

# 飛行訓練好幫手

· 魏楞傑 ·

## 模擬機 (上)

### 摘要

早在二次大戰的時候，就已經有模擬機的概念了，不過當時只是在一架簡陋的假飛機裡，讓飛行員練習熟悉機上的儀表顯示罷了。大戰後航空工業及民航事業蓬勃興起，飛機性能的演進一日千里，飛行工作也日愈複雜困難，在考慮安全和成本效益的因素之後，模擬機就顯示出它在飛行訓練上獨特的優越性，而模擬科技的快速發展，也讓模擬機的擬真度越來越逼近真實，以往最難模擬的戰機高G值動作，如今也出現在模擬機上了。

### 前言

今天，大多數的基礎飛行教學方式，依舊和飛機剛發明時沒什麼兩樣：坐在真正的飛機裡，手握操縱桿，與身邊或背後的飛行教官共同翱翔於天際，等到能單飛時，剩下的飛行訓練課目就由自己獨自進行。不過由於飛機的性能與日俱進，飛行員還得不時注意複雜的儀表板，這種學習方式潛藏著很大的危險性。

二次大戰時，戰鬥機的空速很少超過每小時兩百五十哩，大概和現在的一級方程式(Formula-1)賽車速度差不多，而現在的戰鬥機速度至少增快了兩、三倍，更重要的是在這麼快的速度下，還必須做各種飛行動作，因此飛行員能反應的時間很短促。例如以每小時六百哩的速度巡航時，一秒鐘的飛行距離就是一千多英尺，五秒鐘就飛行了一哩，以這種速度在一千英尺的高度平飛時，若地面的地形高低變化率是正百分之五，這種變化率在空是很難察覺的，只要機頭的仰角保持不變，則飛機會在二十秒內撞地；若飛行高度是一百英尺，則撞地的時間縮短到只需要兩秒鐘。

如果飛行員這時候正分心於別的事情，例如：與友機通話、搜尋機尾可能的偷襲者、準備攻擊鎖

定的目標……，這麼短促的時間根本就來不及反應，萬一同時正注意好幾件事情，那情況就更加不妙了。如何訓練飛行員面對這麼忙碌的情況，而又不致發生危險呢？答案就是模擬機。

現在一些造價昂貴的武器系統，如：軍艦、直升機、戰鬥機，幾乎都以模擬機來訓練新進人員，其中戰鬥機最難模擬。戰鬥機的飛行速度快、飛行高度低，模擬機系統要如何產生夠快的螢幕畫面，對飛行員的操控動作做出立即的反應，這是個很大的挑戰。

### 模擬機

遊樂場內最常看見的賽車電玩就有些類似模擬



二次大戰時非常簡陋的林克模擬機。

機，在玩這種遊戲時，放在遊戲者眼前的不是擋風玻璃，而是顯示道路情況的電視螢幕，由電腦所播放的動畫畫面考驗著遊戲者的駕駛技術和反應，如果有其他車輛靠近或是要閃避障礙物時，遊戲者就以方向盤、油門、煞車來控制車子的速度和方向。這種電玩有一個最大的缺點：遊戲者的任何操控動作，都不會改變預先設定的螢幕畫面內容，轉動方向盤時，也不會感覺到車子在轉彎，這就是所謂的開放系統(open system)。模擬機則是採用封閉系統(closed system)，螢幕畫面會隨著外來的操縱動作而有所變化。

