

2024年飛行安全半年刊

FLIGHT SAFETY

BI-ANNUAL MAGAZINE

2024



FLIGHT SAFETY July-December 2024

非賣品

Not-for-sale Item, given free by the publisher.



113年7月23日及9月4日機坪/空側管理班

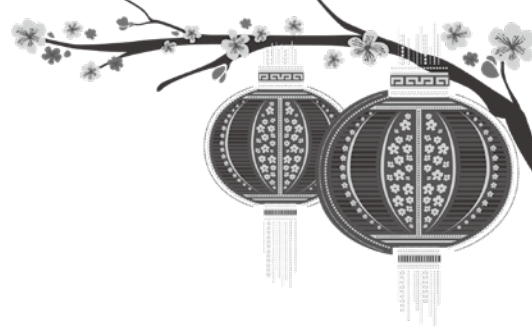


113年8月27-29日人為因素與意外事件調查班

目 錄

Content

2024年7-12月飛行安全半年刊



01 編者的話	基金會	P.02
---------------	-----	------

航空安全

02 五邊進場階段一陣側風對航機落地的影響	林得恩	P.03
03 永續航空燃油概論	陳敬霖、楊文忠	P.10
04 儀器飛航訓練—以台東豐年機場至松山機場為例	喬鴻發	P.23
05 航空保安管理部門因應地緣風險之策略調整	孔垂梅	P.27
06 達美航空B767-300ER型機2022年加利西亞飛安事件	蕭光霽	P.30
B763, en-route, Galicia Spain, 2022	SKYbrary	P.36

無人機資訊

07 消費型多旋翼無人機的安全使用常識	Aqualun	P.42
---------------------------	---------	------



編者的話

飛安基金會

2024 年是民航界成果豐碩的一年，景氣逐漸由「審慎」轉向「樂觀」，各會員公司不是接收交付的新機，就是在規劃舊機的汰換。財團法人中華民國台灣飛行安全基金會在 2024 年下半年也完成了「機坪/空側風險管理班」、「人為因素意外事件調查班」、「安全管理系統民航專班」、「航空保安管理班」等國內訓練課程。另完成軍方作業風險管理教育訓練作業，共計培養了 175 名人員，作為軍、民航飛安管理業務的基幹。

12 月 7 日為「國際民航日」，也是國際民航組織（ICAO）的生日。ICAO 每五年均設定一個主題目標，目前的週年活動主題為「為全球航空發展推動創新」，本期刊物特別邀請國內航空專家撰寫：「五邊進場階段一陣側風對航機落地的影響」、「永續航空燃油概論」、「航空保安管理部門因應地緣風險之策略調整」，「儀器飛航訓練—以台東豐年機場至松山機場為例」等專題，以響應 ICAO 對創新技術的重視。外國譯文選粹則提供「達美航空 B767-300ER 型機 2022 年加利西亞飛安事件」一篇文章。

無人機的應用近年愈來愈廣泛，也對機場或飛行場的安全運作產生潛在威潛，銷售市場上又以 2 公斤以下的消費型無人機為大宗。本期專題以「消費型多旋翼無人機的安全使用常識」為題，詳細說明特徵、類型與操作特性，提供會員相關的資訊。✈

適逢年末，在此敬祝各位 佳節愉快

Happy 2025!



五邊進場階段一陣側風對航機落地的影響

林 得 恩

國立臺灣大學 氣候天氣災害研究中心

壹、前言：

五邊進場（Final Approach）是航機降落過程中最為關鍵的階段之一，也是航機降落的基礎飛行路線。五邊從空中俯瞰，就像是一個四邊形，對於準備進近著陸的航機來說，其實就是圍繞機場盤旋一週。航機飛五邊，就是在塔臺調度中心和飛行員對周圍的環境進行全面的評估，對飛行姿態和飛行路線進行修正調整的關鍵過程。

此時，航機從跑道延長線進入穩定進場狀態，飛行高度逐漸降低，準備降落。當此階段，若遇到陣側風（gusty crosswind），常易對航機的穩定性、操作難度以及落地安全性產生顯著的影響外；甚至，因而肇生飛安事件。

貳、陣側風的特性及對航機的影響：

陣側風（Gusty Crosswind）是指具有快速變化特性的側風，即以側向作用於航機的風力，其特徵在於風速和風向的短時間內急劇變化。

所謂的側風，指的是相對於跑道方向並不正對航機的風，通常形成與航向垂直的分

量，對飛行穩定性造成的干擾與影響。2019年，強烈風暴「德尼斯」（Storm Dennis）影響英國地區，導致柏明罕機場頻繁出現大於30節的側風，嚴重的側陣風造成飛行方向舵控制困難，航機偏離跑道軸線。一架航機在側風條件下嘗試落地，因風速超出機型限制且航機偏離跑道中心線，被迫中止著陸，並重新進行復飛。

而陣風，指的是風速或風向在極短時間內，出現突發性的增強或改變，是不穩定氣流的重要特徵之一。2017年，一架聯合航空的波音737在丹佛國際機場著陸時，遭遇突然的強烈陣風。陣風在航機接近跑道時，改變了航機的垂直速度和進場角度，導致著陸點偏移，機輪幾乎無法完全控制方向。航機觸地後，產生劇烈晃動，偏離跑道中心線，最終安全停下，但機輪受到損壞，部分乘客受輕傷。

結合起來，陣側風是指具有強烈變化性的側向風，風速和風向在短時間內快速且不規則地變化。這種風在地形起伏、障礙物（如建築物或山脈）附近、低壓系統或強對流天氣系統中，尤為常見；對我航機在進場與著陸等階段影響最為顯著。對我航機的影響，根據過去的實際案例分析，又可概分以下4

個重點：

1. 方向控制的困擾：

陣側風會對航機施加不穩定的橫向作用力，導致航機偏離跑道中心線。當航機準備降落之際，環境陣側風以突發性或不穩定的模式吹向航機時，會在機身上產生不對稱的橫向氣流，導致橫向不穩定力矩；也可能在短時間內，改變航機左右兩側機翼的氣流角度，進而改變升力分布，嚴重情況下，也可能導致主起落架單邊過載或甚至「擦機翼」（Wing Strike）。此時，航機就需要依靠舵面及副翼的精確操作來修正航向，保持航機對準跑道；若修正不及，可能導致航機偏航或滑出跑道，增加了飛行操作的複雜性與應變性。

2. 升力與氣流流場的複雜變化：

陣側風對機翼氣流的影響可能導致左右機翼升力不均（如圖 1），引發滾轉（rolling motion），進一步影響航機的穩定性，甚至影響或破壞環境氣流流場的均一穩定特性。根據氣候統計顯示，陣側風現象多發於對流性天氣（例如：雷暴系

統）、氣旋系統（例如：颱風系統）或高氣壓與低氣壓之間的過渡區（例如：鋒面系統）；而發生在地面至約 300 米高度低空層的頻率最高，低層大氣受到地面摩擦作用影響，風速降低且產生紊流，導致陣側風特性更加顯著。對我航機進場和降落階段的影響最大。另一方面，山脈、山谷、海岸線或機場周邊建築物也可能造成環境氣流的突然變化，形成局部陣側風現象。根據過往監測統計的資料也顯示，風隙效應（Gap Wind）和狹管效應（Channel Effect）同樣也會進一步放大風速，使得環境氣流流場變得更加複雜。

3. 著陸速度與地速差異過大：

在飛行中，著陸速度（Landing Speed）和地速（Ground Speed）是兩個密切相關但有重要區別的概念。它們之間的差異主要由風速和風向所引起，特別是當航機進場著陸時，會受到氣象條件（如：順風、逆風或側風）的影響。強側風條件下，為抵消側風對航機的影響，可能需要採用更高的著陸速度，從而增加了落地滑行的距離與壓力，使得航機平穩降落的困難度增

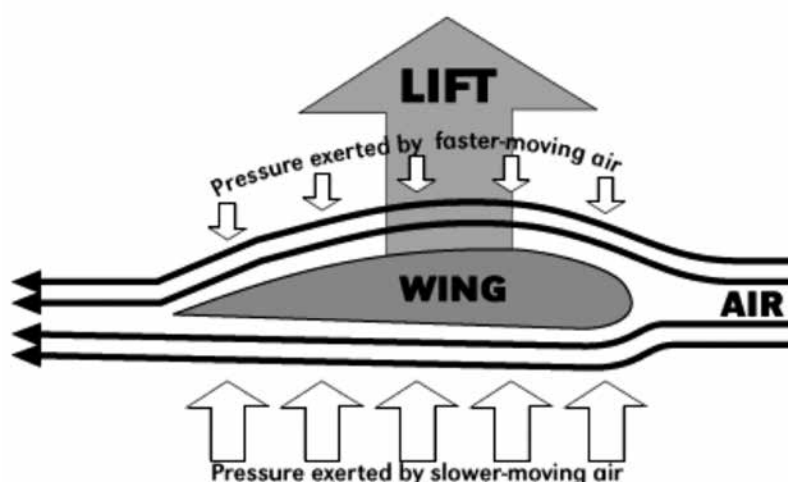


圖1、航機遭遇側風，由於產生垂直氣壓差，導致左右機翼的升力不均，常易使得空氣的漩渦或渦流沿著機翼的後緣滾轉（資料來源：NASA）

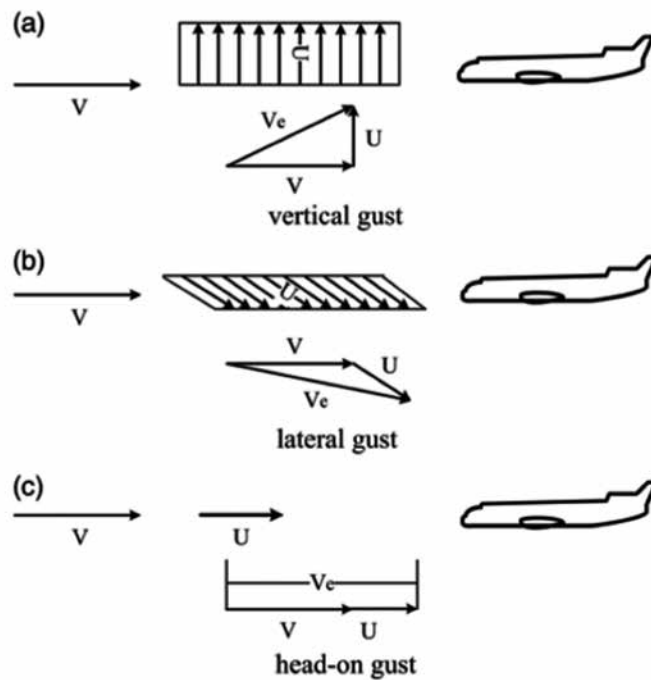


圖2、航機飛行常遇不同方向性的陣風型態，分別為垂直陣風、橫向陣風和迎面陣風， V 是飛機向前飛行速度， U 是陣風速度， V_e 是飛機有效速度（Wu et. al., 2019）

加。而側風對地速的影響，會使得航機的橫向穩定性降低，此時，就需要進行側滑法（Crab）或翼低法（Wing Low）來進行修正操作；若遭遇到陣風過大，就可能導致著陸不穩定，需要機組迅速調整修正飛行姿態。

4. 陣風效應（Gust Effect）：

航機上的陣風負荷可能會產生有害影響，例如空氣動力和結構負荷增加、結構變形和飛行動力性能下降。陣風的快速且劇烈的變化，通常超出了自動油門和機組的即時反應能力。若從陣風的方向性來看，陣風又可分為垂直陣風、橫向陣風和迎面陣風三種。通常認為每種陣風的影響，分別等於改變航機的迎角、側滑角和動壓力。這是由於與飛行路徑正交的陣風速度的各個方向分量造成的，如圖2所示，其中

V 是飛機向前飛行速度， U 是陣風速度， V_e 是飛機有效速度。在陣風條件下，風速的突然變化，可能導致航機瞬間失穩，產生橫傾（banking）或俯仰（pitching）等現象，飛行員需快速反應，積極應變，妥慎處理。

參、五邊進場時的風險評估：

五邊進場，是航機降落過程中最關鍵的階段之一，當航機已進入跑道延長線，並逐步降低飛行高度，準備進場落地（如圖3）。此階段飛行高度低，飛行速度逐步減小，飛行員的操作空間有限，因此各種天氣、環境或機械問題在此階段都會對飛航安全構成重大挑戰。

在此階段，對環境天氣變化非常敏感，

對於側風修正（Crosswind Correction）的難度自然提高，在穩定進場階段，飛行員需進行側風修正，通常可以採用以下 2 種技術。第 1 種，就是對正跑道法（Crab Method），五邊進場，航機機頭對準側風方向，使得航向與地面跑道對齊，航機著陸時，則迅速修正機頭方向。另 1 種，則為側滑法（Sideslip Method），五邊進場，使用副翼和方向舵控制，讓航機在著陸過程中保持對準跑道方向。

通常，在陣側風影響的條件下，風速與風向的快速變化，常易使得飛行修正更為困難，容易導致降落角度不穩定，飛行降落風險增大。如果在觸地瞬間風速突然增加或方向改變，也易導致航機接地輪胎受力不均，引發方向偏移或滑行偏離跑道。一側主起落架過早接地，增加機體結構壓力；甚至，可

能損壞起落架。航機降落觸地後，陣側風也可能引發飛行方向的不穩定，尤其是小型飛機和側風限制較低的機型，滾行穩定性也會跟著大幅下降，飛安風險同步增加。尤其在最後進場階段（Final Approach），特別容易受到突變風速和陣側風的影響，導致航機失穩；甚至，偏離跑道、衍生飛安事件。

肆、因應對策與建議：

陣側風對航機的落地挑戰大，特別是五邊進場時，需應對不穩定橫向作用力，避免導致偏離跑道的風險。透過正確的操作方法、充分的風險評估以及先進的氣象設備，可以有效降低陣側風帶來的飛行安全隱患。以下將針對「飛行員的整備應處作為」及「航機與機場基礎設施的改善」等 2 個面向來討論。

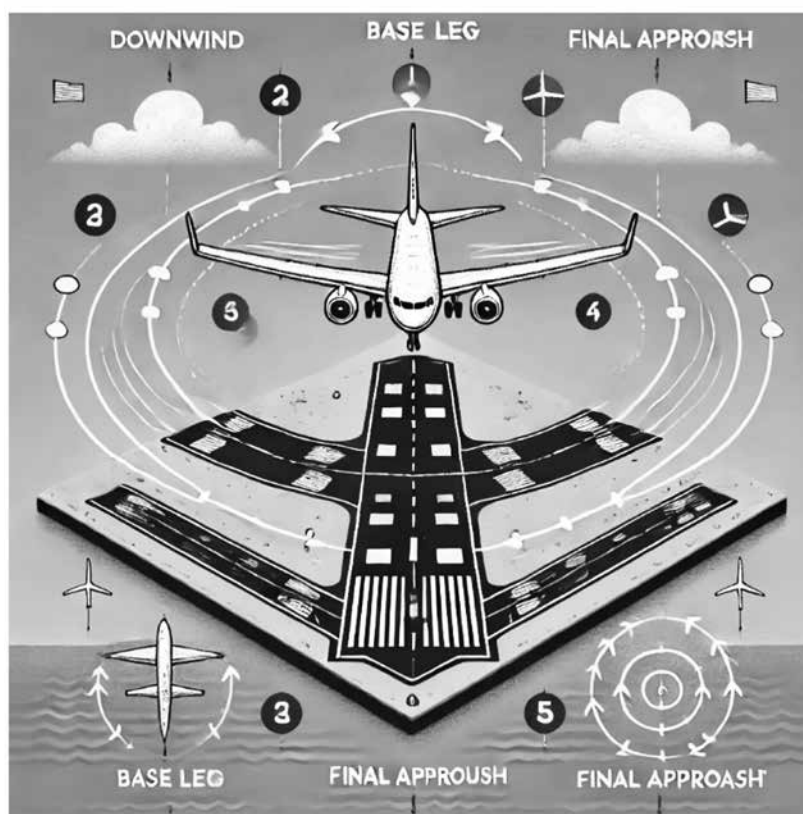


圖3、航機降落標準進場的五個階段的示意圖，圖中也顯示出側風和陣風所對應的條件

1. 飛行員的整備應處作為：

飛行員在操作航機進場前，需提前熟稔進場的風速參數與完善環境風場評估，加強飛行員的側風操控訓練，尤其是在模擬器中模擬強側風和陣風條件的訓練課程。若在強烈陣側風的條件下，需在風險管控的首要考量下，選擇延遲降落或另覓備降機場是應變處置的可能選項之一。

