

出國報告（出國類別：受訓）

美國國家試飛員學校作戰測試評估班

服務機關：國防部空軍司令部

姓名職稱：少校作參官陳國棟/少校試飛官王漢傑

派赴國家：美國

出國期間：106年10月2日至10月21日止

報告日期：106年11月8日

摘要

「作戰測試評估班」為美國國家試飛員學校開辦之課程，授課地點位於美國加利福尼亞州(California)莫哈韋機場(Mojave Air & Space Port)，訓期自 10 月 1 日至 22 日，本班次計司令部計畫處陳國棟少校及航發中心王漢傑少校等 2 員參訓。

訓練區分學科及術科二部分，學科計作戰測試評估概論等 10 項，術科區分地面及空中飛行測試項目，計作戰測試 COI、MOE/MOS、MOA 制定及座艙評估等 5 項，學習心得及建議摘重如后：

- (一)藉地面實作及空中飛行測試，執行測試計畫、蒐集數據及數據分析等過程，建立學員測試評估專業知識及作業能力。
- (二)使訓員充分了解作戰測試評估對於武器、裝備或系統獲得的重要性。
- (三)於起始概念設計階段，即將測試評估作業納入考量，以使用者(部隊)需求執行各項作戰測試評估，使運用及部署更具效益。
- (四)建議行前由航發中心測戰隊各專業人員執行授課，使訓員有基本的武器獲得流程及 OT&E 概念，在美受訓時方能更加了解授課內容。
- (五)參訓人員應具有基本英文溝通、書寫及口說能力，以減輕分組討論、報告撰擬及提報時之壓力，亦可有效提升學習成效。

目次

一、目的	4
二、班級及講師介紹	5
(一)班級介紹	5
(二)講師介紹	6
三、課程內容	7
(一)作戰測試評估班簡介(Operational Test & Evaluation Instruction)	7
(二)武器獲得簡介(Acquisition Overview)	8
(三)測試評估流程概論(Test & Evaluation Process)	11
(四)作戰測試評估概論(OT&E Overview)	16
(五)作戰測試需求及測試條件概述(OT&E Require & Criteria)	18
(六)作戰測試評估文件簡介(OT&E Documentation)	21
(七)座艙評估概論(Crew Station Evaluation)	23
(八)測評風險評估及安全管理(OT&E Risk & Safety Management)	25
(九)封閉式迴路操作品質概念(Closed Loop Handling Qualities)	28
(十)可靠度、維護度、後勤及可用度概念(RML&A)	31
(十一)實作練習	33
四、心得及建議事項	39
五、授課照片	40
(一)授課環境	40
(二)飛行測試	43

本文

一、目的：

藉系統化測試流程，確保武器裝備滿足使用者需求，包含系統整合性、相互關聯性、可靠度、維護度、整體後勤、軟/硬體測試及訓練等相關測試，與使用過程中所發現的問題，執行後續作戰測試及相關裝備性能提升測試，美國各軍種均有相關單位(陸軍：OPTEC-Operational Test & Evaluation Command/海軍：OPTEVFOR-Operational Test & Evaluation Force/空軍：AFOTEC-Air Force Operation Test & Evaluation Center)執行是項任務，藉此課程使訓員了解現今測試評估之執行方式及本軍航空科技研究發展中心與測評戰研隊之測評能力，有效提升本軍測試評估能量。

二、班級及講師介紹：

(一)班級介紹

作戰測試評估班(OT&E-Operational test & Evaluation Course)是由美國國家試飛員學校(National Test Pilot School)主辦，除短期班隊亦有其他測評課程，開放國際間各航空專業報名(含飛行員、工程師、專案管理人員)，本次參與人員計 5 國 11 員，統計如后：

國別	政府機關	航空業界	軍方(國民兵)	備考
中華民國			2	
美國			2	
比利時			3	
德國		1	2	
澳洲			1	
合計：5 國 11 員(含軍方 10 員)				

(二) 講師介紹

1、主課教官：

Scott Marshall，飛行時數 5300 餘小時(波音 707、C-135 等 12 種不同機型)，曾任職於 AFOTEC(空軍作戰測試評估中心)及測試評估支援單位(系統及材料指揮部)，參與過 F-22 型機後續作戰及遠距通訊儀器等測試評估項目。

2、授課講師及飛行教官：

Ed Soliski(加拿大)，飛行時數 7700 餘小時(超過 50 種不同機型)，曾為加拿大交換測試飛行員，任職於 NATC(海軍航空測試評估中心)，參與過 F-18、F-4 及本軍 RF-5E 型機測試飛行員(於新加坡航太科技單位)。

3、授課講師及飛行教官：

James E. Brown，飛行時數 8900 餘小時(超過 123 種不同機型)，參與過 A-7D 電戰裝備、F-15A/B/C/D 軟體、雷達及武器整合、F-15E 初期研發(航電、武器及推進系統)、F-117A 型機後續作戰測評及 F-22 型機初期及後續作戰測評等項目。

4、授課講師及飛行教官：

Mark Swaney，畢業於美國海軍試飛員學校，飛行時數 3000 餘小時，曾任 F-14、F-18、A-6、F-4 型機飛行教官(2000 餘小時)，擔任過 F-14 型機專案參謀、F-14D/APG-71 雷達研發官等項目。

5、飛行教官：

Rigel Hebbmann(法國)，飛行時數 5000 餘小時(超過 70 種不同機型)，擔任過 M-2000 型機及運輸機測試飛行員。

6、飛行教官：

Nigel Speedy(澳洲)，飛行時數 5000 餘小時(超過 60 種不同機型)，擔任過 6 年 S-70-A9 及 RV-8 旋翼機測試飛行員。

7、飛行教官：

Stefan Hanekom(德國)，飛行時數 3000 餘小時(超過 40 種不同機型)，曾任職於南非航發中心(6 年)，擔任過 Oryx、Rooivalk AH 及 BK-117 型機測試飛行員。

8、授課講師：

Marco Lotterio(印度)，測試評估工程師，專精於飛行模擬器及操作品質評估。

三、課程內容：

(一) 作戰測試評估班簡介：

美國國家試飛員學校位於美國加州莫哈韋市的民間試飛學校，1970 年為飛行研究機構，1981 年註冊為教學機構，並成立國家試飛學校，訓練超過 6000 名學員，教職員本職學識豐富，擁有工程及飛行測試工作背景，成員均畢業於該校。

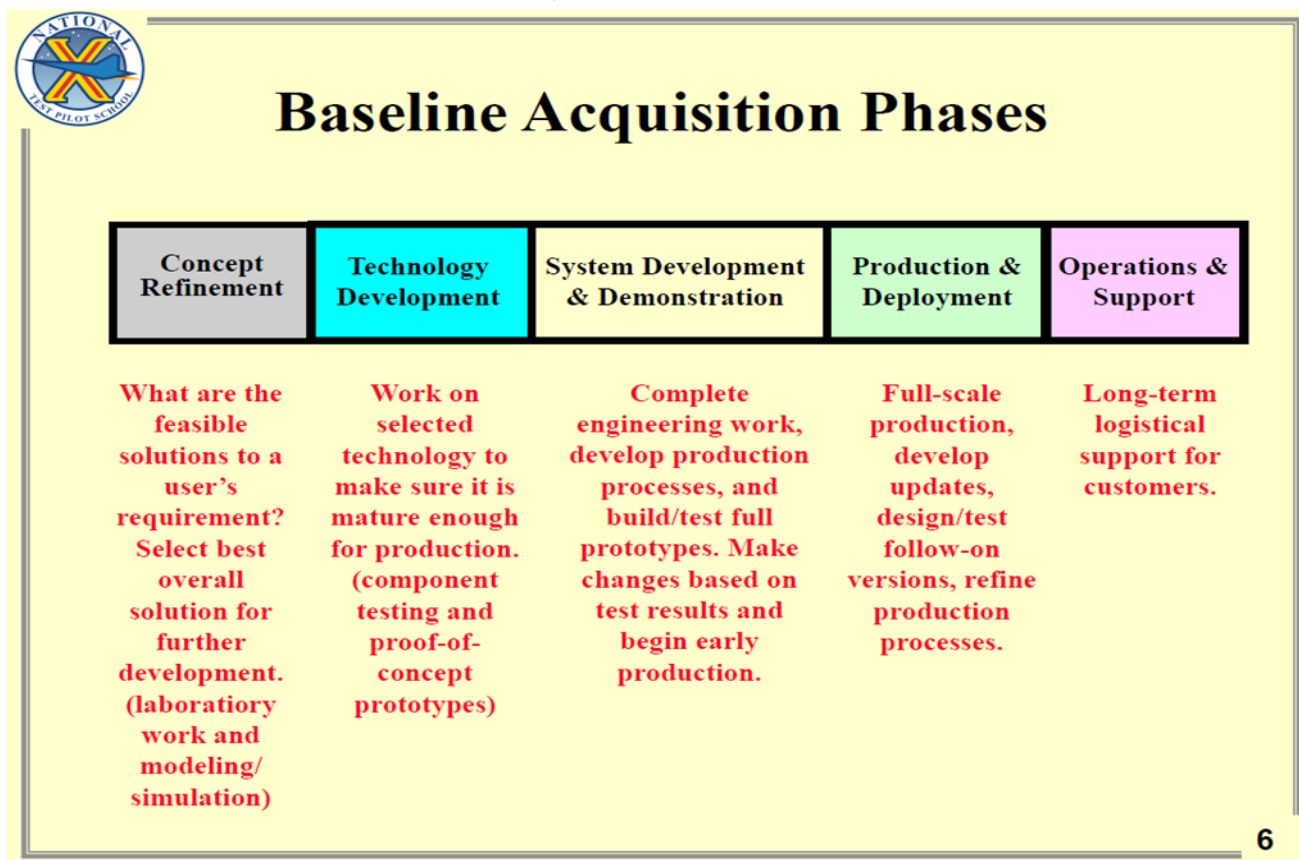
課程由 OT&E 語言、過程及使用工具等三大要素組成，希學員藉課程了解如何蒐集資料、數據及分析使用者需求。測試包含軟、硬體、後勤、彈道、適應性、飛行、原型、系統及人為測試等種類。期使學員了解測試評估，並藉由學科授課及實作方式達成以下目的：

- 1、了解 OT&E 方式及理念。
- 2、依使用者需求發展 OT&E 計畫。
- 3、了解執行 OT&E 測試、分析及成效報告之方式。
- 4、OT&E 安全計畫過程。
- 5、OT&E 過程(計畫-執行-分析-報告)。
- 6、初步了解如何將 OT&E 運用於武器獲得流程。
- 7、DT&E 與 OT&E 之間的差異。
- 8、整體後勤測試概念。
- 9、封閉式迴路系統操作評估概念。
- 10、學習心得過程。

故本次 OT&E 課程的學科部分，包含作戰測試評估班簡介、武器獲得簡介、測試評估流程概論、作戰測試評估概論等 10 項。術科實作練習包含關鍵作戰議題、效益性衡量/適應性衡量、及評估衡量制定練習(2 次)、座艙評估練習、工作負荷評估、機上導航系統評估及機上防撞系統、備用導航及飛行平板等測試評估(各組分配項目不同)等 3 項，希望學員運用學科所學，藉地面實作練習及空中飛行測試等方式，學習如何執行測試計畫、蒐集數據及數據分析的過程。

