

# 2026年飛行安全半年刊

# FLIGHT SAFETY

## BI-ANNUAL MAGAZINE

# 2026



FLIGHT SAFETY January~June 2026



非賣品

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





115年3月9-13日航空安全管理班



115年4月20-23日安全管理系統(SMS)普通班

# 目 錄

## Content

2026年1~6月「飛行安全半年刊」

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

### 航空安全

|                                                                                    |                                                 |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|
| 02 低雲幕對飛航安全的影響與干擾 .....                                                            | 林得恩                                             | P.03 |
| 03 以疲勞風險管理系統強化航空安全：<br>2026年IATA FRMS台北訓練課程心得 .....                                | 徐偉倫/陳函郁/陳昶明<br>李弘道/蕭力文/劉川鼎                      | P.15 |
| 04 阻斷錯誤鏈：建立航空業之營運韌性 .....                                                          | 蕭光霽                                             | P.18 |
| Interrupting the Error Chain: Building<br>Operational Resilience in Aviation ..... | Singapore Institute of<br>Technology April 2026 | P.21 |
| 05 疲勞、備勤與適勤 .....                                                                  | 蕭光霽                                             | P.26 |
| Fatigue and Operationally Ready<br>and Fit for Duty .....                          | Conversation Aviation<br>Mar 2024               | P.34 |
| 06 野生動物危害防治 .....                                                                  | 蕭光霽                                             | P.44 |
| Wildlife Hazard Management .....                                                   | Conversation Aviation Jan 2025                  | P.47 |

### 無人機資訊

|                            |     |      |
|----------------------------|-----|------|
| 07 各國無人機機場禁飛紅區範圍分析比較 ..... | 劉川鼎 | P.52 |
|----------------------------|-----|------|





## 編者的話

飛安基金會

# 2026年上半年的飛安半年刊來了！

本期的內容豐富，再次邀請航空氣象專家林得恩博士撰寫「低雲幕對飛航安全的影響與干擾」，解讀低雲幕影響飛安的原因並提供排除建議。

「以疲勞風險管理系統強化航空安全：2026年 IATA FRMS 台北訓練課程心得」則為本會派訓赴台北 IATA 訓練班學員撰寫的報告，呈現國際航空疲勞風險管理訓練實務啟發與經驗回饋。

外國譯文選粹部分，收錄三篇重要文章，分別為「阻斷錯誤鏈：建立航空業之營運韌性」、「疲勞、備勤與適勤」與「野生動物危害防治」，特別是有關疲勞管理的內容，可與本會派訓學員的報告相互參照，提供讀者他國／他行在維護飛航安全的作為。

「各國無人機機場禁飛紅區範圍分析比較」聚焦於近年無人機活動快速增加後，各國如何透過機場周邊禁飛區、地理圍籬、空域分層與風險管制作法，降低無人機誤入跑道到離場航道及機場周邊敏感空域之風險。本文比較各國之制度設計與管制範圍，可作為我國後續無人機空域管理、機場周邊防制作業及飛航安全風險評估之參考。

上半年會務推展方面，本會已順利完成「航空安全管理班」、「安全管理系統（SMS）普通班」及「機坪／空側安全管理班」等專業課程，並持續將飛安管理理念導入「高階風管政策管理班隊」，以期飛航安全的專業知識與實務精神深植於國軍決策主管階層。✌

本刊編審吳忠萍研究員於7月1日自飛安基金會榮退，謝謝吳教官多年來在工作崗位上的奉獻與付出

# 低雲幕對飛航安全的影響與干擾

## The impact and interference of low cloud ceiling on flight safety

國立臺灣大學 氣候天氣災害研究中心 林得恩 博士

### 摘要

低雲幕是影響飛航安全的重要天氣現象之一，尤其在航空器起飛、進場與降落階段，容易造成能見度下降、地形遮蔽及飛航決策困難等問題；對機場營運作業而言，低雲幕則經常造成航班延誤，班機調度上的困擾。

低雲幕往往不是單獨出現，而是伴隨其它的危害天氣系統共同發生，形成複合型的飛航安全風險。根據氣候統計，除颱風外；尤其在鋒面、東北季風、劇烈降雨以及山區地形作用下，所發生的低雲幕視障，最為容易肇致飛航安全的威脅。而，常易伴隨低雲幕的天氣現象，包含有低能見度、霧、小雨或持續性降雨、山區地形遮蔽、風切變及亂流等諸元。

在飛安維護與策略調適上，可藉由運用自動氣象觀測系統、強化氣象雷達的判讀、掌握航空例行天氣報告、機場預報的提醒、氣象衛星雲圖的監測應用，以及氣候統計特徵表現等作為，來改善精進，消弭風險、確保飛安。

### 關鍵字

低雲幕、飛航安全、調適策略

### Abstract

Low cloud ceiling is one of the important weather phenomena affecting flight safety, especially during aircraft takeoff, approach and landing, which can easily cause problems such as reduced visibility, terrain obstruction and difficulty in flight decision-making; for airport operations, low cloud ceiling often causes flight delays and flight scheduling problems.

Low cloud ceiling often occurs not in isolation, but rather in conjunction with other hazardous weather systems, creating a complex flight safety risk. According to climate statistics, aside from typhoons, low cloud ceiling, especially under the influence of fronts, northeast monsoons, heavy rainfall, and mountainous terrain, is the most likely cause of flight safety threats. Weather phenomena commonly associated with low cloud ceiling include low visibility, fog, light or persistent rainfall, mountainous terrain obstruction, wind shear, and turbulence.

In terms of flight safety maintenance

## 壹、前言：

低雲幕（Low Cloud Ceiling）是航空氣象中重要的危害天氣之一，指大量低層雲系覆蓋天空，使得雲底高度降低。當雲底高度低於約 1,000 英呎（約 300 公尺）時，即可能對飛航作業造成顯著影響與干擾；尤其是在起飛、進場及降落階段，對我飛航安全維護作業常常構成嚴峻的挑戰。低雲幕最直接的影響是降低飛行員的視程（Visibility）及雲幕高度（Ceiling Height）。當機場被層雲（Stratus）、層積雲（Stratocumulus）或濃霧覆蓋時，飛行員無法及早目視跑道、地標及周遭障礙物，常易增加進場與降落難度。尤其在山區機場或複雜地形區域，低雲容易遮蔽山脈與高地，造成地形碰撞風險（Controlled Flight Into Terrain, CFIT）上升。

在飛航作業方面，低雲幕易導致儀器飛航規則（IFR）啟動。當雲幕高度低於目視飛航規則（VFR）最低標準時，航空器必須依賴導航設備、儀器進場程序及航空管制指引進行飛行。若雲幕持續降低至機場最低降落標準以下，航空器可能無法完成降落而需重飛（Go-around）或轉降其他備降機場，不僅增加油料消耗，也影響航班正常運作，徒增飛航安全的風險。

而，對機場營運作業而言，低雲幕則經常造成航班延誤，班機調度上的困擾。由於飛機進場間隔需再增加，俾利確保安全距離，機場容量自然就會下降。現今，大型國際機場雖已具備先進的儀器降落系統（ILS），但若雲底高度過低或伴隨濃霧等低能見度視障現象，仍可能影響航機起降效率，以及飛安風險的提高；部分設備較簡易的機場甚至可能暫停起降作業，造成班務調

and adjustment strategies, improvements can be made, risks can be mitigated, and flight safety can be ensured by using automatic weather observation systems, enhancing the interpretation of weather radar, mastering routine aviation weather reports, airport forecast reminders, monitoring and applying meteorological satellite cloud images, and observing climate statistical characteristics.

### Keywords

low cloud ceiling, flight safety, adaptation strategy

整應變的複雜作業。

## 貳、肇致低雲幕發生的天氣系統：

低雲幕（Low Cloud Ceiling）本身就會降低能見度與雲底高度，但在實際航空作業中，低雲幕往往不是單獨出現，而是伴隨其它的危害天氣系統共同發生，形成複合型的飛航安全風險。根據統計，除颱風外；尤其在鋒面、東北季風、劇烈降雨以及山區地形作用下，所發生的低雲幕視障，最為容易造成飛航安全的威脅。

### 1. 鋒面：

2026 年 6 月 8 日，梅雨鋒面來襲前夕（如：圖 1），由於臺灣適位處鋒面暖區內，加上環境西南風風速增強，水氣快速增加，大氣不穩定度增大，除造成北部地區間歇性陣性降雨外；鋒面降雨亦伴隨著局部區域性的低能見度與低雲幕等視障現象發生。松山機場的天氣也因降雨緣故，能見度下降至 4000 公尺，雲幕高也從原先的疏雲 2000 呎、裂雲 3500 呎，驟降至裂雲 1200 呎；



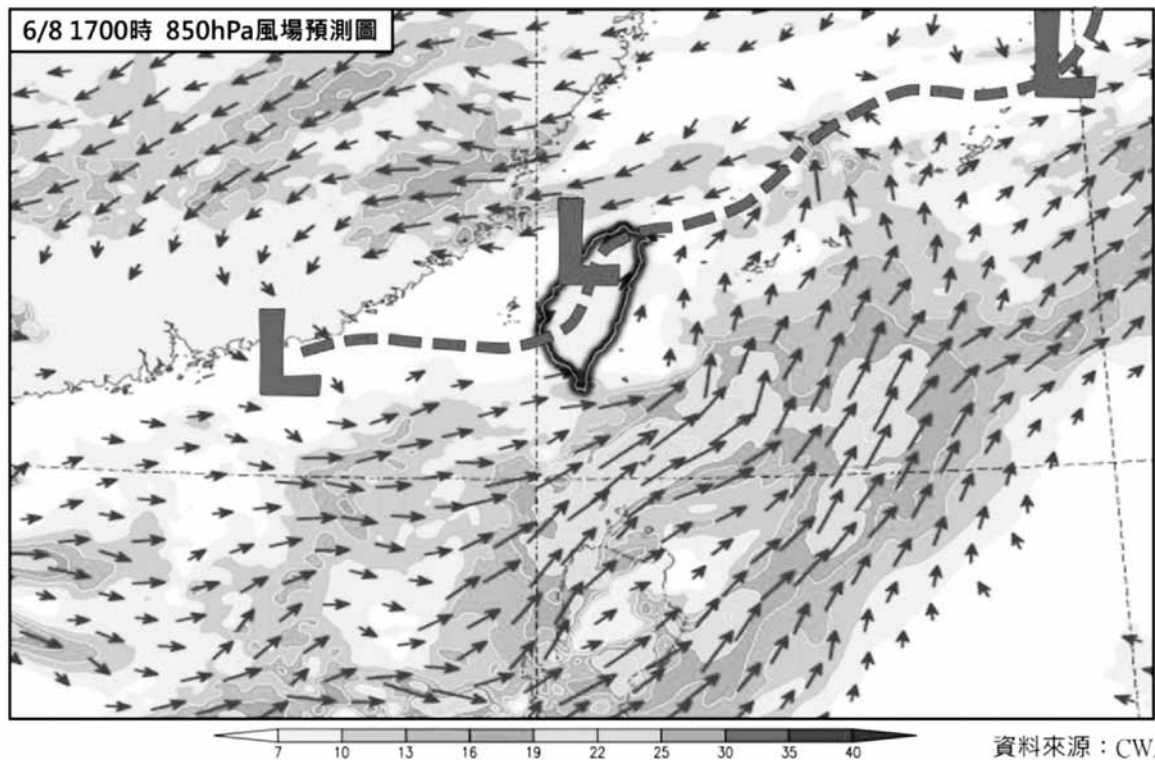


圖 1、2026年6月8日，梅雨鋒面來襲前夕，850hPa風場預測圖（資料來源：中央氣象署）

影響時間自下午的 14 時，延續至 17 時，造成當時飛行起降及調度作業上相當程度的干擾。

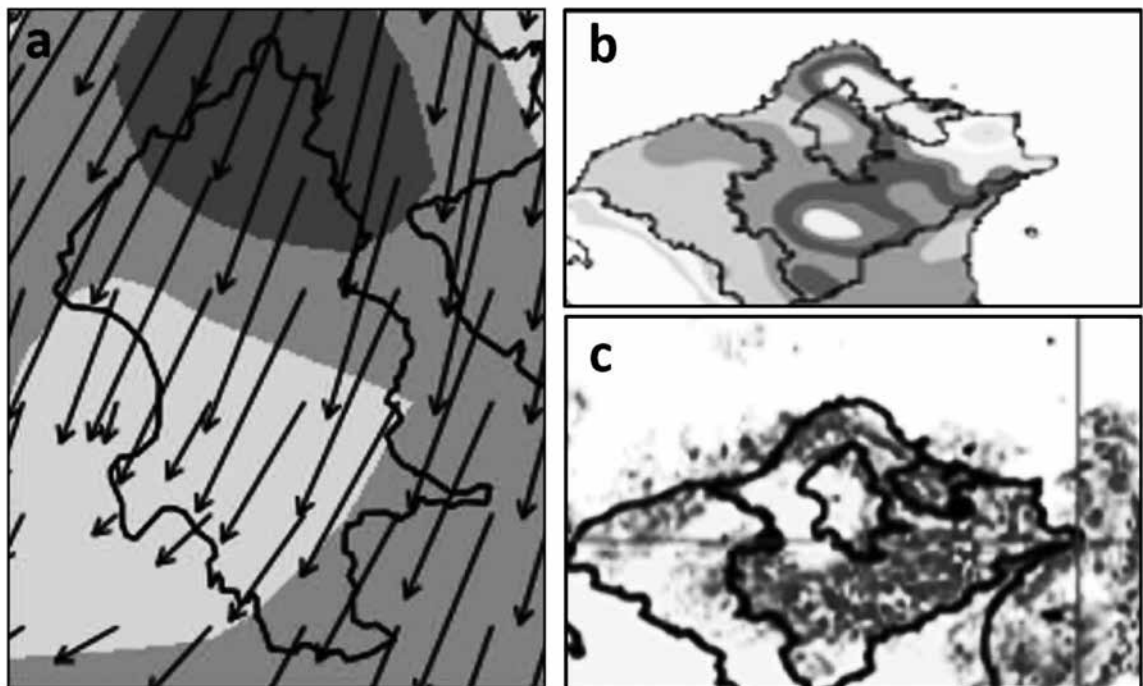


圖 2、2023 年 12 月 20 日環境氣象量場分佈圖。其中，a 圖為 NCDR 劃製台北市 0800 時地面風場及溫度預測圖；b 圖為 CWA 劃製 0800 至 2000 時，定量降雨預報圖；c 圖為 CWA 於 0700 時之氣象雷達回波圖

## 2. 東北季風：

在冬季鋒面或東北季風環境下，由於低雲常伴隨毛毛雨、降雨及霧氣，使得跑道濕滑，並降低摩擦力。尤其是在臺灣北部、東北部及離島地區，盛行風轉為東北季風常是造成冬半年陰雨天氣、能見度下降、低雲幕產生等飛航影響的重要因素。2023 年 12 月 20 日，冬季東北季風南下，不但帶來顯著且持續的累積降雨外（圖 2）；也造成松山機場低雲幕肇生，並影響航班運作作業遂行。當時，機場四週天空雲底高度為 500 至 1000 呎，能見度也跟著驟降至 2400 至 3200 公尺，飛機進場程序立即進行調整，甚至調整為儀器飛航（IFR）模式。

此外，低溫環境下的低雲亦可能含有過冷水滴（Supercooled Water Droplets），常易造成機體積冰（Aircraft Icing），也會影響

飛機升力、操控性能與發動機運作安全。

## 3. 劇烈降雨：

劇烈顯著的降雨，通常也易伴隨著雷電或積雨雲併行，並導致出現低雲幕或低能見度等視障天氣現象；低雲幕本身通常不會直接產生劇烈降雨，但可反應出低層水氣非常充足，這也是劇烈降雨發展的重要環境條件之一。2026 年 4 月 4 日，南部一場劇烈雷雨事件（圖 3），高雄小港機場也在警戒範圍內，當時天氣驟變，天空雲狀及雲量分佈，裂雲 500 呎，密 1000 呎，傾盆大雨、雷電交加，同時，也肇致計有 4 架次國際線航班次受到影響延誤起降。

