

四、雷達資料收集與分析

由前所述，可得知前機場離到場程序間存在諸多之航機衝突點。若求改善，可以調整引導彈性較高之到場航路的方式為佳。因此本章將以分析實際雷達軌跡方式，同時考量區域航行之規範以求得改善到場路線，解決離到場航線間之潛在衝突問題。

藉由分析現有運作正常之到場航機軌跡可做為到場路線規劃之參考，並可相比較以得知飛行時間等改善效益，其原因有三：

- (1) 現行運作下，為避免航機衝突發生，航管人員可依循規定，進一步以雷達引導方式指示到場航機安全降落。其航跡雖未依照到場程序所示之航跡航行，然足以代表當時時空下，航機可安全到場之路線。
- (2) 現行運作下之航機軌跡，必為該航機之操作極限內，因此據以規劃之航路必可由該航機飛行之。
- (3) 航機到場時，所遇到諸如到場順序或是機型空速差異等問題皆非傳統之到場程序所能應付，仍需仰賴航管人員依規定導引航機。因此藉由分析現有到場航機軌跡，可進一步整理出規劃時所需考量的準則如速度限制或是高度限制等，並依此為參考，設計出較有彈性之到場管制。

4.1 資料收集

資料收集分為兩部份，一為雷達資料，亦即航機實際飛行過程之相關參數；二為管制條資料，包含航機計畫航路及管制指示等參數。說明如下：

4.1.1 雷達資料

中正終端航管自動化系統為參考美國的自動雷達終端系統（ARTS, Automated Radar Terminal System）所設計，主要接引三座雷達系統，分別為中正新雷達系統、中正雷達系統、松山雷達系統。三座雷達系統偵測到航空器後，會將代表航空器位置的方位距離以類比訊號傳送至轉換器，轉換器再將類比訊號轉換為數位資料，再送至航管自動化系統的主處理器進行處理。航管自動化系統的主處理器除了處理雷達系統送來的雷達資料外，另外還銜接航路自動化系統，處理航路自動化系統傳送來的飛航資料，並將雷達資料與飛航資料相結合，將每一架雷達偵測到航空器的呼號、機型、位置、高度、速度、移動方向等資訊送至航管管制席位，並且把資料儲存於硬碟及磁帶組成的資料記錄裝置中，以便日後需要可以將當

時的所有紀錄調出或進行重播。[4]

1. 格式說明

運用航管自動化系統之系統資料紀錄控制軟體 (SDRC, System Data Recording Control)，可輸入指令以擷取硬碟及磁帶之資料，並將資料以要求之格式輸出為純文字檔。本資料格式採「系統軌跡資料格式 (System Tracking Data Format)」，一列稱為一筆紀錄，各欄說明如圖 9 及表 2 所述。

ST:TIME	ACID-SCDF		RBC	ADF	RSX	SSX		
HH:MM:SS. sss	XXXXXXX-9999		7777	9999	9999.99	9999.99		
...		
RSY	SSY	XDOT	YDOT	SPD	HDG	LF	APTCA	
9999.99	9999.99	±9999	±9999	999	360	77	4	
...	
APTLA	W	EALT	SALT	ACC	ZDOT	AFT	T	NL
4	777	±99900	±99999	±99	±999	77X	X	99
...

圖 9 雷達資料欄位示意圖

表 2 雷達資料欄位一覽表

欄	說明
ST:TIME	Time of extraction (GMT) 記錄此筆紀錄之時間至秒小數點後三位，格林威治時間。
ACID-SCDF	Aircraft ID - ACDF number 此筆紀錄所屬之航班呼號 (Aircraft ID) 及該航空器之唯一四碼數字代號 (ACDF number) 兩者之組合碼。
RBC	Reported Beacon Code 此筆紀錄之航空器次級雷達迴波器 (Transponder) 所撥定四碼數字代號。
ADF *	Supporting ADF number
RSX	Reported System X-Coordinate (Nautical Mile) 雷達回報此筆紀錄之航空器位置轉換為直角座標後之 X 軸值，單位為浬。
SSX *	Smoothed System X-Coordinate (Nautical Mile)
RSY	Reported System Y-Coordinate (Nautical Mile) 雷達回報此筆紀錄之航空器位置轉換為直角座標後之 Y 軸值，單位為浬。
SSY *	Smoothed System Y-Coordinate (Nautical Mile)
XDOT	System Velocity X-Component (Knot) 系統計算同一航空器之 X 軸向速度，單位為浬/時 (節)。
YDOT	System Velocity Y-Component (Knot) 系統計算同一航空器之 Y 軸向速度，單位為浬/時 (節)。
SPD	System Speed (Knot) 系統計算同一航空器之水平 (X-Y) 速度，單位為浬/時 (節)。
HDG	System Heading (Degree) 系統判斷此筆紀錄之航空器前進方向，360 度制，單位為度。
LF *	Lateral Profile Firmness
APTCA	Conflict Alert Area Type 1-2 表示機場附近，3 表示近場台，4 表示航路

表 2(續) 雷達資料欄位一覽表

APTLA	Conflict Alert Area Type 1~2 表示機場附近，3 表示近場台，4 表示航路
W*	Altitude Profile Sliding Window
EALT	Established Altitude (ft) 系統處理此筆之航空器回報高度值取百呎為整數單位後之高度紀錄，單位為呎。
SALT	System Altitude (ft) 此筆紀錄之航空器回報高度值，單位為呎。
ACC	Altitude Acceleration (ft/sec/sec) 系統計算之垂直加速度，亦即爬升/下降率之改變速度。
ZDOT	Altitude Velocity (ft/sec) 此筆紀錄之航空器爬升/下降率，單位為呎/秒。
AFT*	Altitude Profile Firmness
T	Lateral Turn Indicator 系統判斷此筆紀錄之航空器水平彎發生與否，左 (L) 右 (R) 轉或空白。
NL*	Number of Lines

*：顏色淡化之欄位與本研究無直接相關。

由於雷達乃以 360 度環圈接收訊息，一圈費時約 5 秒，因此資料初步取得時，各筆紀錄皆以時間 (ST:TIME) 為升冪排列，相鄰兩筆紀錄並非必為同一架航空器，而同一架航空器之相近兩筆紀錄大多間隔約 5 秒。一天 24 小時下來，紀錄總數多可達百萬筆以上，如圖 10。

ST : TIME	ACID-ACDF	RBC	ADF	RSX/SSX	RSY/SSY	XDOT	YDOT	SPD	HDG	LF	APTCA	APTLA	W	EALT	SALT	ACC	ZDOT	AFT	T	NL	
00:00:00.065	-0007	6601	0012	425.19	422.68	+0	+0	0	161	37	4	4	377	+50000	+50000	+0	+0	12M		1	
				425.19	422.68																
00:00:00.323	-0054	4352	0088	442.63	331.81	-100	-369	383	195	37	4	4	327	+20000	+20000	+0	+0	06M		2	
				442.69	331.94																
00:00:01.000	TNA006	-0230	0335	0105	415.30	413.19	-229	+92	247	292	37	3	3	377	+3900	+4022	+0	-16	12M	R	1
				415.16	413.03																
00:00:01.194	-0180	4363	0036	373.74	343.99	-89	-155	179	209	37	4	4	377	+4100	+4182	+0	+0	04M		1	
				373.73	343.97																
00:00:01.323	-0217	2643	0014	352.95	285.83	-69	-458	463	188	37	4	4	377	+40000	+40000	+0	+0	12M		2	
				352.99	285.85																

圖 10 雷達資料純文字檔格式示意圖

2. 收集及初步篩選

本研究運用系統資料紀錄控制軟體 (SDRC) 擷取中正航管自動化系統非連續七天之資料，分別為 2005/5/10、2005/5/18、2005/5/26、2005/6/3、2005/6/11、2005/6/19、2005/5/27 等七天之純文字檔。由於紀錄包含所有飛經台北終端管制空域之航機紀錄，除了臺灣桃園機場之航班外，也包含如松山、新竹、桃園、龍潭等機場航機，另有雜訊迴波及定位迴波等資料，因此初步需將非臺灣桃園機場起降之航班之紀錄刪除。

本步驟之重點在於刪除 ACID 欄位為空白之紀錄，原因在於若 ACID 為空白，表示該筆紀錄並不屬於台北近場管制塔台所管轄，沒有相關飛航資料與之結合。因此，運用 SPSS 統計軟體之匯入功能，篩選保留 ACID 為非空白之紀錄。此舉將移除軍機及迴波等非本研究所需之紀錄。此時每筆皆有 ACID 為依據，然仍包含非臺灣桃園機場起降但需經台北近場塔台管制之航機，如松山等週邊機場起降之航機。為了要進一步篩選出於臺灣桃園機場起降之正確航班紀錄，必須進一步取得相對應之管制條資料做為比對。

4.1.2 管制條資料

依據飛航管制程序 ATP-88 (CHG-7) [2] 所述，「將飛航計畫記在管制記錄條上」、「依飛航計畫的種類與實際的情況，將飛航計畫資料記於飛航管制條（簡稱管制條）」、「當駕駛員直接向航管單位申請飛航計畫時，則記錄所有資料於管制條」、「應使用管制條記錄管制及其他航管服務所需之資料」。取得管制條資料，將可得到航班之飛航計畫，及管制過程之紀錄。此紀錄之時間準確性較差，若能伴以管制過程語音檔為佳，然管制條本身保有航機經由航管員引導之蛛絲馬跡，仍可取得一定程度之有用資訊以供判讀雷達資料。

1. 格式說明

管制條為一橫向長矩形之紙條，畫有一定欄位，可用於近場、塔台、巡航等不同需求環境，其對應之格式也有所不同。參考 ATP-88 之規範，以下為近場台到場航機之管制條格式，圖 11、表 3 為資料列印格式，圖 12、表 4 為人工手寫格式。

AAAAAAA	B	KKKKK	NN NN	QQQQQQ	TTTTT	VVVVVVVVVVVVVVVVVVV			
	CCC	KKKKK		QQQQQQQQ	TTTTT	VVVVVVVVVVVVVVVVVVV			
DDDDDDDD		KKK	ooo S	QQQ	TTT	VVVVVVVVVVVVVVVVVVV			
EEEEEE	fffff	Ll1111			uuuu	VVVVVVVVVVVVVVVVVVV			
iiii	jj	Mmmmm	PPPPPPPPPPPP			WWWWWWWWWWWWWWWWWW			

圖 11 終端到場管制條(印表欄位)[2]

表 3 終端到場管制條欄位一覽表[2]

欄位及內容	
A	航空器識別
B	修正編號
C	電腦編號(紅色)
D	航空器資料(架數、重型航空器代號(H)、機型及裝備)
E	“A”,電碼
F	真空速(“T”哩/時,“M”馬赫數,“SC”空速保密)
G	保留
H	保留
I	傳送管制條之席位
J	重複管制條記號
K	前一定位點名稱
L	預計通過前一定位點時間

欄位及內容	
M	
N	通過協調點時間
O	保留
P	起飛機場
Q	指定高度
R	保留
S	到場箭頭(↓)(紅色)
T	保留
U	保留
V	航路資料
W	備註

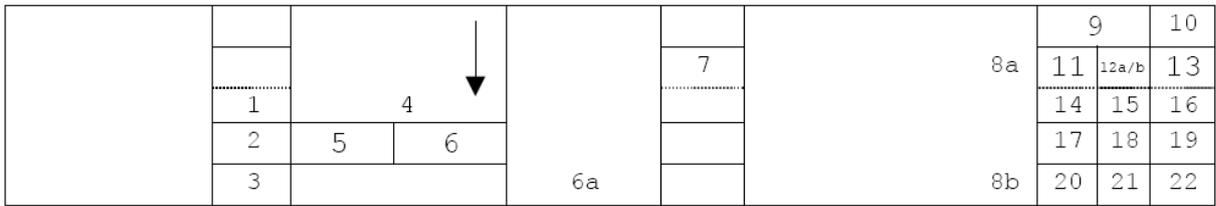


圖 12 終端到場管制條(人工註記欄位) [2]