在飛行前的任務提示，飛行員應熟悉目的地機場的側風限制（Crosswind Limit），包括正側風（steady crosswind）與陣側風（gusty crosswind）條件；這跟所在天氣系統、山脈地形以及氣流流場有絕對的關聯性。充分利用空管提供的實時風速和風向數據，而在執行航機降落階段，也能通過機上系統即時監控陣風強度。保持穩定進場，在五邊階段，保持精確的進場速度與下滑道；通常，過高或過低的速度會放大風切與陣側風效應的影響。飛行員亦應靈活使用舵面，方向舵和副翼的協調使用是應對陣側風的關鍵，避免過度修正，導致航機反而進一步失穩。如果，增加進場速度，一般加速至陣風風速的50%做為預留量（例如，假設陣風為15節，則進場速度增加7.5節），藉以對抗風速的突然變化。也需考量降落環境的地形和障礙物影響，機場周圍的地形也可能會引發亂流或改變風場分佈，增加進場的困難度。

通常，在航機五邊進場前，飛行員應搜尋參考機場的即時風速、風向資訊（如ATIS廣播），進行飛行決策資訊的參考之一。另一方面，善用機場的低空風切變預警系統（LLWAS）、多普勒雷達即時監測和地面氣象站觀測資料，亦能有效協助機組判斷陣側風肇生演變的最新動態發展，藉此決定是否

適合繼續執行降落任務。

在著陸技術選擇上，也可適時調整修正。對於中大型噴氣式客機，通常採用對正跑道法，並在觸地瞬間進行機頭修正；對於小型飛機或螺旋槳飛機則更常用側滑法，則可保持更高的控制精度。

2、航機與機場基礎設施的改善：

在航機控制系統提升的方面，增強橫向控制系統，現代航機採用更高效的自動飛行控制系統（AFCS）和飛行增穩技術，有效協助飛行員在陣側風條件下，更能準確地控制航機。另一方面，在陣側風的環境下，自動調整垂直尾翼的偏航動作，減少陣側風所引起的航向偏移問題。同時，改進飛行管理系統（FMS），引入先進的預測功能，根據實時天氣數據情資，調整進場參數，降低陣側風可能帶來的影響與干擾。

在機體設計改良方面，採用改良的翼尖設計和副翼結構（如波音777X的折疊翼尖技術），提升航機在陣側風條件下的穩定性和操控性能。另一方面，增加尾翼面積或強化尾翼結構，幫助抵抗強側風所帶來的橫向力。同時，也可以思考強化提升起落架的側向抗風能力，確保在跑道接地時的穩定性維持。

在機場跑道設計方面，評估在風向變化頻繁的機場（如橫風較強的地區），建設多條方向不同的跑道（如35/17跑道和04/22跑道），提供較多樣化的五邊進場選擇。另一方面，改善跑道防滑表面，增加跑道表面摩擦力（例如：鋪設防滑塗層），減少航機在陣側風著陸時的滑移風險。

在機場導航與氣象監測系統方面，強化擴充低空風切變預警系統（LLWAS）功能，部署高精度的陣風和側風監測雷達，實時監測低空風場變化，提前警告風切變和陣風的肇生。另一方面，增強儀表進場系統（ILS）功能，幫助飛行員在惡劣天氣下，更能準確地對準跑道中心線，也可減少陣側風所肇致的可能風險。

伍、結論：

五邊進場階段的陣側風對航機落地構成重大挑戰，尤其是風速與風向的突發變化，可能導致對航機的穩定性、操作難度以及落地安全性產生顯著的影響外；甚至，因而肇生飛安事件。

陣側風是指具有快速變化特性的側風，即以側向作用於航機的風力，其特徵在於風速和風向的短時間內急劇變化。除了會肇致航行方向控制上的困擾，可能在短時間內，改變航機左右兩側機翼的氣流角度，進而改變升力分布之外，進一步影響航機的穩定性，甚至影響或破壞環境氣流流場的均一穩定特性。根據氣候統計顯示，陣側風現象多發於對流性天氣（例如：雷暴系統）、氣旋系統（例如：颱風系統）或高氣壓與低氣壓之間的過渡區（例如：鋒面系統）；而發生在地面至約 300 米高度低空層的頻率最高，低層大氣受到地面摩擦作用影響，風速降低且產生紊流，導致陣側風特性更加顯著。

面對航機著陸速度與地速可能差異過大，強側風使得航機的橫向穩定性降低，此時，就需要進行側滑法（Crab）或翼低法（Wing Low）來進行修正操作；若遭遇到陣風過大，就可能導致著陸不穩定，需要機組

迅速調整修正飛行姿態。另一方面，在陣風條件下，風速的突然變化，可能導致航機瞬間失穩，產生橫傾或俯仰等現象，飛行員需快速反應，積極應變，妥慎處理。在穩定五邊進場階段，飛行員必須進行側風修正，通常可以採用對正跑道法（航機機頭對準側風方向，使得航向與地面跑道對齊，當航機著陸時，則迅速修正機頭方向）以及側滑法（五邊進場，使用副翼和方向舵控制，讓航機在著陸過程中保持對準跑道方向）等因應陣側風的肇生與干擾影響。

飛行員在操作航機進場前，需提前熟稔進場的風速參數與完善環境風場評估，加強飛行員的側風操控訓練，尤其是在模擬器中模擬強側風和陣風條件的訓練課程。若在強烈陣側風的條件下，需在風險管控的首要考量下，選擇延遲降落或另覓備降機場是應變處置的可能選項之一。在航機五邊進場前，飛行員應搜尋參考機場的即時風速、風向資訊，進行飛行決策資訊的參考之一。另一方面，善用機場的低空風切變預警系統、多普勒雷達即時監測和地面氣象站觀測資料，亦能有效協助機組判斷陣側風肇生演變的最新動態發展，藉此決定是否適合繼續執行降落任務。

在航機控制系統提升的方面，增強橫向控制系統，現代航機採用更高效的自動飛行控制系統和飛行增穩技術，有效協助飛行員在陣側風條件下，更能準確地控制航機。另一方面，在陣側風的環境下，自動調整垂直尾翼的偏航動作，減少陣側風所引起的航向偏移問題。同時，改進飛行管理系統，引入先進的預測功能，強化擴充低空風切變預警系統功能，部署高精度的陣風和側風監測雷達，根據實時天氣數據情資，調整進場參數，

降低陣側風可能帶來對飛航安全的影響與干擾。

參考文獻：

Cao, Y., Wu, Z. and Xu, Z.,2014： Effects of rainfall on aircraft aerodynamics, Progress in Aerospace Sciences, 71, 85–127.

Z. Wu, Y. Cao and M. Ismail,2019：Gust loads on aircraft, The Aeronautical Journal ,123,1216-1274.

林得恩，2022：全球氣候變遷下的飛航安全維護，財團法人中華民國台灣飛行安全基金會，飛行安全半年月刊，3-16。

林得恩，2024：伴梅雨鋒面個案之數值模擬研究，飛航天氣，41，1-28。

莊耀中、林裕豐與林得恩，2005：低雲幕對飛航安全影響之統計研究。氣象預報與分析，182，17-24。

永續航空燃油概論

陳敬霖，楊文忠
中華民國民航飛行員協會

摘要

本文全面介紹了永續航空燃油（Sustainable Aviation Fuel, SAF）的特性及其作用，強調了其在大幅減少溫室氣體排放，以及對現有航空基礎設施兼容性方面的優點。同時也提到目前 SAF 在推廣中所遇到的重大挑戰，如高生產成本等因素。本文中亦探討了國際民航組織（ICAO）於全球各地如歐洲、美國和台灣等地推動 SAF 的政策與推廣舉措，並進一步理解此類政策與舉措如何通過適當的監管框架和激勵措施，有效地促進了 SAF 的發展。

本文使用之圖片僅為評論或研究目的，屬於合理使用範疇（Fair Use）。原作版權歸屬於原作者，無意侵犯其合法權益。如有任何疑問，請聯繫中華民國民航飛行員協會。

1. 永續航空燃料的介紹

永續航空燃料（SAF）是一種由可再生資源所產生的燃料，其原物料包括廢油、農業殘渣和其他生物質。它擁有可以替代傳統航空燃料的「即插即用」替代品之特性，意味著它可以在不需要修改現有飛機引擎和儲油基礎設施的情況下使用。根據國際民航組織（ICAO）的技術分析，SAF 在生命週期排放值上可將溫室氣體排放量減少高達 80%。

SAF 的轉換過程涉及原物料之預處理與特定條件下的化學反應，這個過程通常包括了廢物和生物質的再利用，不僅減少環境影響，且通過廢物利用更彰顯了其價值。儘管目前生產成本較高且供應有限，但隨著技術

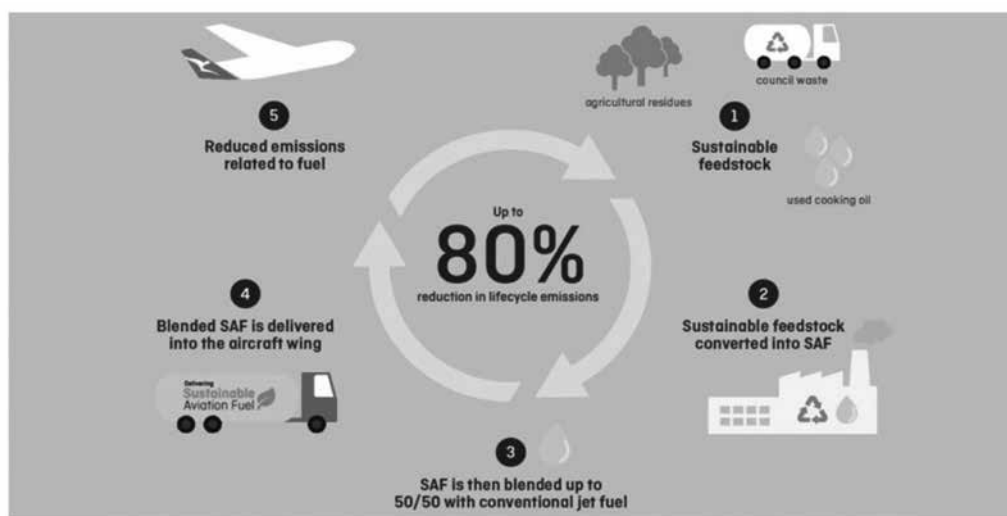


圖 1 永續航空燃料減少生命週期排放（來源：Action Renewables Energy Trading Ltd, 2022）

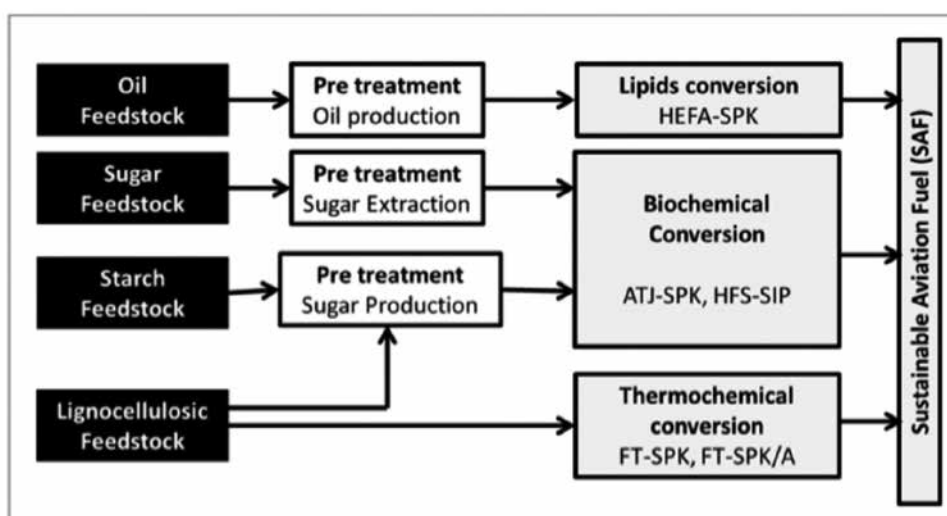


圖 2 轉換過程概念圖（來源：ICAO Sustainable Aviation Fuel Guide, 2017）

進步和支持政策的推動，SAF 的可行性和普及性有望在未來持續提升。

全球各地的多項舉措正在探索如何有效地將 SAF 融入運營使用中，以實現對永續航空的承諾。本教程旨在詳細介紹 SAF 的各個方面，從探討優缺點到未來前景，使我們的飛行員能充分了解並參與永續燃油之發展。

2. 背景

二十世紀末期，全球暖化的加劇引起了各國政府的關注，氣候變遷和溫室氣體之減排也成為了不可忽視的議題問題。隨著針對溫室氣體之監管與和監督的增加，國際民航組織（ICAO）在 2009 年舉行了第一次的航空和替代燃料會議（CAAF/1）。自此以後，有關減碳排之會議相繼舉行，而永續航空燃

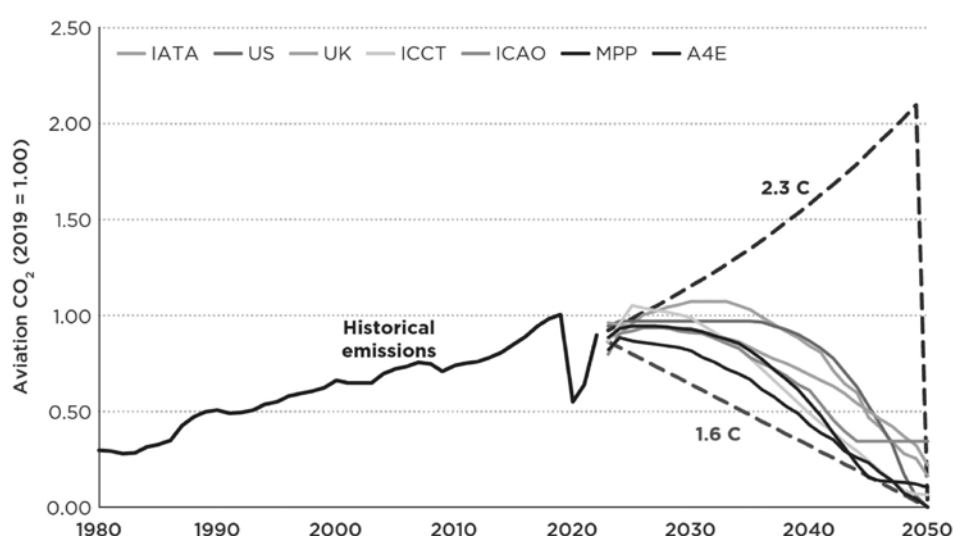


圖 3 不同組織針對航空業碳排放軌跡及其對氣溫之影響預測圖
（來源：International Council on Clean Transportation Policy Update, 2023）

料（SAF）則在 2010 年首次成為議題之一。當時 SAF 雖被認為是應對氣候變遷的潛在解決方案，但最初並未得到顯著的關注。

隨著氣候變遷和全球暖化的速度遠超出了預期，人們對永續環境的需求變得更加緊迫。2015 年，巴黎協議訂定了將全球溫度上升限制在工業化前之水平 2°C 以下的目標，同時努力將溫度上升限制在 1.5°C，並強調了各個行業立即採取協同努力減少碳排放的必要性，此中也包括了航空業。

在巴黎協議的推動下，已擁有豐碩研究成果的 SAF 為國際組織提供了極佳的解決方案，也促成了國際航空業碳抵消與減排計劃（CORSIA）及其的發展。CORSIA 提供了對永續的明確定義和施行方案，也包含對生命週期排放之分析。到 2021 年，技術和研究的進步使 ICAO 有足夠信心將目標設定於 2050 年實現碳中和。隔年，長期願景目標（LTAG）協議更突顯出了 SAF 對於作為減少二氧化碳排放之價值。

3. 永續航空燃料（SAF）的優缺點

各國政府、國際組織與研究單位針對 2050 年實現碳中和的共識使 SAF 成為航空業的焦點。經過數年研究的 SAF 與其他永續燃料相比，擁有獨特的優勢，特別是應用在航空業之中。

3.1 SAF 的優點

3.1.1. 減少溫室氣體之排放

根據國際航空運輸協會（IATA）的永續航空燃料實錄表，SAF 與傳統航空燃料相比，可減少 80% 的生命週期溫室氣體排放，如此顯著的減排有助於應對氣候變遷，並實

現全球減少碳足跡以達成碳中和之目標。

3.1.2. 與現有引擎及油箱之兼容性

SAF 的一大優勢是其「即插即用」之兼容性，此特色在多個出版物及文獻中皆有詳細記錄，如 ICAO 永續航空燃料指南。根據這些資料顯示，SAF 可在不修改現有飛機引擎及燃料儲存基礎設施的情況下使用。相較於其他替代燃料對於現有設備及系統需進行大規模的變更，這種兼容性使 SAF 的推廣更為容易，也更具成本效益。

