

· 魏楞傑 ·

飛行訓練好幫手

模擬機 (下)

畫面細節

在模擬訓練的任務，如：空中加油、編隊飛行、空中纏鬥時，通常畫面顯示不會有什麼困難，因為整個天空只需要一、兩架飛機的影像就夠了；而在模擬低空飛行時，如：目標偵蒐、對地攻擊、閃避雷達的貼地飛行、密接支援和偵察時，必須顯示地面上的各種地貌細節，而且飛行員的操縱桿一動，畫面也得毫無遲滯的做相對應的改變，如何即時顯示畫面就成為很大的挑戰。

要使畫面能對飛行員的操縱動作即時反應，呈現真實的景物變化，使飛行員不會有遲滯的感覺，就得增快畫面的更新頻率，迅速變換畫面。在低空飛行時，由於景物的變化極快，要電腦即時更新飛行員所看到的一景一物，對電腦是個很沉重的負擔。現今顯示幕的更新頻率是每秒鐘三十次，在低空飛行時，這樣的更新頻率是不夠的，因此除了使用功能更強大的

電腦之外，顯示器系統也得有進一步的改良。

要讓飛行員在模擬機裡所看到的景物和真實飛行沒什麼兩樣，畫面就得逼真，這必須增加畫面解析度，若地面僅是以棋盤式的方格子來表示，根本無法顯示出地形的起伏，這時飛行員要判斷飛機的高度，或是離地面障礙物的距離就會有困難，在閃避地面雷達偵察的貼近地面模擬飛行中，盡可能詳盡顯示地面的特徵是非常重要的。

要使畫面顯示得很細緻，目前有三種方法。由於大部分的電腦是以直線和曲線來顯示地表特徵，因此第一種方法就是使用功能更強的電腦，即時顯示更多的曲線，由於電腦的功能一日千里，速度大約每五年就會加快十倍，這個方法還算實用。

第二種方法是在顯示系統上，多加一個額外的高解析度視窗，由一偵測器來追蹤飛行員眼睛或頭部的方向，讓視窗隨著飛行員的視線在螢幕上移動。此高解析度視窗把原先顯示九十度區域的螢幕，轉換成只顯示三十度，使解析度提高為三倍。

第三種方法是先決定要顯示那些細節，然後就只顯示那些必須的部分，就長期來看，這個方法最有效益。一般而言，畫面對飛行員的重要性如何，得看飛行員的感覺而定，例如：當飛機高速低空飛行時，地面特徵就不如相對位置的改變來得重要，換言之，地面物體的相對運動，會比物體

模擬機畫面只顯示必要的細節



本身重要。

G值變化

人體在做等速運動時，是由眼睛所看到的物體相對位置、大小的改變，提供了運動的訊息，人體耳內的半規管只能感覺到加速度的變化。這種變化可能來自縱向，如：坐在車內突然的加、減速；也可能來自垂直的方向，如：電梯的啟動與停止；而飛機爬升或做小轉彎時，地心吸力會把乘客擠向座椅，俯衝時則會推離座椅。賽車順位追逐賽時，起跑瞬間的加速度可達二G；波音七二七起飛時的加速度為一點五G；而F-16飛行動作所造成的加速度，甚至可達十一G。

在真正的飛行時，飛行員可感覺到飛機的晃動，還有由於各種飛行動作及大氣擾流所帶來的地心吸力變化，由於人體可以藉由眼睛所看到的畫面，而感受到大多數的運動感覺，因此技術上而言，模擬機可以不需要模擬地心吸力變化，不過由於真實飛行時，飛行員一定會

美國空軍的頭盔顯示系統



感覺到這種地心吸力，因此要在模擬機上使半規管有同樣的感受，模擬機必須能做水平和垂直方向的運動。

現在的模擬機是採用可動式平臺，由模擬機的移動來模擬地心吸力變化。由六個液壓唧筒組成的動作模擬機構，可以模擬飛機起飛時的加速度、在空中碰到亂流產生的機體上下晃動、著陸時鼻輪觸地剎那的衝擊與抖動。雖然模擬機任一方向的移動量很少超過兩英尺，所能模擬出的地心吸力變化最大只有一點八G，僅能提供運動開始改變時的一點點感覺，但總比沒有好，只是經驗顯示，這對模擬機的飛行性能表現並沒有什麼助益。不過在訓練針對遭遇濃霧或進入雲層的儀器飛行時，由於此時機外的景物幾乎是完全無法辨識，即使模擬機只提供了微小的運動變化，對飛行員瞭解機外的情況，也會有很大的幫助。

另一種模擬正G力既便宜又聰明的方法，是利用抗G衣。抗G衣包裹著飛行員的腹部及雙腿，當抗G衣內充氣時，會減緩人體上半身（尤其是頭部）血液向下流的速度，若模擬機是固定無法移動的，且常做正G值的動作，只要對抗G衣充氣，就暗示飛行員飛機在轉彎或爬升了。

