

第四章 航機離場軌跡預測

本章預測動態之航機高度、地速與航機水平軌跡位置，並以雷達實際資料與預測結果作比較。以2004年雷達資料中一航機為例，已知高度大於5000呎第一筆航機雷達數據，說明機型B744依離場程序FB1離場預測結果。圖4.1為預測航機地速、累積水平距離、高度與平面座標流程圖。

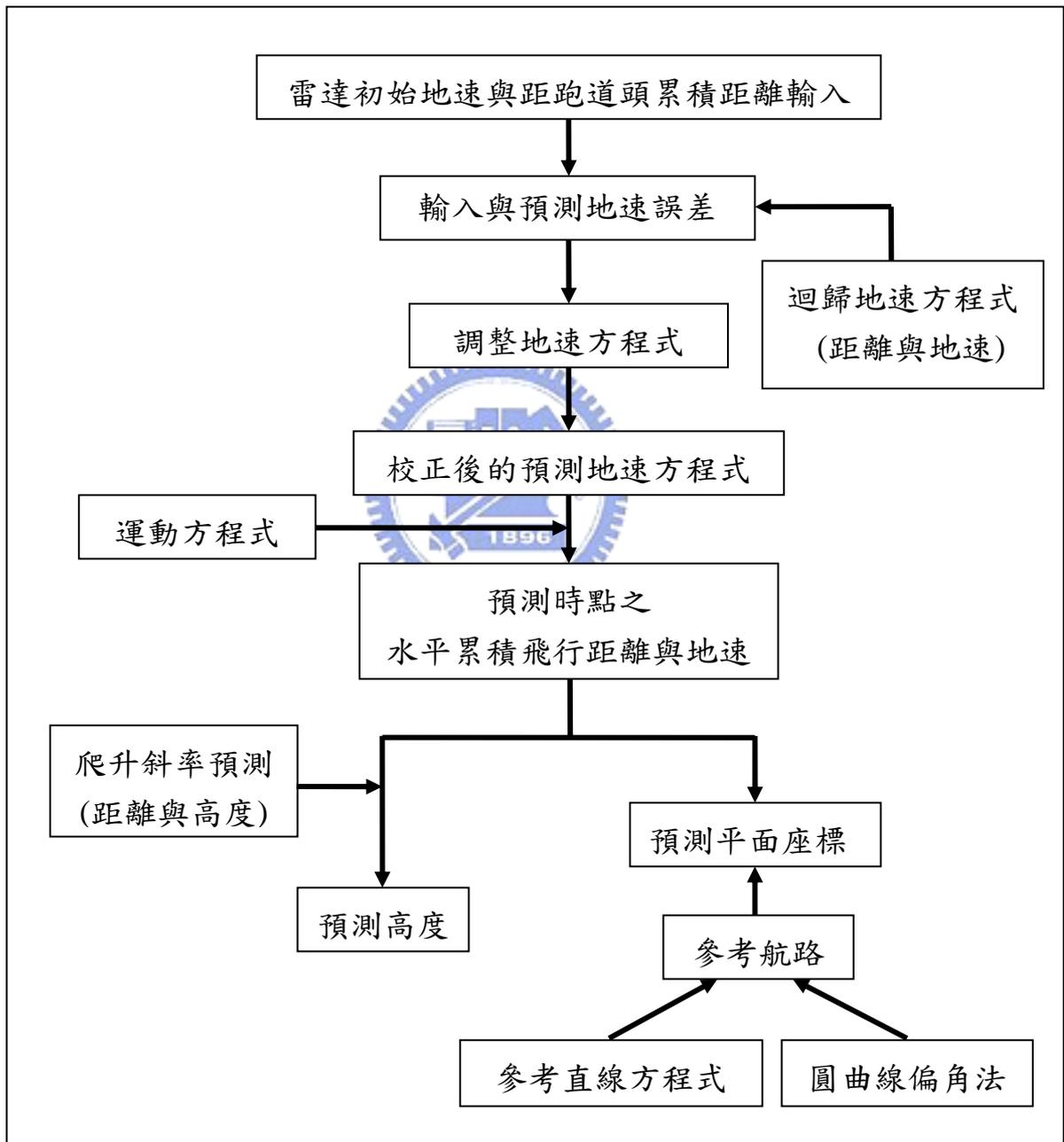


圖 4.1 航機軌跡預測流程圖

4.1 水平累積距離與地速預測

已知水平累積距離與地速關係方程式，當給定起始點之雷達資料，即可進行後續水平累積飛行距離與地速之預測。舉某一航機為例進行地速與水平累積距離之預測。較輕航機於第一階段水平累積距離大於等於 5 哩、小於 22 哩所採用之方程式為 $V_{p,T} = -0.524D_{p,T}^2 + 21.449D_{p,T} + 85.909$ ，令航機雷達資料第一筆地速 $V_0 = 253.8$ 哩、累積水平距離 $D_0 = 11.076$ ，若以 $D_0 = 11.076$ 代入方程式中，得 $V_{p,0} = 259.195$ 且 $V_0 - V_{p,0} = 253.8 - 259.195 = -5.395$ ，因此新的預測地速方程式為：

$$\begin{aligned} V_{p,T} &= -0.524D_{p,T}^2 + 21.449D_{p,T} + 85.909 - 5.395 \\ &= -0.524D_{p,T}^2 + 21.449D_{p,T} + 80.514 \end{aligned}$$

預測時間間隔為 15 秒，且航機依簡單運動方程式 $\Delta D_{0,15} = \frac{V_0 + V_{p,15}}{2 \cdot 3600} \cdot 15$ 航行，則預測 15 秒後之水平累積距離算法如下：

$$\Delta D_{0,15} = D_{p,15} - D_0 = \frac{V_0 + (-0.524D_{p,15}^2 + 21.449D_{p,15} + 80.514)}{2 \cdot 3600} \cdot 15$$

$$D_{p,15} - 11.076 = \frac{253.8 + (-0.524D_{p,15}^2 + 21.449D_{p,15} + 80.514)}{2 \cdot 3600} \cdot 15$$

