

國立雲林科技大學
工業工程與管理所碩士班
碩士論文

輕航機儀表介面對駕駛反應績效之影響

研究生：葉育恩

指導教授：陳敏生

中華民國 九十五年 六 月

輕航機儀表介面對駕駛反應績效之影響

Evaluation of Instrument Display on Ultra light Aircraft

研究生：葉育恩

指導教授：陳敏生



國立雲林科技大學

工業工程與管理所碩士班

碩士論文

A Thesis

Submitted to

Institute of Industrial Design

National Yunlin University of Science & Technology

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Industrial Design

Institute of Industrial Engineering and Management

June 2006

Douliu, Yunlin, Taiwan, Republic of China

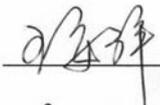
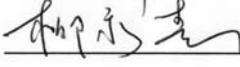
中華民國九十五年六月

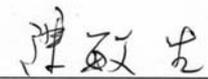
國立雲林科技大學
研究所碩士班
論文口試委員會審定書

本校_____工業工程與管理_____研究所_____葉育恩_____君

所提論文_____輕航機儀表介面對駕駛反應績效之影響_____

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：
_____  _____
_____  _____
_____  _____

指導教授：_____  _____

研究所所長：_____  _____

中華民國 95 年 6 月 30 日

輕航機儀表介面對駕駛反應績效之影響

摘要

飛行是許多人長久的夢想，能夠翱翔於天地之間更是人生一大樂趣，隨著經濟與生活水平提升還有週休二日的實施，使得輕航機運動在台灣急速發展，如今已匯聚了超過百台的輕航機與近千人的飛行同好共同飛翔於台灣上空，但也因此而造成相關的飛安事件；這些意外的發生除了人為疏失之外，飛行導航儀表的設計也將影響飛行時的判斷能力，更是飛行安全的重要保障。

本研究目的在於比較目前現有的輕航機儀表，其類比顯示模式與數位顯示模式之呈現效果。分別以空速表、高度表、引擎轉速表、油量表、姿態儀、油溫表、電壓表；七種常見之輕航機飛行儀為本研究之對象，並邀請 24 位當地台灣民眾進行不同儀表的顯示與整體排列組合測試，以找出最適合台灣民眾學習與使用的輕航機儀表配置組合。

實驗結果發現不同的儀表位置擺設配置對於反應時間來說，並無顯著關係；而儀表顯示模式對於受測者整體反應時間則有顯著效應存在。其中數位儀表顯示器的反應績效均優於類比儀表顯示；此外本研究亦發現，受測者對於油溫表、電壓表之偵測正確率亦未達顯著性，說明了本實驗偵測正確率，乃受測者本身的身心狀態及當時專注力影響所致。研究雖初步證實數位儀表顯示反應績效均優於類比儀表顯示，但亦針對航空飛行導航需求、類比儀表設計改進、實驗劇本操弄與對於飛安事件的發生等亦提出相關建議與討論，以作為日後研究發展與應用之參考依據。

關鍵字： 航空飛行儀表、數位顯示、類比顯示、反應時間

Evaluation of Instrument Display on Ultra light Aircraft

Student : Yeh, YU-EN

Advisors : Dr. Chen, Min-Sheng

Institute of Industrial Engineering and Management
National Yunlin University of Science & Technology

BSTRACT

Flying has been everyone's dream for many centuries , flying around the sky also be a pleasure thing . With the growth of economic and technology let Ultra Light Aircraft attract Flying become a common activity. Today there are always hundreds of Ultra Light Aircrafts flying in the Taiwan sky and the Flying population also group up to thousands but also caused many flying events . Flying accidents may come from anthropogenic sources .Now with a quality instrument system would help all pilots make proper decisions and do right actions to keep better aviation security . This study use seven indicator including Airspeed indicator 、Attitude Indicator、 Tachometer Indicator、 Fuel Indicator 、 Oil Temperature to compares analog and digital two main ultra light aircraft instrument display system for flying achievement and design two kinds of instrument layout for 24 objectors to find an efficient fly instrument system for Ultra Light Aircraft .

The result shows that there is no significant evidence between instrument layout and reaction time , and also has no significant evidence between instrument layout and debug performance but there has much significant evidence between indicator display and reaction time which means the debug performance is effected by individual psychosomatic situation , though the reaction performance of digital instrument is better than that of analog instrument this study also list several methods and working steps including detail analysis of aircraft flying 、modify analog indicators structures and refine the scenario for other advanced research .

Keywords : Air plane indicator ,Digital display , Analog display ,Reaction time .

致謝

本研究論文得以順利完成，得感謝許多人在這段期間的提攜與協助。首先感謝我的指導教授陳敏生老師，在這兩年來悉心的指導，不僅培養我做研究的能力讓論文得以完成，同時也樂於分享待正確的人處世態度與積極樂觀的人生看法，這些都足以作為本人學習的典範，在這裡獻上最高的敬意與謝意。

國內外針對輕航機儀表的研究著作為少見，若沒有品高企業航太事業部技術部門經理，王忠誠先生的珍貴資料提供與關於專業航空飛行經驗的分享，將使得本研究的難度更加提高，方向更難掌控。本研究乃以收集測試者反應時間作為資料分析來源，因此還得特別感謝淳霖國際郭明憲先生，對於時間紀錄程式的設計與修改，讓本實驗得以獲得做精確的反映數據；本論文得以順利完成還得感謝班上陳明正同學與陳正昆同學，兩位同學熱心的資料提供及意見交流，而與他們這兩年來的相處在各方面也讓我獲益良多。

對於口試委員柳永青博士與王安祥教授，在口試過程中的不吝指正，得以使得論文更佳完整正確，在此一併致謝。最後感謝在研究所兩年期間不斷給予我支持與關懷的家人並呈上最深的感激與祝福。

僅誌

民國九十五年六月于雲科大

封面-----	I
書名頁-----	II
授權書-----	III
論文口試委員會審定書-----	IV
中文摘要-----	V
英文摘要-----	VI
誌謝-----	VII
目錄-----	VIII
表目錄-----	XI
圖目錄-----	XIII
第一章 緒論-----	1
1.1 研究背景-----	1
1.2 研究動機-----	1
1.3 研究流程-----	2
1.4 研究限制-----	4
第二章 文獻探討-----	3
2.1 資訊之顯示與意義-----	3
2.1.1 顯示器所呈現的資訊類型-----	4
2.1.2 儀表的設計原則-----	5
2.1.3 儀表顯示內容-----	6
2.2 類比與數位顯示-----	6
2.3 動態儀表的配置原則-----	7
2.4 人類能力及現與差異-----	8
2.4.1 感覺能力極限-----	8

2.4.2 反應能力極限-----	8
2.4.3 認知能力極限-----	9
2.4.4 速度與錯誤-----	10
2.5 航空儀表的發展-----	11
2.6 輕航機定義與儀表使用介紹-----	12
2.6.1 輕航機的定義-----	12
2.6.2 目前台灣輕航機發展現況-----	12
2.6.3 輕航機設計與儀表介紹-----	14
2.6.4 飛行儀表的擺設-----	20
	
第三章 研究方法	
3.1 研究步驟-----	22
3.2 實驗設計-----	22
3.2.1 關於測試影片-----	22
3.2.2 實驗儀表顯示模式-----	23
3.2.3 自變數因子配置-----	24
3.3 劇本描述-----	28
3.4 反應時間設定-----	33
3.5 關於反應資料記錄程式-----	35
3.6 關於反應資料蒐集-----	39
3.7 實際實驗流程-----	39
3.8 資料蒐集-----	45
第四章 實驗結果-----	46
4.1 資料分析-----	46
4.1.1 不同儀表配置反應績效比較-----	48

4.1.2 不同儀表顯示反應績效比較-----	49
4.2 姿態儀、電壓表、油溫表於不同儀表配置之反應績效比較-----	51
4.2.1 姿態儀於不同儀表配置反應績效比較-----	51
4.2.2 不同配置組合偵測正確率績效比較-----	52
4.3 分析與討論-----	53
4.3.1 儀表配置反應績效分析-----	53
4.3.2 不同儀表顯示反應績效比較-----	53
4.3.3 不同配置組合姿態儀反應績效比較-----	57
4.3.4 不同儀表配置偵測 正確率分析-----	58
第五章 結論與建議-----	60
5.1 討論-----	60
5.2 後續研究建議-----	61
附錄(A) Titan 912 機身與駕駛儀表實際拍照圖-----	66
附錄(B) 類比導航飛行儀表說明表-----	67
附錄(C) 數位導航儀表說明表-----	68
附錄(D) 姿態儀判讀說明表-----	69
附錄(E) 欄位儀表配置介面與鍵盤對應鍵分配表-----	70
附錄(F) 群集儀表配置介面與鍵盤對應鍵分配表-----	71
附錄(G) 欄位儀表配置測試紀錄對應表至字卡三為例-----	72
附錄(H) 群集配置實際受測資料表以字卡到字卡三為例-----	73

表目錄

表 2.1 開窗式、環閉式及值條式平均讀取時間比較表	4
表 2.2 不同反應動作延遲時間比較表	9
表 2.3 台灣輕航機飛行場統計表	13
表 2.4 姿態儀顯示與飛行狀態對應表	18
表 3.1 數位儀表顯示	23
表 3.2 類比儀表顯示	23
表 3.3 儀表配置實驗分配表	25
表 3.4 欄位儀表實驗介面	26
表 3.5 群集儀表實驗介面	27
表 3.6 測試影片字卡內容設定	31
表 3.7 儀表顯示頻率與反應順序排列表	33
表 3.8 個別儀表判讀順序與反應次數統計表	34
表 3.9 不同儀表配置與鍵盤對應鍵配置表	34
表 3.10 欄位排列儀表測試及鍵盤反應鍵對照表	36
表 3.11 群集排列儀表測試及鍵盤反應鍵對照表	37
表 3.12 實驗儀表組合與鍵盤對應鍵總表	38
表 3.13 輕航機類比儀表說明表	40
表 3.14 姿態判讀說明表	42
表 4.1 空速表受試者內效應檢定表	46
表 4.2 高度表受試者內效應檢定表	47
表 4.3 轉速表受試者內效應檢定表	47
表 4.4 油量表受試者內效應檢定表	47
表 4.5 不同儀表配置反應時間統計表	48
表 4.6 不同儀表配置反應時間異數分析表	48
表 4.7 個別儀表名數性統計量表	49

表 4.8 配置因子個別儀表變異數摘要表-----	49
表 4.9 不同儀表顯示描述性統計表-----	50
表 4.10 顯示因子總反應變異數摘要表-----	50
表 4.11 顯示因子個別儀表描述統計表-----	50
表 4.12 顯示因子個別儀表變異數摘要表-----	51
表 4.13 姿態儀反應時間描述性統計表-----	51
表 4.14 姿態儀變異數摘要表-----	51
表 4.15 偵測正確率描述性統計表-----	52
表 4.16 偵測正確率變異數摘要表-----	52
表 4.17 反應時間統計表-----	54
表 4.18 姿態儀反應時間統計表-----	57
表 4.19 正確率統計表-----	58



圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	2
圖 2.1 空速表	15
圖 2.2 高度表	15
圖 2.3 引擎轉速表	16
圖 2.4 升降速率表	17
圖 2.5 姿態儀	17
圖 2.6 油量表	19
圖 2.7 電壓表	19
圖 3.1 實驗配置流程圖	24
圖 3.2 類比儀表配置圖	43
圖 3.3 反應程式操作介面	44
圖 3.4 影片啟動介面	45
圖 4.1 空速表不同配置與顯示模式平均反應時間	55
圖 4.2 高度表不同配置與顯示模式平均反應時間	55
圖 4.3 轉速表不同配置與顯示模式平均反應時間	56
圖 4.4 油量表不同配置與顯示模式平均反應時間	56
圖 4.5 姿態儀反應時間直條圖	57
圖 4.6 欄位、群集電壓表平均偵測正確率	59
圖 4.7 欄位、群集配置油溫表平均偵測正確率	59

第一章 緒論

1.1 研究背景

自古以來飛行是許多人的夢想，能夠翱翔於天地之間更是人生一大樂趣，如今，飛行已成爲了人們的主要休閒活動項目之一。飛機的功能也再不只是裝載運輸，更是飛行熱愛者們生命的原動力與生活的調味品。

對台灣國民而言，經濟條件已達到較高的水準，週休二日的實施增加了國民的休閒時間與更多的活動參與選擇性。台灣嘉南平原廣大、氣候合宜，適合發展飛行運動。近幾年來台灣亦有走向休閒觀光產業之趨勢，所以發展飛行運動更是勢在必行。

由於輕航機容易操作，飛行門檻不高而台灣也於民國七十年引進輕航機，至今全省已有近 15 處的輕航機飛行場，匯聚了超過百台的輕航機與近千人的飛行同好共同飛翔於台灣上空，但也因此而造成相關的飛行意外的發生，如發生於 2005 年 10 月份，劉姓駕偕同女友，駕駛輕航機從台南山上飛行場起飛，沿南二高往北飛，在抵達嘉義梅山出事地點，因濃霧和機件故障不幸墜毀山區[1]；此外還有近日於紐西蘭兩架輕航機空中相撞，此意外也造成兩人喪生[2]，不過，地面沒有人傷亡等相關報導[2]。這些意外的造成，除了來自飛行員的人爲疏失之外，輕航機本身的機構設計更是影響飛行安全的重要因素，也因此近來關於飛行導航方面的儀器研發，如衛星導航定位導航系統設計、飛行複合材料的研發以至於針對飛行儀表的介面排列、顯示與儀表顯示內容的改進也都成爲熱門議題，其目的都是希望讓整個飛行活動更具安全性、可靠性，讓人們能更安心的享受飛行的樂趣。

1.2 研究動機

目前國內輕航機大多由國外進口，國內少數輕航機製造商飛機設計規格亦大多仿自歐美國外機型，飛行儀表上的設計自然與目前台灣飛行環境、國人對於飛行儀表的認識及相關的飛行導航系統使用習慣有所出入。

本研究目的在於比較目前現有的輕航機儀表，其類比顯示模式與數位顯示模式之呈現效果。分別以空速表、高度表、引擎轉速表、油量表、姿態儀、油溫表、電壓表；七種常見之輕航機飛行儀爲本研究之對象，並邀請 24 位當地台灣民眾進行不同儀表的顯示與整體排列組合測試，以找出最適合台灣民眾學習與使用的輕航機儀表配置組合。

1.3 研究流程

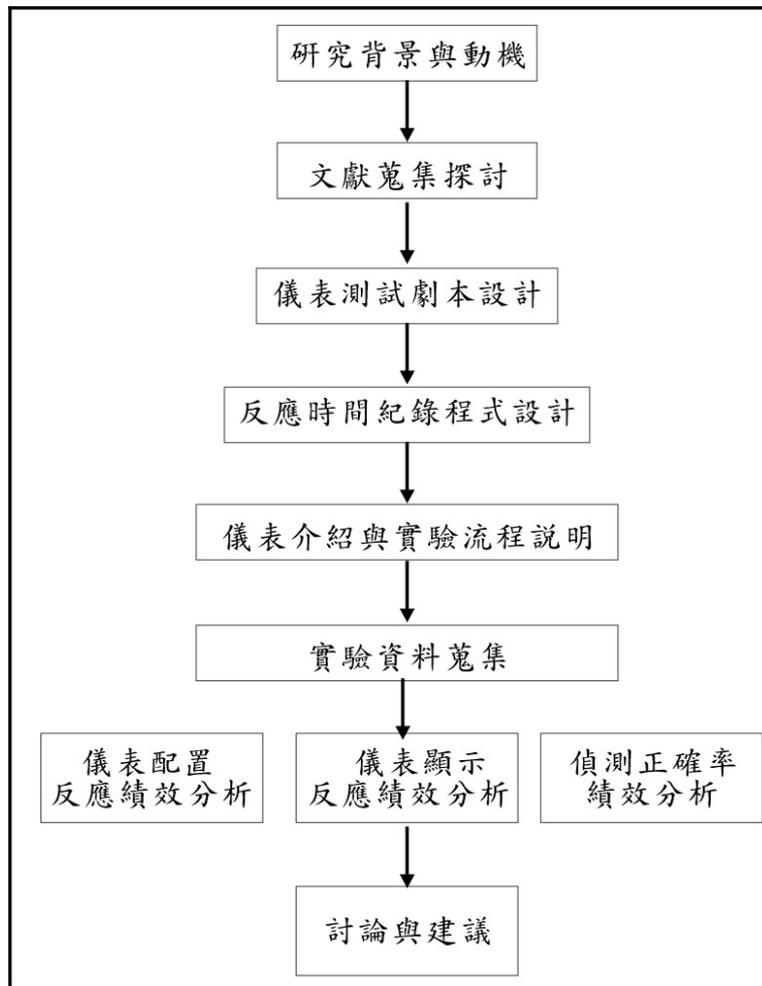


圖 1 研究流程圖

1.4 研究限制

飛行是具高度技巧性與安全性考量之行爲，且一般大眾不易直接採用高精密高價格之飛行模擬機具加以進行實驗。故本研究於實驗室進行，採用虛擬飛行影片並配合由 3D 影像軟體所繪製的實驗儀表組合，營造真實之飛行儀表導航反應情境。

實驗工具主要以虛擬輕航機座艙儀表版與反應時間程式紀錄器爲主，以求得測者反應時間。而真實飛行導航過程，飛行員對於儀表的反應行爲績效，除受到儀表版本結構與儀表排列組合及儀表顯示類型影響外，亦受到相關機體週邊構造與電控設定等操作而影響。而本研究希望借現代數位科技所賜，盡量降低影響飛行員進行飛行導航反應的影響因素，進而找出較務實有效的儀表介面反應組合。

第二章 文獻探討

2.1 資訊之顯示與意義

典型而言，資訊的來源係指某些物體、物件或是環境狀況。而針對資訊的接收方式又分為直接感覺與間接感覺。直接感覺，如直接觀看一架飛機或是直接目及車輛正在移動等。間接感覺則是資訊透過一個媒介再傳送給接收者，例如透過雷達觀測飛機位置或是利用望遠鏡觀測遠方動物行為等等。凡是以間接方式呈現資訊的任何物體都可成爲一種資訊顯示裝置，諸如飛機儀表、交通號誌、收錄音機等。