(二) 武器獲得簡介(Acquisition Overview)：

目的讓學員了解典型武器獲得流程(週期)、發展過程、武器獲得使用語言(專業術語)及何時應將 T&E 納入武器獲得流程。獲得階段如下圖：



1、概念設計階段(Concept Refinement)：

了解及達成使用者需求之可行方式為何，並為部署及運用找出最佳解決方案(實驗室工作及模式模擬)。

2、展示確認階段(Technology Development)：

持續研究及精進所擇技術，確保生產部署時已達成熟(零組件測試、概念驗證原型)。

3、工程發展階段(System Development & Demonstration)：

完成系統工程作業、發展生產過程及原型機(裝備)測試，依測試結果改正後，實施小批量產。

4、生產與部署階段(Production & Deployment)：

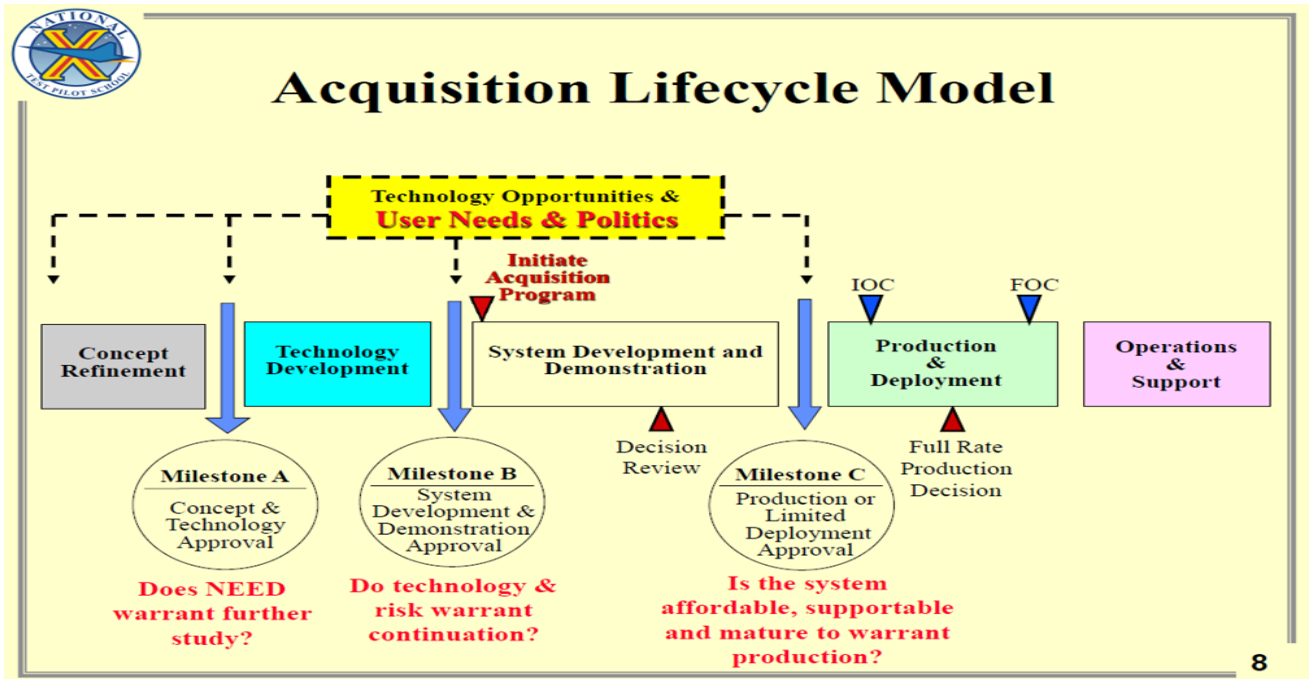
執行全面生產部署，並發展升級版本、設計後續版本及測試工作。

5、運作與支援階段(Operation & Support)：

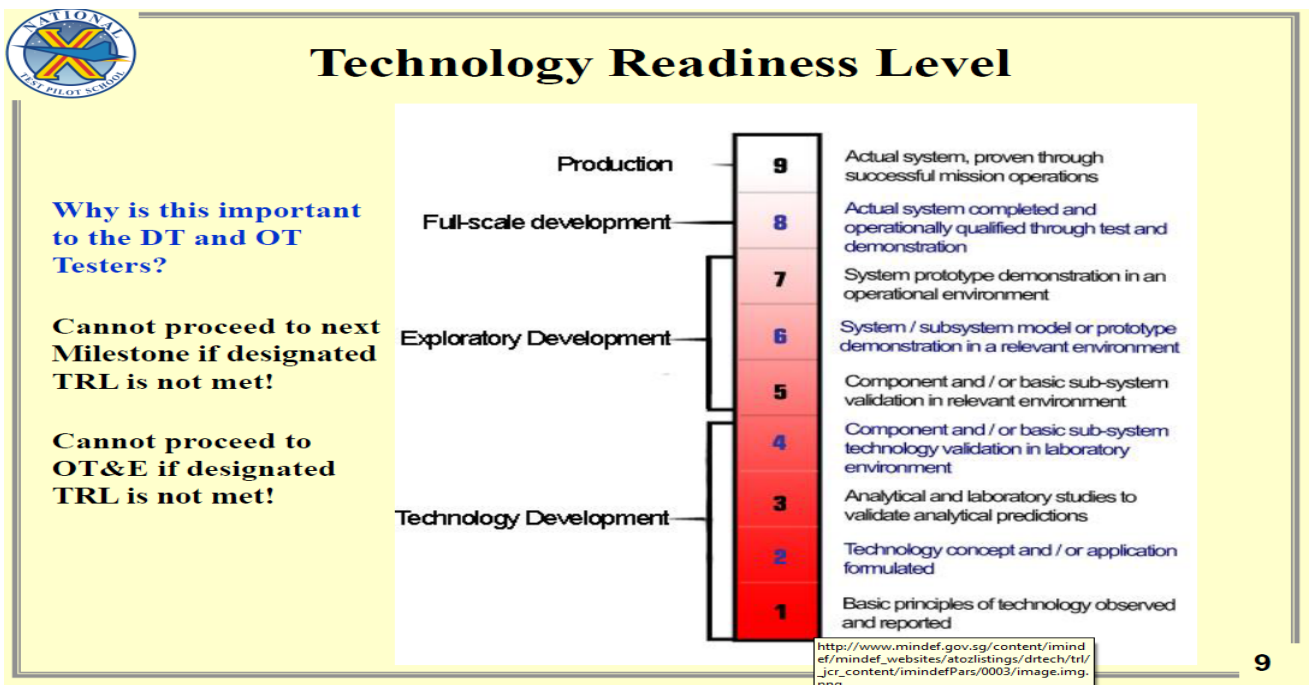
為使用者提供長期之整體後勤支援能量。

T&E 整體概念是從了解使用者需求(作戰需求)，進而進入武器獲得流程，經過 T&E、DT&E、

OT&E 及測試目的及條件，產出測試結果，評估是否符合使用者需求(如下圖所示)。



進入武獲流程後，會設定里程碑(如上圖 Milestone A、B、C)，檢視各階段工作(展示確認、工程發展等)是否符合規範，達成後始可進入下一階段，並運用「技術備便水準」來評定各階段工作是否達成規範，如下圖：

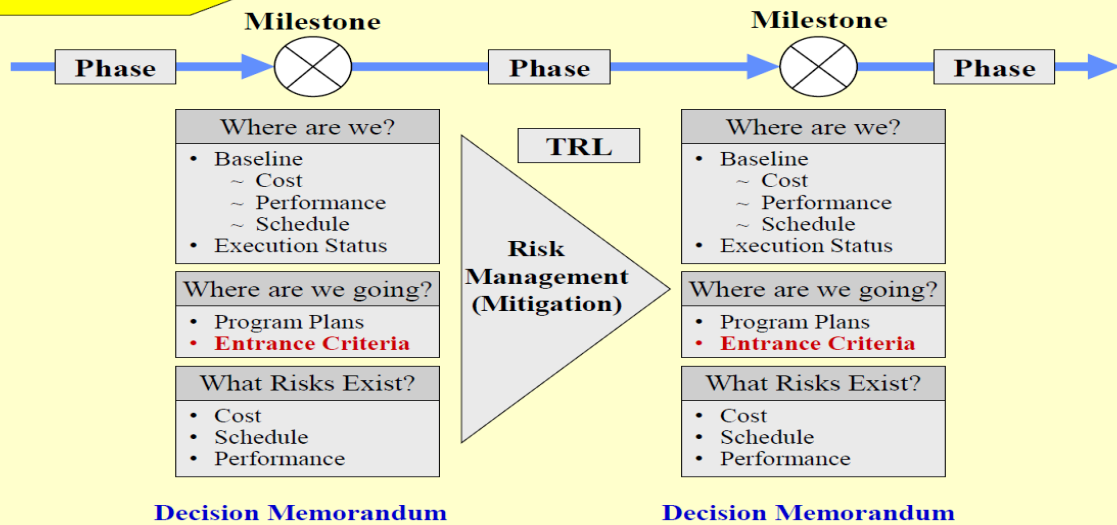


各里程碑，應檢視是否按預算及期程完成工作，檢視技術研發、系統發展是否符合使用者需求，經專案管理及使用者單位檢視核可後，始可進入下一階段，注意事項如下圖：



Acquisition Phases and Milestone Decision Points

Informed by Test!



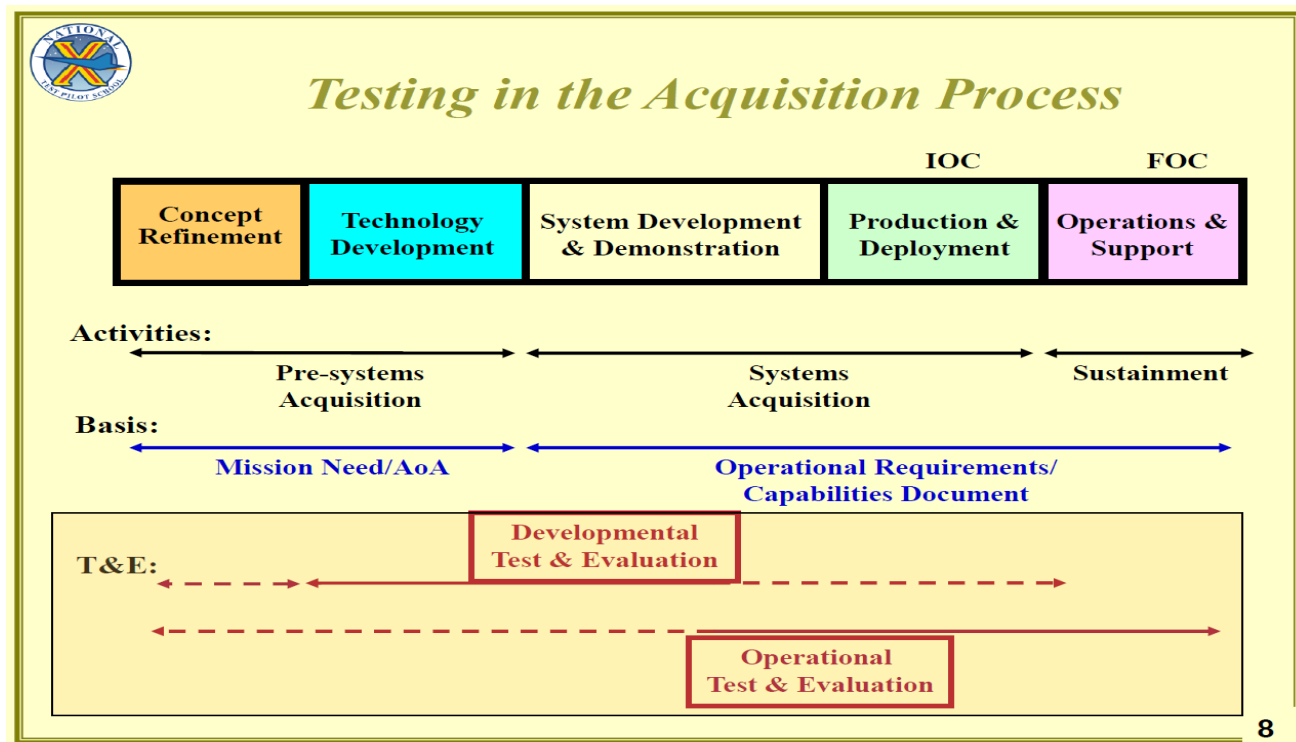
10

測評專案應在專案起始(確認使用者/作戰需求)時便開始參與，才可節省預算、降低風險及了解全般狀況。測評準據來自於使用者需求，了解為何要使用這項裝備(飛機)及任務，藉由DT&E(研發測評)來檢視科技研發是否符合技術需求，OT&E(作戰測評)來檢視裝備是否符合使用者需求，結合使用者需求、武器獲得流程、各里程碑檢視、審查及測試計畫(DT&E 及 OT&E)等過程，便是完整武獲的流程。

(三) 測試評估流程概論(Test & Evaluation Process)：

針對飛行測試、評估概論、測試評估的類別區分及測試評估過程說明，使學員了解測評類別及各類測評作業於武器獲得流程中所擔負的任務為何；另說明測評計畫的基本架構及執行測評的概念。

飛行測試是經過系統工程、風洞測試、實驗室測試及模式模擬後的最後把關，驗證該武器是否符合技術方面及使用者需求，並讓該武器允許釋出給使用者操作，而以上所述，都需要「數據資料」作支撐，下圖為武獲流程各項測試：



測試與評估之定義如下：

- 1、「測試」：依測試項目，針對零組件、系統、概念、手段等方法，蒐集數據資料及相關所需資訊-去嘗試及測試武器獲裝備。
- 2、「評估」：訂定零組件、系統、概念、手段等方法之價值及重要性的過程-從測試中學習。
- 3、「測試與評估」之定義：根據一連串測試後所衍生的數據做評估。

而針對測試評估，許多人有偏差觀念，例如：耗費太多時間與預算、測試結果毫不相關或太多錯誤、減緩發展過程、不用參與專案計畫過程等，但以下才是測評估真正意義及觀念：

- 1、造成專案停止的原因在設計及製造過程-並非飛行測試過程。
- 2、飛測所耗經費，僅占整個專案研發的 5%以下。
- 3、飛測可有效降低風險。

4、一次實際飛測勝過千萬個理論。

5、飛測是發展過程中的整體。

6、避免獲得武器裝備造成經費耗損。

以下針對 DT&E 及 OT&E 主要目的說明：

1、研發測試評估(DT&E)：根據產品設計、規格等執行測試，包含零組件、次要系統、整合系統、原型機或先導生產型機等，其主要目的如下：

- (1)為系統發展過程提供資訊。
- (2)定義系統缺失。
- (3)評定規格是否符合使用者需求。
- (4)確保系統安全及作戰測試評估前整備。
- (5)評估支援項目(如裝備、技術資料及訓練等)相容性及性能。
- (6)獲得後勤支援度、可用度及脆弱度等資料。
- (7)評估初始相容及整合性。
- (8)發展訓練需求初始資訊。
- (9)驗證初始技術命令(T.O)及電腦軟體。
- (10)做為先導生產構型基準。
- (11)透過先期生產資格試飛，確保設計完整。

2、作戰測試評估(OT&E)：根據使用者需求及能力文件執行測試，包含整合系統(網路鏈結及通訊系統等)、真實(作戰)環境、威脅系統、整體後勤支援及生產代表物品(料件或裝備等)，其主要目的如下：

- (1)決定武器或裝備是否達成作戰效益性及適應性。
- (2)評估是否符合使用者需求之關鍵議題。
- (3)完成可靠度、可用度、維護度、支援度、軟體、訓練、任務計畫、模擬器、文件及戰術等測試。
- (4)真實(作戰)環境與威脅測試。

下圖為 DT&E 及 OT&E 之間的差異：



Comparison DT&E & OT&E

• DT&E

- ~ Technical Performance
- ~ Technical Personnel
- ~ Prototype Development
- ~ Controlled Environment
- ~ Extensive Instrumentation
- ~ Extensive Contractor Involvement
- ~ *Safety of Flight & Spec Compliance*
- ~ Work with OT&E
- ~ Usually responsible to PM or Engineering authority

• OT&E

- ~ Closest to the end user
- ~ Mission performance
- ~ System suitability
- ~ *Operationally current personnel*
- ~ *Operationally realistic test environment*
- ~ *Threat representative systems*
- ~ Relies on DT&E findings
- ~ Usually no contractor involvement
- ~ Work with DT&E
- ~ Responsible to the operational authority

What about my new car?

