

出國報告（出國類別：實習）

執行 114 年度航空產品適航驗證訓練

服務機關：交通部民用航空局

姓名職稱：黃圭男/適航查核員

派赴國家/地區：荷蘭/阿姆斯特丹

出國期間：114 年 11 月 22 日至 114 年 11 月 29 日

報告日期：114 年 12 月 2 日

## 摘要

本課程主要說明歐盟航空安全總署(EASA)針對最大起飛重量超過 5,700 公斤的大型飛機所制定的 CS-25 驗證規範，詳細說明了其適用性與技術要求。規範內容涵蓋了嚴格的適航標準，包括對結構耐久性、飛行操控特性、重量限制以及乘客在緊急降落條件下需承受的極限慣性力的詳細要求。課程深入探討關鍵系統的安全完整性，特別是防止燃油箱起火，以及確保電子系統在遭受雷擊和高強度輻射場(HIRF)時的可靠性。此外，課程介紹了大型飛機設計變更的分類流程(例如 21.A.91)，區分了重大(major)和輕微(minor)變更的標準，並說明設計組織的審查權限。訓練資料中同時也區分了 EASA 法規體系下的不同層級文件，如驗證規範 (CS)、可接受符合方式 (AMC) 和指導材料 (GM)。整體而言，本課程對航空產品適航驗證法規提供了整體結構上的介紹，對航空產品的驗證工作提供實質的幫助。

## 目次

壹、目的 .....	2
貳、過程 .....	2
一、行程簡介 .....	2
二、課程講師及學員 .....	3
三、課程安排 .....	4
四、訓練方式 .....	6
五、訓練要點 .....	8
參、心得及建議 .....	14

## 壹、目的

我國的航空產品檢驗標準早期主要參考美國聯邦航空總署(FAA)相關規定，隨著歐盟航空安全總署(EASA)的成立，其航空相關規範也逐漸成為除 FAA 法規外，航空產業也必須遵循及參考的法規。為提升我國執行航空產品適航檢定及國外航空產品認可能力，並與國際標準接軌，職奉派參加歐洲聯合航空主管機關訓練中心(Joint Aviation Authorities Training Organisation, JAA TO)開辦之大型飛機驗證介紹(Large Aeroplane Certification - Introduction)課程，期能瞭解大型飛機驗證規範 CS-25、驗證的過程、並學習如何依據驗證規範(Certification Standards)要求來展示符合性。

## 貳、過程

### 一、行程簡介

日期	行程
11/22(六) ～ 11/23(日)	搭乘中華航空航班前往荷蘭阿姆斯特丹。
11/24(一) ～ 11/27(四)	參加歐洲聯合航空主管機關訓練中心(JAA TO)主辦之大型飛機驗證介紹(Large Aeroplane Certification - Introduction)訓練課程。
11/28(五) ～ 11/29(六)	搭乘中華航空航班返抵桃園機場。

## 二、課程講師及學員：

本課程由歐洲聯合航空主管機關訓練中心(JAA TO)開課，由來自奧地利的 Mr. Georg Popperl 擔任講師。Mr. Popperl 在航空業已超過 30 年，過去從事航空設計工作和設計變更等工作，目前在奧地利擔任一家直昇機公司的合規監控經理(Compliance Monitoring Manager)。課程學員共有 13 位，分別來自德國、西班牙、比利時、馬來西亞和香港等國家及地區，學員背景分別有工程與設計專家、檢驗人員、以及軍事與採購領域專家等。

### 三、課程安排：

2025/11/24

- 講師及學員自我介紹
- 課程介紹
- 法規簡介：定義與縮寫(Definition and Abbreviations)
- 重要民航組織介紹
  - ICAO
  - JAA
  - EASA
  - FAA
  - RTCA - EUROCAE
- FAR/JAR/CS 23/25/27/29
  - Book 1 : 驗證規範 (Certification Specification e.g. CS 25)
  - Book 2 : AMC 及 AC
  - 補充性文件
- CS – Other than Product
  - ETSO
- TCDS
- Certification Program
- Classification of Change to a TC (21.A.91)
- Changed Product Rule (21.A.101)