經由二元一次方程式求解可得 $D_{p,15} = 12.154$ ，與雷達資料中 15 秒平均累積距離 $D_{15} = 12.205$ 之差為 0.051 哩。將 $D_{p,15} = 12.154$ 代入累積距離與地速方程式亦可預測 15 秒後地速 $V_{p,15} = 263.8$ ，與雷達平均地速 $V_{15} = 265$ 相差 1.2 節。

$$\begin{aligned} V_{p,15} &= -0.524D_{p,15}^2 + 21.449D_{p,15} + 71.243 \\ &= -0.524 \cdot (12.154)^2 + 21.449 \cdot (12.154) + 80.514 \\ &= 263.8 \end{aligned}$$

預測水平累積距離與地速所使用數學式如(12)：

$$\begin{cases} \Delta D_{t1,t2} = \frac{V_{p,t1} + V_{p,t2}}{2 \cdot 3600} \cdot t \\ V_{p,T} = aD_{p,T}^2 + bD_{p,T} + c' \end{cases} \quad (12)$$

a 、 b ：第三章分析結果參數、

c' ：調整後的常數項、

$V_{p,t1}$ ：t1 時間的預測地速（單位：節）、

$V_{p,t2}$ ：t2 時間的預測地速（單位：節）、

$V_{p,T}$ ：T 時間的預測地速（單位：節）、

t ：t1 與 t2 間隔時間（單位：秒）、

$\Delta D_{t1,t2}$ ：t1 至 t2 時間航機行走距離（單位：浬）、

$D_{p,T}$ ：T 時間累積距離（單位：浬）。

其中 $\Delta D_{t1,t2} = \frac{V_{p,t1} + V_{p,t2}}{2 \cdot 3600} \cdot t$ 為簡單運動方程式，以地速 $V_{p,t1}$ 與 15 秒後預測地速 $V_{p,t2}$ 的平均地速（單位：節）乘以時間 $t=15$ ，計算 15 秒內預測水平行走距離 $\Delta D_{t1,t2}$ 浬。當航機做加速度運動時，間隔 $t=15$ 較間隔 $t=30$ 之預測準確度高。調整過的水平累積距離與地速關係方程式和簡單運動方程式解二元一次聯立方程式，得 15 秒後預測水平累積距離，若預測累積距離值超過本階段所設定水平累積距離範圍，則跨入下一階段水平累積距離範圍。由預測結果中未超過階段範圍的最後一筆預測地速與累積距離調整下一階段累積距離與地速方程式常數項，重複聯立運算繼續預測，解決跨越二階段時發生的問題。

如上所述，以起始跑道頭水平累積距離數值代入特定階段之水平累積距離與地速關係方程式，得預測地速。預測地速與起始地速之差用於調整方程式常數項，方程式調整後即可用於後續預測未來地速與預測累積水平距離。

4.2 高度預測

透過水平累積距離的預測及航機爬升斜率可進一步進行高度預測。如圖 4.2 所示，當已知某一航機在某一時點之累積飛行水平距離與飛行高度時，由其與雷達資料所求算包絡斜率的相對關係，即可確認該一航機未來可能爬升之斜率，其計算方式如(13)式。

$$M_p = \frac{\Delta D - d}{\Delta D} m_{left} + \frac{d}{\Delta D} m_{right} \quad (13)$$

M_p ：預測斜率(FT/NM)、

d ：某一高度下該航機水平累積飛行距離值與可能水平累積距離左側包絡點之差 (NM)、

ΔD ：累積水平飛行距離左右二包絡點差值 (NM)、

m_{left} ：左側包絡斜率 (FT/NM)、

m_{right} ：右側包絡斜率 (FT/NM)。

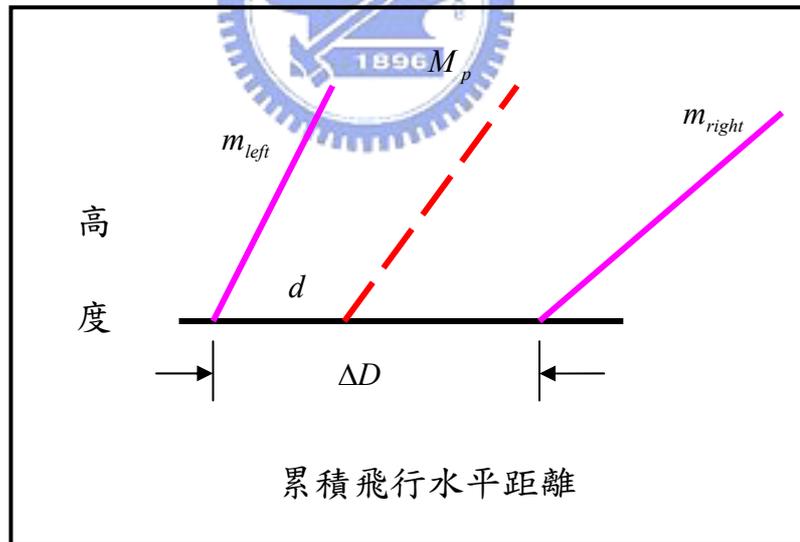


圖 4.2 累積水平距離值與爬升斜率示意

一旦爬升斜率 M_p 求得後，即可由式(14)與(15)預測後續航機可能的飛行高度。當預測高度達下一階段高度範圍時，由尚未超過高度範圍之最後一個高度、此高度對應之水平累積距離與此範圍 M_p 找出下一階段起始高度對應之預測水平累積距離，再重複預測斜率及飛行之高度。

