

人因工程軍規發展現況

¹趙金榮 ²馮文陽 ²曾楓億

¹私立中原大學工業與系統工程學系

²國防部軍備局中山科學研究院系統發展中心

摘 要

人因工程係尋找使人/機介面之工作能順利圓滿進行的法則。而人因工程軍規是發展系統裝備設計之重要參考資料，本文針對武器系統常用的軍規或標準等資訊加以介紹與比較，瞭解歐美國家重要人因工程的研究機構運作方式及研究方向，並提出國內武器系統研發單位應積極從事的人因工程重要工作。期望未來國人自製或研改的武器系統能更易操控，要能達到此目的需要多方專業的配合與努力，而人因工程的理論與技術可扮演溝通聯結的角色。本文對國軍在發展人因工程設計時提出以下建議：國軍人因設計的標準化；發展人因評估工具與方法；建置國內自己的標準人員作業績效/系統資料庫；人因工程師應及早加入武器系統發展；及應用虛擬評估技術。期望國軍在人因工程技術與專業上能與先進國家同步發展，使研製之武器系統能更符合三軍需求。

關鍵詞：人因工程，人機介面，測試和評估

The Current Development of Human Factors in Military Standard

¹C.J. Chao ²W.Y. Feng ²F.Y. Tseng

¹ Department of Industrial and Systems Engineering , Chung Yuan Christian University
Taiwan, R.O.C.

² System Development Center, Chung Shan Institute of Science and Technology
Taiwan, R.O.C.

Abstract

The purpose of ergonomics military standard is to establish general human engineering criteria for design and development of military systems. And this military standard is also one of the necessary information to design equipment and facilities of weapon systems. This report focuses on the introduction of current ergonomic specifications and the operations of some important ergonomics research institutes in the world. This report also gives some suggestions about how to promote our abilities in ergonomics development, such as human factors standardization, test and evaluation of ergonomics, performance database for personnel, and virtual reality applications etc. With the hope that our technology in ergonomics design for weapon system will develop with other advanced countries in synchrony, this will enhance the effectiveness and efficiency with which the work and other military activities are carried out.

Keywords : Human factors, Man-Machine System, Test and Evaluation

Relevance to National Defense: This report provides human factors standards on military system development. It also provides guidance and assistance to human engineers in application of MIL-STD-1472 to the weapon system/equipment design process. It is desired to achieve effectiveness, efficiency, comfort, and safety of the system operation, training, and maintenance. It points out similarities and differences between those standards or guidelines and indicates how to apply to all military systems, including equipment, software, personnel, and facilities in the future.

壹、前言

人因工程係尋找使人/機介面之工作能順利圓滿進行的法則(Sanders and McCormick, 1992)。故設計者在設計、製作及使用各式工具、機械、系統、及工作環境時，必須考慮人類的行為、能力、及限制等特性，使人機介面設計能達到最佳配合，以提高生產力(減少設備停機、人員訓練與學習的困難、增加使用者接受性與操作性)、安全性(減少人員失誤、意外事故、及增加系統安全)、及舒適性(減少操作疲勞與過度負荷)。簡單的說人因工程就是要提高操作者舒適度、福祉、安全與效率的目標，並能確保環境及系統/裝備對操作、維修、控制或支援人員的感官、認知及物理特性間能夠達到相容的狀況。國防部令頒之“國軍主要武器系統獲得管理綱要”中述及“…將…人性因子…整合至總體工程措施之中，以滿足系統…目標”。而國防武器系統研發是一件高度整合的工作，故首先應讓各武器系統研發單位與相關領域人員能充份了解人因工程如何應用在武器系統設計及可資參考的訊息。

本文針對國際間人因工程軍規、規範與準則等發展狀況進行探討，並蒐集世界各先進國家人因工程研究與發展之成果案例，以作為國軍發展人因工程設計規劃時之參考。期待各單位在研製或改良各武器系統時，能將人因工程的理念納入考慮，如此三軍或客戶在使用各式武器系統或裝備時，方能得心應手。美國國防部體認人因工程組織是推動武器研發工作重要一環，因此在 1976 年 11 月成立國防部人因工程技術顧問群，第一次會議於 1977 年 8 月 9-10 日在賓州舉行，每半年(春秋季)定期開會檢討一次美軍武器系統中有關人因工程方面的問題與未來發展方向，參加的單位有：陸軍、海軍、民航局、空軍、太