2025/11/25

- 符合性紀錄 (Compliance Record) 範例
  - 符合性方法 (Method of Compliance Codes)
- Application and Use of DO-160 Environmental Condition Compliance
  - EUROCAE ED-14 / RCTA DO-160

- ISO, NAS MIL and other Specifications
- CS-25 (Amdt. 28) 細部章節討論
- Subpart A – 總則 General
- Subpart B – 飛行 Flight
- Subpart C – 結構 Structure

2025/11/26

- Subpart D – 設計與建造 Design and Construction

2025/11/27

- Subpart E – 動力裝置 Powerplant
- Subpart F – 設備 Equipment
- Subpart G – 操作限制與資訊 Operating Limitations and Information
- Subpart H – 電氣線路互連系統 Electrical Wiring Interconnection System, EWIS
- Subpart J – 輔助動力裝置安裝 Auxiliary Power Unit Installations

## 四、訓練方式：

本課程以講師課堂授課方式進行，教材在開課前 3 天開放學員下載，訓練中心僅提供電子檔下載，不提供紙本講義，學員必須攜帶筆電上課。

課程內容主要講述 CS 25 相關規定，期間進行 3 次的小組討論及報告，第 1 次是針對 B757-200 執行改裝，依適用規定來判定該改裝屬於 Major 或 Minor、改裝的檢驗基準為 Not Significant, Significant or Substantial，並提出這樣規定的理由。第 2 次分組討論是依據 B757 的 TCDS 判定 B757-200 及 B757-300 是否適用損傷容限(Damage Tolerance)的檢驗基準。第 3 次分組討論是航空器改用新的輪胎，這樣的改裝分類為何？需要什麼測試等討論。

課堂中除講師說明外，部分已有相關工作經驗的學員也會提出實際工作上的相關問題，講師或其他學員則分享各自的想法及做法，使課程不會僅限法規說明，也可從其他人的經驗分享中獲得助益。

本課程完訓後發給參加證書(certificate of attendance)，另有非強制的測驗，通過者發給通過測驗證書(certificate of accomplishment)，如下圖。



### 參加證書 (Certificate of Attendance)



### 通過測驗證書 (Certificate of Accomplishment)

## 五、訓練要點：

### (一) 適航法規的宏觀架構與驗證體系

理解適航法規的層級結構，是應用 CS-25 的基礎，也是連接理論與實務的橋樑。

#### 1. 法規體系的層級結構 (Regulatory Hierarchy)

EASA 的法規體系具有明確的層級結構，以確保法規的權威性與執行的靈活性：

- (1) 第一層 (Hard Law)：處於金字塔頂端的是歐盟基本規章 (Basic Regulation)，例如《歐盟條例 2018/1139》。這是由歐盟議會發布的最高層級法律，具有強制性與普遍約束力。
- (2) 第二層 (Implementing Rules, IR)：此層級包含由歐盟執委會發布的實施細則，例如業界熟知的 Part 21 (初始適航性規定) 和 Part M (持續適航性)。這些細則將基本規章的原則具體化為可執行的管理與程序要求。
- (3) 第三層 (Soft Law)：此層級主要由歐洲航空安全總署 (EASA) 署長發布，包括 CS (Certification Specification)、AMC (Acceptable Means of Compliance) 及 GM (Guidance Material) 等文件。CS-25 屬於軟法，但其提供了符合「硬法」要求的技術標準與方法，在實務上具有極高的指導性與約束力，構成了獲得型別檢定的技術依據。AMC 則提供了 EASA 認可的、滿足 CS 要求的具體技術方法。