$$\Delta H_{t1,t2} = M_p \Delta D_{t1,t2} \quad (14)$$

$$H_{p,t2} = H_{p,t1} + \Delta H_{t1,t2} \quad (15)$$

$\Delta H_{t1,t2}$: t1 至 t2 預測增加高度 (Ft) 、

$\Delta D_{t1,t2}$: t1 至 t2 預測行走水平距離 (NM) 、

$H_{p,t1}$: t1 預測高度 (Ft) 、

$H_{p,t2}$: t2 預測高度 (Ft) 。

以某一航機為例，雷達資料顯示，於航機距離跑道頭水平累積距離為 11.076 浬、雷達高度 5378 呎，此高度對應包絡斜率上左右二側之水平累積飛行距離分別為 9.602 與 12.109 浬，因此於航機後續之預測爬升斜率為 644.181 呎/浬。

$$M_p = \frac{12.109 - 11.076}{12.109 - 9.602} * 759.21338 + \frac{11.076 - 9.602}{12.109 - 9.602} * 479.95831$$

$$= 644.181 \text{ (呎/浬)}$$

另依飛行距離之預測方式，至下一個 15 秒為止之累積飛行距離為 12.154 浬， $\Delta D_{t1,t2} = 12.154 - 11.076 = 1.078$ ，故 15 秒後航機預測高度為 6073 呎。

$$\Delta H_{t1,t2} = M_p \Delta D_{t1,t2} = 694.427118$$

$$H_{p,t2} = H_{p,t1} + \Delta H_{p,t} = 5378 + 694.427118 = 6073 \text{ (呎)}$$

上述飛行高度預測方式與 FAA Instrument Procedures Handbook 所提供於離場時的爬升率對照表(Rate of Climb Table)類似，給予航機指定之地速(Ground Speed, Knots)與斜率(Requested Gradient Rate, ft. per NM)，即可求得航機之爬升率(ft. per minute)。經由預測航機斜率與預測之航機地速結合可得到航機之預測爬升率，進一步可與實際雷達資料爬升率比較，以分析預測之精準度。

4.3 平面軌跡—RSX/RSY 座標預測

欲預測航機平面位置必須清楚知道航機飛行方向與飛行距離，其中平面軌跡之部份如雷達資料顯示，切割為直線階段與圓曲線階段，以 FB1 離場而言分為三段直線與二個圓曲線階段。

(1) 已知航機位置位於第一直線階段

已知航機位於第一直線階段上某一點之雷達平面 RSX/RSY 座標，可以 AIP 參考直線之方向向量作為該航機前進之方向向量；若已知二點航機之實際雷達平面 RSX/RSY 座標，則以此二點座標之方向向量作為直線前進之方向向量。因此一旦目前航機所在之雷達或預測平面座標、航行之航向以及航行距離已知，則下一時點之預測平面座標即可求得。

若預測所得之平面 RSX/RSY 座標超越平均轉彎起始座標，即表示下一預測時點之位置應位於圓曲線階段，而非處於直線階段。此時，應以偏角法求得該航機於圓曲線上之預測平面座標。至於圓曲線上座標之求得，則尚需引用如表 3.1 所顯示航機於第二直線階段之實際軌跡分析結果。其中圓曲線與第二直線相切線即為轉彎結束之點，由於轉彎結束座標未必與預測時點之平面預測座標一致，所以當轉彎結束座標介於圓曲線上預測之最後一點與直線段第一點預測座標之間時，轉彎最後一點座標與轉彎結束座標距離加上轉彎結束座標與下一直線第一點預測座標距離才是預測航機 15 秒所飛行之距離，由此求得第二直線上第一點預測平面座標。同理可求得第二圓曲線與第三直線上之平面預測座標。

(2) 已知航機位置位於第一圓曲線階段

已知航機平面座標位於第一圓曲線階段，同時航機之轉向起始點可由已知之雷達資料求得，如此即可由預測之轉彎半徑求出預測之轉向結束點，並由偏角法預測圓曲線上之平面座標。至於轉彎半徑求法可以分為下二種情形：

一、由圓曲線轉向起始點與已知航機之 RSX/RSY 以及其對應之航向求得航機轉彎半徑，由於在圓曲線初始階段，求得之轉彎半徑卻有很大之情況，因此與雷達軌跡資料求得之轉彎半徑大於平均值甚多，因此以平均轉彎半徑作為依據。以求得之轉彎半徑與平均轉向角度得預測之轉向結束點。

二、若航機位置已超過雷達統計之航機平均轉彎座標，但該航機航向顯示尚未有開始轉向之情形，則假設航機目前之座標為轉向起始點，其相應之轉彎半徑則依統計之航機平均轉彎半徑處理之。最後根據航機平均轉彎半徑與平均轉向角度決定轉彎結束座標，航機於圓曲線上之平面座標則以偏角法預測之。

航機位置位於第二直線階段、航機位置位於第三直線階段時，平面座標預測方式如同航機第一直線階段作法；航機位置位於二圓曲線階段預測平面座標方法同航機於第一圓曲線階段之作法。

4.4 單一航機預測與實際軌跡之分析

當截取高度大於 5000 呎之後每 15 秒雷達資料與預測結果作比較時，由於雷達二筆實際資料間隔秒數可能為 4 或 5 秒，並非可如願截取到 15 秒為倍數的雷達資料，故找出最接近欲預測時間的二筆實際資料，如表 4.1 所示，以內插方式估算，因此每 15 秒的雷達估算資料與每 15 秒的預測資料即可作高度、地速、累積水平距離與平面 RSX/RSY 座標之比較。分析結果如表 4.2。