空總署、海岸巡防隊、人因工程學會、美國聯邦航空管理局(FAA)、陸戰隊等單位，會議主席輪流由陸海空軍擔任。其主要目標包括：

- 一、提供人因工程應用發展技術資訊之交換機制。
- 二、加強政府部門間有關人因工程技術研究發展與應用之合作。
- 三、指出人因工程技術問題。
- 四、鼓勵及贊助人因工程深入技術介面之專題研究。

古云：善將者，因天之時，就地之勢，依人之利，則所向者無敵，所擊者萬全矣。人因工程在武器系統應用的範圍，可由應用項目與應用時間點來分析。在應用項目方面，可概分為軟、硬體設備，及程序、環境與工作條件；軟硬體、環境與操作人員之間的互動，構成了廣義的人機介面。在應用的時間點方面，概念設計階段與定義階段人因工程的導入，是系統最後能否具有良好的操作績效、與維護難易之重要關鍵。在武器系統研發的過程中，如何在初期利用各種人因工程知識、技術與標準，分析系統的工作需求、設備功能與環境限制，對於武器系統之外觀、介面、操作流程、空間配置、環境條件等做出適當建議，並擇其重要與關鍵之項目進行客觀之實驗、模擬分析、測試評估等，以作為工程取捨/決策之參考，自然成為人因工程在武器系統全壽期的研究中，最為有效的部分。

貳、人因工程研究單位

先進國家的軍方或政府等重要研發機構早已設立人因工程專責單位，負責處理人因相關之研發與測評，茲舉例如下：

- 一、美國國家航空暨太空總署(NASA)人因工程研究與技術部門
人因工程研究與技術部門係發展以人

為中心的設計，透過分析、實驗和人員績效模式以及人員與自動化交互影響研究，使人員在操作複雜的系統時，能增進安全、效率與任務的成功。其策略目標是促進對人員資訊處理過程、下決策以及人機系統共同作業的基本認識。藉由設計以人為中心的自動介面、決策支援工具、訓練以及團隊與組織的實踐，以增進飛行安全與績效。NASA 人因工程研究與技術部門細分為三個子部門：各部門內設研究組及實驗室，分述如下：

(一) 人員資訊處理研究部

1. 駕駛艙顯示器研究組：主要在增加飛航安全、改善飛機的操作及提昇大眾運輸工具之效益。
2. 知覺與行為適應性研究組：主要針對人員的知覺、學習、運動行為、以及對萬有引力、非常態環境條件下所受的影響進行深入研究。
3. 心理物理學實驗室：大部分的研究著重於地心引力對人員生理與績效之影響。研究目標在使人員於太空中時，其健康狀態、生產率及安全性為最佳化。
4. 虛擬音響環境
5. 先進顯示與空間認知實驗室
6. 視覺科技組：這個團隊由科學家及工程師組成，主要為 NASA 的任務中，針對人員視覺與視覺科技進行研究。

(二) 人員與自動化整合研究部

1. 陸空整合
2. 飛行訓練研究
3. 認知實驗室：人員績效與認知模式
4. 認知可用性工程與分析研究
5. 顏色設計使用研究實驗室
6. 人機介面
7. 飛航管制員-駕駛間資料鏈結溝通
8. 以人員為中心系統之實驗室

9. 智慧型太空船介面系統

(三) 系統安全研究部

1. 飛行績效量測系統
2. 飛行安全報告系統
3. 飛行操作與訓練的認知績效
4. 人員疲勞對策組
5. 績效資料分析與報告系統
6. 資料開採組

二、荷蘭應用科學研究院(TNO)的人因工程部門

TNO 的人因工程研發著眼於在科技環境下，人員行為與績效表現，如何透過創新的研究加以改善績效、安全與舒適性。本組織主要替荷蘭軍方、私人企業及政府機關工作。TNO 的人因工程焦點聚集在幾個特殊的市場需求，包含：國防、交通與運輸、公共安全及資訊與通訊技術。

就國防工業的角度來看，TNO 認為在防禦上，人因工程對於未來戰場中所扮演的角色越來越顯重要，因此一致認為人因工程在技術性之研究與發展上，需扮演重要的核心角色。故 TNO 人因工程團隊集中三個特定的議題在防禦這個主題上，其相關的技術領域如下：

(一) 知覺

(二) 資訊處理

(三) 行為技能

(四) 績效及舒適性

(五) 團隊解決方案

(六) 訓練與指引

他們在人員監視及先進任務管理作業的發展上認為，下一代船艦的操作人員在執行任務時，預期會有顯著的改變。船艦在未來的設計上，作業空間將會顯的更趨緊密，船上需要的人員將會更少，人員所需負責的任務將會更多，屆時電腦參與任務的份量必定增加。這些任務管理系統將不只是簡單的執行轉換或換算的任務，它會產生一個新的相互信賴系統，可以引導