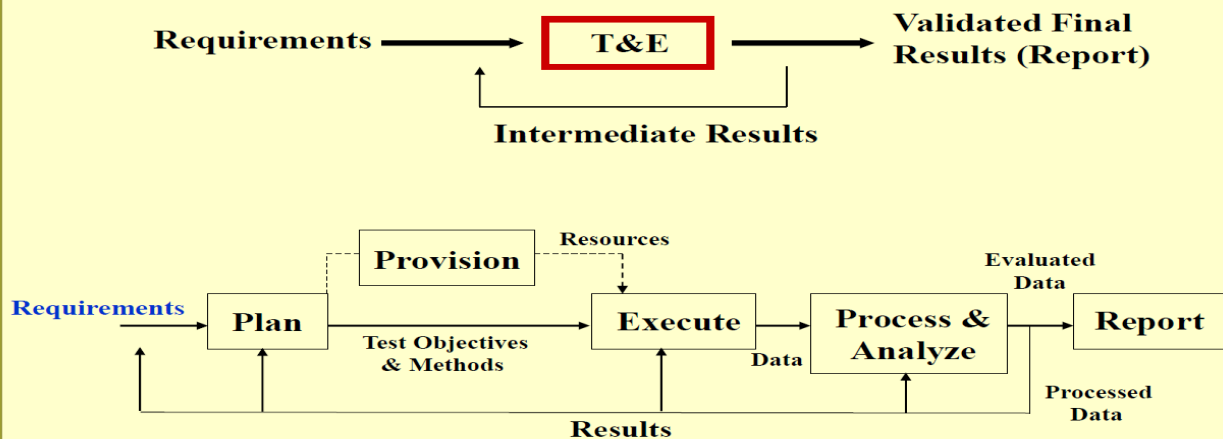
28

以使用者任務/作戰需求作為依據，盡早讓測評單位參與，可提增效益，將 DT&E 及 OT&E 結合，需節省預算時即可這樣執行(但各自之測試目標不可妥協)，一方面可及早發現問題及改正，另一方面可符合效益及節省預算。

以下為測試評估流程概述：



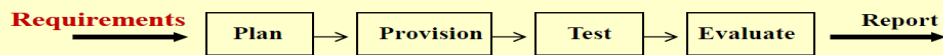
Flight T&E Process Overview



33



Requirements



**The process begins with the USER's Mission
– What requirements are needed to accomplish the Mission?**

1. Requirements are based on user Mission needs/shortfalls
2. Requirements are *translated/interpreted* into specifications
3. User requirements and engineering specifications are the basis for test objectives
 - a) Confirm specifications are met - **DT&E**
 - b) Confirm system is operationally relevant, useful, and ready for fielding - **OT&E**

Everything in T&E must be done with the **USER** in mind!

34

- 1、需求階段：由使用者提供任務需求及現存裝備或系統於執行特定任務時不足之處，並由 DT&E 與 OT&E 作測試。
- 2、計畫階段注意事項：
 - (1)註明主要測試目標。
 - (2)對於錯誤資訊避免鑽牛角尖。
 - (3)注意測試方式、職責、條件、項目、數據分析、測試限制、安全措施(風險管理)及指揮管制等。
- 3、準備(支援)階段測試計畫內提列支援如下：
 - (1)測試儀器。
 - (2)空域/靶場/靶標。
 - (3)後勤支援。
 - (4)戰場威脅。
 - (5)測試資料紀錄(機密/非機密)。
- 4、測試階段注意事項如下：
 - (1)了解並遵守測試限制。
 - (2)以安全的方式執行測試。
 - (3)進入下次測試前，完成先前測試數據分析工作。
 - (4)訂定測評 Knock-it-off 準據。
 - (5)執行風險管理分析。

(6)為不理想測試結果作打算。

(7)先行預估測試結果，於執行測試後，將數據與預測結果作比較。

5、評估階段：評估為測試結果的分析階段，藉分析測試數據轉變成所需資訊(資料)，並以使用者角度執行分析。

6、成效報告階段：依測試期程提供即時、完整、準確、可重複測試、明瞭而簡易的測試報告，其重點如下：

(1)證實其系統/裝備設計符合需求。

(2)鑑別系統/裝備文件及規格是否有缺失。

(3)減少後續任務運用之風險。

(4)確實歸檔及保存測試數據及相關資料。

(5)提供專案管理者資訊下達決策。

測評目的在武獲過程中減少風險，藉由嚴謹的方法及適當的測試流程，提供資訊給專案管理者下達決策，過程需要使用者、研發測試團隊及作戰測試團隊的通力合作及良好溝通，才可獲得理想之武器裝備。

(四) 作戰測試評估概論(OT&E Overview)：

針對作戰測試評估歷史、發展沿革、DT&E 及 OT&E 之一般目的、探討作戰適應性及效益性之差異(並舉例說明相互抵觸之案例)、COI/MOE/MOS/MOA 定義及訂定方式、OT&E 類別及擔負任務說明。

- 1、作戰測試評估歷史及沿革：西元 1951-1958 年，執行適航性、細部設計修改、性能與穩定度、全天候、功能研發等階段測試，西元 1959-1972 年，執行次系統發展及原型機初始適航性、系統發展及小批量作戰等分類測試，西元 1973-2003 年，由於越戰表現不理想，國會決議在各軍種成立測試評估單位，直接對各司令部負責，由合約商、研發測試評估及作戰使用單位協同測試。
- 2、DT&E 及 OT&E 一般目的：作戰測試評估目的在於使系統滿足使用者需求，測試過程要求縝密、切實、經濟及可信。
- 3、作戰效益性及適應性之探討：作戰測試評估過程中，效益性及適應性的訂定，必須由現實作戰場景及維持運作方面去著手，並以數據及關鍵作戰議題去呈現明確的情況，在測試報告中應包含測試裝備技令或手冊、系統裝備、周邊裝備、軟體、訓練、戰術及技術等支援、實際作戰及維修的費用評估、使用者所能獲得的支援及資訊，目的是要確認武器獲裝備是否發揮功能及達到使用者或作戰需求。以下針對效益性及適應性說明：
 - (1)作戰效益性：由測試人員於假定的作戰環境中，測試遭受攻擊及威脅反應及各項戰術戰法，驗證裝備是否能發揮其功能。
 - (2)作戰適應性：由可用度、維修度、可靠度、訓練、人員需求、支援度及人為影響等項目評估，驗證裝備是否達到戰場使用目的或支援作戰任務。以下為適應性評估參考準據：
 - (A)可靠度：系統在任務中發生失效、效能降低或是其他支援裝備需求的程度。
 - (B)作戰可靠度：系統完成特定任務或計畫作戰功能的達成度。
 - (C)維護度：人員維持、修護難易度及是否需要特定工具、技能使裝備持續運作。
 - (D)可用度：系統於任務需要時達成任務之能力。
 - (E)匹配性：作戰環境下系統內組件或設備相互運作之能力。
 - (F)相容度：各系統、裝備或武器藉由軟硬體整合使其相互運作、發揮效能之能力。
 - (G)支援度：系統在特性設計、預定之後勤人力支援、平時可用度及戰時使用需求程度之

程度。

適應性及效益性的權衡，在設計及作戰構想討論時，提高武器裝備效益性，但會降低其適應性，反之亦然，以 F-16 為例，在設計時為了在發動機失效時提供液壓及電力，緊急動力系統因簡單應用及失敗率低，使用聯氨作為燃料，卻因為聯氨具有毒性造成後續維保的困難。

4、關鍵作戰議題、效益性衡量、適應性衡量及評估衡量定義及制定方式：在作戰測試評估中，關鍵作戰議題由裝備或系統所需擔負的作戰任務，就效益性及適應性議題，決定裝備(飛機)或系統是否有達成任務之能力，通常以問答方式表明，如：C-17 是否能滿足陸軍、海軍陸戰隊及空軍部隊在進出戰區時之裝載任務？

效益性衡量(MOE-Measure of Effectiveness)及適應性衡量(MOS-Measure of Suitability)定義及訂定方式，指系統在作戰環境下達成特定任務之程度，須與關鍵作戰議題相關並為可測試及量化的議題，如：C-17 必須具備運送 M-1A-1 主戰坦克至前線之能力。

評估衡量(MOA-Measure of Assessment)定義及訂定方式，指裝備或系統在戰場或真實環境中所發揮之效能及特性，評估是否符合規格及使用者需求，評量單位是數量及質量，並須與效益/適應性及關鍵作戰議題相關，如：測量 C-17 載貨區之空間大小及測量 C-17 安全裝載 M-1A-1 主戰坦克所需時間。常以比較、展示、測量、評估、查證、驗證等語法描述。

5、作戰測試評估之類別及任務：

作戰測試評估依概念設計、技術發展、系統發展與展示、生產部署及使用(作戰)與支援階段，區分為以下各類：

- (1)早期/初期作戰評估量 (E/IOA-Early/Initial Operational Assessments)。
- (2)初期作戰測試評估 (IOT&E-Initial OT&E)。
- (3)後續作戰測試評估 (FOT&E-Follow-on OT&E)。
- (4)聯合測試 (Combined DT&E/IOT&E - Combined Test Force)。
- (5)資格作戰測試評估 (QOT&E-Qualification OT&E)。
- (6)複式裝備測試評估 (MOT&E-Multi-service OT&E)。
- (7)戰術研發測試評估 (TD&E-Tactics Development and Evaluation)。

作戰測試評估流程最終目的在於以使用者角度，提供詳細之測試文件及報告，並將數據回饋給專案經理人，在測評過程中必須以前瞻思維及不受外力干擾情況下，執行測試任務及產出報告，並在研發測試評估流程中扮演各自角色通力合作及溝通，可更有效率的執行測試及節省經費，在武獲流程中如剔除作戰測試評估程序，使用單位將不會得到切合需求之裝備。

(五) 作戰測試需求及測試條件概述(OT&E Require & Criteria)：

針對作需能力文件簡介、需求/能力關聯矩陣簡介及 COI、MOE/MOS 及 MOA 基本架構說明，讓學員了解作戰測試評估及作戰需求/能力文件在整個武獲流程中之層級與重要性及撰擬相關文件時可能遭遇到的陷阱。


文件中各國所使用的專業術語可能不同，但執行測試的過程及時間則不會有所差異，需求則是從使用單位所須擔負任務得來，提供決策單位執行整體之分析及規劃，再交由作戰測試評估單位依使用者需求，規劃測試任務，測試裝備功能及發揮能力。

任務需求文件(Mission Need Statement)是武獲流程的起點與基石，由使用者提供執行任務的需求及現存裝備或系統不足之處。

作戰需求/能力文件(ORCD：Operational Requirements Capabilities Document)是 NTPS 描述研發系統概念及性能、現存系統之不足、周邊資源裝備、相容性、整體後勤支援、備份件、系統限制及預劃部署期程之文件，作為研發及作戰測試評估之依循，以設計測試項目及關鍵作戰議題，並隨著研發進程及使用者溝通後更新，避免設計出華而不實的裝備(gold plate)。

課程重點在效益性及適應性衡量，應明確描述並提列優先次序，每項測試項目應設定目標值(Objective)及門檻值(Threshold)，在與廠商所簽訂之契約，裝備或系統性能無法達到門檻值，則應重新確認關鍵作戰議題/性能參數或是停止測試計畫。

需求/能力關聯矩陣(RCCM：Requirements/Capabilities Correlation Matrix)，由作需/能力文件導出，通常包含系統規格、合理需求與性能及系統發展進程等三階段，是作戰測試評估的重要工具(如下圖所示)。

