

二、文獻回顧

2.1 儀器飛航程序

「儀器飛航」指遵循儀器飛航規則之飛航[1]，為航空器駕駛員依照機載儀器及導航設施指示之飛航，「儀器飛航程序」則為飛航主管機關依照相關規範，仰賴導航設施功能所設計具有順序性之預設飛航程序與航線[4]，可以不受大部分天氣限制，藉助適當導航設備引導航機保持與地面障礙物或其它航機之隔離。其中導航設備包含無方向性電台（NDB, None-directional Radio Beacon）、多向導航台（VOR, VHF Omn-directional Range）、儀器降落系統（ILS, Instrument Landing System）、雷達（Radar）、慣性導航系統（INS, Inertial Navigation System）及全球衛星定位系統（GPS, Global Positioning System）等。[2][3]

儀器飛航程序依飛行階段區分，包含下列四種程序，以構成航空器自起飛機場飛航至目的地機場之飛行路線：[2][3][4]

- (1) 標準儀器離場（SID, Standard Instrument Departure）：參考導航設施功能所設計頒佈的飛航航線，以提供自起飛機場至航路之轉換程序。
- (2) 航路（Airway）：通道式之管制區域，主要以無線電導航設施之連結而訂定。
- (3) 標準終端到場（STAR, Standard Terminal Arrival）：參考導航設施功能所設計頒佈的飛航航線，以提供自航路至終端區域內之儀器到場定位點之過渡程序。
- (4) 儀器進場程序（IAP, Instrument Approach Procedure）：最終進場定位點至落地或至目視機場之一系列預設飛航程序，如 ILS 進場程序，NDB 進場程序等。

儀器飛航程序依導航特性區分，可分為下列兩種類型：[2][3][4]

- (1) 傳統導航設施程序：無方向性電台（NDB）、多向導航台（VOR）、儀器降落系統（ILS）等傳統電台無線電信號所設計之程序，其飛航航線之構成係接收直線發射之無線電信號，或以距該電台特定距離之圓弧（ARC）來飛行。此等程序受導航電台無線電特性之限制，不易大幅更改或調整。
- (2) 區域航行（RNAV, Area Navigation）程序：利用慣性導航系統（INS）

或全球衛星定位系統 (GPS) 等機載導航裝備所設計之程序，此等程序不受地面導航設施限制，為點對點 (Point to Point) 飛行，調整程序結構容易，為未來儀器飛航程序之設計趨勢。

不論是標準儀器離場、航路、標準終端到場或儀器進場程序，皆可採用傳統導航設施程序方式或區域航行程序方式來構建，其中又以區域航行程序較易調整，只要航機滿足相關儀器裝備之要求。本研究針對終端到場部份進行規劃，並以區域航行程序之概念進行探討。

2.2 飛航軌跡之研究

俗諺有云：「凡走過必留下痕跡」。飛航軌跡乃為航空器在飛行過程中之各種變化，受地面雷達、GPS 系統或飛行記錄器所留存之資料，內容簡如一般之四度空間座標，多至航機速度、航向、操作參數等，其充份描述航機之航行過程，因此研究價值極高。

由最基本的三度空間觀點視之，Mayer[7]依航機高度之不同，區分十種飛行的階段，其中每一階段除起飛與落地外，每一階段中航機的加減速及垂直速率等參數基本上是屬線性變化。

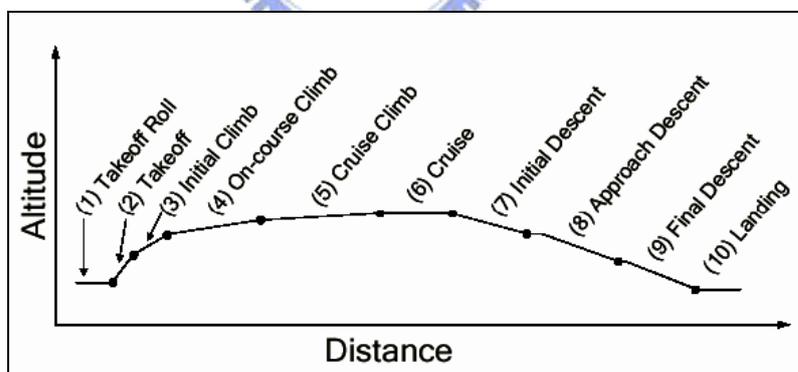


圖 2 飛行階段圖[7]

Hagelauer[8]等以動態規劃方法分析航機最佳的垂直飛航軌跡，以探討航機飛航時面對儀器飛航程序及飛航管制人員所訂定或頒發的高度限制對油料耗損之影響。

Jung&Isaacson[9]針對 2003 年美國 Dallas/Fort Worth (DFW) 機場共 4240 架次的離場航機垂直飛航軌跡進行分析，研究每一機型的爬升下降率平均值與標準差，並與軌跡合成器所產生的飛航軌跡作比對，發現其