然而事實上，在目前的生活型態中，資訊的獲得大都是經由間接感覺而來，因此在動用到間接資訊接收媒介的情況下，如何設計一個符合人因工程概念的顯示器及顯示裝置組合便是工程師們的努力目標。

2.1.1 顯示器所呈現的資訊類型

顯示器所呈現的資訊可分為動態(Dynamic) 與靜態(Static) 兩種。動態顯示器所涵蓋的範圍甚廣，包括呈現數量性質、狀態與表徵等顯示裝置，其中又以數量與性質顯示器最爲重要與常見。動態資訊會持續變化或者在一段時間內會有所改變如紅綠燈、溫度計、時鐘、雷達螢幕等；至於靜態資訊則一直或是至少在某段時間保持固定，如印刷品出版品、交通號誌、地圖標籤等。然而由於電腦終端機與液晶螢幕顯示器等的問世，使得動態與靜態資訊兩者之間的區別也越來越模糊了，而對於這些關於儀表的人因工程研究與效標統計也出現於相關研究手冊之中[3]、[4]。

- (一)計量資訊(Quantitative information)：顯示器所呈現的爲某些變項的變化數值，如高度表、空速表與引擎轉速表等。計量顯示裝置顯示器所呈現的爲某些變項的變化數值，而這些數值本身容易改變與受到外界影響產生變化，因此在數量顯示裝置便會根據顯示的不同精密度要求而有量表單位或刻度單位(Scale Unit)之概念。而時數量顯示器又分針動式(量表固定，指針移動)、表動式(指針固定量表移動)及數位式(變動所顯示的數字)等三種。[5]
- (二)定性資訊或性質資訊(Qualitative information)：性質視覺顯示裝置其目的就是顯示出某些變數的狀況或近似值。而計量顯示資訊可以以三種不同的方

式作為定性顯示裝置判讀的基礎。(一)判定所處狀態或狀況，如電壓表以不同顏色區分電壓適中與過高等。(二)大略維持特定的顯示數據範圍，如空速維持在 45 海浬至 60 海浬之間。(三)觀察未來的可能變化，如飛行高度的變化等。

- (三)狀態資訊(Status information)：顯示所呈現的為某一系統的情況或狀態，如電源開關、紅綠燈等。
- (四)警告與信號資訊(Warning and signal information)：顯示器所呈現的為警告與危險的狀況與指示，如飛機與燈塔的標示燈。
- (五)表徵資訊(Representational information)：用以表示或象徵物體區域或其它構形的圖表。例如 3D 立體地形結構圖等。
- (六)識別資訊(Identification information)：顯示器所呈現資訊的目的在於辨認某些狀況或物件，如姿態儀左右搖擺可以讓飛行員快速了解機身的飛行平衡狀態。
- (七)數字文字與符號資訊(Alphanumeric and symbolic information)：顯示器所呈現的為文字數字或有關的各種形式的符碼化資訊，如電腦報表等。

顯示器本身除了以刻度、數字提供資訊外，顏色也是符碼化最常用的代表，可用顏色區分不同的狀態形式，而且不同的顯示器量表形式在性質與數據判讀所需時間比較也不同，學者(Elkin,1959)[6]也針對開窗式、圓環式及直條式儀表設計提出類似比較資料：

表 2.1 開窗式、環閉式及直條式平均讀取時間比較表

量表形式	平均讀取時間(秒)	
	性質判讀	數值判讀
開窗式	115	102
圓環式	107	113
直條式	101	118

對於上述資訊種類與儀表形式的認識，可了解，本研究之實驗儀表類型包含了計量資訊顯示儀表，如高度表、油量表、轉速表、油溫表及電壓表等，而姿態儀所呈現的則是典型的識別資訊，至於儀表外觀形式設計因考量與目前實際應用現況一致，因此在個別航機儀表外觀設計上仍採用與大多數航空儀表外觀一樣的圓環式儀表結構。

2.1.2 儀表的設計原則

按照視覺顯示裝置的資訊提供，可依照速度、準確度、使用者辨識能力、接受度、通俗性與穩定性等作為設計考量，而動態顯示器的視覺效能也與底下三因素有關分別為：可見度(Visibility)，讓使用者清楚看見所顯示的內容、分辨率。(Distinguishability)，可節省使用者所需的資訊辨別時間快速出正確反應。解讀度(Interpreatability)，使用者能了解與解讀所顯示的內容。

此外進行儀表設計時也得整體考慮相關的影響因素：

(一)觀測距離：

儀表使用人的距離是決定儀表大小排列與儀表間距的考慮因素，一般說來，書本表單圖形等閱讀距離通常不超過 16 英吋；某些儀表如刻度盤與標準計，因常與控制器連同使用，因此被觀測距離也不超過手臂長度，約 28 英吋。

(二)照明：某些儀表需由外在光源或必須在光線不良下產生作用或是顏色深淺也會影響儀表顯示效益，因此設計儀表時也得考慮使用不同的條件。

(三) 觀測角度：一般來說視線與儀表成垂直時儀表最清晰，因此設計者需考量儀表擺放位置以免造成過度視差。

(四)儀表的整體裝備：儀表極少單獨存在，通常與其它多個儀表擺放一起構成整個儀表觀測面板。因此，必須考慮儀表的訊息呈現方式必須一致；此外，擺放時要能讓操作員簡易方便地找到某個儀表。

(五)環境一般狀況：儀表數計必須考量能運作於各種操作環境以適應快速震動、速度變化、與極大的壓力落差。

(六)操作員特徵：人與人之間存在差異。因此儀表設計需考慮大眾需求，與個體間的視力差異、記憶廣度與知覺速度等。

本研究實驗目的為找出較佳儀表組合，因此在進行實驗設計時便得考慮上述的儀表系統設計要點，以一般坐姿觀看電腦螢幕作為實驗時的儀表觀測角度與觀測距離，採用固定光源邀請正常受測人員進行實驗測試。以達到使用環境及操作人員特徵的一致性。讓本研究焦點能在儀表本身的整體配置與設計差異上，希望能找出較佳的儀表反應組合。

2.1.3 儀表顯示內容

儀表顯示器主要的功能就在於快速的表達所要呈現的資訊內容與涵義，而顯示器畫面的表達方式有：(一)文字、數字顯示，用來表達顯示器的主要功能涵義；例如顯示器上方顯示著 Airspeed 英文單字便可讓大部分使用者清楚知道顯示器所呈現的內容就是飛行的速度。至於儀表內的數字也得具備可見度、易讀度與可讀度，因為透過數字的顯示，使用者才能真正了解的儀表所呈現的量化或狀態資訊，進而執行某些資訊。(二)象徵圖案顯示：象徵性的圖案在某些情況下比文字與數字更加容易傳遞特殊的訊息如警告與提示訊息等。雖然文字或是數字能很清楚的呈現所要表達的意思與涵義，但象徵性的圖案更易引起人的注意。根據學者愛爾斯 (J.G.Ells)與杜瓦[7] 研究結果發現，人對於象徵性的圖案反應遠比對數字與文字的反應還來的快，尤其是在光線微弱或視覺環境差的情況下反應效果更佳，也因不同的設計目的所採用的資訊呈現方式也有所不同，有些適合用數字文字表達，有些適合用圖案顯示，有些則視兩者一起呈現混合使用，目的就是要讓使用者以最快最清楚的方式來讀取訊息。

2.2 類比與數位顯示

傳統上儀表顯示器大多為指針刻度顯示，也就是俗稱的類比顯示，然而隨著資訊科技的進步，儀表顯示器的呈現方式又更加多元，其中數位顯示器的誕生就是明顯的例子。底下就針對類比與數位儀表顯示方式提出相關整理比較，以作為本實驗的設計標準與原則：

(一)類比顯示

類比儀表顯示就是不直接呈現數字而是以指針與刻度之會合點來指示數值，如時鐘上的時針、分針與秒針就是最常見的類比顯示裝置，類比顯示裝置又可分為指針移動型與刻度移動型(指針固定)。指針移動型就是刻度固定不變而指針移動到特定刻度位置，使用者讀取指針所指刻度數字來了解目前的儀表顯示內容如汽車內的時速表與飛機上的空速表；至於刻度移動指針不動的顯示器則能讓使用者專注於數字變化，例如體重計。體重計上的指針是固定的，一但人站上去數字刻度便開始滑動，讓使用者能很清楚知道體重的數字變化，直到數字刻度固定後再讀取位於指針上數字來了解正確的體重數字，且一般而言，指針動量表不動的類比顯示裝置會比量表動指針不動的顯示裝置效率還來的高而且較普及。學者 Kroemer、Kroemer Elbert[8]，及 Proctor 等[9]，於 1994 年便提出在精確數值(時間)、

趨勢、設定目標(如高度、速度)、連續調整設定值、判斷段位置、移動方向及變化速率顯示上，針動式顯示器的表現都表動式的顯示器來的佳。

(二)數位顯示

數位顯示則是用人類最熟悉的數字來表達所要呈現的資訊質與量。數位式裝置可將量測的數值數位化，以數字或字母顯示因此可以很精確的顯示出數值也可以減少讀取的時間及讀取時所產生的誤差，因為類比顯示，除非指針末端位置剛好與刻度會合對齊，不然不易讀取精確數值，而且在設計與顯示上數位顯示器更具彈性不用受到顯示畫面大小影響，可以針對不同的顯示精度需求直接以數字呈現出來。

數位顯示器，因為可以快速讀取數值但是當數值變化大時，不易知覺其變化趨勢；因此一般來說數位顯示器會適用於需要精準的資訊結果顯示。而類比顯示較無法顯示精確的數值，而且不同使用者以不同角度甚至不同環境下所讀取的數值都會有誤差，但是類比顯示器也有下列優點，例如當數值快速變化時仍能呈現數據大小、而且較可呈現數字變化率的大小、較易提供數值輔助性資訊等。

2.3 動態顯示裝置的配置原則

包含飛機駕駛艙、化學工廠與龐大的塔台控制面板等設施內都設置著許多不同的儀表顯示裝置，因此設計時除了必須考慮影響人的知覺能力因素外還得考慮整個顯示的裝置才行，其主要配置參考原理如下所述：

(一)蓋斯陶組織原理(Gestalt Organization Principles)[10]：一個有效的象徵顯示

設計必須具備下列特性：

- (1)穩定性(Stability)：象徵性圖形應可獨立使用或與簡易文字說明配合意於區別不易造成混淆。
- (2)連續性(Continuity)：曲線、輪廓線連續間斷處表示所預傳遞的訊息方向。
- (3)一體性(Unity)：象徵性圖案之圖形應簡單、清楚、易於分辨，合乎邏輯，以易於認識與複製。
- (4)封閉性(Closure)：將所有的關符號圖形封閉以提高人的知覺。
- (5)對稱性(Symmetry)：上、下、左、右相互對稱。
- (6)簡單性(Syimplicity)：象徵盡可能簡單，僅包括必要的項目即可，過於詳細的顯示反而亦引起誤會。
- (7)對比(Contrast)：線條與邊界對比高易於分辨。

- (二)使用頻率原理(Frequency of Use Principle)：由於視網膜上中央小窩(Fovea)之外的視銳度降低，很快操作員僅能看清楚顯示板上很小部份，因此可將使用頻率與重要性較高的安裝於裝置中央部位。[9]
- (三) 使用順序原則：(Sequence of Use Principle)：如果兩個讀取順序相鄰的顯示器距離太遠，將增加眼球轉動的時間，使得操作員必須發費較多時間調整視線瞄準目標進行判讀，因此顯示器的配置應配合讀取順序來簡化使用者的判讀順序與流程。[9]
- (四)關係原理：(Relationship Principle)：利用環節分析(Link Analysis)找出儀表之間的關係，並針對作業需求，分析使用者眼睛必須注視不同顯示器間的觀測頻率，如將高頻率的兩顯示器位置放在一起可減少使用者的目視時間。[10]
- (五)功能群組原理(Function Grouping Principle)：將功能相同或近的儀表群組在一起，可減少尋找與讀取的時間。[10]

2.4 人類能力極限與差異

一個好的設計者必須充分了解使用者的基本能力與技能，要設計出不超過使用者反應能力的產品。設計前必須對人類相關的能力極限有所了解，以便設計出合乎使用者實際能應用的產品與設施。就儀表設計來說，設計者應多方考慮不同人群的能力限度，例如考量使用者是否能閱讀英文字母，是否能正常分辨顏色等，甚至設計者也可因族種不同而假設其有不同的能力極限。

人類的能力極限可分為感覺能力、反應能力與認知過程能力三部份說明：

2.4.1 感覺能力極限

包過基本感覺閾，也就是人類感覺神經能起感應的最小刺激，如人類眼球能辨識物體的最小光亮和耳朵能聽到最小的聲音等。而所謂的感覺缺陷也就是說不是所有人的感覺器官都是健全的，即使每個感覺器官都是健康的，也可能因敏感能力不同使得績效也有所不同，例如近視與遠視就是明顯的例子，還有色盲也是視力缺陷的一種。[11]

2.4.2 反應能力極限

與人為績效有關的反應能力，以伸手範圍和力量範圍最為常見，例如刀刃設計過重反而讓使用者得花費很大力量才能拿起使用便是沒有考量到使用者的能力極限。又如汽車內部設計不良使得扣上安全帶後駕駛者便無法往前活動以致無法握到方向盤進行駕駛動作，這表示設計者未考慮到人手的伸展活動範圍。

2.4.3 認知能力極限

最不易得知的人類能力極限是關於大腦的心智活動，也就是認知過程能力極限，當考慮到人為績效時大腦認知能力的極限可分為兩方面分析，一是大腦反應時間，另一個則是精確度。[11]

大腦反應時間

受到外界刺激時大腦反應所需用到的時間可分為兩段，先是大腦認知外界行動之發生並決定因應之時間，也就是反射時間，然後是採取動作所需時間，也就是行動時間，一般來說人們自接受到資訊到採取行動在腦海中要經過數個步驟，而每道步驟有不可避免的延遲，學者 Wargo[12]便發現整個延遲時間從千分之 113 到 528 秒不等，大約為十分之一秒或二分之一秒，通常反應快的人可以在千分之 200 秒內有所反應，如果是不熟悉的系統而期望操作者在短時間內反應完成操作通常會不符合所望。然而所用的感應器不同，所需要的反應時間也不一樣，例如人類從聽到單一訊號並做出反應大約要千分之 150 秒，但若看到並作出反應則需千分之 300 秒，感覺疼痛並作出反應則需要千分之 700 秒。但是如果是聽覺觸覺等多種刺激同時加諸其身則反應時間會更快。

人們若經過充分的訓練可以縮短反應時間，如果人處於疲勞狀態中或服藥情況下或是必須做出複雜的反應動作都會延長反應時間。Swink,1966 [13]

表 2.2 不同反應動作延遲時間比較表

延遲原因	延遲時間(單位：千分之一秒)
感覺受器需要感應時間	1-38
神經衝動傳導至大腦	2-100
大腦認知過程需要反應時間	70-300
神經衝動傳達到肌肉	10-20
肌肉動作需要時間	30-70
合計	113-528

辨別

辨別也是認知能力的一種，人們只能辨別少數不同的形狀、光度、線條等等，事實上如果刺激不是同時呈現而是分別呈現，人們通常只能辨別五到九種同類刺激的差異。舉例來說，以音量作為訊號，大多數人只能最多只能分辨五種不同的音量大小，如果用亮度測試，大多數人至多只能分辨五種不同的亮度。此外人類對物理量的估量判定也與很多因素有關，通常人類似乎特別容易低估距離，然而當俯視時情況下又易於高估高度。

2.4.4 速度與錯誤

Pew(1969)[14]認為反應速度與精確度不可兼，顧兩者間有相關性，必須採取折衷方式，尤其在進行相關反應選擇時反應速度與反應精確度與偵錯能力都有明顯交互關係，學者 Swems spm(1972)[15]更提出相關研究說明，如只考慮速度與精確度相比，如果受測者只考慮速度的話其速度增加程度並不明顯，但是精確度卻會明顯降低，因此設計者正確的設計觀念應當是只要人們對於操作系統習慣了就會產生許多習慣性動作，而這些習慣性動作通常就是造成錯誤發生的來源，此外 Bailey 與 Koch(1976)[16]所作的打字實驗也發現，受測者在進行系統學習時，隨著經驗的增加，執行速度也將越快，而且整個學習效果反應在加快速度的成效上仍有長期的成長空間，但是對於偵查與錯誤發生率來說到達一階段後便不再有明顯的上升與變化。

人類可以藉由經驗累積提高操作效率，但是對於在自我偵測錯誤能力卻增加有限，而且自我偵錯的能力的提升並不會隨著經驗的累積增加而有明顯改善，而且改善速度極慢跟不上速度提升的速度，也就是說經驗增加只會增加工作速度但並不是犯錯也會減少了。[17.18.19]。

經由相關文獻可知，反應時間乃為某特定心皆歷程運作之結果，因此本研究所量測受試者對於不同儀表組合的反應時間應當包含下述部分(1)使用者看到測試問題閱讀問題的時間。(2)眼睛尋找個別儀表時間。(3)實際儀表判讀反應時間。(4)尋找鍵盤上儀表對應鍵所需間。(5)按下鍵盤所需時間。經由反覆測試決定在本研究中每個反應時間設計範圍約在 5 秒到 8 秒，而程式設計時的時間反應精確值也到 1/1000 秒也就是毫秒，並針對反應速度與相關偵測能力進行相關分析。

2.5 航空儀表的發展

飛機儀表的演進共有四大階段[20]

第一階段 機械儀表

此期為防空儀表發展的初期，由於科技尚在進步使得初期航空儀表極為少見，大多是靠飛行員自己的聽覺、視覺加上自己的飛行經驗來飛行。如有儀表安裝構造也是極為簡單的機械組合，特點就是構造簡單，工作可靠，製作成本低廉，因此到今有些此時期的儀表仍被保留使用，此時期所發展的儀表有：高度表、空速表與磁羅盤等。

第二階段 電汽儀表

伴隨著電氣、電子工業的技術成長，使得原本非電量的資訊能成功轉換為以電量與電氣為主的遠距訊號傳輸模式，由於導航儀表的電汽化使得飛機自動駕駛系統得以進一步順利發展，讓飛行員更佳精準控制飛機飛行時的運動質量，也為後來的半自動與自動控制飛機的研發奠定基礎，此時期的儀表代表有無線電高度表無線電羅盤儀等。

