

飛航安全：知覺與注意力研究的應用

葉怡玉

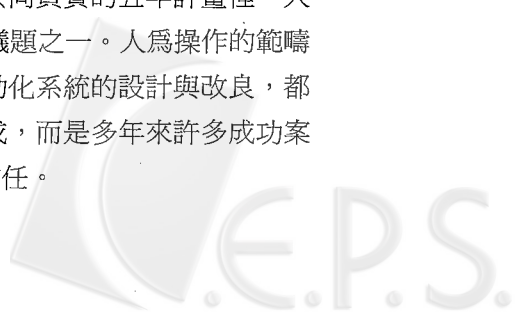
台灣大學心理系

本文的主要目的是介紹知覺與注意力的限制在航空領域的意涵，及其如何可被應用於系統設計、飛行員甄選、與飛行員訓練。以目視飛行而言，在許多情境裡，視覺容易受刺激脈絡的影響而產生錯覺，導致飛行員做出錯誤的判斷。以儀表飛行而言，儀表的設計應考量人類視覺的能力與限制，以提供最佳的訊息給飛行員。儀表版面的設計也應針對不同作業脈絡的考量，利用知覺的特徵來呈現訊息，更不可忽略不同版面的設計在某些作業裡可能造成判斷的困難。除了知覺的限制，系統設計者也需留意注意力限制的意涵，利用不同的方式提醒飛行員，以避免選擇或集中注意時的限制，以不同感官通道與介面設計來降低飛行員執行多重作業時的心智負荷。此外，飛行員的甄選與訓練都應考量知覺與注意力的限制，以甄選出優秀的飛行員，並安排經過特別設計的訓練課程，使飛行員能習得適宜的注意力分配與控制。

關鍵詞：人因工程、航空安全、知覺、注意力

航空心理學的發展

航空心理學乃人因工程學的主要領域，在此領域裡實驗認知心理學的知識廣泛地被應用於系統設計以及飛行員甄選與訓練上，以期達到飛航安全的目標。在航空領域裡，實驗心理學的重要性與貢獻是眾所公認的，在 1995 年美國航空總署所統籌規劃，太空總署與交通部共同負責的五年計畫裡，人為操作（human performance）的研究依然是核心議題之一。人為操作的範疇極廣：從生理週期韻律的影響，儀表設計，到自動化系統的設計與改良，都是重要的研究議題。然而今日的成就並非一夕所成，而是多年來許多成功案例的證明，才取得政府與飛機製造業者的重視與信任。



從萊特兄弟開始飛行的那一天，有效能（effectiveness）而無失誤的人為操作在航空領域裡便是眾所關心的議題。然而，系統性的以實驗認知心理學的知識與方法探討人為操作的問題，卻是始於第二次世界大戰。由於當時需要大量的飛行員投入戰場，有效能的甄選與訓練，以及找出造成許多資深飛行員失誤的原因，便成為需要立即解決的問題。1939 年英國的醫學研究委員會（Medical Research Council）邀請當時任教於劍橋大學的 Bartlett 教授研究軍航裡的一些問題。他帶領一群心理學家成立研究群，針對人為技巧（human skills）的基本歷程進行研究，並改良而裝置了「劍橋機艙」的研究設備。當時的研究對睡眠缺乏與疲勞的影響、飛行員甄選與訓練、儀表設計等問題，均提供了重要的貢獻（Edwards, 1988）。同時在大西洋的彼岸，也有許多知名的實驗心理學家被徵召來探討飛行裡的人為誤失問題。其中最著名的便是 Fitts 和 Jones（1947）將儀表指針讀取資料的錯誤分為九類，而將飛行員所犯的控制錯誤分為六類。他們的研究結果引起了人們對實驗心理學如何應用於機艙內儀表的布置規劃（layout）、儀表面板形式（display format）、以及人為誤失類型與原因的興趣。在同一年，Williams（1947）也發表了一篇探討飛行員作業的重要文章，引起人們關心飛機操控的改善。Mackworth（1950）的警戒（vigilance）研究，也開啓人們對持續注意力研究的興趣。

隨著時代的變遷，高科技漸漸被引進機艙設計，大量的訊息刺激挑戰著飛行員的視覺、聽覺、注意力、以及決策，飛行員的角色也從主控者轉變為監控者。如何利用各類協助導航系統以及介面的設計，來幫助飛行員因應他們在飛航環境裡可能面對的種種問題，已變成了飛行安全的新課題。Edwards（1972）所提出的 SHELL 模式便指出飛航環境裡（environment）的三個重要資源：軟體（software）、硬體（hardware）、以及人力（liveware），並強調每個資源內各個成份間，以及不同資源間彼此的互動。Edwards 指出硬體與軟體的設計必須考量人為操作的能力與限制，而如何有效地甄選與訓練飛行員也是增加飛航安全的重要因素。無論未來科技將帶領航空到何境界，只要有飛行員坐在機艙裡監控飛機的飛行，研究人為操作的能力與限制，以及人員的甄選和訓練，便永遠是認知科學在飛航安全上的兩大核心問題。本文的重心將放在知覺與注意力方面的議題。⁽¹⁾

知覺能力的限制

在三度空間裡任我自由遨翔是許多飛行員之所以成為飛行員的主要動機。也因此，在天氣良好的狀況下，目視飛行是許多飛行員所偏好的飛行模式。然而，受到人類知覺能力的限制，目視飛行卻無法避免某些錯覺的發生。這類問題在夜間更為突顯，以黑暗適應而言，人們的適應能力隨著高度的升高會降低，到了一萬六千英尺會減低40%。在黑夜裡，另一可能出現的錯覺便是如果飛行員盯著一個靜止的燈光12秒後，會以為該物體在動，產生 autokinesis。夜間飛過海洋而要降落離海不遠的機場時，也容易誤判高度。此研究起源於60年代裡，許多飛安事件都是發生在天氣晴朗，機場燈光清楚的情境裡，當時任職於波音公司的心理學家 Kraft 注意到這些事件常出現在離海不遠的飛機場或是黑暗地區，因此假設這些事件可能與高度高估有關（Kraft, 1978）。他的模擬機研究支持了他的假設，波音公司也根據此研究結果，告知全球航空公司此種「黑洞趨近」(dark-hole approach) 的可能存在的危險性。

