

五、雷達資料紀錄分析與驗證

5.1 中正終端航管自動化系統架構概述

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，其主要基本架構如圖 5.1。

中正終端航管自動化系統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(Analog)訊號傳送至轉換器，轉換器再將類比訊號轉換為數位(Digital)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錄影重放(Replay)。另外航管自動化系統還設有監控裝備，由航電技術人員 24 小時監控系統所有裝置之運作情形。

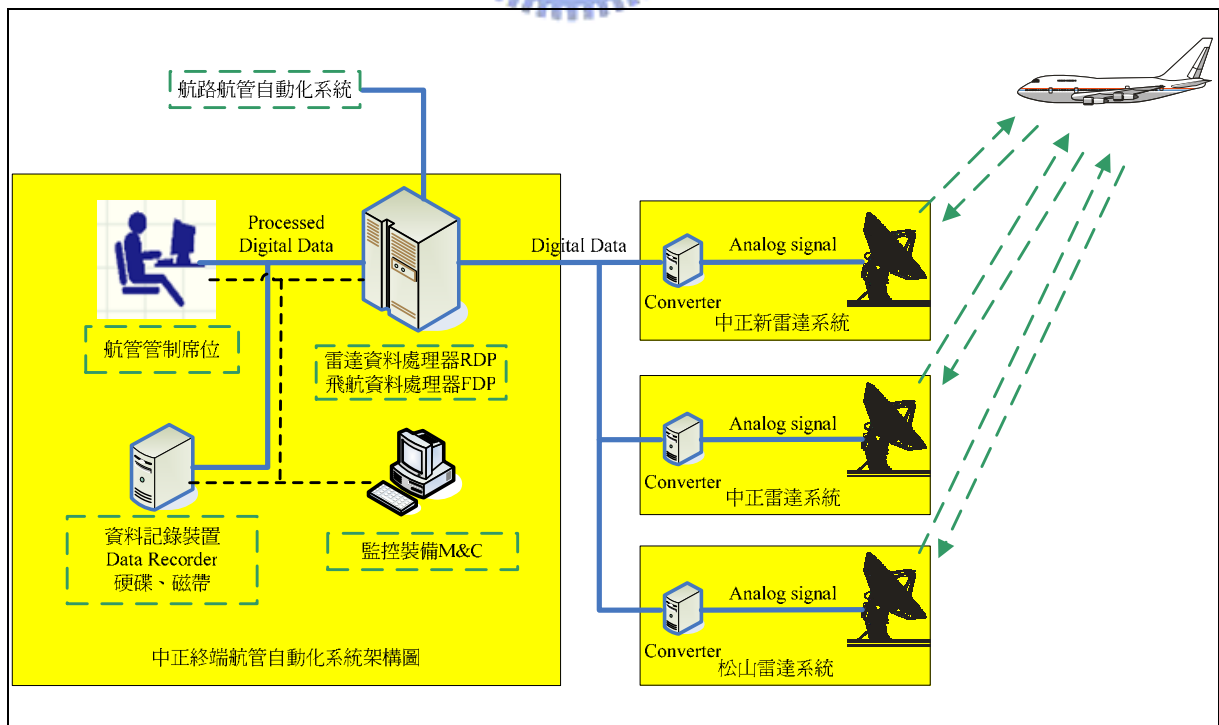


圖 5.1 中正終端航管自動化系統架構圖

5.2 雷達資料紀錄格式

中正終端航管自動化系統收到雷達系統將所偵測到的每一筆類比 (Analog) 訊號資料轉換為數位 (Digital) 資料後，除了將雷達資料處理並與飛航資料結合，即時顯示於航管管制席位外，亦同時將處理後之數位資料儲存於磁帶裝置中。而為了能將資料從磁帶中擷取出，就必須運用航管自動化系統的系統資料紀錄控制軟體 (SDRC, System Data Recording Control)。系統資料紀錄控制軟體 (SDRC) 可以依照輸入的指令類別擷取資料並將資料以固定格式輸出為純文字檔，而最常被擷取用作航機動態分析之資料格式為「系統軌跡資料格式 (System Tracking Data Format)」(如圖 5.2)。其每一筆資料之資料格式說明如下：

ST : TIME	ACID-SCDF	RBC	ADF	RSX/SSX	RSY/SSY	XDOT
a	b	c	d	e/g	f/h	i
HH:MM:SS.mmm	XXXXXXXX-9999	7777	9999	9999.99 9999.99	9999.99 9999.99	±9999
YDOT	SPD	HDG	LF	APTCA	APTLA	W
j	k	l	m	n1	n2	o
±9999	999	999	77	9 99R	9 99R	777
EALT	SALT	ACC	ZDOT	AFT	T	NL
p	q	r	s	t	u	v
±99999	±99999	±99	±999	77X	X	99

- Time of extraction：記錄此筆紀錄之時間，精準至秒小數點以下第三位。
- Aircraft ID – ACDF number：此筆紀錄所屬的航空器呼號 (Aircraft ID)，以及系統給予該航空器之唯一數字代號 (ACDF number)。如果這筆紀錄所屬的航空器的呼號有輸入自動化系統中，則此筆紀錄會同時顯示呼號及系統給予的數字代號，如果航空器呼號沒有輸入自動化系統中，則此欄位僅顯示系統給予的數字代號。
- Reported Beacon Code：飛機上的次級雷達迴波器 (Transponder) 所傳回的四碼代號。
- Supporting ADF number：系統給予此筆紀錄所屬航空器另一組唯一數字代號，用以輔助 ACDF number 確認該航空器無誤。
- Reported System X-Coordinate：雷達回報此筆紀錄所屬航空器位置轉換為直角座標後之 X 軸座標值。
- Reported System Y-Coordinate：雷達回報此筆紀錄所屬航空器位置轉換為直角座標後之 Y 軸座標值。

- g. Smoothed System X-Coordinate：航管自動化系統為了讓連續軌跡間的移動能夠平順，將 Reported System X-Coordinate 修正後之值。
- h. Smoothed System Y-Coordinate：航管自動化系統為了讓連續軌跡間的移動能夠平順，將 Reported System Y-Coordinate 修正後之值。
- i. System Velocity X-Component (knots)：系統計算同一航空器前後兩筆紀錄 X 軸上的位移速度，單位為 knots(浬/小時)。
- j. System Velocity Y-Component (knots)：系統計算同一航空器前後兩筆紀錄 Y 軸上的位移速度，單位為 knots(浬/小時)。
- k. System Speed (knots)：系統計算同一航空器前後兩筆紀錄的水平位移速度，亦即 $k = \sqrt{i^2 + j^2}$ 。
- l. System Heading (degrees)：系統判斷此筆紀錄所屬航空器前進的方向，以 360 度的角度表示之，單位為度。
- m. Lateral Profile Firmness：系統用來表示此筆紀錄在水平資料的可靠性。
- n. Conflict Alert Area Type：系統將空域劃分許多區塊，並將這些區塊區分不同提供衝突告警之等級，n1 及 n2 為此筆紀錄所屬航空器所在位置為哪一種等級之空域區塊。
- o. Altitude Profile Sliding Window
- p. Established Altitude (ft)：系統處理過此筆紀錄所屬航空器回報之高度值，單位為呎，取百呎為整數單位顯示於管制席位雷達幕。
- q. System Altitude (ft)：此筆紀錄所屬航空器回報之高度，單位為呎。
- r. Altitude Acceleration (ft/sec/sec)：垂直加速度，亦即系統計算此筆紀錄所屬航空器之爬升或下降率與前一筆資料爬升或下降率之改變速度。
- s. Altitude Velocity (ft/sec)：此筆紀錄所屬航空器之爬升下降率(呎/秒)。
- t. Altitude Profile Firmness：系統用來表示此筆紀錄在高度資料的可靠性。
- u. Lateral Turn Indicator：如果系統可以判斷出此筆紀錄所屬航空器的水平移動有轉彎之現象，則會紀錄其轉彎方向為右轉”R”或左轉”L”。
- v. Number of Links：與此筆紀錄連結的其它紀錄數目。

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
00:00:01.000		-0231	0000	0047	414.05	398.57	+36	+45	58	38	37	4	4	000	+0	+0	+0	+0	00V		1
00:00:01.000	TNA503	-0075	4450	0019	414.07	398.56															
00:00:01.129	HVN925	-0010	2641	0110	430.42	414.13	-37	-135	141	195	37	3	3	377	+4600	+4363	+0	+34	11M	R	1
00:00:01.129		-0247	6040	0059	430.75	414.09															
00:00:01.129					389.06	386.43	-153	-356	388	203	37	4	4	377	+24400	+24351	+0	+12	12M		2
00:00:01.388	EVA685	-0230	2632	0042	389.02	386.43															
00:00:01.388	CPA465	-0228	2643	0125	343.07	387.08															
00:00:01.711		-0031	6215	0013	390.40	407.91	+181	+163	244	48	37	3	3	377	+7000	+6795	+0	+0	12M		2
00:00:02.000	TNA561	-0221	4451	0045	390.41	407.90															
00:00:02.129	UIA923	-0051	4447	0096	386.37	404.59	-318	-176	363	240	37	4	4	377	+21300	+21282	+0	+42	10M		2
00:00:02.259		-0211	0742	0078	386.34	404.56															
00:00:02.388		-0218	4434	0124	316.13	276.50	-88	+480	488	349	23	4	4	001	-800	-1000	+0	+0	03M		1
00:00:02.452		-0236	1125	0097	316.13	276.50															
					422.88	405.51	-219	-184	286	230	33	3	3	377	+16700	+16685	+0	+56	07M		1
					422.87	405.46															
					381.10	378.23	-68	-241	250	195	37	4	4	377	+8100	+7917	+0	+0	04M		2
					381.13	378.23															
					325.86	495.05	+264	+403	482	33	37	4	4	377	+29500	+29500	+0	+0	12M		2
					325.88	495.13															
					355.28	473.37	-211	+120	243	299	37	4	4	377	+3600	+3366	+0	-16	12M		1
					355.26	473.37															
					326.98	321.00	-185	+99	210	298	31	4	4	374	+1800	+1644	+0	-18	03M		1
					326.98	321.00															