表 4.1 雷達資料之內插估算

累積時間 (秒)	平均累積 距離(哩)	地速 (節)	平均高度 (呎)	平均 RSX	平均 RSY
12	11.918	262	5868	419.22	424.91
16	12.301	266	6068	419.51	425.16
15	12.205	265	6018	419.44	425.10

表 4.2 雷達估算資料

累積時間 (秒)	估算累積 距離(哩)	地速 (節)	估算高度 (呎)	估算 RSX	估算 RSY
0	11.076	253.8	5378	418.59	424.35
15	12.205	265	6018	419.44	425.10
30	13.295	274	6615	420.27	425.80
45	14.547	282.5	7263	421.22	426.62
60	15.724	284.4	7847	422.11	427.38
75	17.014	293.5	8439	423.09	428.22
90	18.274	300.6	9014	424.05	429.03
105	19.676	315	9631	425.16	429.89
120	20.976	314.6	10177	426.41	430.23
135	22.386	318.2	10619	427.80	430.40
150	23.848	331	10957	429.25	430.59
165	25.361	349	11271	430.76	430.74
180	27.074	374	11607	432.45	430.93
195	28.643	388.25	11986	434.01	431.03
210	30.451	401.75	12387	435.81	431.21
225	32.129	413	12850	437.48	431.29
240	34.017	424.5	13723	439.36	431.49
255	35.801	434.6	14453	441.13	431.61
270	37.774	444.75	15181	443.10	431.78
285	39.630	452.4	15893	444.94	431.96
300	41.493	455	16831	446.80	432.07
315	43.429	460	17570	448.71	432.33
330	45.426	462.75	18122	450.65	432.80
345	47.462	468.8	18737	452.58	433.44
360	49.402	472.5	19352	454.35	434.22
375	51.587	450.5	19979	456.40	434.96

當已知擬預測航機目前(累積時間為 0 秒)之雷達各項資料，應用本研究所研擬之預測方法可得到各項預測結果如表 4.3，各項預測數據與實際資料之誤差則示如表 4.4。



表 4.3 預測結果

累積時間 (秒)	預測累積距離 (浬)	預測地速 (節)	預測高度 (呎)	預測 RSX	預測 RSY
0	11.076	253.80	5378	418.59	424.35
15	12.154	263.80	6073	419.41	425.05
30	13.272	272.89	6793	420.26	425.77
45	14.426	280.89	7536	421.13	426.52
60	15.611	287.65	8299	422.03	427.29
75	16.820	293.04	9078	422.94	428.07
90	18.050	296.95	9870	423.87	428.87
105	19.292	299.28	10347	424.81	429.68
120	20.540	300.01	10723	425.97	430.15
135	21.788	299.09	11130	427.12	430.62
150	23.064	313.29	11553	428.39	430.70
165	24.399	327.22	11990	429.72	430.79
180	25.790	340.75	12710	431.10	430.88
195	27.237	353.72	13373	432.54	430.97
210	28.736	365.99	14138	434.04	431.06
225	30.285	377.41	14847	435.58	431.16
240	31.879	387.84	15645	437.17	431.27
255	33.515	397.15	16400	438.80	431.37
270	35.186	405.19	17234	440.46	431.48
285	36.888	411.86	18019	442.16	431.59
300	38.615	417.05	18807	443.88	431.70
315	40.361	420.70	19625	445.62	431.81
330	42.118	422.73	20470	447.37	431.92
345	43.880	423.14	21330	449.48	432.43
360	45.653	444.03	22151	451.12	433.09
375	47.480	448.94	23075	452.82	433.76

表 4.4 預測與實際誤差值

累積時間 (秒)	累積距離誤差 (呎)	地速誤差 (節)	高度誤差 (呎)	座標距離誤差 (呎)
0	0.000	0.00	0	0.00
15	-0.051	-1.20	55	0.06
30	-0.023	-1.11	178	0.03
45	-0.120	-1.61	274	0.13
60	-0.113	3.25	452	0.13
75	-0.194	-0.46	640	0.21
90	-0.225	-3.65	856	0.24
105	-0.384	-15.72	716	0.41
120	-0.436	-14.59	546	0.53
135	-0.598	-19.11	511	0.75
150	-0.783	-17.71	595	0.91
165	-0.962	-21.78	720	1.08
180	-1.284	-33.25	1103	1.39
195	-1.406	-34.53	1388	1.52
210	-1.715	-35.76	1751	1.82
225	-1.844	-35.59	1997	1.95
240	-2.137	-36.66	1922	2.25
255	-2.286	-37.45	1947	2.40
270	-2.588	-39.56	2053	2.70
285	-2.742	-40.54	2126	2.86
300	-2.878	-37.95	1976	2.99
315	-3.068	-39.30	2055	3.19
330	-3.308	-40.02	2348	3.44
345	-3.582	-45.66	2594	3.72
360	-3.749	-28.47	2799	3.87
375	-4.107	-1.56	3096	4.23

圖 4.3 第一點為高於 5000 呎航機已知的第一點雷達高度，圖 4.4 第一點為高度高於 5000 呎的第一點 RSX/RSY 座標，圖形上每二點間隔皆為 15 秒。由圖形顯示預測時間愈長，預測累積水平距離誤差愈大；預測累積水平距離誤差與預測斜率 M_p 導致高度誤差隨預測時間拉長而增大；由於以上為已知第一點求得未來所有時間點之預測結果，並未進行資料的更新調整工作，因此誤差隨預測時間加大。