表 4 終端到場管制條欄位一覽表[2]

欄位及內容		欄位及內容	
1	使用跑道(紅色)(與現行跑道方向不同時註記)	11	許可限制點/ 等待點。(非雷達狀況：最初進場點名稱)
2	保留	12a	到達許可限制點/最初進場點/等待點之時間(非雷達狀況：預計通過最初進場點時間)
3	保留	12b	離開許可限制點/等待點時間(非雷達狀況：實際通過最初進場點時間)
4	保留	13	保留(非雷達狀況：離開最初進場點時間)
5	初次聯絡時間	14	最後進場點名稱/程序轉彎/12 哩圓弧
6	實際到達協調點時間	15	完成程序轉彎/進入 12 哩圓弧時間
6a	RA ↑或 RA ↓及時間(如航空器報告航情警告避撞系統之避撞諮詢爬高或下降時)	16	保留
7	保留	17	到達最後進場點/轉換頻率時間
8a	等待記號(例如 H 0910)	18	MA(誤失進場)、LA(低空通過)、TG(連續起降)、 \cancel{E} (取消儀器)或 Z(塔台航線)
8b	進場種類	19	誤失進場/低空通過/連續起降/取消儀器/換塔台航線/雷達交接時間
9	保留	20	保留
10	保留	21	保留
		22	保留
		註	第 10、13 及 16 欄供雷達服務情況使用

2. 收集及初步篩選

本研究對應取得之雷達資料，取得 2005/5/10、2005/5/18、2005/5/26、2005/6/3、2005/6/11、2005/6/19、2005/5/27 等七天之台北近場台管制條資料，如圖 13。運用 Microsoft Excel 檔案，依照前述格式建立欄位，並一一鍵入管制條資料，一列為一架班機之資料，如圖 14。在管制條資料建立完成後，立即進行初步篩選，剔除管制條資料當中離場及非臺灣桃園機場起降之航班資料，僅保留七天之臺灣桃園機場到場航班資料。如此結合前述之雷達資料，將可進行下一步資料篩選與分析。

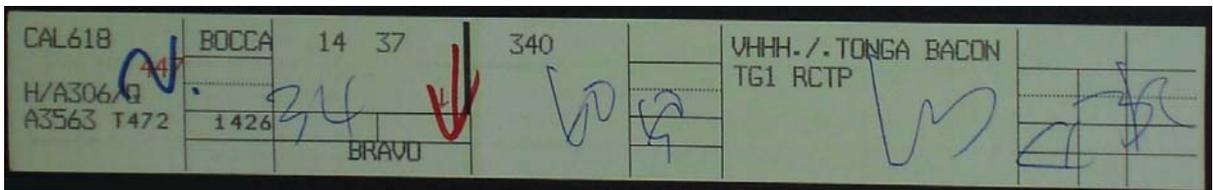


圖 13 管制條範例圖

航空器識別	跑道	修正編號	機型	航空器資料	電碼	真空速	前一定位點名稱	預計通過時間	通過時間	聯絡時間
CAL688	N		A306	A306HQ	4147	T485	NN	1156	1207	
CAL123	N		B738	B738Q	3706	T478	SKU	1137	1151	55
CAL678	N		A306	A306HQ	2410	T483	TNN	1153	1204	01
AN287	S		B763	B763HQ	3674	M080	SKU	1135	1149	49
EVA396	S		A332	A332HQ	5553	T468	TNN	1149	1201	56

圖 14 管制條轉換至電子檔之範例格式圖

4.2 資料分析-程序路線部份

由於臺灣桃園機場之離到場程序有航線交錯而發生衝突之虞，因此航管人員需依規定進一步引導到場航機以免發生衝突。本節依篩選完成之飛航軌跡資料，進一步探討軌跡之變化。依照前述分類，機場有 05/06 及 23/24 等兩種不同跑道運作方式，而以 05/06 為優先跑道，意即只要風速及風向在規範許可內，機場運作將以 05/06 跑道為主。因此本研究將優先討論 05/06 運作下之到場管制設計及其效益。

在 05/06 跑道運作之時空下，依程序重疊示意圖可得知有四處可能發生衝突須由航管人員進行排解，同時可察覺四處皆與 AU1A 到場程序有關

聯。為進一步確認航機在實際飛行時之軌跡，並了解航管人員是如何處理此種的問題，本研究以雷達資料所展現之軌跡進行分析。以 AU1A 到場程序之到場過程皆須經歷四處衝突為例，利用雷達資料中所有 AU1A 到場程序之航機為樣本，分類其是否受到這四處衝突之影響而由管制人員介入引導，即可如表 5 所示，將每一架採用 AU1A 的航機資料加註是否受衝突點之影響而改變航行。

表 5 新增欄位說明

欄位名稱	欄位值	說明
交會點 A	0/1	是否因受到交會點 A 之影響而改變航行 0: 否/1: 是
交會點 B	0/1	是否因受到交會點 B 之影響而改變航行 0: 否/1: 是
交會點 C	0/1	是否因受到交會點 C 之影響而改變航行 0: 否/1: 是
交會點 D	0/1	是否因受到交會點 D 之影響而改變航行 0: 否/1: 是

經由研讀判別每一筆 AU1A 程序航機之軌跡資料後，可進一步歸納出以下幾個現象：

- (1) AU1A 到場程序之實際航機軌跡明顯偏離 AIP 所規定之路線，一律仰賴航管人員之雷達引導；
- (2) 其引導路線之大略途徑可由圖 15 中展現出來，並可簡單區分為 4 個引導階段：
 - (a) 第一階段 - 航路下降：遵循航路方向飛行並降低高度至 FL200；
 - (b) 第二階段 - 修正航向：下降、轉向並修正航向；
 - (c) 第三階段 - 平行跑道：下降、修正轉向以平行跑道方向；
 - (d) 第四階段 - 準備進場：進行左轉 180 度並準備進行儀器降落。

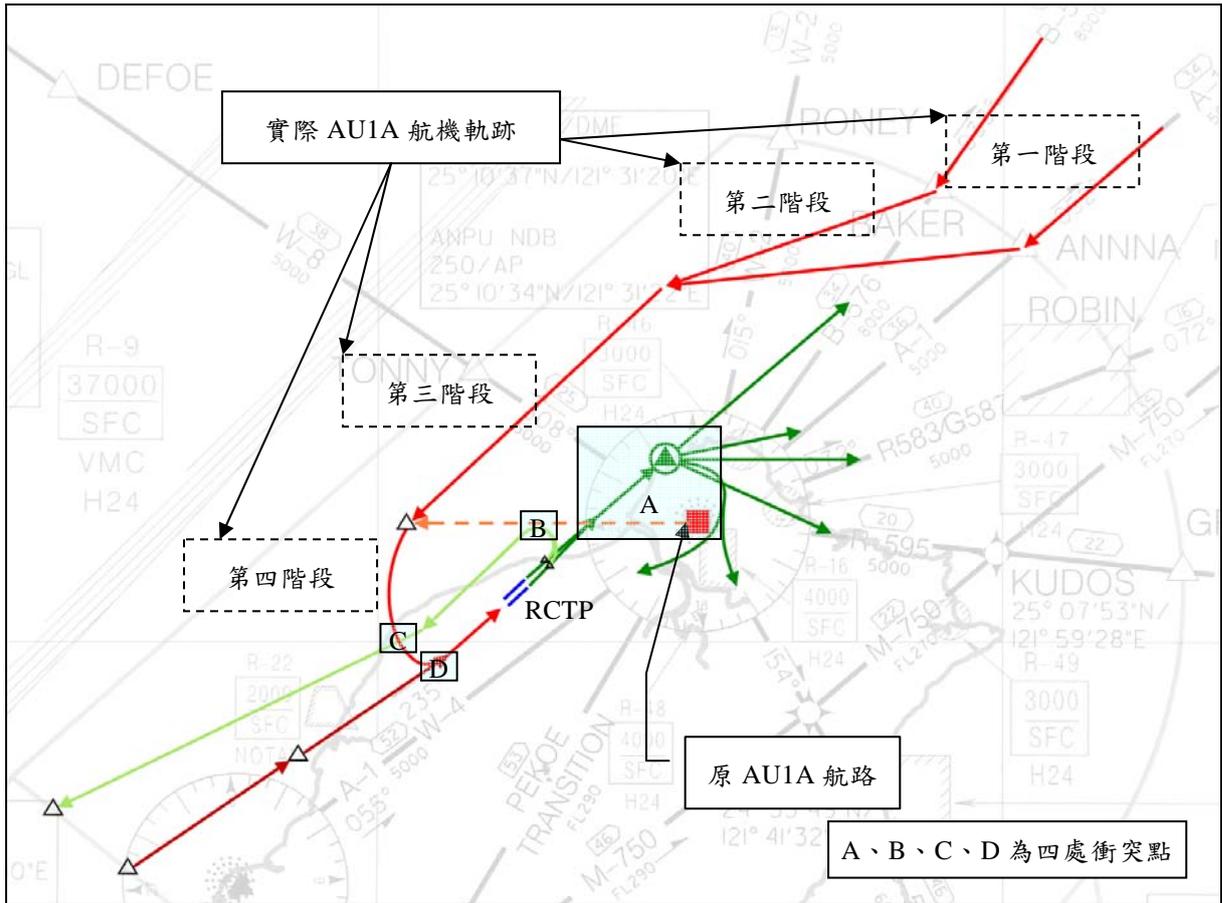


圖 15 AU1A 到場航機軌跡示意圖

(3) 其中的交會點 B 及交會點 C 兩個欄位經由研判後，為百分之百相同的欄位屬性，且此二欄位所示之意義相同，代表著離場 SU1M/SU1T 與到場 AU1A 之衝突，因此可合併此二欄位為一，修改後的欄位如表 6。

表 6 合併之程序衝突點特性一覽表

使用跑道	交會點	衝突類型	相關聯程序
05/06	A	起降衝突	離場：FB1 到場：AU1A
05/06	BC	起降衝突	離場：SU1M/SU1T 到場：AU1A
05/06	D	會合衝突	離場：無 到場：MG1B/SA1B、AU1A

AU1A 到場經歷之四項階段，以及各航機間之實際軌跡是不盡相同的，主要原因就是受到先前所整理之三個交會點衝突所影響，航管人員必須視各交會點之航情狀況，依表 7 航機軌跡與各交會點航情之關聯度，適當的引導航機。

表 7 到場各階段航機軌跡與各交會點航情間之關聯

AU1A 階段	交會點 A	交會點 BC	交會點 D
第一階段	不會受到影響	不會受到影響	不會受到影響
第二階段	會受到影響	會受到影響	會受到影響
第三階段	不會受到影響	會受到影響	會受到影響
第四階段	不會受到影響	會受到影響	會受到影響

舉例來說，第二階段航機軌跡將會因交會點 A、BC、D 的航情不同，而有不同的軌跡；然而第三、四階段之軌跡則只受交會點 BC、D 之影響而有變異。

由於資料已加入了新的欄位屬性之後，便可依照表 7，篩選出各別不同屬性之航機軌跡並進行分析，求出其空間軌跡方程式並決定新的改善航線，用於下一階段之到場改善及效益分析。運用雷達資料之 RSX、RSY 及 SALT 三個欄位，代表空間坐標之 X、Y 與 Z，篩選後進行迴歸，個別對 AU1A 進場四個階段逐一找出合適的方程式。水平面方程式 (Y:X) 用於求得水平面之軌跡以決定路線，立體面方程式 (Z:X-Y) 則用於航機之三度空間位置以決定高度之變化，並求得下降率的變化範圍。