第三階段 綜合自動化儀表

由於飛機性能提高與設計機種的更加多元化，使得儀表種類跟著繁多複雜，無形中加重了飛行員的導航系統判讀負擔，因此出現了各種儀表配置的討論議題最後進入了綜合自動化儀表設計階段。

在此階段對儀表進行了相關的改造，如將功能相同或原理相近的儀表綜合起來或是將多種分散的信號自動綜合起來擴大了飛機自動化的操作範圍，此時期的代表儀表有羅盤系統、飛行指令儀表、與自動飛行系統等。

第四階段 電子顯示儀表

於 1970 年代，整個航空儀表進入了所謂的電子顯示儀表階段，電子顯示儀表採用顏色鮮明映像管(CRT)或液晶顯示器(LCD)，配合先進的微處理器進行多種訊息的整理讓航空儀表產生革命性變化。

電子儀表顯示採用多種顏色儀表、圖形、符號、文字提供飛行員不同訊息，具有強烈的直觀性與提供大量訊息量之特性。而且電子儀表顯示器具分割性，可以在不同飛行階段顯示不同訊息，也可由飛行員決定顯示內容，如此大大減少儀表安裝數量，改善了人機功效，提高了自動化程度與減輕飛行員工作負荷而且具有很高的可靠性。

以工作原理來說，航空儀表又可分為測量儀表、計算儀表與調節儀表三類。

測量儀表

量測儀表是在感受被測物理量的基礎上經過轉換傳送然後指示其參數，其工作過程包括感受、轉換、傳送、指示等階段，最後才輸出。大部份的飛機儀表都屬於測量儀表。

計算儀表

計算儀表必須按照一定的數學關係式，經過計算才能顯示資訊，其工作過程除了包括感受、轉換、傳送、指示等階段外，還得加上計算才可進行輸出，大氣數據計算儀表正屬於此類。

調節儀表

調節儀表是在測量與計算某一對象為基礎上，進行自動調整使系統能按照預定的規律工作，自動駕駛系統中便有許多典型的調節儀表。[21]、[22]

2.6 輕航機定義與使用儀表介紹

2.6.1 輕航機的定義

輕航機飛行運動由來可推至早期的滑翔翼運動，由於滑翔翼只能短距離的滑翔飛行，所以人們將一副小型馬達加裝於滑翔翼上，而發展出輕航機。全球輕航機機型約有七、八百種，台灣的輕航機來源除少數由民間組裝製造之外，其它大多為國外進口，又以東歐與義大利等國家最為常。

根據民用航空法--超輕型載具超輕型載具飛行管理辦法，所謂的超輕航機，係指具動力可載人，淨重不超過 280 公斤。燃油載重不超過 28 公升，最大起飛重量之飛行速度每小時不超過 65 公里，關掉動力失速速度每小時不超過 64 公里之航空器。具有輕航機飛行能力者，得受民航局委託進行相關檢驗工作，包含飛行與維修技能等。至於輕航機檢驗單位則為相關工程、品管、試驗、驗證之機構，而在進行飛行前飛行員血液中酒精濃度不可超過百分之零點零四或吐氣中酒精濃度超過百分之零點二毫克，而輕航機操作人在操作時，應防止與其他航空器、超輕型載具或障礙物接近或碰撞避免造成飛安事件發生。 [23]

2.6.2 目前台灣輕航機發展現況

國內輕航機發展則從民國 74 年開始，由白全佐先生從國外將輕航機器材引進國內，在各界的推動之下，輕航機運動開始受到大眾的喜愛，到民國 78 年，更是輕航機最頂峰的時期，當時全省的飛行場超過 60 個以上，但當時的飛行場裝備並不符合規格，操控機師亦沒有受過專業訓練，因此發生意外事件相當頻繁。民航局有鑑及此，便馬上將不合格的飛行場進行取締，而輕航機運動亦快速的衰退，民國 82 年全省飛行場不到 10 個，至民國 85 年，中華民國飛行運動協會邀請美國超輕協會資深教練來台訓練國內第一批種子教官，現今國內的輕航機教官雖已有 30 人，但輕航機的管制條例依然有待改善。相信在不久的將來，輕航機運動將是一項能提供安全及娛樂的運動項目，由於超輕航機屬於運動器材，且操控容易飛，行速度不快因此輕航機廠的設置要求門檻便不高，使得台灣面積雖小，但全省已有多家輕航機飛行場。目前全台共約十五座輕航機飛行場，輕航機飛行員約一千位。如表 2.3 所示。[24]

表2.3：台灣輕航機飛行場統計表

台灣輕航機飛行場統計表		
飛行場名稱	地點	跑道概況
柑園飛行場	台北縣樹林鎮柑園	06-24 柏油跑道 1 條(長 200 公尺/寬 10 公尺)
芬園飛行場	彰化縣芬園鄉	08-26 泥土跑道 1 條(長 250 公尺/寬 13 公尺)
荊桐飛行場	雲林縣荊桐鄉	00-36 草地跑道 1 條(長 300 公尺/寬 18 公尺)
天堂鳥飛行場	雲林縣荊桐鄉	00-36 草地跑道 1 條(長 300 公尺/寬 20 公尺)
中埔飛行場	嘉義縣中埔鄉	草地跑道一條
元寶飛行場	台南市	草地跑道 1 條
國姓橋飛行場	台南市	草地跑道 1 條
賽嘉飛行場	屏東縣三地鄉賽嘉村恆榮路 2 號	08-26 柏油跑道 1 條(附滑行道)(長 350 公尺/寬 12 公尺)
廣興飛行場	屏東縣高樹鄉廣興村	17-35 碎石草地混合跑道 1 條(長 500 公尺/寬 60 公尺)
海鷗場	屏東縣高樹鄉廣興村	12-30 泥土跑道 1 條(長 230 公尺/寬 13 公尺)
恆春飛行場	屏東縣	草地跑道 1 條
新凌雲飛行場	花蓮縣壽豐鄉	草地跑道 1 條(500 公尺)
凌雲飛行場	花蓮縣壽豐鄉	草地跑道 2 條
神龍飛行場	花蓮縣	柏油跑道 1 條 (200 公尺)
花蓮航協飛行場	花蓮縣鳳林	草地跑道 1 條 (350 公尺)

2..6.3 超輕航機設計

超輕航機的設計其牽涉的範圍甚廣，至少包括氣動力原理、飛行性能、機翼之選擇、機身設計、垂直與水平尾翼設計、引擎的選擇、材料選擇及控制面板元件的設計等 [25]。

目前台灣輕航機組裝製造組裝零件來源有，自行設計與開模或是零件進口，然後於國內進行裝組裝作業。整個組裝時程需花費約3至六個月，飛機零件根據機型與規格而不同，此外也可另行增設相關導航系統如GPS全球衛星定位系統，或是降落傘與其它逃生裝置等。

大體上說，操作一架輕航機的飛行主要使用的部件包括顯示器與控制器二大類，各類各有若干子零件，各部子零件功能說明如下：(1) 空速表 (airspeed indicator)：空速表是顯示輕航機的飛行速度。(2) 高度表 (altimeter)：顯示輕航機的飛行高度。(3)轉速表 (tachometer)：顯示引擎的轉速。(4) 方向舵 (rudder pedals)：控制輕航機的方向。(5) 升降桿 (elevator)：控制輕航機的左右傾斜及上下俯仰的角度。(6) 油門 (throttle) 控制輕航機的速度。(7) 煞車 (brake)：作為飛機減速及停止 [26]。

輕航機種類雖然多而雜，但其顯示器與控制器並沒有因機型不同而不需加以安裝。輕航機航空顯示器主要安裝在駕駛儀表板上，同時也會安裝在座艙其它需要用到儀表顯示的位置上，如彈簧壓力表、座艙高度表等。雖然儀表種類多，然而所有使用的儀表在硬體設計上只分為 2.5 吋與 3 吋大小儀表規格。至於各儀表的擺放狀態只依循相關通則並無硬性規定。

針對功能性來說與飛行相關的儀表又分三大類：[20]

飛行儀表：如高度表、空速表、姿態儀、磁羅盤等。

發動機儀表：如燃油壓力表、溫度表、引擎轉速表等。

其它類儀表：如彈簧壓力表、座艙高度表等。

底下茲就本實驗所用各儀表加以說明：

(一)空速表：(Airspeed Indicator)，如圖 2.1 所示。



圖 2.1：空速表

飛機相對於空氣的轉動速度叫作空速，空速表則是用來顯示飛機空速之儀表。飛行員則根據空速表的顯示來判斷飛行時作用於機體上的空氣動力程度。空速表顯示單位為海浬，1 海浬 = 1.852 公里，飛機上的空速是以海浬為計算，海浬與公里的換算約為 1 比 1.8，一般民航機飛機起飛的速度大約是每小時 65 海浬(大約 120 公里)，而飛機飛行速度和當時當地聲音速度之比值稱之為馬赫。

輕航機空速表其刻度範圍為 0 至 140 (海浬/小時)每小格為 2 海浬，每 10 海浬為一大格如圖 2.1 所示，目前的空速表約為 56 海浬，一般輕航機起飛時速度需 42 海浬以上，42 海浬以下飛機將會失速而下降，在台灣，一般輕航機飛行速度都約在 45-80 海浬之間，在空曠的環境下人類本來就不容易感覺速度的變化，尤其是在空曠的天空無任何的襯托物，更難了解目前的前進速率。因此空速表對避免飛行時的空間誤差所造成的危險十分重要。

(二)高度表：(Altimeter Indicator)，如圖 2.2 高度表。



圖 2.2 高度表

高度表顯示出飛機於飛行時，距某一選定的水平基準面的垂直距離，簡單說就是顯示了飛機的飛行高度。而高度表依據設計不同又分氣壓式高度表與無線電高度表。基本上高度表的功能就是快速顯示飛機的飛行高度，對於充分發揮飛機

性能、減少燃油消耗、正確預估飛行時間與保證飛行安全等方面都有重大的意義。氣壓式高度表實際上是一種氣壓計，針對通過測量飛機所在高度的大壓力，間接測量出飛機飛行高度。無線電高度表則是一種以水平面為探測目標的測距雷達，而所指示的高度即為真實的飛機高度。

高度表的判讀方式：

高度表內共有三種指針，不同的長度分別代表不同單位數據：最長指針代表百單位，中間長度代表千單位，最短指針代表萬單位，如圖 2.2 高度表所呈現的高度表約為兩百英尺，而對於輕航機來說，飛行高度約在 600 呎到 2000 呎之間。

(三)引擎轉速表：(Tachometer Indicator)，如圖 2.3 引擎轉速表。



圖 2.3：引擎轉速表

引擎轉速表主要用來量測發動機或直昇機旋轉速度的儀表，根據轉速表顯示，可以了解活塞式發動機的功率與發動機的推力，此外飛機於起飛降落時都得維持在一定的動力速度，而轉速表可以讓飛行員清楚知道目前的飛行動力太小，以免飛機起飛或降落時飛機無足夠動力停留於空中產生失速現象，因此對整個飛行動力需求來說引擎轉速表便顯得非常重要了。

引擎轉速表的判讀：

順時針轉以 PM 為單位，RPM 表示 100 轉，如圖 2.3 引擎轉速表所呈現的轉速表約為 2400 轉。

有些轉速表會針對不同的轉速範圍區分不同的顏色區域，例如轉速為 0 到 2700 轉時為綠色，表示引擎轉速正常；從 2750 開始到 3400 轉速範圍顯示黃色，提醒飛行員注意飛機引擎正以高速運轉；當刻度超過 3000 轉後便以紅色顯示，代表引擎轉動過快將會造成引擎過熱產生飛安問題。

(四)升降速率表(Vertical Speed Indicator)，如圖 2.4 升降速率表



圖 2.4：升降速率表

在單位時間內飛機高度的變化量叫作升降速度或垂直速度，透過升降速率表可以得知飛機在一定時間內上升的高度以及爬升一定高度所需要的時間，飛機高度變化時，外界空氣壓力也跟著變化飛機升降，速度越快，氣壓變化速率也越大指針指示也越大，所以說升降速度表示了解飛機上升下降或平飛狀態的重要儀表。

升降速率表的判讀：

以 G 為單位如圖 2.4 升降速率表所示為接近 2G，輕航機飛行時造成的升降速率約在-2 到 4，戰鬥機為-6 到正 7，一般人承受範圍約到正六，超過正六人將暈眩，輕航機飛行乃屬低空穩定之飛行狀態因此飛行高低落差不致過大，除非特殊表演需求，一般的輕航機儀表板上是不常出現升降速率表的。

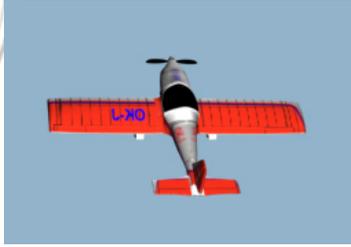
(五)姿態儀 (ATTITUDE INDICATOR)，如圖 2.5 姿態儀



圖 2.5：姿態儀

為飛機上非常重要的儀表，在天氣不良時，唯一能表示目前飛機飛行狀態的儀表可用來指示飛機在空中飛行保持姿態之用。姿態儀中間主要為水平儀構成，分成藍色與黑色，中間由白線區分，藍色代表天空，黑色代表陸地，白色線表示地平線，姿態儀顯示與飛行狀態對應表如表 2.2 所示。

表 2.4 姿態儀顯示與飛行狀態對應表

飛行狀態說明	姿態儀顯示狀態	飛機飛行狀態
<p>飛機水平飛行 中間水平線成水平，表示機身左右高度一致平穩前進。</p>		
<p>飛機左側飛行 水平線往左傾斜，代表飛機以側飛方式直線飛行。</p>		
<p>飛機朝上飛行 白色地平線往下沉，藍色天空已下降低於黃色機身水平軸，代表機頭拉高飛機朝上飛行。</p>		
<p>飛機朝下飛行 白色地平線往上升，黑色天空超出黃色機身水平軸代表機頭朝下飛機正往下飛行或降落</p>		

飛機右側飛行

水平線往右傾斜，代表飛機以右下側飛方式飛行。



(六)油量表 (Fuel Quantity Gauge) ，如圖 2.6 油量表



圖 2.6：油量表

用來顯示飛機的燃油使用量與剩下可用油量警告。在飛行過程中即時了解飛機可用燃油是非常重要的飛安確認動作，能夠了解飛機的剩餘油量才能正確估算出飛機續航的範圍確保完成飛行任務。

油量表的量測單位有公升、公斤與加崙等，而且根據不同機型所設定的剩油量警告標準也不同。此外油量表也與其它儀表一樣針對重要刻度範圍顯示不同顏色。例如當油量剩下 7 加崙時，刻度進入紅色以警告區域，提醒飛行員油量將用盡，此外飛機必須持續進行遠程飛行時也得注意回程油量是否足夠，以免造成因油量不夠而發生迫降意外。如圖 2.6：油量表所示油量約剩 8 加崙。

(七)電壓表(Volt Indicator) ，如圖 2.7 電壓表



圖 2.7 電壓表

電壓表內顯示著整個飛機的電力供應狀態。當指針往左偏移時代表電壓過低表示電量不足，將導致相關電力機構無法正常運作，指針進入紅色區域表示電壓過高將造成機械零件故障甚至毀損。因此飛行時得確定電壓表電量是否正常以確保相關電控儀表也能如期運作。如圖 2.7 電壓表所示，電壓以完全偏向左側，代表電力完全不足必須立即進行充電動作。

2.6.4 飛行儀表的擺設

各家飛機儀表製造商與現有飛機組裝廠使用之儀表數量類型都無固定標準，儀表顯示類型也無特殊規定得用類比指針儀表或是數位數字類型的儀表。而個別儀表的使用與配置型態也無統一形式，原則上大都是針對需求而定，而主要的考量的都是要方便於飛行員迅速而全面性地觀察及判讀。[20]

在實務應用上飛行儀表的擺設方式要考量到以下重點：

(一)：重要的儀表要放在最容易觀察到的地方。例如幾乎每個儀表板上都有空速表與高度表，因此可以將此兩表以較大的儀表尺寸加以顯示，並放在駕駛員習慣且容易觀測的位置。

(二)：用來顯示同一參數或性質類似的儀表應排列一起，以方便觀察相互比較，例如同屬發動機儀表的燃油壓力表、溫度表、引擎轉速表等便可排放一起方便駕駛員快速了解目前的飛機動力系統是否正常。

(三)：所顯示的參數屬性雖不同，但有高度關聯性的儀表也要排列在一起。例如飛機如必須時常在明顯高低起伏的地貌進行飛行任務，飛行高度與速度變化頻繁，因此可以將與此飛行需求所必須儀表，如空速表、轉速表、高度表等，以直線或是群聚的方式進行排列，讓飛行員快速完成所需的儀表導航判讀動作。

綜合以上可知，一般來說姿態儀等指引儀表會被安裝在儀表版的中央偏上位置，空速表與高度表則分於兩側，姿態儀、空速表、高度表此三儀表原則上以接近同一水平線為主。至於發動機儀表較重要的推力表與轉速表排在上方其它表排在下方，然而在飛行狀態下，以高度表、空速表、引擎轉速表、油量表與姿態儀最為重要，不同機型有不同儀表組合，但以飛行時的導航安全要求來說，高度表、空速表、引擎轉速表、與姿態儀乃是最重要的。[20]

本研究之主要目的在找出輕航機儀表較佳的配置組合，因此欲以實驗的方法來進行變項之操弄，變項一為儀表的配置方式(群集與欄位)，另一變項為儀表之顯示方式(類比與數位)；希望透過實驗的結果找出儀表之配置與顯示對於反應作業上的影響並提供進一步之見解。



第三章 研究方法

3.1 研究步驟

受測者共 24 位，其中男女各半來自學校與斗六市區人士，年齡介於 25 歲至 40 歲、具備汽車駕照、無飛行經驗、身心健康且會簡易電腦操作者。本研究要求測試者為視力正常或矯正後正常身心狀況正常，對飛行無任何經驗，並於實驗進行前已接受基本輕航機介紹與相關重點飛行儀表解說課程，而每位受測者之基本反應能力均無明顯差異存在，並接受儀表反應測試影片進行相關資料蒐集分析。