為何飛行員在趨近機場時不用高度儀表 (altimeter) 呢? 原因是在起飛或降落時，飛行員需要很仔細的監督速度，調整引擎的馬力，掌握飛機的控制，與航管溝通等複雜作業。此時，飛行員容易忽略高度儀表的監控。此種忽略在白天裡亦然，而使得高度的誤判容易產生險象環生的情況。Gibson 的研究曾指出在光流 (optic flow) 中，行駛方向的中央點 (heading) 是靜止不動的。飛行教官在教導學生時，也會指導他們如何以此光流靜止不動點為視覺衝擊點 (visual impact point)，再以線性透視 (linear perspective)、質地 (texture) 和光流等訊息來維持衝擊點與水平線成3度的下降滑行斜率，便可正常下降。然而，此種目視進場的方式在某些情境會產生錯誤的判斷。例如：跑道窄時，飛行員會以為自己太高，而以太低的高度趨近跑道；當跑道過寬時，飛行員會以為自己太近地面而以過高的高度趨近跑道。而跑道附近樹叢的高度，也會影響飛行員對高度的錯誤判斷，樹叢太矮時，飛行員會以為自己高度太高，而以過低的高度趨近。另外，當跑道設在坡度上而飛行員誤以為是平面時，也容易發生距離判斷的錯誤。因此，跑道的設計應該以平面為基地，尺寸必

須符合國際標準，分寸不可多也不可少；而跑道附近的視覺線索是否會誤導飛行員對高度的判斷，也是應該注意的細節。在許多航空學校的「人為操作與限制」課程裡都詳細的介紹各種錯覺（可參考Leibowitz，1988針對某些視覺議題的討論），使學員瞭解他們在未來飛行中可能遭遇的現象。

也有許多視覺的錯誤判斷是發生在特殊情境。當此現象出現的時後，飛行員可以迅速理解該現象而不致被誤導。例如：有霧時，飛行員容易高估大小與距離；在雲層上，當視野什麼都沒有時，水晶體放鬆，聚焦（accommodation）在幾呎，卻以為在看無限遠的地方而錯估距離；在有坡度的雲層裡，容易以為實際是水平飛行的飛機不是在水平的位置上（即飛機確實是維持在水平線，但飛行員以為飛機的軀體已經傾斜）；當突然進入雲雨而失去視覺線索時，在1秒內容易失去水平而讓飛機傾斜；遇到低高度的亂流時（buffet and low-altitude turbulence），由於震動頻率高，使得物體無法停留在視網膜上達100ms之久，而將錯誤的消息輸入大腦；從因為飛機失速而產生的向下旋轉（spin）掉落中恢復時，不自然的眼球動作發生眼顫（nastagmus），飛行員有時仍感覺靜止的物體或燈光在動，而採取激烈的躲避行動；在黑暗中當飛機加速時，若眼睛盯住遠方燈光時，會覺得燈光往上移動而感覺往上移動。因為這些錯覺現象平時出現的頻率很低，飛行員若不利用模擬機練習種種天候的可能危險狀況，一旦錯覺出現時，便會不知如何因應而做出錯誤的選擇。

有的視覺判斷並非是錯覺的產生，而是判斷的本身就很困難，例如：如果兩架噴射機以每分鐘18英里的速度（巡航的速度）面對面的飛過來，飛行員從估計到採取行動所需的時間是5.0到12.5秒，可以評估確認距離時是在兩者相距1.5到3.8英里。在此距離，即使是大型飛機看起來也是非常小，愈小的物體，偵測的困難度也愈高。即使看見，飛行員也多半以為是視窗上的灰塵、黑點、或損壞。即使已告知附近有其他飛機，許多飛行員仍看不見。如果迎面飛來的飛機是以同等速度逼近，因為相對速度差為零，面對面的移動物體會被知覺為靜止的。雖然我們的邊緣視野會對動作敏感而有所感覺，但因為飛行員認知上覺得航管人員不會任兩架飛機面對面的迎向對方，因此當此現象出現時，反應會因為事件違反期待而變得較慢。

當視覺與平衡覺衝突時，人們的知覺往往也會造成一些錯誤的判斷。例如：當飛機翼傾斜的角度小於平衡系統的閾限而飛行員更正時，平衡系統會送信號讓飛行員覺得矯正過度而傾斜身體和頭，直到飛行員認為的垂直線方向，這種現象可持序長達半小時之久（Leibowitz, 1988）。此時最好的解決方法是找到地平線，在看到的一剎那，此現象會立即消失。傾斜誘發效果（tilt-induction effect）在軍航裡做協調轉彎（coordinated turn）時更容易出現。最早的傾斜誘發效果來自「棒與框」實驗的結果，在全黑的房間裡受試者注視一個發光的框，框裡有一根發光、可移動的棒。實驗者將框做各種角度的傾斜，而受試者的作業是將發光的棒移動他認為是垂直的位置。結果發現許多受試者的判斷受到框架傾斜角度的影響。之後，有以「傾斜房間與傾斜坐椅測驗」的方式，也發現受試者對自己坐椅的傾斜角度判斷會受到房間傾斜角度的影響。因此，在判斷時常會過度矯正自己的坐椅角度。

軍機練習或作戰會做高難度的協調轉彎而出現類似實驗室的傾斜誘發效果，當飛機向右轉，飛行員以為機翼是水平；轉出時，飛行員以為向左傾斜；當飛機水平時，會以為更向左傾斜。此時，飛行員會將頭和身體傾斜向右方，因為他們以為垂直線在右邊。當軍機剛從大轉彎時，由於速度快且反重心力量大，視覺也因不自主的眼球震顫而使儀表資料的讀取增加困難度。其他錯覺，例如交互連結（cross-coupling effect），則是發生在穩定的轉彎而飛行員猛然轉頭時（例如改收音的頻道），如果另一半規管受刺激，會以為是向另一平面移動而造成眩暈（vertigo），甚至有滾動，翻跟斗（tumbling）的感覺。雖然這些錯覺不常發生，但極容易讓飛行員分不清楚方向。飛行員的空間迷向，往往來自感官訊息不正確的解讀。也因為如此，飛行教官更應該強調感官機制的限制，以及相信儀表而忽略矛盾的訊息。若遇到空間迷向或錯覺，只要盯住儀表，將機翼平飛，避免頭的動作，並與管制員溝通，盡量迅速將飛機降到可以看到地平線的高度。



