

出國報告（出國類別：研究、考察）

TBS-Time-Based Separation
以時間取代機型湮數為基礎之
進場航機隔離

服務機關：交通部民用航空局飛航服務總臺

姓名職稱：李怡璇 主任管制員

派赴國家：英國、盧森堡

出國期間：中華民國 113 年 5 月 20 日～8 月 21 日

報告日期：中華民國 113 年 10 月 1 日

摘要

天空很大，跑道數量卻有限，如果能在到場航機最後進場階段提高到場率以增加跑道容量，對緩解空域擁擠極有幫助。英國國家飛航服務公司 NATS(National Air Traffic Services)在希斯洛機場進場階段運用時間為基礎之進場航機隔離 TBS(Time-Based Separation)取代傳統的距離隔離 DBS(Distance-Based Separation)，除提高了機場容量外，在減少航機空中待命、減少燃油及減少碳排方面亦成效顯著。此行前往 NATS 研究其 TBS 原理，導入時之人員訓練、航管系統配套、軟硬體設備及可能遇到的困難等，作為本區未來優化進場方式及增進飛航服務品質之參考。

NATS 此次亦開放倫敦城市機場數位塔臺及數位塔臺實驗室供瞭解，有鑑於科技進步使許多國家對數位塔臺的接受度越來越高，本專案報告亦將提及此次赴歐觀察到之數位塔臺發展，未來或可應用於本區之離島機場。

此行另至 Eurocontrol 位於盧森堡的訓練中心參與作業空域管理課程，藉由課程了解歐洲國家間、軍民雙方空域管理及協調作業之輪廓，期能作為本區軍民協調之借鏡。

目 錄

壹、 目的.....	3
貳、 行程紀要.....	4
參、 各組織簡介.....	5
一、 EUROCONTROL	5
二、 NATS	6
三、 LVNL.....	10
四、 Skeyes.....	12
五、 Leidos	13
六、 Indra.....	14
肆、 研究單位及其 TBS 作業	15
一、 Prestwick 管制中心	15
二、 希斯洛塔臺	24
三、 Swanwick 管制中心	32
四、 阿姆斯特丹史基浦機場近場作業及 IA(Intelligent Approach)	55
伍、 數位塔臺 Digital Tower	62
一、 倫敦城市機場數位塔臺	62
二、 英國 NATS 數位塔臺實驗室	69

三、 荷蘭 LVNL 數位塔臺計畫.....	77
四、 比利時 skeyes 數位塔臺計畫	78
陸、 EUROCONTROL Learning Centre.....	79
一、 EUROCONTROL Learning Centre 及 Operational Airspace Management 課程	79
二、 Operational Airspace Management 課程目的	83
三、 FUA 概念、空域分類及空域公告	85
四、 FUA 作業流程	88
五、 空域管理系統工具	90
柒、 心得與建議.....	92
一、 心得	92
二、 建議	96
三、 結語	101
捌、 參考資料.....	102

壹、目的

臺北飛航情報區(以下稱本區)管制員在空域內引導航機時須考量的除了有水平 3 或 5 哩隔離、垂直 1000 或 2000 呎隔離外，還有國際民航組織 ICAO 界定的機尾亂流分類，每一對航機都有各自須遵守的隔離距離。舉例而言，重型及中型飛機跟在超重型飛機之後，隔離分別是 5 哩及 7 哩，而這個距離必須維持到前架航機著地為止。然而，航機雖以相同的空速飛行，在強逆風環境中卻會使地速變小，航機須花費更多的時間才能落地，就如同在上行的電動手扶梯下樓，會比走在階梯上的人晚到達地面。因此在強逆風條件下，若欲維持相同尾流隔離，航班的延誤狀況將因此而增加。為提高航機落地效率，英國國家航空交通服務公司 (NATS) 研發了以時間間隔為基礎(Time-Based Separation, TBS)之進場方式，並與 Leidos 公司合作，將以 TBS 為基礎的進場概念製作稱為 Intelligent Approach(下稱 IA)的工具軟體，該軟體可附加及整合於既有航管系統上，目前除英國的希斯洛及蓋威克機場使用 IA 外，還有加拿大多倫多皮爾遜國際機場及荷蘭阿姆斯特丹史基浦機場也將 IA 附加於航管自動化系統。

此行實際前往 NATS 及荷蘭的航管服務公司 LVNL 等使用 IA 工具系統的公司，藉此了解實行 TBS 所需相關條件、軟硬體設施、程序配套、人員訓練等，希望能汲取他國機場的成功經驗，提高我國機場容量，期能為航空產業盡一份心力，減少航班延遲、節省燃油，朝淨零碳排更進一步，並減輕管制員工作量。

除 TBS 外，此次亦赴 Eurocontrol 位於盧森堡的訓練中心參加作業空域管理課程，了解歐洲各國空域相連關係緊密的作業環境下，軍民雙方、國家之間彼此如何協同合作，在有限的空域內增加容量，以滿足偵查照測、天氣探勘、軍事演練等以及客貨運載等各式需求。

貳、行程紀要

日期	行程內容	地點
2024.5.20	至盧森堡	桃園-盧森堡
2024.5.21-31	研讀課程內容並至盧森堡訓練中心參加 Operational Airspace Management 課程	盧森堡
2024.6.1-7	赴英國國家飛航服務公司 National Air Traffic Services(NATS)研究： 1. London Area Control Center 2. London City Digital Tower	英國
2024.6.8-7.28	1. 整理研究及考察資料、撰寫研究報 告、等待候補 Deployment of A-SMGCS services 課程。 2. 至荷蘭阿姆斯特丹 LVNL 總部了解 IA 工具導入過程、訓練規劃、使用經驗 及其未來數位塔臺規劃。 3. 至比利時布魯塞爾 skeyes 總部參觀數 位塔臺測試環境及了解數位塔臺規 劃。	盧森堡
2024.7.29-8.7	赴英國國家飛航服務公司 National Air Traffic Services(NATS)研究： 1. Heathrow Tower 2. Digit tower laboratory	英國
2024.8.8-8.19	整理研究及考察資料、撰寫報告	盧森堡
2024.8.20-21	返國	盧森堡-桃園

參、各組織簡介

因歐洲各航管服務提供單位及組織眾多且彼此交流密切，此次說明研究的主要組織英國國家飛航服務公司 NATS 及荷蘭飛航服務公司 LVNL 時，皆會各別提到許多單位、機構或組織，為使報告易於閱讀，這裡將報告內提到的單位或組織名稱，包含 Eurocontrol、英國/荷蘭/比利時的飛航服務公司、與 NATS 共同開發 IA 工具軟體的技術公司及航管系統商等先一一介紹，讓讀者具備閱讀後續內容的基本背景認識。

一、EUROCONTROL

EUROCONTROL 歐洲空中航行安全組織，全名為 European Organisation for the Safety of Air Navigation，1963 年成立，總部設於比利時布魯塞爾，為一泛歐軍民組織，致力於歐洲航空產業。目前會員國計有 41 名歐盟成員國及 2 名非歐盟成員國。

EUROCONTROL 負責歐洲空域的航管（ATM）系統，確保跨境航班的順暢和安全；制定並實施航空安全標準，以提升歐洲空中交通的安全性；規劃和設計歐洲空域，優化飛行航路和空域結構，以提高運營效率和容量；協調歐洲的飛航計畫和流量管理以減少延誤；研發航管技術和系統；提供專業培訓和教育課程，提升管制員和相關人員的技能和知識等。

二、NATS

NATS 英國國家飛航服務公司，全名為 National Air Traffic Services，成立於 1962 年，在 2001 年私有化，國家有 49% 股權、42% 為航空相關單位、4% 為希斯洛機場公司，剩下 5% 為員工。其主要業務為提供英國及直布羅陀航管服務、透過實體或數位塔臺管制英國 15 座機場起降，提供服務的管制中心及 15 座塔臺如圖 1。

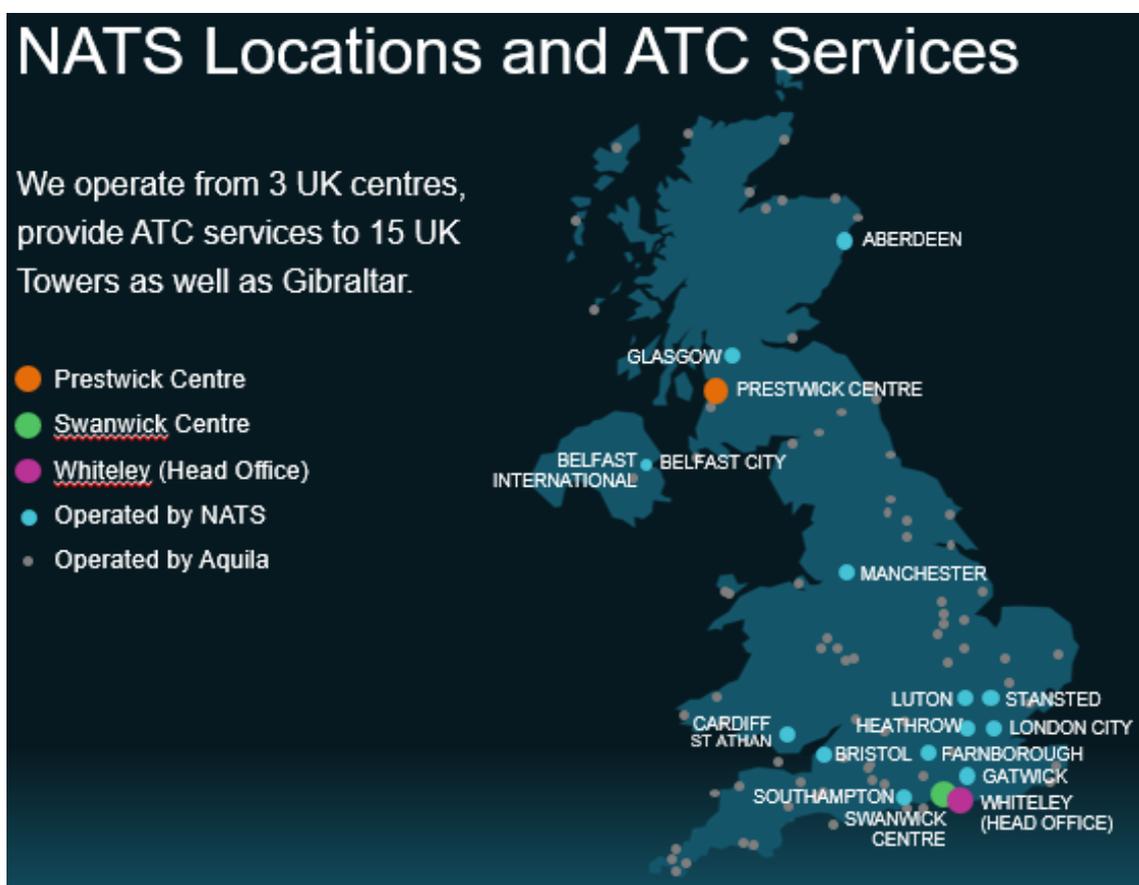


圖 1. NATS 於英國提供航管服務地點 (圖片來源：NATS 網站)

因私有化的緣故，NATS 的業務範圍也不再侷限於英國，同時也為其他 30 個國家的航空公司、飛航服務公司、政府或軍方提供航空服務(如近期 NATS 為香港訓練並招募管制員)，除在英國及歐洲外，在中東及亞

洲也設有辦公室。圖 2 為 NATS 於歐洲、中東及亞洲設立的辦公據點。



圖 2. NATS 於歐洲及亞洲辦公室據點 (圖片來源：NATS 網站)

在 Covid-19 之前，2019 年 NATS 在英國年管制量約為 260 萬架次，2019 年 7 月 5 日更達到年度也是歷史以來單日最高 8592 架次，運輸旅客人數約為 2.5 億人。隨著疫後航空業復甦，2023 年的管制量來到 224 萬架次，已是疫前的 86%，預計 2024 年將會恢復至疫前水準並持續成長。面對如此龐大的航行量及航線交錯複雜的空域結構，NATS 運用統計數據、科技工具、技術創新和發展等科學方法，與航空相關技術公司合作，在維持航空安全的大前提下持續為成長中的航行量尋求更佳解決方案，同時推廣環境保護措施，減少碳排和噪音管制，並且定期回顧及持續精進。

NATS 目前全球員工人數約為 4277 人，包含 1665 名管制員、787 位工程技術人員、621 位助理管制員及 1204 名其他專長或是行政人員。其在英國共有 3 大營運/管制中心，分別為位於 Whiteley 的總部、Swanwick 及 Prestwick 兩大管制中心，此兩大管制中心管轄的蘇格蘭 FIR 及倫敦

FIR 就佔據了歐洲 11%的空域及 25%的航行量，而幅員遼闊的 Shanwick 跨洋管制區域則擁有 80%北大西洋航行量。英國的三個 FIR 如圖 3。另外，在與 NATS 的人員對話過程中，發現他們對於終端管制(TMA)及近場管制(Approach)是分為不同的兩個單位，臺灣則把 TMA 及 Approach 統稱為近場臺。



圖 3. NATS 管制空域 英國的三個 FIR (圖片來源：NATS 網站)

以下分別簡介 NATS 在英國的三大營運/管制中心：

1. Whiteley 總部：他們稱為 CTC(Corporate & Technical Center)，企業及技術中心，包含訓練學校、工程技術及支援單位，此處無實際航管單位。
2. Prestwick 管制中心：管制範圍為 Shanwick Oceanic FIR 及 Scottish FIR(包含蘇格蘭及北方島嶼)。管制單位為 Shanwick 跨洋區域管制中心、蘇格蘭區域管制中心(含終端管制中心 TMA)、曼徹斯特區域管制中心，而 Scottish FIR 內機場的近場臺(Approach)則皆與塔臺共址。Prestwick 管制中心每日處理航行量約為 2905 架次。
3. Swanwick 管制中心：管轄範圍為 London FIR，包含英格蘭與威

爾斯。管制單位有倫敦區管中心、終端管制中心(TMA)、倫敦近場臺(Approach)、倫敦軍方航管中心及倫敦城市機場數位塔臺。通常近場臺都與塔臺共址，而倫敦 5 個主要機場(Heathrow、Gatwick、Stansted、Luton、London city)因彼此地理位置靠近，離到場航機航線交錯且彼此相關，除此之外還有許多直升機穿梭其中，堪稱世界上最複雜的空域結構，五機場航機軌跡圖如圖 4，未免溝通錯誤及爭取時效，NATS 將此五個機場的近場臺共同遷至此處，以方便互相協調。位於此處的 London Approach 也是此次研究專案 TBS 的實際應用單位。Swanwick 管制中心每日處理航行量約為 4634 架次。



圖 4. 倫敦 5 大機場航機軌跡 (圖片由 Jacob Young 授權使用)

三、LVNL

英國有 NATS，那 LVNL 就是荷蘭的 NATS 了！LVNL 荷蘭航管公司，全名 Luchtverkeersleiding Nederland，Luchtverkeersleiding 翻譯成英文就是 air traffic control，提供航管、導航、航空通信、氣象預報、飛航計畫及緊急救援通報等服務，與我們的飛航服務總臺所扮演的角色類似，1993 年從政府獨立出來成為國營事業單位，營運的資金來源主要來自航空公司支付的費用，亦會將收取的費用投入到改進和維護航管系統和設施中。

LVNL 受到荷蘭政府的監督和管控並直接向荷蘭政府負責，主要目標是確保航空交通的安全和效率，而非盈利。因此 LVNL 與 NATS 不同的是 LVNL 著重荷蘭境內的航管服務，擁有自己的技術人員，與其他航管機構合作，創新和改善現有系統，達到提高效率和安全的目的。也因為其獨立的關係，LVNL 能夠靈活地應對航空業的變化和需求，同時保持高標準的安全和服務品質。LVNL 也關注環境保護，透過優化飛行路線和降低飛機碳排來減少航空對環境的影響及減少噪音。

LVNL 管轄的機場有阿姆斯特丹史基浦機場(Amsterdam Schiphol Airport)、鹿特丹海牙機場(Rotterdam The Hague Airport)、萊利斯塔德機場(Lelystad Airport)、格羅寧根埃爾德機場(Groningen Eelde Airport)及馬斯垂克亞琛機場(Maastricht Aachen Airport)等五座機場，圖 5 為此五座機場塔臺在荷蘭的位置圖。終端管轄的空域僅到飛航空層 245，飛航空層 245 以上則交由位於馬斯垂克的高高度區管中心(Maastricht Upper Area Control Centre, MUAC)管制。

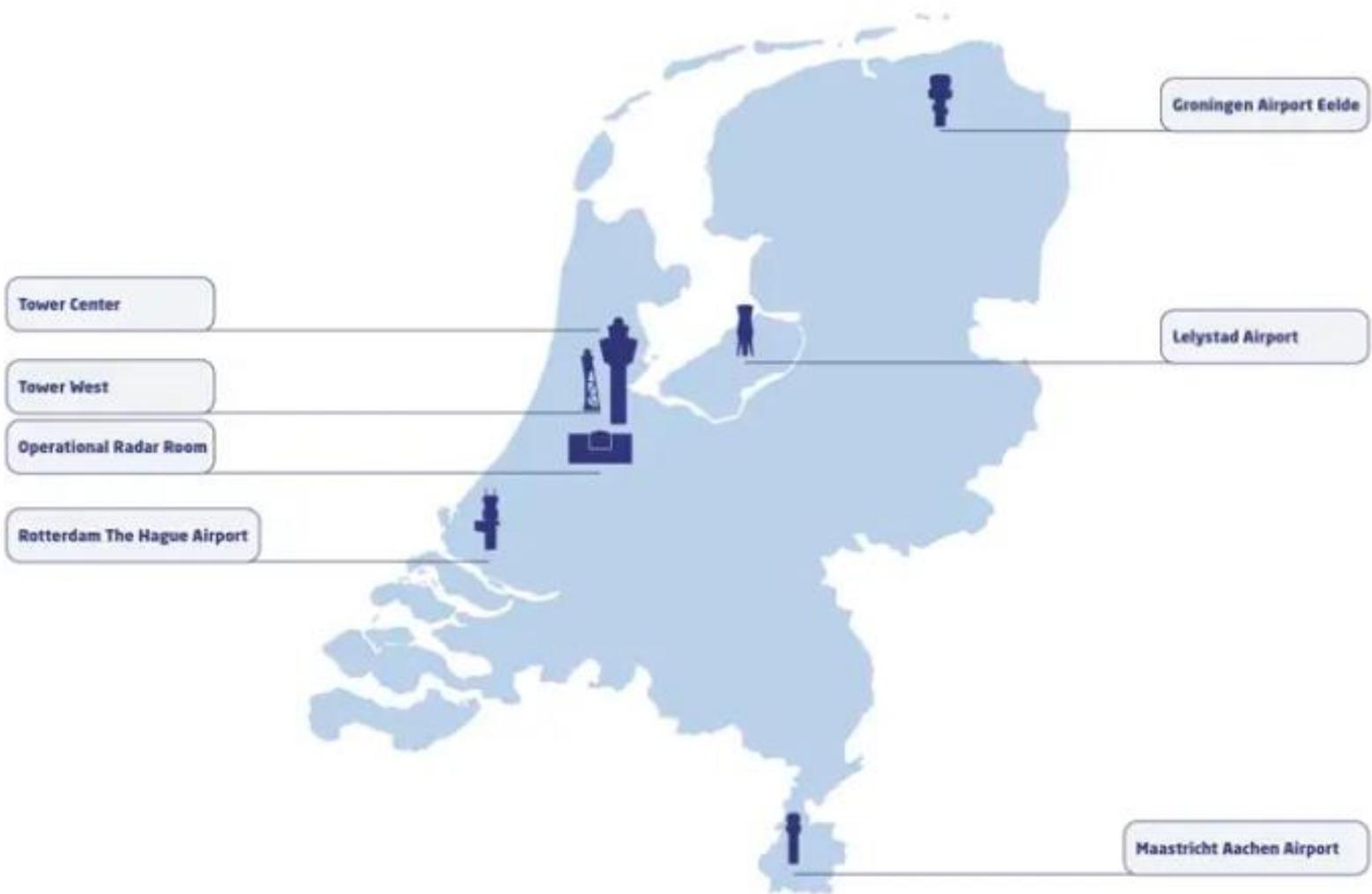


圖 5. LVNL 管制的五座機場塔臺位置 (圖片來源：LVNL 網站)

四、Skeyes

荷蘭有 LVNL，那 skeyes 就是比利時的 LVNL 了！skeyes，比利時航管公司，成立於 1946 年，因為法文及荷蘭文都是比利時的官方語言，當時的公司名稱法文是 Régie des voies aériennes 或是荷蘭文 Regie der Luchtwegen，直到 1998 改名為 Belgocontrol，2018 再度改名為 skeyes 至今，是比利時航管服務提供者，為一獨立的公司。

Skeyes 為比利時提供航管、導航服務、航空通信、氣象預報、飛航計畫及緊急救援通報等服務。然因 skeyes 為私人公司，受到相關法規限制，擁有自己的執行委員會及董事會，並須遵循相關金融法規。

Skeyes 管轄的機場有布魯塞爾機場(Brussels Airport)、安特衛普機場(Antwerp Airport)、沙勒羅瓦-布魯塞爾南機場(Brussels South Charleroi Airport)、列日機場(Liege Airport)、奧斯坦德-布魯日(Ostend Airport)及佛蘭德斯機場(Kortrijk-Wevelgem Airport)。終端管制空域也是只管轄到飛航空層 245，飛航空層 245 以上亦由馬斯垂克的高高度區管中心(Maastricht Upper Area Control Centre, MUAC)管制。

五、Leidos

Leidos 是一家美國科技公司，原名 SAIC，Science Applications International Corporation，1969 年成立於美國維吉尼亞州雷斯頓(Reston, Virginia)。該公司在國防、航空、資訊及生物醫學等領域皆有業務，還記得這次坐歐洲之星到英國時，過海關時的金屬探測安檢門就是 Leidos 的，也許在生活中多多觀察，會發現 Leidos 可能就在我們身邊。

NATS 在 Heathrow Approach 及 Gatwick Approach 使用的 IA(Intelligent Approach)即是與 Leidos 共同開發，是一個可以附加於任何航管系統(ATMS, Air Traffic Management System)的應用程式。NATS 提供航管的管制知識、經驗、需求及航機隔離相關限制，Leidos 提供撰寫軟體的技術人員，兩者透過各自專精的領域共同研發出 IA，達到增加容量、減少航機滯空時間、減少碳排、彈性到場、增加收益且維持飛航安全等益處。目前融合於 IA 的應用模組有以距離為基準的隔離 (Distance-Based Separation)、以時間為基準的隔離 (Time-Based Separation)、每對航機的尾流隔離及跑道混合模式等，同時並採用即時風場資料、航機佔用跑道時間參數，透過精密的運算提供管制員最大的協助，以減少管制員工作量並提升到場效率。

六、 Indra

Indra，1993 年成立於西班牙馬德里，是全球領先的技術和顧問公司之一，在航空、航太、國防和行動業務工程技術中是全球領導者。藉由全方位的專有產品、高價值的 end-to-end 服務和高度創新，致力於為各行各業提供創新解決方案。Indra 涉足的領域包含國防與安全、運輸、航管、能源與工業、電信與媒體、金融服務及公共行政與醫療保健。永續發展是其策略和文化的一部分，以因應當前和未來的社會及環境挑戰。

Indra 在航空領域為提供航管自動化系統的服務商之一，其 ManagAir 系統是世界各地航管和機場使用最廣泛的系統之一。以往 IA(Intelligent Approach)作為一獨立應用程式需另外附加及整合於既有航管系統上，介面整合過程曠日費時。今(2024)年 3 月，NATS、Leidos 及 Indra 三方共同合作並簽署協議，IA 應用程式可完全納入 Indra 的 ManagAir 系統，使用 ManagAir 的 50 個國家則可以無縫整合包含 TBS 及 RECAT(機尾亂流重新分類)的 IA 系統，立即應用於高航行量的機場。

肆、研究單位及其 TBS 作業

本專案主題為 TBS-Time-Based Separation 以時間取代機型湮數為基礎之進場航機隔離，而 NATS 及 Leidos 以 TBS 為基礎概念並綜合考量其他隔離限制、跑道運用模式、天氣狀況等開發出 IA 工具軟體。此章節分述各研究單位及其應用 TBS 概念或 IA 軟體之情形、使用之航管自動化系統及人員輪值狀況，研究單位包含英國的 Prestwick 管制中心、Swanwick 管制中心、希斯洛塔臺及阿姆斯特丹史基浦機場近場臺。

一、Prestwick 管制中心

(一)、Prestwick 管制中心介紹

Prestwick 管制中心在 Glogow Prestwick Airport 旁，而 Glogow Prestwick airport 最初是作為飛行學校及飛行基地，因其戰略位置，在二戰期間作為美軍運輸機的中停地點。因應戰爭及運輸需求，Prestwick 有濃厚的軍方色彩，而原來的 Prestwick 管制中心也屬於軍方所有。1966 年前，愛爾蘭及英國皆被國際民航組織 ICAO 選為提供東北大西洋鄰近地區的航管和通訊服務，兩國的通訊站分別對位於愛爾蘭的 Shannon 管制中心及位於英格蘭 Prestwick 的管制中心提供高頻(HF)通訊，因兩國的作業重複，因此兩國協議由愛爾蘭的 Ballygirreen 無線電通訊站負責接收相關高頻訊息後，再傳遞給 Prestwick 管制中心，因此 Shanwick 的名稱由來就是 Shannon+Prestwick 的合體。

後續蘇格蘭區管中心也進駐 Prestwick 管制中心，成為軍民合用的管制大樓。幾十年後，因原本的建築老舊且無法擴充，2010 年一棟新的管制大樓在舊大樓旁誕生(如圖 6)，同年 1 月曼徹斯特區域管制也搬來此處，成為我們現在看到的包含跨洋管制、蘇格蘭區域管制及曼徹斯特區域管制三大管制單位的 Prestwick 管制中心，而軍方單位也在歷史的更迭

中慢慢退出。Prestwick 的歷史悠久，甚至在新大樓內有一條長長的歷史走廊，牆上貼滿 Prestwick 至今的歷史演變(如圖 7)。



圖 6. NATS Prestwick 管制中心大樓



圖 7. Prestwick Center 歷史走廊

(二)、航管單位

Prestwick 管制中心經過上述歷史演變，現在成為 NATS 三大營運/管制中心之一，可以想像成我們的南部或北部飛航服務園區，園區內包含數個管制單位與其相關的技術及行政單位。在 Prestwick 中心的管制單位包含：

1. 跨洋管制中心(Oceanic Area Control Centre, OACC)：管制橫跨東北大西洋達 700,000 平方英里的 Shanwick FIR 內飛航空層 55 至無限高的 A 類空域，Shanwick FIR 位置如下圖 8。



圖 8. Shanwick FIR 位置 (圖片來源：NATS 網站)