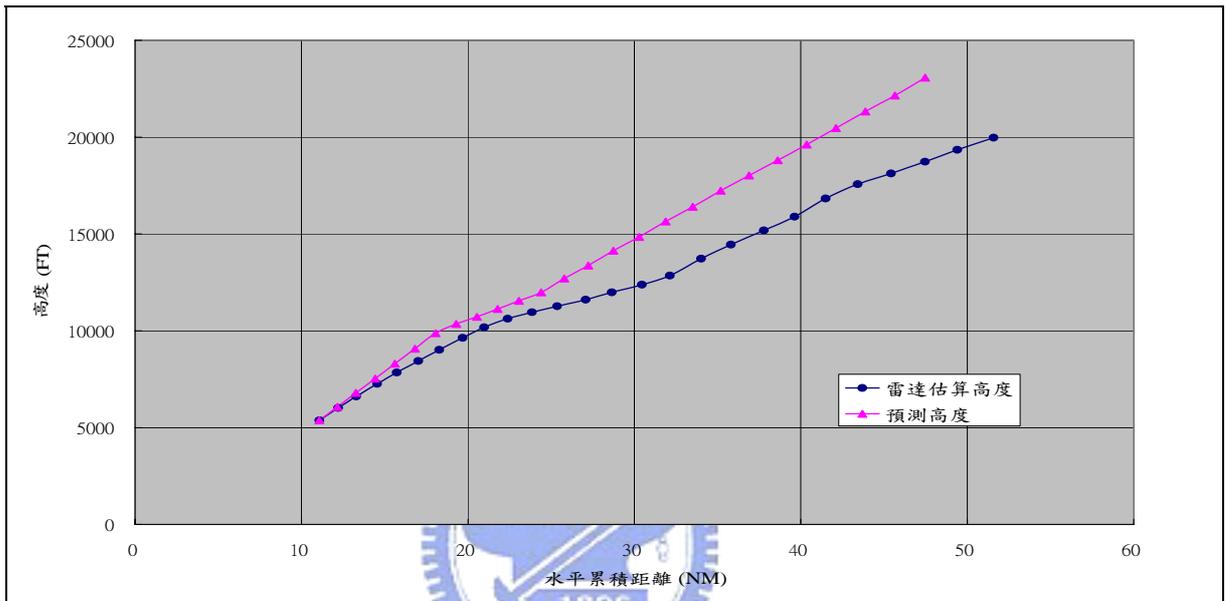


圖 4.3 雷達估算高度與預測高度

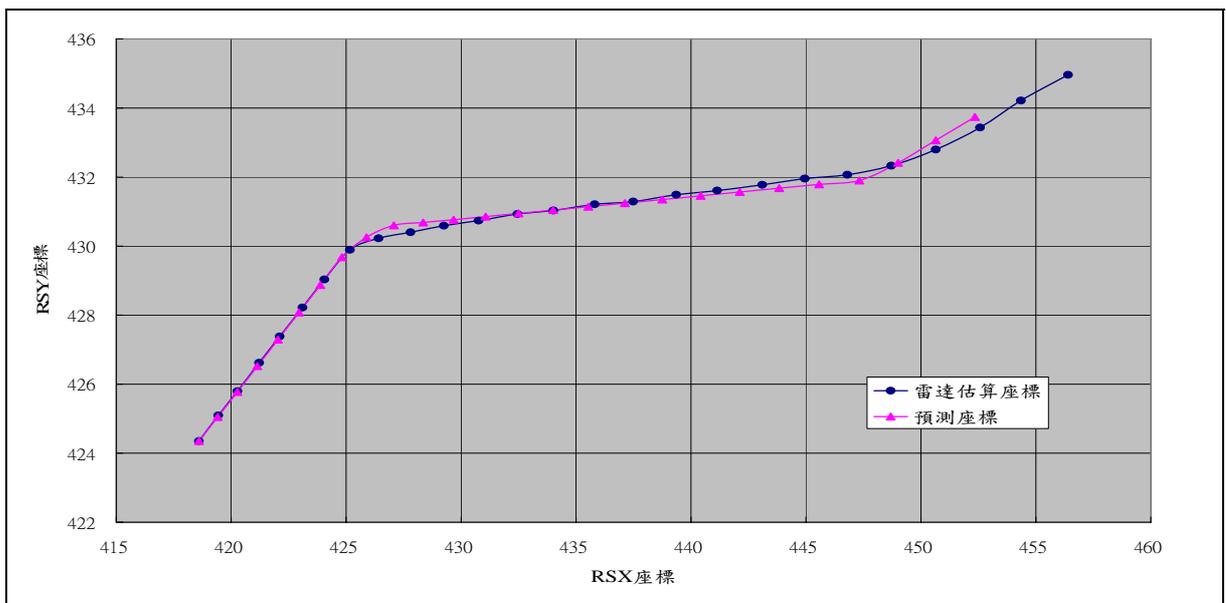


圖 4.4 雷達估算座標與預測座標

4.5 B744 航機之軌跡預測分析

表 4.5 至表 4.10 分別為每 60 秒、120 秒、180 秒進行航機位置資料更新之預測結果。累積距離平均誤差隨預測時間增加而增加，且其值為負值，表示本研究預測水平飛航距離結果均小於航機實際水平飛航距離。高度平均誤差值亦存在隨預測時間增加而增加之趨勢，且預測之高度絕大部份均高於雷達實際高度，此與預測水平飛航距離結果小於航機實際水平飛航距離之結果有關，其導致預測斜率大於實際航機爬升斜率，因此預測高度也隨之高於雷達實際高度。