美國的衛里研究所(Wyle Laboratories)在二〇〇〇年開發出稱為動態飛行模擬機(Dynamic Flight Simulator)的離心式模擬器，並獲瑞典空軍採用做為AS-39鈎喙獸戰機(Gripen)的模擬機。此模擬器將顯示系統、模擬座艙、以及離心機結合在一起，最高可產生十五G的重力加速度，且能長時間維持，讓戰機飛行員的感受幾乎與實際戰鬥飛行一樣，不過在模擬機高速迴轉以產生高G值時，飛行員頭部隨著離心機同步迴轉，內耳前庭內的半規管(semicircular

canals)感應到頭部的角速度變化，可能會造成飛行員的空間迷向。

訓練效益

模擬機省下了燃油和維修的花費，美國空軍一架F-16每小時的飛行訓練，燃油和維修的成本大約是五千元，用模擬機則花費不到十分之一，更重要的是，模擬機永遠不會失事墜毀，飛行員沒有喪命的危險。因此模擬機可以模擬出非常不可能發生，但有失事危險的情況，以訓練飛行員的反應。例如：我們不可能在實際的飛行中，訓練飛行員如何處理一具發動機失效，導致推力不平衡所產生的安定性、升力變化的情況，但在模擬機裡就可盡情練習。

模擬機也能改善飛行員的學習能力。研究指出某些飛行程序若分成小步驟，且以和原先不同的順序來練習時，不但學得更快，技術也會比較好。譬如：若飛行員要練習降落時

，先跳過其他的程序，直接練習最後進場(Final approach)，則他的降落技術會學得更好。

模擬訓練也能集中全部的心力在嘗試上，戰鬥機的空中纏鬥每次歷時不到一分鐘，但一小時的真正飛行裡，大約只能進行三到四次的實機對抗練習，而在模擬機裡，同樣的時間內，至少能練習二十到三十次。另外在降落時，百分之九十五的時間是花在盤旋和滑行，模擬機訓練時就能把這些省略掉，因此一小時的模擬飛行中，就能練習降落二十次以上。

有些模擬機還有凍結並重播畫面的功能，若教官發現飛行員操作錯誤，可以先凍結飛機的飛行姿態，和學員討論錯誤發生的原因後再重新飛行，之後整個飛行過程還可以由電腦照著飛行員原來的方式重飛一遍，加強飛行員的學習記憶。

模擬機的顯示畫面裡還可以增加一些實景裡沒有的物件，以協助飛行員熟悉飛行技術或

瑞典空軍鈎喙獸戰機的高G值離心式模擬機



CH-47契諾克(Chinook)直升機模擬機



瑞典空軍的模擬機可連線進行多架飛機的編隊飛行訓練



產生距離感。例如：在低空飛行時，飛行員最初會很難判斷地面上物體或地貌的高度，因此可以在畫面裡加上一些高度顯示，等到飛行員有了概念之後，再除去這些標示。

根據二次大戰、韓戰、越戰的經驗，模擬機還有另外的效益。這些戰爭中的空戰紀錄顯示：大部分被擊落的戰機，飛行員出任任務的次數都少於五次，若第五次任務能順利完成，則以後無論再飛多少架次，任務成功率會高達百分之九十五以上。這表示若飛行員在真正遭遇到敵機之前，能有相當於五次任務的訓練飛行，則陣亡率會大幅減少，甚至可能改變戰役的結果。

模擬機也能針對不同訓練方式，比較其中的成本、飛安、難度。各種訓練計劃的優劣，都可以在模擬機上進行比較，因此很容易就可以知道進行中的訓練計畫裡，那一個部分最有

成效或是最沒有效率。另外，還能嘗試新的訓練觀念和步驟，如果所嘗試的訓練只是整體飛行訓練的一小部分時，更能顯出模擬機省時省事的優點。

潛在缺點

雖然模擬機有著許多的優點，但根據美國空軍系統司令部(Air Force Systems Command)在一九八〇年代晚期所做的研究，發現模擬戰機的訓練效益方面，地對空任務要比遠航訓練來得差，原因就是畫面顯示的速度不夠快，無法給飛行員足夠的真實臨場感。雖然電腦硬體的進步可以改進速度的缺點，但戰機的性能也是與日俱進，要達到空軍所要求的標準，在短期內仍是無解。

而在民航機方面，雖然模擬機可以模擬飛機引擎失效的緊急情況，以訓練飛行員的臨場反應，但若模擬失真，一旦駕駛員遇到真實的情況，可能會有「小故障變成大災難」的嚴重反效果。一九九八年一架美國聯合航空公司的波音七四七由舊金山機場起飛後，一具引擎的壓縮葉片遭遇一連串的失速，造成駕駛艙劇烈的震動，正駕駛、副駕駛、以及另一組後備機員卻都認為是飛機結構發生了重大損傷，一時束手無策，最後飛機僅以高出一百英尺的高度，飛掠過機場東北方的山丘。