2. 曼徹斯特區管中心(Manchester Area Control Centre, MACC)：管制範圍為英格蘭北部、中部地區(Midlands)及威爾斯北部，管制高度從 2500 呎至飛航空層 285。值得注意的是，曼徹斯特雖稱為區管中心，但其功能其實比較像終端管制(TMA)，處理的較多為爬降交錯的航情。
3. 蘇格蘭區管中心(Scottish Area Control Centre, ScACC)：管制範圍為蘇格蘭、北愛爾蘭、英格蘭北部及部分北海，管轄高度從 2500 呎至飛航空層 660。因管轄高度甚大，由低而高蘇格蘭區管中心又分為管轄 2500 呎至飛航空層 165 到 255 不等的蘇格蘭低高度(Scottish Low Level)，及管轄飛航空層 255 至飛航空層 660 的蘇格蘭高高度(Scottish High Level)。

蘇格蘭低高度即終端管制(TMA)，在與蘇格蘭低高度管制員對話過程中，他們也稱自己為 terminal control；蘇格蘭高高度則像是我們的區管中心，而曼徹斯特區管中心管轄範圍飛航空層 285 以上的空域，亦屬蘇格蘭高高度所管制。目前 Prestwick 管制中心約有 400 位管制員，其中 50 位屬於跨洋管制，另外 350 位屬於蘇格蘭及曼徹斯特區域管制中心。

(三)、跨洋管制作業及其 TBS 應用

當初聯繫 NATS 時告知我們想研究 TBS，NATS 提供跨洋管制也有使用以時間為基礎的隔離，只是此處的時間可能是好幾分鐘為單位，不像最後進場階段的時間細分到以秒為單位，而且在跨洋的管制上，時間及距離為基礎的隔離是一起混合使用的。

Shanwick 跨洋管制與四個國家相鄰，由北到南，分別以北緯 61 度與冰島交接、西經 30 度以西在北緯 45 度到 61 度之間與加拿大交接，北緯 45 以南與法國及葡萄牙交接，此五個國家皆有各自的介面，而其中英國往加拿大的西向航班佔了跨洋管制 80%的航行量。

跨洋航線通常飛行於飛航空層 290 到飛航空層 410 之間，由於大西洋上的雷達覆蓋範圍很小，來往歐洲與美洲的航班就必須飛行在如圖 9 所示的北大西洋航道(North Atlantic Track，NAT)上以便管制員據以管制及計算隔離，而這個北大西洋航道則根據噴射氣流、天氣狀況等相關因素每日變動。航道的計算及公布因方向和時間而由不同航管單位負責。由於航空公司簽報飛航計畫的習慣，由歐洲往美洲的西向航班通常都在歐洲的白天飛行，由美洲往歐洲的東向航班則多在歐洲的半夜飛行，因此西向的航道就由英國 NATS 的 Shanwick 管制中心負責計算及公布，東向的航道由加拿大的 Gander 管制中心負責。

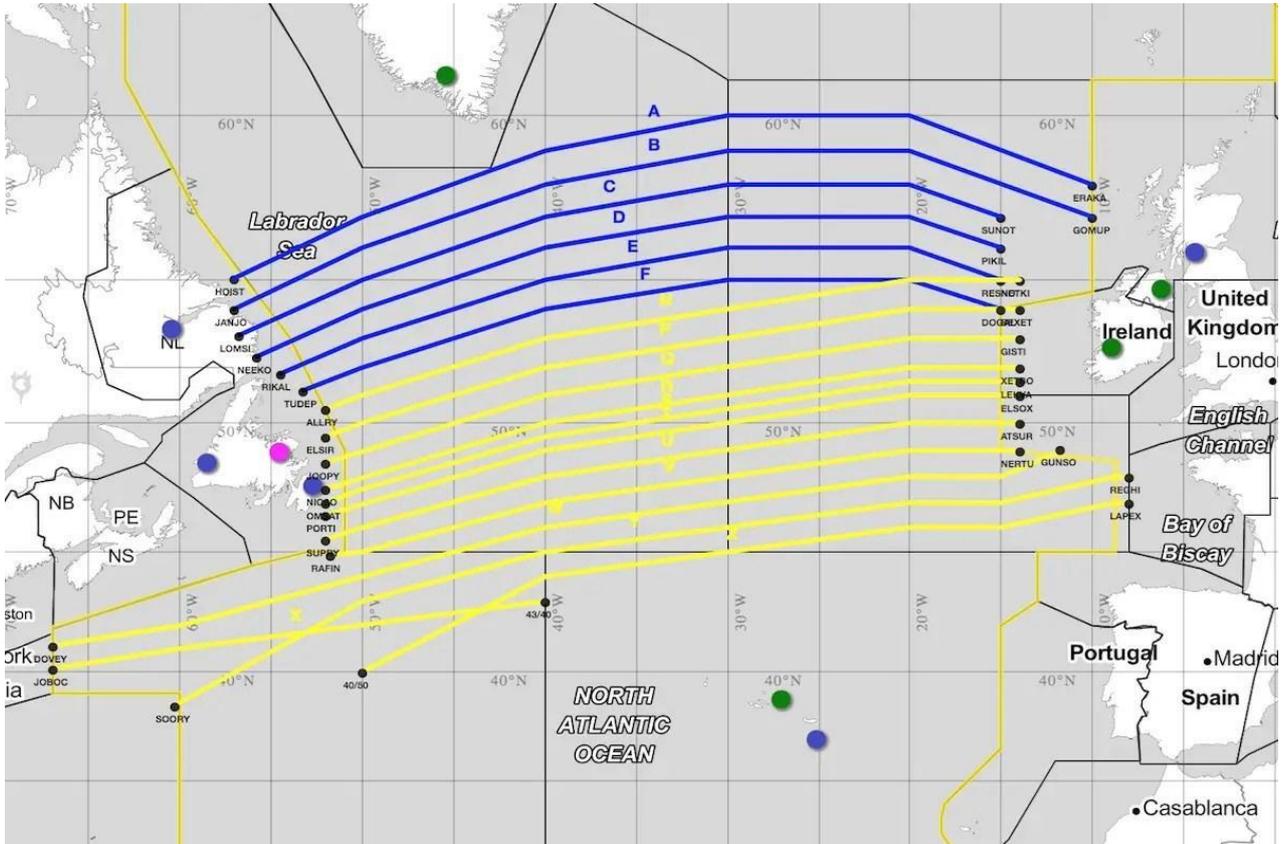


圖 9. 北大西洋航道 North Atlantic Track (圖片來源：AVIATION FOR AVIATORS 網站)

D-1 日時，約五至六個主要航空公司簽派在考量過 D-day 的天氣及各項因素後，將偏好路線(Preferred Route Message, PRM)輸入相關系統，由於這些主要航空公司的 PRM 已涵蓋約 80%的西向跨洋航線，Shanwick 管制中心依據系統內這些飛航計畫及其他綜合數據計算出 D-day 的主要航道，每天的主要航道數量及位置都不同，由北向南從 A 開始給予編號最多至 M(I 不納入編號)，可能有 4 到 12 條航道。反之，加拿大的 Gander 管制中心計算的東向航道由南向北從 Z 開始編號到 N(O 不納入編號)，最多也是 12 條航道。

計算出 D-day 的航道後，Shanwick 管制中心在 D-1 日的 2000Z 透過 AMHS 及與航空公司的互聯網絡公告 D-day 西向的北大西洋航道，每日西向航道的使用時間為 1100Z 至 1900Z。而加拿大的 Gander 管制中心會

在 D-1 日的 1300Z 公布 D-day 東向的北大西洋航道，每日東向航道使用時間為 0100Z 至 0800Z。圖 10 為英國 NATS 於 2024 年 6 月 27 日公布可於 6 月 28 使用的西向航道。

North Atlantic Tracks - Last updated at 2024/06/28 10:25 GMT
<p>The following are active North Atlantic Tracks issued by Shanwick Center (EGGX) and Gander Center (CZQX). Any NOTAMs pertaining to these tracks (waypoint changes, procedures) will be found by searching the ARTCC NOTAMs under Shanwick Center (EGGX), Gander Center (CZQX), Boston Center (KZBW) and New York Center (KZNY).</p>
<p>272003 EGGX20ZX (NAT-1/2 TRACKS FLS 340/390 INCLUSIVE JUN 28/1130Z TO JUN 28/1900Z PART ONE OF TWO PARTS - A RESNO 55/20 54/30 53/40 51/50 ALLRY EAST LVLS NIL WEST LVLS 340 350 360 370 380 390 EUR RTS WEST NIL NAR N476B N478B N484E - B DOGAL 54/20 53/30 52/40 50/50 ELSIR EAST LVLS NIL WEST LVLS 340 350 360 370 380 390 EUR RTS WEST NIL NAR N402C N414A - C NEBIN 5330/20 5230/30 5130/40 4930/50 IBERG EAST LVLS NIL WEST LVLS 350 360 370 380 390 EUR RTS WEST NIL NAR N364A N378B - D MALOT 53/20 52/30 51/40 49/50 JOOPY EAST LVLS NIL WEST LVLS 340 350 360 370 380 390 EUR RTS WEST NIL NAR N328A N342B - E LIMRI 52/20 51/30 50/40 48/50 NICSO EAST LVLS NIL WEST LVLS 350 360 370 390 EUR RTS WEST NIL NAR N254A N268A - F 45/40 43/50 JEBBY CARAC EAST LVLS NIL WEST LVLS 350 360 370 EUR RTS WEST NAR N28B N38A - G 44/40 42/50 41/60 DOVEY EAST LVLS NIL WEST LVLS 350 360 370 EUR RTS WEST NAR - END OF PART ONE OF TWO PARTS)</p>

圖 10. NATS 於 2024.6.27 公布 6.28 使用的西向航道

因為每天的航道位置及高度不同，所以管制員每天來上班都要像換

了腦袋一樣，清空前一日的記憶，改記今日的航道及高度，於是每個班務前的簡報就變得非常重要。每個班務前管制員必須先到簡報室看過班務簡報，由於 Shanwick 的管制員是階梯式上班，並非所有上班人員同時到班，無法每次都由督導協助人工簡報，而是將資料放在簡報室的電腦裡，管制員上席位前應該要到簡報室並插卡登錄自行完成簡報，督導也會透過系統得知管制員是否有完成當日簡報。

航機要跨越幅員遼闊的北大西洋，與管制員的通聯便是一大問題。大約 80% 的跨洋航機不直接與管制員對話，而是透過管制員－駕駛員資料鏈結通信，也就是我們常說的 CPDLC(Controller-pilot data link communications)。在快出英國邊境點前，管制員將許可透過 CPDLC 傳給駕駛員，這個許可他們稱作 OCL(Oceanic Clearance Link)。剩下的 20% 沒有 CPDLC 能力的，可利用高頻(HF)與位在愛爾蘭的 Ballygirreen 通話，由 Ballygirreen 將資訊打成文字傳給 Shanwick 的管制員，管制員回傳文字許可給 Ballygirreen 後，Ballygirreen 再利用高頻通訊代為轉發許可予航機。也因為管制員不須與飛行員直接對話的關係，跨洋管制切分席位相當機動且富有彈性，不須遷就無線電通訊的頻道，當班的督導視當下航情分配席位，並持續監控流量管理系統的預測航行量，一旦預期需要額外席位或是支援人力時，馬上就可以依據當時航道、天氣、航機使用高度等，將席位依照地理位置或是使用高度拆分。除非有天氣狀況、亂流、改高度等，跨洋的管制節奏相當平順且緩和，每位管制員可能同時管制 100-120 架航機，單位每天約管制 1500 架，2023 最高紀錄為 1805 架。此外，Shanwick 的席位輪值並沒有固定的表格或時間，而是依照每日航情的不同由督導決定如何以及開設幾個席位。

跨洋的航班及機種眾多，因此 NATS 透過程序隔離來確保跨洋航班之間的距離，隔離標準可能多達 20 幾種。依照航機於飛航計畫上簽定的

性能，以及同一條航道上前後航機的性能差異，隔離從最小的 14 哩、17 哩、5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘甚至到 120 哩不等，也有可能將距離轉換為時間，以時間來做隔離。例如，擁有 CPDLC 及 ADS-C 且受到高性能通信和監視系統 PBCS(Performance-Based Communication and Surveillance)監控的航班，就適用 5 分鐘隔離，但如果有 Space-Based ADS-B 的話，就可以不使用 PBCS 並可減少隔離。以前管制員需要分別記憶各式各樣不同的隔離，現在由系統讀取飛航計畫及前後航機性能後，告知管制員適用的隔離，管制員再據以頒發許可及管制。

(四)、終端及近場管制作業

這次研究及考察 Prestwick 管制中心時，經由接洽的 Jacob 協調，有了跟著蘇格蘭高高度和低高度的管制員一起上席位作業觀察的機會。在蘇格蘭高高度部分，如果航班需要西向進入北大西洋的話，因為蘇格蘭高高度和跨洋管制使用的系統彼此不相容，航機要到邊境點前，都需透過管制員人工傳遞相關資料予跨洋管制，而如果航機到邊境點的時間、高度有更改或是飛行員有其他請求，都是透過人工電話傳遞，在我跟著席位的 20 幾分鐘內，就看到蘇格蘭高高度管制員跟跨洋管制員通了好幾次電話。

蘇格蘭低高度部分，由於當天的終端管制相當忙碌，Jacob 前後帶著我進出管制室兩次，督導都回答現在在忙不方便讓我作業觀察，而且在跟我們講話的同時還繼續盯著流量監控螢幕及調配人力。最後，在鏗而不捨的詢問下，終於有一個小空檔可以讓我作業觀察約 20 分鐘。蘇格蘭低高度的航情顯示螢幕跟電子管制條分屬不同系統，且彼此沒有整合。航情顯示對管制員來說作用僅限於顯示航機位置及高度，管制員與航情顯示螢幕的互動不多，反而大多是發完許可後須將速度、高度、航向或是其他相關許可內容登載於桌上的電子管制條螢幕，因此常需低頭、抬

頭交錯作業，並且需要記憶較多項目。這點與我們的近場管制比起來，我們大部分的許可可以直接用滑鼠在航情顯示螢幕更新，本區的相對簡單直觀且使用者友善。而因為蘇格蘭低高度只有管轄到終端區域，並不會將航機管制到落地，依序將航機下降到 7000 呎並在協議好的位置交接給 Approach 後就完成任務，後續的進場由位於各個塔臺的 Approach 完成。

(五)、使用之航管自動化系統

在使用系統方面，跨洋管制的 Shanwick 使用的是 NAV CANADA 的 GAATS+系統，蘇格蘭高高度用的是 Indra 的 iTEC 系統，蘇格蘭低高度及曼徹斯特的電子管制條用的是 NAV CANADA 的系統，航情顯示系統則是另外獨立的，且與電子管制條不相容。目前 NATS 正在進行下一代航管系統的計畫，因此作業室的後半部，是一大片正在測試的系統，他們稱為 iTEC V2，Prestwick 跟 Swanwick 管制中心都會一起更換，一旦 iTEC V2 上線，Prestwick 與 Swanwick 管制中心就互為備援。

(六)、輪值方式

在人員輪值方面，Prestwick 管制中心的班型為三班制，上午班 07-14、下午班 14-22、夜班 22-07，輪班方式大致為 2 天上午班、2 天下午班、2 天夜班、4 天無班，每年一度的緊急狀況訓練會排在 4 天休假內。班務內的輪值並沒有排定的席位輪值表，而是由督導動態調整，大原則是每次上席位最多不能超過 2 小時，但是他們表示目前席位最多輪值 1.5 小時督導就會派其他管制員來交接，不會真的到法規規定的 2 小時。

二、希斯洛塔臺

由於 Swanwick 管制中心裡的近場臺作業與希斯洛塔臺息息相關，雖然這次是先參觀希斯洛近場臺所在的 Swanwick 管制中心，但提到希斯洛的近場管制需對希斯洛塔臺作業大致了解，因此這裡先分享希斯洛塔臺相關的研析及考察，讀者對希斯洛塔臺的作業有粗略概念後，比較好理解後續講述的近場作業。而除了現行塔臺與近場臺作業外，Swanwick 管制中心有使用 SAAB 系統的 London City Airport 的數位塔臺，同時 NATS 也在希斯洛塔臺下方建造並發展自有的數位塔臺實驗中心，關於數位塔臺的部分則另闢一章節獨立論述。

(一)、希斯洛塔臺介紹

希斯洛塔臺總高度約 87 公尺，管制員的視線高度落在 83 公尺左右，2007 年與第五航廈同時啟用，預計使用 40 年，目前使用了近一半年限，總建築費用以當年的匯率而言相當於一億美金。塔臺的管制室主體(Tower cap)總共約 5 層樓高，建築物本體及相關設施皆屬於希斯洛機場公司所有，航管服務則由 NATS 提供。

希斯洛機場擁有兩條平行跑道，分別為 09L/27R 及 09R/27L，年航行量約 475,000 架次，機場公司希望可以進一步提升到 500,000 架次。雖然希斯洛機場的航行量如此之大，但由於它距離倫敦市中心相當靠近，為免噪音干擾，作業時間僅限於每日本地時間 0600 至 2300，其餘為宵禁時間。特別的是本地時間 0430 至 0600 之間，事先申請的航機能夠落地，然僅限量 16 架次。因倫敦盛行風向為西風，大約 70%時間使用 27 方向跑道，30%時間使用 09 方向跑道。希斯洛機場配置圖如圖 11。

才會到地面管制席及許可頒發席的作業區。

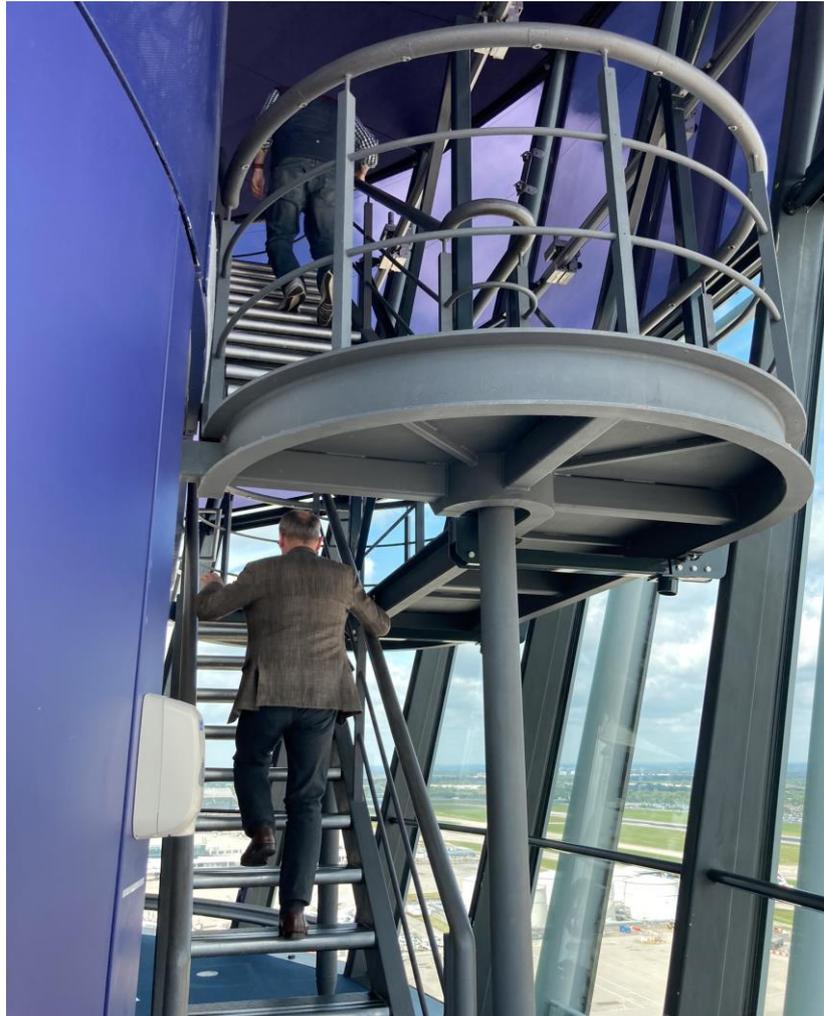


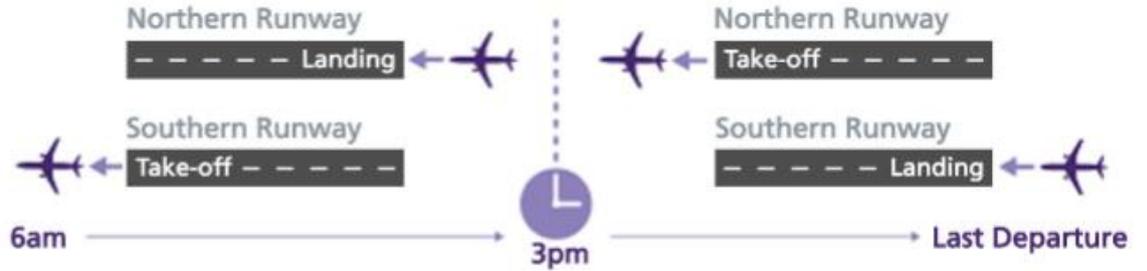
圖 12. 塔內外圈的樓梯

(二)、塔臺作業

除了早上 6 至 7 點的到場潮可能協調兩條跑道皆作為落地跑道外，其餘時間跑道使用模式皆為分流模式，亦即一條專供離場航機起飛、一條跑道專供到場航機落地。為平衡下滑航道噪音，在使用 27 方向跑道的時候，希斯洛機場使用跑道交替的方式來管制航機起降。使用 27 方向時，每日當地時間 1500 會交換離到跑道，而每周則會交換上下午使用落地的跑道。舉例來說，本周上午使用 27R 落地/27L 起飛(北落南起)、1500 以後改為 27R 起飛/27L 落地(北起南落)，下周則上午使用 27R 起飛/27L 落地(北起南落)、1500 以後使用 27R 落地/27L 起飛(北落南

起)，相關圖示如下。但是當風向改為東風，使用 09 方向跑道時，就不交替離到跑道，永遠是 09L 落地/09R 起飛(北落南起)。

Runway alternation week 1



Runway alternation Week 2

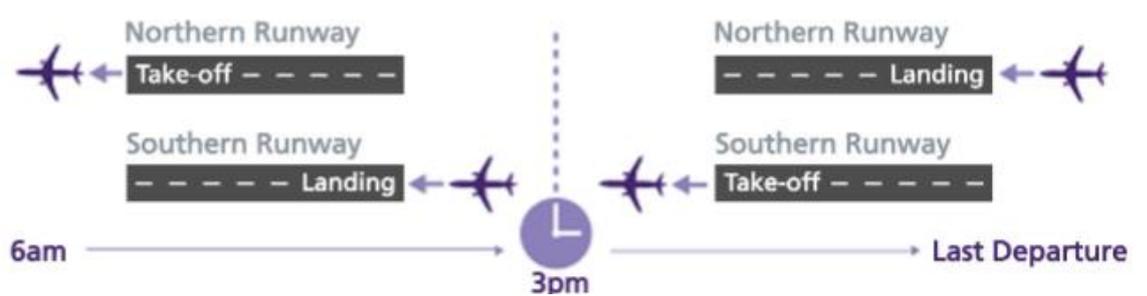


圖 13. 希斯洛機場跑道交替時間 (圖片來源：Heathrow Airport 網站)

希斯洛機場在秋冬季節，約是每年的 9 月至隔年的 3 到 4 月間易有濃霧或大霧，通常在夜間或是清晨最為嚴重，此時塔臺就會進入低能見度作業。為因應低能見度，所有的跑道都有 CAT IIIB 的能力，場面有四座 SMR 監控著場面動態，而在低能見度及夜間時，也會使用 follow the green 的燈光系統來引導航機於場面活動。

在到場航機方面，由於希斯洛機場從 2015 年採用 TBS 以最大化到場容量，五邊到場的航機的隔離在滿足限定條件下更可減少至 2.5 哩，到場航機落地後須盡快脫離跑道，並在確保整體機身脫離跑道停等線前不得停下來。另外，英國的 MATS(Manual of Air Traffic Service) Part 1，其位階等同於本區的飛航管理程序 ATMP(Air Traffic Management Procedure)，是管制員在執行管制工作時的最根本依據。每個管制單位還會再頒布各單位自己的 MATS Part 2，類似本區各單位的作業手冊，

更詳細明訂屬於該區特有的作業規定。在 MATS Part 1 裡詳述，當滿足日間、跑道夠長且煞車狀況良好、前機不會反跑道滑行脫離跑道、後機可連續且清楚地看到已落地的前機直到脫離跑道等條件下，在提供後機告警後，可頒發後機的落地許可，使用的術語為”land after”，此時兩機可以不遵循同一條跑道隔離，意即後機落地時，前機可能尚未脫離跑道，此時後機駕駛員肩負兩機隔離的責任。而希斯洛塔臺的機場管制席在管制離場航機時，除了機尾亂流隔離及同向離場以外，其他的離場航機間隔最短僅需 45 秒隔離。地面管制席會排序不同離場方向的航機後再將航機換給機場管制席，如此一來便可以縮短離場航機的等待時間，增進離場放行效率。為使離到場運作順暢，與本區不同的是，NATS 並沒有限制與跑道相關的條件式許可，無論是在離場航機後進跑道等待，或是在到場航機後進跑道等待等條件式許可皆可使用。這時，讀者可能在想，希斯洛機場不是起降分流嗎，怎麼會有離到航機在同一條跑道上的時候呢？如果在航情離到較不均或是到場航機過多時，是有可能協調讓到場航機降落在離場跑道的。督導會利用一個叫 TEAM(Tactical Enhanced Arrival Management)的工具以及流量管理的工具看出趨勢，再和 Approach 協調讓到場航機使用離場跑道。而使用離場跑道落地的航機數量也有嚴格限制，每小時最多 6 架。以上皆為機場端可增進離到場效率，提高跑道容量的方法。

由於希斯洛機場跑道使用模式多為起降分流，且兩條跑道分別為不同機場管制席管制。由希斯洛機場起飛的航機依目的地不同，起飛後可能向北或南不一。以 27 方向跑道為例，如果 27R(北)跑道有到場航機而 27L(南)跑道有北向的離場航機時，須將北跑道的到場航情納入考量，在到場航機即使重飛兩機仍能保持安全隔離的狀況下放行航機。兩機場管制席雖是獨立運作，但仍會關注彼此的航情以確保飛安。

希斯洛機場的場面配置也有航機穿越跑道的需求，例如落地的貨機需要穿越南跑道至第四航廈。機場管制席通常會利用到場重型航機後較大的隔離空間讓航機穿越跑道，如果沒有其他需求，並不會特別協調 Approach 引導航機以製造更大的距離。如果是車輛需要穿越跑道，在希斯洛機場的 AIP 2.20 Local Aerodrome Regulations 章節的第 2 部分 Ground Movement 裡的 d 項 Runway Crossing Procedure(Runway 09R/27L)中，明確指示需要穿越或是進入跑道的車輛皆須與機場管制席聯繫，而實務上地面管制席將航機或車輛換至機場管制席波道時，航機或車輛必須持續監聽機場管制席的波道，等待機場管制席告知可穿越或進入跑道的時機。