## 4. 山區地形作用：

山區地形是形成低雲幕最重要的因素之一。許多低雲幕並非單純因水氣充足而形成，

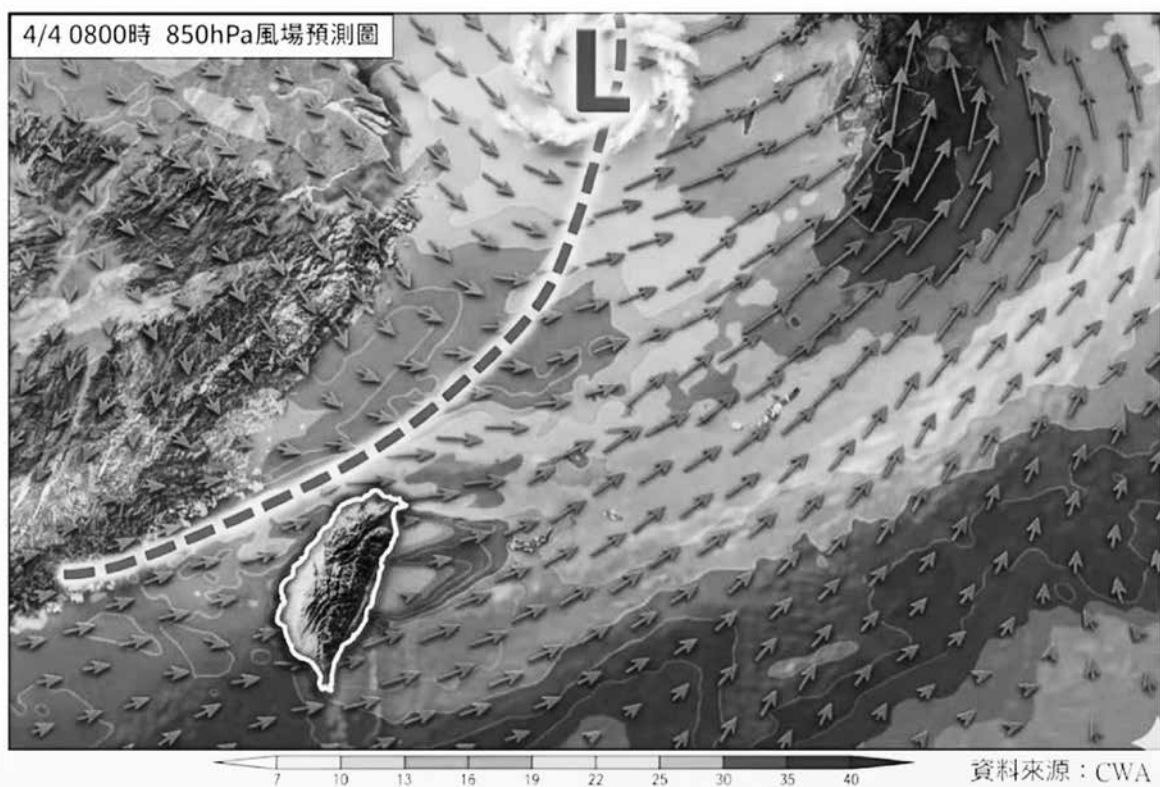


圖 3、2026 年 4 月 4 日，南部一場劇烈雷雨事件，肇致低雲幕及低能見度等視障天氣現象的發生





圖 4、當濕潤氣流遇到山脈被迫抬升（地形抬升作用），而使得空氣冷卻凝結，最後形成低雲幕

而是因為濕潤氣流遇到山脈被迫抬升（地形抬升作用，Orographic Lifting），而使得空氣冷卻凝結，最後形成低雲幕（圖 4）。上升過程中，起先，氣壓降低、空氣膨脹，隨後，氣溫下降、達到露點，再來，水氣凝結，最後，形成低雲或霧氣。臺灣典型的山區地形高度，會落在海拔 300 至 1500 公尺之間，這也是最容易形成低雲幕的山脈高度。主要原因是，此高度常位於東北季風水氣層，或是西南氣流水氣層，以及邊界層頂附近。另一方面，在山區飛航方面，低雲幕對直昇機救災、醫療後送及軍機任務影響尤為明顯。低雲遮蔽山谷與山脊，導致飛行員無法辨識飛行路徑，增加迷航及撞山風險。因此山區飛航往往需要更嚴格的天氣標準及飛航決策評估。

### 參、常易伴隨低雲幕的天氣現象：

當低雲幕產生之際，常易伴隨著其它特殊的天氣現象；而這些特殊的天氣現象也同時是影響或干擾當時飛航安全的重要量場因子。甚至，部份的量場因子還會對應上特殊的時空分佈特性，所造成複合型的結構特徵，對於當下的飛安維護作業推展來說，是一項具有挑戰性的任務。

#### 1. 低能見度（Low Visibility）：

最常與低雲幕共同出現。主要成因，來自低雲幕中的水滴或霧滴會散射光線，所造成的視程下降、地標辨識困難，以及跑道目視距離（RVR）降低等現象。回應飛航安全影響，除易造成進場困難、降落標準需要提高外，並需增加重飛（Go-around）機率，同

時增加轉降備降機場需求。舉例來說，臺北松山機場，在冬季東北季風盛行之際，就常易發生低雲覆蓋，經常出現低雲幕搭配低能見度等視障現象發生；雲幕高多在 500 呎至 1000 呎之間。

## 2. 霧 (Fog)：

低雲幕與霧的形成機制，十分接近。常見的類型，可概分輻射霧、平流霧、山谷霧，以及海霧等；其中，平流霧影響的時間最長，通常，都會在 1 天以上。成霧的主要特徵，當雲底下降至地面時，實際上，就成為霧象。對應飛航安全的風險，除有跑道無法辨識外；嚴重者，更有滑行困難，甚至，導致機場關閉。舉例來說，每年的 3 至 5 月，霧鎖金門，航班大亂，導致金門航班取消，旅客滯留。延誤的主因，即為低雲幕，加上濃霧所造成的複合型視障天氣。

## 3. 小雨或持續性降雨 (Light rainfall or Continuous rainfall)：

根據過去觀測統計結果顯示，低雲幕通常是由層雲 (Stratus) 和雨層雲 (Nimbostratus) 所共同組成的；若對流系統發展旺盛，則亦有積雨雲 (Cumulonimbus) 出現的機會。因此，就常常容易伴隨有毛毛雨、小雨或是持續降雨的降雨現象。對應飛航安全的風險，除有跑道容易濕滑之外；航空器的煞車效能也會因此下降，而低雲幕所伴隨的能見度惡化，也是整體飛航安全維護上，需要特別謹慎面對的重要風險。

## 4. 山區地形遮蔽 (Terrain Obscuration)：

這是低雲幕最危險的伴隨現象之一。主要現象為雲層遮蔽，視野受限，在飛行任務軌跡中，接近或飛越山脈地形時，山峰、山脊以及山谷等處都列為高風險區域，提醒飛

行員需特別注意的。對應飛航安全的風險，當飛行任務有接近或飛越花蓮縣山區、臺東縣山區、阿里山山區以及中央山脈地形時，需加強留意有無低雲幕所造成飛行安全上的天氣視障。另一方面，也可考慮增加 CFIT (Controlled Flight Into Terrain) 系統，藉此減少「可控飛行撞地事故」風險。

## 5. 風切變 (Wind Shear)：

從過去歷史飛安事件來看，部分低雲幕的大氣環境非常容易伴隨著低空風切變同時存在，這對飛安管理及維護上來說，是一大嚴峻且愈來愈頻仍的挑戰。最常見的情境，就是多會出現在鋒面通過、東北季風增強，以及山谷風系交錯影響下發生，不但發生時間短促，且影響嚴重；而，航空器在起飛或進場階段遭遇的機率最高，所受影響的程度也是最大的。對應飛航安全的風險，航空器的飛行空速突變、升力驟然下降，以及飛行路徑偏移等，都易肇致飛航安全發生風險的可能。

## 6. 亂流 (Turbulence)：

低雲幕的發生，常易伴隨不同程度的亂流併行。根據飛行員的歸巡任務報告中顯示，低雲幕附近常有機械亂流、地形亂流，或邊界層亂流；而這些亂流多會發生於山區的迎風坡、海岸地區，以及在季風環境當中。對應飛航安全的風險，除會直接影響飛機機體顛簸之外；也會因此影響飛行任務、增加飛行員負荷，以及造成乘客舒適度大打折扣，是執行飛航任務中的隱形殺手。

## 肆、飛安維護與策略調適建議：

為降低低雲幕等視障天氣現象對我飛航安全的影響與干擾，航空單位（包含氣象單



位)通常會透過以下策略,來進行有效因應與調適,藉此確保飛安。

### 1. 運用自動氣象觀測系統(AWOS)：

低雲幕是影響飛航安全的重要危害天氣之一,尤其是對航空器起飛、進場及降落階段影響最為顯著。當雲底高度下降至儀器飛航標準以下時,可能導致航班延誤、重飛、轉降,甚至增加地形碰撞(CFIT)風險。因此,如何透過自動氣象觀測系統(AWOS, Automated Weather Observing System)進行即時監測與預警,已成為現代航空氣象的重要課題(圖5)。AWOS可全天候自動監測機場週邊環境,主要觀測項目包括:雲底高度(判斷低雲幕高度)、能見度(評估目視飛航條件)、氣溫(判斷雲霧形成條件)、露點(分析雲霧發展機率)、相對濕度(判斷空氣飽和程度)、風向風速(分析低雲幕移

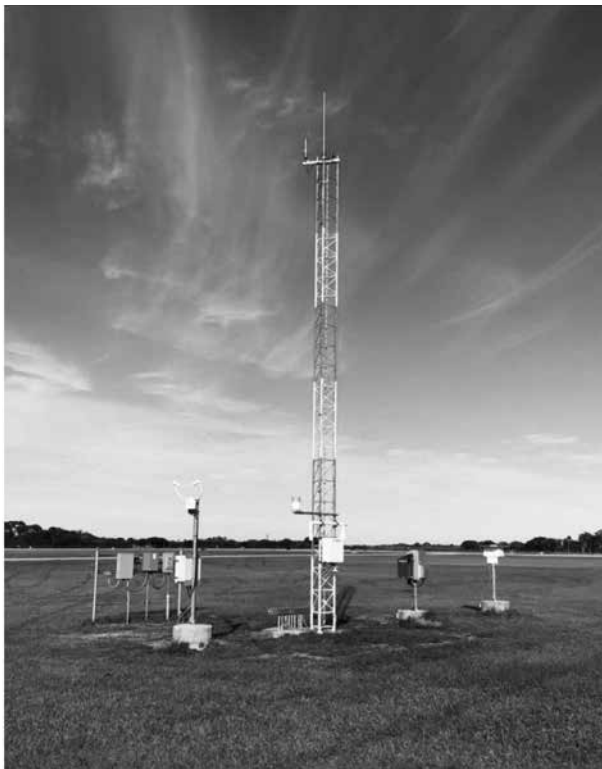


圖5、自動氣象觀測系統(AWOS)是監測低雲幕最重要的地面觀測工具

動的方向)、氣壓(掌握天氣系統變化)及降雨量(判斷低雲幕伴隨降雨的情況)等氣象諸元。

自動氣象觀測系統是監測低雲幕最重要的地面觀測工具,其中,又以雷射雲高儀、能見度儀、溫濕度感測器及風場觀測設備最具關鍵性。透過即時監測雲底高度、能見度、溫露差及濕度變化,可提早發現低雲幕形成徵兆,並結合氣象雷達、衛星雲圖及AI預測技術建立低雲預警系統。對於松山、花蓮、臺東等易受低雲影響之機場而言,完善的AWOS監測與守視機制,不僅可提升飛航決策效率,更能有效降低低能見度、地形遮蔽及飛航延誤等風險,確保航空運輸安全。

### 2. 強化氣象雷達的判讀：

低雲幕主要由低層層狀雲、層積雲、雨層雲或霧層所構成,其雲頂高度較低、反射率較弱,傳統氣象雷達並不容易直接偵測。因此,必須結合氣象雷達產品判讀技巧、氣象衛星雲圖及地面觀測系統,建立完整的低雲幕監測守視機制。根據過去觀測經驗,低雲幕通常由微小雲滴組成,雷達的反射率多在-10至10dBZ之間;甚至,有時還無明顯回波,因此容易被忽略。雷達最低仰角多在0.5°及0.7°的掃描產品。因低雲幕通常位於100至1000公尺的高度範圍。把握在廣泛且均勻的分佈特性,低雲幕特徵是面積大、組織鬆散且回波均勻;不同於對流胞的強度高,且集中性強的特徵。

低雲幕因反射率弱、雲層高度低,難以僅靠傳統氣象雷達直接監測,因此需強化低仰角回波、CAPPI、垂直剖面及速度場等雷達產品判讀能力,並整合衛星雲圖、AWOS雲高儀、能見度儀及數值模式資料進行綜合

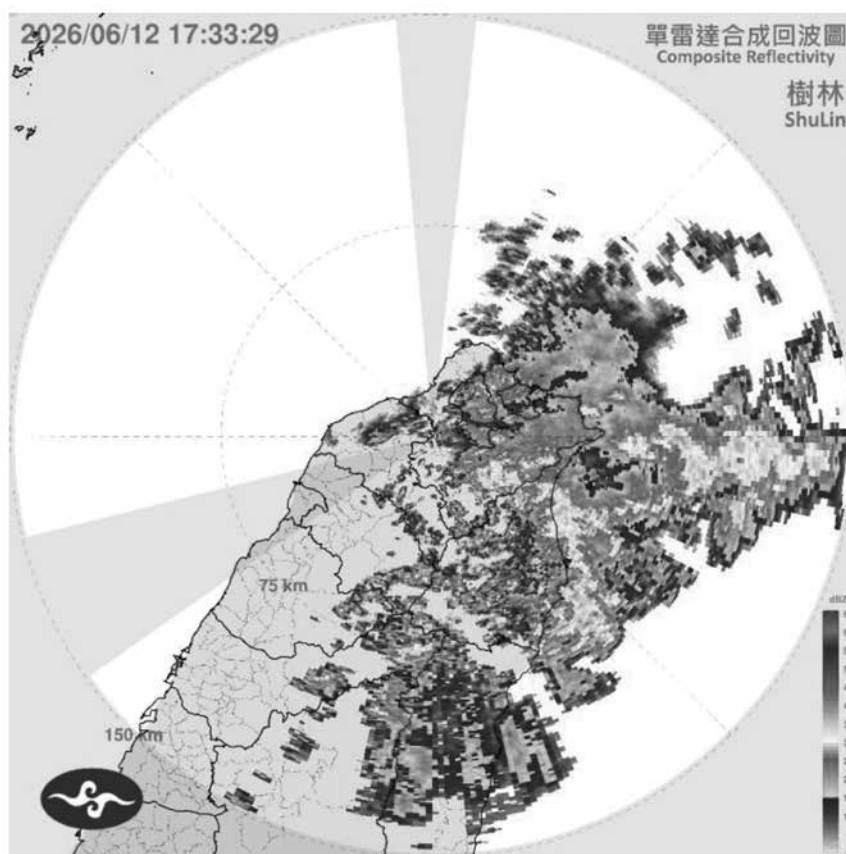


圖 5、自動氣象觀測系統（AWOS）是監測低雲幕最重要的地面觀測工具

分析。對於台灣的松山、花蓮、臺東及離島機場而言，建立「雷達＋衛星＋地面觀測＋AI 預警」的低雲幕守視機制，可有效提升飛航氣象預報能力，降低低能見度與地形遮蔽所造成的飛安風險（圖 6）。

### 3. 掌握航空例行天氣報告（METAR）：

METAR（Meteorological Aerodrome

Report）是監測低雲幕最直接、最重要的即時資訊來源之一（圖 7）。透過 METAR 的持續監測與趨勢分析，可有效掌握低雲幕的形成、發展與消散過程，做為飛航決策、航班調度及機場營運的重要依據。航空例行天氣報告（METAR）通常每小時發布一次，提供機場即時觀測資料，包括有風向風速、能見度、天氣現象、雲層資訊、氣溫與露點，

**METAR:** RCTP 120900Z 03006KT 9999 FEW008 BKN010  
BKN020 24/24 Q1011 NOSIG RMK A2987

**TAF:** RCTP 120500Z 1206/1312 06010KT 7000 SCT006  
BKN011 TEMPO 1206/1210 04015KT 3200 RA BR SCT004  
BKN006 BECMG 1210/1212 08005KT FEW015 BKN032  
TEMPO 1218/1224 15005KT FEW010 BKN020 BKN040  
BECMG 1300/1302 36005KT TEMPO 1303/1309 29010KT

圖 7、METER 及 TAF 案例



及氣壓等。其中與低雲幕最相關的項目則為雲層（Cloud Layer）、能見度（Visibility）及溫度與露點。

對於航空人員而言，飛航守視重點，應特別注意的危險訊號。包含 BKN 或 OVC 低於 1000 呎、溫露差  $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 、能見度低於 5000 公尺、SPECI 頻繁發布、持續性毛毛雨或霧、東北季風增強，以及山區地形雲發展等。透過連續監測 METAR 變化趨勢，可提早掌握低雲幕形成與惡化過程，並結合 AWOS、氣象衛星雲圖、氣象雷達及 TAF 預報資料，建立完整的低雲幕守視機制。對於松山、花蓮、臺東等易受低雲幕影響的機場而言，強化 METAR 判讀能力與即時監控作業，可有效降低低能見度、地形遮蔽及航班延誤風險，

進一步提升飛航安全與機場營運效率。

#### 4. 機場預報（TAF）的提醒：

機場預報（TAF, Terminal Aerodrome Forecast）是航空氣象作業中最重要的預報產品之一，提供機場及其周邊約 8 公里範圍內未來數小時至 30 小時的天氣變化預測（圖 7）。相較於 METAR 反應「現在天氣」，TAF 則提供「未來天氣趨勢」，對於低雲幕的監測、飛航決策及航班調度具有關鍵價值。

由於低雲幕常導致能見度降低、儀器飛航條件（IFR）啟動、重飛、備降，以及機場容量下降等。因此，飛航人員應透過 TAF 提早掌握低雲發生時間、持續期間及惡化程度，建立預警守視機制。TAF 是低雲幕預警與飛航風險管理的第一道防線。透過分析 BKN、

