

台灣研究



民主 · 和平 · 飛躍

飛航管制與人因工程

楊文忠博士

1999年10月

簡介

隨著航空科技的進步，人們搭乘飛機從事商業旅行或休閒旅遊的機會越來越多，因此在過去15年間，空中運輸量一直持續不斷地成長。根據美國聯邦航空局（Federal Aviation Administration, FAA）在1997年發表的一份研究報告中預測：如果美國的飛航管制系統（Air Traffic Control, ATC）沒有重大的改進以因應日益繁忙的空中交通流量，到了西元2015年，每7到10天將會有一件重大的空難事故發生。這當然是遠超過大眾可以接受的程度，因此，如何改善目前的飛航安全標準，以增加單位時間內空域能量（Air Space Capacity），可以說是目前全球各航空運輸發達國家所必須共同面對解決的問題。

大體而言，空域能量和相對安全系數相當程度上，取決於飛航管制人員和航機飛行員的高度密切配合與協調。隨著衛星導航科技的進步和現代航機內玻璃座艙（Glass Cockpit）的高度自動化，有些研究人員建議，提昇新一代航管系統裡的電腦輔助自動化程度，以便降低飛機中所有人為系統裡所無法避免的人為錯誤因素（Human Error Factors），進而增加飛航的安全和效率。此方案立意良好，但另一方面卻存有潛在的危機：如果在航管系統自動化的過程中，忽略了航管人員（ATC Controller）在整個系統中所扮演的專業角色，總有一天，當電腦系統故障或是

某些緊急事故發生時，都有可能造成無法挽回的空難悲劇。事實上，人因工程（Human Engineering）已經在近年來的航空界裡，被熱烈且廣泛地研究與討論，而其中若干具體的研究成果和建議，也影響著新一代航空科技的設計哲學。基於大眾運輸的安全考量，美國國會的航空公共事業與運輸委員會（Aviation of Public Works and Transportation Committee）於1994年要求 FAA必須邀請美國國家工程學院（National Academy of Engineering）與美國國家科學院（National Academy of Sciences）共同成立一個獨立的人因工程與飛航管理自動化的研究小組，專責各項相關研究計劃並對美國國會提供建議與報告。

本文嘗試對飛航管制與人因工程的觀念及運作作一簡易且明瞭的介紹，希望能對積習難返與久病難癒的台灣飛安問題，提出另一類的思考方向並進而對其改善有所幫助。

飛航系統作業

我們首先概略性地了解一下航管系統作業的過程。以美國為例，在美國空域內飛行的商用飛行器都會被要求必須完成所謂的飛行計劃（Flight Plan）並加以建檔，以便全國航管系統的追蹤與管理，這其中當然包含了許多 FAA所規定，對於航機本身相關適航許可的檢查與資料參考的建立。基本上，整個飛航管制可以分成如下幾個階段：從停機坪到滑行道的地面操作；在進入跑道前等待進一步指示（Holding Shot）；起飛許可、離場並爬昇到巡航高度；在既定的航路上接受導引往目的地之飛行；最後在近場台及塔台的指示下，下降落機場跑道並滑回機坪。

圖一說明了各個不同的飛航管制單位在整個飛行中所負責的角色。機場塔台主要負責航機在地面上的各項作業，包括滑行、起飛、降落的許可與確認、以及所使用的相關滑行道或跑道。終端雷達進（離）場管制（Terminal Radar Approach Control, TRACON）通常監控各大機場40英里空域內的航機進（離）場導引，並建立包括高度、速度及方向等航機向量指示。航機在一定的巡航高度時，其導引控制權則由管轄不同空域的美國境內20個航路管制中心（En Route Control Center）接手，而這些位於美國境內不同地區的航管次系統都由位於維吉尼亞州Herndon的飛航管制系統指揮中心（Air Traffic Control System Command Center）負責指揮，

並協調述各個次系統間的相互作業，這其中還包括了專責越洋飛行航機的航管單位及軍方部門的參與。

安全性 V. S. 效率

一般而言，ATC 的首要目標有三，即確保空域內空中交通的安全性，發揮空域的最大能量以及對突發狀況的迅速與正確反應。為了有效達成這些目標，有賴於航管單位間的相互協調與分工，尤其是不同空域內航機管制權的移轉。ATC 相關的工作包括了根據各地的天候狀況及實際空中交通流量所建立的空中交通網模型（Air Traffic Pattern）及先前計劃，依照標準程序將最新資訊傳輸給各個航管單位，以利對突發事件的判斷及處理。