圖 5.2 SDRC 擷取之「系統軌跡資料格式」範例

由於雷達是以 360 度轉圈掃視，一圈費時約 5 秒，因此系統會依時間順序將雷達所偵測到的目標資料依序記錄下來。由圖 5.2 的範例中可以發現，代表航班 TNA503 這筆紀錄的下一筆紀錄並不是 TNA503，而是航班 HVN925 的一筆記錄。因為在雷達以 360 度轉圈掃視情形下，於 00:00:01.000 時偵測到航班 TNA503，並進行記錄，而在 0.129 秒後，也就是在 00:00:01.129 時偵測到航班 HVN925，也隨之進行紀錄。所以雷達資料紀錄並非依同一航空器而連續紀錄，而是依偵測到任一目標依時間順序紀錄。雷達下一次偵測到航班 TNA503 約為 5 秒以後，而在航班 TNA503 之兩筆紀錄間，則可能穿插數十甚至百筆其它航空器之紀錄。

5.3 雷達資料紀錄篩選

本研究運用系統資料紀錄控制軟體(SDR)擷取中正航管自動化系統六天之資料，分別為 93/4/2、93/4/4、93/4/6、93/4/7、93/4/8、93/5/23。由於中正終端管制空域內有中正、松山、桃園、新竹、龍潭等機場，加上高高度過境之國際線飛機，所有航空器都會被中正終端航管自動化系統的三個雷達系統偵測並紀錄下來，因此一天的雷達軌跡紀錄資料量非常龐大。以 SDR 擷取出之一天 24 小時之純文字檔資料量約高達 130MB，紀錄筆數近百萬筆。

本研究限定以中正機場離到場航空器為研究之範圍，因此一天 24 小時之 SDR 擷取資料中除了中正機場以外的松山、桃園、新竹、龍潭等機場及高高度過境之國際線飛機資料是本研究必須排除的。

以下為本研究篩選中正機場離到場航機雷達資料紀錄的方法與流程：

1. 以具有篩選排序功能之軟體匯入 SDR 擷取之雷達資料紀錄純文字檔。MS Excel 試算表及 SPSS 統計軟體皆有此功能，然而 MS Excel 試算表有最大 65536 筆資料數之限制，無法處理一天百萬筆之紀錄，因此本研究使用 SPSS 統計軟體來進行初步篩選處理。
2. 以資料欄位 b. Aircraft ID 作為判斷條件，刪除沒有 Aircraft ID 之紀錄。

沒有 Aircraft ID 代表該紀錄所屬航空器並不是中正近場管制塔台所管制的航空器，因此沒有飛航資料可與之結合，這些紀錄幾乎皆為其它航管單位所管轄之航空器，如高高度航路過境飛機，台中、花蓮空域之飛機、還有軍方戰管所管制的軍機。此一刪除動作所留下之紀錄則為中正、松山、桃園、新竹、龍潭等機場之航機(如圖 5.3)。

	ST_TIME	ACID	ACDF	RBC	ADF	RSX_SXX	RSY_SSY	XDOT	YDOT	SPD	HDC	LF	APTCA	APTLA	W	EALT	SALT	ACC	ZDOT	AFT	T	NI
1	05:04:12.000	UIA971	-74	4355	16	381.07	366.57	-136	-183	228	216	37	4.00	4.00	377	10000	10100	.00	.00	12M		2
2	05:04:12.452	AMU610	-30	5303	107	397.96	421.21	228	219	316	46	37	3.00	3.00	377	8600	8707	.00	-28	12M		1
3	05:04:12.711	UIA607	-210	4363	34	432.48	414.33	-49	-124	133	201	33	3.00	3.00	377	3500	3600	.00	20.0	12M	R	1
4	05:04:13.195	CAL632	-6.0	2701	46	410.17	428.95	283	78.0	294	74	37	3.00	3.00	377	5000	5106	.00	1.00	07M		1
5	05:04:13.518	CAL604	-43	3547	1.0	415.66	431.34	218	143	261	56	37	3.00	3.00	377	4000	4101	.00	.00	12M	L	1
6	05:04:13.906	CAL066	-7.0	6121	25	422.21	427.63	-99	-168	195	210	37	3.00	3.00	377	3000	3100	.00	.00	12M	R	1
7	05:04:13.906	EVA2105	-34	3667	109	418.71	423.51	-136	-119	181	228	37	3.00	3.00	377	2700	2792	.00	-15	12M		1
8	05:04:14.129	MDA715	-213	4360	19	419.07	409.01	-191	-123	227	237	31	3.00	3.00	377	7900	7999	.00	.00	12M		1
9	05:04:14.194	EVA6608	-236	2602	89	440.72	428.84	418	155	445	69	37	3.00	3.00	377	13900	13880	2.0	36.0	04M		1
10	05:04:14.776	P260	-133	5012	51	347.98	396.34	-252	390	465	327	25	4.00	4.00	.00	23100	23094	.00	-126	00V		2
11	05:04:16.388	UIA971	-74	4355	16	380.94	366.31	-134	-185	229	216	37	4.00	4.00	377	10000	10100	.00	.00	12M		2
12	05:04:16.817	AMU610	-30	5303	107	398.30	421.44	229	218	316	46	37	3.00	3.00	377	8500	8587	.00	-28	12M		1
13	05:04:17.646	CAL632	-6.0	2701	46	410.51	429.11	281	80.0	293	74	37	3.00	3.00	377	5000	5107	.00	1.00	10M		1
14	05:04:17.840	UIA607	-210	4363	34	432.27	414.27	-71	-113	133	212	35	3.00	3.00	377	3600	3700	.00	20.0	12M	R	1
15	05:04:17.905	CAL604	-43	3547	1.0	415.91	431.53	213	150	261	54	37	3.00	3.00	377	4000	4101	.00	.00	12M		1
16	05:04:18.388	CAL066	-7.0	6121	25	422.02	427.47	-112	-161	197	214	37	3.00	3.00	377	3000	3100	.00	.00	12M	R	1
17	05:04:18.388	EVA2105	-34	3667	109	418.53	423.34	-136	-118	180	228	37	3.00	3.00	377	2600	2715	.00	-16	12M		1
18	05:04:18.646	EVA6608	-236	2602	89	441.30	429.07	421	156	449	69	37	3.00	3.00	377	14000	14012	.00	33.0	05M		1
19	05:04:19.129	P260	-133	5012	51	348.02	396.91	-177	422	458	337	27	4.00	4.00	.00	23100	23094	.00	-126	00V	R	2
20	05:04:20.582	MDA715	-213	4360	19	418.84	408.89	-190	-120	225	237	27	3.00	3.00	377	7900	8000	.00	.00	12M		1

圖 5.3 刪除無 Aircraft ID 紀錄之結果範例

- 以相同資料欄位 b. Aircraft ID 對應相同資料欄位 c. Reported Beacon Code 為排序主條件，再以資料欄位 a. Time of extraction 為排序次條件，將同一航空器之資料紀錄依時間順序排序(如圖 5.4)。

	ST_TIME	ACID	ACDF	RBC	ADF	RSX_SXX	RSY_SSY	XDOT	YDOT	SPD	HDC	LF	APTCA	APTLA	W	EALT	SALT	ACC	ZDOT	AFT	T	NI
318	05:39:58.776	HDA480	-241	3567	128	371.04	385.44	258	334	422	37	37	4.00	4.00	377	14700	14673	.00	-33	12M		3
318	05:40:03.194	HDA480	-241	3567	128	371.29	385.93	251	340	423	36	37	4.00	4.00	377	14600	14550	.00	-31	12M		3
318	05:40:07.647	HDA480	-241	3567	128	371.64	386.29	249	342	423	36	37	4.00	4.00	377	14500	14450	.00	-30	03M		3
318	05:40:12.065	HDA480	-241	3567	128	371.99	386.66	249	340	421	36	37	4.00	4.00	377	14500	14468	.00	-6.0	04M		3
318	05:40:16.696	HDA480	-241	3567	128	372.24	386.95	246	332	414	36	37	4.00	4.00	377	14400	14412	.00	-9.0	05M		3
318	05:40:20.906	HDA480	-241	3567	128	372.50	387.43	243	331	411	36	37	4.00	4.00	377	14300	14325	.00	-13	06M		3
318	05:40:25.323	HDA480	-241	3567	128	372.86	387.79	243	328	409	36	37	4.00	4.00	377	14300	14283	.00	-12	07M		3
318	05:40:29.711	HDA480	-241	3567	128	373.21	388.15	246	324	407	37	37	4.00	4.00	377	14200	14216	.00	-13	10M		3
318	05:40:34.194	HDA480	-241	3567	128	373.52	388.57	249	322	407	37	37	4.00	4.00	377	14100	14133	.00	-14	11M		2
319	05:40:38.647	HDA480	-241	3567	128	373.78	388.85	248	315	401	38	37	4.00	4.00	377	14000	14041	.00	-15	12M		2
319	05:08:30.777	JAA203	-114	3673	30	467.35	459.36	-287	-257	385	228	37	4.00	4.00	377	23900	23933	-5	-58	04M		1
319	05:08:35.129	JAA203	-114	3673	30	466.95	459.06	-286	-256	384	228	37	4.00	4.00	377	23700	23692	.00	-56	05M		1
319	05:08:39.582	JAA203	-114	3673	30	466.62	458.68	-284	-258	384	227	37	4.00	4.00	377	23500	23477	.00	-53	06M		1
319	05:08:44.000	JAA203	-114	3673	30	466.32	458.45	-280	-255	379	227	37	4.00	4.00	377	23200	23219	.00	-54	07M		1
319	05:08:48.388	JAA203	-114	3673	30	465.92	458.15	-280	-252	377	228	37	4.00	4.00	377	23000	22987	.00	-54	10M		1
319	05:08:52.840	JAA203	-114	3673	30	465.52	457.85	-283	-250	378	228	37	4.00	4.00	377	22800	22770	.00	-52	11M		1
319	05:08:57.259	JAA203	-114	3673	30	465.29	457.54	-279	-248	374	228	37	4.00	4.00	377	22600	22558	.00	-51	12M		1
319	05:09:01.758	JAA203	-114	3673	30	464.89	457.24	-279	-247	373	228	37	4.00	4.00	377	22400	22357	.00	-50	12M		1
319	05:09:06.065	JAA203	-114	3673	30	464.49	456.94	-282	-246	375	228	37	4.00	4.00	377	22200	22156	.00	-49	12M		1
320	05:09:10.517	JAA203	-114	3673	30	464.26	456.64	-278	-245	371	228	37	4.00	4.00	377	21900	21924	.00	-50	12M		1