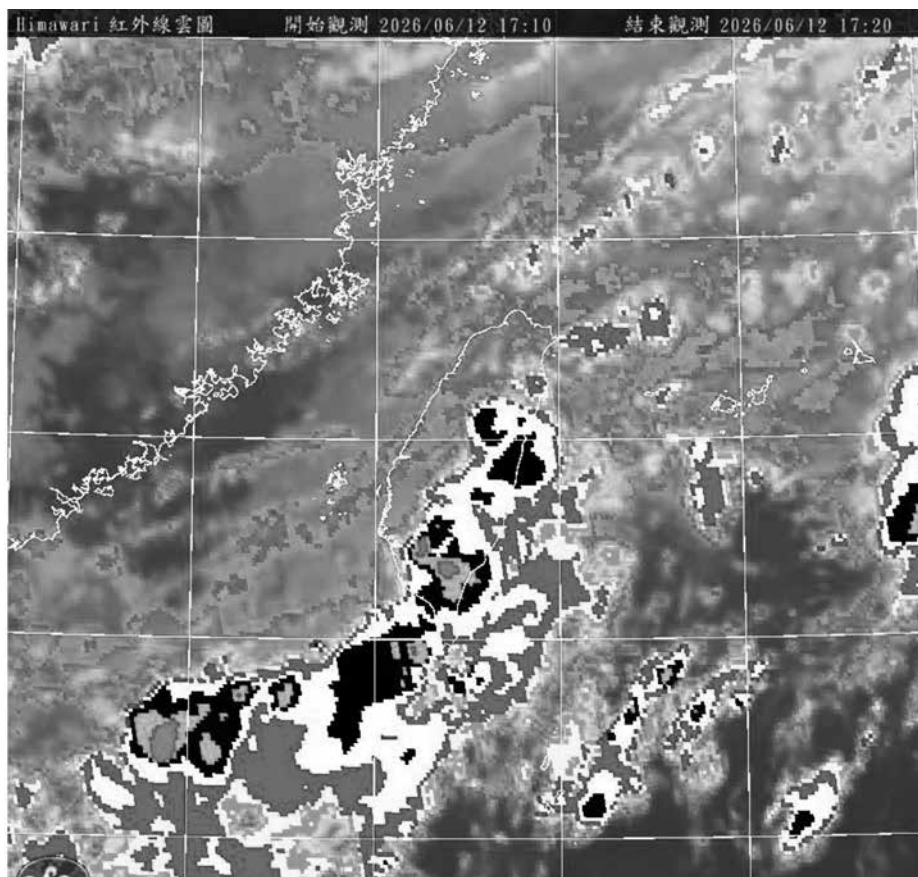


圖 8、Himawari-9 氣象衛星雲圖（資料來源：中央氣象署）

OVC、BECMG、TEMPO 及 PROB 等預報資訊，可提前數小時至一天掌握低雲發生時段與影響程度。實務上應將 TAF 與 METAR、SPECI、AWOS、氣象雷達及氣象衛星雲圖交叉驗證，建立「預報—監測—警戒—應變」的完整守視流程。尤其對於臺北松山機場、花蓮機場、臺東機場及金門機場等易受低雲幕影響機場，更應將 TAF 作為低雲幕風險預警的核心依據，以提升飛航安全與機場營運效率。

#### 5. 氣象衛星雲圖的監測應用：

由於低雲幕常具有範圍廣、移動快及受地形影響顯著等特性，僅依靠地面觀測站難以掌握其全貌，因此氣象衛星成為監測低雲幕的重要工具。目前航空氣象作業主要利用 Himawari-9 氣象衛星資料（圖 8），結合 METAR、TAF、AWOS 及氣象雷達等守視工具，建立完整的低雲幕監測與預警機制。

氣象衛星也是低雲幕監測最重要的遙測工具之一，尤其在海洋低雲、東北季風雲帶、海霧及地形雲監測方面，仍然具有不可取代的優勢。透過可見光、紅外線、RGB 低雲產品及高頻率觀測資料，可提早掌握低雲幕生成與移動趨勢。然而，由於衛星無法直接量測雲底高度，因此仍須結合 METAR、TAF、AWOS 及氣象雷達資料進行綜合判讀。未來，建立「衛星＋地面觀測＋數值模式＋AI 預警」的監測架構，可有效提升低雲幕預警能力，降低飛航延誤、重飛及地形碰撞風險，並有效強化機場營運與飛航安全管理。

#### 6. 氣候統計特徵表現：

低雲幕雖屬於短時間尺度的天氣現象，但其發生往往具有明顯的季節性、區域性及氣候背景特徵。因此，除了即時監測

（METAR、TAF、AWOS、氣象衛星及氣象雷達）之外，若能進一步分析機場歷年低雲事件的氣候統計特徵（Climatology），將有助於建立低雲高風險時段預警機制，提升飛航安全與機場營運效率。

可以嘗試就低雲發生日數、低雲持續時間，以及最低雲底高度等進行統計與分析。就臺灣低雲幕的季節特徵來看，最容易發生的季節，會落在冬季（12 月至 2 月）。主要原因，來自東北季風帶來冷空氣及海洋水氣，所形成的低雲幕；高風險機場會以臺北松山機場及花蓮機場最為顯著。春季（3 月至 5 月）期間，海霧事件增加。主要特徵，就是暖濕空氣流經冷海面，所形成的海霧與層雲；高風險機場會以金門機場與馬祖南竿機場為主。至於，梅雨季（5 月至 6 月）期間，在梅雨鋒面環境下。常見有層狀雲或雨層雲，以及持續降雨，並伴隨有低雲幕的發生。夏季（7 月至 9 月），除颱風系統影響外，低雲幕的發生率最低；但，有時午後雷雨過後，也有可能短暫出現低雲幕現象。

#### 伍、結論與建議：

總體而言，低雲幕雖不像颱風、雷暴或風切變那樣具有劇烈破壞力，但其對飛航安全的影響卻十分廣泛，特別是在起降與進場階段。若雲底高度持續偏低，將增加飛行員工作負荷、降低機場容量、提高重飛與轉降機率，並可能衍生地形碰撞及積冰等飛航風險，因此一直是航空氣象預報與飛航決策支援系統的重要監測項目，尤其在航空器起飛、進場與降落階段，容易造成能見度下降、地形遮蔽及飛航決策困難等問題。臺灣因地處海島環境，且受東北季風、梅雨鋒面、海陸風循環及中央山脈地形效應影響，低雲幕事



件發生頻率相對較高，尤其在北部、東部及離島機場更為常見。因此，如何強化低雲幕監測與守視能力，建立更精準、更即時的預警機制，已成為航空氣象服務的重要課題。

首先，在地面觀測系統方面，應持續提升自動氣象觀測系統（AWOS）及雲高儀（Ceilometer）的觀測密度與品質。目前多數機場主要依賴單一雲高儀監測雲底高度，但低雲具有高度空間變異特性，尤其在山區或海岸附近，局部地區雲底高度可能存在顯著差異。因此，未來可於跑道兩端、進場航線及周邊高地增設雲高儀與能見度儀，建立多點觀測網絡，提高低雲幕空間分布掌握能力。此外，透過高頻率資料傳輸與即時品質管制，可有效提升低雲監測的可靠性與即時性。

其次，應強化氣象衛星與雷達資料的整合應用。傳統雷達對低雲幕直接偵測能力有限，但透過低仰角掃描、垂直剖面分析及都卜勒風場資料，可間接掌握有利低雲形成的環境條件。同時，利用氣象衛星可見光、紅外線及 RGB 低雲產品，可有效監測海霧、層雲及層積雲發展情形，特別是在海面及偏遠區域。未來應建立衛星、雷達與地面觀測資料融合系統（Data Fusion），透過多源資料交叉驗證，提高低雲監測準確度，並降低單一觀測設備的侷限性。

第三，應精進航空氣象預報技術，提升低雲幕預測能力。低雲形成涉及邊界層結構、水氣分布、地形抬升及局地環流等複雜機制，傳統數值模式常有預報偏差。建議利用高解析度數值模式（如 WRF）結合資料同化技術，將雲高儀、衛星及地面觀測資料即時納入模式運算，以改善低雲預報結果。同時可建立低雲發生概念模式，依據不同天氣型態（東

北季風型、海霧型、鋒面型、地形雲型）建立預報指引，提高預報員判斷能力。

第四，推動人工智慧（AI）與機器學習技術應用。近年來 AI 已廣泛運用於航空氣象領域，未來可蒐集長期 METAR、TAF、AWOS、衛星及雷達資料，建立低雲幕預測模型。透過深度學習演算法分析歷史個案，可預測未來 1 至 6 小時的雲底高度、能見度及低雲發生機率。例如當系統偵測到相對濕度超過 90%、溫露差小於 2°C、東北風增強及衛星顯示低雲帶接近時，即可自動發布低雲預警訊息，協助預報員及飛航管制單位提前因應。

第五，建立完整的低雲幕守視作業程序（Standard Operating Procedure, SOP）。航空氣象人員應建立「氣候統計分析－TAF 預警－衛星與雷達監測－METAR 驗證－飛航通報」的五階段守視流程。例如冬季東北季風期間，若歷史氣候資料顯示某機場為低雲高風險區，則應提前提高監測頻率；當 TAF 預報出現 BKN008 或 OVC005 等低雲訊號時，即啟動預警程序；再透過衛星及雷達監測低雲實際發展情況，並利用 METAR 與 AWOS 即時驗證，必要時發布航空氣象警報。此種多層次守視架構，可有效縮短預警時間並提升應變效率。

此外，應加強低雲事件資料庫建置與案例分析。蒐集歷年低雲事件之天氣背景、衛星影像、雷達回波、METAR 及飛航影響紀錄，建立完整案例庫。透過個案回顧與統計分析，可找出低雲形成的共同特徵與關鍵因子，進一步優化預報流程與訓練教材，提升氣象人員專業能力。

綜合而言，低雲幕監測與守視工作未來應朝向「多元觀測整合、智慧預報分析、即時監測預警及系統化守視管理」方向發展。透過整合 AWOS、雲高儀、衛星、雷達、METAR、TAF 及 AI 技術，建立全方位低雲監測預警系統，不僅可提升低雲幕預報準確度與提前量，更能有效降低航班延誤、重飛及地形碰撞風險，進一步強化飛航安全與機場營運韌性。對於易受低雲影響的機場而言，持續精進低雲幕監測與守視策略，將是未來航空氣象服務的重要發展方向。✍

Lin Te-En, Ming-Jui Chang, Ben Jong-Dao Jou ,2024 : Environmental Condition Diagnosis on the Precursors of Soil-Sand Disasters, AOGS 2024 annual meeting, June 23- 28, Korea.

### 參考文獻：

林得恩，2022：劇烈降雨系統對高山陣地之風險評估，氣象預報與分析，250，1-15。

林得恩，2023：肇致坡地災害之梅雨鋒面個案數值模擬，氣象預報與分析，256，1-15。

林得恩，2024：伴隨梅雨鋒面個案之數值模擬研究，飛航天氣，41，1-28。

林得恩、張明瑞，2024：機器學習運用在劇烈降雨事件診斷預警上之研究，氣象預報與分析，261，6-21。

林得恩、張明瑞、周仲島，2024：土砂災害肇生前兆之綜觀環境條件診斷，113 年第 38 屆天氣分析與預報研討會，臺北，臺灣。

林得恩，2025：淺談跑道進場低空風切之形成，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（7 至 12 月），3- 12。

林得恩，2026：劇烈降雨對飛航安全影響之研究，飛航天氣，45，31-45。



# 以疲勞風險管理系統強化航空安全：2026年IATA FRMS 台北訓練課程心得

飛航服務總臺 徐偉倫 課長  
中華航空 陳函郁 管理師  
長榮航空 陳昶明 課員  
德安航空 李弘道 副機長  
桃園機場公司 蕭力文 管理師  
飛安基金會 劉川鼎 業務員

隨著航空運輸型態持續發展，輪班、夜間勤務、長程飛行、跨時區作業及不規則排班，已使疲勞風險成為現代航空安全管理中不可忽視的系統性議題。本文整理 2026 年 4 月 27 日至 29 日於 IATA 台北訓練中心舉辦之疲勞風險管理系統（Fatigue Risk Management System, FRMS）課程內容與學習心得，探討疲勞風險之核心概念、管理架構及其在飛航與地面作業中推動的實務意涵。本次課程由講師 Mike Hutchinson 授課，透過理論講授、案例研討、小組討論及實務經驗分享，引導學員從科學基礎與安全管理角度理解疲勞對航空作業之影響。

疲勞管理不只是個人休息或精神狀態問題，而是牽涉排班設計、人力配置、工作負荷、營運壓力、組織文化與跨部門協作的安全管理課題。若僅以固定飛時、值勤時間或休息時間限制作為管理基礎，雖可建立最低安全門檻，但未必能完整反映實際勤務中疲勞風險的變化。IATA 與 ICAO 所倡議之

FRMS，強調以科學資料、作業經驗、風險評估、績效監測及持續改善為基礎，協助航空相關單位在符合法規要求的前提下，建立更具彈性且以事證為基礎的疲勞風險管理機制。

課程核心模組包括：疲勞風險管理概述、睡眠科學與睡眠不足、晝夜節律、工作負荷、疲勞風險管理兩種取徑、規範性管理方法、FRMS 運作構成要素與疲勞因素調查方法、FRMS 組織層面要素，以及 FRMS 導入與實施。課程整體設計由基礎生理科學出發，逐步延伸至制度架構、責任分工、資料蒐集、風險評估、監測機制與推廣方式，使學員能以循序漸進方式掌握 FRMS 的全貌，並理解其與既有安全管理系統（SMS）之連結。

本次課程特別重視互動討論與跨單位觀點。參訓學員來自飛航服務、航空公司、通用航空、機場管理及飛安基金會等不同單位，課堂中透過分組討論與案例解析，從各

自職務角度檢視疲勞風險可能出現的環節及管控方式。講師除說明核心知識外，也透過真實事故與作業情境引導學員思考：即使人員形式上符合工時規範，高工作負荷、天候壓力、夜間作業、睡眠不足與組織因素仍可能共同累積風險。此種教學方式有助於將課程內容轉化為可回到單位後討論、調整及推動的實務能力。

課程中引用 ICAO 對疲勞的定義，指出疲勞是一種因睡眠不足、長時間清醒、生理時鐘階段或工作負荷等因素所造成的生理狀態，會降低個人心理或身體表現能力，並影響執行安全相關勤務的能力。從航空安全角度觀之，疲勞可能造成警覺性下降、反應時間變慢、注意力不集中、溝通困難、決策品質降低及程序遺漏等問題。這些影響不僅限於飛航組員，也可能發生於維修、簽派、航務、地勤、保全、施工與其他空側作業人員，因此疲勞管理應被視為整體航空系統的共同責任。

在睡眠科學部分，課程說明睡眠為恢復警覺性與認知功能的主要方式，並介紹睡眠週期、睡眠慣性、急性睡眠不足、累積睡眠不足、持續清醒時間及微睡眠等概念。學員可由此理解，短期補眠雖能改善狀態，但若長期累積睡眠債，仍可能使人員高估自身警覺性並低估實際作業風險。課程亦提醒，動機、訓練、專業精神或薪資皆無法真正抵銷疲勞的生理限制；有效的疲勞管理必須回到足夠且品質良好的睡眠、合理勤務設計、風險通報及組織監測等制度面作法。

晝夜節律與工作負荷則是理解航空疲勞的重要關鍵。人體在夜間及清晨特定時段會出現警覺性低谷，尤其在晝夜節律低谷期

（Window of Circadian Low, WOCL）執勤時，操作表現與判斷能力更容易受影響。早班勤務可能使人員被迫在難以提早入睡的時段休息；夜班勤務則常使睡眠被延後至早晨，並因核心體溫上升而難以維持睡眠。長程及跨時區作業另涉及時差適應、外站休息、機上輪休及作息安排等問題。工作負荷方面，過高負荷可能導致認知資源不足，過低負荷則可能造成警覺性下降，兩者均需透過標準作業程序、任務分配、休息安排與工作設計加以管理。

課程亦比較疲勞風險管理的兩種取徑：一為規範性導向，由主管機關訂定飛時、值勤與休息限制，業者於法定範圍內執行作業；二為績效導向的 FRMS，由業者在主管機關核准與監督下，以科學資料及安全績效為基礎管理疲勞風險。兩種方式雖執行重點不同，但共同核心均包括科學原理、實務經驗、監理機關與業者及人員之責任分擔，以及有效的疲勞報告制度。由此可見，FRMS 並非取代法規，而是在合規基礎上補足單純工時限制無法涵蓋的實際作業風險。

有效 FRMS 的推動關鍵，在於建立可信任的通報環境及公正文化。疲勞本身不易由外部直接觀察，若第一線人員因擔心被貼標籤、影響考核或造成同仁困擾而不願通報，組織便難以掌握真實疲勞風險。因此，疲勞報告制度應重視匿名性、回饋機制及與安全管理系統的整合，使人員知道何時應提出疲勞風險，也能理解其通報如何被分析並轉化為改善措施。課程並說明，FRMS 可透過疲勞安全行動小組（Fatigue Safety Action Group, FSAG）或類似機制，持續分析排班計畫與實際執勤差異、疲勞通報趨勢、特定勤務型態及高風險情境，作為人力配置與風

險控制之依據。

在組織導入層面，FRMS 應包括政策與安全目標、責任與授權、疲勞風險管理流程、資料蒐集與分析、績效監測、安全保證、教育訓練、溝通計畫及文件保存等要素。其適用範圍可依組織成熟度逐步擴大，並應與主管機關、管理階層及第一線人員形成持續互動。對航空公司而言，FRMS 可協助檢視特定航線、班表型態及機組輪休安排；對機場管理單位而言，則可從空側值班、夜間施工、維修、航務及駐場外包單位等面向，逐步建立疲勞危害辨識與事件關聯分析機制。

本次 IATA FRMS 訓練課程成功將睡眠科學、人為因素、法規架構與安全管理實務整合於同一學習架構中，使學員理解疲勞管理應建立在「科學知識、風險管理、資料分析與公正文化」四項基礎之上。建議國內航空相關單位在既有法規要求與 SMS 架構下，持續強化疲勞風險辨識、跨部門溝通、教育訓練及資料監測能力，並由管理階層明確支持疲勞通報與改善行動。唯有將制度、文化與在地作業條件相互結合，才能補足單純法規管理的不足，建立更具韌性且可持續改善的疲勞防禦機制，進一步提升飛航與地面作業安全。✌

### 參考文獻：

- [1] 國際航空運輸協會 (IATA)，IATA Fatigue Risk Management System Course Materials，2026 年
- [2] 國際民航組織 (ICAO)，Doc 9966 《Manual for the Oversight of

Fatigue Management Approaches》

- [3] 國際民航組織 (ICAO)，Annex 6, Part I, Appendix 7

附註：本文根據 2026 年 4 月 27 日至 29 日於 IATA 台北訓練中心參加 FRMS 訓練課程後之結訓報告整理撰寫，內容涵蓋課程重點、參訓人員之心得與建議。