監視器及直接控制技術人員的行為。這些系統未來將如何有效的執行操作人員的功能是目前要考量的問題。

三、國內人因工程研究單位

國內與人因軍規發展有關的單位在中科院，負責各計畫武器系統測試評估的工作，算是國內直接利用人因工程理論與技術在軍事用途上最多的機構。該單位也與國內多所大學合作發展出相關研究計畫，如機動雷達車內部配置、人因工程應用於武器系統之研發、以 3D 虛擬技術為基礎之武器系統人因設計評估、以案例推理為基礎的維護診斷訓練模擬器雛型之開發等，深具參考價值。

參、人因工程軍規與相關規範之比較

本章節以探討美軍在人因工程軍規的發展現況為主，除了它發展的比較早外，其內容在國軍武器裝備在研製過程中也較為熟悉。表一歸納整理美軍或政府機構常使用的一些規範內容重點，其中使用及參考最多的還是 MIL-STD-1472F 人因工程設計標準。MIL-STD-1472 在全球之人因工程文件上最為卓越，常被政府機構(如 FAA 人因設計指引 (Federal Aviation Administration (1999).)、軍方、及廠商作為重要設計及需求標準之參考資料。MIL-STD-1472 在 1989 年公佈，1996 年版本再把人體計測資訊移至 MIL-HDBK-759。英國國防標準 MOD-00-25-系統設計之人因標準自 1987 年起陸續制訂。其他如 ASTM F1166 是為船舶系統、設備及裝置設計的人因工程標準，以補充 MIL-STD-1472 所欠缺的範圍，最新版本在 2007 年 5 月公佈，可在 www.ASTM.org 中找到相關資訊。美國職業安全衛生署也制定與安全衛生有關的人因規定 (OSHA, 1993)。

NASA-STD-3000 的適用範圍比軍規寬廣。美國國家標準協會(ANSI)與人因工程學會(HFS)利用人因原則與慣例來設計視覺顯示、相關傢俱與所處的辦公室環境等而完成 ANSI/HFS 100，ANSI/HFS 200 則是有關軟體規程的範疇。

肆、人因工程軍規中重要工作

人因工程軍規在武器系統研發的過程中，有幾項重要工作需及早準備，莫待構型已定再來驗證，通常改善的空間不會太大。

一、人機介面設計

因為人機之間的來往溝通非常強調以使用者的需求為主，也就是強調使用者導向與使用者中心。以人-電腦互動而言，其範圍涵蓋很廣，如資料的輸入裝置、資訊處理的方式、資訊輸出的展示裝置與呈現內容、文件手冊等輔助材料、人機互動的方式、系統反應的時間、色彩、文字、圖像符號和影像的顯示及語音等。唯有透過好的介面產生人機的溝通，使用者才能真正有效地與電腦系統產生互動，進而使用電腦系統來完成工作。

研製國防武器系統所提供的電腦系統屬生命攸關的資訊系統，使用者在掌控使用這些電腦系統時，對安全性與正確性的要求非常高，不能稍有差錯，但是這一類專業性的高科技資訊系統都非常複雜，操控的程序也很嚴謹，而使用者往往在很大的壓力負擔及緊急情況下操控這類的電腦系統。因此，一個良好且具有高度可信賴度的「人機介面」是完成這些艱鉅任務的重要關鍵。

本原則可參照 MIL-STD-1472F 及人機介面相關文獻書籍中有關軟體介面設計原則及需求來制定(ISO 9241)，以提升系統整體績效。有關硬體之人因工程設計原則可參考 MIL-HDBK-759C 相關內容。

二、人因工程設計查核

依武器系統的不同，可將軍規中相關的準則與資訊以查核表的方式呈現，因為查核表可讓使用者或管理者能快速有效的瞭解與掌握裝備或設施的設計方向，在稽核或驗證時，較不會遺漏應檢項目。為武器系統製作的查核表，可包括：(1)顯／控裝置的安排；(2)系統的編碼；(3)遙桿控制器；(4)鍵盤；(5)滑鼠控制器；(6)觸碰螢幕；(7)防止誤觸設計；(8)語音輸入裝置；(9)視覺顯示器；(10)聽覺顯示器；(11)符號、標籤及圖示；(12)訊息及資料的顯示；(13)選項清單系統；(14)表單及頁面顯示；(15)顏色編碼的運用；(16)閃爍編碼的運用；(17)輸入作業；(18)人體計測值的運用；(19)其它裝備、零件的配置及組合；(20)作業環境等。