圖 5.4 將同一航空器之資料紀錄依時間順序排序範例

- 將同一航空器之資料紀錄依時間順序排序後，新增一個自訂的資料欄

位，標示同一航空器之第一筆資料紀錄及最後一筆資料紀錄。目的為用作後續篩選中正機場離到場航空器資料時之條件。

5. 篩選出中正機場離到場航空器，方法敘述如下：

一般而言，航空地理座標以 W-84 經緯度座標系統標示之，然而我國航管自動化系統為了資料處理及顯示，以 W-84 經緯度座標系統表示之位置資訊以立體投影法(Stereographic Projection)轉換為以 X、Y 軸表示之直角座標系統。該 X、Y 軸直角座標系統之原點(0, 0)的 W-84 經緯度座標為〔北緯 18 度 00 分 00 秒，東經 114 度 00 分 00 秒〕，每一 X 軸及每一 Y 軸之單位距離為 1 浬(NM, Nautical Mile)。

中正機場跑道頭經緯度換算為 X、Y 軸直角座標後之值分別為：

05 跑道座標：(410.178, 417.183) 23 跑道座標：(411.648, 418.493)

06 跑道座標：(410.623, 416.506) 24 跑道座標：(411.988, 417.699)

令 A 點 X 座標=(06 跑道 X 座標-05 跑道 X 座標)/2+05 跑道 X 座標

令 A 點 Y 座標=(06 跑道 Y 座標-05 跑道 Y 座標)/2+05 跑道 Y 座標

令 B 點 X 座標=(24 跑道 X 座標-23 跑道 X 座標)/2+23 跑道 X 座標

令 B 點 Y 座標=(24 跑道 Y 座標-23 跑道 Y 座標)/2+23 跑道 Y 座標

得 A 點座標為：(410.401, 416.845) B 點座標為：(411.818, 418.096)

\overline{AB} 為 05/23 跑道及 06/24 跑道間之虛擬中線。(如圖 5.5)

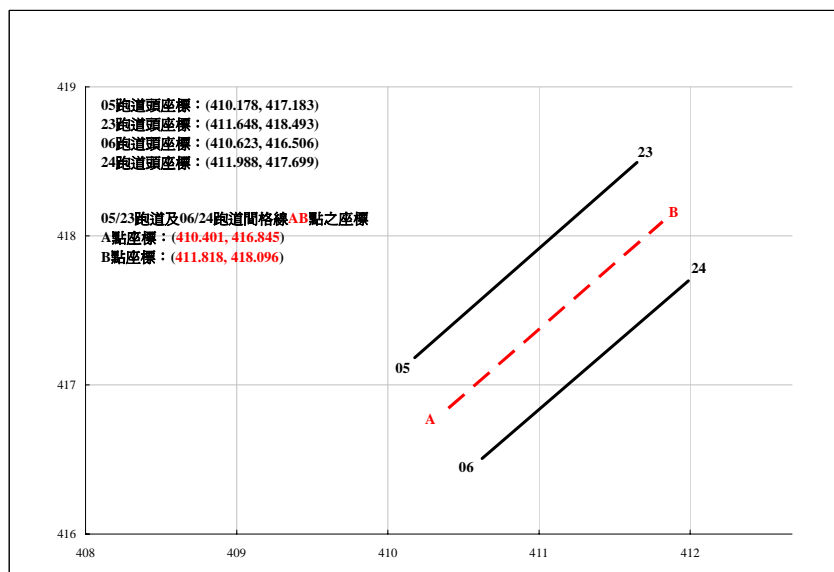


圖 5.5 中正機場跑道座標圖

05/23 跑道及 06/24 跑道距離 \overline{AB} 虛擬中線之距離皆不大於 1 哩。

\overline{AB} 之線性方程式為 $Y=0.9286X+35.71 \Rightarrow 0.9286X+35.71-Y=0$

假設航空器在 05/23 跑道上，則將該航空器雷達紀錄之 e. Reported System X-Coordinate 項及 f. Reported System Y-Coordinate 項分別代入 \overline{AB} 線性方程式 $0.9286X+35.71-Y$ 之 X 及 Y 值，所得的結果應為負值。同樣地，假設航空器在 06/24 跑道上，代入 $0.9286X+35.71-Y$ 後所得之結果應為正值。

依據前述的特性，取前述步驟 4. 已標示同一航空器之第一筆資料紀錄及最後一筆資料紀錄作為判斷資料，將 e. Reported System X-Coordinate 項及 f. Reported System Y-Coordinate 項分別代入 \overline{AB} 線性方程式 $0.9286X+35.71-Y$ 之 X 及 Y 值，再設定判斷條件，則可將中正機場航機紀錄依離場、到場、使用跑道篩選出來，其判斷條件及對應結果如表 5.1：

結果 \ 條件	05 跑道		06 跑道		23 跑道		24 跑道	
	離場	到場	離場	到場	離場	到場	離場	到場
第一筆紀錄	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗
最後一筆紀錄	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓
$Y-0.9286X-35.71$	$0 > \text{值} > -1$	$0 > \text{值} > -1$	$0 < \text{值} < 1$	$0 < \text{值} < 1$	$0 > \text{值} > -1$	$0 > \text{值} > -1$	$0 < \text{值} < 1$	$0 < \text{值} < 1$

表 5.1 篩選中正機場航機之判斷條件與對應結果表

6. 收集中正機場 93/4/2、93/4/4、93/4/6、93/4/7、93/4/8、93/5/23 六天的飛航管制條，將每天的航班資訊包含航機呼號、機型、雷達電碼、離場機場(到場航機)、目的地機場(離場航機)、航路等資訊輸入 MS Excel 檔，再以 b. Aircraft ID 對應相同資料欄位 c. Reported Beacon Code 為配對主條件，將航班資訊匯入雷達資料中同一航空器之第一筆紀錄。如此便有完整之雷達資料處理(RDP)及飛航資料處理(FDP)之資訊。
7. 最後獲得的資料為僅有中正機場的離到場航機資料紀錄，而且這些資料紀錄為依航空器呼號以時間順序排序列，並包含充分之雷達資料處

理與飛航資料處理資訊。

經由前述篩選作業後，總共篩選出 93/4/2、93/4/4、93/4/6、93/4/7、93/4/8、93/5/23 六天中正機場各機型的離、到場架次數如表 5.2。每一架次的資料紀錄以約 5 秒之時間間隔依時間順序紀錄一筆，故每一架次的資料紀錄筆數約為 200 筆至 400 筆之間。

表 5.2 篩選出中正機場各機型航機離到場架次數

架次資料總數		
機型	離場	到場
A306	95	96
A321	86	92
A330	135	117
A340	49	51
B738	96	103
B747	308	292
B757	82	79
B767	87	91
B777	62	70
MD11	78	81
其它(不研究)	85	89
合計	1163	1161

5.4 資料轉換

由先前 4.5 節所述，本研究已利用 Euro control 的航空器基礎資料 BADA 及其試算表，建立台北終端管制區國際線十種機型計算之垂直飛航軌跡型態、爬升下降率及油耗範圍，並將結果描繪如附錄圖 7.1 至圖 7.20。

為了能將 BADA 所計算之結果與中正機場雷達資料紀錄分析結果進行比對，以及後續驗證 BADA 於本區運用的可行性，因此需要將本章節前段所篩選出的中正機場離到場航空器雷達資料紀錄進行適當的資料轉換，以將實際航機之垂直飛航軌跡型態、爬升下降率軌跡描繪於圖上，以利比較。

由於實際雷達資料並無航空器油耗資料，因此無法以實際資料與 BADA 所計算之油耗進行比對，然而油耗會影響航空器重量，而重量改變是影響

航空器垂直飛航軌跡最大之因素，BADA 的計算上也同樣納入油耗改變重量繼而影響垂直軌跡的模式；因此，假使本研究能驗證 BADA 計算的垂直飛航軌跡符合本區實際狀況的垂直飛航軌跡，亦可以說間接驗證了 BADA 計算的油耗情形符合本區航空器油耗情形。

以下分別就離、到場之垂直飛航軌跡及爬升下降率資料轉換作說明：

1. 離場垂直飛航軌跡資料轉換：

由 4.6.1 小節可知 BADA 所計算的垂直飛航軌跡描繪成圖後，X 軸為飛航高度(單位為百呎)，Y 軸為飛行距離(單位為哩)。

而從 5.2 節說明之雷達資料紀錄格式中，可以找到與飛機實際高度有關的資料為欄位 q. System Altitude (ft)，為了與 BADA 繪圖之 X 軸單位相符，需新增一個欄位(假設為欄位 x)以將欄位 q. System Altitude (ft) 轉換為以百呎為單位，方式如下：

$$x_i = \text{ROUND}(q_i / 100) \quad \text{其中 } i = \text{該航機資料之第 } i \text{ 筆紀錄}$$

從 5.2 節說明之雷達資料紀錄格式中，無法找到與飛機實際飛行距離有關的資料欄位，為了求出與 BADA 繪圖之 X 軸單位相符之飛行距離，需新增一個欄位(假設為欄位 y)，並以雷達資料紀錄格式中的欄位 e. Reported System X-Coordinate 及欄位 f. Reported System Y-Coordinate 來求算，方式如下：