但往往是安全性的要求和效率的考量會有相衝突的時候，舉例來說，為了增加飛航的安全性，航機間的時間（高度及水平距離）應該儘量增大，但如此一來，單位空域內所能容許之能量就相對性地減少了。從航空公司經營的角度來看，班機因為各種因素被迫留置於地面上，除了會造成原先表定班機起飛及降落時刻的延誤之外，還要負擔因延誤旅客行程所必須額外支付的各項費用，如接駁交通、旅館住宿餐飲供應等。這些都是航空公司所急欲避免的，但另一方面，如果一味地增加空域負荷量，而不考量航管人員及系統所能承擔的工作壓力，或甚至犧牲各航機間所應保持的最小安全間距，都極有可能會造成一場可怕的空難悲劇。對於每一個機場或航空站而言，單位時間內的航機吞吐量有一定的限制，其中取決於諸如停機坪或登機門數量、跑道使用、航機進場與離場速度、地勤支援系統、以及周遭陸上大眾接駁交通的疏散能力等因素。ATC 之任務即在於儘快地送出每一架等待起飛的航機，並把在終端（Final Wind）預備進場的航機按照所需的安全間隔，一架架排好秩序，以取得最優化的空中交通流量管制。

但我們總不能把等待進場的航機一架架「疊」起來，就像汽車一樣暫時停在路邊等空的停車位一般。因此，航管人員必須儘可能利用中間允許的空檔，送走表定準備起飛的班機。否則，飛機會在地上越「堆」越多，以致最後超過機場所能承擔的負荷量。因此，根據機場或航空站本身的流量限制及預定離境與抵達航機的機型、架次、時間，以便做整體性的全盤事先計劃是航管本身必備的專業素養。此外，像

氣候可能的改變，風向、風速、風剪力（Wind Shear Force）及大型飛機的尾端滑流（Wake Turbulence）等都是必須加以計算的因素。還有許多突發事件都有可能迫使航管人員臨時改變機場原先的使用構型（Configuration），例如改變跑道使用方向或甚至進一步關閉機場等。上述這些潛在因素都有可能嚴重影響航管的效率及航機起降的時間。我們可以很大膽的講，所謂最優化的航管系統管理就在於增加對未來突發事件的預測，掌控及應變能力。

從航管人員及飛行員的角度來看

爲了達到安全及效率的要求，航管人員與飛行員的專業知識、技能、緊急應變的程序與能力、以及相關的各項輔助設備都是不可或缺的。但在進入系統電腦化的今天，專業人員在整體中所扮演角色的重要性，卻常常容易被忽視，事實上，儘管越來越多人因工程的考量被反應在新一代的航管電腦輔助系統的人機介面設計上，如果航管人員或航機飛行員沒有採取正確且適當的處理步驟，電腦螢幕上所顯示的各項數據並不具有明顯的特殊意義。

另外，因爲彼此立場角度的不同，對於如何達成飛航上安全及效率的共同要求，航管人員與航機飛行員也會有不同的看法。對飛行員而言，一般都希望能選擇最直接的航線以及最經濟的巡航高度。但往往這些理想的設定並無法完全符合航管上安全的要求和限制。對於航管人員，他們必須同時面對及處理多架不同要求的航機，在許多情況下，他們必須要求某一航機改變速度、高度、方向或甚至多轉幾個圈，以求達到整體飛航安全的考量。

電腦自動化的影響

由於航管對安全性的絕對要求，這意味著所有的人爲誤判及錯誤因素，必須設法降到最低，而且整個系統與程序必須有高度的可靠性及通過反覆的驗證。基於人爲錯誤因素一直是飛安事故的最主要肇事因素以及其具有不確定之特色，近年來，有許多研究人員致力於降低飛航中人爲錯誤機率的研究，此種研究成果將廣泛地被運用在各方面而大大地增強電腦自動化，電腦自動化對飛航安全的影響實是應該探討的一個課題。

無可諱言的，航管系統本身是相當複雜的人機介面。但隨著電子科技的快速發展與進步，語音及影像的處理辨識與合成、大型資料庫的建立與管理、以超級電腦的高速運算能力來增加預測天氣的準確性、結合衛星導航來快速乃至即時的資料傳輸的專家系統，將會在不久的將來被使用於航管系統中，並且取代目前部分航管人員的功能。但是因為自動化程度的增加而缺乏積極主動參與整個航管作業的航管人員，勢必將降低對整體程序的熟悉度，如果發生了電腦故障或整個系統因不可抗拒的原因而癱瘓的緊急情況，我們可能要擔心屆時航管人員在完全或部分沒有電腦的協助之下，無法有效地接手來處理整個航管流程。

另一個可能威脅航管安全的潛在因素來自於航機本身的自動駕駛系統。在新一代的飛機駕駛艙內，飛行管理系統（Flight Management System, FMS）已經不再只是簡單地依照飛行員事先要求的設計，做定速、定高的自動駕駛。FMS 會根據溫度、濕度、風速、風向、相對空速及航機本身的重量來計算最經濟油耗下的飛行路徑。如果情況允許，FMS 會不斷地改變航機的速度與高度，以達最佳的航線。這種情形，原先表定的起降時間將會受到影響，因此如果沒有事先取得航管的許可並且在每個環節充份配合協調，一定會嚴重干擾到整體飛航管制計劃的執行。