3.1.3. 多樣化的原料供應

SAF 可以通過多種轉換過程從不同的永續資源中生產，其原物料包括廢油、農業殘渣、工業固體廢物，甚至是從大氣中捕獲的二氧化碳。這種原料多樣性之特色有助於廢物利用，且能確保燃料的穩定並持續之供給，從而減少對單一資源的依賴。此原物料多樣性的生產方式提升了 SAF 生產的韌性和可擴張性。

3.1.4. 能量密度和性能

SAF 具有與傳統航空燃料相似的高能量密度，這滿足了長途飛行所需的能源特色，因此對航空業來說是至關重要的。此種高能量密度使 SAF 成為長程航空應用的合適選擇，相較之下，其他永續燃料（如電池驅動或氫燃料）目前仍舊面臨著難以實現相近之能量密度的重大挑戰，導致此類能源不適合應用於長途飛行，而這類問題預估在 2040 年前也難以得到解決。

3.1.5. 減少非二氧化碳之排放

除了減少二氧化碳之排放外，由美國國家科學院贊助的最新研究發現，SAF 與傳統航空燃料進行一比一混合使用時，可有效地

將懸浮微粒（PM）減少高達 65%、硫氧化物（SO_x）減少近 40%，這一 SAF 特性在應對航空業氣候影響方面表現出極高的效率。根據歐洲聯盟航空安全局（EASA）的最新報告，非二氧化碳之排放（如懸浮微粒和硫氧化物的排放）對氣候的影響可達到二氧化碳的三倍之多。

3.2 SAF的缺點和挑戰

雖然 SAF 具有許多優點，但也面臨著一些仍需解決的缺點和挑戰，以確保其更廣泛的應用和推廣。以下列出 SAF 的主要缺點：

3.2.1. 高生產成本

- 原料成本：用於生產 SAF 的原物料（如廢油、農業殘渣和其他生物質）可能非常昂貴，且這些原物料運輸到生產設施、儲藏的成本也會進一步增加整體費用。
- 生產過程：將原物料轉化為 SAF 所使用的先進技術成本高昂，包括苛刻的反應環境和特定催化劑的使用，且此尚未針對大規模生產來做完全優化的情形也助長了更高的生產成本。
- 市場價格：目前 SAF 的價格是傳統航空燃料的二到五倍，而航空公司因其運營利潤率較低，導致對燃料成本波動非常敏感，此類顯著的價格差異會降低航空公司採用 SAF 之意願。

3.2.2. 生命週期排放

- 生命週期排放：雖然 SAF 減少了直接的二氧化碳之排放，但如果未能有效地做到永續管理 SAF 的整體生命週期，從原料栽培到生產的過程仍可能產生大量的碳排放。為此 ICAO 已訂定了一套 CORSIA 預設的生命週期排

放值，可用作評估這些排放的參考依據。

- 土地使用變化：部分 SAF 生產過程需要建設額外設施，這可能導致直接土地使用變化（LUC）排放。此外，某些原物料也可能會導致間接土地使用變化（ILUC），如造成森林砍伐、生境喪失，因而增加碳排放，失去真正的永續意義。

3.2.3. 有限的可用性和可擴展

- 原料供應：根據 CORSIA 之規定，為了滿足永續要求，不得使用抑制食品生產或導致森林砍伐的原物料來生產 SAF，這一限制導致了永續的原物料之供應，使得原物料匱乏無法滿足不斷增長的 SAF 生產需求。
- 生產能力：目前的 SAF 生產基礎設施非常有限，要擴大規模以滿足迅速增長的全球航空燃油需求則需要大量的投資及時間。
- 基礎設施：擴展 SAF 之生產、配送和儲存的基礎設施是一個繁雜且資源密集的過程，包括建設新設施和升級現有設施以應對 SAF 之轉換過程，且為遵守 CORSIA 的相關規定，這類建設需要仔細規劃以避免 ILUC，進一步複雜化整體的擴展工作。

3.2.4. 技術和監管挑戰

- 技術開發：許多 SAF 技術仍處於研究和開發階段，且大規模的生產也需要進行持續的條件優化與設計，顯示此生產過程尚未能有效地進行商業或大規模部署之挑戰。
- 政策和激勵措施：促進 SAF 生產和採用需要諸多的政府政策配合，倘若支

持力度不足或不成熟將會減緩進展。

3.3 與其他可持續燃料的比較

在其他永續燃料技術仍處於發展期間，SAF 在其與現有飛機結構和航空基礎設施的兼容性、顯著的碳排放減少、原物料的多樣性和強大的監管政策支持下，脫穎而出。

這些因素使其成為減少航空環境影響的可行且有效的解決方案。儘管仍存在挑戰，但全球持續不斷地研究，有望開發出大規模降低 SAF 成本的實際方法，而隨著成本降低，SAF 的盈利能力將吸引更多投資，進一步加速其推廣及生產。

方面	細節
SAF 的優點	1. 減少排放：減少多達 80% 的生命週期溫室氣體排放。 2. 兼容性：與現有引擎和油箱兼容。 3. 多樣化原物料：由廢油、農業殘渣和二氧化碳生產。 4. 高能量密度：適合長途飛行。 5. 減少其他排放：減少顆粒物和硫氧化物。
SAF 的缺點和挑戰	1. 高成本：昂貴的原料和生產。 2. 生命週期排放：生產過程中可能產生的排放。 3. 有限的供給：受限的原物料供應和生產能力。 4. 技術挑戰：許多技術、優化仍在研究中。
與其他永續燃料的比較	1. 電池驅動：零排放，低能量密度，只適用於短途。 2. 氫燃料：高能量密度，基礎設施挑戰性極高。 3. 地面運輸之生物燃料：減少排放，但可能與食品競爭。 4. 可再生柴油：減少排放，但並不適用於航空業。

表 1 SAF 之優缺點及比較表

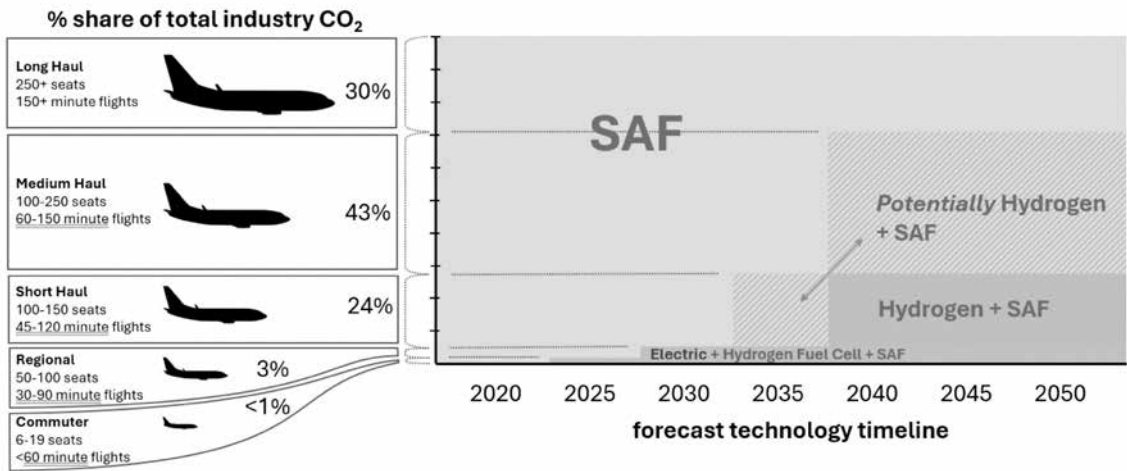


圖 4 預測航空業替代能源與航線之百分比
(來源：Waypoint 2050 Report)

4. 永續航空燃料的政策和前景

二十一世紀初設定的減緩全球暖化之目標，促成了各種實現該目標之途徑的發展。在此，我們將討論全球、歐洲、美國和台灣四方的政策和前景。

4.1 政策面

全球：

ICAO 於 2018 年的國際認證論壇（IAF）上首次推動了國際航空業碳抵消與減排計劃（CORSIA）的概念。2020 年間，在網羅了相當數量的數據後，ICAO 整理並發布了「國際航空業碳抵消與減排計劃實施要素」，建立了針對國際航空減碳排的指導原則，此原則同時考量了各 ICAO 成員國個別之情況，以求盡可能減少市場的標準落差。

CORSIA 旨在通過碳抵銷之方案將國際航班的淨二氧化碳排放量限制在 2020 年之水平。實施總共分為三個階段：

- 測試階段（2021-2023 年）：國家自願參與；
- 第一階段（2024-2026 年）：持續自願參與；
- 第二階段（2027 年起）：所有 ICAO 成員國強制參與，部分低發展國家可獲豁免。

CORSIA 的實施機制包括以下組成部分：

- 碳抵銷：航空公司抵銷義務使航空公司需要透過購買合格碳權以抵銷超過 2020 年碳排放之水平。此購買碳權之行為等同於減少或移除了等量的二氧化碳。具體的計算方法和規定在 ICAO CORSIA 概覽中詳述。

- 監測、報告和核查（MRV）：此機制規定航空公司必須監測其碳排放並進行年度報告，且其數據須經由第三方核查。ICAO 於相關手冊中提供了本系統的詳細指南。
- 永續航空燃料（SAF）：航空公司可使用 SAF 來減少其抵消義務，前提是該 SAF 須符合 ICAO 訂定之永續標準。SAF 之生產必須經過 ICAO 核可的認證計劃（例如 ISCC 或 RSB）認證，確保其與傳統航空燃料相比有較低的生命週期碳排放，並符合土地使用、水、空氣和生物多樣性相關的其他標準。

歐洲：

歐洲通過多方位的政策推動 SAF 以求達到其應對氣候變遷之目標：

- 歐洲綠色新政：這項政策宗旨在令歐洲於 2050 年能夠成為首個碳中和地區，政策中包含促進 SAF 在航空業使用的具體措施。其中一項關鍵措施為「ReFuelEU Aviation」，提議逐步增加 SAF 於航空燃料中比例之規定。燃油供應商需於 2025 年混合至少 2% 的 SAF；於 2030 年進一步提升達到 6%；並於 2050 年達到 70% 以上，此措施不僅確保 SAF 使用的逐步增加，更極大地促升 SAF 的未來需求和推廣。
- 可再生能源指令（RED II）：本指令訂定了歐盟須於 2030 年前將其總能源消耗中至少 32% 替換成可再生能源（包括 SAF）之目標，並建立了嚴格的永續標準，其中涵蓋土地使用和生物多樣性等面向，確保可再生能源之生產不會對富含生物多樣性之區域或環境產生負面影響。RED II 於交通運

輸方面特別強調了 SAF 之重要性，不僅提供額外的激勵政策，更鼓勵企業對於 SAF 生產設施和供應鏈之投資，從而支持航空領域向永續能源的轉型。

- Fit for 55 系列法案：本法案於 2021 年推出，確保歐盟政策與 2030 年溫室氣體排放減少 55% 之目標一致，其中包括修訂替代燃料基礎設施條例（AFIR）以支持在歐盟各機場部署必要之 SAF 相關基礎設施。
- 歐盟碳排放交易系統（EU ETS）：此機構為全球最大的碳市場，規範了歐洲經濟區內運營的航空公司必須監測、報告和核查其碳排放，並購買碳排放配額以彌補其超出規定之排放。此機制有效地激勵航空公司使用 SAF 以減少碳排放並遵守規範之排放上限，進而確保 SAF 之需求及相關設施之投資。

美國：

美國實施了多項關鍵政策及法規來促進 SAF 的生產與使用，其舉措包括：

- 混合商稅收抵免：旨在透過提供每加侖 SAF 與傳統航空燃料之混合燃料 1.00 美元的稅收抵免來增加 SAF 的生產及其競爭力，這種財政刺激措施縮小了 SAF 與傳統航空燃料之間的價格差距。
- 低碳燃料標準（LCFS）：該標準旨在降低加州交通燃料的碳排放，其內容包括向低碳燃料之供應商提供補助，鼓勵永續能源之發展。
- 永續航空燃料挑戰：該舉措於 2021 年啟動，目標於 2030 年將 SAF 生產量增加到每年 30 億加侖，並於 2050 年完全滿足航空燃料之需求。本措施協同多個聯邦機構與私營部門的合作與努力，專注於透過提供技術與財政支持來擴大 SAF 生產及科技創新，確保

What will change



The ReFuelEU aviation regulation will oblige:

1. aircraft fuel suppliers at EU airports to gradually increase the share of sustainable fuels (notably synthetic fuels) that they distribute

Minimum share of supply of sustainable aviation fuels (in %)

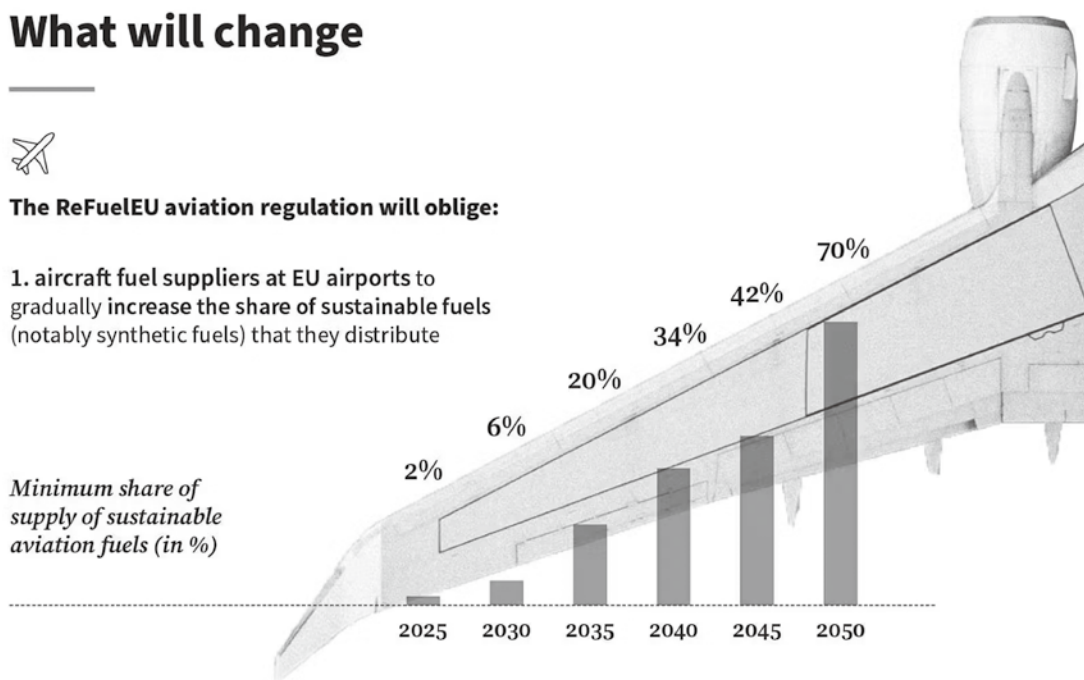


圖 5 ReFuelEU Aviation自2025至2050之SAF規範
(來源：AviationPros, Ground Handling, 2023)

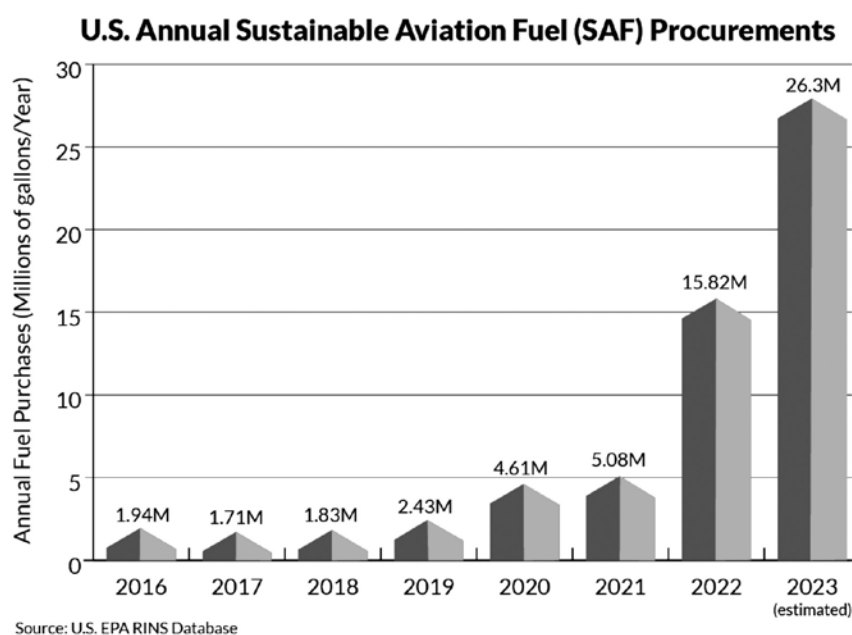


圖 6 美國SAF採購情況（2016-2023）
（來源：Source: U.S. EPA RINS Database, 2022）

永續燃料之穩定供應。

- 兩黨基礎設施法案：該法案於 2021 年通過，在五年內分配了五億美元資金以財政支持 SAF 生產與配送所需之基礎設施的發展，而美國能源部則分配了 6470 萬美元專門用於擴展 SAF 相關項目。
- 自發性碳抵銷計劃：此為鼓勵航空公司通過購買 SAF 來減少其碳排放之永續計劃。部分航空公司自發性地參與這些計劃，不僅支持 SAF 生產並滿足其碳減排目標，更能獲得稅收抵免。目前，如美國航空、達美航空和漢莎航空皆已實施了類似的自願碳抵銷計劃，提供乘客選擇性地使用 SAF 以減少其旅行碳足跡的選項。