儀表的設計

由於人類知覺能力的限制，儀器飛行（instrument flying）便是最佳的因應之道。也因此，「玻璃機艙」（glass cockpit）以及「超級機艙」（super cockpit）裡的顯示器儀表（display）系統，以及其介面的設計，便成為知覺心理學知識的最佳應用情境。以下舉例說明在航太儀表科技研發過程中，視、知覺研究在應用上的貢獻與影響；有興趣的讀者可再從有關的參考文獻中瞭解詳細的內容。在彩色電腦螢幕被放進757/767的機艙前，波音公司的心理學家進行大規模的色彩研究。由於不同螢幕可能使用不同的亮光點（phosphors），研究者首先必須針對最常被使用的不同亮光點，測量其三原色（紅、藍、綠）所限制出的色彩空間（color space），並依照色彩區辨的基礎研究發展計算算則（algorithm），導出在此色彩空間裡最可區辨的七種顏色。之後，再以不同的視覺作業（如：色彩知覺，尋找目標，讀取高度的數字）驗證此計算算則。為了確認這些色彩在不同照明情境下不會失去飽和度，研究者在實驗室裡模擬不同的照明度，並操控明視度（luminance）而重複視覺作業。此項計畫乃視覺基礎研究應用於航空系統設計的成功案例，研究者也因此得到美國人因學會（Human Factors Society）的成就獎。其結果不但影響了757/767機艙內螢幕所使用的色彩，研究者也將種種有關文獻編制為應用色彩視覺研究者常引用的技術報告（Silverstein & Merrifield, 1985），並將其色彩區辨的計算軟體供他人使用（Silverstein & Lepkowski, 1986；Silverstein et al., 1986）。

類似的問題在彩色矩陣螢幕（Color Matrix Display）科技尚未成熟時，便有應用視覺領域的研究與討論。此螢幕技術以矩陣形式而非傳統的電腦螢幕發光體以三角形的形式排列；因此，其圖素（pixel）的排列便可以有不同方式的組合。其一是仿製三角形的形式排列，其二是以紅、藍、雙綠為四個單元的組合，其三是以紅、藍、綠、以及白色的組合。液晶螢幕的幕後推動者，同時來自於電腦界與航空界。對波音公司而言，他們希望能以較輕且不佔空間的彩色液晶螢幕取代傳統的螢幕，如此便可稍微減輕飛機的重量。在此硬體科技發展的階段中，應用視覺的研究扮演舉足輕重的角色。圖素排列的專利中，一個以R-G-B-Y（紅、藍、綠、以及黃）組合的專利即來自當時任職

於Sperry（一個飛機零件（avionics component）製造廠商）研究中心的心理學家，Silverstein。由於每種排列組合都有基礎視覺研究作為其理論根據（如：R-G-B-Y是根據色彩視覺三種管道的理論），實徵研究便成為決策的重要依據。

Silverstein率領的研究群，以實徵研究探討圖素密度、灰階層次、以及不同繪圖位置算則（addressing algorithm），如何影響不同知覺情境下的主觀影像品質判斷，以及其客觀的人為操作表現。部份的研究結果可參考Silverstein與其同仁的文章（Gomer et al., 1988；Krantz & Silverstein, 1990；Krantz, Silverstein & Yeh, 1992；Silverstein et al., 1990）。由於當時彩色矩陣螢幕的科技仍在發展中，在這些研究裡，他們引用了光學的方式來模擬彩色矩陣螢幕。這一系列的研究提供了彩色矩陣螢幕科技發展重要的訊息，其研究方法也提供了研究者探討其他科技（如彩色印表機、影像處理）重要的參考。Silverstein所率領的研究群也針對明視度（Krantz & Silverstein, 1991），色彩等其他相關議題提供製造者相當重要的資料。Silverstein並進一步的認為無論未來螢幕硬體為何，最重要的是結合其物理以及材料特質，導出其光學模式，再將此輸進人類視覺模式，計算推論人類觀察者可能的視覺知覺（Silverstein & Fiske, 1993）。類似的應用視覺研究也在AMLCD的科技有重要的貢獻（Fiske & Silverstein, 1993a, 1993b, 1994；Martin et al., 1997）。

在航空的領域裡，情境覺知（situational awareness）是相當重要的，此覺知不但包括知道自己在三度空間的位置、他人在此空間的相對位置，也廣泛地被引用到飛行員知道飛機系統狀況，以及在不同情境該如何因應。在此，我們將討論限制在空間覺知（spatial awareness）而不討論對系統狀態的覺知。在三度空間的天空裡，許多單眼深度線索常常是不存在的。如何利用儀表提供有效的三度空間知覺便是許多人所關心的議題。在此領域裡，我們曾針對雙眼像差的深度螢幕（stereoscopic displays）的相關議題發表了一些研究（Yeh & Silverstein, 1990, 1992），從雙眼像差的基本問題開始，探討融合（fusion）的像差範圍，也以實徵研究證實利用可融合的像差於深度螢幕之中時，深度線索可加強知覺判斷。更有趣的是我們測量了聚焦（accommodation）與收斂（convergence）的資料，除了驗證此兩者在此螢幕科技確實是分離的（dissociation），像差影響收斂而不影響聚焦，使得約二小時的使用後產生視