結論

飛航管制的安全有賴於各個單位間之航管人員對航機及其他外在環境的確實掌握，並且必須隨時準備好以應付各種突發狀況。理想上，航管系統電腦自動化的腳步應該是協同一致才對，但事實上卻常因為各種客觀因素而無法達成。各個不同國家之間也會因文化上的差異及設備的不同，對航管有不同的認定標準。但是把航管人員和航機飛行員放回整個系統的重心，而用現代科技來輔助以增加安全性和效率是作者的建議，畢竟只要有人為因素參與其中，其專業的知識和技能絕對是整個系統中不可或缺的。

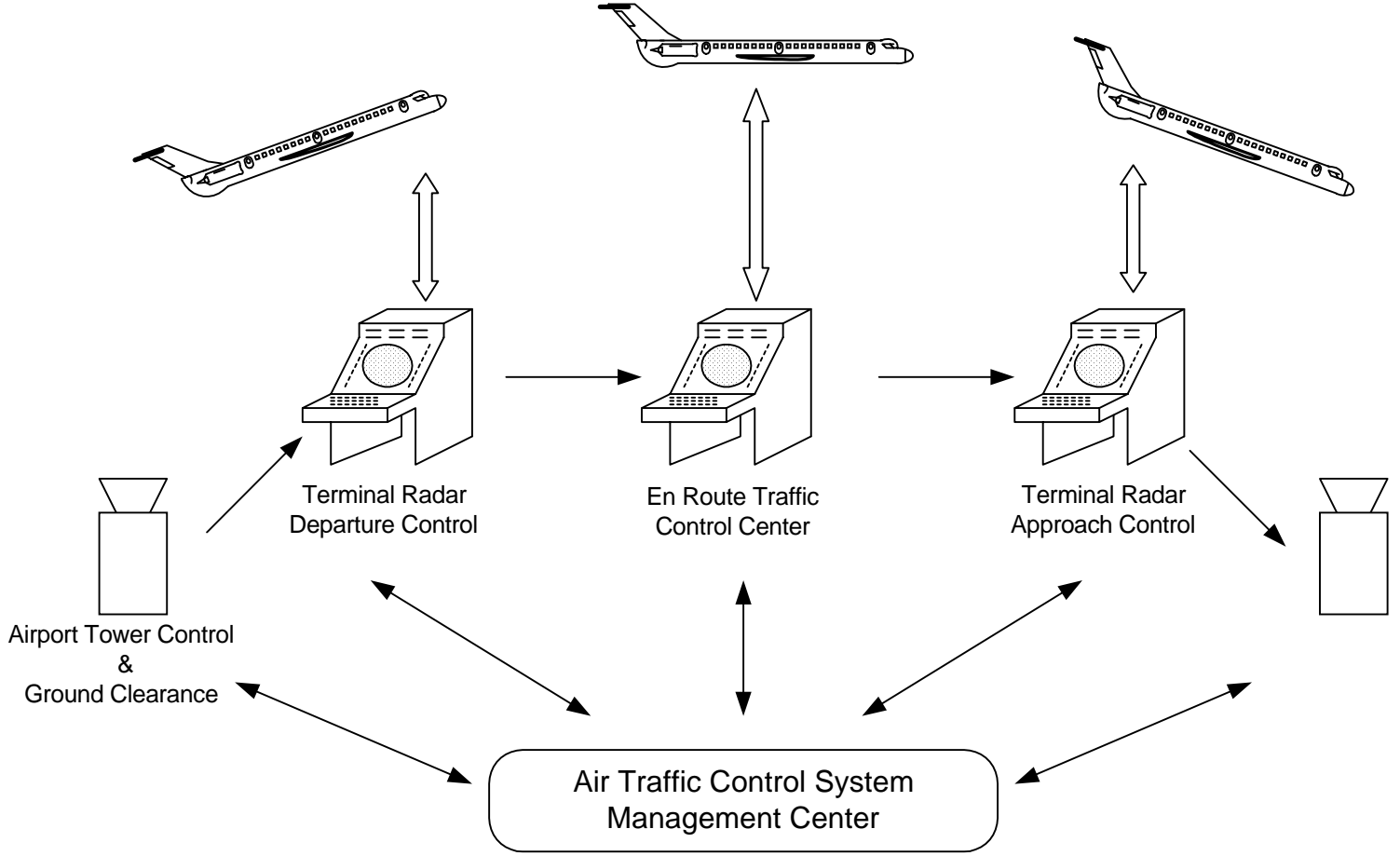


Fig. 1 Air Traffic Control Operations