

爲安全把關 的人因工程

國內意外事故不斷發生，
頭痛醫頭、腳痛醫腳，
都未能從根本上來解決
所遭遇的安全問題，
若能從人因工程的觀點
切入改變設計，
讓人員按標準程序操作，
方可收安全之宏效。



■ 趙金榮

二次世界大戰期間，美軍使用的飛機日益精良，飛行速度越來越快，但是當飛行員操控這些飛行器時，由於個人的習慣、操作反應極限與飛機速度無法匹配等原因，以至於意外事故、操作不靈及命中率不高時有所聞。因此，美國軍方開始發展人因工程，期待藉由人因工程的協助，使各系統在設計時，就考慮人類與生俱來的各種限制，讓人機介面的互動能順利圓滿進行，以提高生產力（減少設備停機、人員訓練與學習的困難、增加使用者接受性與操作性）、安全性（減少人員失誤、意外事故及增加系統安全）及舒適性（減少操作疲勞與過負荷）。簡單地說，人因工程就是要確保環境及系統／裝備對操作、維修、控制或支援人員的感官、認知及物理特性能夠達到相容、相輔相成的效用。

人因工程與安全

經濟建設造成工業快速發展，由於工作環境、機器、工具及系統日趨複雜，故台灣職業災害始終居高不下，其根本原因多為未將工作方法、製程、設備、環境與人員作整體的配合考量。大家都希望能長命富貴，至少工作平安、身心健康，因此很多人藉著求神拜佛保平安，萬一出了意外則以運氣壞、倒楣來自我安慰。雖然沒有絕對的安全，但是一定要有危機意識方能居安思危，而事後的亡羊補牢都有助於安全性的提升。頭痛醫頭、腳痛醫腳，雖能暫時解決所遭遇的問題，但要改變使用者的習慣非常困難，類似的意外仍會不斷上演；若能從人因工程的角度切入安全問題，改變設計，讓操作者依標準程序操作，方可收安全之宏效。

一九七九年美國賓州發生三哩島核能意外事件，造成全世界的震驚與恐慌。調查顯示，導致事故發生的部分原因是控制室人因工程設計不良，因此美國核能管制委員會於次年下令，所有美國核能電廠控制中心

High Voltage
危險

High Voltage
警告

High Voltage
注意

何種高壓標示的危害狀況是最嚴重的呢？對危害程度的指示，應事先作好明確的區分與定義。

家用電表——一種動態數量顯示器，您能快速、正確地讀出此電表的讀值嗎？

的設計，須經過人因工程專家的認可及簽署方可運作。一般簡單的作業人員都會犯錯，當人員處在更複雜的作業環境時，如何設法防止人為失誤就更形重要，而人因工程的知識正可作為防止此類疏失的設計機制。一旦意外事故發生後，應邀請人因工程專家會同參與調查，方能徹底改善根本原因。例如，日本航空事故調查小組成員，是由調查委員會指定人因工程專



滅火器的讀值設計係利用顏色來判讀其正常與否，當指針指向中央綠色區域時表示正常。

家、顧問、飛機結構人員、機械人員、操控系統人員、從業主管、及學術研究人員等，共同參與調查工作，如此才能真正找出事故發生的原因，進而加以防範。

個人防護具是人員安全的最後一道防線，但員工大多不愛穿戴，其理由不外乎是不舒適、增加重量、顏色不對，以及限制了移動、視野、交談、及手的靈巧度等。國內個人防護具的規格，由國家標準（CNS）所規範，而CNS部分資料參考自歐美及日本，此類規範未必符合台灣高溫溼熱的環境、人體計測值、及密合

度的要求。因此要生產適合國人使用的各式防護具，就必須參考國人的人體計測資料。

人體計測簡單地說就是量測人體各項尺寸的學問，凡是與人員尺寸有關的數據，皆可作為安全設計時的參考。例如，當獲知人員的手臂伸展限度後，一方面可作為工作站設備位置配置的設計，以方便手部伸展與操作，反之也可應用在安全距離設計上，使得人員因無法觸及危險點而不致造成傷害。

在某些危險性高的作業場所，操作人員常須穿戴特殊防護設備或服裝，在設計逃生門尺寸如飛機逃生門高度、人孔直徑等，若未將這些重裝備因素考慮進去，發生狀況時，人員就無法順利快速逃生。其他如飛行頭盔的重心要與飛行員頭部重心設計在同一位置，使頭盔在高G狀況或彈射時，不會下滑遮住飛行員面孔，而這些設計上的參考資料，必須經由頭部的人體計測值方能獲致。因此人體計測資料是非常基本且重要的安全設計數據，更是設計人員不可或缺的參考資料，幸好在國科會與勞委會的贊助下，歷經數年努力，已經完成此一人體計測資料庫，詳細內容可與中華民國人因工程學會洽詢。