同一航機連續兩筆資料間移動之距離為 Δd ，依據三角函數定理

$$\Delta d_i = \sqrt{(e_i - e_j)^2 + (f_i - f_j)^2}$$

$$y_i = \sum_1^i \Delta d_i = \sum_1^i \sqrt{(e_i - e_j)^2 + (f_i - f_j)^2}$$

$i = \text{該航機資料之第 } i \text{ 筆紀錄}$

$j = \text{該航機資料之第 } i-1 \text{ 筆紀錄}$

$j \geq 1$

以新增加的欄位 x 及欄位 y 分別為 X 軸及 Y 軸，即可將航機實際之離場垂直飛航軌跡描繪於 BADA 所產生之爬升垂直飛航軌跡圖上，進行

比較。

2. 離場爬升率資料轉換

由 4.6.1 小節可知 BADA 所計算的爬升率描繪成圖後，X 軸為飛航高度(單位為百呎)，Y 軸為爬升下降率(單位為呎/分鐘)。

與離場垂直飛航軌跡資料轉換相同，可以找到與飛機實際高度有關的資料為欄位 q. System Altitude (ft)，也同樣地需新增一個欄位(假設為欄位 x)以將欄位 q. System Altitude (ft)轉換為以百呎為單位，方式如下：

$$x_i = \text{ROUND}(q_i / 100) \quad \text{其中 } i = \text{該航機資料之第 } i \text{ 筆紀錄}$$

從 5.2 節說明之雷達資料紀錄格式中，可以找到與飛機實際高度有關的資料為欄位 s. Altitude Velocity (ft/sec)，為了與 BADA 所繪製爬升率圖之 Y 軸單位相符，需新增一個欄位(假設為欄位 y)將欄位 s. Altitude Velocity (ft/sec)轉換為以呎/分鐘(ft/min)為單位，方式如下：

$$y_i = (s_i * 60) \quad \text{其中 } i = \text{該航機資料之第 } i \text{ 筆紀錄}$$

以新增加的欄位 x 及欄位 y 分別為 X 軸及 Y 軸，即可將航機實際之爬升率描繪於 BADA 所產生之爬升率圖上，進行比較。

3. 到場垂直飛航軌跡資料轉換

由 4.6.1 小節可知 BADA 所計算的垂直飛航軌跡描繪成圖後，X 軸為飛航高度(單位為百呎)，Y 軸為飛行距離(單位為哩)。

與離場垂直飛航軌跡資料轉換相同，可以找到與飛機實際高度有關的資料為欄位 q. System Altitude (ft)，為了與 BADA 繪圖之 X 軸單位相符，需新增一個欄位(假設為欄位 x)以將欄位 q. System Altitude (ft)轉換為以百呎為單位，方式如下：

$$x_i = \text{ROUND}(q_i / 100) \quad \text{其中 } i = \text{該航機資料之第 } i \text{ 筆紀錄}$$

同樣地，為了求出與 BADA 繪圖之 X 軸單位相符之飛行距離，需新增一個欄位(假設為欄位 y)，並以雷達資料紀錄格式中的欄位 e. Reported System X-Coordinate 及欄位 f. Reported System Y-Coordinate 來求算，方式如下：

同一航機連續兩筆資料間移動之距離為 Δd ，依據三角函數定理

$$\Delta d_i = \sqrt{(e_i - e_j)^2 + (f_i - f_j)^2}$$

i=該航機資料之第 i 筆紀錄

j=該航機資料之第 i-1 筆紀錄

與離場飛行距離不同的是，爬升飛行距離是由航空器第一筆紀錄飛行距離飛行為 0 往後開始累加，而到場飛行距離是必須由最後一筆紀錄飛行距離為 0 往前回推累加。因此，假設該航機最後一筆紀錄為第 n 筆紀錄

$$y_i = \sum_i^n \Delta d_i = \sum_i^n \sqrt{(e_i - e_j)^2 + (f_i - f_j)^2}$$

i=該航機資料之第 i 筆紀錄

j=該航機資料之第 i-1 筆紀錄 $j \geq 1$

n=該航機資料之最後一筆紀錄

以新增加的欄位 x 及欄位 y 分別為 X 軸及 Y 軸，即可將航機實際之到場垂直飛航軌跡描繪於 BADA 所產生之下降垂直飛航軌跡圖上，進行比較。

4. 到場下降率資料轉換：

與離場爬升率轉換相同，方式如下：

$$x_i = \text{ROUND}(q_i/100) \quad \text{其中 } i = \text{該航機資料之第 } i \text{ 筆紀錄}$$

同樣需新增一個欄位(假設為欄位 y)以將欄位 s. Altitude Velocity (ft/sec) 轉換為以呎/分鐘(ft/min)為單位，方式如下：

$$y_i = (s_i * 60) \quad \text{其中 } i = \text{該航機資料之第 } i \text{ 筆紀錄}$$

以新增加的欄位 x 及欄位 y 分別為 X 軸及 Y 軸，即可將航機實際之下降率描繪於 BADA 所產生之下降率圖上，進行比較。

5.5 結果說明

以前述方法完成資料處理後，可以將中正機場主要十種航空機型之每一架航機實際垂直飛航軌跡、爬升下降率描繪於 BADA 的垂直飛航軌跡圖與爬升下降率圖中，以進行比較工作，結果如附錄圖 7.21 至圖 7.40。雖然各型航空器的垂直飛航軌跡、爬升下降率各不相同，其型態卻是頗為類似的，因此，本章節仍將以 A306 型機之實際垂直飛航軌跡、爬升下降率結果為例，進行說明，其他機型的解讀方式與 A306 型機相類似。

5.5.1 離場爬升飛航軌跡(如圖 5.6)

圖中 X 軸為飛航高度(單位為百呎)， Y 軸為飛行距離(單位為哩)。依前述 3.1 章節，台北終端管制區域的高度範圍為自下限地面 1,200 呎至上限飛航空層 FL200，且本研究之範圍因雷達實際資料紀錄來源為中正終端航管自動化系統，其所紀錄完整之資料限制於台北終端管制區域範圍，超出台北終端管制區域範圍之資料並不甚完整，故不予研究。因此，圖 5.6 之 X 軸最大為 200(百呎)，即台北終端管制區域之高度上限 FL200。

圖中上緣及下緣各有一條有標記之曲線。上緣曲線為 BADA 在國際標準大氣 ISA($\Delta T=8$ 度)相當於溫度攝氏 23°C (中正機場年平均氣溫)情況，航空器重量為 A306 機型 Maximum Weight(最大重量)情況下所計算預測的爬升垂直飛航軌跡。下緣曲線為 BADA 在國際標準大氣 ISA($\Delta T=8$ 度)相當於溫度攝氏 23°C (中正機場年平均氣溫)情況，航空器重量為 A306 機型 Minimum Weight(最小重量)情況下所計算預測的爬升垂直飛航軌跡。

上緣及下緣兩條標記曲線之間有 95 條曲線，每一條曲線代表一架航空器自機場起飛至高度 FL200 之實際垂直飛航軌跡。大體上來看，實際資料描繪出的飛航軌跡座落於 BADA 所求算的最大重量及最小重量曲線間。A306 型機滿載油量最大航程約可達 7.5 小時以上，而飛航我國的 A306 型機基本上飛航路線往來於我國及東北亞或東南亞間，航程約介於 1.5~4.5 小時之間不等，基本上全載重機會不高，因此實際資料描繪出的飛航軌跡座落於 BADA 所求算的最大重量及最小重量曲線間，代表 BADA 所求算的結果應該符合實際情形。

圖中實際資料描繪出的飛航軌跡有些高度(X 軸)會出現有垂直線情形，例如 X 軸 190，代表該曲線所屬航空器在起飛過程中，航管曾經指示其保持 FL190 飛行一段距離，其餘出現垂直線原因亦同。

圖中實際資料描繪出的飛航軌跡為垂直飛航軌跡，純粹為每一架航空器爬升高度與飛行距離間之關係。雖然每一架航空器在飛行中一定會有水平轉彎，然而 BADA 並未考量水平轉彎程度、次數、位置的差異，故本研究亦不考量這些差異所可能產生的影響。

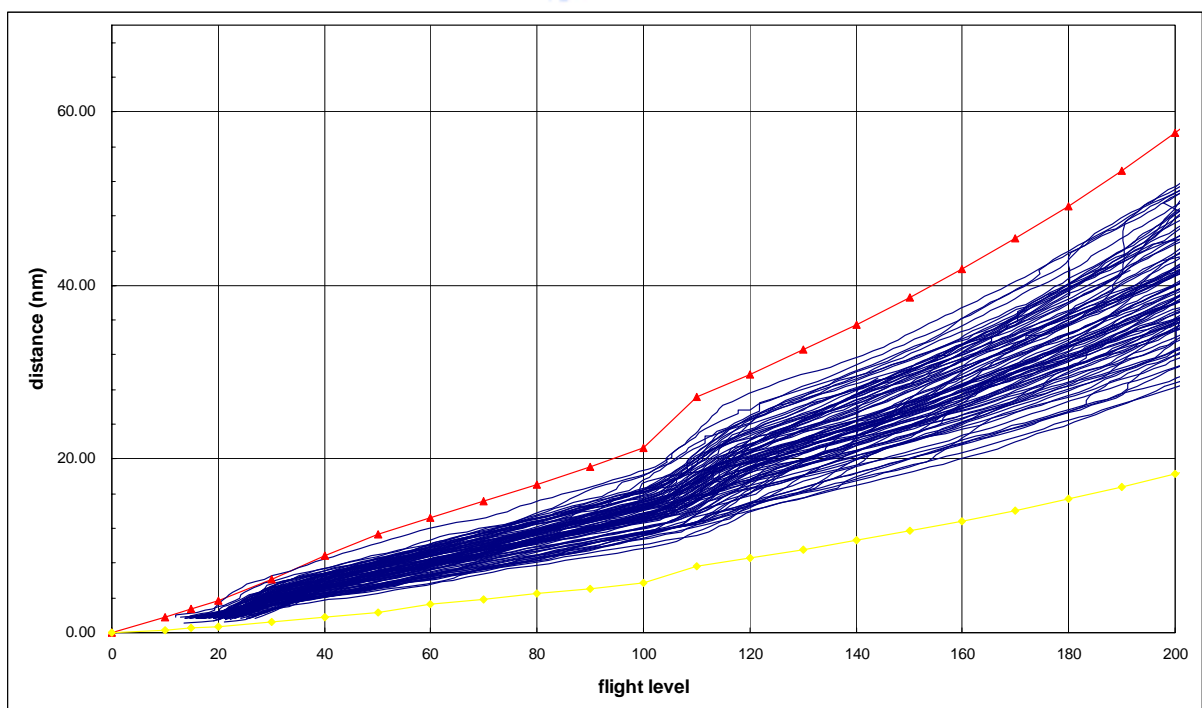


圖 5.6 A306 型機實際雷達資料爬升飛航軌跡圖

5.5.2 離場爬升率(如圖 5.7)

