

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

BÙI HOÀNG HẢI

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN VÀ ỨNG DỤNG
SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY BA CHIỀU
CHO MỤC ĐÍCH DỰ BÁO CHUYỂN ĐỘNG BÃO
Ở VIỆT NAM

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHÍ TƯỢNG HỌC

Hà Nội - 2008

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

BÙI HOÀNG HẢI

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN VÀ ỨNG DỤNG
SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY BA CHIỀU
CHO MỤC ĐÍCH DỰ BÁO CHUYỂN ĐỘNG BÃO
Ở VIỆT NAM

Chuyên ngành: Khí tượng học

Mã số: 62 44 87 01

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHÍ TƯỢNG HỌC

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- 1 PGS. TS. Phan Văn Tân**
- 2 PGS. TS. Nguyễn Đăng Quế**

Hà Nội - 2008

Lời cam đoan

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất cứ công trình nào khác.

Tác giả

Bùi Hoàng Hải

Lời cảm ơn

Trước hết, tôi xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc nhất đến PGS. TS. Phan Văn Tân và PGS. TS. Nguyễn Đăng Quế, là những người thầy đã tận tình chỉ bảo, định hướng khoa học và tạo mọi điều kiện tốt nhất cho tôi trong suốt thời gian thực hiện luận án. Lời cảm ơn này cũng được gửi đến GS. Roger K. Smith, Đại học Tổng hợp Munich, người đã giúp đỡ tận tình trong thời gian tôi thực tập ở Munich và cũng như đã cung cấp các tài liệu và ý tưởng cho luận án này.

Trong quá trình xây dựng sơ đồ ban đầu hóa xoáy cho luận án, tôi đã nhận được sự trợ giúp về tài liệu và một số thư viện chương trình từ TS. Harry C. Weber, Đại học Tổng hợp Munich, tôi xin cảm ơn những giúp đỡ nhiệt tình của ông.

Tôi xin chân thành cảm ơn TSKH. Kiều Thị Xin, GS. TS. Trần Tân Tiến và những thầy cô trong khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học đã cung cấp cho tôi những kiến thức chuyên môn quý báu, những lời khuyên chân hữu ích và hơn hết là niềm say mê nghiên cứu khoa học.

Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến Khoa Khí tượng Thủy Văn và Hải dương học, Phòng Sau Đại học trường Đại học Khoa học tự nhiên vì đã tạo điều kiện giúp đỡ và tổ chức những hoạt động học tập và nghiên cứu một cách tận tình.

Luận án này không thể thực hiện được nếu thiếu nguồn giúp đỡ và động viên vô cùng to lớn từ gia đình tôi, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu nặng đến những người thân yêu trong gia đình, đặc biệt là mẹ tôi.

Cuối cùng, đối với bạn bè, đồng nghiệp của tôi ở Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học và Trung Tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung Ương và những nơi khác, tôi xin gửi lòng biết ơn chân thành vì những góp ý hữu ích trong chuyên môn và những chia sẻ trong cuộc sống.

Mục lục

Lời cam đoan.....	i
Lời cảm ơn	ii
Mục lục.....	iii
Danh mục hình ảnh	v
Danh mục bảng biểu.....	ix
Danh mục các ký hiệu viết tắt.....	x
MỞ ĐẦU.....	1
Tính cấp thiết của đề tài.....	1
Mục đích của luận án.....	4
Những đóng góp mới của luận án	4
Ý nghĩa khoa học và thực tiễn.....	4
Tóm tắt cấu trúc luận án	5
CHƯƠNG 1 : TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ BÃO VÀ BAN ĐẦU HÓA XOÁY BÃO	6
1.1 Những nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng về chuyển động của bão.....	7
1.2 Những nghiên cứu ban đầu hóa xoáy trong các mô hình dự báo chuyển động của bão	12
1.2.1 Các phương pháp xây dựng xoáy nhân tạo	14
1.2.2 Các phương pháp phân tích xoáy	24
1.2.3 Các phương pháp kết hợp xoáy nhân tạo với trường môi trường	29
1.3 Những nghiên cứu trong nước về dự báo quỹ đạo bão bằng mô hình số.....	32
CHƯƠNG 2 : NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY BA CHIỀU	36
2.1 Phương pháp phân tích xoáy ba chiều	36
2.1.1 Xác định trường qui mô lớn.....	38
2.1.2 Xác định vị trí tâm xoáy phân tích	40
2.1.3 Phân tích phương vị	41
2.2 Phương pháp xây dựng xoáy ba chiều cân bằng	43
2.3 Khảo sát sơ đồ xây dựng xoáy cân bằng	47
2.3.1 Tổng quan về mô hình WRF	47
2.3.2 Cấu hình thí nghiệm	56
2.3.3 Một số kết quả.....	58
2.4 Một số nhận xét	67

CHƯƠNG 3 : ÁP DỤNG SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY BA CHIỀU DỰ BẢO QUĨ ĐẠO BẢO	69
3.1 Sơ lược về mô hình HRM.....	70
3.1.1 Hệ phương trình cơ bản.....	70
3.1.2 Lưới ngang	73
3.1.3 Lưới thẳng đứng.....	73
3.1.4 Tham số hóa vật lý	75
3.2 Ban đầu hóa xoáy ba chiều cho HRM_TC	76
3.3 Xác định các tham số khả dụng	79
3.3.1 Số liệu và miền tính	79
3.3.2 Các chỉ tiêu đánh giá	80
3.3.3 Bán kính gió cực đại	83
3.3.4 Bán kính gió 15m/s	93
3.3.5 Hàm trọng số theo phương thẳng đứng.....	102
3.3.6 Kết hợp phân bố gió tiếp tuyến phân tích với phân bố gió tiếp tuyến giả ...	110
3.4 Nhận xét chung.....	114
CHƯƠNG 4 : THỬ NGHIỆM SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY MỚI.....	117
4.1 Thiết kế thí nghiệm.....	117
4.1.1 Cấu hình thí nghiệm	117
4.1.2 Các trường hợp bão dự báo	118
4.1.3 Số liệu và miền tính	119
4.1.4 Các chỉ tiêu đánh giá	119
4.2 Kết quả dự báo thử nghiệm	120
4.2.1 Khảo sát một số trường hợp	120
4.2.2 Đánh giá chung	126
4.3 Tóm tắt.....	129
KẾT LUẬN.....	131
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN	134
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	135
PHỤ LỤC.....	142

Danh mục hình ảnh

Hình 1.2.1: Sơ đồ mô tả bài toán ban đầu hóa xoáy bão	13
Hình 1.2.2: Phân bố gió tiếp tuyến ứng với $V_m=30\text{m/s}$, $r_m=60\text{km}$ ứng với A) profile rankine (1.2.14); B) profile (1.2.16) với tham số $a=10-6$ và $b=6$; C) profile (1.2.17) với $b=0.63$; Profile (1.2.18) với $b=0.63$, $r_a=600\text{km}$ và $V_a=6\text{m/s}$	22
Hình 1.2.3: Phân bố của gió tiếp tuyến theo áp suất tại các bán kính $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$ vĩ theo số liệu thám sát tổng hợp của các cơn bão ở Đại Tây Dương (A) và Thái Bình Dương (B). (Theo Gray, 1981)[44]	23
Hình 1.2.4: Sơ đồ phân tích xoáy trong mô hình bão MMM của GFDL (nguồn: Kurihara và nnk, 1993 [52]). Trường phân tích qui mô lớn (Large scale analysis) được tách ra thành trường nền (Basic field) và trường nhiễu động (Disturbance field). Trường nhiễu động được tách thành trường xoáy phân tích (Analyzed vortex) và trường nhiễu phi xoáy (Non-hurricane field). Trường môi trường (Environmental field) nhận được bằng cách cộng trường nền và trường nhiễu phi xoáy.....	26
Hình 2.1.1: Minh họa các miền phân tích trong sơ đồ phân tích xoáy bão.	39
Hình 2.1.2: Sơ đồ miền phân tích phương vị và sự phân tích vector gió \vec{V} thành các thành phần gió bán kính u và tiếp tuyến v hoặc gió kinh hướng U và vĩ hướng V	41
Hình 2.2.1: Sơ đồ xác định mật độ của xoáy cân bằng trong hệ tọa độ (r, z) . Điểm nút lưới đang xét (P), giả sử phân bố mật độ môi trường theo độ cao (tại $r=R$) đã biết...	45
Hình 2.3.1: Tọa độ thẳng đứng η của ARW.....	48
Hình 2.3.2: Mặt cắt thẳng đứng theo trục x qua tâm xoáy của gió tiếp tuyến: Trường gió tại thời điểm ban đầu (A); và sau 24h tích phân cho TH1 (B); TH2 (C); và TH3 (D).....	59
Hình 2.3.3: Như Hình 2.3.2 nhưng vẽ cho trường áp.	62
Hình 2.3.4: Như Hình 2.3.2 nhưng vẽ cho trường nhiệt.....	63
Hình 2.3.5: Ban đầu hóa ẩm cho TH3: Độ ẩm riêng (A); Độ ẩm tương đối (B).....	63
Hình 2.3.6: Giá trị sau 24 giờ tích phân của TH3: Độ ẩm riêng (A); Độ ẩm tương đối (B); Lượng nước riêng trong mây (C); và tốc độ thẳng đứng (D).	64
Hình 2.3.7: Đường dòng tại mực 1 (mực hội tụ) tại thời điểm ban đầu (A) và sau 24h tích phân(B).	65
Hình 2.3.8: Như Hình 2.3.8 nhưng vẽ cho mực 11 (mực phân kì).....	65
Hình 2.3.9: Biến đổi theo thời gian của khí áp tại tâm cho các trường hợp.	66
Hình 2.3.10: Trường áp mực biển qua tâm xoáy và đường dòng tại thời điểm ban đầu (A, B), và đường dòng sau 24h tích phân (C).....	66

Hình 3.1.1 Sơ đồ lưới xen Arakawa C sử dụng trong mô hình HRM	73
Hình 3.2.1: Sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong mô hình HRM_TC	76
Hình 3.3.1: Phân bố gió tiếp tuyến tại mực 850hPa (trái) và phân bố trường áp suất mực biển đối xứng (phải) theo bán kính đối với trường hợp bão Imbudo lúc 12Z ngày 22/7/2003. “Analysis” là phân bố xác gió tiếp tuyến phân tích, RM1, RM2, RM3 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại tương ứng là 60km, 90km,120km.	84
Hình 3.3.2: Phân bố gió tiếp tuyến trong hệ tọa độ bán kính/áp suất đối với cơn bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003. “Analysis” là phân bố gió xác định từ kết quả phân tích xoáy từ trường GME;	85
Hình 3.3.3: Trường tốc độ gió (tô bóng) và đường dòng của phương án không ban đầu hóa xoáy bão (control) và các phương án ban đầu hóa xoáy bão với bán kính gió cực đại khác nhau của trường hợp bão Imbudo 12Z ngày 22/7/2003.	86
Hình 3.3.4: Trường áp suất mực biển của phương án không ban đầu hóa xoáy bão và các phương án ban đầu hóa xoáy bão với bán kính gió cực đại khác nhau của trường hợp bão Imbudo 12Z ngày 22/7/2003. Các đường đẳng áp cách nhau 5 hPa.	87
Hình 3.3.5: Phân bố gió tiếp tuyến tại mực 850 hPa (trái) và phân bố trường áp suất mực biển đối xứng (phải) theo bán kính đối với trường hợp bão Chanchu thời điểm 00Z ngày 14/5/2006. “Analysis” là phân bố xác định từ kết quả phân tích xoáy từ trường GME; RM1, RM2, RM3 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại tương ứng là 60km, 90km,120km.	88
Hình 3.3.6: Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính/áp suất đối với cơn bão Chanchu thời điểm 00Z ngày 14/5/2006. “Analysis” là phân bố gió xác định từ kết quả phân tích xoáy từ trường GME; RM1, RM2, RM3 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại tương ứng là 60km, 90km,120km.	89
Hình 3.3.7: A) Sai số vị trí trung bình ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại khác nhau và phương án đối chứng không ban đầu hóa xoáy; B) Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy so với phương án đối chứng.	92
Hình 3.3.8: Độ lệch chuẩn trung bình SDA của các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại khác nhau.	93
Hình 3.3.9: Phân bố gió tiếp tuyến tại mực 850hPa (trái) và phân bố trường áp suất mực biển đối xứng (phải) theo bán kính đối với trường hợp bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003. “Analysis” là phân bố xác định từ kết quả phân tích xoáy từ trường GME, S1, S2, S3, S4 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s tương ứng là 200km, 250km, 300km, 400km.	95
Hình 3.3.10: Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy bão ứng với bán kính gió 15m/s khác nhau của bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003. S1, S2, S3, S4 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s tương ứng là 200km, 250km, 300km, 400km.	95
Hình 3.3.11: Trường gió 10m của ban đầu của 4 phương án ban đầu hóa xoáy bão ứng với các bán kính gió 15m/s khác nhau của bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003.	96

Hình 3.3.12: Trường áp suất mực biển ban đầu của 4 phương án ban đầu hóa xoáy bão ứng với các bán kính gió 15m/s khác nhau của bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003.	97
Hình 3.3.13: Độ lệch chuẩn trung bình (SDA) của các thí nghiệm thay đổi bán kính gió cực đại (RM) so với thí nghiệm thay đổi bán kính gió 15m/s (S).	98
Hình 3.3.14: Quỹ đạo dự báo (trái) bão Conson (12Z 5/6/2004) và sai số vị trí (phải) ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau.	99
Hình 3.3.15: Quỹ đạo dự báo (trái) bão Kaitak (00Z 13/10/2005) và sai số vị trí (phải) ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau, sai số vị trí tại 42h không có do thiếu số liệu quan trắc.	99
Hình 3.3.16: A) Sai số vị trí trung bình ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau và phương án đối chứng; B) Kỹ năng của các phương án.	102
Hình 3.3.17: Hàm trọng số thẳng đứng theo áp suất của gió tiếp tuyến của các phương án ban đầu hóa xoáy khác nhau đối với trường hợp bão Chanchu 00Z 14/5/2006	105
Hình 3.3.18: Phân bố của gió tiếp tuyến theo bán kính và áp suất ứng với các hàm trọng số thẳng đứng khác nhau của trường hợp bão Chanchu 00Z 14/5/2006.	105
Hình 3.3.19: Phân bố của trường khí áp mực biển bán kính ứng với các phương án ban đầu hóa với hàm trọng số thẳng đứng khác nhau của trường hợp bão Chanchu 00Z 14/5/2006.	106
Hình 3.3.20: Quỹ đạo dự báo (trái) bão Kaitak (00Z 13/10/2005) và sai số vị trí (phải) ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy bão sử dụng các hàm trọng số thẳng đứng khác nhau (sai số vị trí tại 42h bị thiếu do không số liệu vị trí tâm xoáy trong tập số liệu chỉ thị bão).	107
Hình 3.3.21: A) Sai số vị trí trung bình ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy W1 đến W4 và phương án đối chứng control; B) Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy W1 đến W2 (so với control).	109
Hình 3.3.22: Độ lệch chuẩn trung bình của sai số (SDA) của các phương án ban đầu hóa xoáy thay đổi bán kính gió cực đại (RM), thay đổi bán kính gió 15m/s (S) và các phương án thay đổi hàm trọng số thẳng đứng (W).	109
Hình 3.3.23: Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính của trường xoáy phân tích (control), phương án ban đầu hóa xoáy không kết hợp với trường phân tích (M1) và có kết hợp với trường phân tích (M2)	111
Hình 3.3.24: Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính-áp suất của của phương án ban đầu hóa xoáy không kết hợp xoáy phân tích (M1) và có kết hợp xoáy phân tích (M2)..	112
Hình 3.3.25: Phân bố của trường khí áp mực biển theo bán kính của phương án ban đầu hóa xoáy không kết hợp xoáy phân tích (M1) và có kết hợp xoáy phân tích (M2) và trường khí áp đối xứng phân tích (analysis).	112
Hình 3.3.26: A) Sai số vị trí trung bình ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy có và không kết hợp xoáy phân tích và phương án đối chứng.	114
Hình 4.1.1: Miền dự báo của mô hình HRM được sử dụng trong luận án.	119

Hình 4.1.2: Sơ đồ sai số ATE, CTE và PE	120
Hình 4.2.1: Ảnh vệ tinh bão Chanthu lúc sắp đổ bộ vào bờ biển Trung Bộ, thời điểm 00Z 12/6/2004. (Nguồn visibleearth.nasa.gov).....	121
Hình 4.2.2: Trường áp suất mực biển của trên trường phân tích GME (trái) và trường đã ban đầu hóa xoáy (phải) đối với trường hợp bão Chanthu 00Z ngày 11/6/2004.....	122
Hình 4.2.3: Quỹ đạo dự báo của hai phương án: ban đầu hóa xoáy (b) và không cài xoáy (n) so với quỹ đạo quan trắc (s) đối với trường hợp bão Chanthu 00Z ngày 11/6/2004	123
Hình 4.2.4: Các thời điểm dự báo cơn bão Koni 2003.	125
Hình 4.2.5: Trường độ cao địa thế vị của trường phân tích GME ứng với trường hợp bão Koni 00Z ngày 20/7/2003. Chú ý một cơn bão rất mạnh mới tiến vào miền dự báo là cơn bão Imbudo. Mũi tên màu đen chỉ hướng di chuyển của tâm bão Koni.	126
Hình 4.2.6: Sai số vị trí trung bình (A), sai số CT trung bình (B) và sai số AT trung bình (C) của các trường hợp dự báo thử nghiệm.	128
Hình 4.2.7: Kỹ năng của phương án bogus so với phương án nobogus ứng với sai số vị trí (PE), sai số CT (CTE) và sai số AT(ATE)	129

Danh mục bảng biểu

Bảng 1.3.1: Sai số vị trí của một số mô hình trong nước và trên thế giới mùa bão 2005 (trích từ Nguyễn Thị Minh Phương, 2007 [10]).....	33
Bảng 3.1.1 Các hằng số tọa độ lai của mô hình HRM sử dụng trong luận án.....	74
Bảng 3.3.1: Các trường hợp bão được khảo sát.....	79
Bảng 3.3.2: Các thí nghiệm khảo sát sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong HRM_TC.....	80
Bảng 3.3.3: Các phương án ban đầu hóa với bán kính gió cực đại khác nhau.	83
Bảng 3.3.4: Sai số vị trí trung bình MPE và MPEA cho các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại khác nhau (00* thể hiện sai số vị trí ở thời điểm ban đầu)	91
Bảng 3.3.5: Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại khác nhau so với phương án không ban đầu hóa xoáy.....	91
Bảng 3.3.6 Các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15 m/s khác nhau.	94
Bảng 3.3.7 : Sai số vị trí trung bình cho các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau	101
Bảng 3.3.8: Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau so với phương án không ban đầu hóa xoáy.....	101
Bảng 3.3.9 : Sai số vị trí trung bình của các phương án ban đầu hóa xoáy với hàm trọng số thẳng đứng khác nhau và phương án không ban đầu hóa xoáy.	108
Bảng 3.3.10: Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy với hàm trọng số thẳng đứng khác nhau so với phương án không ban đầu hóa xoáy.	108
Bảng 3.3.11: Sai số trung bình tổng thể và kỹ năng trung bình của các phương án ban đầu hóa có và không kết hợp xoáy phân tích.	113
Bảng 4.1.1: Các trường hợp bão dự báo thử nghiệm.....	118
Bảng 4.2.1: Sai số dự báo của hai phương án đối với trường hợp bão Chanthu 00Z ngày 11/6/2004	123
Bảng 4.2.2: Sai số dự báo trung bình của các trường hợp dự báo thử nghiệm.....	127
Bảng 4.2.3: Kỹ năng đối với sai số vị trí, sai số AT và sai số CT của trường hợp ban đầu hóa xoáy (bogus) so với không ban đầu hóa xoáy(nobogus)	129

Danh mục các ký hiệu viết tắt

Ký hiệu viết tắt	Từ gốc	Ý nghĩa
nnk.	et al.	Những người khác
LAPS	<u>L</u> imited- <u>A</u> rea <u>P</u> rediction <u>S</u> ystem	Hệ thống dự báo khu vực hạn chế của Australia
JMA	<u>J</u> apanese <u>M</u> eteorology <u>A</u> gency	Cục khí tượng Nhật bản
GFDL	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Phòng thí nghiệm động lực học địa vật lý Hoa Kỳ.
XTNĐ	-	Xoáy thuận nhiệt đới
MM5	The NCAR/PSU 5th Generation Mesoscale Model	Mô hình qui mô vừa của Trung tâm Nghiên cứu khí quyển Quốc Gia Hoa Kỳ và Đại học bang Pennsylvania thế hệ thứ 5
MMM	Multiple Movable Mesh model	Mô hình đa lưới lồng di chuyển, một mô hình bão của GFDL
NCAR	National Center for Atmospheric Reseach	Trung tâm Nghiên cứu khí quyển Quốc Gia Hoa Kỳ
NCEP	National Centers for Environmental Prediction	Các trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ. Bao gồm 9 trung tâm đảm nhiệm dự báo: hàng không, khí hậu, môi trường, thủy văn, hải văn, không gian và một trung tâm đầu não.
TC-LAPS	<u>T</u> ropical <u>C</u> yclone LAPS	Phiên bản dự báo xoáy thuận nhiệt đới của LAPS
R_{15}	Radius of 15m/s wind	Bán kính gió 15m/s
R_{max}	Radius of Maximum wind	Bán kính gió cực đại
V_{max}	Maximum wind speed	Tốc độ gió cực đại

MỞ ĐẦU

Tính cấp thiết của đề tài

Bão nhiệt đới là một trong những hiện tượng thời tiết nguy hiểm nhất, đặc biệt đối với những nơi nằm trong vùng hoạt động của bão – xoáy thuận nhiệt đới như nước ta. Với tốc độ gió cực mạnh gần tâm, bão có thể trực tiếp gây nên những thiệt hại nặng nề. Bão thường kèm theo mưa lớn có thể gây lũ lụt trên diện rộng và nước dâng trong bão. Đặc biệt, cùng với xu thế nóng lên của khí hậu toàn cầu, sức tàn phá và mức độ nguy hiểm của bão cũng tăng lên (Emanuel 2005, [38]). Chính vì thế, yêu cầu về dự báo và cảnh báo bão chính xác, kịp thời là một trong những nhiệm vụ quan trọng hàng đầu đối với nhiều cơ quan, ngành chức năng, nhất là đối với những người làm dự báo nghiệp vụ. Để có thể đưa ra những hướng dẫn phòng tránh, di dời kịp thời cho người dân, cần dự báo được 1) Quỹ đạo bão: Vị trí của bão trong tương lai, hướng di chuyển và vùng đổ bộ (nếu có); và 2) Cấu trúc và cường độ bão: Tốc độ gió cực đại, phân bố gió, vùng mưa và cường độ mưa. Trong hai yêu cầu trên thì yêu cầu thứ nhất, dự báo quỹ đạo, có thể thực hiện dễ dàng hơn, còn dự báo cường độ bão vẫn còn là thách thức lớn trên thế giới. Ở nước ta, việc dự báo quỹ đạo bão có tầm quan trọng đặc biệt. Tuy nhiên, những gì mà chúng ta đạt được vẫn đang ở mức độ khởi đầu, do đó một trong những nhiệm vụ trọng tâm của ngành khí tượng thủy văn nước ta hiện nay là nâng cao chất lượng dự báo bão, nhất là quỹ đạo bão.

Có nhiều phương pháp dự báo quỹ đạo bão:

- 1) phương pháp synop: chủ yếu sử dụng hệ thống các bản đồ hình thể thời tiết, dựa trên khái niệm *dòng dẫn đường* với giả thiết xoáy bão được đặt vào trường môi trường (dòng nền) và di chuyển cùng với dòng nền này;

- 2) phương pháp thống kê: dựa trên mối quan hệ thống kê giữa tốc độ và hướng di chuyển của xoáy bão với các tham số khí tượng khác nhau, qua đó xây dựng các phương trình dự báo. Một trong những mô hình thống kê sử dụng các yếu tố thống kê khí hậu và quán tính là CLIPER (CLImatology and PERsistent). CLIPER được coi là mô hình “không kỹ năng” và thường được sử dụng để đánh giá mức độ hiệu quả các các mô hình dự báo khác.
- 3) phương pháp sử dụng các mô hình số trị (hay phương pháp số), dựa trên việc giải số các phương trình toán học mô tả trạng thái của khí quyển để đưa ra được các yếu tố thời tiết trong tương lai.

Trong các phương pháp kể trên thì phương pháp số có nhiều ưu điểm nhất, cho phép dự báo quỹ đạo bão thông qua việc tích phân các phương trình mô tả động lực học khí quyển một cách khách quan, tính được các biến khí tượng một cách định lượng. Một trong những điều kiện tiên quyết để mô hình có thể dự báo chính xác là điều kiện ban đầu (trường ban đầu) mô tả đúng trạng thái thực của khí quyển. Thế nhưng điều này không phải lúc nào cũng dễ dàng có được, nhất là đối với những trường hợp bão hình thành và hoạt động ở các vùng biển nhiệt đới, nơi mà mạng lưới các trạm quan trắc vô cùng thưa thớt. Thực tế, nếu không có những nguồn số liệu quan trắc bổ sung khác, như ảnh vệ tinh, radar,... mà chỉ với mạng lưới quan trắc synop truyền thống thì nhiều cơn bão sẽ không được phát hiện, hoặc nếu có thì thường không chính xác về vị trí tâm xoáy cũng như cấu trúc và cường độ. Để có thể biểu diễn chính xác hơn cấu trúc và vị trí của bão trong trường ban đầu cho các mô hình số người ta thường sử dụng phương pháp ban đầu hóa xoáy bão. Mục đích cuối cùng của các phương pháp này là thay thế xoáy phân tích không chính xác trong trường ban đầu bằng một xoáy nhân tạo mới sao cho có thể mô tả gần đúng nhất với xoáy bão thực. Một trong những phương pháp ban đầu hóa xoáy thường được sử dụng là cài *xoáy giả* (bogus vortex) hay còn gọi là *xoáy nhân tạo* (artificial vortex). Phương pháp này bao gồm 2 quá trình: 1) “Tách” xoáy phân tích ra khỏi trường môi trường và 2) Xây dựng một xoáy nhân tạo dựa trên lý thuyết hoặc kinh nghiệm và một số thông tin quan trắc bổ sung về bão như vị trí tâm, quỹ

đạo, cường độ, v.v. (từ đây sẽ gọi các thông tin bổ sung này là các chỉ thị bão) để từ đó kết hợp với trường môi trường. Các phương pháp ban đầu hóa xoáy đã được sử dụng cho cả những mô hình hai chiều đơn giản như mô hình chính áp đến những mô hình ba chiều đầy đủ, và thực tế đã chứng tỏ rằng trong đa số trường hợp việc ban đầu hóa xoáy đã góp phần nâng cao được chất lượng dự báo quỹ đạo bão một cách đáng kể.

Ở nước ta, trong qui trình dự báo bão hiện nay chủ yếu sử dụng phương pháp synop và CLIPER, còn kết quả của mô hình số chỉ mang tính tham khảo, nên hạn dự báo mới chỉ thực hiện cho 24 giờ. Sở dĩ như vậy là vì độ chính xác của quỹ đạo dự báo bằng mô hình số còn rất hạn chế. Để có thể đưa ra các bản tin dự báo quỹ đạo bão ở những hạn dài hơn, chẳng hạn hai đến ba ngày hoặc hơn nữa, nhất thiết phải sử dụng mô hình số. Vì thế, việc sử dụng mô hình số trị trong nghiệp vụ dự báo bão là một yêu cầu cấp thiết. Hiện tại có hai mô hình được chạy nghiệp vụ tại trung tâm dự báo khí tượng thủy văn trung ương là mô hình chính áp WBAR (Weber 2001 [82]) và mô hình khu vực phân giải cao HRM. Ngoài ra, còn một số mô hình khu vực khác đã và đang được nghiên cứu, thử nghiệm tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHKHTN), Đại học Quốc gia Hà Nội (ĐHQGHN), Viện Khí tượng Thủy Văn và Trung Tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương, chẳng hạn như RAMS, MM5, ETA, WRF. Mô hình WBAR có sử dụng kỹ thuật phân tích và tạo xoáy nhân tạo. Sơ bộ đánh giá cho thấy trong nhiều trường hợp WBAR cho kết quả dự báo khả quan, nhất là đối với những cơn bão mạnh, ổn định. Tuy nhiên, do WBAR là mô hình chính áp nên khi có những hệ thống thời tiết phức tạp, đặc biệt khi bão bị những hệ thống tà áp mạnh khống chế thì sai số dự báo sẽ rất lớn (Lê Công Thành, 2004)[16]. Mô hình HRM là một trong những mô hình số dự báo thời tiết đầu tiên được đưa vào chạy nghiên cứu và nghiệp vụ ở Việt Nam trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học độc lập cấp Nhà nước giai đoạn 2000–2002 do PGS. TSKH Kiều Thị Xin làm chủ trì (Kiều Thị Xin và nnk (2002) [21]). Mô hình HRM đã được đánh giá là có kỹ năng dự báo bão khá ổn định (Lê Công Thành, 2004)[16]. Như vậy, việc chọn HRM là mô hình để dự báo quỹ đạo bão là một

phương án khả thi. Tuy nhiên, đối với những cơn bão yếu, sai số dự báo của HRM vẫn còn khá lớn mà một trong những lý do chính là vị trí và cấu trúc của xoáy bão trong trường phân tích toàn cầu bị sai lệch so với xoáy bão thực. Vì những lý do nêu trên, chúng tôi đã chọn phương án nghiên cứu phát triển sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều cho HRM nhằm nâng cao khả năng dự báo quỹ đạo bão ở Việt Nam.

Mục đích của luận án

Luận án nhằm mục đích xây dựng được một sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều và áp dụng nó cho một mô hình số trị nhằm góp phần nâng cao chất lượng dự báo quỹ đạo bão ở Việt Nam tới hạn 48h.

Những đóng góp mới của luận án

- Đã nghiên cứu, phát triển và xây dựng được một sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều mới dựa trên lý thuyết xoáy cân bằng, có thể áp dụng vào các mô hình dự báo quỹ đạo bão với số liệu thực hoặc ứng dụng trong nghiên cứu lý tưởng.
- Đã áp dụng thành công sơ đồ ban đầu hóa xoáy mới nói trên cho mô hình HRM và phát triển mô hình này thành phiên bản mới (HRM_TC) vừa có chức năng dự báo bão vừa có chức năng dự báo thời tiết nói chung.
- Đã khảo sát và xác lập được bộ tham số phù hợp cho sơ đồ ban đầu hóa xoáy của HRM_TC để dự báo quỹ đạo bão trên khu vực biển Đông.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Luận án đã đặt ra và giải quyết thành công bài toán ban đầu hóa xoáy cho mô hình dự báo số nhằm nâng cao chất lượng dự báo bão của mô hình. Những kết quả thu nhận được của luận án đã góp phần làm sáng tỏ vai trò và ý nghĩa của vấn đề ban đầu hóa xoáy, của các tham số vật lý xác định cấu trúc ngang và cấu trúc đứng của bão hoạt động trên khu vực Biển Đông. Việc nghiên cứu xây dựng được một sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều và áp dụng nó cho mô hình HRM, phát triển mô hình

này thành phiên bản mới cho mục đích dự báo bão (HRM_TC) vừa có ý nghĩa đóng góp cho khoa học trong lĩnh vực nghiên cứu phát triển mô hình dự báo số, vừa có ý nghĩa ứng dụng thực tiễn là nâng cao chất lượng dự báo bão ở Việt Nam.

