

台北飛航情報區空域模擬模式之建立¹

A SIMULATION MODEL OF TAIPEI FLIGHT INFORMATION REGION AIRSPACE SYSTEM

戴佐敏 Melody D. M. Dai²

張淳智 Cheng-Chih Chang³

張仁達 Jen-Ta Chang⁴

劉仲祥 Jong-Shyang Liou⁵

(91 年 7 月 30 日收稿，91 年 11 月 8 日第一次修改，91 年 12 月 20 日
第二次修改，93 年 4 月 1 日定稿)

摘 要

本研究之目的在於建立一適合台灣地區之空域模擬模式。本研究針對國內民航空域進行系統分析，包括管制空域的席位分類、航空器特性、航空器隔離、航空器速度調整、匯入航路的優先順序、雷達引導、高度隔離與飛航空層等，並參考國內及國外已發展之空域模擬模式，以建立模式架構及邏輯。本模式以節點與節線組成空域路網，此路網為三度空間，亦即包含了空層的屬性。此外，節點有最小等候時間、容量、等候策略、抵達節點次序等屬性；節線連結節點，

-
1. 本研究為交通部委託計畫「台北飛航情報區模擬模式之建立(二)－模擬程式之建立與應用」。感謝交通部科技顧問室於經費上所給予之支持，以及諸位審查委員所不吝給予之寶貴意見。此外亦感謝民航局、飛航服務總台、區管中心、各近場管制塔台及機場塔台在研究期間所給予之協助、建議與鼓勵。
 2. 國立成功大學交通管理科學研究所副教授(聯絡地址：701 台南市大學路 1 號成功大學交通管理科學研究所；電話：06-2757575 轉 53239)。
 3. 台中技術學院流動管理系副教授。
 4. 國立成功大學交通管理科學研究所碩士。
 5. 國立成功大學交通管理科學研究所博士候選人。

具有速率限制、飛航空層限制、容量限制、雷達引導時間、是否允許超越前機等屬性。為確定本模式能適當表達台北飛航情報區之運作特性，本研究亦實際蒐集資料進行驗證。本研究以國內飛航系統分析紀錄磁帶之資料所做之模式輸入，並選用航機飛行時間與匯入節點的航機到達時間間距作為驗證指標，由平均值檢定及一致性檢定之結果，顯示本模式可適切反映實際之航機運作情況。因此本模式可以作為研究空域及探討流量管制的基礎。

關鍵詞：空域模擬；航路；飛航情報區

ABSTRACT

This study develops a microscopic airspace simulation model while accommodating the characteristics of Taipei Flight Information Region (Taipei FIR). The factors taken into account in this model include sectors, aircraft characteristics, separation requirements, flight speed restrictions, en route flight rules, vectoring, and flight levels. This model is developed based on ANS, while taking into account the logic of SIMMOD. The network employed in this model is composed of nodes and links and could accommodate three-dimensional operations. The parameters for each node include flight levels, separation requirements, holding pattern characteristics, arrival and holding rules. Also, the parameters for each link include flight levels, speed restrictions for various aircraft, capacity, passing rules and vectoring time.

A comprehensive model validation is conducted in this study. The validation criteria include inter-arrival time and flight time. For each criterion, both the average and the distribution are examined. The results indicate that the model can simulate the operation of Taipei FIR quite well. With some enhancements this model can be applied to the area of real time air traffic management.

Key Words: Airspace simulation; En route flights; Taipei FIR

一、前言

由於國內航空交通量的成長，以及民航機場林立，大量的航機飛航於有限的空域，造成國內飛航空域擁擠、航空交通管制不易。因此，研究空中交通瓶頸、分析容量及探討改善策略確有需要。為了進行空域航機運作的模擬，必須有一適當的分析工具，目前國外發展的套裝軟體雖可提供模擬的環境，然而沒有提供原始程式碼，僅能輸出有限的模擬結果資訊，無法針對個別研究所需去彈性地增加新功能、進行擴充應用。因此，建立一套適合國內研究所需之空域模擬模式確有必要。

本研究針對國內民航空域進行系統分析，參考國內及國外已發展之空域模擬模式，建立空域模擬架構，並實際蒐集資料進行驗證，以建立一適合台灣地區之空域模擬模式。此外本研究在發展模式的過程中尚保留擴充之彈性，故此研究除提供一空域模擬模式外，未

來可針對流量管制策略等議題進一步發展模式。

本文以下分為五節，第二節探討空域模擬模式相關之研究；第三節進行台北飛航情報區內民航使用之空域進行分析；第四節說明模式構建與模式邏輯；第五節為模式驗證與分析結果；最後為結論與建議。

二、文獻回顧

有關空域模擬模式依研究範圍及功能程度可分為以下數種類型：

- (一) 機場空域巨觀分析模式，如 SDAT。
- (二) 機場空域及空邊中觀模擬模式，如 TMAC 及 FLOWSIM。
- (三) 機場空域及空邊微觀模擬模式，如 TAAM 及 SIMMOD 及國內自行發展之 ANS 模式。

SDAT (sector design analysis tool)^[1] 是由 FAA 所發展的分析模式，用來評估空域及航路。此模式允許使用者選擇、改變或新增資料至現有之空域及交通資料內。TMAC^[1] 模式使用飛機航班、航線資料及航管策略來決定機場空域之衝突及延滯。此模式亦可模擬航機於雷達定位系統操作下之不確定性，來反映塔台航管控制上之真實狀況，但此模式僅能於 MITRE 內使用，外界無法獲得。FLOWSIM^[1] 模式主要模擬兩機場間因機場容量限制所造成的延滯，此模式利用航班資料及機場容量模式 (airport capacity models) 來決定航班之延滯時間。此模式並無法模擬空域中實際航機交通管制之方法。TAAM (total airspace and airport modeller)^[1] 為模擬機場空域及空邊之一套完整程式。本模式可模擬由起飛登機門至降落登機門整個飛行之過程，為現有模擬模式中最為詳細者。SIMMOD^[1,2] 為一隨機、事件掃描模擬模式，可分析機場及空域整體系統之運作，並提供多種功能與彈性。惟其所需輸入之資料量相當龐大，故在資料蒐集與輸入需要花費相當多的人力與時間。ANS^[3] 模式為終端管制區域模擬模式，具有模擬由起飛機場停機坪至降落機場停機坪之飛航過程的功能，亦為一事件掃描、微觀之模擬模式，所有事件之處理，均以事件排程表 (event schedule list) 為依據。

上述之模擬模式以 SDAT 所需輸入之資料最少，且模式所需執行時間亦最少，然僅提供總計資料，無法進行細部分析。FLOWSIM 則可反映機場內延滯時間，但無法模擬空域中航管之方法。TAAM 和 SIMMOD 則可得到地面延滯、地面旅行時間、空中延滯、空中旅行時間、跑道需求、起飛流率、登機門使用率、到達流率等詳細之資料，故可提供使用者進行各項分析，其功能亦最為強大。TAAM 及 SIMMOD 二模式係國外長時期發展，具多功能之模擬模式，然上述模式均針對當地之特性加以發展，且其原始程式碼不易取得。國內的飛航系統與國外實有相當大的差異，國外的空域較為廣闊，而國內則是空域狹小、機場林立，並因國防需要而有軍機運作，因此運作的特性實不相同。

在台灣地區共計 12 條國際航路、4 條國內航路、7 個終端管制區域、24 個機場及 22 個限航區，航空設施十分密集，造成航路與各種標準離到場程序間關係錯綜複雜，因此航

管上須考量較多的因素，例如離到場航機的飛行路徑是否相衝突，相鄰機場的航機運作是否會相互干擾等。此外國內因國防需求，24 個機場中，計有 7 個軍用機場、11 個軍民合用機場以及 6 個民用機場，因此在 11 個軍民合用機場內，當軍機進行訓練與值勤時，對民航機的運作會產生影響，此外當軍機值勤時，若需穿越民用航路，部分空域亦將限制使用。因國外並沒有上述特殊的運作特性，因此在模式的發展上亦沒有對此加以探討，故無法對不同機場運作的關係以及軍機對民航機的影響進行分析。

ANS 模式為國內首次自行發展之模擬模式，然因為一初步研究，其研究範圍以終端管制區域為主，因此在航路上之處理較為簡單，僅以一節線連接兩個終端管制區域，此節線即為航路。在航機推進處理方式，係依據各機型於各節線推進所需之時間，求得到達下一節點之時刻，因此須事先蒐集各類機型於各節線上運作之時間，分析以求得其統計分布，以適當表現真實運作狀況。

考量未來空域之規劃、管理、使用將為民航運輸發展之瓶頸，除 ANS 模式外，國內實有必要繼續建立在空域模擬方面研發能量及技術，並將國內特殊的運作特性加以探討，以因應未來航空運輸之發展，提供一適當的分析工具。

三、空域系統特性分析

本章節針對台北飛航情報區內民航使用之空域作現況分析，作為空域路網與模擬模式構建之參考。

3.1 航機特性

本研究依據國內飛航管制程序 (ATP) 手冊^[4]並分析飛航系統分析紀錄磁帶 (SAR Tape) 的航機飛航速度，將航機分為三種類型。

1. 重型，航空器起飛重量在 300,000 磅 (含) 以上者。
2. 大型，航空器之最大起飛重量介於 12,500 磅至 300,000 磅者。
3. 輕型或小型，航空器之最大起飛重量在 12,500 磅 (含) 以下者。

國內各航機分類如表 1。

3.2 管制空域

依據飛航管制單位的作業範圍劃分^[4,5]，台北飛航情報區主要包括有機場管制地帶、終端管制區域及航路管制區域等三部分。一般而言，航機所經過的管制空域依序為起飛機場的機場管制地帶、起飛機場所屬的終端管制區域、航路管制區域、目的機場所屬的終端管制區域、目的機場的機場管制地帶。在機場管制地帶與終端管制區域中，航機飛航於數條標準的離到場路徑，而在航路管制區域中，則沿著劃定的航路飛航。這些標準的離到場

路徑與航路均有特定、可供參考的導航台。各管制單位並配置有席位，以導航台作為管制範圍的參考。

表 1 國內航機分類表

機 型	航 機
重型	A300、A330、A340、B747、B767、B777、DC8、DC10、L1011、MD11
大型	A310、A320、A321、B727、B737、B757、B738、MD80、MD82、MD83、MD90
輕型或小型	ATR72、B12、BAe146、DO228、DH8、DH3、DH2、FK50、FK100、SAAB340

3.3 飛航管制作業

航機由機場起飛，進入航路至抵達目的機場均需接受航管單位的管制，因此航管作業對於航機的飛航行為有重大影響。

(一) 航空器隔離

依據 ATP 之規定，採用雷達隔離且距雷達天線小於 40 浬時，航空器隔離之最低標準為 3 浬。另外，依據機尾亂流程序規定，產生機尾亂流之航空器與可能受到機尾亂流影響之航空器間應加大最低隔離。最後，本研究即以 ATP 所規定的航路上適用之最低隔離標準及機場終端起降時之最低隔離標準作為模式構建的參考數據。

(二) 航空器速度調整

依據 ATP 之規定，管制員應盡量少用速度調整去取得航空器所需之隔離。當運用速度調整時，應運用下列技巧之一：

1. 先對後一航空器減速
2. 先對前一航空器加速

並且，不可對於正在等待航線的航空器指定調整速度。

(三) 匯入航路的優先順序

依據訪談結果，當兩航機同時進入交管範圍並且加入相同航線時，以先到先服務的原則安排航機優先順序。此外，為了達到作業效益及隔離，管制員可視情況令速度較快的航機超越、後機雷達引導、空中等候等方式建立優先順序。

(四) 雷達引導 (vector)

所謂雷達引導，是為了隔離、安全、噪音管制、作業效益或駕駛員請求，而於管制空域內引導航空器。空域中的航路雷達附加管制空域係用於雷達引導，在航路的邊緣向左(右或兩邊)伸展 15 浬，連同原航路寬約有 25 至 40 浬。航機接受管制員引導於空域中曲折繞行。

(五) 高度隔離與飛航空層

為建立高度隔離，航路中的航機通常依據機型、起迄機場與飛航方向指定飛航空層。以 W4 南下之航線為例，台北至高雄航線慣用 240 飛航空層、220 飛航空層與 200 飛航空層。

四、模式構建

4.1 空域路網結構

節點與節線為空域的基本組成單位，可組成的空域路網包括飛航路徑及席位，如圖 1。節點控制航機是否續進，當航機無法續進至下一航路節線時，航機在節點進行空中等候。此路網為三度空間，亦即包含了空層的屬性。此外，節點有最小等候時間、容量、等候策略、抵達節點次序等屬性。其中最小等候時間為航機若有空中等候時，在等候區域至少需停留之時間。此一時間主要反映航機於等候區域進行空中等候，採環形等候路徑繞行一圈的時間。不同等候區域的等候路徑不盡相同，其飛行空層、範圍以及航向皆有規定，故其最小等候時間亦有所不同。

節線連結節點，具有速率限制、飛航空層限制、容量限制、雷達引導時間、是否允許超越前機等屬性。由節點、節線組成的航路可包含數個空層，在建立空域路網時較簡易，不需每一個飛航空層都建立一條節點與節線。席位由數個節點節線所構成，如圖 2 有兩個席位，席位內各節點節線上的航機數目之和，即為該席位的總管制航機數，席位的最大容許管制航機數，稱為席位容量。當航機由任一席位飛航至另一席位前，必須確定該席位的總航機數仍在容量限制之內，否則航機就必須進行空中等候。