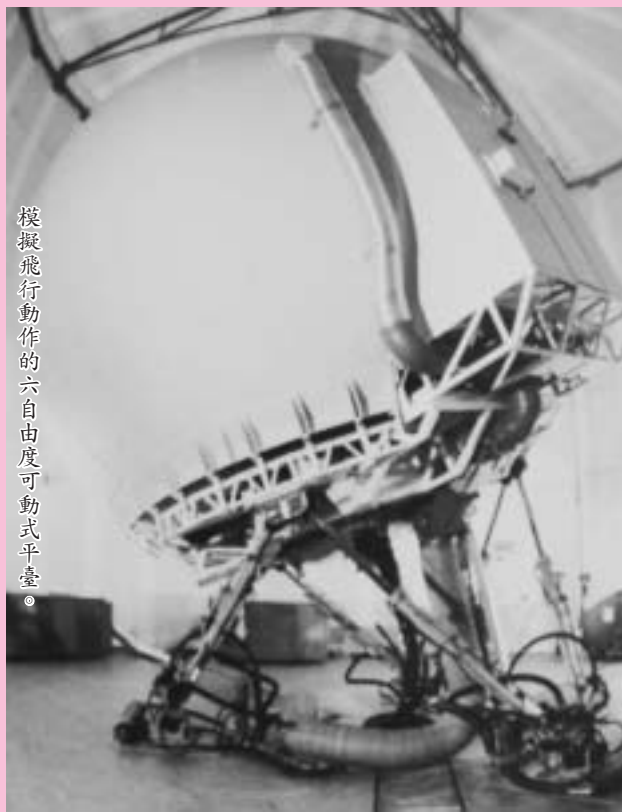
模擬機的使用早在二次大戰時就開始了，當時美國一位飛行員林克(Edwin Link)製造了最雛型的模擬機，稱為林克訓練機(Link Trainer)，飛行員坐在這種很簡陋的機器裡，主要只是在地面上練習熟悉飛機上各種的儀表顯示，以及很簡單的飛行動作而已，與今天的實境顯示模擬相差甚遠。

典型的模擬機，基本上包括一個完整的真實座



典型的模擬機裝備配置。

模擬飛行動作的六自由度可動式平臺。



艙，座艙玻璃上則滿布顯示器，當飛行員搖動操縱桿時，顯示器的畫面會隨著改變。為了模擬飛機在飛行時的各種動作，座艙是安置在一個由液壓唧筒推動的六自由度可動式平臺上（6-Dof motion platform），座艙會晃動，甚至還可以模擬出大氣擾流所造成的飛機顛簸情況，加上一套臨場感的音響，提供引擎發動、氣流、起落架收放觸地的各種聲音，超動感的聲光效果，很容易讓人錯覺是在真飛機的座艙內。

民航模擬機的座艙平臺通常單獨放在一個房間裡，隔壁房間則是一部主電腦，負責操控和記錄模擬機的飛行，座艙內除了受訓的駕駛員外，還會有一或兩位飛行教官。戰鬥機的模擬機比較簡單，一般都沒有可模擬出飛行動作的可動式平臺，座艙固定在地面上，正前方及側方圍繞著投射銀幕，座艙側後方則是投影機、電腦和飛行教官。模擬機的飛行教官負責扮演著多重的角色：正駕駛、副駕駛、長機、僚機、地面塔臺控制人員、敵方防砲部隊、敵機；它會隨時發動各種不同的飛行狀況，如：變更降落機場、改變攻擊目標、發射地對空飛彈、出動敵機展開攻擊；甚至改變成為惡劣的天候，讓飛機部分功能失常……等等，製造合理的混亂情況，來訓練飛行員的反應。

## 實景畫面

如何將飛行時的機外景物顯示在模擬機飛行員的眼前呢？第一步是製作飛行過程中的實景畫面，畫面的細緻程度得視訓練內容而定。最早期的實景畫面是飛機場和航空母艦，因為模擬機最初主要就是用來練習起飛和降落，其他常用的實景畫面還有：在一望無際天空中的加油機，練習空中加油；或是幾架敵機，練習空戰。近期的實景畫面則包括了模擬低空飛行的大片地形，地面上有需要觀察或攻擊的目標、需要閃避的地對空飛彈及天然障礙物。

就觀念而言，製作實景畫面的方式有兩種：一、用攝影機拍攝縮小實體模型的景物；二、以電腦產生畫面，再以投影機投射到銀幕上或直接顯示在螢光幕上。若是使用縮小實體模型，則模型上方掛著一架可以任意移動，代表飛機的攝影機，飛行員透過攝影機的鏡頭，可以由螢幕上看到模型的一景一物，如果飛行員將模擬機加速，攝影機的移動速度會隨之加快；若飛行員將飛機轉彎，攝影機也會傾斜。