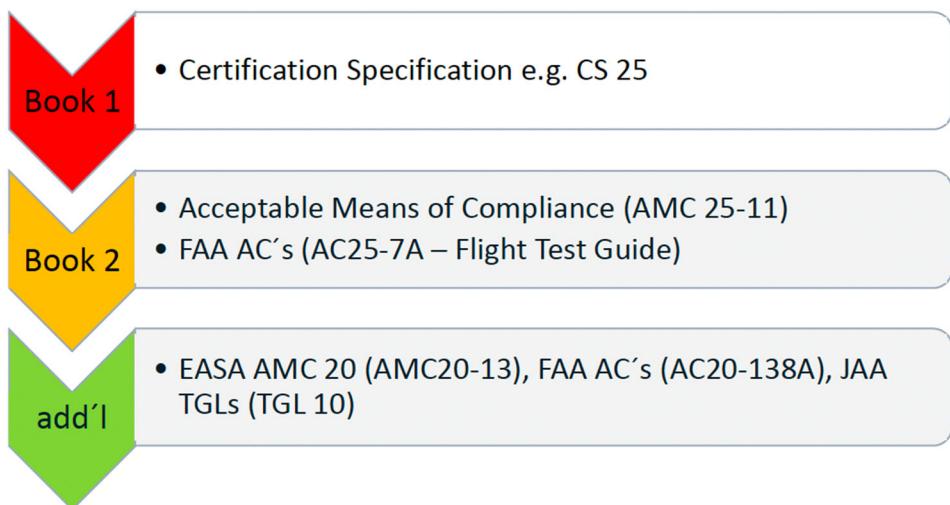
#### 2. 驗證規格書體系：Book 1 與 Book 2 的作用

課程中引入了「Book 1」與「Book 2」的概念，闡述了法規要求與符合性驗證方法之間的關係：

- (1) Book 1 (法規要求)：以 CS-25 為代表，闡述了產品在申請型別檢定 (TC) 時「必須證明什麼 (what to demonstrate)」，是驗證工作的根本依據。
- (2) Book 2 (符合性方法)：以 AMC (可接受的符合性方法) 和 FAA 的 ACs (諮詢通告) 為代表，提供了「如何證明 (how to demonstrate)」符合 Book 1 要求的方法。講師比喻，AMC 就像是「EASA 已經幫我們鋪好的路」。

- (3) 補充性文件：為處理標準規範未能涵蓋的特殊情況，還會應用以下補充性文件：
- SC (Special Condition, 特殊條件)：用於處理飛機採用了現行法規制定時未能預見的新穎或特殊設計特徵 (novel or unusual design features)。SC 是 EASA 針對這些新特性發布的臨時適航要求。
  - ESF/ELOS (Equivalent Safety Finding / Equivalent Level of Safety, 等效安全結論)：應用於無法完全從字面上符合某項法規，但能透過其他補償性因素或設計，證明其達到了同等的安全水平。此機制為創新設計提供了必要的彈性空間。
  - CRI (Certification Review Item)：用於處理法規中未明確定義、存在解釋爭議或涉及新技術應用的議題。

## REQUIREMENT/STANDARD HIERARCHY



### (二) 核心驗證流程：設計變更與檢驗基準的建立 (Part 21)

設計變更的分類與檢驗基準的建立是適航工程師日常工作的核心。

#### 1. 設計變更分類 (21.A.91)：重大 (Major) vs. 輕微 (Minor)

根據 21.A.91 的規定，型別檢定 (TC) 的變更分為兩類：

- (1) 輕微變更 (Minor Change)：對飛機的質量、平衡、結構強度、可靠性、操作特性或其他影響適航性的特性沒有顯著影響 (no appreciable effect)

的變更。獲得設計組織許可 (Design Organization Approval, DOA) 授權的組織可以審核此類變更，加速實施。

- (2) 重大變更 (Major Change)：所有不符合輕微變更定義的，均歸類為重大變更。判斷是否為重大變更的核心考量因素包括：是否對適航性有顯著影響；是否需要調整 TC 基準 (例如：發布特殊條件或等效安全結論)；以及變更是否引入或影響一個其失效後果為災難性 (Catastrophic) 或危險性 (Hazardous) 的功能。
2. 建立檢驗基準 (21.A.101)：變更產品原則 (Changed Product Rule, CPR)
- 一旦變更被分類為「重大(Significant)」，就必須依據 21.A.101 的「變更產品原則 (CPR)」為其建立適當的檢驗基準 (Certification Basis)。
- (1) CPR 的應用原則：規範對現有已驗證產品進行重大變更時，應適用哪個版本的 CS-25。雖然主管機關鼓勵採用最新驗證規範，但申請人可提出理由選擇較早的法規版本。常見理由包含採用最新標準在技術上「不切實際 (impractical)」，或對提升安全水平「不會有實質性貢獻」。
3. 檢驗計畫 (Certification Program)