覺疲倦 (visual fatigue)。在日常自然狀態下，聚焦和收斂隨著觀察者與物體的距離而同時運作；但在目前的深度螢幕科技上，受試者的聚焦多停留於螢幕的距離，而收斂隨著像差而改變，產生分離。此驗證分離的實徵資料促使研發者進一步思考可以如何解決分離的問題，而發展下一代的深度螢幕。除了雙眼像差的線索，動作 (motion) 也可產生深度知覺，也可應用於一般螢幕而加強深度感 (Kaiser & Proffit, 1992)。由於頭盔螢幕 (helmet-mounted display) 極可能是下一代的重要螢幕科技，也可應用在虛擬環境，不論美國空軍、航空界、或螢幕製造廠商對如何結合深度知覺與三度空間繪圖技術都深感興趣。而虛擬環境裡的不同感官結合更需要知覺心理學家深入探討視、聽、觸、以及嗅覺的整合。針對虛擬環境裡的知覺問題可參考Ellis和Kaiser所編的書籍 (Ellis, Kaiser & Grunwald, 1993) 與Ellis及其同仁的實徵研究 (e.g. Ellis & Menges, 1998; Nemire, Jacob & Ellis, 1994)。

由於飛行裡的三度空間環境，三度空間繪圖的技術一直是一個可能被引用於機艙內呈現空間訊息的方式 (Ellis, McGreevy & Hitchcock, 1987; Ellis et al., 1993; Kaiser, 1996; McGreevy & Ellis, 1987; Schreiber et al., 1998)。然而，三度空間繪圖的方式極有可能對某些判斷如：在垂直與水平方向之外的方位 (azimuth) 判斷，因此如何設計具有彈性的訊息呈現，便成為重要的議題 (Silverstein et al., 1990)。同時，過多的螢幕訊息也可能造成視覺負荷過高，如何計算優先順序，並用透明 (transparency) 的繪圖技巧呈現順序較低的訊息，也成為思考的方向。除了三度空間繪圖的議題，其他知覺問題中，尤以光流和動態環境裡的知覺，與航空裡的應用最有相關 (Hecht, Kaiser & Banks, 1996; Kaiser & Calderone, 1991; Kaiser & Hecht, 1995; Kaiser, 1998)。這些基礎的研究可幫助設計者釐清飛行員在不同情境下可能產生的知覺判斷，進一步利用高科技協助飛行員做出正確的判斷。

然而，如果沒有系統性的實徵研究加以佐助，高科技的協助卻可能會帶來反效果，例如：頭上投射螢幕 (head-up display) 便是最好的例子。此科技乃是利用光學原理將訊息投射於機艙的窗戶上 (或車窗上)，其用意是減低飛行員必須向下尋找儀表資料的頻率。然而，即使訊息投射在無限遠，飛行員仍常聚焦於窗戶上。同時當飛行員專心於讀取訊息時，其注意力過於集中於

訊息而容易忽略了在遠處的物體（Fischer, Haines & Price, 1980, 但見 Martin-Emerson & Wickens, 1997 的證據, 支持此種螢幕確實可分散注意力）。由此例子, 我們得知高科技的引進之前, 必須系統性的探討其對使用者可能的影響, 從其中得知可能的負面效果, 再尋求解決之道。又如: 物體螢幕儀表版面設計 (object display format) 乃利用完形知覺 (Gestalt perception) 的原理, 將不同管道的訊息以物體的方式呈現, 可讓使用者迅速由物體形狀的改變, 而偵測某個系統的失常。然而, 在有些情境下, 此呈現方式也許並非最佳的選擇, 如需要選擇注意其中一個向度的訊息時, 便較難忽略結合於一物體的其他向度訊息。因此, 理解機艙內介面設計的原則與限制, 便成為重要的議題。

注意力研究的應用

人類注意力是訊息處理的主要瓶頸, 不論選擇注意力、集中注意力、以及分散注意力, 人們都有其限制。就選擇注意力而言, 人們容易被顯著而非具有診斷性的線索吸引, 造成忽略重要訊息的情形。在 1972 年於 Everglades 一架飛機撞毀, 其原因來自所有人都將他們的選擇注意力放在一個功能可能失常的儀表, 而忽略高度儀表的讀取, 也忽略隨後的警告信號 (c.f. Wickens, 1992)。雖然此事件因為團體分工不當, 而常被引用為組員資源管理 (crew resource management) 的案例, 但我們也不可忽略飛行員選擇注意了錯誤訊息的前因。就集中注意力而言, 即使人們努力控制, 我們也常無法集中注意力於環境中某個訊息的來源, 而會被環境中的其他訊息或自己的思念所干擾。尤其當人們被與自己切身有關的思念所分心時, 這些心思意念常會盤據注意力而影響認知與情緒 (見 Martin & Tesser, 1989 有關盤繞不去 rumination 思念的探討)。就分散注意力而言, 人們常無法有效地分配注意力於所有想要處理的訊息, 也無法有效地同時處理兩個以上的作業。

注意力的隱喻可分為: 探照燈 (searchlight, Wachtel, 1967)、視覺掃描 (visual sampling, Senders, Fisher & Monty, 1978)、物體知覺的黏膠 (glue, Prinzmetal, Presti & Posner, 1986)、能力 (capacity, Kahneman, 1973)、



以及資源 (resource, Norman & Bobrow, 1975)。由於日常生活裡人們的選擇與集中注意力常伴隨眼球的移動，航空心理研究常蒐集眼球移動的資料，以確認選擇注意力的焦點，飛行員內在心智模式的預期，儀表布置規劃的合宜性 (Fitts, Jones & Milton, 1950) 等。由掃瞄的研究，研究者歸納出四個結論：(1) 人們對環境裡事件的統計特質形成心智模式而根據此模式來引導掃瞄；(2) 人們掃瞄的頻率乃根據事件出現的頻率；(3) 因記憶的限制，人們會忘記掃瞄某些訊息來源，也會掃瞄不久前才掃瞄過的來源；(4) 預示 (preview) 可增加掃瞄的適宜性，但此適宜性會隨著訊息來源數目的增加而降低 (見 Wickens, 1992)。因此，眼球移動軌道的訓練，可作為複雜技巧習取的方法 (Shapiro & Raymond, 1989)，而掃瞄時的頭部動作，也可被用來訓練頭盔螢幕情境下的飛行技巧 (Seagull & Gopher, 1997)。