Tóm tắt cấu trúc luận án

Ngoài các mục mở đầu, kết luận, tài liệu tham khảo, phụ lục, v.v... nội dung chính của luận án bao gồm:

- Chương 1: “Tổng quan các nghiên cứu về bão và ban đầu hóa xoáy bão”. Chương này tổng quan các nghiên cứu liên quan đến chuyển động của bão và thảo luận các phương pháp ban đầu hóa xoáy bão.
- Chương 2: “Nghiên cứu phát triển sơ đồ ban đầu hóa xoáy bão ba chiều”. Chương này mô tả phương pháp phân tích xoáy và xây dựng xoáy cân bằng sẽ được ứng dụng để xây dựng sơ đồ ban đầu hóa xoáy, sơ đồ xây dựng xoáy ba chiều cân bằng sẽ được khảo sát thông qua nghiên cứu lý tưởng sự tiến triển của XTND với mô hình WRF.
- Chương 3: “Áp dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều dự báo quỹ đạo bão”. Chương này khảo sát sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều được xây dựng cho mô hình HRM. Một số thí nghiệm độ nhạy của các tham số tùy chọn của sơ đồ sẽ được khảo sát để đánh giá mức độ ảnh hưởng của chúng và tìm được một bộ tham số thích hợp cho mục đích dự báo quỹ đạo bão trên khu vực Biển Đông.
- Chương 4: “Thử nghiệm sơ đồ ban đầu hóa xoáy mới”. Sử dụng HRM_TC với bộ tham số nhận được qua các thí nghiệm khảo sát ở chương 3 để thử nghiệm dự báo quỹ đạo bão cho khu vực Biển Đông.

CHƯƠNG 1 :

TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ BÃO VÀ BAN ĐẦU HÓA XOÁY BÃO

Bão nhiệt đới là một hiện tượng thời tiết phức tạp bao gồm nhiều quá trình từ qui mô synop đến qui mô nhỏ tương tác với nhau. Mặc dù bão đã được quan tâm nghiên cứu từ nhiều thập kỷ, nhưng cho đến nay chưa có một lý thuyết đầy đủ về các cơ chế trong bão. Vì thế, bão và dự báo bão vẫn còn là một bài toán lớn thu hút sự chú ý của nhiều nhà khoa học. Các nghiên cứu về bão có thể chia thành 2 hướng chính:

1) Nghiên cứu cơ bản: nhằm tìm hiểu các cơ chế động lực trong bão liên quan đến sự biến đổi cấu trúc, cường độ và sự di chuyển của bão. Hướng này có thể phân nhỏ thành *nghiên cứu lý thuyết* – qua đó hệ phương trình thủy nhiệt động lực học được đơn giản hóa để nhận được những nghiệm giải tích mô tả cấu trúc, chuyển động của bão; và *nghiên cứu thực nghiệm* – khảo sát thực nghiệm bằng nhiều hình thức khác nhau, kể cả sử dụng máy bay bay trong bão, nhằm thu thập số liệu quan trắc tức thời để phân tích, xác định cấu trúc, cường độ, các đặc trưng của bão với mục đích kiểm chứng lại những lý thuyết nhận được, tìm ra các công thức thực nghiệm đặc trưng của bão hoặc để tìm hiểu sâu về bản chất của bão;

2) Nghiên cứu ứng dụng: sử dụng những hiểu biết thu được từ nghiên cứu lý thuyết để xây dựng, phát triển các mô hình dự báo nhằm tăng chất lượng dự báo chuyển động, cấu trúc và cường độ của bão. Trong hướng này, có nhiều cách tiếp cận khác nhau như xây dựng và cải tiến các mô hình dự báo số trị số và/hoặc cải thiện chất lượng trường ban đầu mà kỹ thuật ban đầu hóa xoáy bão là một lựa chọn.

Nghiên cứu ban đầu hóa xoáy là một trong những bài toán quan trọng đối với việc dự báo bão bằng các mô hình số và cũng là nội dung chủ yếu của luận án này. Trong chương này sẽ tổng quan một số nghiên cứu về chuyển động của bão, trong đó nhấn mạnh các phương pháp ban đầu hóa xoáy bão khác nhau đã được ứng dụng trong các mô hình dự báo chuyển động của bão.

1.1 Những nghiên cứu lý thuyết và ứng dụng về chuyển động của bão

Những lý thuyết đầu tiên về chuyển động của xoáy thuận nhiệt đới xem xoáy bão như một xoáy đối xứng chuyển động trong dòng chính áp và tìm độ dịch chuyển hạn ngắn của tâm xoáy. Những dự báo này sử dụng khái niệm “*dòng dẫn*” với giả thiết xoáy bão được đặt vào trường môi trường hay trường nền và di chuyển với tốc độ và hướng dòng nền. Kasahara (1957) [49] đã sử dụng một mô hình chính áp không phân kỳ để dự báo chuyển động của bão. Trong nghiên cứu của mình, ông đã sử dụng khái niệm dòng dẫn khi tách hàm dòng Ψ thành hai thành phần: một thành phần qui mô lớn $\bar{\Psi}$ – dòng qui mô lớn, đóng vai trò như dòng dẫn đường; và một thành phần xoáy nhiễu động địa phương ψ . Hàm dòng qui mô lớn $\bar{\Psi}$ được dự báo độc lập qua mỗi bước thời gian, trong khi để dự báo được ψ cần có thông tin của $\bar{\Psi}$ tại mỗi bước tích phân. Kasahara đã rút ra nhận định: vận tốc di chuyển tức thời của bão có thể xác định từ vận tốc của dòng dẫn tại tâm và tích của gradient xoáy tuyệt đối của hàm dòng với một tham số K phụ thuộc vào dạng phân bố của hàm dòng. Kết quả là tâm xoáy di chuyển với vận tốc gần với vận tốc của dòng dẫn tính được tại điểm đó nhưng bị lệch về phía trái của hướng gradient xoáy tuyệt đối một góc 90° . Vì thế, một xoáy ban đầu đối xứng trên mặt beta, không có dòng môi trường, sẽ di chuyển tức thời về phía tây ở cả 2 bán cầu. Một vấn đề nảy sinh là xác định *mức dòng dẫn* và phương pháp xác định dòng dẫn. Trong những nghiên cứu đầu tiên về dự báo quỹ đạo bão, các mức khí áp chuẩn thường được sử dụng. Chẳng hạn trong nghiên cứu của Kasahara (1957)[49], mức 500hPa đã được sử dụng để dự báo thử nghiệm một số trường hợp bão trong mô hình chính áp. George và Gray

(1976) [43] đã sử dụng số liệu của 30 trạm thám không trong vòng 10 năm ở Bắc Thái Bình Dương để nghiên cứu quan hệ của chuyển động bão và các tham số môi trường. Kết quả cho thấy mực 700hPa cho tốc độ di chuyển của xoáy bão tốt nhất và mực 500hPa cho hướng di chuyển tốt nhất. Sanders và cộng sự của mình (Sanders và nnk, 1975) [65] đã chỉ ra rằng, các mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão có thể nâng cao độ chính xác bằng cách sử dụng số liệu trung bình có trọng số theo khí áp thay cho sử dụng các mực đẳng áp riêng lẻ. Các nghiên cứu thực nghiệm của Chan và Gray (1982) [26] cho thấy trường gió trung bình từ bán kính 5° đến 7° vĩ so với tâm bão ở mực giữa (500-700hPa) có tương quan tốt nhất với chuyển động của bão. Tuy thế, ở Bắc Bán cầu bão di chuyển lệch khoảng 10-20° về phía trái còn ở Nam Bán cầu lệch khoảng 10° về phía phải của trường gió trung bình này và tâm bão thực di chuyển nhanh hơn so với trường trung bình khoảng 1m/s. Hai ông cũng tìm thấy mối tương quan tốt giữa gió trung bình khí quyển mực thấp (900hPa) và khí quyển mực cao (200hPa) với chuyển động của xoáy. Đây cũng là cơ sở để một số mô hình sau này sử dụng khái niệm gió trung bình lớp sâu (DLM - Deep Layer Mean), chẳng hạn mô hình VICBAR (DeMaria và nnk. 1992) [33] và mô hình WBAR (Weber, 2001) [82] đã sử dụng trung bình lớp sâu giữa các mực 850hPa-200hPa làm số liệu đầu vào và đạt được những thành công nhất định.

Về hướng nghiên cứu ảnh hưởng của trường môi trường đến chuyển động của bão cũng đã có nhiều công trình được thực hiện với phương thức tiếp cận cũng rất đa dạng. DeMaria (1985) [34] đã sử dụng một mô hình phổ chính áp không phân kỳ để nghiên cứu hiệu ứng của gradient xoáy, vị trí ban đầu và cấu trúc xoáy đối với chuyển động của xoáy thuận nhiệt đới. Qua đó tác giả đã đưa ra những kết luận có ý nghĩa cho việc định hướng nghiên cứu ban đầu hóa xoáy bão: 1) Quỹ đạo nhạy hơn đối với vị trí ban đầu khi $\nabla^2 \xi_a > 0$, (ở đây ξ_a là xoáy tuyệt đối còn ∇^2 là toán tử Laplacian), 2) Quỹ đạo xoáy nhạy cảm đối với kích thước hơn là đối với cường độ, 3) Quỹ đạo xoáy nhạy đối với kích thước khi $|\nabla^2 \xi_a|$ lớn, và 4) Cường độ xoáy (xác định bởi tốc độ gió cực đại V_{max}) có ảnh hưởng nhỏ đến chuyển động của xoáy trong mô hình chính áp không phân kỳ. Như vậy, theo DeMaria, những tham số có thể có

ảnh hưởng đến sự chuyển động của bão là vị trí ban đầu, kích thước xoáy và cường độ xoáy.

Cũng sử dụng mô hình chính áp không phân kỳ, Fiorino và Elsberry (1989) [39] đã nghiên cứu độ nhạy của chuyển động xoáy trên mặt beta đối với sự thay đổi phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính và nhận được các kết quả tương tự với những nhận xét của DeMaria. Cụ thể hơn, tốc độ gió của bão ở bán kính lớn hơn 300km tính từ tâm bão có ảnh hưởng lớn đến chuyển động của xoáy. Nếu tăng độ xoáy của xoáy thuận trong khoảng bán kính 300-800km thì quỹ đạo sẽ có dạng quay theo chiều xoáy thuận – lệch về phía tây, và tốc độ di chuyển tăng lên; ngược lại nếu giảm độ xoáy của xoáy thuận, quỹ đạo xoáy có xu thế quay theo chiều xoáy nghịch, di chuyển lệch bắc và tốc độ giảm đi. Các tác giả đưa ra khái niệm *cường độ gió phía ngoài* được định nghĩa là trung bình căn quân phương của tốc độ gió tiếp tuyến theo bán kính từ 300km đến 1000km, là một đặc trưng quan trọng liên quan đến chuyển động của xoáy bão.

Smith và Ulrich (1990) [70] đã đưa ra một lý thuyết giải tích về chuyển động của XTNĐ ban đầu đối xứng trên mặt beta. Kết quả cho thấy lý thuyết này phù hợp tốt với mô phỏng số trong khoảng 1 đến 2 ngày đầu. Đặc biệt, quỹ đạo và sự phát triển của các thành phần phi đối xứng xoáy, hay còn gọi là *xoắn beta*, được dự báo khá chính xác. Biểu diễn giải tích của xoắn beta đã được sử dụng trong một số sơ đồ ban đầu hóa xoáy bão sau này để hiệu chỉnh tốc độ di chuyển của xoáy. Lý thuyết này được Smith và Weber (1993) [73] phát triển lên thành lý thuyết chuyển động của xoáy thuận nhiệt đới trong một dòng nền có độ đứt. Nhìn chung, những nghiên cứu lý thuyết về chuyển động của bão hầu như tập trung vào sự chuyển động của bão trong khí quyển chính áp. Tuy vậy, đây là những cơ sở quan trọng trong việc xây dựng các mô hình dự báo quỹ đạo bão cũng như các sơ đồ ban đầu hóa xoáy bão sau này.

Song song với những nghiên cứu về chuyển động của bão là những nghiên cứu liên quan đến sự biến đổi của cường độ và cấu trúc ba chiều của bão. Trong khi

những nghiên cứu về chuyển động của bão chủ yếu theo hướng lý thuyết hoặc sử dụng các mô hình chính áp thì trong những nghiên cứu sự biến đổi của cường độ và cấu trúc thẳng đứng của bão cần một mô hình tối thiểu 3 lớp để có thể nắm bắt được các quá trình động lực học trong bão. Một trong những mô hình như vậy đã được xây dựng bởi Ooyama (1969) [59]. Đó là một mô hình đối xứng trục 3 lớp dùng để mô phỏng sự tiến triển của một xoáy thuận nhiệt đới. Mặc dù đơn giản, nhưng mô hình đã có thể mô phỏng khá sát thực các giai đoạn phát triển của một XTNĐ điển hình. Phản ứng của xoáy trong mô hình đối với những thay đổi của các tham số như nhiệt độ nước biển, hệ số trao đổi năng lượng biển–khí và điều kiện ban đầu cũng đã được thử nghiệm và cho kết quả hợp lý. Tuy thế, mô hình có một số hạn chế nhất định, như không có khả năng mô phỏng sự phát triển của XTNĐ từ giai đoạn chớm hình thành trong môi trường nhiễu động synop yếu hay chuyển động của tâm xoáy. Tác giả đưa ra kết luận là mô hình có khả năng mô phỏng được vòng đời của XTNĐ, nhưng để mô phỏng tốt hơn các đặc trưng của XTNĐ cần phải có một mô hình ba chiều đầy đủ.

Bước vào kỷ nguyên của máy tính là sự phát triển của các mô hình ba chiều đầy đủ với các quá trình vật lý phức tạp và độ phân giải lớn, cho phép mô phỏng bão và XTNĐ một cách chi tiết hơn. Những nghiên cứu về XTNĐ dựa trên các mô hình đầy đủ thường sử dụng điều kiện ban đầu lý tưởng để nghiên cứu các tình huống đặc thù. Frank và Ritchie (1999) [40] đã sử dụng mô hình qui mô vừa của Trung tâm Nghiên cứu khí quyển Quốc Gia Hoa Kỳ (NCAR) và Đại học bang Pennsylvania phiên bản 5 (MM5) với điều kiện ban đầu lý tưởng để nghiên cứu ảnh hưởng của độ đứt gió thẳng đứng và dòng nền đối với đối lưu vùng tâm và cường độ bão. Các kết quả cho thấy, đối lưu có tổ chức trong vùng tâm bão bị ảnh hưởng rất mạnh bởi độ đứt gió thẳng đứng và ma sát lớp biên. Ở giai đoạn ban đầu, mô phỏng ẩm cho kết quả tương tự như mô phỏng khô, nhưng khi xuất hiện bão hòa và ngưng kết, cường độ bão trong mô phỏng ẩm tăng nhanh. Dạng mưa trong mô phỏng ẩm khá phù hợp với quan trắc về quan hệ giữa giáng thủy và độ đứt gió thẳng đứng ở Đại Tây Dương. Kimball and Evans (2002) [51] đã sử dụng một mô

hình ba chiều phi thủy tĩnh phân giải cao với các quá trình đối lưu hiện để nghiên cứu sự tiến triển của một cơn bão với các kiểu hình thể thời tiết khác nhau. Nghiên cứu đã khẳng định lại hiệu ứng âm của độ đứt gió thẳng đứng đối với cường độ bão. Tính phi đối xứng của bão thể hiện rõ hơn trong trường hợp có độ đứt lớn. Trong trường hợp không có dòng nền, dòng giáng xảy ra ở toàn bộ mắt bão làm phát triển một cơn bão đối xứng với dị thường nhiệt độ và độ lệch khí áp lớn. Trong trường hợp này và trường hợp có độ đứt gió yếu, bán kính gió cực đại (R_{max}) co lại khi cơn bão tăng cường, ngược lại trong trường hợp có độ đứt gió lớn, R_{max} hầu như không thay đổi.

Trong khi các mô hình ba chiều được phát triển ngày càng phức tạp và thể hiện được các quá trình vật lý chi tiết hơn, thì việc áp dụng các mô hình đơn giản vẫn giữ một vai trò quan trọng vì chúng có khả năng tách biệt được hiệu ứng của các quá trình khác nhau mà mô hình phức tạp rất khó thực hiện. Zhu và nk. (2001) [87] đã phát triển một mô hình ba chiều *tối thiểu* để nghiên cứu cơ bản XTNĐ. Mô hình được viết cho hệ tọa độ thẳng đứng σ trên mặt f hoặc β với ba mực thẳng đứng: một mực thể hiện lớp biên nông, hai mực còn lại thể hiện khí quyển mực giữa và mực trên. Mô hình đã mô phỏng được giai đoạn khởi đầu với sự tích lũy ẩm lớp biên ở vùng tâm xoáy, tiếp đến là quá trình tăng cường nhanh chóng. Giáng thủy đối lưu (tham số hóa) ở giai đoạn đầu chiếm ưu thế so với giáng thủy hiện nhưng điều ngược lại xảy ra khi xoáy phát triển trưởng thành. Nguyễn Chi Mai và nk. (2002) [58] phát triển một phiên bản đối xứng trục của mô hình XTNĐ ba chiều tối thiểu của Zhu. Sự tiến triển của xoáy tương tự với mô hình của Zhu trong giai đoạn đầu của sự tăng cường xoáy, nhưng giai đoạn tăng cường mạnh xảy ra sớm hơn ở mô hình đối xứng trục do độ phân giải hiệu quả cao hơn nhận được nhờ sử dụng lưới xen. Mô hình này được sử dụng để nghiên cứu những khía cạnh cơ bản của động lực học XTNĐ, bao gồm sự thể hiện của vùng gió siêu gradient trong lớp biên và sự phát triển của những vùng thỏa mãn điều kiện bất ổn định chính áp và quán tính. Mặc dù các mô hình XTNĐ “tối thiểu” và các mô hình chính áp có thể mô phỏng được một số đặc trưng tiêu biểu của bão, nhưng các mô hình này được đơn

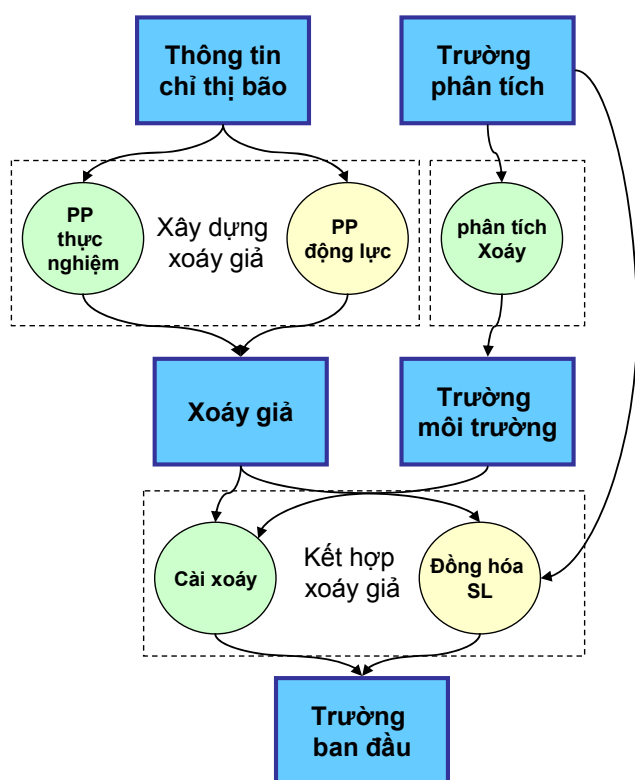
giản hóa khá nhiều so với mô hình đầy đủ nên có thể có những quá trình mà các mô hình đơn giản không nắm bắt được, và việc nghiên cứu lý tưởng sử dụng các mô hình đầy đủ là điều cần thiết. Như đã nói ở trên, khó khăn lớn nhất gặp phải khi nghiên cứu lý tưởng sử dụng mô hình đầy đủ là việc thiết lập các điều kiện ban đầu và điều kiện động lực lý tưởng phù hợp. Để dung hòa giữa mục tiêu nghiên cứu và mục tiêu ứng dụng, một mô hình Nghiên cứu và Dự Báo (WRF) đã được nhiều trung tâm lớn của Hoa Kỳ phát triển gần đây [67] cho phép thiết lập cấu hình chạy với chế độ lý tưởng hoặc chế độ số liệu thực và có thể thiết lập các cấu hình mô phỏng khác nhau từ đơn giản đến phức tạp. Luận án này cũng sẽ sử dụng mô hình WRF để khảo sát tính phù hợp của một sơ đồ xây dựng xoáy cân bằng nhằm áp dụng cho bài toán ban đầu hóa xoáy bão.

1.2 Những nghiên cứu ban đầu hóa xoáy trong các mô hình dự báo chuyển động của bão

Do bão hình thành và hoạt động trên các vùng đại dương nhiệt đới, nơi có mạng lưới quan trắc truyền thống hết sức thưa thớt, nên hầu hết các cơn bão được biểu diễn không rõ và sai lệch vị trí trên trường phân tích (Weber và Smith, 1995) [81]. Những sai lệch ban đầu về vị trí và cấu trúc sẽ dẫn đến những sai số lớn hơn trong các bước thời gian tích phân tiếp theo. Để nâng cao chất lượng dự báo, trường ban đầu cần biểu diễn tốt hơn vị trí, cấu trúc và cường độ. Bài toán thực hiện quá trình này được gọi là *ban đầu hóa xoáy bão* (hay *ban đầu hóa xoáy*).

Ban đầu hóa xoáy là một bài toán phức tạp, và có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau. Hình 1.2.1 là mô tả tổng quát bài toán ban đầu hóa xoáy bão. Nói chung, tất cả các bài toán ban đầu hóa xoáy bão cần có thêm thông tin bổ sung về cơn bão (như vị trí tâm quan trắc, tốc độ gió cực đại, thông tin về kích thước bão, v.v.) được gọi là *thông tin chỉ thị bão* để có thể xây dựng một xoáy có cấu trúc, cường độ gần với thực hơn, được gọi là *xoáy giả* hay *xoáy nhân tạo*. Xoáy nhân tạo còn được gọi là xoáy tính toán hay xoáy mô hình (*model vortex*) (Iwasaki và nnk, 1987)[48], hoặc xoáy tổng hợp (*synthetic vortex*) (Weber, 2001)[82]. Xoáy nhân tạo

có thể được xây dựng bằng *phương pháp động lực*, hoặc bằng *phương pháp kinh nghiệm*. Phương pháp động lực thường được thực hiện bằng cách sử dụng một phiên bản đối xứng trực của mô hình dự báo và tích phân để nhận được một xoáy nhân tạo đối xứng với các trường cân bằng động lực với nhau. Phương pháp kinh nghiệm dựa trên các hiểu biết lý thuyết và thực nghiệm để xây dựng nên một xoáy nhân tạo có cấu trúc và cường độ xác định. Ưu điểm của phương pháp kinh nghiệm là không cần một phiên bản đối xứng trực của mô hình dự báo và thời gian tính toán nhanh hơn, vì thế có rất nhiều sơ đồ ban đầu hóa xoáy sử dụng phương pháp này (Iwasaki và nnk 1987 [48], Davidson và nnk 1993 [30], Weber 2001 [82],...). Mục 1.2.1 sẽ mô tả chi tiết hơn một số phương pháp xây dựng xoáy nhân tạo đã được ứng dụng.



Hình 1.2.1: Sơ đồ mô tả bài toán ban đầu hóa xoáy bão

Hầu hết các sơ đồ ban đầu hóa xoáy đều sử dụng một phương pháp *phân tích xoáy* nhằm loại bỏ các thành phần *xoáy phân tích* ra khỏi trường phân tích để nhận được trường môi trường. Xoáy phân tích được xem là xoáy nhiễu có chứa nhiều sai sót và nếu không được loại bỏ xoáy, trường ban đầu sau khi ban đầu hóa xoáy có

thể tồn tại đồng thời hai xoáy bão ở hai vị trí khác nhau (Lownam, 2001)[55] dẫn đến các sai lệch trong dự báo. Mục 1.2.2 Sẽ mô tả chi tiết một số phương pháp phân tích xoáy được sử dụng.

Để nhận được xoáy đã ban đầu hóa, xoáy nhân tạo được kết hợp với trường môi trường bằng phương pháp *cài xoáy* hoặc *đồng hóa số liệu*. Xoáy nhân tạo có thể được *cài* trực tiếp vào trường môi trường một cách hài hòa sao cho không có sự bất liên tục giữa trường xoáy và trường môi trường. Để làm được điều này, các thành phần xoáy nhân tạo phải có cân bằng động lực tốt, tránh những chấn động trong quá trình tích phân ban đầu của mô hình. Quá trình này cũng có thể thực hiện bằng phương pháp đồng hóa số liệu, qua đó, một hoặc một số thành phần của xoáy nhân tạo được đưa vào sơ đồ đồng hóa số liệu dưới dạng các *quan trắc giả*. Các phương pháp kết hợp xoáy nhân tạo với trường ban đầu sẽ được mô tả kỹ hơn ở mục 1.2.3.

1.2.1 Các phương pháp xây dựng xoáy nhân tạo

1.2.1.1 Phương pháp kinh nghiệm và phương pháp động lực

Các phương pháp xây dựng xoáy nhân tạo đều nhằm mục đích tái tạo một xoáy bão có cấu trúc và cường độ gần với xoáy bão thực. Xoáy nhân tạo được xây dựng trên hệ tọa độ cực (bán kính) đối với mô hình hai chiều hoặc hệ tọa độ trụ (áp suất-bán kính hay độ cao-bán kính đối với các mô hình ba chiều từ các công thức giải tích và kinh nghiệm. Cả hai phương pháp kinh nghiệm và động lực đều xuất phát từ những công thức kinh nghiệm mô tả phân bố theo bán kính của các yếu tố khí tượng trong bão như gió tiếp tuyến và khí áp mực biển. Điểm khác nhau của hai phương pháp này thể hiện ở việc làm thế nào để xây dựng các trường trong bão ở trạng thái cân bằng. Phương pháp kinh nghiệm cần xây dựng tất cả các trường trong xoáy nhân tạo ở trạng thái cân bằng. Phương pháp động lực sử dụng một phiên bản đối xứng trục của chính mô hình dự báo nhằm đảm bảo sự ổn định về mặt vật lý và động lực khi kết hợp xoáy nhân tạo trở lại trường ban đầu cho mô hình dự báo. Khi

đã xác định trước một trường nào đó theo lý thuyết, các trường còn lại sẽ được tạo ra trong quá trình tích phân của mô hình do sự cân bằng giữa các trường. Việc chọn một phiên bản mô hình đối xứng trục của mô hình dự báo nhằm đảm bảo sự thống nhất về mặt vật lý và các mực thẳng đứng giữa mô hình tạo xoáy nhân tạo và mô hình dự báo. Trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy của mô hình dự báo bão của GFDL (Kurihara et al. 1993) [52], một phân bố gió theo bán kính và mực mô hình (r, σ) được gọi là *phân bố gió mực tiêu* được sử dụng để tính toán các trường còn lại có dạng:

$$\langle V \rangle(r, \sigma) = F(\sigma) \langle V_d \rangle(r) \quad (1.2.1)$$

trong đó, F là một hàm kinh nghiệm thể hiện trọng số của gió tiếp tuyến phương thẳng đứng và $\langle V_d \rangle$ là phân bố gió tiếp tuyến tại đỉnh lớp biên có dạng:

$$\langle V_d \rangle(r) = V(r_a) \left(\frac{r_a}{r} \right)^A \left(\frac{r_a - r}{r_b - r_a} \right)^B \quad (1.2.2)$$

trong đó, r_a , r_b , A , B là các tham số kinh nghiệm được xác định từ kinh nghiệm. Bắt đầu từ trạng thái tĩnh (gió tiếp tuyến và bán kính bằng không, khí áp, nhiệt độ và độ ẩm ban đầu là đồng nhất theo bán kính), trong quá trình tích phân, gió tiếp tuyến được hiệu chỉnh dần về gió mực tiêu trong khi trường khác được tự do biến đổi do sự tương tác giữa các trường trong mô hình. Công thức hiệu chỉnh được xác định để gió tiếp tuyến biến đổi dần về gió mực tiêu dưới dạng:

$$V(r, \sigma, t) = \langle V \rangle(r, \sigma) \exp\left(1 - \frac{\tau}{t}\right) \quad (1.2.3)$$

trong đó t là thời gian, τ là qui mô thời gian điều chỉnh, V là phân bố gió tiếp tuyến trong mô hình, V_B là một phân bố gió tiếp tuyến mực tiêu xác định từ trước.

Phương pháp xây dựng xoáy nhân tạo động lực cần có một phiên bản đối xứng trục của mô hình dự báo và thường được áp dụng cho những mô hình ba chiều đầy đủ. Việc xây dựng một phiên bản đối xứng trục như vậy trong nhiều trường hợp là

một việc tương đối phức tạp. Vì thế, rất nhiều sơ đồ sử dụng cách tiếp cận khác là sử dụng phương pháp kinh nghiệm. Đối với phương pháp này, các trường đều được xây dựng từ các công thức kinh nghiệm và các mối quan hệ giữa các trường với nhau để thỏa mãn sự ổn định động lực.

Trong các mô hình chính áp VICBAR (DeMaria và nk 1992), WBAR (Weber, 2001), đã sử dụng phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính có dạng:

$$V(r) = V_m \left(\frac{r}{r_m} \right) \exp \left\{ \frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r}{r_m} \right)^b \right] \right\} \quad (1.2.4)$$

trong đó V là tốc độ gió tiếp tuyến, V_m là tốc độ gió tiếp tuyến cực đại, r là bán kính từ tâm xoáy và r_m là bán kính gió cực đại, b là tham số xác kích thước của xoáy. Trường độ cao địa thế vị được xác định từ phương trình cân bằng viết cho hệ tọa độ sử dụng phép chiếu Mercator có dạng:

$$m^2 g \nabla^2 h = \zeta f - \beta u - 2m^2 \left(\frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\tan \theta}{a} u \zeta - \frac{m \tan \theta}{a} \times \left[u \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) - v \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] - \frac{(u^2 + v^2)(1 + \tan^2 \theta)}{a^2} \quad (1.2.5)$$

trong đó, m là hệ số phép chiếu bản đồ, h là độ lệch của độ cao địa thế vị so với trung bình; u, v là các thành phần vận tốc gió hướng theo tọa độ x, y ; θ là vĩ độ, $\beta = df/dy$ và ζ là xoáy tương đối.

Trong các sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều, nhiều yếu tố hơn cần được xây dựng cho xoáy nhân tạo. Chẳng hạn, trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong mô hình của JMA (Iwasaki và nk., 1987 [48]), trường khí áp bề mặt, trường độ cao địa thế vị, gió tiếp tuyến và pháp tuyến của xoáy nhân tạo được xây dựng bằng một sơ đồ rất phức tạp như sau.