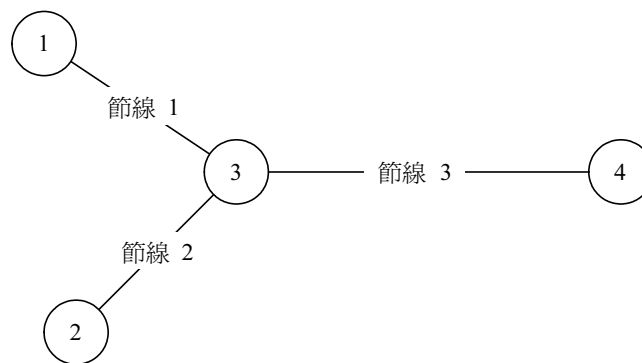


圖 1 節點與節線示意圖

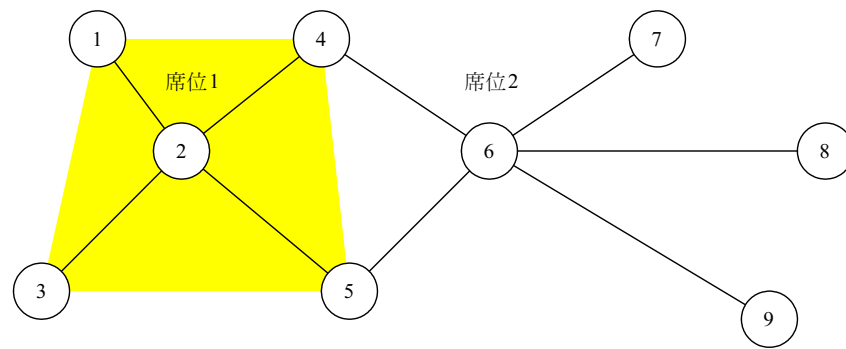


圖 2 席位示意圖

4.2 簡化空邊邏輯

本研究以簡化方式模擬空邊運作，包括跑道端的起飛等候點、占用跑道的時間與離到場航機隔離等運作。

簡化空邊航機推進邏輯如下：

- (一) 航機依據班表產生在跑道起飛等候點。
- (二) 當航機離場事件發生時，檢查跑道之前一離到航機的隔離是否足夠，再檢查是否會影響空域航機進場。空域進場航機具有使用跑道的優先權。最後檢查空域航機數是否在容量範圍內。
- (三) 當一切檢查無誤，離場航機開始占用跑道，並續進至空域節點。否則就必須在地面上等候。
- (四) 到場航機在最後進場點之前，先判斷跑道是否閒置。若是閒置則續進至最後進場點開始降落。否則就必須在空中進行等候。
- (五) 到場航機降落至脫離跑道後，從跑道節點移除，結束模擬。

4.3 空域邏輯

航機於空域部分之模擬主要由空域節點控制模組負責處理航機之推進，若有必要進行調整航機前後隔離、加速、減速、排序、空中等候、超機等各種策略時，則再呼叫其他副程式處理：

(一) 空域航機推進邏輯

航機脫離跑道後即進入空域路網上的節點，其推進邏輯如下：

1. 航機循飛航路徑，由空域節點續進至下一空域節點，一直到達飛航路徑的最後一個空域節點（例如落地）後結束。
2. 航路節線上之飛航時間主要是以節線距離除以航機平均飛航速度計算而得，若前方

交通量擁擠，可以調整航機速度或以雷達引導方式改變航機之飛航時間，但這些方式均設有最大值的限制。

3. 航機與前後機之間需保持最小安全隔離。
4. 航機抵達任一空域節點時，由空域節點控制模組進行判斷，以決定是否續進至下一節點或空中等候。
5. 數架航機欲續進至同一節點，空中等候最久的航機有優先權。

(二) 空域節點控制邏輯

航機抵達空域節點時，產生抵達空域節點事件，執行空域節點控制模組。空域節點控制模組的主要目的在判斷航機是否可以續進至下一節點或需空中等候。若下述條件均符合，則航機獲得續進許可：

1. 航機所在節點無航機等候
2. 符合下一節點等候策略
3. 下一節線航機數未達容量
4. 下一席位管制量未達容量

獲得續進許可之後，計算航機在下一節點的預計抵達時間 (time of arrival, TOA)，並安排抵達次序。若與其他航機隔離不足，則調整航機速度；若無法續進，則需空中等候。

本研究之空域節點設計有兩種資料佇列 (queue) 用以模擬航機抵達節點與空中等候情形，分別是預計抵達佇列 (arrival queue) 與等候佇列 (holding queue)。航機由目前節點往下一節點續進時，其預計抵達時間存入下一節點的預計抵達佇列中，並以預計抵達時間進行排序。此外，模擬程式並記錄航機速度、安排抵達空域節點事件、更新節點預計抵達數量、更新席位管制架數與節線航機數。若航機需空中等候，則計算等候時間，存入等候佇列。

(三) 節點等候策略

航機抵達空域節點時，空域節點控制模組依據下一節點等候策略，判斷航機是否可以續進。節點等候策略有下列三種：

1. 目前節點有航機等候時，其他節點不得續進至目前節點。
2. 目前節點等候量已達容量時，其他節點不得續進至目前節點。
3. 目前節點等候量加上預計到達數超過容量時，其他節點不得續進至目前節點。

(四) 節點抵達次序之決定

航機獲得續進許可之後，本模式接著以節點抵達排序方式、預計抵達時間，決定航機抵達下一節點的排序位置，並確保航機之間有足夠時間隔離。若時間隔離足夠，即可執行續進模組並加入事件表，否則就必須調整航機速度以改變抵達時間，並再次排序、建立隔離。本研究提供三種節點抵達排序方式模擬航管在航路匯流時對航機的管制方式，包括先

到先服務 (QFIFO)、速度調整 (SpeedFit) 與多航機速度調整 (MultiFit)。

1. 先到先服務

為最先進入預計抵達佇列的航機必優先續進至下一節點，新到航機一律依序排在最後一個位置抵達。步驟依序如下：

- (1) 新到航機以正常速度飛航。
- (2) 新到航機減速飛航。
- (3) 新到航機減速並輔以雷達引導。
- (4) 新到航機空中等候。

2. 速度調整

在速度邏輯中，新到航機可以比前機提早抵達下一節點，不必只能排在最後一個位置，並且可調整新到航機速度以滿足隔離要求。首先，嘗試以一般速度下的預計抵達時間作為新到航機抵達次序；若無法滿足前後隔離要求時，則調高速度向前尋找可行位置；若調整到最高速度仍不行，則調低速度向後尋找可行位置，最後才考慮安排在最後一個位置。以下為速度調整的邏輯順序。

- (1) 考慮一般速度下的排序位置，新到航機是否與前後機有隔離

- ①嘗試以正常速度飛航。
- ②嘗試加速飛航。
- ③嘗試減速飛航。
- ④新到航機減速並輔以雷達引導。

- (2) 向前尋找可以安插的位置

- ①嘗試加速飛航。

- (3) 向後尋找可以安插的位置

- ①嘗試減速飛航。
- ②嘗試減速並輔以雷達引導。
- ③空中等候。

3. 多航機速度調整

多航機速度調整方式與速度調整相似，差別在於多航機速度調整可以進一步嘗試調整排序中的前後各一架航機的速度與抵達時間，使新到航機符合隔離要求而能安插於其中。多航機速度調整的步驟依序如下：

- (1) 考慮新到航機以正常速度飛航時的抵達次序，是否可行。首先，只調整新到航機的抵達時間：

- ①新到航機以正常速度安插。
- ②新到航機加速。
- ③新到航機減速。
- ④新到航機減速並輔以雷達引導。

其次，改變排序中的前後航機速度：

- ⑤前機加速、新到航機正常速度。
 - ⑥前機加速、新到航機減速。
 - ⑦後機減速或輔以雷達引導、新到航機正常速度。
 - ⑧後機減速或輔以雷達引導、新到航機加速。
 - ⑨前機加速、後機減速或輔以雷達引導、新到航機正常速度。
 - ⑩前機加速、後機減速或輔以雷達引導、新到航機減速或輔以雷達引導。
 - ⑪前機加速、後機減速或輔以雷達引導、新到航機加速。
- (2) 向前尋找可以安插的位置。重新認定前後機，例如排序往前一位時，上次排序中的前機改作後機。依據此一設定，嘗試下列調整。
- ①新到航機加速。
 - ②前機加速、新到航機加速。
 - ③後機減速或輔以雷達引導、新到航機加速。
 - ④前機加速、後機減速或輔以雷達引導、新到航機加速。
- (3) 向後尋找可以安插的位置。重新認定前後機，例如排序往後一位時，上次排序中的後機改作前機。依據此一設定，嘗試下列調整。

首先，只調整新到航機的抵達時間

- ①新到航機減速。
- ②新到航機減速並輔以雷達引導。
- ③新到航機空中等候。

其次，改變排序中的前後航機速度：

- ④前機加速、新到航機減速並輔以雷達引導或空中等候。
- ⑤後機減速或輔以雷達引導、新到航機減速並輔以雷達引導或空中等候。
- ⑥前機加速、後機減速或輔以雷達引導、新到航機減速並輔以雷達引導或空中等候。

使用者可依據空域實際狀況，於空域節點資料檔中分別對各節點選用適當之管制方式作為模式輸入值。事實上管制方式將依所在位置特性而有所不同，一般而言，在終端管制區域內接近最後進場點的空域，由於航機於此已開始準備進場，速度與高度開始降低，因此航機飛行速度可調整的範圍較為有限，且航管人員需考量跑道使用順序的公平性，故一般採用先到先服務之方式。反之，航機於航路中飛行時，較可能對速度進行調整，因此「速度調整」及「多航機速度調整」的管制方式有較大實施彈性。

4.4 模式假設

本模式基本假設如下：

- (一) 假設航機於航路上的飛行軌跡為直線距離，不包括航機爬升與下降所額外產生的高度距離，也不包含航機飛行時略微左右來回偏航的額外距離。
- (二) 假設航機不會脫離所設定的節線而與其他節線航機有所干擾。
- (三) 假設同一類機型之屬性相同，且航機不受天候變化、飛行員個人操作等因素影響飛行時間與速度。

由於在正常運作的情況下，航機應平穩地航行在既定的航路上，因此航機不至於產生大幅度的爬升、下降抑或來回偏航的情形，故本研究假設飛行軌跡為直線距離。此外，在正常情況下，產生脫離既定航線而造成空中接近事件的機會亦不大，故有第二項假設。

對於航機飛行速度部分，事實上即使是同機型之航機，其性能未必完全相同，且依駕駛員操作的習慣，亦可能造成些微的差異。本研究蒐集飛航管制系統中之系統分析磁帶 (system analysis recorder tape, SAR tape)，分析實際航機運作之速度，結果發現航機之飛行速度與三種因素相關，包括機型、起迄機場、飛行節線。其中機型越大，其平均飛行速度較快；而相同等級之機型，於不同機場起降，有不同的飛行速度，一般而言，運作於航線距離較遠的航機有較快速度的趨勢，如表 2 所示；此外同一航機在飛航的階段亦有不同的飛行速度，通常在航路上的速度比在終端管制區域範圍內的速度快，因此本研究將航路分為多條節線線段，分別求出其速度值，並以航機的實際飛行速度機率分布 (empirical speed distribution)，作為模式輸入資料。

表 2 不同起迄機場之大型機於相同節線 (dalin-water) 上的飛行速度值

起飛機場	降落機場	平均速度 (海浬／小時)	樣本數
松山	高雄	400	1
		411	14
		450	21
		458	13
		480	7
松山	台南	250	1
		384	7
		432	11
		450	10
松山	嘉義	427	1
		442	2
中正	高雄	397	4

4.5 輸入資料

模擬模式所需輸入之資料可概分為路網資料、運作資料、其他資料三類，共計十四個

資料檔，其簡要說明如表 3 所示。

表 3 輸入資料檔

	資料檔	功 能 說 明
路網 資料	空邊路網資料檔	建立模式運作所需之路網資料。
	空域節點資料檔	各空域節點之等候策略、等候容量、節點屬性、及航機抵達排序策略。
	席位資料檔	定義席位名稱與各席位最大管制航機數量。
	空域節線資料檔	各空域節線之組成節點、長度、方向、所屬席位、空層限制、節線屬性、容量、是否可超越前機以及最大雷達引導時間。
運作 資料	路徑資料檔	由起飛機場至目的地機場之路徑名稱以及所經過的節點。
	路徑選擇資料檔	輸入航機由起飛機場至目的地機場所選擇的路徑名稱以及所經過的節點。
	航機空中隔離資料檔	針對所有航空器類型，依其機型種類建立不同之空中隔離。
	空層資料檔	各航空公司之機型於各航線飛航時使用該空層之比率。
	航機飛行速度資料檔	各起迄機場間使用機型經過某段空域節線飛行速度的機率值。
	航機飛行速度限制資料檔	建立各種機型之速度極大值與極小值，用以檢核模擬中航機速度改變時是否超過航機速度之極限。
其他	班表資料檔	各航空公司之班表資訊。
	航機分類資料檔	針對所有航空器，依其機型大小進行分類。
	航機屬性資料檔	各機型起飛及降落時所需之跑道長度。
	軍機事件資料檔	定義軍機事件發生之時間、節線及使用空層。

4.6 模式模組

本模式之系統主程式流程如圖 3，空邊共計五個模組及副程式，空域則有 12 個模組及副程式，另有一軍機活動模組。

本研究所建立之模式為微觀模擬模式，模式內的模組係考量實際運作的原則而建立，對於個別的終端管制區域或機場管制區之特性，則以資料輸入方式處理。模擬模式在模擬過程中，依循模組所定義之運作邏輯，並配合所輸入之資料，安排航機的推進、等候等活動，因此本模式可針對個別航機之運作進行細部模擬。

台北飛航情報區包含多個終端管制區域與機場管制區，且各管制區之運作特性不盡相同，本研究利用空邊路網資料檔將各機場、各終端管制區域之資料加以設定，此外另有席位資料檔、空域節線資料檔，可對不同席位之管制情形進行探討。因此當航機在機場內運作時，包含航機產生、起飛、降落等事件，皆由空邊模組處理；而當航機已起飛，進行飛行、空中等候等事件時，則由空域模組處理。而當有軍機活動時，則啟動軍機活動模組。

