

致 謝

首先，感謝我的指導老師周昆炫教授，在我的碩士班兩年的期間時常關心我的生活近況，並且耐心地教導我學習模式及研究方法，得以順利完成本文。在這兩年的研究生涯裡，不只是在老師身邊學到科學知能，更重要的是對於科學研究的嚴謹及處事態度。感謝口試委員吳俊傑教授及楊明仁教授給予我的論文指正與評閱，使得本文更臻完善。

這段研究生涯的路上，要感謝洪致文教授的牽線，才能與周老師結下師生緣，讓我在我所熱愛的颱風議題中進行研究。感謝劉廣英院長、曾鴻陽主任、劉清煌教授、游政谷教授、涂建翊教授、王嘉琪教授及余嘉裕教授在學業上的教導及對於研究上的建議。感謝許惠雯助教平日的幫忙及提醒，得以讓許多事順利進行。

感謝颱風實驗室的夥伴：佳佩學姐、正祥學長、正裕學長、書正及品翔，謝謝你們的陪伴及鼓勵。感謝口試前一天陪我練習的學長、姐及同學：正裕學長、正祥學長、凌文學長、哲佑學長、瑩薰學姐、曉薇學姐及立朋，對我的口試助益良多。感謝佳臻、智鈞、佩雯、滢、亦堅、昱荃、芮伶、譯鋒、明甫、世豪、玉秀學姐、松哲學長、嘉倫學長、紹欽學長、菁華學姐、子億學長、信志學長、俞綸學長、維鈞學長、品竣學長、振璋學長；華岡測候站的英婷學姐、育璋、丞衡、昌鴻、柏翰以及許多未提及而曾經陪伴我走過氣象這條路上的好友們。

感恩我的父母及孿生弟弟，一直以來支持我對於氣象的熱忱，並給予我衣食無缺的環境，讓我可以順利進行研究，謹將本文與所有榮譽獻給我的家人。

要感謝與感恩的人太多了，那就感謝老天爺讓我遇上了1996年的賀伯颱風，引發了我對颱風眼內無風、無雨的好奇，讓我與氣象結下了許多的因緣。

摘要

臺灣地處西北太平洋海域最易受颱風襲擊的區域之一，每年因颱風造成的經濟財產損失相當龐大。如欲減少災害損失，首重颱風預報之準確度，尤以路徑預報為重。有較佳的路徑預報，對於颱風來襲時所帶來之強降水預測必有所幫助。系集預報提供了一個相當良好的預報方法，如 Fovell et al. (2007) 所提出的研究指出，改變積雲參數法及微物理參數法所組合成不同降水物理過程進行系集預報，針對 2005 年侵襲美國南部的 Rita 颶風模擬，可以得到路徑的分布 (spread)，並提供颶風未來可能侵襲區域的預報依據，與美國國家颶風中心發布之多種模式 (multi-model) 預報結果相同。延續前述研究概念，本研究針對 2008 侵襲臺灣的辛樂克與薔蜜颱風進行模擬，以期可以提供較佳的路徑預報。

本研究使用 WRF 模式 3.0.1 版模擬，選用了 Kain-Fritsch、Betts-Miller-Janjic、Grell-Devenyi 和 New Grell 等 4 種積雲參數法及 Kessler、LFO、WSM3 和 WSM6 等 4 種微物理參數法組合成 16 種不同降水物理過程產生系集預報結果，以 JTWC 最佳颱風路徑做為比較依據，並與世界主要全球預報模式 NCEP、JMA、UK 和 EC 等比較優劣，再使用統計方法找到最佳參數法組合。

研究結果發現：第一、使用不同降水物理過程所得到之系集預報結果，可以獲得路徑的分布，提供颱風未來移動行進方向之預報；第二、根據統計結果發現，當積雲參數法選擇 Kain-Fritsch 參數法及微物理法選擇 WSM3 參數法時可以獲得最小平均路徑誤差，因此可以提供為最佳參數法之組合；第三、當積雲參數法固定在 Kain-Fritsch 時的四組參數法組合，可以產生最佳系集預報。

另外，由於實驗中颱風模擬強度不足，因此使用渦旋植入法加強颱風初始強度，以期得到較佳的預報結果。實驗結果發現：第一、渦旋植入後可以使得路徑分布縮小，並對於預報後期的結果可有效改善；第二、根據統計結果所選出四組新的參數法組合所產生之系集預報，雖可提供較佳預報結果，但無法明顯增進未