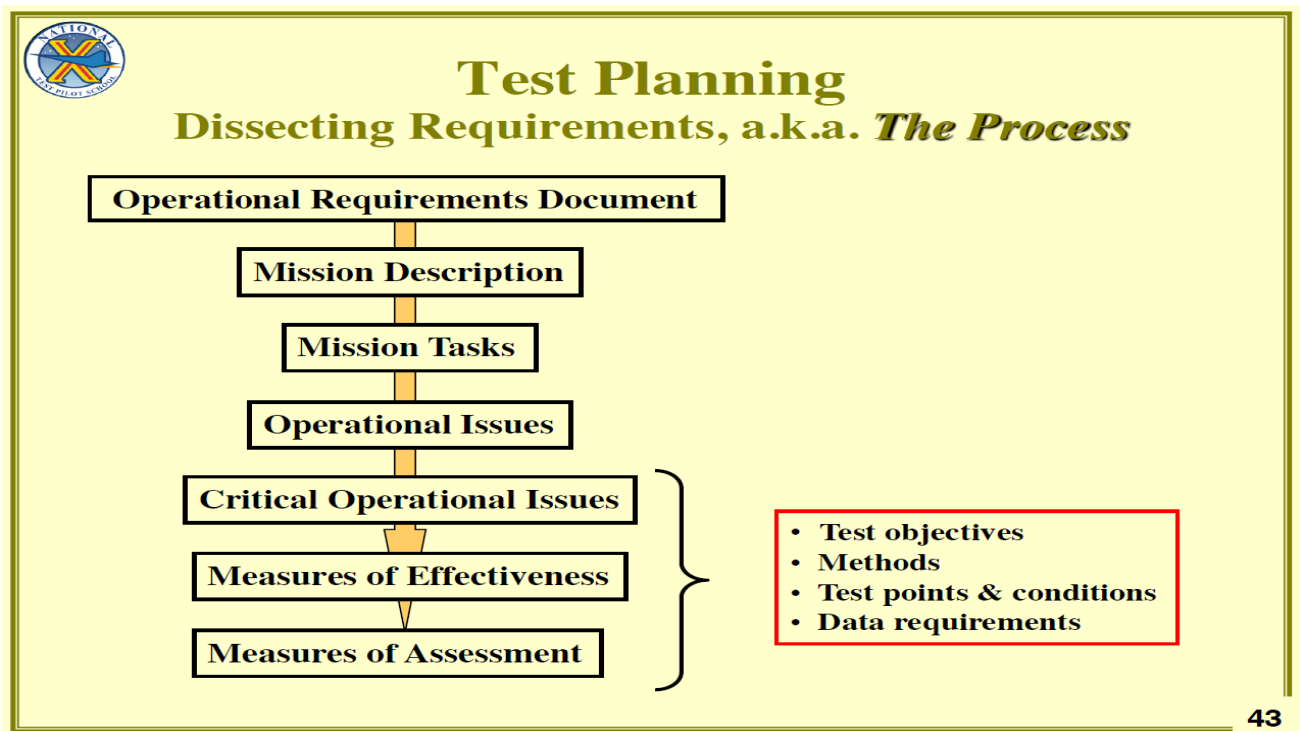


Example RCCM - Part I

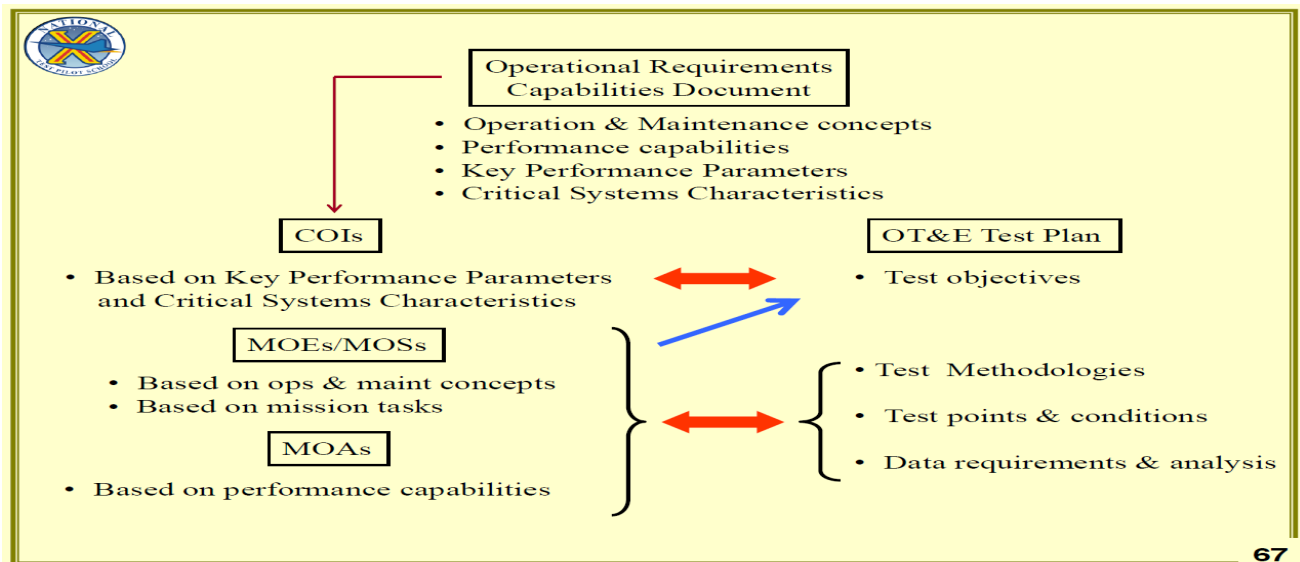
System Capabilities and Characteristics	ORCD I		ORCD II		ORCD III	
	Threshold	Objective	Threshold	Objective	Threshold	Objective
1. Non Afterburner Supersonic Cruise ¹	Yes					
a. Sustained	TBD	1.5 M	1.5-1.7 M	2.0 M	1.5 M	2.0 M
b. Dash	TBD	>1.5 M	TBD	2.4 M	2.1 M	2.4 M
2. System Availability	YES					
a. MCP	TBD	90%	85%	90%	85%	90%
b. Break	TBD	TBD	TBD	5-10%	10%	5%
c. Fix	TBD	TBD	TBD	80-90%	82%	83%
3. Radar	Yes					
a. Search (tgts)	TBD	12	TBD	16	8	16
b. Track (tgts)	TBD	6	4	8	4	8
c. Search range	TBD	250	150	200	150	200
d. Track range	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD
4. Terrain Following	YES					
a. Min Altitude	TBD	TBD	TBD	100 all WX	200 all WX	100 all WX

Note 1: Values of system capabilities, system characteristics and critical system characteristics may change as the system matures.

測試計畫架構由使用者需求文件訂定測試任務，再依使用階段劃分測試工作及訂定 COI，交由使用者決定 COI，並發展 MOE/MOS 及 MOA(如下圖所示)。

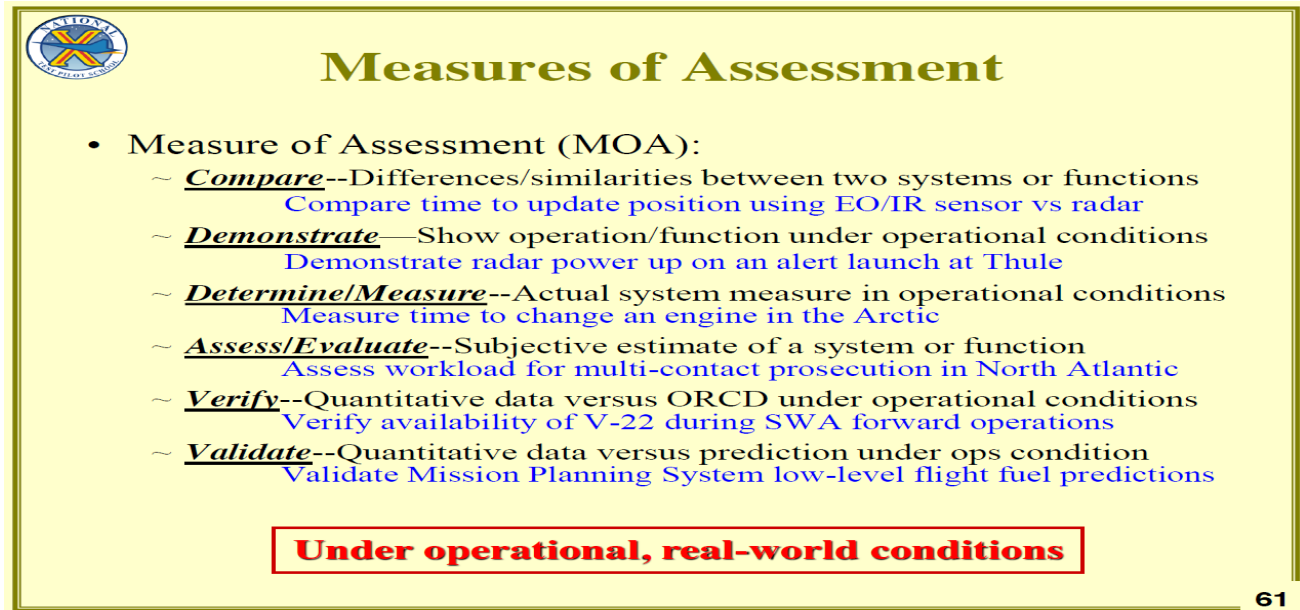



關鍵作戰議題(COI: Critical Operational Issues)，由 MOE 及 MOS 去訂定裝備或系統在戰場環境下執行任務之能力，並非以性能參數、測試目標值及門檻值描述，而是以問答方式表明，並導出測試目標，如果是否定的答案，則不建議繼續執行測試計畫(如下圖所示)。



效益性衡量(MOE: Measures of Effectiveness)及適應性衡量(MOS: Measure of Suitability)，是依關鍵作戰議題訂定裝備或系統在實際作戰環境中，執行測試工作的量化指標，必須為可量化及測試的，並且要注意描述的方式，太廣泛則會變成 COI；太狹隘則會變成 MOA。

評估衡量(MOA: Measures of Assessment)，實際針對各測試評估項目、系統功能及廠商所提供之規格執行詳細的測試及紀錄，必須跟關鍵作戰議題、效益性及適應性衡量相關，其制定(描述)方式如下圖：



 **Measures of Assessment**

- Measure of Assessment (MOA):
 - ~ **Compare**--Differences/similarities between two systems or functions
Compare time to update position using EO/IR sensor vs radar
 - ~ **Demonstrate**—Show operation/function under operational conditions
Demonstrate radar power up on an alert launch at Thule
 - ~ **Determine/Measure**--Actual system measure in operational conditions
Measure time to change an engine in the Arctic
 - ~ **Assess/Evaluate**--Subjective estimate of a system or function
Assess workload for multi-contact prosecution in North Atlantic
 - ~ **Verify**--Quantitative data versus ORCD under operational conditions
Verify availability of V-22 during SWA forward operations
 - ~ **Validate**--Quantitative data versus prediction under ops condition
Validate Mission Planning System low-level flight fuel predictions

Under operational, real-world conditions

61

1、比較(Compare)：針對兩系統(現有及研發中裝備/系統)之異同處執行比較

2、展示(Demonstrate)：證明該裝備/系統在作戰環境中之運作效能。

3、測量(Determine/Measure)：量測該裝備/系統在作戰環境中之運作效能。

4、評估(Assess/Evaluate)：針對裝備/系統做問卷式評量(主觀)。

5、查證(Verify)：與作戰需求/能力文件執行查驗，是否符合文件所需數據/規格。

6、驗證(Validate)：在作戰環境情況下是否達到相關效能。

我作戰測試評估流程，與上述 NTPS 所訂定之架構略有不同，但測試概念相同，可參考其表述方式，使我作戰測試評估項目更為精確。

(六) 作戰測試評估文件簡介(OT&E Documentation)：

針對專案評估(估計)、測試計畫及測試成效報告文件說明，並提供測試計畫及成效報告的內容及寫作範例，讓學員完成測試計畫及成效報告撰擬，於課堂上提報，了解測試計畫或成效報告應提供哪些資訊給使用者及專案決策人員，也加深學員對報告內容的印象。以下針對提報格式與架構簡要說明。

- 1、測試專案評估：分為五個階段，第一階段為測案定義，就是確認任務需求、操作說明、作戰需求/能力文件及使用者需求說明，第二階段為測案評估(測試計畫的起點)，包含需求評估(參與測試成員背景及支援情況)、測案估計(裝備、架次、時間等)及接受評估(由供應者或專案決策者判斷)，第三階段為測案任務賦予，第四階段為測案執行、監控及成效報告，最後為測案結束。

藉由 OT&E 單位提供測試背景、人員、目的、測試重點、範圍、限制、測試概念、風險等項目，讓專案管理階層做為需求評估參考。

- 2、測試計畫提報格式與架構：依使用者需求完成測試計畫，測試前須由相關委員會審查及授權後執行，好的測試計畫，可有效減少人員、時間及預算消耗，降低成效報告撰擬所需時間與成效報告格式相近。
- 3、測試成效提報格式與架構：測試成效報告對於測試專案非常重要，也是測試作業的產品，無論數據資料的好壞，唯有讓決策者及使用者接受才是重點，所以要讓決策者及使用者看得懂及聽得懂，否則所做的測試都是白費，因此成效報告與執行飛行測試一樣重要。該報告應包含測試目的、測試結果、結論與建議，並提供決策者及使用者於操作、部署、使用及維持時所需的資訊。

測試成效報告提報基本架構如下：

- (1)封面。
- (2)測試目的。
- (3)專案(測試)時程表。
- (4)任務概述。
- (5)COI/MOE/MOS/MOA 條件。
- (6)測試品項概述。
- (7)相關測試限制。
- (8)測試參與人員經歷。
- (9)測試人員工作職掌。