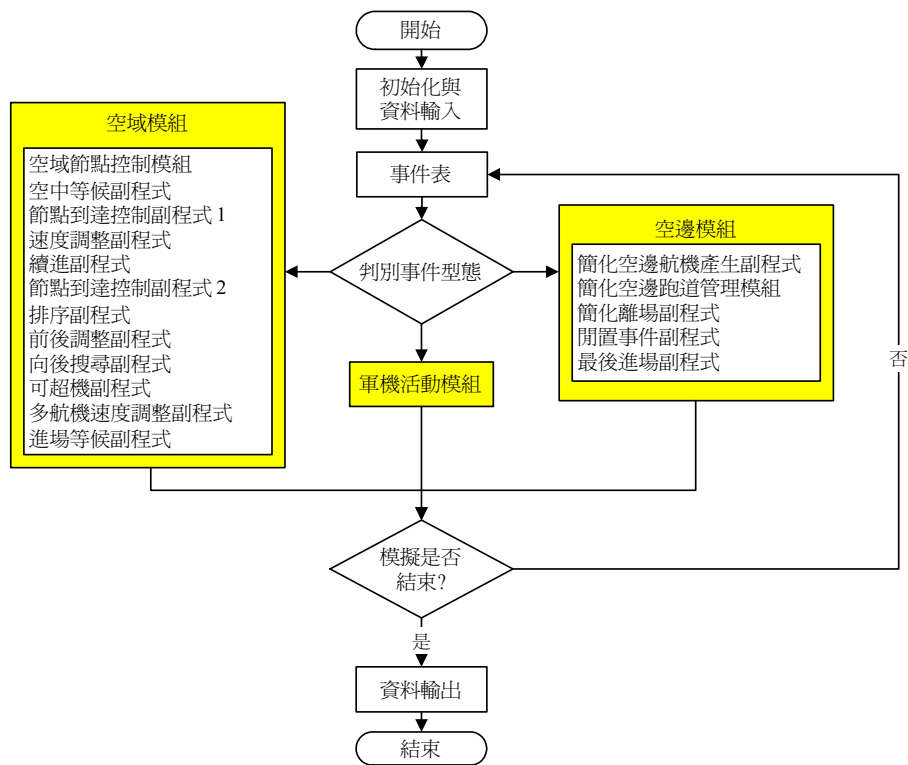


圖 3 系統主程式流程圖

(一) 空邊模組

1. 簡化空邊航機產生副程式

此一副程式在模擬開始之前，開啟空邊的班表檔案，讀取所有航機資料並產生在起飛等候點。當模擬時間推進到預計離場時間時，就產生離場事件，執行簡化離場副程式，如圖 4 所示。

2. 簡化空邊跑道管理模組

此一模組處理有關跑道占用或閒置的事件，依據航機的事件類型，交由對應的副程式處理，如圖 5 所示。

3. 簡化離場副程式

此一副程式在航機起飛前，先確定跑道目前閒置、與前機隔離足夠、不會影響其他航機進場落地，然後才移入跑道節點，否則就必須延遲離場。航機的下一事件是閒置事件，表示航機脫離後，跑道閒置，如圖 6。

4. 閒置事件副程式

此一副程式將航機自跑道節點移出、使跑道狀態標示為閒置，並決定下次使用跑道的事件優先順序，如圖 7。

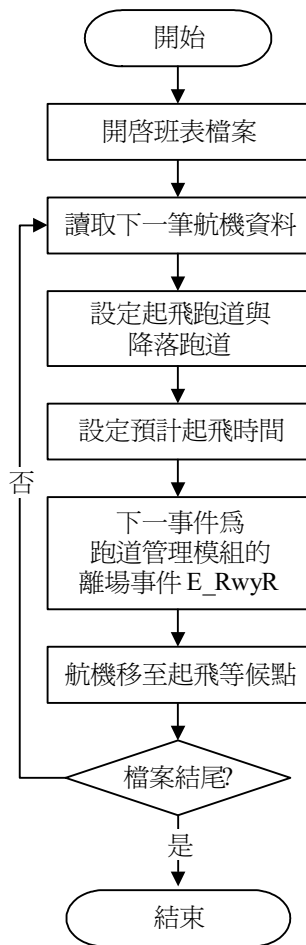


圖 4 簡化空邊航機產生副程式流程圖

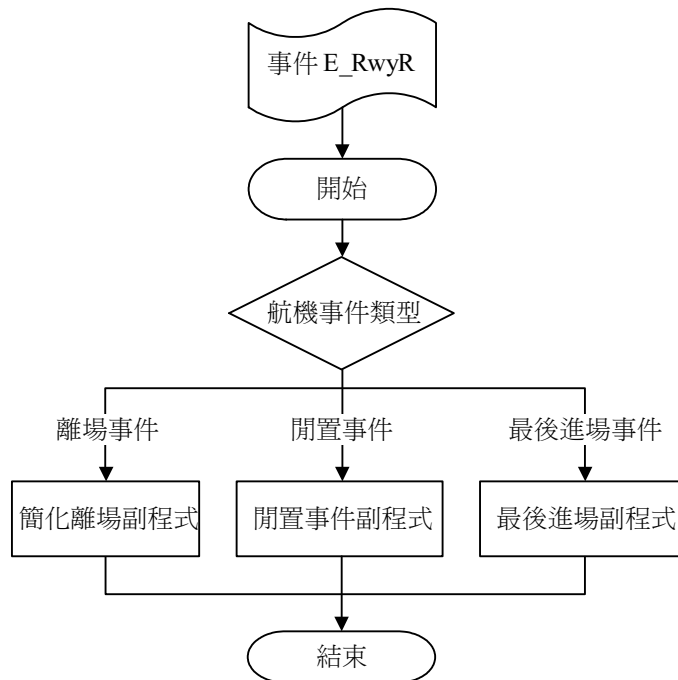


圖 5 簡化空邊跑道管理模組流程圖

5. 最後進場副程式

此一副程式將航機自最後進場點移出，並移入跑道節點。航機的下一事件是閒置事件，表示航機落地脫離後，跑道閒置，如圖 8。

(二) 空域模組

空域模組之運作即在於安排航機在空域中抵達各個節點的時間，其考量航機是否可續進、所需的飛行時間、是否與前後航機保持足夠的隔離、與其他航路之航機匯流或交織情況、是否允許超前等因素，進而做出一些管制策略。

空域部分共計十二個模組，包括：空域節點控制模組、空中等候副程式、節點到達控制副程式 1、速度調整副程式、續進副程式、節點到達控制副程式 2、排序副程式、前後

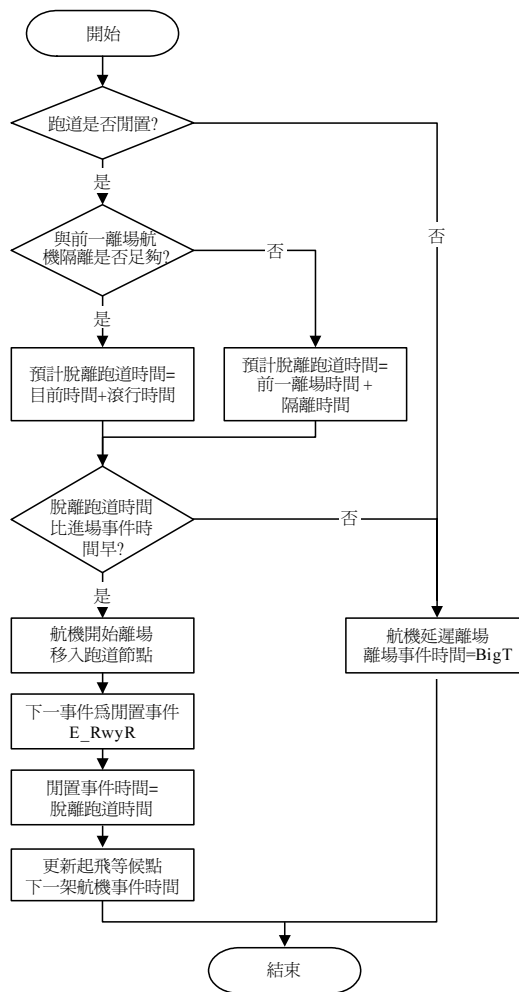


圖 6 簡化離場副程式流程圖

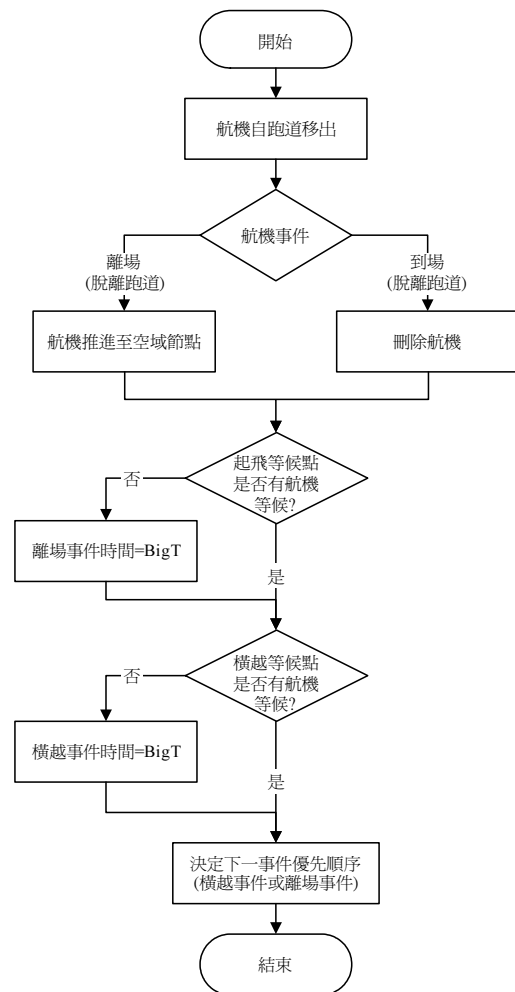


圖 7 閒置事件副程式流程圖

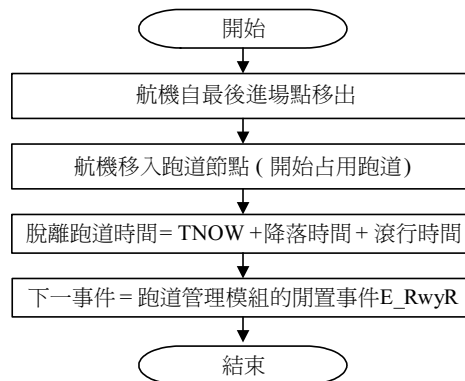


圖 8 最後進場副程式流程圖

調整副程式、向後搜尋副程式、可超機副程式、多航機速度調整副程式、進場等候副程式等。

1. 空域節點控制模組

當航機抵達空域中的任一節點時，此模組控制航機是否續進至下一節點。航機是否能夠續進，取決於下列條件：

- (1) 目前節點沒有其他較早抵達的航機等候。
- (2) 滿足下一節點的等候策略。
- (3) 尚未超過下一節線可容納的航機數。
- (4) 尚未超過下一席位可容納的航機數。

若缺乏上述任一條件，就令航機於目前節點進行空中等候。當所有條件均滿足時，才接著判斷航機在下一節點時的抵達順序。此處以兩個副程式負責抵達順序的決定，分別是「節點到達控制副程式 1」以 QFIFO 原則安排航機抵達順序及「節點到達控制副程式 2」以 Speedfit 或 Multifit 原則安排航機抵達順序。詳細之邏輯如圖 9 所示。

2. 空中等候副程式

當航機必須進行空中等候時，此一副程式計算航機所需的等候時間，並將航機放入等候佇列中。計算航機的等候時間，需考慮下列因素：

- (1) 航機是否第一次進行空中等候。
- (2) 該節點的最小等候時間。
- (3) 該節點的放行時間間隔。

詳細運作流程如圖 10 所示。

3. 節點到達控制副程式 1

此副程式以先到先服務方式安排航機的抵達順序，做法是將前機的抵達時間作為上限，新到航機則調整速度以符合時間上限，如圖 11。

4. 速度調整副程式

為符合航機的時間限制，此一副程式以加減速度及雷達引導的方式調整航機抵達時間。若上述方式都不行時，則令航機進行空中等候，如圖 12。

5. 續進副程式

此一副程式將航機推進至下一空域節點並調整各項模擬參數，但在續進之前會先考慮與空邊銜接之介面部分。最後依據下一空域節點之型態，產生最後進場事件、空域結束事件或節點到達事件，如圖 13。

6. 節點到達控制副程式 2

此一副程式以速度調整或多航機速度調整邏輯處理航機的抵達順序，並考慮是否可以超越前機。處理航機抵達順序時，須考慮兩種類型的前機。其一為同空層的前機，其二為非同空層的前機。後者由於空層不同，故無須考慮隔離問題，直接續進即可。若存在有同