(三)、席位劃分

1. 督導 1 席：負責當日班務，統整班務內席位及人力調度、行政業務、與近場臺協調等事宜。
2. 機場管制席 2 席：每一機場管制席負責一條跑道離到航機及進入跑道的車輛作業，需要時機場管制席彼此或各別與地面管制席協調。
3. 地面管制席 2 至 3 席：負責航機及車輛於操作區內之動態，督導視航情合併或拆分。希斯洛機場因佔地甚廣，塔臺離二航廈就有將近 2 公里遠，更別說是南跑道另一頭的四航廈或是五航廈了。每位地面管制席管制的範圍都很廣，但機場空側的航廈、建物及相關設施皆會阻擋地面管制席的視線通透性，希斯洛機場也沒有機坪管制員(Ramp Control)，航機後推即佔用後方滑行道。以在塔臺下方最常為美國航空及維珍航空使用的第三航廈機坪區為例，因只有一個出入口，如果有航機後推，整條滑行道就被佔用，其他要進機坪的航機，都需另安排位置等待。而每個地面管制席管轄的區域都各有處理的困難度，因此希斯洛塔臺的地面管制席是最具有挑戰性的席位。

4. 助理管制員 2 至 3 席：因希斯洛機場有使用滑行道停止線燈 (Stopbar)，每一地面管制席皆配有一位助理管制員，專門控制燈光系統。助理管制員的工作也是相當不簡單，其挑戰在於要聆聽並記住地面管制席頒發的指示後對相關航機啟閉沿路需要的燈光，同時還要繼續聆聽地面管制席對其他航機的指示啟閉其他燈光，也是極度需要多工作業及手眼協調的工作。順道一提，助理管制員與管制員是不同的訓練類別，除非另外參加 NATS 的管制員徵才，否則助理管制員並不會進階變成管制員。



圖 14. T3 機坪區

5. 許可頒發席 1 席：負責頒發航管許可，現行約 90%的航機皆使用 DCL 向塔臺申請許可。許可頒發席亦掌握整體場面動態，負責整體地面航情規劃(Ground Movement Planner, GMP)，當航情繁忙時，暫緩將

航機交給地面管制席，以緩解地面航情壓力。

(四)、使用之航管自動化系統

在使用系統方面，2019 年開始，希斯洛塔臺使用整合了空中航行顯示及地面航情顯示監控系的 Indra 系統，達到 ASMGCS level 2。電子管制條使用 NAV CANADA 的系統，此系統從 2003 年開始陸續在 14 個塔臺建置並使用，Heathrow 在 2007 年啟用，是此次換計畫的最後一個轉換單位。

(五)、輪值方式

在人員輪值方面，目前希斯洛塔臺約有 60 名管制員，每次上班約有 8 至 10 名管制員、5 至 6 名助理管制員。班型分為早、中、晚三班，日班時席位輪值最長約 90 分鐘。

三、Swanwick 管制中心

(一)、Swanwick 管制中心介紹

對比 Prestwick 管制中心擁有悠久的演變歷史，Swanwick 管制中心相對“年輕”，從 2002 年開始營運，佔地 63,000 平方公尺，相當於 9 個足球場大小，是當時世界上最大的航管中心，也是歐洲最忙碌的航管中心。除此之外，NATS 與漢普郡(Hampshire)及懷特島野生動物基金會(Isle of Wight Wildlife Trust)合作，在緊鄰管制中心處，建造了 36 公頃的 Swanwick 湖泊自然保護區，對大眾開放並設有教育中心，可見 NATS 對生態的關懷，員工在工作空閒之餘，管制大樓外即是大自然，可舒緩高強度的工作壓力。Swanwick 管制中心接收約 23 個雷達站臺的資訊，為維持設備正常運作，與我國飛航服務總臺南、北部園區相同，館內長時間保持 23 度的恆溫。此地是 NATS 最大的營運中心，員工人數就大約佔了 NATS 全體員工的四分之一，每年約掌管 200 萬架次航機及超過 2 億旅客人數。



圖 15. Swanwick 湖泊自然保護區

(二)、航管單位

Swanwick 管制中心管理歐洲最忙碌及最複雜的空域，包含橫跨英格蘭及威爾斯大約 20 萬平方英里及倫敦上方的複雜空域。在此處的管制單位有：

1. 倫敦區管中心(London Area Control Centre, LACC):管制在倫敦 FIR 的高空航班，包含英格蘭及威爾斯，直到與蘇格蘭區管中心交界處。管轄高度從飛航空層 210 到 245 不等到飛航空層 660。

2. 軍方航管(Military Traffic Control):軍方空域散落在英國 FIR 各處，且與民方管制空域相鄰，軍方航管單位主要在提供服務予管制空域以外的軍機，如必要時亦提供民航機服務。此外，亦與管制員密切協調聯繫，確保飛航安全。

3. 倫敦終端管制中心(London Terminal Control Centre, LTCC):管制飛航空層 245 以下往返倫敦機場的航班。此空域是歐洲最繁忙的地區之一，向南和向東延伸至法國和荷蘭邊境，向西延伸至布里斯托向北延伸至伯明罕附近。終端管制部分以希斯洛機場為中心，切分為 North、South、Midlands、East，在此四區之上還有一個 Capital，共分為五區，管轄高度從地面到飛航空層 245 不等。而在 LTCC 管轄範圍之中，還包含五個機場的 Approach，倫敦 5 大機場的位置圖如圖 16，而此五個 Approach 分別是：

- Heathrow Approach：3 波道、5 席位，席位全開時，希斯洛南、希斯洛北各有兩位管制員，此兩位管制員共用一個波道
- Gatwick approach：2 波道、3 席位，席位偶爾共用波道
- Stansted Approach：2 波道、3 席位，席位偶爾共用波道
- Luton Approach：2 波道、2 席位

- London city Approach：2 波道、2 席位



圖 16 倫敦 5 大機場位置 (圖片來源：maps-london.com 網站)

(三)、近場管制作業

在英國，TMA 與 Approach 是分開的，Approach 的作業室通常位於塔臺下方，像是蘇格蘭區管中心及曼徹斯特區管中心轄內的 Approach 都位於機場塔臺下方。然而倫敦這些機場的地理位置相當接近，離到航線交錯並彼此相關，低高度部分還有不時來回穿梭的直升機。此外在距離希斯洛機場北方 2.4 海哩處有 ICAO 代碼為 EGWU 的諾斯霍爾特皇家空軍(Royal Air Force Northolt)基地，這些機場的 Approach 及 Northolt 的軍方活動皆彼此影響，NATS 便將這五個機場的 Approach 遷到 Swanwick 管制中心，空軍亦有管制員或協調官派駐此地，以便及時相互協調。因為此行重點在近場管制使用 TBS 的部分，對區域管制及終端管制就不多著墨，聚焦於希斯洛近場管制的部分。

希斯洛機場共有五座航廈，作為世界上最忙碌的雙跑道機場之一，每日的航行量約 1300 架次及 21 萬名旅客，更重要的是，它是一個有宵禁的機場！到底是怎麼做到的呢？NATS 利用科學工具及數據，不斷尋求解決方法。由於倫敦空域實在太過忙碌，為了不要讓航機短時間同時湧入，NATS 偕同合作的科技公司設計跨境到場管理系統(Cross Border Arrivals Management, XMAN)，該系統自動計算飛機的到達延誤值，並自動將此資訊轉發給蘇格蘭、愛爾蘭、法國和荷蘭的管制員，盡可能提早開始調整航班速度以減少至倫敦空域的等待時間。因此，當延誤值到達 7 分鐘時，XMAN 告知遠在 350 海哩外的航管單位，將受影響的航班開始減速，最多減到 0.04 馬赫。所以，當 XMAN 系統預測航機延誤值超過 7 分鐘，遠在荷蘭的馬斯垂克高高度管制中心就已經開始幫到希斯洛機場的航班減速了！要達到這一成效，不僅需要先進的運算技術，更需要這些跨境的管制單位互相配合。XMAN 的好處不僅可以減少等待時間，讓航機在巡航階段吸收部分在倫敦空域內盤旋等待的時間，減少燃油消耗與碳排，因為在巡航階段低速飛行比在低高度飛行更環保，也讓區管中心和終端管制對航班有更整體的安排。2014 年 4 月 XMAN 開始在希斯洛機場試行，2015 年 11 月正式啟用至今，每年可為航空公司省下百萬歐元的燃油費及減少 5000 噸的二氧化碳排放，這樣協同合作的成果真的相當驚人！

即使盡可能地在航路上降低速度並吸收延遲，到希斯洛機場的航班除了航行量較低的時間帶，進入倫敦的終端管制空域所有的航機通通都要進等待點盤旋待命進場，他們稱為 **holding stack**。希斯洛機場的四個等待點及位置圖如下：

1. **Lambourne (LAM)**：位於機場東北方，盤旋高度為飛航空層 70(倫敦 FIR 的轉換高度為 6000)至飛航空層 170。

2. **Bovingdon (BNN)**：位於機場西北方，盤旋高度為飛航空層 70 至飛航空層 170。
3. **Biggin (BIG)**：位於機場東南方，盤旋高度為飛航空層 70 至飛航空層 150。
4. **Ockham (OCK)**：位於機場西南方，盤旋高度為飛航空層 70 至飛航空層 150。

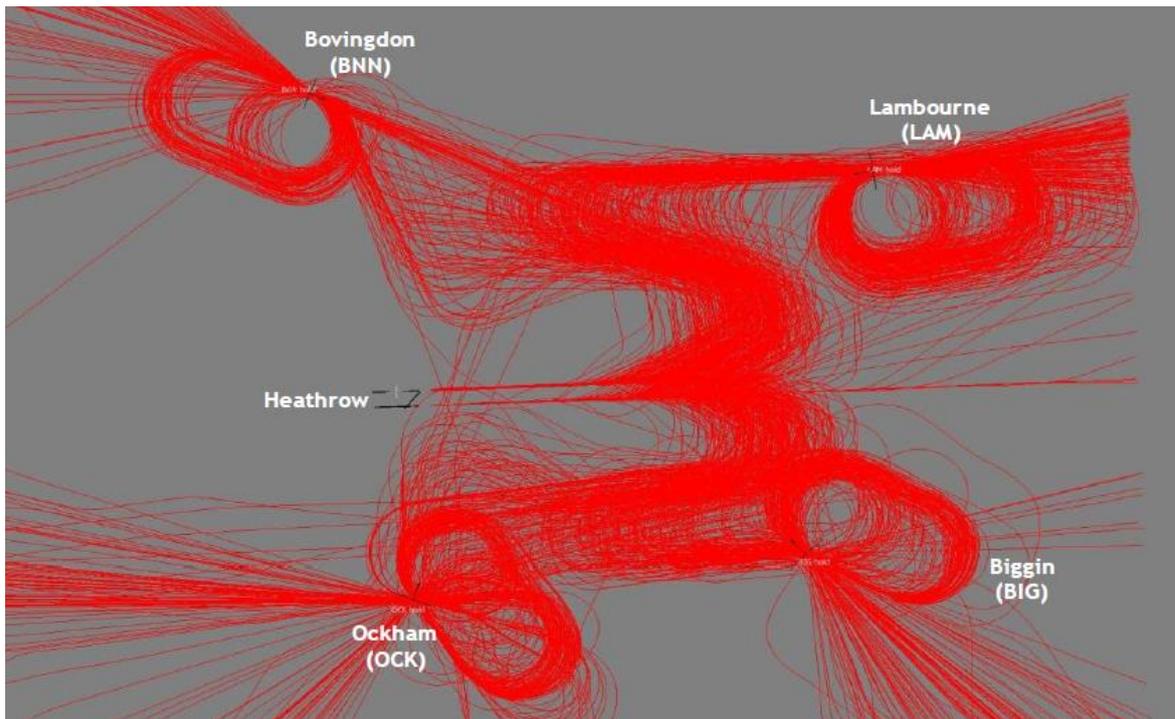


圖 17. 希斯洛機場等待點位置 (圖片來源：Heathrow Airport 網站)

Heathrow approach 的席位劃分類似本區臺北近場管制塔臺，以希斯洛機場為中心，分為希斯洛南、希斯洛北及五邊席，希斯洛南席引導及管制 OCK 及 BIG 兩個等待點的航機，希斯洛北席則管制 BNN 及 LAM 兩個等待點的航機，南北兩席將航機從 holding stack 引導出來後，再交給五邊席。席位繁忙時，希斯洛南、希斯洛北會各自再拆分席位，但拆分出來的席位與原席位共用波道，很難想像兩位管制員要怎麼共用同一波道，但神奇的是當天的管制員說，你就是知道什麼時候該發話、什麼時候該等待，這應該也是他們長年訓練下的管制默契吧！可惜的是當天

他們只有開設希斯洛南、希斯洛北及五邊 3 個席位，無法親眼目睹共用波道的情形。

在 4 個 holding stack 等待的航機中，進場的順序該怎麼決定呢？這就有賴於 NATS 的到場管理系統(Arrival Management)，也就是我們常聽到的 AMAN。希斯洛南、希斯洛北兩席都有額外的螢幕，螢幕顯示稱為 Stack List 的航機順序，在 Stack List 上總共有 4 個區塊，每個區塊代表一個等待點，區塊內由下而上列出在此等待點盤旋的航機，航機旁有一小小的數字代表進場順序。南北兩席在管制航機的時候，注意力除了在航情顯示螢幕上外，還需偶爾轉頭確認 stack list 上的順序。而四個 holding stack 的所有等待航機是共同排序的，因此可能希斯洛南席的前一架航機是希斯洛北席的航機，席位必須確認對方的作業，以確保所有航機皆依照 AMAN 的順序。當航機交給五邊席後，順序就非常清楚，因此五邊席不需要 Stack list，只要將南北兩席交接過來的航機依序帶進場即可。Stack List 如圖 18 右上方的長型螢幕，而圖 19 為 Stack List 示意圖，可以在呼號左邊看到航機的順序，呼號右邊的橘黃色數字則是延遲值。

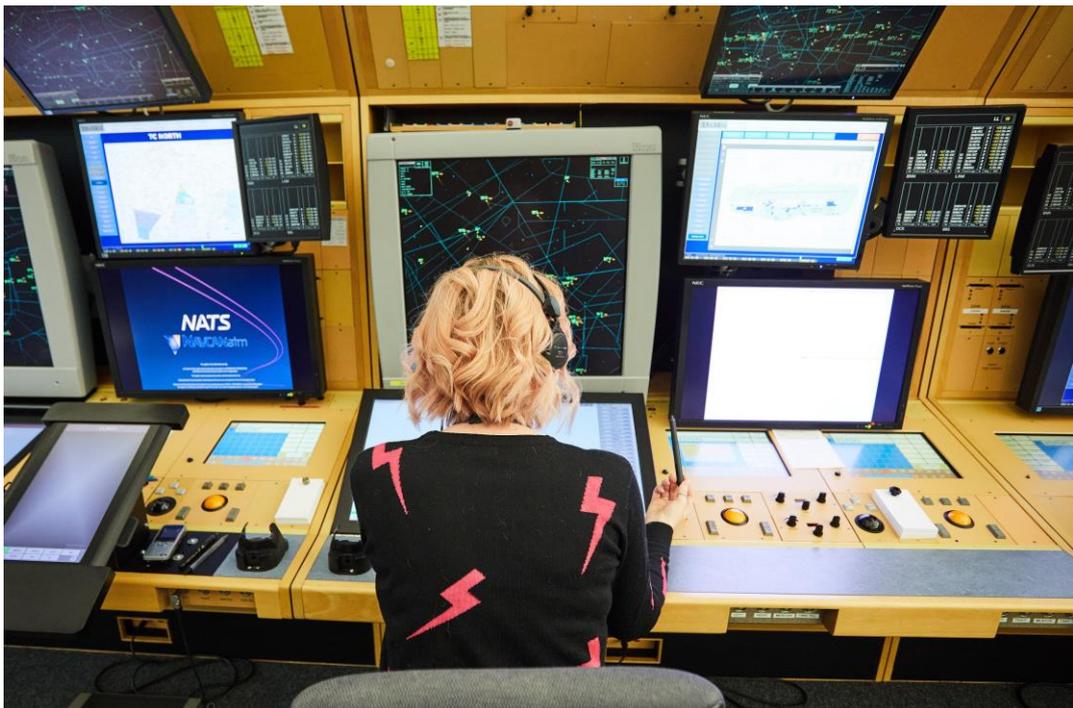


圖 18. 希斯洛近場臺管制員工作席位 (圖片來源：The Times 網站)

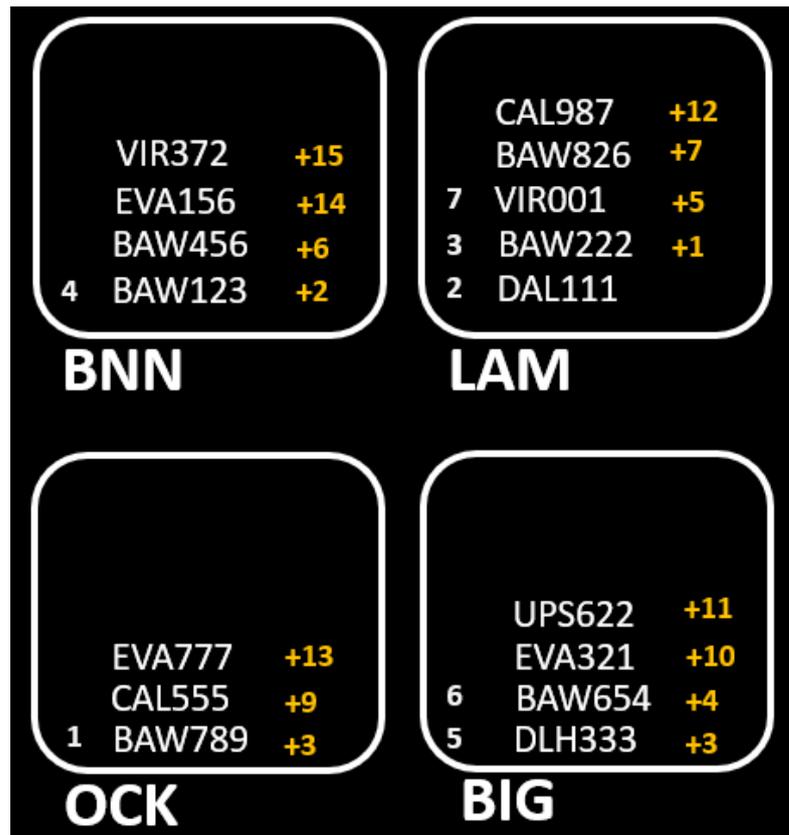


圖 19. Stack List 示意圖

由於盛行西風的關係，希斯洛機場 70% 左右的時間使用 27 方向跑道，因 Lambourne 及 Biggin 兩個等待點離 27 跑道五邊較近，航機離開這兩個等待點後，管制員不會直接將航機帶向五邊的下滑航道，而是利用類似之字形的方式帶領航機，增加航機的航行距離以消化高度，他們稱為 trombone 方式進場(如圖 20)。倫敦附近有很多機場，空域結構交錯複雜，如果要更換跑道，需要提早協調及告知近場臺管制員，舉例來說，Heathrow 跟 Gatwick 依照當時航情、天氣等因素，需約提早 30 分鐘通知。至於起飛的航機要換給近場臺(Approach)還是終端管制(TMA)，則依據跑道方向而不同，如果 27 跑道方向的話，航機起飛後直接跟終端管制(TMA)聯絡，但如果是 09 跑道方向的話，由於與進場航機路線交錯，要先連絡近場臺(Approach)，由近場臺引導錯過到場航機後再交接給終端管制(TMA)。

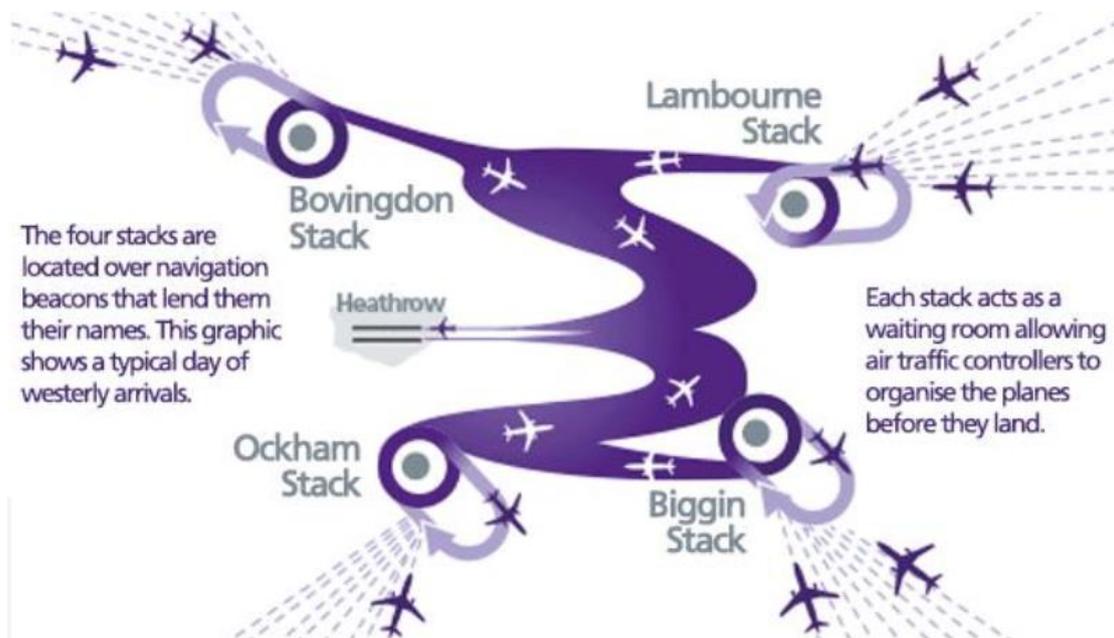


圖 20. LAM 及 BIG 兩點的 trombone 進場方式 (圖片來源：Heathrow Airport 網站)

(四)、TBS 概念與作業

傳統上,在單一雷達區空中航機間的最小雷達隔離是 3 海涅或是機尾亂流隔離取其大者,也就是以距離為基礎的隔離 DBS(Distance-Based Separation),下圖表格為本區目前現行的機尾亂流隔離標準。

Preceding aircraft	Succeeding aircraft	Distance-based wake turbulence separation minima
SUPER	HEAVY	5NM(reduced from 6NM)
	MEDIUM	7NM
	LIGHT	8NM
HEAVY	HEAVY	4NM
	MEDIUM	5NM
	LIGHT	6NM
MEDIUM	HEAVY	≥3NM (No wake turbulence separation needed.)
	MEDIUM	
	LIGHT	5NM
LIGHT	HEAVY	≥3NM (No wake turbulence separation needed.)
	MEDIUM	
	LIGHT	

圖 21. 本區現行機尾亂流隔離標準

然而，航機雖以相同的空速飛行，在強逆風環境中卻會使地速變小，航機須花費更多的時間才能落地，每小時到場航班量將因此下降，這些延遲累積所導致的結果為加大後續到場航機滯空等待時間、航班延誤、取消，而到場航班的延誤，也會造成接飛航班的延誤，影響後續一連串航班的準點率。

為提高落地航機效率，NATS 費時 5 年，透過光達(LIDAR)技術大量測試 150,000 架各式機種後，發現機尾亂流在逆風條件下衰減得更快，在 SESAR 研發的以時間間隔為基礎的隔離進場方式 TBS 基礎上，NATS 與 Leidos 共同開發工具軟體，將概念付諸於實行。Time-Based Separation 取代傳統的固定距離間隔，在飛機進場時使用風速資料而非固定距離動態調整隔離，亦即在強逆風條件下，飛機可以靠更近，以減少延誤並提高機場容量，並在 2015 年 3 月開始應用於希斯洛機場。

TBS 的基礎概念是在風速小於 10 節(knot)的弱逆風環境下，將到場航機間機尾亂流隔離的距離轉化為時間，再將此時間套用於強逆風環境時相同配對的航機。以希斯洛機場為例，在弱逆風條件下，航機採距離隔離時，重型跟在超重型航機之後需 6 浬(135 秒)、重型跟在重型航機之後需 4 浬(90 秒)、中型跟在重型航機之後需 5 浬(113 秒)。強逆風時，若航機隔離仍採傳統距離隔離，上述隔離及所需時間分別為 6 浬(160 秒)、4 浬(107 秒)、5 浬(133 秒)，因航機地速變慢，需要更多時間來消化相同距離，造成的結果是每小時落地航機數量由 40 至 45 架次降為 32 至 38 架次，減少約 8 架次。然若以弱逆風時之隔離距離轉化為時間並將此時間回套至強逆風時的航機隔離，航機距離將可拉近到 5.1 浬(135 秒)、3.4 浬(90 秒)、4.2 浬(113 秒)，每小時落地航機數量可提升至 36 至 40 架次，僅減少約 4 架次。下圖 22 說明了運用 TBS 前後，航機間的距離及時間差異。

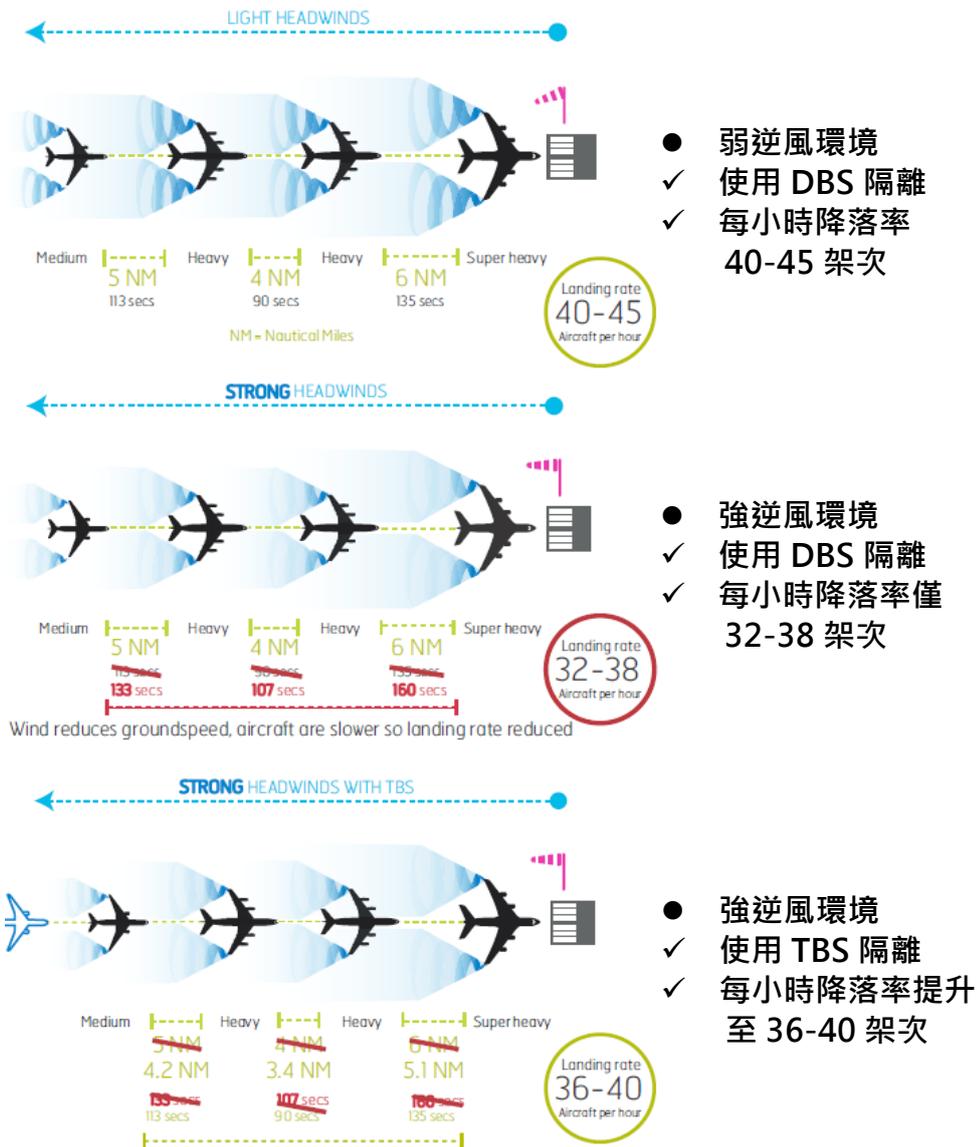


圖 22. 五邊航機使用 DBS 及 TBS 的差異 (圖片來源：NATS 網站)

由此可知，運用 TBS 可顯著提升到場航機數量，有 80% 的機尾亂流隔離比使用 DBS 的隔離小、減少 62% 因為風場影響的延遲、在強風下平均每小時增加了 2.6 架次、每天最多恢復 44 架次。因此替航空公司節省數百萬美元，並達到減少航機空中待命、減少燃油、減少二氧化碳排放及提高機場容量等效果。值得一提的是，因為風場資料對系統計算隔離影響甚鉅，NATS 他們沒有採用天氣預報的各風層資料，而是透過接收航機 MODE-S 傳送來的空速與該機的地速差，由幾架航機的數據平均得出即時風場數據後，再讓系統套用即時風場資料後算出前後機的隔

離。使用即時數據讓系統計算得更精準，真的是很聰明的設計！

在使用 TBS 期間，NATS 並沒有停下腳步，繼續尋找提高落地率的可能性，持續優化 TBS。於是在 2018 年 3 月 NATS 推出升級版的 TBS，他們稱作 ETBS，Enhanced TBS，將 EUROCONTROL 頒布的航空器尾流重新分配 RECAT-EU 運用於 TBS。到這我們必須先了解 RECAT-EU 是什麼。一般我們常說的機尾亂流隔離，通常是根據 ICAO 依照航機的起飛重量將航空器分為 Super(J)、Heavy(H)、Medium(M)及 Light(L)四種，因此過份保守地衡量機型的機尾亂流，導致一些航機配對有過大的機尾亂流隔離。在維持安全的大前提下讓空域使用更有效率，EUROCONTROL 依據航機的翼展、尺寸和性能等，將原來的 Heavy 及 Medium 再切分，將航空器總共分為 A 到 F 六類。以下擷取自 RECAT-EU 說明書：

'SUPER HEAVY'	'UPPER HEAVY'	'LOWER HEAVY'	'UPPER MEDIUM'	'LOWER MEDIUM'	'LIGHT'
'CAT-A'	'CAT-B'	'CAT-C'	'CAT-D'	'CAT-E'	'CAT-F'
A388	A332	A306	A318	AT43	FA10
A124	A333	A30B	A319	AT45	FA20
(...)	A343	A310	A320	AT72	D328
	A345	B703	A321	B712	E120
	A346	B752	AN12	B732	BE40
	A359	B753	B736	B733	BE45
	B744	B762	B737	B734	H25B
	B748	B763	B738	B735	JS32
	B772	B764	B739	CL80	JS41
	B773	B783	C130	CRJ1	LJ35
	B77L	C135	IL18	CRJ2	LJ60
	B77W	DC10	MD81	CRJ7	SF34
	B788	DC85	MD82	CRJ9	P180
	B789	IL76	MD83	DH8D	C650
	IL96	MD11	MD87	E135	C525
	(...)	TU22	MD88	E145	C180
		TU95	MD90	E170	C152
		(...)	T204	E175	(...)
			TU16	E190	
			(...)	E195	
				F70	
				F100	
				GLF4	
				RJ85	
				RJ1H	
				(...)	