Phân bố theo bán kính của trường khí áp bề mặt sử dụng công thức kinh nghiệm của Fujita (1953) [42]:

$$P(r) = P_E - \Delta P \left[1 + (r/R_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.2.6)$$

trong đó P_E là áp suất bề mặt môi trường; ΔP và R_0 là hai tham số xác định cường độ và kích thước xoáy, được định sao cho áp suất tại tâm trùng với giá trị quan trắc và bán kính gió 15m/s phù hợp với quan trắc.

Trường độ lệch D của độ cao địa thế vị tại đỉnh mây được cho bởi một công thức giải tích nhằm mô phỏng xoáy nghịch phía trên có dạng:

$$D(r, P_t) = \begin{cases} a \cdot r^2 + b & r < R_0 \\ c \cdot r + d & R_0 \leq r < R_E \\ e \cdot (r - R_E)^2 & R_1 \leq r < R_0 \end{cases} \quad (1.2.7)$$

trong đó R_1 và R_E là các tham số kinh nghiệm được chọn phụ thuộc vào R_{15} . Các tham số a, b, c, d được tính toán sao cho phân bố áp suất liên tục đến đạo hàm bậc 1 tại R_0 và R_1 .

Phía trên đỉnh mây, độ lệch độ cao địa thế vị triệt tiêu tại mực 20mb (giữa tầng bình lưu):

$$D(r, P_{mid}) = 0 \quad (1.2.8)$$

Trường nhiệt độ tại tâm bão từ bề mặt đến đỉnh mây được xây dựng có dạng xoáy lõi nóng có dạng:

$$T(0, P) = C_1 [T_c(P) - T_E(P)] + T_E(P) \quad (1.2.9)$$

trong đó T_E là nhiệt độ môi trường, T_c là nhiệt độ trong mây (nhiệt độ của khối khí nâng lên từ bề mặt theo quá trình đoạn nhiệt ẩm), hằng số C_1 được tính sao cho độ lệch của độ cao địa thế vị tại đỉnh mây bằng với giá trị đã tính ở (1.2.7).

Phía trên đỉnh mây, công thức xác định nhiệt độ tại tâm là:

$$T(0, P) = C_2 (\ln P - \ln P_{mid}) (\ln P - \ln P_t) + T_E(P) \quad (1.2.10)$$

với C_2 được xác định từ độ lệch độ cao địa thế vị sử dụng phương trình thủy tĩnh.

Độ lệch của độ cao địa thế bị được nội suy bằng công thức:

$$D(r, P) = \alpha(r)D(0, P) + \beta(r) \quad (1.2.11)$$

với α và β được xác định sao cho thỏa mãn các điều kiện (1.2.6), (1.2.7) và (1.2.8).

Trường gió tiếp tuyến và trường gió bán kính được giải lập nhờ hệ phương trình chuyển động viết cho hệ tọa độ trụ bỏ qua thành phần xu thế:

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_\theta^2}{r} - fV_\theta + \frac{\partial \phi}{\partial r} + C_d |V| V_r = 0 \quad (1.2.12)$$

$$V_r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_r V_\theta}{r} + fV_r + C_d |V| V_\theta = 0$$

trong đó V_r là gió bán kính, V_θ là gió tiếp tuyến, f là tham số Coriolis, C_d là hệ số ma sát và ϕ là độ cao địa thế vị của mặt đẳng áp đã xác định từ trước.

Trường độ ẩm không có quan hệ động lực chặt chẽ với các trường còn lại và được xác định sao cho có độ ẩm tương đối là 90% ở nửa dưới tầng đối lưu. Phương pháp xây dựng này cũng được sử dụng trong các mô hình LAPS (Davidson và Puri 1992 [28], Davidson và nnk., 1993[30]) và TC-LAPS (Davidson và Weber 2000, [29]) với một vài sửa đổi nhỏ.

Phương pháp xoáy của NCAR-AFWA của Lownam (2001) áp dụng cho mô hình MM5 lại khá đơn giản, với xoáy nhân tạo được xác định có phân bố Rankine:

$$V(r, z) = A(z)F(r) \quad (1.2.13)$$

$$F(r) = V_m \left(\frac{r}{r_m} \right)^\alpha$$

trong đó $F(r)$ là phân bố theo bán kính của xoáy nhân tạo; V_m là tốc độ gió cực đại $\alpha=1$ ở phía trong bán kính gió cực đại r_m và bằng -0.75 ở ngoài r_m ; A là hàm trọng số kinh nghiệm của gió tiếp tuyến theo phương thẳng đứng được xác định từ trước

hoặc sử dụng một hàm tuyến tính từng phần theo áp suất. Tương tự như sơ đồ của Isawaki, trường độ ẩm cũng được xác lập gần bão hòa ở gần tâm xoáy. Sau khi nội suy về lưới ngang của mô hình, trường độ cao địa thế vị được xác định từ phương trình cân bằng và trường nhiệt được tính từ phương trình trạng thái.

Sơ đồ của Isawaki là một sơ đồ tương đối phức tạp và trong đó có nhiều yếu tố kinh nghiệm. Sơ đồ được viết cho hệ tọa độ thẳng đứng khí áp và rất khó có thể áp dụng trực tiếp cho hệ tọa độ mô hình cũng như rất khó thay đổi và kiểm soát được cấu trúc của xoáy nhân tạo. Trong khi đó sơ đồ của Lownam lại tương đối đơn giản và không có nhiều tùy chọn. Smith (2005) [75] đã đưa ra một phương pháp giải tích xây dựng một xoáy ba chiều để tính được phân bố của các trường mật độ, áp suất, nhiệt độ theo bán kính và độ cao từ một phân bố gió ban đầu. Phương pháp này có ưu điểm là đơn giản nhưng có thể kiểm soát được cấu trúc của xoáy khá dễ dàng thông qua phân bố trường gió và có khả năng áp dụng cho các nghiên cứu lý tưởng và bài toán ban đầu hóa xoáy. Chúng tôi chọn phương pháp này để áp dụng cho các nghiên cứu trong luận án và sẽ mô tả kỹ hơn ở mục 2.2.

1.2.1.2 Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính

Do mối quan hệ động lực chặt chẽ giữa trường chuyển động và trường khối lượng, các sơ đồ ban đầu hóa xoáy được xây dựng từ một phân bố lý thuyết theo bán kính và độ cao của trường gió, hoặc trường khí áp và/hoặc trường địa thế vị. Các trường còn lại sẽ được suy dẫn từ các mối quan hệ cân bằng như đã đề cập ở phần trước. Do trường gió là trường có ảnh hưởng trực tiếp đến chuyển động của bão nên hầu hết những nghiên cứu về chuyển động của bão đều khảo sát cấu trúc của phân bố gió tiếp tuyến. Chính vì thế, mục này sẽ tổng quan một số dạng phân bố lý thuyết của gió tiếp tuyến theo bán kính tính từ tâm xoáy (từ giờ sẽ gọi tắt là profile gió tiếp tuyến hay profile gió). Phân bố đơn giản nhất là profile gió Rankine, có dạng tuyến tính ở phía trong bán kính gió cực đại và dạng hyperbol ở phía ngoài bán kính gió cực đại:

$$V(r) = \begin{cases} V_m \frac{r}{r_m} & r < r_m \\ V_m \left(\frac{r}{r_m}\right)^{-1} & r \geq r_m \end{cases} \quad (1.2.14)$$

trong đó, V_m là tốc độ gió tiếp tuyến cực đại, r là bán kính, r_m là bán kính gió cực đại.

Profile Rankine có ưu điểm là đơn giản, dễ tính toán, nhưng nhược điểm chính của nó là không khả vi (không trơn) tại vị trí bán kính gió cực đại và không kiểm soát được cấu trúc của hoàn lưu phía ngoài bão. Trong nhiều nghiên cứu (Lownam, 2001 [55]) đã sử dụng profile Rankine sửa đổi có dạng:

$$V(r) = V_m \left(\frac{r}{r_m}\right)^\alpha \quad (1.2.15)$$

với α là một tham số thực nghiệm. Trong khoảng bán kính gió cực đại, $\alpha=1$, còn ở phía ngoài α có thể nhận các giá trị trong khoảng từ -0.5 đến -1 .

DeMaria (1985) [34] đã đề xuất một dạng profile khác phức tạp hơn và khắc phục được những nhược điểm của profile Rankine:

$$V(r) = 2V_m \left(\frac{r}{r_m}\right) \frac{\exp\left[-a\left(\frac{r}{r_m}\right)^b\right]}{1 + \left(\frac{r}{r_m}\right)^b} \quad (1.2.16)$$

trong đó, V_m và r_m là tốc độ gió tiếp tuyến cực đại và bán kính gió cực đại, a và b là 2 tham số mô tả mức độ giảm của gió tiếp tuyến theo bán kính. Nhược điểm của công thức này là tương đối khó kiểm soát dạng của profile do có hai tham số a và b , hơn nữa tốc độ gió tiếp tuyến cực đại tại r_m không chính xác bằng V_m trừ trường hợp a bằng 0.

Một dạng profile gió tiếp tuyến khác được nhiều tác giả sử dụng (chẳng hạn, DeMaria (1987) [35], DeMaria et al.(1992) [33] và Weber (2001) [82]) có dạng:

$$V(r) = V_m \left(\frac{r}{r_m} \right) \exp \left\{ \frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r}{r_m} \right)^b \right] \right\} \quad (1.2.17)$$

trong đó b là tham số xác định dạng của profile phía ngoài có thể tính được khi cho trước bán kính mà tốc độ gió đến một giá trị cụ thể nào đó, chẳng hạn cho R_{15} (bán kính tại đó tốc độ gió tiếp tuyến đạt 15m/s) hoặc cho R_5 (bán kính tại đó tốc độ gió tiếp tuyến đạt 5m/s). Dạng profile này khắc phục được sự gãy khúc của profile Rankine và có thể kiểm soát được các thông số mô tả phân bố gió khá dễ dàng thông qua một tham số b .

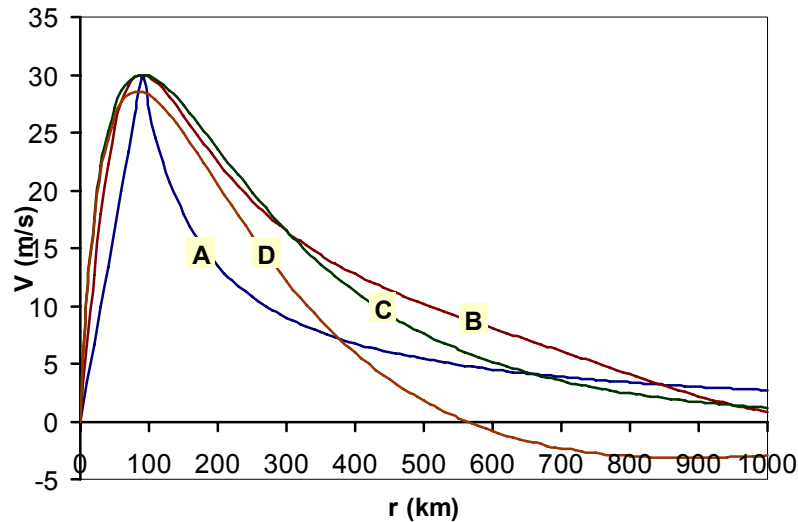
DeMaria (1987) [35] cũng đề xuất một dạng profile khác:

$$V_r(r) = V_m \left(\frac{r}{r_m} \right) \exp \left\{ \frac{1}{b} \left[1 - \left(\frac{r}{r_m} \right)^b \right] \right\} + V_a \left(\frac{r}{r_a} \right) \exp \left\{ \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{r}{r_a} \right)^2 \right] \right\} \quad (1.2.18)$$

trong đó, r_a là bán kính của nhiễu động gió phía ngoài V_a , khi $V_a > 0$ thì xoáy bão có nhiễu động xoáy thuận, ngược lại khi $V_a < 0$, xoáy có nhiễu động xoáy nghịch. Dạng profile này được DeMaria sử dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của độ lớn gió tiếp tuyến phía ngoài đến chuyển động của xoáy bão trong mô hình chính áp của ông.

Một ví dụ về các dạng profile gió tiếp tuyến được cho ở Hình 1.2.2. Các trường hợp đều sử dụng bán kính gió cực đại $r_m = 90\text{km}$ và tốc độ gió cực đại $V_m = 30\text{m/s}$ và các tham số được sử dụng giống với các tham số đã được đề cập trong các nghiên cứu của các tác giả. Với cùng một giá trị bán kính gió cực đại, ngoài trừ dạng profile rankine, các dạng profile đều có các tham số để kiểm soát độ mở rộng của hoàn lưu phía ngoài. Riêng dạng (1.2.18) có thể xây dựng profile gió phía ngoài trở thành xoáy nghịch với giá trị V_a âm đủ lớn, tuy thế cũng làm cho tốc độ gió cực đại không hoàn toàn bằng giá trị V_m . Những nghiên cứu trong luận án này sẽ sử

dạng (1.2.17) do tính đơn giản và dễ tùy biến (thông qua chỉ một tham số b để mô tả dạng của profile).



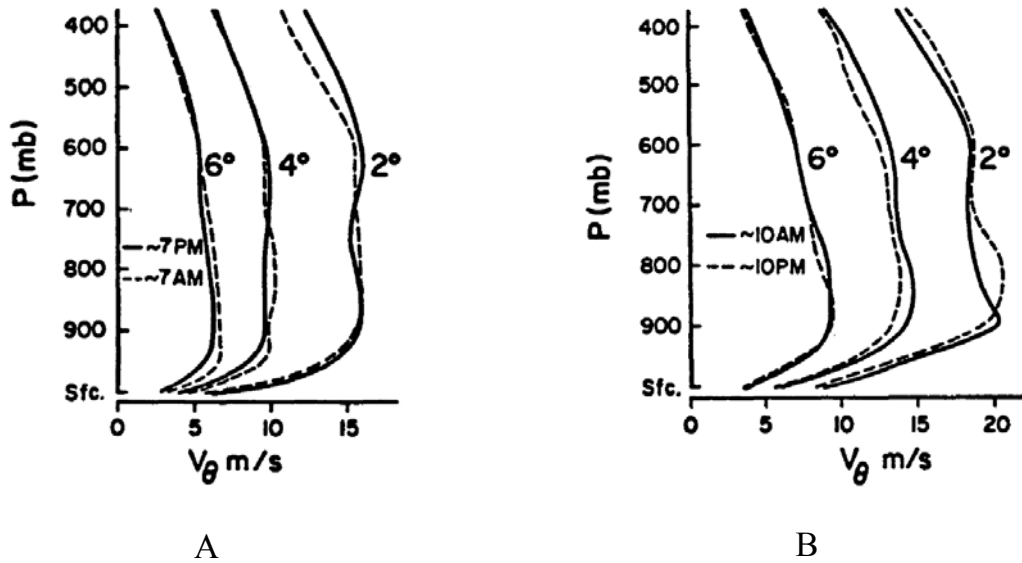
Hình 1.2.2: Phân bố gió tiếp tuyến ứng với $V_m=30\text{m/s}$, $r_m=60\text{km}$ ứng với A) profile rankine (1.2.14); B) profile (1.2.16) với tham số $a=10^{-6}$ và $b=6$; C) profile (1.2.17) với $b=0.63$; Profile (1.2.18) với $b=0.63$, $r_a=600\text{km}$ và $V_a=6\text{m/s}$.

1.2.1.3 Trọng số theo phương thẳng đứng của gió tiếp tuyến

Ngoài cấu trúc ngang của xoáy được xác định bởi sự phân bố của các trường gió, khí áp theo phương bán kính thì việc mô tả cấu trúc đứng của xoáy cũng là một trong những vấn đề quan trọng. Khi xây dựng xoáy nhân tạo, cấu trúc đứng của xoáy được xác định bởi hàm trọng số phương thẳng đứng. Nó thể hiện sự mở rộng theo chiều cao cũng như phân bố theo phương thẳng đứng của hoàn lưu bão. Vì hệ tọa độ thẳng đứng của các mô hình khác nhau có thể không giống nhau nên việc xây dựng hàm trọng số thẳng đứng cũng phụ thuộc vào việc chọn mô hình dự báo. Một trong những dạng hàm trọng số đơn giản nhất đối với trường gió được xây dựng dựa trên giả thiết gió giảm tuyến tính theo độ cao:

$$W(z) = 1 - \frac{z}{H} \quad (1.2.19)$$

trong đó, z là độ cao đang xét và H là độ cao của đỉnh mô hình. Mặc dù hầu như các mô hình ba chiều đều không sử dụng tọa độ thẳng đứng là độ cao trực tiếp, nhưng bằng các phép biến đổi nào đó ta có thể nội suy trọng số về các mực mô hình. Dạng hàm này được sử dụng nhiều trong các bài toán nghiên cứu lý tưởng, chẳng hạn Smith (2005) [75].



Hình 1.2.3: Phân bố của gió tiếp tuyến theo áp suất tại các bán kính $2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$ vĩ theo số liệu thám sát tổng hợp của các cơn bão ở Đại Tây Dương (A) và Thái Bình Dương (B). (Theo Gray, 1981)[44]

Hàm trọng số thẳng đứng có thể là một hàm của áp suất thay cho hàm của độ cao. Nói chung dạng của hàm trọng số được chọn thường mang tính kinh nghiệm. Chẳng hạn, trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy của Lownam (2001)[55] trong mô hình MM5 hàm trọng số thẳng đứng là một là hàm tuyến tính từng khúc theo khí áp:

$$W_z(p) = \begin{cases} 1 & p > p_1 \\ \frac{p - p_2}{p_1 - p_2} & p_1 \geq p \geq p_2 \\ 0 & p < p_2 \end{cases} \quad (1.2.20)$$

trong đó, p_1, p_2 nhận các giá trị lần lượt là 600hPa và 100hPa.

Ngoài ra, với mỗi mô hình cụ thể, hàm trọng số có thể nhận những giá trị kinh nghiệm xác định từ trước, chẳng hạn trong sơ đồ của Lownam (2001)[55], các giá trị này có thể nhận giá trị đơn vị từ bề mặt đến 850hPa, 0.95 tại 700hPa, 0.9 tại 500hPa, 0.7 tại 300hPa, 0.6 tại 200hPa và 0.1 tại 100hPa.

1.2.2 Các phương pháp phân tích xoáy

Phân tích xoáy là tách trường phân tích ban đầu trong đó có xoáy bão thành các thành phần môi trường và thành phần xoáy. Đây là một trong những bài toán quan trọng và phức tạp trong nghiên cứu chuyên động của bão. Nhìn chung, theo Kurihara và nnk. (1993) [52] bài toán phân tích xoáy có thể mô tả bằng sơ đồ:

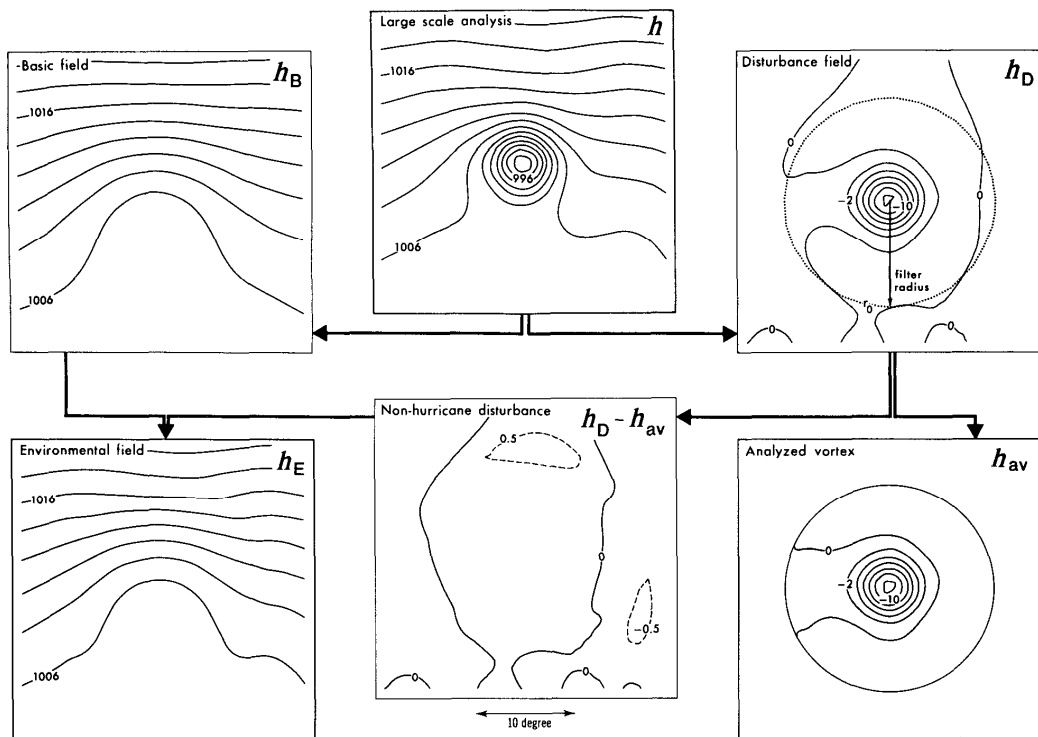
$$(\text{Trường ban đầu}) = (\text{trường môi trường}) + (\text{trường xoáy})$$

Tuy nhiên, theo Weber và Smith (1995) [71], trong tự nhiên không có sự phân biệt rõ ràng giữa trường môi trường và trường xoáy, và do đó không có bài toán phân tích xoáy duy nhất. Có nhiều cách khác nhau được đưa ra để tách xoáy bão khỏi trường nền và đã đạt được những hiệu quả nhất định trong các ứng dụng khác nhau. Một phương pháp đơn giản nhất là xem trường xoáy như hoàn lưu trung bình theo phương vị xung quanh tâm xoáy. Trường phân dư sau khi tách trường xoáy khỏi trường phân tích ban đầu được coi là trường môi trường hay còn gọi là trường nền (basic field). Chẳng hạn, trong những nghiên cứu về tương tác giữa xoáy và dòng nền của Kasahara và Platzman (1963)[50], xoáy bão được xem là thành phần đối xứng và không thay đổi cấu trúc trong quá trình chuyển động. Thành phần còn lại được xem là trường nền, được tích phân riêng biệt bằng phương pháp sai phân hữu hạn. Cách phân chia này khá phù hợp với bài toán chuyển động của xoáy trên mặt f (tham số Coriolis là hằng số trên toàn miền). Khi đó, nếu đặt một xoáy đối xứng vào trường nền đồng nhất xoáy sẽ có vận tốc di chuyển trùng với vận tốc của dòng nền. Điều này đã được chứng minh bằng cả mô hình giải tích và mô hình số (Smith và nnk. 1990 [71]). Tuy vậy, trong trường hợp tham số Coriolis f biến đổi theo vĩ độ (*hiệu ứng β*), bài toán lại trở nên phức tạp khi sự di chuyển của xoáy bão bị lệch khỏi dòng nền. Một phương pháp khác được đề cập đến trong một số nghiên

cứu của Kasahara và Platzman (1963) là coi thành phần phi đối xứng sóng số một do hiệu ứng beta như một thành phần của trường xoáy.

Trên cơ sở lý thuyết về xoắn beta (beta-gyre), Weber và Smith (1995) [81] đưa ra một sơ đồ phân tách xoáy mới, trong đó trường môi trường được phân chia thành trường môi trường qui mô lớn và trường môi trường qui mô nhỏ; còn trường xoáy bao gồm thành phần xoáy đối xứng và phi đối xứng. Các thành phần xoáy đối xứng và phi đối xứng ở đây tương ứng là thành phần sóng số 0 và sóng số 1 trong phân tích Fourier theo phương vị xung quanh tâm xoáy phân tích.

Một trong những phương pháp ban đầu hóa xoáy bão khá điển hình là sơ đồ đã được sử dụng trong mô hình dự báo bão đa lưới lồng di động (MMM – Multiple Movable Mesh) của GFDL (Kurihara và nnk, 1993) [52]. Theo phương pháp này, một trường vô hướng bất kỳ h có thể tách ra thành trường nền h_B và trường nhiễu động h_D . Trường nhiễu động h_D lại có thể tách thành trường nhiễu động xoáy h_{av} và trường nhiễu động phi xoáy ($h_D - h_{av}$). Trường nhiễu phi xoáy cùng với trường nền được xem là trường môi trường h_E . Sơ đồ này được minh họa trong Hình 1.2.4.



Hình 1.2.4: Sơ đồ phân tích xoáy trong mô hình bão MMM của GFDL (nguồn: Kurihara và nnk, 1993 [52]). Trường phân tích qui mô lớn (Large scale analysis) được tách ra thành trường nền (Basic field) và trường nhiễu động (Disturbance field). Trường nhiễu động được tách thành trường xoáy phân tích (Analyzed vortex) và trường nhiễu phi xoáy (Non-hurricane field). Trường môi trường (Environmental field) nhận được bằng cách cộng trường nền và trường nhiễu phi xoáy.

Trường nền được tách khỏi trường ban đầu bằng cách áp dụng một phép lặp sử dụng một hàm làm trơn trên lưới kinh vĩ. Đầu tiên, trường được làm trơn vĩ hướng bằng công thức:

$$\bar{h}_{\lambda,\varphi} = h_{\lambda,\varphi} + K(h_{\lambda-1,\varphi} + h_{\lambda+1,\varphi} - 2h_{\lambda,\varphi}) \quad (1.2.21)$$

trong đó h là một biến trường cần được làm trơn, λ và φ tương ứng là kinh độ và vĩ độ, K là tham số lọc có dạng:

$$K = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi}{m} \right)^{-1} \quad (1.2.22)$$

trong đó, m là một tham số nhận các giá trị khác nhau đối với mỗi bước lặp. Từ đó, trường nền h_B được xác định bằng cách áp dụng hàm làm trơn theo kinh hướng cho \bar{h} :

$$h_{B\lambda,\varphi} = \bar{h}_{\lambda,\varphi} + K \left(\bar{h}_{\lambda,\varphi-1} + \bar{h}_{\lambda,\varphi+1} - 2\bar{h}_{\lambda,\varphi} \right) \quad (1.2.23)$$

Tiếp đó, trường nhiễu động h_D được xem là hiệu của trường ban đầu h và h_B trường xoáy phân tích được tách ra từ h_D thông qua một phép lọc trên hệ tọa độ cực (r, θ) với góc tọa độ là tâm xoáy phân tích:

$$h_{av}(r, \theta) = h_D(r, \theta) - \left\{ h_D(r_0, \theta) E(r) + \bar{h}_D(r_0) [1 - E(r)] \right\} \quad (1.2.24)$$

trong đó, r_0 là bán kính của miền lọc có thể được lấy tùy theo cơn bão nhưng không vượt quá 1500km, $E(r)$, với $0 \leq r \leq r_0$, là một hàm trọng số có dạng:

$$E(r) = \frac{e^{-(r_0-r)^2/l^2} - e^{-r_0^2/l^2}}{1 - e^{-r_0^2/l^2}} \quad (1.2.25)$$

trong đó l là tham số của phép lọc và được lấy 1/5 giá trị r_0 . $E(r)$ trong công thức trên tiến đến đơn vị tại $r=r_0$, vì thế trường xoáy phân tích không tồn tại ngoài bán kính này.

Một phương pháp phân tích xoáy khác được ứng dụng trong các mô hình TCLAPS và WBAR là sử dụng kết hợp các bộ lọc tần thấp thông qua phép biến đổi Fourier nhanh – FFT (Weber và Smith, 1995) [81]. Theo phương pháp này, một trường bất kỳ được tách ra làm 4 thành phần: thành phần môi trường qui mô lớn, thành phần môi trường qui mô nhỏ, thành phần xoáy đối xứng và thành phần xoáy phi đối xứng. Trường xoáy đối xứng là thành phần sóng số 0 của một phép phân tích Fourier theo góc phương vị quanh tâm xoáy và trường xoáy phi đối xứng là thành phần sóng số 1. Phương pháp này cho phép loại bỏ các sóng có bước sóng

ngăn để xác định trường môi trường qui mô lớn. Đây cũng là phương pháp chính được sử dụng trong nghiên cứu này và sẽ được trình bày chi tiết trong mục 2.1.

Lownam (2001) [55] lại xây dựng một sơ đồ phân tích xoáy khác cho mô hình MM5. Trong sơ đồ này, thành phần xoáy phân tích được tác giả gọi là thành phần nhiễu động cần được loại bỏ và trường còn lại được xem là trường nền. Trường nhiễu động xoáy không phân kỳ được loại bỏ thông qua quan hệ của độ xoáy và hàm dòng:

$$\nabla^2 \psi = \zeta \quad (1.2.26)$$

$$\mathbf{v}_\psi = \mathbf{k} \times \nabla \psi \quad (1.2.27)$$

trong đó ψ là trường hàm dòng của gió không phân kỳ \mathbf{v}_ψ , ζ là xoáy tương đối. Quá trình loại bỏ xoáy được thực hiện bằng cách đặt trường độ xoáy tương đối bằng không ở ngoài khoảng bán kính bằng 300km tính từ tâm xoáy phân tích rồi giải (1.2.26) với điều kiện biên xung quanh bằng không để xác định trường hàm dòng không phân kỳ ψ ứng với phân bố xoáy. Sau đó phân bố trường gió được tính trở lại nhờ phương trình (1.2.27). Tương tự, quá trình loại bỏ thành phần xoáy phân kỳ (hoàn lưu thứ cấp) cũng được thực hiện thông qua mối quan hệ:

$$\nabla^2 \chi = \delta \quad (1.2.28)$$

$$\mathbf{v}_\chi = \nabla \chi \quad (1.2.29)$$

trong đó χ là thế vận tốc và δ là phân kỳ ngang. Để loại bỏ nhiễu động địa thế vị, sơ đồ sử dụng phương trình cân bằng và công thức gió địa chuyển:

$$\nabla^2 \phi = \zeta_g f_0 \quad (1.2.30)$$

$$\mathbf{v}_g = \mathbf{k} \times \nabla \phi \quad (1.2.31)$$

trong đó, chỉ số dưới “g” thể hiện thành phần địa chuyển, f_0 là tham số Coriolis tại tâm xoáy phân tích. Trường nhiễu động nhiệt độ được loại bỏ nhờ quan hệ thủy tĩnh:

$$\frac{\partial \phi'}{\partial \ln(p)} = -RT' \quad (1.2.32)$$

trong đó R là hằng số khí và p là áp suất.