使用渦旋植入法時積雲參數法固定在 Kain-Fritsch 的四組參數法組合所產生之系
集預報；第三、統計結果發現，使用渦旋植入法後，當選用 Grell-Devenyi 積雲
參數法及 WSM3 微物理參數法時可以得到最小平均路徑誤差，並且優於未進行
渦旋植入前 Kain-Fritsch 積雲參數法及 WSM3 微物理參數法之組合，因此可以作
為渦旋植入後最佳之物理參數組合。



目 錄

致 謝.....	I
摘 要.....	II
目 錄.....	IV
圖表說明.....	VI
第一章 前言.....	1
1.1 研究目的.....	1
1.2 文獻回顧.....	1
1.3 研究動機.....	4
1.4 論文架構.....	4
第二章 研究個案介紹.....	5
2.1 辛樂克颱風(2008)綜觀介紹.....	5
2.2 蕃蜜颱風(2008)綜觀介紹.....	6
第三章 資料來源與實驗設計.....	8
3.1 資料來源.....	8
3.2 WRF 模式簡介.....	8
3.3 實驗設計.....	9
3.3.1 巢狀網格設計.....	9
3.3.2 物理參數組合設計.....	10
3.3.3 渦旋植入法設計.....	10
第四章 實驗結果與統計分析.....	12
4.1 路徑系集預報分析.....	12
4.1.1 辛樂克颱風實驗分析.....	12
4.1.2 蕃蜜颱風實驗分析.....	13
4.2 綜合統計分析.....	14

4.2.1	最佳參數法組合.....	14
4.2.2	最佳系集預報組合.....	14
4.2.3	T-test 統計檢定.....	16
4.3	不同降水物理過程參數法對強度與路徑之探討.....	17
4.4	小結	20
第五章	渦旋植入法實驗結果與統計分析.....	21
5.1	渦旋植入後路徑系集預報分析.....	21
5.2	綜合統計分析.....	22
5.2.1	最佳參數法組合.....	22
5.2.2	最佳系集預報組合.....	22
5.2.3	T-test 統計檢定.....	23
5.2.4	平均路徑誤差之標準差檢視.....	25
5.3	小結.....	25
第六章	總結與展望.....	27
參考文獻	30



圖表說明

表 3.1	由積雲參數法(CPs)與微物理參數法(MPs)組成之 16 種降水物理過程參數組合。.....	35
表 4.1	辛樂克及蕃蜜颱風在第 24、48、72 及 96 小時出現最小誤差次數及相對百分比表。.....	35
表 5.1	渦旋植入前、後颱風中心海平面氣壓表。.....	36
表 5.2	渦旋植入前、後各降水物理參數法第 24、48 及 72 小時平均路徑誤差表。.....	37
表 5.3	辛樂克及蕃蜜颱風渦旋植入後合計在第 24、48、72 及 96 小時出現最小誤差次數及相對百分比表。.....	38
圖 2.1	辛樂克颱風路徑圖。圖中日期標示點為該日 0000 UTC，每六小時一筆資料。圖片摘錄自中央氣象局。.....	39
圖 2.2	蕃蜜颱風路徑圖。圖中日期標示點為該日 0000 UTC，每六小時一筆資料。圖片摘錄自中央氣象局。.....	39
圖 3.1	辛樂克颱風巢狀網格點設計示意圖。外層粗網格(D01)水平解析度 45 公里，內層細網格(D02)水平解析度 15 公里。.....	40
圖 3.2	蕃蜜颱風巢狀網格點設計示意圖。外層粗網格(D01)水平解析度 45 公里，內層細網格(D02)水平解析度 15 公里。.....	40
圖 4.1	(a)2008 年 9 月 9 日 0000 UTC 辛樂克颱風 16 組不同降水物理過程參數組合系集預報結果，紅色颱風符號者為 JTWC 之最佳路徑。(b)同時間中央氣象局發布之颱風路徑潛勢預報圖(摘錄自中央氣象局)。.....	41
圖 4.2	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 9 日 1200 UTC。.....	41
圖 4.3	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 10 日 0000 UTC。.....	42
圖 4.4	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 10 日 1200 UTC。.....	42
圖 4.5	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 11 日 0000 UTC。.....	43
圖 4.6	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 11 日 1200 UTC。.....	43
圖 4.7	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 12 日 0000 UTC。.....	44
圖 4.8	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 12 日 1200 UTC。.....	44
圖 4.9	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 13 日 0000 UTC。.....	45
圖 4.10	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 13 日 1200 UTC。.....	45
圖 4.11	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 14 日 0000 UTC。.....	46