就分散注意力研究的應用而言，可分為兩類：儀表版面形式的設計 (如物體儀表版面) 以及時間分享 (time sharing)。由於飛行起飛與降落時作業的複雜度，傳統以來雙作業 (dual task) 的同時操控一直是航空心理學裡相當重要的研究典範。因此，任何與分散注意力有關的研究都可以應用於此領域，其結果也有重要的意涵。在雙作業裡，注意力被視為是可被分配的資源，彈性地運用於不同作業中。但由於資源的有限，心智負荷 (mental workload) 的議題在 80 年代成為航空心理學裡，相當重要的議題 (見 Gopher & Donchin, 1986 的回顧)。繼多重資源理論 (Multiple resource theory, Navaon & Gopher, 1979; Wickens, 1980, 1984) 的推出，航空界的人士便嘗試應用此理論於機艙設計。根據此理論，人類擁許多個資源缸 (resource pools)。Wickens (1984) 將它們按照三個向度來區分：輸入模態是視覺或聽覺 (input modality: visual and auditory)、處理內涵是知覺/認知或動作 (perceptual/central and motor)、以及輸出模態是手動或語言 (output modality: manual and speech)。

此三資源向度在飛行的作業裡是常常遇到的，例如：視覺的儀表訊息，聽覺的警告訊息，知覺空中交通儀表所呈現的訊息，認知判斷問題的解決，手動的操控方向盤，用語言與塔台溝通等。根據多重資源模式，飛行員是否能有效的同時操控兩個作業，乃取決於兩個作業是否競爭同一資源缸。當兩

個作業競爭同一資源缸，操作受影響的程度較大；當兩個作業分散其要求於不同的資源缸時，操作受影響的程度較小。根據此模式，當作業負荷高時，介面設計應分散其於不同的資源缸。許多實徵研究都支持此模式的預測，並發現有所謂的相容性（compatibility）原則，亦即類比物圖形（analog pictures）的呈現方式與空間處理較相容，而語文處理與聽覺語言的方式較相容（Wickens, Sandry & Vidulich, 1983）。此模式預測人為操作的表現上，心智負荷在客觀表現與主觀評估上將會分離（Yeh & Wickens, 1988）；亦即某些變項增加主觀的心智負荷卻降低人為操作表現的失誤。飛行員的主觀評估一直是心智負荷的重要指標，也影響飛行員接受新設計的程度。因此，釐清主觀評估與客觀表現的差異，有助於向飛行員說明新設計的優點，以說服他們的接受力。另外，多重資源理論的架構也可被納入預測在飛行時段中，不同時間點上因時間分享效能而影響的心智負荷（Sarno & Wickens, 1995），進而提供彈性調整飛機介面設計上的一個思考點。

由於分散注意力的重要性，集中與分散注意力的研究典範常被引用於比較不同的螢幕效能。例如：在比較手持螢幕（hand-held display）與頭盔螢幕時，Yeh 和 Wickens（1998）操控提示線索（cueing）和配合（conformality）在集中與分散注意的情境裡，對視覺搜尋隱藏於地形的物體、物體辨認、以及判斷其方位作業的影響。他們的結果發現提示會妨礙次要作業（secondary task）的表現，會使受試者錯失環境中非預期的目標的出現。此種認知隧道（cognitive tunneling）的現象，類似實驗室所研究的回視抑制（inhibition of return, Posner & Cohen, 1984），是過度集中注意於提示位置的結果，但此現象在手持螢幕的情境較為減低。由此例子，我們可以看見如何應用實驗室的研究典範於複雜的實際環境，並幫助高層決策者決定何種科技的適當使用，最能協助使用者的操作表現。

除了作業結構（如輸入模態），資源分享也受其他因素的影響：作業的困難度、作業處理自動化的程度、策略、以及個別差異。當一作業的難度增加時，另一作業的表現會降低。相反的，當一作業的處理已進入自動化，其所需要的資源大為降低，可使操控者有更多資源處理另一作業。有效的策略，如適當的轉移（switching）或按照作業困難度分配資源，也能幫助資源分享

的成功。由於注意力的研究顯示個別差異而自動化歷程也可經由訓練而產生，這些基礎研究的研究典範與結果都可利用在飛行員甄選與訓練上。以甄選為例，Gopher（1982）發現選擇注意力的能力，可預測飛行學生是否能成功的通過兩年的訓練。另外，由飛行教官與學生的表現，得知兩族群雖然在主要作業上表現程度相等，但在次要作業上卻有明顯的不同（Damos，1978）。因此，雙作業的研究方式，也可被應用於甄選，以測量剩餘注意力上的個別差異。

教官與學生的表現差異，有大部分來自於前者多年的飛行經驗，已使得許多訊息處理歷程達到自動化的程度；或是來自他們的分散注意力在資源分享上比較有效率。因此，自動化的發展以及資源分享的技巧，都是訓練課程裡重要的學習單元。當人們剛開始學習複雜技巧時，作業內有許多處理都屬於控制歷程（controlled process），需要注意資源（Schneider & Shiffrin，1977）。因為注意力資源的有限，人們無法關切於所有控制歷程。若此時人們選擇同時學習所有的成分，任何作業成分的處理可能無法發展到自動化的程度。因此，有一種好的訓練方式，便是分解作業的成分，先集中訓練一個成分，使其處理歷程達到自動化的境界。當此成分處理達到自動化歷程時，此作業將不再需要注意力的資源。這時，便可加入第二成分作業，讓受訓者同時處理兩個作業。如此，逐漸累進到全部作業的練習（有關自動化發展之應用於訓練可參考 Schneider，1985；Schneider & Detweiler，1988）。相對於成分作業的訓練方式，Gopher 及其同仁（Gopher，Weil & Siegel，1989；Gopher，1993）提出由分散注意力與時間分享技巧的習得，來訓練複雜作業。此研究者認為在複雜作業中最重要的技巧是注意力的控制。因此，從第一次的訓練就應該讓受訓者經歷整個作業的情境，並教導他們如何按照作業成分的重要性分配注意力。Gopher（1996）並進一步地研究由下而上的注意控制與由上而下的執行控制（executive control），如何聯合影響注意力。此研究更進一步證實注意力控制的訓練，確有其實用性。