典型的實體模型大約寬三十英尺，長六十英尺，一般以三分之一的比例縮小，大約可以表現出六平方英尺的地面。模擬機飛行員手上的操縱桿與一高速馬達相連動，使攝影機能隨著飛機的飛行姿態及速度，做相對成比例的運動。

實體模型最大的優點是能將物體的細節呈現得非常清楚，有的甚至是電腦無法顯示的，但受限於攝影機鏡頭不能與模型靠得太近，實際的使用上會有所限制。例如：飛機要起飛或降落時，在跑道上方十英尺高度的飛機，在比例尺三分之一的模型裡，鏡頭離模型只有一公分，這麼近的距離，攝影機稍一不慎就很可能會撞擊到模型，同時在這麼近

的距離裡，一般的鏡頭根本沒有足夠的景深，因此拍攝到的只是一片模糊的影像。

實體模型的缺點還有：製作成本很貴、想要在模型內做景物的增減相當麻煩、能顯示的區域有限、而且和飛行員之間沒有互動性；例如：車輛不會行駛，物體被攻擊時也不會冒出一股黑煙後支離破碎，加上能呈現的範圍有限，幾次練習之後，飛行員對模型的內容就能背得滾瓜爛熟，因此實體模型被運用的最多的地方，就是重覆練習接近地面時的飛行動作，例如：降落、近距離攻擊飛行、直升機滯空飛行練習……等。

若實景畫面是由程式產生，則是由電腦負責產生對應於各種飛行動作下，飛行員眼裡所應看到的飛行畫面。電腦產生的畫面不但栩栩如生，富有變化，還可以製造特殊效果，如：雲霧、目標被擊中後的爆炸、夜間飛行的星光……等，因此已被模擬機廣加以採用。

用電腦產生畫面的第一步也是建立顯示模型，這一點和實體模型的道理是一樣的，但電腦模型所

戰鬥機的模擬機裝備配置。





涵蓋的範圍比實體模型大了許多，而且只受到電腦記憶容量和處理速度的限制，因此若有足夠的電腦記憶體，幾乎可以顯示無窮盡的各種畫面。電腦模型內以數學方式定義了地形的物理尺寸、地貌的起伏、以及地表上各種物體的特徵。

一旦模型以數學的方式輸入電腦記憶體內，則在任何時間，要電腦顯示飛行員在座艙裡所看到的影像，就得靠電腦計算出每一個物體相對於飛機的位置，並顯示在適當的位置。畫面中有些看不見的部分，例如：飛行員背後的影像、太遠而肉眼難辨的物體、被前景遮住的物體……，都得靠電腦執行物體的空間轉換計算後，加以適當的裁剪。

地面上可辨識的特徵，電腦需以適當的方式顯示在銀幕上，例如：當飛機飛近平地上一片正方形的稻田時，飛行員眼裡所看到的並不是個正方形的田野。飛機飛近稻田時，前方的景物逐漸放大，眼前的田界比較寬，兩旁的田埂則由近至遠向後併攏，消失在遠方的地平線上，田野呈現梯形的形狀，只有當飛機恰好飛在稻田正中央位置的上方，且能同時看到稻田的四邊時，所看到的才會是原本的正方形。

電腦產生畫面最大的優點是：它所能產生及顯示的地貌大小完全沒有限制。實體模型只能顯示幾平方英哩的地面，而電腦畫面則可涵蓋整個天空，綿延數千英哩，由沙漠到叢山峻嶺的各種地形。理論上，電腦畫面可以顯示到非常細緻的程度，但實際上，物體描述得越詳細，如：樹上的葉片、大樓的標誌、馬路、跑道、山上的岩石……都要一一顯示的話，電腦產生畫面所需的時間就越久。當飛機飛越模型上空時，電腦必需產生即時(real time)畫面，所以畫面的細節部分會受到電腦的容量、速度、畫面更新頻率的限制，在飛機貼地飛行時，這尤其主要的關鍵。即使理論上電腦產生的畫面可以和實體模型一樣詳細，但目前沒有任何電腦可以做到這一點，特別是在低空快速飛行的時候。