圖 5.7 中 X 軸為飛航高度(單位為百呎)，Y 軸為爬升率(單位為呎/分鐘)。與離場爬升飛航軌跡相同，X 軸限制最大 200(百呎)。同樣描繪有兩條有標記之曲線。下緣曲線為 BADA 在國際標準大氣 ISA($\Delta T=8$ 度)相當於溫度攝氏 23°C (中正機場年平均氣溫)情況，航空器重量為 A306 機型 Maximum Weight(最大重量)情況下所計算預測的爬升率。上緣曲線為 BADA 在國際標準大氣 ISA($\Delta T=8$ 度)相當於溫度攝氏 23°C (中正機場年平均氣溫)情況，航空器重量為 Minimum Weight(最小重量)情況下所計算預測的爬升率。

圖 5.7 中除了前述有標記之兩條 BADA 所計算之曲線外，另描繪有其它 95 條曲線，每一條曲線代表一架 A306 機型航空器自機場起飛至高度 FL200 之爬升率。整體來看似乎頗為紊亂，爬升率差異變化太大。然而需要說明的是，BADA 所求算出來的爬升率單位為呎/分鐘(ft/min)，為了能與 BADA 所求算出來的結果進行一致性的比較，先前 5.4 章節將實際雷達數據資料欄位 s. Altitude Velocity (ft/sec)乘以 60 進行(ft/min)換算，也就是說，爬升率差異變化被放大了 60 倍。再加上不同駕駛員對航空器操作習性各不相同，因此描繪出來的爬升率曲線才會顯得紊亂且差異變化太大。此一紊亂情形可以經由後續的統計分析來整理說明。

雖然爬升率差異變化被放大了 60 倍而顯得紊亂且差異變化太大，從圖中我們仍可初步解讀一些資訊。

在高度約 2000 呎至 4000 呎間，航機爬升率有一個明顯的減低轉折，這是由於航機起飛離地達到安全高度後，需先減低爬升率以增加速度的關係。因為當航機於起飛階段時，為了獲得較大的升力，其起落架、襟翼、副翼等皆是外放，稱為 dirty configuration，而一經起飛到達安全高度後，便需要逐步收回外放的裝置，讓外形變成最低阻力的 clean configuration。而在回收外放裝置的過程中，必須

先減低爬升率以取得速度，因為襟翼、副翼回收雖然會減少阻力，但也同樣會減少升力。為了讓航機在回收外放裝置的過程中維持必要的升力，所以必須降低爬升率，增加速度，以速度來維持足夠的升力。另一方面，駕駛員在回收外形的操作必須符合本研究先前 3.5.1 節及 3.5.2 節噪音管制離場程序之說明，於取得安全高度至離開 3000 呎之間需減低爬升率，依程序中所定的階段與步驟執行。BADA 在此一部份並未予以模擬。

另外在高度約 10000 呎至 12000 呎間，航機爬升率有另一個明顯的減低轉折，這是因為航空器必須符合 3.5.1 節所述飛機在 10000 呎以下高度，除了特定情況外，航空器的指示空速不得超過 250 浬/小時，而 250 浬/小時的空速並不是最佳的爬升空速，因此一離開 10000 呎高度後，航空器便減低爬升率以增加速度，於約 12000 呎取得適當之速度後，再恢復爬升率。

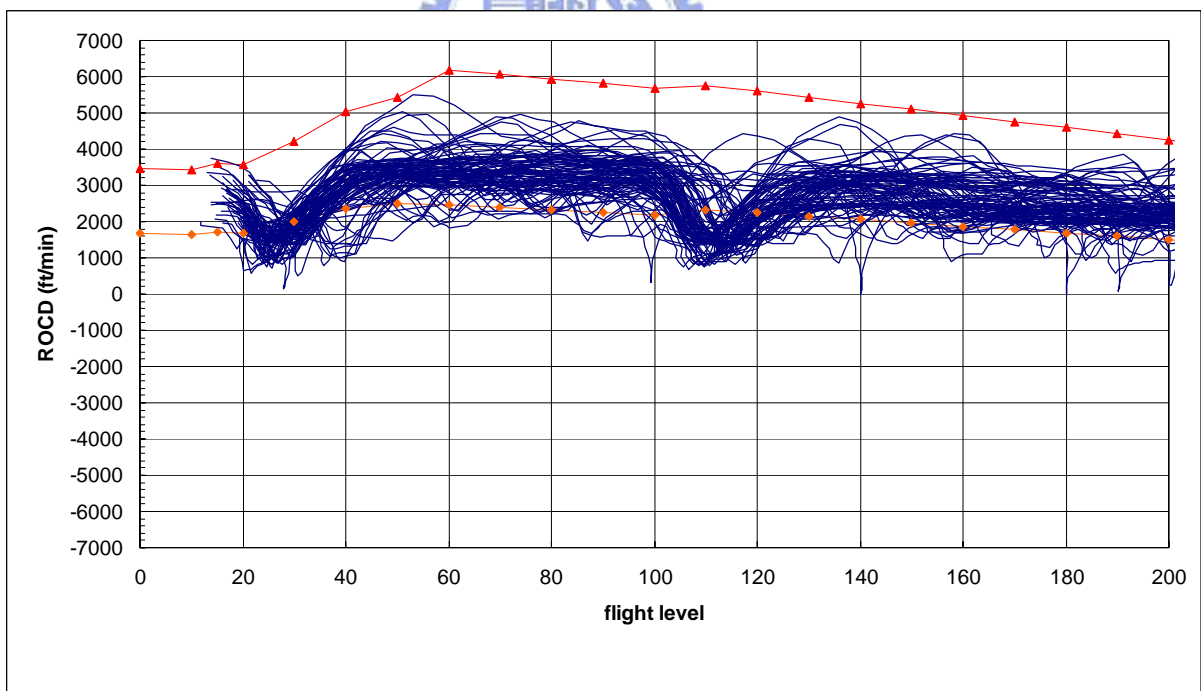


圖 5.7 A306 型機實際雷達資料爬升率圖

5.5.3 到場下降飛航軌跡(如圖 5.8)

圖中 X 軸為飛航高度(單位為百呎)，Y 軸為飛行距離(單位為

湮)。與離場爬升飛航軌跡相同，X 軸限制最大 200(百呎)。同樣描繪有兩條有標記之曲線。上緣曲線為 BADA 在國際標準大氣 ISA($\Delta T=8$ 度)相當於溫度攝氏 23°C (中正機場年平均氣溫)情況，航空器重量為 A306 機型 Maximum Weight(最大重量)情況下所計算預測的到場下降垂直飛航軌跡。下緣曲線為 BADA 在國際標準大氣 ISA($\Delta T=8$ 度)相當於溫度攝氏 23°C (中正機場年平均氣溫)情況，航空器重量為 Minimum Weight(最小重量)情況下所計算預測的到場下降垂直飛行軌跡。

圖 5.8 中除了前述有標記之兩條 BADA 所計算之曲線外，另描繪有其它 96 條曲線，每一條曲線代表一架 A306 機型航空器自 FL200 下降至落地之實際垂直飛航軌跡。與起飛爬升垂直飛航軌跡不同的是，到場下降之垂直飛航軌跡並沒有介於 BADA 所求算之最大重量與最小重量的兩條曲線之間，但基本上實際軌跡與 BADA 求算之軌跡在斜率上是一致的。也就是說實際到場下降的飛航軌跡除了重量差異的影響外，更受到了其它的外在因素所影響。

與起飛離場爬升垂直飛航軌跡相同，圖中實際資料描繪出的飛航軌跡許多高度(X 軸)會出現有垂直線情形，代表該曲線所屬航空器在下降過程中，航管曾經指示其保持固定高度飛行一段距離，而且這種現象比起飛離場爬升的軌跡更為頻繁，幾乎每一個固定千呎高度都有可能發生，而且航機保持固定高度所飛行之距離亦不相同。這是由於航管為了確保前述 3.3 章節所述航空器間的安全隔離，依靠經驗運用 3.4 章節所述的飛航管制措施中的指定高度，讓有衝突之虞的航機間彼此保持 1000 呎以上指定高度之隔離所產生的結果。也有可能是航管為了安排到場落地飛機間之順序，而大量引導航空器，致使航空器保持低高度平飛之飛行距離增加，此種情形發生於 2000 呎至 4000 呎之平飛狀況最多。

由上可知，台北終端管制區內對於到場下降航機，為了解決航

機間的衝突以及到場航空器間的排序進場問題，航管會大量介入，造成航機平飛狀態與飛行距離的增加。

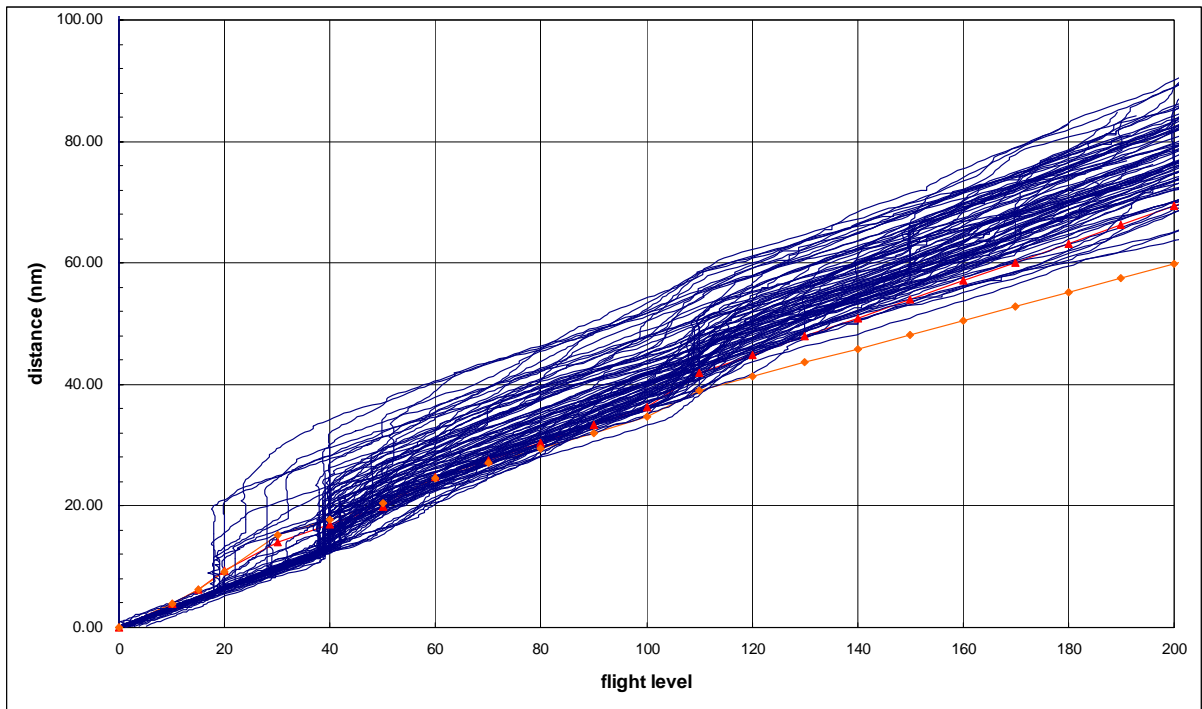


圖 5.8 A306 型機實際雷達資料下降飛航軌跡圖

5.5.4 到場下降率(如圖 5.9)