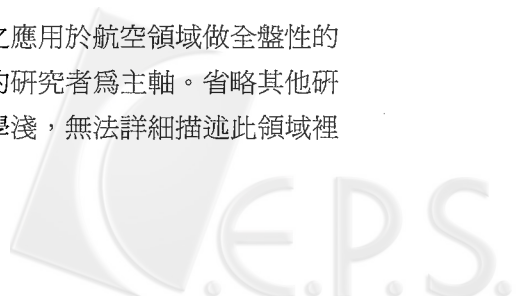
結語

人類訊息處理的能力與限制，一直是航空心理學領域裡所關切的議題。雖然人類有過於機器系統之處，但在工作記憶、決策、以及手動控制等類處理歷程中，仍充滿瓶頸與限制。雖然自動化系統正逐漸取代飛行員的工作，使得飛行員已從操控者變成監控者，但是也同時帶來許多人機互動的問題。Wickens (1999) 指出系統設計者應該分析使用者認知作業的內涵，釐清認知能力的特質與限制，而設計出以人為中心的自動化系統。就訊息整合而言，如果系統穩定性高，他建議可採高度自動化。就決策選擇而言，若風險大，應降低自動化程度。就反應執行而言，若決策性低，高度自動化有其優勢。另者，在訊息整合的自動化設計中，可考慮過濾 (filtering)、強調 (highlighting)、物體形狀螢幕、以及診斷預測性的資料分析，並告知提示預測不穩定的程度。當決策風險大時，過份的自動化反而可能會帶來負面效果。因為在此情境中，人們較難偵測到自動化系統的失敗，也失去某程度的情境覺知，更會因為自動化而失去對系統運作與狀況的熟悉，以及原來成熟的控制技術。

由於科技的日益精進，今日的飛行員扮演的角色已非昔日萊特兄弟所扮演的角色。也因此，高層次的認知能力如心智模式的建立、問題解決、假設建立與測試、以及決策等，便逐漸成為重要的議題。這些領域的基礎研究可提供於自動化系統以及專家系統的設計，也可提供飛行員甄選與訓練的另一思考角度。只要科技不斷的進步，它們便會被引用於航空領域之中。如何結合人類特有的能力與系統的特長，將永遠是航空心理學的研究議題，也是加強飛航安全不可或缺的重要一環。

註釋

(1)由於篇幅的限制，本文無法針對認知心理學之應用於航空領域做全盤性的介紹。在文獻的呈現上，也以作者比較熟悉的研究者為主軸。省略其他研究者並非他們的研究不重要，而是作者才疏學淺，無法詳細描述此領域裡

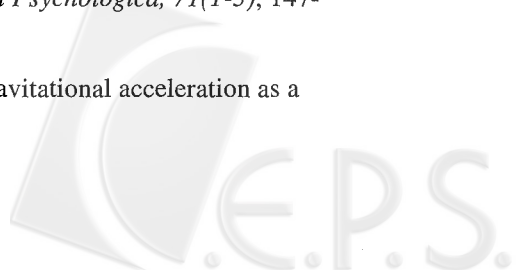


的眾多研究。

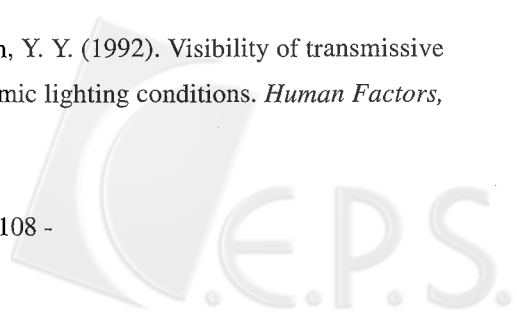
參考文獻

- Damos, D. (1978). Residual attention as a predictor of pilot performance. *Human Factors, 20*, 435-440.
- Edwards, E. (1972). Man and machine: Systems for safety. In *Proceedings of British Airline Pilots Association Technical Symposium* (pp. 21-36). London: British Airline Pilots Association.
- Edwards, E. (1988). Introductory overview. In E. L. Wiener, & D. C. Nagel (eds.), *Human Factors in Aviation* (pp. 3-25). San Diego, CA: Academic Press.
- Ellis, S. R., Kaiser, M. K., & Grunwald, A. C. (eds.). (1993). *Pictorial communication in virtual environments*. London: Taylor & Francis.
- Ellis, S. R., McGreevy, M. W., & Hitchcock, R. J. (1987). Perspective traffic display format and airline pilot traffic avoidance. *Human Factors, 29*(4), 371-382.
- Ellis, S. R., & Menges, B. M. (1998). Localization of virtual objects in the near visual field. *Human Factors, 40*(3), 415-431.
- Ellis, S. R., Smith, S., Grunwald, A. C., & McGreevy, M. W. (1993). Direction judgement error in computer generated displays and actual scenes. In S. R. Ellis & M. K. Kaiser (eds.), *Pictorial communication in virtual and real environments* (pp. 504-526). London: Taylor & Francis.
- Fischer, E., Haines, R., & Price, T. (1980, December). *Cognitive issues in head-up displays* (NASA Technical Paper 1711). Washington, DC: NASA.
- Fiske, T. G., & Silverstein, L. D. (1993a). Accurate color rendering for display simulation. *Society for Information Display Technical Digest*, 133-136.
- Fiske, T. G., & Silverstein, L. D. (1993b). Characterization of viewing-angle dependent colorimetric and photometric performance of color LCDs. *Society for Information Display Technical Digest*, 565-568.