1.2.3 Các phương pháp kết hợp xoáy nhân tạo với trường môi trường

Sau khi xây dựng được xoáy nhân tạo, xoáy nhân tạo có thể được kết hợp trở lại trường ban đầu bằng cách chồng chập xoáy nhân tạo vào trường môi trường (phương pháp cài xoáy) hoặc sử dụng xoáy nhân tạo để xây dựng các quan trắc giả để đưa vào sơ đồ đồng hóa số liệu. Phương pháp cài xoáy có thể được thực hiện bằng cách cộng trực tiếp xoáy nhân tạo vào trường môi trường nếu các yếu tố trong xoáy nhân tạo là thành phần nhiễu động thay vì là trường đầy đủ. Trong trường hợp các yếu tố của xoáy nhân tạo là các trường đầy đủ, cần sử dụng một hàm trọng số theo bán kính sao cho đóng góp của trường xoáy nhân tạo giảm dần đến 0 tại một bán kính nào đó. Iwasaki (1987) [48] sử dụng công thức có dạng:

$$f = f_M \cdot w(r) + f_E \cdot [1 - w(r)] \quad (1.2.33)$$

trong đó f_M là trường xoáy nhân tạo mà tác giả còn gọi là xoáy mô hình, f_E là trường môi trường và w là hàm trọng số theo bán kính có dạng:

$$w(r) = \begin{cases} 1 & r \leq R_i \\ \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{r - R_i}{R_E - R_i}\right) & R_i < r < R_E \\ 0 & r \geq R_E \end{cases} \quad (1.2.34)$$

trong đó R_i và R_E là các bán kính kết hợp bên trong và bên ngoài được lấy tỉ lệ với R_{I5} . Davidson và nnk (1993) [30] cũng sử dụng công thức kết hợp tương tự nhưng với hàm trọng số đơn giản hơn:

$$w(r) = \begin{cases} 1 & r \leq R_i \\ (R_E - r)/(R_E - R_i) & R_i < r < R_E \\ 0 & r \geq R_E \end{cases} \quad (1.2.35)$$

Ngoài các phương pháp cài xoáy, một số mô hình đã ứng dụng để ban đầu hóa xoáy bão cho mô hình nhằm làm tương thích tối đa xoáy nhân tạo với mô hình dự báo. Về cơ bản, cũng cần xây dựng một xoáy nhân tạo, xoáy này được sử dụng để tạo các quan trắc giả cho sơ đồ ban đầu hóa. Chẳng hạn, Zou and Xiao (2000)[88] đã phát triển một sơ đồ ban đầu hóa xoáy bão bằng phương pháp biến phân 4 chiều (4DVar) cho mô hình MM5. Các quan trắc giả được tạo ra là trường khí áp mực biển có phân bố lý thuyết Fujita (1952) [42] trên một hình tròn bán kính 300 km. Từ đó, phương pháp biến phân được sử dụng với tiểu hàm mục tiêu có dạng:

$$J_{BG}(\mathbf{x}_0) = \sum_{t_i} \sum_{i,j \in \mathcal{R}} (P - P^{bogus})^T W_p (P - P^{bogus}) + J_b \quad (1.2.36)$$

trong đó, t_i là các lát cắt thời gian cách nhau 5 phút trong khoảng nửa tiếng đồng hồ, (i,j) là các nút lưới nằm trong miền \mathcal{R} có bán kính 300km từ tâm bão quan trắc ở mực thấp nhất của mô hình, P là khí áp, chỉ số trên $(*)^{bogus}$ thể hiện giá trị quan trắc giả, W_p là ma trận trọng số đường chéo xác định từ thực nghiệm, J_b là ma trận trọng số nền. Ngoài ra, nếu sử dụng thêm trường gió trên cao xác định từ số liệu vệ tinh (u^{SAT}, v^{SAT}) , hàm mục tiêu trở thành

$$\begin{aligned} J_{BG}(\mathbf{x}_0) = & \sum_{t_i} \sum_{r_l} (P - P^{bogus})^T W_p (P - P^{bogus}) \\ & + \sum_{t_i} \sum_{r_l} \left\{ [H_l u - u^{SAT}(\mathbf{r}_l)]^T W_u [H_l u - u^{SAT}(\mathbf{r}_l)] \right. \\ & \quad \left. + [H_l v - v^{SAT}(\mathbf{r}_l)]^T W_v [H_l v - v^{SAT}(\mathbf{r}_l)] \right\} \\ & + J_b \end{aligned} \quad (1.2.37)$$

với r_l là tọa độ ba chiều của các điểm có số liệu vệ tinh, H_l là toán tử nội suy từ các nút lưới về các điểm r_l , u và v là các thành phần gió vĩ hướng và kinh hướng. Một

trong những khó khăn của phương pháp này là số liệu quan trắc giả có thể sai lệch lớn đối với trường nền hoặc so với các quan trắc thật.

Một nghiên cứu khác của Xiao và nnk (2006) [85] cũng cho mô hình MM5 nhưng sử dụng phương pháp biến phân ba chiều (3DVar). Xoáy nhân tạo được xây dựng có phân bố trường áp mực biển Fujita và trường gió tiếp tuyến đối xứng dựa trên quan hệ gió gradient. Trường gió tiếp tuyến đối xứng được tạo ra trên 7 mực (mực biển, 1000, 925, 850, 700, 600, 500). Hàm mục tiêu trong trường hợp bao gồm đóng góp của trường áp suất mực biển:

$$J_P = \sum_{r \leq R_B} [P(r) - P^{bogus}(r)]^T O_P^{-1} [P(r) - P^{bogus}(r)] \quad (1.2.38)$$

Và đóng góp của trường gió tiếp tuyến đối xứng:

$$J_V = \sum_k \sum_{r \leq R_B} [V(r, k) - V^{bogus}(r, k)]^T O_V^{-1} [V(r, k) - V^{bogus}(r, k)] \quad (1.2.39)$$

trong đó, $P(r)$ và $V(r, k)$ là trường gió và áp suất mực biển phân tích, $P^{bogus}(r)$ và $V^{bogus}(r, k)$ là trường gió và áp suất mực biển giả, O_P và O_V là các ma trận đường chéo phương sai, r là bán kính và R_B là bán kính đồng hóa, k là các mực thẳng đứng.

Cả hai phương pháp cài xoáy và đồng hóa số liệu đều có những ưu điểm và hạn chế nhất định. Phương pháp cài xoáy có ưu điểm là đơn giản và nhưng có thể không hoàn toàn cân bằng và mô hình phải mất một khoảng thời gian tích phân để trường xoáy và trường môi trường cân bằng lại (*spin up time*). Phương pháp đồng hóa số liệu thông thường chỉ cần một hoặc một số yếu tố của xoáy nhân tạo được sử dụng (chẳng hạn trường gió và/hoặc trường khí áp) và đảm bảo độ hòa hợp giữa trường xoáy nhân tạo và trường môi trường khá tốt. Tuy thế, theo Davidson và nnk (1993)[30], phương pháp này cũng có những hạn chế nhất định. Chẳng hạn, số liệu quan trắc giả có thể bị loại bỏ trong quá trình kiểm tra chất lượng số liệu (*quality control*) do sự sai lệch lớn so với của trường phỏng đoán ban đầu; ảnh hưởng của số liệu quan trắc giả mở rộng hơn ảnh hưởng thực của bão và quá trình đồng hóa số liệu sẽ cân bằng lại trường gió-khối lượng trên toàn miền dự báo có thể làm ảnh

hưởng đến các vùng khác. Ở thời điểm hiện tại, một khó khăn khác trong việc áp dụng phương pháp này cho nước ta là một số sơ đồ đồng hóa số liệu (chẳng hạn 4DVAR) đòi hỏi kỹ thuật xử lý khá phức tạp và cần phải thực hiện trên các hệ thống máy tính mạnh.

1.3 Những nghiên cứu trong nước về dự báo quỹ đạo bão bằng mô hình số

Có thể nói rằng trước khi hệ thống mô hình HRM được đưa vào dự báo nghiệp vụ, việc dự báo thời tiết nói chung, dự báo bão nói riêng, ở Việt Nam chủ yếu được thực hiện bằng phương pháp synôp. Cho đến cuối năm 1997, ngoài các nguồn số liệu synôp truyền thống được dùng để vẽ bản đồ hình thể thời tiết hàng ngày, chúng ta mới bắt đầu sử dụng sản phẩm của mô hình số toàn cầu do Cơ quan Khí tượng Nhật Bản (JMA) cung cấp thông qua hợp tác song phương.

Trên thực tế, vào khoảng những năm bảy mươi của thế kỷ hai mươi, ở Việt Nam đã có một nhóm nghiên cứu xây dựng mô hình số nhằm ứng dụng trong dự báo quỹ đạo bão gồm các nhà khoa học đầu ngành do PGS. TS Trịnh Văn Thư (nguyên là Phó Tổng cục trưởng Tổng cục Khí tượng Thủy văn) đứng đầu. Đáng chú ý nhất liên quan đến thành tựu của nhóm này có thể kể đến công trình của Trịnh Văn Thư và Krishnamurti (1992) [78]. Trong công trình này các tác giả đã nghiên cứu ban đầu hóa xoáy bão cho một mô hình nước nông một mực để dự báo quỹ đạo hai cơn bão Betty (1987) và Dan (1989) trên khu vực Biển Đông. Về cơ bản, xoáy nhân tạo là một xoáy Rankine sửa đổi với số mũ là -0.6, trường độ cao nhận được bằng cách giải phương trình gió gradient. Song vì nhiều lý do khác nhau mà chủ yếu là sự hạn chế về khả năng tính toán của máy tính, những kết quả nghiên cứu của họ cũng chưa thể đưa vào nghiệp vụ.

Kể từ sau năm 2000, nhờ sự phát triển của công nghệ thông tin, hệ thống Internet và nhiều điều kiện khác, các mô hình số dự báo thời tiết, bão đã được nghiên cứu tiếp thu và ứng dụng một cách hiệu quả ở Việt Nam. Một trong những mô hình đầu tiên đã được nghiên cứu ứng dụng cho dự báo quỹ đạo bão là mô hình

chính áp WBAR (Weber, 2001 [82]). Mô hình WBAR được Phan Văn Tân và nnk. (2002)[14,15] khảo sát với một số trường hợp bão và nhận định mô hình này có khả năng dự báo quỹ đạo bão cho khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông. Là một mô hình số trị đầu tiên được đưa vào dự báo quỹ đạo bão nghiệp vụ ở Việt Nam, WBAR đã được nhiều tác giả trong nước nghiên cứu cải tiến, hiệu chỉnh nhằm mục đích dự báo quỹ đạo bão cho khu vực Biển Đông. Bùi Hoàng Hải, Phan Văn Tân (2002) [3], đã khảo sát 9 phương án ban đầu hóa khác nhau của WBAR với ba trường hợp bão và nhận thấy việc thay đổi các phương án ban đầu hóa có ảnh hưởng lớn đến quỹ đạo dự báo và phụ thuộc vào từng tình huống bão cụ thể. Võ Văn Hòa (2005) [4, 5] đã thử nghiệm WBAR trên một số lượng trường hợp bão tương đối lớn. Kết quả nhận được có tính ứng dụng cao vì cho phép lựa chọn các dạng phân bố gió tiếp tuyến cũng như cấu hình cách tính trung bình lớp sâu (DLM) hoặc mực dòng dẫn tùy theo cường độ của bão.

Nguyễn Thị Minh Phương (2003) [8], (2005) [9] cũng thử nghiệm thay đổi cách tính toán các tham số bán kính gió hiệu chỉnh lớn nhất và công thức tính thành phần xoáy bất đối xứng của xoáy nhân tạo của một mô hình chính áp. Tuy vậy số lượng trường hợp bão thử nghiệm còn ít và việc thay đổi còn mang tính kinh nghiệm. Mô hình chính áp đã cải tiến (tác giả ký hiệu là BARO_PH) đã được tác giả thử nghiệm đánh giá cho các cơn bão hoạt động trên khu vực Biển Đông mùa bão 2005 (Nguyễn Thị Minh Phương, 2007) [10]. Kết quả thử nghiệm cho thấy BARO_PH có chất lượng dự báo tương đương thậm chí tốt hơn so với các mô hình nghiệp vụ trên thế giới của Úc và Hoa kỳ (Bảng 1.3.1).

Bảng 1.3.1: Sai số vị trí của một số mô hình trong nước và trên thế giới mùa bão 2005 (trích từ Nguyễn Thị Minh Phương, 2007 [10])

Mô hình	Sai số vị trí (Km)			
	12h	24h	36h	48h
JTWC	82.6	115.5	163.1	219.9
TC-LAPS	90.4	143.7	197.8	295.0
BARO_PH	81.1	134.5	164.9	212.6

Nhìn chung, hầu hết các nghiên cứu kể trên đều nhằm điều chỉnh các tham số, phương án ban đầu hóa khác nhau của các mô hình chính áp để tìm được những bộ tham số thích hợp cho dự báo quỹ đạo bão ở Việt Nam. Tuy vậy, qua các thử nghiệm của mình, Lê Công Thành và Kiều Thị Xin (2003) [17] đã nhận định một mô hình chính áp chỉ có thể cho kết quả dự báo tương đối tốt đối với những cơn bão mạnh, có quỹ đạo thẳng, nhưng sẽ cho sai số lớn đối với những trường hợp bão đổi hướng.

Ngoài các mô hình chính áp, một số mô hình ba chiều đầy đủ cũng được các tác giả nghiên cứu khả năng dự báo quỹ đạo bão. Mô hình đầu tiên cần được nhắc đến là mô hình khu vực phân giải cao HRM, hiện đang được chạy nghiệp vụ tại Trung tâm dự báo khí tượng thủy văn Trung ương. Sản phẩm dự báo của HRM được dùng như một nguồn thông tin tham khảo chính cho các bản tin dự báo, trong đó có thông tin dự báo đường đi của bão. Kiều Thị Xin và nnk. (2002) [20] đã thử nghiệm mô hình HRM để dự báo quỹ đạo cơn bão Durian (2001). Sai số dự báo được so sánh với các kết quả của dự báo cơn bão Emily của các mô hình của Mỹ. Theo các tác giả, mặc dù HRM là mô hình dự báo thời tiết nhưng nó cũng có khả năng dự báo quỹ đạo bão cho khu vực Việt Nam – Biển Đông. Để nâng cao chất lượng dự báo, các tác giả đã đề xuất cần cải thiện chất lượng số liệu trường ban đầu do các thám sát nghèo nàn trên biển Đông. Những nghiên cứu của Lê Công Thành, 2004 [16] cho thấy HRM có kỹ năng dự báo cao hơn các mô hình WBAR và Dengler, và có thể nắm bắt được những trường hợp bão có quỹ đạo phức tạp mà các mô hình chính áp không nắm bắt được.

Một số mô hình ba chiều đầy đủ khác cũng được các tác giả khác nghiên cứu khả năng dự báo bão. Trần Tân Tiến và nnk. (2004) [18] đã sử dụng mô hình khu vực hạn chế ETA và thử nghiệm dự báo mưa và quỹ đạo bão cho khu vực Việt Nam. Nghiên cứu được thực hiện trên một cơn bão và cho kết quả khả quan. Hoàng Đức Cường (2004) [1], trong khuôn khổ đề tài cấp Bộ về khả năng áp dụng mô hình

MM5 cho dự báo hạn ngắn ở Việt Nam, đã có nhận định là “khi trong miền tính có sự hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới nhất thiết phải sử dụng chức năng cài xoáy của mô hình” và cần có những nghiên cứu chuyên sâu về các sơ đồ ban đầu hóa xoáy để áp dụng vào dự báo quỹ đạo bão. Phan Văn Tân và Bùi Hoàng Hải[12] (2003), Đặng Thị Hồng Nga và cộng sự (2006)[7], đã nghiên cứu áp dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy của TC-LAPS vào mô hình MM5 và đạt được những kết quả khả quan. Tuy vậy, các công trình kể trên mới chỉ dừng ở mức độ nghiên cứu trên một số lượng các trường hợp bão tương đối ít.

Tóm lại, có thể nói rằng khả năng áp dụng mô hình số trị vào dự báo quỹ đạo bão ở Việt Nam là hiện thực, và cần thiết phải nghiên cứu phát triển sơ đồ ban đầu hóa xoáy, đặc biệt là sơ đồ ban đầu hóa xoáy cho một mô hình ba chiều đầy đủ.

Nhận thấy ở Việt Nam hiện nay có khá nhiều mô hình số ba chiều được nghiên cứu, thử nghiệm và áp dụng, như MM5, WRF, HRM, RAMS, ETA,... Mỗi mô hình đều có những ưu, nhược điểm riêng của mình và chưa có công trình nào chỉ ra sự hơn kém của chúng. Hơn nữa, các mô hình khác nhau sẽ có những đặc điểm khác nhau về động lực học và vật lý, như hệ tọa độ, phương pháp sai phân,... Có nghĩa là không thể xây dựng một sơ đồ ban đầu hóa xoáy áp dụng chung cho mọi mô hình. Điều đó làm nảy sinh vấn đề cần lựa chọn một mô hình để xây dựng sơ đồ ban đầu hóa của luận án. Qua quá trình tìm hiểu chúng tôi nhận thấy trong số các mô hình hiện đang sử dụng tại Việt Nam, HRM là một lựa chọn khả dĩ nhất.

CHƯƠNG 2 :

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY BA CHIỀU

Như đã đề cập trong Chương 1, bài toán ban đầu hóa xoáy bão có thể chia thành các bài toán nhỏ: Phân tích xoáy, xây dựng xoáy nhân tạo và kết hợp xoáy nhân tạo với trường ban đầu. Chương này sẽ mô tả phương pháp phân tích xoáy và xây dựng xoáy nhân tạo để từ đó áp dụng xây dựng sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong chương 3.

Phân tích xoáy nhằm tách xoáy phân tích (xoáy tồn tại trong trường phân tích toàn cầu) ra khỏi trường môi trường của nó. Quá trình phân tích loại bỏ xoáy ban đầu được thực hiện nhờ sử dụng phương pháp tách xoáy của Smith và Weber (1995) [81]. Phương pháp này đã được áp dụng khá thành công trong nhiều sơ đồ ban đầu hóa xoáy cho các mô hình WBAR (Weber, 2001)[82], TC-LAPS (Davidson và Weber, 2000) [29]

Việc xây dựng xoáy nhân tạo được lựa chọn ở đây dựa trên lý thuyết xoáy cân bằng ba chiều do Smith (2005) [75] đề xuất. Theo phương pháp này, khi cho trước một phân bố gió lý thuyết và phân bố của các yếu tố môi trường, có thể tính được phân bố theo bán kính và độ cao của khí áp, mật độ và nhiệt độ. Để khảo sát tính hợp lý cũng như khả năng áp dụng của lý thuyết này cho sơ đồ ban đầu hóa xoáy, chương này cũng sẽ mô tả những nghiên cứu lý tưởng sử dụng mô hình Nghiên cứu và Dự báo Thời tiết (WRF).

2.1 Phương pháp phân tích xoáy ba chiều

Quá trình phân tích loại bỏ xoáy ban đầu dựa trên phương pháp phân tách xoáy của Smith và Weber (1995) [81]. Về cơ bản, tại mỗi điểm lưới (i,j) trên một

mức mô hình của miền phân tích, một trường vô hướng bất kỳ f_{ij} được xem là tổng của thành phần trường môi trường f_{ij}^E và thành phần xoáy f_{ij}^V .

$$f_{ij} = f_{ij}^E + f_{ij}^V \quad (2.1.1)$$

Thành phần trường môi trường lại có thể được tách ra các thành phần trường môi trường qui mô lớn f_{ij}^{EL} và trường môi trường qui mô nhỏ f_{ij}^{ES} còn thành phần xoáy được tách ra thành phần xoáy đối xứng f_{ij}^{VS} và phi đối xứng f_{ij}^{VA} :

$$f_{ij} = (f_{ij}^{EL} + f_{ij}^{ES}) + (f_{ij}^{VS} + f_{ij}^{VA}) \quad (2.1.2)$$

Trường môi trường qui mô lớn được xác định bằng cách phân tích chuỗi Fourier thông qua phương pháp lặp Barnes (1964) [24] để tách bỏ các sóng có bước sóng ngắn hơn một bước sóng cho trước. Thành phần sau khi tách trường qui mô lớn ra khỏi trường ban đầu bao gồm trường môi trường qui mô nhỏ, trường xoáy đối xứng và phi đối xứng. Các thành phần xoáy đối xứng và phi đối xứng được xác định thông qua việc phân tích Fourier theo phương vị xung quanh tâm xoáy phân tích (được xác định là cực đại của độ xoáy, nhiệt độ hoặc cực tiểu của khí áp mực biển). Thành phần xoáy đối xứng được lấy là thành phần sóng số 0 trong phân tích Fourier – có giá trị là hằng số tại một vòng bán kính. Thành phần xoáy phi đối xứng được lấy là thành phần sóng số 1. Trường còn lại sau khi trừ đi thành phần xoáy được coi là trường môi trường qui mô nhỏ. Quá trình này được thực hiện cho từng mức mô hình cho lần lượt các biến: tốc độ gió u, v ; nhiệt độ t . Sơ đồ không ban đầu hóa trường độ cao địa thế vị (trường sẽ được mô hình xác định từ cân bằng thủy tĩnh) và trường độ ẩm (chưa được đưa vào nghiên cứu này và được xem là không ảnh hưởng nhiều đến quỹ đạo bão). Các mục tiếp theo sẽ trình bày chi tiết qui trình phân tích xoáy trong HRM_TC.

2.1.1 Xác định trường qui mô lớn

Trước hết, trường phân tích được làm tròn 4 điểm trong một miền (*miền làm tròn 4 điểm*) có kích thước 10×10 độ kinh vĩ và có tâm của miền xấp xỉ trùng với tâm xoáy quan trắc theo công thức:

$$\bar{f}_{i,j} = \frac{1}{4}(f_{i,j-1} + f_{i,j+1} + f_{i-1,j} + f_{i+1,j}) \quad (2.1.3)$$

Quá trình này làm này nhằm loại bỏ một cách cơ bản xoáy ban đầu trong trường phân tích toàn cầu nhưng vẫn giữ lại cấu trúc trường qui mô lớn. Trường nhiễu động được tách ra bằng cách trừ trường phân tích ban đầu cho trường đã làm tròn sơ bộ:

$$f'_{i,j} = f_{i,j} - \bar{f}_{i,j} \quad (2.1.4)$$

Sau khi làm tròn 4 điểm, thành phần môi trường qui mô lớn f_{ij}^{EL} được tách ra từ trường đã làm tròn sơ bộ $\bar{f}_{i,j}$ bằng cách sử dụng sơ đồ lạp Barnes kết hợp với bộ lọc tần thấp (low-pass filter) dưới dạng phép biến đổi Fourier nhanh (FFT- Fast Fourier Transform) một chiều. Ở bước lạp đầu tiên, phép biến đổi FFT cho phép loại bỏ các sóng có bước sóng ngắn cho ta trường môi trường qui mô lớn gần đúng đầu tiên: f_{ij}^{EL} . Trường phần dư đầu tiên nhận được cách lấy trường ban đầu trừ đi trường gần đúng đầu tiên:

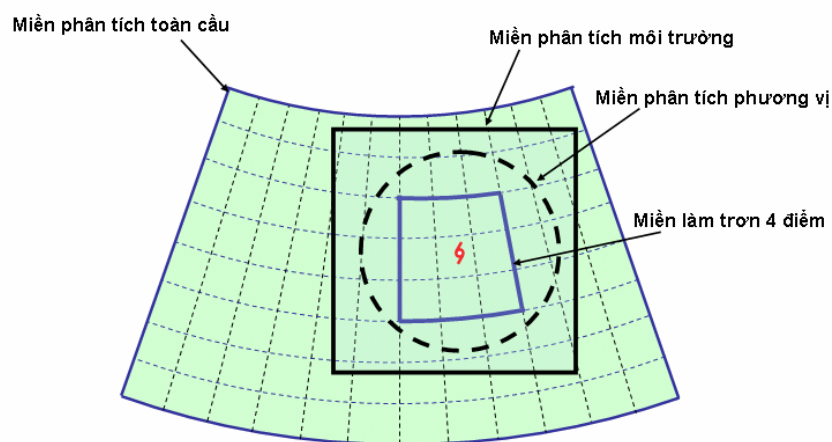
$$f_{ij}^D = \bar{f}_{i,j} - f_{ij}^{EL} \quad (2.1.5)$$

Trường môi trường qui mô lớn phỏng đoán ở bước thứ n nhận được bằng cách làm tròn trường phần dư ở bước trước f_{ijn}^D và đặt:

$$f_{ijn}^{EL} = f_{ijn-1}^{EL} + f_{ijn-1}^D \quad (2.1.6)$$

Quá trình được dừng lại khi sự sai khác giữa trường phỏng đoán bước thứ n và $n-1$ đủ nhỏ để nhận được trường môi trường qui mô lớn f_{ij}^{EL} .

Quá trình này được áp dụng lần lượt cho từng cột và từng hàng của trường ban đầu. Với một bước sóng cho trước λ_r , áp dụng lọc liên tiếp sẽ loại bỏ những sóng có bước sóng nhỏ hơn λ_r . Theo Smith và Weber (1995), giá trị này nằm trong khoảng từ 2500-4000km. Trong những nghiên cứu trong luận án, giá trị λ_r được chọn là hàm của bán kính gió 15m/s, cụ thể $\lambda_r = 12 * R_{15}$. Trong những phương án thử nghiệm ở đây, giá trị R_{15} được lấy từ 200-400km tương ứng với λ_r từ 2400 đến 4800km. Với đặc tính của bộ lọc này, ta cần thực hiện trên một lưới điều hoà (với bước lưới là hằng số) trong hệ toạ độ Đề Các thay cho lưới kinh vĩ. Lưới mới có tâm là vị trí tâm bão quan trắc và có kích thước đủ lớn (từ đây gọi là *miền phân tích môi trường*) (Hình 2.1.1). Những thí nghiệm trong luận án sử dụng miền phân tích môi trường có kích thước 3000×3000km. Trong trường hợp cơn bão nằm gần biên miền tính, lưới này có thể dịch chuyển vào hoặc thu hẹp kích thước sao cho vẫn nằm trọn trong miền phân tích ban đầu (là miền chứa số liệu trường phân tích/dự báo toàn cầu làm đầu vào cho mô hình khu vực) (từ đây gọi là *miền phân tích toàn cầu*). Trường gió được nội suy từ lưới miền toàn cầu sang lưới mới của miền phân tích bằng phương pháp nội suy spline hàm hữu tỉ hai chiều, trong đó khoảng cách không gian được tính bằng các công thức lượng giác cầu. Sau khi lọc, f_{ij}^{EL} được nội suy trở lại lưới kinh vĩ. Miền phân tích được xác định một lần trước khi phân tích cho tất cả các trường khác nhau.



Hình 2.1.1: Minh họa các miền phân tích trong sơ đồ phân tích xoáy bão.

Hiệu của trường ban đầu f_{ij} và trường môi trường qui mô lớn f_{ij}^{EL} là trường phần dư f_{ij}^R :

$$f_{ij}^R = f_{i,j} - f_{ij}^{EL} = (\bar{f}_{i,j} + f'_{i,j}) - f_{ij}^{EL} \quad (2.1.7)$$

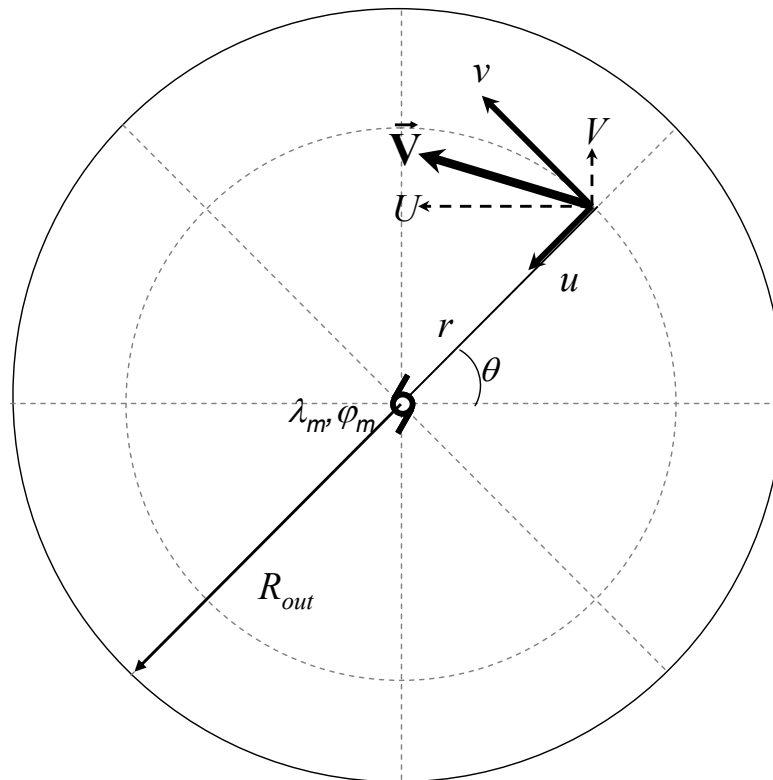
Trường phần dư f_{ij}^R còn lại các thành phần xoáy đối xứng (f_{ij}^{VS}), xoáy phi đối xứng (f_{ij}^{VA}) và trường môi trường qui mô nhỏ (f_{ij}^{ES}). Các thành phần này sẽ được tách ra nhờ phương pháp phân tích phương vị.

2.1.2 Xác định vị trí tâm xoáy phân tích

Tiếp theo, các trường xoáy đối xứng f_{ij}^{VS} và phi đối xứng f_{ij}^{VA} được tách ra bằng cách phân tích Fourier theo phương vị xung quanh tâm xoáy phân tích (λ_m, φ_m) . Tâm xoáy phân tích được xác định là vị trí cực đại đối với trường nhiệt độ trường và trường độ xoáy tương đối (cho Bắc Bán cầu) và là vị trí cực tiểu đối với trường khí áp mực biển. Như vậy, tâm xoáy phân tích đối với mỗi trường khác nhau nói chung không trùng nhau. Quá trình tìm vị trí có giá trị cực trị được thực hiện nhờ phương pháp bằng phương pháp Downhill (Bach, 1969)[23] kết hợp với phương pháp nội suy spline hữu tỉ hai chiều. Phương pháp Downhill tìm cực tiểu của một hàm giải tích hai chiều (ở đây thể hiện qua các hệ số nội suy) thông qua một quá trình lặp. Để phương pháp downhill hội tụ nhanh và tìm được vị trí tâm xoáy chính xác, cần cung cấp một vị trí tâm xoáy phỏng đoán ban đầu. Vị trí tâm xoáy phỏng đoán ban đầu cho mực thấp nhất được xác định là vị trí tâm bão quan trắc, ở các mực tiếp theo, vị trí này được xác định là vị trí tâm xoáy phân tích đã tìm được ở mực bên dưới. Nếu không tìm được tâm xoáy phân tích, trường phân tích ban đầu được phục hồi lại bằng cách cộng trường môi trường qui mô lớn và trường phần dư và quá trình phân tích phương vị được bỏ qua.

2.1.3 Phân tích phương vị

Sau khi xác định được tâm xoáy phân tích (λ_m, φ_m) , *miền phân tích phương vị* sẽ được xây dựng là một hệ toạ độ cực có tâm là (λ_m, φ_m) nằm trong vòng tròn bán kính bằng $R_{out} = 1000\text{km}$ nằm trọn trong miền phân tích môi trường. Miền phân tích phương vị được xác định lại cho mỗi trường khác nhau và các mực khác nhau tùy theo vị trí tâm xoáy phân tích được tìm ra. Lưới của miền phương vị bao gồm 301 vòng bán kính và 64 điểm nút trên mỗi vòng. Trường phân dư f_{ij}^R được nội suy về miền phân tích phương vị bằng phương pháp nội suy spline hữu tỷ hai chiều. Riêng đối với các thành phần gió sau khi nội suy, các thành phần phân dư của gió kinh hướng, vĩ hướng U^R, V^R được chuyển đổi về trường gió pháp tuyến và tiếp tuyến u^R, v^R (Hình 2.1.2)



Hình 2.1.2: Sơ đồ miền phân tích phương vị và sự phân tích vector gió \vec{V} thành các thành phần gió bán kính u và tiếp tuyến v hoặc gió kinh hướng U và vĩ hướng V .