當前國際間正積極推動產品安全責任法，此外自一九九三年起，歐洲共同市場即已規定，所有進入歐市的機械產品都必須貼有CE（European Communities為歐洲共同體，歐聯採CE標示以與之區別）標誌，由製造商承擔機械安全的責任，其範圍包括整個產品的生命週期。歐體機械安全標準中如基本安全標準、群體安全標準及產品安全標準等機械設計，皆包含人因工程的系統安全考量。

由於未來全球安全衛生標準有一致化的趨勢，如最近頗為盛行的ISO（The International Organization for Standardization）安全衛生標準，故在產品與工作環境上的安全衛生考量必須提早因應。人因工程也曾應用於其他與安全

有關的設計研究，如道路標示、消費性產品設計、工業安全、工作壓力與負荷及飛航安全考量等。

設計顯示裝置的安全考量

一個好的顯示裝置設計，能將機器的訊息以合於系統和任務需求的方式傳送出去，使操作者在速度、準確性及敏感度間達到最佳化的配合。許多意外事故的發生都與顯示器有關，如一九九四年美軍F-15戰機在伊拉克上空擊落兩架美軍直升機，調查發現是直升機的敵我識別器功能不佳，致被誤認為敵機而遭擊落。二〇〇〇年十月中正機場新航空難調查報告中，

與人因工程有關的因素

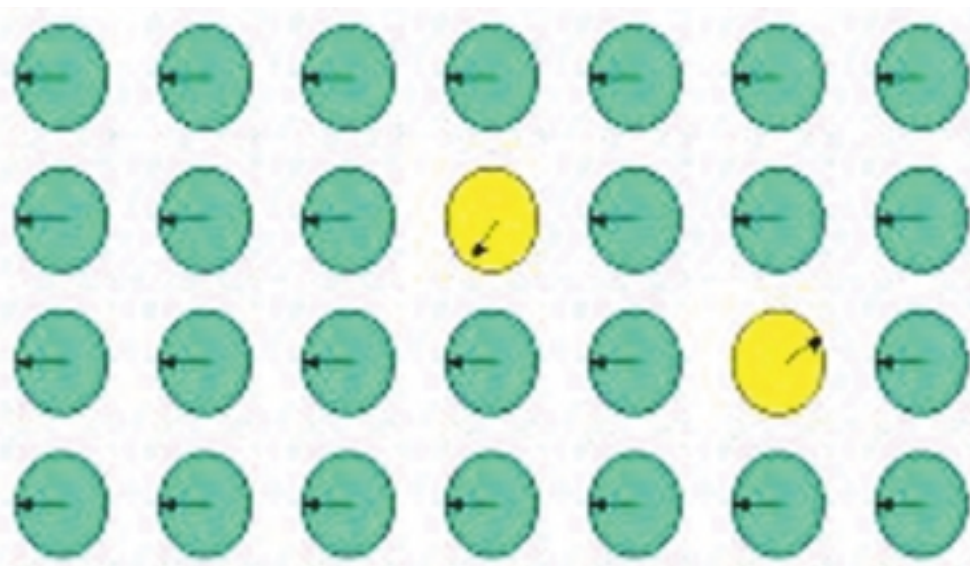
包括：跑道標示設計問題、人員心理與生理負荷、燈光與環境、人員溝通問題等，皆值得做進一步的探討與研究。

在一個核電廠或化工廠的控制中心裡，分布著眾多的顯示器與控制器，當有狀況發生時，操作員須在最短時間內，找出錯誤的所在及原因，迅速加以排

除，因此顯示器與控制器的設計就顯得非常重要。顯示裝置通常分為靜態顯示與動態顯示二種，而人因工程在視覺靜態顯示部分常採用的設計，係以能見度、可區辨符碼的屬性、及能了解其意義為準則。例如，航空器的飛行紀錄器即俗稱的黑盒子，其外表顏色卻是橘紅色；常吃的薑母鴨的材料卻是公鴨；打開開關到底是ON還是OFF；紅茶的英文是black tea等，對不熟悉的人員而言，此種顯示方式容易誤解其意。另外，顯示符號應位於易見處以吸引人員注意，如汽車第三煞車燈的設計可減少約50%