(10)測試及觀察結果(運用 6 大步驟說明-測試方式、數據資料呈現、數據分析與討論、任務影響、結論及建議)。

(11)結論摘要。

(12)建議摘要。

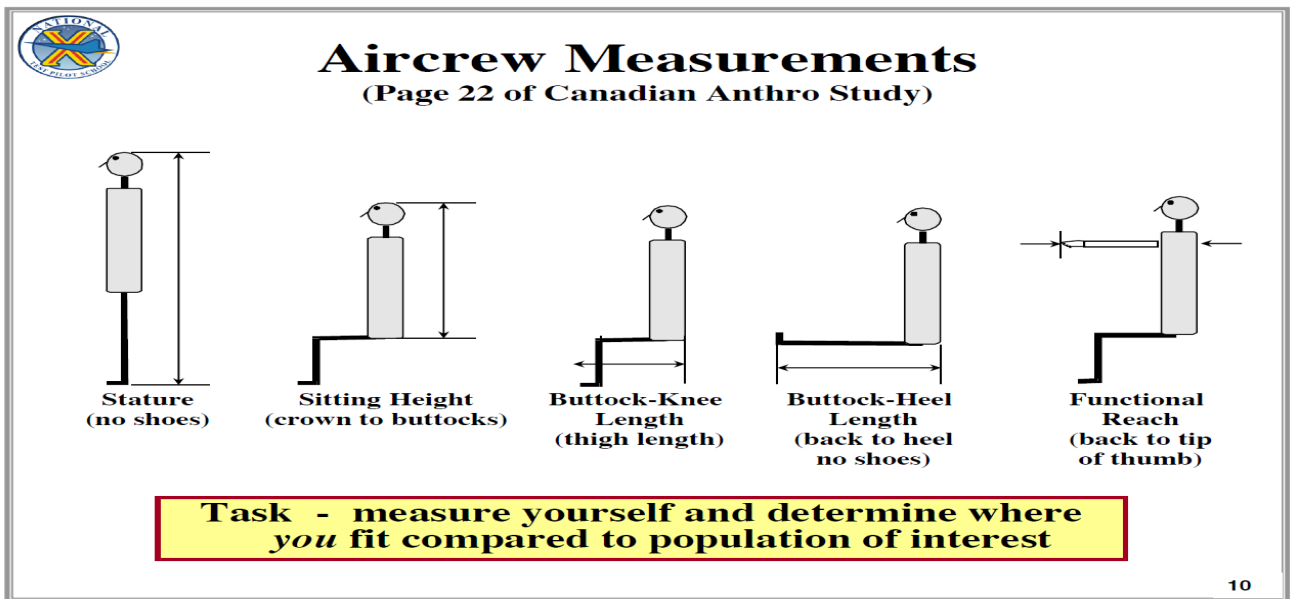
(13)整體建議。

(14)心得。

(七) 座艙評估概論(Crew Station Evaluation)：

探討座艙設計與人機介面之關係，評估座艙設計與任務執行之通用性，包含人體測量、座艙顯示系統、控制系統、儀表設置及顯示方式、警示系統、座艙視野及進入與脫離座艙等項目之測試方式，分述如下：

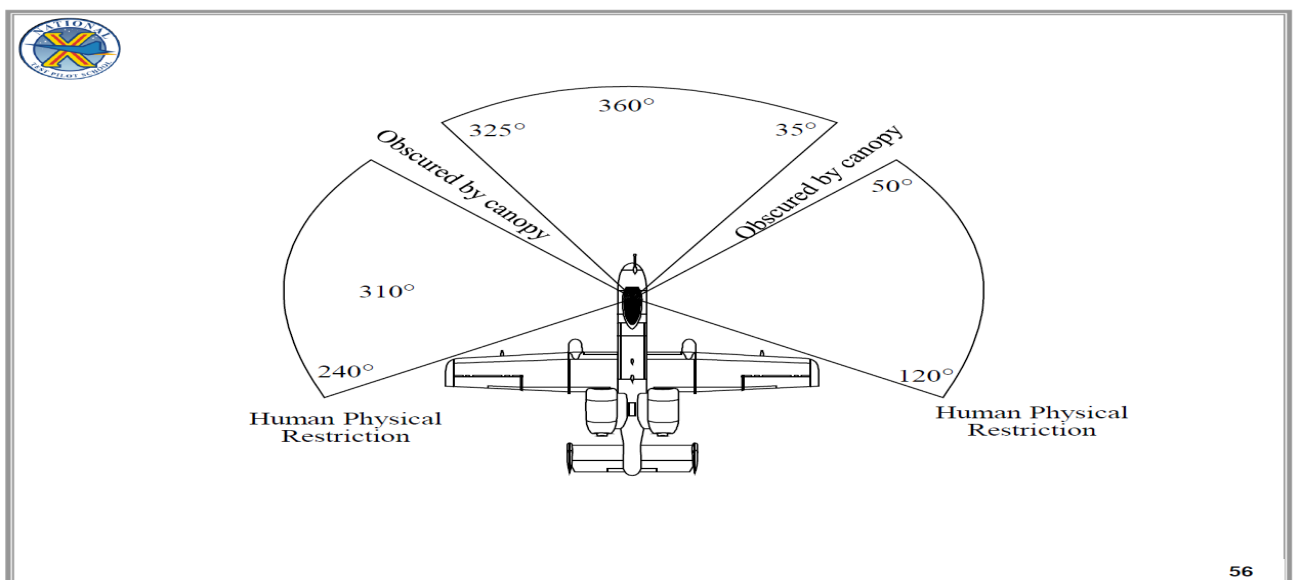
- 1、人體測量學：以加拿大 1998 年數據資料為範本，分別測量身高、上半身身長、後背至膝蓋長度、下半身身長及後背至指尖長度(如下圖)，再與資料庫比對。



- 2、座艙設計及顯示系統：早期座艙顯示僅提供飛機操作需求，現今因任務屬性增加，使座艙顯示系統過於複雜(如下圖)，解決方案是使用多功能顯示系統(MFD：multifunction display)。



- 3、控制系統：須滿足任務需求並由操作人員提供使用情況後，再執行相關修改，設計考量以形狀(起落架手柄與輪胎)、結構(止檔)、尺寸、位置、及顏色區分。
- 4、儀表設置與顯示方式：能在全天候環境下辨識及發現異常情況，從原本的傳統儀表發展到現今的液晶螢幕，其重點在使操作者能立即判讀。
- 5、警示系統：提供操作者相關資訊及立即判斷緊急情況並處置，常以警告燈光、音響及語音表示。
- 6、座艙視野：是座艙設計時相當重要的一部分，由輔助測試人員於地面協助，試飛員穿戴裝備於座椅上執行視野測試，重點在看到飛機操控系統(襟副翼、水平尾翼及方向舵)、左右翼尖及機鼻下方，以利地面操作或是緊急情況時，能讓操作者一目了然，如下圖所示：



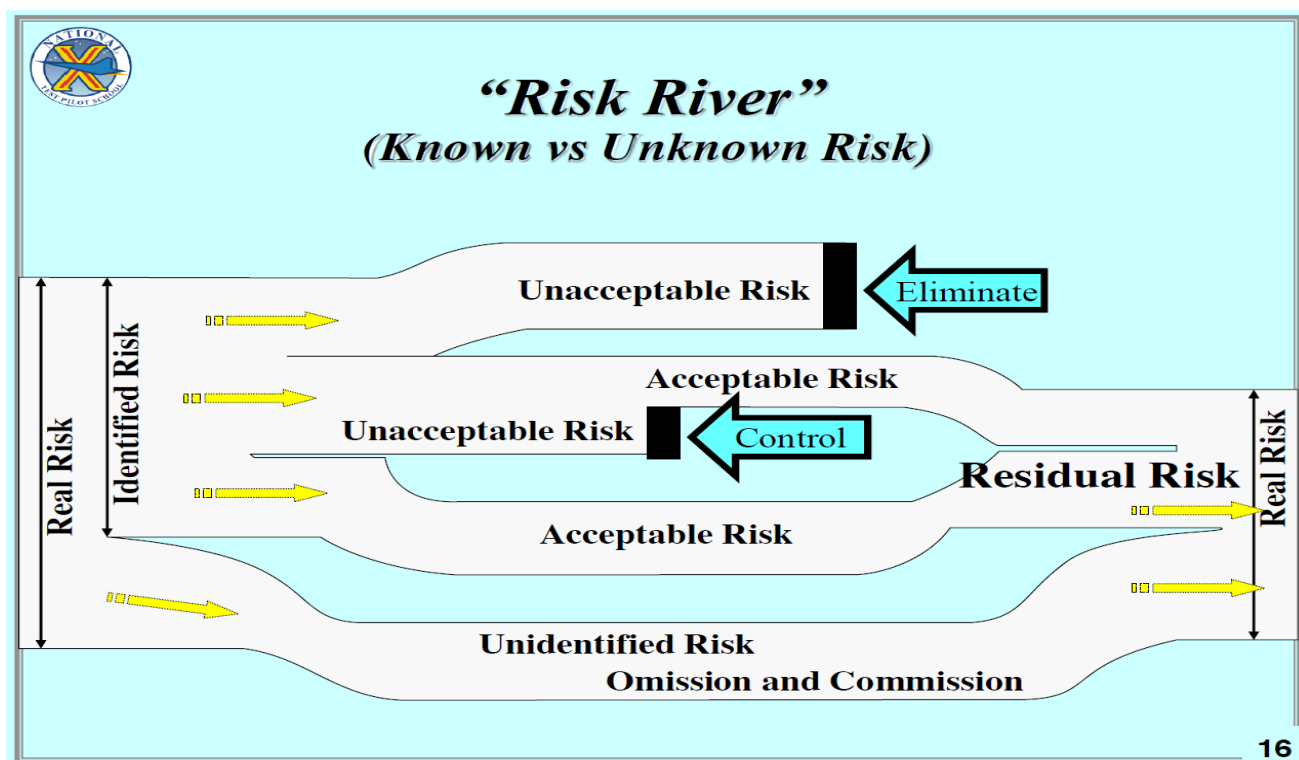
- 7、進入及脫離座艙：實際穿戴飛行裝及相關裝備模擬，測試於脫離座艙時是否需要電力系統、外在輔助裝備(臺階/逃生梯/手把)及逃生艙/門是否容易開啟。

座艙評估是以裝備所需擔負任務及使用者需求執行測試工作，在提報時應以圖片作輔助，讓決策者及使用者確實了解影響層面為何，並應參考其他測試評估案例，使測評工作順遂。

(八) 測評風險評估及安全管理(OT&E Risk & Safety Management)：

針對測試風險定義、分析及降低風險(THA-測試風險評估表格運用)實施探討，並說明技術審查委員會(TRB)、安全審查委員會(SRB)、飛行準備審查(FRR)之目的、組成及其在飛測計畫審查流程中召開時機，在測試風險部分需先了解，除非停止執行測試任務，否則必定會有其風險存在，所以必須去發現風險、分析風險、控制風險及接受風險。

早期的武獲流程，是以實體機執行測試，當發生任何故障或是毀損後，再執行缺失改正或是肇因探討，但現今的測試任務，則先以電腦軟體執行模擬、風洞及模擬機測試後，再執行原型機飛行測試。風險管控概念如下圖：



在風險分析方法中，可區分為樹狀圖分析(FTA-Fault Tree Analysis)及故障態樣分析(FMEA-Failure Mode Effects Analysis)，樹狀圖分析是由結果或已發生事件找出可能肇生事故的原因，而故障態樣分析是從各零組件發生之故障，可能會造成的結果執行分析。

測試風險無法完全消除或避免，重要是藉由其他裝備或加強人員訓練來降低風險，所以必須將風險量化，並就其嚴重性及發生頻率執行矩陣分析，OT&E 的風險分析作為是要減低操作者使用風險及增加系統安全性，所以在針對特定項目執行風險評估時都必須記錄備查，以供後續使用及參考。下圖為 NTPS 所使用之測試風險分析表格 (僅供參考)：



NTPS Test Hazard Analysis Worksheet

Identify Hazard

Analyze Hazard

Control Hazard

Reassess Risk

Test Hazard Analysis Worksheet		Subjective Probability of Occurrence				
Test Title:	Hazard Category	high	probable	uncertain	remote	improbable
Stall Testing	catastrophic					
Aircraft/System:	critical					
Example	marginal					
	negligible					
Hazard: Aircraft impacting the ground						
Cause: Failure to recover from a post-stall gyration						
Effect: Loss of aircraft and death of aircrew						
Minimizing Procedures: 1. Stall testing will be done at a minimum of 5,000 ft AGL 2. Stall tests will all be done at idle power, wings level, and with a bleed rate of one kt/sec max 3. Forward cg points will precede aft cg points. 4. Lateral fuel will be balanced prior to stall tests to within five gallons						
Emergency Procedures: 1. Minimum bailout altitude of 1,500ft AGL will be briefed prior to each flight.						
Risk level (after minimizing procedures taken into account): High _____ Medium _____ Low <u>X</u>						

