

座標系，粗線所顯示的便是所有單色光的位置（spectrum locus），只有圈在此粗線範圍內的光線方為人眼可見的色光。

XYZ 系統則採用三種物理上非真實存在的色光，見圖 1 (B) 的 X, Y, Z 三點所示。選擇 XYZ 三點時的主要考量之一，便是所有的單色光均能包含於其所界定的三角形範圍內，如此可使最後計算所得的可見單色光都有正的座標值，以方便工業界使用。另一方面，XZ 線段的明度值為零，因此單由 Y 色光便可決定明度值。由於 XYZ 點都落在圖 1 (B) 的粗線範圍外，為物理上不存在的色光，但由其在 (r, g) 座標系上的位置，可將 XYZ 三色光分別想像成是超飽和的紅光、綠光與藍光。基於色彩配對的線性加成特性，可利用一組三原色光所得的配對結果轉換成另一組三原色光所得的配對值，在數學上只是改變座標值而已。RGB 系統與 XYZ 系統的互相轉換便是基於此原理。（原則上，當然可以有各種轉換其他三原色光的可能性，只是 CIE 1931 基於上述目的選擇了一套非物理實存色光的 XYZ 系統）。圖 1 (C) 便是 RGB 系統經過數學轉換後所得的 XYZ 系統，此時所有的配對值都是正值，而 Y 色光的配對函數即為明度敏感曲線。將此三色配對函數轉成二度空間座標值（同理， $x+y+z=1$ ，因此只需 x, y 兩值即可），便可得現在一般工業界所使用的 CIE 色彩圖，座標值為 (x, y)。在此 (x, y) 座標系中所有可見光的座標值都會是正值，見圖 1 (D)。以上只是概念性的說明，對其中的數學推導過程以及深入細節討論有興趣的讀者可參閱 Wyszecki 與 Stiles (1982) 的 *Color Science* 以及 Hunt (1987) 的 *Measuring Colour* 這兩本書。（2000 年 4 月 20 日收件，作者葉素玲為台灣大學心理系副教授，陳一平為陽明大學通識教育中心副教授，二人為〈色彩視覺的三色論及其應用〉一文的共同作者）

飛航安全：座艙自動化的人因議題

葉怡玉

自動化的引進在許多領域都造成工作的重大改變。誠如回應文（見本期第 14 頁〈知覺與注意力在飛機座艙自動化系統中的角色因應〉）作者蔡秋月博士所說，就飛行員而言，最大的改變便是從「操作者」變成「監控者」。也因為這樣的角色改變，飛行員與自動化系統互動裡的人為因素議題，一直是飛行員、飛航安全專家、以及學者認為是「玻璃座艙」（Glass Cockpit，意指先進科技引進自動系統於設計與製造飛機系統，以區隔於傳統的機械性的座艙）裡的重要議題之一。

Wiener 等人 (Weiner & Curry, 1980; Wiener, 1989) 首先以學者的立場關注座艙自動化的人因議題，並指出在此種座艙環境裡，飛行員可能遇到的問題以及可能做出的錯誤行為。雖然這些年來，設計「以人為中心的自動化座艙」一直是美國航空界所推動的方向，然而許多議題歷經十載依然存在，顯示自動化座艙設計的複雜與龐大，需要更長的時間與努力去克服目前許多可能存在的問題。回應文作者以精簡切要的方式讓我們瞭解自動化座艙環境裡的一些議題，以補足筆者上期〈飛航安全：知覺與注意力研究的應用〉一文所未探討的層面，提供讀者進一步的瞭解飛航安全的人因議題是廣闊而深遠的。

筆者之所以在上期的文章裡未提及自動化座艙環境的相關議題，實在是因為此議題相當的複雜，涉及的層面非常的廣，並非單純是知覺與注意力的議題，也涉及組織與文化的因素。因此，筆者無意在此回應文章裡深入的探討自動化座艙環境的人因議題，只希望利用此機會向讀者簡單補充說明個人的一些看法以及文獻上的資料。雖然筆者並非飛行員，但因為之前工作之便，曾有短暫的機會嘗試瞭解飛行管理系統 (Flight Management System) 的介面設計，以及負責第三代飛行撞擊與避免系統 (Traffic Collision and Avoidance System III) 介面設計裡的一些相關人因研究，而有機會與一些設計工程師、測試飛行員、與飛行教官做簡單的討論，對自動化座艙環境的人因議題有皮毛的粗淺瞭解。