三、人因工程測試和評估

武器系統發展過程中，人因工程在系統壽限階段作為可分為規畫、設計、審查、分析、測試、評估等(如表二)。測試就是測量，人因工程測試的主要目標就是客觀地測量人員績效。而要量化人員績效，則需要建立各項人員績效指標。評估則是在客觀的測量之外，加入對於系統的觀察，調查使用者對於系統的主觀喜好，發現系統使用上的困難，以及人機互動對於系統與人員間的相互影響。舉例來說，操作員被要求進行測試，雖然績效表現良好，但實際工作的時候可能不喜歡所做的工作、或不習慣所操作的機具，便會傾向拖延或不工作。「評估」同時也隱含需要決定標準或系統目標是否達成，因此，若無法決定人員操作績效與系統目標之間的作用關係時，評估也就沒有意義。故需要充分瞭解「人員績效」這種中間產物如何影響「系統績效」的產出。

人因工程測試與評估在系統人因工程工作中主要作業項目包括：確認設計中之

人因工程考量是否滿足、驗證規格中之人因工程要求是否達成，使系統符合失誤最小化、效率最大化與使用者滿意的目標。但仍應以下列基礎工作著手：人因工程需求訂定；人機介面設計；人因工程追蹤改善等。

四、善用人因工程應用軟體

人因工程的相關軟體發展，近年來已越趨成熟，如何針對自己的特殊需求，善用適當的軟體，可解決人力與時程的壓力。茲將國外發展使用的一些軟體及其可分析的工作內容，列舉如表三，以供參考。

伍、結論

本報告對國軍在發展人因工程設計時提出以下建議：

- 一、參考國外軍規或標準時，需瞭解特定的描述可能指向不同的意義，因此對國軍人因設計的標準化是必須要做的工作。
- 二、發展人因評估工具與方法，將能使系統設計產生更符合成本效益的設計解答。
- 三、建置一個屬於國內自己的標準人員作業績效/系統資料庫，可增加武器系統之比較分析與模式建立。
- 四、強調人因工程工程師應及早加入武器系統發展階段。
- 五、需要發展一套程序去測試使用人員與系統皆符合當初系統獲得規格與績效要求。
- 六、發展新的方法以測試評估系統中人與電腦之介面問題，主要目標是產生客觀量測介面的有效性。
- 七、發展武器系統之初，可會同設計、系工、品保、整後、人因工程等相關單位，對於構型管理與變更討論一有效作法，使得設計模型能夠在適當的階段交給適當的單位同步進行評估或整

備工作。

八、應用虛擬評估技術可節省生產成本並確保有效設計，其應用於產品展示方面可提升產品形像與吸引力，其應用於整後方面可提供維修訓練、電子技令等附加功能。

武器系統的研發是一條漫長而艱辛的道路，好的系統設計需要多方的配合與努力，人因工程的理論與技術正可扮演這樣一個角色。希望能儘快與先進國家之人因工程技術同步發展，使研製之武器系統能更符合三軍需求。

參考文獻

- ISO 9241-11, 1998. Ergonomic requirements for office with visual displays terminals (VDTs). ISO.
- Department of Defense, 1999. Human Engineering Design Criteria Standard, MIL-STD-1472F. Washington, DC: Dept of Defense, USA.
- Department of Defense, 1995. Handbook for Human Engineering Design Guidelines, MIL-HDBK-759C, Washington, DC: Dept of Defense, USA.
- Federal Aviation Administration, 1996. Human Factors Design Guide, FAA Technical Center, N.J., USA.
- Def Stan 00-25, 1987-1997. Human Factors for Designers of Systems, MOD, UK.
- Sanders, M.S., and McCormick, E. J., 1992. Human Factors in Engineering and Design, McGraw Hill Inc, New York.
- Federal Aviation Administration, 1999. Human Factors Job Aid. Washington, DC: U. S. Department of Transportation.
- OSHA 3123, 1993. Ergonomics Program Management Guidelines for Meatpacking Plants. U. S. Department of Labor, OSHA, Cincinnati, Ohio.