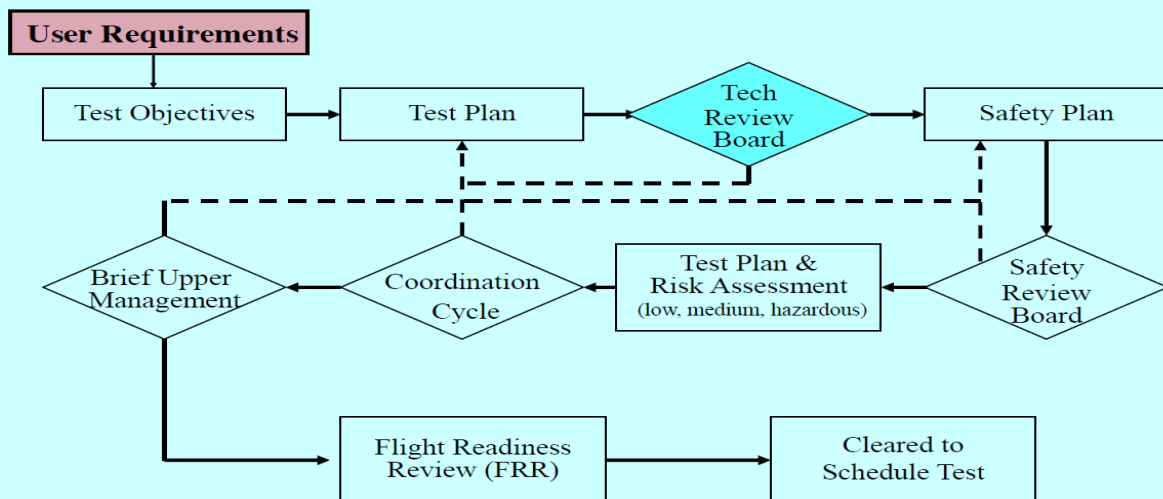
Assess Risk

42

NTPS 風險管理作為包含測評計畫、技術審查委員會(TRB: Technical Review Board)、安全審查委員會(SRB: Safety Review Board)及飛行整備審查(FRR: Flight Readiness Review)等項目，下圖為 NTPS 測試評估風險管理流程：



Test Planning Review and Approval Process



58

技術審查委員會(TRB: Technical Review Board)，目的為評估測試需求與目標是否符合使用者需求、測試計畫設計及考量是否合宜及測試項目是否可以決定該裝備(飛機)達到使用者所需。

安全審查委員會(SRB：Safety Review Board)，目的在確認測試項目可能遭遇之風險、降低風險之方式及該風險是否降低到可接受之程度。

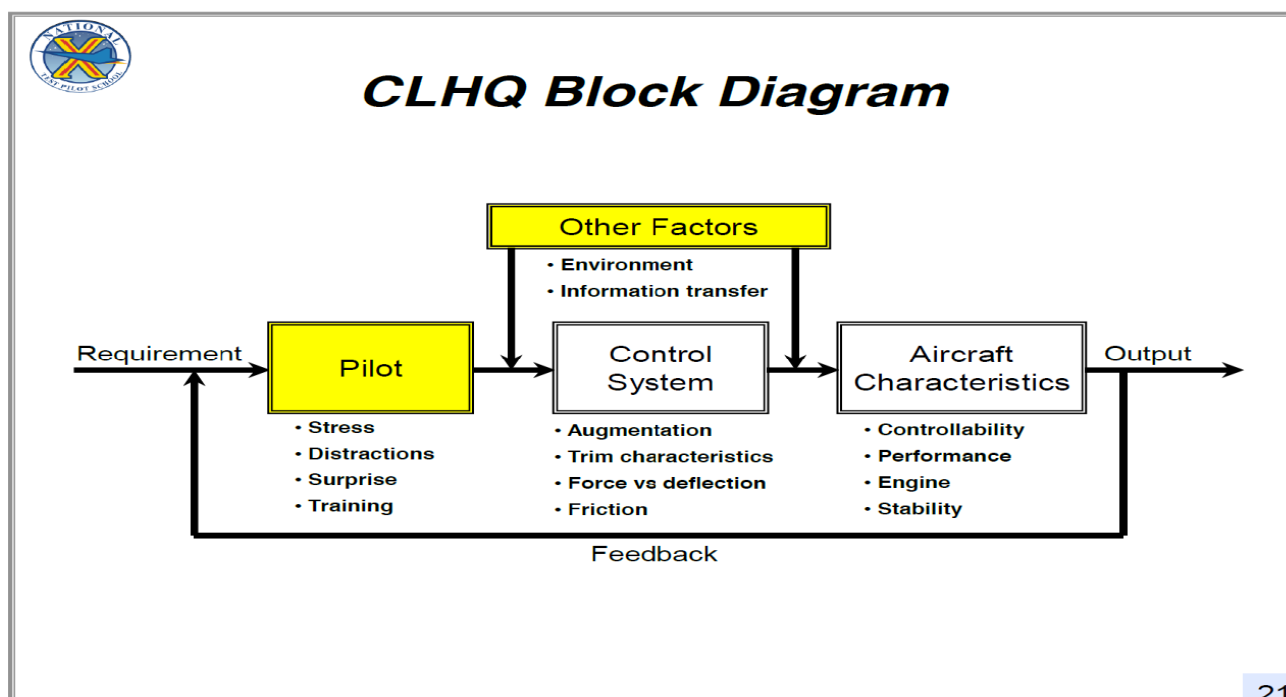
飛行整備審查(FRR：Flight Readiness Review)，目的在確認飛行測試任務執行前，各項整備工作及人員前置訓練均已完成，小組成員對測評項目均已了解，提示卡及相關裝備均能支援測評任務，並需再次確認 TRB 及 SRB 流程中疑問均已解決，才可執行飛行測試任務。

(九) 封閉式迴路操控品質概論(Closed Loop Handling Qualities)：

探討飛機操控品質及特性，是否可讓使用者容易且精確地達成某項特定任務，並針對此一操控品質如何作資料蒐集及分析，針對封閉式操控迴路及庫柏-哈柏評量表(Cooper-Harper Rating Scale)作概述，課後利用模擬機實際體會，並運用評量表執行評量及問卷調查，課程僅教導學員本課目之基本概念，在中、長期班次會有更詳細的介紹及實作。

以下針對開放式及封閉式操控迴路說明：

- 1、開放式操控迴路是指受測試之航空器在沒有飛行員操控輸入情況下，其本身氣動力及穩定度等性能。當飛機受到外力(風、氣流等)干擾時，是否能恢復穩定狀態及其所需時間，主要受到外型、重心及設計特性影響。
- 2、封閉式操控迴路則是指受測試之航空器經由飛行員操控，其氣動力、操控特性及穩定度對於達成某項特定任務之難易度來做分析，封閉式操控迴路介紹如下圖：

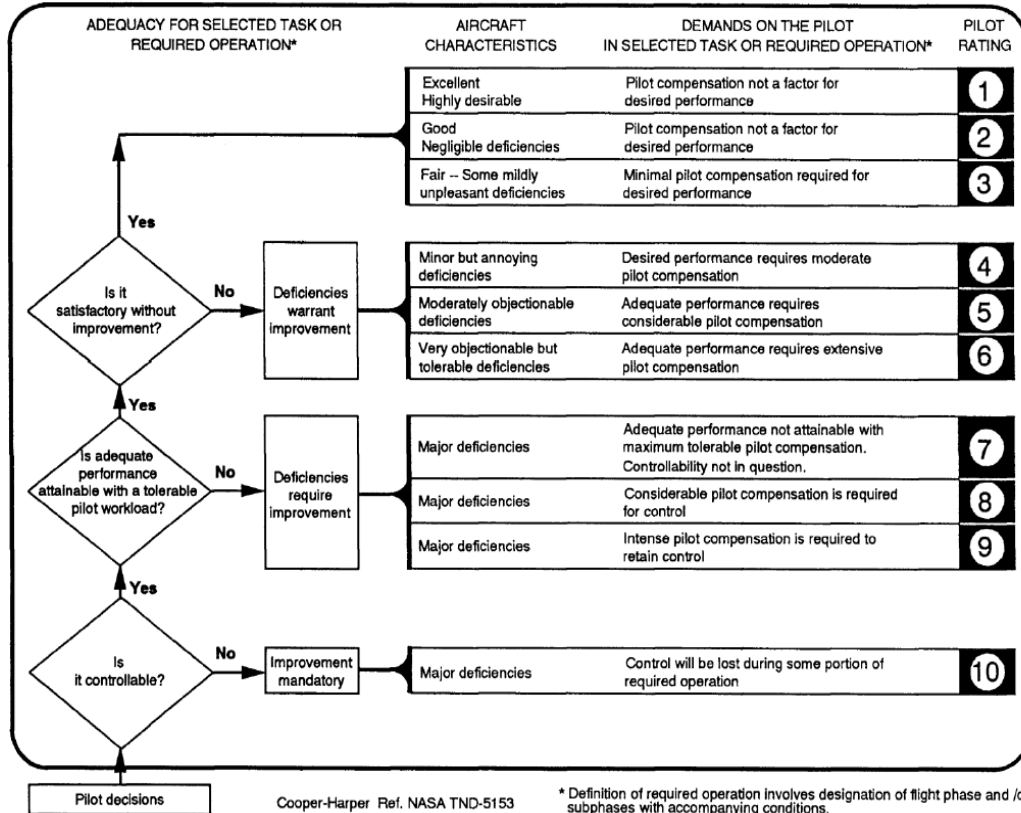


庫柏-哈柏評量表(Cooper-Harper Rating Scale)是在 1940 到 1970 年間，由研究人員 George Cooper 及 Bob Harper 所歸納出的評量表，目的是讓測評人員針對飛機操控性能給予評價，以供系統工程及飛控專業人員分析及運用(評量表如下圖)：



Cooper-Harper Rating Scale

Front page



DEFINITIONS FROM TN-D-5153

COMPENSATION

The measure of additional pilot effort and attention required to maintain a given level of performance in the face of deficient vehicle characteristics.

HANDLING QUALITIES

Those qualities or characteristics of an aircraft that govern the ease and precision with which a pilot is able to perform the tasks required in support of an aircraft role.

MISSION

The composite of pilot-vehicle functions that must be performed to fulfill operational requirements. May be specified for a role, complete flight, flight phase, or flight subphase.

WORKLOAD

The integrated physical and mental effort required to perform a specified piloting task.

PERFORMANCE

The precision of control with respect to aircraft movement that a pilot is able to achieve in performing a task. (Pilot-vehicle performance is a measure of handling performance. Pilot performance is a measure of the manner or efficiency with which a pilot moves the principal controls in performing a task.)

ROLE

The function or purpose that defines the primary use of an aircraft.

TASK

The actual work assigned a pilot to be performed in completion of or as representative of a designated flight segment.

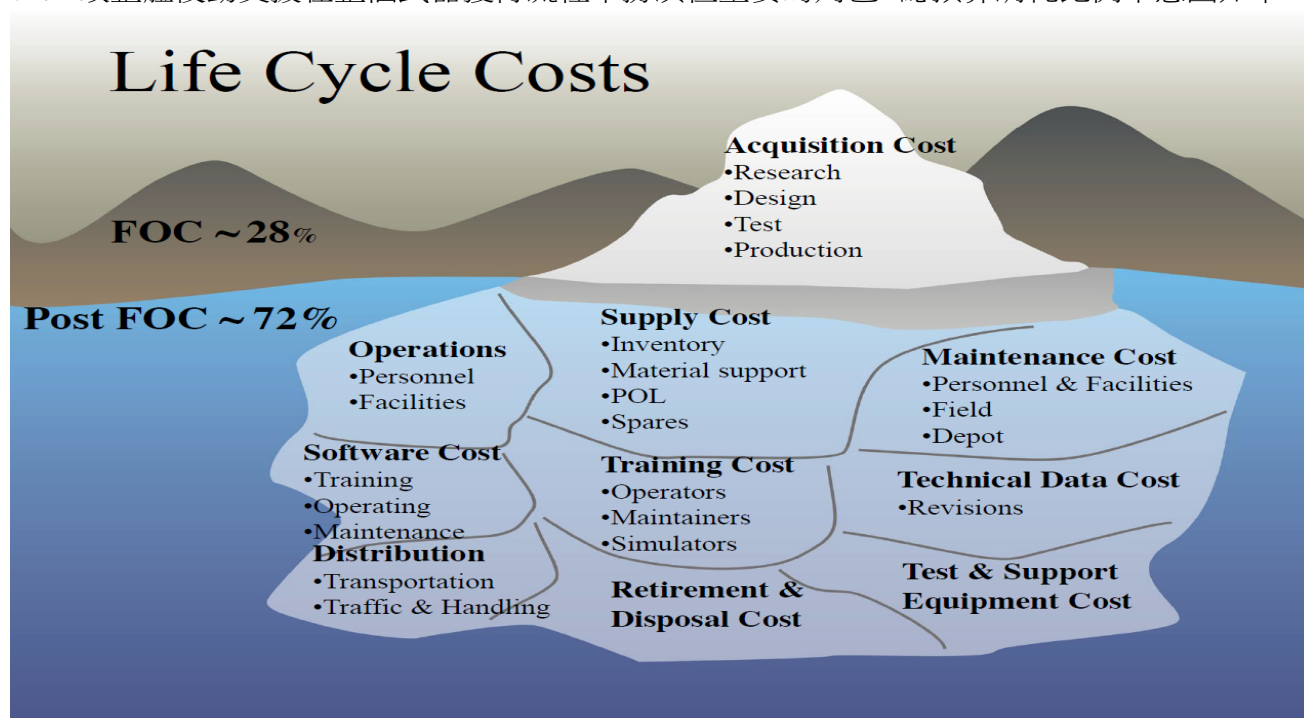
模擬機實作練習部分以飛機五邊進場階段為主(如下圖)，先讓學員熟悉飛機操控性能後，操控飛機使其對正跑道，並要求於特定範圍內落地，完成落地操作後，運用庫柏-哈柏評量表執行評量，藉由測試課目、真實環境、測評人員使用情況及問卷評量，蒐集每位測評人員的評量結果後，交給系統工程及專業人員，據以決定是否需要精進該飛控系統。



(十)可靠度、維護度、後勤及可用度概念(Reliability、Maintenance、Logistics & Availability)：

說明作戰測試評估任務中適應性議題之重要性、整體後勤之目的、限制、可靠度、維護度、後勤支援及可用度等項目，而 OT&E 於整體後勤中所扮演的角色，是針對裝備或系統之適應性執行測試及評估，評定該裝備或系統是否可生產、部署及運用。