自後方被撞的機率，算是人因工程的傑作之一。

中文到底是由右往左寫，還是由左往右寫，教育部雖有規定，但在社會中表現出來的仍是五花八門，只怕左右相反的敘述會產生不同的意義，如太太怕我、決不淹水、中國美景等，其閱讀意義從左往右及由右往左是不一樣的，因此在使用文字顯示的安全警示標題，應對所用的文字意義或內容有明確的規範。在用字遣詞上亦須注意文字代表的意義，如在工廠高壓設備上貼上危險（DANGER）、警告（WARNING）、或注意（CAUTION）來表示高壓危險，但是到底何種標示表示的狀況最嚴重，則無法得知。因此對文字的意義與定義及其對危害程度的指示，應事先作



好明確的區分與定義，不同用字表示不同危害程度，除可加速人員判斷外，作業時也易讓員工了解所處環境的危害程度。

至於動態顯示（如指針儀表設備）對安全性的提升也很重要，對飛機駕駛員來說，有可能因為誤讀高度計而導致失事，所以如何設計一個避免操作人員犯錯的動態顯示器，是一件相當重要的工作。舉例來說，家用電表即是一種動態數量顯示器，但是你能輕易無誤地讀出電表上的讀數嗎？如果不能順利快速讀出，就表示它還有改善的空間，以減少讀取時間及增加正確性。

檢核讀取設計是將量表中常態的區間置於9點位置，若指針方向不在9點方向時，就表示此顯示器或控制方式有問題存在（如圖黃色部分），因此能很快地找到故障的儀表。

在動態顯示裝置上，也常用顏色來表達環境狀況的改變情形。例如一般滅火器的指針指向中央綠色部分時表示滅火器正常，指向兩旁紅色部分則代表壓力過大或過小，表示滅火器失效。故只要看到指針指在綠色區域中，即表

一樣，且放置位置又相鄰，為防止類似事件再度發生，於是將兩種控制器外型設計成與實體形狀類似（如起落架控制器設計成輪子形狀），且位置分開安排，一方面可幫助操作員迅速找到某一特定的控制器，另一方面又可減少失誤的潛在危機。

相似的例子，在高速公路拖吊車上用來吊掛使用的機具，也使用相同形狀的控制器，當不熟悉操作方式或緊急狀況時，免於被誤操作而發生意外。其他為防止控制器因意外原因而啟動，可採用凹進隱藏、選定位置、操作方位、操作順序、阻

抗施力、雙手操作、加蓋阻擋、鎖定裝置等方式來預防。

安全與相容性設計

一九八九年一架英國737客機在東米德蘭機場墜落，原因是這架飛機的左邊引擎故障，當機長試著降落時，誤把右邊仍能運作的引擎關掉，因而造成44人死亡。這種失誤可從控制器與顯示器的相容性問題來探討，其中又以空間相容性與移動相容性為主要重點。

所謂空間相容性是指控制器及其相關的顯示器在空間配置一致的程度；而移動相容性則指控制器移動時，與其所顯示或控制的系統反應一致的程度。移動相容性的例子，如轉動浴室水龍頭依順時針或逆時針才會有熱或冷水流出；地下礦坑輸送車輛在操作時，往下開與倒退開所操控的方向盤是同一個，但是進退方向與操作方式正好相反，這在設計與操作說明時須加以注意；不同廠牌的汽車雨刷，其快速轉



在插頭前加裝鎖頭，可以避免小孩因誤插插座而導致的意外事故發生。

示滅火器可以用，而不一定要知道滅火器內部的壓力是多少，以減少判讀時間，爭取救火時效，但採用顏色來判讀時，仍須注意人員色盲與照明問題所產生的影響。當一套設施有眾多顯示控制器時，可用檢核讀取（check reading）方式來判定數值是否屬於正常範圍，其作法是將量表中常態的區間置於9點位置，若指針方向不在9點方向時，就表示此顯示器或控制方式有問題存在，故檢核讀取的設計，有助於快速察覺有問題發生的儀錶，而迅速將故障排除。

設計控制裝置的安全考量

控制裝置與顯示裝置相反，其主要目的是作為人員對機具的溝通媒介，以傳送控制資訊給某一裝置、機構或系統。二次大戰期間，由於飛行員在飛機起降時，將起落架控制器誤認為起落襟翼控制器，致產生四百多件意外事故。主要原因是這兩種控制器最初設計的外型

動的控制方式，有向前或向後方向操控的差異，因此當租車時，一定要注意各種控制器是否都具有相同的操控方法，否則容易發生意外。

人一機系統

一九七二年東方航空公司一架L1011型客機失事墜毀，原因是飛機起落架沒有放下來，飛航交通管制員的聲音和機上電腦的嗶嗶聲，造成駕駛員聽不到警告訊號，這真是致命不良的人機系統介面設計。因此人機系統設計時，應針對人與機的不同特性，收集所需的資訊加以分析，而人是最複雜多變的動物，因此在設計人機系統時，首要的考量就是人。