事後的調查顯示聯合航空駕駛員的反應是可以理解的，因為模擬機上的引擎失效訓練時，根本沒有真實地呈現出駕駛艙內應有的劇烈震動和強大噪音，這樣看來，事件的責任歸屬應該是模擬機的錯誤了，但真正的原因則是引擎製造廠商根本無法提供各種引擎失效情況時，正確的震動、噪音頻譜(spectrum)資料。「模擬世界」先天上是不能與「真實世界」完全一致的，在別無選擇之下，只能求其「堪用」

，但是兩者到底差異多少？也就是可以相信到何種程度？始終還是個困擾著模擬模式建立者以及模擬結果使用者的未知數，因此如何使模擬機能真實反應引擎失效的情況，已經成為民航模擬機亟待解決的難題了。

發展趨勢

模擬機的造價不菲，約在一千五百萬美金上下，而不同的機種和機型，又各有不同的模擬機，因此若機隊的機種較多，就得購置多種模擬機以應付訓練的需求，成本效益上非常不經濟。加拿大CAE電子公司(CAE Electronics)首先在一九九八年開發出可更換駕駛艙的直升機模擬機，除了實景畫面的數學模型和飛機的飛行特性數據，得配合不同的機型而重新輸入電腦外，其他部分皆能根據實際訓練需要，在完全不必更換電腦設備、模擬運動裝備、顯示系統的情況下，可以配置三種不同的駕駛艙，

加拿大CAE電子公司開發可更換駕駛艙的直升機模擬機



而不需同時購買三種模擬機，非常具有市場發展潛力（尤其是機型繁多的各國空軍），因此世界各國的主要模擬機製造廠商，也紛紛向此靠攏而提出設計雛型，顯然這種新觀念將成為未來模擬機的設計主流。

另外由於個人電腦的計算能力飛躍的進步，以個人電腦取代模擬機上主控電腦，也是未來可能的發展方向。美國克羅拉多州首府丹佛市的首都州立大學(Metropolitan State College of Denver)與美國聯合航空公司學術合作計畫下，在一九九八年以不到十萬美元的經費，利用五部工作頻率兩百三十三萬赫茲之個人電腦，使該公司一部報廢的DC-10座艙程序訓練器(cockpit procedure trainer)轉變成爲固定式的全功能模擬機，並可提供爲該公司新進飛行工程師的訓練之用。由於個人電腦硬體的進步一日千里，加上價格便宜的致命吸引力，在國防經費緊縮及民航公司講求利潤的經濟效益需求下，個人電腦在模擬機上的應用將具有一定的發展潛力。

結語

模擬機的使用已經是世界共同的趨勢，雖然在民航界有模擬引擎失效不夠真實，而造成飛行員反應錯誤的隱憂，但基本上不論是民航界或空軍飛行部隊，仍然以模擬機來執行新進飛行員的最基本訓練，遇有重大飛安事件時，民航界更普遍以模擬機來協助研判事件發生的原因，進而防止類似事件的再度出現。不過，模擬機除了在經費及飛安有很大的幫助之外，最重要的貢獻則是提供了有效益的訓練，任何一種訓練科目都能再三地重覆練習，操作錯誤也能馬上更正，使飛行技術達到完美的境地，這是真正的飛機在實際的飛行中永遠無法做到的。(完)

著作授權書

一、授權內容：

本人 保證所著作（譯著）之「 為本人所創（譯）作（若為共同創作及譯著時，業已取得共同創作者及原作者之授權），並授權國防部空軍司令部將上述作品用於其所屬軍事期刊刊載及從事相關學術研究活動，另同意對該作品之所有權轉讓予國防部空軍司令部。

二、著作權：

本授權書為專屬授權，本人同意由國防部空軍司令部全權處理，並聲明及保證上述授權著作，均為合法之創（譯）稿作品，被授權人有權依本授權書內容進行各項授權、使用，且未侵害任何第三人之智慧財產權，如有侵害，概由本人自行負法律上責任。

授權人（代表人）：（如為共同著作應註明為代表人，並就其詳填上列個人資料）

姓 名：

身分證字號：

聯絡電話：

通訊地址：

本刊啟事



一、為配合主計作業規定，欲訂閱本刊者，請將款項以匯款方式匯至「中央銀行國庫局，帳號：三〇一三九，戶名：九〇二五一—二一〇一專戶」，完成匯款手續後，請將訂閱者姓名、詳細住址及訂閱本刊起迄期數、冊數，併同匯款收據傳

真或郵寄至本社，傳真電話：（〇二）二七三一八七一七。地址：臺北市仁愛路三段空軍司令部。如有不便，尚祈見諒。

二、邇來國軍各單位迭有投稿軍事期刊社之文章發生侵權爭議情事，為避免觸犯著作權法，請作（譯）者填寫著作授權書（格式如左，請以A4紙張自行放大影印），連同作品一同寄送本社（若為電子郵件投稿，請將著作授權書以書面或傳真方式送達）；翻譯稿需請譯者自行查證是否獲得授權。投稿文章如涉抄襲，請投稿人自行負責。

空軍司令部 文宣心戰組 敬啟