3.2 實驗設計

本實驗以 3D 動畫軟體依照劇本飛行任務需求建構出連續飛行動畫影像，影片中隨著不同階段的飛行任務出現相關儀表導航反應提示，受測者在此期間必須完成字卡上的儀表判讀任務，並透過 Delphi 程式語言紀錄受測者的所有反應時間與反應正確率。

3.2.1 關於測試影片：

輕航機儀飛行表導航模擬動畫係以 Alas Maya 動畫軟體繪製而成，飛行劇本分為三大儀表反應任務：分別為起飛儀表反應測試、飛行中狀況演練儀表反應測試、飛機降落階段儀表反應測試。

每組儀表反應測試時間約 9 分鐘，每段影片測試影片由 15 個任務描述字卡組成，字卡內容則以文字敘述要求受測者分別對輕航機的高度表、空速表、姿態儀、引擎轉速表及油量表進行數值與狀態的反應測試，每組字卡顯示於畫面上時間約 35 秒，每組字卡間隔出現時間約 9 秒，字卡將於影片中自動顯示，為求隨機完全分配，每組字卡都將顯示此五種儀表判斷任務描述，但每所呈現的問題順及儀表判斷順序均不同，字卡出現時，受測者必須依序閱讀字卡上的任務描述，然後立即尋找下方儀表界面中的各目標儀表進行儀表的數值或狀態判別，最後按下鍵盤上貼有儀表圖示的對應鍵完成反應測試任務。

例如：

要求任務為，請確定高度表超過 2580 英尺按下高度表對應鍵，此時受測者的反應動作就必須先看高度表上的數字，確定高度表超過了 2580 然後按下鍵盤上貼有空速表圖示對應鍵完成反應測試。

除了研究受測者對於字卡的反應測試能力外，本研究也對於受測者的偵錯與警戒觀察力進行評估。因此實驗時，除了要求受測者針對字卡進行反應外，正式實驗前也告知受測者，當字卡消失畫面後得立即觀察儀表版上的油溫表與電壓表，油溫表一但超過 230 度表示油溫過高必須立即按下鍵盤上貼有油溫表的按鍵；此外要求受測者看到電壓表指針進入右側紅色危險區時也得按下鍵盤上貼有電壓表的對應鍵。也就是測試影片中儀表上的高度表、空速表、姿態儀、引擎轉速表及油量表將直接由字卡提示表進行判別動作，而受測者只有實驗前被告知得自行對油溫表與電壓表進行狀態判定而且順序不固定，因此完全得靠受測者本身的警覺性與注意力來完成判別才行。

3.2.2 實驗儀表顯示模式

根據目前實際使用中的國內外數位及類比儀表進行資料與影像收集後，接著在以 3D 動畫軟體重新繪製所有實驗儀表。

表 3.1 數位儀表顯示

數位空速表	數位高度表	數位轉速表	數位油量表
			

表 3.2 類比儀表顯示

類比空速表	類比高度表	類比轉速表	類比姿態儀	類比油量表
				

3.2.3 自變數因子配置

本研究以空速表、高度表、轉速表、姿態儀、油量表等五種儀表組合為研究對象，記錄受測者的反應時間，外加電壓表及油溫表來紀錄受測者的偵錯能力。

共七種儀表，本研究為一 2*2 因子之研究，其中一因子為儀表配置(群集與欄位)共 2 水準為受試者間因子(Between Subject)；另一因子為儀表之顯示方式(類比與數位)共 2 水準為受試者內因子(Within Subject)。

實驗採前後交叉模式，按照類比與群集分成兩組實驗受測組別，每組各 12 人，每組當中六人先進行類比儀表組合反應測試，之後再接受數位儀表反應測試，兩測試時間至少間隔一天以避免產生學習效果，同樣另外六人則先進行數位儀表組合反應測試，之後再接受類比組合儀表反應測試，兩測試時間同樣少間隔一天，以避免產生學習效果影響實驗結果。

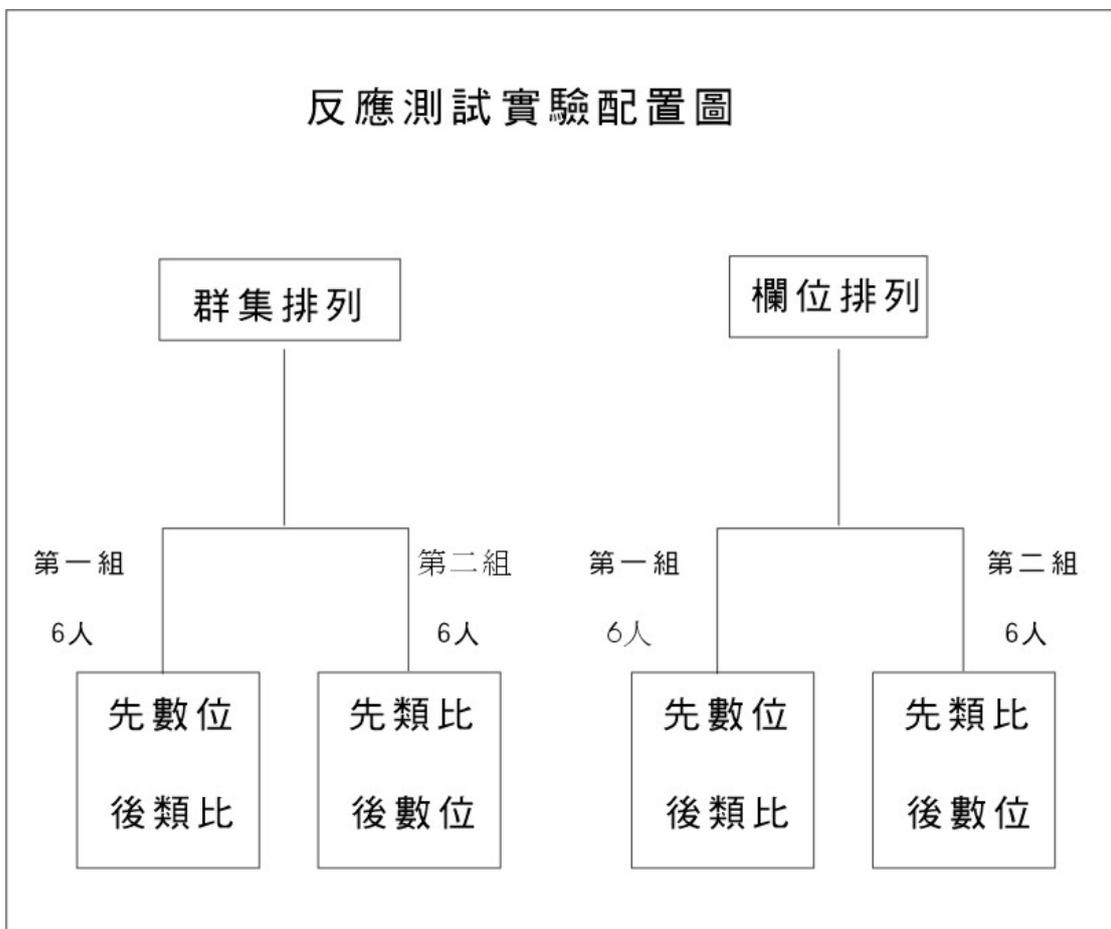


圖 3.1 實驗配置流程圖

表 3.3 儀表配置實驗分配表

組別	第一組欄位排列 共 12 人 六人先類比後數位、 六人先數位後類比			
人數	六人		六人	
實驗順序	先類比		先數位	
	後數位		後類比	
組別	第二組群集排列 共 12 人 六人先類比後數位、 六人先數位後類比			
人數	六人		六人	
實驗順序	先類比		先數位	
	後數位		後類比	

表 3.4 欄位儀表實驗介面



類比欄位排列配置 (一)

將空速表、高度表、姿態儀三個主要領航功能儀表水平排列擺放於儀表板最上方；電壓表、轉速表、油溫表、油量表亦呈水平排列於空速表、高度表、姿態儀下方，所有儀表以上下方式平行排列，以降低儀表板的整體複雜度，讓個別儀表間距較為平均方便閱讀，具有可供預測的視覺架構，使用者可以知道下一個要判讀的儀表會資訊會出現在哪裡，方便易於聯想。



數位欄位排列配置 (二)

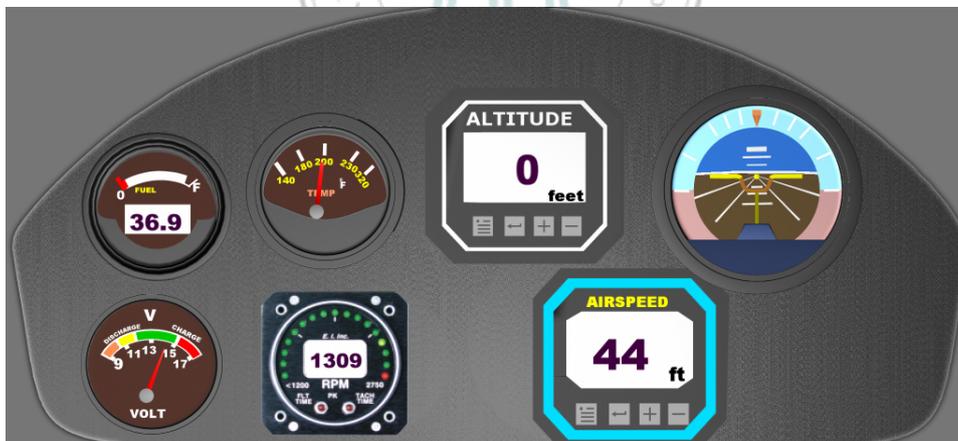
將空速表、高度表、姿態儀三個主要領航功能儀表水平排列擺放於儀表板最上方；電壓表、轉速表、油溫表、油量表亦呈水平排列於空速表、高度表、姿態儀下方，所有儀表以上下方式平行排列，以降低儀表板的整體複雜度，讓個別儀表間距較為平均方便閱讀，具有可供預測的視覺架構，使用者可以知道下一個要判讀的儀表會資訊會出現在哪裡，方便易於聯想。

表 3.5 群集儀表實驗介面



類比群集排列配置 (三)

將油溫表、轉速表、油量表、電壓表等機械儀表集中於左區，讓受測者只要視角移往此區便可很快找到所有關於飛機機械儀表的資訊；空速表、高度表、姿態儀三儀表以三角形型方式擺放於儀表版右方位置，以便受測者進行重複循環式的觀測動作。利用此種排列方式的主要原因；就是強化使用者對每個儀表的功能印象，便於第一次的儀表的找尋與加快判讀速度。



數位群集排列配置 (四)

將油溫表、轉速表、油量表、電壓表等機械儀表集中於左區，讓受測者只要視角移往此區便可很快找到所有關於飛機機械儀表的資訊；空速表、高度表、姿態儀三儀表以三角形型方式擺放於儀表版右方位置，以便受測者進行重複循環式的觀測動作。利用此種排列方式的主要原因；就是強化使用者對每個儀表的功能印象，便於第一次的儀表的找尋與加快判讀速度。

3.3 劇本描述

根據實驗影片設計需求先以口語方式對 15 關卡分別以起飛程序、空中飛航練習及降落程序，以文字描述，並諮詢專家意見，為每關卡制定不同的儀表導航判別任務順序與模擬合適的儀表數據及狀態變化。最後再針對個別任務要求以簡要方式呈現於影片字卡當中。

(一)起飛儀表反應測試：

起飛乃為最基本但最重要之飛行訓練課題，目的在於讓受測者快速判讀引擎轉速表中的轉速數據，以便有足夠動力讓飛機於滑行後拉起機頭離開地面。

受測者執行任務描述:

- 1.目前飛機引擎轉速急速增加，因此必須確定油量表是否超過 34 加崙，以便有足夠燃料進行飛行任務，空速表需超過 42 海哩避免速度過低無法起飛，轉速表超過 1200 RPM，目前飛機未起飛所以高度表保持 0 呎，姿態儀顯示機身水平按下對應鍵確認起飛狀態。
- 2.飛機持續爬升，空速表超過 55 海哩表示飛機速度正在增加，高度表超過 9000 表示飛機已離開地面，姿態儀顯示機身上升按下，轉速表超過 2800 RPM，代表飛機目前動力足夠往上飛行，油量表超過 32 加崙觀察燃料耗損情形。
- 3.請確定高度超過 1200 呎，轉速表超過 2500 RPM，姿態儀顯示飛機持平按下，空速表超過 60 海哩，油量表超過 30 加崙按下完成目前狀態回報作業。

(二)飛行中狀況演練儀表反應測試：

此階段的飛行測驗目的在於測試受測者針對飛行平衡、提升飛機高度、急速下降與急速晃動時對於儀表的反應速度。

受測者執行動作描述:

- 4.目前飛機開始往右下側飛行，而且維持在穩定的定高度及速度，因此請確定姿態儀顯示機身是否右下側飛，油量表仍超過 28 加崙，高度表超過 1600 呎維持安全高度，轉速表超過 2800 RPM，並確定下空速表是否超過 52 海哩，完成飛行狀態確認。
- 5.飛機將直線上升飛過山頭讓飛行員進行高空飛行體驗，請確定油量表超過 26 加崙，空速表超過 65 海哩，高度表超過 2600 呎，姿態儀顯示飛機往上竄升，轉速表超過 3100 RPM 按下完成上升動作。

6. 飛機已飛過山頭正往下俯衝，為確保飛機避免衝撞過快，必須調整飛機回覆穩定飛行狀態，請確定空速表超過 48 海浬，油量表超過 24 加崙，姿態儀顯示飛機恢復水平，轉速表超過 3300 RPM，高度表超過 1500 呎。
7. 目前飛機又回到穩定狀態，塔台需要飛行員回報現在的飛行導航資料，因此請確定油量表是否還有超過 22 加崙以上，轉速表超過 2600 RPM，空速表超過 50 海浬，最後則是確定高度表超過 1000 呎並透過姿態儀確定飛機偏向左側來確保飛機仍維持在正常運作。
8. 飛機突然遇到亂流使得飛機產生急速晃動，為求飛機仍為安全飛行狀態請確定高度表仍超過 900 呎，姿態儀中飛機成搖擺狀態，油量表超過 20 加崙，空速表超過 52 海浬，轉速表超過 2500 RPM 確定飛機能通過亂流區域。
9. 飛機將慢慢地往上右轉以免撞到山頭，飛機開始往右側上方偏移，請姿態儀顯示機身偏向右，空速表超過 70 海浬，轉速表超過 3000 RPM，油量表超過 18 加崙，高度表超過 1300 呎。

(三) 飛機降落儀表反應測試：

飛機降落時的重點在於要讓引擎轉數維持在一定速度，以免飛機突然失去動力垂直掉落，高度表則讓飛行員了解下降程度避免撞擊樓房。

受測者執行動作描述：

10. 請確定空速表超過 52 海浬，高度表超過 1600 呎，油量表超過 16 加崙，姿態儀顯示飛機為水平，轉速表超過 2500 RPM。
11. 飛機已飛過山頭正往下俯衝，請確定姿態儀顯示飛機機頭朝下，轉速表超過 3000 RPM，油量表超過 14 加崙，空速表超過 55 海浬，高度表超過 1500 呎。
12. 塔台再次要求目前飛行狀況回報因此請確定，轉速表仍超過 2200 轉，油量表超過 12 加崙請，空速表超過 45 海浬，高度表超過 600 呎，姿態儀顯示飛機往下降，告知飛機即將下降著陸。
13. 飛機即將降落請確定高度表超過 200 呎，姿態儀顯示飛機開始持平，轉速表超過 2800 RPM，油量表超過 10 加崙，空速表指針歸零代表飛機已安全著地。
14. 飛機目前正緩緩滑行即將進入停機棚，請確定轉速表仍超過 1500 RPM，讓飛機仍有動力進行滑行，高度表歸 0 呎，空速表超過為 5 海浬以了解目前滑行速

度，姿態儀顯示飛機成持平按下，油量表超過 8 加崙。

- 15 飛機完成降落即將關閉電源，請確定轉速表指針已歸零，姿態儀顯示飛機成持平，高度表指針歸零，油量表歸零，空速表指針歸零，表示順利完成飛行任務。
測試完畢謝謝！



表 3.6 測試影片字卡內容設定

字卡 1	字卡 2	字卡 3
<p>油量表超過 34 加崙按下 。</p> <p>空速表超過 42 海哩按下 。</p> <p>轉速表超過 1200 RPM 按下 。</p> <p>高度表為 0 呎按下 。</p> <p>姿態儀顯示機身水平按下 。</p>	<p>空速表超過 55 海哩按下 。</p> <p>高度表超過 9000 呎按下 。</p> <p>姿態儀顯示機身上升按下 。</p> <p>轉速表超過 2800 RPM 按下 。</p> <p>油量表超過 32 加崙按下 。</p>	<p>高度超過 1200 呎按下 。</p> <p>轉速表超過 2500 RPM 按下 。</p> <p>姿態儀顯示飛機持平按下 。</p> <p>空速表超過 60 海哩按下 。</p> <p>油量表超過 30 加崙按下 。</p>
字卡 4	字卡五	字卡 6
<p>姿態儀顯示機身右下側飛 按下 。</p> <p>油量表超過 28 加崙按下 。</p> <p>高度表超過 1600 呎以上按 下 。</p> <p>轉速表超過 2800 RPM 按下 。</p> <p>空速表超過 52 海哩內按下 。</p>	<p>油量表超過 26 加崙按下 。</p> <p>空速表超過 65 海哩按下 。</p> <p>高度表超過 2600 呎按下。  University of Science & Technology</p> <p>姿態儀顯示飛機往上竄升 按下 。</p> <p>轉速表超過 3100 RPM 按下 。</p>	<p>空速表超過 48 海哩按下 。</p> <p>油量表超過 24 加崙按下 。</p> <p>姿態儀顯示飛機恢復水平 按下 。</p> <p>轉速表超過 3300 RPM 按下 。</p> <p>高度表超過 1500 呎按下 。</p>
字卡 7	字卡 8	字卡 9
<p>油量表超過 22 加崙按下 。</p> <p>轉速表超過 2600 RPM 按下 。</p> <p>空速表超過 50 海哩按下 。</p>	<p>高度表超過 900 呎時按下 。</p> <p>姿態儀中飛機成搖擺狀態 按下 。</p> <p>油量表超過 20 加崙請按下 。</p> <p>空速表超過 52 海哩按下 。</p>	<p>姿態儀顯示機身偏向右側 按下 。</p> <p>空速表超過 70 海哩按下 。</p> <p>轉速表超過 3000 RPM 按下 。</p> <p>油量表超過 18 加崙請按下 。</p>