自動化座艙包含了許多成分：自動飛行員、飛行管理系統、電子飛行儀器系統、警告與警覺系統等。每一系統都涉及複雜的設計，需要不同的專家介入，而每個系統的設計理念都有其理論與工程的基礎。當我們談「以人為中心的自動化座艙」時，我們可從三個角度來看這個議題：如何適當的分配功能於人與系統之間與人為決定的優先性、介面設計、以及飛行教育和訓練。由於科技的進步，飛行的大部分功能都可自動化，因此，製造廠商的哲學觀便成為設計時的理念。如果設計者認為「人為誤失」是不可避免的現象，設計者便會以「系統主控」作為緊急狀態處理時的重要依歸，而使飛行員覺得系統難以控制。如果設計者接受人類在面臨特殊問題時解決能力的優越性，設計者便會接受人為操作的重要性，專家系統也可被接受為座艙裡的一個成分，以促進飛行員正確的抉擇與判斷。就飛行員的角度而言，情境壓力會改變他們偏好的互動方式 (Sarter, 1996)。當操作難度增高、時間壓力大、與工作負荷重時，飛行員會由「自動系統決策，飛行員同意」的同意式的飛行管理 (management-by-consent) 轉為「自動系統決策，飛行員可否決」的排除式管理模式 (management-by-exception)。若要設計一個完全「以人為中心的自動化座艙」，必須考量飛行員在不同情境下的需求、行為、

與偏好，而飛行員的個別差異也影響他們在與自動系統互動時是否能與系統形成一個配合無間的團隊。實驗認知心理學家在功能分配的議題上能產生的影響力較小，反而是在第二與第三議題上較有發揮的空間。在介面設計上，心理學家可提供知覺、注意力、記憶方面的相關研究，設計出能促進有效訊息處理的介面；在專家系統的設計裡，心理學家可透過專家決策以及問題解決的知識取得，而提供如何有效建議協助飛行員的基本指導原則（principal guidelines）；在飛行教育與訓練上，心理學家也可利用教學心理學研究或人為誤失研究，協助設計有效的教育與訓練課程。

既然心理學家可以提供重要的知識與指導原則，為何今日我們仍然面對存留十載的人因議題？筆者個人認為此涉及許多超乎心理學層次的因素。其一，許多設計有其歷史傳承，任何小小的修改都意味龐大的人力與資源投入，重新設計，重新再三 24 小時的測試，以確認系統的正確性與安全性；如同 Qwerty 打字機鍵盤設計在研究發現其缺陷之後，由於重新訓練所涉及的龐大人力與資源，使此不良的設計一直沿用至今。因此，除非介面設計嚴重地影響到飛行安全或政府與民航界強力要求，廠商不會主動處理可能的人—系統互動的問題，傾向於由航空公司透過教育與訓練的方式使飛行員瞭解如何有效使用系統的方式，民航界便需要累積相當多的實際證據與資料才能說服要求廠商修正介面設計。其二，系統的複雜性以及飛行員在不同情境裡需要不同的訊息也有不同的偏好，使得實際設計時很難做到普同性的最佳化考量；若嘗試以彈性方式呈現不同訊息以因應不同的需求，飛行員的個別差異也影響究竟何種訊息是充分與必要的，何種模式才是最適合的。若要充分考慮飛行員個別的需求，只有使系統更為複雜。例如，功能分配的問題，如果考慮由飛行員操作行為的恰當性來決定是否由系統主控，自動系統本身就需具備判斷飛行操作恰當性的智識而採取因應的措施。然而，如此具有彈性與智慧的系統甚為複雜，成本效應也是未知數。因此，設計者往往需要在技術與成本所允許的範疇、訊息呈現不會過度負荷飛行員、以及有效提供最佳的知覺呈現等三個考量上做某種妥協。即使如此，座艙內先進系統的不斷增加，使得整體的結合困難。其三，至今座艙自動化仍有人因議題需要進一步釐清與研究，才能瞭解如何在設計上彌補缺失。其四，一些座艙自動化的人因議題（如：回應文作者指出的飛行能力降低、過度依賴、與溝通困難）的確與飛行教育與訓練有密切的關連。航空公司是否理解旗下飛行員使用自動系統的可能問題，是否提供有效的訓練、是否充分的與製造廠商互動蒐集相關的資訊等等都可以影響座艙自動化裡人因問題的降低。其五，負責飛航安全的政府機構是否充分瞭解座艙自動化