Công thức chuyển đổi từ gió kinh vĩ sang gió tiếp tuyến và bán kính là:

$$\begin{aligned}v^R(r, \theta) &= -U^R(r, \theta)\sin\theta + V^R(r, \theta)\cos\theta \\u^R(r, \theta) &= U^R(r, \theta)\cos\theta + V^R(r, \theta)\sin\theta\end{aligned}\tag{2.1.8}$$

Với r là bán kính và θ là góc phương vị; U^R và V^R lần lượt là các thành phần gió kinh hướng và vĩ hướng trên các điểm lưới của miền phương vị, còn u^R và v^R lần lượt là các thành phần gió bán kính và gió tiếp tuyến. Công thức chuyển đổi từ gió tiếp tuyến, pháp tuyến sang gió kinh, vĩ là:

$$\begin{aligned}U^R(r, \theta) &= u^R(r, \theta)\cos\theta - v^R(r, \theta)\sin\theta \\V^R(r, \theta) &= u^R(r, \theta)\sin\theta + v^R(r, \theta)\cos\theta\end{aligned}\tag{2.1.9}$$

Sau khi nội suy về hệ tọa độ của miền phương vị, một biến trường phần dư $f^R(r, \theta)$ bất kì có thể khai triển Fourier cho từng vòng bán kính theo phương vị (θ) dưới dạng:

$$\begin{aligned}f^R(r, \theta) &= f_0(r) + [f_{1C}(r)\cos\theta + f_{1S}(r)\sin\theta] + \\&\quad + \sum_{k>1} [f_{kC}(r)\cos\theta + f_{kS}(r)\sin\theta] \\&= f^{VS}(r) + f^{VS}(r, \theta) + f^{ES}(r, \theta)\end{aligned}\tag{2.1.10}$$

trong đó f_{kC} và f_{kS} là các hệ số Fourier thứ k , tổng của các số hạng thứ k trong ngoặc vuông được gọi là phân bố sóng số k trong phân tích phương vị. Như vậy, theo sơ đồ này, thành phần xoáy đối xứng phân tích chính là thành phần sóng số 0 trong phân tích phương vị, còn thành phần xoáy phi đối xứng là sóng số 1 (có 1 cực đại và 1 cực tiểu khi đi hết một vòng bán kính). Các phân bố sóng có số sóng cao hơn (bước sóng ngắn hơn) được xem là thành phần trường môi trường qui mô nhỏ.

Trước khi nội suy trở lại miền phân tích, các phân bố đối xứng và phi đối xứng được làm trơn theo bán kính sao cho có giá trị tiến dần về 0 khi bán kính tiến từ R_{smo1} đến R_{smo2} , với $R_{smo1} < R_{smo2} < R_{outs}$, bằng cách đơn giản sử dụng công thức làm trơn theo bán kính có dạng:

$$f_{smo}(r) = f(r)[1 - s^2 \exp(1 - s^2)] \quad \text{với } s = (r - R_{smo1}) / (R_{smo2} - R_{smo1}) \quad (2.1.11)$$

trong đó, $f(r)$ là phân bố theo bán kính của thành phần đối xứng hoặc phi đối xứng, $f_{smo}(r)$ là phân bố đã làm trơn. Các bán kính R_{smo1} , R_{smo2} nhận các giá trị tương ứng là $1.5 \times R_{15}$ và $4.5 \times R_{15}$ với thành phần xoáy đối xứng; $1.5 \times R_{15}$ và $3 \times R_{15}$ đối với thành phần xoáy phi đối xứng.

Các trường xoáy đối xứng f_{ij}^{VS} , xoáy phi đối xứng f_{ij}^{VA} nhận được bằng cách nội suy từ miền phương vị trở lại miền phân tích. Trường môi trường qui mô nhỏ f_{ij}^{ES} nhận được bằng cách loại f_{ij}^{VS} và f_{ij}^{VA} ra khỏi trường phần dư f_{ij}^R :

$$f_{ij}^{ES} = f_{ij}^R - (f_{ij}^{VS} + f_{ij}^{VA}) \quad (2.1.12)$$

Trường môi trường tổng cộng được xác định bởi:

$$f_{ij}^E = f_{ij}^{ES} + f_{ij}^{EL} \quad (2.1.13)$$

Trường xoáy được loại bỏ khỏi trường ban đầu, tuy thế phân bố gió tiếp tuyến đối xứng được giữ lại để áp dụng trong quá trình xây dựng xoáy nhân tạo sau này.

2.2 Phương pháp xây dựng xoáy ba chiều cân bằng

Giả sử, bằng cách nào đó (lý thuyết hoặc bán thực nghiệm) đã xây dựng được một phân bố gió là hàm giải tích của bán kính r và độ cao z ($v=v(r, z)$), bài toán đặt ra là xác định các yếu tố khí tượng còn lại ở trạng thái cân bằng với trường gió cho trước.

Trong hệ tọa độ bán kính – độ cao (r, z) , phương trình gió gradien và phương trình thủy tĩnh có thể viết dưới dạng:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho C \quad (2.2.1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad (2.2.2)$$

Hay dưới dạng khác:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial r}, \frac{\partial p}{\partial z} \right) = \rho(C, -g) \quad (2.2.3)$$

trong đó:

$$C = \frac{v^2}{r} + fv \quad (2.2.4)$$

là tổng của các lực quán tính và lực Coriolis, v – gió tiếp tuyến, r – bán kính, z – độ cao, p – khí áp, f – tham số Coriolis, ρ – mật độ và g là gia tốc trọng trường. Từ (2.2.1) và (2.2.2), lấy vi phân chéo để loại bỏ p ta sẽ nhận được phương trình sau:

$$\frac{\partial}{\partial r} \ln \rho + \frac{C}{g} \frac{\partial}{\partial z} \ln \rho = -\frac{1}{g} \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2.2.5)$$

Các mặt đặc trưng của (4) thỏa mãn:

$$\frac{dz}{dr} = \frac{C}{g} \quad (2.2.6)$$

Trên các mặt này ta có:

$$\frac{d}{dr} \ln \rho = -\frac{1}{g} \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2.2.7)$$

Từ (2.2.6), nếu dịch chuyển một khoảng cách nhỏ (dr, dz) trên các mặt đặc trưng, ta có $(dr, dz) \cdot (C, -g) = 0$; từ (2.2.3) suy ra $(dr, dz) \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial r}, \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 0$, hay tiếp tuyến tại điểm bất kỳ của mặt đặc trưng vuông góc với vec tơ gradien khí áp. Điều đó, cũng có nghĩa là những mặt đặc trưng của (2.2.5) là các mặt đẳng áp. Phương trình (2.2.7) cho biết sự biến đổi của $\ln \rho$ (và do đó, ρ) trên các mặt đẳng áp tỷ lệ với $\frac{\partial v}{\partial z}$. Nếu $\frac{\partial v}{\partial z} > 0$, thì mật độ ρ giảm và tương ứng nhiệt độ T tăng khi bán kính tăng. Tức là, nếu xét trên các mặt đẳng áp, một xoáy thuận cân bằng sẽ có “lõi lạnh”. Ngược lại, với trường hợp $\frac{\partial v}{\partial z} < 0$, xoáy sẽ có “lõi nóng”.

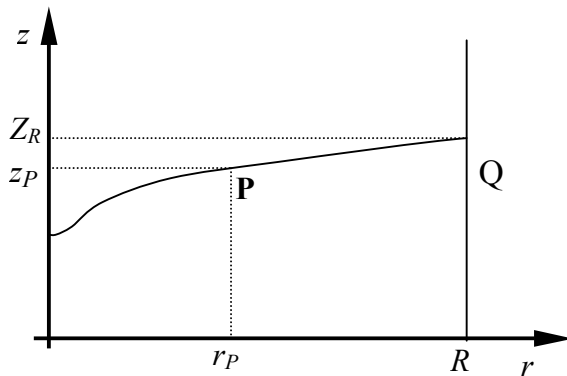
Đối với bài toán ban đầu hóa xoáy cân bằng trong mô hình số, vấn đề cơ bản là xác định trường mật độ cân bằng ứng với một phân bố gió tiếp tuyến $v(r, z)$ cho trước khi đã biết giá trị của mật độ môi trường $\rho_0(R, z)$ và khí áp môi trường $p_0(R, z)$

tại khoảng cách bán kính phía ngoài R và độ cao z nào đó. Giả thiết rằng các xoáy thuận nhiệt đới điển hình có $\frac{\partial v}{\partial z} < 0$. Khi đó bài toán có thể được giải quyết một cách chính xác khi sử dụng các phương trình (2.2.6) và (2.2.7). Ta có thể thiết lập một hệ tọa độ cực gồm các nút lưới theo bán kính và độ cao. Xét tại một nút lưới bất kì $P(r_p, z_p)$ nào đó, ta tích phân (2.2.6) ra phía ngoài để xác định được độ cao Z_R của mặt đẳng áp đi qua $P(r_p, z_p)$ tại bán kính ngoài R nào đó; từ (2.2.7), có thể xác định được sự thay đổi của mật độ giữa $P(r_p, z_p)$ và $Q(R, Z_R)$. Vì mật độ ρ và khí áp p tại các điểm (R, z) đã biết, nên ta có thể xác định được ρ và p cũng như nhiệt độ tại P khi sử dụng phương trình khí lý tưởng (Hình 2.2.1).

Tuy nhiên, trong mô hình WRF cũng như nhiều mô hình dự báo qui mô vừa và khác, thay vì hệ tọa độ thẳng đứng là độ cao, người ta thường sử dụng hệ tọa độ sigma:

$$\sigma = \frac{p - p_t}{p_s - p_t} \quad (2.2.8)$$

với p_s - khí áp tại bề mặt và p_t - khí áp tại đỉnh mô hình. Khi đó phương trình (2.2.3) có thể được viết dưới dạng:



Hình 2.2.1: Sơ đồ xác định mật độ của xoáy cân bằng trong hệ tọa độ (r, z) . Điểm nút lưới đang xét (P), giả sử phân bố mật độ môi trường theo độ cao (tại $r=R$) đã biết.

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial r}, \frac{\partial \phi}{\partial \sigma} \right) = \left(C - \sigma \alpha \frac{\partial p_s}{\partial r}, -\alpha (p_s - p_t) \right) \quad (2.2.9)$$

Hay, sau khi thực hiện phép biến đổi, ta nhận được:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial r} - \alpha \frac{\partial}{\partial r} \ln(p_s - p_t) \frac{\partial \alpha}{\partial \sigma} = -\frac{1}{p_s - p_t} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \quad (2.2.10)$$

Các mặt đặc trưng của phương trình này thỏa mãn:

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\sigma \frac{\partial}{\partial r} \ln(p_s - p_t) \quad (2.2.11)$$

và có nghiệm:

$$\sigma(p_s - p_t) = \text{const} \quad (2.2.12)$$

Đây cũng chính là các mặt đẳng áp. Từ phương trình (2.2.10), trên các mặt đặc trưng, ta có:

$$\frac{d\alpha}{dr} = -\frac{1}{(p_s - p_t)} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \quad (2.2.13)$$

với $\alpha = 1/\rho$.

Trong trường hợp này, việc xác định trường mật độ gặp khó khăn khi các mặt đặc trưng (2.2.12) thực chất là các mặt đẳng áp trong khi ta cần giá trị các trường trên các mặt sigma. Thực tế, việc xác định trường mật độ lại đơn giản hơn bằng việc phân tích theo độ cao (vì phân bố gió phụ thuộc vào bán kính và độ cao, nên đạo hàm của C theo z (2.2.7) sẽ dễ thực hiện hơn theo σ (phương trình (2.2.13)). Ở đây, các giá trị khí áp, mật độ, độ cao tại tâm của xoáy (sẽ xây dựng) tại các mực sigma của trường ban đầu được cho là các giá trị nền hay trường môi trường. Khi đó sẽ tính được trường mật độ và độ cao trên các mặt đẳng áp (nền). Phân bố của khí áp bề mặt theo bán kính $p_s(r)$ cũng sẽ được xác định bằng cách tích phân phương trình (2.2.6) từ điểm cần xét ra phía ngoài để tìm độ cao của mặt đẳng áp $p = p_s(r)$ tại bán kính ngoài. Khi biết được khí áp bề mặt, có thể tính chính xác khí áp tại mỗi điểm trong hệ tọa độ σ theo định nghĩa. Từ đó, mật độ và độ cao có thể nội suy theo khí áp từ các giá trị đã tính được trên các mặt đẳng áp nền.

2.3 Khảo sát sơ đồ xây dựng xoáy cân bằng

Như đã trình bày trên đây, ngoài sự tinh xảo của mô hình, độ chính xác của các mô hình số dự báo bão phụ thuộc chủ yếu vào độ chính xác của trường ban đầu. Một trong những phương pháp cải thiện trường ban đầu là thực hiện bài toán ban đầu hóa xoáy mà nội dung cơ bản là xây dựng được một xoáy nhân tạo có cấu trúc và cường độ phù hợp với xoáy bão thực để thay thế xoáy có cường độ yếu, sai lệch vị trí trong trường phân tích. Để làm được điều đó, xoáy nhân tạo cần mô tả được một cách gần đúng nhất cấu trúc và cường độ của xoáy bão thực. Muốn vậy, cần phải có sự hiểu biết đầy đủ về sự tiến triển của xoáy bão trong quá trình tồn tại cũng như sự tương tác giữa nó với các yếu tố bên ngoài. Một trong những cách tiệm cận để đạt được điều đó là thực hiện bài toán nghiên cứu lý tưởng hóa. Có thể mô tả tóm tắt bài toán này như sau. Trên cơ sở một mô hình nào đó đã được chọn, bằng việc tạo ra những điều kiện môi trường lý tưởng và cô lập chúng trong một số tùy chọn cụ thể, rồi “chồng” lên đó một xoáy lý tưởng, tiến hành tích phân mô hình để khảo sát ảnh hưởng của các quá trình khác nhau đối với sự tiến triển của xoáy. Ứng với mỗi một tình huống cụ thể của điều kiện môi trường, xoáy lý tưởng ban đầu cũng có thể được thiết lập theo các sơ đồ khác nhau, và ngược lại.

Nhằm mục đích xác định được một sơ đồ xây dựng xoáy nhân tạo phù hợp cho bài toán ban đầu hóa xoáy mà luận án sẽ đề cập tới, trong chương này sẽ trình bày phương pháp xây dựng xoáy cân bằng (Smith (2005)) [75] và khảo sát một số quá trình có tác động đến cấu trúc và sự tiến triển của xoáy. Mô hình số được chọn để tiến hành nghiên cứu là mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết WRF. Đây là một mô hình số hiện đại và rất thuận tiện cho việc thiết lập khảo sát các nghiên cứu lý tưởng.

2.3.1 Tổng quan về mô hình WRF

Mô hình Nghiên cứu và Dự báo Thời tiết WRF (Weather Research and Forecasting) là một hệ thống gồm nhiều modul khác nhau, được phát triển bởi sự hợp tác giữa một số trung tâm khí tượng lớn của Hoa Kỳ, như trung tâm Quốc gia

ngiên cứu khí quyển (NCAR), trung tâm Quốc gia dự báo môi trường (NCEP), cục khí tượng không quân (AFWA), v.v... Dự án xây dựng WRF nhằm mục đích chính là có được một mô hình khu vực vừa có thể áp dụng trong dự báo nghiệp vụ vừa làm công cụ nghiên cứu các quá trình qui mô vừa. WRF ra đời và phát triển dựa trên sự kế thừa những thành tựu trong lĩnh vực mô hình hóa thời tiết và khí hậu, mặt khác nó cũng được thiết kế để có thể áp dụng và hướng tới các phương pháp hiện đại trong phân tích, xử lý và đồng hóa số liệu. Mô hình WRF cho phép sử dụng các tùy chọn khác nhau đối với tham số hóa các quá trình vật lý, như tham số hóa bức xạ, tham số hóa lớp biên hành tinh, tham số hóa đối lưu mây tích, khuếch tán xoáy rối qui mô dưới lưới hay các quá trình vi vật lý khác.

Hiện tại WRF có hai phiên bản là phiên bản nghiên cứu nâng cao ARW (Advanced Research WRF) và phiên bản mô hình qui mô vừa phi thủy tĩnh NMM (Nonhydrostatic Meso Model). Với mục đích nghiên cứu lý tưởng, luận án này đã sử dụng phiên bản ARW làm công cụ chính.

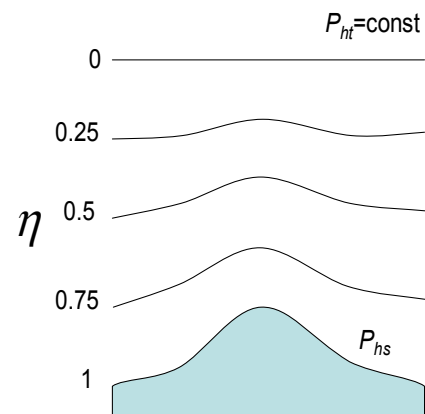
2.3.1.1 Hệ tọa độ thẳng đứng và các biến thông lượng

Các phương trình trong mô hình ARW được xây dựng cho hệ tọa độ thẳng đứng thủy tĩnh theo địa hình, ký hiệu là η , được định nghĩa bởi:

$$\eta = (p_h - p_{ht}) / \mu \quad \text{với} \quad \mu = p_{hs} - p_{ht} \quad (2.3.1)$$

trong đó p_h là thành phần thủy tĩnh của khí áp, p_{hs} và p_{ht} là các giá trị dọc theo bề mặt và biên trên tương ứng. Bởi $\mu(x, y)$ thể hiện khối lượng của cột khí quyển có diện tích đơn vị tại ô lưới (x, y) của miền tính, nên ARW sử dụng các biểu thức ở dạng thông lượng có dạng:

$$\mathbf{V} = \mu \mathbf{v} = (U, V, W), \quad \Omega = \mu \dot{\eta}, \quad \Theta = \mu \theta \quad (2.3.2)$$



Hình 2.3.1: Tọa độ thẳng đứng η của ARW.

trong đó, $\mathbf{v} = (u, v, w)$ là vector gió, $\omega = \dot{\eta}$ là tốc độ thẳng đứng trong hệ tọa độ η , θ là nhiệt độ thế vi, $\phi = gz$ là địa thế vi, p là khí áp, α là thể tích riêng được định nghĩa là nghịch đảo của mật độ ρ .

2.3.1.2 Hệ phương trình cơ bản

Sử dụng các biến định nghĩa trong (2.3.1.1), theo Laprise (1992) [54], các phương trình Euler dạng thông lượng có thể viết dưới dạng:

$$\partial_t U + (\nabla \cdot \mathbf{V}u) - \partial_x(p\phi_\eta) + \partial_\eta(p\phi_x) = F_U \quad (2.3.3)$$

$$\partial_t V + (\nabla \cdot \mathbf{V}v) - \partial_y(p\phi_\eta) + \partial_\eta(p\phi_y) = F_V \quad (2.3.4)$$

$$\partial_t W + (\nabla \cdot \mathbf{V}w) - g(\partial_\eta p - \mu) = F_W \quad (2.3.5)$$

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot \mathbf{V}\theta) = F_\Theta \quad (2.3.6)$$

$$\partial_t \mu + (\nabla \cdot \mathbf{V}) = 0 \quad (2.3.7)$$

$$\partial_t \phi + \mu^{-1}[(\mathbf{V} \cdot \nabla \phi) - gW] = 0 \quad (2.3.8)$$

Phương trình thủy tĩnh:

$$\partial_\eta \phi = -\alpha \mu \quad (2.3.9)$$

Phương trình trạng thái:

$$p = p_0 (R_d \theta / p_0 \alpha)^\gamma \quad (2.3.10)$$

trong đó, các chỉ số dưới x , y , η trong các phương trình từ (2.3.3) – (2.3.23) là chỉ ký hiệu vi phân, và:

$$\nabla \cdot \mathbf{V}a = \partial_z(Ua) + \partial_y(Va) + \partial_\eta(\Omega a) \quad (2.3.11)$$

$$\mathbf{V} \cdot \nabla a = U\partial_z a + V\partial_y a + \Omega\partial_\eta a \quad (2.3.12)$$

trong đó a biểu diễn một biến bất kỳ, $\gamma=c_p/c_v=1.4$ là tỷ số của nhiệt dung đẳng áp và nhiệt dung đẳng tích cho không khí khô, R_d là hằng số khí khô, p_0 là khí áp tham chiếu (1000hPa), các số hạng vế phải F_A để chỉ các ngoại lực.

Đối với trường hợp không khí ẩm các phương trình trên được viết như sau:

Hệ tọa độ thẳng đứng:

$$\eta = (p_{ah} - p_{ah}) / \mu_d \quad (2.3.13)$$

Tương tự cho các biến dạng thông lượng:

$$\mathbf{V} = \mu_d \mathbf{v}, \quad \Omega = \mu_d \dot{\eta}, \quad \Theta = \mu_d \theta \quad (2.3.14)$$

Theo đó, các phương trình Euler ẩm được viết dưới dạng:

$$\partial_t U + (\nabla \cdot \mathbf{V}u) + \mu_d \alpha \partial_x p + (\alpha/\alpha_d) \partial_\eta p \partial_x \phi = F_U \quad (2.3.15)$$

$$\partial_t V + (\nabla \cdot \mathbf{V}v) + \mu_d \alpha \partial_y p + (\alpha/\alpha_d) \partial_\eta p \partial_y \phi = F_V \quad (2.3.16)$$

$$\partial_t W + (\nabla \cdot \mathbf{V}w) - g[(\alpha/\alpha_d) \partial_\eta p - \mu_d] = F_W \quad (2.3.17)$$

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot \mathbf{V}\theta) = F_\Theta \quad (2.3.18)$$

$$\partial_t \mu_d + (\nabla \cdot \mathbf{V}) = 0 \quad (2.3.19)$$

$$\partial_t \phi + \mu_d^{-1}[(\mathbf{V} \cdot \nabla \phi) - gW] = 0 \quad (2.3.20)$$

$$\partial_t Q_m + (\mathbf{V} \cdot \nabla Q_m) = F_{Q_m} \quad (2.3.21)$$

Phương trình thủy tĩnh có dạng:

$$\partial_\eta \phi = -\alpha_d \mu_d \quad (2.3.22)$$

Phương trình cảnh báo cho khí áp toàn phần (không khí khô và hơi nước)

$$p = p_0 (R_d \theta_m / p_0 \alpha_d)^\gamma \quad (2.3.23)$$

trong đó, α_d là thể tích riêng của không khí khô; α là thể tích riêng của không khí đầy đủ: $\alpha = \alpha_d(1 + q_v + q_c + q_r + q_i + \dots)^{-1}$; q_* là tỷ hỗn hợp của hơi nước, nước mây, nước mưa, băng mây (là tỉ số khối lượng của thực thể ẩm trên khối lượng không khí khô); $\theta_m = \theta[1 + (R_v/R_d)q_v] \approx \theta(1 + 1.61q_v)$ là nhiệt độ thế vị ảo.

Các phương trình (2.3.15)–(2.3.21) chưa phải là dạng cuối cùng của ARW mà chúng còn được chuyển về dạng có sử dụng phép chiếu bản đồ. ARW có thể sử dụng ba kiểu phép chiếu: phép chiếu Mercator cho vùng xích đạo, phép chiếu Lambert cho vùng vĩ độ trung bình và phép chiếu cực. Trong miền tích toán của ARW, các bước lưới Δx , Δy là hằng số, để biến đổi hệ phương trình sang miền tính cần sử dụng một *hệ số bản đồ* m được định nghĩa là tỷ số của các khoảng cách trên miền tính chia cho khoảng cách tương ứng trên bề mặt trái đất.

$$m = \frac{(\Delta x, \Delta y)}{\text{khoảng cách thực trên trái đất}} \quad (2.3.24)$$

Trường gió với hệ số bản đồ được định nghĩa lại như sau:

$$U = \mu_D u / m, \quad V = \mu_D v / m, \quad W = \mu_D w / m, \quad \Omega = \mu_D \overset{\square}{\eta} / m$$

Sử dụng các biến ở trên, hệ phương trình cơ bản của ARW khi có biểu diễn phép chiếu bản đồ và hiệu ứng Coriolis có thể được viết như sau:

$$\partial_t u + m[\partial_x(Uu) + \partial_y(Vu)] + \partial_\eta(\Omega u) + \partial_\eta \alpha \partial_x p + (\alpha / \alpha_d) \partial_\eta p \partial_x \phi = F_U \quad (2.3.25)$$

$$\partial_t W + m[\partial_x(Uw) + \partial_y(Vw)] + \partial_\eta(\Omega w) - m^{-1} g[(\alpha / \alpha_d) \partial_\eta p - \mu_d] = F_W \quad (2.3.26)$$

$$\partial_t V + m[\partial_x(Uv) + \partial_y(Vv)] + \partial_\eta(\Omega v) + \partial_\eta \alpha \partial_y p + (\alpha / \alpha_d) \partial_\eta p \partial_y \phi = F_V \quad (2.3.27)$$

$$\partial_t \Theta + m^2[\partial_x(U\theta) + \partial_y(V\theta)] + m \partial_\eta(\Omega \theta) = F_\Theta \quad (2.3.28)$$

$$\partial_t \mu_d + m^2[U_x + U_y] + m \partial_\eta(\Omega) = 0 \quad (2.3.29)$$

$$\partial_t \phi + \mu_d^{-1}[m^2(U\phi_x + V\phi_y) + m\Omega\phi_\eta - gW] = 0 \quad (2.3.30)$$

$$\partial_t Q_m + m^2 [\partial_x (Uq_m) + \partial_y (Vq_m)] + m \partial_\eta (\Omega q_m) = F_{Q_m} \quad (2.3.31)$$

cùng với quan hệ của địa thế vị và thể tích không khí khô

$$\partial_\eta \phi = -\alpha_d \mu_d \quad (2.3.32)$$

và biểu thức của áp suất toàn phần (hơi nước cộng với không khí khô)

$$p = p_0 (R_d \theta_m / p_0 \alpha_d)^\gamma \quad (2.3.33)$$

Vế phải của (2.23) – (2.25) ngoài thành phần rối và lực còn bao gồm hiệu ứng Coriolis và độ cong của trái đất. Hiệu ứng Coriolis và độ cong được viết như sau:

$$F_{U_{cor}} = +(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x})V - eW \cos \alpha_r - \frac{uW}{r_e} \quad (2.3.34)$$

$$F_{V_{cor}} = -(f + u \frac{\partial m}{\partial y} - v \frac{\partial m}{\partial x})U + eW \sin \alpha_r - \frac{vW}{r_e} \quad (2.3.35)$$

$$F_{W_{cor}} = +e(U \cos \alpha_r - V \sin \alpha_r) + \left(\frac{uU + vV}{r_e} \right) \quad (2.3.36)$$

với α_r là góc quay địa phương giữa trục y và kinh tuyến, ψ là vĩ độ, $f = 2\Omega_e \sin \psi$, $e = 2\Omega_e \cos \psi$, Ω_e là tần số góc của trái đất, và r_e là bán kính trái đất (trong trường hợp này ta coi bán kính trái đất là hằng số).

2.3.1.3 Tham số hóa vật lý

Mô hình ARW cho phép người dùng thiết lập nhiều tùy chọn tham số hóa vật lý khác nhau.

Vi vật lý (microphysics) là các quá trình vật lý hiện liên quan đến hơi nước, mây và giáng thủy. ARW cho phép lựa chọn các sơ đồ tham số hóa vi vật lý sau:

- Sơ đồ Kessler: là một sơ đồ đơn giản bao gồm hơi nước, nước mây và mưa (được xếp vào loại sơ đồ *mây ấm* vì không bao gồm băng mây)

- Sơ đồ Purdue Lin: bao gồm 6 loại thực thể của nước: hơi nước, nước mây, mưa, băng mây, tuyết và mưa đá.
- Sơ đồ WSM3: còn gọi là sơ đồ *băng đơn giản*, bao gồm 3 nhóm thực thể của nước: hơi nước, băng mây/nước mây, và mưa/tuyết.
- Sơ đồ WSM5: tương tự như WSM3 nhưng các thực thể được xếp vào 5 nhóm riêng biệt: hơi nước, băng mây, nước mây, mưa, và tuyết; chính vì thế nó cho phép tồn tại nước quá lạnh hay tuyết ở dưới mực đóng băng.
- Sơ đồ WSM6: gồm 6 nhóm là mở rộng của WSM5 để gộp thêm loại mưa đá và các quá trình liên quan.
- Sơ đồ Eta Ferrier (Còn được biết tới với tên gọi EGCP01, là sơ đồ mây và giáng thủy qui mô lưới mô hình Eta-2001): bao gồm nước mây, mưa, băng mây và giáng thủy băng (tuyết/mưa đá/mưa đóng băng).
- Sơ đồ Thompson và nnk. (2004) bao gồm 6 thực thể của nước cùng với biến dự báo mật độ băng.

Tham số hóa đối lưu (Cumulus parameterization) nhằm nắm bắt được các hiệu ứng dưới lưới của mây đối lưu sâu và/hoặc đối lưu nông, bao gồm:

- Sơ đồ Kain-Fritsh: dựa trên Kain và Fritsh (1990) và Kain và Fritsh (1993), sử dụng một mô hình mây với dòng giáng và dòng thăng bao gồm cả các hiệu ứng dòng cuốn vào, cuốn ra.
- Sơ đồ Betts-Miller-Janjic: (BMJ) (Janjic, 1994, 2000) được phát triển từ sơ đồ điều chỉnh Best-Miller (BM) (Betts, 1986; Betts và Miller, 1986)
- Sơ đồ tổ hợp Grell-Devenji (Grell và Devenji, 2002) là một dạng tổ hợp các sơ đồ tham số hóa đối lưu, kết quả của các sơ đồ với các đặc tính khác nhau được lấy trung bình để hội tiếp lại mô hình.

Tham số hóa lớp sát đất (Surface layer) nhằm tính toán tốc độ ma sát và các hệ số trao đổi để tính các thông lượng nhiệt và ẩm trong sơ đồ bề mặt đất và ứng suất bề mặt trong sơ đồ lớp biên hành tinh. Trên bề mặt nước, các thông lượng này được tính bởi chính các sơ đồ tham số hóa lớp sát đất. Trong ARW sử dụng 2 sơ đồ lớp sát đất:

- Sơ đồ lớp sát đất MM5 sử dụng các hàm ổn định của Paulson (1970), Dyer và Hicks (1970) và Web (1970). Sơ đồ này phải chạy kết hợp với các sơ đồ bề mặt MRF và sơ đồ lớp biên hành tinh YSU;
- Sơ đồ lớp sát đất Eta, (còn gọi là sơ đồ MYJ) dựa trên thuyết tương tự của Monin và Obukhov (1954). Sơ đồ này phải chạy kết hợp với sơ đồ lớn biên hành tinh ETA (Mellor-Yamada-Janjic).