表 4.5 累積距離與高度之平均誤差與誤差標準差—每 60 秒更新

預測時間 (秒)	累積距離 平均誤差 (呎)	累積距離 誤差標準差 (呎)	高度 平均誤差 (呎)	高度 誤差標準差 (呎)
0	0.000	0.000	0.000	0.00
15	-0.055	0.057	72.372	102.726
30	-0.053	0.087	223.198	212.643
45	-0.098	0.100	373.352	290.473
60	-0.124	0.144	532.496	362.894
60	0.000	0.000	0.000	0.000
75	-0.051	0.057	108.661	140.162
90	-0.092	0.064	201.276	244.323
105	-0.169	0.083	227.109	276.049
120	-0.229	0.096	202.572	273.745
120	0.000	0.000	0.000	0.000
135	-0.045	0.069	6.919	90.845
150	-0.096	0.120	-21.007	131.955
165	-0.150	0.164	6.478	190.356
180	-0.098	0.129	158.015	272.907
180	0.000	0.000	0.000	0.000
195	-0.076	0.068	50.109	112.600
210	-0.170	0.071	120.046	251.643
225	-0.244	0.118	184.320	346.806
240	-0.352	0.147	249.872	410.131
240	0.000	0.000	0.000	0.000
255	-0.057	0.058	57.383	125.896
270	-0.109	0.066	87.467	188.201
285	-0.133	0.107	127.974	247.471
300	-0.184	0.127	147.898	290.590

表 4.6 累積距離與高度之平均誤差與誤差標準差—每 60 秒更新 (續)

預測時間 (秒)	累積距離 平均誤差 (呎)	累積距離 誤差標準差 (呎)	高度 平均誤差 (呎)	高度 誤差標準差 (呎)
300	0.000	0.000	0.000	0.000
315	-0.029	0.065	48.361	121.427
330	-0.066	0.076	107.630	222.162
345	-0.126	0.081	152.435	296.995
360	-0.160	0.106	215.111	426.260
360	0.000	0.000	0.000	0.000
375	-0.067	0.072	113.576	156.803
390	-0.066	0.091	234.780	210.954
405	-0.140	0.081	321.221	274.100
420	-0.152	0.133	461.708	326.066
420	0.000	0.000	0.000	0.000
435	-0.084	0.075	200.186	232.662
450	-0.105	0.085	354.447	279.607
465	-0.170	0.124	514.491	362.038
480	-0.281	0.222	697.443	492.646
480	0.000	0.000	0.000	0.000
495	-0.053	0.050	289.795	414.230
510	-0.076	0.060	429.672	451.242
525	-0.109	0.098	409.575	311.400

表 4.7 累積距離與高度之平均誤差與誤差標準差—每 120 秒更新

預測時間 (秒)	累積距離 平均誤差 (哩)	累積距離 誤差標準差 (哩)	高度 平均誤差 (呎)	高度 誤差標準差 (呎)
0	0.000	0.000	0.000	0.000
15	-0.055	0.057	72.372	102.726
30	-0.053	0.087	223.198	212.643
45	-0.098	0.100	373.352	290.473
60	-0.124	0.144	532.496	362.894
75	-0.170	0.189	673.402	437.959
90	-0.205	0.224	716.276	468.535
105	-0.276	0.270	610.813	456.274
120	-0.330	0.282	533.128	385.081
120	0.000	0.000	0.000	0.000
135	-0.045	0.069	6.919	90.845
150	-0.096	0.120	-21.007	131.955
165	-0.150	0.164	6.478	190.356
180	-0.222	0.221	38.496	258.902
195	-0.290	0.271	99.443	331.743
210	-0.376	0.325	180.046	414.955
225	-0.441	0.361	255.839	496.768
240	-0.540	0.406	337.169	547.241
240	0.000	0.000	0.000	0.000
255	-0.057	0.058	57.383	125.896
270	-0.109	0.066	87.467	188.201
285	-0.133	0.107	127.974	247.471
300	-0.184	0.127	147.898	290.590

表 4.8 累積距離與高度之平均誤差與誤差標準差—每 120 秒更新 (續)

預測時間 (秒)	累積距離 平均誤差 (呎)	累積距離 誤差標準差 (呎)	高度 平均誤差 (呎)	高度 誤差標準差 (呎)
315	-0.216	0.175	187.917	368.425
330	-0.257	0.219	248.259	434.133
345	-0.278	0.277	274.880	445.880
360	-0.292	0.314	345.889	544.839
360	0.000	0.000	0.000	0.000
375	-0.067	0.072	113.576	156.803
390	-0.066	0.091	234.780	210.954
405	-0.140	0.081	321.221	274.100
420	-0.152	0.133	461.708	326.066
435	-0.239	0.148	576.797	387.837
450	-0.276	0.202	714.388	466.574
465	-0.336	0.242	853.116	580.002
480	-0.117	0.170	525.420	633.371
480	0.000	0.000	0.000	0.000
495	-0.053	0.050	289.795	414.230
510	-0.076	0.060	429.672	451.242
525	-0.109	0.098	409.575	311.400

表 4.9 累積距離與高度之平均誤差與誤差標準差—每 180 秒更新

預測時間 (秒)	累積距離 平均誤差 (呎)	累積距離 誤差標準差 (呎)	高度 平均誤差 (呎)	高度 誤差標準差 (呎)
0	0.000	0.000	0.000	0.000
15	-0.055	0.057	72.372	102.726
30	-0.053	0.087	223.198	212.643
45	-0.098	0.100	373.352	290.473
60	-0.124	0.144	532.496	362.894
75	-0.170	0.189	673.402	437.959
90	-0.205	0.224	716.276	468.535
105	-0.276	0.270	610.813	456.274
120	-0.330	0.282	533.128	385.081
135	-0.387	0.305	475.696	349.143
150	-0.452	0.335	452.474	326.388
165	-0.520	0.372	511.033	417.610
180	-0.605	0.430	630.089	486.564
180	0.000	0.000	0.000	0.000
195	-0.076	0.068	50.109	112.600
210	-0.170	0.071	120.046	251.643
225	-0.244	0.118	184.320	346.806
240	-0.352	0.147	249.872	410.131
255	-0.437	0.210	319.198	514.739
270	-0.516	0.251	359.874	558.976
285	-0.567	0.308	412.900	602.247
300	-0.644	0.347	446.009	640.206
315	-0.699	0.401	499.731	693.215
330	-0.761	0.451	574.519	738.320
345	-0.921	0.451	645.398	799.062