的人因議題而訂出適當因應的法規，也是值得考量的。

就國外的資料整理來看 (Funk & Lyall, 1999; Funk, Lyall & Suroteguh, 1999)，依照整體證據的強度為標準，座艙自動化的人因議題前二十名為：(1) 對自動系統的理解不適當，(2) 自動系統的行爲不透明，(3) 飛行員對自動化有過高的信心，(4) 視覺與聽覺的呈現顯示設計不良，(5) 訓練不恰當，(6) 飛行員過度依賴自動化，(7) 自動化過於複雜，(8) 自動化系統的行爲出乎意料之外，且沒有任何解釋，(9) 顯示的訊息量不足，(10) 失去手動技巧，(11) 缺乏系統的狀態覺知 (mode awareness)，(12) 資料的輸入與程式 (data entry and programming) 困難且費時，(13) 在不尋常的狀態下，自動化系統不那麼有效，(14) 情境覺知 (situational awareness) 降低，(15) 介面設計不良，(16) 選擇錯誤的狀態 (mode)，(17) 自動化系統要求注意力，(18) 要視覺化 (visualization) 垂直剖面圖 (vertical profile) 是困難的，(19) 自動化系統的控制設計不良，(20) 基本的機種訓練不足。在這些議題裡，第 17 項議題尚須進一步研究的釐清，此「注意力」的問題究竟是注意力資源分配不當、使用自動系統會干擾重要作業的操作、花太多時間在低頭操作或監控自動系統儀器、或是心智負荷的問題。而這些所謂「注意力」的問題是否來自資訊回饋的不當 (Sarter & Wood, 1997)，也是需要探索的議題。其餘的議題有一半涉及介面設計，而另一半涉及有效的飛行教育與訓練。

由於台灣並沒有飛機零件與系統的製造廠商，筆者認為目前我們的重點應該放在資訊的蒐集以及飛行教育與訓練的相關議題之上。且由於台灣才建立飛安報告系統以及負責失事調查的飛安委員會，我們應該更完整地以人為操作表現的訊息處理架構以及自動座艙的人因議題分析事故與事件。如此，我們才能充分掌握所謂「人為誤失」的內涵，也才能以科學研究的證據定訂出因應的法規。就飛行教育與訓練而言，Rasmussen (1983) 曾將人為操作表現定義在三個層次：知識為基礎 (knowledge-based)、規則為基礎 (rule-based)、技巧為基礎 (skill-based)。在前二十名的議題中扣除介面設計的部分，大多涉及知識為基礎的議題，如：第 1、2、5、7、8、14、16、20 項。在飛行教育與訓練裡，筆者認為首重在初始時知識基模的建立。此基模的建立可藉由系統設計理念與設計時所使用的指導原則的介紹產生。在初學時，飛行員當然是無法全盤吸收過於複雜的系統介紹；但是理念與指導原則的理解可幫助基模的建立，提供飛行員在日後訓練時經驗累積的知識架構。藉由此知識架構，隨著飛行員的訓練經驗累積，飛行教師可以藉由討論，強化實際經驗與知識架構的對應關係以及所欠缺之處。

在訓練過程中逐漸加入進一步的系統介紹，可豐富飛行員對系統的整體知識。當飛行員有相當的系統知識後，訓練更應加強飛行員理解自動系統在不同情境裡（尤其是緊急狀態）可能出現的行為以及呈現的知覺訊息。所謂「對自動系統的理解不恰當」、「系統不透明性」、「錯誤狀態覺知」、以及「自動系統的行為出乎意料之外」的人因議題也就可降低。也就不會產生因為「認知管理」（Cognitive overhead, Kirk, 1993）需要不斷對系統的行為評估，產生過高的認知負荷，而選擇放棄自動系統的使用。飛行員對系統的知識可促進他們理解自動系統行為的規則，也就可降低以規則為基礎的自動座艙人因議題（包括：第 11、12、16、以及 20 項）。而與技巧為基礎的人因議題包含第 10、18、以及 20。技巧的訓練無他：多練習。提供不同脈絡裡的一致性訓練（consistent training）可加強記憶提取，並幫助行為的自動化。當然，飛行教師也應覺知自動化的轉移（transfer）在某些不尋常的緊急狀態裡反而產生反效果的可能性；也因此，理解系統的知識與運作的規則是相當重要的。定期訓練（recurrent training）裡不但應該多練習可能失去的手動技巧，也應再三強化系統知識與運作規則的理解。對於經常執行長途飛行而減少起飛與落地經驗的飛行員，也應在訓練裡強化不同情境下的起飛與落地訓練。筆者認為如果飛行員對系統有較完整的知識時，過度信心與過度依賴的議題也會相對的降低。其實，對自動系統的過度信心所伴隨的一個因素，是飛行員對自己決策與判斷的信心不足。航空公司的管理單位不妨參考對自動化系統依賴的模式（Riley, 1996），深入瞭解旗下飛行員在與自動系統互動時所遭遇到的問題與疑惑，如此方可對症下藥。