人在多方面都有不同的表現與特性，因此所需收集的資料就特別多樣與困難，例如：感覺知覺性（視覺、聽覺、味覺、嗅覺、觸覺、運動覺、平衡覺等限制）、運動及肌力、智能（IQ、EQ等）、學習新技術能力、適應環境能力、身體尺寸、工作環境對人體能力的影響、反應刺激、習慣或民族性、錯誤形成的模式研究等。人的習慣或民族性各有不同，產品設計時的人機介面理念即有所不同，例如美國裝備的開關往上是ON往下來是OFF，歐洲的系統大多往下來是ON往上去是OFF。故台灣空軍飛行員換飛F-16與幻象2000時，會不會因習慣性的控制問題而產生危害呢？因此，人的使用習性會左右產品設計時的思維，尤其是與安全有關的設計需要特別加以注意。

人體中獨一無二的器官，可作為安全設計上的參考，如日本銀行開發出一套藉眼睛虹彩識別個人身分的裝置，僅需將眼睛對準機器附設的攝影機，即可將所攝得的虹彩與存檔中的比對，以確保使用者與業者的安全。英國倫敦的希斯洛機場在二〇〇二年啓用一套可掃描乘客眼球虹彩的先進安全系統，以替代護照檢查。其它如利用眼睛中的視網膜作為辨識系

統，也解決了部分手掌指紋的不安全性與密碼的解鎖或偽造性的困擾。這些特性皆可應用在工業安全裝備上，以確保只有那些適當合格的人員，才可以操作具有高危險性的系統或裝備。其他在緊急狀況時，若無法以視覺或聽覺

水龍頭依順時針或逆時針轉動的安排可以控制冷或熱水的流出，這就是一種移動相容性的設計。



的方式傳遞資訊，則可採用嗅覺作為偵測工具，如瓦斯漏氣等的警告。

人機介面採用全自動化的好處，包括增加產能、減輕手動的負荷與疲勞、減免例行作業、避免小疏失、更精確的操作及減少個別差異；但是缺點則是非人性化、工作滿意度低、使用者抗拒、操作員警戒性降低、寧靜的失效（指失效時不易被查覺）、人員的熟悉度低、過度依賴、願意無異議地接受假信號（當假信號出現時常會無異議地接受）等。因此，在設計人機系統時，需要明瞭人與機的優缺點後，才

歐、美民族習性與習慣的差異，使得一個開與關的動作有完全相反的操作方法，上下操作方式的不同極易造成錯誤。



能決定何項工作由人來負責，何項工作由機械執行較佳。

人因工程與重複性傷害病變

企業將勞力分為許多細小而重複的部分，設定每一工作的標準時間，並對完成工作所需的動作、技術加以訓練，其目的在減少時間的浪費，使工作速度增加。但就安全的觀點來

道。

有些國家則以立法方式來強制執行本項工作，如一九九六年加州的人因工程規定、一九九八年加拿大率先將人因工程的規範放入勞工安全衛生法中、美國職業安全衛生署（OSHA）每個月定期出版與重複性傷害有關的訊息，以達宣導與防治的目的。台灣在民國九十一年四月二十八日實施的職業災害預防及職業災害勞