圖 23. RECAT-EU 航機分類

RECAT 六類航機以距離為基礎的離到場隔離如下：

RECAT-EU scheme		"SUPER HEAVY"	"UPPER HEAVY"	"LOWER HEAVY"	"UPPER MEDIUM"	"LOWER MEDIUM"	"LIGHT"
Leader / Follower		"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
"SUPER HEAVY"	"A"	3 NM	4 NM	5 NM	5 NM	6 NM	8 NM
"UPPER HEAVY"	"B"		3 NM	4 NM	4 NM	5 NM	7 NM
"LOWER HEAVY"	"C"		(*)	3 NM	3 NM	4 NM	6 NM
"UPPER MEDIUM"	"D"						5 NM
"LOWER MEDIUM"	"E"						4 NM
"LIGHT"	"F"						3 NM

Table 3: RECAT-EU WT distance-based separation minima on approach and departure

圖 24. RECAT-EU 以距離為基礎的離到場隔離

RECAT 六類航機以時間隔離為基礎的離場隔離如下：

RECAT-EU scheme		"SUPER HEAVY"	"UPPER HEAVY"	"LOWER HEAVY"	"UPPER MEDIUM"	"LOWER MEDIUM"	"LIGHT"
Leader / Follower		"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
"SUPER HEAVY"	"A"		100s	120s	140s	160s	180s
"UPPER HEAVY"	"B"				100s	120s	140s
"LOWER HEAVY"	"C"				80s	100s	120s
"UPPER MEDIUM"	"D"						120s
"LOWER MEDIUM"	"E"						100s
"LIGHT"	"F"						80s

Table 4: RECAT-EU WT time-based separation minima on departure

圖 25. RECAT-EU 以時間為基礎的離場隔離

至此，NATS 已大幅提高空域的使用效率，但僅考慮五邊到場航機彼此的隔離似乎缺乏整體規劃，最低雷達隔離、跑道佔用時間、航機最後進場減速造成隔離逐漸消失等皆是跑道容量限制的因素。於是 NATS 與 Leidos 公司持續為 ETBS 注入新的參數。

除了到場航機隔離外，影響跑道容量的關鍵因素還有跑道佔用時間 ROT，Runway Occupancy Time。ROT 會因為航空器機型、性能、程序以及機場跑滑道配置而變動，因此不同機場的 ROT 數據應各別評估。為此，NATS 團隊花了整整一年的時間，在希斯洛機場觀察並建立該機場的 ROT 數據。而為了使跑道佔用時間 ROT 減到最小，在希斯洛機場的 AIP 2.20 LOCAL AERODROME REGULATIONS 裡的 GROUND MOVEMENT、USE OF RUNWAYS 章節，以及 2.22 FLIGHT PROCEDURES 裡的 APPROACH PROCEDURES WITH RADAR CONTROL 章節，都有提到最小跑道佔用時間對跑道使用效益最大化的重要性，因此明訂航機落地後應盡速使用第一個快速滑行道脫離跑道。

應用 TBS 時，為了維持航機間的距離，飛行員應嚴格遵守管制員的速度限制。在希斯洛機場的 AIP 2.22 FLIGHT PROCEDURES 中的 APPROACH PROCEDURES WITH RADAR CONTROL 章節，就告知駕駛員可預期的速度控制：從離開等待點的最初進場階段為 220 節、四邊 (base leg) 時為 180 節、攔上 ILS 訊號後應保持 160 至 180 節的速度至五邊 4 哩，如果無法達成上述速度，應告知管制員可飛行的速度為何，因此在五邊 4 哩以前，依據嚴格的速度控制，管制員可以很輕易地維持航機間距。然而五邊 4 哩以後呢？從五邊 4 哩到落地之間，各機種航空器、風向風速等因素皆使造成航機最後進場的減速狀況不一，因此管制員藉由速度控制建立好的距離可能因前機減速過多而被壓縮。為了保持減速點(五邊 4 哩)到跑道之間的隔離，必須將最後進場階段的空間壓縮也計

算進去，以維持兩機の間距直至前機通過跑道頭為止。為此，NATS 使用一個稱為 ORD，Optimised Runway Delivery 的工具。此工具類似統計模型，運用歷史數據及綜合計算 TBS 的尾流隔離、動態掌握航機進場減速狀態、跑道佔用時間 ROT 及即時的風場資料，預測每對航機在最後進場階段的空間壓縮，確保每對航機之間的隔離。

綜上，NATS 與 Leidos 公司將這以 TBS 為核心概念為出發，考量風場資料、應用先進的技術及綜合多重數據分析的整套應用工具軟體稱為 IA，Intelligent Approach。TBS 的 IA 僅維持隔離至五邊 4 哩，進化版 ETBS 的 IA 則多重考量了航空器機型、RECAT 後的尾流隔離、航空器在特定飛行階段或飛行任務中所需的空速變化模式(speed profile)、即時風場資料、跑道佔用時間 ROT、最低雷達隔離、最後進場壓縮及 ORD 等綜合數據，提供隔離建議直到跑道頭。IA 作為到場隔離工具，不僅限於強逆風環境，而適用任何環境，因其套用即時風場資料，始終能在 TBS 及 DBS 之中取得隔離的最佳數據，而如果沒有相關風場資料或是資料不充足，則會退回 DBS 作業。IA 是一套可附加於 ATM 系統的應用程式軟體，只需系統的介面整合，即可在雷達螢幕上為管制員提供視覺化的航機隔離指標(marker)，如此一來管制員不須再背誦不同機型配對所需的隔離，也不須在航機即將失去隔離的電光火石間猶豫該不該指示航機重飛或是重新引導，所有的一切通通交給 IA，IA 將所有該納入考量的參數消化後產出指標，管制員只需將航機盡可能引導至貼近指標即可，大大簡化了管制員的工作，更增進了跑道容量及使用彈性。

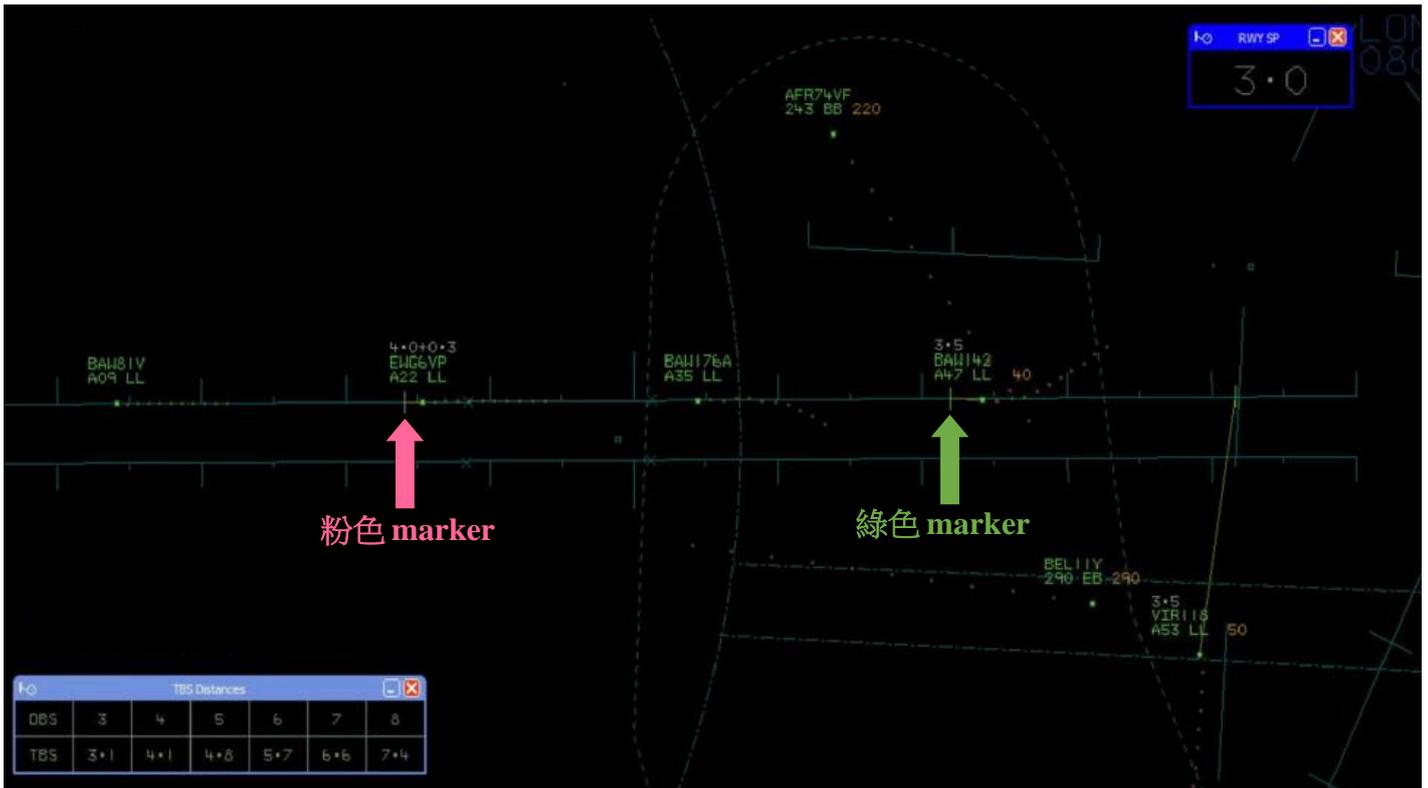


圖 26. 管制員雷達螢幕人機介面 (圖片由 Ben Sandford 授權使用)

因為機尾亂流及跑道佔用時間 ROT 為影響航機間隔離的兩大因素，IA 計算並比較之後顯示較大者，並以不同顏色的指標(marker)告知管制員目前隔離的來源，粉紅色代表與前機的機尾亂流隔離，綠色代表此架航機需要的 ROT。而航機資料標籤上有兩個數字，前面的數字代表前機到 marker 之間的距離，後面的數字代表目前航機距 marker 的距離，+表示在 marker 之後，-表示超過 marker。以上圖 26 為例，畫面中到場第二架航機 EWG6VP 前方有一粉紅色 marker，航機資料標籤上方的第一個數字為 4.0，表示在當前風場下前方 BAW81V 距 marker 有 4 海浬；資料標籤上方的第二個數字為+0.3，表示目前 EWG6VP 距離粉紅色 marker 還有 0.3 海浬。再看第四架到場航機 BAW142，它前方的 marker 是綠色的，表示與前方航機的機尾亂流隔離及跑道佔用時間比起來，跑道佔用時間所需隔離比機尾亂流隔離大，因此以綠色標示，資料標籤上方的數字顯示 3.5 表示此綠色 marker 距前方航機 3.5 海浬。由

上圖也可以看出第一及第三架航機並沒有 marker，這是因為這兩架航機與前機並不需要機尾亂流隔離，只需要 3 哩雷達隔離。畫面右邊下方的 VIR118 前方有一條黃色的路徑預測線段與五邊延伸線交會，代表系統預測這是下一架即將攔上五邊的航機，並且提前告知管制員 marker 位置。另外還可以在畫面左下角看到 DBS/TBS 對照表，看出以即時的風場資料計算得出的 TBS 與傳統 DBS 的差異。如果沒有風場資料的話，TBS 的欄位會顯示”-”。

還有另一種 chevron 的山形指標。以下圖 27 為例，到場第二架 VIR118 與前方 BAW142 之間採用 ROT 隔離，距離為 3.5 海浬，目前 VIR118 已經突破 ROT 該有的距離 0.2 海浬，而且這個位置已經離與前機 BAW142 該有的機尾亂流隔離小於 0.5 海浬，所以會多出一個粉紅色的 chevron，他們稱為 wake breakthrough。航機絕對不能超過 chevron 否則會受尾流影響，因此 chevron 的出現就在告知管制員此機位置離該有的機尾亂流隔離已經相當靠近，一旦航機超過 chevron，毫無懸念必須馬上重新引導或是執行重飛程序。

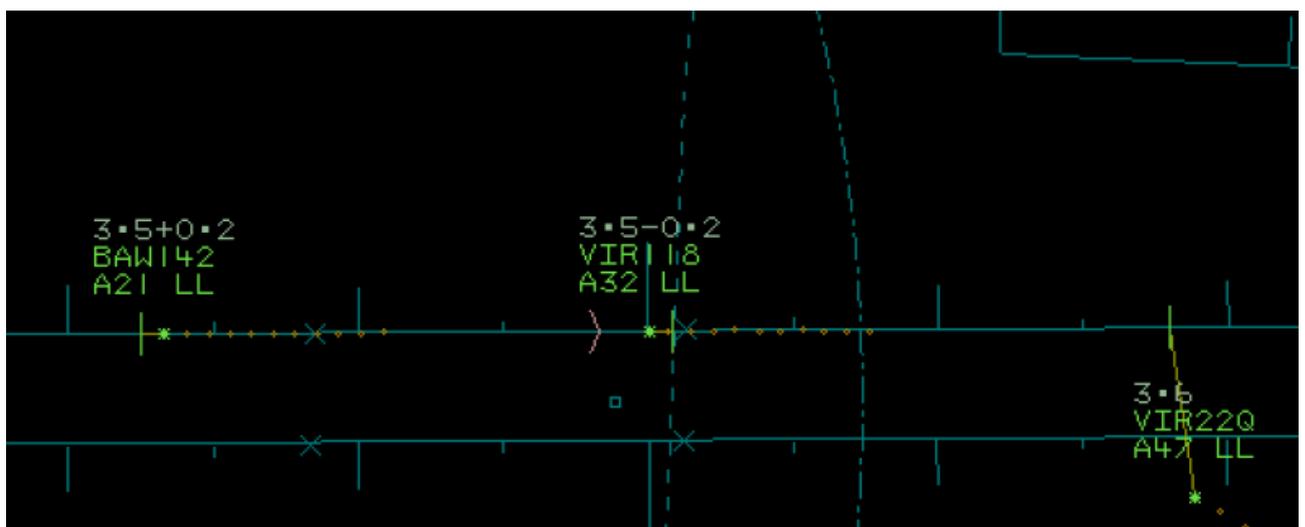


圖 27. 山形(chevron)指標 (圖片由 Ben Sandford 授權使用)

NATS 與 Leidos 發展 IA 人機介面的視覺協助工具，主要是要協助管制員減輕工作負擔，很直觀地知道引導航機的隔離在哪，管制員要做的就是盡可能地將航機帶靠近 marker 即可，NATS 也沒有針對管制員做誰最靠近 marker 的 KPI 競賽，只要確保管制員帶領航機保持在安全距離，目前統計航機距離 marker 的平均值是 0.3 海浬。順帶一提的是，每個 marker 的設計都還是有包含緩衝值在內，例如上圖的 VIR118，在五邊 4 浬以前，突破 marker 的最大容許值是 0.4 海浬，也就是資料標籤上第二個數字最多可以達到-0.4，但是要小心不能超過 chevron，否則航機可能會受尾流影響。

於強風環境下運用 IA 工具系統，希斯洛機場的落地率每小時增加約 2.6 架次，在進一步採用了 RECAT 的 ETBS 概念後可再增加 2 架次，不論風場狀況下，運用 ETBS 的到場容量則平均增加了 1.4 架次。雖然每小時增加架次量看起來不多，然由於希斯洛機場容量已近飽和，能有一架兩架的增長對消化航情都是莫大的幫助！

如果故事到這裡就結束，那我們就太小看 NATS 了！利用科技及數據分析持續研發、創新，為客戶提供更好的服務是 NATS 一貫的宗旨，於是他們藉著 ETBS 的基礎更上層樓，推出 Pairwise separation。主要概念是將原本 RECAT-EU 的 6 種機型分類再細分為 96 種，原本 6x6 共 36 種隔離再細分為 96x96，9216 種隔離！除此之外，在滿足某些條件下，五邊 4 浬前的最低雷達隔離為 2.5 浬，4 浬內的雷達隔離為 2 浬。視覺工具的輔助，除了提早告知管制員即將攔上五邊航機的隔離以外，也會將雷達隔離納入 marker 標示，所以應用 pairwise separation 後每一對到場航機都會有 marker 標示供管制員參考，不浪費任何一點點空間。好消息是，今(2024)年 11 月，Pairwise separation 即將在希斯洛機場正式上線，預期為每小時到場容量再增加 2 架次，讓我們拭目以待！

未來的 pairwise separation 介面可以參考下圖 28。

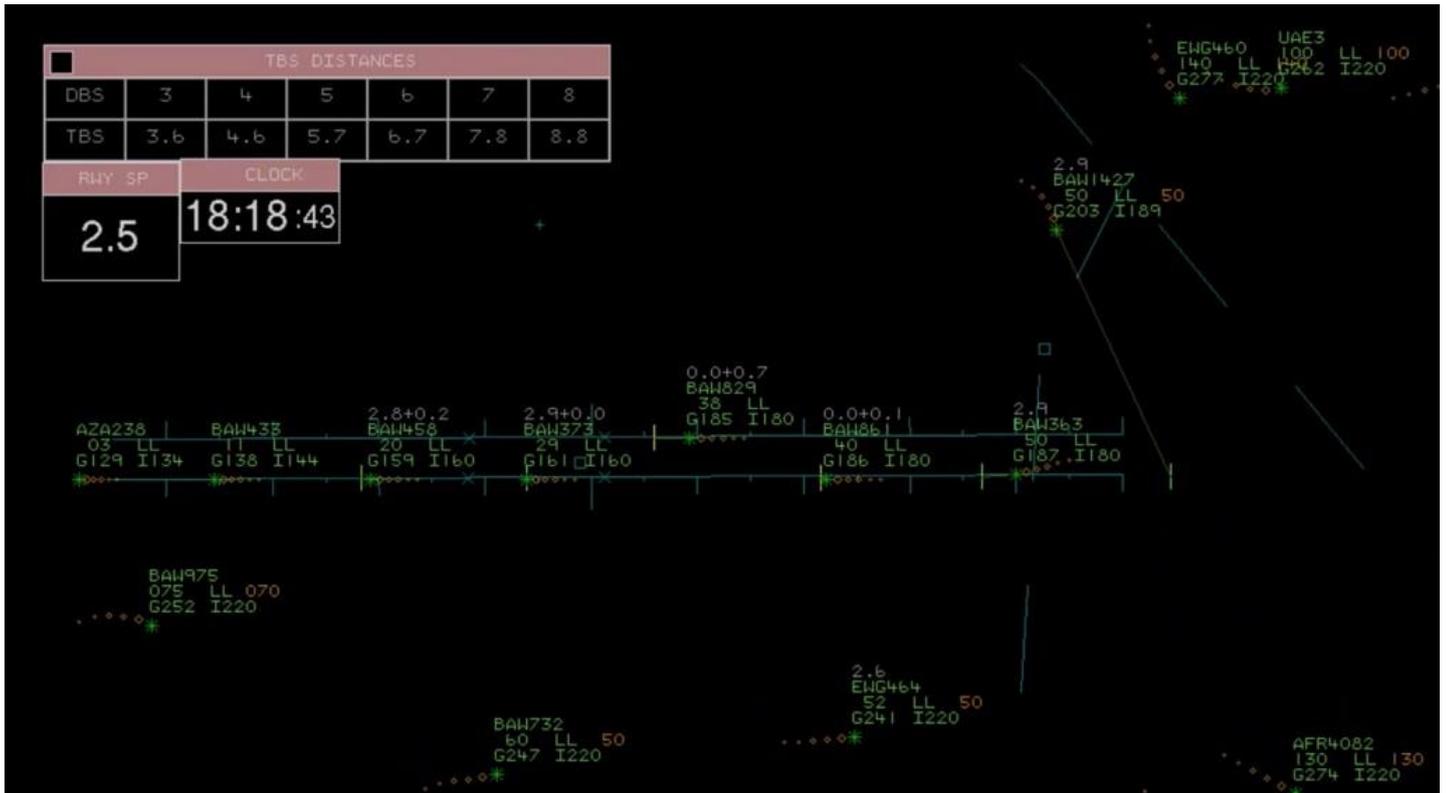


圖 28. Pairwise Separation 介面 (圖片由 Ben Sandford 授權使用)

有了 TBS 的成功經驗後，NATS 不遺餘力持續為管制員、希斯洛機場公司及各航空公司創造三贏的局面！NATS 與 Leidos 繼續攜手合作研發 IA 適用環境，目前開發出的一系列 IA 家族產品包含：

- Dependent runway operations
- Distance Based Separation
- Time Based Separation
- Pairwise Separation
- Mixed Mode Operations：目前 Gatwick 機場使用

有了家族產品還不夠，NATS、Leidos 及 Indra 三家公司在今(2024)年 3 月更宣布透過簽署三方合作協議，讓 NATS 與 Leidos 的 IA 系統可以無縫地介接至 Indra 的 ATM 系統，使用 Indra 系統的使用者可以選擇將 IA 納入 ATM 系統中，即可擁有 TBS 的 IA 工具。

TBS、IA 工具、IA 使用參數、運作原理、以及 IA 後續的發展，是由 NATS 的產品經理 Ben Sandford 先生為我講解。後來才知道原來當初 Ben 是想當管制員的，沒想到在最後一關失敗了，但是 NATS 給他另一個領域發揮專長，從程序設計師開始成為現在的產品經理，也是 IA 系統工具背後重要的推手之一。不得不說，塞翁失馬，焉知非福，雖然他沒有得到管制員的資格，但是現在卻成為對管制員工作相當重要的人物，人生不一定會給你想要的，但是永遠都會有驚喜存在！



圖 29. NATS 產品經理 Ben Sandford

(五)、近場作業席位觀察

此次在 Swanwick 管制中心，有幸能跟一位擁有 Heathrow 及 Gatwick 雙近場管制執照的 Norm Easter 先生一起上席位，Norm 是 IA 的種子雷達管制員，當 NATS 協助荷蘭的史基浦(Schiphol)機場導入 IA 時，Norm 也是被 NATS 派去荷蘭協助的管制員之一。



圖 30. 與 Norm Easter 先生合影

跟著 Norm 席位的當天，希斯洛機場使用 27 方向跑道，席位是五邊席，不需要注意 stack list，只要將希斯洛南、希斯洛北兩席交接過來的航機依序帶進場即可，也是使用 IA 工具的席位。五邊席與航機初次構聯後即告知預計到場的飛行距離哩數(track miles)，讓駕駛員對接下

來的飛行距離有概念，管制員告知駕駛員到落地之間的 track mile 也是公布在希斯洛機場 AIP 2.22 FLIGHT PROCEDURES 章節的第 3 部分 APPROACH PROCEDURES WITH RADAR CONTROL 中的項目之一。因為希斯洛到場與東面的倫敦城市機場離場航線交錯，倫敦城市機場 27 跑道起飛的航機一律保持 3000 呎，而希斯洛機場 27 跑道到場航機一律保持 4000 呎直到彼此錯過後才能各自爬升或下降，因此希斯洛機場五邊席從希斯洛機場北席接手的航機僅能下降到 4000 呎並設法先攔上五邊左右定位臺(Localizer)訊號，直到大約五邊 13 哩後才能開始下降。而在引導航機到即將對正五邊之前，IA 系統即會在適當的範圍及高度偵測到航機並計算與前機的距離後給出 marker，並從 marker 到航機位置連出一條線段，如圖 31 中 VIR118 前方的橘黃色線段，視覺化的輔助工具清楚標示與前機隔離，讓管制員不須費神思考隔離距離，專注於引導航機盡可能靠近 marker 即可。由於當天滿足五邊可使用 2.5 海哩雷達隔離的相關條件，有些五邊航機看起來靠得很近，讓習慣 3 哩隔離的我一直覺得很恐怖，Norm 卻老神在在 一派輕鬆的模樣，期間還趁空檔跟我聊各個不同國家駕駛員的習慣等等。