除了飛行教育與訓練，有關自動系統使用的規則與政策、操作手冊的制訂、以及訓練手冊的編定都可協助飛行員瞭解如何有效使用自動系統。由此觀之，在飛航安全所涉及的每一個人因領域都是非常的廣泛的。在上期〈飛航安全：知覺與注意力研究的應用〉一文裡，筆者簡單介紹了注意與知覺研究在飛航領域的可能應用。回應文作者彌補了筆者遺漏的座艙自動化的議題。然而，仍有許多議題是實驗認知心理學家可關切與探討的，例如：疲倦與心智負荷、決策與判斷等。社會心理學家與組織心理學家也可涉入座艙組員（crew）或公司（corporate）資源管理（resource management）方面的議題。但是，由於過去在台灣並沒有心理學者的關懷與介入，許多領域都缺乏本土的資料；我們也缺乏與飛航相關研究的資料累積。雖然我們（葉怡玉、汪曼穎、黃榮村, 1997）曾嘗試初步的理解與飛航安全方面相關的人為因素議題，但在人力與資源不足，以及當時台灣的航空界尚無研究的傳統或合作經驗，我們的初步嘗試仍有許多不足之處，也留下更多尚

待進一步理解的議題。以座艙組員資源管理（CRM）而言，透過深入訪談，我們觀察到許多有趣的本土現象，但目前研究此一議題文化因素的學者是工學院而非心理學的研究者。筆者希望藉由此機會拋磚引玉，請出更多願意關懷飛航安全的心理學者，針對不同的議題做更多的討論與回應。（2000年5月9日收件，作者為台灣大學心理系副教授及本刊編輯委員，〈飛航安全：知覺與注意力研究的應用〉一文作者）

參考文獻

- 葉怡玉、汪曼穎、黃榮村（1997）。《飛航安全的心理行為面之影響因素及其對策 I：建立基本資料之調查研究》，中華工程顧問司委託研究報告。
- Estes, W. K. (1997). Process of memory loss, recovery, and distortion. *Psychological Review*, 104, 148-169.
- Fischhoff, B. (1977). Perceived informativeness of facts. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance*, 3, 349-358.
- Funk K., & Lyall B. (1999). Flight deck automation issues. *International Journal of Aviation Psychology*, 9, 109-123.
- Funk, K., Lyall, B., Suroteguh, C. (1999). Meta-Analysis.
(<http://flightdeck.ie.orst.edu/FDAI/Meta-Analysis/meta-analysis.html>)
- Hunt, R. W. G. (1987). *Measuring Colour*. Horwood, Chicheser.
- Jacobs, G. H. (1981). *Comparative Color Vision*. New York: Academic Press.
- Kantowiz, B. H. (1989). The role of human information processing models in system development. *Proceedings of the Human Factors Society 33rd Annual Meeting* (pp.1059-1063). Santa Monica, CA: Human Factors Society
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kirlik, A. (1993). Modeling strategic behavior in human-automation interaction: Why an “aid” can and should go unused. *Human Factors*, 35,221-242.
- Norman, D. (1990). *The design of everyday things*. New York: Doubleday/Currency.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge: Signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13, 257-266.

- Riley V. (1996). Operator reliance on automation: theory and data. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and application* (pp. 19-35). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sarter, N. (1996). Cockpit automation: From quantity to quality, from individual pilots to multiple agents. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.) *Automation and human performance: theory and application* (pp. 267-280). Hillside, NJ: Erlbaum.
- Sarter, N. B. & Woods, D. D.(1995). Strong, silent, and out-of-the-loop: Properties of advanced(cockpit) automation and their impact on human-automation interaction. *Cognitive Systems Engineering Laboratory Technical Report CSEL-TR-0*, February.
- Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1997). Team play with a powerful and independent agent: Operational experience and automation surprises on the Airbus A-320. *Human Factors*, 553-569.
- Schacter, (1999). Sevens sins of memory. *American Psychologist*, 54, 182-203.
- Wicknes, C. (1984). *Engineering Psychology and Human Performance*. Columbus, OH: Merrill.
- Wiener, E. L. (1989). Cockpit automation. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (eds.), *Human factors in aviation* (pp. 433-461). San Diego, CA: Academic Press.
- Wiener, E. L., & Curry, R. E. (1980). Flight deck automation: Promises and problems. *Ergonomics*, 23, 995-1012.
- Wright, W. D. (1991). The measurement of colour. In Gouras, P. (Ed.) *Vision and Visual Dysfunction, V6: The Perception of Colour*, 10-21. Boca Raton: CRC press.
- Wyszecki, G. & Stiles, W.S. (1982). *Color Science*. 2nd ed. New York: John Wiley and sons, Inc.