台灣：

- 可再生能源發展法：該法案提供了研究可再生能源及其應用的鼓勵措施，

促進可再生能源的開發，包括 SAF 之生產及使用。

- 溫室氣體減量及管理法：該法設立了具體的溫室氣體減排目標，並實施碳排放定價機制以推廣永續燃料。其目標為於 2025 年將溫室氣體排放減少至 2005 年之水平，並於 2030 年達成較 2005 年減少 20% 之排放，最終於 2050 年實現減量 50%。此類措施旨在鼓勵朝低碳經濟轉型並增加永續能源的使用。
- 2050 淨零碳排計劃：目標於 2050 年實現溫室氣體淨零排放，此計畫更彰顯了 SAF 所扮演的關鍵角色。

4.2 前景

全球：

由 ICAO 所推動的 CORSIA 對 SAF 訂定了嚴謹的標準，並每年持續更新其框架以確保能達到實質意義上的排放減少及最小負

面影響，此過程不停地透過反饋來改進，以達到永續發展的最佳實踐與科學進展。

為達成 2050 年國際航線實現碳中和的目標，CORSIA 訂定了相關認證標準，要求永續燃料需較傳統航空燃料減少至少 10% 的溫室氣體排放。首批達到此 CORSIA 標準之 SAF 也於 2023 年 6 月成功認證，標誌一個重要的里程碑。ICAO 的「永續航空燃料援助、能力建設及培訓（ACT-SAF）計劃」更全面地提供技術和財政支持，同時也促進國際合作，以求增強 SAF 的生產及配送能力。

截至 2024 年 1 月 1 日，共有 126 個國家參與 CORSIA，顯示出諸國對航空業永續發展的積極態度。此外，CORSIA 也在籌劃一套全球化之 SAF 儲值系統，使航空公司即便在無法取得 SAF 之機場，也能利用已儲值之 SAF 額度來達到永續環保的效果。

歐洲：

歐洲通過監管框架、財政激勵和基礎設

施的投資迅速地推動了 SAF 市場，其關鍵措施包括 EU ETS 和 ReFuelEU Aviation 倡議，明確要求航空公司於 2025 年前需在航空燃料中添加一定比例之 SAF。綠色新政、歐洲地平線計劃的財政支持、稅收豁免及補貼有效率地推動了 SAF 的生產及需求，對生產設施和配送網絡的投資也確保了 SAF 能高效地送達機場，而與 CORSIA 及國際組織的合作更為 SAF 之生產制定出了合理的參考依據；研究及開發方面則得到了科研中心、試點項目及公私企業合作（如 Clean Sky 聯合計劃）的支持，諸多努力皆為建立一個繁盛的 SAF 市場以減少航空業碳排放，並幫助歐洲實現其目標。

美國：

美國大量地投資於研發，以優化現有 SAF 之轉換過程，並開發利用廢料和先進生物燃料之新穎 SAF 生產技術。同時也積極推動清潔燃料標準（CFS），一項類似於加州低碳燃料標準（LCFS）的聯邦法規提案，進一步統一全美國之步調，促進 SAF 和其他

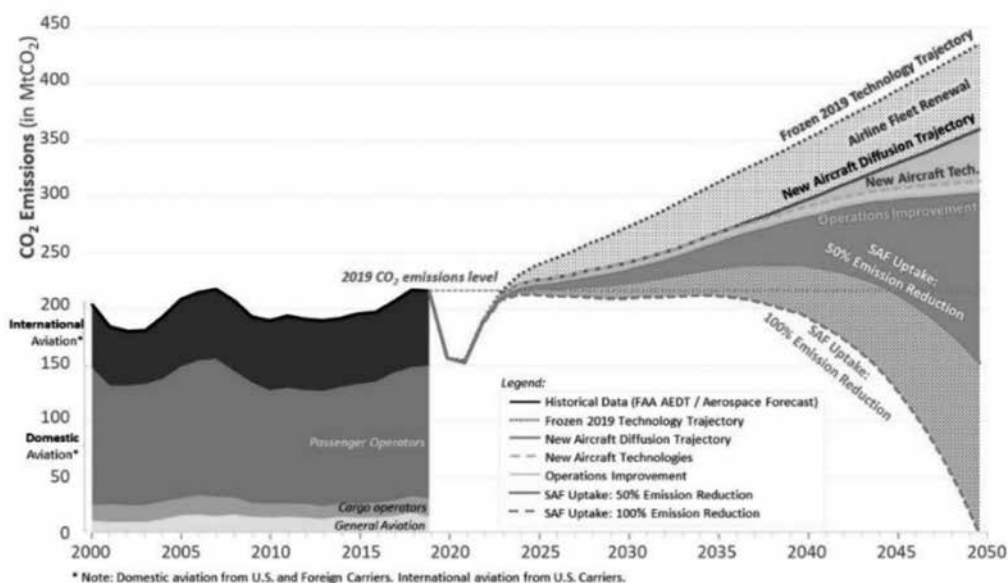


圖 7 美國國內與國際航線二氧化碳排放之分析與SAF減碳排之預期
（來源：FAA. United States Climate Action Plan, 2021）

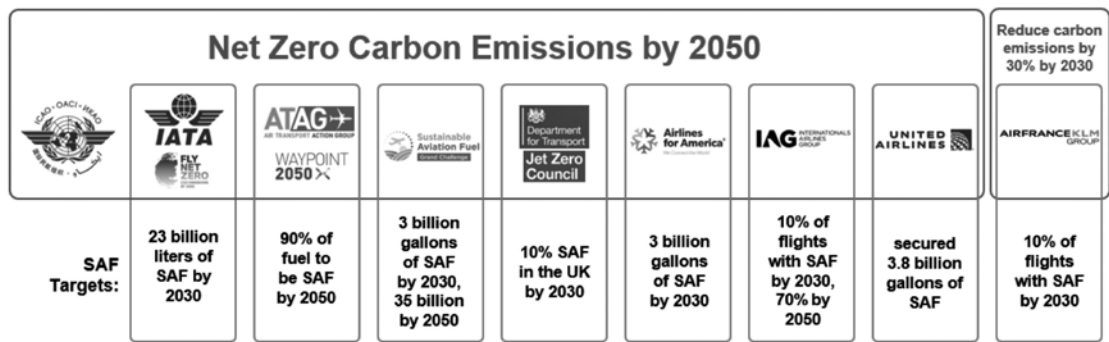


圖 8 各組織2050年實現碳中和之舉措
(來源：Climate Drift, SAF Solution and Framework, 2024)

低碳燃料的推廣及採用。隨著眾多的投資和政策支持，加上作為世界上最富農業生產力的國家之一，美國有望成為全球 SAF 產量之最，減少航空業碳排放，並創造新的經濟機會。

台灣：

台灣正在積極推動其永續航空燃料（SAF）計劃。中華航空於 2023 年完成了首趟使用 10%SAF 混合燃料之客運航班，展現出其對於減少碳排放的決心。於 2025 年上半年，台灣中油公司預期將以桃園機場作為中油公司試點項目的主要機場，完成後可向各航空公司供應 SAF。民航局（CAA）目標於 2030 年前，使台灣航空公司 SAF 使用量達到 5%，以符合 ICAO 減碳排目標。台灣積極地參與國際組織合作關係（如 CORSIA）將能更進一步提升其 SAF 之生產能力和部署，確保與全球淨零碳排的步調一致。

5. 結論

永續航空燃料（SAF）是全球減少航空業碳排放戰略的重要元素，巴黎協議與 CORSIA 設立之 2050 年實現碳中和的目標在在突顯了 SAF 的重要性。全球針對該目標

所推動之措施（如 ICAO 的 ACT-SAF 和美國永續航空燃料挑戰）展現了積極推廣 SAF 生產和基礎設施的努力；歐盟透過如歐洲綠色新政和 ReFuelEU Aviation 倡議等政策的引領，確保了提升 SAF 的使用並多面向地支持研發與基礎設施；台灣擁有良好的資源回收政策和技術專業知識，具有顯著提升 SAF 能力的潛力，其預期進行的試點項目中，將 SAF 融入主要機場以提供各航空公司使用。然而，更進一步的政策發展、基礎設施擴建及國際合作是必要的。台灣應專注於推廣有效政策、增加 SAF 投資並促進國際合作，於主要機場建立良好的生產及配送網絡，透過結合其已有的資源回收法令並融入全球性的舉措，台灣可以顯著降低航空業碳排放，並在 SAF 推廣中佔據領先地位。積極的政策與實踐全球合作將使台灣實現其 2050 年碳中和目標，創造驚人的經濟效益並推動 SAF 市場的創新與發展。

6. 參考書目

- AVIATION'S GREEN FLIGHT-PATH IN FOCUS on <https://eurac.tv/9S0l>
- California Low Carbon Fuel Standard (LCFS) regulations on <https://ww2.arb.ca.gov/our->

[work/programs/low-carbon-fuel-standard/lcfs-regulation](#)

- China Airlines Sustainability Flight Leads the Way with Low Carbon Meals and Net Zero Carbon Emissions on <https://www.china-airlines.com/sea/id/discover/news/press-release/20230522>
- CPC to import Taiwan's first SAF for 2025 trial on <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2580818-cpc-to-import-taiwan-s-first-saf-for-2025-trial>
- Delta Airlines SAF commitment “How Delta is fueling a more sustainable future during Earth Month and beyond” on <https://news.delta.com/how-delta-fueling-more-sustainable-future-during-earth-month-and-beyond>
- Electric Vehicle (EV) and Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) Tax Credit (Blender's Tax Credit) on <https://afdc.energy.gov/laws/409>
- E-SAF: Techno-Economics of PtL and PtH2 Focus North America and Europe on https://lbst.de/wp-content/uploads/2023/12/DA-E-SAF_Report_final_2023_12_04.pdf
- Estimating Sustainable Aviation Fuel Feedstock Availability to Meet Growing European Union Demand from International Council on Clean Transportation on <https://theicct.org/publication/estimating-sustainable-aviation-fuel-feedstock-availability-to-meet-growing-european-union-demand/>
- European Aviation Environmental Report 2022 Executive Summary and Recommendations on https://www.easa.europa.eu/eco/sites/default/files/2023-02/EnvironmentalReport_EASA_summary_12-online.pdf
- European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions from EU ETS on https://malta.representation.ec.europa.eu/news/european-green-deal-commission-proposes-transformation-eu-economy-and-society-meet-climate-ambitions-2021-07-14_en
- European Union Aviation Safety Agency (EASA) SAF on <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/sustainable-aviation-fuels-saf>
- European Union Green Deal on https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_19_6691/IP_19_6691_EN.pdf
- Fit for 55 package on [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI\(2022\)_733513_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733513/EPRS_BRI(2022)_733513_EN.pdf)
- How Aviation Stakeholders are Taking Steps to Comply with ReFuelEU Regulations from

- AviationPros on <https://www.aviationpros.com/ground-handling/article/53080532/how-aviation-stakeholders-are-taking-steps-to-comply-with-refueu-eu-regulations>
- IATA Developing Sustainable Aviation Fuel on <https://www.iata.org/en/programs/environment/sustainable-aviation-fuels/>
 - ICAO Conversion Processes on <https://www.icao.int/environmental-protection/SAF/Pages/Conversion-processes.aspx>
 - ICAO document “CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels” on https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202022.pdf
 - ICAO Sustainable Aviation Fuel Guide on https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_100519.pdf
 - ICAO Sustainable Aviation Fuel on <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF.aspx>
 - ICAO’s ACT-SAF initiative on <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/ACT-SAF.aspx>
 - ICAO’s CORSIA on <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/SARPs-Annex-16-Volume-IV.aspx>
 - Innovation Fund: grant agreements signed with further 16 innovative large-scale projects from EU Emissions Trading System (EU ETS) https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/innovation-fund-grant-agreements-signed-further-16-innovative-large-scale-projects-2023-01-19_en
 - Lufthansa voluntary carbon offset program “Carbon-neutral flying” on <https://www.lufthansa.com/content/lh/gc/en/carbon-offsetting>
 - News from ActionRenewables about Sustainable Aviation Fuel (SAF) on <https://actionrenewables.co.uk/news/sustainable-aviation-fuel-saf/>
 - Paris Agreement on https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
 - ReFuelEU Aviation initiative on https://commission.europa.eu/document/download/b94c33cd-7249-4b4e-9c0d-5a0f8aed6b1d_en
 - Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II) on https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/reference-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en
 - Renewable Energy Directive (RED II) on <http://data.europa.eu/eli/>

[dir/2018/2001/oj](#)

- Sustainable Aviation Fuel 'Facilitation Initiative' Grant Agreement EASA.2015.FC21 on <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/research-reports/grant-agreement-easa2015fc21-0>
- Sustainable transport from EU ETS on https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/sustainable-transport_en?prefLang=ro
- The benefits of Sustainable Aviation Fuel go beyond CO₂ on <https://aviationacrossamerica.org/news/2020/12/15/the-benefits-of-sustainable-aviation-fuel-go-beyond-co%e2%82%82/>
- The Challenge Ahead: A Critical Perspective on Meeting U.S. Growth Targets for Sustainable Aviation Fuel from National Renewable Energy Laboratory <https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/89327.pdf>
- U.S. Bipartisan Infrastructure Law on <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/05/BUILDING-A-BETTER-AMERICA-V2.pdf>
- U.S. Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge from DOE on <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/beto-saf-gc-roadmap-report-sept-2022.pdf>
- United Airlines' Eco-Skies Alliance program on [\[united.com/en/us/fly/company/responsibility/eco-skies-alliance.html\]\(https://www.united.com/en/us/fly/company/responsibility/eco-skies-alliance.html\)](https://www.</div><div data-bbox=)

- United States National Academies of Sciences on <https://www.nationalacademies.org/topics/environment-and-environmental-studies>
- Updated analysis of the non-Co₂ effects of aviation from Eu Ets on https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/updated-analysis-non-co2-effects-aviation-2020-11-24_en?prefLang=sk

儀器飛航訓練—以台東豐年機場至松山機場為例

華信航空 喬鴻發

壹、前言：

低於目視天氣標準以外的天氣狀況均稱為儀器天氣，目視飛行是指在能見度、距雲距離及雲幕高，等於或高於目視天氣最低標準時的天氣情況（註 1）下飛行。人類自開始飛行以來便是從目視飛行開始發展，不需複雜的程序和儀器，用最簡單、直接的方式來飛行，就是用眼睛去看，但是也由於對外界環境參考的高度依賴，最大缺點就是易受限天候影響而無法飛行。

貳、儀器飛行訓練

初學飛行的學員 PPL 訓練課程結束後，進入下一學習階段，即所謂儀器飛行訓練（Instrument Rating Training），概括來說，是訓練飛行員在法規要求下運用飛機上的儀表、航電與地面助導航設施或是衛星定位等方式，依照標準程序所進行的飛行活動。整個訓練課程重要元素有以下：

一、儀器原理

在 IR 地面學科裡，學員學習飛機儀器的運作原理，如高度計、空速表、姿態儀等，以及各種地面助航設施如 VOR、NDB、ILS 系統和衛星導航的組成，與其在飛機上顯示的關係解讀等，學員必需達一定程度的了解，方能進入

飛行術科階段。

二、航圖解讀

常常聽到有人會問，那沒有飛過的機場你們怎麼飛？答案就是「看航圖就要會飛」，航圖提供方向、高度、速度、安全保護及限制等飛行相關資訊，有效提供飛機起降所需標準參數，研讀航圖也是飛行前準備工作重要的一環。