另外在席位觀察的其間我還注意到，在頒發進場許可時，他們僅指示航機轉向、下高度、依據 GP(Glide Path)下降，就將航機交給塔臺，而因為滿多航機都已經攔上五邊只等著下高度，因此進場許可只有 descend xxx(高度), descend GP，就換給塔臺，所以雖然他們發許可相當流暢且快速，但是因為許可簡短駕駛員複誦也比較不容易出錯，減少管制員、駕駛員來來回回確認或糾正許可佔用無線電的時間。本區的進場許可則有一定的架構，告知航機位置、航向、高度、再許可進場，例如 12 miles from aerodrome, turn left heading 080, descend and maintain 2500 until established on the localizer, cleared ILS runway 05L approach，對飛

行員來說可能太長不易抄收。

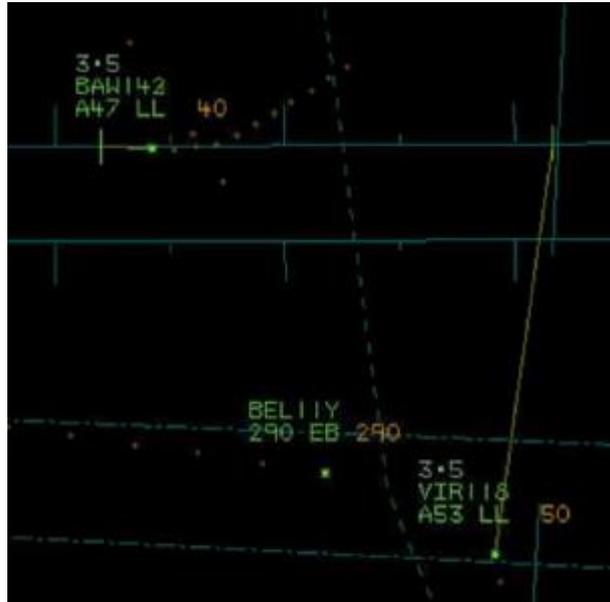


圖 31. 即將對正五邊航機的輔助線段 (圖片由 Ben Sandford 授權使用)

(六)、輪值方式

Swanwick 管制中心的管制員共約 650 人，其中 400 人在區管中心、終端管制及近場管制則約 250 人。大致都是三班制，且無論那個單位，都沒有上下席位的輪值表格，而是由督導隨當日航情及開設席位數後動態調派人力，每個人上席位前插卡，系統會連接到督導的管理螢幕計算每個管制員在席位上的時間。英國法規僅規定每次上席位最多不能超過 2 小時，如果開設席位數量多時，最多 1.5 小時就會有人來輪替，跟著 Norm 的席位那次，大約 45 分鐘就有人來接席位了。可以說，在班務方面，Prestwick 及 Swanwick 兩大管制中心都是相同的：三班制、沒有輪值表、系統計算管制員上席位時間、督導動態調配人力、日班每次上席位最多不能超過 2 小時。

(七)、訓練

在管制員訓練方面，新生會在類似本區航訓所的單位，即位在

Whiteley 總部的學院先學習一般的法規及理論知識約 1 年，期間包含模擬機，分發到作業單位後在作業單位 OJT 約 1 年並經多次考核後才能正式成為管制員。NATS 也有將管制員的部分訓練外包，例如塔臺的部份他們有外包給在 Gloucestershire 的 Global ATS。

NATS 的塔臺管制員、雷達管制員、航路管制員是分流的，沒有進階的問題，如果想要更換工作單位可以提出申請，但是不一定會成功。因為兩大管制中心距離遙遠，據了解很少人申請更換單位。申請同性質的管制單位異動可能比較容易成功，例如前述的近場管制員 Norm 就是少數擁有 Heathrow 及 Gatwick 雙近場管制執照的管制員，而就算管制性質相似，每個人拿到執照的時間長短也不一，Norm 表示他更換管制單位時，另外花了 14 個月才拿到執照，而 14 個月拿到另一管制單位執照的時間算是短的了！重新適應工作環境且須額外花費一年以上的訓練時間，可能也是極少數人申請轉換的原因之一。

四、阿姆斯特丹史基浦機場近場作業及 IA(Intelligent Approach)

(一)、史基浦機場介紹

史基浦機場是荷蘭最大的國際機場，也是歐洲最繁忙的機場之一，約有 170 個停機坪，2023 年航行量約 442,000 架次，旅客運量約 6200 萬，共 104 家航空公司使用此機場。史基浦機場有 6 條跑道，荷蘭幫每條跑道都取了一個小名，6 條跑道的小名、跑道方向、使用規則、配置圖及跑道模式切換時間分布如下：

1. Aalsmeerbaan：18L-36R 跑道，使用 18L 起飛及 36R 降落
2. Buitenveldertbaan：09-27 跑道，使用 09 起飛及 27 起飛/降落
3. Kaagbaan：06-24 跑道，使用 24 起飛/降落及 06 降落
4. Polderbaan：18R-36L 跑道，使用 18R 降落及 36L 起飛
5. Zwanenburgbaan：18C-36C 跑道，兩個方向皆可用於起飛降落
6. Oostbaan：04-22 跑道，最短跑道，主要供普通航空、私人飛機及直升機使用



圖 32. 史基浦機場的跑道配置 (圖片來源：Schiphol Airport 網站)

Runway configuration changes during the day

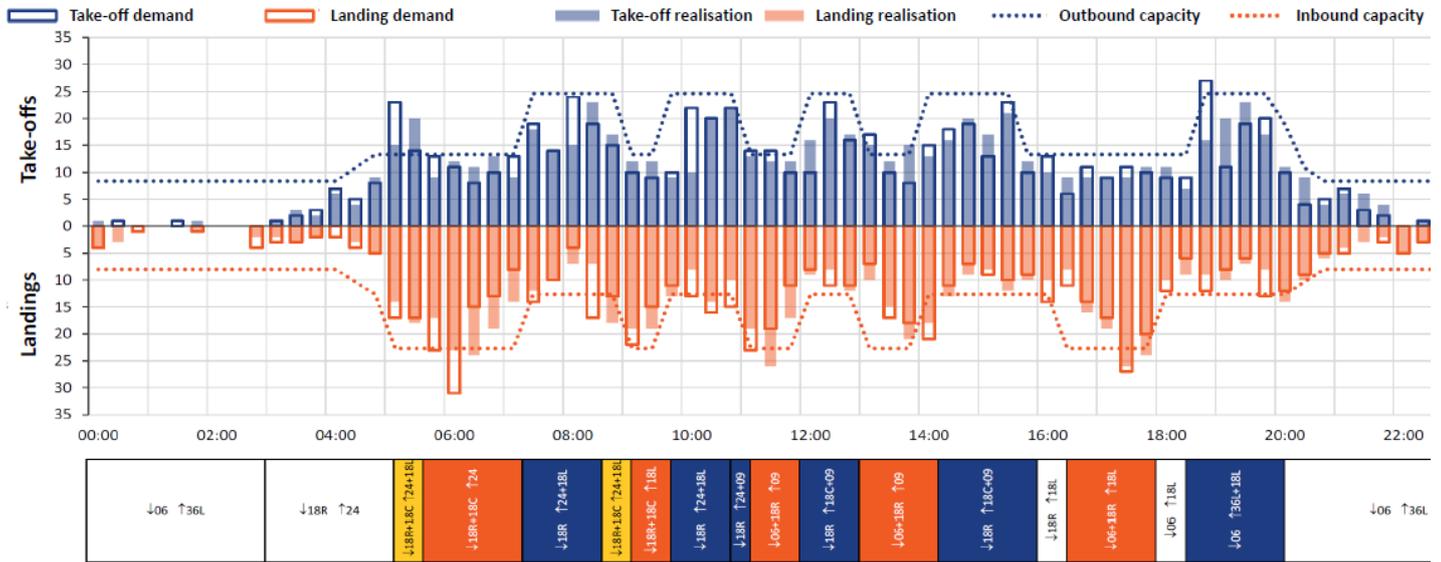


圖 33. 史基浦機場一日當中的跑道模式切換 (圖片由 David Zwaaf 授權使用)

由上可知雖然史基浦機場有 6 條跑道，但並不是每條跑道起降都可以雙向使用，大部分跑道的起或降僅限於單方向作業，跑道使用的限制大多來自對噪音管制的限制，而管制員則在這些限制下，視天氣狀況選擇不同跑道。至於為什麼會建到 6 條跑道這麼多，是因為想盡可能地在各種風向風速下，都可以在對附近居民影響最小的狀況下提供航機起降。也由於史基浦作為一個運量相當大的轉運機場，機坪使用的轉換率相當高，一日當中可能有多達 7 個不同的離到尖峰時段，根據航行量及天氣條件，必須動態調配並切換跑道配置(Runway configuration)。跑道配置的大原則是，史基浦機場始終會保持至少兩條跑道運作，並且使用起降分流模式，不使用混合模式，當航行量大時才會再增加使用到第三或第四條跑道。

史基浦機場有兩個塔臺，1993 年啟用的主要塔臺有 101 公尺高，位於機場幾何中心位置，管制 18R/36L 以外的五條跑道。衛星塔臺又稱西塔臺，位在 18R/36L(Polderbaan)跑道東側，高約 53 公尺，僅管制 18R/36L

跑道，配置一位機場管制席及一位地面管制席，目前已在西塔臺上方架設攝影機，未來希望西塔臺的功能可以使用數位塔臺取代。

雷達管制中心位於機場東側，與 LVNL 總部共址，分為史基浦及鹿特丹兩個近場臺及一個區管中心，管制範圍從地表至飛航空層 245，飛航空層 245 以上則交由位於馬斯垂克的高高度區管中心(Maastricht Upper Area Control Centre, MUAC)管制。LVNL 並沒有讓我進到雷達管制室裡，只有在訪客參觀室俯瞰整個管制室，而且全程禁止拍照。他們的訪客參觀室相當特別，是建在挑高的雷達管制室一側突出的平台，從這個平台可以透過玻璃窗俯瞰整個管制室，由 LVNL 人員向參訪人員解說作業內容，讓參訪人員一目了然整個雷達管制室作業的區域分布及作業情形，不用擔心交談的音量過大而干擾到管制員，是相當貼心的設計。

LVNL 管制員採雙執照方式，管制員同時擁有塔臺及近場臺雙執照，同個月內也會塔臺、近場臺混合排班。管制員訓練期程相當長，可能需要 4 年左右，據說淘汰率很高，有時可能高達 50%，目前共約有 300 位管制員。LVNL 最近一直受管制員短缺所苦，參訪期間不只一次也不只一個人在說他們真的真的很缺人，還打趣地問我有沒有興趣到荷蘭當管制員呢！

(二)、使用之航管自動化系統及 IA 作業

在使用系統方面，LVNL 的航情顯示器為 Amsterdam Advanced Air traffic control (AAA)系統，由 LVNL 研發，已使用約 25 年，是很老舊的系統；電子管制條則是另外的獨立系統。由於 IA(Intelligent Approach)在機場或在雷達管制中心皆不須新增機器設備，僅需與既有航管系統介面整合，LVNL 於 2019 年 9 月計畫要將 IA 系統整合進 AAA 系統，預計 2021 年 3 月完成，但受疫情、整合人力等影響，整個計畫延遲了近 2 年，直到 2023 年 1 月才正式上線。AAA 及 IA 的整合由 LVNL 自己的

工程團隊完成，耗費技術人員 40000 小時工時，而整個計畫花費約為 3000 萬歐元，後續並與 NATS 及 Leidos 簽訂服務支援合約，作業面由 NATS 協助，軟體技術面由 Leidos 協助。

介面整合的大工程、文件、發展技術程序、作業程序、安全檢驗等前置作業花了大部分的時間，管制員的訓練反倒相當簡短。據 IA 的計畫經理 Sebastiaan 表示，管制員透過線上學習 RECAT、IA 的相關資料及作業變化後，再輔以 2 天的模擬機即完成了相關的訓練，而且他們發現正在雷達訓練的新學員學習速度似乎更快。LVNL 表示在導入的過程中管制員之間的合作相當重要，NATS 派管制員至荷蘭協助並分享經驗，讓荷蘭的管制員很快地了解 IA 概念並大大提高了管制員的接受度。導入前 LVNL 也製作使用 TBS 進場及使用 IA 工具後，駕駛員需要協助配合的宣導簡報發送至各航空公司，駕駛員端的改變並不大，主要是要遵守速度控制及遵從管制員的引導，除了可能發現前後航機距離變近了以外，沒有其他作業上的改變。

2023 年 1 月 26 日上午 6 點 48 分，在 LVNL CEO 及 NATS 管制員的陪伴下，開啟了史基浦機場使用 IA 的序幕(如圖 34)。並在當天下午強烈西風的狀態下，立即看到跑道容量提升的效果。開始使用 IA 後，LVNL 繼續針對史基浦機場的各項參數進行為期 2 個月的微調，才達到現在的狀態。而在 IA 上線後，管制員很快地就將 IA 視為基本的管制工具，視覺輔助的 marker 也提供了非常清楚航機需要重飛的位置。從前，與前機間隔到底需不需要重新引導或是重飛，可能因不同管制員而有些許的差異，現在有了 marker，管制員猶豫或猜測的時間減少了，可以更專注於引導航機，也提升了管制員的工作效率。



圖 34. 2023.1.26 史基浦開始使用 IA 當天 (圖片由 Daniël Holt 授權使用)

LVNL 設有容量管理小組，經由資深流量管理專員 David Zwaaf 表示，由於阿姆斯特丹地狹人稠，史基浦機場的航機無論用哪條跑道起降皆會影響到附近居民，LVNL 致力於在安全、效率及噪音等各方面考量下為居民提供更舒適的居住環境。在導入 IA 後，容量統計數據顯示平均每小時跑道容量增加約 1 至 3 架次，在強風的環境下更是增加到 3 至 6 架次，在每日航行量約 1400 架時，可以減少使用第三或第四條跑道，亦沒有嚴重的機尾亂流報告。然而系統也偵測到到五邊 4 哩須保持 160 節的速度控制方面，相比希斯洛機場 70%到 80%的駕駛員遵照率，史基浦機場僅有 45%至 48%的駕駛員配合，針對這點，他們還在努力跟各航空公司宣導。

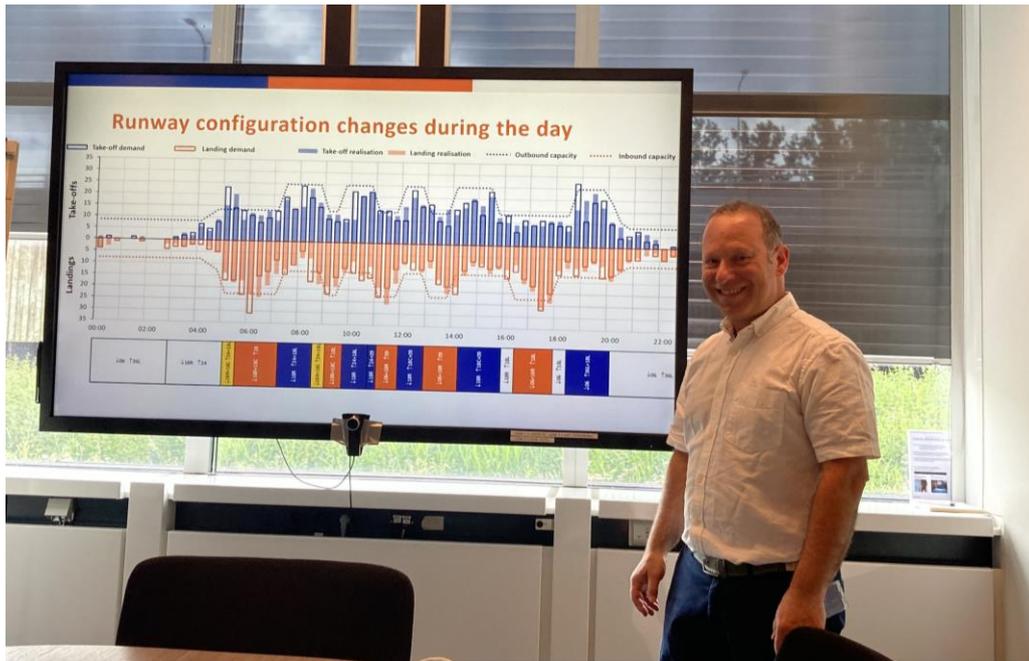


圖 35. 流量管理資深專員 David Zwaaf 正在講解一天當中的跑道運作模式變化

LVNL 正在準備下一套航管自動化系統 iCAS(iTEC-based Centre Automation System), i 代表的 iTEC 系統, 就跟英國 NATS 下一代要使用的系統相同。iTEC 是由 8 個國家的航管服務提供單位組成的聯盟, 目的在透過共同發展及佈署下一代航管系統, 提高效率及提供更準確的數據, 優化航線及最大化使用資源, 以期減少延誤和二氧化碳排放, 並能顯著降低成本。iTEC 的系統製造商為 Indra 公司, 而參與聯盟的八個國家及其航管服務提供單位如下:

1. 德國 DFS
2. 西班牙 Enaire
3. 英國 NATS
4. 荷蘭 LVNL
5. 波蘭 PANSA
6. 挪威 Avinor
7. 立陶宛 Oro Navigacija
8. 加拿大 NAV CANADA

此 8 個國家的聯盟共有 27 個管制中心，管轄範圍達 2600 萬平方公里。這些作業單位彼此相鄰，所有的作業息息相關，航班更動牽一髮而動全身，如果大家都使用同一個航管作業標準化平台，資訊的傳遞與交接將會無比地便利，減少了系統面的介接就少了資料錯誤的可能性，減少人工傳遞資訊也就提升資料處理的效率，透過深度合作及資訊共享，未來策略結合也會使彼此作業更順暢，提供更安全有效以及無國界的航管服務。

由於 iTEC 的製造商為 Indra，NATS、Leidos 及 Indra 三方也已經簽署合作書，未來 IA(Intelligent Approach)也會整合在此系統內，以 iTEC 為基礎的 iCAS 當然也無縫接軌繼續使用 IA，且若 IA 持續升級為 pairwise 或未來有更進階的版本，整合進 Indra 系統皆不成問題。相信 LVNL 會繼續使用 IA 為史基浦機場創造更驚人的成績。

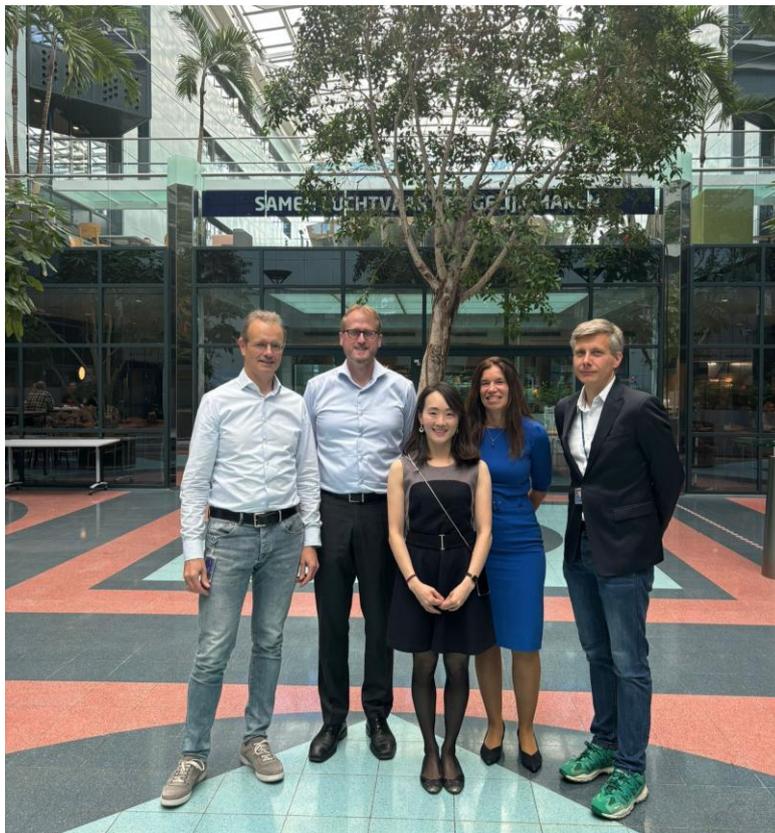


圖 36. 與 LVNL 人員在 LVNL 總部合影
由左到右分別為系統專員 Daniël Holt、系統總監 Ronald
Dubbeldam、系統經理 Bianca de Wit、專案經理 Sebastiaan de Stigter

伍、數位塔臺 Digital Tower

此次赴 NATS 的 Swanwick 管制中心研究時，他們開放倫敦城市機場的數位塔臺，這是第一個由數位塔臺管制的重要國際機場；到希斯洛機場時，他們也開放了數位塔臺實驗室，向我介紹 NATS 目前正在研發的各種數位塔臺模型及未來可能的運用；在 LVNL 參訪時，他們也提到了他們的數位塔臺計畫；另外經由 SAAB 公司的引薦，專程到布魯塞爾的 skeyes 總部，其正在研擬將兩個比利時境內機場使用數位塔臺取代。這一段落將匯集此次歐洲之行所接觸到的數位塔臺資訊，希望能帶來第一手數位塔臺相關資訊及技術發展的消息。

一、倫敦城市機場數位塔臺



圖 37. 倫敦城市機場數位塔臺作業室

倫敦城市機場位於倫敦市區東面，是倫敦六個主要機場之一，也是世界上少數位於市中心的商務旅客機場之一，僅有一條 1508 公尺的跑道，因為跑道長度及位於市中心附近地障的關係，此機場的 GP 角度為 5.5 度，大大限制了可以在此機場起降的航空器種類，並禁止直升機及單引擎航機飛行，目前最常見的機種為 Embraer E190 與 Airbus A220。倫敦城市機場作業時間為每日 0630 至 2230，是有宵禁的機場，主要提供

商務和短程航班的服務，營運主力為英國航空，另外還有 KLM 航空、義大利航空及盧森堡航空等飛往歐洲各大城市。管制容量預估每小時可達 40 架次，然以目前航行量來看，最忙碌時段僅約 20-25 架次，早上、下午各有 2 小時為航情高峰。疫前年航行量約 80,000 架次，目前恢復近 65%，每日航班量接近 200 架次。

倫敦城市機場於 2017 年開始為期 3 年擴增全長平行滑行道及新建 8 個停機坪等工程，在倫敦喬治五世國王碼頭水床以下 20m 處鑽探 1,000 根混凝土樁，鋪上混凝土甲板，總新增面積為 70,000 平方公尺，新增的部分可說是直接蓋在水上的！原計畫還包含航廈擴建，然受疫情影響航廈擴建計畫停擺，截至目前為止僅將平行滑行道延伸為與跑道同長，而新建的機坪因沒有候機室與之相連，目前尚未全部營運。

舊塔臺自 1987 年使用至 2021 年，塔臺建築與航廈相連，為了在市中心這有限的空間中將每吋土地效益最大化，塔臺作業轉移至 Swanwick 管制中心後，機場公司便將舊塔臺土地收回以利後續規劃。新建塔臺土地取得不易，也是促成倫敦城市機場轉型為數位機場的契機之一！

倫敦城市機場的數位塔臺於疫情期間的 2021 年 1 月啟用，因為疫情因素，原規劃每位管制員至 Swanwick 中心進行一禮拜的訓練，然因 Swanwick 中心於疫情時管控非於該棟大樓上班的人員不得進入，NATS 只好將部分設備搬運至倫敦城市機場塔臺予管制員熟悉，Swanwick 中心開放後，每位管制員僅接受一天半的訓練，數位塔臺就正式開張了！

倫敦城市機場的數位塔臺設備由 SAAB 公司提供。塔臺管制的靈魂是管制員的雙眼，在航機起降、滑行階段，塔臺管制員皆使用雙眼觀察航機及場面動態。要取代這靈魂的雙眼，首先 SAAB 公司在倫敦城市機場設立一高 50 公尺的桅桿(Mast)，為的是在桅桿頂端設立環繞成一圈的 14 座固定式高清(HD)攝影機，並透過高速光纖網路將畫面傳送至 70 英

里外的 Swanwick 管制中心，這 14 座攝影機傳送的即時畫面投射於管制室內 14 面螢幕，並將 360 環景畫面壓縮為 270 度，將全景展現於管制員面前，使管制員於數位塔臺作業時不需轉身，僅需小幅度左右擺動頭部場面動態即一覽無遺。在 14 座攝影機之上還有另外兩座可平移、傾斜和縮放的 PTZ(Pan、Tilt、Zoom)攝影機，提供管制員特定畫面縮放的功能，替代實體塔臺管制員使用望遠鏡的動作。

14 座的固定式攝影機由下方機房配備的壓縮機定時噴氣以清潔鏡頭，並定期由技術人員擦拭清潔。兩座 PTZ 攝影機除了噴氣及定期擦拭外，PTZ 攝影機還自帶雨刷，可於必要時清潔。而 2 座 PTZ 攝影機亦充當 14 座攝影機的備援，當 14 座攝影機任何一座無法運作時，在技術人員更換期間，PTZ 攝影機可替代傳送失去的畫面至管制室。