# 阻斷錯誤鏈：建立航空業之營運韌性

蕭光霽 譯

依在航空業中，事故鮮少出自於單一故障。事故常源自於一連串微小偏差、不起眼的徵兆，以及組織內潛在缺點，隨著時間演進匯聚而成。安全專業人員將此一演變過程稱為「錯誤鏈」(error chain)，由一系列環環相扣的失效故障組成，而其中每項失效環節，皆代表的是一次錯失阻擋錯誤之良機。

當多個成效不彰的環節彼此匯聚時，安全邊際 (safety margins) 便會迅速縮減。在工作負荷與時間壓力不斷增加的情況下，即便是經過高度訓練之專業人員，亦恐發現自己陷入應變選項有限之窘。隨著航空系統變得日益複雜且彼此相連，避免微小錯誤積累成嚴重事件，這項防微杜漸之挑戰變得更加棘手。其挑戰之重點，並非僅在於阻止錯誤發生，更在於避免錯誤彼此加乘。

在防線被突破前儘早阻斷錯誤鏈，正是營運韌性之核心本質。本文探討 3 項緊密相連之策略用以強化單位組織內阻斷錯誤鏈之能力：(一) 有效的公開通報機制；(二) 及早之危害識別與風險評估，以及 (三) 嚴謹的變更管理。以上 3 項絕不能僅是填寫符合規定的書面文件而已，必須做為構成「安全管理系統」(Safety Management System) 整體所必要且積極運作之要件，以推動即時之風險管理並維持營運韌性。

## 一、有效的公開通報機制：將微弱徵兆轉變為系統化學習

為有效管理安全風險，各組織單位必須對潛在問題保持警覺。當錯誤、虛驚事件 (near misses)、程序疑慮以及危害未受到通報，管理即無法得當，此舉將導致錯誤鏈在不知不覺的情況下孳生，最終演變成危安事件或事故。有效的通報系統能讓組織蒐集針對潛在危安問題之安全情資。安全情資的最佳來源，正是航空從業人員。為鼓勵航空從業人員通報，通報系統之設計應考量以下要素：

- 適宜管道 (Accessibility)：提供符合不同偏好之通報管道 (如數位平台、紙本表單、電話專線以及面對面反映等選項)，確保資訊提供之順暢 (包括能夠上傳照片)。
- 回饋 (Feedback)：向通報者提供回饋，展現組織對於接受之通報「絕非丟進垃圾桶」的承諾。此舉包括確認收悉通報、定期更新處理進度、組織內部進行學習與知識共享，將汲取教訓融入作業程序、培訓之中，並向航空業界公布周知。
- 保障 (Protection)：透過明確定義之「公正文化」(just culture) 框架，將人為錯誤與不可接受之違規進行區分，保護通報者免受懲罰處分，同時對蓄意違規行為

追究到底，藉此建立員工對通報系統與組織之信任。

處理心得的分享並非侷限於單一組織範圍之內，而是能廣布於整個航空業生態體系之中，就得以強化飛航安全。有效之通報系統正是透過將日常觀察作為轉化為具體可行之安全情資，進而體現其核心價值。

以下可從一位維修工程師之經驗體現前述之原則。該位工程師在某次例行飛行前檢查中，注意到主起落架輪胎上出現不對稱磨損痕跡與該班機操作形態 (operational profile) 不符。工程師並未將其視為一般的常態磨損而忽略，而是提交一份包含細節照片與觀察紀錄之通報。復經調查發現，數架執行類似航線之班機也出現相同的輪胎磨損態樣，最後追查發現，係源自於一條近期重鋪跑道上鋪面狀況異常情形。對此，其所屬組織採取之因應作為包括：為機組員進行專對受影響跑道調整落地技巧之專項簡報；另與機場管理局進行協調，以改善跑道鋪面狀況，進而有效緩解潛在危安事件。

以上案例顯現透過通報及早干預，能夠及時遏止事態惡化，避免微小異常演變成重大危安隱患。這項啟示相當明確：通報絕非行政作業上之義務，而是在錯誤鏈上仍有挽救空間時，及早予以阻斷的契機。

## 二、及早識別危害與風險評估

及早「識別危害與風險評估」(Hazard Identification and Risk Assessment, HIRA) 能讓各個組織在缺失環節演變成潛在危安事件之前，就先期發現。然而，若將風險管理簡化成只為遵守規定而採取之演練，風險管理

就會失效。「識別危害與風險評估」必須成為活用程序，定期審查、因應營運變動進行更新，並在日常決策中做為參考依據，如此才能確保風險管控始終息息相關、切合時宜，發揮成效。

並非所有風險管控皆具同等效力。過度依賴行政措施 (例如增加檢查頻率、逐級簽核以及加強監督)，在承擔營運壓力，且極度仰賴人員遵守法規之情況下，其能達到之風險降低效果恐為有限。當這些措施規劃不當時，反而會增加認知上之負擔、延宕工作流程、流於形式，無法實質強化防阻效果。

有效的危害管控，必須嚴格遵循並落實層層節制 (hierarchy of controls) 原則。得以實施之時，消弭危害、替代方案、工程防護、自動化邏輯或系統重新設計等項目之優先順序，應高於行政管制措施。其目的並非積累管控手段，而是要實施能在實際營運情況下展現預防、圍堵或減輕危害之管控作法。

此處可採下述有用之方式檢測：組織能否提出實證，證明其減輕危害之作法確能降低風險發生，並且不會無意間引發其他新增風險？這些減輕作法能否防阻錯誤疊加？如果不行，那麼這項管控作法不過就是徒具形式、毫無實效。

真正的營運韌性要求的是講究成果之實效保證，不是在程序上疊床架屋。

## 三、變更管理：攔截潛在風險於引進之初

諸如引進嶄新設備、修訂作業程序、更新訓練教程、調整維護作為、人員調職任免、轉用數位系統，或擴建基礎設施等變更

項目，皆能成為孳生潛在風險之溫床。錯誤鏈往往在此悄然萌發，因為整個體系此刻尚未穩定達到安全之營運平衡狀態。

變更管理可藉由要求組織在引進之前自我詰問，以阻斷潛在之錯誤鏈：

- 受到影響之其他 ( 相關 ) 領域為何？
- 恐出錯之處為何？
- 如何發現這項錯誤？
- 可以設下何種屏障，以防阻錯誤擴大？
- 一旦 ( 屏障 ) 防線受到突破，退路為何？

在此 ( 引進 ) 階段進行嚴格審視，或許會挑戰預設立場，並對圍繞著嶄新能力 ( 指前述之設備、程序、教程…等 ) 的熱情潑冷水。然而，早期發現令人不安的現實情況，才能有效防止潛在狀況鑄成錯誤。

#### 個案研究：航空器改裝之相容性

試想新加坡民航局 (Civil Aviation Authority Singapore, CAAS) 最近發布之安全通告，該通告強調在未進行相容性評估，就為航空器進行多層改裝所造成之風險。

民航局在航空器進口程序中發現一個案例：某架航空器有多項不同時期的「補充型別檢定證」 (Supplemental Type Certificate, STC)，即航空器改裝核准文件，而這些改裝項目最終證實彼此並不相容。此狀況若未經察覺，該航空器恐會在未經核准之構型下執勤，進而使其「適航複查證書」 (Airworthiness Review Certificate, ARC) 失效，最終甚至使其「試航證」 (Certificate of Airworthiness, CofA) 遭到廢止 ( 編註：ARC 與 CofA 為歐盟航空系統作法 )。

該航空器是 1 架畢琪 (Beechcraft) King Air B200 型機，曾於 2023 年安裝數項用以提升性能的 STC 改裝，包括翼尖小翼、機尾下側整流片以及升級版螺旋槳，前述改裝於同時安裝時是彼此相容。然時至 2025 年，該機又加裝 Garmin G1000 型航電系統的 STC，用以汰換原有傳統機械式飛航儀表。雖然個別來看，G1000 型之 STC 獲准可用於 King Air B200 型機，但卻與先前安裝的性能升級套件之空速表要求不相容。

這項案例清楚說明在評估變更影響時，務求全面與嚴謹之必要性。任何變更，都必須針對當前構型進行評估，而非最初原始基準 ( 構型 )。在複雜系統中，風險往往出自「各組件之間相互作用」，而非「單一組件對之失效」，此亦使得系統化的變更管理成為維持安全上不可或缺之要件。

#### 建立營運韌性

飛航安全依靠的是要在微小故障匯聚成事故之前，及時阻斷錯誤鏈。營運韌性要能轉化為營運能力，必須透過以下 3 項策略：藉由公開通報機制揭露輕微之危安徵兆；藉由及早的風險管理實施有效管控；以及採取嚴謹的變更管理以防止潛在風險孳生。當以上項目成為「安全管理系統」中整體所必要且積極運作之要件，組織便能持續維持良好安全邊際，並在日益複雜之航空環境中鞏固營運韌性。✍

譯自新加坡民航局 *The Leading Edge* 刊物  
2026 年 4 月號



# Interrupting the Error Chain: Building Operational Resilience in Aviation

Rendell Tan



In aviation, accidents rarely arise from a single failure. They more often result from a combination of small deviations, overlooked cues, and latent organisational weaknesses aligning over time. Safety professionals describe this progression as the error chain – a series of interconnected breakdowns, each representing a missed opportunity for intervention.

When multiple weak links align, safety margins narrow rapidly. Even highly trained

professionals may find themselves with limited recovery options under escalating workload and time pressure. As aviation systems become more complex and interconnected, the challenge of preventing small errors from cascading into serious incidents becomes more acute. The central challenge is not merely preventing errors but preventing errors from compounding.

Breaking the error chain early, before defences are breached, is the essence of

operational resilience. This article examines three interlocking strategies to strengthen an organisation's ability to interrupt the error chain: effective open reporting, proactive hazard identification and risk assessment, and disciplined change management. Each must function not just as documentation for compliance, but as an integrated and active component of the Safety Management System, driving real-time risk management and sustaining operational resilience.

**1. Effective Open Reporting:** Converting Weak Signals into System Learning To manage safety risk effectively, organisations need to be aware of potential problems. When errors, near misses, procedural doubts, and hazards go unreported, they go unmanaged, allowing error chains to develop undetected until they manifest as incidents or accidents. An effective reporting system enables the organisation to gather safety intelligence on potential safety issues. The best sources of safety intelligence are aviation personnel. To encourage reporting by aviation personnel, the design of the reporting system should consider the following elements:

- Accessibility provides reporting channels to suit different preferences (digital platforms, forms, phone lines, and face-to-face options), ensuring ease of providing information (including the ability to attach photos, etc).

- Feedback to reporters signals commitment by the organisation that reports received are not “thrown into the dustbin”. This includes acknowledgement of receipt, regular updates on follow-up, learning and knowledge-sharing within the organisation, embedding lessons learnt into procedures, training, and industry-wide dissemination.
- Protection builds trust in the reporting system and organisation amongst employees, through a clear “just culture” framework that distinguishes human error from unacceptable violations, protecting reporters from punitive action whilst maintaining accountability for deliberate acts.

Aviation safety is strengthened when insights are not confined within organisational boundaries but shared across the ecosystem. Effective reporting systems demonstrate their value by transforming routine observations into actionable safety intelligence.

A maintenance engineer's experience exemplifies this principle. During a routine pre-flight inspection, the engineer noticed asymmetric wear patterns on main landing gear tyres that appeared inconsistent with the aircraft's operational profile. Rather than dismissing this as routine wear, the engineer submitted a report including detailed photographs and observations. The subsequent investigation revealed that several aircraft operating similar routes were experiencing similar tyre wear patterns,

ultimately traced to surface irregularities at a recently resurfaced runway. The organisation's response included targeted crew briefings on modified landing techniques for the affected runway and coordination with airport authorities to address the surface conditions, effectively mitigating potential safety events.

This example demonstrates how early intervention through reporting can halt the progression from minor anomaly to significant safety concern. The lesson is clear: reporting is not an administrative obligation. It is the earliest opportunity to interrupt the error chain whilst it is still reversible.

## **2. Proactive Hazard Identification and Risk Assessment**

Proactive Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) enables organisations to detect weak links before they cascade into a potential safety occurrence. However, risk management loses effectiveness when reduced to a one-time exercise conducted solely for compliance purposes. HIRA must function as a living process – periodically reviewed, updated in response to operational changes, and referenced in day-to-day decision-making – to ensure that risk controls remain relevant, proportionate, and effective.

Not all risk controls are equal. Over-reliance on administrative measures, such as additional inspections, layered sign-offs, and increased supervision, may provide limited risk reduction if they depend heavily on

human compliance under operational pressure. When poorly designed, such measures can increase cognitive load, slow workflows, and create compliance fatigue without materially strengthening defences.

Effective hazard management requires disciplined application of the hierarchy of controls. Where practicable, elimination, substitution, engineering safeguards, automation logic, or system redesign should precede administrative controls. The objective is not to accumulate controls, but to implement controls that demonstrably prevent, contain, or mitigate the hazard in real operating conditions.

A useful test is this: Can the organisation demonstrate evidence that mitigations measurably reduce risk exposure and do not inadvertently introduce other risks? Do the mitigations prevent errors from compounding? If not, the control may exist on paper but not in performance.

True operational resilience demands outcome-based assurance; not procedural accumulation

## **3. Management of Change: Intercepting Latent Risk at Introduction**

Change – such as the introduction of new equipment, revised procedures, updated training syllabi, maintenance adjustments, staffing transitions, transition to digital systems, or infrastructure expansion – is



where latent risks can be born. The error chain often begins here, quietly, because the system has not yet stabilised into a safe operating equilibrium.

Management of Change (MOC) interrupts potential error chains by compelling organisations to ask, before implementation:

- What other areas are affected?
- What could fail?
- How would we detect it?
- What barriers prevent escalation?
- What is our fallback if defences are breached?

Critical scrutiny at this stage may challenge assumptions and temper enthusiasm surrounding a new capability. Yet surfacing uncomfortable realities early prevents latent conditions from maturing into active failures.

## **Case Study: Aircraft Modification Compatibility**

Consider a recent Civil Aviation Authority (CAA) safety notice highlighting risks from layering aircraft modifications without compatibility assessment.

During aircraft import procedures, the CAA identified a case where multiple Supplemental Type Certificates (STCs) – approvals for aircraft modifications – installed at different times were ultimately incompatible. If undetected, the aircraft could have operated in an unapproved

configuration, invalidating the Airworthiness Review Certificate and, ultimately, the Certificate of Airworthiness.

The aircraft, a Beechcraft King Air B200, had several performance-enhancing STCs installed in 2023, including winglets, aft body strakes and upgraded propellers, which are compatible when installed together. In 2025, the aircraft was fitted with a Garmin G1000 Avionics STC, replacing the original mechanical flight instruments. Whilst the G1000 STC is individually approved for the King Air B200, it created incompatibilities with the performance- package airspeed requirements.

This example illustrates the need for thoroughness in evaluating the impact of change. Each change must be assessed against the current configuration, not the original baseline. In complex systems, risk emerges from component interactions rather than individual failures, making systematic change management essential for maintaining safety.

## **Building Operational Resilience**

Aviation safety depends on interrupting error chains before small failures compound into accidents. Operational resilience as an operational capability is achieved through open reporting that exposes weak signals, proactive risk management that applies effective controls, and disciplined



management of change that prevents latent risks from being introduced. When these elements function as integrated and living components of the Safety Management System, organisations sustain safety margins and strengthen operational resilience in an increasingly complex aviation environment. ➡

*From Leading Edge April 2026*

# 疲勞、備勤與適勤

蕭光霽 譯

想像在皇家馬德里隊 (Real Madrid) 正在西班牙馬德里 Bernabéu 球場 (Stadium) 舉行的歐洲冠軍聯賽準決賽中對陣馬德里競技隊 (Athletico)。在這場史詩級別之英國足球大賽，勝者將晉級決賽，與利物浦隊 (Liverpool) 或慕尼黑隊 (Bayern Munich) 一爭高下。

接著試想，如果皇家馬德里隊決定完全不顧其當家前鋒 Kylian Mbappé 的賽前準備狀況；不在乎他昨晚睡多久，也不管他參賽以來有無充分休息；不在乎他賽前吃了什麼，也不在乎他如何調理自我身心體能，甚至不在乎他在賽前幾小時做了何事。只說這麼一句話：「Kylian 上場吧，盡你所能去踢球。」

如此情景令人無法想像。足球隊無不希

望全體球員如同精密調校的機器一般，發揮極致表現，如此才能取得最大勝算。這項原則同樣適用於身在 Safewings 航空公司服務的同仁，尤其當同仁們即將迎來忙碌的夏季營運高峰，此點更與同仁們息息相關。

我方 (編按：指 EASA 及歐洲民航業者) 目標是幫助每個人發揮最佳表現，我們是一支成員各司其職、團結一致，共同實現安全且高效營運之團隊。

**不僅要符合法規，更要「具備執勤適能與備便出勤狀態」**

我方部分員工、機師與空服員受到特定之「飛行時間限制」(flight time limitations,



圖1：管控疲勞



FTL) 所規範。這些是歐盟航空安全總署 (European Union Aviation Safety Agency, EASA) 的專門法規，旨在嚴格管制他們在單次勤務、特定期間以及特定狀況下的連續工作時數。

某些人誤以為只要單純符合飛行時間限制就已足夠。然而自從 EASA 發布《組織規範》(Organizational Requirements) 的飛行時間限制 (OROFTL) 以來，若僅符合限制，而未進行任何風險管理或資料蒐集，其實早已無法符合規定要求。然而，現在各大航空公司皆分布在下圖中 3 項較高層次之階段中。

目前 Safewings 採用所謂的「妥適疲勞風險管理」(Appropriate Fatigue Risk Management, Appropriate FRM)。我方藉由落實「業者責任」(Operator Responsibilities)，並利用安全管理系統 (Safety Management System, SMS) 各項要件，來發掘引起疲勞之核心因素並加以妥善管控，以展現疲勞管理之成效。此即「疲勞通報」如此重要的原因。