中仍有差異存在，主要的差異為不易精準預測航空器實際重量、航空器動力差異（同機種不同引擎型號）、大氣氣候、航空公司政策、駕駛員與航管人員的互動等，皆是重要的影響因素。

Wijnen[10]及 Visser[11]等則以荷蘭阿姆斯特丹機場為個案研究對象，運用 INM (Integrated Noise Model) 模式，進行離場航機飛航軌跡對鄰近地區噪音的影響，結論為適度的調整儀器離場程序的水平飛航軌跡或垂直飛航軌跡，可以降低航機噪音對機場鄰近地區的衝擊。

從文獻可以得知，已有研究針對航機軌跡之變化進行探討，並運用於改善航道噪音衝擊或是減少油耗之最佳飛航軌跡及離到場程序分析，除此之外，軌跡資料並具有四度空間位置之分析價值，以供航機衝突管理分析。[5]

2.3 到場程序設計

目前全世界儀器飛航程序的設計規範共分兩大體系，一為美國聯邦航空總署 (FAA, Federal Aviation Administration) 所頒佈之 Order 8260. 3B 終端儀航程序 (TERPS, Terminal Instrument Procedures)，另一體系為國際民航組織所發佈之 Doc. 8168 空中導航服務程序第二冊 - 目視及儀器飛航程序製作 (PANS-OP, Procedures for Air Navigation - Aircraft Operation - Construction of Visual and Instrument Flight Procedures)。兩種程序之主要不同點在國際民航組織的規範對航空器採較嚴苛的保護。[4]

國際民航組織發佈之 Doc. 8168 PAN-OP[6] 主要針對程序路線與地面障礙物間之安全隔離、直線及轉彎路線水平面之保護範圍等提供設計之參數及限制，除針對傳統離到場程序之幾何設計有所規範外，也有針對區域航行程序訂定規章。本研究有關之內容整理如下：

- (1) 儀器到場程序設計有五個階段，分為到場 (Arrival)、初始進場 (Initial)、中繼進場 (Intermediate)、最終進場 (Final)、誤失進場 (Missed) 等五個路線如圖 3，其中到場階段即為前述之標準終端到場 (STAR)，其它四階段為前述之儀器進場程序 (IAP)。本研究為僅針對到場部份之研究。
- (2) 到場程序應於一般情形下提供路線引導、最佳及最大下降坡度，以保持與地障間之安全隔離，如圖 4 所示之 MOC 值因所在位置不同而有不同的計算方式。本研究之到場範圍多位處海面之上，並無地面障礙或

禁航區等問題，因此本研究僅需考量最佳下降坡度值以 3° 為佳， 3.5° 為最大值。

- (3) 區域航行之水平隔離因所處階段不同而有不同的要求，以 GNSS (Global Navigation Satellite System) 為主之到場航路之初始進場點距離機場 30 哩外之半寬 (Semi-width) 為 8 哩，30 哩之內則為 5 哩之隔離。圖 4 所示之 Total width 為航路全寬。
- (4) 機型之不同會影響到場時的要求，尤以速度為主要因素。依各機型失速臨界值乘以一參數 (1.3) 後可將固定翼機型分為五類以供程序建立之參考。此部份主要與最終進場及誤失進場之設計有關。
- (5) 訂定到場之標準終端到場 (STAR)，其目的為接續航路至初始進場定位點之程序，可基於機場流量並有利於管制之前提進行設計。程序路線之定位點應明白定義，且應可受多數類型之機型所使用為佳，並使航機自主遵循航行而不需額外的引導，同時允許制定速度及高度之限制。

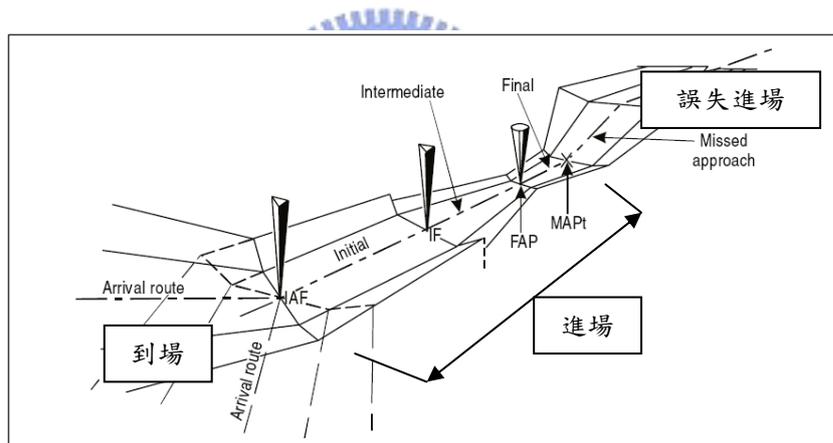


圖 3 到場/進場程序示意圖[6]