三、對飛機性能的了解

依照飛機製造商提供手冊（AFM，Airplane Flight Manual）飛機在爬升、巡航、下降等階段的耗油量與速度，再依照飛行距離及時間等，計算全航程所需油量，並確保重量與平衡在起飛及落地階段均在操作限度範圍內。

四、天氣因素影響

台灣夏季與冬季天氣形態不同，夏季午後易產生對流雲系的雷雨，冬季則受東北季風影響風勢較大，對航路、巡航高度（順風、逆風，高空省油、低空耗油）選擇、起降機場狀態（考量額外油量）等都有影響。

五、法規要求

包含主管機關民航法規、公告的飛航規則、公司學校的航務手冊 FOM（Flight

Operation Manual) 等，其內容對於航路高度規定、機場最低操作限度（能見度、風力限制）、備降場選擇條件的敘述，另對油量考量包含應變油量及最低落地油量等要求。

六、航路與程序訓練

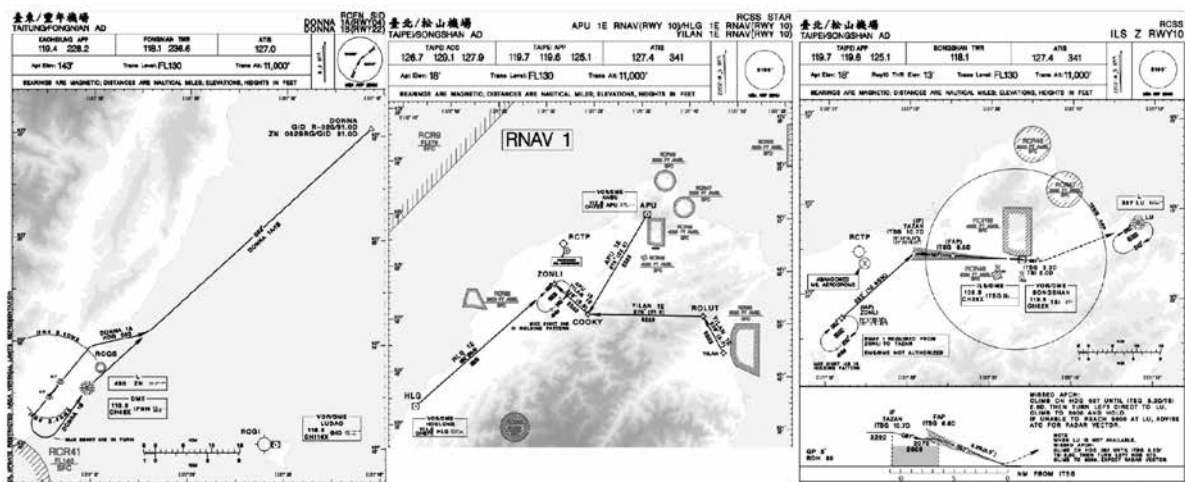
IR 訓練的另一項優點，就是訓練過程可使用大量的模擬機時數來取代真實飛機，從而增加訓練的效率與降低訓練成本。因為所有的飛行標準操作程序（SOP）如起飛、進場前的簡報（Briefing），起飛外型收放、離場（SID）、爬升、巡航、下降及最後的進場程序（STAR、APP）乃至重飛或待命（Holding）操作等，在模擬機內操作並無二致。

參、儀器飛行計畫

以下以本人在飛行學校訓練時使用的機種 Diamond DA-40NG 為例，計畫儀器飛行豐年機場至松山機場。

一、航路的規畫

圖1



參考民航局 eAIP 網站 (<https://ais.caa.gov.tw/eaip/>)，航路圖及機場圖，台灣東部主要航路為 B591（由地面站台定義的傳統航路），起飛台東機場（RCFN）慣用跑道為 04 跑道，選用 DONNA 1A 離場（SID，圖 1），目的地松山機場（RCSS）慣用跑道為 10 跑道，選用精確性進場的 ILS 10 進場（APCH，圖 1）及 YILAN 1E 到場（STAR，圖 1），所以航路為 RCFN/04-DONNA 1A-DONNA-B591-YILAN-YILAN 1E-RCSS/10，總航程約 202NM（圖 2）。

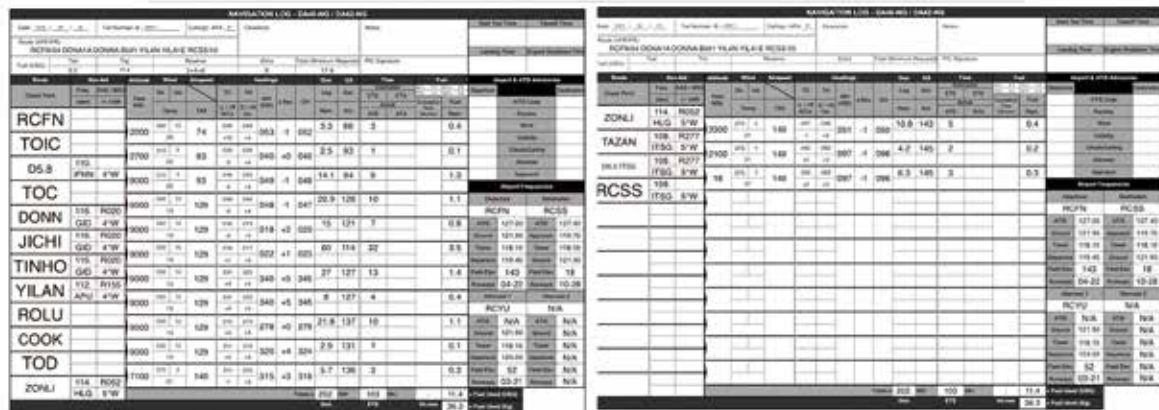
二、查詢氣象及飛航公告（NOTAM：Notice To Airmen）

查閱 METAR 及 TAF，了解起飛機場及目的機場現況，與預計進場期間的天氣概況是否高於進場標準，以考量是否攜帶額外油量；另外 NOTAM 公告航路及各機場跑道滑行道與助導航設施是否都正常運作。

三、高度選擇：

依 eAIP 網站及航路圖，B591（如圖 3）航路北向高度為單千呎，最低高度（MEA）為 5,000 呎，另外 DA-40 性

圖2



能及氧氣限制飛行高度不超過 10,000 呎，再參考 0-10,000 呎的 SIG WX 天氣圖（如圖 3），順逆風情形不明顯，選擇 9,000 呎作為經濟巡航高度。

四、性能、油量及平衡計算

(一) 航程油量 (Trip fuel): 查詢 DA-40NG AFM Chapter “Performance”

(圖 4)，依照選定起飛重量知爬升性能，可得起飛爬至巡航高度 (TOC, Top of Climb) 所需時間及速度及油耗，再依 Cruise Performance table 計算出至初始下降點 (TOD, Top of Descent) 及後續下降至落地的油耗，航程油量約需 11.4 gallons。

圖 3

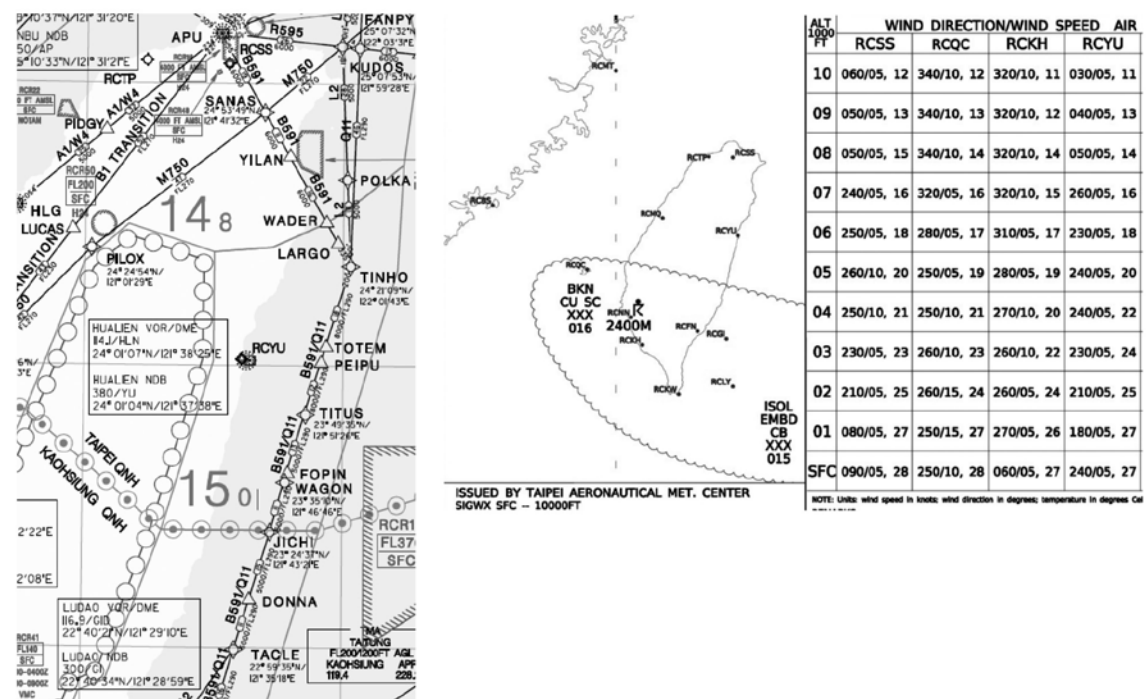


圖4

DA 40 NG AFM


Diamond
AIRCRAFT

Performance

Take-Off Distance - Normal Procedure - 1200 kg / 2645 lb

Weight: 1200 kg / 2645 lb

Flaps: T/O

V_R: 65 KIAS

Power: MAX

V_{LO}: 70 KIAS

Runway: dry, paved, level

Press. Alt. [ft] / [m]	Distance [m]	Outside Air Temperature - [°C] / [°F]							ISA
		0 / 32	10 / 50	20 / 68	30 / 86	40 / 104	50 / 122		
SL	Ground Roll	325	345	365	385	410	440	352	
	15 m / 50 ft	490	520	540	570	610	640	524	
1000	Ground Roll	345	365	390	415	445	475	371	
305	15 m / 50 ft	520	550	570	610	650	690	548	
2000	Ground Roll	365	390	415	445	480	515	391	
610	15 m / 50 ft	550	580	610	650	700	740	576	
3000	Ground Roll	390	415	445	485	520	560	413	
914	15 m / 50 ft	580	610	650	700	750	800	602	
4000	Ground Roll	420	445	480	525	565	610	428	

Take - Off Climb - Flaps T/O

Flaps: T/O

Power: 92% or max.
2100 RPM

V_Y: 72 KIAS

Weight [kg] / [lb]	Press. Alt. [ft]	Press. Alt. [m]	Rate of Climb - [ft/min]									
			Outside Air Temperature - [°C] / [°F]									
			-20 -4	-10 14	0 32	10 50	20 68	30 86	40 104	50 122	ISA	
2645	SL		740	730	720	710	700	690	665	620	707	
	2000	610	720	710	700	690	680	670	630	585	691	
	4000	1219	700	690	680	670	660	635	590	540	675	
	6000	1829	680	670	660	645	630	595	545		657	
	8000	2438	660	645	630	615	600	545	500		633	

Cruise Performance

Press. Alt. [ft] / [m]	Outside Air Temperature - [°C]														
	ISA-10			ISA			ISA+10			ISA+20			ISA+30		
	Pwr [%]	FF [US gal/h]	TAS [kt]	Pwr [%]	FF [US gal/h]	TAS [kt]	Pwr [%]	FF [US gal/h]	TAS [kt]	Pwr [%]	FF [US gal/h]	TAS [kt]	Pwr [%]	FF [US gal/h]	TAS [kt]
2000 610	92	8.3	134	92	8.3	136	92	8.3	137	92	8.3	138	92	8.3	140
	75	6.6	123	75	6.6	125	75	6.6	126	75	6.6	127	75	6.6	128
	60	5.1	112	60	5.1	113	60	5.1	114	60	5.1	115	60	5.1	116
	45	4.0	95	45	4.0	96	45	4.0	97	45	4.0	97	45	4.0	98
4000 1219	92	8.3	137	92	8.3	138	92	8.3	140	92	8.3	141	92	8.3	142
	75	6.6	126	75	6.6	127	75	6.6	128	75	6.6	129	75	6.6	131
	60	5.1	113	60	5.1	114	60	5.1	116	60	5.1	117	60	5.1	118
	45	4.0	96	45	4.0	97	45	4.0	98	45	4.0	98	45	4.0	99
6000 1829	92	8.3	139	92	8.3	141	92	8.3	142	92	8.3	144	89	8.0	143
	75	6.6	128	75	6.6	129	75	6.6	130	75	6.6	132	75	6.6	133
	60	5.1	115	60	5.1	116	60	5.1	117	60	5.1	118	60	5.1	119
	45	4.0	98	45	4.0	98	45	4.0	99	45	4.0	99	45	4.0	100
8000 2438	92	8.3	142	92	8.3	143	92	8.3	145	92	8.3	146	89	8.0	146
	75	6.6	130	75	6.6	131	75	6.6	133	75	6.6	134	75	6.6	135
	60	5.1	117	60	5.1	118	60	5.1	119	60	5.1	120	60	5.1	121
	45	4.0	99	45	4.0	99	45	4.0	100	45	4.0	100	45	4.0	100
10000 3048	92	8.3	144	92	8.3	146	92	8.3	148	92	8.3	149	90	8.1	149
	75	6.6	132	75	6.6	134	75	6.6	135	75	6.6	136	75	6.6	138
	60	5.1	119	60	5.1	120	60	5.1	121	60	5.1	122	60	5.1	123
	45	4.0	99	45	4.0	100	45	4.0	100	45	4.0	101	45	4.0	101

Fuel Flow

Power Setting [%]	Fuel Flow [US gal / h]	Fuel Flow [Liter / h]
30	2.9	11.0
35	3.3	12.5
40	3.7	14.0
45	4.0	15.5
50	4.4	16.5
55	4.7	18.0
60	5.1	19.5
65	5.6	21.5
70	6.1	23.0
75	6.6	25.0
80	7.1	27.0
85	7.6	28.5
90	8.1	30.5

- (二) 備降油量：依 CAA 法規（註 2）對於備降機場的要求，來計畫備降站，在安捷航空（APEX）訓練通常選擇備降機場是返回豐年機場或花蓮機場所需油量。
- (三) 法規所需油量：需符合 CAA 法規（註 3）及 APEX FOM 規定應攜應變及額外油量，A. Contingency fuel: 2 gallons B. Final reserve fuel: 4 gallons。
- (四) 計算起飛及落地重心位置在允許的範圍內。

肆、結語

儀器飛行是提升飛機在不良天候下的飛

行安全性，與目視飛行比較，操作難度較高，尤其對飛行員座艙內儀表交互檢查訓練及飛機裝備系統的要求更高，必需嚴格遵守相關安全規範，反覆練習飛程序、步驟及要領，預防飛行操作疏失。另外儀器飛行也是民航運輸飛行的基本功，如能在初學飛行階段打好基礎，對未來飛行職涯定會有所助益。



- 註 1: 參考民用航空法規彙編第一冊（法律、法規命令）-0901A 飛航規則 - 第 56,64 條
- 註 2: 航空器飛航作業管理規則（07-02A）第三章普通航空業 - 第 214 條
- 註 3: 航空器飛航作業管理規則（07-02A）第三章普通航空業 - 第 221 條

航空保安管理部門因應地緣風險之策略調整

中華航空 孔垂梅 著

(本文摘錄自《由地緣衝突淺析航空保安風險管理》研究論文)

航空器具有國際性、高關注性、高致命性之特點，不論在政治層面或實際運作層面，都很容易成為非法干擾行為及恐怖份子攻擊的目標。9/11 事件中，蓋達組織鎖定劫持美國籍航空公司（American Airline 及 United Airline）並攻擊美國經濟象徵世貿大樓及軍事象徵五角大廈即是證明。

現今全球政經情勢詭譎多變，航空業極易受到地緣衝突影響，非法干擾行為的威脅來源又與地緣風險息息相關。1948-1968 年古巴和美國的地緣衝突造成了大量由美國境內機場起飛之航空器遭劫機事件；1968 年，巴勒斯坦解放組織劫持以色列航空由羅馬至特拉維夫客機，要求釋放被關押在以色列之同夥；1980 年 Braniff 航空於航空器地停祕魯利馬機場時遭劫持，上百名古巴難民突破機場界圍要脅機組員飛往邁阿密；1987 年韓航 KE858 客機遭爆裂物威脅墜毀，起因為北韓企圖阻止 1988 年韓國漢城（現稱首爾）舉辦奧運會；1988 年泛美航空 PA103 客機遭爆裂物威脅爆炸墜毀，史稱洛克比空難，起因為美國轟炸利比亞軍隊，此事件是 9/11 事件前針對美國的最嚴重的非法干擾行為，同時導致泛美航空破產終止營運；1994 年菲律賓航空 PR434 遭爆裂物威脅，恐怖份子於旅客座位下方放置爆裂物後於中途下機，此案係蓋達組織 Bojinka 計劃之初始攻擊，