我方下一階段要推動「全面性疲勞風險管理」(fully-fledged FRM)，屆時我方將能找出節節升高之風險，並以能夠取得民航主管機關核准之方式對其進行管控。我方目標是持續提升公司疲勞管理體系之成熟度。

值得重要一提的是，除歐盟工時法規的基本要求外，通常沒有針對其他部門員工之專門法規以強制或規範其工時。

但重點是要幫助全體員工發揮最佳表現，這對 Safewings 公司整體營運至關重要。

### 我方邁入FRM領域

處理疲勞問題時，很容易讓人感到不知所措，甚至迷失大局方向。因此，為確保目標明確並維持 FRM(或 FRM 系統) 內部一致性，我方在起步之初即設下 4 大目標：

1. 公司 FRM 必須以實務為導向。
2. 公司 FRM 必須建構於針對 ICAO 所定義之疲勞的核心原則之上 (如上方圖 1 所示)。
3. 公司 FRM 須朝未來取得 FRM 系統許可之目標邁進。
4. 公司 FRM 應是安全與營運部門之共同責任。

### 我方FRM(或FRM系統)之核心原則

ICAO對疲勞之定義涵蓋許多資訊，我方構建FRM時，其資訊即派上用場。首先，ICAO強調睡眠、工作負荷以及生理時鐘皆有關鍵角色。其次，該組織明確將疲勞定義為一種生理狀態，會導致心理或生理運作能力下降，進而削弱警覺能力，以及減損安全表現。有鑒於此，我方律定「4項關鍵疲勞因子」：睡眠量、睡眠品質、生理時鐘以及工作負荷。然後我方認為，所謂「充分消除疲勞」，即指機組員能維持充足警覺能力，且能清除危安相關之錯誤(下文中再述)。

### 架構與計畫

於此過程中下一階段，即是依 ICAO 第 9966 號文件 (Doc 9966) 所規範之各項 FRM 必要程序，劃分至各項權責範疇，並清查已經到位與尚未列入之程序。隨後，我方採用 SmartArt(微軟)與色彩編碼，並以此為基礎發揮功能與規劃未來發展藍圖(迄今實施近 3 年之久，令人不免憶起當年)。

後續階段中，我方決定針對前述 4 項因

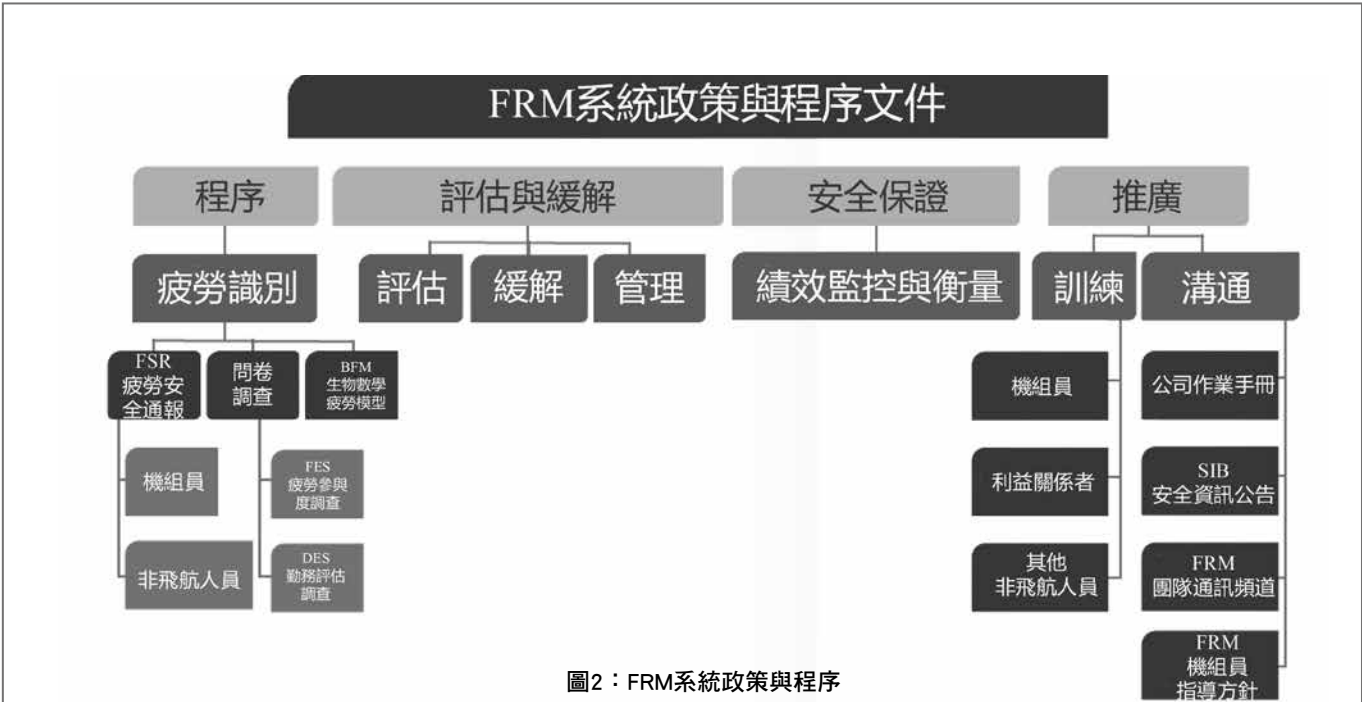


圖2：FRM系統政策與程序

子，界定出反應性、主動性與預測性之管理程序，並拉起一條紅線，持續關注如何緩解疲勞情況，而非只對疲勞情況進行管理。

### 衡量指標

Peter Drucker 曾說：「如果無法加以衡量，就無法進行管理。」

基於第一項目標，我方亟須構思如何測量疲勞程度。如眾人所知，知易行難在所難免，尤其是遭遇預算有限的情況。起初，我方並無任何花俏的評估疲勞模型，通報資料極少，且排班系統上許多功能尚待摸索。但我方擁有安全管理系統。我方在系統中針對 FRM 建立「風險登錄表」(risk register)，期藉採行通用衡量標準 (即「風險評分」) 來進行監控，並以專用程序來持續改進。

### 建立安全管理系統

我方採用作法係從前述 4 項因子著手。

接著，針對自身營運部門，發掘各項因子種類下分別涵蓋之作業環節為何 (排班指標已由排班系統自動處理)。同時，我方亦建立觸發機制與對應流程，以進一步找出更細微之次級危害。

### 理解排班資料

雖然排班系統的確能 (依法規要求) 監控易於導致疲勞之排班勤務，但對於細微之處，不可掉以輕心。我方營運型態極為複雜，涵蓋夜班、日夜輪班、ACMI (Aircraft, Crew, Maintenance and Insurance) 租賃 (或譯「濕租」)/ 包機勤務，以及短程與長程勤務。更別說我方機組員基地中尚具多元文化背景，且分布全球各地。依據我方收到之 (疲勞) 通報與新建立之風險登錄表，旋即發現疲勞成因遠不僅限於排班。然而，我方瞭解必須將此兩套系統協同運行。然此舉絕非易事，但我方認為應要回歸檢討基本面，即輪擋時間 (block hours, BLH) !

此舉之優點在於我方可以查到任何機組員於任何日期之回溯累積輪擋時間 (trailing block hours)，意指我方得以針對每份 (疲勞) 通報進行追蹤 (我方主張此應成為通用之「安全績效指標」(Safety Performance Indicator, SPI)，惟容日後再議)。對我方而言，此舉讓我方得以首度取得 (系統) 產出的 SPI 資料，而非我方輸入的資料。從此我方即以此基礎擴大發展，現在不僅能追蹤多個不同週期內之輪擋時間，還能將其與平均值進行比較，藉此評估排班效率 (即：回溯累積輪擋時間 / 每位組員平均輪擋時間)。

然此並非我方利用排班系統進行衡量的唯一指標，但我方主張，任何業者無論其規模大小或資源多寡，皆可採用。此做法具有簡單易懂的優點，且與成本密切相關；舉例而言，若某人持續累積 50 輪擋小時，結果通報「因疲勞而不適執勤」；從技術層面而言，相當於損失該員潛在產能的一半……

### 充分消除疲勞

結束段落前，此處適合說明我方對於充分消除疲勞之定義，並分享一項實際案例，我方如何將原本飽受疲勞之苦的機組員基地，轉變成公司最具產能的基地！

首先，記得文中提及有關於警覺能力與表現之內容嗎？亦請回想各位曾上過有關「安全防線」(safety barriers) 與「可能性」(likelihood) 為主題之 SMS「能力導向培訓」(Competency Based training, CBT) 課程。我們將此兩項結合架構，並融入 SMS「風險矩陣」(Risk Matrix) 以建構出「FRM 風險矩陣」，確保我方能夠對每份 (疲勞) 通報進行客觀的風險評量。

其次，由於定義明確指出 (疲勞) 會同時衝擊表現與警覺能力，我方在通報範本中同時納入此兩項指標，並將其與「生物數學疲勞模型」(Biometrical Fatigue Model, BFM) 交叉比對，藉此判定可接受之疲勞程度 (零疲勞在航空業界根本不存在)。那麼，「可接受」程度要如何界定？這當然是取決於貴方，但我方係整合「薩姆恩・佩雷利量表」(Samn-Perelli scale，其內容多半著重於操作表現之陳述) 與「卡羅林斯卡睡眠量表」(Karolinska Sleepiness Scale，側重於嗜睡程度)，並依此推導出我方之數值。

### 從不足到充分

隨著前述程序到位後，我方在某個時刻注意到，公司旗下某個基地之風險程度上升 (大致上是因為其機組員執勤之航班型態所致)。與其他基地相比，該基地之病假率攀升，且機組員通報疲勞頻次更多、程度也更嚴重。工會此時亦開始關注這項議題，這表示我方與工會皆同意必須採取行動。

那我方當時採取什麼行動？我方首先使用風險登錄表以找出主要危害。然後進行 (針對不同回溯週期) 輪擋時間分析，最後則進行生物數學 (疲勞模型) 分析。以上分析或多或少皆導向相同結論。雖然最省事之做法，可能就僅是減少航班頻次或更改起飛時間，惟此確非可行選項。因此，我方必須發揮一些創意。

我方與機組員排班單位 (crew planning) 合作，擬定多個航班配對組合 (flight pairings) 版本，然後運用 BFM 進行檢討。此舉雖然造成些許限制，但毫無降低勤務效率。總休假天數、執勤時段以及休息時間皆



未更動；我方僅調整航班勤務之先後順序與變更排班的長期結構。本人甚至親自參與工會會議，解釋整個評估流程執行作法、我方曾考慮過的替代方案以及最終結論。接著，與會人員達成共識，將新方案付諸實施。

時至隔年，這個原被我們判定為風險程度攀升之基地，不僅創下我方全航線網所有基地中最高之總飛行時數，同時病假率降低、疲勞通報減少，工會亦對此表達滿意。由此可顯示 FRM 絕對會直接影響貴方之盈虧底線；至於貴方想讓這個影響朝盈或虧的方向走，端視貴方決定為何。

### 危害的責任需要共同承擔

行文至此，顯然我們將疲勞視為另一種單純危害，可透過風險評估、風險緩解／管理作為，以及安全保證機制加以控管。然而，疲勞亦是一項唯有透過承擔共同責任才能有效管理之課題。我們在個人生活時之行為，會在工作時由於（構成）疲勞而影響安全，反之亦然。因此，個人與組織皆在確保疲勞得到妥善管理上具有關鍵角色。

### 實施FRM之主要挑戰

從整體疲勞風險管理的全貌來看，多數業者（非僅限於我方）所遭遇之主要挑戰摘要如下：

- 擔憂要降低疲勞程度，恐導致人力編制增加，或造成現行營運之勤務被迫停擺。
- 擔憂如何在「主觀」與「客觀」資料間取得平衡，以及「適勤狀態」（fitness for duty）恐遭濫用。
- 如何確保組織各部門皆具備維持疲勞管

理之適切專業能力。

- 由於疲勞係生理現象，常被視為難以量化，要如何找出適當衡量指標與資料。
- 營運與安全團隊內有無足夠資源以進行額外之資料蒐集，並為管理疲勞之營運決策提供情資。
- 如何找出降低疲勞風險有效可行之緩解措施。

某些挑戰似乎難以克服，尤其是在透過 SMS 管控疲勞之起步階段；然而隨著經驗累積，就會找到解決之道。再者，最簡單之解決方案往往最具效果。例如：駕輕就熟的排班人員只需調整排班模式，就能以不增加員額、不減少航班的情況下，降低疲勞情形；而達到此點的作法之一，僅需要調整執勤日期之先後順序即可。

學習其他業者之做法與借鏡航空業界更為廣泛的實務經驗，亦能對貴方有所助益。EASA《FTL/FRM 督察人員之檢查清單》(FTL/FRM Checklist for Inspectors) 就是極佳資源之一，該清單提供督察員執行一系列檢查項目。此外，業者同樣可運用該檢查清單對自身體系進行內部稽核，藉此找出貴方有待解決之檢查項目，並填補罅隙。

### 個人層面之疲勞—備勤與適勤

無論讀者職務為何，皆期待你能備便出勤 (operationally ready) 並處於適勤狀態。對於機師與空服員而言，此乃法定要求，其中包含與睡眠和疲勞相關之適勤要求。但實際上所指為何？

判別適勤狀態有時可能非常困難—尤其是當你正在積累疲勞時，這種疲勞會在長

達數週、數個月、甚至在數年歲月中堆疊。每個人都會低估本身工作表現受到影響之程度。

當遭遇急性疲勞情況時，比較能夠察覺並判定自身疲勞程度。公司定期為全體員工提供培訓與實用之經驗法則，這有助於你在關鍵時刻進行自我判斷。期盼組織建立之安全文化，能讓你在評估自身適勤狀態時，更能做出正確決定。

### **避而不談之敏感話題(至少某些主管是這麼認為……)**

我們瞭解某些管理階層人員恐會擔心，某些機組員會藉機換取一日「特休」。這種情況的確可能發生。然而，根據我方經驗、問卷調查與研究，以及為我方提供協助且在疲勞管理領域工作 10 年以上的 Baines Simmons 顧問團隊之經驗，只因想放一天假就通報因疲勞不適勤之組員比例，遠低於那些持續執勤，事後看來硬撐恐是壞主意的組員之比例。

歸根究底，這關乎於信任文化；但我方傾向於認為每個人皆克盡職責，沒人會讓同仁或乘客失望。

如果個人真感到不適執勤，我方鼓勵當事同仁直言不適勤，儘可能及早下營運勤務，能在執勤時段開始之前做出表達尤佳。而做為飛安的最後防線，個人亦可能在執勤期間做出這項決定；我理解此絕非輕易決定；但若真有此事，我方必須給予支持。

為提升此項緩解(疲勞)措施之效能，推薦一些額外步驟如下：

- 提交一份表明貴方不適執勤之疲勞報告。此舉絕非為歸咎責任，而是協助找出疲勞成因，進而研提並實施對應之緩解措施。

➤ 若成因屬於個人行為(例如：在早班勤務開始前，因度假太晚返回而導致休息不足)，則可能有必要提醒該員個人應盡之責。然而，我方亦瞭解個人生活總有變化，仍想在可行範圍內，協助同仁共同應對生活上之挑戰。

➤ 「公正文化」(Just Culture) 的作法亦適用於疲勞通報；此舉目的如同管理其他營運風險一般，僅是為找出潛在之疲勞風險。

- 因疲勞而主動卸下勤務，必須視為專業機組員應盡職責之一。雖然歡迎機組員付出更多、堅持執勤，且不願讓同仁或乘客失望；惟倘若個人狀態不適合進行安全飛行，主動卸下勤務至關重要。
- 作為一個組織，我方目標是為同仁提供判別潛在疲勞加劇徵兆之工具與方法，其中包括瞭解在機組員中擔任安全之核心成員執勤時足夠睡眠量之低限，以及判別疲勞加劇之表徵。

➤ FRM 訓練係屬能力導向培訓。我方會運用疲勞報告與問卷調查等其他資訊來源蒐集之情資，對此項訓練持續改進與更新。

### **自主控制休息**

在駕駛艙內自主控制休息 (Controlled

Rest，亦稱為在座位上小睡)，係指針對航程中非預期之高度疲勞時段，所採取的緊急緩解（疲勞）措施。自主控制休息不能視為是可靠手段。舉例來說，若遭遇持續強烈亂流，或在巡航期間工作負荷並未降低，機組員將無法進行自主控制休息。如在飛行前，任何機組員懷疑自己恐需要自主控制休息，則應直接表明自身過度疲勞而不適執勤（如前文所述）。

自主控制休息之要件如下：

- 這是項應急對策 (emergency countermeasure)。
- 然而，可以及早進行自主控制休息。如在巡航時遭遇高度疲勞情況，惟恐在進場與降落前積累疲勞，當下即採取自主控制休息，這會是在後續航程中最具挑戰性階段，改善自身警覺能力之務實作法。
- 巡航期間必須夠長，才有充裕時間進行自主控制休息前（準備）、中、後（甦醒）過程，再從睡意中清醒後投入工作。
- 在自主控制休息開始前與結束後，須有明確的職務交接。
- 每次休息時間應保持在 30 分鐘內，以將進入深層睡眠的可能性降至最低，進而減輕並縮短休息後慣性（嗜睡）之強度與時間。

如需更多有關自主控制休息之指導原則，飛安基金會 (Flight Safety Foundation) 編有指導文件，其網址如後：<https://flightsafety.org/asw-article/controlled-rest/>。