圖中 X 軸為飛航高度(單位為百呎)，Y 軸為下降率(單位為呎/分鐘)。與離場爬升飛航軌跡相同，X 軸限制最大 200(百呎)。圖 5.9 同樣描繪有兩條有標記之曲線。上緣曲線為 BADA 在國際標準大氣 ISA($\Delta T=8$ 度)相當於溫度攝氏 23°C (中正機場年平均氣溫)情況，航空器重量為 A306 機型 Maximum Weight(最大重量)情況下所計算預測的下降率。下緣曲線為 BADA 在國際標準大氣 ISA($\Delta T=8$ 度)相當於溫度攝氏 23°C (中正機場年平均氣溫)情況，航空器重量為 Minimum Weight(最小重量)情況下所計算預測的下降率。

除了前述有標記之兩條 BADA 所計算之曲線外，另描繪有其它 96 條曲線，每一條曲線代表一架 A306 機型航空器自高度 FL200 下降至落地止之下降率。整體來看比離場爬升率更為紊亂，爬升率差異變化更大。除了與離場爬升率一樣，爬升率差異變化被放大了 60

倍外，因為航管的大量介入也使得航空器減低下降率的情形過於頻繁，因此更加劇了下降率差異變化大的情形。圖中許多下降率變為 0 的情形就是航空器保持固定高度飛行之狀態。

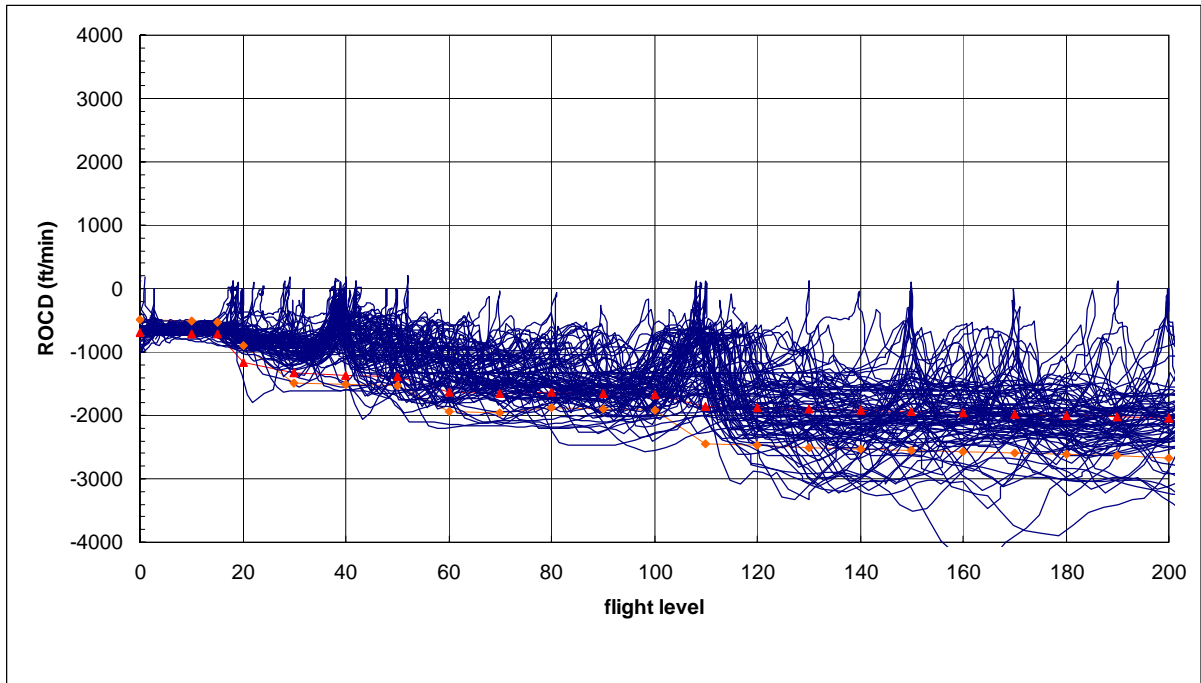


圖 5.9 A306 型機實際雷達資料下降率圖

5.5.5 例外

在篩選的十種機型中，除了 B737 型機的實際離場爬升垂直軌跡不如預期落在 BADA 所求算的最大重量與最小重量曲線間的範圍外(附錄圖 7.29)，其餘九種機形基本上皆符合 BADA 所求算之範圍。而重新檢視 BADA 在計算 B737 的垂直爬升飛航軌跡的參數，亦無任何明顯不妥之數值，為何實際資料與 BADA 求算結果的差異性，或可於日後經由向歐洲航管實驗中心(EEC)查證澄清。

5.6 分析與驗證

經本章前述作業，將中正機場離到場航機實際飛航軌跡與爬升下降率描繪出後，後續將繼續進行統計分析並進一步與 BADA 所計算的結果進行適合性 (Goodness of Fit) 驗證。

將實際雷達紀錄資料之垂直爬升飛航軌跡及爬升率依高度計算自 1500

呎至 20000 呎之間，每千呎高度的平均值(mean)與標準差(standard deviation)。並將每一機型之平均值及標準差描繪於 BADA 所計算該機型的垂直飛航軌跡圖與爬升/下降率圖，結果如附錄圖 7.41 至圖 7.60。以下再分別就離場爬升與到場下降分析結果作說明：

5.6.1 離場爬升飛航軌跡

表 5.3 為 A306 型機爬升飛航軌跡統計分析檢定資料。其餘機型之資料以同樣方式統計處理。

欄位 A：為高度，以百呎為單位。

欄位 B：實際雷達資統計之每一高度之飛行距離平均值。

欄位 C：實際雷達資統計之每一高度之飛行距離標準差。

欄位 D：實際雷達資統計之每一高度之爬升率平均值。

欄位 E：實際雷達資統計之每一高度之爬升率標準差。

欄位 F：BADA 所求算航空器重量為 Nominal Weight(約為最大重量的 75%) 情況下計算預測的每一高度飛行距離。

欄位 G：飛航軌跡之卡方 X^2 檢定值，以檢定與 BADA 分配之適合度(Goodness of Fit)。

$$G \text{ 欄 } X^2 \text{ 檢定值} = \sum_{n=1}^{20} (B_n - F_n)^2 / F_n \quad (n \text{ 表示表 5.3 之列代號，共 20 組})$$

$\begin{cases} H_0: \text{不同高度之實際飛行距離與BADA求算之飛行距離無差異} \\ H_1: \text{不同高度之實際飛行距離與BADA求算之飛行距離有差異} \end{cases}$

欄位 H： X^2 分配機率值 p，p 愈趨近於 1 代表適合性越高，愈趨近於 0 代表適合性越低。

表 5.3 A306 型機爬升飛航軌跡統計分析檢定資料

欄代號	A	B	C	D	E	F	G	H
列代號	高度 (百呎)	實際飛 行距離 平均值	實際飛 行距離 標準差	實際爬 升率平 均值	實際爬 升率標 準差	BADA 75% 重 量計算之飛行 距離	飛航軌跡的 X^2 檢定值	X^2 分配 機率值 p
1	15.00	1.80	0.13	2,460.00	953.73	1.822068539	0.857704	$\infty 1$
2	20.00	2.10	0.42	2,211.82	722.62	2.412415935		
3	30.00	4.02	0.82	1,553.33	446.16	3.962311246		
4	40.00	5.51	1.01	2,732.73	940.93	5.763634088		
5	50.00	6.98	1.10	3,251.35	607.26	7.450399032		

6	60.00	8.44	1.29	3,108.95	655.47	9.222062534
7	70.00	9.53	1.55	3,370.00	712.21	10.53775828
8	80.00	11.03	1.45	3,303.24	636.86	11.91360168
9	90.00	12.38	1.53	3,247.50	654.34	13.35330429
10	100.00	14.63	1.82	2,972.43	771.70	14.86095579
11	110.00	17.08	2.79	1,651.95	737.39	18.9983015
12	120.00	19.67	3.02	2,116.72	827.49	20.86718488
13	130.00	21.95	3.49	2,721.70	596.00	22.8352492
14	140.00	23.99	3.07	2,263.00	1,191.74	24.91046104
15	150.00	25.84	3.57	2,820.00	581.38	27.10177687
16	160.00	28.50	4.10	2,480.45	663.35	29.41930744
17	170.00	32.29	4.27	2,385.82	416.65	31.87451772
18	180.00	35.31	5.22	2,100.00	984.86	34.48047193
19	190.00	38.23	5.37	1,848.81	800.23	37.25213638
20	200.00	40.64	5.52	2,244.44	571.46	40.20675731