目的係報復美國支持以色列入侵巴勒斯坦；1996 年衣索比亞航空 ET961 客機遭劫機，旅客疑似為反政府人士，航程中闖入駕駛艙要求機長飛往澳洲擬尋求政治庇護。

一架航空器能平安運行，其上下游之航空保安相關環節包括最外圍的情報資訊交流，機場界圍及公共區域規劃或監控，報到櫃台之旅客行為觀察、旅行證件核對、托運行李收受口詢，安檢線設備更新或安檢人員能力，機場空側陸側管制區管理機制，登機門對登機旅客之身份識別、旅客與托運行李一致性核對，行李或貨物處理區之保安監控及運送過程中全程保安管控，滑行道是否有未經授權人士侵入並放置危安危險物品，停放於機坪之航空器進出管制，航程中機組員對滋擾旅客或無人戒護遣送旅客等特殊旅客管理，駕駛艙進出管制及加強駕駛艙門或相關設備配置，最終為保障航空器及其上之旅客及機組員等，其中每一環節都牽涉人為因素，參照《由地緣衝突淺析航空保安風險管理》（孔垂梅，2023）一文，已辨識出地緣衝突對非法干擾行為影響因子共分為 12 項，包括恐怖主義、軍事行動、內部威脅、政治、種族、經濟、宗教、禁航區規劃、中美關係、難民、網路保安威脅、地對空飛彈等。以此 12 項地緣衝突風險因子分別分析影響非法干擾行為可能性後發現，

恐怖主義影響非法干擾行為最劇，可能性高達 89.9%；其次為軍事行動（包括戰爭、遭軍機攻擊），可能性為 73.4%，內部威脅為 70.0%，政治因素為 69.7%，網路保安威脅為 58.7%，宗教為 57.8%，種族為 56.1%；中美關係為 47.5%，難民為 45.8%，地對空飛彈（包括 MANPADS）為 43.0%，經濟為 41.9%，可能性最小者為禁航區規劃，但仍有 34.4%。再以各項非法干擾行為分析，最有可能因地緣衝突發生之樣態為傳遞不實訊息（64.3%），其次為毀壞使用中之航空器（61.3%），非法劫持航空器（56.3%），強行侵入航空器、航空站或航空設施場所（57.2%），意圖致人死亡、重傷害或財產、環境之嚴重毀損，而利用使用中之航空器（56.0%），為犯罪目的將危險物品或危安物品置入航空器或航空站內（54.1%），較不可能發生之樣態為在航空器上或航空站內劫持人質（51.2%）。

另針對歐洲、美洲、大洋洲、亞洲、非洲、中東等機場共 86 站，分析由該等機場起飛航班曾發生之航空器非法干擾行為，顯示 1931-2001 年發生劫機事件 210 件，其中 150 件與地緣衝突相關，佔比 71.4%；蓄意破壞 64 件，45 件與地緣衝突相關，佔比 70.3%；2001-2023 年發生劫機事件 8 件，其中 2 件與地緣衝突相關，佔比 25%；蓄意破壞 10 件，7 件與地緣衝突相關，佔比 70%。以個別場站區分，發生最多次劫機之場站為邁阿密 27 件，其次為紐約 20 件，洛杉磯 13 件；遭受蓄意破壞最多次場站為峴港及胡志明市各 9 次。政治因素造成之非法干擾行為以邁阿密 25 件最多，其次為紐約 16 件；遭受軍事行動影響最大場站為峴港及胡志明市各 9 次；遭受地對空飛彈攻擊最多次數場站為喀布爾 7 次；肇因與恐怖主義相

關者共有 9 場站，包括羅馬 5 次，法蘭克福及波士頓各 2 次；與地緣衝突相關之內部威脅發生於喀布爾、摩加迪休及高雄各 1 次。

即使在 911 事件後，各國及各航空公司陸續強化了許多航空保安措施，劫機事件減少 96.2%，與地緣衝突相關者減少 98.7%，蓄意破壞事件減少 84.4%，與地緣衝突相關者亦減少 84.4%，惟與地緣衝突有關之航空保安風險仍持續存在，2010 年葉門破獲恐怖份子將爆裂物藏匿於碎紙機內，擬載運於飛往美國之貨機，此為史上第一件被知悉利用定期貨機航班從事恐怖攻擊案；2014 年馬來西亞航空 MH 17 客機遭地對空飛彈攻擊以致空中解體並墜毀；2015 年克加雷姆航空 EI 9268 因地勤行李作業員遭收買，於旅客託運行李中置入爆裂物，造成航空器起飛 25 分鐘後爆炸墜毀；2016 年土耳其伊斯坦堡機場及比利時布魯賽爾機場出境大廳遭受恐怖組織自殺炸彈客攻擊；2020 年，烏克蘭國際航空客機於德黑蘭機場起飛後遭伊朗軍方地對空飛彈擊落；2021 年 5 月，瑞安航空經白俄羅斯上空時，遭白俄羅斯主管機關謊稱航空器內有爆裂物要求轉降，降落後機上白俄羅斯異議份子遭逮捕；2023 年 2 月，印尼 Susi Air 外籍機師遭當地恐怖組織挾持為人質作為和印尼政府談判之籌碼；4 月，蘇丹發生地區武裝衝突，地停於喀土穆機場之多架航空器遭軍事武器攻擊，致原已準備起飛之沙烏地阿拉伯航空機組員及旅客由機上緊急逃生，多家航空公司暫停運行蘇丹航班並避讓該航道。

ICAO 強調航空保安管理之核心價值在於提前辨識關鍵風險，國家保安主管機關、各航空公司及各相關作業單位應共同針對地緣上的特殊風險進行評估，主動管理並規劃

有效之航空保安措施。航空保安異常事件不可能完全消失，但有效的風險管理機制可以減少非法干擾行為發生可能性並使保安加強措施更有效率的執行，而航空保安管理部門正是這個系統中的關鍵角色，其承擔航空保安風險評估及管理之重責大任。惟航空保安風險可能會受多種不確定之地緣因素影響而持續變化，當影響層面越來越廣泛，大部分時候卻只能被動的適應地緣政治變遷時，航空保安管理部門即應滾動式檢討管理模式，確立優先重點評估目標，依照風險等級彈性化擬訂航空保安加強措施，即時有效因應潛在威脅，多層級之航空保安措施似乎是目前對防止非法干擾行為較有效之方式，除了可能減少恐怖攻擊頻率外，亦可避免單一脆弱點暴露於公眾之前，將被動式航空保安風險管理機制進化為主動式甚至預測式實屬必要。

IATA 指出，至 2040 年，除了傳統的航空保安威脅方式持續存在外，不穩定的地緣政治風險將成為航空業面臨最大的挑戰，能否提前掌握地緣衝突情資極其重要，對各國政經情勢、恐怖主義、軍事行動及大國間的博弈也應多加研析，故航空保安管理部門責任越來越重，管理面向亦將越來越國際化。因應情資交換不足為現今航空保安普遍面臨的障礙，該部門人員之航空保安專業知識及能力為各公司可持續擴大培訓之資產，如何主動與其他國家、航空保安主管及管理機關或外站分公司人員、其他涉及航空保安作業部門加強協調聯繫取得先期情資或整合航空保安加強措施為首要職責。另外增加查核、檢查與測試頻率，或依不同威脅情況擬訂有效之演練科目及全面盤點脆弱點，執行更完整之風險評估，都可以透過保安教育訓練使其提升相關專業能力。持續推廣保安文化，

鼓勵其他涉及航空保安作業部門強化一線人員航空保安認知訓練並加強其對非法干擾行為或航空保安異常事件之應處能力，建立主動通報機制，紮根全員保安觀念均係未來可以精進之方向，最重要的是，國際間地緣衝突風險資訊收集及評估，需要由上而下，國家保安主管機關應帶領航空公司及各相關作業單位共同合作，建立資訊管道俾主動並即時取得可能造成非法干擾行為之資訊，且因應威脅等級不同而應有不同之通報方式，始得確保國籍航空器於航程中或地停他國機場時獲得完整有效之保安防護。✈

參考文獻

孔垂梅 (2023) 。《由地緣衝突淺析航空保安風險管理》。台北：國立台灣大學。

達美航空B767-300ER型機 2022年加利西亞飛安事件

蕭光霽 譯

◎ 狀況說明

達美航空 (Delta Air Lines) 1 架波音 767-300ER 型機 (機號 :N1602)，執行 DAL126 班次國際旅客定期夜間航班勤務，從紐約甘迺迪國際機場飛往馬德里機場，飛至大西洋以東上空時，遭遇機上自動增壓系統 (automatic pressurization system) 故障，飛航組員須將該系統切換為手動調控。當時班機高度仍處於 3 萬 8,000 呎，手動調控失敗，旋即發布緊急狀況，並緊急下降至 1 萬呎。高度降至 1 萬 2,000 呎時，緊急狀況解除，然後在重新朝向馬德里機場降落前，為提高燃油效率，以及在不構成增壓問題情況下增加離地間隔，班機曾短暫提升高度至 2 萬 8,000 呎。

◎ 調查情況

西班牙之民航事故與事件調查委員會 (Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil, CIAIAC) 接手調查。從班機取下座艙語音紀錄器 (CVR) 與飛航紀錄器 (FDR) 順利下載資料，然卻發現 CVR 紀錄之相關資料已被覆寫。另從飛航管制中心 (ATC) 紀錄之資料，以及航空器通訊定址暨報告系統 (ACARS) 在班機與達美航空勤務控制中心 (MCC) 間傳遞之

訊息，皆已取得與抄收。

機上有增列飛航組員，由現年 52 歲訓練機長 (Training Captain) 指揮，其總飛行時數達 1 萬 2,000 小時，加入達美航空後飛行時數為 8,835 小時，其中該機型飛行時數達 4,540 小時。由訓練機長督導的是 48 歲之受訓機長，其總飛行時數約 2 萬小時，加入達美航空後飛行時數為 1 萬 2,493 小時，其中該機型飛行時數達 5,248 小時；另一名為 48 歲副機長，其總飛行時數約 2 萬小時，加入達美航空後即飛該機型，飛行時數達 2,604 小時。達美航空聘用此 3 名飛航組員的時間分別為 22 年、21 年及 4 年。

◎ 事發經過

當飛行近 3 小時，在大西洋上空高度 3 萬 7,000 呎時，機上自動增壓系統失效。此時執勤組員係為擔任監控駕駛員 (PM) 的訓練機長，以及擔任操控駕駛員 (PF) 的副機長。兩名組員將增壓系統切換為手動調控，並透過 ACARS 向達美航空的 MCC 回報此一問題。MCC 復以懷疑該系統之排氣閥 (outflow valve, OFV) 受漏水影響作用，但仍可手動調控。

班機再持續正常飛行約 2 小時 40 分後，在加利西亞 (Galicia) 上空，系統發出機艙

高度超過1萬呎之警告。ATC幾乎立即呼叫，並指示該班機降低高度至3萬4,000呎。此刻已換由受訓機長擔任PF。副機長回復表示收到指示，開始下降高度，組員開始按記憶操作機艙失壓程序，戴上氧氣面罩，並與彼此恢復通話。副機長嘗試調控機艙高度，但效果不佳；當班機高度到3萬4,000呎時，機艙高度已接近1萬5,500呎，且持續升高。組員要求再降低高度，ATC同意降至3萬呎空層，並詢問此舉是否係遭遇亂流所致，副機長復以：「機艙增壓出現問題。」

系統設計上，當機艙高度超過1萬4,000呎，客艙中乘客與空服組員之氧氣面罩會自動落下，此時空服組員已返回各自座位戴上面罩，並指示所有乘客就座，亦配戴面罩。

機艙高度升高至接近1萬8,400呎，就當班機持續下降剛過3萬2,000呎時即發布緊急狀況，並要求許可降至1萬呎高度。當時在組員休息艙的訓練機長，見到客艙氧氣面罩落下，即返回駕駛艙。副機長移至備用組員座位，俾讓訓練機長就座於機艙右座，然後兩者再配戴氧氣面罩。

依據訓練機長說法，彼在班機下降過程中試圖再度調控排氣閥，當組員將班機拉平在1萬2,000呎時，彼已能手動調控排氣閥，當機艙高度一如預期降低至約8,500呎時，警告旋即中止。空服組員接到通知，並轉告組員與乘客均安。訓練機長在受訓機長之請求下，通知空服組員，班機將持續飛往馬德里，並會用機上廣播向乘客說明事件經過。

ATC獲知該班機增壓系統恢復控制，緊急狀況已然解除。管制員詢問班機能否爬高，並維持高度在2萬8,000呎。班機升高

至該空層後航行約13分鐘。隨後班機依據馬德里機場正常降落航線下降高度，並在30分鐘後降落於13L跑道。

◎ 事件肇因

經發現，此次接受調查之航班的前一班次，係由該班機從巴塞隆納飛往紐約，自動增壓系統亦曾發生故障，並在該班次勤務結束後，是項缺點已登載於飛機技術日誌中。維修人員已針對該系統之艙壓控制器（Cabin Pressure Controllers, CPCs），使用內建自測設備（built-in test equipment, BITE）進行檢測，惟未發現相對應之狀態訊息，因此確認系統運作正常。有鑒於此，該班機以無增壓系統待修缺失登載紀錄，准予放行。

圖1：排氣閥上殘留結冰 (Source: Delta TechOps. [Reproduced from the Official Report])



圖2: 經過且接近排氣閥之水源供應管 (Source: Reproduced from the Official Report)



值得注意的是，飛機空調系統對機艙供應連續調節氣流，然後由增壓系統藉由兩個CPC 其中之一操控排氣閥，以排放空氣方式調節空氣量、調控機艙高度。配備兩個CPC 之原因，係在於透過兩者間自動切換，以確保在其中一個失效情況下，系統仍能持續正常運作。若兩個CPC 皆失效，飛行員可以手動調控方式，直接控制排氣閥，。

該機抵達馬德里機場後即由業者維修人員進行檢查，排氣閥（請參考圖1）發現有結冰。航程中在加壓機艙外、溫度零下的環境中積累之大量結冰，阻礙排氣閥自動調控，最後甚至亦無法手動調控。但是班機降低較低高度時，機外氣溫升高，其功能就得以恢復。

排氣閥看來仍能作動，不受結冰阻塞時，其功能正常。下一階段調查，即要瞭解排氣閥內為何有水。證據顯示排氣閥位置附近有飛機飲用水分配系統供應管線，當時有滲水現象—請參考圖2。滲漏源頭並未顯而易見，最後查到是在固定兩段管線時，確保密封所用的一個塑膠固定夾損壞（如圖3所示）所致。

因為對艙壓控制器進行BITE 檢測時，無法測得增壓系統中CPC 作動受到阻礙的情況，然後改採功能測試時，但亦未發現任何故障。

達美航空被詢及過去是否有任何類案，受訪者提到在2022年2月間，另一架波音767-300 型機執行慕尼黑至亞特蘭大航班勤務時亦曾採取手動操控增壓，然後當該航班平飛至非常接近目的地之航程後段，發生手動操控失敗，該班機緊急下降高度，始能恢復手動操控增壓，完成飛抵亞特蘭大之勤務。

經諮詢CPC 原件代工廠指出，廠方不認為BITE 能對該型CPC 發生此次故障情況進行檢測，因為就算結冰再嚴重，一旦融化後，排氣閥就不會阻塞。但是廠方稱：「只能預測發生事件當下應會顯示AC MOTOR（交流電馬達）故障，因為排氣閥門會卡在一特定位置，且暫時無法受控。」

達美航空指出，《故障調查手冊》

圖3: 夾具扣(紅色) 扣緊時可固定管線接合處 (Source: Delta TechOps, reproduced from the Official Report)



（Fault Investigation Manual, FIM）中之針對前次航班勤務後舉報之自動增壓失效的調查程序（亦列在《航空器修護手冊》[Aircraft Maintenance Manual, AMM] 之中），僅要求採取之行動係對於兩個 CPC 進行 BITE 檢測，若未測得任何故障，則進行重置 / 復位（reset）。若手動調控排氣閥，閥門作動仍不正常時，其中之指導僅要求對排氣閥進行目視檢查。值得注意的是，在該班機前一次航班勤務後執行 BITE 檢測的技師，「並不認為有漏水現象之可能性，亦未對排氣閥進行目視檢查」。