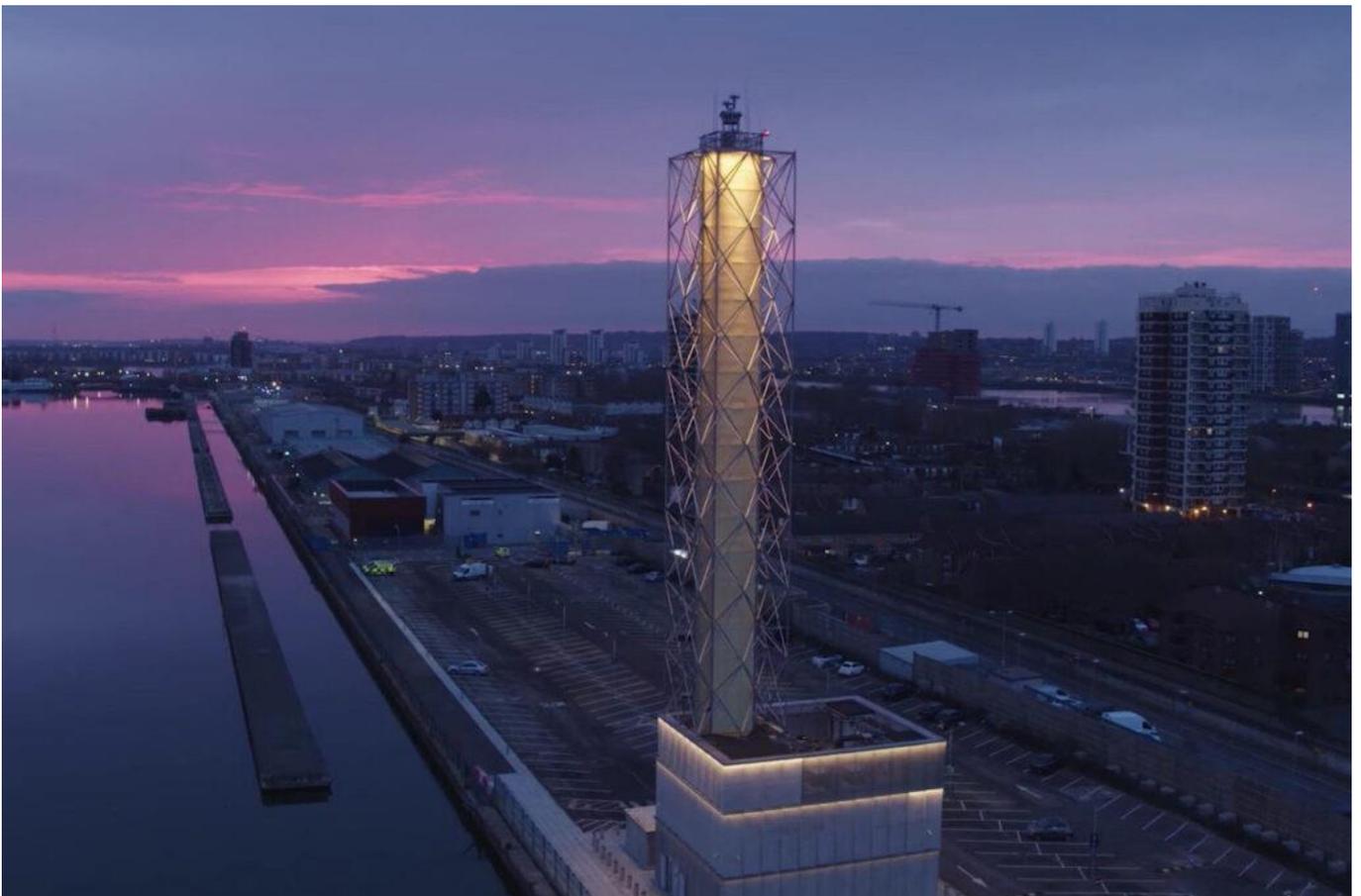


圖 38. 倫敦城市機場的攝影機桅桿 (圖片來源：MIDWESTATC 網站)



圖 39. Mast 上的 14 座攝影機及 2 座 PTZ 攝影機擺放位置示意圖

在機場端蓋好需要的設備 Mast 後，讓我們將場景拉回管制室，倫敦城市機場的 14 個投射螢幕及空中航情顯示畫面皆由 SAAB 建置，且空中航情顯示畫面與投射螢幕為連貫延伸的螢幕，可使用同一滑鼠在兩者之間移動，如下圖 40 所示。

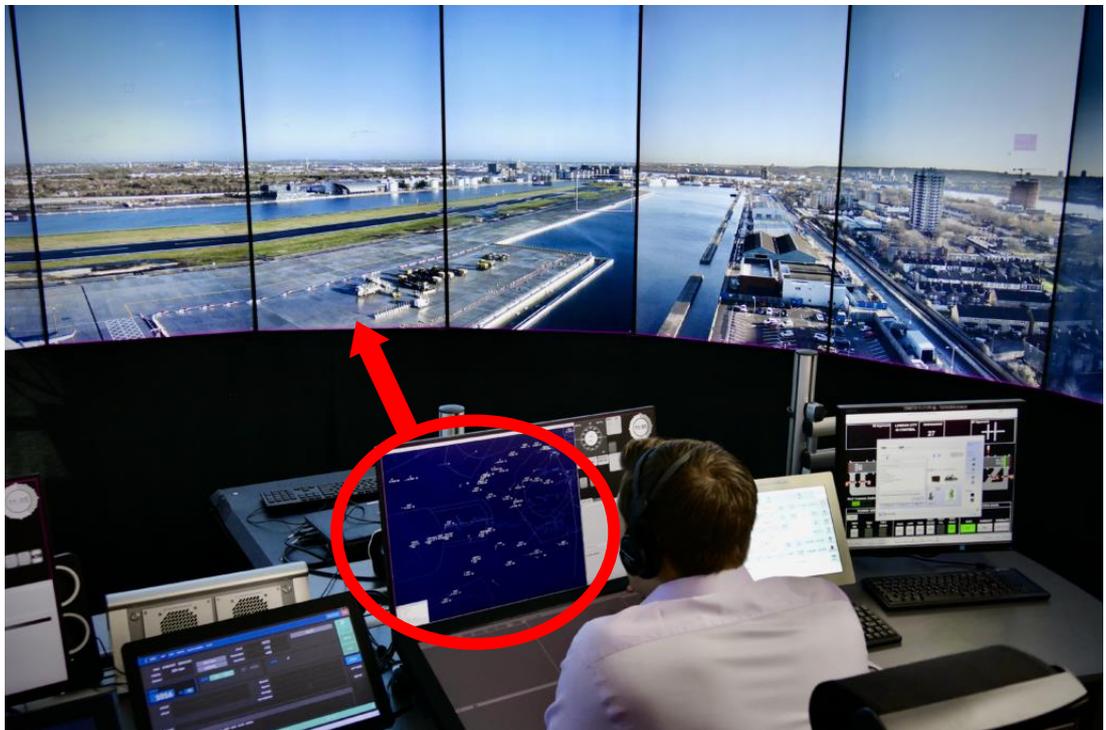


圖 40. 空中航情顯示器與投射螢幕可共用滑鼠 (圖片由 Magnus McCabe 授權使用)

為確保監控畫面運作正常，每個螢幕上方有一個持續移動的小方塊，用來確保此為即時畫面，而非定格當機。當管制員想特別看清楚場面某一區塊時，僅需使用滑鼠在畫面上點選，即可得到放大畫面(如下圖 41)，並可將放大畫面移至任何位置。如果想關注某架航機，則可開啟放大及追蹤功能，放大畫面會跟著航機一起移動。管制員分享到，透過數位的放大效果取代傳統塔臺管制員使用望遠鏡的好處是，望遠鏡看到的範圍有限，常常需要花上一段時間尋找標的物，而放下望遠鏡後也可能同時失去標的物的位置。這個問題在數位塔臺則完全被克服，無論是僅使用放大，或是放大加追蹤功能，管制員可以在掌握全場作業的同時，也能關注特定航班動態。但使用鏡頭的副作用是，當機場風大的時候，畫面會跟著鏡頭搖晃。

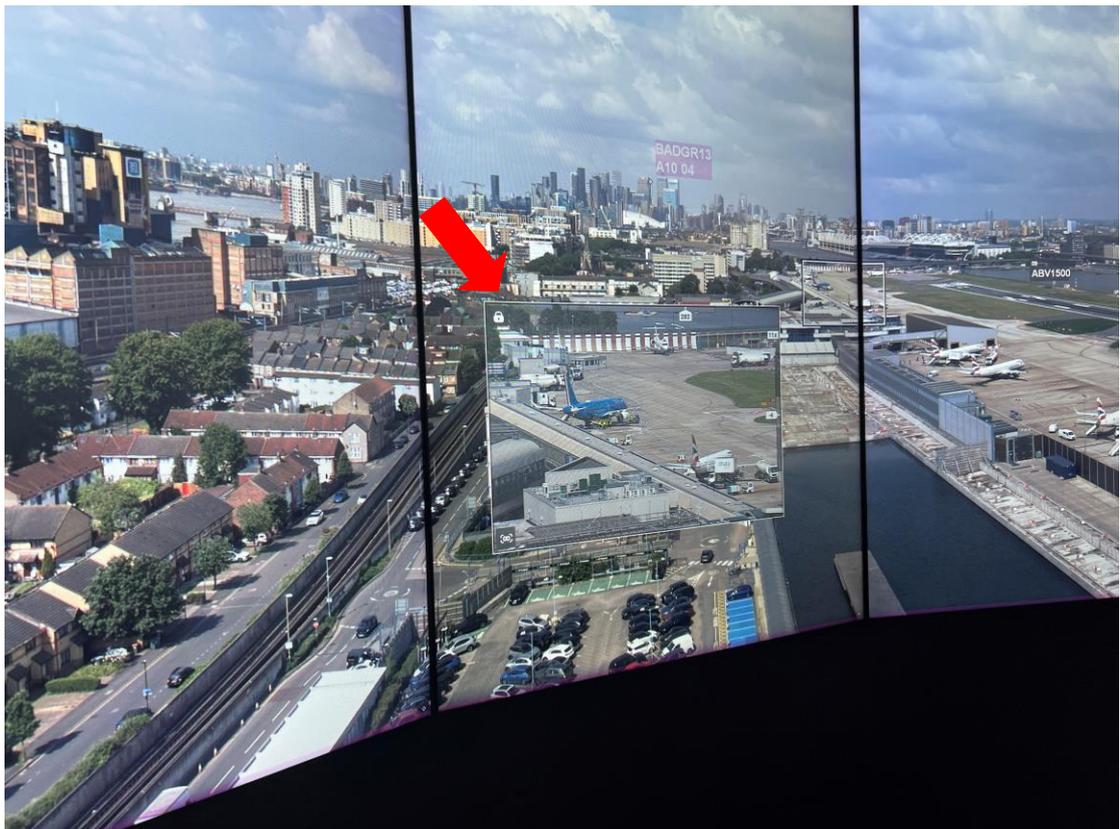


圖 41. 航機的放大畫面 (圖片由 Magnus McCabe 授權使用)

由於至倫敦其他機場的部分航班也會通過倫敦城市機場上空，在螢幕中可選擇開啟航機標籤，確認空中航機呼號等資料，如果管制員一時無法目視即將到場的在空機，也可以開啟航機標籤來協助辨認在空機位置，如下圖 42 中的 BAW725。



圖 42. 在空機輔助標籤及能見度參考位置 (圖片由 Magnus McCabe 授權使用)

倫敦城市機場塔臺的管制員需同時具備觀測員執照，一般狀況下機器會自己觀測並發布 METAR 報，然若天氣變化快速，ATC 判斷報文與實際不符，會接手並編輯 SPECI 報。在 14 個螢幕上也可以開啟目標位置參考點(如圖 42)，輔助管制員判斷能見度；雲高的偵測則靠機器、航機高度及經驗判斷。

傳統塔臺的燈光槍(light gun)功能，在數位塔臺也有解決方法，那就是設在在 Mast 的每個攝影機上！需要哪種顏色或是形式的 light gun，只需要在螢幕上的選單挑選後，即可對特定航機發射。夜間測試的結果，舊塔臺的 light gun 僅能到五邊 2 哩，現在的 light gun 甚至可以到五邊 5 哩呢！

管制室內的畫面雖然是由 14 個攝影機所投射，但其實總共有 15 個螢幕，最左邊的螢幕為備用螢幕，以防當任何一個螢幕無法正常運作時，可啟用備用螢幕，並更動畫面順序，使場景仍然能夠連續。至於從機場傳輸過來的設備，則是有三套獨立運作的光纖，作為畫面斷訊的備援。

數位塔臺經過 2 年的測試，確認可行性後才真正轉移至 Swanwick 中心，目前作業的共有 16 位管制員，其中 15 位是從舊塔臺時期就在倫敦城市機場工作的。據接待的 Watch Manager Lawrie McCurrach 表示，越年輕的管制員對於數位塔臺的接受度也越高，如果真的有轉移成數位塔臺的需求，越早讓管制員使用越好，因為年紀大的管制員可能適應期也比較長。

數位塔臺另外還有回放系統，亦提供 DVCSS 錄音，需要時提供影音同步回放功能還原作業狀況。NATS 也利用回放系統製作教案，對於管制員的能力提升及經驗分享有極大的幫助。



圖 43. 與當班管制員 Jamie Challen(左一)及 Watch Manager Lawrie McCurrach(右一)於數位塔臺合影

二、英國 NATS 數位塔臺實驗室

NATS 在 2018 年斥資 250 萬英鎊與加拿大 Searidge Technologies 合作成立數位塔臺研究實驗室，將技術開發實驗室設於希斯洛塔臺下方，希望可以從使用真實數據資料，並在構建概念和驗證原型時邀請管制員直接參與，在開發過程即納入使用者回饋。目前 NATS 與 Searidge 的合作計畫在香港、新加坡都設有據點，旨在提高世界上最繁忙機場的效率、天氣適應力和持續運作能力。此次至希斯洛塔臺研究時，NATS 亦開放數位塔臺實驗室，讓我得以一窺當前數位塔臺最新的研究成果及未來發展方向。

與 SAAB 不同的是，NATS 及 Searidge 使用 4K 解析度的攝影機以投射全景畫面，成為世界上第一個即時超高清(Live Ultra-HD)的 4K 數位塔臺實驗室(4K Digital Tower Laboratory)。因為認知到人類視野是有極限的，使用 4K 希望能夠協助管制員看得更遠，並提供更清晰的畫面。除了固定式攝影機外，還另外架設 PTZ((Pan、Tilt、Zoom))攝影機，提供特定放大畫面(binocular)、自動追蹤及全景畫面的空隙填補。不可或缺的還有 light gun 亦架設在攝影機旁，提供符合法規的燈光信號及可自動追蹤瞄準目標的功能。



圖 44. PTZ 攝影機(左)及 light gun(右)

攝影機佈置方面，NATS 有兩種選擇，利用既有建物在其上方架設多台攝影機，或是在需要的地點架設桅杆(Mast)，兩種方式都能將影像數位化後傳輸至管制室，提供全景畫面。



圖 45. 兩種架設攝影機方式：利用現有建物(左)、架設 Mast(右)

由攝影機傳輸回來的影像，可投射於管制室內的數個螢幕，至於使用幾個顯示器、顯示器的配置如何，下面會有更詳細的介紹。在顯示器上，管制員可使用滑鼠選擇數個功能，如特定畫面縮放、追蹤、框出跑

道範圍以在低能見度時提供辨別等，與目前倫敦城市機場的數位塔臺相似，而 NATS 與 Searidge 開發的技術更可以變換場面色調套用於不同天氣，讓管制員更容易辨別航機。如果管制員有額外架設的螢幕，則可在有限的螢幕中平移全景畫面至欲關注的區域，像是多了雙眼睛監控(如下圖 46)。

Panning Function of CWP Video Presentation

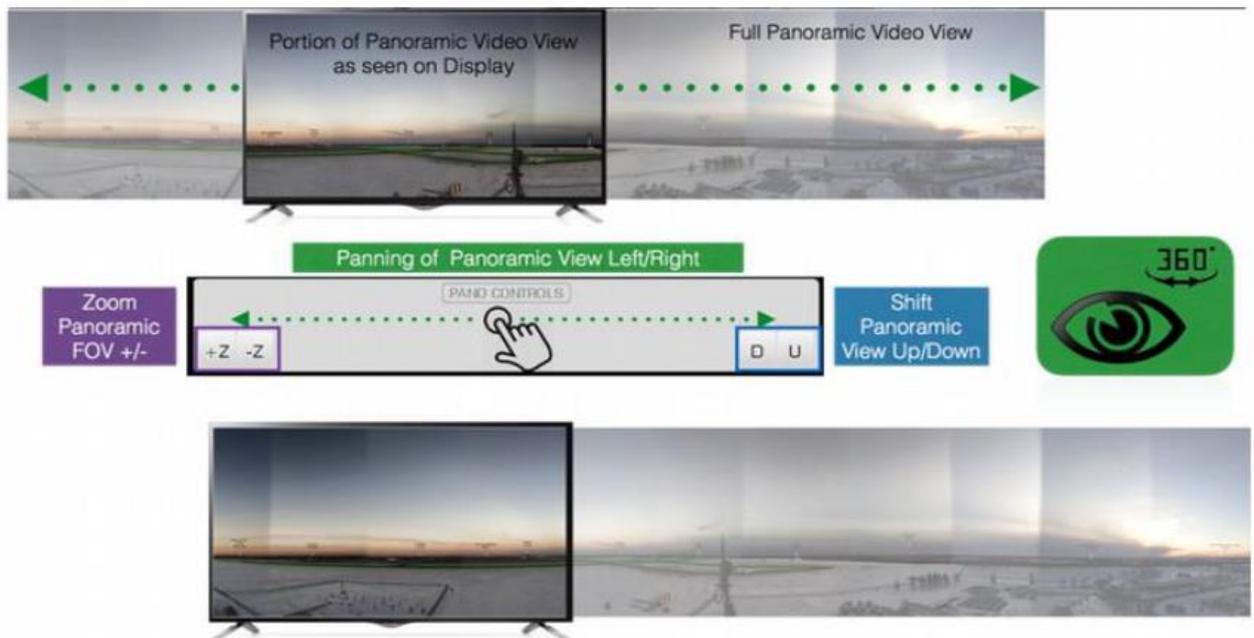


圖 46. 在螢幕中平移全景畫面至關注範圍 (圖片由 Andy Taylor 授權使用)

使用分佈式攝影系統，還可以有其他的場面應用，例如進場監控系統 AMS(Approach Monitoring System)，輔助管制員觀察到場航機姿態，如下圖 47 所示。

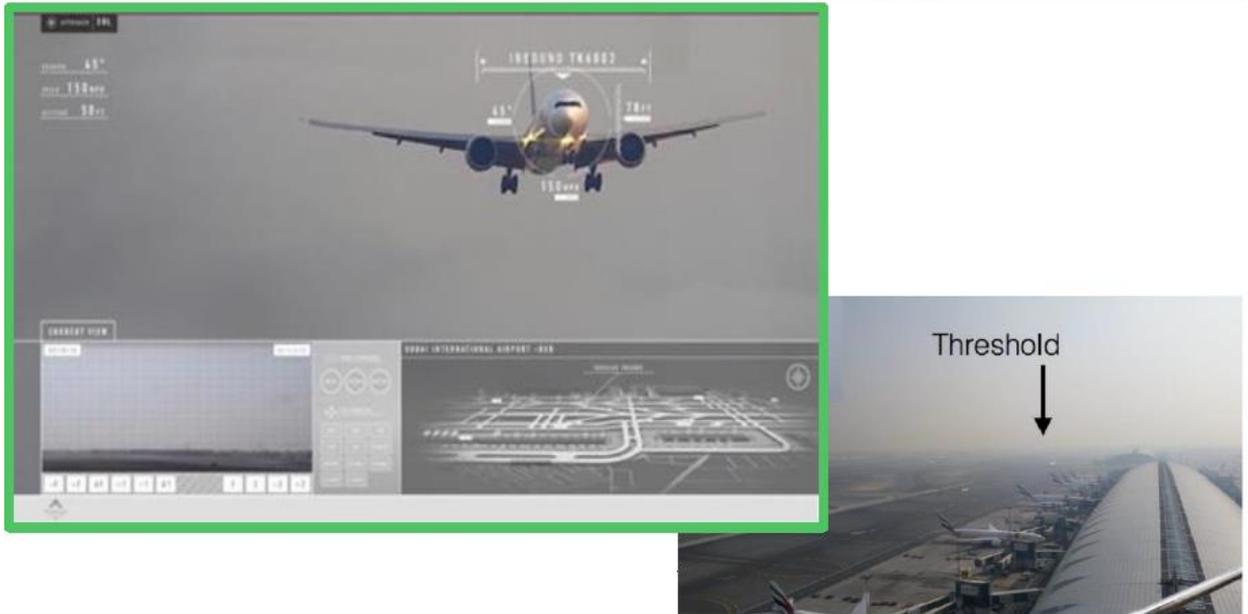


圖 47. AMS 進場監控系統 (圖片由 Andy Taylor 授權使用)

NATS 與 Searidge 將攝影機傳輸回管制室的畫面，利用螢幕牆面、平面顯示器、曲面顯示器等不同配置，發展出 5 種不同的模型，各種模型特性及其適用機場說明如下：

1. **Model 1：Tower in Tower**。將航流量極小的 A 機場畫面傳輸至 B 機場所在塔臺，B 塔臺管制員同時管制 A、B 兩機場作業。目前與法國的航管服務公司 DSN A 合作，將密克隆機場(Miquelon)畫面傳送至聖皮埃(St Pierre)機場，由聖皮埃機場管制員一併管制。此方式可更有效運用有限的管制員人力。
2. **Model 2：Remote Tower**。就是我們概念中的遠端塔臺，此處不再贅述。目前與美國聯邦航空總署(FAA)合作，在科羅拉多州的柯林斯堡(Fort Collins)建置。
3. **Model 3：Remote Tower+**。概念近似於 remote tower，但適用於較大型的機場。目前與匈牙利的航管服務公司 HungaroControl 合作於布達佩斯機場(Budapest)建置，並與該機場的 A-SMGCS 整合，以提

供無縫雷達覆蓋、客製化資料疊加和目標自動追蹤等自動化功能。

4. **Model 4 : Hybrid Tower**。這是於既有塔臺環境中，在管制員工作桌面額外配置曲型顯示器。管制員除了可在塔臺上目視場面外，額外配備的顯示器另可輔助管制員觀察從塔臺看出去視野被阻擋的盲區。目前與法國的航管服務公司 **DSNA** 合作，建置在巴黎的奧利(Orly)機場。

5. **Model 5 : Full Digital Primary/Contingency Multi RWY/Multi Terminal HIRO Airport Facility**。適合取代主要機場的實體塔臺，或者作為完全數位的持續運作地點，能夠提供與現有實體塔臺相同或更高的航管服務，預計將在希斯洛機場設置。

希斯洛塔臺現在的持續運作陣地在一個沒有任何窗戶的房間，僅靠地面航情顯示器執行管制，而到場航機也只能施作 **CAT 1** 精確進場，一旦至持續運作陣地作業，管制量能將大為下降。

目前 **NATS** 正運用 **Model 5** 模型及 **Model 4** 的 **Hybrid Tower** 的概念，預計在 2028 年完成希斯洛塔臺的持續運作緊急應變數位塔臺建置，屆時該空間會有 4 面螢幕牆、10 個席位，每個工作席位還額外配備曲面全景顯示器供該席位管制員使用，在不影響其他席位作業下，使用自己的顯示器縮放關注區域。據接待的數位塔臺解決方案首席 **Andy Taylor** 表示，緊急應變數位塔臺完成後，希斯洛塔臺的作業將移至此處 12 至 18 個月，此期間 **NATS** 將改造希斯洛實體塔臺為 **Hybrid Tower**，而建置完成的 **Hybrid Tower** 同時也具備多重緊急備援的功能。綜合運用 **Model 5** 及 **Model 4 Hybrid Tower**，將使備援陣地擁有與實體塔臺相同的管制能量，即使至備援陣地運作仍能提供相同管制量能及效益。未來即便有第三跑道，由於希斯洛機場已無多餘用地可建置第二塔臺，因此將維持現行備援室內空

間，預計用數位塔臺的方式提供畫面予管制員使用。

五種模型的示意圖如下：

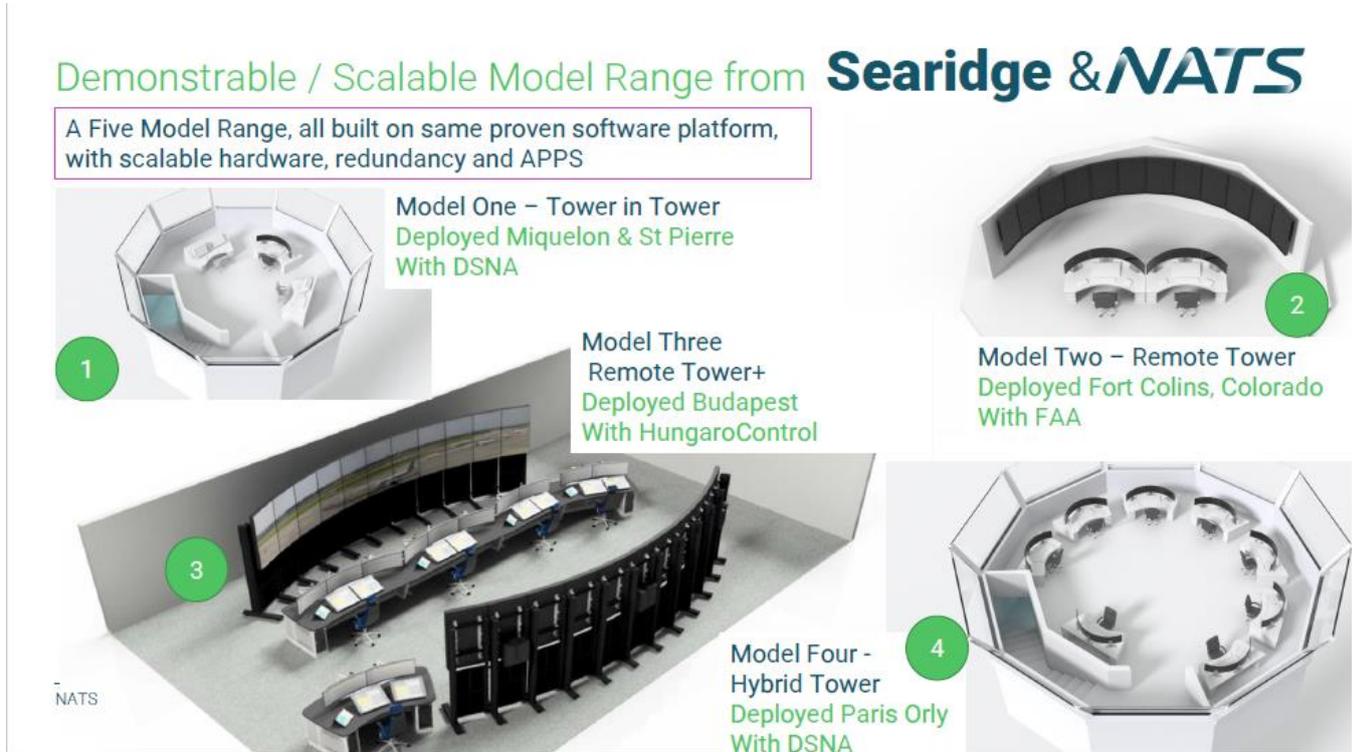


圖 48. 數位塔臺 Model 1~4 (圖片由 Andy Taylor 授權使用)



圖 49. 數位塔臺 Model 5 (圖片由 Andy Taylor 授權使用)

Andy 還提到希斯洛機場不適用 SAAB 數位塔臺的原因，主要是希斯洛機場佔地甚廣，如果放大較遠距離的區域畫面，Full HD 的解析度

會造成影像模糊，因此目前與 Searidge 開發的 4K 解析度讓希斯洛機場觸目所及區域皆可清晰地放大，使管制員能有效利用放大畫面監控場面。此外，希斯洛機場並沒有足夠且適合的區域設置桅杆(Mast)，因此利用現有塔臺塔帽外緣，南北各建置 9 座 4K 攝影機提供全景畫面，免去另覓土地設置 Mast 的煩惱。在影像處理方面，倫敦城市機場的一臺攝影機的畫面固定輸出於管制室某一顯示器，因此全景畫面無法平行移動，Searidge 則是將影像回傳至中央處理器後輸出，因此可以平移畫面，比起 SAAB 的處理方式更有彈性。