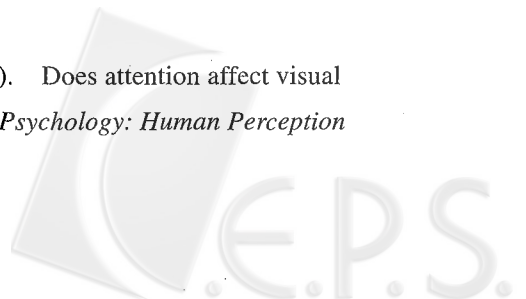
- Fiske, T. G., & Silverstein, L. D. (1994). Modeling and optimization of color gamut and color tracking in high-performance AMLCDs. *Society for Information Display Technical Digest*, 329-332.
- Fitts, P. M., & Jones, R. E. (1947, October). *Analysis of 270 "pilot error" experiences in reading and interpreting aircraft instruments* (Report TSEAA-694-12A). Wright-Patterson Air Force Base, HO: Aeromedical Laboratory.
- Fitts, P., Jones, R. E., & Milton, E. (1950). Eye movements of aircraft pilots during instrument landing approaches. *Aeronautical Engineering Review*, 9, 24-29.
- Gomer, F. E., Silverstein, L. D., Monty, R. W., Huff, J. W., and Johnson, M. J. (1988). A perceptual basis for comparing pixel selection algorithms for binary color matrix displays. *Society for Information Display Technical Digest*, 435-438.
- Gopher, D. (1982). A selective attention test as a predictor of success in flight training. *Human Factors*, 24(2), 173-183.
- Gopher, D. (1993). The skill of attention control: Acquisition and execution of attention strategies. In D. E. Meyer, & S. Kornblum (eds.), *Attention and performance 14: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience* (pp. 299-322). Cambridge, MA: MIT Press.
- Gopher, D. (1996). Attention control: Explorations of the work of an executive controller. *Cognitive Brain Research*, 5(1-2), 23-38.
- Gopher, D. & Donchin, E. (1986). Workload: An examination of the concept. In K. R. Boff, Kaufman, L., & Thomas, J. P. *Handbook of perception and performance* (pp. 42-1 to 42-49). New York: John Wiley & Sons.
- Gopher, D., Weil, M., & Siegel, D. (1989). Practice under changing priorities: An approach to the training of complex skills. *Acta Psychologica*, 71(1-3), 147-177.
- Hecht, H., Kaiser, M. K., & Banks, M. S. (1996). Gravitational acceleration as a



- cue for absolute size distance? *Perception & Psychophysics*, 58(7), 1066-1075.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kaiser, M. K. (1996). High-power graphic computers for visual simulation: A real-time-rendering revolution. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 28(2), 233-238.
- Kaiser, M. K. (1998). The perception of dynamical constancies. In V. Walsh, & J. Kulikowski (eds.), *Perceptual constancy: Why things look as they do* (pp. 436-454). New York: Cambridge University Press.
- Kaiser, M.K., & Calderone, J. B. (1991). *Perception & Psychophysics*. 50(5), 428-434.
- Kaiser, M.K., & Hecht, H. (1995). Time-to-passage judgments in nonconstant optical flow fields. *Perception & Psychophysics*, 57(6), 817-825.
- Kaiser, M. K., & Proffitt, D. R. (1992). Using the stereokinetic effect to convey depth: Computationally efficient depth-from-motion displays. *Human Factors*, 34(5), 571-581.
- Kraft, C. L. (1978). A psychophysical contribution to air safety: Simulator studies of visual illusions in night visual approaches. In H. Pick, H. W. Leibowitz, J. R. Singer, A. Steinschneider, & H. W. Stevenson (Eds.), *Psychology from research to practice* (pp. 363-385). New York: Plenum.
- Krantz, J. H., & Silverstein, L. D. (1990). Color matrix display image quality: The effects of spatial and luminance sampling. *Society for Information Display Technical Digest*, 29-32.
- Krantz, J. H., & Silverstein, L. D. (1991). Visibility of active matrix LCDs under simulated cockpit lighting conditions. *Society for Information Display Technical Digest*, 806-810.
- Krantz, J. H., Silverstein, L. D., and Yeh, Y. Y. (1992). Visibility of transmissive liquid crystal displays under dynamic lighting conditions. *Human Factors*, 34, 615-632.

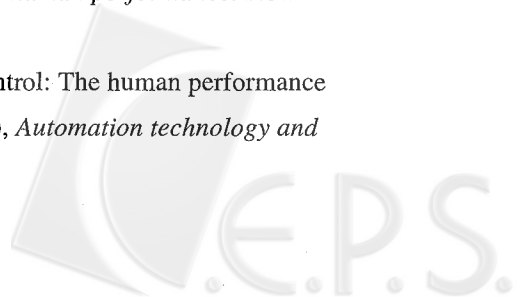


- Leibowitz, H. W. (1988). The human senses in flight. In E. L. Wiener, & D. C. Nagel (eds.), *Human Factors in Aviation* (pp. 83-110). San Diego, CA: Academic Press.
- Mackworth, N. H. (1950). *Researches on the measurement of human performance* (Medial Research Council Special Report Series 268). London: His Majesty's Stationery Office.
- Martin, L. L., & Tesser, A. (1989). Toward a motivation and structural theory of ruminative thought. In J. S. Uleman & J. A. Bargh (Eds.), *Unintended thought* (pp. 306-326). New York, NY: Guilford Press.
- Martin, R. A., Batey, J., Nguyen, M., Raber, E., Siemens, D., Steemers, H., Stuber, S., Thompson, M., Turner, W., Tilton, M., Silverstein, L. D., and Potts, M. (1997). Design of high-resolution AMLCDs with greater than 2000 gate lines. *Society for Information Display Technical Digest*, 7-10.
- Martin-Emerson, R., & Wickens, C. D. (1997). Superimposition, symbology, visual attention, and the head-up display. *Human Factors*, 39(4), 581-601.
- McGreevy, M. W., Ellis, S. R. (1986). The effect of perspective geometry on judged direction in spatial information instruments. *Human Factors*, 28(4), 439-456.
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human processing systems. *Psychological Review*, 86, 254-255.
- Nemire, K., Jacoby, R. H., & Ellis, S. R. (1994). Simulation fidelity of a virtual environment display. *Human Factors*, 36(1), 79-93.
- Norman, D., & Bobrow, D. (1975). On data-limited and resource-limited processing. *Journal of Cognitive Psychology*, 7, 44-60.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bourma & D. G. Bouwhuis (Eds.), *Attention & performance X* (pp. 531-556), Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prinzmetal, W., Presti, D. E., Posner, M. I. (1986). Does attention affect visual feature integration? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception*