第一階段：皆不會受交會點 A、BC、D 之影響，唯一差別即在通過的航路不同，因此針對兩種航路 A1 及 B576 到來之航機進行迴歸，得方程式：

A1 :			$Y = 64.437 + 0.845X$		(式 1)
Std. Error	1.005		0.002		
t value	64.095		386.126		
Sig.	0.000		0.000		
n=1691	$R^2=0.989$	s=0.535	F=149093.507	Sig.=0.000	

A1 :			$Z = -197273.71 - 2643.442X + 3173.569Y$		(式 1A)
Std. Error	8875.930		98.517	115.957	
t value	-22.226		-26.832	27.368	
Sig.	0.000		0.000	0.000	
n=1691	$R^2=0.311$	s=2547.55	F=381.040	Sig.=0.000	

B576 : $Y = -209.116 + 1.482X$ (式 2)				
Std. Error	0.847	0.002		
t value	-246.862	789.601		
Sig.	0.000	0.000		
n=458	$R^2=0.999$	s=0.133	F=623469.077	Sig.=0.000

B576 : $Z = -538417.01 + 3169.724X - 1889.837Y$ (式 2A)				
Std. Error	172002.711	1214.493	819.461	
t value	-3.130	2.610	-2.306	
Sig.	0.002	0.009	0.022	
n=458	$R^2=0.225$	s=2323.143	F=66.119	Sig.=0.000

第二階段：除區分為 A1 航路及 B576 航路外，另增加二元變數 D_2 以分為是否因交會點 A 之影響而有不同的軌跡。意即，若時空因素下正有航機正在進行 FB1 離場，則 D_2 等於 1；若無航機正進行 FB1 離場，則 D_2 等於 0。

A1 : $Y = 260.642 + 0.414X - 4.066D_2 + 0.012D_2X$ (式 3)				
Std. Error	2.326	0.005	3.267	0.007
t value	112.061	77.252	-1.245	1.602
Sig.	0.000	0.000	0.213	0.109
n=4136	$R^2=0.766$	s=2.844	F=4504.002	Sig.=0.000

A1 (when $D_2=0$) : $Z = -117415.78 + 304.144X + 2.315Y$ (式 3A)				
Std. Error	5679.316	9.490	20.715	
t value	-20.674	32.049	0.112	
Sig.	0.000	0.000	0.911	
n=1849	$R^2=0.754$	s=2153.970	F=2824.335	Sig.=0.000

A1 (when $D_2=1$) : $Z = -93078.626 + 324.653X - 73.187Y$ (式 3B)				
Std. Error	3434.422	6.151	12.101	
t value	-27.102	52.777	-6.408	
Sig.	0.000	0.000	0.000	
n=2287	$R^2=0.771$	s=1819.703	F=3845.011	Sig.=0.000

B576 : $Y = 182.742 + 0.607X + 12.143D_2 - 0.025D_2X$ (式 4)				
Std. Error	7.197	0.017	8.850	0.021
t value	25.391	36.274	1.372	-1.214
Sig.	0.000	0.000	0.170	0.225
n=1021	$R^2=0.788$	s=3.224	F=1261.117	Sig.=0.000

B576 (when $D_2=0$) : $Z = -89124.761 + 485.218X - 235.495Y$ (式 4A)				
Std. Error	3926.538	11.859	17.476	
t value	-22.698	40.915	-13.475	
Sig.	0.000	0.000	0.000	
n=388	$R^2=0.918$	s=1023.207	F=2169.311	Sig.=0.000

B576 (when $D_2=1$) : $Z = -158273.82 + 330.425X + 72.386Y$ (式 4B)				
Std. Error	5805.968	16.180	24.490	
t value	-27.261	20.421	2.956	
Sig.	0.000	0.000	0.003	
n=633	$R^2=0.790$	s=2069.572	F=1185.364	Sig.=0.000

第三階段：除了以 A1 及 B576 兩種航路分類以外，設定二元變數 D_3 以分為是否受到交會點 BC 之影響。若時空因素下，正好有航機正在進行 SU1M/SUIT 離場程序，則 D_3 等於 1；若無 SU1M/SUIT 離場之影響，則 D_3 等於 0。

A1 : $Y = 36.134 + 0.950X + 66.110D_3 - 0.151D_3X$ (式 5)				
Std. Error	3.393	0.008	5.186	0.013
t value	10.649	114.970	12.749	-11.918
Sig.	0.000	0.000	0.000	0.000
n=3712	$R^2=0.851$	s=2.911	F=7062.132	Sig.=0.000

A1 (when $D_3=0$) : $Z = -122501.81 + 58.026X + 247.324Y$ (式 5A)			
Std. Error	1700.955	10.489	10.181
t value	-72.019	5.532	24.293
Sig.	0.000	0.000	0.000
n=1990	$R^2=0.746$	s=1424.892	F=2918.863 Sig.=0.000

A1 (when $D_3=1$) : $Z = -113610.23 + 321.300X - 22.609Y$ (式 5B)			
Std. Error	2994.198	14.682	16.755
t value	-37.943	21.884	-1.349
Sig.	0.000	0.000	0.177
n=1722	$R^2=0.598$	s=1823.323	F=1276.085 Sig.=0.000

B576 : $Y = 95.288 + 0.819X - 21.773D_3 + 0.056D_3X$ (式 6)				
Std. Error	13.348	0.033	17.576	0.043
t value	7.139	25.106	-1.239	1.303
Sig.	0.000	0.000	0.216	0.193
n=833	$R^2=0.660$	s=4.218	F=537.416	Sig.=0.000

B576 (when $D_3=0$) : $Z = -165999.51 + 252.310X + 165.271Y$ (式 6A)			
Std. Error	4249.213	14.104	12.160
t value	-39.066	17.889	13.591
Sig.	0.000	0.000	0.000
n=319	$R^2=0.843$	s=1291.835	F=845.265 Sig.=0.000

B576 (when $D_3=1$) : $Z = -118313.09 + 79.980X + 216.374Y$ (式 6B)			
Std. Error	4228.309	23.085	24.076
t value	-27.981	3.465	8.987
Sig.	0.000	0.001	0.000
n=514	$R^2=0.636$	s=1416.536	F=446.910 Sig.=0.000

第四階段：其轉向之時機與否與交會點 BC 及 D 有關，延續第三階段之方程式計算其半圓，若有受到交會點 BC 之影響，則方程式為：

$$A1 : (X - 403.85)^2 + (Y - 417.51)^2 = 26.76 \quad (式 7)$$

$$B576 : (X - 403.06)^2 + (Y - 417.89)^2 = 35.72 \quad (式 8)$$

若沒受到交會點 BC 之影響，則方程式為：

$$A1 : \frac{(X - 402.63)^2 + (Y - 413.89)^2}{10.68} \quad (\text{式 } 9)$$

$$B576 : \frac{(X - 405.16)^2 + (Y - 418.96)^2}{29.03} \quad (\text{式 } 10)$$

其中，第四階段之垂直高度並未計算，以航機銜接儀器進場程序為目的進行下降即可。

至於交會點 D 之航情影響程度，則展現在以上各方程式之變異範圍。意即，此四種階段之空間方程式代表的是軌跡之航行“趨勢”，表示所對應之樣本航機所航行的“平均”路線；而為了考量航機排序，讓到場航機能依序通過交會點 D，因而偏移飛行而產生了空間方程式之變異。

AU1A 之航機雖多以四階段方式到場，然在完全沒有其它航機影響之下，也就是沒有交會點 ABCD 之影響下，航機會自行依一固定路徑進行到場。其過程簡化為三階段：

第一階段：不會受交會點 A、BC、D 之影響，兩種航路 A1 及 B576 到來之航機分別依式 1 及式 2 之軌跡方程式所述。

第二階段：相似於前述之第二與第三階段，差別在於此時航機為直接航向 SEDUM 定位點，少了一次轉折。

A1 :		$Y = 224.673 + 0.492X$		(式 11)
Std. Error	0.895	0.002		
t value	251.019	233.770		
Sig.	0.000	0.000		
n=833	R ² =0.985	s=0.989	F=54648.590	Sig.=0.000

A1 :		$Z = -158375.31 + 224.844X + 174.022Y$		(式 11A)
Std. Error	8962.794	19.663	39.632	
t value	-17.670	11.435	4.391	
Sig.	0.000	0.000	0.000	
n=833	R ² =0.953	s=1129.473	F=8335.272	Sig.=0.000

B576 :		$Y = 136.882 + 0.708X$		(式 12)
Std. Error	0.642	0.002		
t value	213.241	466.759		
Sig.	0.000	0.000		
n=382	R ² =0.998	s=0.417	F=217863.917	Sig.=0.000

B576 :		$Z = -174007.13 + 275.627X + 157.596Y$		(式 12A)
Std. Error	31974.814	164.872	232.624	
t value	-5.442	1.672	0.677	
Sig.	0.000	0.095	0.499	
n=382	R ² =0.893	s=1890.011	F=1584.263	Sig.=0.000

第三階段：第三階段則與前述之第四階段相類似，為轉向跑道之半圓：

$$A1 : (x - 403.18)^2 + (y - 416.9)^2 = 26.62 \quad (\text{式 } 13)$$

$$B576 : (x - 404.33)^2 + (y - 417.43)^2 = 22.98 \quad (\text{式 } 14)$$

將 AUIA 之航機軌跡空間方程式作一整理，可得 AUIA 航機軌跡之組合如表 8A，依各方程式所推得之位置及高度等數值如表 8B 及圖 16。

表 8A 到場軌跡空間方程式一覽表

航路別	階段別	第一階段	第二階段	第三階段	第四階段	編號
B576	三階段	式 2	式 12	式 14		R1
	四階段		式 4	式 6	式 8	R2
					式 10	R3
A1	三階段	式 1	式 11	式 13		R4
	四階段		式 3	式 5	式 7	R5
					式 9	R6