圖 5.10 及 5.11 分別表現 A306 型機實際爬升飛航軌跡與爬升率資料的平均值與正負一個標準差之範圍，以及由 BADA 所計算資料之比較。

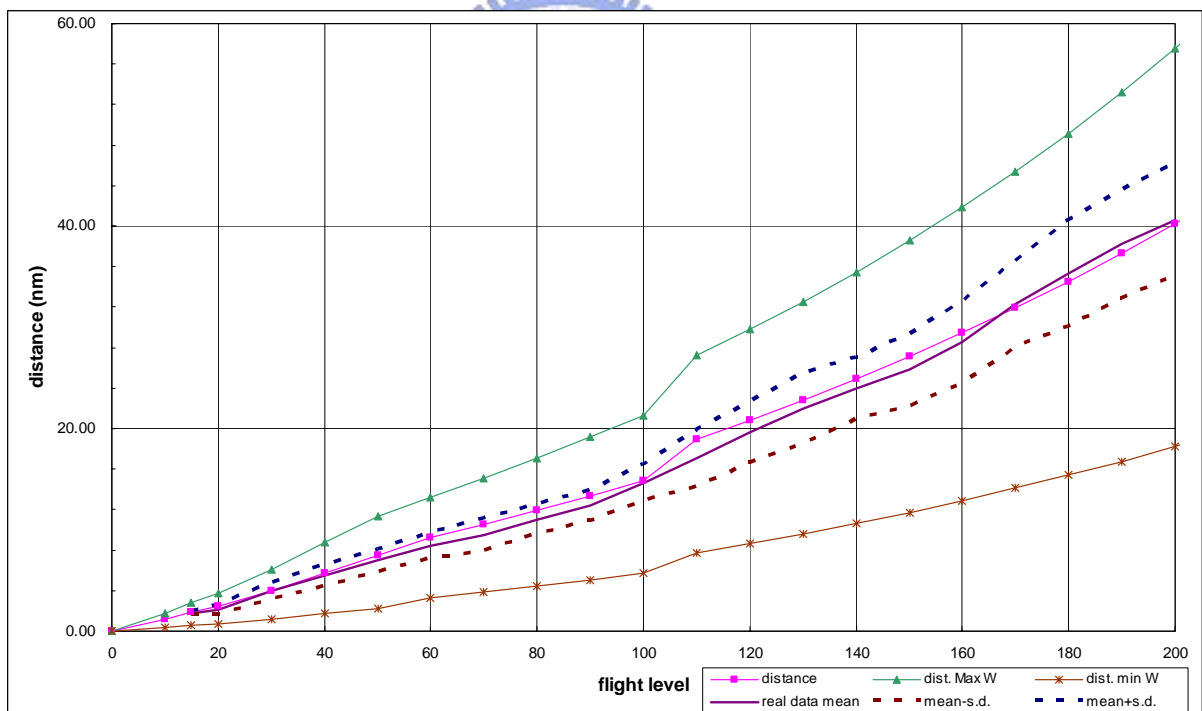


圖 5.10 A306 型機平均爬升飛航軌跡圖(含標準差)

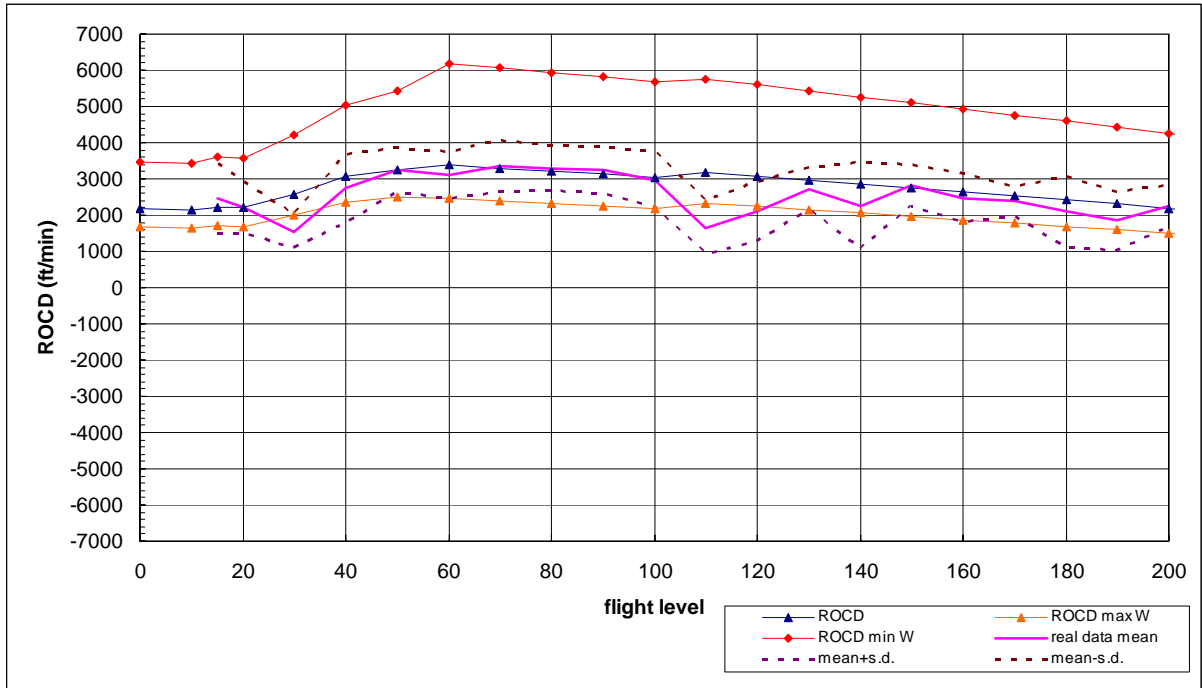


圖 5.11 A306 型機平均爬升率圖(含標準差)

每個圖中都描繪有三條有標記之曲線各為 BADA 在航空器重量為 Maximum Weight(最大重量)、Nominal Weight(約為最大重量的 75%)、Minimum Weight(最小重量)情況下所計算預測的垂直飛航軌跡與爬升率。另外三條未帶標記的曲線，實線為實際雷達資料統計之垂直飛航軌跡與爬升率之平均值，上下兩條虛線則為平均值加、減標準差後之高低範圍。

對於離場爬升飛航軌跡，本研究採用卡方 X^2 檢定來驗證 BADA 所求得之結果與實際資料之適合性。 X^2 檢定值為該機型的實際飛航軌跡每一高度的飛行距離平均值(觀測值)與 BADA 所求得航機 Nominal Weight 所求算的飛行距離(期望值)之差額，除以 BADA 所求得航機 Nominal Weight 所求算的飛行距離(期望值)之總和。每一機型之觀測值與期望值依高度區分為 20 組，因此自由度 $v=20-1=19$ 。除了一般適合性檢定將 H_0 假設為觀測值與期望值沒有顯著差異，以 $\alpha=0.05$ 來分析 H_0 是否被接受

外，本研究進一步計算卡方 X^2 分配機率值 p ， p 值越趨近於 1 代表 H_0 假設越無法被拒絕，亦即適合性越高，越趨近於 0 代表適合性越低，表 5.4 為其結果。

表 5.4 各機型 BADA 與實際飛航軌跡適合性卡方檢定表

機型	飛航軌跡的卡方 X^2 檢定值	卡方 X^2 分配機率值 p	$\alpha=0.05$ 的 $X^2_{(0.95,19)}$ 臨界值
A306	0.857704	∞ 1	30.14
A321	1.226321	∞ 1	
A330	7.7767	0.98878	
A340	3.164638	0.999983	
B738	34.6708	0.015297	
B744	27.45738	0.094442	
B744(long haul)	3.207878	0.999981	
B744(short range)	4.16308	0.999855	
B757	3.784539	0.999931	
B767	1.983828	∞ 1	
B777	14.84676	0.732286	
MD11	17.98837	0.523215	

由表 5.4 之結果可以發現，除了 B738 機型以外，所有的機型的 X^2 檢定值皆小於 $\alpha=0.05$ 的 $X^2_{(0.05,19)}$ 值 30.14，亦即除了 B738 機型以外，虛無假設 H_0 無法被拒絕，假設為觀測值與期望值沒有顯著差異被接受。

B738 機型的差異在前述 5.5.5 章節已有說明，於此不再贅述。A306、A321、A330、A340、B757、B767 等六種機型的卡方 X^2 分配機率值 p 高達 $p>0.988$ 甚至趨近於 1，可知其實際資料的飛航軌跡與 BADA 求算之飛航軌跡適合性非常高。而 B747、B777、MD11 屬長程飛航航空器，長、短程飛行都會使用，因其載重範圍變異大，由實際資料爬升垂直飛航軌跡圖可以觀察出飛航軌跡分佈範圍很廣，所以其 X^2 檢定值便較大。如果把 B747 型機之資料依航程目的地不同而分為航程 8 小時以上的長程(long haul)及以下的短程(short range)兩類，描繪出平均爬升飛航軌跡、爬升率圖(含標準差)如附錄圖 7.61、7.62，另以航機 Maximum Weight 及 Nominal Weight 所求算的 BADA 飛行距離為期望值，求得 B747 型機長程(long haul)及短程

(short range)的 X^2 檢定值及卡方 X^2 分配機率值 p 如表 5.4，其適合性便非常高。同理如將 B777 及 MD11 機型作長、短程分類，其適合性將會大為提高。

5.6.2 到場下降飛航軌跡

表 5.5 為 A306 型機到場下降飛航軌跡統計分析資料。其餘機型之資料亦以同樣方式統計處理。與爬升飛航軌跡不同的是，因到場航空器實際雷達軌跡受航管介入情形過多(如前述 5.5.3 章節之說明)，與 BADA 依理論計算產生之軌跡差異甚大，故不以檢定驗證來分析。