圖 4.12	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 14 日 1200 UTC。	46
圖 4.13	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 15 日 0000 UTC。	47
圖 4.14	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 15 日 1200 UTC。	47
圖 4.15	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 16 日 0000 UTC。	48
圖 4.16	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 16 日 1200 UTC。	48
圖 4.17	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 17 日 0000 UTC。	49
圖 4.18	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 17 日 1200 UTC。	49
圖 4.19	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 18 日 0000 UTC。	50
圖 4.20	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 18 日 1200 UTC。	50
圖 4.21	同圖 4.1，但時間為 2008 年 9 月 19 日 0000 UTC。	51
圖 4.22	(a)2008 年 9 月 24 日 1200 UTC 薔蜜颱風 16 組不同降水物理過程參數組合系集預報結果，紅色颱風符號者為 JTWC 之最佳路徑。(b)同時間中央氣象局發布之颱風路徑潛勢預報圖(摘錄自中央氣象局)。	51
圖 4.23	同圖 4.22，但時間為 2008 年 9 月 25 日 0000 UTC。	52
圖 4.24	同圖 4.22，但時間為 2008 年 9 月 25 日 1200 UTC。	52
圖 4.25	同圖 4.22，但時間為 2008 年 9 月 26 日 0000 UTC。	53
圖 4.26	同圖 4.22，但時間為 2008 年 9 月 26 日 1200 UTC。	53
圖 4.27	同圖 4.22，但時間為 2008 年 9 月 27 日 0000 UTC。	54
圖 4.28	同圖 4.22，但時間為 2008 年 9 月 27 日 1200 UTC。	54
圖 4.29	同圖 4.22，但時間為 2008 年 9 月 28 日 0000 UTC。	55
圖 4.30	同圖 4.22，但時間為 2008 年 9 月 28 日 1200 UTC。	55
圖 4.31	(a)~(u)為辛樂克颱風 2008 年 9 月 9 日 0000 UTC 起每 12 小時預報結果，至 9 月 19 日 0000 UTC 止，計 21 組實驗。圖中為各系集平均路徑(ensm04、ensm08 及 ensm16)、全球預報模式(JMA、UK、EC 及 NCEP)及全球預報模式平均(JUNE)之預報結果。	56
圖 4.32	同圖 4.31，(a)~(i)為薔蜜颱風 2008 年 9 月 24 日 1200 UTC 起每 12 小時預報結果，至 9 月 28 日 1200 UTC 止，計 9 組實驗。	60
圖 4.33	辛樂克颱風各全球預報模式、JUNE 及各平均系集路徑誤差直方圖。	62
圖 4.34	薔蜜颱風各全球預報模式、JUNE 及各平均系集路徑誤差直方圖。	62
圖 4.35	辛樂克及薔蜜颱風綜合統計各全球預報模式、JUNE 及各平均系集路徑誤差直方圖。	63

圖 4.36	JMA 與 ensm04 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.411、0.293 及 0.387。	63
圖 4.37	UK 與 ensm04 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.089、0.059 及 0.324。	64
圖 4.38	NCEP 與 ensm04 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.406、0.116 及 0.058。	64
圖 4.39	EC 與 ensm04 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.413、0.497 及 0.370。	65
圖 4.40	JUNE 與 ensm04 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.003、0.003 及 0.042。	65
圖 4.41	(a)~(d)為辛樂克颱風 9 月 9 日 0000 UTC 固定積雲參數法後，改變微物理參數法之颱風中心氣壓隨時間變化。	66
圖 4.42	同圖 4.41，但為路徑圖。	66
圖 4.43	(a)~(d)為辛樂克颱風 9 月 9 日 1200 UTC 固定積雲參數法後，改變微物理參數法之颱風中心氣壓隨時間變化。	67
圖 4.44	同圖 4.43，但為路徑圖。	67
圖 4.45	(a)~(d)為蕃蜜颱風 9 月 24 日 1200 UTC 固定積雲參數法後，改變微物理參數法之颱風中心氣壓隨時間變化。	68
圖 4.46	同圖 4.45，但為路徑圖。	68
圖 4.47	(a)~(d)為蕃蜜颱風 9 月 25 日 0000 UTC 固定積雲參數法後，改變微物理參數法之颱風中心氣壓隨時間變化。	69
圖 4.48	同圖 4.47，但為路徑圖。	69
圖 4.49	(a)~(d)為辛樂克颱風 9 月 9 日 0000 UTC 固定積雲參數法後，改變微物理參數法之切向風隨時間變化。	70
圖 4.50	同圖 4.49，但時間為 9 月 9 日 1200 UTC。	70
圖 4.51	(a)~(d)為蕃蜜颱風 9 月 24 日 1200 UTC 固定積雲參數法後，改變微物理參數法之切向風隨時間變化。	71
圖 4.52	同圖 4.51，但時間為 9 月 25 日 0000 UTC。	71
圖 4.53	(a)為辛樂克颱風 9 月 9 日 0000 UTC 海平面氣壓分布(單位：hPa)；(b)為 run13 組合模擬第 72 小時預報結果；(c)為 run51 組合模擬第 72 小時預報結果。(d)~(f)同(a)~(c)，但時間為 9 月 9 日 1200 UTC。	72