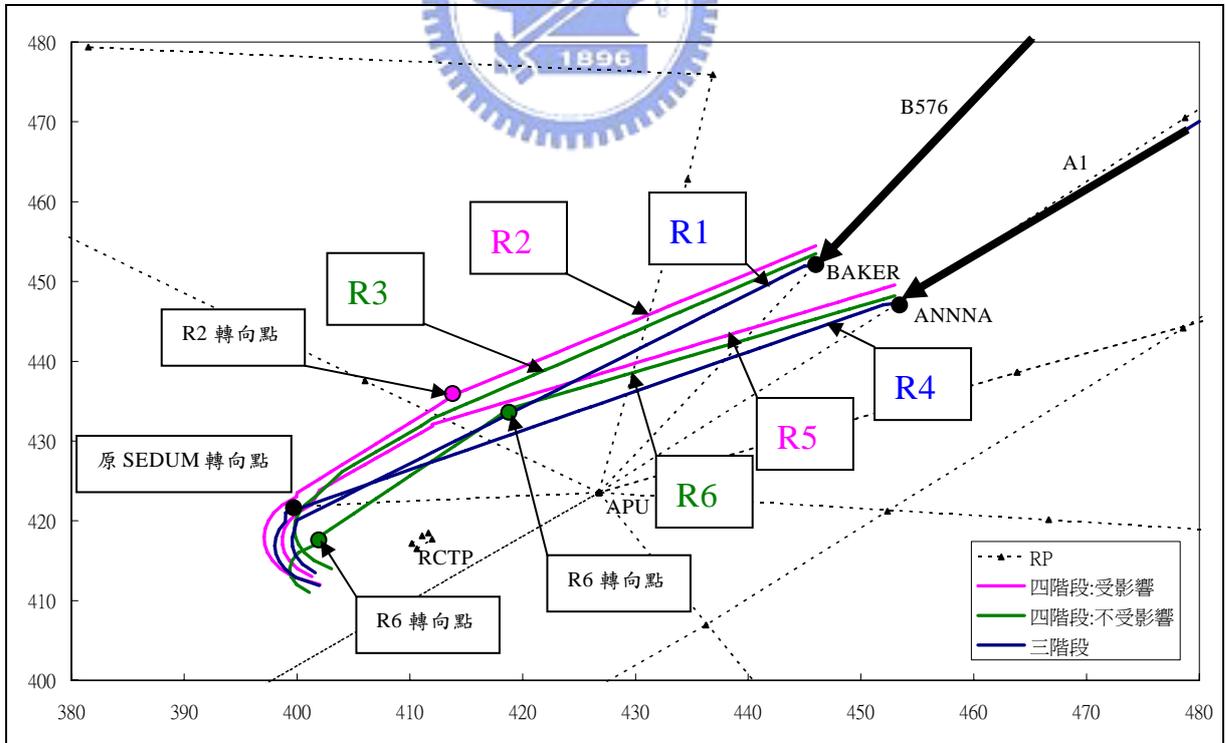


圖 16 到場軌跡空間方程式一覽

表 8B 到場軌跡空間方程式一覽表(詳細數值)

編號	第一階段	第二階段	第三階段
R1		<p><u>式 16&16A</u> 起點(445, 451, 19871) ↓ 迄點(400, 420, 2446) 水平距離 55.14 nau.m. 下降坡度 2.98° (316.02 ft./nau.m.)</p>	
R2	<p><u>式 2&2A</u> 起點(467, 482, 29094) ↓ 迄點(446, 451, 21345) 水平距離 38.04 nau.m. 下降坡度 2.28° (242.45 ft./nau.m.)</p>	<p><u>式 4&4A</u> 起點(446, 454, 21992) ↓ 迄點(413, 434, 8817) 水平距離 38.37 nau.m. 下降坡度 3.23° (343.4 ft./nau.m.)</p>	<p><u>式 8&8A</u> 起點(412, 434, 8548) ↓ 迄點(400, 423, 5316) 水平距離 17.27 nau.m. 下降坡度 1.91° (202.67 ft./nau.m.)</p>
R3		<p><u>式 6&6A</u> 起點(446, 453, 20493) ↓ 迄點(411, 431, 9079) 水平距離 41.11 nau.m. 下降坡度 2.62° (277.64 ft./nau.m.)</p>	<p><u>式 10&10A</u> 起點(410, 431, 8692) ↓ 迄點(404, 426, 6366) 水平距離 9.05 nau.m. 下降坡度 2.83° (299.92 ft./nau.m.)</p>
R4		<p><u>式 15&15A</u> 起點(451, 446, 20741) ↓ (399, 420, 4597) 水平距離 59.07 nau.m. 下降坡度 2.63° (278.57 ft./nau.m.)</p>	
R5	<p><u>式 1&1A</u> 起點(480, 470, 25568) ↓ 迄點(452, 447, 21051) 水平距離 36.22 nau.m. 下降坡度 1.18° (124.7 ft./nau.m.)</p>	<p><u>式 3&3A</u> 起點(453, 449, 21087) ↓ 迄點(412, 431, 9001) 水平距離 44.66 nau.m. 下降坡度 2.55° (270.61 ft./nau.m.)</p>	<p><u>式 7&7A</u> 起點(411, 431, 8698) ↓ 迄點(402, 423, 5969) 水平距離 12.81 nau.m. 下降坡度 2.23° (236.77 ft./nau.m.)</p>
R6		<p><u>式 5&5A</u> 起點(453, 448, 21399) ↓ 迄點(418, 433, 8902) 水平距離 38.06 nau.m. 下降坡度 3.09° (328.35 ft./nau.m.)</p>	<p><u>式 9&9A</u> 起點(417, 432, 8609) ↓ 迄點(402, 418, 4214) 水平距離 22.07 nau.m. 下降坡度 2° (212.41 ft./nau.m.)</p>

註：起、迄點之數值為三度空間座標，單位為(X軸座標哩，Y軸座標哩，Z軸高度呎)

經由以上對實際軌跡資料之分析，可充份了解航管人員在面對潛在衝突時，所採取的不同引導方式所衍生出來的三度空間軌跡。以上所求得之空間方程式，經編號 R1~R6 後依線型推估出可採行的到場路線，但仍不可直接做為到場之路線，必須接受安全規範之檢驗。

分析圖 16 之結果後可以發覺，在四階段航線部份，R2 路線是最為偏北之航行路線，R6 路線則為最偏南之路線。因此運用空間方程式求算如圖 16 中所標示之 R2 及 R6 共 3 個新的轉向點之交點位置，並給予假設定位點名稱 RP1、RP2 與 RP3 如表 9 所列，即可定義出 R2 及 R6 兩條路線全程之確切通過定位點。另一方面，考量 A1 與 B576 有可能同時有航機到達，因此進一步依 ICAO Doc. 8168 之規範，檢驗 R2 及 R6 兩條航路之水平隔離範圍是否有重疊之虞，如圖 17 所示。由於兩條路線皆航行於海面上，並無地面障礙物或禁航區等問題，因此垂直隔離並無問題。確認隔離無誤之後則同時簡化 R3 及 R5 兩條路線至這三點定位點，並配合原 R1 及 R4 路線不變，即可規劃出共六條具有二度空間航路性質之改善 AU1A 到場航路，如圖 18（由 B576 航線返回的航機）及圖 19（由 A1 返回的航機）。

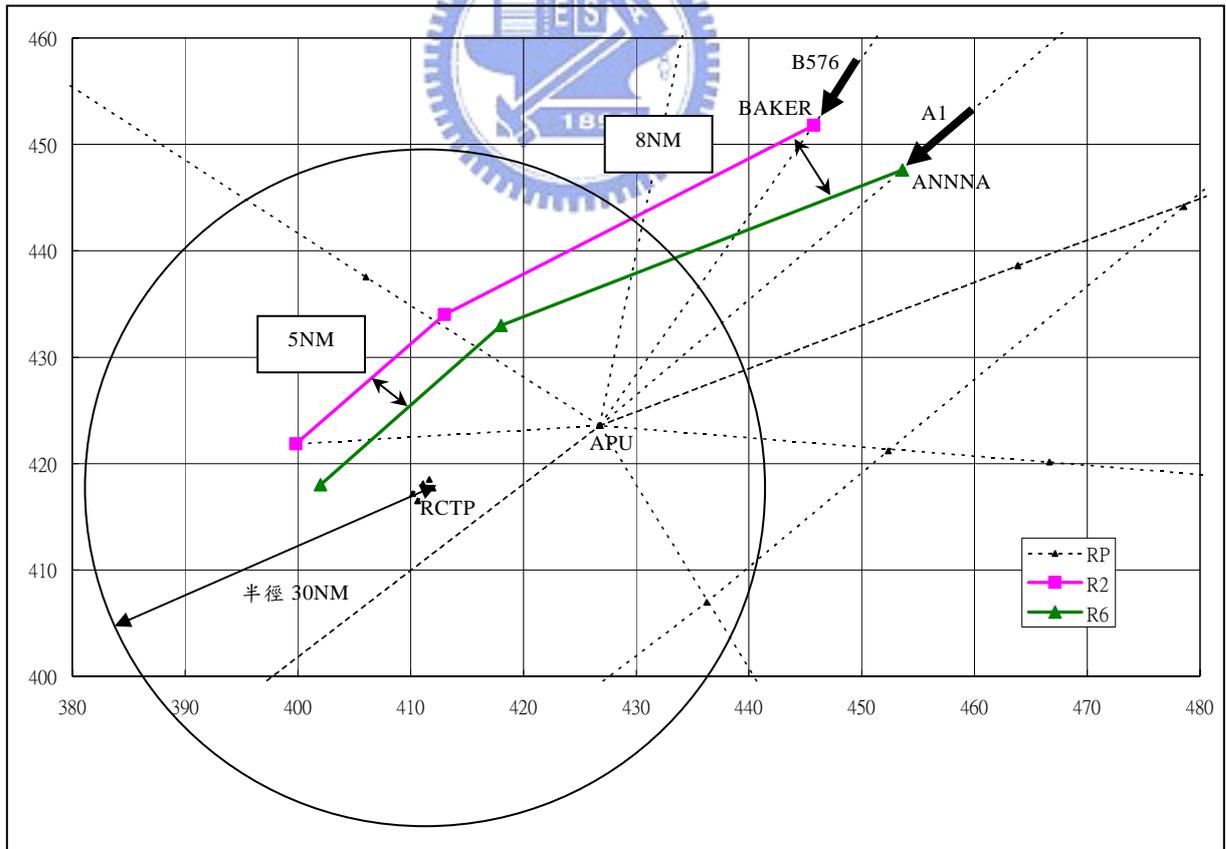


圖 17 R2 及 R6 路線之定位點及水平隔離示意圖

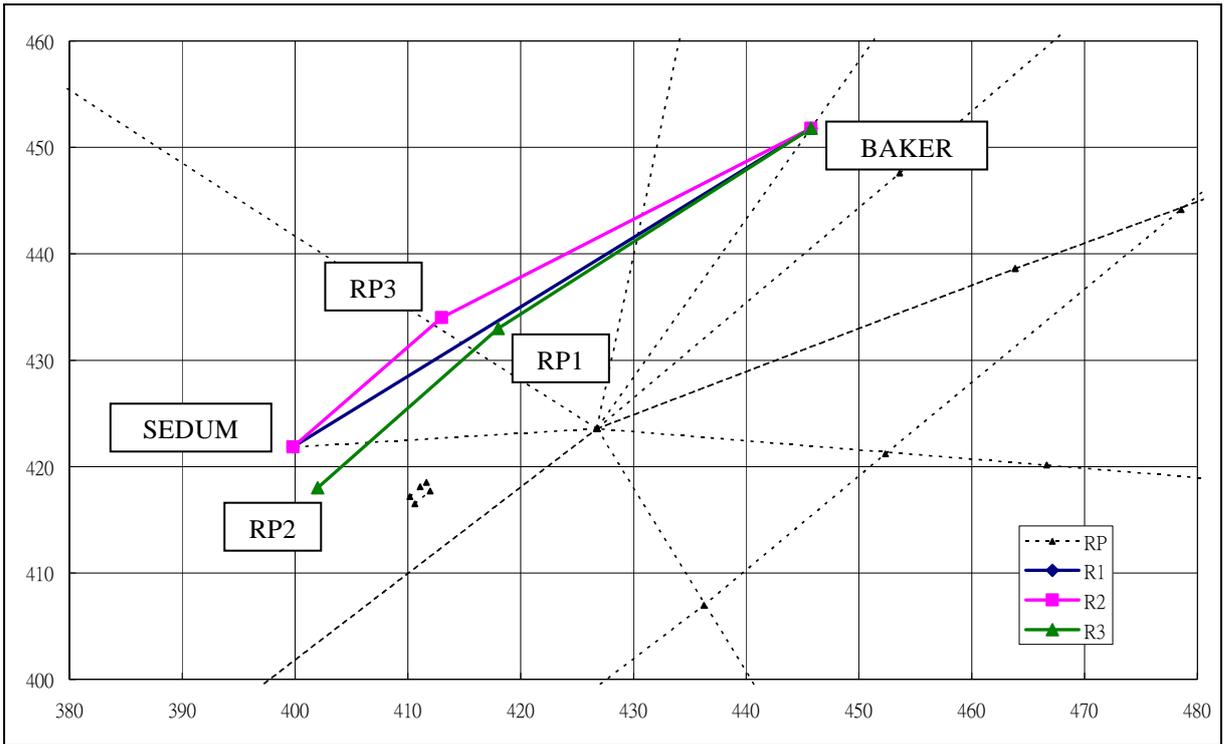


圖 18 AU1A 到場航線 (B576 部份)