- & Performance. Vol 12(3), 361-369.
- Sarno, K. J., & Wickens, C. D. (1995). Role of multiple resources in predicting time-sharing efficiency: Evaluation of three workload models in a multiple-task setting. *International Journal of Aviation Psychology*, 5(1), 107-130.
- Schneider, W. (1985). Training high-performance skills: Fallacies and guidelines. *Human Factors*, 27(3), 285-300.
- Schneider, W., & Detweiler, M. (1988). The role of practice in dual-task performance: Toward workload modeling in a connectionist/control architecture. *Human Factors*, 30(5), 539-566.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M., (1977). Controlled and automatic human information processing I: Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Schreiber, B. T., Wickens, C. D., Renner, G. J., Alton, J. D., & Hickox, J. C. (1998). Navigational checking using 3D maps: The influence of elevation angle, azimuth, and foreshortening. *Human Factors*, 40(2), 209-223.
- Seagull, F. J., & Gopher, D. (1997). Training head movement in visual scanning: An embedded approach to the development of piloting skills with helmet-mounted displays. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3(3), 163-180.
- Senders, J. W., Fisher, D. F., & Monty, R. A. (eds.) (1978). *Eye movements and the higher psychological functions*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Shapiro, K. L. & Raymond, J. E. (1989). Training of efficient oculomotor strategies enhances skill acquisition. *Acta Psychologica*. Vol 71(1-3), 217-242.
- Silverstein, L. D., & Fiske, T. G. (1993). Colorimetric and photometric modeling of liquid crystal displays. *Proceedings of the First IS&T/SID Color Imaging Conference: Transforms and Transportability of Color*, 149-156.
- Silverstein, L. D., Krantz, J. H., Gomer, F. E., Yeh, Y., & Monty, R. W. (1990). The effects of spatial sampling and luminance quantization on the image

- quality of color matrix displays. *Journal of the Optical Society of America A*, 7, 1955-1968.
- Silverstein, L. D., & Lepkowski, J. S. (1986). The perception of primary area spatial distribution in color information displays. *Society for Information Display Technical Digest*, 416-419.
- Silverstein, L. D., Lepkowski, J. C., Carter, R. C., & Carter, E. (1986). Display color modeling and algorithmic color selection. *Proceedings of the SPIE: Advances in Display Technology VI*, 26-35.
- Silverstein, L. D., & Merrifield, R. M. (1985). *The Development and Evaluation of Color Display Systems for Airborne Applications: Phase I - Fundamental Visual, Perceptual, and Display System Considerations*. Technical Report DOT/FAA/PM-85-19, July 1985. (Also published as Technical Report NADC-86011-60, February 1986.)
- Silverstein, L. D., Yeh, Y. Y., Hancock, W. R., Huff, J., Gomer, F. E., Johnson, M. J., & Larson, H. *Advanced TCAS III research and development project (ATSD/FAA): TCAS III display analysis*. Honeywell Inc., Systems and Research Center, Technical Report in press. (Final Report for Federal Aviation Administration Contract No. DFTA01-85-C-005), April, 1990.
- Wachtel, P. L. (1967). Conceptions of broad and narrow attention. *Psychological Bulletin*, 68, 417-419.
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. Nickerson (ed.), *Attention and performance VIII* (pp. 239-257). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & R. Davies (eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-101). New York: Academic Press.
- Wickens, C. D. (1992). *Engineering psychology and human performance*. New York: HarperCollins.
- Wickens, C. D. (1999). Automation in air traffic control: The human performance issues. In M. W. Scerbo, & M. Mouloua (eds.), *Automation technology and*



- human performance: Current research and trends* (pp. 2-10). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Wickens, C. D., Sandry, D., & Vidulich, M. (1983). Compatibility and resource competition between modalities of input, output, and central processing. *Human Factors*, 25, 227-248.
- Williams, A. C. (1947). Preliminary analysis of information required by pilots for instrument flight. In S. N. Roscoe (Ed.), *Aviation Research Monographs*, 1(1). Urbana: University of Illinois, Aviation Research Laboratory.
- Yeh, M., & Wickens, C. D. (1998). Visual search and target cueing with augmented reality: A comparison of head mounted with hand-held displays. In *Proceedings of the Third Annual Army Federal Library Symposium*, (pp. 1-6).
- Yeh, Y., & Silverstein, L. D. (1990). Limits of fusion and depth judgment in stereoscopic color displays. *Human Factors*, 32, 45-60.
- Yeh, Y., & Silverstein, L. D. (1992). Spatial judgments with monoscopic and stereoscopic presentation of perspective displays. *Human Factors*, 34, 583-600.
- Yeh, Y.-Y., & Wickens, C. D. (1988). The dissociation of subjective measures of mental workload and performance. *Human Factors*, 30, 111-120.

初稿收件：1999 年 5 月 17 日 二稿收件：1999 年 6 月 30 日

審查通過：1999 年 10 月 25 日 責任編輯：曾志朗、洪蘭

作者簡介：

葉怡玉 美國伊利諾大學香檳分校實驗認知心理學博士

台灣大學心理系副教授

通訊處：(106) 台北市羅斯福路四段 1 號 台灣大學心理系

電話：(02) 23630231 轉 2374 轉 7311 傳真：(02) 23659798

E-mail：yyy@ccms.ntu.edu



Aviation Safety: Applications of Basic Research on Perception and Attention

Yei-Yu Yeh

*Department of Psychology
National Taiwan University*

Limitations on vision, perception, and attention represent major bottleneck in information processing and decision making. In this introductory article, illusions and perceptual misjudgments in various aviation contexts are described. Human factors issues in display design are then discussed with emphasis on the applications of basic vision and perception research. Examples are illustrated to demonstrate how basic research can be applied to the development of avionic displays and display formats. Whereas perceptual characteristics such as gestalt organization can be implemented in object display format, attention-related issues are also important in the design of display format. Through these examples, the contribution of basic research to system design, pilot selection, and pilot training is highlighted.

Keywords: human factors, aviation safety, perception, attention