Các mô hình bề mặt đất đất (Land-Surface Model, LSM) sử dụng các thông tin khí quyển từ sơ đồ lớp sát đất, giáng thủy từ các sơ đồ vi vật lý và tham số hóa đối lưu, cùng với các biến trạng thái đất và đặc tính bề mặt đất để tính toán các thông lượng ẩm và nhiệt từ bề mặt. Các mô hình đất xử lý thông lượng ẩm, nhiệt trong các lớp đất, các hiệu ứng liên quan đến thực vật, rễ, tán cây và độ phủ tuyết. Các mô hình bề mặt đất là một chiều và không có tương tác giữa các ô lưới kề nhau. Các mô hình đất trong ARW bao gồm:

- Mô hình khuếch tán nhiệt 5 lớp: Mô hình này tính đến cân bằng năng lượng bức xạ, ẩn nhiệt và hiển nhiệt. Tuy có tính đến độ phủ tuyết nhưng giá trị hằng số. Các lớp phủ bề mặt được giữ cố định trong từng mùa và không có hiệu ứng hiện của thực vật.
- Mô hình Noah 4 lớp: Mô hình này có tính đến độ ẩm của tán cây, các hiệu ứng rễ thực vật, các quá trình bốc thoát hơi, sự ngấm nước trong đất. Các loại thực vật, kiểu đất và độ phủ thực vật được cập nhật theo tháng.

- Mô hình chu trình cập nhật nhanh (RUC) gồm 6 lớp đất và 2 lớp tuyết. Mô hình tính đến các quá trình đóng băng trong đất, mật độ và nhiệt độ tuyết, các hiệu ứng thực vật và tán cây.

Tham số hóa lớp biên hành tinh (Planetary Boundary Layer, PBL) tính đến các thông lượng thẳng đứng qui mô dưới lưới do vận chuyển rối không phải chỉ trong lớp biên mà cho toàn bộ cột khí quyển. Trong ARW bao gồm các sơ đồ lớp biên hành tinh:

- Sơ đồ MRF, là sơ đồ lớp biên hành tinh của mô hình dự báo hạn vừa. Sơ đồ này sử dụng thông lượng phản gradient (counter-gradient flux) để tính ẩm và nhiệt trong điều kiện bất ổn định.
- Sơ đồ YSU, của đại học Yonsei, phát triển lên từ MRF bằng cách tính toán hiện lớp cuộn vào ở đỉnh lớp biên.
- Sơ đồ MYJ, hay Mellor-Yamada-Janjic, sơ đồ này tham số hóa rối trong lớp biên và khí quyển tự do sử dụng mô hình khép kín của Mellor-Yamada.

Tham số hóa bức xạ khí quyển nhằm cung cấp đốt nóng bức xạ do các quá trình hấp thụ, phản xạ và tán xạ bức xạ sóng ngắn từ mặt trời và bức xạ sóng dài từ bề mặt trái đất. Các sơ đồ tham số hóa bức xạ trong ARW bao gồm:

- Sơ đồ sóng dài RRTM, tính đến độ dày quang học của mây và các quá trình sóng dài liên quan đến các chất khí như Ozone, CO₂ và hơi nước và các khí hiếm.
- Sơ đồ sóng ngắn và sóng dài Eta GFDL, tính đến hiệu ứng của Ozone, CO₂ và hơi nước.
- Sơ đồ sóng ngắn MM5 (Dudhia), tính đến hiệu ứng do hấp thụ bức xạ bởi hơi nước, khuếch tán trời trong, hấp thụ và phản xạ do mây.

- Sơ đồ sóng ngắn Goddard là một sơ đồ với 11 dải phổ và tính đến bức xạ mặt trời trực tiếp và khuếch tán.

2.3.1.4 Điều kiện biên

Trong dự báo nghiệp vụ hoặc mô phỏng khí quyển thực ARW sử dụng điều kiện biên phụ thuộc thời gian lấy từ mô hình toàn cầu được gọi là *điều kiện biên chỉ định* (specified) hay điều kiện biên lỏng dần (relaxation). Điều kiện biên chỉ định còn được dùng để cập nhật số liệu từ miền mẹ phân giải thô vào miền con phân giải tinh hơn.

Đối với các bài toán nghiên cứu lý tưởng ARW cho phép sử dụng ba loại điều kiện biên lý thuyết: *tuần hoàn*, *mở* và *đối xứng*. Khi sử dụng *điều kiện biên tuần hoàn* một biến ψ bất kỳ phải thỏa mãn hệ thức $\psi(x + nL_x, y + mL_y) = \psi(x, y)$ với n, m là các số nguyên bất kỳ và L_x, L_y là các độ dài tuần hoàn tương ứng được tính bằng độ rộng của miền tính theo chiều x và y. *Điều kiện biên mở* hay điều kiện biên bức xạ sóng trọng trường theo Klemp và Lilly 1978. Phương trình chuyển động tại biên có dạng $\frac{\partial U}{\partial t} = -U^* \frac{\partial u}{\partial x}$, trong đó $U^* = \min(U - c_b, 0)$ tại biên trái và $\min(U + c_b, 0)$ tại biên phải, với c_b là tốc độ pha của sóng trọng trường là một hằng số của mô hình. *Điều kiện biên đối xứng*, trong đó vận tốc pháp tuyến tại biên bằng không và ở 2 phía thỏa mãn: $U_{\perp}(x_b - x) = -U_{\perp}(x_b + x)$ với x_b là vị trí của biên đối xứng. Tất cả các biến khác thỏa mãn $\psi_{\perp}(x_b - x) = \psi_{\perp}(x_b + x)$.

2.3.2 Cấu hình thí nghiệm

Với thiết kế mở của WRF, để tiến hành khảo sát sự tiến triển của xoáy trong môi trường lý tưởng chúng tôi đã xây dựng bổ sung một modul ban đầu hóa xoáy và lồng ghép vào bộ mô hình WRF 2.1. Xoáy trong trường ban đầu được khởi tạo là một xoáy cân bằng như đã đề cập ở mục 2.2. Cấu hình của WRF được thiết lập trong các thí nghiệm ở đây là:

- Độ phân giải ngang 20 km, với 101x101 nút lưới ngang.

- 21 mực nguyên thẳng đứng, độ cao đỉnh mô hình là 20km.
- Tham số Coriolis được xét là hằng số trên toàn miền (mặt f) và được lấy giá trị tại vĩ độ 15N.

Trên nguyên tắc khảo sát từ trường hợp đơn giản đến phức tạp, các thí nghiệm được thiết kế sao cho có thể xác định được những nhân tố ảnh hưởng đến quá trình phát triển của xoáy. Việc xây dựng xoáy nhân tạo ban đầu đòi hỏi phân bố của gió là hàm của độ cao và bán kính. Có nhiều dạng phân bố gió khác nhau, nhưng ở đây chúng tôi sử dụng phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính r và độ cao z dưới dạng

$$v(r, z) = W_r(r) \cdot W_z(z) \cdot V(r) \quad (2.3.37)$$

trong đó

$$V(r) = V_{\max} x \exp\left(\frac{1-x^b}{b}\right), \quad x=r/r_m \quad (2.3.38)$$

$$W_r(r) = \begin{cases} 1 & r < r_m \\ \frac{1}{2} \left(1 + \cos\left(\pi \left(\frac{r-r_m}{R-r_m}\right)\right) \right) & r \geq r_m \end{cases} \quad (2.3.39)$$

$$W_z(z) = 1 - \frac{z}{H} \quad (2.3.40)$$

với V_{\max} là gió tiếp tuyến cực đại; r_m là bán kính gió tiếp tuyến cực đại; b là tham số xác định độ rộng của profile gió; R là bán kính ngoài cùng của miền phân tích; H là độ cao từ bề mặt đến đỉnh mô hình. W_r là hàm trọng số theo bán kính nhằm mục đích giảm dần gió tiếp tuyến đến 0 tại bán kính ngoài R để tránh sự bất liên tục của trường gió giữa xoáy bão và môi trường. W_z là hàm trọng số theo độ cao nhằm xây dựng một XTNĐ có gió tiếp tuyến giảm dần theo độ cao tương tự như trong thực tế.

Xoáy ban đầu được thiết lập với tốc độ gió cực đại $V_{\max} = 35\text{m/s}$; bán kính gió cực đại $r_m = 100\text{km}$; tham số b được xác định sao cho bán kính gió 5m/s là 500km. Trong thực tế, bán kính gió cực đại của một cơn bão mạnh có giá trị nhỏ hơn nhiều so với giá trị được lựa chọn (có thể nhỏ hơn 20km), tuy nhiên với độ

phân giải 20 km, bán kính gió cực đại cần được lựa chọn tương ứng để mô hình có thể mô phỏng được cấu trúc của bão.

Với cấu hình mô hình trên, các trường hợp thí nghiệm sẽ được khảo sát bao gồm:

- Trường hợp 1 (TH1): Không ban đầu hóa âm cho mô hình, không có các quá trình vật lý như ma sát bề mặt, các quá trình lớp biên, đối lưu, bức xạ. Mục đích nhằm tạo ra một “điều kiện lý tưởng” để khảo sát tính cân bằng của xoáy nhân tạo ban đầu.
- Trường hợp 2 (TH2): Gần giống với TH1, tức là môi trường “khô”, nhưng đưa thêm hiệu ứng ma sát bề mặt nhằm xem xét sự suy yếu của xoáy do ma sát.
- Trường hợp 3 (TH3): Đưa vào gần như tất cả các quá trình vật lý có thể có; trường môi trường được ban đầu hóa âm, có hiệu ứng ma sát bề mặt và vật lý vi mô dạng hiện. Trường hợp này nhằm mục đích mô phỏng các quá trình mây đơn giản.
- Trường hợp 4 (TH4): Tương tự như TH3, nhưng trường hợp này sử dụng một dòng nền gió đồng nhất tốc độ 5m/s. Thí nghiệm này đưa ra nhằm khảo sát hiệu ứng dòng dẫn đối với sự di chuyển của xoáy bão.

2.3.3 Một số kết quả

Hình 2.3.2, Hình 2.3.3 và Hình 2.3.4 lần lượt đưa ra mặt cắt kinh hướng của trường gió vĩ hướng và khí áp. Các hình A là trường ban đầu; B, C, D là các trường tương ứng sau 24h của trường ứng TH1, TH2 và TH3.

TH1 được đưa ra nhằm khảo sát tính cân bằng của xoáy. Khái niệm cân bằng ở đây không có nghĩa là xoáy luôn bảo toàn khi tích phân mô hình theo thời gian mà chỉ bảo toàn trong một điều kiện lý tưởng nào đó. Điều kiện lý tưởng ở đây là một mô hình lý tưởng (mô hình không có sai số), không có ma sát, không có tác động của các quá trình vật lý và âm, tham số Coriolis không đổi trên toàn miền (trên mặt f). Thông thường, các mô hình số không thể loại trừ sai số, vì vậy cường độ của xoáy thường sẽ yếu đi, đặc biệt do các số hạng nhớt giả xuất hiện khi sai phân hóa các phương trình vi phân. Vấn đề cần giải quyết là sau khi xoáy nhân tạo được “cài”

trở lại trường ban đầu, các trường cần ở trạng thái cân bằng với nhau, để tránh hiện tượng “sốc” của mô hình. Một xoáy cân bằng được xem là tốt nếu cường độ của nó suy giảm không đáng kể và tương quan giữa các trường là không đổi.

A

B

C

D

Hình 2.3.2: Mặt cắt thẳng đứng theo trục x qua tâm xoáy của gió tiếp tuyến: Trường gió tại thời điểm ban đầu (A); và sau 24h tích phân cho TH1 (B); TH2 (C); và TH3 (D).

Từ các hình Hình 2.3.2A và Hình 2.3.2B ta nhận thấy, trong TH1 sau 24 giờ tích phân trường gió vĩ hướng của xoáy nhân tạo hầu như không thay đổi so với thời điểm ban đầu. Tuy nhiên, từ Hình 2.3.9, trong giờ tích phân đầu tiên khí áp giảm một chút. Điều này thể hiện xoáy ban đầu chưa thực sự cân bằng, và do đó khí áp phải có sự biến đổi cho phù hợp với trường gió. Mặc dù vậy, sự biến đổi này là nhỏ, có thể chấp nhận được. Nguyên nhân của sự mất cân bằng nhỏ ở đây có lẽ do

những sai số khi thực hiện các phép nội suy từ các mực khí áp về các mực sigma. Sau một thời gian ngắn giảm áp, khí áp tại tâm bắt đầu tăng dần nhẹ một cách tuyến tính. Nguyên nhân gây ra sự tăng áp nhẹ này có thể do sai số nhỏ của mô hình.

Sự giảm khí áp tại tâm một xoáy thuận cân bằng được gắn với sự giảm của mật độ. Vì vậy, nếu tốc độ gió tiếp tuyến giảm theo độ cao (như trong một XTNĐ điển hình), thì xoáy có lõi nóng nếu xét trên mặt đẳng áp, tức là nhiệt độ tăng khi đi từ ngoài vào theo phương bán kính trên một mặt đẳng áp. Trên Hình 2.3.4A và B còn thể hiện rõ cấu trúc lõi nóng trên mặt sigma của xoáy lý tưởng.

Khi một xoáy cân bằng được đặt vào môi trường có ma sát, gió ở gần bề mặt sẽ yếu đi. Khi đó sự cân bằng giữa lực gradient khí áp, lực quán tính ly tâm và lực Coriolis sẽ bị phá vỡ. Hậu quả là gió sẽ hội tụ ở mực thấp và xuất hiện dòng thăng mạnh nhất ở khu vực gió cực đại. Do bảo toàn mômen động lượng, tốc độ gió sẽ tăng lên khi hội tụ. Trong thực tế, đây là quá trình thúc đẩy sự vận chuyển ẩn nhiệt trong bão, và là một cơ chế tăng cường bão. Tuy nhiên nếu không có các quá trình ẩm vật lý mây (TH2), hoàn lưu sơ cấp của xoáy sẽ yếu dần do ma sát, tương ứng với nó cường độ xoáy sẽ giảm dần, đặc biệt ở gần bề mặt. Hình 2.3.2C cho thấy gió ở các mực thấp giảm đáng kể, trong khi gió ở các mực cao (nơi ít chịu ảnh hưởng của ma sát) hầu như không đổi. Kết luận tương tự cho trường áp và trường nhiệt (Hình 2.3.3C, Hình 2.3.4C). Trường khí áp tại tâm xoáy của TH2 cũng giảm mạnh (Hình 2.3.9) so với TH1.

TH3 là trường hợp đáng quan tâm nhất, vì ở đây đã đưa vào tương đối đầy đủ các quá trình vật lý. Khác với 2 trường hợp trước, để mô phỏng các quá trình vật lý trong mây, mô hình được ban đầu hóa ẩm. Độ ẩm riêng ban đầu được cho chỉ là hàm của độ cao (Hình 2.3.5A). Tuy nhiên, do cấu trúc lõi nóng, độ ẩm tương đối sẽ có giá trị nhỏ ở vùng trung tâm (Hình 2.3.5B), ma sát bề mặt dẫn tới sự hội tụ của gió ở bề mặt. Nếu không có thêm vai trò của các yếu tố khác, xoáy sẽ suy yếu. Sự tăng cường xoáy từ lâu đã được xem là gắn với vai trò của đối lưu và giải phóng ẩn nhiệt trong bão. Đây là một quá trình hồi tiếp khá phức tạp. Có thể mô tả sơ lược rằng, hội tụ ẩm làm xuất hiện dòng thăng ở khu vực bán kính gió cực đại. Khi dòng khí đi lên đạt trạng thái bão hòa, hơi nước ngưng tụ làm giải phóng một lượng ẩn nhiệt và làm tăng sự chênh lệch nhiệt độ giữa dòng thăng và môi trường. Dòng khí đi lên đến mực cân bằng nhiệt (nơi nhiệt độ dòng khí bằng nhiệt độ môi trường), tốc độ thăng giảm dần, đồng thời xuất hiện sự phân kỳ ở đỉnh tầng đối lưu. Quá trình

này dẫn tới sự giảm khí áp ở tâm xoáy (tức là xoáy mạnh lên), đồng thời tăng cường sự cuốn hút mực thấp và hoàn lưu sơ cấp.

Trong mô phỏng TH3, có thể thấy, quá trình tăng cường xoáy đã được mô tả khá tốt. Từ Hình 2.3.2D ta thấy gió tiếp tuyến sau 24h tích phân đã tăng lên đáng kể, với tốc độ gió cực đại trên 50m/s ở phía trên lớp biên. Gió bề mặt tuy yếu hơn gió ở phía trên lớp biên do vai trò của ma sát, nhưng mạnh hơn nhiều so với gió ban đầu. Hình 2.3.3.D cho thấy khí áp tương ứng cũng giảm – cường độ xoáy được tăng cường. Sự giảm khí áp tại tâm không diễn ra ngay từ thời điểm bắt đầu mô phỏng. Thực tế trong khoảng hơn 6h đầu, khí áp tăng do sự hội tụ ẩm vào khu vực gần trung tâm xoáy. Khi đối lưu xuất hiện, và hình thành phân kì gió ở mực cao, xoáy được tăng cường rõ rệt so với TH1 và TH2.

Hình 2.3.4D là mặt cắt của trường nhiệt độ trong TH3 sau 24h mô phỏng. Nhiệt độ giảm ở gần bề mặt do không khí xung quanh có nhiệt độ thấp hơn hội tụ vào vùng khí áp thấp và do giáng thủy ở khu vực thành mắt bão. Ở các lớp khí quyển phía trên sự đốt nóng ẩn nhiệt đã làm xuất hiện cấu trúc lõi nóng khá rõ. Mặt cắt thẳng đứng của các trường độ ẩm riêng, độ ẩm tương đối, lượng nước mây riêng và tốc độ thẳng đứng sau 24 giờ mô phỏng trên các Hình 2.3.6 tương ứng thể hiện rõ cấu trúc thành mây gần mắt bão và sự phân kì với màn mây dạng phễu ở nửa trên tầng đối lưu. Sự hội tụ mực thấp và phân kì ở trên cao của trường gió còn có thể nhận thấy rõ hơn thông qua cấu trúc đường dòng được chỉ ra trên Hình 2.3.7 và Hình 2.3.8.

Thí nghiệm TH4 được thiết lập nhằm xem xét ảnh hưởng của dòng nền đến cấu trúc và sự di chuyển của xoáy. Đây là một trường hợp đơn giản hoá, tương tự trường hợp bão hình thành ngoài khơi Thái Bình Dương, nằm sâu trong rìa phía nam của hệ thống cao áp cận nhiệt Tây Thái Bình Dương, với dòng nền giả định là 5m/s. Mặc dù chỉ là tình huống giả định đơn giản nhưng có thể thấy nó ảnh hưởng sâu sắc tới cấu trúc của xoáy. Cụ thể, phân bố trường áp mặt biển thể hiện sự bất đối xứng rõ rệt (Hình 2.3.10A) so với các trường hợp thí nghiệm trước. Nhìn chung trường môi trường của xoáy bão có khí áp giảm từ bắc xuống nam do sự thiết lập trạng thái cân bằng giữa trường áp và trường gió. Khi dòng nền được đưa vào, tính

bất đối xứng về cấu trúc không gian của đường dòng cũng tăng lên rõ rệt (Hình 2.3.10 B, C). Nửa phía bắc của xoáy hình thành vùng hội tụ mạnh, với tốc độ gió rất lớn, trong khi đó rìa phía nam của xoáy xuất hiện một trường biến dạng với tốc độ gió nhỏ. Đường dòng của trường môi trường sau 24h tích phân có xu thế lệch về phía trái trong lớp biên do hiệu ứng ma sát làm suy yếu tốc độ gió và làm mất cân bằng giữa lực gradient khí áp và coriolis.

A

B

C

D

Hình 2.3.3: Như Hình 2.3.2 nhưng vẽ cho trường áp.

A

B

C

D

Hình 2.3.4: Như Hình 2.3.2 nhưng vẽ cho trường nhiệt.

\

A

B

Hình 2.3.5: Ban đầu hóa ẩm cho TH3: Độ ẩm riêng (A); Độ ẩm tương đối (B).

A

B

C

D

Hình 2.3.6: Giá trị sau 24 giờ tích phân của TH3: Độ ẩm riêng (A); Độ ẩm tương đối (B); Lượng nước riêng trong mây (C); và tốc độ thẳng đứng (D).

A

B

Hình 2.3.7: Đường dòng tại mực 1 (mực hội tụ) tại thời điểm ban đầu (A) và sau 24h tích phân(B).

A

B

Hình 2.3.8: Như Hình 2.3.8 nhưng vẽ cho mực 11 (mực phân kì).

Hình 2.3.9: Biến đổi theo thời gian của khí áp tại tâm cho các trường hợp.

A

B

Hình 2.3.10: Trường áp mực
biến qua tâm xoáy và đường
dòng tại thời điểm ban đầu (A,
B), và đường dòng sau 24h tích
phân (C).

C

2.4 Một số nhận xét

Sơ đồ ban đầu hóa xoáy được phát triển dựa trên cơ sở một sơ đồ phân tích xoáy (dựa theo Weber và Smith, 1995 [81]) và một phương pháp xây dựng xoáy cân bằng (Smith, 2005 [75]). Sơ đồ phân tích xoáy phân tách xoáy thành các thành phần môi trường và thành phần xoáy dựa trên nền tảng là phép biến đổi Fourier. Phương pháp xây dựng xoáy cân bằng cho phép tính toán được phân bố theo bán kính và độ cao của nhiệt độ, áp suất với điều kiện cho trước phân bố gió tiếp tuyến và các thông số môi trường.

Phương pháp phân tích xoáy này đã được nhiều áp dụng thành công cho nhiều sơ đồ ban đầu hóa xoáy của các mô hình như WBAR, TC-LAPS. Trong khi đó, phương pháp xây dựng xoáy cân bằng dựa trên một lý thuyết mới và cần được khảo sát tính hợp lý của nó. Để thực hiện được điều này, luận án đã sử dụng phương pháp nghiên cứu lý tưởng. Mô hình được sử dụng cho mục đích này là mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết WRF. Luận án đã sử dụng phiên bản nghiên cứu nâng cao (ARW) của WRF cùng với một phương pháp ban đầu hóa xoáy ba chiều nhằm đưa ra các nghiên cứu lý tưởng về xoáy thuận nhiệt đới. Việc thiết kế các trường hợp thí được thiết lập từ đơn giản đến phức tạp nhằm khảo sát ảnh hưởng của các quá trình riêng biệt tới sự tiến triển của xoáy trong quá trình tích phân theo thời gian của mô hình.

Trong điều kiện lý tưởng không có ma sát và các quá trình ẩm (TH1), xoáy nhân tạo gần giữ nguyên cấu và cường độ trong suốt thời gian khảo sát chứng tỏ các trường khí tượng đã ở trạng thái cân bằng động lực tốt ở thời điểm ban đầu. Khi đưa thêm hiệu ứng ma sát (TH2), xoáy suy yếu mạnh ở trong lớp biên và làm biến đổi cấu trúc thẳng đứng và làm giảm cường độ xoáy bão. Việc đưa vào các quá trình ẩm và vật lý vi mô (TH3) đã cho thấy: vai trò quan trọng của quá trình đối lưu và giải phóng ẩn nhiệt đối với sự tăng cường xoáy. Mặc dù đây chỉ là một cấu hình thí nghiệm tối thiểu (ma sát bề mặt, vật lý vi mô dạng hiện), những kết quả nhận được đã phản ánh quá trình tăng cường của XTNĐ, cấu trúc lõi nóng, cấu trúc mây và

một số đặc tính khác của một xoáy thuận nhiệt đới thực. Thí nghiệm cũng đã mô phỏng được các đặc trưng trong quá trình tiến triển của một XTNĐ từ giai đoạn áp thấp nhiệt đới đến giai đoạn bão mạnh. Trong dòng nền đồng nhất và với điều kiện lý tưởng là hệ số Coriolis hằng số (TH4), xoáy bão đã di chuyển với tốc độ gần với dòng nền phù hợp với lý thuyết dòng dẫn. Mặc dù hoàn lưu trong lớp biên bị lệch trái do ma sát nhưng hiệu ứng này không ảnh hưởng nhiều đến nhận xét trên.

Các kết quả nghiên cứu lý tưởng trong khuôn khổ luận án vẫn chỉ dừng ở các thí nghiệm hết sức đơn giản nhằm khảo sát tính ổn định của sơ đồ xây dựng xoáy ban đầu. Những kết quả thu được cho thấy phương pháp ban đầu hóa xoáy ba chiều đã thỏa mãn tính cân bằng khá tốt, kết quả này cũng mở ra khả năng đưa vào sử dụng trong phương pháp xây dựng xoáy cân bằng ba chiều vào một sơ đồ ban đầu hóa xoáy bão cho mô hình dự bão. Ngoài ra, phiên bản ARW cũng chứng tỏ khả năng mô phỏng tốt các quá trình xảy ra trong bão. Phương pháp xây dựng xoáy cân bằng cùng với mô hình WRF có thể được ứng dụng để nghiên cứu sâu hơn các quá trình trong bão và xoáy thuận nhiệt đới trong tương lai.

CHƯƠNG 3 :

ÁP DỤNG SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY BA CHIỀU DỰ BÁO QUỶ ĐẠO BÃO

Cùng với sự phát triển chung của đất nước, trong những năm gần đây ngành khí tượng nước ta cũng đã có những bước tiến đáng kể. Một trong những thành tựu đó là việc đưa vào ứng dụng nghiệp vụ hệ thống mô hình số khu vực phân giải cao HRM (**H**igh resolution **R**egional **M**odel).

HRM là mô hình được tiếp nhận từ Cục phục vụ Thời tiết, Cộng hòa Liên bang Đức (DWD), và triển khai nghiên cứu áp dụng vào Việt Nam từ năm 2000 ở Bộ môn Khí tượng, trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Đây là một mô hình đã được nghiên cứu áp dụng và thẩm định khá kỹ và có kỹ năng dự báo quĩ đạo bão khá ổn định (Kiều Thị Xin và nnk., 2002 [20,21]). Từ khoảng giữa năm 2002, HRM đã được đưa vào chạy dự báo nghiệp vụ ở Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương. Cấu trúc lưới ngang của HRM là lưới kinh, vĩ. Tọa độ thẳng đứng của HRM là tọa độ lai (hybrid) với số mực có thể biến thiên trong khoảng 20–40 mực. Hiện tại ở Việt Nam HRM có thể sử dụng các nguồn số liệu toàn cầu khác nhau làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên phụ thuộc thời gian, như GME, JMA và AVN. Tuy nhiên, vì thiếu số liệu quan trắc trên biển, mặc dù độ phân giải của một số mô hình toàn cầu đã khá cao (như của GME vào khoảng 40km), trong nhiều trường hợp vị trí và cường độ của bão trên trường phân tích vẫn bị sai lệch đáng kể so với xoáy bão thực.

Nhằm mục đích nghiên cứu ứng dụng thực tiễn, trong chương này sẽ trình bày việc phát triển HRM thành một phiên bản mới, gọi là HRM_TC, mà nội dung chủ yếu đề cập đến quá trình ban đầu hóa xoáy tạo trường ban đầu cho mô hình trong tình huống dự báo bão. Sau khi xoáy phân tích đã được tách ra và một xoáy nhân

tạo đã được xây dựng (Chương 2), có thể thiết lập một sơ đồ ban đầu hóa xoáy bằng cách kết hợp xoáy nhân tạo với trường môi trường. Điều này có thể thực hiện được nhờ một sơ đồ đồng hóa số liệu hoặc “cài” xoáy. Phương pháp cài xoáy có ưu điểm là đơn giản và khá hiệu quả. Tuy nhiên nó cũng có nhược điểm là trong một số trường hợp trường đã ban đầu hóa có thể không hoàn toàn thỏa mãn cân bằng động lực do những sai số trong quá trình nội suy của sơ đồ ban đầu hóa xoáy cũng như do những sai khác giữa giữa xoáy nhân tạo và mô hình về các quá trình vật lý và độ phân giải. Mặc dù vậy, vấn đề này có thể được giải quyết thông qua thủ tục ban đầu hóa của chính mô hình dự báo bằng cách thực hiện quá trình ban đầu hóa xoáy trước khi mô hình gọi thủ tục ban đầu hóa động lực.

Để đảm bảo tính thống nhất trong dự báo nghiệp vụ, về nguyên tắc qui trình hoạt động và cấu trúc của phiên bản HRM_TC tương tự như phiên bản HRM, ngoại trừ việc bổ sung thêm chức năng ban đầu hóa xoáy. Khi không có bão hoạt động trong phạm vi không gian miền tính của mô hình, HRM_TC chạy dự báo hoàn toàn giống với phiên bản HRM nghiệp vụ. Trong trường hợp chạy dự báo bão, trước khi mô hình thực hiện quá trình ban đầu hóa và tích phân theo thời gian, một module ban đầu hóa xoáy sẽ được gọi tới. Module này sẽ thực hiện quá trình phân tích xoáy, xây dựng xoáy nhân tạo và cài trở lại trường ban đầu. Việc ban đầu hóa xoáy này cho phép cải thiện trường ban đầu, và do đó có thể nâng cao chất lượng dự báo bão của mô hình.