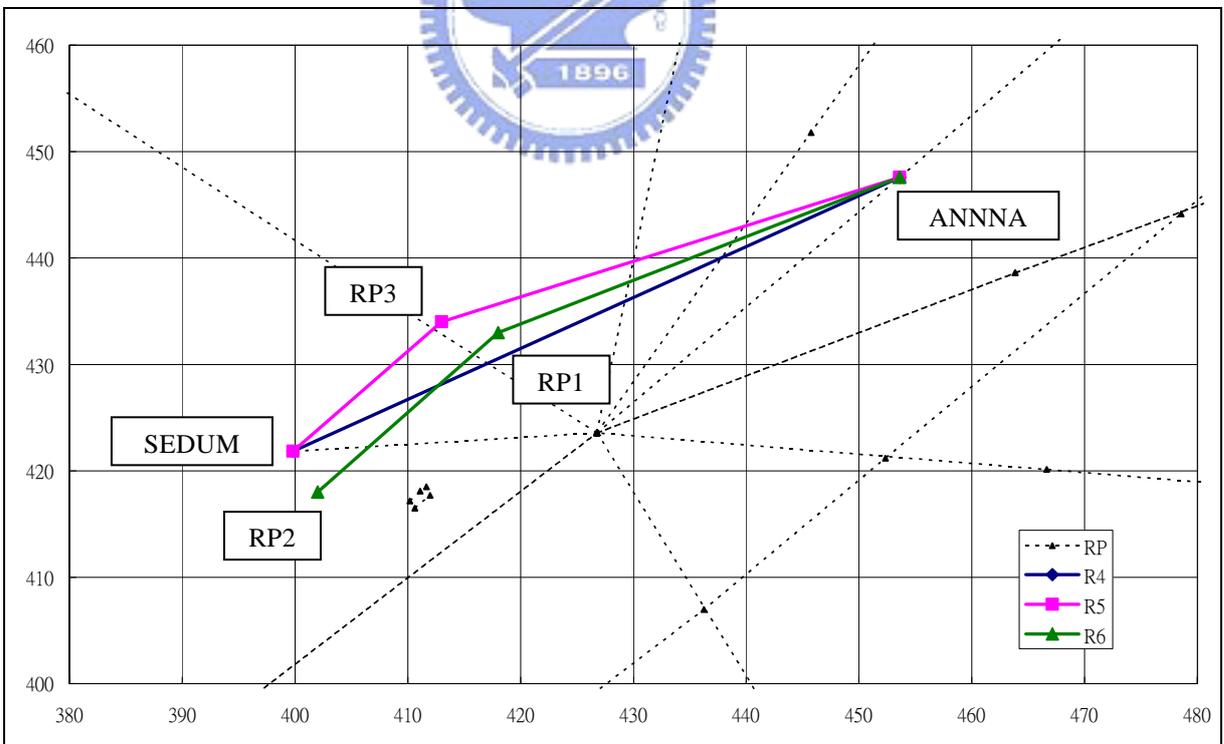


圖 19 AU1A 到場航線 (A1 部份)

表 9 新定位點座標

定位點名稱	RSX	RSY
RP1	418.00	433.00
RP2	402.00	418.00
RP3	413.00	434.00

以上修正後之六條路線乃以二度空間的觀念下完成，如定位點 SEDUM 及 RP2 即保持 5 哩的安全隔離，RP1 與 RP3 也保持 5 哩距離；另外六條航路也與 FBI 離場程序保持至少 5 哩以上的安全隔離。然而航機為三度空間加上時間來移動，二度空間下的隔離仍屬不足，如以高度或是速度差來保持隔離等指示仍尚未完成，此部份並非如三度空間上的固定路線如此簡單，須融入前章所述之航管指示規範一併討論。因此次節將針對高度及速度進行航管指示之分析。

4.3 資料分析-航管指示部份

求得修正過的到場路線後，於水平面部份之到場航機引導即有了參考依據，然而航機同時具有高度及速度之屬性，此水平面路線仍無法確實掌握航機的位置或通過時間。因此須針對前述求得之 R1~R6 路線，分析其速度及高度的變化，以利建立具有四度空間隔離能力的到場指示。

4.3.1 指示速度

若能掌握航機在到場時的通過時間或位置，將有利於保持航機隔離或是安排到場順序。首先，推論航機通過時間會因各機型操作限制不同而有差別，行進於各指定路線時也會因距離不同而有不同的通過時間。因此運用已依路線別分類完成的雷達資料，進一步依機型分類，可整理出各航機實際飛行於此六種路線 R1~R6 所需花費的通過時間及速度變化，其分析準則有三點：

- (1) 依路線分：因行經路線不同，距離有別，因此依不同路線進行分類。
- (2) 依機型分：各機型分為五類，在操作及飛行效能上有所差別，可影響最終進場速度的最高/最低值，因此依不同機型進行分類。
- (3) 起迄點一致：各航機通過單一路線的起迄點必須相同，才能比較其通過時間，因此需定義各路線起迄點的位置。由於各路線的第一階段（仍飛行於 A1 或 B576 且尚未通過 BAKER 或 ANNNA）及最後階段（已通過

SEDUM 或 RP2 且開始左轉至跑道航向準備儀器進場) 差別不大，因此不列入討論，僅以 B576 之 BAKER 為 R1~R3 的起始點、A1 之 ANNNA 為 R4~R6 的起始點，並以 SEDUM 或 RP2 (視路線定義) 為 R1~R6 之終點。

依據以上三點原則進一步分類雷達資料後，針對各機型通過各六條到場路線所需花費的通過時間及其統計值整理如表 10，其中「通過時間」=「通過迄點之時間點」-「通過起點之時間點」求得。

表 10 通過時間之平均、最大值、最小值、標準差一覽表

路線	通過時間	A306	A321	A332	A333	A343	B738	B744	B752	B762	B763	MD11
R1	最大值								666.00			
	平均值								590.62			
	標準差								51.92			
	最小值								547.26			
R2	最大值	660.93	685.06	616.48					675.93			
	平均值	601.72	638.32	591.73					645.10			
	標準差	71.25	66.10	26.17					58.38			
	最小值	522.65	591.58	557.20					557.61			
R3	最大值							591.86	685.52	705.39	601.61	
	平均值							591.86	673.19	705.39	601.61	
	標準差							x	17.43	x	x	
	最小值							591.86	660.87	705.39	601.61	
R4	最大值	685.68						705.52			651.19	
	平均值	685.68						663.94			651.19	
	標準差	x						30.04			x	
	最小值	685.68						631.26			651.19	
R5	最大值	740.29		745.07			745.07	789.07		690.78	729.93	730.28
	平均值	712.21		675.11			679.07	720.19		690.78	682.44	713.67
	標準差	36.56		31.93			52.10	40.05		x	42.29	15.23
	最小值	670.87		641.14			606.74	635.77		690.78	621.35	700.39
R6	最大值	734.81		715.13	601.29	616.26	700.29	715.00		626.00		645.90
	平均值	665.71		683.10	601.29	616.26	700.29	645.32		626.00		631.02
	標準差	59.84		45.30	x	x	x	43.00		x		21.05
	最小值	631.06		651.07	601.29	616.26	700.29	566.68		626.00		616.13

進一步檢定表 10 所整理之數據，可發覺各路線機型之平均通過時間雖有些許數值上的差別，然並沒有差異存在。其原因在於本研究所收集之機型多數中大型客機，機型之分類差異並不大，同時如 ICAO Doc. 8168 所

述之機型分類主要差別於最終進場之速度範圍，於前期之到場過程並無影響。至於各欄位之變異數，則源於航機通過時的速度變化不同。航機進行到場時，必須逐漸減低飛行速度以利終場降落程序的要求，此減速過程中若無明確指示，則依駕駛員判斷最適加/減速度來進行加/減速的操作，而此速度變化之自由操作不同即造成表 10 通過時間變異數。

因此新的到場指示需要加入可控制單一機型通過單一路線時的速度變化之指示，如此即可運用基礎物理學中的線性運動方程式以求得通過時間，期能進一步降低通過時間的變異，更有效管理航機之流量。回顧基礎物理學之線性運動方程式，假設加速度為一定值，可得知距離與速度、時間之關係：

$$D = \frac{1}{2}(V_0 + V_f)\Delta t \quad (\text{式 15})$$

其中： D ：距離

V_0 ：起始速度

V_f ：最終速度

Δt ：時間差



因此假設指示某到場航機以指示空速 a 通過 A 定位點，並以指示空速 b 通過 B 定位點，同時假設加/減速度為定值（駕駛依規定自行以穩定的加/減速度來進行加/減速），即可將指示空速 a 轉換為地速 V_0 、指示空速 b 轉換為地速 V_f 之後，運用線性運動方程式計算出航機自 A 定位點到 B 定位點固定水平距離 D 之通過時間 Δt ：

$$\Delta t = \frac{2D}{V_0 + V_f} \quad (\text{式 16})$$

其中： D ：水平距離(浬)

V_0 ：起始定位點地速(浬/秒)

V_f ：最終定位點地速(浬/秒)

Δt ：通過時間(秒)

到場管制所指示的速度必須要能夠被駕駛員接受（受航機操作限制），且必須以等加/減速度確實執行，所計算出來的通過時間才會更為準

確。若以最極端的指示為例，假設航機每航行 1 哩就收到一次速度指示，且皆有遵照指示動作並完全滿足速度要求，則所計算出來的通過時間必定是非常準確，然而此舉並非是最有效率之做法，現今航管人員也無法長期佔用通訊頻道給予不間斷的指示過程。因此比較合適的方式，乃於到場過程中定義 3~4 個不等的位置點並給予通過該位置點之指定空速，然後輸入航機之飛航管理系統後依照航機性能提供操作，或自行由駕駛員盡量以等加/減速度來控制通過位置點之速度。因此若滿足以上駕駛員之合作，或如 Doc. 8168 PAN-OP 所規定，施行區域航行之航機所配載之飛航管理系統，須具有在 95%信心區間下之準確執行程度，始可使用區域航行程序，則通過時間之估算誤差將可降至最小，甚可配合相關通訊系統之建置滿足動態航機軌跡預測之目的，然此非屬本研究之討論範圍內。

確定通過時間的估算方法後，即開始訂定各到場之位置點對應之指示空速，其指示必須要能被駕駛員所接受並滿足航機操作限制，同時也必須滿足台北終端管制區域相關空速規定。本研究所收集之雷達資料即為航機操作於可接受範圍內之四度空間資料，因此可運用現有之雷達資料，除了以路線及機型分類外，再依飛行過程之速度變化趨勢不同予以分類，然後定義位置點及對應之指示空速。圖 20 至圖 25 為依照不同到場路線之速度變化圖。

R1~R6 路線皆需依速度變化趨勢不同予以分類。首先以 R6 路線為例，將 B744 機型分為一組、其它機型分為另一組之後，觀察各航機飛行過程之速度變化趨勢，發覺可將航機速度之變化趨勢分為三種形態，且定義為速度程序 A、B、C，其中 B744 機型如圖 26，其它機型 (OTHR) 如圖 27。