### 對其他員工群體有影響嗎？

如前文所述，FRM 對於機組員與空服員

以外人員，在法規上尚未具備規範；然而，疲勞對其他所有人而言同樣是項危害，必須加以管理。

隨著 SMS 正列入 Part-145 機務維修組織審定標準之中，法規已明確要求組織（指維修廠）人力編制計畫，必須考量疲勞因素。停機線維護單位，經常要在半夜執行仔細且複雜之修護任務，因此易受疲勞效應之影響。對此，應要進行疲勞風險評估，並落實已判定之各項管控與緩解措施。

隨著全新之 EASA 地面勤務法規即將於 3 年後生效，地勤相關單位亦同樣要符合規定。

而至關重要的是，我們必須持續自問以下問題：

- 我們目前輪班模式，能否讓員工在輪班間隔期間獲得充足之睡眠機會？
- 加班對於疲勞程度究竟有何影響？
- 在單次輪班期間，員工最可能出現疲勞高峰之時間為何？當下正在執行之勤務為何？

目前疲勞模型 (fatigue modelling) 頗受關注，此類模型將可供使用，亦能助於判斷疲勞程度與發生時機；然而，該模型並非強制要求之配備。

歸根究底，此即通報機制是不可或缺之原因—唯有透過通報，員工才能持續提供回饋，以瞭解構成問題之狀況，我方才能對必要項目進行調整（對症下藥）。

### 智慧輪班，別再苦幹



對於地勤人員而言，其職務通常包括大量周而復始的工作，形容身體與心理上雙重負擔。對於可能具有高度重複性、需要強大專注力，甚至極度消耗體能之特定作業，我們皆須予檢視。在可行情況下，我們必須擬定管控作法，以協助降低疲勞風險。相關作法如下：

- 評估作業場所，並尋求改善環境以協助減輕疲勞。舉例而言，在光照明亮之棚廠內工作，其體能消耗程度絕對遠低於在接近漆黑且地板灰暗的環境下工作。
- 確保設置足夠的機械與設備讓同仁在作業場所中使用。
- 為重複或單調乏味、身心持續消耗，以及過於複雜之勤務，擬定能予以減輕或解決的工項。
- 導入輪調制度以限制身心疲勞之累積。

## 營養攝取

健康飲食與良好營養不容忽視，一些實用建議如下：

- 優先選擇有助於提高警覺能力（能振作精神）之高蛋白質食物：例如適量之肉類、蛋類與魚類，但應避免攝取油膩肉品。
- 避免進食單純由高糖食品製作之零食，例如能量棒（此類速效糖食與燃燒迅速之碳水化合物會引發睡意）。
- 切記維持充分飲水（多喝水）。
- 在航班巡航期間，正、副機師應輪流用餐，以避免兩人同時都有嗜睡風險。

## 結語

管理疲勞看似複雜，但疲勞不過是另一項危害而已。就一個組織而言，我們要挹注

之時間、心力與資源多寡，取決於自身營運暴露於風險之程度以及營運目標。此即為何在管理體系中管控變化是如此重要，我們亦因此才能儘早找出（與緩解）潛在風險。

透過 SMS 管控疲勞，係為對所有人之關鍵要求，此絕非僅限針對飛航營運部門而已。既然疲勞是一種危害，就須以對待其他危害相同作法加以管控。

如從本文中喚不起任何記憶，鼓勵讀者成為我方推動 FRM 的一份子，尤其是在發現任何徵兆時，主動舉報危害情況。因為唯有仰賴一線人員的通報，我們才能隨時做好營運準備，將乘客與貨物平安送達其目的地。✍

譯自歐盟航空安全總署《航空對話》  
(Conversation Aviation) 刊物 2024 年第 3 期

# Fatigue and Operationally Ready and Fit for Duty

Imagine a moment in the Bernabeu Stadium in Madrid, Spain. Real Madrid are playing Atletico in the semi-final of the European Champions League. A place in the final against Liverpool or Bayern Munich awaits the winners of this epic football derby match.

Imagine also that Real Madrid decide not to care about the preparation of their start striker Kylian Mbappe. They don't care how much sleep he had the night before, or whether he is rested properly since the last game. They don't care what he's eaten before the match, how he's been looking after his physical and mental fitness or what he's been doing in the hours before the game. Get out there Kylian and just do the best you can.

Such a situation is impossible to consider. Football teams want their whole team to be able to perform like finely tuned machines, so they have the best chances of success. The same is true of us here at Safewings, and this is particularly relevant as we approach the busy summer season.

Our goal is to help everyone perform to their best - a team of who understand their individual roles and come together to deliver a

safe and effective operation.

## **Not Just Compliant but “Operationally Ready and Fit for Duty”**

Some of our staff, the pilots and cabin crew have specific flight time limitations (FTL), these are specific EASA rules that govern how long they can work in single duties, over specific periods of time and in specific situations.

Some people are of the impression that simple compliance to the flight time limitations is enough. Doing this, without any risk management or data collection, however, has not met compliance requirements since EASA's Organisational Requirements (ORO FTL) was published. Instead, airlines sit on one of the three higher level steps in the image below.

Currently, at Safewings we have what is called an 'Appropriate FRM'. We demonstrate effective management of fatigue through Operator Responsibilities, using the elements of our Safety Management System (SMS) to



Figure 1 - Managing Fatigue

identify key contributors to fatigue and manage them appropriately. This is why fatigue reporting is so important.

The next step is a 'fully-fledged FRM', where we can identify elevated risks and control them in a way that our aviation authority approves. We aim to continually increase the maturity of our system for managing fatigue.

It is important to mention that other staff members don't generally have specific rules governing/mandating how long they can work, other than what is required in the EU rules on working time.

The main point is that helping all staff perform to their best is vital for the whole Safewings operation.

## Our Journey with Fatigue Risk Management

When working with fatigue it's easy to get overwhelmed and lose track of the bigger picture. So, to ensure the aim was clear and that there was a consistency within the FRM(S), four objectives were set at the beginning:

1. The company FRM should be practically oriented
2. The company FRM should be built on core principles derived from the ICAO definitions of fatigue (Figure 1, above)
3. The company FRM should work towards future FRMS approval
4. The company FRM should be a shared responsibility between safety and operational departments



## The Core Principles of our FRM(S)

The ICAO definition of fatigue contains a lot of information that was used when we built our FRM. Firstly, ICAO highlight that sleep, workload and circadian rhythm play a role. Secondly, they specify fatigue as a physiological state of reduced mental or physical performance capability that can impair alertness and/or safety performance. From this we created “Four Key Fatigue Factors”: sleep quantity, sleep quality, circadian rhythm and workload. We then decided that “sufficiently free from fatigue” would mean that crew would be sufficiently alert and free from safety-related errors (we’ll get back to this later).

## Structure & Plan

The next step of the process meant splitting the necessary FRM processes as stated in Doc 9966 into areas of responsibility and identifying what current processes were in place and what processes were missing. Smart-art and colour coding then gave us both a foundation to build on and the roadmap for the future (and now, nearly three years later, also a bit of nostalgia).

At a later stage, we decided that reactive, proactive, and predictive processes should be identified for all four component levels - creating a red thread and continuous focus on mitigating, rather than simply managing, fatigue.

## Metrics

*“You can’t manage what you don’t*



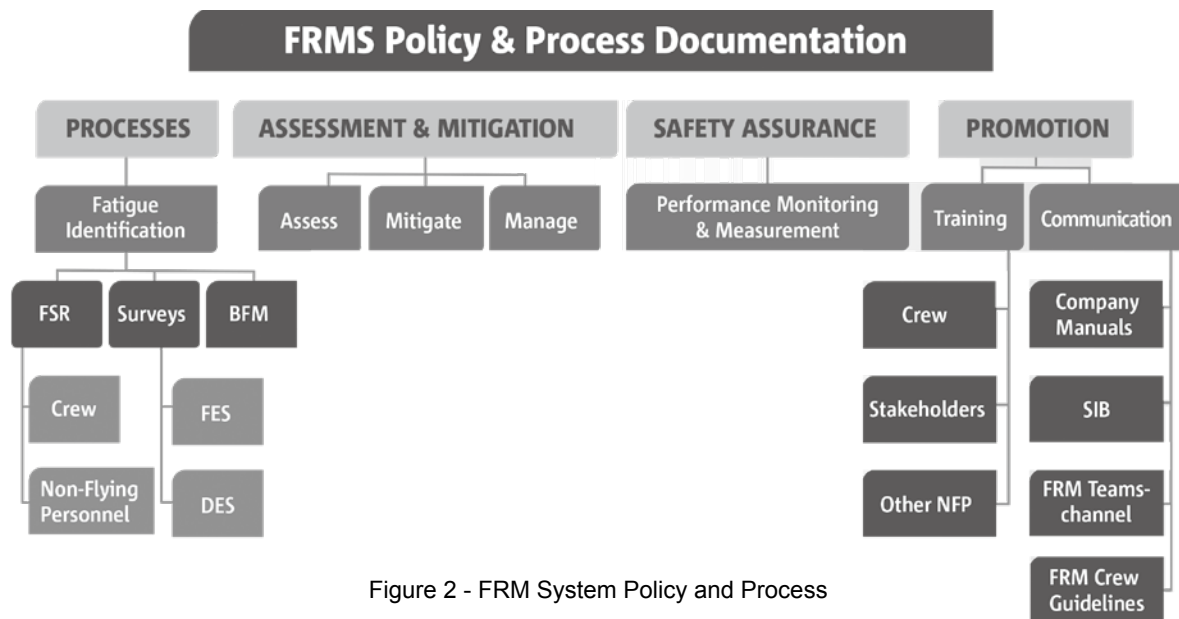


Figure 2 - FRM System Policy and Process

*measure” - Peter Drucker*

Given the first objective, we quickly needed to figure out how to measure fatigue levels. As I guess you already know, this is sometimes easier said than done, particularly when you're on a budget. Initially, we didn't have any fancy fatigue models, very little reporting data and were still figuring out a lot of the functions of our rostering system. What we did have was our SMS, where we set up the risk register for FRM to allow for monitoring using a common measure ( i. e. a risk score), with a dedicated process for continuous improvement.

## Setting up the SMS

The way we went about it was to start with the four fatigue factors mentioned earlier. We then identified parts of the operation that would fall under each category that were

specific for our operation (given rostering metrics would be covered by the rostering system). We also set up triggers and a process to identify more detailed sub-hazards.

## Figuring out the Rostering Data

Whilst rostering systems do measure fatiguing rostering practices (as required by the regulations), the devil often lies in the details. Our operation is highly complex with night, alternating day/night, ACMI (Aircraft, Crew, Maintenance and Insurance)/ charter and short and long-haul duties. Not to mention we also have multicultural crew bases spread halfway across the world. Based on the reporting we got and the newly created risk register, we soon noticed that there was more to fatigue than just rostering. We also recognised, however, that we'd need both systems to work together. This wasn't an

easy task, but we figured we'd take it back to the basics - block hours!

The good thing about this is that we can find out the trailing block hours of any crew at any date, meaning we could track it on a per-report basis (we'd argue this should be a common Safety Performance Indicator (SPI) for all of us, but that's for a later discussion). For us, this gave us our first SPI showing output rather than input. We have since then expanded on this and now track block hours over multiple different periods as well as compare it to averages to get an indication of efficiency (trailing block hours (BLH) / average BLH per crew).

This isn't the only thing we measure with the rostering system, but it's one of the things we'd argue any operator can use regardless of size or resources. It's also simple to understand and is tied to cost - if someone calls "unfit due fatigue" at 50 block hours, you're technically losing half of their potential...

## **Sufficiently Free From Fatigue**

It's useful to finish with an explanation of both what we consider as sufficiently free from fatigue and an example of how we turned a base from being insufficiently free from fatigue to one of our most productive ones!

Firstly, remember the part about alertness and performance? Remember also the SMS

Competency Based Training (CBT) you had about "safety barriers" and "likelihood"? Well, we structured those two parts and merged them with the SMS Risk Matrix to create an "FRM Risk Matrix", ensuring we get an objective measure of risk for every report.

Secondly, given that the definition states both performance and alertness impact, we use both within our report-templates and can cross-check them with the BFM to determine acceptable levels of fatigue (there's no such thing as zero fatigue in aviation). Which brings us to what's acceptable? Well, that's for you to decide, but we used a mix of the Samn-Perelli scale (which contains more performance-oriented statements), and the Karolinska Sleepiness Scale (aimed more at sleepiness) to come up with our values.

## **From Insufficient to Sufficient**

With the above processes in place, we noticed at one point that one of our bases were at increased risk levels (largely due to the type of flights they were doing), had increased sickness and reported fatigue more frequently and at higher severity than other bases. Unions were also starting to bring up the subject, meaning we were all agreeing that something had to be done.

So, what did we do? We first used the risk register to figure out what the main hazards were. This was followed by a block-hour analysis (for different trailing periods)



and finally a biomathematical analysis. They all came out with more or less the same conclusion. Whilst the easy thing could have been to simply reduce frequency or change departure times, that wasn't really an option - so we had to get a bit more creative.

Together with crew planning, we created multiple versions of flight pairings, which we then reviewed with the BFM, resulting in a few restrictions but none that included reducing efficiency. Total off-days, timing of duty and rest-times all stayed the same; we simply changed the order of trips and long-term structure of rostering. I even attended the union meetings myself to explain how the whole process had been carried out, the alternatives we considered and the final conclusion. Then, we agreed to give it a go.

The following year, the base we had identified as being at increased risk levels flew the most hours of any base in the network, with less sickness, less reporting and happy unions. Showing that FRM will have an impact on your bottom line; it's simply up to you to determine which way you want it to move it.

### ***A Hazard That has a Shared Responsibility***

Hopefully by now, it's clear that we treat fatigue as simply another hazard that is managed through risk assessment, risk mitigation/management activities and safety assurance. Fatigue is also something that can

only be managed through joint responsibility. How we act in our personal lives impacts our safety due to fatigue at work and vice versa. So, both the individual and the organisation have critical roles to play in ensuring fatigue is managed appropriately.

## **The Main Challenges Related to FRM**

Looking at the whole FRM picture, here is a summary of the main challenges that most operators face (not just us):

- Concern that reducing fatigue levels may cause a significant increase in staffing levels, or prevent operations that are currently undertaken.
- Balancing 'subjective' and 'objective' data and concern around "fitness for duty" being applied inappropriately.
- Ensuring appropriate competency across the organisation to support fatigue management.
- Identifying appropriate metrics and data, as fatigue is physiological and can be seen as difficult to measure.
- Having sufficient resource within operational and safety teams to support the additional data collection and informing operational decision-making to manage fatigue.
- Identifying effective mitigations that can be implemented to reduce fatigue.

Some of these challenges may seem insurmountable, especially when taking first steps to manage fatigue through the SMS;

however, as experience grows, solutions can be found. Moreover, the simplest solutions can often be the most effective; for example, skilled roster writers can adjust roster patterns to reduce fatigue without an increase in headcount, or a reduction in flights, one way this could be achieved is by simply changing the order of duty days.

Learning from other operators and wider experience in the industry can also support you. An excellent resource is the [EASA FTL/FRM Checklist for Inspectors](#), which provides a series of checks for inspectors to undertake. In addition, the checklist can also be used by operators to audit their own system(s), identify checks that you cannot provide answers to and allow gaps to be filled.

## **Fatigue at a Personal Level - Operational Readiness and Fitness for Duty**

Whatever your role, we want you to be operationally ready and fit for duty. For pilots and cabin crew, this is a legal requirement and includes fitness for duty relating to sleep and fatigue. But what does this really mean?

Fitness for duty can be difficult to determine - particularly, if you are experiencing cumulative fatigue where fatigue slowly builds over weeks, months and even years.

As individuals we can underestimate how much our performance is affected.

When it comes to acute fatigue, we are more capable of identifying our fatigue levels. We provide all staff with training and useful 'rules of thumb' regularly, which help with your own decision making. Hopefully, organisational safety culture makes it more likely that you feel you can make the right decisions about your fitness for duty.

## **The Elephant in the Room (at Least for Some Managers...)**

We know that some managers might be concerned that some crew will use the system for a 'free' day off. Yes, this could happen. In our experience and based on surveys, studies and the experience of our supporting consultants at Baines Simmons who have worked in fatigue management for over 10 years, however, the proportion of crew who will declare themselves unfit due to fatigue when they want a day off is significantly lower than the proportion who continue to operate, when in hindsight it probably wasn't a good idea.

Ultimately, this is a trust culture thing; but we like to assume that everyone is doing their best and doesn't want to let their colleagues or passengers down.

If an individual feels unfit for duty, we would encourage them to declare themselves unfit to operate and remove themselves from the operation as early as possible - ideally before the start of a duty period. As a last line of defence, an individual might need to do this

during a duty period; we appreciate that this is not an easy decision and, if this is the case, we must be there to support them.

To increase the effectiveness of this mitigation, there are some recommended additional steps:

- Submit a fatigue report identifying that you are not fit to operate. This is not to apportion blame, but to support work to identify the cause(s) and develop (and implement) corresponding mitigation(s).
- If the cause was personal action (for example, due to coming back from holiday late before an early duty start, then it may be necessary to remind the individual of their responsibilities). We do acknowledge, however, that everyone's lives are always changing, and-where practicable-we want to support people manage life's challenges.
- Just Culture approaches apply to fatigue reporting and, as such the goal is to identify fatigue risks just like any other in our operation.
- Removing oneself from duty due to fatigue must be seen as one of the responsibilities of a professional crew member. Whilst we welcome crew going the extra mile, continuing to operate and not wishing to let others down, if someone is not fit to fly safely, it is important they remove themselves from duty.
- As an organisation, we aim to provide you with the tools and means to identify signs of potential elevated fatigue,

including how much sleep is not enough to perform as a safety critical member of the crew and signs of elevated fatigue.

- FRM training is competency-based training. We continually improve and update the training using information we get from fatigue reports and other information sources such as surveys.