<p>高度表超過 1000 呎按下 。</p> <p>姿態儀顯示飛機偏向左側按下 。</p>	<p>。</p> <p>轉速表超過 2500 RPM 按下 。</p>	<p>。</p> <p>高度表超過 1300 呎時按下 。</p>
字卡 10	字卡 11	字卡 12
<p>空速表超過 52 海浬按下 。</p> <p>高度表超過 1600 呎按下 。</p> <p>油量表超過 16 加崙請按下 。</p> <p>姿態儀顯示飛機為水平按下 。</p> <p>轉速表超過 2500 RPM 按下 。</p>	<p>姿態儀顯示飛機機投朝下降按下 。</p> <p>轉速表超過 3000 RPM 按下 。</p> <p>油量表超過 14 加崙請按下 。</p> <p>空速表超過 55 海浬按下 。</p> <p>高度表超過 1500 呎按下 。</p>	<p>轉速表超過 2200 轉按下 。</p> <p>油量表超過 12 加崙請按下 。</p> <p>空速表降低超過 45 海浬按下 。</p> <p>高度表超過 600 呎按下 。</p> <p>姿態儀顯示飛機往下降按下 。</p>
字卡 13	字卡 14	字卡 15
<p>高度表超過 200 呎按下 。</p> <p>姿態儀顯示飛機開始持平按下 。</p> <p>轉速表超過 2800 RPM 按下 。</p> <p>油量表超過 10 加崙請按下 。</p> <p>空速表指針歸零按下 。</p>	<p>轉速表超過 1500 RPM 按下 。</p> <p>高度表歸 0 呎按下 。</p> <p>空速表超過為 5 海浬按下 。</p> <p>姿態儀顯示飛機成持平按下 。</p> <p>油量表超過 8 加崙請按下 。</p>	<p>轉速表指針歸零按下 。</p> <p>姿態儀顯示飛機成持平按下 。</p> <p>高度表指針歸零按下 。</p> <p>油量表歸零按下 。</p> <p>空速表指針歸零按下 。</p>

3.4 反應時間設定

本研究為蒐集不同儀表顯示類型與排列的反應績效，因此實驗中必須選定正確的反應起時點以便程式能清楚計算相關反應數據，就每組關卡反應任務來說，每組字卡完全出現於畫面時，代表開始進行反應測試。所以每關卡的第一個反應時間值就是字卡出現與按下第一反應鍵的間隔時間，剩下的四個反應時間則分別為從按下第二反應鍵到最後按下第五反應鍵的間隔時間，至於由溫表與電壓表的反應時間也是如此計算。

根據劇本設計中問題內容所示，分別將空速表、高度表、油量表、轉速表、姿態儀於每次的反應順序加以紀錄並統計總反應次數表 3.7。至於影片播放中油溫表、電壓表狀態反應則分別以 off 與 on 來表示，off 表示油溫表未超過 230 度、電壓表未達到紅色過熱範圍因此受測者不用按下反應鍵，on 則表示油溫表超過 230 度、電壓表達到紅色過熱範圍受測必須立即按下反應鍵以便利於分析使用表 3.8 而不同儀表配置與鍵盤對應鍵如表 3.9 所示。

表 3.7 儀表顯示頻率與反應順序排列表

順序	字卡 1	字卡 2	字卡 3	字卡 4	字卡 5	字卡 6	字卡 7	字卡 8
時間	00:09:28	00:43:20	01:18:01	01:52:17	02:27:23	03:02:20	03:36:17	04:12:06
判讀順序	油量表空速表 轉速表 高度表 姿態儀	空速表高度表 姿態儀 轉速表 油量表	高度表 轉速表 姿態儀 空速表 油量表	姿態儀 油量表 高度表 轉速表 空速表	油量表空速表 高度表 姿態儀 轉速表	空速表 油量表 姿態儀 轉速表 高度表	油量表轉速表 空速表 高度表 姿態儀	高度表姿態儀 油量表空速表 轉速表
順序	字卡 9	字卡 10	字卡 11	字卡 12	字卡 13	字卡 14	字卡 15	
時間	04:46:10	05:21:06	05:55:23	06:30:15	07:05:01	07:39:08	08:14:11	
判讀順序	姿態儀 空速表 轉速表 油量表 高度表	空速表高度表 油量表 姿態儀 轉速表	姿態儀 轉速表 油量表空速表 高度表	轉速表 油量表 空速表 高度表 姿態儀	高度表 姿態儀 轉速表 油量表 空速表	轉速表 高度表 空速表 姿態儀 油量表	轉速表 姿態儀 高度表 油量表 空速表	

表 3.8 個別儀表判讀順序與反應次數統計表

字卡	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	出現次數
空速	2	1	4	5	2	1	3	4	2	1	3	3	5	3	5	15
高度	4	2	1	3	3	5	4	1	5	2	5	4	1	2	3	15
油量	1	5	5	2	1	2	1	3	4	3	3	2	4	5	4	15
轉速	3	4	2	4	5	4	2	4	3	5	2	1	3	1	1	15
姿態	5	3	3	1	4	3	5	2	1	4	1	5	2	4	2	15
油溫	off	on	on	off	on	on	off	on	off		on		on	on	off	off
電壓	off	off	on	on	off	on	on	on	off	on	off	on	off	on	off	off

影片中油溫表與電壓表只於兩字卡出現間隔期間會超過警戒設定，測試者需按下反應鍵，本實驗設計整段影片中油溫過熱將 8 次，電壓過熱也將有 8 次如表 3.9 個別儀表判讀順序與反應次數統計表所示，紅色 on 代表按下反應鍵，綠色 off 表示狀態正常不用按反應鍵。

表 3.9 不同儀表配置與鍵盤對應鍵配置表

欄位配置 ^o		群集配置 ^o	
儀表名稱 ^o	鍵盤對應鍵 ^o	儀表名稱 ^o	鍵盤對應鍵 ^o
高度表 ^o	Y ^o	高度表 ^o	U ^o
空速表 ^o	R ^o	空速表 ^o	J ^o
轉速表 ^o	G ^o	轉速表 ^o	G ^o
油量表 ^o	L ^o	油量表 ^o	R ^o
油溫表 ^o	J ^o	油溫表 ^o	T ^o
電壓表 ^o	D ^o	電壓表 ^o	F ^o
姿態儀 ^o	I ^o	姿態儀 ^o	I ^o

3.5 關於反應資料記錄程式

整段反應測試影片約 9 分鐘共 15 張反應字卡，每字卡每次都要求受測者分別對空速表、高度表、油量表、轉速表與姿態儀作出反應任務外，也要求受測者於字卡消失後檢查油溫表是否過高超過 230 度，電壓表是否過高進入紅色範圍，而完成整段反應測試影片。受測者會經過 103 個反應偵測點必須立即作出判別反應動作，其中共有 75 個反應時間測試點(每組字卡各五個反應任務共有 15 組字卡)，影片中共有 14 個階段來進行油溫表與電壓表偵測任務此共有 28 個偵測點。

爲了讓整體的反應測試更加符合本實驗的設計要求，因此對於鍵盤上的反應對鍵設定也要求與實驗設計中所設計的欄位與群集儀表排列組合位置相同，也就是當撥放欄位測試影片時，鍵盤上的對應鍵的排列也與欄位的排列相似。

如表 3.10 欄位排列儀表測試及鍵盤反應鍵對照表，及 3.11 群集排列儀表測試及鍵盤反應鍵對照表所示。



表 3.10 欄位排列儀表測試及鍵盤反應鍵對照表

欄位類比測試影片	
	
欄位類比儀表鍵盤對應鍵	
	

3.11 群集排列儀表測試及鍵盤反應鍵對照表

群集數位測試影片



群集數位儀表鍵盤對應鍵

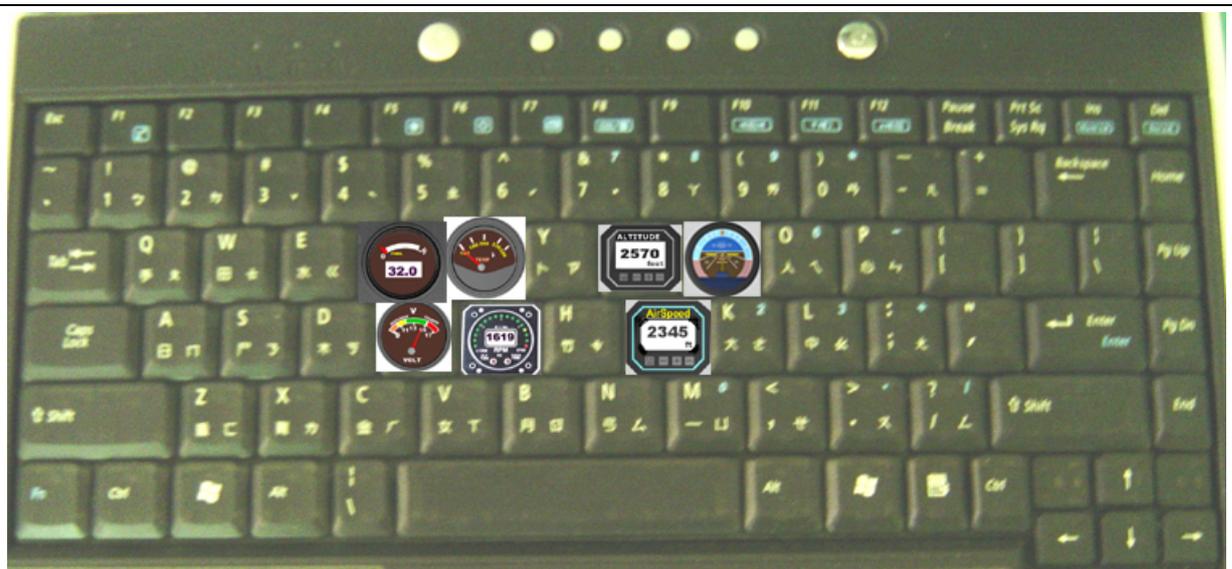


表 3.12 實驗儀表組合與鍵盤對應鍵總表

欄位類比儀表鍵盤反應鍵配置表						
空速表	高度表	轉速表	姿態儀	油量表	油溫表	電壓表
						
對應鍵-R	對應鍵-Y	對應鍵-G	對應鍵-I	對應鍵-L	對應鍵-J	對應鍵-D
欄位數位儀表鍵盤反應鍵配置表						
空速表	高度表	轉速表	姿態儀	油量表	油溫表	電壓表
						
對應鍵-R	對應鍵-Y	對應鍵-G	對應鍵-I	對應鍵-L	對應鍵-J	對應鍵-D
群集類比儀表鍵盤反應鍵配置表						
空速表	高度表	轉速表	姿態儀	油量表	油溫表	電壓表
						
對應鍵-J	對應鍵-U	對應鍵-G	對應鍵-I	對應鍵-R	對應鍵-T	對應鍵-F
群集數位儀表鍵盤反應鍵配置表						
空速表	高度表	轉速表	姿態儀	油量表	油溫表	電壓表
						
對應鍵-J	對應鍵-U	對應鍵-G	對應鍵-I	對應鍵-R	對應鍵-T	對應鍵-F

3.6 關於反應資料蒐集

研究資料之取得乃必須經實際的實驗而來，必須對於受測者的反應結果以正確的方式加以記錄下來。而反應時間之數據會被紀錄並複製至 Excel 中最後輸入至 SPSS 軟體來進行分析。

3.7 實際實驗流程

整個實驗流程時間為 30 分鐘，分成兩階段。第一階段為個別儀表認識，在進行實驗前先發送測試解說資料給受測人員，例如先進行欄位類比測試的人員就必須先閱讀屬於欄位類比的測試解說資料，資料中包過類比儀表介紹與判讀技巧、欄位類比測試儀表組合介面、實際測試畫面解說及鍵盤上對應鍵的位置標示等，受測者收到書面資料後先以 5 到 10 分鐘進行儀表的認識及熟悉測試介面中儀表的擺設，與熟悉鍵盤上的各對應鍵，接著以 5 分鐘時間開啓反應測試程式並置入測試影片，對受測者進行初步實際操作畫面解說。並進行模擬測試，其目的就是要確認受測者對整個儀表版的介面擺設和對各儀表的判別有基本能力，能於所設定的時間內完成字卡所顯示儀表的判別任務，最後再重新正式放畫面讓受測者完成完整的測試影片，時間約 9 分鐘共 15 關卡。

(一) 儀表基本認識：以先進行類比欄測試的受測者先以 10 分鐘時間分別閱讀表 3.12 輕航機類比儀表說明與表 3.13 姿態儀判讀表。

3.13 輕航機類比儀表說明

儀表名稱	儀表圖示	判讀方式
類比空速表		<p>直接以指針配合數字進行空速判讀，以 2 海浬為最小刻度單位，每 20 海理顯示數據。如左圖所示空速表約為 55 海浬。</p>
類比高度表		<p>紅色指針每大隔代表一萬英尺高度，藍色指針每大間隔代表 1000 英尺高度，最長白指針每大間隔代表一百英尺高度。如左圖所示目前高度為 1500 呎。</p>
引擎轉速表		<p>以指針配合數字進行轉速數據判讀，每 500 轉以顯示間隔數字。如左圖轉速表所示目前轉速約為 2300 轉。</p>

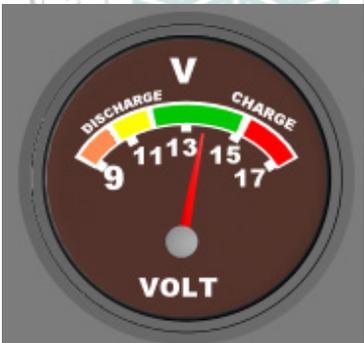
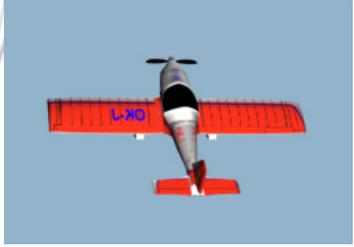
<p>類比油量表</p>		<p>直接以指針所指數字進行油量判定。如左圖油量表所示油量約為 16 加崙。</p>
<p>類比油溫表</p>		<p>直接以指針所指數字進行油溫判定，如左圖油溫表油溫接近 230 度。</p>
<p>類比電壓表</p>		<p>透過指針所指位置進行電壓數據及安全狀態判定，如左圖所示電壓表約為 14 福特落在綠色區，表示電壓仍為安全狀態。</p>

表 3.14 姿態儀判說明表

飛行狀態說明	姿態儀顯示狀態	飛機飛行狀態
<p>飛機水平飛行 中間水平線成水平，表示機身左右高度一致平穩前進。</p>		
<p>飛機左側飛行 水平線往左傾斜，代表飛機以側飛方式直線飛行。</p>		
<p>飛機朝上飛行 白色地平線往下沉，藍色天空已下降低於黃色機身水平軸，代表機頭拉高飛機朝上飛行。</p>		
<p>飛機朝下飛行 白色地平線往上升，黑色天空超出黃色機身水平軸代表機頭朝下飛機正往下飛行或降落</p>		

飛機右側飛行

水平線往右傾斜，代表飛機以右下側飛方式飛行。



(二)類比欄位儀表介面預覽：

要求受測者仔細觀察留意每個儀表的擺放位置，以便實驗時能盡速找尋目標儀表進行數據或狀態反應判定。



圖 3.2 類比欄位儀表配置圖

(三)啓動實驗程式：

正式啓動輕航機儀表反應測試程式 AVIPlayer1.13Beta，先定義所要測試的儀表介面爲欄位或是群集。如圖 3.3 反應程式操作介面

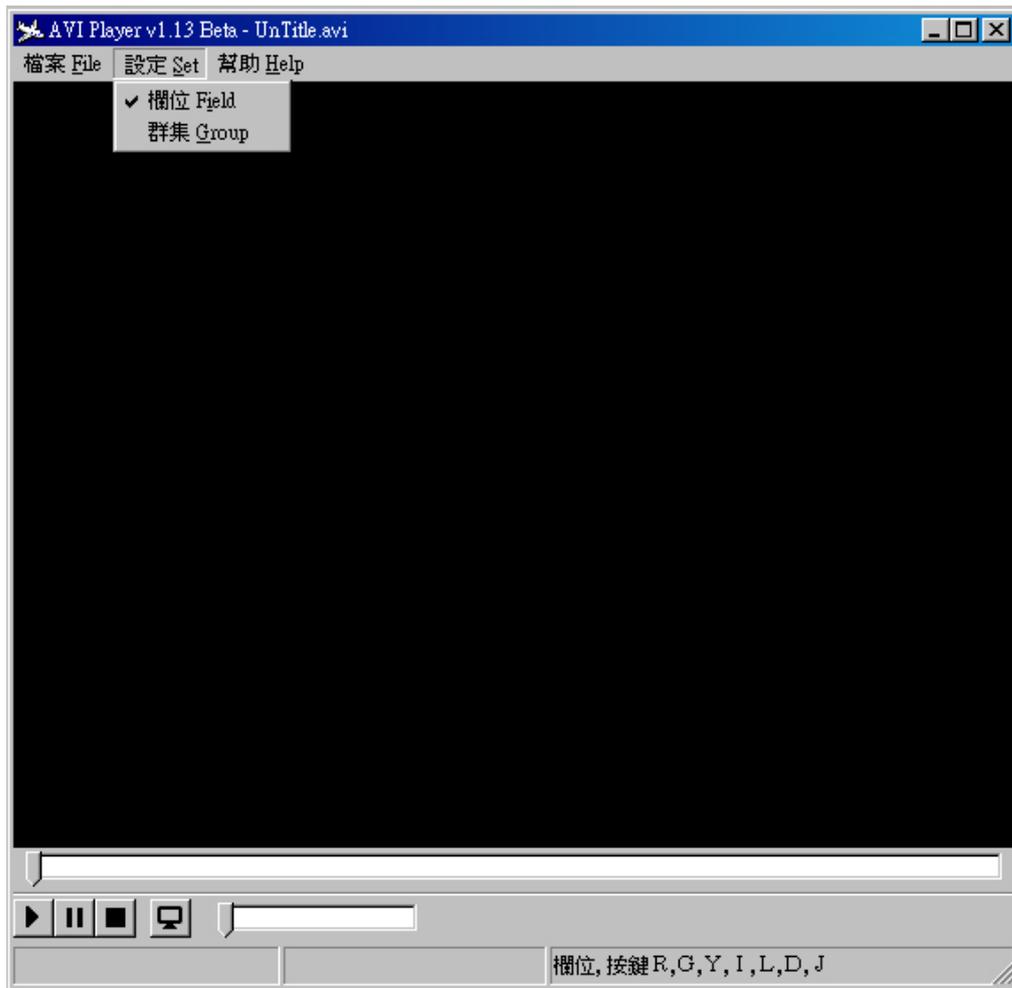


圖 3.3 反應程式操作介面

(四)點選對應測試影片：選定所要進行的儀表測試影片，如圖 3.4 影片啓動介面。當影片置入到撥放程式後，影片將自動放大到螢幕最大顯示畫面，同時受測者也正式進入反映測試實驗。