3.1 Sơ lược về mô hình HRM

3.1.1 Hệ phương trình cơ bản

Theo phương ngang HRM sử dụng hệ tọa độ địa lý (kinh, vĩ độ) (λ, φ) , còn theo phương thẳng đứng là hệ tọa độ lai (sigma–khí áp) $\eta(p, p_s)$, trong đó p là áp suất khí quyển tại điểm đang xét và p_s là áp suất bề mặt. Hệ tọa độ lai trùng với hệ tọa độ áp suất với các mực đẳng áp p nhỏ hơn một giá trị p_T và tiến dần về hệ tọa độ sigma khi xuống tới bề mặt.

$$\eta = \frac{p}{p_0} \quad \text{với } 0 \leq p \leq p_T \quad (3.1.1)$$

$$\eta = \frac{p - p_T}{p_s - p_T} + \frac{p_T}{p_0} \frac{p_s - p}{p_s - p_T} \quad \text{với } p_T < p \leq p_s$$

Với p_0 là khí áp mực biển ở điều kiện tiêu chuẩn (được lấy bằng 1013.2 hPa). Khi đó, hàm nghịch đảo của (3.1.1) sẽ là

$$p = A(\eta) + p_s B(\eta) \quad (3.1.2)$$

trong đó

$$A(\eta) = p_0 \eta, \quad B(\eta) = 0 \quad \text{với } 0 \leq p \leq p_T \quad (3.1.3)$$

$$A(\eta) = \frac{p_0 p_T}{p_s - p_T} (1 - \eta), \quad B(\eta) = \frac{p_0 \eta - p_T}{p_s - p_T} \quad \text{với } p_T < p \leq p_s$$

Các phương trình cơ bản của mô hình HRM viết trong hệ tọa độ (λ, φ, η) bao gồm:

Phương trình chuyển động theo phương vĩ hướng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - (\zeta + f)v + \eta \frac{\partial u}{\partial \eta} = \\ - \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\Phi + K) - \frac{RT_v}{a \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\ln p) + \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_{sub} - K_4 \nabla^4 u - \mu_{lbc} (u - u_{lbc}) \end{aligned} \quad (3.1.4)$$

Phương trình chuyển động theo phương kinh hướng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + (\zeta + f)u + \eta \frac{\partial v}{\partial \eta} = \\ - \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\Phi + K) - \frac{RT_v}{a} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\ln p) + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)_{sub} - K_4 \nabla^4 v - \mu_{lbc} (v - v_{lbc}) \end{aligned} \quad (3.1.5)$$

Phương trình nhập nhiệt

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial T}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \eta \frac{\partial T}{\partial \eta} = \\ \frac{\alpha \omega}{c_p} + \frac{L_v}{c_p} C_{vc} + \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_{sub} - K_4 \nabla^4 (T - T_{ref}) - \mu_{lbc} (T - T_{lbc}) \end{aligned} \quad (3.1.6)$$

Phương trình khí áp bề mặt:

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = - \frac{1}{a \cos \varphi} \int_0^1 \left\{ \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(u \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(v \cos \varphi \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) \right\} d\eta - \mu_{lbc} (p_s - p_{s,lbc}) \quad (3.1.7)$$

Phương trình độ ẩm riêng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_v}{\partial t} + \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q_v}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q_v}{\partial \varphi} \right) + \eta \frac{\partial q_v}{\partial \eta} = \\ - C_{vc} + \left(\frac{\partial q_v}{\partial t} \right)_{sub} - K_4 \nabla^4 q_v - \mu_{lbc} (q_v - q_{v,lbc}) \end{aligned} \quad (3.1.8)$$

Phương trình dự báo nước mây:

$$\frac{\partial q_c}{\partial t} + \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q_c}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q_c}{\partial \varphi} \right) + \eta \frac{\partial q_c}{\partial \eta} = \left(\frac{\partial q_c}{\partial t} \right)_{sub} - \mu_{lbc} (q_c - q_{c,lbc}) \quad (3.1.9)$$

Phương trình dự báo băng mây:

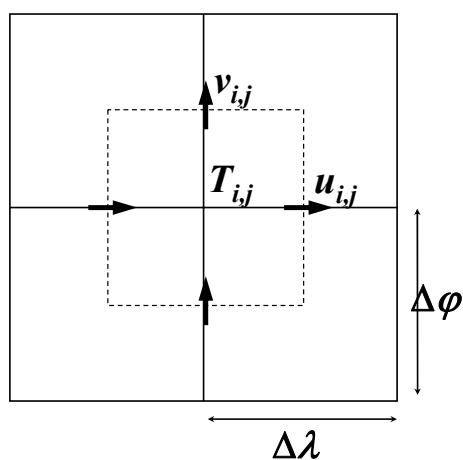
$$\frac{\partial q_i}{\partial t} + \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q_i}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q_i}{\partial \varphi} \right) + \eta \frac{\partial q_i}{\partial \eta} = \left(\frac{\partial q_i}{\partial t} \right)_{sub} - \mu_{lbc} (q_i - q_{i,lbc}) \quad (3.1.10)$$

trong đó (u, v) tương ứng là các thành phần gió vĩ hướng và kinh hướng, T là nhiệt độ, p_s là khí áp bề mặt, q_v là độ ẩm riêng, q_c và q_i lần lượt là lượng nước mây và băng mây được tính bằng khối lượng nước mây hoặc băng mây chia cho của cả phân tử khí, t là thời gian, a là bán kính trung bình của Trái đất ($a=6371229\text{m}$), ζ là độ xoáy, f là tham số Coriolis, η là vận tốc thẳng đứng trong hệ tọa độ lai, ω vận tốc thẳng đứng trong hệ tọa độ khí áp, α là mật độ không khí, Φ là địa thế vị, K là động năng, p là khí áp, T_v là nhiệt độ ảo, T_{ref} là nhiệt độ tham chiếu phụ thuộc độ cao, L_v là ẩn nhiệt hóa hơi, C_{vc} là tốc độ ngưng tụ, chỉ số dưới “sub” dùng để chỉ các xu thế

qui mô dưới lưới sinh ra do các quá trình tham số hóa như bức xạ, đối lưu hay rối, K_4 là hệ số khuếch tán rối bậc bốn. Các biến có chỉ số dưới “ lbc ” là các giá trị điều kiện biên chỉ định từ mô hình toàn cầu GME. Vùng đệm quanh biên trong miền dự báo có sáu đến tám hàng và dự báo của HRM được điều chỉnh dần từ miền trong tới giá trị trên biên ngoài cùng bằng cách sử dụng một số hạng lỏng dần μ_{lbc} .

3.1.2 Lưới ngang

HRM được rời rạc hóa theo phương ngang theo lưới xen Arakawa C, trong đó thành phần tốc độ gió u bị dịch một nửa ô lưới sang phía đông ($\Delta\lambda/2$) và thành phần gió v bị dịch nửa ô lưới về phía bắc ($\Delta\phi/2$) (Hình 3.1.1). Bước lưới theo phương kinh tuyến và vĩ tuyến của HRM bằng nhau ($\Delta\lambda = \Delta\phi$). Hiện tại HRM có thể chạy dự báo với các độ phân giải ngang từ 0.25° (khoảng 28km) đến 0.0625° (khoảng 7km).



Hình 3.1.1 Sơ đồ lưới xen Arakawa C sử dụng trong mô hình HRM

3.1.3 Lưới thẳng đứng

HRM được rời rạc hóa theo phương thẳng đứng trên hệ tọa độ lai (sigma-khí áp) theo Simmons and Burridge (1981). Khí áp p^h tại điểm giao giữa hai lớp khác nhau (được gọi là *mực phân*) được cho bởi:

$$p_h(j_1, j_2, j_3) = a_k(j_3) + b_k(j_3) * p_s(j_1, j_2) \quad (3.1.11)$$

trong đó $j_3 = 1, j_{3e}+1$ là chỉ số mực thẳng đứng (j_{3e} là số lớp thẳng đứng); j_1, j_2 lần lượt là chỉ số lưới ngang theo hàng và cột; p_s là áp suất bề mặt; a_k, b_k là các hằng số xác định hệ tọa độ lai, trong đó a_k là đóng góp của tọa độ khí áp còn b_k là đóng góp của tọa độ sigma. Trong luận án này đã sử dụng 31 mực thẳng đứng với các số hạng a_k, b_k có giá trị được cho trong Bảng 3.1.1.

Khí áp ở giữa các lớp p_h (mực nguyên) được lấy bằng trung bình số học của các giá trị khí áp tại hai mực nguyên kề nhau:

$$p_f(j_1, j_2, j_3) = \frac{1}{2} [p_h(j_3) + p_h(j_3 + 1)] \quad (3.1.12)$$

trong đó $j_3 = 1, j_{3e}$.

Bảng 3.1.1 Các hằng số tọa độ lai của mô hình HRM sử dụng trong luận án.

số hiệu mực	a_k	b_k
1	2000	0
2	4000	0
3	6000	0
4	8000	0
5	9976.14	0.000391
6	11820.54	0.00292
7	13431.39	0.009194
8	14736.36	0.020319
9	15689.21	0.036975
10	16266.61	0.059488
11	16465.00	0.087895
12	16297.62	0.122004
13	15791.60	0.161442
14	14985.27	0.205703
15	13925.52	0.254186
16	12665.29	0.306235
17	11261.23	0.361145
18	9771.41	0.418202
19	8253.21	0.476688
20	6761.34	0.535887
21	5345.91	0.595084
22	4050.72	0.653565
23	2911.57	0.710594
24	1954.81	0.765405

số hiệu mực	a_k	b_k
25	1195.89	0.817167
26	638.15	0.864956
27	271.63	0.907716
28	72.06	0.944213
29	0	0.972985
30	0	0.992282
31	0	1

3.1.4 Tham số hóa vật lý

Tham số hóa bức xạ trong điều kiện khí quyển có mây và quang mây dựa theo Ritter and Geleyn (1992). Độ phủ mây nhận được từ lượng nước mây, băng mây, độ ẩm tương đối, độ ổn định và hoạt động đối lưu. Nếu lượng nước mây lớn hơn không thì độ phủ mây được coi là hoàn toàn (100%), Độ phủ mây một phần khi không có nước mây và băng mây được xác định từ công thức thực nghiệm sử dụng độ ẩm tương đối của các lớp khí quyển. Khi có hoạt động đối lưu thì độ dày mây đối lưu từ sơ đồ tham số hóa đối lưu cũng được đưa vào để tính độ phủ mây.

Sơ đồ giáng thủy qui mô lưới bao gồm các quá trình vi vật lý mây được tham số hóa theo Doms and Schättler (2003) để dự báo ba thực thể của nước là hơi nước, nước mây và băng mây. Ngoài ra còn hai biến cảnh báo là mưa và tuyết. Năm thực thể này tương tác với nhau qua nhiều quá trình vi vật lý khác nhau.

Tham số hóa đối lưu dựa trên một sơ đồ thông lượng khối của Tiedtke (1989). Sơ đồ đối lưu phân biệt ba loại là đối lưu nông, đối lưu mực giữa và đối lưu xuyên tầng (sâu).

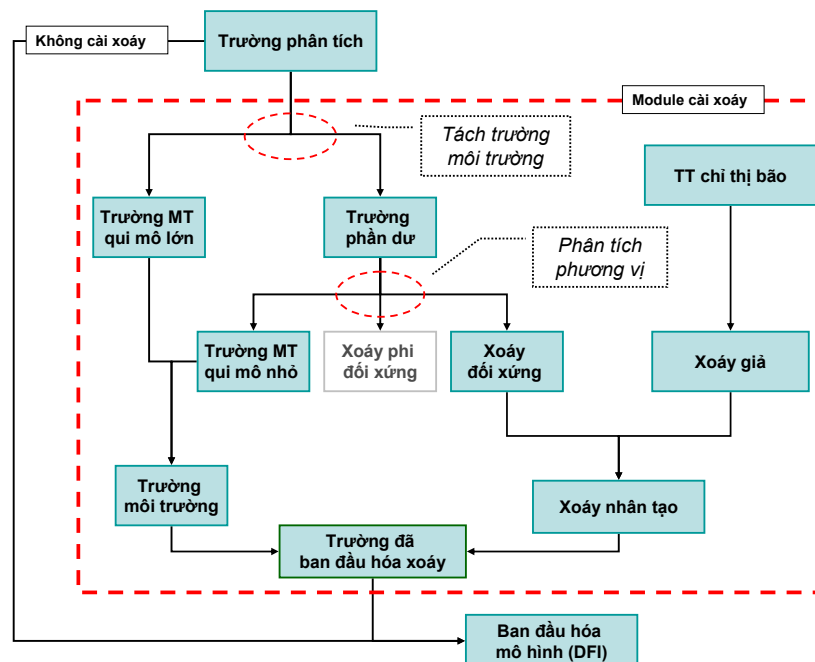
Tham số hóa các thông lượng rối thẳng đứng (Müller, 1981) dựa trên Louis (1979) trong lớp Prandtl (lớp sát đất) và một sơ đồ cảnh báo cấp hai dựa trên Mellor and Yamada (1974) cho lớp khí quyển biên và khí quyển tự do.

Sơ đồ đất (Jacobsen and Heise, 1982) tính toán hai quá trình cân bằng nhiệt (cân bằng năng lượng) và độ ẩm đất (cân bằng nước). Đối với cân bằng nhiệt, nhiệt độ được tính toán tại bề mặt và tại độ sâu 8 đến 10 cm (tùy theo loại đất). Tại độ sâu

35 đến 40 cm, nhiệt độ đất được nội suy từ mô hình GME. Đối với cân bằng nước, quá trình biến đổi của độ ẩm đất được tính toán cho hai lớp: từ 0 đến 10cm và từ 10 đến 100cm.

3.2 Ban đầu hóa xoáy ba chiều cho HRM_TC

Hình 3.2.1 mô tả quá trình thực hiện ban đầu hóa xoáy trong HRM_TC. Quá trình này chỉ thực hiện đối với trường phân tích mà ở đây là trường toàn cầu của mô hình GME sau khi đã chuyển về lưới của HRM. Trong trường hợp không có bão hoạt động (trong miền tính của mô hình), quá trình ban đầu hóa xoáy sẽ không được thực hiện và HRM_TC chạy đúng theo qui trình của HRM. Khi có bão, chức năng ban đầu hóa xoáy sẽ được gọi tới thông qua module *hbogus*. Ngoài một số chương trình con thư viện liên quan đến phần phân tích xoáy được khai thác từ mã nguồn của sơ đồ phân tích xoáy của hệ thống TC-LAPS (được viết trên ngôn ngữ Fortran 77), toàn bộ các phần còn lại, bao gồm chương trình xây dựng xoáy nhân tạo, kết nối và điều khiển dữ liệu, được chúng tôi xây dựng mới (dựa trên ngôn ngữ Fortran 90). Module này sẽ thực hiện các nội dung sau (được biểu thị trong khung viền nét đứt trên Hình 3.2.1).



Hình 3.2.1: Sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong mô hình HRM_TC

a. Phân tích xoáy

Việc phân tích xoáy được thực hiện trên từng mực mô hình và lần lượt cho các trường tốc độ gió u, v ; trường khí áp mực biển P_{slv} và trường nhiệt độ T . Vì trường khí áp mực biển không sẵn có trong trường đầu vào nên nó được tính từ trường khí áp bề mặt và trường độ cao địa hình với giả thiết gradient thẳng đứng của nhiệt độ bằng $0.65K/100m$. Kết quả của quá trình này là nhận được trường môi trường (F^E) và trường xoáy đối xứng (F^{VS}). Các thành phần còn lại bị loại bỏ. Trường xoáy đối xứng sau đó sẽ được sử dụng để xây dựng xoáy nhân tạo.

b. Xây dựng và cài xoáy nhân tạo

Xoáy nhân tạo ở đây là một xoáy đối xứng cân bằng trong hệ tọa độ bán kính – độ cao (r, z). Để nhận được xoáy nhân tạo có cường độ và vị trí phù hợp với xoáy thực, đã sử dụng một số thông tin quan trắc bổ sung (gọi là chỉ thị bão), bao gồm tọa độ tâm xoáy, bán kính gió cực đại, tốc độ gió cực đại, bán kính gió 15m/s,... Do hệ tọa độ thẳng đứng của HRM là hệ tọa độ lai nên trước khi cài xoáy vào trường ban đầu cần phải thực hiện một số bước chuyển đổi:

- Thiết lập hệ tọa độ theo bán kính–khí áp (r, p): Trường khí áp được tính theo công thức (3.1.11) với p_s là khí áp bề mặt trường môi trường tại tâm xoáy (được nội suy theo sơ đồ nội suy 12 điểm). Nhiệt độ nội suy tại tâm trên các mực mô hình được xem là giá trị của nhiệt độ môi trường. Các vòng bán kính được lấy cách nhau 5km cho tới khoảng cách 1500 km tính từ tâm, tương ứng với 300 vòng.
- Thiết lập hệ tọa độ trụ bán kính, độ cao (r, z): Các giá trị độ cao được xác định bằng cách tích phân phương trình thủy tĩnh từ bề mặt tới mực xem xét và được coi là độ cao của các mực đẳng áp môi trường.
- Xây dựng profile gió tiếp tuyến: Profile gió tiếp tuyến là hàm của bán kính và độ cao $v(r, z)$, và có dạng:

$$v(r, z) = W_r(r) \cdot W_z(z) \cdot V_r(r) \quad (3.2.1)$$

trong đó:

$$V_r(r) = V_{\max} x \exp\left(\frac{1-x^b}{b}\right) \quad (3.2.2)$$

với $x=r/r_m$, r là bán kính tính từ tâm xoáy, r_m là bán kính gió cực đại, b là tham số xác định dạng của profile. Tham số này được xác định từ bán kính gió 15 m/s (R_{15}).

- Hàm trọng số theo bán kính, $W_r(r)$, được lấy sao cho tốc độ gió tiếp tuyến giảm dần đến 0 ở vòng bán kính ngoài cùng, R_{out} :

$$W_r(r) = \begin{cases} 1 & r < r_m \\ \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left(\pi \left(\frac{r-r_m}{R_{out}-r_m} \right) \right) \right) & r \geq r_m \end{cases} \quad (3.2.3)$$

$W_z(z)$ là trọng số theo phương thẳng đứng. Trong luận án có khảo sát các dạng hàm trọng số theo độ cao khác được mô tả ở mục 3.3.5. Trong trường hợp đơn giản nhất, $W_z(z)$ được cho là giảm tuyến tính theo độ cao đến giá trị bằng 0 tại đỉnh mô hình, H :

$$W_z(z) = 1 - \frac{z}{H} \quad (3.2.4)$$

- Trường độ cao của các mặt đẳng áp theo bán kính, mật độ và nhiệt độ tương ứng trên các mặt đẳng áp được xác định như đã trình bày ở mục 2.2. Từ đó, ta có thể tính được khí áp tại bề mặt và nhiệt độ trên các mực mô hình bằng cách nội suy theo khí áp.

Ngoài ra, để đảm bảo sự cân bằng của trường ban đầu, thủ tục ban đầu hóa xoáy trên đây sẽ được thực hiện ngay sau khi mô hình đọc số liệu trường ban đầu và trước khi mô hình thực hiện quá trình ban đầu hóa.

3.3 Xác định các tham số khả dụng

3.3.1 Số liệu và miền tính

Để tiến hành thử nghiệm luận án đã sử dụng các nguồn số liệu sau:

– Điều kiện ban đầu và điều kiện biên phụ thuộc thời gian được lấy từ số liệu phân tích và dự báo của mô hình toàn cầu GME

– Thông tin chi thị bão: Khai thác từ website weather.unisys.com

– Các tập số liệu về độ cao địa hình, lớp phủ bề mặt được cung cấp bởi DWD

Các trường hợp bão được chọn thử nghiệm gồm 7 cơn bão hoạt động trên biển Đông thời kỳ 2003 – 2006. Bảng 3.3.1 dẫn ra thông tin cụ thể của các trường hợp bão sẽ được khảo sát.

Miền tính của mô hình được chọn có kích thước 50° kinh x 40° vĩ, trải từ 80°E – 130°E và từ 5°S – 35°N (Hình 4.1.1). Do khả năng tính toán hạn chế của máy tính, bước lưới ngang của mô hình được sử dụng là 0.25° kinh vĩ (khoảng 28km). Như vậy, số điểm nút lưới của miền tính sẽ là 201×161 nút.

Bảng 3.3.1: Các trường hợp bão được khảo sát

Tên Bão	STT	Thời điểm khảo sát	Vĩ độ tâm	Kinh độ tâm	Vmax (ms ⁻¹)
Chanchu	1	00z 13/05/2006	13.4	120.6	35
	2	00z 14/05/2006	13.7	117.5	45
	3	12z 14/05/2006	13.9	115.9	55
Conson	4	12z 05/06/2004	14.7	116.8	17
	5	00z 06/06/2005	15.2	117.9	22
Damrey	6	00z 22/09/2005	19.4	119.8	25
Imbudo	7	12z 22/07/2003	17.7	119.9	40
Kai_tak	8	00z 30/10/2005	14.0	112.9	33
	9	12z 30/10/2005	14.1	112.1	45
Koni	10	12z 18/07/2003	13.3	118.7	20
Krovanh	11	12z 23/08/2003	17.7	116.8	35

Để đánh giá khả năng ứng dụng của sơ đồ ban đầu hóa xoáy được xây dựng cho HRM_TC, một số thí nghiệm độ nhạy đã được thực hiện. Các thí nghiệm được thiết lập theo nguyên tắc từ đơn giản đến phức tạp nhằm mục đích khảo sát mức độ ảnh hưởng (độ nhạy) của các tham số đối với quỹ đạo dự báo, với hy vọng tìm ra được bộ tham số thích hợp hoặc xác định được các giải pháp giảm thiểu sai số dự báo. Có năm thí nghiệm được đưa ra, mỗi thí nghiệm gồm các phương án ban đầu hóa xoáy bão khác nhau để khảo sát các tham số trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy (Bảng 3.3.2).

Bảng 3.3.2: Các thí nghiệm khảo sát sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong HRM_TC

TT	Thí nghiệm	Ký hiệu
1	Thay đổi giá trị bán kính gió cực đại	RM
2	Thay đổi giá trị bán kính gió 15m/s	S
3	Thay đổi hàm trọng số thẳng đứng	W
4	Kết hợp phân bố gió tuyến lý thuyết với phân bố gió tuyến phân tích	M

Trong tất cả các phương án ban đầu hóa xoáy sẽ được thực hiện, những tham số không được đề cập đến sẽ nhận các giá trị ngầm định. Bộ tham số ngầm định là bộ tham số đơn giản nhất, bao gồm:

- Bán kính gió cực đại lấy bằng 90km.
- Bán kính gió 15m/s lấy bằng 300km.
- Trọng số theo phương thẳng đứng ở dạng đơn giản nhất là tuyến tính theo độ cao.
- Không kết hợp phân bố gió tiếp tuyến giả với phân bố gió tiếp tuyến phân tích.

3.3.2 Các chỉ tiêu đánh giá

- Để đánh giá và so sánh hiệu quả của các thí nghiệm theo các phương án ban đầu hóa khác nhau, luận án đã sử dụng một số chỉ tiêu đánh giá sau đây.

- *Sai số vị trí (PE)*: Đặc trưng cho mức độ sai lệch về mặt không gian giữa vị trí tâm bão dự báo và vị trí tâm bão quan trắc. Giả sử xét một phương án dự báo cho N trường hợp bão, tại hạn dự báo t ($t = 6h, t = 12h, \dots, t = 48h$) của trường hợp bão thứ n , sai số vị trí được định nghĩa là khoảng cách địa lý giữa tâm xoáy dự báo và tâm xoáy quan trắc.

$$PE_n(t) = |\mathbf{x}_{pn}(t) - \mathbf{x}_{on}(t)| \quad (3.3.1)$$

trong đó, $\mathbf{x}_{pn}(t)$ là vị trí tâm bão dự báo tại thời điểm t của trường hợp bão thứ n , còn $\mathbf{x}_{on}(t)$ là vị trí tâm bão quan trắc tương ứng. Thực tế, khoảng cách địa lý giữa 2 điểm bất kỳ $A(\lambda_1, \varphi_1)$ và $B(\lambda_2, \varphi_2)$ là độ dài cung của đường tròn lớn đi qua hai điểm đó và được tính theo công thức:

$$d_{AB} = R_e \cos^{-1} [\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)] \quad (3.3.2)$$

trong đó R_e là bán kính trái đất, lấy giá trị bằng 6378.161 km. φ, λ lần lượt là vĩ độ và kinh độ của vị trí tâm bão tính bằng radian.

- *Sai số vị trí trung bình (MPE)*: là trung bình các sai số vị trí cho tất cả các trường hợp bão khảo sát:

$$MPE(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |\mathbf{x}_{pn}(t) - \mathbf{x}_{on}(t)| \quad (3.3.3)$$

trong đó N là tổng số trường hợp bão.

- *Sai số vị trí trung bình tổng thể (MPEA)* là trung bình của MPE là trung bình của MPE cho tất cả các hạn dự báo 6h, 12h, ..., 48h:

$$MPEA = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 MPE(t_i) \quad (3.3.4)$$

trong đó, t_i là thời điểm dự báo thứ i ($i=1, \dots, 8$), $t_i \in \{t_0+6h, t = t_0+12h, \dots, t = t_0+48h\}$

- *Kĩ năng (S)* của phương án dự báo dự báo A so với phương án dự báo đối chứng B tại một hạn dự báo nào đó được định nghĩa là:

$$S = 100 \frac{MPE_A - MPE_B}{\max(MPE_A, MPE_B)} \quad (3.3.5)$$

Trong luận án, phương án dự báo A là các phương án ban đầu hóa xoáy bão khác nhau còn phương án dự báo đối chứng B là phương án không thực hiện ban đầu hóa xoáy.

- *Kĩ năng trung bình (SA)* của phương án dự báo dự báo A so với phương án dự báo dự báo B tại một hạn dự báo nào đó được định nghĩa là:

$$SA = \frac{1}{8} 100 \sum_{t=1}^8 \frac{MPE_A(t) - MPE_B(t)}{\max(MPE_A(t), MPE_B(t))} \quad (3.3.6)$$

trong đó, t là hạn dự báo từ 6h đến 48h.

- *Độ lệch chuẩn (SD)* được sử dụng để đánh giá mức độ phân tán hoặc độ nhảy của một tham số. Giả sử một thí nghiệm bao gồm M cấu hình thử nghiệm khác nhau, độ lệch chuẩn tại hạn dự báo t, được định nghĩa là:

$$SD(t) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (PE_m(t) - \overline{PE}(t))^2} \quad (3.3.7)$$

trong đó, $PE_m(t)$ là sai số vị trí của trường hợp bão đang xem xét tại hạn dự báo t ứng với cấu hình thử nghiệm m, $\overline{PE}(t)$ là sai số vị trí trung bình của M cấu hình thử nghiệm.

- *Độ lệch chuẩn trung bình (SDA)* Độ lệch chuẩn trung bình là trung bình của độ lệch chuẩn lấy trên toàn bộ tập hợp N các trường hợp bão thử nghiệm:

$$SDA(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N SD_n(t) \quad (3.3.8)$$

trong đó n là số thứ tự của trường hợp bão, $SD_n(t)$ là độ lệch chuẩn của trường hợp bão thứ n tại hạn dự báo t .

3.3.3 Bán kính gió cực đại

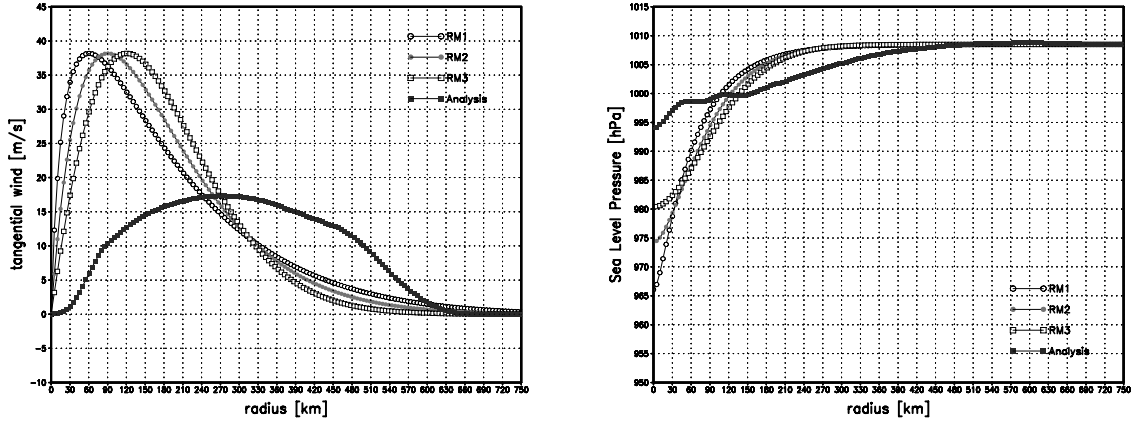
Trong công thức xác định phân bố gió tiếp tuyến của xoáy nhân tạo (3.2.2), bán kính gió cực đại (R_m) là tham số quyết định phân bố của gió vùng gần trung tâm xoáy bão. Theo Lownam, 2001 [55], bán kính gió cực đại có xu thế duy trì gần như không đổi trong suốt thời gian 1 đến 2 ngày đầu tích phân, việc xác định không chính xác bán kính gió cực đại có thể làm giảm chất lượng dự báo. Tuy vậy, vấn đề nảy sinh khi xác định bán kính gió cực đại cho sơ đồ ban đầu hóa xoáy là không có quan trắc trực tiếp, hơn nữa trong thực tế bán kính gió cực đại thường biến đổi từ vài chục đến hơn một trăm km. Trong các sơ đồ ban đầu hóa xoáy, tham số này thường được chọn đủ lớn để mô hình có thể mô phỏng được hoàn lưu và duy trì được cường độ của xoáy bão. Chẳng hạn, giá trị này được lấy là 90km trong nghiên cứu của Lownam (2001) [55] hay 125km trong nghiên cứu của Davidson (2000) [29], thậm chí tới 150km trong nghiên cứu của Trịnh Văn Thư và Kinsnamurti (1992) [78]. Cho mục đích khảo sát độ nhạy của quỹ đạo dự báo đối với bán kính gió cực đại, ở đây chúng tôi chọn các giá trị của tham số này là 60km, 90km và 120km tương ứng với các phương án thử nghiệm RM1, RM2, RM3) (Bảng 3.3.3).

Bảng 3.3.3: Các phương án ban đầu hóa với bán kính gió cực đại khác nhau.

Tham số	RM1	RM2	RM3
R_{max}	60	90	120

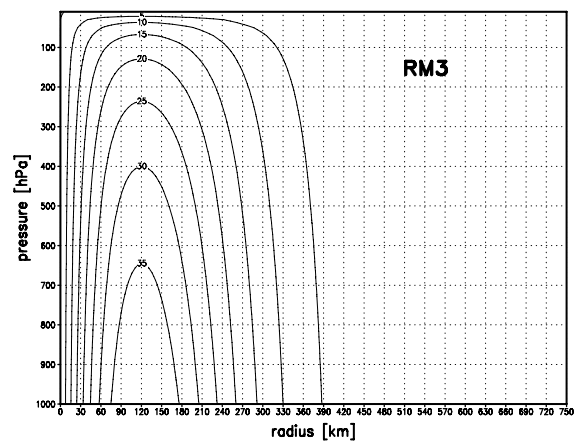
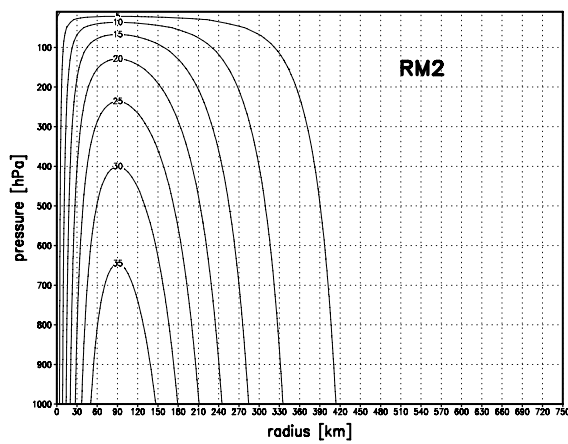
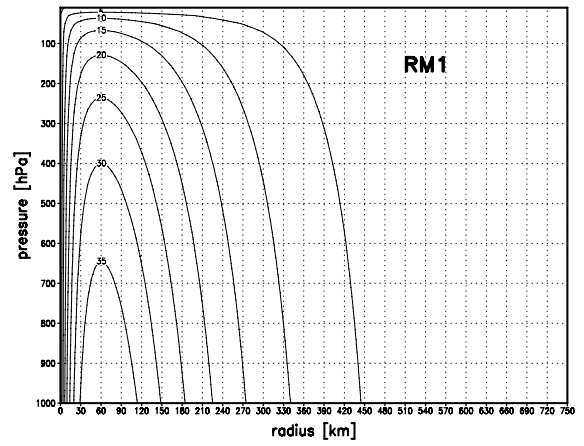
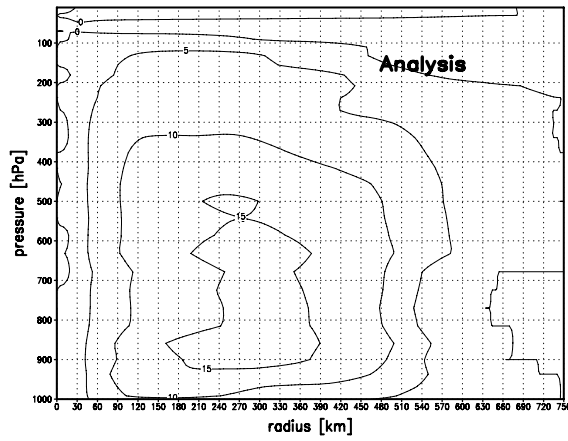
Ở hình p1.1 (phụ lục 1) là phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính tại mực 850hPa của các trường hợp bão khác nhau. Có thể nhận thấy, trong hầu hết các trường hợp bão, phân bố gió tiếp tuyến phân tích yếu và xoáy bão có qui mô rộng hơn nhiều so với xoáy nhân tạo. Chẳng hạn, trường hợp bão Imbudo vào thời điểm 12Z ngày 22/7/2003, trên thực tế nó đang là một cơn bão mạnh với tốc độ gió cực đại đến 40m/s. Trên trường phân tích, tốc độ gió tiếp tuyến tại mực 850hPa chỉ đạt hơn 18m/s với bán kính gió cực đại rộng tới 270km (Hình 3.3.1, trái). Sau khi ban

đầu hóa xoáy, trường gió bề mặt đã biểu diễn hoàn lưu bão rõ hơn với cường độ gần với quan trắc hơn (Hình 3.3.3).