表 4.10 累積距離與高度之平均誤差與誤差標準差—每 180 秒更新 (續)

預測時間 (秒)	累積距離 平均誤差 (呎)	累積距離 誤差標準差 (呎)	高度 平均誤差 (呎)	高度 誤差標準差 (呎)
360	-1.019	0.473	745.852	858.071
360	0.000	0.000	0.000	0.000
375	-0.067	0.072	113.576	156.803
390	-0.066	0.091	234.780	210.954
405	-0.140	0.081	321.221	274.100
420	-0.152	0.133	461.708	326.066
435	-0.239	0.148	576.797	387.837
450	-0.276	0.202	714.388	466.574
465	-0.336	0.242	853.116	580.002
480	-0.412	0.319	897.362	692.988
495	-0.535	0.338	1004.104	808.447
510	-0.504	0.304	1169.205	992.605
525	-0.530	0.391	816.575	1269.935

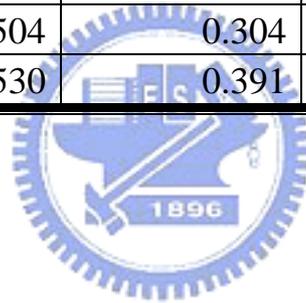


圖 4.5 為 27 架高度高於 5000 呎之 B744 以 FB1 離場程序航行時，每 60 秒、每 120 秒及每 180 秒經接收雷達更新資料預測累積距離與雷達估算累積距離之平均誤差。每 60 秒更新之平均誤差介於-0.098 至-0.352 哩、每 120 秒更新之平均誤差介於-0.292 至-0.540 哩、每 180 秒更新之平均誤差介於-0.605 至-1.019 哩。更新時間間隔愈小相對上其平均預測誤差將小於更新時間較長者。

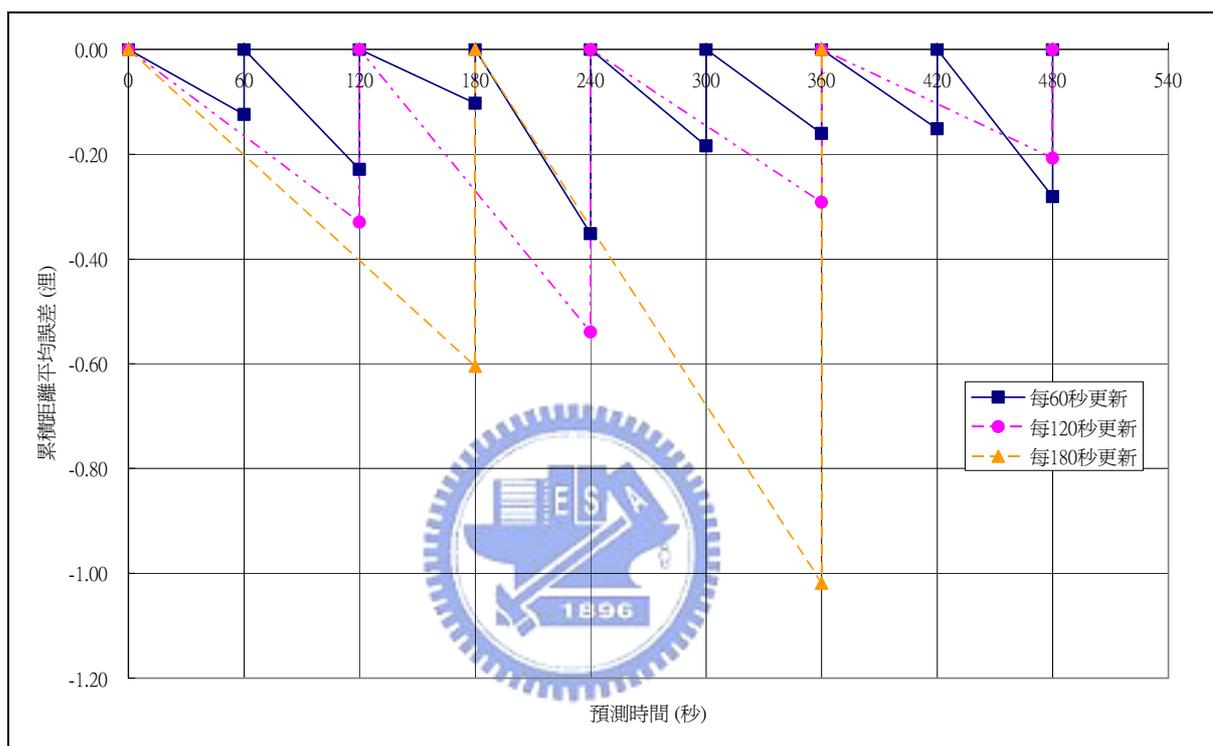


圖 4.5 每 60 秒、120 秒及 180 秒更新資料之累積距離預測誤差

圖 4.6 為每 60 秒、每 120 秒及每 180 秒接收雷達更新資料預測高度與雷達估算高度之平均誤差。若以每 60 秒更新之高度平均誤差介於 147.898 至 697.443 呎、每 120 秒更新之高度平均誤差介於 337.196 至 853.116 呎、每 180 秒更新之高度平均誤差介於 630.089 至 645.852 呎。更新時間間隔愈小相對上高度平均預測誤差將小於更新時間間隔較長者。預測時間 420 秒後由於航機不足 27 架次且資料不全，故每 180 秒更新之高度平均誤差最大值小於每 60 秒、120 秒更新之值。