根據 21.A.93(b) 的要求，重大變更的申請必須提交一份檢驗計畫。

- (1) 核心內容：變更的詳細描述、為證明符合性所需進行的重新調查，以及包含主要里程碑的專案時程表。
  - (2) 重要性：講師強調，檢驗計畫不僅是一份技術文件，它更是與主管機關的「溝通工具 (communication tool)」，用以闡述檢驗策略與時程規劃，從而建立共識、有效管理專案進度。
- (三) CS-25 技術要求深度解析：從理論到實務應用

#### 1. Subpart B – 飛行 (Flight)

核心目標是確保飛機在所有預期的操作條件下，都具有安全、可控且穩定的飛行特性。

- (1) 性能 (Performance)：規範了起飛、爬升、巡航、降落等各飛行階段的性

能標準。起飛性能計算必須是保守的，旨在保證即使在發動機臨界故障的極端情況下，飛機仍能安全停止或繼續起飛。落地距離通常要求乘以至少 1.67 的安全係數。

- (2) 操控性 (Controllability)：要求飛機能夠在各種飛行姿態與突發狀況下（如單發動機失效）被飛行員容易且順暢地操控。
- (3) 穩穩定性 (Stability)：確保飛機在受到擾動後，具備回復至穩定飛行狀態的自然趨勢。
- (4) 失速 (Stall)：必須在失速發生前有足夠的裕度提供清晰、不可忽略的警告（如抖振或人造警告信號），並能輕易地從失速狀態中改正。
- (5) 人因工程：俯仰 (Pitch) 長時控制力上限為 22 磅，以確保飛行員在數小時飛行中不會過度疲勞。

## 2. Subpart C – 結構 (Structure)

確立飛機結構設計的根本要求，確保機體能承受其生命週期內所遭遇的各種負載。

- (1) 載荷要求 (Loads)：結構設計必須確保在極限載荷下（等於限制載荷的 1.5 倍），機體不會發生失效 (Failure)。
- (2) 緊急降落條件 (Emergency Landing Conditions, CS 25.561/562)：這是保護乘客生存的關鍵。要求結構必須承受極限慣性力（例如，向前 9.0g、向下 6.0g）。動態測試是強制性要求，特別是對座椅系統，其頭部傷害指數 (HIC) 上限為 1000，且股骨軸向壓縮負載不得超過 1021 公斤。
- (3) 疲勞與損傷容限 (Fatigue and Damage Tolerance, CS 25.571)：課程引用了 ALOHA 航空 243 號班機事故的教訓。設計哲學已從「安全壽命 (Safe-life)」轉向「損傷容限 (Damage Tolerance)」。其核心思想是：假設結構中必然存在初始缺陷或裂紋，設計必須確保這些損傷在被例行檢查發現之前，其擴展是緩慢且可預測的。

## 3. Subpart D – 設計與構造 (Design and Construction)

涵蓋了眾多與乘客安全及日常操作直接相關的設計要求。

- (1) 緊急疏散 (Emergency Evacuation, CS 25.803)：載客數超過 44 人的飛機，必須證明能在 90 秒內將所有乘員安全疏散至地面。
- (2) 防火保護 (Fire Protection, CS 25.853)：規定了客艙內部材料（如座椅、壁板、地毯）的耐燃與低煙霧、低毒性要求。廁所必須配備煙霧偵測器與垃圾桶內的自動滅火裝置。貨艙則依據防火設計要求分為不同等級 (Class A, B, C, E, F)。

#### 4. Subpart F – 設備與系統安全 (Equipment and System Safety)

本子章節的核心是 CS 25.1309 所建立的系統安全評估 (System Safety Assessment) 方法。此方法要求根據系統失效對飛機與乘客的影響進行分類，並設定相應的允許發生機率。

失效分類 (Failure Classification)	允許發生機率 (Per Flight Hour)	對飛機/乘客的影響
災難性 (Catastrophic)	$< 10^{-9}$	多人死亡，通常導致飛機失事
危險性 (Hazardous)	$< 10^{-7}$	大量乘客重傷或死亡
主要 (Major)	$< 10^{-5}$	顯著降低安全裕度或增加組員工作負荷
次要 (Minor)	$< 10^{-3}$	輕微降低安全裕度或增加組員工作負荷