## Controlled Rest

Controlled Rest on the flight deck (also called in-seat napping) is an emergency mitigation for unexpected periods of high fatigue that might arise during a flight. Controlled rest cannot be relied upon. If, for example, there is excess turbulence, or the cruise period is not low workload, crew would not be able to take controlled rest. If, before a flight, any crew member suspects that they might need controlled rest, they should declare themselves too fatigued to operate (as described above).

Key elements of controlled rest include:

- It is an emergency countermeasure.
- It can, however, be used proactively. If during cruise you experience high fatigue levels are likely to accumulate before approach and landing, taking a controlled rest at that point could be pragmatic to improve alertness during the most challenging parts of flight.
- The cruise period must be long enough to allow for preparation for the controlled rest, the rest period itself and a recovery from any post-rest inertia prior to

rejoining operations.

- There must be a clear handover of roles around controlled rest, both before and after.
- Keep such rest periods shorter than 30 minutes to minimise the likelihood of entering deep sleep can reduce the intensity and duration of subsequent post-rest inertia.

For more guidance on controlled rest, the flight safety foundation has produced a guidance document: [https:// flightsafety .org/ asw-article/controlled-rest/](https://flightsafety.org/asw-article/controlled-rest/).

## Other Staff Groups?

As mentioned earlier, FRM outside flight and cabin crew is not as specifically legislated for; however, it's as much a hazard for everyone else and must be managed.

As SMS is being introduced into Part-145 for maintenance organisations, there are specific requirements for the consideration of fatigue in organisations' manpower plans. Line maintenance organisations often conduct detailed and complex tasks during the middle



of the night and could therefore be vulnerable to the effects of fatigue. Fatigue risk assessments should be undertaken and identified controls and mitigations implemented.

The same will be true of ground handling organisations as the new EASA Ground Handling rules come into force in 3 years' time.

It is important that we continually ask ourselves the following questions:

- Do our current shift patterns support adequate sleep opportunities between shifts?
- What does working overtime mean for fatigue levels?
- Where is our highest likely fatigue level during a shift? What tasks are being done at that time?

There is a lot of focus on fatigue modelling, which may be available and could support identifying fatigue levels and timing; however, it is not mandatory.

Ultimately, that is why reporting is so important, so that staff can continually provide feedback to understand the situations that lead to problems, so we can adjust things as needed.

## Shift Smarter Not Harder

For those of you who work on the ground side of things, jobs can often involve a lot of repetitive work that creates both physical and



mental demands. We need to think about the specific activities that might be highly repetitive, highly concentrated and even very physical. Where possible, we must look to identify control measures to help reduce the risk of fatigue. These include:

- Consider where the work takes place and seek to improve that environment to help reduce fatigue. For example, working in a well-lit hangar requires less exertion than performing maintenance in near darkness with a grey floor.
- Ensure that adequate machinery and equipment is installed so that it can be used in the workplace.
- Design tasks to reduce or eliminate repetitive or monotonous work, sustained mental or physical effort, and/or overly complex tasks.
- Introduce job rotation to limit the accumulation of mental and physical fatigue.

## Nutrition

Healthy eating and good nutrition are important for everyone, here are some useful tip:

- Prefer/favour protein-rich foods that promote alertness (stimulating effect): meat, eggs and fish in reasonable quantities and provided they are not fatty meats.
- Avoid snacks consisting solely of sugary foods like energy bars (fast-acting sugars and fast-burning carbohydrates induce sleep) .

- Remember to stay hydrated (drink plenty of water) .
- While flights are in the cruise, alternate captains' and first officers' meals to avoid the risk of simultaneous drowsiness .

## Summary

Managing fatigue seems complicated, but it is just another hazard. As an organisation, the amount of time, effort and resource that we invest depends on our risk exposure of the operation and our operational aims. This is where managing change in our management system is so important, so that we can identify (and mitigate) potential risks as early as possible.

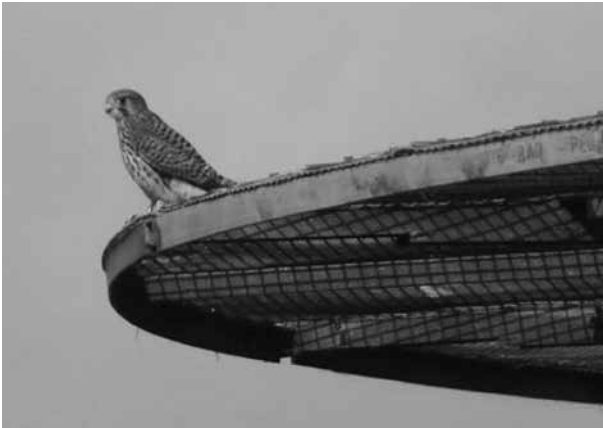
Managing fatigue through the SMS is the key requirement for us all-and not just in-flight operations. Fatigue is another hazard, so must be managed as we do any other hazard.

If you remember nothing else from this article, you are encouraged to be part of our FRM efforts and especially to report hazards whenever you identify something. It is only with your reports that we can ensure that we are always operationally ready and able to help our passengers and cargo reach their destination safely. 🙌

From Conversation Aviation  
#3, 2024

# 野生動物危害防治

蕭光霽 譯



人口成長、都市擴張與航空交通量攀升，皆加劇野生動物撞擊航空器之風險。因此，航空公司、機場及其他相關從業人員必須瞭解「野生動物危害管理」(Wildlife Hazard Management, WHM) 之重要角色，以及各類組織與員工能採取之特定行動，俾有效降低這些威脅。

## WHM之內涵與重要性

航空器在起飛與最終進場這兩個相當接近地面之階段，遭遇鳥擊的風險最高。在這些重要航行階段中，航空器飛行速度通常介於 80 到 160 哩之間 (依機型而定)，此時就算相對較小體型的鳥類，亦能對航空器造成巨大、甚至是災難性損壞。鳥擊亦可能發生在航空器巡航時且空速更快的高空；此外，當航空器在地面時，同樣亦可能發生野生動物撞擊 (包括鳥類，的確也有其他野生動物)。航空器曾被各種動物撞擊過，包括鹿、

牛，甚至曾有從鳥嘴掉下一條魚，直接砸穿一架正在進場的航空器擋風玻璃。

雖然航空器在設計要求上，要有極大衝擊才會構成重大問題，但一隻大鳥或一群鳥仍會對飛航安全構成顯著風險。任何物體對機身構成的各種損壞，皆可能顯著影響航空器之飛行或操控特性，絕對有害無益。雖然野生動物撞擊常會導致費用高昂 (耗費時間與材料) 之維修，但亦會打亂航班排程，進而讓航空體系許多部門造成額外營運壓力。

## 各司其職

如同許多安全議題一般，在減輕野生動物對營運構成風險上，體系中不同人員，角色各有不同。不難想像，這項工作絕大部分皆由機場 WHM 團隊承擔。這些團隊在機場安全上扮演至關重要之角色，透過採取包括驅散、移除 (棲地)、棲地改造、威嚇以及管理機場周邊環境等諸多措施，俾將風險降至最低。這些機場措施可降低鳥擊與其他恐危及乘客、機組員與航空器安全的野生動物侵入事件之可能性。

然而，飛航組員、地勤人員與機務維修工程師亦同樣各司其職，以確保任何對於飛機構成之損壞皆受到發現與通報。此類通報能確保任何野生動物殘骸皆受到採樣，以鑑定其物種，並協助蒐得其他相關資訊，從而助於減輕未來風險。

對於有效野生動物管理不僅是法規上基本要求，更是對安全與效能之關鍵投資，瞭解這點十分重要。

Safewings 航空公司之安全團隊定期對就野生動物危害進行分析，項目中包括判定(棲地與有風險之)位置，並與風險最高的機場相關團隊密切合作，以協助提供務實的減輕(危害)措施。我方保險公司與提供支援的諮詢顧問，皆在協助我方分析資料，並透過我方營運網絡與各機場及國家主管機關維持緊密合作。

### 對飛航機組員、地勤人員與維修工程師而言

雖然機場 WHM 實施之防範措施至關重要(後文會針對我方機場服務同仁說明其更加重要之處)，但飛航機組員、地勤人員與維修工程師仍能做到某些關鍵工作，俾協助發現損壞情況與提供後續資訊：

- 首先，無論貴方職責為何，一旦發現航空器因鳥類或其他野生動物造成損壞，請即刻通報機長。
- 如身為機長，請按安全通報程序，回報任何損壞情況，並展開 WHM 接續程序。
- 如果現場沒有飛航機組員—也許貴方是擔任飛行後檢查之工程師，或者是我方地勤機務同仁—請通報位於科隆(Cologne)之 Safewings 營運管制中心。

後續展開之 WHM 處理程序將記錄撞擊發生之可能地點相關資訊，並在可能情況下，對拾回之任何野生動物殘骸進行分析。所有航空器駕駛艙與所有維修車輛上，皆備有野生動物殘骸取樣包。

### 針對我方營運網絡上之機場

機場在減輕野生動物危害、確保旅客與機組員安全上扮演著最為關鍵之角色。重視並設有專職且經驗豐富 WHM 團隊之機場，不僅航班誤點與航空器損壞情況較少，且更易於向其國家主管機關證明自身符合航空安全法規。

近年來，空中鳥類與地面哺乳動物之數量皆有增加。這歸因於氣候變遷、自然棲地擴張、瀕危物種保護成效，以及為促進生物多樣化生態系統所進行之復原工作等諸多種因素。隨著空中交通量逐年成長，落實有效之野生動物危害管理及相關航空安全措施，顯得更加必要。

尤其對機場而言，可採 3 項關鍵行動：

- 研擬野生動物危害管理計畫(Wildlife Hazard Management Plan, WHMP)以管理機場內與週遭之棲地。
- 為營運員工實施培訓專案，俾協助 WHMP 發揮最大成效。
- 通報野生動物危害與相關撞擊事件。

### 野生動物危害管理成功之藍圖

在本質上，野生動物的出沒無法預測，且會受到自然事件與人類發展等諸多因素左右。然以下有幾項對於答案應能朗朗上口之關鍵問題：

1. 在貴方發現關乎 WHM 之風險中，哪些與新冠肺炎(COVID-19)疫情構成之變化有關？
2. 貴方實施中之 WHM 程序有哪些？構成這些程序之必要因素為何(這些程序減輕何種危害)？
3. 貴方目前在空側(Airside)的棲地管理程

序為何？

貴方恐就機場現有資源，暫無法以回復上述問題。WHM 係為專業工作，因此貴方恐需尋求專職野生動物管理之服務機構提供協助。

## 成功的作法

成功的 WHM 結合主、被動措施在機場持續進行，並確掌週遭風險。

主動措施包括直接驅離，最佳作法是讓野生動物管制人員配備高性能車輛與先進驅離工具，例如猛禽、煙火、誘餌、生物擬聲器與槍械。野生動物管制日誌應以記錄資料為主，俾分析野生動物活動方式並精進策略，進而提升決策品質。

被動措施同等重要，側重於棲地監測，以偵測機場周邊具有危害之鳥類，以及採取棲地管理，於合理可行範圍內盡可能降低該地（對野生動物）之吸引力。

## 跑道與外圍：監測機場外圍之重要性

機場外圍監測既是項法規要求，亦為有效施行 WHMP 之關鍵要素。機場座落於各種不同地點，包括城市、沿岸與鄉村地區，每個環境皆有吸引不同物種構成各自挑戰之特徵。判別物種並評估其進入機場區域之潛在風險，對於預防野生動物危害至為重要。透過掌握週遭區域之動態變化，機場就能採取先行措施，以降低野生動物相關事件發生之可能性。

在貴方 WHM 工作中，應進行（半徑）13

公里範圍之野生動物評估，以評估機場週遭之環境類型與相關風險。根據評估結果可以制定出詳細之監測計畫，以確保野生動物活動之任何重大變化皆能迅速受到判別並予以處置。

機場人員或支援服務單位從機場所做之觀察紀錄，皆可登錄以進行長期資料分析，此舉將有助於偵測（動物）覓食地點、繁殖場與遷徙模式。這項資料將能有助於機場內之棲地管理，從而降低該處對可能危及航空安全之物種的吸引力。

此外，WHM 團隊應與土地營運商與環保團體等有關單位合作，以確保在飛航安全優先與土地管理需求上取得均衡，促進互利共贏之合作關係。

## 結語

本文目的是要透過在機場採取先期、有效之 WHM，首先就是要預防野生動物撞擊。如果貴方尚未具備相關專業技術，切勿不好意思尋求外部支援，以務求貴方計畫與風險管理發揮最大成效。

請竭盡所能瞭解貴方機場遭遇之風險，並擬定與實施適切之緩解措施。

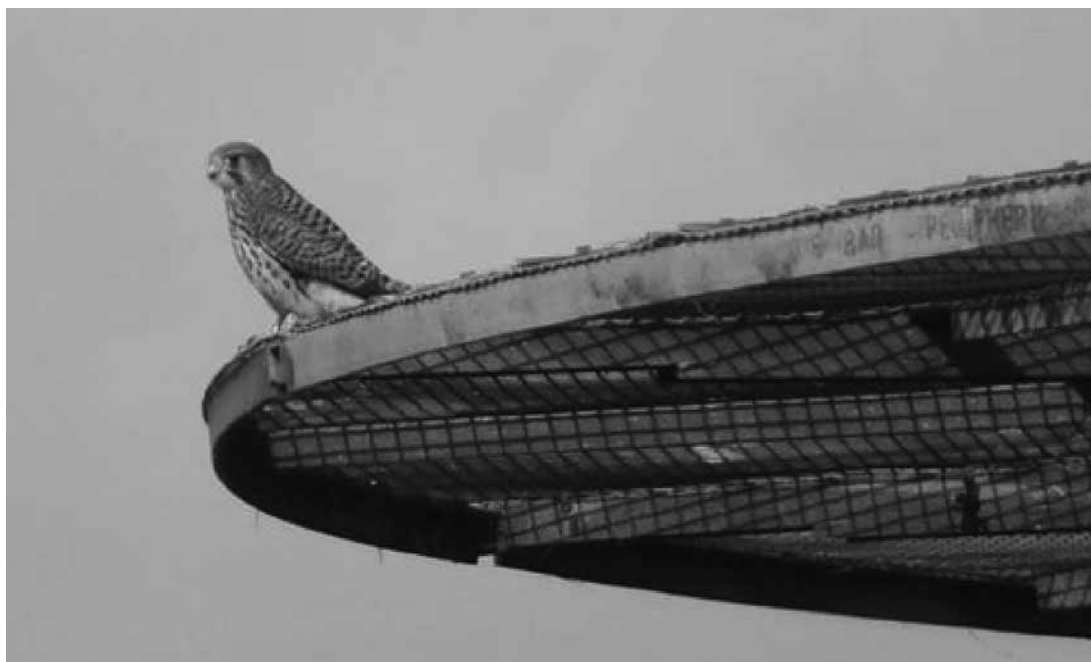
包括機場人員、機組員、地勤人員、工程師在內所有人員，皆應確實通報並採取有效追蹤，係為瞭解導致碰撞及機身損壞之野生動物物種類之關鍵。 —

譯自歐盟航空安全總署《航空對話》  
（Conversation Aviation）刊物 2025 年第 1 期



# Wildlife Hazard Management

Baines Simmons



**Population growth, urban expansion and rising air traffic have heightened the risk of wildlife strikes to aircraft . This means that it is important that airline, airport and other related staff members understand the important role of Wildlife Hazard Management (WHM) and the specific actions that the different types of organisations and their staff can take to mitigate these threats effectively .**

## **What is WHM and Why it Matters**

Aircraft are at greatest risk from bird strikes on take-off and on final approach when they are reasonably close to the ground. In these critical phases of flight, aircraft are

typically flying at speeds of between 80 and 160 knots (depending on the aircraft types) when even a relatively small bird could cause considerable - even catastrophic - damage to an aircraft. Bird strikes also happen at higher altitudes where aircraft are in the cruise and flying faster; wildlife strikes (birds and - yes -

other wildlife) are also possible while aircraft are on the ground. Aircraft have been hit by all sorts of animals including deer, cows and even a fish that once fell from bird's mouth and went through the windscreen of an aircraft on approach.

Whilst aircraft design requirements are such that it takes a lot to cause a major issue, a large bird or a flock of birds can pose a significant risk to aviation safety. Any damage to an airframe from any object could impact an aircraft's flying/handling characteristics markedly, which is never a good thing. While wildlife strikes can often lead to costly (time and materiel) repairs, they also disrupt our schedules, leading to additional operational pressures on many parts of the aviation system.

## **Different People Have Different Parts to Play**

Like many safety issues, different people in the system have different parts to play in mitigating the risk of wildlife to operations. It is probably no surprise that the largest part of the effort falls on aerodromes' WHM teams. These teams play a vital role in aerodrome safety, working to minimise risks through measures including dispersal, removal, habitat modification, deterrent, and management of the environment around the aerodrome. These airport measures reduce the likelihood of bird strikes and other wildlife incursions that could endanger passengers,

crew and aircraft.

Flight crew, ground staff and aircraft maintenance engineers, however, also have their parts to play in ensuring that any damage to aircraft is identified and reported. Such reporting ensures that any wildlife remains are sampled to identify the bird type and to support the collection of other information that will help to mitigate future risks.

It is important to know that effective wildlife management is more than a basic regulatory requirement, it is a crucial investment in both safety and efficiency.

The Safewings Safety Team conduct regular analyses of our wildlife hazards, including location identification and the team work closely with the teams at those airports with the greatest risk to help practical mitigations. Both our insurance company and our supporting consultants help us analyse the data and work closely with airports and national authorities across our network.

### ***For Flight Crew, Ground Staff and Aircraft Maintenance Engineers***

Whilst WHM prevention measures at aerodromes are vital (more of that in a moment for our airport colleagues), there are some key things that flight crew, ground staff and engineers can do to identify damage and help with the follow-up information.

