻射熱傳係數
$F_{cl,R}=(1-A_p)\times 0.97+A_p\times F_r$	(A.25)衣著輻射熱傳衰減係數
$E_{max}=(p_{sk,s}-p_a)/R_{tdyn}$	(A.26)皮膚最大蒸發散熱量
$R_{tdyn}=I_{tot\ dyn}/(i_{mdyn}/16.7)$	(A.27)蒸發阻抗
$I_{mdyn}=i_{mst}\times C_{orr,E}$	(A.28)動態衣著滲透指數
$C_{orr,E}=2.6\times C_{orr,tot}^2-6.5\times C_{orr,tot}+4.9$	(A.29)動態滲透指數修正
$S=E_{req}-E_p+S_{eq}$	(A.30)身體熱蓄積量
$(1-\alpha)=0.7+0.09(t_{cr}-36.8)$	(A.31)平均體心溫度分率
$t_{cr,i}=\frac{1}{1-\frac{\alpha}{2}}\left[\frac{dS_i}{c_p W_b}+t_{cr,i-1}-\frac{t_{cr,i-1}-t_{sk,i-1}}{2}\alpha_{i-1}-t_{sk,i}\frac{\alpha_i}{2}\right]$	(A.32)時間 $t_i$ 的體心溫度
$t_{re,i}=t_{re,i-1}+\frac{2t_{cr,i}-1.962t_{re,i-1}-1.31}{9}$	(A.33)時間 $t_i$ 的直腸溫度

## 附錄五：水蒸氣壓力單位換算對照表

各種不同溫度下之飽和水蒸氣壓(kPa)

攝氏溫度 (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.61	0.66	0.71	0.76	0.81	0.87	0.93	1.00	1.07	1.15
10	1.23	1.31	1.40	1.50	1.60	1.70	1.82	1.94	2.06	2.20
20	2.34	2.49	2.64	2.81	2.98	3.17	3.36	3.56	3.78	4.00
30	4.24	4.49	4.75	5.03	5.32	5.62	5.94	6.27	6.62	6.99
40	7.37	7.78	8.20	8.64	9.10	9.58	10.08	10.61	11.15	11.73
50	12.33	12.96	13.61	14.29	15.00	15.73	16.50	17.31	18.14	19.01
60	19.91	20.85	21.83	22.84	23.90	25.00	26.14	27.32	28.55	29.82
70	31.15	32.51	33.94	35.42	36.95	38.54	40.18	41.87	43.63	45.46

各種不同溫度下之飽和水蒸氣壓(kPa)

攝氏溫度 (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	4.24	4.27	4.29	4.32	4.34	4.37	4.39	4.42	4.44	4.47
31	4.49	4.52	4.54	4.57	4.59	4.62	4.65	4.67	4.70	4.73
32	4.75	4.78	4.81	4.84	4.86	4.89	4.92	4.95	4.97	5.00
33	5.03	5.06	5.09	5.11	5.14	5.17	5.20	5.23	5.26	5.29
34	5.32	5.35	5.38	5.41	5.44	5.47	5.50	5.53	5.56	5.59
35	5.62	5.65	5.68	5.72	5.75	5.78	5.81	5.84	5.88	5.91
36	5.94	5.97	6.01	6.04	6.07	6.11	6.14	6.17	6.21	6.24
37	6.27	6.31	6.34	6.38	6.41	6.45	6.48	6.52	6.55	6.59
38	6.62	6.66	6.70	6.73	6.77	6.80	6.84	6.88	6.92	6.95
39	6.99	7.03	7.07	7.10	7.14	7.18	7.22	7.26	7.30	7.34



## 附錄六：工作負荷代謝熱單位換算對照表

代謝熱單位換算（標準人：70 kg, 175 cm, 1.8 m<sup>2</sup>）

W	W/m <sup>2</sup>	kcal/h	kcal/h/m <sup>2</sup>	Btu/h	Btu/h/ft <sup>2</sup>
100	55	87	48	330	18
200	111	174	97	661	35
300	167	261	145	992	53
400	222	348	193	1322	70
500	278	435	242	1653	88

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

濕熱作業環境通風控制案例探討 / 王順志, 莊侑哲  
著. -- 初版. -- 新北市 : 勞動部勞研所, 民  
104. 04

面 ; 公分

ISBN 978-986-04-4774-3(平裝)

1. 職業衛生 2. 環境衛生

412.53

104006693

濕熱作業環境通風控制案例探討

著者：王順志、莊侑哲

出版機關：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 104 年 04 月

版(刷)次：初版 1 刷

定價：200 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話:02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為：  
<http://www.ilosh.gov.tw/wSite/np?ctNode=273&mp=11>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN：3232622: 37

ISBN：978-986-04-4774-3