空層的前機時，就必須建立前後隔離。並且需進一步判斷此一前機是屬於同節線或是由其

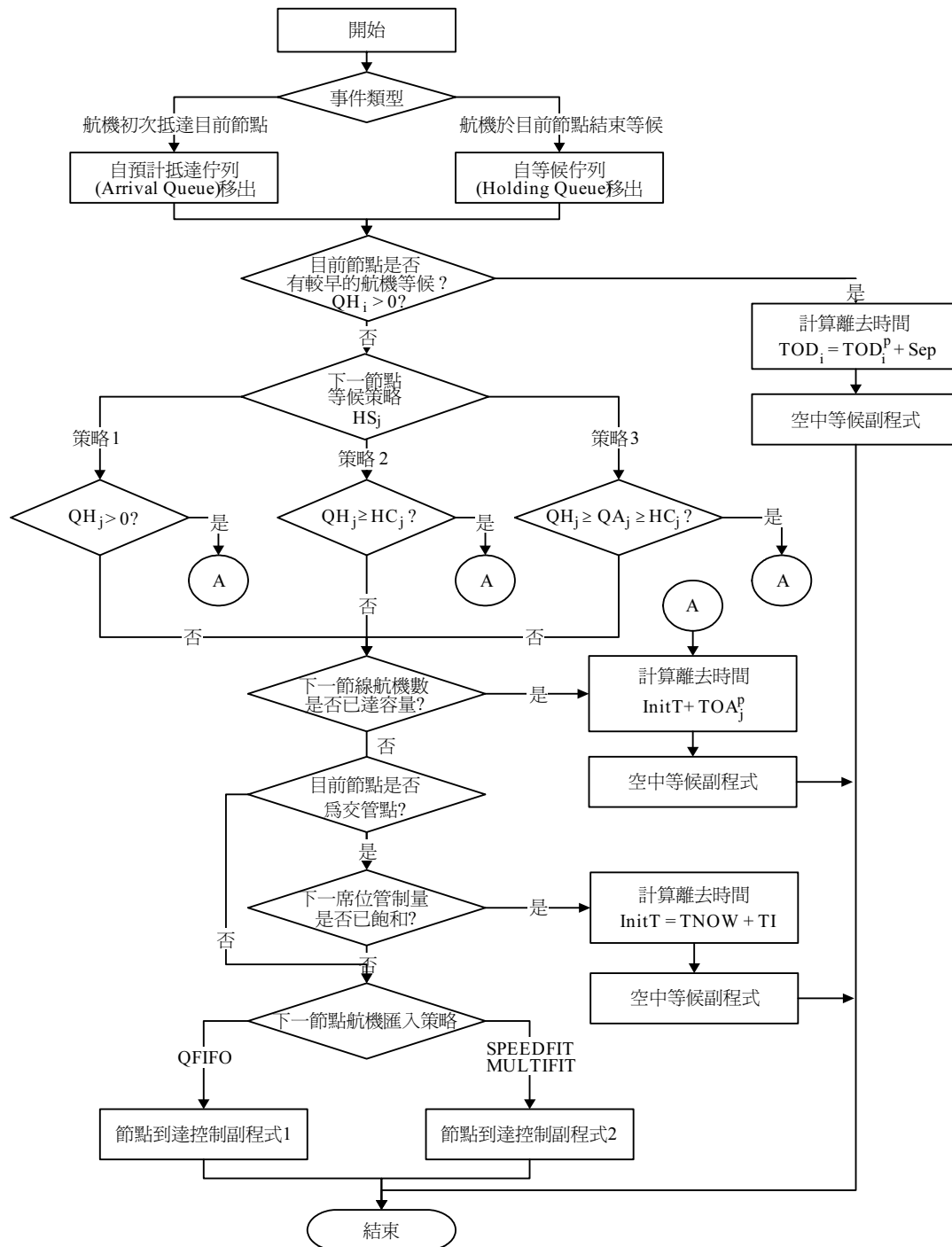


圖 9 空域節點控制模組流程圖

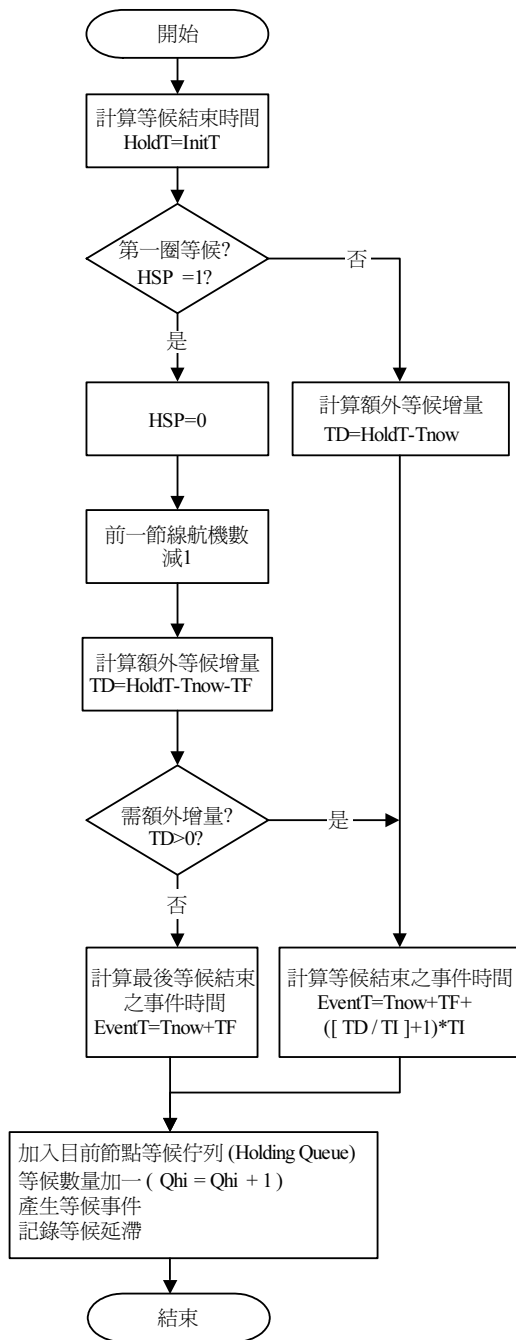


圖 10 空中等候副程式流程圖

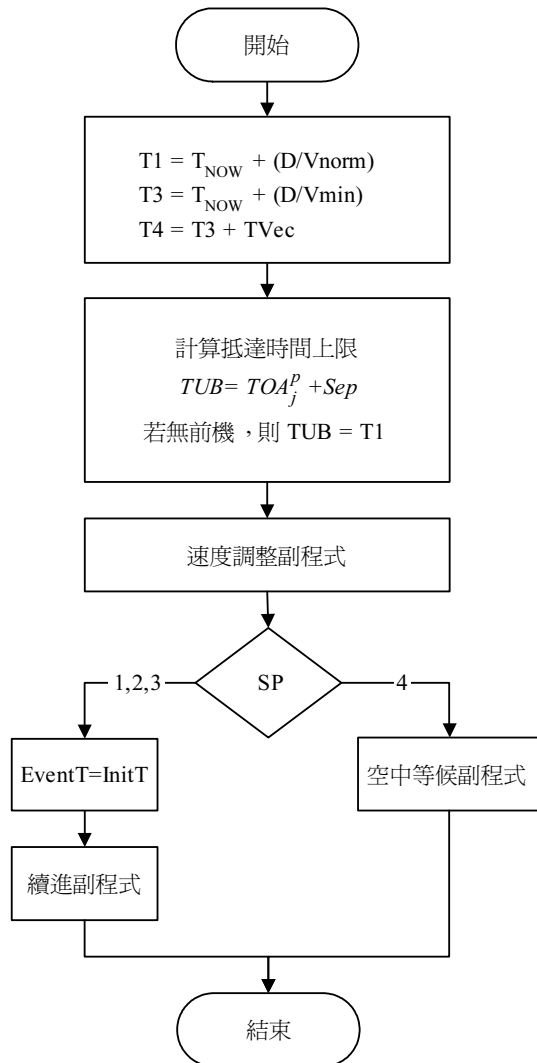


圖 11 節點到達控制副程式 1 流程圖

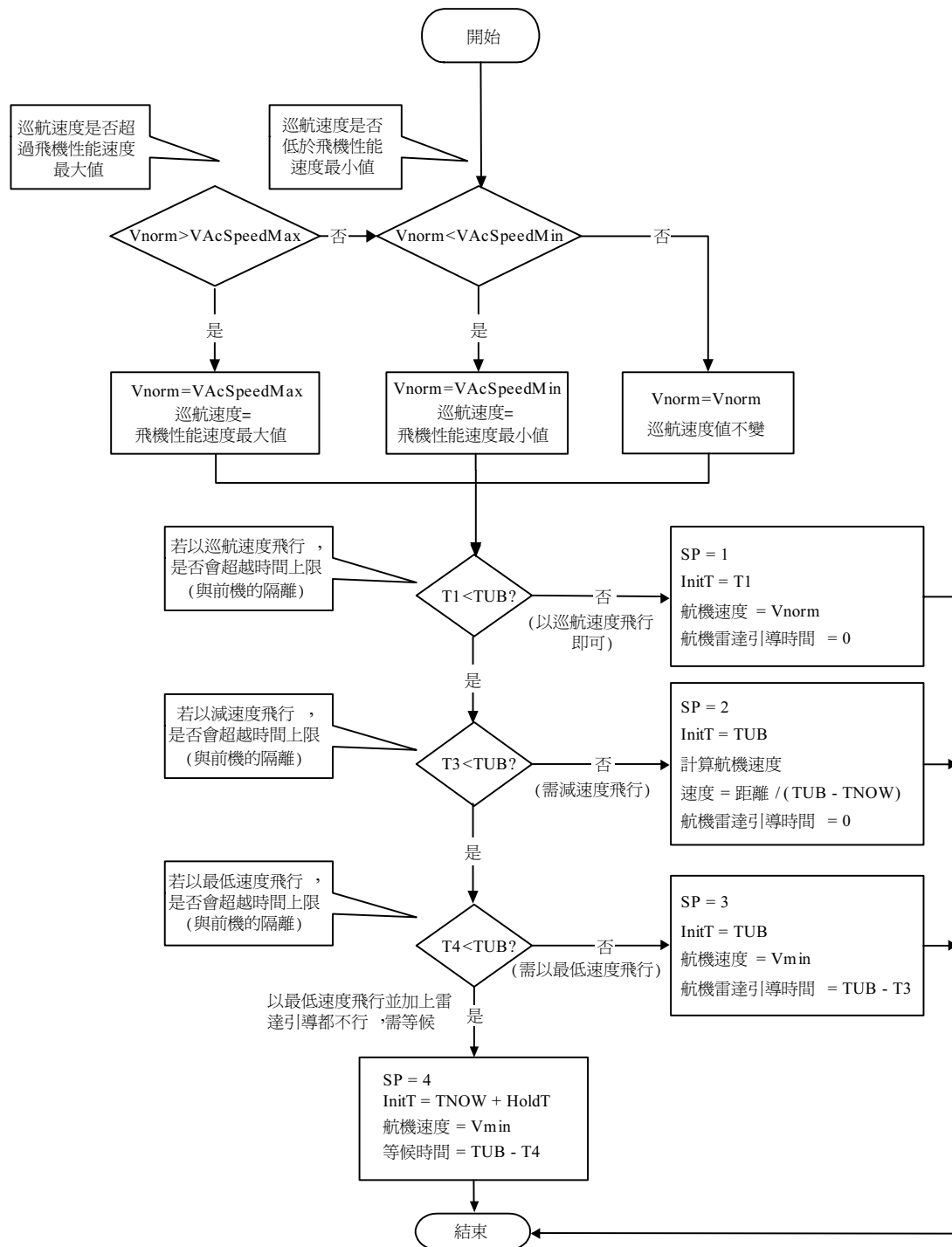


圖 12 速度調整副程式流程圖

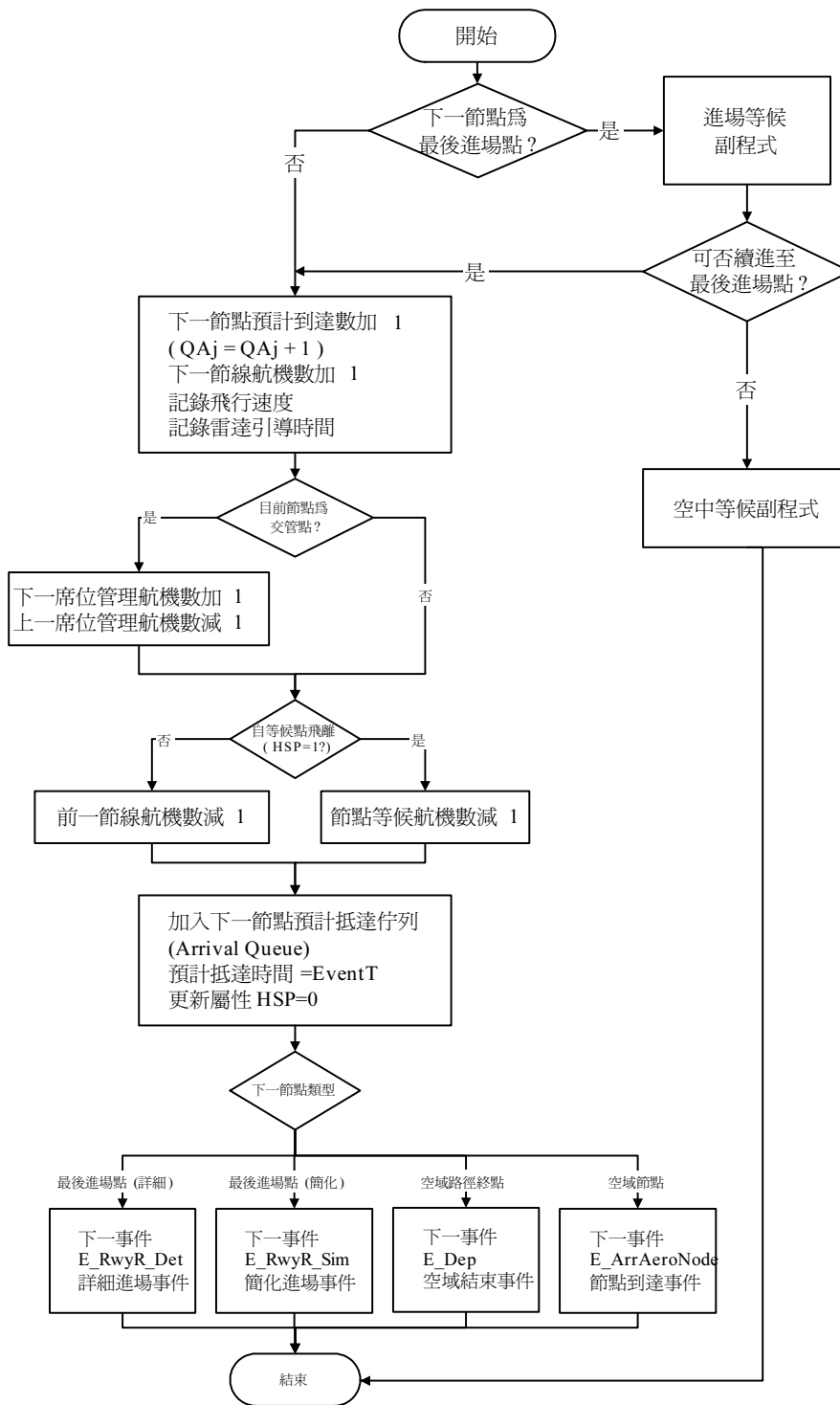


圖 13 續進副程式流程圖

他節線匯入。由其他節線匯入者，僅需保持隔離即可。若存在同節線前機時，就必須考慮是否允許後機超越同空層前機，如圖 14。

7. 排序副程式

此一副程式搜尋可行的排序位置，首先判斷目前排序位置是否可行，若不可行則先往前搜尋，其次向後搜尋。此處包含兩個副程式，其中前後調整副程式負責往前搜尋，向後搜尋副程式負責往後搜尋，如圖 15。