此外，設計者必須主動識別並透過隔離 (Isolation)、多樣性 (Diversity) 和分離 (Separation) 來防止共同因果故障 (Common Cause Failure, CCF)。

#### 5. Subpart E – 動力裝置 (Powerplant)

動力裝置的安裝與操作的安全性，其中防火是重中之重。

- (1) 油箱點燃防護 (CS 25.981)：此規範與 TWA 800 航班空難密切相關。新規範要求採取措施降低油箱內的可燃性，例如引入惰性氣體系統

(Inerting System)，將氮氣注入油箱以置換氧氣，從根本上消除爆炸的條件。

## 6. Subpart H – 電線互聯系統 (Electric Wiring Interconnecting System, EWIS)

Subpart H 的出現顯示將 EWIS 視為一個獨立、完整且關鍵的飛機系統的轉變。

(1) 緣起：多起因電線老化、短路引發的事故（如 TWA 800 與瑞士航空 111 號班機空難）促使業界重新評估電線的潛在風險。

(2) 核心要求：設計上必須考慮電線的佈線、分離與保護，並將系統性的 EWIS 檢查要求（例如 General Visual Inspection / Detail Visual Inspection (GVI/DVI)）納入持續適航指令中。

## (四) 持續適航責任 (Subpart G)

設計驗證的最終目的，是確保飛機在其整個生命週期內都能夠安全地運行，即維持其「持續適航性」。

### 1. 持續適航指令 (ICA - Appendix H)

根據 CS 25.1529 及附錄 H 的規定，型別檢定持有人必須提供一套完整的持續適航指令 (ICA)。

(1) 適航限制章節 (Airworthiness Limitations Section, ALS)：這是 ICA 中最具強制性的部分。ALS 中的項目旨在預防已知且不可接受的安全風險，包括：

- 強制更換時限 (Mandatory Replacement Times)。
- 驗證維護要求 (Certification Maintenance Requirements, CMRs)。
- 關鍵設計構型管制限制 (Critical Design Configuration Control Limitations, CDCCLs)，用以保護燃油箱防爆等關鍵安全設計。

### 2. 飛機飛行手冊 (AFM)

AFM 是為飛行組員設計的操作指南，包含操作限制、操作程序與性能資訊。它是將所有操作限制、性能數據和程序，轉化為飛行員操作飛機的文件。

## 參、心得與建議：

- 一、本課程展現了其全面的範疇與深刻的專業性。講師透過大量的事故案例分析（如 TWA 800、阿羅哈航空 243 號班機事故）與實務經驗分享，成功地將抽象的規範與真實世界的航空安全挑戰緊密連結。
- 二、適航驗證並非單純的條文符合性檢查，而是一個環環相扣的完整體系。從法規層級到基於機率的系統安全評估 (CS 25.1309)，再到確保飛機全壽命安全的持續適航指令 (ICA)，每一個環節都缺一不可。
- 三、講師多次提及「法規是用鮮血寫成的 (Regulations are written in blood)」。無論是燃油箱防爆規定 (CS 25.981) 還是損傷容限設計哲學 (CS 25.571)，都體現了航空業對生命的敬畏與對風險的零容忍。
- 四、檢驗計畫 (Certification Program) 被視為與主管機關的「溝通工具」，確保雙方在專案初期就對驗證路徑達成一致，是專案成功的重要保障。
- 五、課程對 EWIS (Subpart H) 和損傷容限的強調，反映了監管機構對高齡飛機 (Ageing Aircraft) 安全問題的持續關注。未來，隨著先進技術（如 AI、增材製造）的引入，特殊條件 (SC) 將成為常態，且網路安全與環境保護要求將更深入地整合進 CS-25 驗證。
- 六、完成本課程後，可將學習到的驗證思維直接應用於日常工作中。在審查改裝案時，能更有系統地從 21.A.91 開始評估其分類，依 21.A.101 檢視其檢驗基準的合理性，並橫向檢視其是否對其他項目(例如：座椅動態安全、材料防火、緊急疏散等) 產生連鎖影響，從而提出更具深度與全局觀的審查意見，建議業務相關人員能持續參加此課程以提升我國對於航空產品與各項裝備及零組件之檢驗能力。