在武器獲得流程全壽期中，研究、設計、測試及生產階段所耗預算僅佔總預算約 28%，而修(維)護、補給作業、訓練、人員與設施運作、版本提升/修訂及裝備汰除等，則佔總預算約 72%，故整體後勤支援在整個武器獲得流程中扮演極重要的角色，總預算消耗比例示意圖如下：



可靠度、維護度、後勤及可用度測試之定義可以區分為，發生率(故障)、滿意度、時效性及戰場環境等四個面向去探討，許多層面需經由作戰測試評估過程去制定及執行的，並不是在實驗室中及研發測試評估過程中所能發現的，所以作戰測評人員必須將整體後勤概念融入在關鍵作戰議題中執行測評，並需要足夠之時間、樣本數、成熟的測試模型(裝備)及軟體，而以上所述項目，在初期是沒有辦法立即達成或獲取，需要足夠的時間及樣本數去逐步建立及完成的。

整體後勤支援測試之用意在於：

- 1、確保操作人員(使用者)運用裝備或系統執行特定任務時，能發揮其效用及效益並達成任務。
- 2、了解可靠度、維護度及支援度之間的相互關係(關聯性)。
- 3、由可靠度、維護度及支援度相互結合，產生裝備或系統之可用度。
- 4、大部分的 OT&E 測試項目與資源都是為了後續的整體後勤支援而進行的，一般而言，

整體後勤支援項目佔整個 OT&E 測試約 85%(包含合約商供應之測試裝備或系統，裝備或系統的數據資料、測試時間或期程規劃等)。

整體後勤支援測試之目的：

- 1、發覺裝備或系統缺失。
- 2、即時改善裝備或系統缺失。
- 3、強化裝備或系統功能。
- 4、證明於操作(作戰)情況下，如何有效支援。
- 5、協助使用者精確估計零組件數量、人員需求及訓練。

理想的裝備或系統應具備低故障率、可迅速完成並易於人員進行修(維)護工作及易於機動部署，所以 OT&E 人員便應針對此一目標執行測試工作，故測試評估人員應協助使用者去發展 RML&A 測試需求，那應該如何發展 RML&A 需求呢?以下為發展其需求所應考量事項：

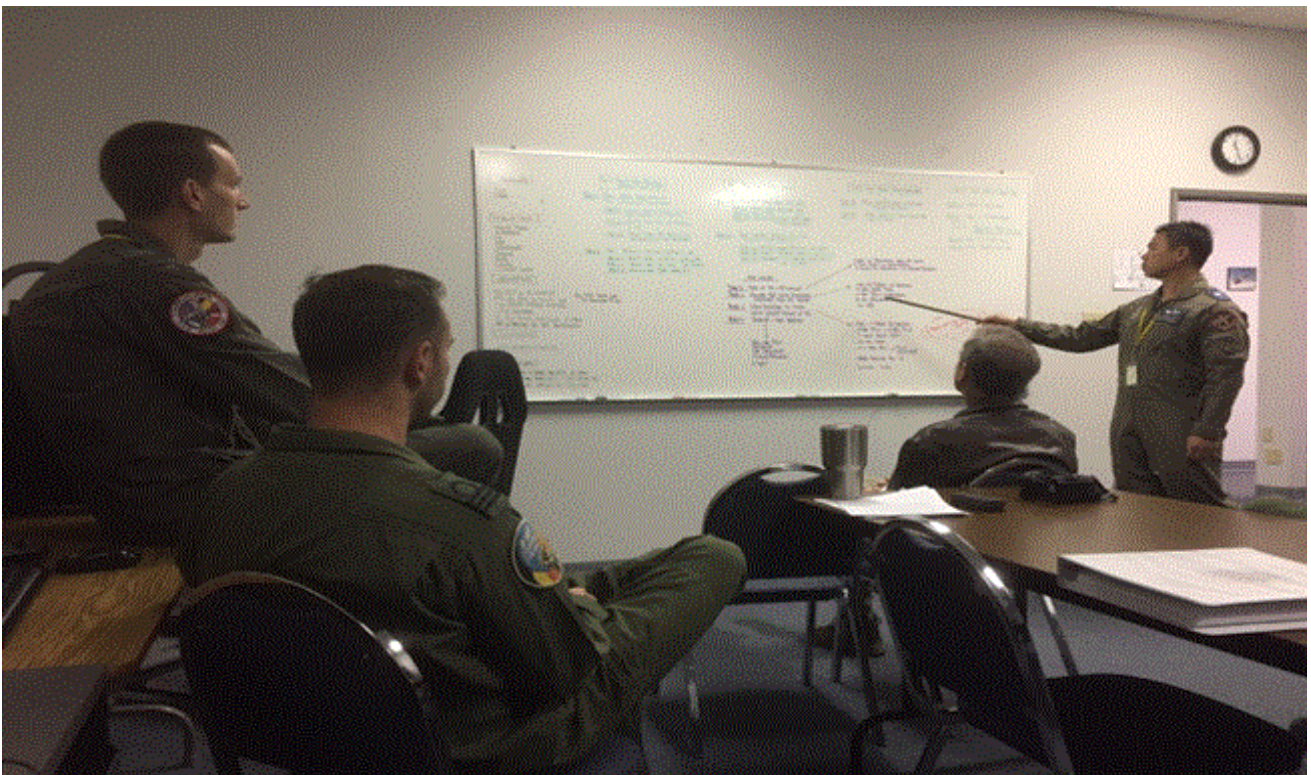
- 1、使用者必須同時建立/制定效益性及適應性需求。
- 2、使用者必須考量裝備或系統特性對作業維持費預算的消耗。
- 3、必須包含修(維)護概念、戰時補充及作戰支援需求等。
- 4、使用者必須給予測評人員可進行測試之 RML&A 需求(需制定目標值及門檻值)。
- 5、考量戰時修(維)護環境，如天氣、氣候、部署環境(沙漠地帶、極地地帶、熱帶地區等)。
- 6、考量修(維)護限制，如測試裝備、職業傷害、核生化問題等。

執行 RML&A 測試時將可能面臨許多問題，如時間不足、不當之測試裝備與系統、測試環境與真實(作戰)環境不同、技術不成熟之裝備與系統軟體、數據資料及合約商支援(配合度)，故 RML&A 佔整個 OT&E 測試 85%。

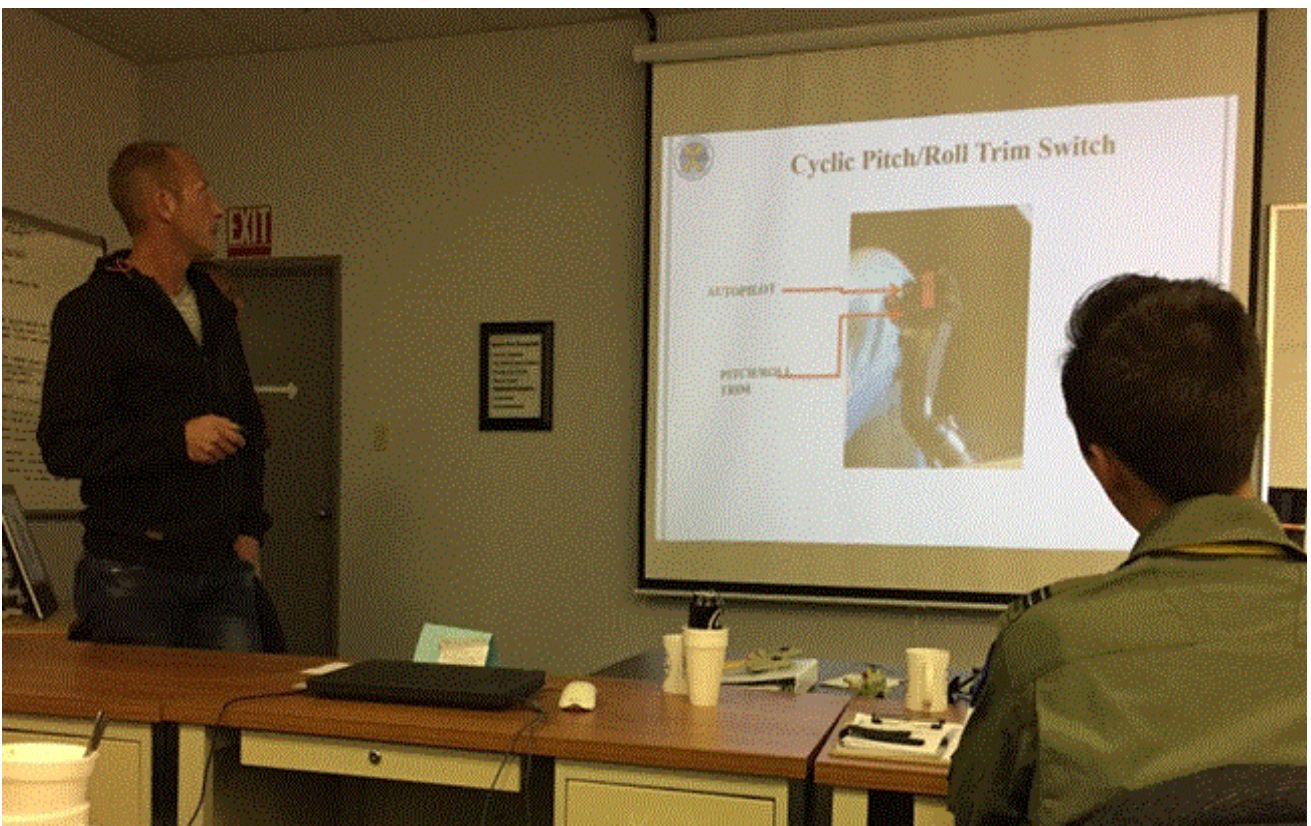
實作課目將學員分成 4 組，以拆卸油箱、鼻輪、水平尾翼及襟翼等不同測試項目探討及實作，針對修(維)護人員訓練、操作技令、執行拆卸工作所需人力及時間，確認維護度是否合宜。總而言之，整體後勤概念在作戰測試評估中不是一項容易的任務，必須要在預劃部署的地點，由使用者(包含作戰人員、修維護人員、後勤補保人員)，從各個面向執行完整且實際的測試，並由得到測試結果，賡續規劃後續作戰測試評估(FOT&E)及觀察項目。

(十一)實作練習

- 1、COI、MOE、MOS 及 MOA 制定練習：將學員分成 4 組，讓學員練習如何制定 COI、MOE、MOS 及 MOA 等項目，各組提報後再由教官講評。