今年最流行的 AI 也在航空領域派上用場！自 2018 與 Searidge 合作至今，NATS 秉持著一貫精益求精的原則，從管制員的需求出發與 Searidge 持續開發數位塔臺的新功能。最新的研發則是由在機場各處部署的 20 座攝影機畫面傳輸到他們命名為 AIMEE 的人工智慧平台，AIMEE 可以解讀影像、追蹤飛機，甚至在飛機脫離跑道時通知管制員。此項技術可應用於低能見度時，由 AIMEE 解析影像並告知管制員，希望藉由 AIMEE 的協助，可以提升因低能見度而降低的航行量。目前 AI 平臺正在進行非營運測試，截至 3 月為止，Searidge 已訓練 AIMEE 已學習了 5 萬架到場航機的行為並持續微調，以確保系統的準確性。最終的專案報告將提交予英國民航局評估。除了協助管制員判斷跑道是否淨空，AIMEE 也正在學習檢查航機姿態，希望能提早對管制員提出警示。

有了數位塔臺及人工智慧的協助，飛航管制這行之百年的作業方式將有重大的突破，藉由科技的力量協助管制員，不侷限於人類視力極限，並由人工智慧提早對管制員提出警訊，讓管制員有更充分的時間做出判斷及相對應處理，很期待未來的數位塔臺能為飛航管制帶來更大的幫助及更安全的天空！



圖 50. 與 NATS 數位塔臺解決方案首席 Andy Taylor 合影

三、荷蘭 LVNL 數位塔臺計畫

2019 年，LVNL 與 SAAB 公司簽訂為期 20 年的合約，將格羅寧根埃爾德機場(Groningen Eelde Airport)及馬斯垂克亞琛機場(Maastricht Aachen Airport)轉型為數位塔臺，包含在機場當地的基礎設備及管制中心的軟硬體設施，數位塔臺管制中心將建置於史基浦機場，該計畫預計於 2020 年開始執行，數位塔臺 2021 年啟用。

格羅寧根埃爾德機場每年航行量約 50,000 至 60,000 架次，是 KLM 的飛行學校訓練地，因此很多 VFR 的訓練航機；馬斯垂克亞琛機場每年航行量約 8000 至 9000 架次，多為定期航班與貨運機。由於此兩機場位處荷蘭較邊陲地帶，管制員完成訓練後不一定願意受派至此兩機場。綜合考量未來可能的航行量、集中管理及擁有更彈性的人力調度等因素，LVNL 計畫將此兩航行量較低之機場轉型為數位塔臺。

然 2020 年初的新冠肺炎疫情爆發，打亂了 LVNL 的數位塔臺計畫，期間建設與訓練皆暫停，直至 2021 年時，LVNL 才開始在格羅寧根埃爾德機場架設桅桿。疫情期間人員的訓練也是困難重重，此外還有管制員對數位塔臺接受度的不確定性、現有管制員更換工作地點須額外協商及溝通等眾多因素下，使數位塔臺計畫不斷推延。此外，由於大部分的人力與資源皆在全力準備 2026 年即將更換新的 iCAS 系統，只好將數位塔臺的計畫先擱置。目前 LVNL 在格羅寧根埃爾德機場的桅桿已建置完成，並於塔臺下方設置臨時的數位塔臺教室，桅桿上的攝影機正常運作並回傳畫面至臨時數位塔臺教室，管制員已完成數位塔臺的訓練但轉移計畫尚未明朗。

四、 比利時 skeyes 數位塔臺計畫

比利時的 skeyes 也預計將沙勒羅瓦-布魯塞爾南機場(Brussels South Charleroi Airport)及列日機場(Liege Airport)兩機場的塔臺轉型為數位塔臺，設備及技術供應商也是 SAAB 公司。兩機場年航行量約在 60,000 至 100,000 不等，而沙勒羅瓦-布魯塞爾南機場也是歐洲廉價航空常用的機場之一。

Skeyes 自 2018 年開始執行數位塔臺計畫，數位塔臺管制中心將設置於那慕爾(Namur)，預計 2026 年啟用。由於那慕爾硬體設施尚未完成，目前 skeyes 在位於布魯塞爾機場附近的總部建置了數位塔臺測試中心，將設置於兩機場桅桿上攝影機回傳的畫面投影於此。數位塔臺的硬體設施與倫敦城市機場相去不遠，亦使用 14 座攝影機及 14 臺 HD 螢幕解析度之螢幕，不同的是 skeyes 使用較新的軟體，所有的畫面以軟體接合後，可於 14 臺螢幕平行移動，不再是一臺攝影機僅能對應一臺螢幕。目前 skeyes 技術人員及 SAAB 公司持續對回傳畫面進行調校及相關功能測試，數位塔臺小組亦包含 15 位全職工程師及技術人員，管制員則於需要時才加入小組提供意見或協助測試。



圖 51. Skeyes 於布魯塞爾的數位塔臺測試中心

陸、EUROCONTROL Learning Centre

這趟歐洲行，由 Eurocontrol Learning Center 的 Operational Airspace management 課程作為序幕，課程內容與平時工作內容極為不同，不僅是全新的學習，也藉此課程對歐洲航空領域的共通專有名詞及縮寫、空域結構、軍民協調作業的輪廓有大致的概念，之後至 NATS 各管制中心、LVNL 及 skeys 研究時，能使用相同詞彙對理解對方所述內容有極大幫助。

Operational Airspace Management 課程中學員的背景不盡相同，有管制員、流管中心協調員、軍方協調官等，甚至有幾位已經是在軍民協調中心作業的人員，課程所及內容已是其每日的作業！國籍方面，僅有一位香港管制員及我來自亞洲，其餘學員皆來自歐洲，因此大部分學員對於歐洲空域的現況及一些作業的歷史演變及背景皆已有所知悉，當課堂上老師提及一些歐洲航空業的重要事件時，大多數學員都能感同身受。

由於課程內容是我從未接觸過的領域，前兩天的課程上得相當吃力，下課都馬上回家重讀一次教材再與課堂上所做筆記相互對照，直到第三天的實作練習才能跟上大家的進度。本章節將盡可能介紹本次課程所學，勾勒出歐洲軍民協同作業之輪廓。

一、EUROCONTROL Learning Centre 及 Operational Airspace Management 課程

EUROCONTROL Learning Centre 是歐洲空中航行安全組織 EUROCONTROL 所提供的教育與培訓平台。透過這個學習中心，EUROCONTROL 提供了多樣化的培訓與學習機會，課程內容從入門的

航空相關知識、航管訓練、航空網路營運、空域管理、法規、安全管理、無人機，最近很熱門的 AI 在航空界的應用等課程都有，不僅如此，部分課程甚至可以免費遠端上課。無論是航空從業人員、機構，或是對航空領域有興趣的人都可以參加課程。

此次選上的 **Operational Airspace Management** 課程共有三天，課表如圖 52，以彈性使用空域(Flexible Use of Airspace, FUA)為概念，促進商業、軍事、普通航空業之間空域的最佳使用，透過動態、靈活且接近 **real-time** 的空域管理，平衡容量與需求，並介紹目前歐洲許多國家使用的平台 **LARA**，將所有資訊及需求等整合於此平台並公開透明與使用會員國，在盡可能滿足各方需求下達成空域效率的最大化。前面的一天半講述作業空域管理的背景、由來、演進及管理作業概念，第二天下午開始分組，每一組別扮演國家的空域管理單位(**Airspace Management Cell, AMC**)，在所有單位提出的空域需求及相關空域限制下做出最好的判斷，並決定是否同意相關需求。老師設計的題目由簡至繁，一開始空域的限制少、各方需求也相對容易全部滿足，各組給的結論幾乎都差不多；隨著空域限制增加、需求越來越五花八門，大家的結論就開始分歧，可以看到每組都有各自的考量，甚至有軍方出身的協調官相當強硬，當大家闡述同意或不同意相關需求的理由時，可以從切入的角度看出大家不同的工作背景及思考邏輯，相當有趣！透過幾個練習題，可以讓學員們深刻感受到身為 **AMC** 的為難之處，也因為現實生活的空域限制要比練習題複雜許多，各方需求也非我們一時可以想像的，因此才需藉由系統協助，並將資訊圖像化，盡可能減少資訊不對等的狀況。

Operational Airspace Management



Course Manager: Sandrine TASQUIN

Lunch and coffee are not provided by EUROCONTROL and shall be covered at the participants' expenses

DATE/TIME	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
Day 1		Course Introduction	Introduction to ASM	Lunch	Operational Requirements	ASM Definitions and Process		
Day 2	ASM Toolbox			Lunch	Short-term developments	AMC Exercise 1		
Day 3	AMC Exercise 2			Lunch	ASM Support Tools		Course Conclusion	

圖 52 Operational Airspace Management 課表

此課程的授課老師是德國軍方管制員出身的 Jan Scholz，退伍後加入馬斯垂克高高度區管中心擔任德國空軍的聯絡官及軍民協調作業平台的領導人，2009 年加入 EUROCONTROL 的軍民協調中心擔任專員，目前主要的工作領域就是在發展及推廣 LARA。老師從 2023 年開始接手此課程，以淺顯易懂的帶入方式設計課程架構，引導學生了解歐洲的作業空域。由於老師擔任軍方聯絡官多年，對協調及作業細節相當了解，很幸運我能在此讓如此優秀的老師授課。



圖 53 與 Jan Scholz 老師合照

這次原本還有選上 Deployment of A-SMGCS services 課程，但直至出國前都仍在候補名單之中，完成一部分的英國 NATS 研究後回到盧森堡繼續等待，希望可以遞補成功，無奈開課前仍收到 EUROCONTROL 的通知，很可惜課程完全沒有空位，看來 A-SMGCS 也是熱門課程之一啊！

二、Operational Airspace Management 課程目的

課程一開始，老師就問我們為什麼需要管理空域？如果歐洲這麼大的空域範圍在美國，那事情就簡單許多，只需要一個國家內的軍方跟民方兩個單位說好就好。但是歐洲有數十個國家，光要說服國家間合作已經夠困難，更何況還牽涉到各國的軍方。除此之外，歐洲各國軍方的禁限航區佔整個歐洲空域的 37%(如下圖 54)，要整合歐洲各國家空域及參雜其中零碎的軍方禁限航區真的不是件簡單的任務，根本是 mission impossible !

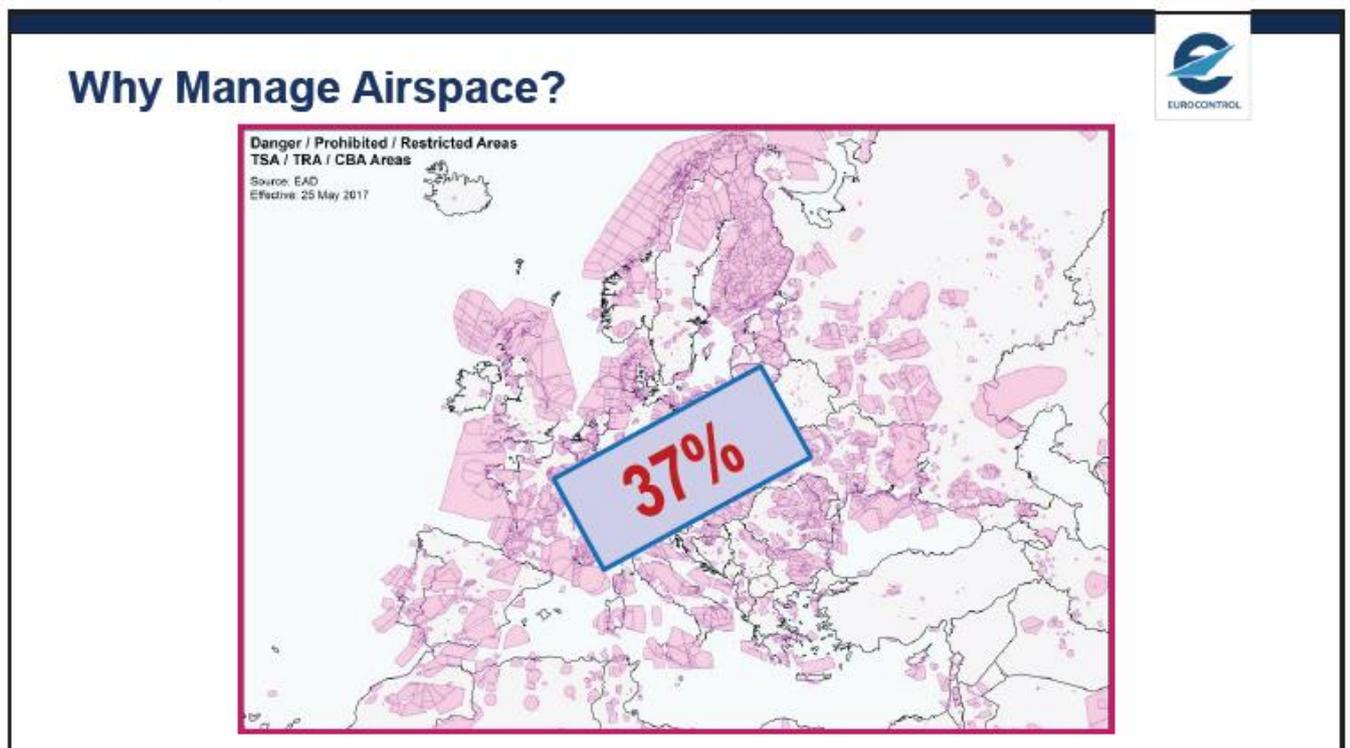


圖 54 歐洲各國禁限航區 (圖片由 Jan Scholz 授權使用)

不同類型的航空器對空域也有不同需求，從最大宗的航空運輸及運載旅客，軍用航空器需要空域試飛、軍事演練、火炮射擊，另外還有國家航空器的搜救，或是普通航空業的空拍、天氣探測，甚至還有越來越多的無人機活動等，通通都要擠在這片空域內完成。由下圖 55 可知，近

20 年來，歐洲空域的航行量急遽增長，若是再將空域如此死板地劃分，例如所有航機皆須繞行完全沒有活動的軍方限航區，那麼許多閒置的空域將被浪費，徒增航機滯空時間，讓原本就擁擠的空域更顯侷促，也在無形間增加了碳排。因此，為了統合所有空域資源並在其中找出各國都能接受的合作方法，作業空域管理於是由此而生。

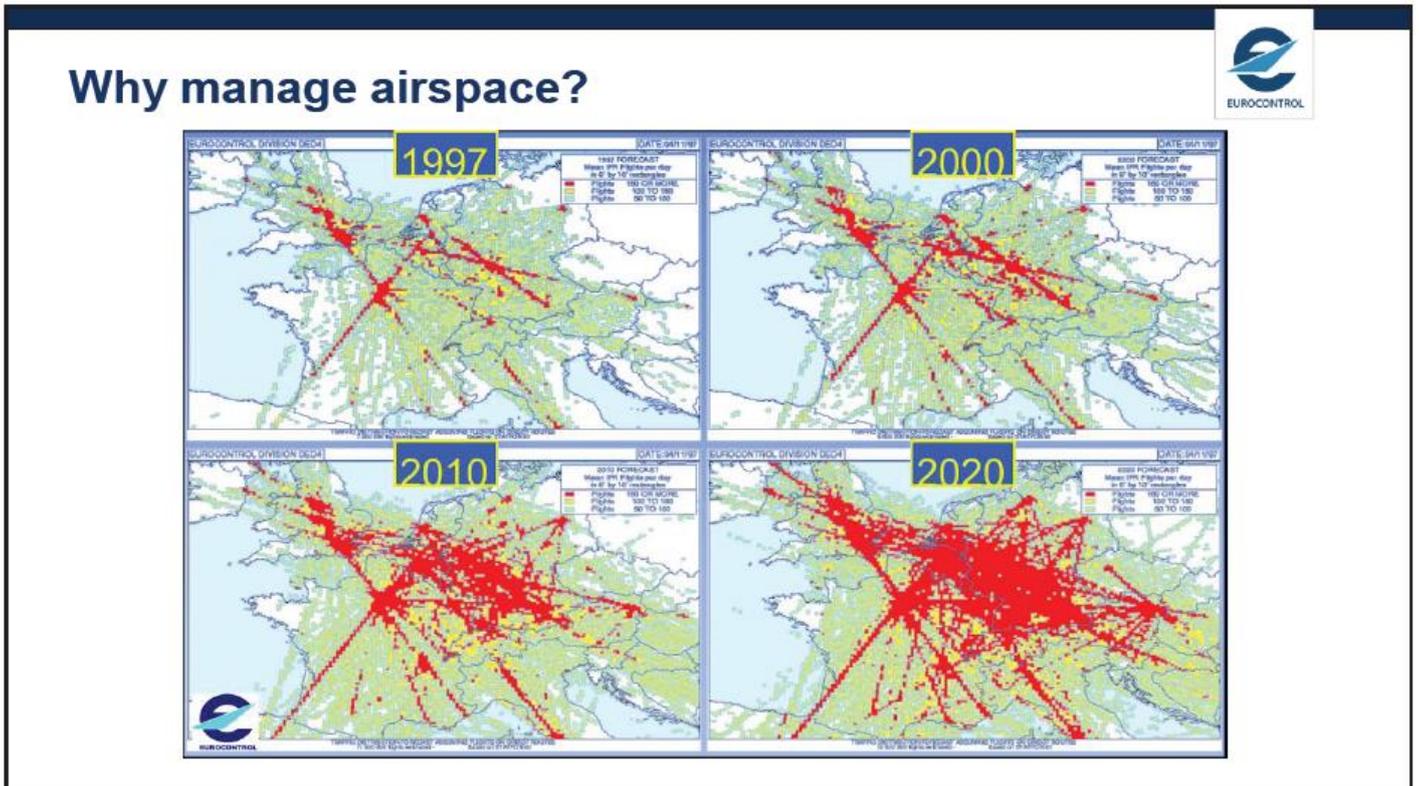


圖 55 近 20 年歐洲空域航行量變化 (圖片由 Jan Scholz 授權使用)

三、FUA 概念、空域分類及空域公告

Flexible Use of Airspace 簡稱 FUA，最根本的精神就是：空域不應再被劃分為純粹的民用或軍用空域，應根據使用者的需求進行分配。而空域的分配則須在考慮飛行安全的首要目標下，避免不必要的空域限制以提高效率，減少航班延誤及燃油消耗。FUA 的執行則由軍民雙方共享訊息及資源，一起合作協同管理，並應具有高度的即時性和靈活性，以快速因應不同的需求變化。於是依據上述精神，FUA 架構將空域劃分為五類：

1. 暫時隔離空域(Temporary Segregated Area, TSA)：空域隸屬某一管制單位，該單位不使用時可開放其他人申請使用。當該空域有人使用時，不能有其他航機進入該空域，最常使用的情境有軍事演練、空中纏鬥戰術訓練、火炮射擊、空中加油等跨越多個空層的活動。
2. 暫時保留空域(Temporary Reserved Area, TRA)：空域隸屬某一管制單位，該單位不使用時可開放其他人申請使用。即使該空域有人使用，在管制員的同意下，仍然可允許其他航機穿越此空域，常見的有飛行員訓練。
3. 跨境空域(Cross-border Areas, CBA)：依國家邊界劃分其上方空域，兩國相鄰的空域可以一起使用或是依兩國協議交換使用等，兩塊空域也可能各自具有 TSA 或 TRA 性質。
4. 空域管理單位管制之限航區(AMC Manageable Restricted Areas, R)：各國 AMC 列出該國的限航區空域，當軍方不使用時，即開放予民方使用。
5. 空域管理中心管制之危險區(AMC Manageable Danger Areas,)

D)：各國 AMC 列出該國的危險區空域，當該空域之危險活動不執行時，空域即開放使用。

因為空域劃分與使用變得如此有彈性，許多國家將其空域分割為幾塊區域，盡可能地讓所有空域都能使用。其中發揮得最淋漓盡致的就是芬蘭！芬蘭將整個國家空域像方格圖一樣切割為數個區塊並個別給予名稱(如圖 56)，假設軍方想要活動的空域範圍與民方有衝突，一定可以在任何其他區域找到替代空域執行他們的任務，實在是有效率的做法！

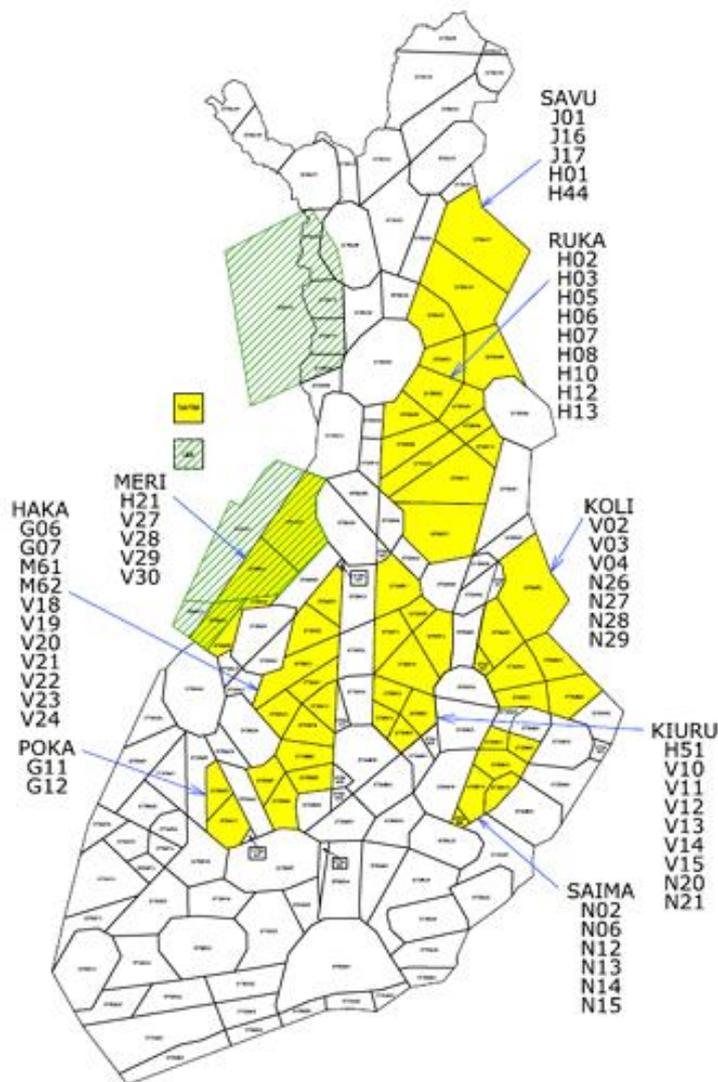


圖 56 芬蘭空域劃分 (圖片來源：芬蘭 Airspace Management Operation 手冊)

由於傳統的空域公告方式是透過 AIP、AIP Amendment、AIP Supplement、NOTAM、AIRAC 等方式，但無論是哪種方式，皆須較長的作業時間，不具有空域需求臨時變化的即時性及靈活性，於是除了原有的空域公告方式外，EUROCONTROL 在 FUA 的概念下利用每日公告空域使用計畫，稱之為 AUP(Airspace Use Plan)來公告使用的空域名稱、時間、範圍及被影響的航路。後續如果該空域的使用有任何變動，仍然可以透過更新每半小時更新一次的空域使用計畫 UUP(Update airspace Use Plan)來更改公告。透過這樣的作業方式，不僅提高了空域協調作業的彈性及靈活度，更避免不必要的空域資源浪費。

四、FUA 作業流程

FUA 的作業流程如下圖 57 所示，以時間軸的先後順序分為 Strategic、Pre-tactical、Tactical 三個階段：

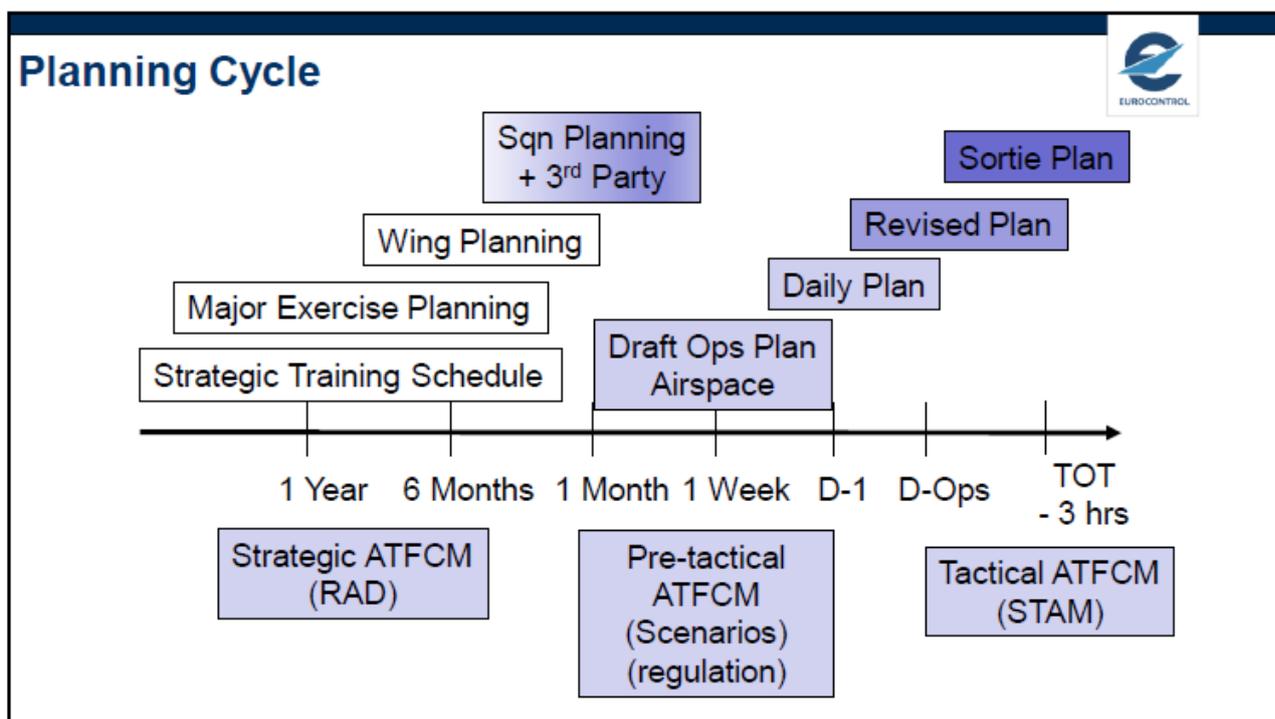


圖 57 FUA 作業流程(圖片由 Jan Scholz 授權使用)

1. 策略性規劃階段(Strategic)：策略規劃階段主要是由軍民雙方高層對於活動或任務進行大方向的規劃，包含時間、空域共享政策、活動所需空域的隔離範圍、限制、空域管理的程序和協議等。可能是在活動前一個月到一年不等，視活動的大小及其複雜度而定。
2. 作業前規劃階段(Pre-tactical)：活動前一日至前一個月之間，由軍民雙方提出各自需求後，由 AMC 整合空域需求。其中如果涉及的不只一個國家，則由相關國家的 AMC 推選出的 Lead AMC 主導並討論出 AUP 後公告。
3. 作業中階段(Tactical)：在這階段，除非有 UUP 的更新，否則基本上

