

## 第六章 結論與建議

經分析航管雷達軌跡記錄之航機真實軌跡資料，航機軌跡模式建立與預測，以及初步之航機衝突分析後，茲就本研究所獲致之結論與建議說明如下。

### 6.1 結論

#### 1. 航機軌跡特性

由航機雷達資料與管制條資料所篩選出之航機軌跡資料可發現如下之特性：

(1)航機離場平面軌跡相當分散，有偏離航路之情形，顯示在航管允許下，航機會選擇較直接之航路飛行。

(2)航機若依既定航路飛行，則其平面軌跡將可以合理的由直線與圓曲線加以合成。

(3)離場航機之垂直軌跡因航機載重不同而有明顯的差異，在同一水平飛行距離所飛行高度差異甚大，不過就個別航機之垂直軌跡觀之，大體上均有一脈絡可循，可歸納為四個爬升階段。

(4)到場航機因空域不足，航管介入明顯，航機軌跡無明顯跡象可循，但亦顯示航機軌跡的彈性以及完善規劃彈性航路的重要性。

#### 2. 預測航機離場軌跡

在充分了解航機軌跡之特性後，本研究成功的建構了預測軌跡模式。

(1)模式以航機水平飛行距離為基本變項，分析於各水平飛行距離下所對應之地速與高度。航機預測高度由水平飛行距離與其相應之爬

升關係求得，因此水平飛行距離之預測精確度與航機爬升率預測之精確度，更進一步影響高度之預測。已知雷達初始資料與航機水平飛行距離，結合空域中規範之路徑與方向，可以預測航機之平面座標。因此航機水平飛行距離為預測高度與預測平面軌跡之基礎，且由航機水平飛行距離與地速關係式與運動方程式聯立求得。運動方程式使得時間變數納入預測模式中，因此亦可預測水平飛行距離與對應地速之動態關係。

(2)本研究預測之水平飛航距離均小於航機實際水平飛航距離，導致預測之高度絕大部份均高於雷達實際高度。

(3)若更新雷達資料預測航機軌跡，更新時間間隔愈小，相對上其平均預測誤差將小於更新時間較長者。

### 3. 航機衝突分析



本研究以 Paillie 與 Erzberger 衝突機率模式進行航機衝突分析。現行頒布之 FB1 離場程序與 AU1A 到場序平面圖有交錯之情形，由衝突機率結果可證實航機於此範圍內之平面軌跡衝突機會大。航機離到場衝突機率分析結果亦顯示，空域內載重較輕或較重之離場航機與到場航機皆有衝突機率值非 0 之情形，因此空域內若無人為介入航機將可能發生衝突。

## 6.2 建議

以下分別對建立航機離到場動態軌跡與衝突機率中本研究尚未探討之內容提出數點建議。

### 1. 建立動態軌跡

(1)預測平面軌跡時之預測時間間隔可小於 15 秒，或更新航機雷達資料時間間隔可小於 60 秒，並與實際雷達資料或本研究之結果比較。

(2)預測平面轉向軌跡，本研究單純地將轉向部份視為圓曲線並進行分析與預測。後續研究可假設轉向階段由二條緩和曲線與一個圓曲線組成，進行航機軌跡分析與預測。

(3)預測模式中假設航機於 15 秒時間間隔內以平均速度飛行，但由於航機仍處於爬升階段，15 秒內航機必定存在加速度，且加速度使地速隨時間增加，故未來討論地速與水平飛行距離之關係時可將航機加速度納入探討。

(4)本研究以水平飛行距離與地速關係預測下一時點之水平飛行距離，且預測水平飛行距離值作為平面座標與高度預測之輸入，此模式間接求得預測高度。若能同時分析同一時點下之航機水平飛行距離、地速與高度三者間之直接關係，從中即可直接求取預測高度值，亦為另一種預測模式之建構方法。

(5)分析水平飛行距離與地速關係時，依照雷達資料航機所繪製之圖形分割為三階段，但未對階段與階段間之連結方式、或求得下一階段預測水平飛行距離與地速關係方程式過程作細膩的處理，後續研究可加以補強。

(6) AU1A 到場程序由於航管介入明顯，但若到場航機之雷達資料足夠，仍可以對到場航機雷達資料進行分析並預測航管指示下到場航機軌跡結果。

## 2. 衝突機率

由於本研究雷達資料筆數不足，無法分析及預測實際到場航機之資料，因此未來若到場航機依照頒布之航路飛行之雷達資料充足，離到場航機之分析與預測結果可同時代入模式中，使衝突分析更能符合實際情況。衝突機率值求得後，若航機可能發生衝突，則必須探討執行衝突排解之方法，以確保航機飛行安全。

最後，台北終端管制區空域內完整之航機軌跡預測與衝突分析仍待後續相關之研究才得以完成，其中包括因航機機型差異與不同之離到場程序所呈現不同特性航機軌跡之分析探討等。