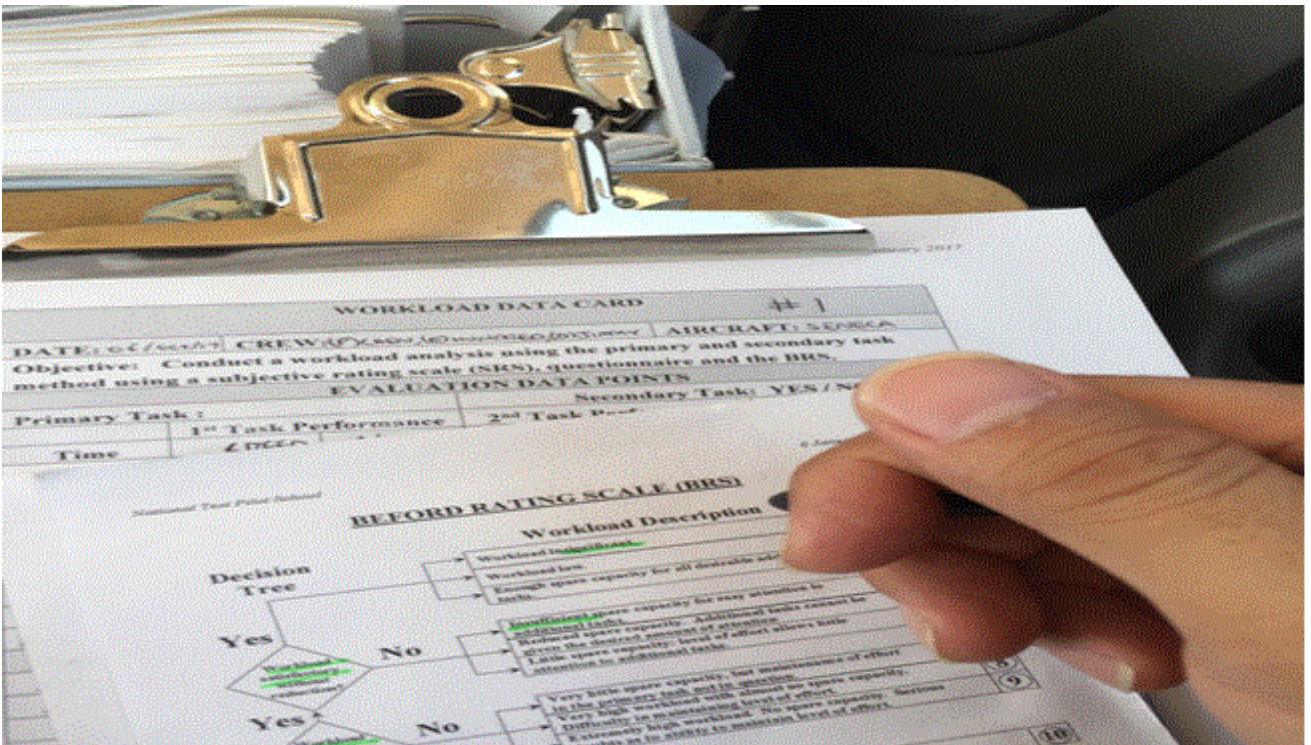


2、座艙評估練習：將學員分成4組，各組分配不同機型，讓學員運用上課所學，針對飛機內部構造及座艙設計等項目實施評估並提報，再由教官講評。

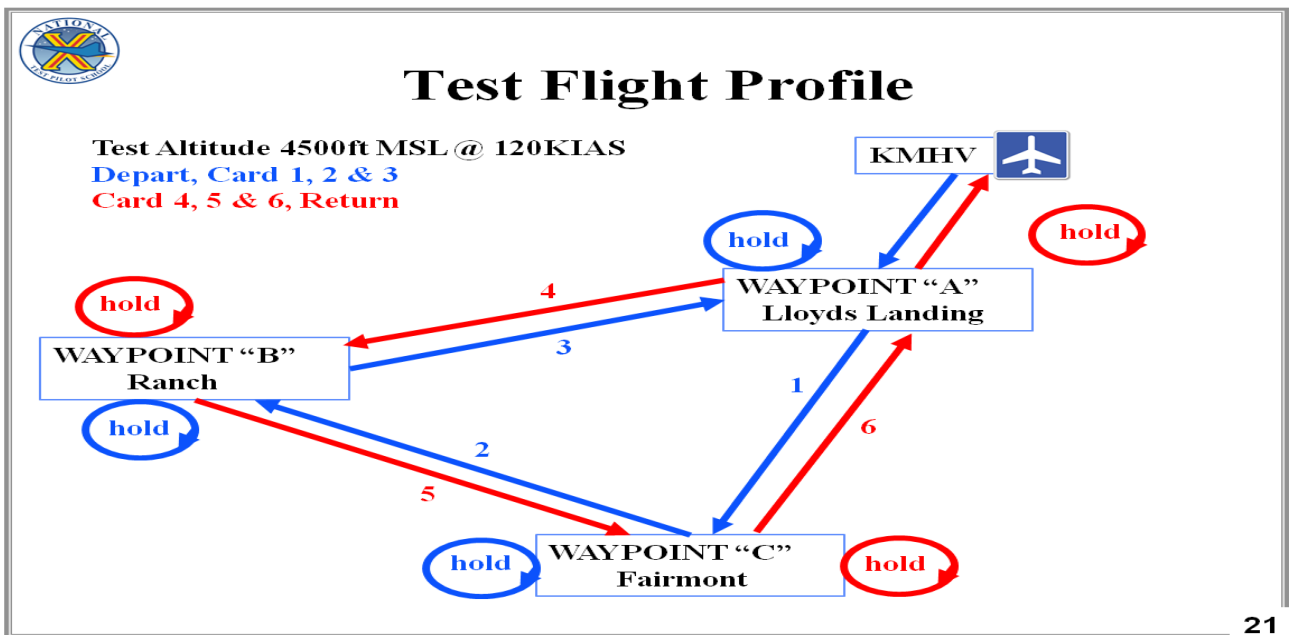


3、飛行測試評估練習：分4組，實施3批飛行測試評估及提報練習，以人員工作負荷、機上導航及不同之測試裝備（防撞、備用導航及飛行平板系統）為主，練習如何執行測試評估作業及成效報告，後由教官實施講評。

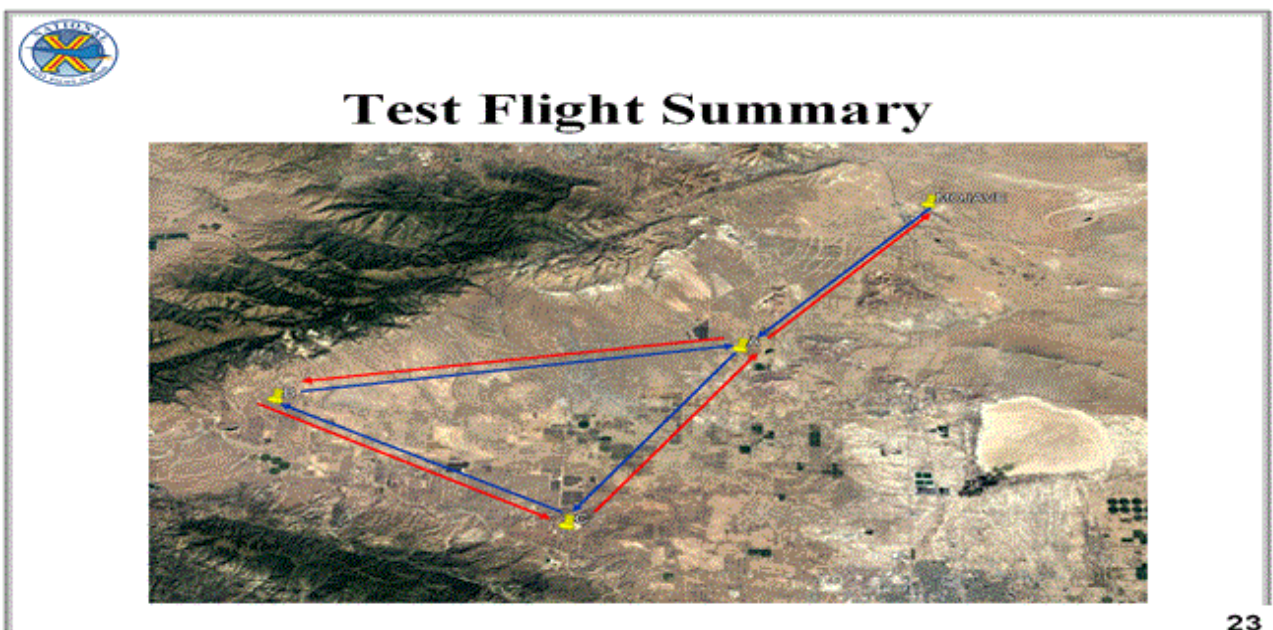
(1)人員工作負荷測試：



(2)機上導航測試：

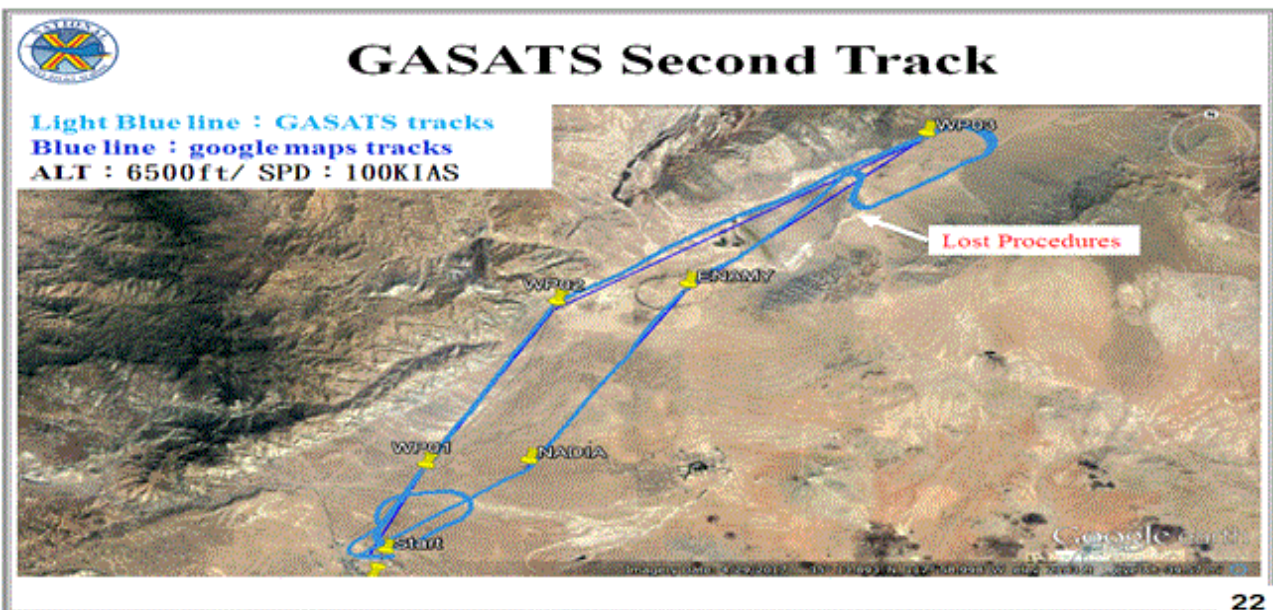
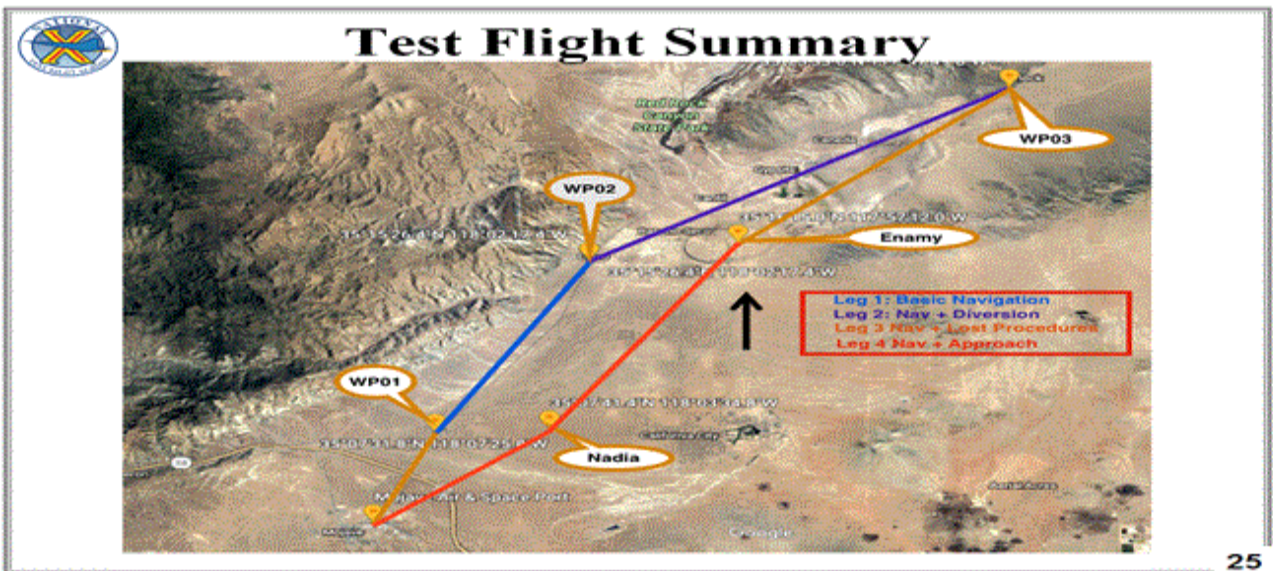


21



23

(3) 飛行平板系統測試：



4、RML&A 測試評估練習：分 4 組以拆卸油箱、鼻輪、水平尾翼及襟翼(各組分配項目不同)作為測試項目，採小組探討及實作方式，針對該型機修(維)護人員訓練、操作技令、執行拆卸工作所需人力及時間執行測試。



四、心得及建議事項：

- (一)本次課程為教導學員武器獲得流程及作戰測試評估之基本概念，實際執行的測試項目有限(大部分為人員工作負荷、導航裝備為主)，對於武器系統、飛機操控性能方面並未執行測試作業，仍有賴返國後實際參與相關測試工作，故須廣續派遣適員赴美參與中、長期之試飛員及工程師訓練，才可有效增進我國作戰測試評估技能。
- (二)學員係來自全世界各個國家，針對課程中實作課目部分，均願意去分享及討論各自的看法，於實作課目小組研討過程中，可以明顯察覺各國訓員按部就班地完成各項資料準備及提報，厚實扎根所學，培養專業知識。
- (三)學員來自非英語系國家，語言溝通囿於地方口音或習慣用詞會有些許的差異與理解錯誤，但教官均能詳細解釋，使差異性降至最低；另針對學員所提之意見無論成熟或專業與否，都接能耐心聽取且尊重他人意見表達，且指導教官對大家所提意見均慎重以對，決不輕忽帶過。
- (四)藉由不同國家學員及其不同專業領域，可看見每位學員針對任務有各自不同的看法，藉由 COI/MOE/MOS/MOA 訂定、飛行前準備、提示卡及資料蒐集卡製作、數據綜整及成效報告等實作過程中，藉由分組討論、資料整備及提報，可學習到其他各國學員針對測試評估作業的不同看法與觀念。
- (五)藉實作課目，讓自己可以針對測試評估執行做法，能有更深的了解及深刻的印象，且其他學員均較熟悉 Office 軟體(尤其是 Excel)運用方式，在成效報告中，多以圖表方式做為佐證資料，提報過程可以學習到其他國家學員針對測試評估結果及數據資料呈現方式。
- (六)對於所有測試評估作業，應在使用者的立場去思考及規劃，保持密切溝通、協調及配合；另藉由作戰測試評估結果，提供決策者及使用者下達接收產品之決心的依據，並確保武器或裝備之作戰效益性及適應性及提供使用者所需資訊，以利發展其政策、程序、戰術及訓練，以達成所需目的。

五、授課照片：

(一)授課環境：

1、教室



2、小組討論及提示區



模擬機室



3、用餐及休息區



4、棚廠



(二)飛行測試：

1、第一次飛行測試



2、第二次飛行測試



3、第三次飛行測試