圖 4.54	(a)為薔蜜颱風 9 月 24 日 1200 UTC 海平面氣壓分布(單位：hPa)；(b)為 run13 組合模擬第 72 小時預報結果；(c)為 run51 組合模擬第 72 小時預報結果。(d)~(f)同(a)~(c)，但時間為 9 月 25 日 0000 UTC。.....	73
圖 5.1	(a)~(f)為辛樂克颱風渦旋植入前海平面氣壓分布。預報時間為 2008 年 9 月 9 日 0000 UTC~9 月 11 日 1200 UTC 止，每 12 小時一次預報。.....	74
圖 5.2	(a)~(f)同圖 5.1，但為渦旋植入後海平面氣壓分布。.....	75
圖 5.3	(a)~(f)薔蜜颱風渦旋植入前海平面氣壓分布。預報時間為 2008 年 9 月 24 日 1200 UTC~9 月 27 日 0000 UTC 止，每 12 小時一次預報。.....	76
圖 5.4	(a)~(f)同圖 5.3，但為渦旋植入後海平面氣壓分布。.....	77
圖 5.5	(a)~(f)分別為渦旋植入後辛樂克颱風 16 組不同降水物理過程參數組合系集預報結果，紅色颱風符號者為 JTWC 之最佳路徑。預報時間自 2008 年 9 月 9 日 0000 UTC~9 月 11 日 1200 UTC 止，每 12 小時一次預報。.....	78
圖 5.6	(a)~(f)分為渦旋植入後薔蜜颱風 16 組不同降水物理過程參數組合系集預報結果，紅色颱風符號者為 JTWC 之最佳路徑。預報時間自 2008 年 9 月 24 日 1200 UTC~9 月 27 日 0000 UTC 止，每 12 小時一次預報。.....	79
圖 5.7	(a)~(f)為渦旋植入後辛樂克颱風 2008 年 9 月 9 日 0000 UTC 起，至 9 月 11 日 1200 UTC 止，每 12 小時一次預報。圖中為 new04b、全球預報模式(JMA、UK、EC 及 NCEP)及全球預報模式平均(JUNE)之預報結果。.....	80
圖 5.8	(a)~(f)為渦旋植入後薔蜜颱風 2008 年 9 月 24 日 1200 UTC 起，至 9 月 27 日 0000 UTC 止，每 12 小時一次預報。圖中為 new04b、全球預報模式(JMA、UK、EC 及 NCEP)及全球預報模式平均(JUNE)之預報結果。.....	81
圖 5.9	辛樂克及薔蜜颱風渦旋植入後綜合統計各全球預報模式、JUNE、ensm04 及 new04b 平均路徑誤差直方圖。.....	82
圖 5.10	JMA 與 new04b 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.437、0.080 及 0.231。.....	82
圖 5.11	UK 與 new04b 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分	

	別為 0.227、0.096 及 0.022。	83
圖 5.12	NCEP 與 new04b 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.406、0.431 及 0.105。	83
圖 5.13	EC 與 new04b 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.291、0.463 及 0.496。	84
圖 5.14	JUNE 與 new04b 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.102、0.025 及 0.331。	84
圖 5.15	ensm04 與 new04b 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.179、0.228 及 0.400。	85
圖 5.16	run13 與 run33b 平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.414、0.272 及 0.332。	85
圖 5.17	渦旋植入前、後平均誤差直方圖，T-test 檢定在 24、48 及 72 小時 P 值分別為 0.469、0.456 及 0.128。	86
圖 5.18	渦旋植入前、後第 24、48 及 72 小時平均路徑誤差之標準差。	86