就是管制員對管制員了。管制員依據相關 AUP、UUP 的空域公告資訊，來管制轄下航空器使用的空域。

五、空域管理系統工具

目前歐洲主流用的空域管理系統工具有區域空域管理系統(Local and Sub-Regional Airspace Management System, LARA)及空域協調介面(Collaborative Interface for Airspace Management)，另外像德國、波蘭、烏克蘭等國家也有發展自己的空域管理系統。以前空域協調可能透過電話，容易因口誤或是理解不一致造成錯誤，有了系統工具，相關空域規定與使用時間等限制一目了然。LARA 甚至還發展出圖像式的預訂系統，可以使用時間軸看出哪些空域被佔用，也可以在系統上預約需使用的空域讓 AMC 審核，若與其他單位有衝突就會跳出告警，後續由 AMC 與衝突雙方協調或是提出建議，盡可能滿足雙方需求。

至於每日的 AUP、UUP，則由 EUROCONTROL 公告於 Network Operation Portal(NOP)網頁上，這是公開資訊的網站，任何人不需要帳號即可上網瀏覽當日空域的使用狀況。

而在活動執行階段，軍民雙方則可以透過軍民航情協調工具 (Civil and Military ATM Coordination Tool, CIMACT)分享彼此的航情資料，讓資訊透明化。活動結束後則可透過泛歐洲資訊儲存系統支援軍民活動指標(Pan-European Repository of Information Supporting civil-Military key performance indications, PRISMIL)寶貴經驗的資料數據儲存起來。

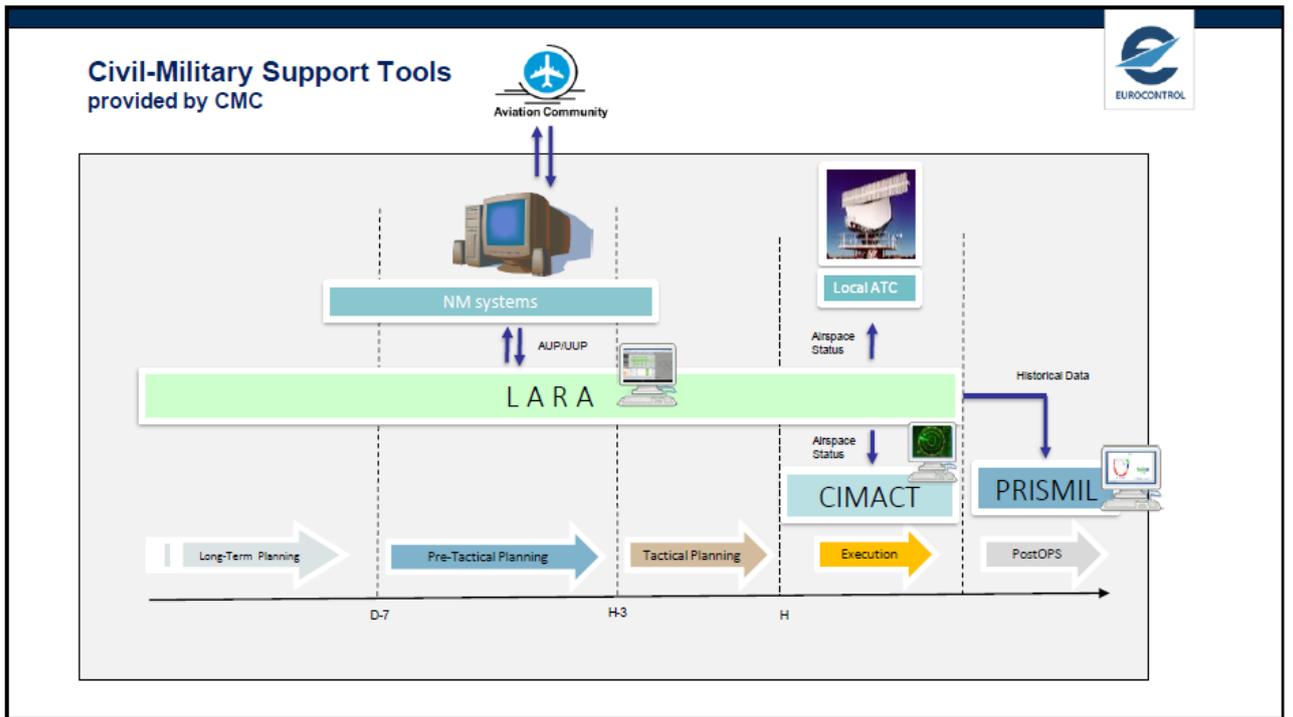


圖 58 軍民空域管理作業系統工具 (圖片由 Jan Scholz 授權使用)

柒、心得與建議

本次專案研究主題為 TBS 及參與 Eurocontrol 作業空域管理課程，然一路上附加瞭解了倫敦城市機場數位塔臺、NATS 的數位塔臺研究實驗室，並與 LVNL、skeyes 不同背景的航空從業人員交流，因此包含此行所有見聞及綜合性心得與建議，綜整如下：

一、心得

(一)、管制員積極參與國際相關組織的活動及維持國際能見度，對於本區接軌國際飛航服務極有助益

此研究專案的行程安排，要特別感謝飛航服務總臺擔任國際飛航管制員聯盟(IFATCA)亞太區執行副主席的管制員陳妍君，在得知此研究計畫的第一時刻便替我引薦 NATS 的客戶與合作夥伴關係總監 Christopher Allan，再由 Chris 協助從 NATS 內部申請至各管制中心及希斯洛塔臺實地瞭解及進行研究。要到 NATS 參訪極其不易，還記得數年前原本要到希斯洛塔臺參訪的行程在出發前因故被臨時取消，這次我戰戰兢兢非常害怕舊事重演，好在行前無數次的三方視訊會議及 e-mail 往來，每次都有一點點的推進，終於在聯繫近五個月後，NATS 批准了我們的申請，還記得站在希斯洛塔臺內時一度熱淚盈眶，不敢相信自己真的來到航管領域最高殿堂之一。另外 Chris 還有協助聯繫 LVNL 及 skeyes 的 SAAB 產品經理、NATS、LVNL、skeyes 的接待、解說人員，大家都知無不言，對提問也是有問必答，或是事後透過 email 提供我詳細的資訊。在這裡放上出發前最後一次與 IFATCA 亞太區執行副主席妍君、NATS 的 Chris 視訊會議的照片，以表對他們衷心的感謝，也非常幸運一路上有這麼多貴人相助，此行才得以成行。

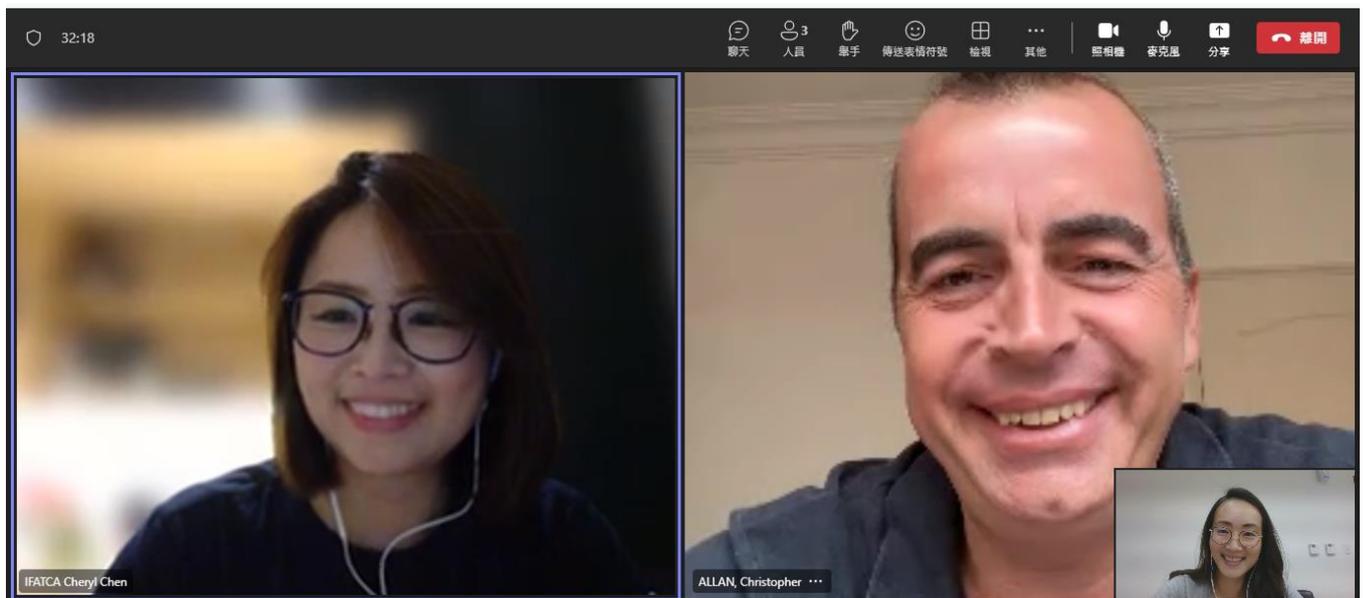


圖 59 與妍君、Chris 最後一次行前會議

(二)、NATS 以需求出發，擅於運用科學數據、方法及異業結盟，追求目標之達成

由於宵禁、第三跑道計畫延宕加上航情不斷增長，希斯洛機場航行量已近乎飽和，NATS 在如此不利的條件下仍持續發掘增進空域效率的可能性，並藉由機尾亂流重新分類、縮短五邊隔離等方法不斷在已經高度利用的空域中，試圖再擠出任何一點空間，例如由 TBS 進化到 ETBS 再到 pairwise，即便只是平均每小時到場增加 1 架次，仍舊積極爭取。而其採行的 TBS 隔離或是 ROT (Runway Occupancy Time，跑道佔用時間)、ORD (Optimized Runway Delivery，計算五邊 4 哩到跑道頭的壓縮值)皆是透過大數據的實驗，擁有科學數據以支持理論，而不僅是理想的空中樓閣。除了理論、大數據的實驗，NATS 更善於異業合作，以 TBS 為例，先找到 Leidos 共同研發以 TBS 為核心的 IA (Intelligent Approach) 工具軟體，最後更找來 Indra 三方合作將此軟體整合於航管系統中。NATS 始終以需求角度出發，秉持開放的心態並從各個不同角度切入，儘可能地尋求空域效率最大化。NATS 不滿於現狀，持續不斷地精進，並且不

吝於分享的高度與態度，是本區提供飛航服務可以提升看齊的標竿！

(三)、歐洲依航程整體規劃不分國家、區域或管制單位使飛行更順暢

航機可能同時湧入目的地機場造成目的地空域擁擠，若有部分航班在巡航階段搭配加減速或是其他手段分散到場時間，或是在起飛機場等待，即可更為有效緩解目的地機場空域擁擠的狀況。歐盟的流管中心或 NATS 的 XMAN 都是為了讓航程更流暢而發展出的單位及工具，運用機坪等待(Ground Delay)或巡航階段速度控制方式，讓航機尚未進入邊境前即吸收可預期的延遲幫助緩解目的地機場空域擁擠的狀況。歐洲能有規劃整體航程的能力，主因在於歐盟的參與國能夠屏棄各自為政的立場，願意同心支持單一的流管單位統整歐洲空域的航機。而我國位處亞太地區，區域內國家眾多，空域複雜，且因地緣政治特性，國家間難以達成如歐盟之共識，要由單一流管單位負責亞太區空域流量的管理，在可見的未來恐怕也難以實現。因此近年亞太區所推動的多節點流量管理 (Multi-Nodal ATFM)做法，便是希望能夠在現況下仍能盡力去整合航班流量管理的替代做法，而本區也已著手發展相同概念之流量管理工具，可望近期內開始運用，鞏固本區扮演東北亞及東南亞航線樞紐的角色。

(四)、數位塔臺技術及應用的發展已有更多的實績

隨著科技的進步，數位塔臺目前的發展可以運用在下列的幾個面向：

1. 強化實體塔臺在低能見度管制、航機辨識、彌補視野死角之功能。
2. 將低航行量的數個塔臺管制作業，集中至設置集中在一地的數位塔臺，統一由該數位塔臺同時間管制這些機場航機，節省航管人力之運用，此亦稱為遠端塔臺。
3. 機場用地受限，無法興建實體塔臺，或無法興建實體的備援塔

臺或第二塔臺，因此以數位塔臺取代。

要建置數位塔臺，便需要在機場各處架設高解析度攝影機並將影像傳至數位塔臺，也因此雖不需要有實體塔臺的興建，但相對於攝影機架設位置之地點，甚或攝影機高塔架設用地，以及高網路頻寬之基礎建設要求，甚或維護量能之需求，均有別於實體塔臺之要求。2015年，瑞典因其地理環境、管制員稀缺等因素，成為全球第一個使用數位塔臺的國家，並將多個低航行量機場塔臺功能集中於一處，管制員在一個數位塔臺管制中心可為多個機場提供航管服務。將近10年過去，數位塔臺在歐洲地區證明了它的可行性，隨著科技的進步，有越來越多國家包含美國及加拿大接受並計畫建置數位塔臺，亞洲的新加坡及香港也有相關的實驗計畫，而NATS更與Searidge合作，研發各式數位塔臺模型，相信數位塔臺技術的運用，對實體塔臺/非實體塔臺或遠端塔臺的作業與飛航安全皆有所助益。

(五)、歐洲單一天空協同合作的空域管理

歐洲各國對單一天空及其帶來的益處有相當認知後，大家都願意在整個歐洲空域共好的前提下接受無論是時間或是空域範圍的彈性協調。在同一個平台(例如LARA)上登記使用需求，由系統協助偵測各單位需求間的衝突並計算整體空域的最大效率，甚至各單位的協調與溝通不再是透過傳統的電話，而是可以直接在平臺上以圖示及文字形式進行，儘可能減少資訊傳遞間的落差與錯誤，很難想像這樣的成果要花多大的力氣與時間。而共同努力的成果是航機在歐洲上空不須再彎彎繞繞，儘可能地以直線飛行，不僅舒緩了空域的擁擠更減少了許多碳排。歐洲各國軍方願意接受空域的彈性協調，在不使用時將空域釋出，即使是軍方活動臨時取消也能及時登錄至平臺，儘可能將資源給予民航使用，更是扮演了最重要的角色。

二、建議

(一)、後續本區推動 TBS 之建議

飛行的整個航程不僅是從起飛到降落，甚至是從飛機自機坪後推開始到落地最後進入停機坪之間所有點、線、面的結合，TBS 所涉及的最後進場階段僅是其中一小環節；要發揮 TBS 以提高到場率，飛航的所有階段，包含前端的流量管理、航管系統所需的功能，以及後端的機場跑道滑道配置、停機坪的調度，包含航管機尾亂流隔離之程序等，都需要一併的配合，否則僅有 TBS 之效果仍為有限。爰就本區後續推動 TBS 之建議進程如下：

1. **優化本區流量管理作業：**本區所處亞太區不易比照歐洲成立歐盟，空域及流量管理統一由 EuroControl 成立單一流量管理中心來執行，然而近年由於東南亞及東北亞都各自組成流量管理區域聯盟，採取對起飛機場航班頒發計算起飛時間(CTOT)之做法，而本區介於東北亞及東南亞間樞紐位置，自當不應自外於其中。民用航空局飛航服務總臺先前派員前往歐洲進行流量管理專題研究，其相關研究成果已實際自行開發本區流量管理工具，並與相鄰區域國家進行多次試行，待後續相關行政程序完備後，便可逐漸推動本區流量管制作業朝向流量管理。此一優化實施後，縱使 TBS 尚未能於短期內實現，對於本區作業效能仍有相當之助益，建議優先進行。
2. **落實運用到場管理工具：**到場管理(AMAN)可協助近場管制臺管制員安排航機最佳進場順序，但由於管制員養成過程中，已培養自行判斷進場順序之習慣，本區航管系統雖已導入到場管理工具，然而管制員目前的作業仍將其作為參考，尚非完全據以作

業，這屬於人與系統的配合，需要充分的時間磨合，以及程序檢討調整的相關配合，飛航服務總臺正致力於協助管制員習慣並相信系統的建議。與流量管理相同，落實運用到場管理工具後，縱使 TBS 尚未能於短期內實現，對桃園機場作業效能亦能有所助益，建議持續辦理。

3. **評估現行航管系統導入 TBS 功能之可行性：**英國所使用的 TBS 工具屬於 Leidos 公司開發成為 IA(Intelligent Approach)，屬該公司所專有，透過與 NATS 及其航管系統廠商 Indra 公司的結盟，讓該工具可以在英國使用。然而我國現行航管系統為 Thales 公司的 EuroCat X 產品，已知並無相關功能，至於是否可外加導入該工具，或可由 Thales 自行開發類似功能，尚需進一步確認，且不論是導入或自行開發，倘所需建置成本費用過高，則建議現階段暫不考慮建置，惟建議必須將其納為新一代飛航管理系統之功能需求。
4. **桃園國際機場建置雙平行滑行道有其必要性：**航機能夠快速進入及脫離跑道，減少跑道佔用時間(Runway Occupancy Time, ROT)是提升跑道作業效率最重要的關鍵，否則進場隔離縮減得再小都是枉然。因此值此桃園機場第三跑道緊鑼密鼓建設之際，與跑道相關之平行滑行道皆宜設置雙平行滑行道，衛星廊廳區與航站區之間連結之東、西滑行道亦宜為雙向平行滑行道，如此方有助於桃園機場達成預期之起、降效率。
5. **優化機坪調度及拖機動線安排：**如前所述，離、到航機因無停機位而需停等於滑行道，也會影響機場整體滑行道及跑道之運作效能。目前桃園機場受限於腹地及設施動線，時有離、到航機甚至棚廠拖出的航機須停等於滑行道之情形，對於到場率之提高為負

面之影響因素，並會加劇地面動線之複雜度。

6. **機尾亂流隔離標準重新訂定**：應用 TBS 可提高到場率，並協助管制員充分遵守機尾亂流隔離規定，尤其在強風環境時更為明顯。本區現行的機尾亂流分為 Super、Heavy、Medium 和 Light 四類，如欲運用 TBS 使進場效益提升，後續可參考國際上最新規範研議將機尾亂流作更細部的分類，由於 RECAT 已是 ICAO 及 EU 認可標準，建議後續可循序漸進先採用 RECAT 的機尾亂流分類，至於是否需進一步如 NATS 所使用的 pairwise 做 96 種分類，則須視屆時飛航本區之機種及類型另行研議。

(二)、軍民空域管理的優化

在歐洲除非是在歐、亞邊境或與俄羅斯邊境之高風險地區，基本上在歐洲內陸，各國雖設有許多軍事演習區、限航區或特殊使用空域，然而只要軍方在空域內無活動，均會主動釋出讓民航使用，如此許多航線得以動態截彎取直，對於節能減碳及節省時間極有助益。

然而本區由於特殊之國際情勢及兩岸關係，軍方使用空域之時間長，且不論晝夜都有使用需求，在本區狹小的範圍內，民航所能使用的空域實為有限。在目前本區現況下，民航對於軍方空域之使用需求，較為迫切的可概分為 3 大部分：

1. **過境航機對中空域之使用需求**：如能使用該空域，對過境航機直飛穿越節省航程有明顯助益，也有助於航路分流效果
2. **桃園國際機場航機對西側 H 及 RCR9 軍方空域之使用需求**：桃園機場離到場航機主要運用西側空域排序進場及交錯離場航機，惟現況腹地太小，實無法同時容納更多航班，成為桃園機場空域作業之限制。
3. **臺北終端管制區域上方 CT 空域之使用權屬**：該空域目前權屬軍

方，桃園及松山機場離、到場航機之爬升與下降因此需受額外高度限制，需額外協調軍方借用空域，影響航機及航管作業效能。軍方使用該空域主要僅為戰機東西岸之穿越使用，使用機會遠低於民航。其權屬歸與民航，而由軍方於需要時協調民航同意較為合理。

前述 3 大部分，現行作業為航管單位於需要時協調軍方，軍方若於確無使用需要時，方同意民航使用，僅 CT 空域同意機會較高，其餘於日間同意之機會仍低。建議未來仍需持續洽商軍方，訂定更為靈活之協調使用共識或協議，俾有效提升本區空域運用效益。

(三)、本區數位塔臺技術的應用

如同前述心得所述，數位塔臺目前的發展可以運用在：(1)強化實體塔臺在低能見度管制、航機辨識、彌補視野死角之功能。(2)集中數個低航行量機場之管制作業集中由 1 個遠端塔臺管制。(3)用地受限無法興建實體塔臺而以數位塔臺取代。爰建議本區應用可考慮如下：

1. 桃園國際機場塔臺及未來第二塔臺可運用數位塔臺技術，借助高解析度攝影機及圖像辨識軟體，強化實體塔臺在低能見度管制、航機辨識及彌補視野死角之功能，提升飛航安全。
2. 松山、高雄等中航行量飛航國際航班之機場塔臺，考量無法架設實體備援塔臺，未來如經費及建築空間許可，可評估架設數位塔臺作為備援功能，提升服務韌性。
3. 綠島、蘭嶼、七美、望安等低航行量塔臺，可考慮建置遠端塔臺統一提供塔臺服務，惟離島地區之網路頻寬、網路穩定性及電力穩定性等基礎設施條件能否滿足，以及相關設備維護之人力與即時性，需先審慎評估是否具可行性。

(四)、新一代航管系統建議考量作業效益及技術成熟度納入前揭功能需求

我國飛航管理系統自民國 96 年設計建置，民國 100 年啟用，使用迄今已逾 13 年，其中雖於 111 年 7 月 13 日完成硬體及部分軟體功能升級，然而面對未來航空環境及技術的變遷，後續能夠進行功能變更及提升之空間有限。以本次研究主題 TBS 為例，目前我國使用之 Thales EuroCat X 飛航管理系統恐已無新增功能之可能性。且未來預期航行量成長及對空域及跑道運作效益提升之要求，以及未來作業的複雜度，若無輔以系統之導引或介入以提供管制員必要的協助，管制員將難以應對。再以 TBS 之應用為例，未來每對航機間需要多少機尾亂流隔離對管制員來說應該已經是不需思考而是跟隨系統給予訊息的直覺動作，隨著分類越細，隔離標準越多，管制員將無暇熟記，而需將這些交給系統處理後給出標記，讓自己專注於引導航機跟隨系統提供之標記飛行。目前飛航服務總臺正值進行本區下一代航管系統之規劃，不論是流量管理系統、到場管理、甚或離場管理、TBS、空域管理工具及數位塔臺技術，建議可經後續作業需求評估後，擇具效益且技術發展成熟度高之項目納入新一代航管系統功能規格；並且設計時均應考量由系統負責複雜運算之過程，並給予管制員直覺性的建議結果，善用電腦資訊技術及人工智慧的發展。這些建議或許部分都還有待相關技術的持續發展，但相信可用技術的實現應該也不會太遠，由本次了解 NATS 運用 TBS 之發展及歐洲發展數位塔臺之進度可見一斑。因此，在新一代航管系統規劃建置期間，持續藉由派送人員出國，瞭解國外相關技術新知與做法，實有其必要性。

(五)、彈性航管人員訓練期程

在與英國、荷蘭、比利時官員談及訓練議題時發現，此三個國家的管制人員訓練期程皆比本區長且皆非齊頭式的平等，而是可以在一定時

間範圍內做彈性調整。反思本區的訓練規劃，因受限於國家考試之公平性，同一梯次報到的訓練學員必須於同一期程內完成訓練並通過考核始完成考試程序取得公務人員資格並成為飛航管制員，然有部分學習曲線較平緩但有持續進步的學員，仍因無法於訓練期限內達到標準而遭廢止受訓資格。建議在兼顧國家考試的公平性下，持續與考選部溝通航管人員的訓練期程是否可有適度彈性調整之可行性，俾協助更多不同學習曲線的學員都能取得並具備適當專業能力，有效運用訓練資源。

三、結語

在容量飽和機場的進場階段運用 TBS 確可有效提升跑道容量，而在機場端環境可配合後，欲應用 TBS 還需修訂法規、訓練管制員、改變管制員的習慣、對受影響單位宣導，更重要的是人機介面的整合。制度的改變、相關法規的修改及航管系統的介面支援皆需時間的醞釀，雖然目前本區距應用 TBS 仍有一段距離，尤其航管系統面的限制在短期內不易克服，但在此之前我們還有其他許多可努力的空間，例如優先啟用新流量管理系統、落實到場管理工具之運用、改善機場場面配置環境及停機位安排等配套工作可以先行推動。此次至英國研究 TBS 專案希望能帶回歐洲應用 TBS 時需要的軟硬體配套及訓練等相關資訊作本區未來進場作業的參考，待時機成熟及軟硬體到位時，希冀本區能向 NATS 看齊，提供更優質的航管服務與品質，不僅維持本區作為亞太地區樞紐角色，節省飛航於本區的航班燃油及時間成本，更為保護我們賴以生存的地球環境得以永續盡一份心力。

捌、參考資料

1. WHY HOLDING STACKS IS SO IMPORTANT TO THE BUSIEST AIRPORTS, Aviation Services
2. Arrival Manager Implementation Guidelines and Lessons Learned, EUROCONTROL
3. EUROCONTROL Guidelines on TimeBased Separation (TBS) for Final Approach, EUROCONTROL
4. EUROCONTROL's Maastricht UAC and NATS start operating cross-border arrival management (XMAN) for London Gatwick Airport, EUROCONTROL
5. EUROCONTROL Specification for Time Based Separation (TBS) support tool for Final Approach, EUROCONTROL
6. RECAT-EU, EUROCONTROL
7. 98-70-18 PATs Project Final Report Volume 2 Arrival Manager, 99-70-01 Volume 4 of PD/3 Final Report - NLR PHARE Demonstration 3 Final Report, EUROCONTROL
8. London Heathrow to use new generation A-SMGCS from Indra, Indra
9. Runway Occupancy Time Constraint and Runway Throughput Estimation under Reduced Arrival Wake Separation Rules, Junqi Hu, Navid Mirmohammadsadeghi
10. Time-based separation at Heathrow: Optimised airport resilience and reducing delays, Leidos
11. LVNL CREW BRIEFING introduction RECAT-EU & TBS, LVNL
12. Arrival Management Streaming for Optimised use of Systemised Airspace, Opportunities for Arrival Management to Reduce Airborne Holding Times, Pairwise Separation including Runway Occupancy (ROT) elements and impact on Minimum Radar Separation(MRS), NATS

13. Enhanced Time Based Separation for Heathrow Arrivals & RECAT EU for Arrivals and Departures, NATS
14. Arrival Management (AMAN) and Point Merge, SESAR
15. SESAR Solution 02-08 SPRINTROP/OSED for V3 - Part I, SESAR
16. PJ.02-01-01 “Optimised Runway Delivery on Final Approach” (V3) Description Form for Deployment Planning, SESAR
17. CAP 493: Manual of Air Traffic Services (MATS) Part 1, UK CAA
18. London Heathrow (EGLL) vMATS Part 2 2023/13, VATSIM UK
19. AIS Publications, LVNL
20. AIP, NATS
21. Heathrow airport company official website
22. Schiphol airport company official website