8. 前後調整副程式

此一副程式調整航機的排序位置，首先往前搜尋，其次向後搜尋。此處包含兩個副程式，一旦找到可行的排序位置，就將航機交給續進副程式，而向後搜尋副程式負責往後搜尋，如圖 16。

9. 向後搜尋副程式

此一副程式向後搜尋可行的排序位置。首先將航機之抵達排序向後移一位，此後就不斷向後搜尋可行的抵達排序，直到滿足隔離要求為止。向後搜尋的最後可行的結果是將航機安排在排序佇列的最末位，如圖 17。

10. 可超機副程式

此一副程式搜尋可行的排序位置，包括可超越前機，首先判斷目前排序位置是否可行，若不可行則先往前搜尋，其次向後搜尋。此處包含兩個副程式，其中前後調整副程式負責往前搜尋，向後搜尋副程式負責往後搜尋，如圖 18。

11. 多航機速度調整副程式

此一副程式調整前機或後機的抵達時間，以使航機之間能維持最低隔離需求，如圖 19。

12. 進場等候副程式

此為航機進場時，判斷是否符合各進場條件之副程式，包括考量天候變化因素，檢核降落機場是否開放；降落於多跑道機場之進場航機，是否指定使用跑道；跑道使用方向是否與指定方向一致；跑道是否開放，是否符合飛航標準；降落時跑道是否閒置，與前機隔離是否足夠；故當航機皆符合上述之條件後，方可進入最後進場點。若無指定使用跑道，本模組亦根據航機與跑道屬性，為航機找尋適當之跑道，如圖 20。

(三) 軍機模組

國內機場多為軍民合用機場，所以在機場運作時，常會受軍機起降影響，同樣地，因為軍機訓練或值勤關係，所以當航機在空中飛行時會需要做適度之調整，因此本模式為更貼切模擬航機在運作時之狀況，提供此模組模擬軍機活動對民航機與機場運作之衝擊。

由於軍機特性及軍機活動相關資料取得困難，因此本研究以軍機占用各項資源之時點及時間長短，分析軍機活動對民航機之影響，而不實際處理軍機滑行、占用跑道與飛行之細部模擬。因此當有軍機活動產生時，此模組首先判斷該事件為空邊事件或空域事件。