當速度程序 A、B 及 C 內所包含的速度指示及相對位置為固定，即可推算出一架航機採用且完全滿足該程序之飛行通過時間，或是在任何時間點下之位置。於是運用前述之三種分類，可歸納出如表 11 之速度程序，並利用式 16 計算出航機通過各程序所需花費的通過時間。

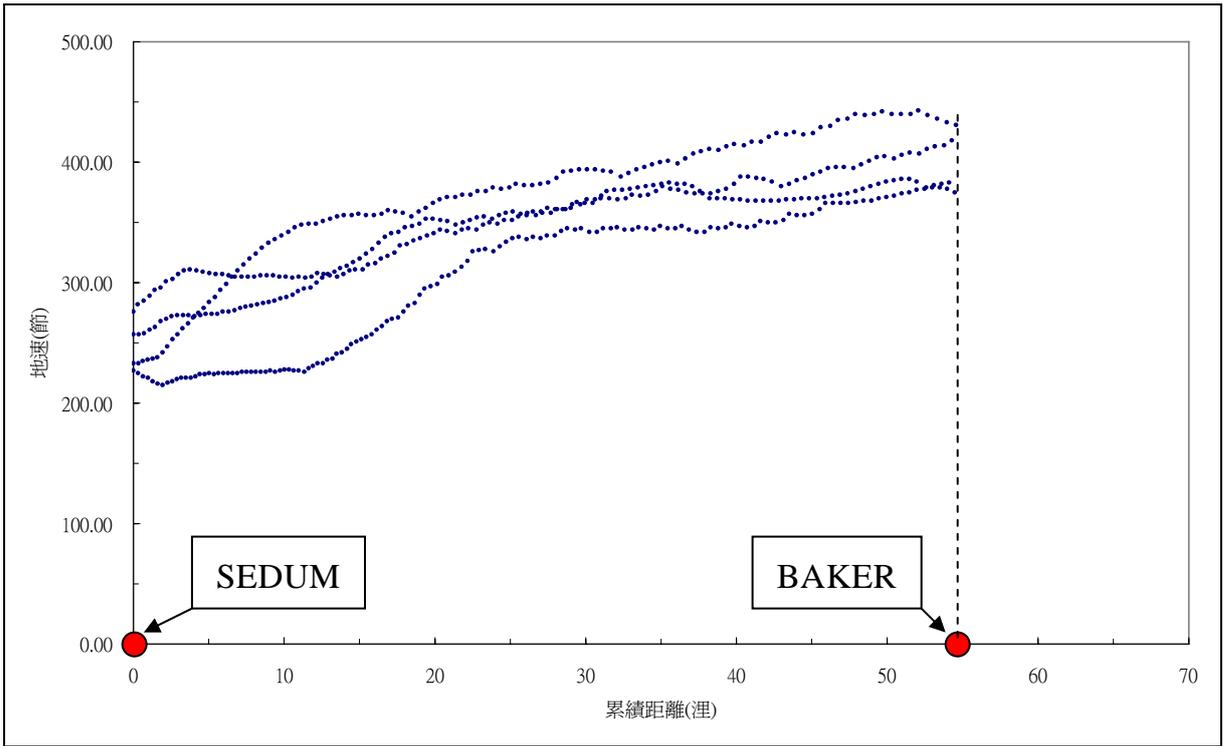


圖 20 R1 路線航機地速對累積距離之關係

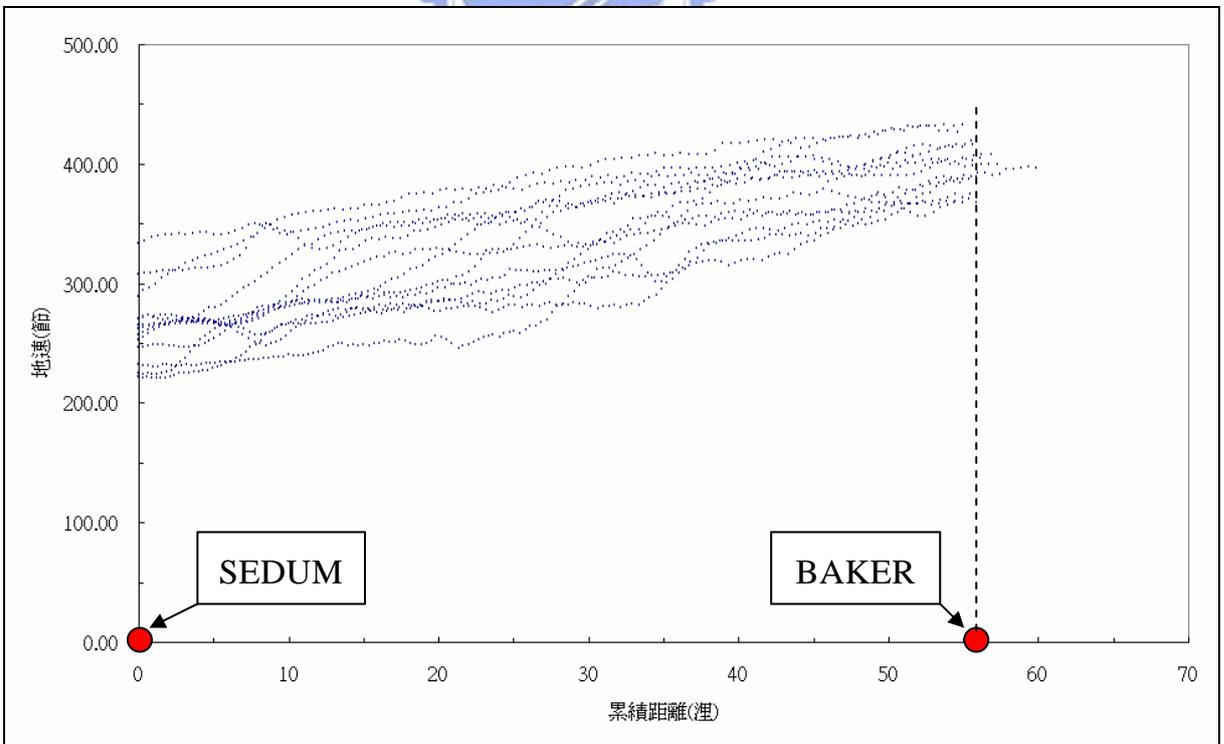


圖 21 R2 路線航機地速對累積距離之關係

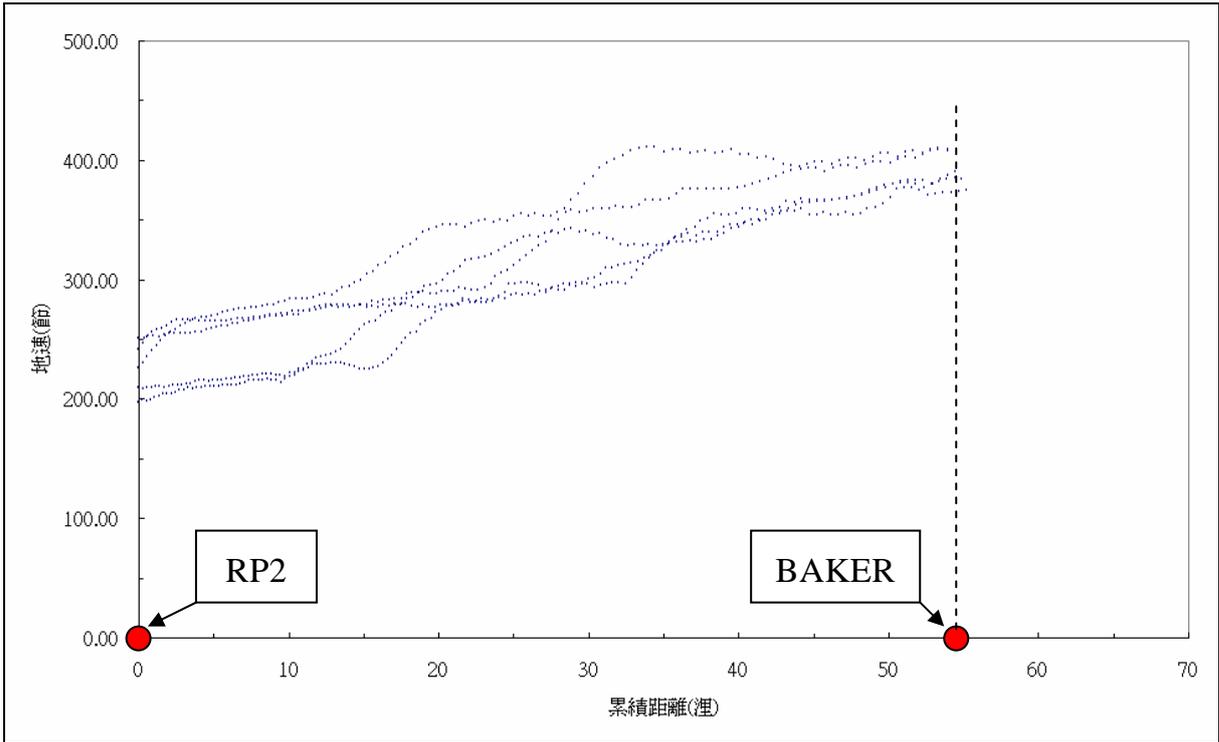


圖 22 R3 路線航機地速對累積距離之關係

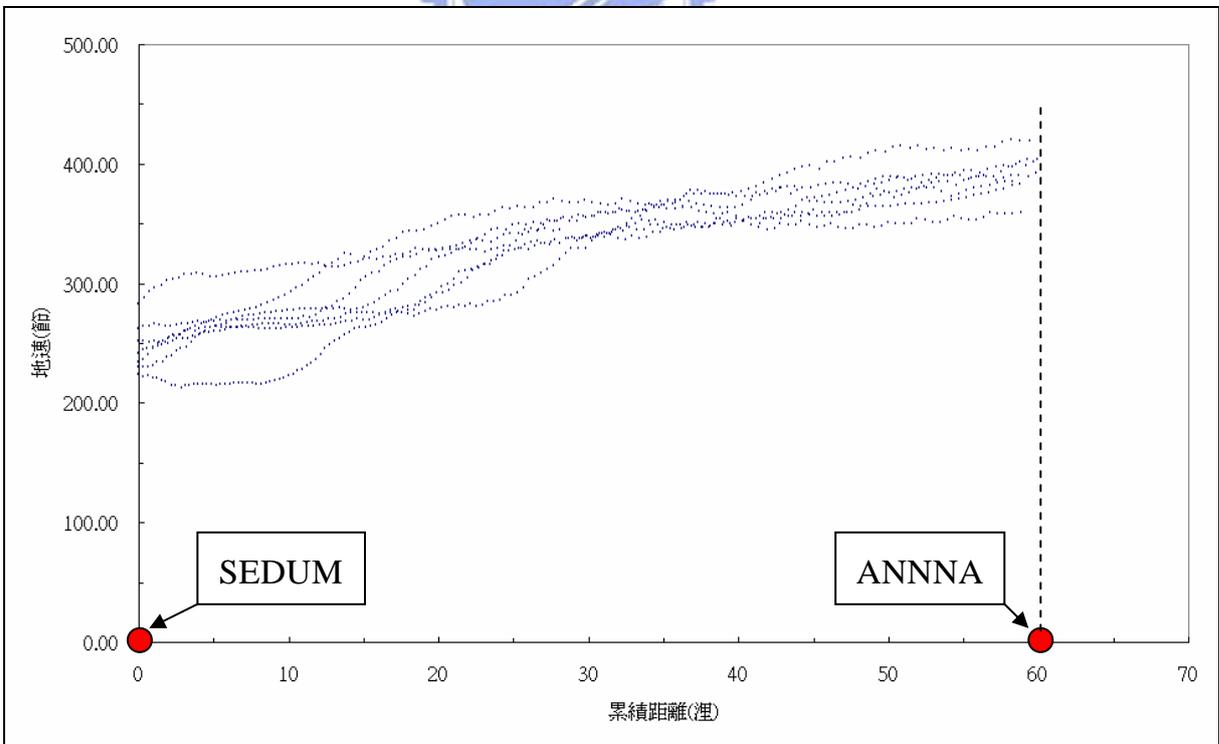


圖 23 R4 路線航機地速對累積距離之關係

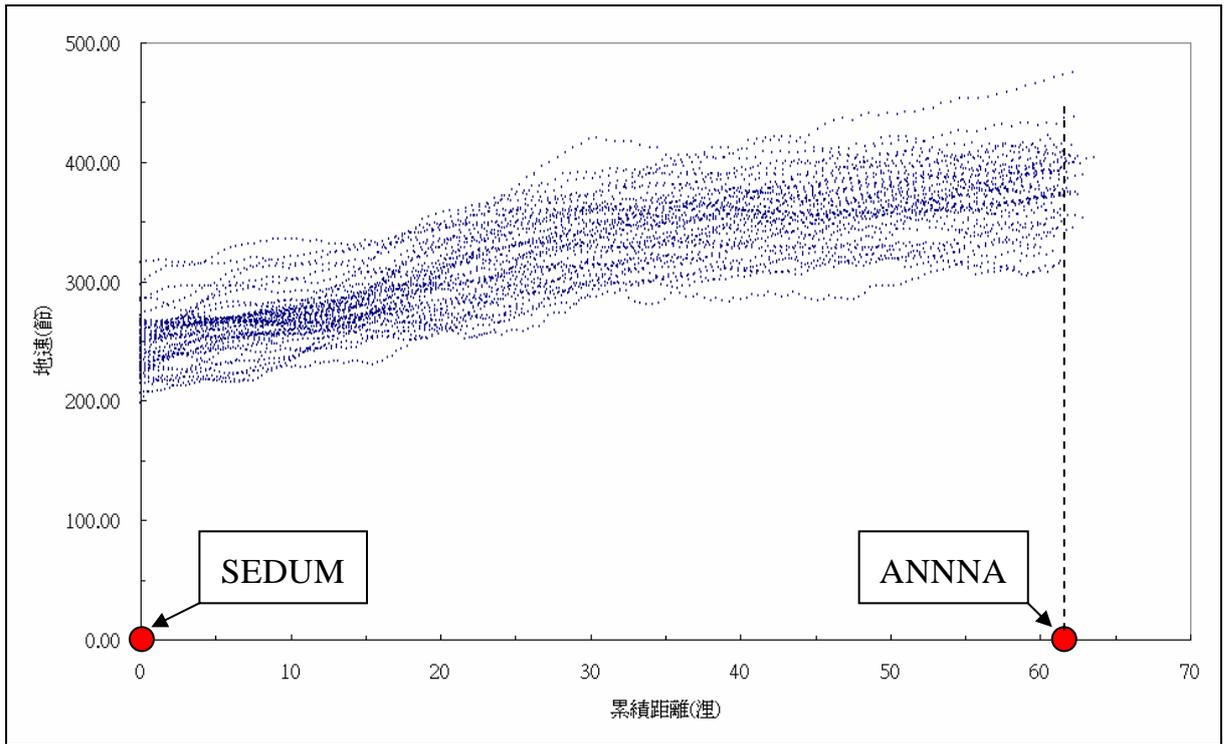


圖 24 R5 路線航機地速對累積距離之關係

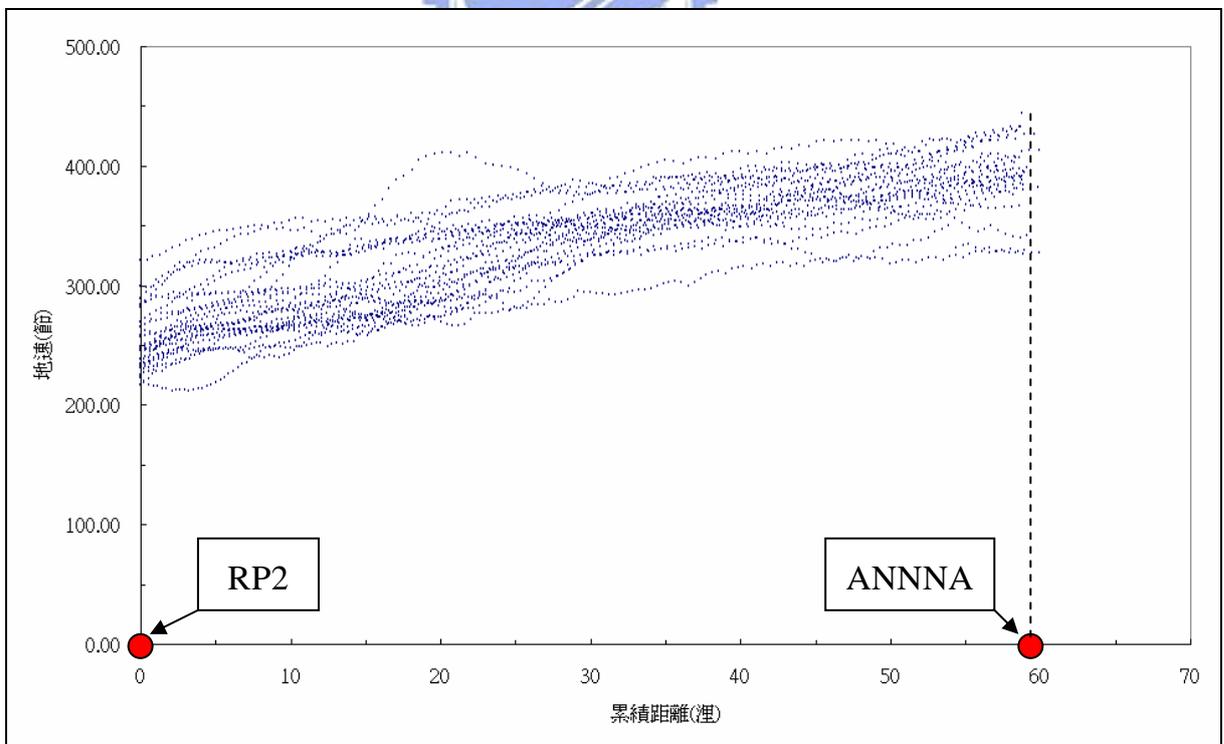


圖 25 R6 路線航機地速對累積距離之關係

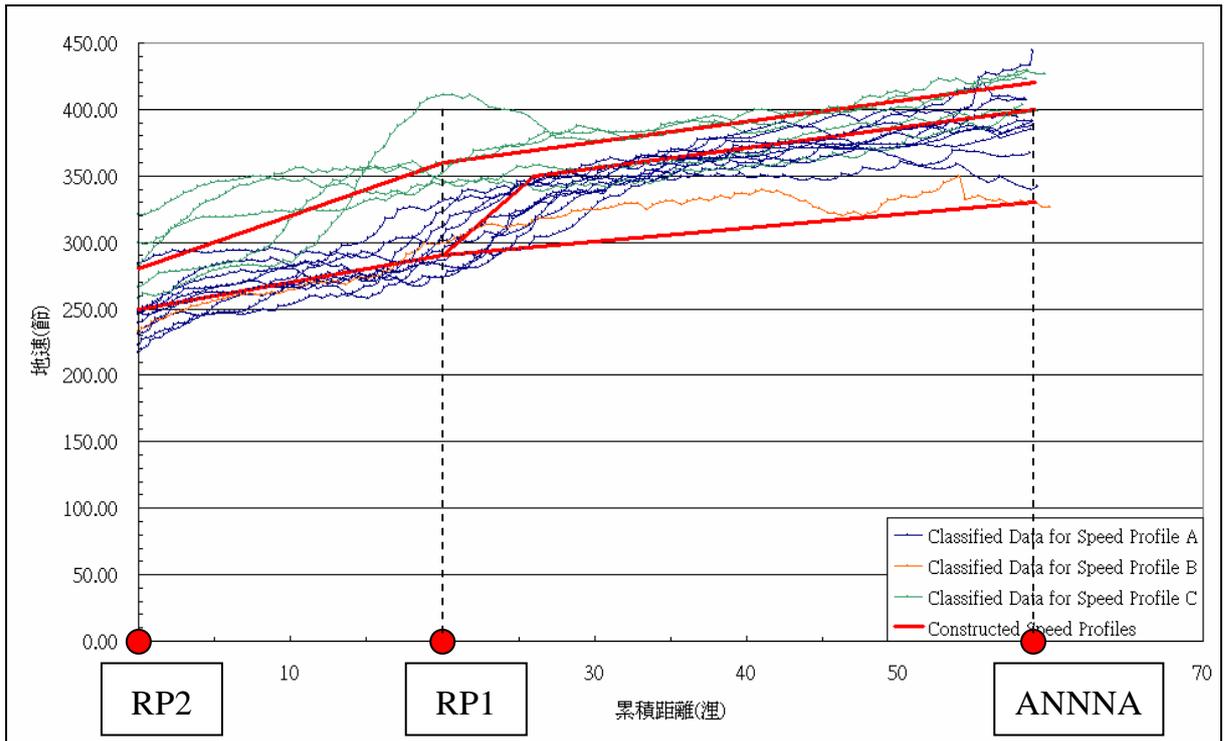


圖 26 R6-B744-速度程序曲線圖

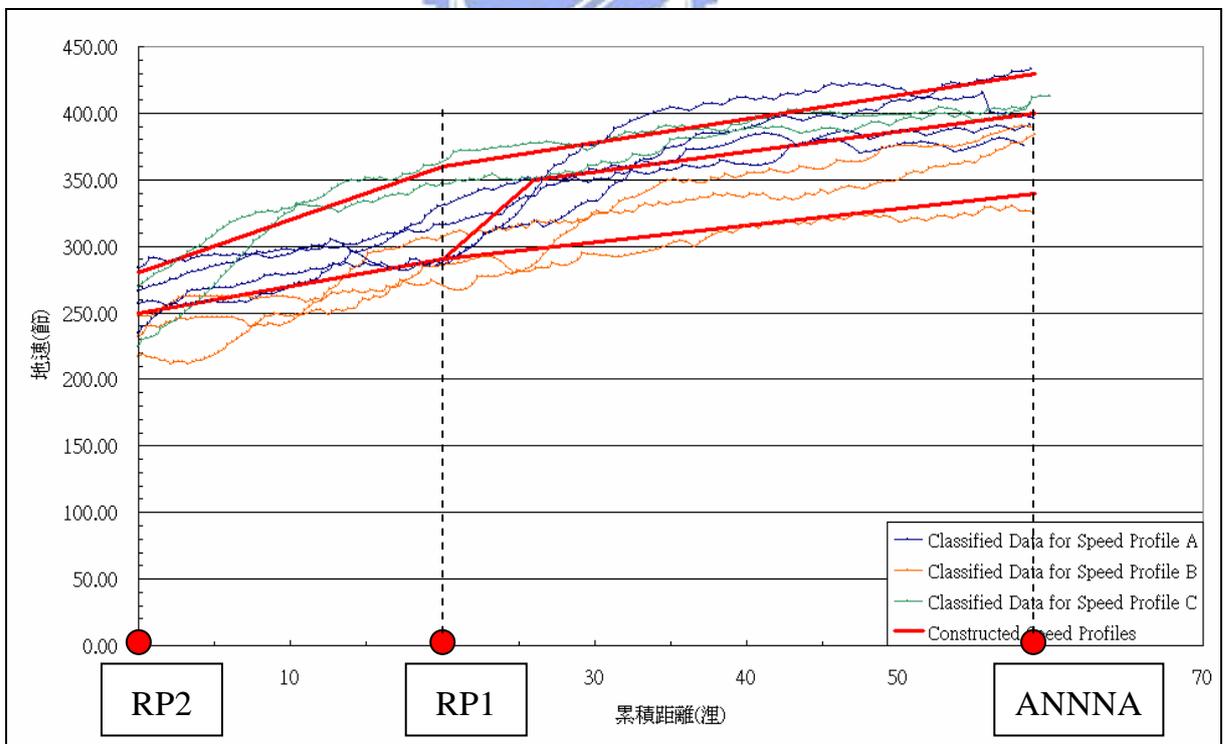


圖 27 R6-OTHR-速度程序曲線圖

表 11 R6-速度程序暨估計通過時間一覽表

速度程序 (Speed Profile)	ANNNA	RP1 前 6 哩	RP1	RP2
Profile A (Normal) 通過時間: 650s	GS: 400kt (IAS: 300kt)	GS: 350kt (IAS: 295kt)	GS: 290kt (IAS: 240kt)	GS: 250kt (IAS: 230kt)
Profile B (Low Speed) 通過時間: 712s	GS: 340kt (IAS: 240kt)	無	GS: 290kt (IAS: 240kt)	GS: 250kt (IAS: 230kt)
Profile C (High Speed) 通過時間: 580s	GS: 430kt (IAS: 330kt)	無	GS: 360kt (IAS: 310kt)	GS: 280kt (IAS: 255kt)

產生了三種不同的速度程序 A、B 及 C 之後，其所計算出來的通過時間為預估值，而航機在飛行時難免有其操作上的誤差，故仍需以實際的航機通過時間資料與預估的通過時間比對，以判別各程序的誤差為何。表 12 為 B744 及其它機型在三種不同的速度程序下，實際通過 R6 路線之通過時間與估計值之誤差值及誤差百分比。

表 12 R6-速度程序與雷達資料誤差一覽表

速度程序 (Speed Profile)	B744 誤差(秒)	其它機型誤差(秒)
Profile A (Normal) 通過時間: 650s	最大: +45.452 (6.99%) 平均: +14.274 (2.20%) 最小: -18.998 (2.92%)	最大: +1.065 (0.16%) 平均: -13.876 (2.13%) 最小: -33.742 (5.19%)