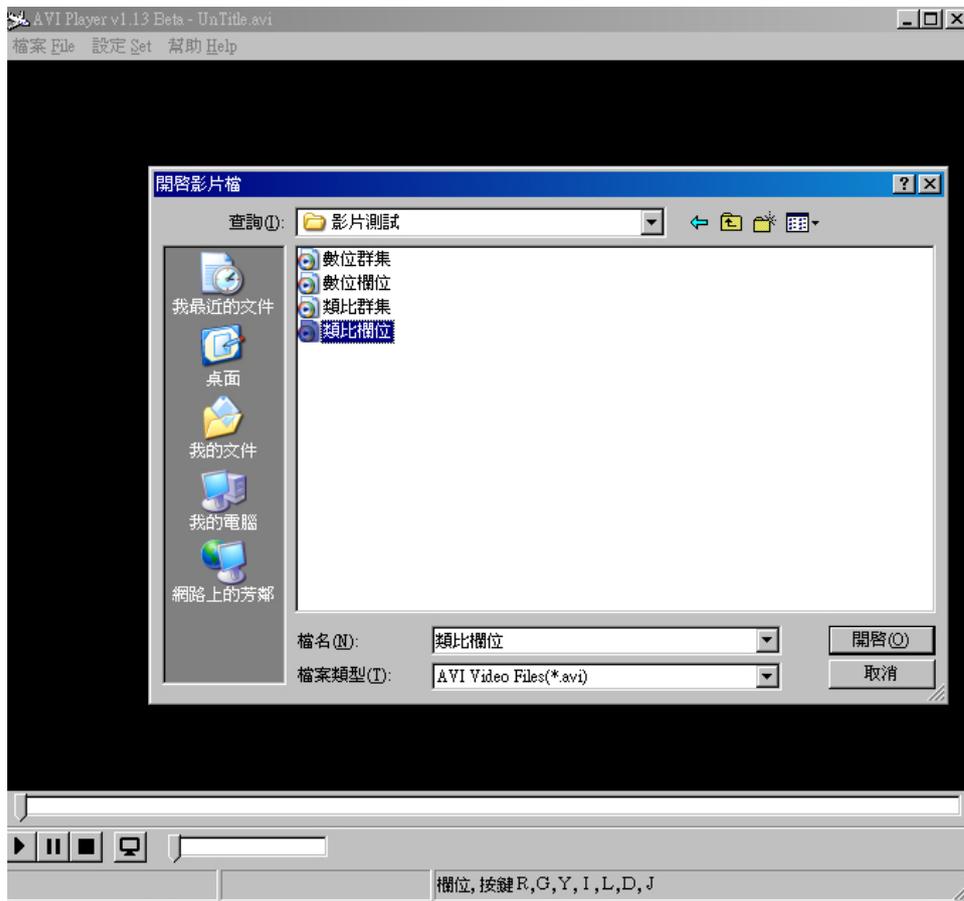


圖 3.4 影片啓動介面

3.8 資料蒐集

全部實驗資料將以 SPSS 10.0 統計分析軟體進行編碼與統計分析。採用敘述統計分析及變異數分析等功能，24 位受測者依照儀表欄位與群集兩種實驗介面

組合分成兩組，分別完成欄位類比、欄位數位、群集類比及群集數位等四種儀表組合介面測試，而變異數分析採混合重複數量分析法，事後比較採最小顯著差異法，以 $P < 0.05$ 為達顯著差異之判定標準。比較四種不同儀表組合下受測者的反應時間與反應正確率並藉由分析結果進行深入討論。

第四章實驗結果

4.1 資料分析

將所有實驗資料蒐集先進行處理，再以 SPSS 統計應用軟體，進行 2(欄位配置/群集配置) \times 2(類比顯示/數位顯示)之二因子混合實驗數據編碼與分析，以了解測試者於不同儀表配置排列及不同儀表顯示模式下，比較測試者對於空速表、轉速表、高度表、姿態儀、油量表之反應績效與電壓表、油溫表之偵錯反應正確率。

結果顯示，本研究所探討之儀表配置與儀表顯示兩因子，對於輕航機，空速表($F(1,22)=3.843$; $P>0.05$)、高度表($F(1,22)=0.708$; $P>0.05$)、轉速表($F(1,22)=0.708$; $P>0.05$)、油量表($F(1,22)=0.3947$; $P>0.05$)交互作用均未達顯著，因此分別就儀表配置因子(欄位 vs. 群集)與儀表顯示因子(類比 vs. 數位)以單因子變異數(One way ANOVA)進行各因子主效果分析。

欲探討之分析目標如下 4 項：

1. 不同儀表配置反應績效比較。
2. 不同儀表顯示反應績效比較。
3. 不同配置組合姿態儀反應績效比較。
4. 不同配置組合偵測正確率績效比較。

表4.1空速表受試者內效應項檢定

測量: MEASURE_1

來源		型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
顯示	假設為球形	4778563.021	1	4778563.021	12.867	.002
	Greenhouse-Geisser	4778563.021	1.000	4778563.021	12.867	.002
	Huynh-Feldt 值	4778563.021	1.000	4778563.021	12.867	.002
	下限	4778563.021	1.000	4778563.021	12.867	.002
顯示 * 配置	假設為球形	1427265.188	1	1427265.188	3.843	.063
	Greenhouse-Geisser	1427265.188	1.000	1427265.188	3.843	.063
	Huynh-Feldt 值	1427265.188	1.000	1427265.188	3.843	.063
	下限	1427265.188	1.000	1427265.188	3.843	.063
誤差 (顯示)	假設為球形	8170700.292	22	371395.468		
	Greenhouse-Geisser	8170700.292	22.000	371395.468		
	Huynh-Feldt 值	8170700.292	22.000	371395.468		
	下限	8170700.292	22.000	371395.468		

表4.2 高度表受試者內效應檢定

測量: MEASURE_1

來源		型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
顯示	假設為球形	24178343.521	1	24178343.5	53.409	.000
	Greenhouse-Geisser	24178343.521	1.000	24178343.5	53.409	.000
	Huynh-Feldt 值	24178343.521	1.000	24178343.5	53.409	.000
	下限	24178343.521	1.000	24178343.5	53.409	.000
顯示 * 配置	假設為球形	320296.688	1	320296.688	.708	.409
	Greenhouse-Geisser	320296.688	1.000	320296.688	.708	.409
	Huynh-Feldt 值	320296.688	1.000	320296.688	.708	.409
	下限	320296.688	1.000	320296.688	.708	.409
誤差 (顯示)	假設為球形	9959447.292	22	452702.150		
	Greenhouse-Geisser	9959447.292	22.000	452702.150		
	Huynh-Feldt 值	9959447.292	22.000	452702.150		
	下限	9959447.292	22.000	452702.150		

表4.3 轉速表受試者內效應項檢定

測量: MEASURE_1

來源		型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
顯示	假設為球形	11942070.083	1	11942070.1	19.535	.000
	Greenhouse-Geisser	11942070.083	1.000	11942070.1	19.535	.000
	Huynh-Feldt 值	11942070.083	1.000	11942070.1	19.535	.000
	下限	11942070.083	1.000	11942070.1	19.535	.000
顯示 * 配置	假設為球形	432820.083	1	432820.083	.708	.409
	Greenhouse-Geisser	432820.083	1.000	432820.083	.708	.409
	Huynh-Feldt 值	432820.083	1.000	432820.083	.708	.409
	下限	432820.083	1.000	432820.083	.708	.409
誤差 (顯示)	假設為球形	13449007.833	22	611318.538		
	Greenhouse-Geisser	13449007.833	22.000	611318.538		
	Huynh-Feldt 值	13449007.833	22.000	611318.538		
	下限	13449007.833	22.000	611318.538		

表 4.4 油量表受試者內效應項檢定

測量: MEASURE_1

來源		型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
顯示	假設為球形	2130682.688	1	2130682.688	9.761	.005
	Greenhouse-Geisser	2130682.688	1.000	2130682.688	9.761	.005
	Huynh-Feldt 值	2130682.688	1.000	2130682.688	9.761	.005
	下限	2130682.688	1.000	2130682.688	9.761	.005
顯示 * 配置	假設為球形	861620.021	1	861620.021	3.947	.060
	Greenhouse-Geisser	861620.021	1.000	861620.021	3.947	.060
	Huynh-Feldt 值	861620.021	1.000	861620.021	3.947	.060
	下限	861620.021	1.000	861620.021	3.947	.060
誤差 (顯示)	假設為球形	4802341.792	22	218288.263		
	Greenhouse-Geisser	4802341.792	22.000	218288.263		
	Huynh-Feldt 值	4802341.792	22.000	218288.263		
	下限	4802341.792	22.000	218288.263		

4.1.1 不同儀表配置反應績效比較

針對總反應時間，採獨立單因子變異數分析，以了解欄位配置與群集配置之反應績效變化，將資料進行描述統計量(表 4.5)與變異數(表 4.6)分析整理，就整體儀表反應時間依變項而言，F 值未達顯著差異($F(1,22)=1.123$ ； $P>0.05$)，表示不同的儀表配置其整體反應間沒有顯著差異存在。

表4.5 不同配置總反應時間描述性統計

總反應時間								
	個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
					下界	上界		
欄位配置	12	3081.67	672.19	194.04	2654.58	3508.76	1933	4275
群集配置	12	2851.50	338.00	97.57	2636.74	3066.26	2179	3513
總和	24	2966.58	533.44	108.89	2741.33	3191.83	1933	4275

表4.6不同儀表配置總反應時間變異數分析

總反應時間					
	平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
組間	317860.167	1	317860.167	1.123	.301
組內	6226919.7	22	283041.803		
總和	6544779.8	23			

分別就空速表、轉速表、高度表、油量表反應時間，採獨立單因子變異數分析，以了解欄位配置與群集配置之反應績效變化，將資料進行描述統計(表 4.7)與變異數(表 4.8)分析整理，就高度表反應時間依變項而言，F 值未達顯著差異($F(1,46)=0.051$ ； $P>0.05$)；就空速表反應時間依變項而言，F 值未達顯著差異($F(1,46)=0.641$ ； $P>0.05$)；就轉速表反應時間依變項而言，F 值未達顯著差異($F(1,46)=1.190$ ； $P>0.05$)；就油量表反應時間依變項而言，F 值未達顯著差異($F(1,46)=2.848$ ； $P>0.05$)，顯示不同儀表配置對空速表、轉速表、高度表、油量表反應時間沒有顯著差異存在。

4.7個別儀表描述性統計量

	個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值	
					下界	上界			
高度表反應時間	欄位配置	24	3176.58	1252.18	255.60	2647.84	3705.33	1163	6077
	群集配置	24	3113.63	909.54	185.66	2729.56	3497.69	1026	4294
	總和	48	3145.10	1083.12	156.33	2830.60	3459.61	1026	6077
空速表反應時間	欄位配置	24	3087.79	931.95	190.23	2694.26	3481.32	1638	4522
	群集配置	24	2891.33	669.48	136.66	2608.64	3174.03	1390	4338
	總和	48	2989.56	808.84	116.75	2754.70	3224.42	1390	4522
轉速表反應時間	欄位配置	24	3291.92	1158.00	236.38	2802.94	3780.90	1380	6118
	群集配置	24	2996.67	788.02	160.85	2663.91	3329.42	1612	4775
	總和	48	3144.29	991.14	143.06	2856.49	3432.09	1380	6118
油量表反應時間	欄位配置	24	2770.50	766.56	156.47	2446.81	3094.19	1366	4690
	群集配置	24	2404.13	565.72	115.48	2165.24	2643.01	1279	3333
	總和	48	2587.31	691.70	99.84	2386.46	2788.16	1279	4690

4.8變異數分析摘要表

	平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性	
高度表反應時間	組間	47565.021	1	47565.021	.040	.843
	組內	55089999	46	1197608.684		
	總和	55137564	47			
空速表反應時間	組間	463150.521	1	463150.521	.703	.406
	組內	30284965	46	658368.811		
	總和	30748116	47			
轉速表反應時間	組間	1046070.8	1	1046070.750	1.066	.307
	組內	45124745	46	980972.721		
	總和	46170816	47			
油量表反應時間	組間	1610767.7	1	1610767.688	3.549	.066
	組內	20876083	46	453827.883		
	總和	22486850	47			

4.1.2 不同儀表顯示反應績效比較

針對整體反應時間，採獨立單因子變異數分析，以了解類比儀表顯示與數位儀表顯示之反應績效變化，將資料進行描述統計(表 4.9)與變異數(表 4.10)分析整理，就整體儀表反應時間依變項而言，F 值達顯著差異($F(1,46)=22.293$ ； $P<0.05$)，表示不同的儀表顯示模式其整體反應間有顯著差異存在，觀察平均數發現，數位儀表反應時間均少於類比儀表顯示。

表4.9不同儀表顯示描述性統計

所有配置總反應時間

	個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
					下界	上界		
類比顯示	24	3400.25	617.01	125.95	3139.71	3660.79	2433	4628
數位顯示	24	2532.88	655.16	133.73	2256.22	2809.53	1434	4032
總和	48	2966.56	767.10	110.72	2743.82	3189.30	1434	4628

表4.10變異數分析摘要表

所有配置總反應時間

	平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
組間	9028072.7	1	9028072.688	22.293	.000
組內	18628573	46	404968.981		
總和	27656646	47			

分別就空速表、轉速表、高度表、油量表反應時間，採獨立單因子變異數分析，以了解類比儀表顯示模式與數位儀表顯示模式之反應績效變化，將資料進行描述統計(表 4.11 與變異數(表 4.12)分析整理，發現就空速表反應時間依變項而言，F 值達到顯著水準($F(1,46)=8.464$ ； $P<0.05$)；就高度表反應時間依變項而言，F 值達到顯著水準($F(1,46)=35.925$ ； $P<0.05$)；就轉速表反應時間依變項而言，F 值達到顯著水準($F(1,46)=16.049$ ； $P<0.05$)；就油量表反應時間依變項而言，F 值達到顯著水準($F(1,46)=4.815$ ； $P<0.05$)，表示不同的儀表顯示模式對空速表、轉速表、高度表、油量表反應時間有顯著差異存在，且每儀表於數位顯示模式下的反應績效亦均優於類比顯示模式。

表4.11個別儀表反應時間描述性統計

	個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值	
					下界	上界			
空速表反應時間	類比顯示	24	3305.08	806.81	164.69	2964.40	3645.77	2061	4522
	數位顯示	24	2674.04	691.49	141.15	2382.05	2966.03	1390	4204
	總和	48	2989.56	808.84	116.75	2754.70	3224.42	1390	4522
高度表反應時間	類比顯示	24	3854.83	868.20	177.22	3488.23	4221.44	2442	6077
	數位顯示	24	2435.38	769.60	157.09	2110.40	2760.35	1026	3859
	總和	48	3145.10	1083.12	156.33	2830.60	3459.61	1026	6077
轉速表反應時間	類比顯示	24	3643.08	756.31	154.38	3323.72	3962.44	2367	4957
	數位顯示	24	2645.50	957.18	195.38	2241.32	3049.68	1380	6118
	總和	48	3144.29	991.14	143.06	2856.49	3432.09	1380	6118
油量表反應時間	類比顯示	24	2798.00	580.86	118.57	2552.73	3043.27	2012	4062
	數位顯示	24	2376.63	740.04	151.06	2064.13	2689.12	1279	4690
	總和	48	2587.31	691.70	99.84	2386.46	2788.16	1279	4690

表4.12個別儀表變異數分析摘要表

		平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
空速表反應時間	組間	4778563.0	1	4778563.021	8.464	.006
	組內	25969553	46	564555.495		
	總和	30748116	47			
高度表反應時間	組間	24178344	1	24178343.5	35.925	.000
	組內	30959221	46	673026.543		
	總和	55137564	47			
轉速表反應時間	組間	11942070	1	11942070.1	16.049	.000
	組內	34228746	46	744103.170		
	總和	46170816	47			
油量表反應時間	組間	2130682.7	1	2130682.688	4.815	.033
	組內	20356168	46	442525.383		
	總和	22486850	47			

4.2 姿態儀、電壓表、油溫表於不同儀表配置之反應績效比較

本實驗中姿態儀、電壓表、油溫表都以類比方式呈現，此計實驗組合設計之目的，在於了解不同儀表配置下(欄位配置/群集配置)對姿態儀反應時間、電壓表與油溫表偵錯正確率反應績效之影響。

4.2.1 姿態儀於不同儀表配置反應績效比較

針對姿態儀反應時間，採獨立單因子變異數分析，以了解欄位配置與群集配置之反應績效變化，將資料進行描述統計(表 4.13)與變異數(表 4.14)分析整理，就姿態儀反應時間依變項而言，F 值未達顯著差異($F(1,22)=0.471$ ； $P>0.05$)，表示不同儀表配置下姿態儀反應時間並無顯著差異存在。

表4.13姿態儀反應時間描述性統計量

姿態儀反應時間		個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值
欄位配置	群集配置					下界	上界		
欄位配置		12	2881.50	727.15	209.91	2419.49	3343.51	1788	3984
群集配置		12	2690.00	636.71	183.80	2285.46	3094.54	1596	3717
總和		24	2785.75	675.52	137.89	2500.50	3071.00	1596	3984

表4.14姿態儀變異數分析摘要表

姿態儀反應時間		平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
組間		220033.500	1	220033.500	.471	.500
組內		10275523	22	467069.227		
總和		10495557	23			