調查發現波音公司於 2013 年 11 月發布《767-38A0073 號服務通報》，曾要求確認位於航空器不同部位銜接至排氣閥所在位置之飲用水系統管線夾具，不會滲水至主裝備中心的電子裝備上。此項服務通報要求將藍色塑膠夾具更換為紫色金屬夾具，但範圍未涵蓋通過鄰近像是排氣閥一般之其他電子機械設備之飲用水分配系統管線。

◎ 受飛航紀錄器資料支持之關鍵結論

1. 資料顯示自動壓力控制失效後，艙壓有產生變化，顯示飛行員積極採取手控，並確認排氣閥有相對作動。在班機於加利西亞上空發出機艙高度警告之前 7 分鐘半，機艙壓力開始下降，發出警告當下，艙壓已降至 10psi。結論是此刻係受結冰影響，終將排氣閥阻塞，導致洩壓。調查認為，控制拐臂或排氣閥致動器連接機構有結冰現象，皆會使馬達無法關閉排氣閥。
2. 適用之標準作業程序要求，發出機艙壓力警告後，開始採取緊急下降高度的舉

措應「不可拖延」，但當時是在 6 分鐘後才進行。

3. 擇定要完成預劃航班時，由於飛航組員已注意到自動增壓控制已在連續兩次航班相似情況下故障，且無法排除手動調控亦有可能失敗，為了燃油效率，而爬升至 2 萬 8,000 呎之決定被認為有疑慮。考量近期內飛航組員皆曾接受增壓系統之定期複訓，有必要針對機艙失壓以及本次調查所獲經驗教訓，加強組員訓練。

◎ 起因

調查結論是一條管線上的損壞夾具滲水，結冰阻塞排氣閥門，導致增壓系統失效。

◎ 3項可能肇因如次：

在排氣閥（第 46 艙段 [section 46]）附近使用塑膠管線夾具，該型夾具先前曾在其他發生於航電艙（section 41）之事件中有滲漏現象，之後即更換為金屬夾具。

在該次航班前執行之 BITE 地面檢測未發現錯誤。

依 FIM 第 21 至第 31 頁（或條目）第 803 工項（Task 803）所示，當自動增壓系統於飛行中失效，手動調控正常，且曾在地面進行 BITE 檢測未發現錯誤之情況下，不需對排氣閥進行目視檢查。

達美航空基於調查結果所採取之維護飛安作法，係在 2022 年 11 月 9 日前完成所有波音 767-300/400 型機飲用水分配系統中使用之塑膠夾具，全部更換成金屬夾具。

◎ 依據調查結果提出之5項飛安建議如下：

由漢威（Honeywell）公司評估 CPC 恐未登載排氣閥受外界因素阻塞之紀錄，以及因此構成後續現象之可能性（建議事項 18/23[REC 18/23]）。

由波音公司考量更換所有 CA625 系列塑膠夾具，其損壞可能影響排氣閥作動。（REC 19/23）

由波音公司考量在 FIM 第 21 至 31 頁（或條目）第 803 工項，當自動增壓系統於飛行中失效，手動調控正確作動，且曾在地面進行 BITE 時檢測系統未回饋錯誤之情況下，增修作法以察覺排氣閥恐有阻塞之情況。（REC 20/23）

由達美航空對涉及維修勤務之所有人員，頒布此次調查汲取之經驗教訓。（REC 21/23）

由達美航空加強機艙失壓之組員訓練，內容包括此次事件汲取之經驗教訓。

此次調查總結報告已於 2023 年 5 月 21 日公布，另於 2023 年 11 月 11 日於網路發布（西文定稿版本與英文翻譯版本同時發表）。✈️

摘要：一架波音 767-300ER 型機於 2022 年 2 月 8 日於高度 3 萬 4,000 呎飛往馬德里途中，遭遇自動增壓控制故障，接近 3 小時後，手動調控失敗，機艙高度迅速升高。緊急情況發布後，班機開始下降至高度 1 萬 2,000 呎，

手動調控恢復作用。接續完成航班勤務前，無重發狀況。調查發現，故障主因為 1 條管線上 1 個固定夾具損壞而有滲水現象，結冰時阻塞空調用排氣閥門。調查指出，系統設計之元件、定期維護要求與故障檢測上之因素，係為此次事件肇因。

事件細節：

時間：2022 年 8 月 2 日

事件類型：AW（適航性）、HF（人因表現）、LOC（失控）

晝夜區分：夜間

飛航情況：VMC（可目視飛行）

航班細節：

機型：波音 767-300ER 型機

業者：達美航空

航班類型：大眾運輸（乘客）

航班起點：紐約甘迺迪國際機場

預定終點：馬德西巴拉哈斯（Barajas）機場

航班是否起飛：是

航班是否航行：是

航班是否完成：是

航程階段：巡航

發生地點：約在西班牙加利西亞上空

概況：組員知識體系、飛航組員訓練欠佳；適航程序不足；座艙語音紀錄器資料被覆寫

人因情況（HF）：組員反應欠佳（技術缺失）、未確遵程序

失控情況（LOC）：重要系統或系統控制故障

緊急程序與處置（EPR）：緊急下降、發布
「緊急狀況」

機艙狀況（CS）：乘客氧氣面罩落下

適航狀況（AW）：

系統：空調與增壓

肇因：維護檢查不當、代工製造廠設計不良、
組件作業中損壞

事件結果：

損壞或傷害：無

非航空器之損害：無

非乘員之傷亡：無

偏離機場降落：無

有無迫降：無

肇因組別：

組別：航空器技勤

安全建議：

組別：航空器勤務、航空器適航

調查型態：

型態：獨立調查

譯自：SKYbrary 網站文章 B763, en-route,
Galicia Spain, 2022

B763, en-route, Galicia Spain, 2022

SKYbrary

Description

On 8 February 2022, a Boeing 767-300ER (N1602) being operated by Delta Air Lines on a scheduled international passenger overnight flight from New York JFK to Madrid as DAL126 was over the eastern Atlantic Ocean when a failure of the automatic pressurisation system required the crew to revert to manual control. This method of control subsequently failed when still at FL 380 and an emergency was declared and an emergency descent to 10,000 feet initiated. Manual control was regained at FL120 and the emergency was then cancelled and a brief climb to a higher level (FL280) was then made for fuel efficiency and increased terrain clearance without further pressurisation problems before restarting descent into Madrid.

Investigation

An Investigation was carried out by the Spanish Commission for the Investigation of Accidents and Incidents (CIAIAC). The CVR and FDR were both removed from the aircraft and their data successfully downloaded but it was discovered that relevant data on the CVR had been overwritten. Information was also

obtained from recorded ATC data and from ACARS messaging between the aircraft and Delta's MCC.

The augmented flight crew was under the command of a 52 year-old Training Captain who had a total of approximately 12,000 hours flying experience of which 8,835 hours had been flown since beginning employment with Delta including 4,540 hours on type. He was supervising a 48 year-old Captain under training who had a total of approximately 20,000 hours flying experience of which 12,493 hours had been flown since beginning employment with Delta including 5,248 hours on type. The 48 year-old First Officer who had a total of approximately 20,000 hours flying experience of which 2,604 hours had been flown since beginning employment with Delta, all on type. The three pilots had been employed by Delta for twenty two, twenty one and four years respectively.

What Happened

Almost three hours into the flight, when over the Atlantic Ocean at FL370, the automatic pressurisation system failed. At this time, the operating flight crew were the

Training Captain acting as PM and the First Officer acting as PF. They reverted to manual control of the pressurisation and notified the operator's MCC of the problem via ACARS. The MCC responded that they suspected that the system outflow valve (OFV) was affected by a water leak but could still be moved manually.

The flight continued normally until the aircraft was flying over Galicia some 2 hours 40 minutes later when a warning that the Cabin Altitude had exceeded 10,000 feet was annunciated. Almost immediately, ATC called routinely to instruct the flight to descend to FL340. By this time, the PF role was being filled by the Captain under training. The First Officer acknowledged the instruction and the descent was commenced as the crew began the memory items for loss of pressurisation by donning their oxygen masks and establishing communication with each other. The First Officer attempted to control cabin altitude without satisfactory results and when the aircraft reached FL340, the cabin altitude was close to 15,500 feet and still rising. A request for further descent was made and FL300 was approved with ATC requesting if the reason for the request was turbulence, to which the First Officer responded that "they were having difficulties with the cabin pressurisation".

In the passenger cabin, passenger and cabin crew oxygen masks had automatically deployed by system design when the cabin altitude exceeded 14,000 feet and the cabin

crew had returned to their seats and donned their own oxygen masks noting that all passengers were seated and had put on their masks.

The cabin altitude reached approximately 18,400 feet and as the aircraft descended through FL320, an emergency was declared, requesting clearance to descend to 10,000 feet. The Training Captain, who was in the crew rest area, had seen the passenger cabin oxygen masks drop and had returned to the flight deck. The Captain under training told him that an emergency had been declared and they were descending. The First Officer moved to a supernumerary crew seat to allow the Training Captain to occupy the right-hand seat and they both re-fitted their oxygen masks.

According to the Training Captain, he attempted to regain control of the outflow valve (OFV) during the descent and by the time they levelled off at FL120, he had managed to regain manual pressurisation control of it and the cabin altitude warning had ceased as expected when the cabin altitude had decreased through approximately 8,500 feet as it would be expected to. The cabin crew were contacted and advised that both they and the passengers appeared to be fine. The Training Captain, at the request of the Captain under training informed the cabin crew that they would continue the flight to Madrid and that he would make a PA to explain to the passengers what had happened.

ATC were informed that control of the pressurisation system had been regained and that the emergency was over. They asked if the aircraft was now able to climb and on being told that it was, flight was cleared to climb to and maintain FL280. Once there, this level was maintained for approximately thirteen minutes. Descent in accordance with normal positioning for a Madrid landing then commenced and half an hour later, the flight landed on runway 13L.

Why It Happened

It was found that during the flight prior to the one under investigation, the aircraft had operated from Barcelona to New York, the automatic pressurisation had also failed and after flight completion, the defect had been recorded in the aircraft Technical Log. Maintenance personnel had performed a built-in test equipment (BITE) test on the system Cabin Pressure Controllers (CPCs) but found no corresponding status message registered and therefore confirmed that the system was operating normally. On this evidence, the aircraft had therefore been released to service with no outstanding pressurisation system defect recorded.

It was noted that the aircraft air conditioning system supplies a constant flow of conditioned air to the cabin and the pressurisation system then controls the cabin altitude by regulating the amount of air that is exhausted through the overboard by controlling the OFV through one of two CPCs.



Residual ice in the OFV - photo courtesy of Delta TechOps. [Reproduced from the Official Report]

Two are provided to ensure continuity in normal system operation through automatic transfer between them in the event that one malfunctions. In the event that both CPCs fail, reversion to manual control is achieved by direct control of the OFV by the pilot.

The aircraft was inspected by the operator's maintenance personnel following its arrival in Madrid and ice was found in OFV (see the illustration below). In greater quantity during flight in sub zero temperatures outside the pressurised cabin area, ice would have initially impeded OFV automatic control and eventually prevented even manual control. But having descended to lower altitudes,



The water supply pipe passing close to the OFV.
[Reproduced from the Official Report]

function would have been restored as outside air temperature increased.

The OFV was shown to be still serviceable and functioning normally when not prevented from doing so by ice. The next stage of the Investigation was to establish how water came to be present in the OFV. There was evidence that water had been leaking from one of the supply lines in the aircraft potable water distribution system which was routed close to the OFV - see the illustration below. The origin of the leak was not immediately obvious but was eventually traced to a broken plastic clamp which was supposed to ensure a water tight link between two sections of pipe (see the second illustration below).

Since the pressure controller BITE test had failed to register interrupted operation of the pressurisation system Cabin Pressure Controllers (CPCs), it was subjected to functional testing but no faults were found.

Delta were asked if they had had any

similar events and they advised of another on 10 February 2022 in which another Boeing 767-300 operating a Munich-Atlanta flight had to revert to manual pressurisation control and subsequently had a failure of manual control in the later stages of the cruise fairly near to their destination and made an emergency descent after which manual pressurisation control was restored and the flight to Atlanta was completed.

The CPC OEM was consulted and stated that they would not expect the BITE to detect a fault of the type that occurred because the OFV would no longer be blocked once the worst of the ice had melted. However, they stated that they "would have expected there to have been an indication of an AC MOTOR fault, as the OPV valve was stuck in a particular position and temporarily could not be controlled".

Delta advised that the Fault Investigation



The clamp (red) which when closed secured a pipe join.
[Photo courtesy of Delta TechOps, reproduced from the Official Report]

Manual (FIM) investigation procedure (also included in the AMM) for auto pressurisation inoperative as reported after the previous flight only required the action taken i.e. a BITE test of both CPCs and their reset if no fault has been detected. The guidance provided only required a visual inspection of the OFV if the valve is not functioning normally when manually operated. It was noted that the technician who carried out the BITE test after the aircraft's previous flight "did not consider the possibility of a water leak and a visual inspection of the OFV was not carried out"

It was found that in November 2013, Boeing had issued SB 767-38A0073 to ensure that the potable water system clamps in a different part of the aircraft to where the OFV was situated would not leak water onto the electronic equipment in the main equipment centre. This SB required the blue plastic clamps to be replaced by purple metal clamps but did not cover other locations where the potable water distribution system passed close to other electro-mechanical equipment such as the OFV.

Key Conclusions supported by FDR data

1. The data showed that after the failure of automatic pressure control, the cabin pressure varied which indicated active manual control of the OFV by the pilots and confirmed that the OFV was responding to the movements commanded. 7½ minutes prior to the appearance of the Cabin Altitude Warning over Galicia, the cabin pressure had begun to decrease and when the warning occurred, it had reached 10 psi. It was concluded that this was when the OFV was finally blocked by ice leading to depressurisation. It is believed that the water froze in either the control arm or the OFV actuator linkage - either would have prevented the motors from closing the OFV.
2. The applicable SOP required that the actions required to commence the emergency descent following the Cabin Altitude Warning should have been performed "without delay" but were not taken until six minutes later.
3. The decision to climb to FL280 for fuel efficiency reasons once it had been decided to complete the flight as planned was considered to have been questionable given the crew's awareness that automatic pressurisation control had failed in similar circumstances on two consecutive flights and that a further failure of manual control could not be ruled out. It was considered that as the crew had all recently undergone routine refresher training on the pressurisation system, there was a case for reinforcing crew training related to cabin pressure loss and including the lessons learned from the investigated event. 

Cause

The Investigation concluded that the pressurisation system failure was caused by water leaking from a tube with a broken clamp which, when it froze, blocked the outflow valve doors.

Three Probable Contributory Factors were identified:

- The use of plastic tube clamps in the vicinity of the OFV (section 46), the deterioration of which had previously caused leaks in other incidents in the avionics compartment (section 41), where they had since been replaced by metal clamps.
- The absence of a fault in the BITE ground test performed prior to the flight.
- The fact that there is no requirement to perform a visual inspection of the OFV during Task 803 of 21-31 of the FIM when the automatic pressurisation system becomes inoperative in flight, the manual operation is normal, and the BITE does not detect a fault on the ground.

Safety Action taken by Delta Air Lines as a result of the findings of the Investigation was noted to have included replacement of all plastic clamps in the potable water distribution system with metal ones on all of its B767-300/400 aircraft with this action complete by 9 November 2022.

Five Safety Recommendations were made as a result of the Findings of the

Investigation as follows:

- that Honeywell assess the possibility that the CPC may not register a blockage of the OFV by an external element and the implications that this may entail. [REC 18/23]
- that Boeing considers replacing the CA625 series plastic clamps, whose rupture may affect the OFV. [REC 19/23]
- that Boeing considers incorporating additional measures in Task 803 of 21-31 of the FIM when the automatic pressurisation system becomes inoperative in flight, the manual operation is functioning correctly and the BITE test does not return a fault on the ground, in order to detect a possible OFV blockage. [REC 20/23]
- that Delta Air Lines passes on the lessons learned from this Investigation to all personnel involved in maintenance. [REC 21/23]
- that Delta Air Lines reinforces its crew training on cabin pressure loss and includes the lessons learned from this event in that training. [REC 22/23]

The Final Report of the Investigation was approved on 31 May 2023 but was not released online (simultaneously in both the definitive Spanish version and in English translation) until 11 November 2023.