Profile B (Low Speed) 通過時間: 712s	最大: +2.999 (0.42%) 平均: +1.445 (0.21%) 最小: -0.000 (0.00%)	最大: +22.806 (3.20%) 平均: +4.742 (0.67%) 最小: -11.710 (1.64%)
Profile C (High Speed) 通過時間: 580s	最大: +41.257 (7.11%) 平均: +13.465 (2.32%) 最小: -13.323 (2.30%)	最大: +36.130 (6.23%) 平均: +28.709 (4.95%) 最小: -0.000 (0.00%)

自圖 23、圖 24 及表 12 中可以發覺，機型的差別對於速度程序上並沒有很大的變化，這是因為在進行分類且歸納出速度程序 A、B 及 C 等三種程序時，乃使用實際的航機資料，其速度的變化率比較保守且可被所有航機操作所接受，並沒有造成特定一種機型因操作上的限制而無法滿足。因此各速度程序若能被所有機型接受，則各程序將不需要以機型不同為分類，因為不管任何機型使用上述一種速度程序，該航機皆可達成該程序的要求，並運用如公式 16 的方式估算出通過時間。雖然如此，各機型必然有其最高/最低之速度操作限制，因此在上述比較保守的三種程序之外，或可另外取得各機型的操作手冊及限制後，依各機型規劃出特定的到場速度程序，並沿用公式 16 推估出通過時間。

經由上述設計過程之後，即可求得以 R6 為例之速度程序及通過時間估計值如表 11。最後，運用與實際資料之比較方式來求得通過時間的誤差範圍如表 12，得知各項之平均誤差至多 5% 以內滿足 ICAO 規範，因此參考此一比較結果，通過時間應附上 5% 之誤差以供下達指示前之參考。如此依照相同過程，即可設計出每一條航路的速度程序及其誤差範圍。

4.3.2 指示高度

透過上述過程，即可運用所求得之二度空間路線及速度程序來改善 AUIA 到場指示。滿足了水平面的路線及速度的控制外，還必須要考慮到高度指定，因此前述的到場管制還需要加上高度指示，才算是完整的到場指示。AIP 規定，航機下降率須遵循航機最適下降率，因此航管可指示航機在飛經某位置時，需滿足某高度飛行，而在到達該位置之前的下降率則由駕駛依最適下降率減低高度，直至滿足航管所指示為止。於是同樣採用前述求得之速度程序，依表 8B 所求得之航機實際飛行的高度變化過程為參考，來進一步規劃可配合上速度程序之高度指示。以 R6 路線為例，可自表 8B 內的 R6 路線部份得知高度之變化及其下降坡度，並用於各速度程序下所必須要達成的高度指示要求，如表 13。圖 28 為各速度程序下之實際航機高度變化圖以供比較。

表 13 R6-速度程序及高度指示一覽表

速度程序 (Speed Profile)	ANNNA	RP1 前 6 哩	RP1	RP2
Profile A (Normal) 通過時間: 650s	GS: 400kt (IAS: 300kt) FL200	GS: 350kt (IAS: 295kt) FL110	GS: 290kt (IAS: 240kt) 10000ft	GS: 250kt (IAS: 230kt) 5000±1000ft