#### 顯示系統

模擬機畫面顯示系統，是採用光柵(gaster)掃描式陰極射線管顯示器，它的外形和電視映像管很類

似。視野侷限在前方及側方的民航模擬機，只需在駕駛艙玻璃窗外掛上幾個顯示器就可以了。戰鬥機的視野非常寬廣，而且座艙罩的形狀為水滴型，非常不規則，無法安置顯示器，因此，只能在模擬機的周圍擺置投射銀幕，以投影機將顯示器畫面投射到銀幕上。

陰極射線管顯示器的工作原理，是以電子鎗掃描顯示幕上的點像素(pixel)來發出亮光，標準的美規(National Television Standard Committee, NTSC)家用電視不論何種尺寸，垂直方向一律有四百八十三條可見的掃描線，由上往下編號為一到四百八十三，每條掃描線上有六百四十點像素，電子鎗沿掃描線移動時，像素會依序發亮。為了消除掃描時產生畫面閃爍的現象，電子鎗採交錯式(interlaced)掃描，由左上向右下先掃描奇數的兩百四十一點五條掃描線，接著是另外的兩百四十一點五條偶數掃描線，全部的奇、偶數線掃描一次各需時六十分之一秒，也就是顯示幕上的像素每秒鐘會明暗三十次，這也就是畫面的最快更換頻率。人類眼睛的視覺暫

留約為二十四分之一秒，只要每秒鐘能提供二十四幅以上的畫面，眼睛就會覺得看到的是連續畫面。模擬機顯示器的掃描線數由三百條至一千零二十四條，每條掃描線上的像素由五百一十二點到一千零二十四點，這兩者關係到畫面能否清楚辨識的解析度。顯示器的解析度和像素間的距離、顯示器到觀看者間的距離都有關係，若掃描線和像素點的數目是固定的，則越大的顯示器，解析度越差。換言之，若只顯示小畫面，解析度會變得極佳，再怎麼瑣碎的細節都能呈現；但若要顯示大畫面，則解析度當然會變差。為了避免發生這種情況，通常模擬機會並排好幾部獨立的顯示器，各自負責部分的畫面。

投射銀幕上的畫面亮度取決於陰極射線管本身的功率輸出，以及飛行員和銀幕之間的距離。就光學而言，戰機飛行員看到的真實景物細微部分，是來自無限遠的地方，因此在投影機內有一組平行校正鏡(collimate lens)，使投射到銀幕上的光線會平行反射，就好像是來自遠方的物體一樣。一般室內的亮度是每平方公尺五十燭光，而模擬機投影機所發出的亮度是每平方公尺一百燭光，投射到銀幕時，校正鏡和銀幕會吸收大部分的亮度，因此到達飛行員眼中的亮度大概只有一燭光，約略就是黎明時的亮度。由於人眼很快就能適應亮度的改變，因此要看清楚這麼幽暗的畫面不會有什麼困難，但明亮對比就比較麻煩，一些肉眼只能依稀辨識的物體，幾乎都無法顯示。

另外一種還在發展中的畫面顯示方式，是把小型顯示器整合在飛行員的頭盔上，掛在飛行員的雙眼前，陰極射線管的畫面由光纖傳輸到顯示器。頭戴式顯示器的解析度和明亮度都非常好，又能在兩眼顯示不同的畫面，因此在處理影像的深度時很有用，可以創造出立體的效果，讓飛行員體驗到運動中物體的前後相對位置，這是目前任何顯示方式都無法做到的。而且這種顯示方式所佔空間很小，除了電腦和投影裝備仍然不可缺少外，外掛式投射銀幕或大型顯示器都可以省下來，因此最具成本效益。(待續)

飛行員進行模擬機訓練時，飛行教官負責扮演著多重的角色。