表一、人因工程相關標準內容比較

MIL-STD-1472F 國防部人因工程 設計標準 (1999, 8)	MIL-HDBK-759C 人因工程設計 指引手冊 (1995, 7)	MOD-00-25 英國人因工程標準 (1987~1997)	FAA 人因工程設計指引 (1996, 1)
■ 視覺顯示器 ■ 聽覺顯示器 ■ 控制器 ■ 標示 ■ 人體計測 ■ 作業場所設計 ■ 作業環境 ■ 維修設計 ■ 遙控處理設備之設計 ■ 小型系統及裝備 ■ 地面/船艦載具之操作與維修 ■ 危害與安全 ■ 人-電腦交互作用	■ 應用文件 ◆ 政府文件(規格、標準、手冊) ◆ 非政府出版品 ■ 優先使用順序 ■ 一般指引 ■ 細部指引 ● 控制-顯示整合 ● 視覺顯示器 ● 聽覺顯示器 ● 控制器 ● 標示 ● 人體計測 ● 作業場所設計 ● 作業環境 ● 維修設計 ● 遙控處理設備之設計 ● 小型系統及裝備 ● 地面/船艦載具之操作與維修 ● 危害與安全 ● 航空載具隔間設計 ● 人-電腦交互作用 ● 終端機設計 ● 武器系統	■ 人體尺寸 ■ 肌力 ■ 作業場所設計 ■ 壓力與危害 ■ 視覺與照明 ■ 視覺顯示器 ■ 聽覺資訊 ■ 聲音溝通 ■ 控制器 ■ 維修設計 ■ 系統 ■ 人與電腦互動	■ 一般設計需求 ■ 自動化 ■ 設計易維修之裝備 ■ 顯示器與印表機 ■ 控制器與視覺指示 ■ 警報器,聽覺與聲音 ■ 人-電腦交互作用 ■ 輸入裝置 ■ 作業場所設計 ■ 系統安全性 ■ 人員安全 ■ 環境 ■ 人體計測與生物力學 ■ 使用者文件

表二、人因工程在壽期各階段之作為

概念設計 階段	定義 階段	發展製造 階段	先導生產 階段	生產部署 階段	作戰支援 階段
1. 確定系統生命週期及環境輪廓 2. 確定系統人因工程目標與需求定義 3. 系統效益分析與人因工程擇優研究 4. 擬訂系統人因工程工作計畫 5. 參與設計審查	1. 擬訂及應用人因工程設計準則 2. 執行人因工程設計與分析 3. 現品採購人因工程管制 4. 參與設計審查	1. 規劃及執行人因工程發展試驗（含設計驗證試驗） 2. 文件及設計變更審查 3. 現品採購人因工程管制 4. 人因工程技术文件及工程變更管制 5. 人因工程現況評估與報告 6. 參與設計審查 7. 參與原型試造檢討會	1. 規劃與執行人因工程鑑定試驗 2. 參與系統性能驗證試驗規劃工作 3. 人因工程現況評估與報告 4. 人因工程文件及設計變更審查 5. 參與設計審查 6. 參與定型製造檢討會 7. 訂定生產人因工程工作計畫	1. 人因工程文件及設計變更審查 2. 規劃與執行人因工程現況評估與報告 3. 參與批量生產檢討會 4. 建立部署階段人因工程資料回饋體系	1. 蒐集部署階段人因工程資料回饋體系 2. 人因工程修改建議作業

表三、人因工程相關發展應用軟體

工作分析內容	軟體名稱	使用單位
1. 操作人員特性對操作績效影響、預測環境對操作績效之影響評估組員工作負荷	IMPRINT	美國陸軍
1. 工作站配置最佳化設計 2. 多人操作工作站之人-機-人間溝通效率評估	LOCATE SAMMIE, TEMPUS	加拿大國防部 NASA
1. 3D 視覺化設計	Micro Station	加拿大國防部
1. 3D 人體計測模型或數位人員模型 2. 機動車內裝設計、工作空間設計、產品設計 3. 坐姿操作者之人-電腦介面設計 4. 維修者之人-電腦模式設計	Safe Work, Anthropometric data analysis sets COMBIMAN, Boeman, JACK, Crew Chief, Tech Math	加拿大國防部 美國空軍 NASA Boeing
1. 發展圖形化人員介面需求	Chameleon	加拿大國防部
1. 系統操作負荷評估 2. 預測人員操作績效	SOLE	加拿大國防部
1. 找出操作缺失、使用者回饋、操作效率之調查方法	ACCESS	加拿大國防部
1. 組員工作站模型設計	HEART	加拿大國防部
1. 座艙佈置設計	BOEMAN	波音公司
1. 人員績效評估：人因工程、安全、危害評估、人員訓練、存活性	MANPRINT	美國陸軍
1. 評估人員工作負荷	TLX, SWAT, WC FIELDE	NASA
1. 人員行為與空間設計分析	JACK	美國三軍
1. 人員姿勢分析	PVAT	NASA
1. 人員動作分析、姿勢分析、時間及動作研究、行為觀察	MVTA, ACT, MacSHAPA	美國空軍