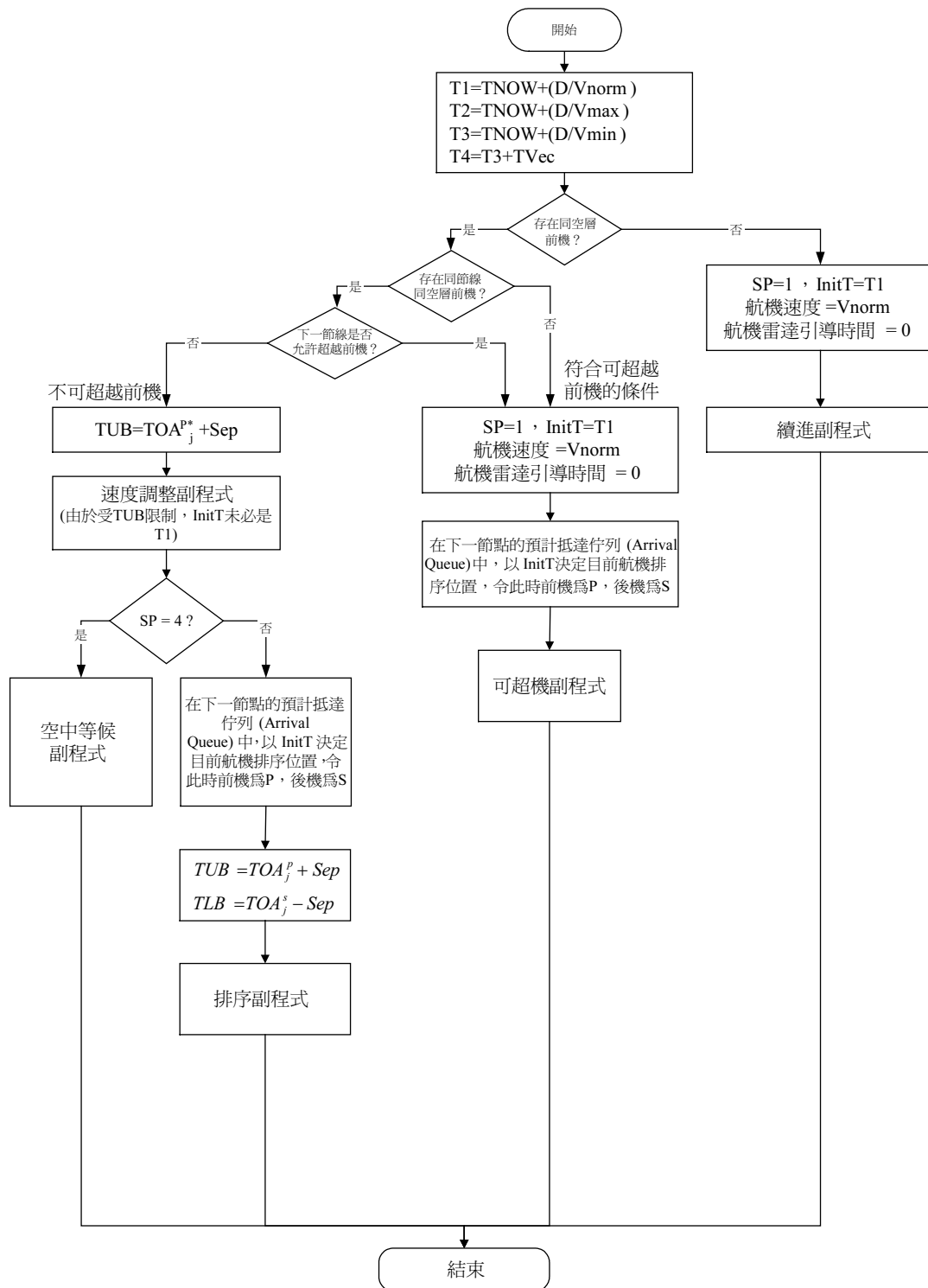


圖 14 節點到達控制副程式 2

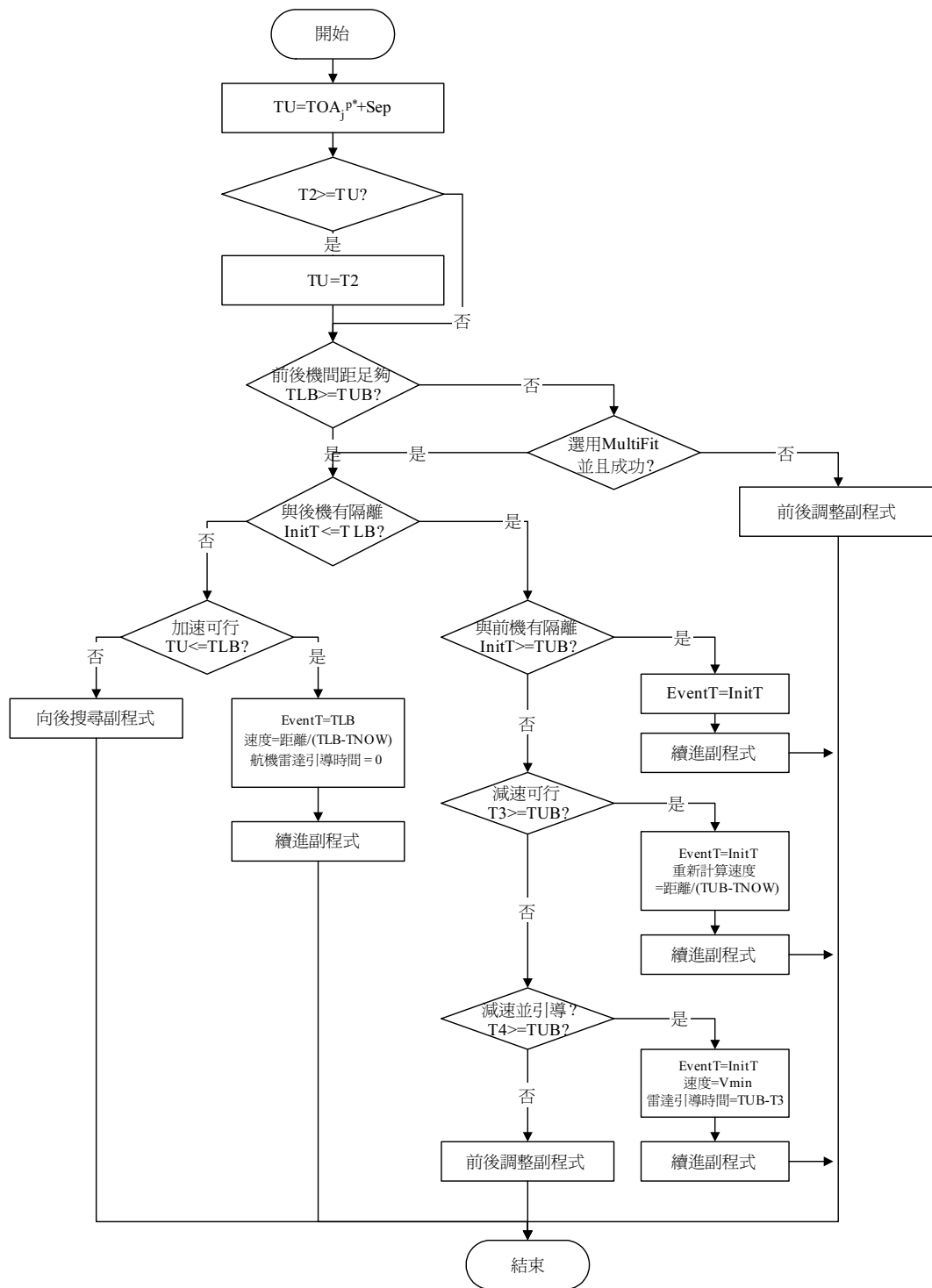


圖 15 排序副程式

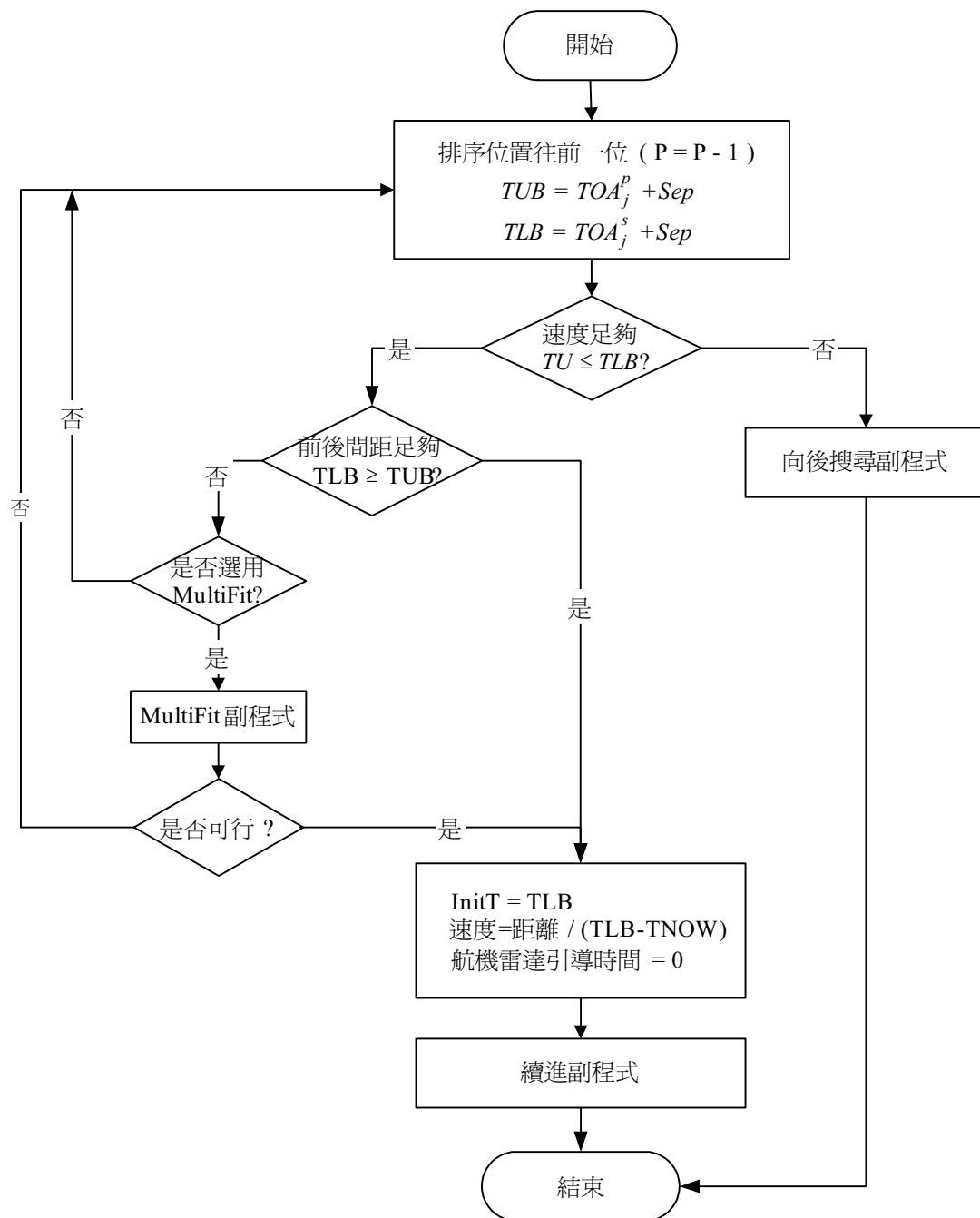


圖 16 前後調整副程式

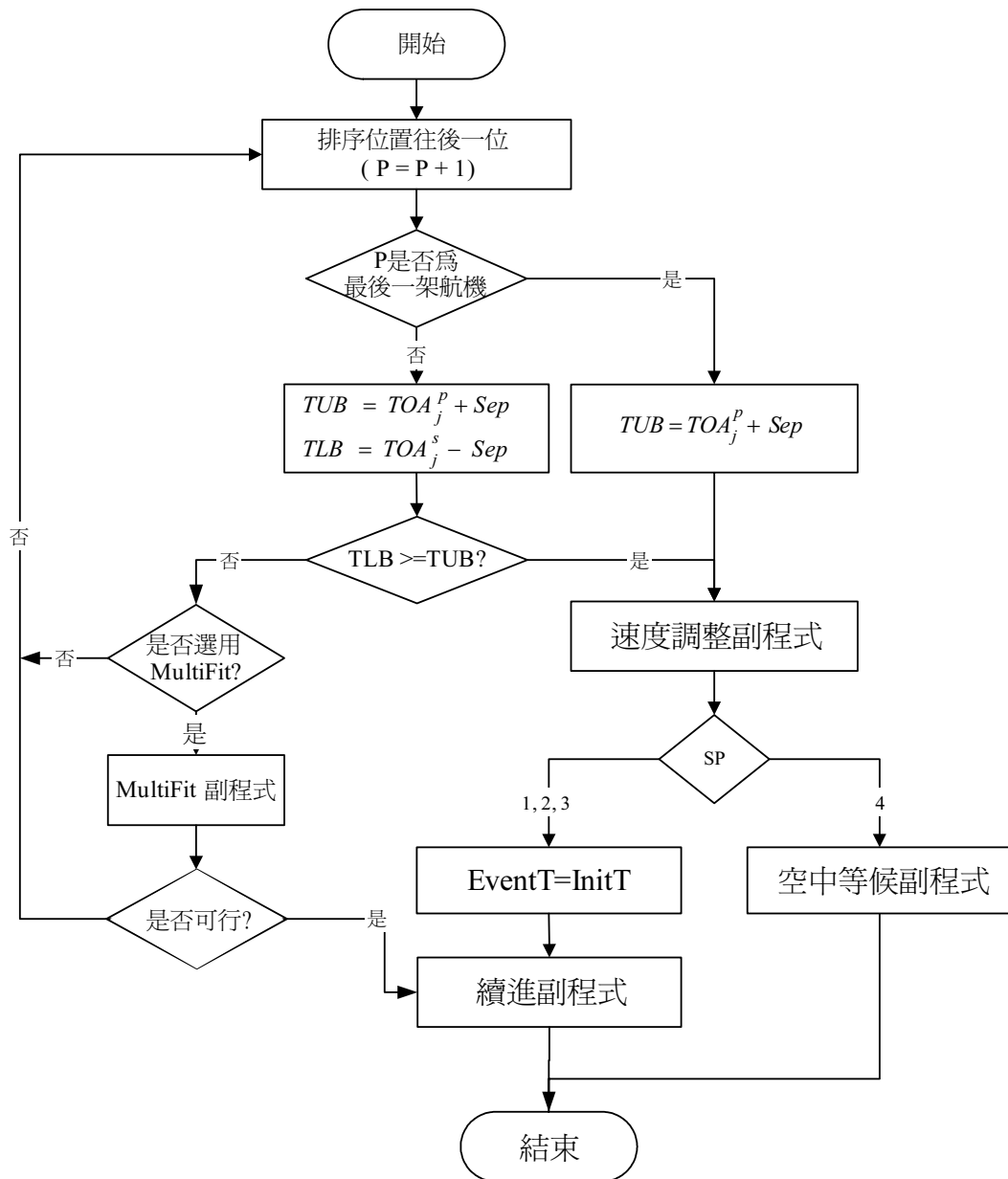


圖 17 向後搜尋副程式

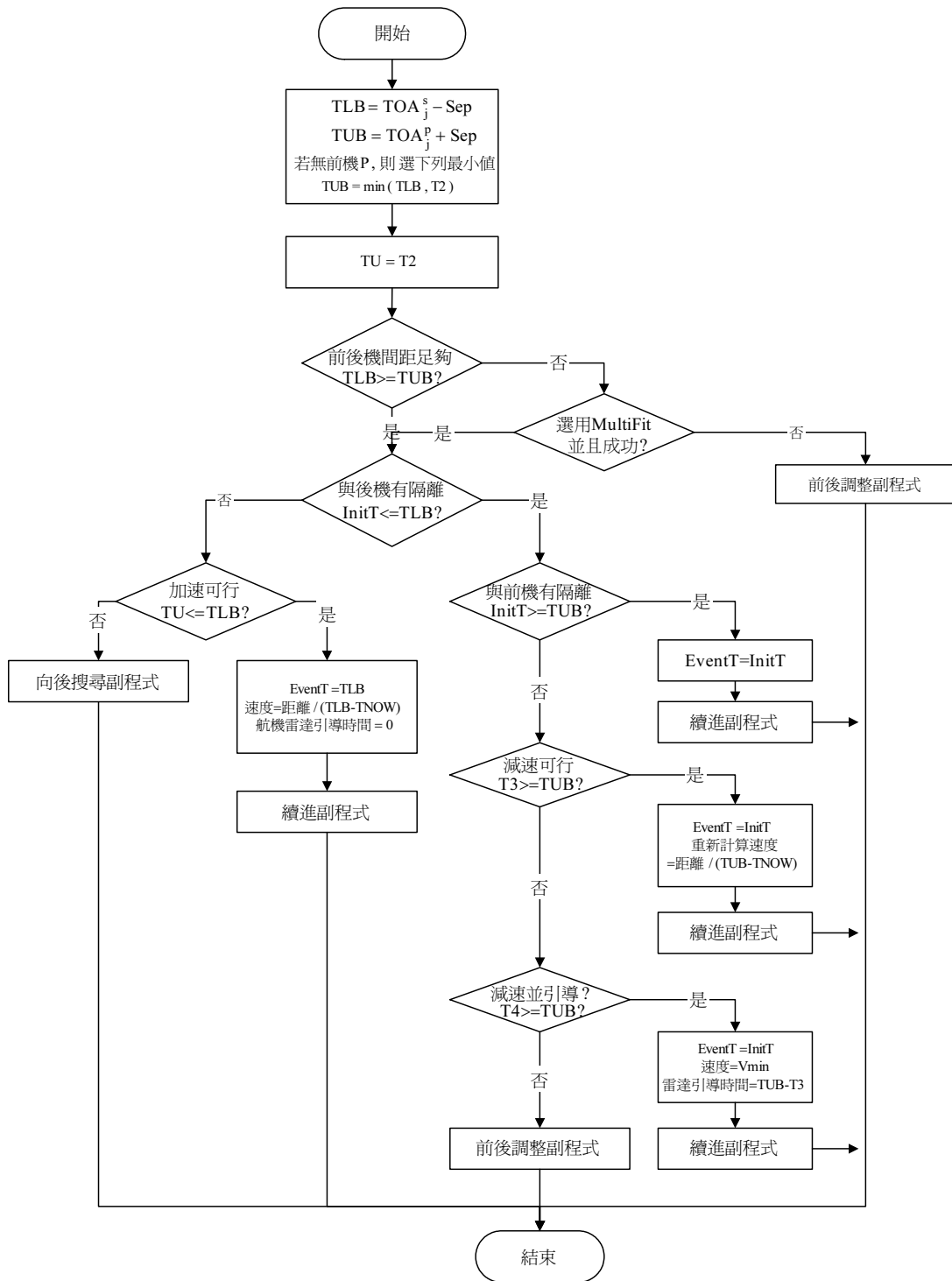


圖 18 可超機副程式

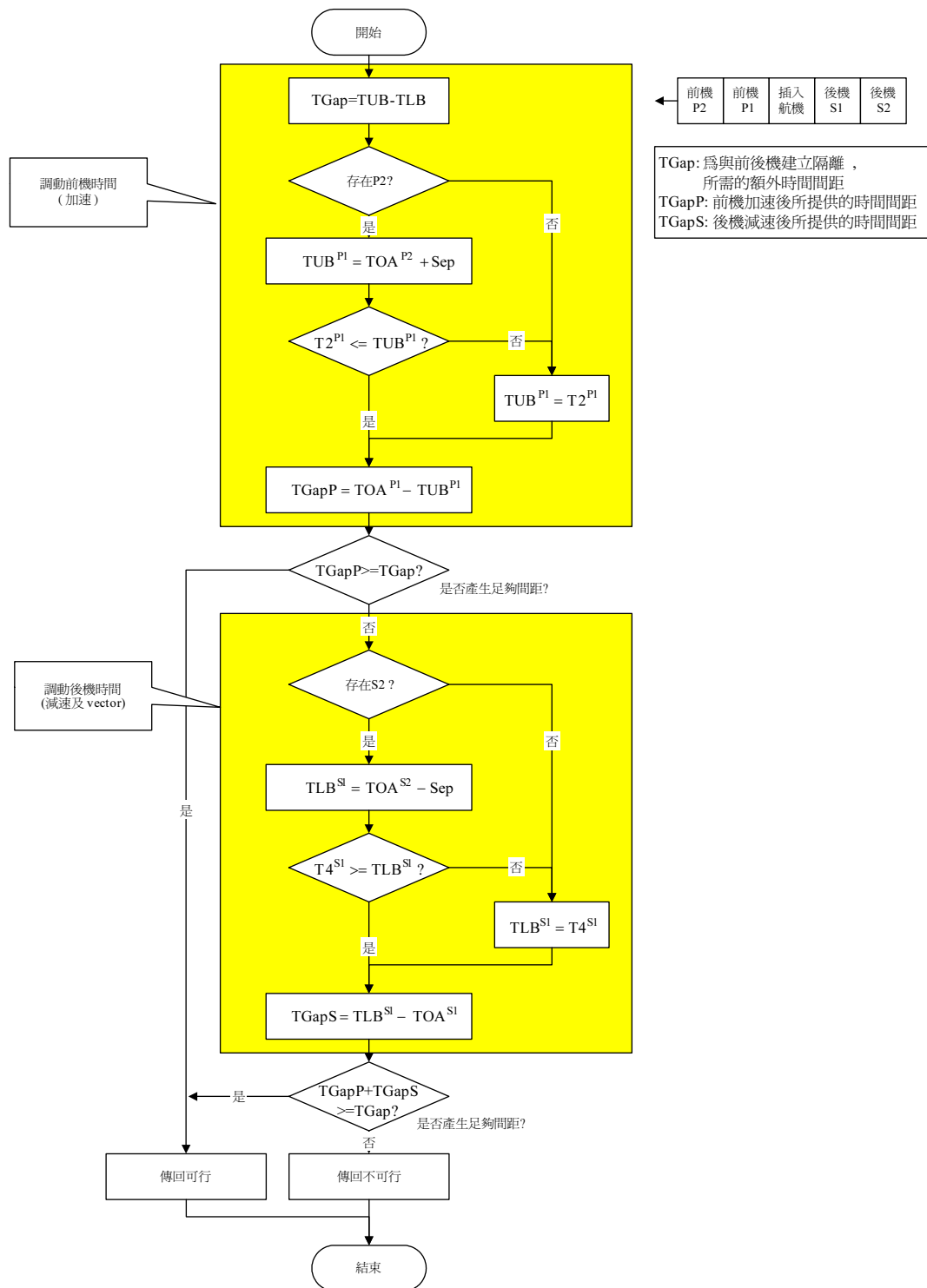


圖 19 多航機速度調整副程式流程圖

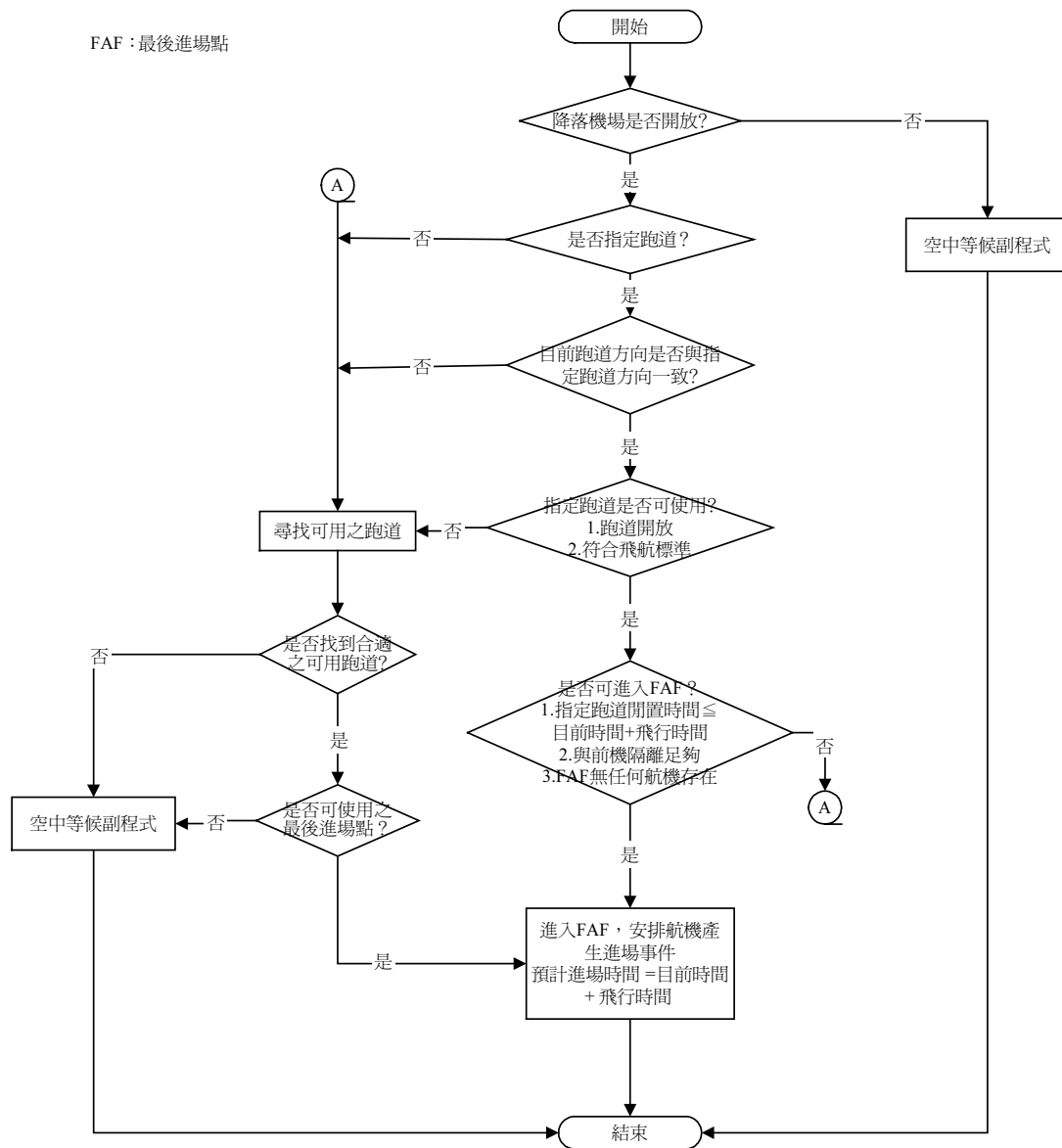


圖 20 進場等候副程式流程圖

若為軍機空邊事件，模式將尋找發生事件之機場與跑道，若此時軍機開始運作，則模式將限定跑道使用權限，亦即禁止民航機使用跑道，僅供軍機起降，此時空邊之航機將在離場等候線等待跑道開放，而空域等待降落之航機將於交管點等候跑道重新開放。若為軍機空域事件，模式將尋找軍機活動將穿越之節線與空層，並限制民航機使用，直到軍機活動結束。軍機活動事件之流程圖如圖 21 所示。

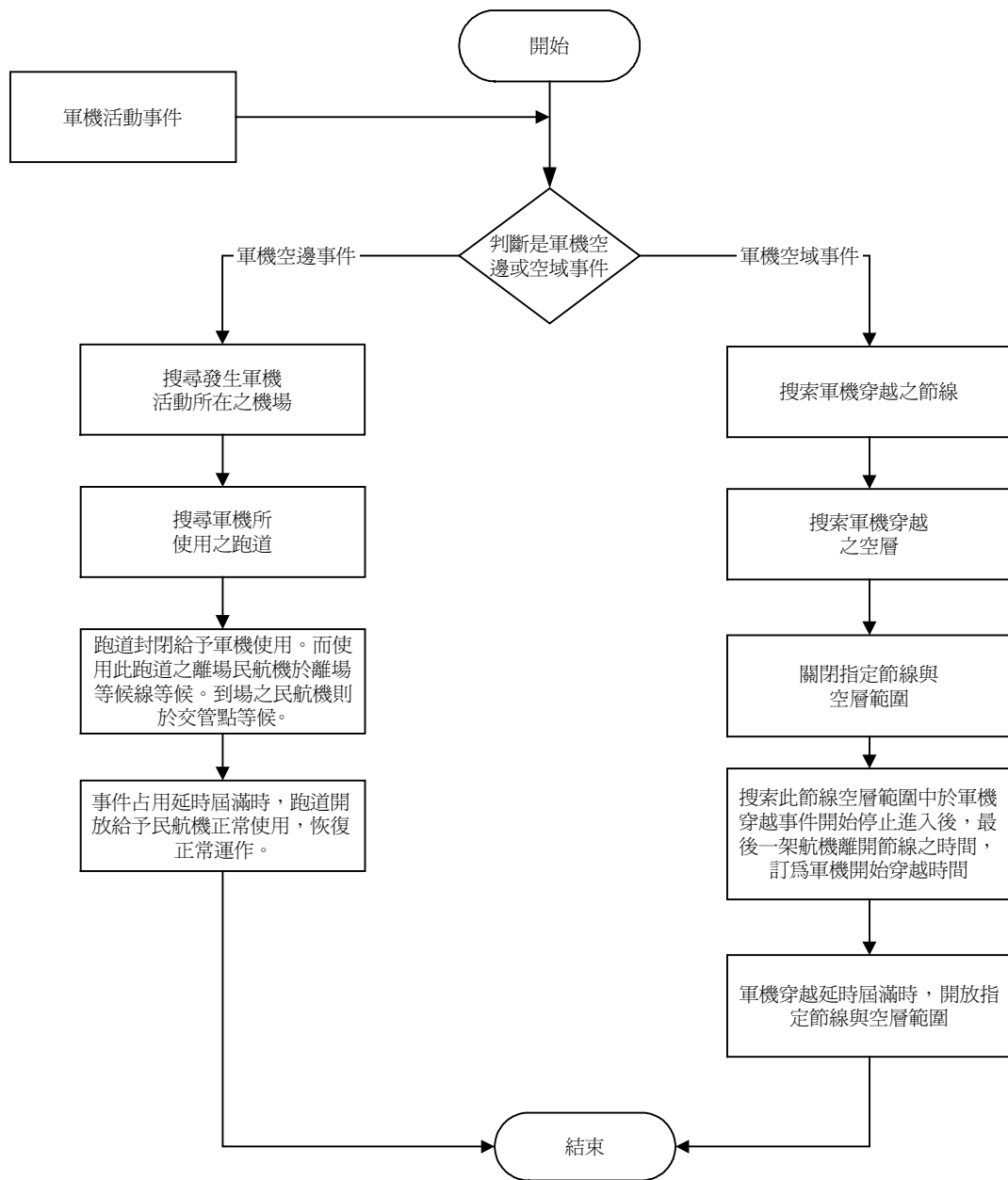


圖 21 軍機活動模組流程圖

五、模式驗證資料與分析結果

本研究進行模式驗證前，先進行模式確認的工作，將管制上可能發生的情境一一加以模擬，經比對後，確認其結果與實際管制原則相符，因此可確定本模式之邏輯無誤。其後再進行模式驗證之工作，所謂模式驗證，目的在於評估一模擬模式是否恰當，主要係依據其發展之目的及應用之範圍，只要其所提供之指標能適當的協助作出正確判斷，此一模擬模式即有其價值^[6]。

此一模式之發展主要係應用於規劃及一般運作分析，並非作即時管制之用，即使將來擴充功能作即時流量管理策略之分析，亦僅只是以此為基礎，分析不同流量管理策略之優劣及適用情況，並據以發展流量管理策略供後續即時流量管理之用，不過當真正進行即時流量管理時，所需之資料一定得從線上直接取得，因此在應用上有相當大的區分。基本上每一部分皆有其功能性，且其發展有其先後之階段性。本研究為一切之基礎，以此為基礎可發展後續之流量管理策略分析及再更後續之即時流量管理。基於以上原因，本研究所採用之驗證指標以可符合現階段模式應用之需求為原則。

因此在驗證指標的選取上，本研究採用平均飛行時間與平均間隔時間。由於空域部分之模擬已包含詳細之航機續進、等候策略與航機推進邏輯，故以飛行時間加以驗證，實已包含模式於空域之所有功能，而平均時間間隔時間，則可反映出特定地點的流量分布，若此二者與實際系統相符，則表示模擬模式可重現飛航系統運作之交通型態。

唯有確定模式具有適當描述實際現象之能力後，才能進一步分析各種情境下之運作情形。以下說明進行模式驗證時所採用之驗證資料、驗證指標與驗證方法及最後驗證之結果。

5.1 驗證資料

本模式所需輸入之資料共計八類。其中，模式之隨機性主要為路徑資料、飛航速度資料、以及飛航空層資料的隨機選取。分別說明如下。

(一) 席位資料

需包含研究空域內的管制席位、管制範圍與容量資料。以高雄終端管制區域為例，其管制單位為高雄近場管制台，管制範圍由 1,500 呎至 240 飛航空層，劃分有高雄、台南與屏東席位。

(二) 節點資料

節點可以是研究空域內的航線交會點、交管點、等候點或飛航速度的分界點。節點資料包含以下各項參數：

1. 等候容量：通常以該節點的空層數目作為等候容量。本模式預設每一節點可供等候至少一架航機。

2. 等候策略：當輸入值為 1 時，表示若目前節點有航機等候時，其他節點不得續進至目前節點。此一策略適用於節點 SW、ROMEO、TONPU、XEROX、SWORD、DALIN、WATER，為航路的中繼節點，不是專門作為空中等候的節點，容量為一架。一旦這些節點有航機等候，則其他節點不得續進至目前節點。當輸入值為 2，表示若目前節點等候量已達容量時，其他節點不得續進至目前節點。此一策略適用於管制席位內的等候節點，如 ZONLI，常作為航機空中等候的節點，有最大等候容量限制，當 ZONLI 節點等候量已滿，則前節點 HLG 航機不得續進至 ZONLI。當輸入值為 3，表示若目前節點等候量加上預計到達超過容量，則其他節點的航機不得續進至目前節點。此一策略適用於必須嚴格控制到達航機數量的節點，如席位間的交管點 HLG、TNN 等，或為終端管制區域內的最後進場點，如 LK 等。