Profile B (Low Speed) 通過時間: 712s	GS: 340kt (IAS: 240kt) FL200	無	GS: 290kt (IAS: 240kt) 10000ft	GS: 250kt (IAS: 230kt) 5000±1000ft
Profile C (High Speed) 通過時間: 580s	GS: 430kt (IAS: 330kt) FL200	無	GS: 360kt (IAS: 310kt) 10000ft	GS: 280kt (IAS: 255kt) 5000±1000ft

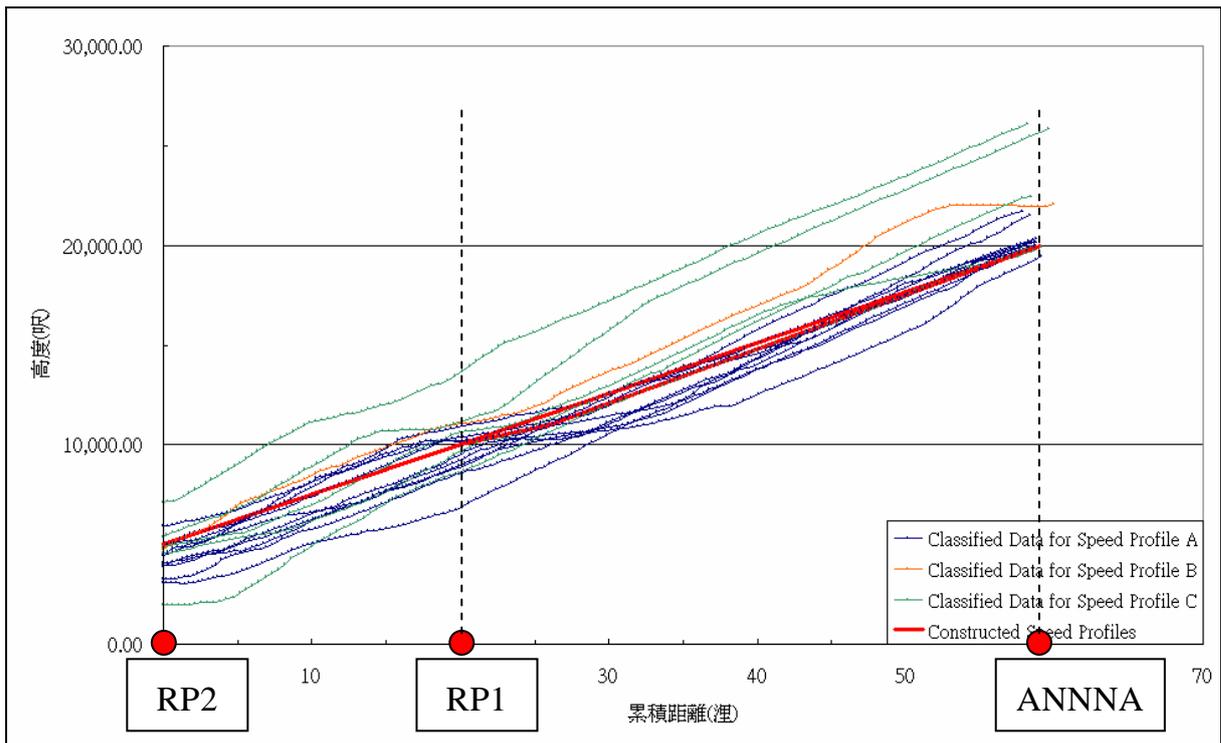


圖 28 R6-各速度程序下之航機高度變化圖

觀察表 13 之設計及圖 28 之資料後，可了解自 FL200 之高度為始、5000 呎為止的高度指示為多數航機所遵循，不過仍偶有個別航機以較高之起始高度來飛行，最終的高度也由 8000~2000 呎不等。此部份為航管人員之彈性指示，只要航管人員同時針對高度及空速下達指示，且航機操作限制下

許可，則航機仍會依照指示飛行，其預計的通過時間及通過時的高度也可以計算出來。

AUIA 的高度程序有另一個會有變化的原因，就是速度指示的不同會影響到高度指示變化，在於受到台北 C 類空域的空速限制。依 AIP 規定，在台北 C 類空域內，航機低於 10000 呎時，指定空速不得高於 250 節。因此以此限制來檢視所改善之速度程序 A、B 及 C 後發覺，速度程序 A 及 B 皆滿足此要求，然而程序 C 為高速到場，必須要解除 AIP 所定之空速限制始可完成。因此速度程序 C 需加上註明，唯在航管依航情許可時始可取消空速限制（指示“Cancel Speed Restriction”），並採用速度程序 C 來進行高速到場。

4.4 本章小結

本章收集了兩種資料，一為雷達資料，亦即航機實際飛行過程之相關參數；二為管制條資料，包含航機計畫航路及管制指示等參數。經由篩選及分類後，求得六條可改善 AUIA 到場之水平面航路。將各路線雷達資料分類後，歸納並設計出相對應的速度程序，以利推算航機之通過時間。接著依照各速度程序之要求，設計出相對應的高度指示。因此，AUIA 之改善到場管制在實施時，航管人員即可依航情不同下達明確的指示，選擇性有包括：

- (1) 路線：R1~R6 六種不同的通過路線；
- (2) 速度：正常到場、低速到場；高速到場；
- (3) 高度：對應各位置及速度之高度，以 FL200 為始、5000 呎為止。

同時，由於指示已明確化，航機將遵照指示飛行，並可計算出航機的通過時間，或是航機在某一時間點時的位置、高度及速度，如此將可減輕原先須以航管人員不時的監控並引導航機的繁重業務量。由於航機速度及位置皆在到場指示的一定誤差之內，航管人員即可明白掌握航機的未來動態，確保各航機行進時的安全隔離。同時，航機的到達時間也更為準確，不會有駕駛員不明下步指示的窘境。附錄一為本研究所求算之改善到場指示內容，包括六種路線及對應之三種速度程序。