消費型多旋翼無人機的安全使用常識

Aqualun

壹、前言

無人機應用在近年來越來越廣泛，涵蓋了從軍事用途到消費性娛樂的各個領域。無人機可分為軍用與民用兩種，軍用無人機主要用於偵察、情報收集與攻擊，強調長時間续航能力、精確操控與可靠度。民用無人機涵蓋了更廣泛的非軍事用途，可從構造、動力來源、用途、重量等不同面向進行詳細的區分，而隨著無人機應用範圍的擴大與技術的創新與新型態的無人機投入市場，分類方式也將不斷更新。無人機為一般民眾使用提供休閒娛樂的新選擇，尤其是佔自然人註冊比例最高的空拍機，其拍攝之功能性與輕便性，儼然已成為時下最受歡迎的無人機類型，但同時也帶來侵犯安全隱私的疑慮與干擾機場 / 飛行場起降作業等令管理機關或航空公司頭痛的難題。在如何在安全合法的範疇內享受無人機飛行的樂趣，是從賣場或向電商選購一台無人機時，應該要注意的事情。本文就一般常見的多旋翼無人機來做說明。

一、民間常見多軸無人機的種類

因為價格與操作便利等因素，市售無人機以四軸無人機為主。依市售產品的品質、價格和性能來分析，可分為專業型及消費型等兩種。

- 專業型無人機，其構型從四軸到八軸，

這種無人機可根據使用者需要，攜帶不同的酬載，如複雜的專業單眼相機、帶自穩定平台的高速攝影設備或高（多）光譜儀器等，操作時必需具有專業的技術知識，最大起飛重量通常在 2 公斤以上，使用者多為專業影視、測繪業者或執行農噴作業。

- 消費型無人機通常配備消費型的攝影鏡頭，大多數用於第一人稱視角（First Person View, FPV）的飛行娛樂（穿越機）或具備三軸雲台作為空拍使用（空拍機）。這種產品引人入勝之處是提供一般民眾沉浸式自由飛行的操控，或用一個新的「上帝視角」拍攝畫面，但也可能產生民眾疏忽相關法規的現象。

本篇文章以一般民眾（自然人）角度出發，聚焦於穿越機與空拍機二種消費型的無人機，說明使用時應注意事項。

二、穿越機與空拍機

依航局無人機註冊資料顯示，至 113 年 11 月止，在我國註冊的無人機共有 3 萬 8 千餘架，其中重量小於 2 公斤的消費型無人機即佔據了九成以上，顯示消費型無人機在市場上受歡迎的程度。其中就針對穿越機與空拍機兩類，列出其特徵與類型如下：

（一）特徵

1. 容易上手：操作介面簡單，不須專業

知識即可飛行。

2. 價格親民：相比專業型無人機，價格更實惠。
3. 多功能性：內建 FPV 圖傳與攝影功能，能滿足娛樂與創作需求。

（二）類型

1. 穿越機

- (1) 著重於速度與操控，適合喜歡自由操控與速度競賽的玩家。
- (2) 輕量設計：提升速度與靈活性。
- (3) 第一人稱：通過連接頭戴式眼鏡，提供沉浸式飛行體驗。
- (4) 主要用途：競速比賽及自由操控飛行。
- (5) 可以用開賽車來比喻穿越機的操控體驗。

2. 空拍機

- (1) 以拍攝高品質影像為主要目標，重視穩定性與拍攝效果。
- (2) 內建攝影：配備高清攝影機，可調焦距、快門、影像色彩等。
- (3) 穩定飛行：配有多三軸穩定器，適合拍攝流暢的航拍畫面。
- (4) 智慧操控：內建多種智能飛行與避障功能，減少操作難度。
- (5) 可以用開房車來比喻空拍機的操控體驗。

針對自然人市場的「穿越機」專注於自由操控飛行與競速特技表演，透過第一人稱視角（First Person View, FPV）提供沉浸式飛行體驗，適合追求挑戰與趣味的進階玩家。而以影像拍攝為主，強調穩定性、易用性與高畫質影像能力的「空拍機」，則更適合旅遊、社交分享與創意製作。這兩種機型

之間的設計上有差異顯著，穿越機更偏向航模，手動短距離飛行，空拍機則強於依賴傳感器的儀控飛行能力。因為民航法規有規定最大起飛重量在 250 公克以上的無人機必須註冊，故市場上也有針對小於 250 公克免註冊而開發的簡易型穿越機或空拍機。但是需要提醒：雖然重量小於 250 公克公斤的無人機可以不用註冊，但仍然要遵守民航法有關無人機操作限制與活動區域的各種規範！

貳、穿越機的技術特性、產品選擇與應用場景

一、技術特性

穿越機主要是利用高機動和快速手動操作的特性來強化自由飛行攝影鏡頭的視覺張力，機體著重於速度和靈活，輕量化的考量下通常不會裝置 GNSS 等導航系統，也沒有空拍機上複雜的避讓感測元件，不具備或可關閉的定高自穩功能，使用手動姿態模式的飛行方式，也使穿越機無法作出多旋翼無人機普遍具備的「懸停」動作。其技術特性如下：

- 飛行速度與靈活性：穿越機能夠在狹小空間內快速轉向，適合進行穿越障礙與特技操作。
- 操控精度：通常要求較高的操控技能，適合熟練的飛行玩家。
- 主要應用場景：穿越機主要用於娛樂性競速、特技展示與小型比賽。

二、產品選擇

市面上穿越機的產品通常以槳葉大小來標示，小型的穿越機大約 1.6 吋，最常使用的為 5 吋機，也有 7-8 吋的專業機種。與空拍機相比，穿越機入門價格相對較低，初次接觸的人也可以利用入門級的小型穿

越機練習操作手感，或利用購買組件自行組裝的方式來熟悉各種電子元件的運作原理。穿越機的代表品牌如 BetaFPV、Gepc、Axisflying、Speedybee 與 iFlight 系列等。

三、應用場景

穿越機可以用來在固定的賽道中進行競速比賽，這種競賽目前已成為一門新興時尚的運動，也可以作為影視作品中的特殊攝影及於野外「刷山」「刷海」「穿林越樹」等休閒娛樂使用。特別要注意的是，依據民航法相關規定，自然人使用 FPV 飛行眼鏡操作穿越機，活動應在綠區等合法範圍內於視距範圍內從事，操作人旁應有一位觀察員，並事先協調溝通方式及機器故障 / 碰撞等緊急處置程序，以確保休閒娛樂安全。穿越機的應用場景如下：

- 競速比賽：穿越機的高機動性使其成為競速比賽的主力。使用者佩戴 FPV 頭戴顯示器，可在第一人稱視角下完成快速操控過彎穿環與躲避障礙。
- 特技展示：穿越機適合進行高難度的翻轉與迴旋動作，例如在建築物間穿梭或完成精準的低空飛行表演。
- 新手入門：初學者可選擇價格較低的小型穿越機型號作為入門產品，以熟悉操控技能。

參、空拍機的技術特性、產品選擇與應用場景

一、技術特性

空拍機的特性體現在穩定性、影像畫質以及易操作性等方面，通常內建高解析度相機，能夠捕捉細膩且高品質的影像與影片，以滿足使用者對視覺效果的高標準需求。同

時，其穩定化設計，包括三軸穩定雲台與電子穩定系統等技術，能在拍攝過程中有效減少震動與晃動，即使面對風速變化或操作不穩定的情況，仍能確保輸出畫面的平穩與流暢。空拍機的價格較穿越機為高，通常會利用光流、紅外線、超音波等感測元件，對四周環境進行避障，以確保機體的安全。其技術特性如下：

- 穩定性與續航力：配備先進的穩定雲台（Gimbal）與衛星導航系統，以確保拍攝時的平穩性。
- 高畫質影像：內建高解析度鏡頭與影像處理技術，適合進行靜態或動態攝影。
- 主要應用場景：旅行紀錄、風景拍攝與創意製作等。

二、產品選擇

空拍機依據重量及適用的法規不同，可分為起飛重量小於 250 公克的入門級空拍機與具備更高解析度的相機與穩定性能的進階級空拍機二種。入門級空拍機價格較低且操作簡單，又免辦理註冊，適合學習基本空拍飛行與拍攝技巧。進階級空拍機起飛重量介於 250 公克 ~ 2 公斤，是目前市場主流產品，適合大多數以拍攝為主的用戶。此類機型需完成註冊程序，如果是自然人使用不需要取得操作證，但法人排除限制使用時，操作人必需取得無人機的專業操作證，無人機也必須投保。空拍機的代表品牌，入門級有 DJI 的 Mini 系列，進階級有 DJI 的 Air 或 Mavic 系列以及 Skydio 的 X2 等，國內業者亦有中光電、亞拓、奧榮等公司的 2 公斤級空拍機產品問世。

三、應用場景

空拍機的使用範疇極為廣泛，涵蓋旅遊景點的風光記錄、活動場景的動態拍攝，乃

至於創意領域中專業級影像作品的製作。這些應用充分展現了空拍機在影像創作與視覺表達中的優越性能，並為使用者提供了「上帝的視角」，擴大了攝影的發揮空間。作為一種技術成熟且功能多樣的無人機產品，空拍機已成為許多使用者用以探索視野與記錄生活的重要工具。自然人可應用空拍機於以下的場景：

- 風景攝影：空拍機因其穩定性與高解析度鏡頭，常用於拍攝自然景觀與城市風貌。
- 影片創作：用於創作短片、婚禮錄影或宣傳片，以高空視角的鏡頭效果，增添影片的藝術性。
- 旅行紀錄：以空拍機捕捉旅遊中的特殊瞬間，分享至社交媒體已成為時尚的熱門趨勢。

肆、我國使用空拍機的規範

自然人使用空拍機除考量需求及預算，選擇合適之機型以外，實際操作中擁有完善之法規法律素養亦能指導自然人更理性合法選擇適合的場地與時機使用無人機，並提升飛行體驗的樂趣與安全性。依據「民用航空法」與「遙控無人機管理規則」，無論是休閒娛樂使用無人機的自然人，還是利用無人機從事業務的法人，操作空拍機均須遵守一定的法規，包括註冊、操作規範及活動區域的限制等等。

一、產品註冊

1. 註冊的必要性：依據「民用航空法」，最大起飛重量超過 250 公克的無人機需完成註冊方可操作。註冊亦是無人機管理的基礎，如同汽、機車的牌照，在違規或意外事件發生時能被識別，並增強安全管理效率。

2. 流程

- (1) 申請文件：自然人須準備身分證明文件及購機憑證，並填寫申請書。
- (2) 線上申請：透過民航局的線上系統進行登錄，申請編號並繳納 50 元的規費。
- (3) 標示編號：完成註冊後，申請人需將註冊號碼標示於無人機外部顯著處。

3. 效期：註冊的有效期限 2 年，到期需延展或重新申請。若無人機報廢或轉讓，所有人須於 15 日內辦理註銷。

4. 未經註冊使用超過 250 公克無人機者，可能面臨新臺幣 5 萬元的罰鍰。

二、操作證

1. 普通操作證的定義與適用範圍

- (1) 未達 2 公斤的消費型無人機，不需要特別的操作證即可在合法區域內，遵守操作規範飛行。
- (2) 普通操作證適用於操作 2 ~ 15 公斤具導航設備的無人機。

2. 普通操作證的申請流程

- (1) 考試合格：通過民航局學科測試，證明具備基本操作與應急處理能力。
- (2) 年齡限制：申請人須年滿 18 歲。

3. 操作證的有效期與續期：普通操作證效期為 3 年，到期需重新辦理換證。

4. 如為法人申請飛航活動，排除限制飛行，則需要取得專業操作證，無人機不分重量均應註冊。

三、活動區域

依據「遙控無人機管理規則」所示，無

人機活動區域分為綠區、黃區以及紅區等三類，自然人僅能在綠區或 200 呎以下的黃區飛行。

1. 飛行區域的分類：
- (1) 綠區：離地高度 400 呎以下允許飛行。
 - (2) 黃區：離地高度 200 呎以下允許飛行，若為縣市政府黃區，則需遵守特定條件限制飛行
 - (3) 紅區：全面禁止飛行，如機場或飛行場周邊、核電廠、重要設施周邊的限航區或地方政府公告因公益與安全需要禁止無人機飛行的區域。

- 2. 檢查工具：在飛行前應使用民航局提供的 Drone Map 2.0 app 確認所在區域的適飛狀態與天氣資訊。
- 3. 飛行高度限制：在綠區內，飛行高度不得超過 400 呎（約 120 米），以避免干擾有人航空器的飛行。
- 4. 電子圍籬：大部分市售的空拍機均有防止無人機進入限航區、航空站或飛行場四周的圖資軟體系統，當進入限制空域時，會自動停止飛行或提供警示。特別注意

遙控無人機管理規則		
自然人 vs. 法人		
	自然人	法人
活動目的	個人休閒娛樂使用	商用、空拍、監測、研究、農藥噴灑、夜間及人群上空飛行等相關應用
註冊	無人機重量 250公克以上需註冊	不論無人機重量 皆須辦理註冊
操作證測驗	未達2公斤之遙控無人機 未達15公斤之航空模型 免考操作證	須持有專業操作證
活動區域與操作	縣市政府公告之綠區範圍 遵守操作限制項目 免保險	通過能力審查，經申請許可後 可執行全國不限區域 或400呎以上之飛行 排除操作限制時，須保險
交通部民用航空局 Civil Aeronautics Administration, MOTC		

的是，擅自改動電子圍籬圖資系統也是違規的行為。

5. 違規進入限航區或機場、飛行場四周及活動高度超過 400 呎，因影響飛航安全甚鉅，將可能面臨新臺幣 30-150 萬元的鉅額罰鍰；違規進入地方政府公告的紅區，將被處新臺幣 6 萬元的罰鍰。

四、操作限制

民航局將無人機操作人的操作規範以

「五要五不要」作簡易說明，簡述說明如下：

1. 五要

- (1) 要在白天飛行
- (2) 要在視距範圍內進行操作
- (3) 要低於 400 呎活動
- (4) 要隨時監視遙控無人機之飛航及其周遭狀況
- (5) 要遵守管理規則之操作限制

2. 五不要

- (1) 不要與其他航空器、建築物或障礙物接



近或碰撞

- (2) 不要投擲或噴灑物件
- (3) 不要裝載危險物品
- (4) 不要於人群聚集或室外集會遊行上空活動
- (5) 不要同一操作人同一時間控制二架以上遙控無人機

伍、結論

空拍機作為現代科技的一部分，對於自然人來說，不僅是一項娛樂或空中攝影的工具，更是一種探索世界的新方式，穿越機則是讓人有直接坐在駕駛艙自由飛行或飛行競賽的體驗。然而，在享受飛行樂趣的同時，遵循相關規範和操作要求是確保安全與合法的重要基礎。經過以上的討論，有以下幾點結論。

首先，在市場趨勢方面，無人機市場正快速演進，針對自然人使用的產品，未來發展將聚焦於輕量化設計（< 250 公克）。拜資通電技術的進步，入門級空拍機與穿越機在功能上將逐漸融合，如 DJI 的 AVATA/Neo 或 Hoverair 的 X1 等產品，結合人工智慧與導航系統的智慧功能大幅降低操作門檻，高解析鏡頭亦可滿足影像創作需求，內建即時分享功能的社交媒體整合擴大了使用場景等等。而在享受科技的同時，也帶來了各種無人機操作上的風險，必需透過適時訓練、法規宣導與廠商對產品的安全責任來強化使用者的安全認知。

其次，在持續學習方面，隨著我國與全球之無人機技術的發展，空拍機在個人娛樂與專業應用之間的界線將越發模糊，無論是自然人還是法人均會使用各種入門或進階級

的消費型空拍機從事專業攝影活動。自然人除了遵循現有的法規外，也需建立安全飛行的觀念，並抱持開放的心胸，持續學習新的飛行技術與知識，並探索無人機更多元的應用場景。

最後，在安全管理方面，我國近年空拍機的普及讓每個人都能享受飛行與創作的樂趣，但同時也帶來責任。無論是選擇穿越機還是空拍機，都應以安全與守法為前提。隨著無人機相關法規的完善，以及科技的不斷發展，使無人機的安全使用常識，普及至每一位民眾的生活中。✈



113年11月11-14日SMS民航專班



113年12月3-5日航空保安全管理班



本會與民航局、民航學會、航發會、中華航空公司等單位共同辦理113年「地緣衝突對航空保安之風險研討會」。會議邀請國內產、官、學、研等相關單位97人共襄盛舉。



每年12月7日為「國際民航日」，今年適逢ICAO成立80週年，本會會員團體積極參與多項民航局規劃的飛安宣導活動。



財團法人中華民國台灣

飛行安全基金會

Flight Safety Foundation-Taiwan

台北市郵政45-116號信箱

www.flightsafety.org.tw