3. 航機匯入策略：即先到先服務、速度調整與多航機速度調整。

(三) 節線資料

節線資料包含以下各項參數：

1. 節線距離：即為航圖中水平面上兩點間的直線距離，單位為海浬。
2. 節線方向：可指定單向或雙向。
3. 節線屬性：輸入值 1 表示屬於終端管制範圍，2 表示屬於航路範圍。
4. 節線容量：為節線距離除以最小隔離距離，最後乘上空層數。
5. 超越同空層航機指標：用以決定該航線是否允許後機超越前機。
6. 雷達引導時間：以分鐘為單位。

(四) 路徑資料

路徑資料為連續的節點與節線之組合。本研究分析國內飛航系統分析紀錄磁帶 (SAR tape) 資料以取得航機之實際飛行路徑。模擬時，以隨機值指派航機之飛航路徑。

(五) 航機飛航速度資料

依據 SAR tape 分析結果，航機的飛行速度與下列三種因素有關：

1. 機型：機型等級較高的航機平均飛行速度較快。
2. 起迄機場：在相同機型條件下，由不同機場起降的航機，有不同的飛行速度，航線距離較遠的航機有較快速度的趨勢。
3. 飛行節線：同一架航機在飛航的各階段也有不同的飛行速度，通常在航路上的航機速度比在終端管制範圍時的速度較快。本研究將航路切作多條節線線段，分別求出各節線上的航機速度值。

(六) 飛航空層

依據飛航計畫書 (flight plan) 分析結果，航機的飛航空層特性如下：

1. 起迄機場：航管依規定為航機之間建立高度隔離，對飛航於不同航線的航機，指派

於不同的飛航空層。

2. 航空公司：相同航線且相同航空公司的航機，通常使用同一空層。

3. 機型：相同航線且相同航空公司的航機，若機型不同時，則使用不同的飛航空層。只有少數情況下，相同機型使用不同飛航空層。

依據上述分析，本研究以航機的實際飛航空層機率值 (empirical speed data) 作為模擬輸入資料。

(七) 航機隔離

本研究依據 ATP^[4] 規定，同空層前後航機之間採用最低雷達隔離標準，如表 4 所示。

表 4 航路上適用之最低隔離標準

單位：哩

前 機	重型機或 B757	大型機	小型機
B757	4	4	5
重型機	4	5	5
大型機	3	3	3
小型機	3	3	3

資料來源：本研究整理自 ATP^[4]。

(八) 班機產生時間

為模擬航機的產生，本研究以 SAR tape 中，航機實際到達航路節點的時間作為航機的產生時間。

5.2 驗證指標與驗證方法

為模擬航機於空域中的推進、加減速、匯入同一航線與空中等候等情形，將驗證指標定為航機飛行時間與到達節點時間之間隔兩項。其計算方式與涵義分別說明如下：

(一) 航機飛行時間

航機於起迄機場或節點間之總飛行時間，代表航機於各節線飛行時間之總和，並且包含航機於各節線上之飛行速度、距離以及於節點上之等候時間，因此藉由與實際資料之比對，可了解模式於空域運作之正確性。

(二) 節點到達時間間隔

前後航機通過某空域節點之時間間隔，其倒數即為該節點於單位時間之流量，故此項指標可反映流量之狀態。

本研究以台北飛航情報區於民國 89 年 8 月 25 日一天內所有班機作為模式驗證對象。模式輸入資料取自當日 SAR tape 資料，包括：各航機行經之節點、各段節線距離等。各指標之說明如下。

(一) 航機飛行時間

本研究取台北飛航情報區中航機運作較頻繁之六個起迄機場作為驗證對象，包括：高雄－馬公、高雄－松山、台中－松山、馬公－高雄、松山－高雄、松山－台中等航線。

(二) 節點到達時間間隔

本研究以航機於空域中進出較頻繁之節點進行此項目之驗證，選取的節點分別為 ZONLI、ANPU、TINHO、TNN 以及 HLG，蒐集驗證時段內航機到達該節點的時間間隔。

決定各項驗證指標後，須針對各項指標以模擬結果與實際觀察資料進行統計檢定，待通過統計檢定後，才得以了解所構建之模式是否能夠反映實際之運作情況。本研究將模擬結果與實際觀察資料採用平均值檢定與一致性檢定進行驗證，以下分別說明之。