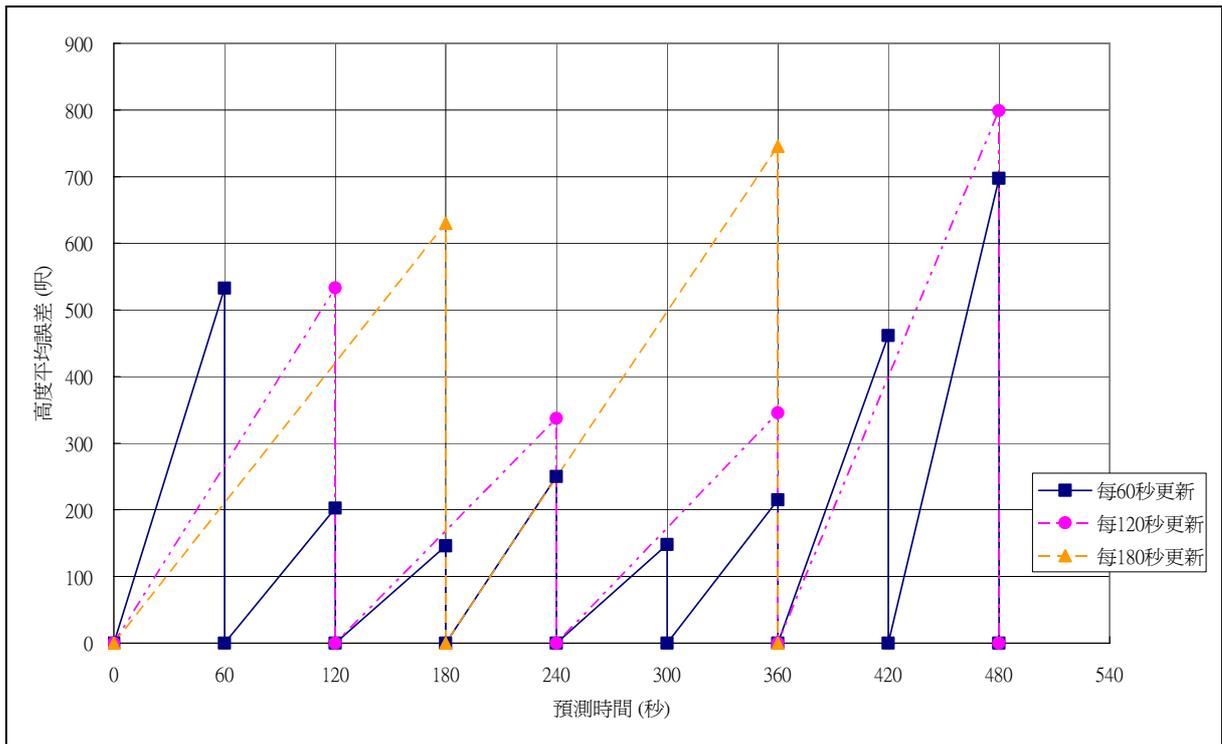


圖 4.6 每 60 秒、120 秒及 180 秒更新之高度預測誤差

表 4.11 與表 4.12 為 27 架 B747 直線階段與圓曲線階段預測座標與雷達估算座標距離之平均誤差與標準差。當已知第一次預測時(0 秒)之航機位置，則航機於後續第一直線、第二直線、第三直線階段平面預測座標與雷達估算座標誤差標準差分別為 0.01572 哩、0.15827 哩與 0.06939 哩，至於圓曲線階段之誤差標準差分別為 0.21902 哩與 0.78442 哩。

同一預測時點下表 4.11 預測誤差結果顯示，第二直線階段之誤差標準差大於第一與第三直線階段之誤差標準差，原因為航機於第一直線階段航向 FB1 定位點、且航機於第三直線階段航向 ROBIN 定位點，但航機航行於第二直線階段並未有任何定位點作為參考，故第二階段誤差標準差之值較大。預測時點 300 秒時，第二直線階段之誤差標準差小於第三直線階段之誤差標準差，例外之原因可能為預測時點 300 秒時航機雷達資料已接近直線階段結束點，其座標預測較為精準。

圓曲線階段同一預測時點下之平面座標預測誤差如表 4.12，航機預測座標於第二圓曲線階段之誤差標準差大於第一圓曲線階段，其理由為第一圓曲線階段 FB1 定位點為航機飛行之參考依據，但第二圓曲線階段則無。

表 4.11 直線階段更新航機平面預測誤差 (單位：湮)

航機 階段 預測 時點 (秒)	第一直線		第二直線		第三直線	
	平均 誤差	誤差 標準差	平均 誤差	誤差 標準差	平均 誤差	誤差 標準差
0	0.01654	0.01572	0.24359	0.15827	0.31092	0.06939
60	0.01266	0.02068	0.26318	0.15173	0.30508	0.06746
120	-	-	0.28003	0.25407	0.29597	0.06440
180	-	-	0.10429	0.11691	0.30481	0.08706
240	-	-	0.05492	0.06609	0.29551	0.06413
300	-	-	0.00617	0.01372	0.25832	0.18578
360	-	-	-	-	0.10001	0.16229
420	-	-	-	-	0.01266	0.02910

表 4.12 圓曲線階段更新航機平面預測誤差 (單位：湮)

航機 階段 預測 時點 (秒)	第一圓曲線		第二圓曲線	
	平均 誤差	誤差 標準差	平均 誤差	誤差 標準差
0	0.39017	0.21902	1.44181	0.78442
60	0.33653	0.24207	1.34655	0.86224
120	0.27017	0.31337	1.03459	0.40895
180	-	-	0.78827	0.19673
240	-	-	0.38660	0.14020
300	-	-	0.16987	0.05051
360	-	-	-	-
420	-	-	-	-