欄位 A：為高度，以百呎為單位。

欄位 B：實際雷達資統計之每一高度之飛行距離平均值。

欄位 C：實際雷達資統計之每一高度之飛行距離標準差。

欄位 D：實際雷達資統計之每一高度之下降率平均值。

欄位 E：實際雷達資統計之每一高度之下降率標準差。

表 5.5 A306 型機到場下降飛航軌跡統計分析資料

A	B	C	D	E
高度 (百呎)	實際飛行距 離平均值	實際飛行距 離標準差	實際下降 率平均值	實際下降 率標準差
200.00	77.79	6.01	-1,886.79	699.05
190.00	75.05	5.73	-1,771.88	874.98
180.00	71.66	4.87	-1,985.26	451.61
170.00	67.38	4.81	-1,890.00	696.44
160.00	64.68	4.95	-1,892.24	648.77
150.00	61.58	3.76	-1,665.21	688.02
140.00	57.64	4.65	-1,744.11	838.95
130.00	53.67	4.24	-1,580.45	920.38
120.00	50.91	4.75	-1,631.85	583.99
110.00	45.88	4.38	-648.32	627.28
100.00	41.92	5.15	-1,425.33	534.19
90.00	38.25	4.86	-1,340.44	493.66
80.00	34.96	5.00	-1,295.37	446.22
70.00	31.46	4.57	-1,176.83	490.61
60.00	28.27	4.77	-1,143.53	420.79
50.00	24.24	4.88	-800.75	465.54
40.00	17.84	4.08	-200.93	331.55
30.00	10.97	3.79	-829.79	289.62
20.00	8.47	3.54	-490.93	362.53
15.00	4.75	0.30	-634.04	88.80
10.00	3.18	0.27	-630.00	78.71
0.00	0.41	0.16	-629.09	130.28

圖 5.12 及 5.13 分別為將表 5.3 A306 型機爬升飛航軌跡統計分析檢定資料的平均值與標準差描繪於 BADA 所計算該機型的垂直飛航軌跡圖與爬升下降率圖後之結果。

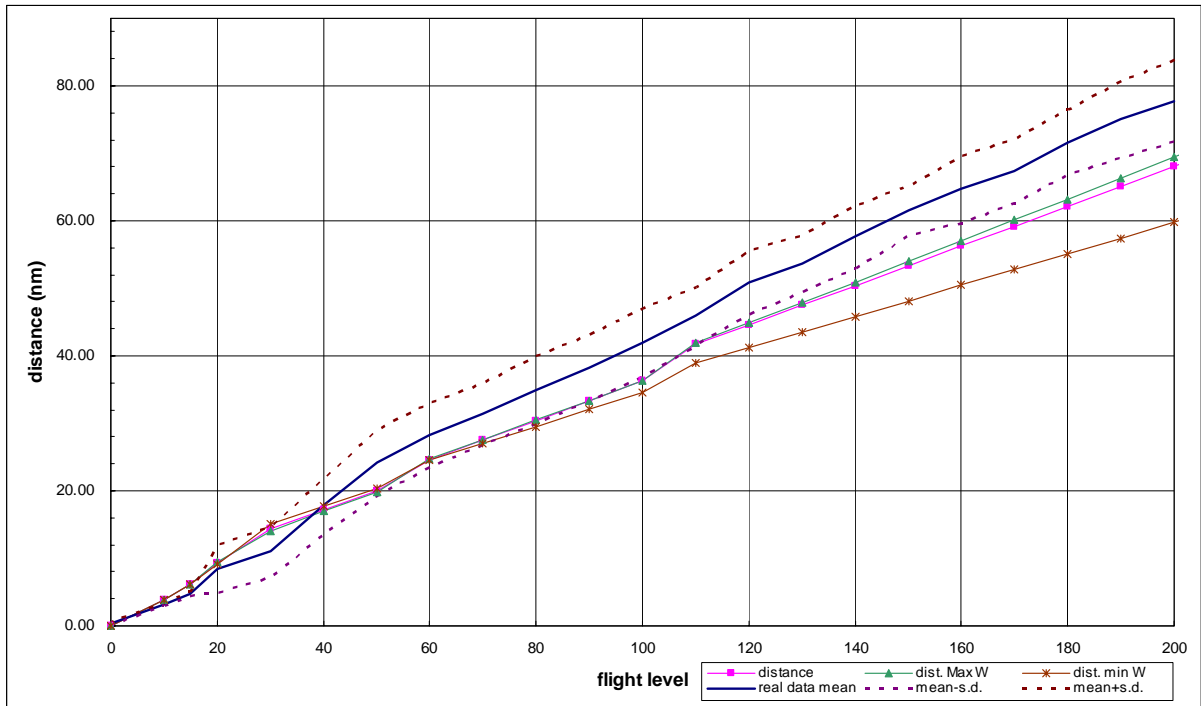


圖 5.12 A306 型機平均下降率圖(含標準差)

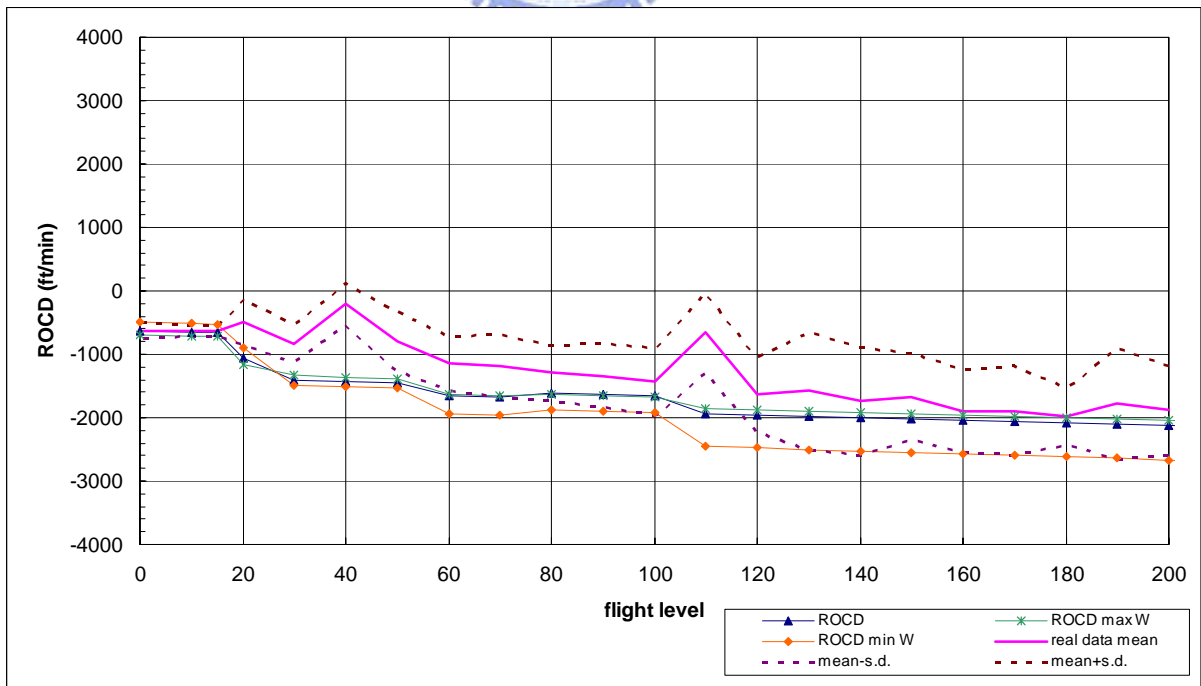


圖 5.13 A306 型機平均下降飛航軌跡圖(含標準差)

同樣地，每個圖中都描繪有三條有標記之曲線各為 BADA 在航空器重量為 Maximum Weight(最大重量)、Nominal Weight(約為最大重量的 75%)、Minimum Weight(最小重量)情況下所計算預測的下降飛航軌跡與下降率。另外三條未帶標記的曲線，實線為實際雷達資料統計之下降飛航軌跡與下降率之平均值，上下兩條虛線則為平均值加、減標準差後之高低範圍。

由於航管對到場下降的航機介入情形甚多，因此實際航機資料分析結果無法同離場爬升一般，採用檢定驗證方式來驗證實際雷達資料分析結果與 BADA 依理論求算結果之適合性。然而，經由實際雷達資料的統計分析結果，發現航管指示到場航機下降之距離不論機型差異，皆頗為一致，情形如表 5.6。航管指示航機離開 FL200 下降至落地之距離約為 70 哩至 90 哩間，平均約 80 哩。這應該是航管就其經驗判斷，在台北終端管制區域內航機到達某些固定位置開始指示其下降高度，對於航管執行飛航管制作業而言最為有利所產生的現象。然而這些都是以經驗判斷得到的結果，實際情形是否真正最為有利？仍有待探討。

表 5.6 各機型自 FL200 下降至落地之飛行距離與標準差

	BADA 求算 FL200 至 落地之飛行距離(哩)	FL200 至落地之飛 行距離平均值(哩)	FL200 至落地之飛 行距離標準差
A306	68.14	77.79	6.01
A321	66.59	75.79	7.37
A330	88.48	82.70	6.36
A340	82.10	82.86	9.99
B738	74.70	76.11	5.63
B744	89.78	76.40	9.44
B757	72.01	75.84	5.81
B767	74.95	83.41	6.76
B777	83.54	77.74	5.68
MD11	74.47	79.40	9.54
平均		78.80	7.26

雖然本研究無法對到場下降航機作適合性驗證，仍建議未來之後續研究仍可採抽樣實際飛航軌跡個案的分析方式，將航管介入某一航機指示保持平飛狀態的高度與時間設為參數，再套用 BADA 方

程式撰寫程式求算飛航軌跡，最後進行結果比對，仍可驗證 BADA 求算實際到場下降飛航軌跡之適合性。

5.7 小結

1. 本章就台北終端航管自動化系統之雷達紀錄資料進行分析，將中正機場離、到場航空器篩選出，依機型及離到場種類加以分類，並將篩選出的資料紀錄進行資料轉換，將轉換結果描繪於圖表上，以與 BADA 求算之垂直飛航軌跡進行比較。
2. 對篩選出之資料紀錄進行統計分析，求得實際中正機場離到場航空器十種主要機型的垂直飛航軌跡與爬升下降率的平均值與標準差之變異範圍。
3. 經由統計驗證，確認除了 B737 機型以外，BADA 所求算離場航空器爬升垂直飛航軌跡符合我國台北終端管制區內國際線離場爬升航空器之垂直飛航軌跡。
4. 經由實際資料及航管作業探討判斷因航管對到場下降的航機介入情形過多，因此無法同離場爬升一般，採用檢定驗證方式來驗證實際雷達資料分析結果與 BADA 依理論求算結果之適合性，並提出未來可能以其它方式進行驗證之方法。