(一) 平均值檢定

針對各項驗證指標進行模擬與實際觀察二者之均數是否相等之統計檢定。

(二) 一致性檢定

由於資料之蒐集不易，本模式僅就一天之資料進行驗證，而一天所得之資料分配型態是否能代表整個母體尚有待商榷。因此驗證方式之選擇上未採用一般常用來檢定樣本型態是否合乎某種特定分配之適合度檢定 (goodness of fit test)，而採用檢定個數樣本是否具有相同分配型態之一致性檢定 (homogeneous test) 進行模式驗證^[7,8]。

5.3 驗證結果

(一) 平均值檢定

在平均值檢定方面，高雄－馬公、高雄－松山、馬公－高雄、松山－高雄、松山－台中及馬公－高雄等六航線之飛行時間 (如表 5) 與 ZONLI、TINHO、HLG、TNN 及 ANPU 等空域節點到達時間間隔 (如表 6) 之 P 值皆大於顯著水準 0.05，因此接受虛無假設，即各項驗證指標之模擬平均值與實際平均值可視為一致，故此部分通過驗證。

(二) 一致性檢定

以松山－高雄航線航機飛行時間為例，將飛行時間以一分鐘為組距予以分組，如表 7 所示。經比對模擬次數與實際觀察次數後，可得檢定統計量為 2.74，小於臨界值 $\chi^2_{0.058,8} = 15.51$ ，據此，本項目驗證通過。而其餘驗證項目之結果，則整理如表 8。由分析結果顯示，在 95% 信賴水準下，統計量皆小於臨界值，因此模擬結果與實際運作資料可視為相同，即表示本模式可適切反映系統真實狀況。

表 5 航機飛行時間平均值檢定結果

	高雄至馬公				高雄至松山			
	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值
模擬	21.84	2.97	30.62	16.48	27.22	2.65	37.98	21.92
實際	21.70	3.56	31.20	16.00	27.46	2.54	37.30	22.30
P 值	0.87				0.61			
顯著水準	$\alpha = 0.05$							
	馬公至高雄				松山至高雄			
	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值
模擬	21.08	1.71	24.70	17.10	27.22	2.99	35.90	22.30
實際	20.31	1.95	23.30	16.00	26.79	2.47	32.60	22.70
P 值	0.11				0.38			
顯著水準	$\alpha = 0.05$							
	松山至台中				台中至松山			
	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值
模擬	20.96	0.88	22.70	19.93	20.80	1.88	23.92	18.59
實際	21.19	1.23	22.50	19.20	21.41	1.02	22.60	19.30
P 值	0.38				0.09			
顯著水準	$\alpha = 0.05$							

表 6 空域節點航機到達時間間隔平均值檢定結果

	ZONLI				TINHO			
	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值
模擬	5.30	4.80	33.80	0.10	18.17	17.18	37.28	0.07
實際	4.61	4.49	31.30	0.10	19.16	19.05	36.20	0.10
P 值	0.18				0.78			
顯著水準	$\alpha = 0.05$							
	HLG				TNN			
	平均值	標準差	最大值	最小值	平均值	標準差	最大值	最小值
模擬	4.95	4.27	23.48	0.08	6.55	6.79	17.76	0.08
實際	4.18	3.67	22.30	0.10	5.73	5.66	16.10	0.10
P 值	0.08				0.29			
顯著水準	$\alpha = 0.05$							
	ANPU							
	平均值	標準差	最大值	最小值				
模擬	11.59	11.34	29.42	0.15				
實際	10.70	9.73	27.20	0.20				
P 值	0.61							
顯著水準	$\alpha = 0.05$							

表 7 松山—高雄航線航機飛行時間一致性檢定

松山機場至高雄機場 飛行時間 間距分組 (分)	模擬次數	實際觀察次數	總 計
≤ 23.00	3.03 (4.02)	5.00 (4.02)	8.03
23.00 ~ 24.00	12.40 (12.70)	13.00 (12.70)	25.40
24.00 ~ 25.00	2.67 (3.84)	5.00 (3.84)	7.67
25.00 ~ 26.00	3.13 (3.57)	4.00 (3.57)	7.13
26.00 ~ 27.00	1.87 (3.44)	5.00 (3.44)	6.87
27.00 ~ 28.00	10.93 (10.97)	11.00 (10.97)	21.93
28.00 ~ 29.00	13.07 (10.04)	7.00 (10.04)	20.07
29.00 ~ 30.00	5.37 (4.67)	4.00 (4.67)	9.37
> 30.00	8.53 (7.77)	7.00 (7.77)	15.53
總計	61.00	61.00	122.00
統計量	$\chi^2 = 2.74$		

註：括號內之數字，即代表理論次數。

表 8 一致性檢定結果

驗證指標		統計量 (χ^2)	臨界值 ($\chi^2_{0.95, \nu}$)
航機飛行時間	台北—高雄	2.74	15.51
	高雄—台北	3.14	14.07
	台北—台中	2.62	7.81
	台中—台北	0.45	7.81
	高雄—馬公	1.05	5.99
	馬公—高雄	1.43	5.99
空域節點到達時間間隔	ZONLI	11.77	18.31
	TINHO	1.34	11.07
	HLG	3.68	14.67
	TNN	9.69	16.92
	ANPU	3.88	14.07

六、結論與建議

6.1 結論

- (一) 本研究採用系統模擬法，藉由對國內空運進行系統分析，並參考國內及國外已發展之空域模擬模式，建立模擬架構及方法，使其未來應用在各種研究時具有擴充彈性，可作為研究空域及探討流量管制的基礎。
- (二) 為求模式之適度簡化，本研究之系統特性分析主要係針對管制空域分類、航空器特性、航空器隔離、航空器速度調整、匯入航路的優先順序、雷達引導、高度隔離與飛航空層等方面加以分析探討。
- (三) 本模式之特色乃以節點與節線組成空域路網，節點有最小等候時間、容量、等候策略、抵達節點次序等屬性。節線連結節點，具有速率限制、飛航空層限制、容量限制、雷達引導時間、是否允許超越前機等屬性。其中，空域節點控制邏輯判斷航機是否可以續進。空域節點設計有兩種資料佇列 (queue) 用以模擬航機抵達節點與空中等候情形，分別是預計抵達佇列 (arrival queue) 與等候佇列 (holding queue)。節點抵達次序之決定則以三種節點抵達排序方式，即 QFIFO、速度調整、多航機速度調整來模擬。
- (四) 經由分析國內飛航系統分析紀錄磁帶之資料所做之模式輸入、輸出驗證，並選用驗證指標為航機飛行時間與匯入節點的航機到達時間間距。通過統計之一致性檢定，顯示本模式可適切反映實際之航機運作情況。
- (五) 本模式可輸出節點、節線、席位與航機模擬結果資料，可用以評估空域績效。節點輸出資料包括航機到達數、航機延滯時間與機場起降架次；節線輸出資料包含單位時間內之航機離到數、最高通過架次與平均每分鐘通過架次；席位輸出資料包含單位時間內之航機離到達數、最高管制架次與平均每分鐘管制架次；航機輸出資料包含各航機的飛行時間、空中等候時間。
- (六) 本研究之貢獻簡述如下：
 1. 反映國內運作特性：本模擬模式針對國內特性構建模式，故較能反映國內特殊的運作特性。
 2. 未來具有發展潛力：本模式係自行發展，在構建過程中即預留未來擴充之彈性，因此未來具有相當大的發展潛力。未來研究人員認為有任何值得探討的行為，均可對現有的模擬模式中進行修改。
 3. 易於取得：國外的軟體價格昂貴，而本研究為交通部科技顧問室之委託研究案，著作財產權屬交通部所有，因此國內之研究機構皆可取得。
 4. 建立國內的研究能量：在模式研發之過程中此一技術逐步於國內紮根，另此模式亦可提供國內研究、教學之用，可建立國內在飛航模擬模式及飛航管理方面之研究能

量。

6.2 建議

- (一) 本模式所構建之空域節線彼此之間互為獨立，亦即航機於節線上之續進邏輯僅受該節線的前後節點所控制，不會因其他節線上的航機續進而造成影響。然而在台灣的終端管制區域內，受限於有限的空域，一些離場路徑與到場路徑被設計為相當接近，在離場航機爬升與到場航機降落階段，彼此穿越對方高度，常會發生水平隔離不足的情況。為了解決此一問題，管制員通常以雷達引導、水平帶開兩個路徑上的航機的方式處理，因而會略微增加航機的飛行距離。建議後續研究可針對此種非獨立節線情況進行深入探討。
- (二) 本模式對航機於地面運作模擬相當簡略，並未考慮航機滑行、使用登機門情況，後續研究可整合機場空邊之微觀模擬模式，使成為一套可模擬完整航機起迄之模式。空邊模式可針對航機於機場運作進行細部模擬，以處理航機產生於停機坪、指派使用登機門、滑行路徑選擇、滑行道衝突排解、使用跑道起降與橫越等事件，因此可針對登機門指派、滑行路徑等進行研究。
- (三) 本模式僅處理一般正常飛航情況，並未對空域中的非正常情況加以探討，如軍機穿越之影響、變換離到場飛航路徑之邏輯，這些情況均是造成航機飛航時間的改變與空域的規劃問題，為值得後續研究之課題。
- (四) 利用本模式之各項輸出結果，可進一步評估國內其他空域的運作績效及探討席位管制工作量等。
- (五) 本模式並未深入探討流量管制策略，但由於本模式在程式開發時，即具備物件導向架構與擴充彈性，建議未來可以本模式為基礎，進行深入之探討。一般而言，管制單位常使用之飛航管制策略包括：地面等候策略 (ground holding)、交通量儀控策略 (metering) 與流量管制策略 (flow control) 等，未來可對此進行探討。
- (六) 早期對於管制策略之研擬，多半以靜態 (static) 方式進行探討，由於假設未來的狀況不變，因而未能將系統在運作上的突發狀況納入考量，因此所發展策略之適用性受到限制。而後有動態模式 (dynamic model)，雖可考量未來的不確定性因素，然適用性仍有限。因此目前對於策略研擬之研究，在於探討即時控制方面之應用，然一流量管理策略之良窳需經過嚴謹之離線測試，方可實際上線測試，以免造成實際系統運作之風險與混亂，因此建立一能適當表達系統運作狀態之模擬模式，為相當重要的課題。對此，未來可利用本研究所建立之模擬模式為基礎，對飛航流量管理策略進行測試、評估與分析，以研擬較佳的策略。

參考文獻

1. Odoni, A. R., *Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts*, 1997, pp. 23-48.
2. CACI Products Company, *SIMMOD: The Airport and Airspace Simulation Model, User's Manual / Animation*, March 1991.
3. 戴佐敏、張淳智、劉仲祥、徐福聲，「終端管制區域模擬模式之建立」，**運輸計劃季刊**，第三十一卷，第一期，民國九十一年三月，頁 207-244。
4. 民用航空局及空軍總司令部，**飛航管制程序 (Air Traffic Control Procedure, ATP)**，民國八十九年五月。
5. 交通部民用航空局，**台北飛航情報區飛航指南 (Aeronautical Information Publication Taipei Flight Information Region, AIP Taipei FIR)**，民國八十八年二月。
6. Law, A. M. and Kelton, W. D., *Simulation Modeling and Analysis*, Second Edition, McGraw-Hill International Editions, 1991.
7. 顏月珠，**商用統計學**，三民書局，民國八十四年九月。
8. 江建良，**統計學**，龍騰文化事業公司，民國八十五年二月，頁 487-490。

附錄 模擬模式模組流程圖

一、參數對照表

本節列出各副程式使用之變數以供參考。

變數	說明	變數	說明
i	目前到達節點。	P	在節點的抵達等候堆疊之中，抵達時間較早的前一架航機。
j	下一節點。	P*	同航線之前機。
QH _i	航機所在節點的等候航機數量。	S	在節點的抵達等候堆疊之中，抵達時間較晚的後一架航機。
QH _j	下一節點的等候航機數量。	TOA p_j^*	前機 P 抵達節點 j 的時間。
QA _j	下一節點的預計到達航機數量。	TOD p_j^*	前機 P 離開節點 j 的時間。
HC _j	下一節點的等候容量。	EventT	最終決定之事件時間。
TNOW	目前時間。	InitT	由速度調整副程式計算出的飛行時間或預計等候時間。
SP	速度調整參數。	HoldT	航機在節點上的預計等候時間，為初步估計值。
Vnorm	航機的巡航速度。	HSP	等候參數。HSP = 0 代表已經等候一圈，此後每次增加最小等候單位 TI；HSP = 1 代表初進等候圈，第一次等候之最小時間為 TF。
Vmin	航機所能降低的最小飛航速度。	TI	每次增加最小等候單位。
Vmax	航機所能提高的最大飛航速度。	TF	第一次等候之最小時間。
D	空域節線距離。	TD	等候時間 (HoldT-TNOW) 與第一圈等候的最小時間 (TF) 之差。表示額外的等候時間增量。
Sep	最小隔離時間。	T1	以巡航速度或目前速度飛行下，抵達下一節點的時間。
先到先服務	下一節點航機優先策略之 1。	T2	最大速度或目前速度飛行下，抵達下一節點的時間。
速度調整	下一節點航機優先策略之 2，在不調整其他航機飛行時間與保持安全隔離的原則下，安插目前航機匯入次序，以巡航速度為優先，接著分別考量加快或減慢速度安插，都不行時則排在最末位。	T3	最小速度或目前速度飛行，加上雷達引導 (vector) 延滯下，抵達下一節點的時間。
多航機速度調整	此方式與速度調整相似，其差別在於除了可以嘗試調整新到航機速度外，還可以調整該航機前後航機的速度，藉以保持足夠的隔離，以便使新到航機能安插於預計抵達佇列。	T4	最慢情況下的抵達時間 = T3 + TVEC。
HS _j	下一節點的管制策略。	TVec	最大曲折繞行 (雷達引導) 時間。
HS _j = 1	目前節點有航機等候時，其他節點不得續進至目前節點。	TUB	到達時間上限。
HS _j = 2	目前節點等候量已達容量時，其他節點不得續進至目前節點。	TLB	到達時間下限。
HS _j = 3	目前節點等候量加上預計到達數超過容量時，其他節點不得續進至目前節點。	TU	受到前機 P* 限制的到達時間上限。