4.2.2 不同配置組合偵測正確率績效比較

分別就油溫表、電壓表、偵測正確率，採獨立單因子變異數分析，以了解欄位儀表配置與群集儀表配置之偵測績效變化，將資料進行描述統計(表 4.15)與變異數(表 4.16)分析整理，就油溫表偵測正確率依變項而言，F 值未達顯著差異 ($F(1,22)=0.051$ ； $P>0.05$)；就電壓表偵測正確率依變項而言，F 值未達顯著差異 ($F(1,22)=3.598$ ； $P>0.05$)表示不同的儀表配置對油溫表與電壓表的偵測反應正確率沒有顯著差異存在。

表4.15偵錯正確率描述性統計量

	個數	平均數	標準差	標準誤	平均數的 95% 信賴區間		最小值	最大值	
					下界	上界			
油溫表偵錯正確率	欄位配置	12	.7142	.2766	7.985E-02	.5384	.8899	.25	1.00
	群集配置	12	.8133	.1734	5.005E-02	.7032	.9235	.50	1.00
	總和	24	.7637	.2314	4.723E-02	.6660	.8615	.25	1.00
電壓表偵錯正確率	欄位配置	12	.6992	.2405	6.943E-02	.5464	.8520	.31	1.00
	群集配置	12	.8600	.1686	4.868E-02	.7529	.9671	.50	1.00
	總和	24	.7796	.2191	4.473E-02	.6871	.8721	.31	1.00

表4.16偵錯正確率變異數分析摘要表

	平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性	
油溫表偵錯正確率	組間	5.900E-02	1	5.900E-02	1.107	.304
	組內	1.172	22	5.329E-02		
	總和	1.231	23			
電壓表偵錯正確率	組間	.155	1	.155	3.598	.071
	組內	.949	22	4.314E-02		
	總和	1.104	23			

4.3 分析與討論

4.3.1 儀表配置反應績效分析

就儀表反應績效部分，結果顯示不同的儀表配置組合介面，對受測者在實驗中執行的儀表反應績效，不管在高度表、空速表、轉速表與油量表，表現上均無明顯交互作用，進行單因子變異數分析，亦發現儀表配置對其整體反應間與儀表反應績效沒有顯著差異存在，就本實驗來說，所設計的儀表配置介面組合對於儀表的反應績效是不具顯著影響性的，探究其原因，可能因為本實驗操弄中，每組字卡均顯示了對於空速表、高度表、轉速表、油量表的反應測試需求，而且每個反應儀表的反應測試次頻率數與順序都是以平均分配，加速受測者在測試過程的學習效果，造成整體反應時間都極為接近。

此外本實驗採用輕航機飛行儀表板作為儀表反應績效測試媒介，而輕航機之飛行儀表板尺寸乃為所有飛行器中最小者，在實驗設計上對於儀表距離與擺設型態便有較大的限制，造成了儀表間的距離極為相近，排列組合也較無明顯變化差距，導致受測者對於欄位配置與群集配置，均不用移動過多視角與搜尋步驟便能快速找到目標儀表，進行反應判定，因此降低了配置因子位於反應績效差異之影響程度。

4.3.2 不同儀表顯示反應績效比較

進行獨立單因子變異數分析後，發現不同的儀表顯示模式對空速表、轉速表、高度表、油量表反應時間有顯著差異存在，而且也顯示了數位顯示器模式的反應速度要比使用類比儀表的反應速度還要來的快，驗證了學者 Simmonds, Galer 及 Baines(1981)所提出數位式裝置可以顯示出精確數值，減少讀取時產生誤差的資料傳遞特性之研究結果[27]。

表 4 · 17 反應時間統計表

儀表名稱		個數	欄位配置		群集配置	
			平均反應時間	標準差	平均反應時間	標準差
空 速 表	類比	12	3575.75	859.68	3034.42	679.85
	數位	12	2599.83	746.66	2748.25	655.96
高 度 表	類比	12	3968.00	1153.89	3741.67	465.46
	數位	12	2385.17	761.85	2485.25	807.78
轉 速 表	類比	12	3885.67	693.55	3400.50	765.9
	數位	12	2531.50	802.13	2592.83	596.65
油 量 表	類比	12	3031.83	663.67	2564.17	429.68
	數位	12	2342.5	467.35	2410.75	641.13

針對實驗數據進行觀察(表4.17)，發現上述四儀表之最短反應時間均在欄位配置與數位顯示模式組合下產生，以本實驗來說，採用欄位儀表配置與數位模式的儀表顯示乃是最佳的反應績效組合，其中又以數位油量表平均反應時間最短，其原因可能為數位油量表所呈現內容單純顯示範圍短少並且以緩慢速度遞減讓測試者極為容易去進行判讀動作所造成。

將上述統計表以直條圖呈現，發現類比高度表與數位高度表反應時間差異最大，反應時間均相差 1 000 毫秒以上，分析原因乃類比高度表本身設計影響所致，類比高度表由長、中、短不同長度指針別代表不同高度量測單位所構成，增加受測者對於畫面欲傳達的訊息知過程，而造成了反應時間的增加；而觀察類比油量表後發現，類比油量表反應時間都比其它類比顯示儀表還要來的少，分析原因乃本實驗所設計油量表採用單一指針縮短了讀取動作，此外刻度顯示範圍也較其它類比儀表精簡不複雜，加以用半圓形方式呈現減低了指針跳動程度，同時也以穩定趨勢緩慢遞減，因此容易讓受測者在實驗中得到較強烈預測效果，造成了油量表整體反應績效的提升縮短了數位與類比的反應差距。

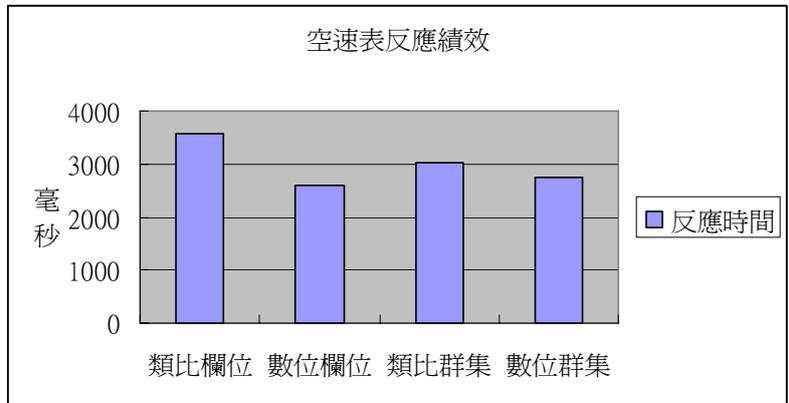


圖 4 · 1 空速表不同配置與顯示模式平均反應時間

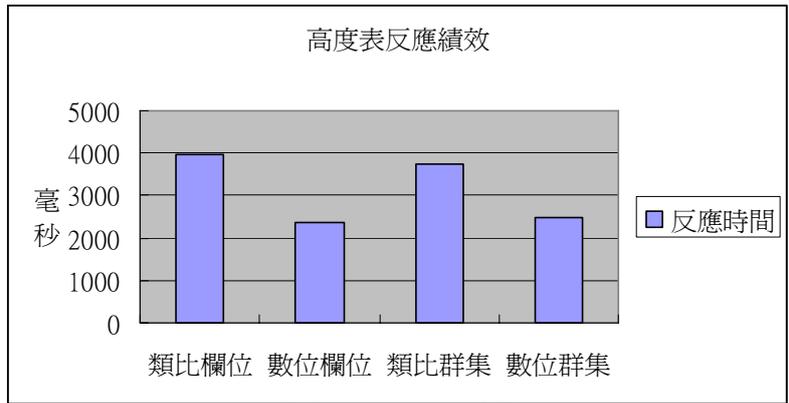


圖 4 · 2 高度表不同配置與顯示模式平均反應時間

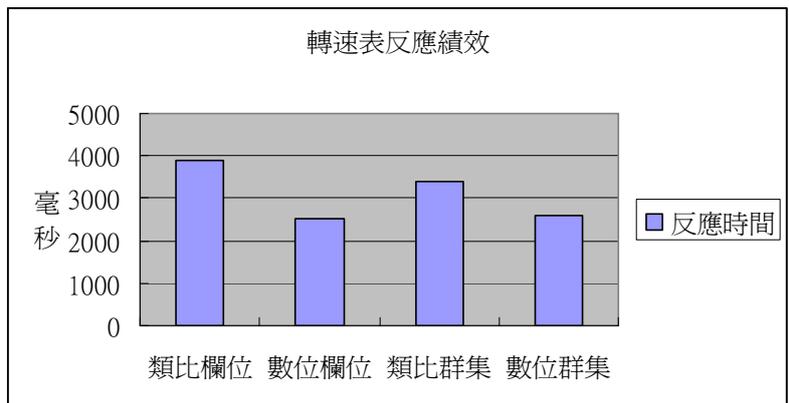


圖 4 · 3 轉速表不同配置與顯示模式平均反應時間

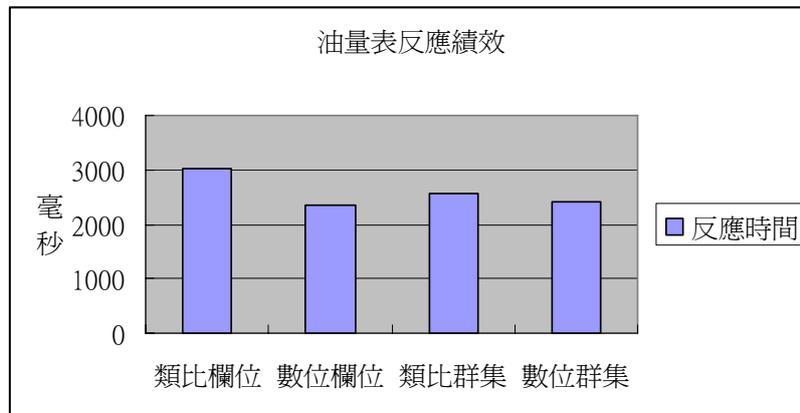


圖 4 · 4 油量表不同配置與顯示模式平均反應時間

4.3.3 不同配置組合姿態儀反應績效比較

針對姿態儀反應時間進行儀表配置獨立單因子變異數分析，發現姿態儀反應時間未達顯著性反應，表示不同的儀表配置組合對於姿態儀反應時間並無顯著差異存在，比較姿態儀在欄位配置(2806)與群集配置(2765.00)平均反應時間(表 4.18)發現，兩者反應時間極為接近；觀察受測者平均反應時間分布，也發現欄位與群集配置下的反應變化起伏平穩有相似趨勢，此可說明以符號圖像做為顯示器顯示的方式，在資訊傳送方面，最能讓人容易理解並清楚作出反應判斷，同時也說明了用圖像方式來顯示各種不同狀態的形式最容易讓人產生學習與聯想效果此，因為就無任何飛行經驗的受測者來說姿態儀乃是最陌生的一種顯示器，但是由於姿態儀採用象徵顯示，發揮了比文字或數字更能傳遞訊息指令的特性，因此可以較容易的引起人的注意所必須做出的反應時間也較接近；驗證了艾爾斯(J.G.Ells)與杜瓦(R.E. Dewar)兩學者所提出象徵符號比語言符號為佳之理論[7]，也因此使得現今大多數飛機上所安裝的姿態儀其畫面顯示方式仍都是以象徵圖示為主。

表 4.18 姿態儀反應時間統計表

姿態儀反應時間統計表					
	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
欄位配置	12	1788	3984	2806.50	727.15
群集配置	12	1596	3717	2765.00	636.71

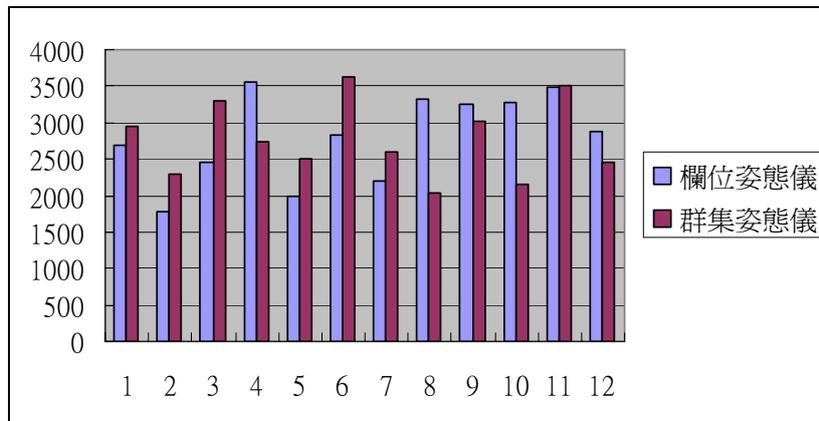


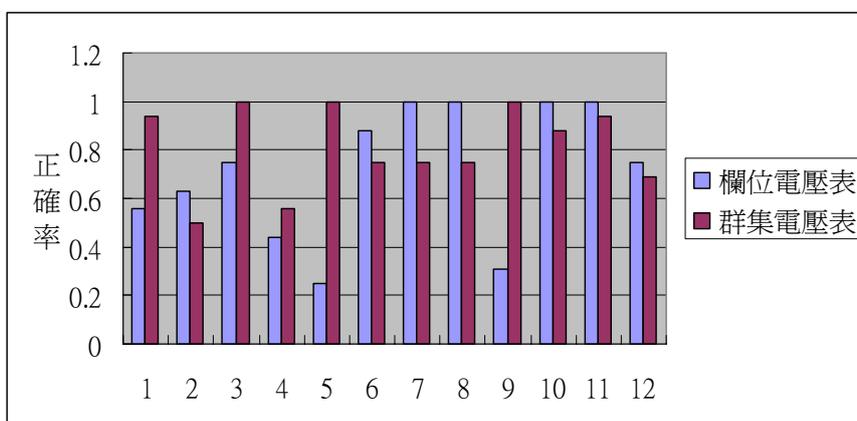
圖4.5 姿態儀反應時間直條圖

4.3.4 不同儀表配置偵測正確率分析

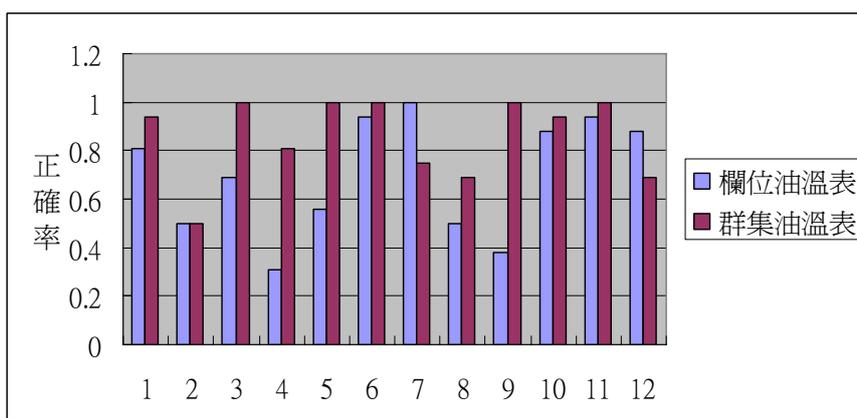
油溫表、電壓表、偵測正確率，F值均未達顯著差異，表示不同的儀表配置對油溫表與電壓表的偵測反應正確率沒有顯著差異存在，觀察電壓表與油溫表平均反應正確率直條圖，發現不同受測者的反應正確率有明顯高低落差現象。分析原因，所有字卡中，對於電壓表、油溫表偵測任務並無提出反應要求，完全得靠受測者當時的警覺性來完成偵測反應任務，因此在沒有立即且直接的訊息傳遞刺激下，就欄位配置與群集配置來說，對於初次接觸飛行儀表的受測者，開始便要有極高的偵測反應正確率是不易達到的，而且本實驗設計給予受測者進行電壓表與油溫表偵錯的反應時間均充足；亦得按照字卡提示以做出反應動作等限制；此外偵測判定標準也都事先讓受測者了解，因此受測者如能牢記偵測任務，隨時查看電壓表與油溫表顯示內容，便可從容地在設定時間內完成偵測反應動作。進一步研究資料發現，本實驗中並無任何測試者能在第一次進行反應測試時，便可達到完全正確的偵測反應表現，也就是第一次的偵測正確率就能達到百分之百的偵測成績，檢視所有偵測正確率為1的受測資料發現，都為受測者第二次進行儀表反應測試所得的結果，其原因乃為是學習效果導致；如由此可知排除學習效果影響因素之外，對於整體電壓表、油溫表的平均偵測任務執行績效來說，主要的影響因素將是來自不同受測者本身反應靈敏程度、當時的精神狀態與專注程度。相形之下電壓表與油溫表在儀表版中的配置位置影響程度就比較不明顯了。

表4.19 正確率統計表

油溫表偵測正確率統計表					
	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
欄位置	12	.25	1.00	.7142	.2766
群集置	12	.50	1.00	.8133	.1734
電壓表偵測正確率統計表					
	個數	最小值	最大值	平均數	標準差
欄位配置	12	.31	1.00	.6992	.2405
群集配置	12	.50	1.00	.8600	.1686



4.6 欄位、群集電壓表平均偵測正確率



4.7 欄位、群集配置油溫表平均偵測正確率



第五章 結論與建議

5.1 討論

本研究所設計之欄位與群集儀表配置介面，對於空速表、高度表、油量表轉速表、姿態儀反應時間與電壓表油溫表偵測正確率均無顯著關係；然而就儀表顯示模式與反應績效則具高度顯著性，本實驗結果亦顯示，數位模式的空速表、轉速表、高度表、油量表反應績效，均優於類比儀表顯示模式；此一結果除與本研究文獻所提，數位顯示裝置可將量測數值數位化並以數字或字母顯示、不受顯示畫面大小所限制、能精確傳遞所應呈現的資訊內容與減少讀取的時間及讀取時所產生的誤差之特性相呼應外，針對數位與類比儀表於飛行導航作出底下分析。