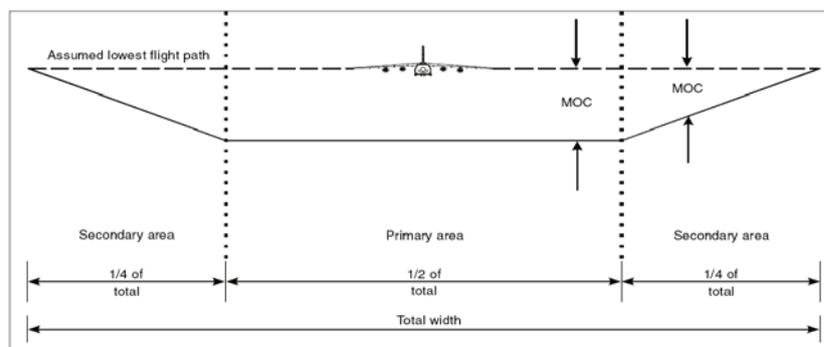


圖 4 程序航路垂直及水平隔離剖面圖[6]

到場程序設計之相關研究多針對減噪程序為目標，如 Warren [12]提出以連續下降進場 (CDA, Continuous Descent Approach) 之方式來規劃減噪到場程序，並規劃短、中、長期階段之計畫，以改善新一代航機之飛行管理系統 (FMS, Flight Management System) 及航管自動化系統為主要目標。其中「連續下降進場」之核心定義為：藉由最小引擎推力之操作許可下，航機以最適曲線下降高度，並縮短下降距離及時間，其過程因降低引擎使用量而達到減少噪音的效果，同時因縮短下降距離而減低噪音對地面地區之影響範圍。

Clarke[13]等則與美國優比速快遞公司 (UPS) 及美國波音公司 (Boeing) 合作，於 Louisville International Airport 進行連續下降進場設計及實測，運用麻省理工學院 (MIT, Massachusetts Institute of Technology) 研發之 NOISIM (Noise Simulator) 為分析骨幹，依機場各項限制及操作因素規劃出一套到場程序，進行實測並再以 INM 模式驗證其效果。其結論顯示，駕駛反應及航管人員指示之變異程度會影響連續下降進場軌跡之準確性，並建議應針對減低航管人員影響程度及設計航管自動化做進一步探討。

Visser[14]等則以到場航機下降航道噪音為改善目標，提出調整儀器到場程序之方式，以找出最佳連續下降進場方式以降低引擎推力並減少噪音量，並推估可能的三度空間飛航軌跡。

Davison Reynolds[15]針對航管人員人為因素對連續下降進場程序之影響進行分析後，察覺航管人員因存有程序操作上的壓力及工作負荷限制，會干預減噪程序之達成效果。Kershaw[16]等針對航管人員下達指示與連續下降進場成功率之關係進行研究，結論得知航管人員進行減噪指示下達時間點的早晚，明顯影響了連續下降進場程序的顯著成功率高低。Anderson[17]運用 737 訓練模擬器實測所設計出之連續下降進場連續進場設計，發覺受限於航機飛行管理系統之現行設計，要準確的執行全天候連續下降進場程序有其困難度，僅能以駕駛操作的方式來滿足 CDA 下降之要求，因此建議未來應將 CDA 程序之操作參數納入飛行管理系統，並強化及整合相關數據顯示之功能以利駕駛精確監控 CDA 下降過程符合要求。

改善到場程序並非只有降低噪音之考量，如 Ren[18][19]等提出如何規劃出一套減低噪音的到場程序卻又不必犧牲到場航機的流量及機場空域的容量，其認為若能準確得知航機未來的軌跡則更能改善空域容量。Callantine[20]則發展即時模擬模式，借由模擬預測出終端管制區域之航

機移動，以期能輔助不同航路航機隔離及排序進場之決策。

由文獻可以得知，研究多以改善航線噪音問題[12][14]或是考量終端空域之航機排序及隔離決策[18][20]為研究目標，以修正到場程序為主要的改善手段，並分析其產生之航機軌跡。因此藉由修正到場程序或是分析航機軌跡後提出改善之飛航路線以滿足預設目標（如減噪或航機排程），為可行之研究方向。另一方面，有部份修正之到場程序並無法直接得到最佳的改善效果，原因可能是航管指示問題[15][16]或是航機設備限制[17]導致新的到場程序效果大打折扣。