工重建補助辦法第十二條中述及：加強人因工程控制技術研究，提供勞工健康及衛生技術諮詢服務等。在在皆顯示了，保護員工避免遭受重複性工作傷害的重要性與迫切性。

因為大部分人力的工作，須積極地使用上肢及肩膀等部位，故在重複性的手工作業型態中，手與腕的病變最為盛行，例如員工手部與腕部經常反覆從事類似的

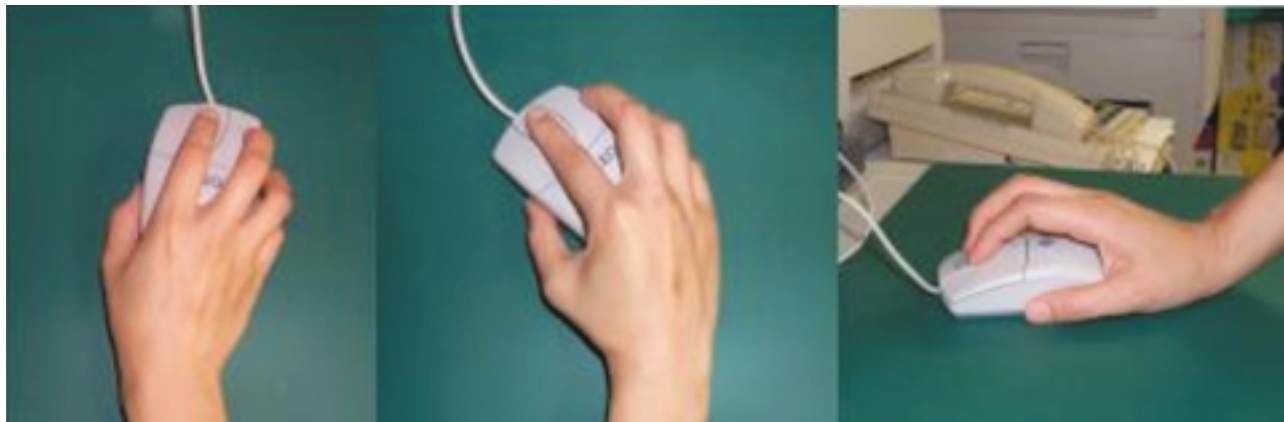
動作（如玩電腦遊戲）、以較大力量完成工作者（如肉品切割）、以不同姿勢或長時間工作者（如汽車裝修、美髮業）、經常或長時間壓迫腕部或手掌底部者（如揉麵）等，這些習慣性的姿勢持續進行後，造成上肢中常見的傷害如肌腱炎、腱鞘炎、德奎緬症、扳機指、內（外）



彎曲工具非彎曲手腕，以避免長期彎曲手腕，造成腕道症候群。

看，工作內容簡化後，員工經年累月地重複執行某些動作或作業，長期易造成員工骨骼肌肉方面的疾病。美國勞工部指出在工作場所中發生與重複性傷害有關的疾病占所有職業傷病的60%以上，國外基於重複性工作傷害，帶給國民與社會的嚴重影響，故不斷地尋求改善之

長時間操作滑鼠時，手部不良姿勢如尺偏（左）、橈偏（中）與背屈（右）均易造成腕道症候群。



側髖炎等傷害。

長期使用不當設計的手工具、使用工具時手臂必須舉高或工具必須握持一段長時間時，易造成操作者疲勞、減少連續工作的能力及肌肉產生疼痛。若手腕經常彎曲，當正中神經在通過手腕通道之處受到壓迫，易造成腕道症候群，此時患者手部的感覺及活動的功能受損，抓握時感覺異樣，經常晚上痛醒，拿電話、梳頭髮、扣鈕釦有困難。雖然使用外科手術開刀可以治療，但是若不改變工作習慣或作業空間設計，此症狀仍會持續出現而無法根治。預防這些症狀產生的工具設計關鍵，是使用工具時讓手腕與前臂保持自然直線，避免手腕彎曲，而將工具作彎曲設計。



為避免重複性傷害病變的產生，可藉由人因工程檢核表來調查工作場所中易對員工造成作業傷害的風險因子，如重複動作及持續性施力、不良工作姿勢、機械壓力、高低溫、振動等。針對這些危險因子結合人因工程設計、員工選擇、及教育訓練三方面，來建立全面控制及預防肌肉骨骼傷害的可行架構。

不當的人工物料搬運動作，也是造成員工下背傷害常見的問題，從生物力學的觀點來看，降低被搬物與人體間的距離，以使被搬物的重量對人員及腰椎產生的壓力最小，是較易改善的做法。為了有效防範因不當的人工物料搬運所產生的問題，應建立國人人體各部位的

質量、尺寸、重心、關節運動範圍、心跳、血壓、耗氧量等的統計值，以便作為不同高度、可用肌肉、手臂長及力矩、抬舉壓力等的評估，使能設計出符合國人的最佳人工物料搬運規範。

人因工程簡單地說就是榮耀使用者（honor the users）。古云：善將者，因「天」之時，就

地之勢，依「人」之利，則所向者無敵，所擊者萬全矣。為能落實安全工作，可採用參與式人因工程方法，讓員工在其工作場所中主動積極地確認人因工程的危害因子，發展有效的危害控制技術，改變管理觀念及操作政策，讓員工發掘自身的問題及願意加以解決，如此抗爭自會減小。再加上管理階層的支持、工作階層的執行以及人因工程專家協助的作為下，必可將人因與安全的結合做得盡善盡美。 □

趙金榮

中山科學研究院工安環保室

降低被搬物與人體間距離，以使被搬物重量對人員及腰椎產生的壓力最小（左圖不正確，右圖正確）。