數位數位顯示儀器是否將成爲未來使用主流？由於飛行時，身處於立體空間，因此實際進行飛任務時，在導航資訊方面的感應與收集必定是多元、靈敏、複雜解即時性的，因此除了對於各儀表所呈現的訊息傳遞內容的接收、認知與辨別外，有時連續性的變化趨勢，其重要性更是大於間斷性的單純數字顯示，也因此整體的飛行導航績效就不能單純由反應時間的長短來涵蓋，必須針對飛行機種的任務特性加以了解，以設計符合人因工、程符合安全性、有效性的飛行儀表介面；如將大多數飛行儀表都以數位方式呈現，除了正如前面了文獻中所提，因飛機失去電力而將造成所有數位儀表失效外，也會因爲每數位儀表外觀都極爲類似，容易讓使用者產生混淆不清，無法快速辨別真正的目標顯示儀表，尤其在遇到緊急飛行狀態，如突然失速、方向迷失等情況，飛行員將急於尋求目標儀表以進行狀態判讀，雖然每個數位儀表仍可在當下立即正常顯示相關數據，但以飛行員當時身心均在緊張狀態下，飛行員很難同時對這些剛接收到只由數字組成的資訊內容加以歸類、定義、組織並理解其關聯性，因此很容易將數位儀表所顯示的數字資訊轉化錯誤的認知結果，例如誤把數位高度表所顯示的高度數量，誤認爲空速表所呈現的飛機高度，如此將產生嚴重因儀表誤判而形成的飛安意外。

因此就數位儀表的設計改善來說，重點應放在整體顯示器的外觀設計表現上；藉由不同的外觀結構與儀表呈現來突顯與區隔不同的數位儀表，輔助飛行員對於數位儀表數字所呈現導航資訊的辨別；幫助飛行員在最短時間內建構出最有條理的飛行導航參考資訊。

類比儀表顯示反應時間在本實驗中雖然都比數位模式儀表還要來的長，但是正如文獻所提類比儀表可以顯示趨勢訊息、外表獨特易辨認與不受電力影響等優

點仍是數為儀表無法取代的，因此對於儀表設計者，在進行儀表設計時能多考量相關人因工程介面設計原則，應綜合類比與數位顯示個別持有的優勢；根據特別的儀表顯示需求先進行數位與類比儀表顯示模式適用性評估，同時考量安全性與有效性如此才可尋求最佳的儀表反應組合。

本實中所使用之類比顯示儀表乃仿自Titan 912 輕航機儀表設計，而在進行實驗資料討論分析時，亦發現本實驗所採用的類比儀表顯示器仍有極大的改善空間，而修正方向則不再以快速辨識精確數值為主，更加入了功能性考量其目的就是要讓每儀表所代表的資訊傳遞類型與內容能更加凸顯、明確以發揮最大的功效，針對輕航機飛行儀表設計提出底下設計重點以作為參考使用。

- 1.當儀表數量多時，個別被設計規劃前必須考慮各儀表的外觀圖特性以方便使用者搜尋。
- 2.對於儀表刻度排列與顯示必須考量顯示範圍與關鍵數值提示，方便使用者辨識與吸引使用者注意。
- 3.顏色應採對比設計，變化不宜過多，太花俏反而造成反效果。
- 4.對於較複雜的儀表資訊呈現，可以類比指針結構為主適當加入數字模式數值顯示強化辨識功效。
5. 極重要的資訊傳遞可加上閃爍或明案變化快速引起注意，但此類設計元素不宜過多，以免造成感覺疲乏失去應有刺激效用。
6. 加入相容性考量方便進行資訊讀取，例如可將高度表以直條狀呈現讓使用者可以快速了解目前的飛行高度變化。

5.2 後續研究建議

後續研究可朝以下幾個方向進行深入研究：

1. 針對儀表配置對於反應績效實驗改善：

實際進行飛行任務時，飛行員對於儀表板上的每個導航表觀測次數是不同的，且對於儀表判別順序也有固定差異，本實驗操弄對於整個儀表的觀測頻率與使用順序設計的過於完美、平均，而忽略實際飛行時的導航功能性與重要性需求考量，無形中降低了儀表配置對於反應績效的代表性。

因此可針對目前台灣輕航機飛行家進行問卷發放，並使用因素分析(Factor Analysis)將個別儀表與整體飛行反應績效之相關性進行統計分析，規劃出更接近飛行狀態下的飛行導航儀表反應績效飛行劇本，減少實驗儀表個數，更加符合台灣目前輕航機儀表使用現況，以較大電腦螢幕顯示器進行反應績效測試，讓整體測試儀表介面更加符合真實輕航機導航系統配置構造，以進行相關深入研究。

2. 針對儀表模擬動畫設計建議：

於實驗模擬動畫影片加上更多的動態影音效果變化，豐富真實飛行時的臨場感，例如讓鏡頭產生上下晃動震動效果、突顯場景鏡頭運行不同的速度落差，加入更多飛行的外部變化元素，如雲層、風雨、飛鳥及同行的其它輕航機種等，以刺激受測者更強烈的飛行參與感如此便可獲得受最接近真實飛行導航的反應與資料。

3. 實驗儀表的選擇與考量

本實驗乃採用Tornado-1輕航機飛行儀表板作為儀表反應績效測試媒介，但目前台灣輕航機型種類極多，且Tornado-1乃為少數高階國外進口輕航機型，並不是現今台灣輕航機飛行運動之主流機型，因此本實驗所研究之相關結果便不足以代表大多數目前台灣輕航機儀表的反應績效表現，因此可加以蒐集目前台灣的飛行市場，規劃多個具代表性的輕航機型，並將不同外觀形式的輕航機儀表板運用於動畫軟體加以建構，配合相關的人因工程設計原則，並根據上述兩點建議加以進行反應測試，必可找出最適合國人使用的輕航機，飛行儀表導航介面。



參考文獻

- [1] 輕航機墜毀情侶天人兩隔，東森新聞報 2005.12.31 ，
<http://www.ettoday.com/2005/10/31/138-1863450.htm> 。
- [2] 紐西蘭兩架輕型飛機空中相撞 2 死，中廣新聞網 (2006/02/09 11:00)
http://news.sina.com.tw/articles/13/58/43/13584379.html?/global/20060209_2.html 。
- [3] AFSC,DH1-3,sec 2C,Design of displays, Human Factors Engineering, 3rd Ed, January 1 1977 .
- [4] H.P.Van Cott and R.C. Kinkade, Human Engineering Guide to Equipmest Design , Chapter 4 , US Government Printing Office , Washington, D. C, 1972 .
- [5]張一岑，1997 ，人因工程學，揚智出版社。
- [6]Elkin, E.H.(1959, February). Effect of scale shape, exposure time and display complexity on scale reading efficiency(TR 58-472). Wright-Patterson Air Force Base . OH: USAF,WADC.
- [7](R.E. Dewar) J.G. Ellis and R.E.Dewar, Rapid comprehension of Verbal and symbolic traffic sign messages, Human Factors,21,pp161-168.1979.
- [8]K.H.E Kremer, H. B. Kroemer, and K. E. Kroemer-Elbert, Ergonomics, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., USA, 1994 .
- [9] R.W. Proctor and T. van Zandt, Human Factors in Simple and Complex Systems Chapter 8 Ally and Bacon,Boxton,USA,1994.
- [10]. R.S Esterby, The perception of symbols for machine displays. Ergonomics

- 13.PP.149.15.. 1970.
- [11]羅伯特.備利，1989，應用人因工程學，林修如譯。
- [12]Wargo,M.J.,A note on the role of "guidance" in learning. *British Journal of Psychology* 1957,48, 133-137.
- [13]Swink, J .R., Intersensory comparisons of reaction time using an electropulse tactile stimulus. *Hunan Factors*,1966,8(2),143-145.
- [14]Pew, R. W ., Acquisition of hierarchical control over the temporal organization of a skill. *Journal of Experimental Psychology*,1966,71,764-771.
- [15]Swenson ,R.G., The elusive tradeoff: Speed vs. accuracy in visual discrimination tasks. *Perception and Psychophysics*.
- [16]Bailey, R.W and Koch, C. G. Position package test validation study (LMOS :Houston). Private Communication , August 1976.
- [17]Conard . and Longman ,D.J.A ,Standard typewriter versus chord keyboard- An experimental comparison. *Ergonomics*,1965,30.336-343.
- [18]West ,L.J., Vision and kinethesis in the acquisition of typewriting skill. *Journal of Applied Psychology*,1967,51,161-166.
- [19]Schffer , L. H and Hardwick ,J., Errors and error detection in typing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1969,21,209-213.
- [20]王有隆， 2001， 航空儀表，中國西南交通大學出版社。
- [21]王成豪，2003， 航空儀表， 北京科學出版社。
- [22] 郭振芹， 1996， 非電量電測量表，北京 計量出版社。
- [23] 超輕載具，2004， 民用航空法。

- [24] 連榮發， 全民運動週報第 68 期 ，中華民國飛行運動協會超輕委員會 。
- [25] 崔可周，1991，飛機學概論。
- [26] 廖偉龍，1994，飛機，台灣商務印書館股份有限公司，台北。
- [27] Simmonds , G.R.W., galer, M., and Baines,A.(1981).Ergonomics of electronic displays, Tech. Paper series 810826. Warrendale,PA:Society of Automotive Engineers.



附錄(A) Tornado-1 機身與駕駛儀表實際拍照圖



附錄(B) 類比導航飛行儀表說明表

儀表名稱	儀表圖示	判讀方式
類比空速表		<p>直接以指針配合數字進行空速判讀，以 2 海浬為最小刻度單位，每 20 海理顯示數據。如左圖所示空速表約為 55 海浬。</p>
類比高度表		<p>紅色指針每大隔代表一萬英尺高度，藍色指針每大間隔代表 1000 英尺高度，最長白指針每大間隔代表一百英尺高度。 如左圖所示目前高度為 1500 呎。</p>
引擎轉速表		<p>以指針配合數字進行轉速數據判讀，每 500 轉以顯示間隔數字。如左圖轉速表所示目前轉速約為 2300 轉。</p>
類比油量表		<p>直接以指針所指數字進行油量判定。 如左圖油量表所示油量約為 16 加侖。</p>
類比油溫表		<p>直接以指針所指數字進行油溫判定，如左圖油溫表油溫接近 230 度。</p>
類比電壓表		<p>透過指針所指位置進行電壓數據及安全狀態判定，如左圖所示電壓表約為 14 福特落在綠色區，表示電壓仍為安全狀態。</p>

附錄(C) 數位導航儀表說明表

儀表名稱	儀表圖示	判讀方式
數位空速表	 <p>The image shows a digital airspeed gauge with a black octagonal frame. At the top, the word "AirSpeed" is written in yellow. In the center, the number "2345" is displayed in large black digits, with "ft" in smaller black text below it. At the bottom, there are four small icons: a list icon, a minus sign, a plus sign, and a minus sign.</p>	<p>直接讀取儀表顯示數據進行飛行空速判讀，如左圖數位空速表所示，其空速為 2345 英尺。</p>
數位高度表	 <p>The image shows a digital altitude gauge with a black octagonal frame. At the top, the word "ALTITUDE" is written in white. In the center, the number "2570" is displayed in large black digits, with "feet" in smaller black text below it. At the bottom, there are four small icons: a list icon, a minus sign, a plus sign, and a minus sign.</p>	<p>直接讀取儀表顯示數據進行飛行高度判讀，左圖數位高度表所示，其高度為 2570 英尺。</p>
數位引擎轉速表	 <p>The image shows a digital engine RPM gauge with a black square frame. In the center, the number "1619" is displayed in large white digits. Below the number, the text "RPM" is written in white. The gauge has a circular scale with green and red markings around the perimeter. At the bottom, there are several small icons and labels, including "RPM", "0", and "2700".</p>	<p>直接讀取儀表顯示數據進行引擎轉速判讀，如左圖數位引擎轉速表所示，其轉速為 1619 RPM。</p>
數位油量表	 <p>The image shows a digital fuel gauge with a black circular frame. At the top, the text "FUEL QTY" is written in white. In the center, the number "23.3" is displayed in large white digits. Above the number, there is a semi-circular gauge with a red needle and a green-to-red color gradient. At the bottom, there are several small icons and labels, including "0", "F", and "23.3".</p>	<p>直接讀取儀表顯示數據進行飛行高度判讀，如左圖數位油量表所示，其油量剩 23.3 加崙</p>

附錄(D) 姿態儀判讀說明表

姿態儀中間主要為水平儀構成，分成藍色與黑色，中間由白線區分，藍色代表天空，黑色代表陸地，白色線表示地平線。		
飛行狀態說明	姿態儀顯示狀態	飛機飛行狀態
<p>飛機水平飛行</p> <p>中間水平線成水平，表示機身左右高度一致平穩前進。</p>		
<p>飛機左側飛行</p> <p>水平線往左傾斜，代表飛機以側飛方式直線飛行。</p>		
<p>飛機朝上飛行</p> <p>白色地平線往下沉，藍色天空已下降低於黃色機身水平軸，代表機頭拉高飛機朝上飛行。</p>		
<p>飛機朝下飛行</p> <p>白色地平線往上升，黑色天空超出黃色機身水平軸代表機頭朝下飛機正往下飛行或降落</p>		
<p>飛機右側飛行</p> <p>水平線往右傾斜，代表飛機以右下側飛方式飛行。</p>		

附錄(E) 欄位儀表配置介面與鍵盤對應鍵分配表

類比欄位儀表介面



欄位鍵盤對應鍵

油量表對應鍵--L	高度表對應鍵---Y	油溫表對應鍵----J
空速表對應鍵--R	姿態儀對應鍵----I	電壓表對應鍵----D
轉速表對應鍵--G		

數位欄位儀表介面



欄位鍵盤對應鍵

油量表對應鍵--L	高度表對應鍵---Y	油溫表對應鍵----J
空速表對應鍵--R	姿態儀對應鍵----I	電壓表對應鍵----D
轉速表對應鍵--G		

附錄(F)群集儀表配置介面與鍵盤對應鍵分配表

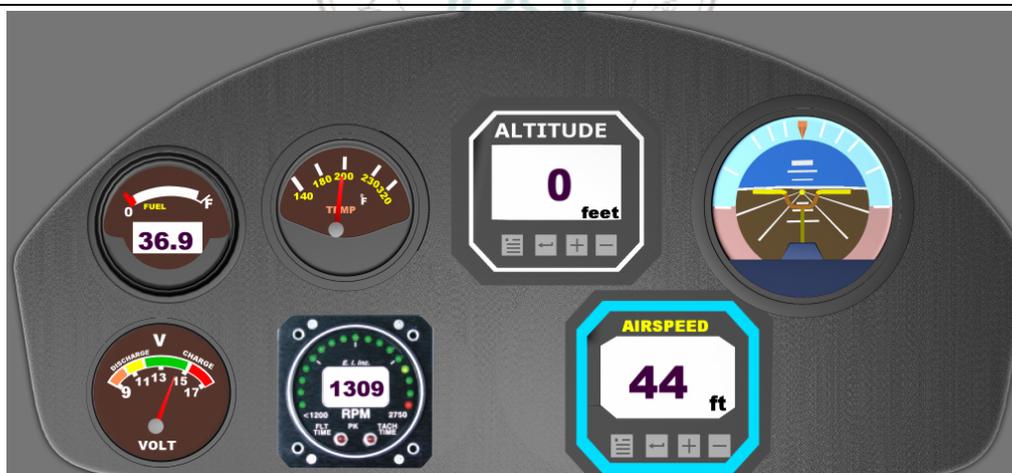
群集類比儀表顯示



群集鍵盤對應鍵

油量表對應鍵---R	高度表對應鍵---U	油溫表對應鍵---T
空速表對應鍵--J	姿態儀對應鍵----I	電壓表對應鍵---F
轉速表對應鍵---G		

群集數位儀表顯示



群集鍵盤對應鍵

油量表對應鍵---R	高度表對應鍵---U	油溫表對應鍵---T
空速表對應鍵--J	姿態儀對應鍵----I	電壓表對應鍵---F
轉速表對應鍵---G		

附錄(G).欄位儀表配置測試紀錄對應表，以字卡到字卡三為例

反應組合:		欄位儀表排列		
反應對應鍵				偵錯對應鍵
油量表---L		高度表---Y		油溫表---J
空速表---R		姿態儀---I		電壓表---D
轉速表---G				
時間區隔(秒)	應按鍵	實際按鍵	實際按下時間	反應時間(毫秒)
字卡一				
00:09:28	油量表---L			
	空速表---R			
	轉速表---G			
	高度表---Y			
	姿態儀---I			
間隔一				
00:34:19				
字卡二				
00:43:20	空速表---R			
	高度表---Y			
	姿態儀---I			
	轉速表---G			
	油量表---L			
間隔二				
01:08:16	油溫表---J			
字卡三				
01:18:01	高度表---Y			
	轉速表---G			
	姿態儀---I			
	空速表---R			
	油量表---L			
間隔三				
01:43:05	油溫表---J			
	電壓表---D			

附錄(H) 群集配置實際受測資料表以字卡到字卡三為例

群集對應鍵				
油量表對應鍵---R		高度表對應鍵----U		油溫表對應鍵----T
空速表對應鍵--J		姿態儀對應鍵----I		電壓表對應鍵----F
轉速表對應鍵---G				
		第一組對應鍵		第二組對應鍵
時間區隔(秒)	應按鍵	實際按鍵	實際按下時間	反應時間(毫秒)
00:09:28	油量表--R	R	00.14.837	5557
	空速表--J	J	00.17.434	2597
	轉速表--G	G	00.21.064	3630
	高度表--U	U	00.24.935	3871
	姿態儀--I	I	00.26.181	1246
00:34:19				
00:43:20	空速表--J	J	00.58.156	14956
	高度表--U	U	01.02.080	3924
	姿態儀--I	I	01.06.759	4679
	轉速表--G	G		
	油量表--R	R		
01:08:16	油溫表--T	T	01.11.162	3002
01:18:01	高度表--U	U	01.20.105	2095
	轉速表--G	G	01.24.629	4524
	姿態儀--I	I	01.26.654	2025
	空速表--J	U	01.29.023	
	油量表--R	R	01.32.163	3140
01:43:05	油溫表--T	T	01.45.926	2876
	電壓表--F	F	01.47.389	1463
01:52:17	姿態儀--I	I	01.56.158	3988
	油量表--R	R	01.59.482	3324
	高度表--U	U	02.03.014	3532
	轉速表--G	G	02.05.511	2497
	空速表--J	J	02.07.761	2250
02:17:19	電壓表--F	F	02.20.500	3310
02:27:23	油量表--R	R	02.30.411	3181