- Firstly, whatever your role, if you see damage on an aircraft from birds or other wildlife report it to the aircraft captain.
- If you are the captain, report any damage via the safety reporting process and initiate the WHM follow-up procedure.
- If there are no flight crew, perhaps you are the post-flight inspecting engineer or one of our supporting ground staff - please inform Safewings ops control in Cologne.

The WHM follow-up procedure then captures information about the potential location of the strike and, where possible, involves analysis of any wildlife remains recovered. Collection kits for wildlife remains are in all aircraft cockpits and all maintenance vehicles.

### ***For Airports in Our Network***

Airports have the biggest role to play in mitigating wildlife hazards and keeping passengers and crews safe . Airports that prioritise dedicated, experienced WHM teams have less delays, fewer aircraft damages and a much easier time demonstrating compliance with aviation safety regulations to their respective national authorities.

In recent years, there has been an increase in bird populations in the sky and mammals on the ground.

This is due to various factors including

climate change, the expansion of natural habitats, efforts to protect endangered species and the restoration of ecosystems to promote biodiversity . With air traffic growing year-on-year, the need for effective wildlife hazard management and associate aviation safety measures become increasingly evident.

Specifically, there are 3 key activities for airports :

- Developing Wildlife Hazard Management Plans (WHMP) to manage the habitats at and around the aerodrome.
- Implementing training programmes for operational staff to help WHMPs to be as



training and hangar cleanse services.

effective as possible.

- Reporting wildlife hazards and strikes.

### ***The Blueprint for Successful WHM***

Wildlife activity is inherently unpredictable and shaped by a variety of factors, including natural events and human developments. There are some key questions that we should be able to answer at any time :

- 1 . What are your identified WHM risks associated with the changes imposed by the COVID-19 situation?
- 2 . What are your current active wildlife hazard control procedures and why are they needed (what hazards are they there to mitigate?) .
- 3 . What are your current airside habitat management procedures?

It might be that you are unable to answer these yourselves with the resources you have at the aerodromes. WHM is a specialised activity so you might need to call for the help of a dedicated wildlife management service.

### ***What Success Looks Like***

Successful WHM blends active and passive measures to maintain a constant airfield presence and an understanding of surrounding risks.

Active measures involve direct deterrence, best achieved by equipping wildlife control operatives with high-performance vehicles and advanced

deterrents such as birds of prey, pyrotechnics, decoys, bioacoustics and firearms. Wildlife control logs should be data-driven, allowing for the analysis of wildlife patterns and refinement of strategies to improve decision-making.

Equally important, passive measures focus on habitat monitoring to detect hazardous birds in the vicinity of the airfield, as well as habitat management to reduce site attractiveness as much as reasonably practicable.

### ***The Runway and Beyond: Importance of Off- airfield Monitoring***

Off-airfield monitoring is both a regulatory requirement and a critical element of an effective WHMP. Aerodromes are in lots of different places, including urban, coastal and rural areas, each with features that attract different species and pose individual challenges. Identifying these species and assessing their potential risks of moving onto the airfield is crucial to preventing wildlife hazards. By understanding the dynamics of the surrounding areas, airports can take proactive measures to reduce the likelihood of wildlife-related incidents.

As part of your WHM activities, 13 km wildlife assessments should be carried out to assess the types of sites surrounding the aerodrome and the risks associated with them. Based on these findings, detailed monitoring plans can be developed to ensure any



significant changes in wildlife activity are quickly identified and addressed.

Observations made from the aerodrome by staff or supporting services can then be logged for long-term data analysis, helping to detect feeding sites, breeding grounds and migration patterns. This information can support efforts to manage on-airfield habitats, reducing their appeal to species that could pose risks to aviation safety.

WHM teams should also collaborate with stakeholders, such as land operators and environmental groups, to ensure air safety priorities are balanced with land management needs, fostering mutually beneficial cooperation.

For everyone - airport staff, flight crew, ground staff, engineers et al - reporting and effective follow-up is key to understanding the types of wildlife causing strikes and damage. 🐾

From Conversation Aviation  
#01, 2025

## Summary

The goal is to prevent wildlife strikes in the first place through proactive, effective WHM activities at the aerodrome. If you don't have the skills yourselves, do not be afraid to ask for external support to ensure that your planning and risk management is as effective as possible.

Do everything you can to understand the risks at your aerodrome and to develop and implement the appropriate mitigating measures.

# 各國無人機機場禁飛紅區範圍分析比較

劉川鼎

## 壹、前言

近年無人機技術快速發展，應用方式已由空拍攝影擴展至測量製圖、巡檢、物流、農業、災害應變及公共安全等多元領域。惟無人機價格便宜、操作門檻低、機體小型化且多於低空活動，若操作人不熟悉管理或空域限制規定或無人機內建「地理圍籬」範圍未必等同官方空域圖資的軟體缺陷，或臨時起意飛行而未依規定申請等，很有可能誤入機場周邊航機起降頻繁的高風險區域，包括：到、離場下滑道或爬升航跡、本場航線及其他目視或儀器航線保護區域等。航機起飛、降落或低高度操作時，最缺乏高度、距離與時間餘裕之環境，歐洲航空安全局 (EASA) 便亦指出，未經授權之無人機事件，多發生於機場周界附近或跑道到離場路徑，無人機與有人機碰撞後果可能嚴重，故一遇無人機侵擾事件，機場或航管單位往往必須限制或暫停運作，造成空中運輸秩序大亂。

機場周邊劃設禁止或限制無人機活動的區域，可降低被侵擾的風險，而非限制無人機產業發展。對有人機而言，起飛與降落階段速度高、航跡相對固定，且駕駛員須同時處理航機構型變化、天氣、跑道狀況及航管指示等；若無人機進入跑道端、下滑道或

到離場航線，即使尚未發生碰撞，也會迫使塔臺暫停起降、變更跑道使用、安排航機重飛、延遲到場或轉降其他機場。英國 2018 年 Gatwick 機場無人機事件造成約 1,000 架次航班受影響、逾 14 萬名旅客行程受阻；無人機侵入機場空域即使未造成實體碰撞，仍可能對機場營運形成重大衝擊。

國內亦曾發生多起無人機闖入機場周邊而影響民航運輸的案例。2017 年松山機場曾因五股下滑道附近發現無人機而暫停降落約 55 分鐘，影響 6 個航班；2019 年 12 月 31 日桃園機場亦曾因無人機闖入限航區，造成機場緊急關閉約 1 小時，共影響 12 個航班。桃園機場於民國 108 年至 112 年 5 月間，合計有 7 次遭無人機侵擾並造成全場跑道暫停起降，平均每次造成機場暫停運作約 37 分鐘；此情形促使國內各機場陸續建置無人機偵測與反制系統，以降低無人機侵擾的風險。

各國均已透過法規、官方地理圖資、線上申請平臺，將機場周邊列入禁止飛航、限制高度或須事前核准之區域。我國民用航空法及遙控無人機管理規則亦明確規定並提供圖資查詢系統，揭示含民航局公告之禁航區、限航區、航空站或飛行場四周一定距離

範圍，以及地方政府或中央主管機關基於公益及安全需要公告之禁止或限制區域。於禁止或限制範圍內從事遙控無人機飛航活動時，應依規定提出申請並取得民航局或地方政府的同意。

本文以「機場禁飛紅區」指涉經民航主管機關公告，航空站四周（不含飛行場）一定距離範圍內禁止或限制無人機活動之區域，即操作人未取得核准前，不得自行飛航或須依官方程序申請之管制範圍；比較英國、法國、德國、日本、韓國、美國、加拿大、新加坡、馬來西亞、澳洲及紐西蘭之相關規定，分析各國如何劃設機場周邊無人機管制

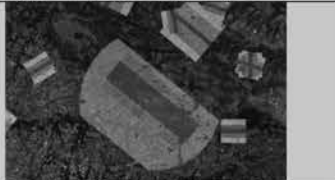
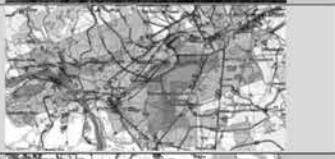
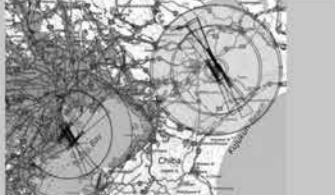
區域，作為我國檢討機場周邊無人機管理及強化飛航安全防護之參考。

## 貳、各國機場禁飛紅區比較

從型態觀察，各國民航主管機關所公布的紅區可分為三類：

一、固定圓柱型：以機場參考點、跑道中心或起降場中心為圓心，劃設一定半徑及高度範圍之無人機管制區。其主要特徵是範圍明確、判讀簡單，適合一般民眾快速理解與遵循。例如韓國、馬來西亞、新加坡、加拿大及紐西蘭。

圖表 1 各國機場禁飛紅區劃設基準比較表

| 國家              | 紅區範圍                                                                                                   | 高度限制                             | 制度型態          | 範例                                                                                    |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 英國 <sup>1</sup> | Flight Restriction Zone (FRZ) 包含 ATZ 圓柱區（半徑 2 或 2.5 哩）及跑道端延伸保護區；跑道端沿中心線延伸 5 公里、寬 1 公里，部分大型機場可達 1.5 公里。 | FRZ 至 2,000 英尺 AGL。              | 機場與航機到離場保護混合型 |  |
| 法國 <sup>2</sup> | 機場周邊限制區依機場性質、跑道長度與是否位於 Control Traffic Region (CTR) 內而異；限制範圍可自機場向外延伸數公里，須以官方地圖及指南判讀。                   | 上限 120 公尺 AGL；機場周邊可能降為 50 公尺或禁飛。 | 綜合風險型         |  |
| 德國 <sup>3</sup> | 一般飛行場周邊 1.5 公里內受限制；機場另包括機場邊界 1 公里內，以及沿跑道中心線向兩端延伸 5 公里、左右各 1 公里之區域。                                     | 上限 120 公尺 AGL。                   | 機場與航機到離場保護混合型 |  |
| 日本 <sup>4</sup> | 機場周邊屬禁止或須許可空域，主要以機場周圍空域及障礙物限制面等方式界定，並非全國統一固定半徑。                                                        | 上限 150 公尺 AGL。                   | 綜合風險型         |  |

<sup>1</sup> CAP 1763 - Air Navigation Order 2018 and 2019 Amendments - Guidance for Small Unmanned Aircraft users

<sup>2</sup> Application Géoportail - Carte des de restrictions pour la catégorie Ouverte et l'aéromodélisme en France métropolitaine

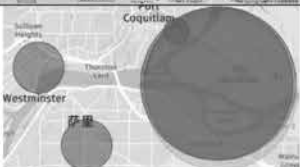
<sup>3</sup> Drone flights at airports and aerodromes

<sup>4</sup> Unmanned Aircraft Flight Permission/Approval Application Web Portal

二、 機場與航機到離場保護混合型：結合機場周邊固定範圍管制，以及跑道到、離場航線保護之劃設方式。除以機場或跑道為中心設定一定半徑禁限航區外，另沿跑道中心線向外延伸，涵蓋航機起飛爬升、到場落地及重飛可能經過之低高度空域。其優點在於管制範圍較能對應實際飛航風險，兼顧機場周界、跑道端及到、離場路徑保護，較單純固定半徑管制更具精準性。例如英國、德國、澳洲及我國。

機場環境及航管空域分別劃設，惟限制高度依不同地點有較大差異，需以官方圖資或手機 APP 查詢該處限制高度，難以單一概括。其優點在於可依不同機場條件、跑道配置、到離場航線、周邊地形及航管需求，提供較精細的禁飛或限高管理；雖判讀較複雜，但可避免不必要的擴大限制範圍，兼顧飛航安全與無人機合理應用。例如美國、日本及法國。

三、 綜合風險型：限制範圍與高度依機場界圍、跑道障礙物限制面、跑道長度、

| 國家               | 紅區範圍                                                                                 | 高度限制           | 制度型態  | 範例                                                                                    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 韓國               | 機場周邊管制區以半徑 9.3 公里作為重要判斷基準；禁飛區或管制區內無論重量或用途均須事前取得飛行核准。                                 | 上限 150 公尺 AGL。 | 固定圓柱型 |  |
| 美國               | 沒有全國一致之機場固定半徑紅區；機場周邊是否可飛，取決於 Class B/C/D、地表 Class E 空域及 UAS Facility Maps 格網高度。      | 上限 400 英尺 AGL。 | 綜合風險型 |  |
| 加拿大              | 須距機場及軍用航空站 3 哩（5.6 公里）以上，距直升機場 1 哩（1.9 公里）以上；管制空域內需 NAV CANADA <sup>5</sup> 或相關單位授權。 | 上限 400 英尺 AGL。 | 固定圓柱型 |  |
| 新加坡 <sup>6</sup> | 機場或軍用空軍基地 5 公里內屬無人機禁飛或須許可區域，並結合危險區、限制區與保護區。                                          | 上限 200 英尺 MSL。 | 固定圓柱型 |  |

<sup>5</sup> NAV CANADA  
<sup>6</sup> No-fly zones and UA flying areas



| 國家                | 紅區範圍                                                                                               | 高度限制                                              | 制度型態          | 範例                                                                                   |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 馬來西亞 <sup>7</sup> | CAAM 以距機場參考點至少 10 公里作為 Aerodrome Traffic Zone (ATZ) 基準；ATZ 內飛行須 CAAM 授權。                           | 上限 400 英尺 AGL。                                    | 固定圓柱型         |   |
| 澳洲 <sup>8</sup>   | 重量超過 250 公克之無人機不得在受管制機場 5.5 公里內飛行；依 CASA 圖示及 Part 101 Manual of Standard (MOS) 所定到離場路徑範圍，不論重量均須避開。 | 上限 120 公尺 AGL；250 公克以下在特定條件下可於 5.5 公里內低於 45 公尺飛行。 | 機場與航機到離場保護混合型 |   |
| 紐西蘭 <sup>9</sup>  | 除了所有航空站、機場、直升機場或起降場中心 4 公里半徑圓柱範圍，繁忙機場及空域可能有額外管制區需透過 AirShare APP 顯示；4 公里內須符合特定條件或取得許可。             | 上限 120 公尺 AGL。                                    | 固定圓柱型         |   |
| 我國 <sup>10</sup>  | 機場周邊紅區依跑道端 5 公里、左右各 35 度弧線及跑道中心線兩側 2.6 公里範圍劃設；外圍黃區於機場標高 60 公尺以上禁止飛航。                               | 上限 120 公尺 AGL；於黃區內可低於 60 公尺飛行。                    | 機場與航機到離場保護混合型 |  |

<sup>7</sup> UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM (UAS) OPERATIONS FLOWN WITHOUT APPROVAL FROM CAAM

<sup>8</sup> Flying near airports

<sup>9</sup> Check the airspace before you fly

<sup>10</sup> 交通部民用航空局對機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點

## 參、結論

經經過比較可知，各國雖均以防止無人機侵擾機場運作為目標，但劃設方式各有差異。固定圓柱型規則明確、易於宣導，適合一般民眾快速理解；機場與航機到離場保護混合型則同時涵蓋機場周邊及跑道到離場路徑，較能保護有人機起飛、降落及重飛階段之高風險空域；綜合風險型則依機場條件、跑道配置、障礙物限制面、航管空域及地面環境差異，透過官方圖資或線上授權系統，提供更合理、親民的禁飛紅區加上限高管理。

實務上，雖然有機場禁飛紅區的劃設，迄今仍然不時傳出無人機侵擾機場的案例，去除地緣政治緊張下，敵對國家可能利用無人機對機場進行灰色襲擾，一般無人機玩家因為各種因素，也時有可能觸犯相關限制規定。

首先，從人員素質觀察，機場周邊無人機管理能否落實，取決於操作人是否具備基本航空知識與空域風險意識。若操作人不熟悉機場航線、跑道到離場等概念，即使法規已有明確限制，仍可能因誤判位置、高度或任務需求而侵入機場範圍。因此，利用法規

建立無人機註冊、操作人員資格等教育訓練機制以強化對無人機飛航風險的認識，使操作人理解限制範圍背後之飛安目的，有其絕對必要。

其次，從技術面觀察，傳統航管雷達系統對小型低空無人機之偵測與識別能力有限，都市複雜環境亦會遮蔽或影響無人機控制鍊路，造成斷連失控而不預期進入紅區。因此，機場周邊無人機管理不能僅停留在靜態禁限航圖資，而應逐步整合遠端識別、低空監控、地理圍籬、線上申請、即時授權及異常告警等技術。管理程序方面亦需民航主管機關、地方政府、機場經營人、航管單位、警察等多個權責機關的統籌與即時協調，以提升跨單位溝通效率與事件應變能力。

最後，從紅區劃設方式觀察，三種方法各有特色，應互相吸納；我國現行機場周邊紅區已具備跑道端及到離場路徑保護概念，較單純固定半徑管制更能對應有人機起降階段之實際風險。然而，隨著無人機用途增加、任務型態多元化，以及未來低空活動密度提升，僅以幾何範圍作為主要管制基礎，尚不能滿足未來應用領域擴大的趨勢。我國可在既有「機場與航機到離場保護混合型」基礎上，嘗試朝「綜合風險型」管理方式發展。短期可維持現行紅區與黃區架構，確保規則易於理解並維持機場周邊基本防護；中期可依各機場跑道配置、起降航線、障礙物限制面、周邊都市發展、航班量及無人機活動熱區，建立更細緻之分區與限高圖資；長期則可發展類似美國、日本及法國之官方圖資與線上授權機制，避免單一幾何範圍過度簡化實際風險，也能減少不必要的空域限制，在維持機場飛航安全之前提下，提升我國低空空域管理之精準度、彈性與行政效率。 🍵





115年5月12-14日機坪/空側安全管理班



115年5月11-13日第一梯次國軍參訓學員合照



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](http://www.flightsafety.org.tw)