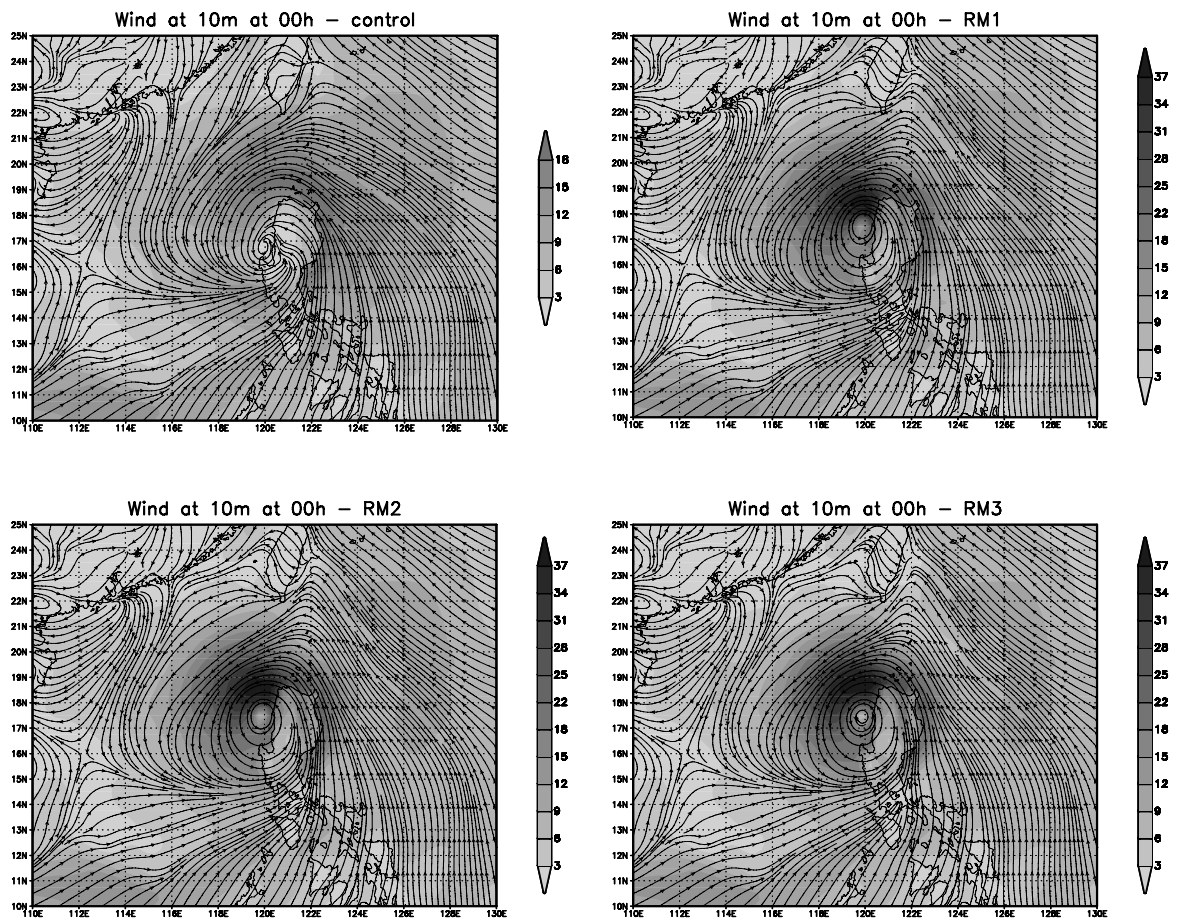


Hình 3.3.1: Phân bố gió tiếp tuyến tại mực 850hPa (trái) và phân bố trường áp suất mực biển đối xứng (phải) theo bán kính đối với trường hợp bão Imbudo lúc 12Z ngày 22/7/2003. “Analysis” là phân bố xác gió tiếp tuyến phân tích, RM1, RM2, RM3 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại tương ứng là 60km, 90km, 120km.

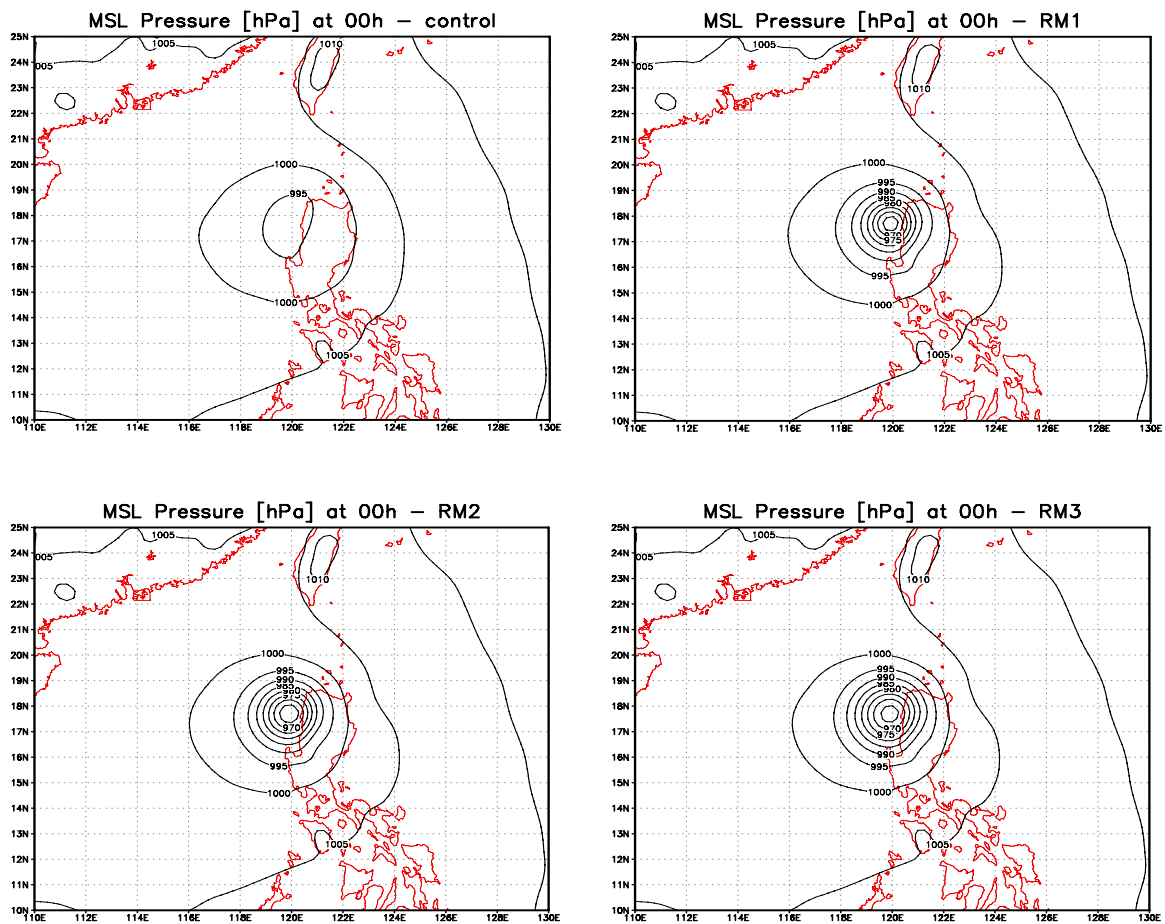
Ở Hình 3.3.1 (phải) là phân bố trường áp suất mực biển đối xứng của trường phân tích và các phương án ban đầu hóa xoáy cho bão Imbudo (12Z ngày 22/7/2003). Có thể thấy xoáy bão trên trường phân tích thể hiện qua trường áp suất mực biển đối xứng rất yếu và rộng so với các phương án ban đầu hóa xoáy. Một điểm đáng chú ý là mặc dù trong cả ba phương án ban đầu hóa xoáy, mặc dù tốc độ gió cực đại không đổi, nhưng phân bố trường áp có những khác biệt đáng kể. Khi bán kính gió cực đại nhỏ thì khí áp cực tiểu nhỏ hơn nhưng có dạng hẹp hơn và ngược lại. Chẳng hạn ở phương án RM1, khí áp mực biển cực tiểu đạt tới 965hPa trong khi ở phương án RM3 giá trị này chỉ đạt 980hPa. Hai yếu tố khí áp mực biển cực tiểu và tốc độ gió cực đại là những chỉ tiêu xác định cường độ bão và được xem là có tương quan tốt với nhau. Sau khi nội suy về lưới mô hình và được cân bằng động lực nhờ quá trình ban đầu hóa của HRM, những khác biệt này đã giảm đáng kể. (Hình 3.3.3 và Hình 3.3.4)



Hình 3.3.2: Phân bố gió tiếp tuyến trong hệ tọa độ bán kính/áp suất đối với cơn bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003. “Analysis” là phân bố gió xác định từ kết quả phân tích xoáy từ trường GME;



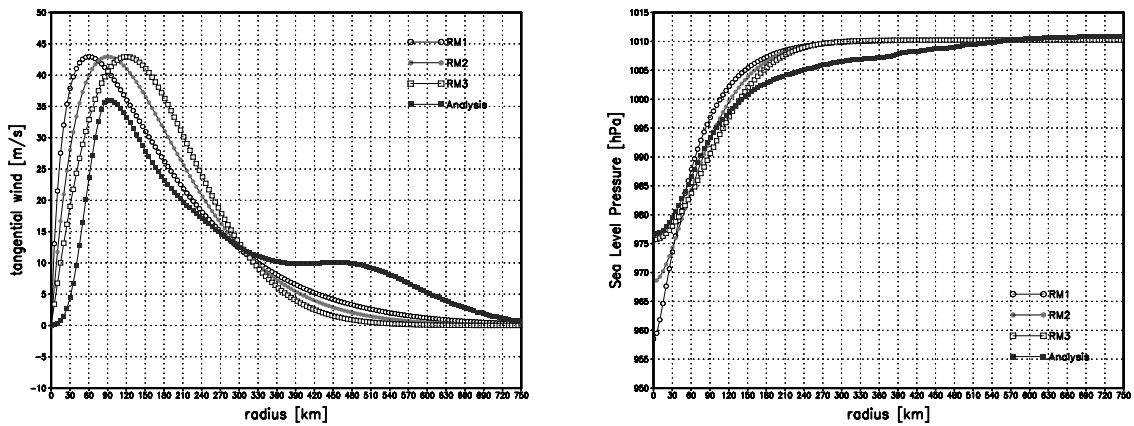
Hình 3.3.3: Trường tốc độ gió (tô bóng) và đường dòng của phương án không ban đầu hóa xoáy bão (control) và các phương án ban đầu hóa xoáy bão với bán kính gió cực đại khác nhau của trường hợp bão Imbudo 12Z ngày 22/7/2003.



Hình 3.3.4: Trường áp suất mực biển của phương án không ban đầu hóa xoáy bão và các phương án ban đầu hóa xoáy bão với bán kính gió cực đại khác nhau của trường hợp bão Imbudo 12Z ngày 22/7/2003. Các đường đẳng áp cách nhau 5 hPa.

Nhìn chung, sau khi ban đầu hóa xoáy, tốc độ gió tiếp tuyến lớn hơn một cách đáng kể so với trường phân tích. Mặc dù vậy, vẫn tồn tại một ngoại lệ đối với bão Chanchu. Từ Hình 3.3.5 (trái) có thể thấy rằng, phân bố gió phân tích tương đối mạnh và có bán kính gió cực đại vào khoảng 90km. Phân bố trường khí áp mực biển theo bán kính (Hình 3.3.5 phải) thể hiện giá trị cực tiểu phân tích khá thấp và gần bằng với phương án RM3. Tốc độ gió tiếp tuyến thay đổi rất ít trong khoảng bán kính từ 300km đến 500km, sau đó giảm nhanh theo bán kính. Dạng phân bố gió phía ngoài này đã được xác nhận qua những nghiên cứu thực nghiệm, chẳng hạn từ số liệu quan trắc bằng máy bay đối với cơn bão Elsie 29/9/1981 (Weatherford và

Gray, 1988a) [79]. Ở tất cả các trường hợp của cơn bão Chanchu, tốc độ gió tiếp tuyến của xoáy nhân tạo lớn hơn so với xoáy phân tích ở phía trong bán kính 300km và nhỏ hơn ở phía ngoài; tất cả các phương án ban đầu hóa không thể hiện được dạng phân bố gió tiếp tuyến phía ngoài của xoáy phân tích (Hình 3.3.5).

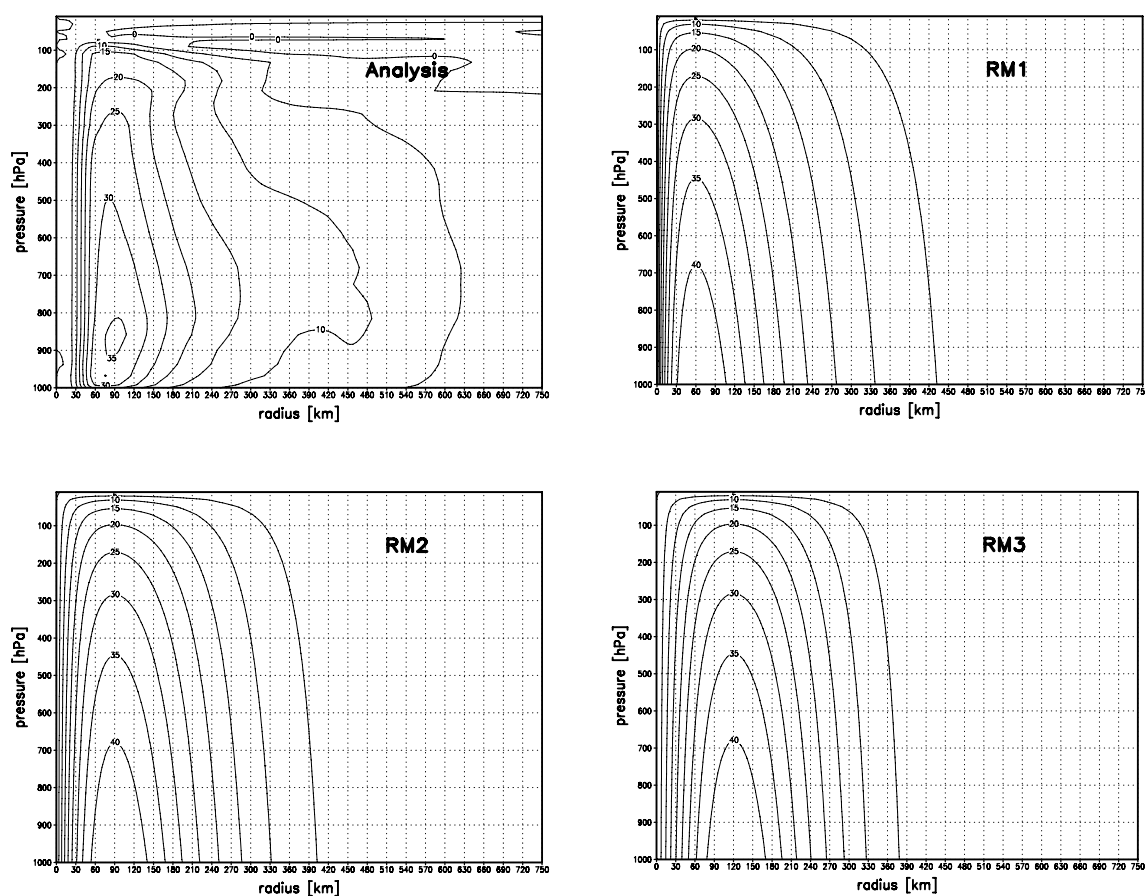


Hình 3.3.5: Phân bố gió tiếp tuyến tại mực 850 hPa (trái) và phân bố trường áp suất mực biển đối xứng (phải) theo bán kính đối với trường hợp bão Chanchu thời điểm 00Z ngày 14/5/2006. “Analysis” là phân bố xác định từ kết quả phân tích xoáy từ trường GME; RM1, RM2, RM3 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại tương ứng là 60km, 90km, 120km.

Có thể nhận thấy việc tăng bán kính gió cực đại trong khi cố định các tham số khác sẽ làm giảm tốc độ gió phía ngoài bán kính R_{15} và làm thu hẹp độ trải theo bán kính của hoàn lưu xoáy nhân tạo. Điều này thể hiện qua bán kính gió 5m/s tại bề mặt (thể hiện qua đường đẳng tốc độ gió bằng 5 ở Hình 3.3.6): của RM1 vào khoảng 425km, của RM2 vào khoảng 400km và của RM3 khoảng 375km.

Sai số vị trí và quỹ đạo dự báo của tất cả 11 trường hợp bão được cho ở hình p1.2, phụ lục 1. Nhìn chung, không có sự khác biệt lớn giữa các phương án ban đầu hóa xoáy trong đó xoáy nhân tạo được xây dựng với các giá trị khác nhau của tham số bán kính gió cực đại. Quỹ đạo dự báo của các phương án này hầu như “bám sát nhau”, sai số vị trí tương đương nhau tại tất cả các hạn dự báo (Hình p.2). Tuy nhiên, sau khi ban đầu hóa xoáy, vị trí tâm xoáy ban đầu đã được chỉnh lại gần với vị trí quan trắc hơn. Đối với những cơn bão có quỹ đạo đơn giản (như bão Imbudo,

Koni, Krovanh), quỹ đạo dự báo gần sát với quỹ đạo thực, sai số dự báo giảm đáng kể so với phương án không ban đầu hóa xoáy. Song đối với các cơn bão có quỹ đạo phức tạp, đổi hướng đột ngột (như bão Chanchu, Damrey), sau khi ban đầu hóa xoáy, bão có xu hướng di chuyển theo quán tính lớn hơn, dẫn đến vị trí và thời điểm chuyển hướng còn sai lệch đáng kể so với quỹ đạo quan trắc.



Hình 3.3.6: Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính/áp suất đối với cơn bão Chanchu thời điểm 00Z ngày 14/5/2006. “Analysis” là phân bố gió xác định từ kết quả phân tích xoáy từ trường GME; RM1, RM2, RM3 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại tương ứng là 60km, 90km, 120km.

Đối với cơn bão Chanchu, hoàn lưu bão được thể hiện rõ ngay trong trường phân tích. Trong cả ba trường hợp của cơn bão này, gió tiếp tuyến phân tích trên mực 850hPa (hình p1.1) có tốc độ cực đại khá lớn và bán kính gió cực đại tương đương với phương án ban đầu hóa xoáy RM2. Đối với trường hợp lúc 00Z ngày

14/5/2006, tất cả các phương án RM1, RM2, RM3 đều có tốc độ gió tiếp tuyến lớn hơn so với xoáy phân tích ở phía trong bán kính khoảng 330km, và nhỏ hơn một chút ở phía ngoài. Hướng di chuyển dự báo của bão trong các phương án ban đầu hóa xoáy gần với thực hơn nhưng tốc độ di chuyển nhanh hơn một chút, trong khi đó nếu không ban đầu hóa xoáy quỹ đạo dự báo sẽ lệch về phía bắc hơn (hình p.2). Tại 00Z ngày 14, và đặc biệt 12Z ngày 14, trên trường phân tích xuất hiện vùng gió tiếp tuyến phía ngoài có tốc độ lớn hơn đáng kể so với tốc độ của các phương án ban đầu hóa xoáy. Quỹ đạo dự báo của phương án không ban đầu hóa xoáy trong hai trường hợp bão là tương đương (00Z ngày 14), thậm chí tốt hơn một chút (12Z ngày 14) so với các phương án ban đầu hóa xoáy. Điều này có thể do công thức xây dựng gió tiếp tuyến giả chưa nắm bắt được chính xác phân bố gió tiếp tuyến phía ngoài của trường hợp bão này.

Sai số vị trí trung bình của 11 trường hợp bão được cho trong Bảng 3.3.4 và được biểu diễn trên Hình 3.3.7. Xét trên toàn bộ tập hợp thử nghiệm có thể thấy, việc sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy đã làm giảm sai số dự báo trung bình tại tất cả các hạn dự báo của các trường hợp bão được khảo sát. Sai số vị trí trung bình của các phương án không ban đầu hóa xoáy tại thời điểm ban đầu là 114km và tại các hạn dự báo cho đến 48h đều vào khoảng trên dưới 1 độ kinh vĩ. Trong khi đó, đối với cả ba phương án ban đầu hóa xoáy RM1, RM2 và RM3 sai số vị trí trung bình tại thời điểm ban đầu chỉ còn 13km. Sau đó sai số tăng lên khá nhanh theo thời gian tới hạn dự báo 24h và giữ ổn định đến hạn dự báo 48h (Hình 3.3.7 B). So với phương án không ban đầu hóa xoáy, sai số trung bình giảm khoảng 10km đối với hạn 24h và khoảng 20 km đối với hạn 48h (Bảng 3.3.4). Việc so sánh kết quả của ba phương án RM1, RM2, RM3 cho thấy khi sử dụng bán kính gió cực đại bằng 60km (RM1), sai số vị trí có giá trị nhỏ nhất ở hầu hết các hạn dự báo. Còn phương án sử dụng bán kính gió cực đại bằng 120km (RM3) cho sai số lớn nhất. Tuy vậy, sự sai khác giữa các phương án là khá nhỏ, lớn nhất chỉ vào khoảng 10km tại các hạn dự báo 24h và 30h.

Xét về chỉ số kỹ năng (so với phương án không ban đầu hóa xoáy), cả ba phương án RM1, RM2, RM3 đều có kỹ năng khá cao ở hạn 06h giảm nhanh đến hạn 24h-36h và lại tăng lên ở hạn 42 và 48h (Hình 3.3.7 B). Chỉ số kỹ năng của cả ba phương án ở hạn 06h tương đương nhau (khoảng 40%) nhưng đến hạn 24h, kỹ năng của RM1 là 8% trong khi của RM2 và RM3 lần lượt là 2% và 1%. Ở hạn 48h, kỹ năng của cả ba phương án gần tương đương nhau (lần lượt là 21%, 20%, 19% đối với RM1, RM2, RM3).

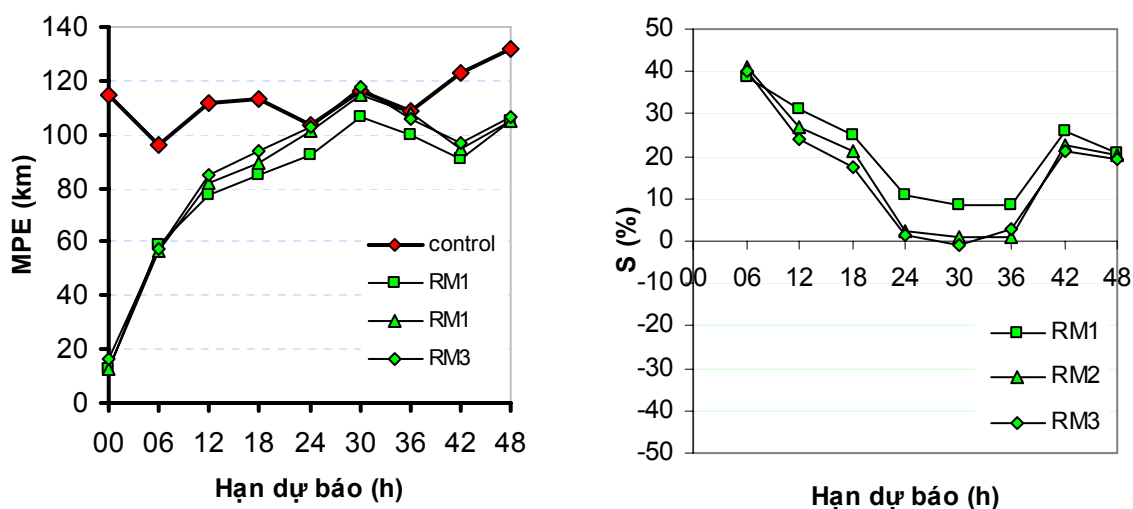
Bảng 3.3.4: Sai số vị trí trung bình MPE và MPEA cho các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại khác nhau (00* thể hiện sai số vị trí ở thời điểm ban đầu)

Hạn dự báo (h)	control	RM1	RM2	RM3
00*	114	13	13	13
06	96	59	56	57
12	112	77	82	85
18	113	85	89	94
24	104	92	101	103
30	116	106	115	117
36	109	100	108	106
42	123	91	95	97
48	132	105	105	106
MPEA	113	89	94	96

Bảng 3.3.5: Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại khác nhau so với phương án không ban đầu hóa xoáy.

Hạn dự báo \ Phương án	Phương án		
	RM1	RM2	RM3
06	39	41	40
12	31	27	24
18	25	21	17
24	11	2	1
30	8	1	-1
36	8	1	3
42	26	23	21
48	21	20	19
SA	21	17	16

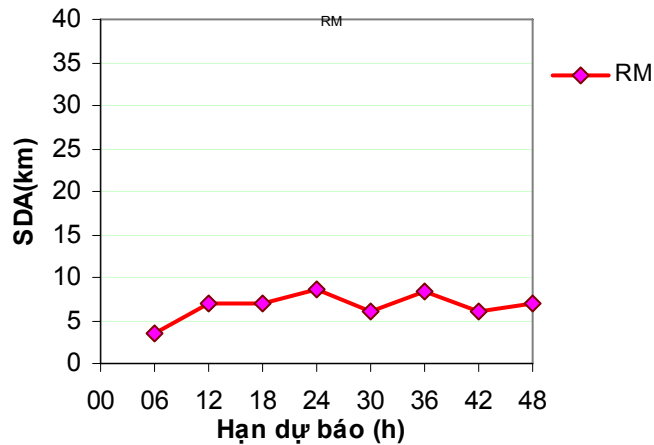
Nhìn chung, sai số vị trí trung bình tổng thể (MPEA) của phương án không ban đầu hóa xoáy là 113km, trong khi MPEA của RM1, RM2, RM3 lần lượt là 89km, 94km và 96km. Chỉ số kỹ năng tổng thể (SA) của các phương án ban đầu hóa xoáy RM1, RM2, RM3 so với phương án không ban đầu hóa xoáy tương ứng là 21%, 17% và 16%. Hình 3.3.8 là độ lệch chuẩn trung bình của các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại (RM) khác nhau. Giá trị độ lệch chuẩn trung bình đều nhỏ hơn 10km ở tất cả các hạn dự báo một lần nữa cho thấy ảnh hưởng của những thay đổi bán kính gió cực đại đến quỹ đạo dự báo là không lớn.



A

B

Hình 3.3.7: A) Sai số vị trí trung bình ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại khác nhau và phương án đối chứng không ban đầu hóa xoáy; B) Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy so với phương án đối chứng.



Hình 3.3.8: Độ lệch chuẩn trung bình SDA của các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió cực đại khác nhau.

Tóm lại, những khảo sát trên đã cho thấy, mặc dù bán kính gió cực đại của tốc độ gió tiếp tuyến trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy bão là một tham số có ảnh hưởng đến cấu trúc của xoáy nhân tạo nhưng độ nhạy của nó đối với chuyển động của xoáy bão nhìn chung không lớn. Quỹ đạo của các phương án thử nghiệm có bán kính gió cực đại khác nhau khá bám sát nhau, sai số vị trí của các phương án khác nhau không nhiều. Kết quả này khá phù hợp với các nghiên cứu lý tưởng bằng mô hình chính áp của Fiorino và Elsberry (1989) [39]. Tuy thế, trong các khảo sát ở đây, phương án sử dụng bán kính gió cực đại bằng 60km (RM1) cho sai số vị trí trung bình nhỏ hơn và kỹ năng dự báo tốt hơn so với các phương án sử dụng bán kính gió cực đại bằng 90km (RM2) và 120km (RM3). Những nhận xét trên đây chỉ giới hạn cho quỹ đạo bão dự báo. Đối với dự báo cường độ bão hay hình thái gió mạnh trong bão, vai trò của bán kính gió cực đại cần được nghiên cứu kỹ hơn.

3.3.4 Bán kính gió 15m/s

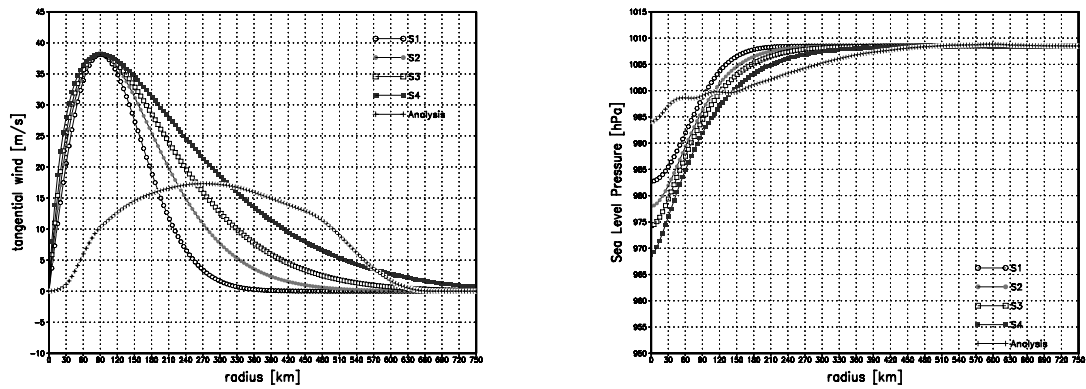
Phân bố gió phía ngoài có ảnh hưởng rất lớn đến chuyển động của xoáy bão (Fiorino và Elsberry, 1989) [39]. Trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy của HTM_TC, bán kính gió 15m/s (R_{15}) được sử dụng để tính toán tham số b trong công thức (3.2.2).

R_{15} có vai trò rất quan trọng trong việc xác định phân bố phía ngoài của hoàn lưu xoáy bão và quyết định kích thước và độ mạnh (năng lượng) của bão. Vì thế, việc khảo sát độ nhạy của tham số này và tìm cách xác định giá trị phù hợp của nó là một bài toán quan trọng. Tham số R_{15} có thể xác định từ các công thức thống kê thực nghiệm (Weatherford và Gray 1988 a,b) [79,80]. Davidson và nnk. (1993)[30] lấy R_{15} xấp xỉ với giá trị bán kính đường đẳng áp khép kín ngoài cùng. Tuy nhiên, đây là cách xác định mang tính chủ quan và các tác giả cũng nhấn mạnh sự cần thiết phải xác định chính xác hơn tham số này. Trong mục này sẽ khảo sát các phương án ban đầu hóa xoáy sử dụng tham số R_{15} thay đổi lần lượt là 200 km, 250km, 300km và 400km ứng với các phương án từ S1 đến S4 (Bảng 3.3.6). Những phương án này được đưa ra nhằm xem xét mức độ ảnh hưởng của R_{15} đến quỹ đạo bão dự báo cũng như nhằm tìm ra giá trị thích hợp nhất.

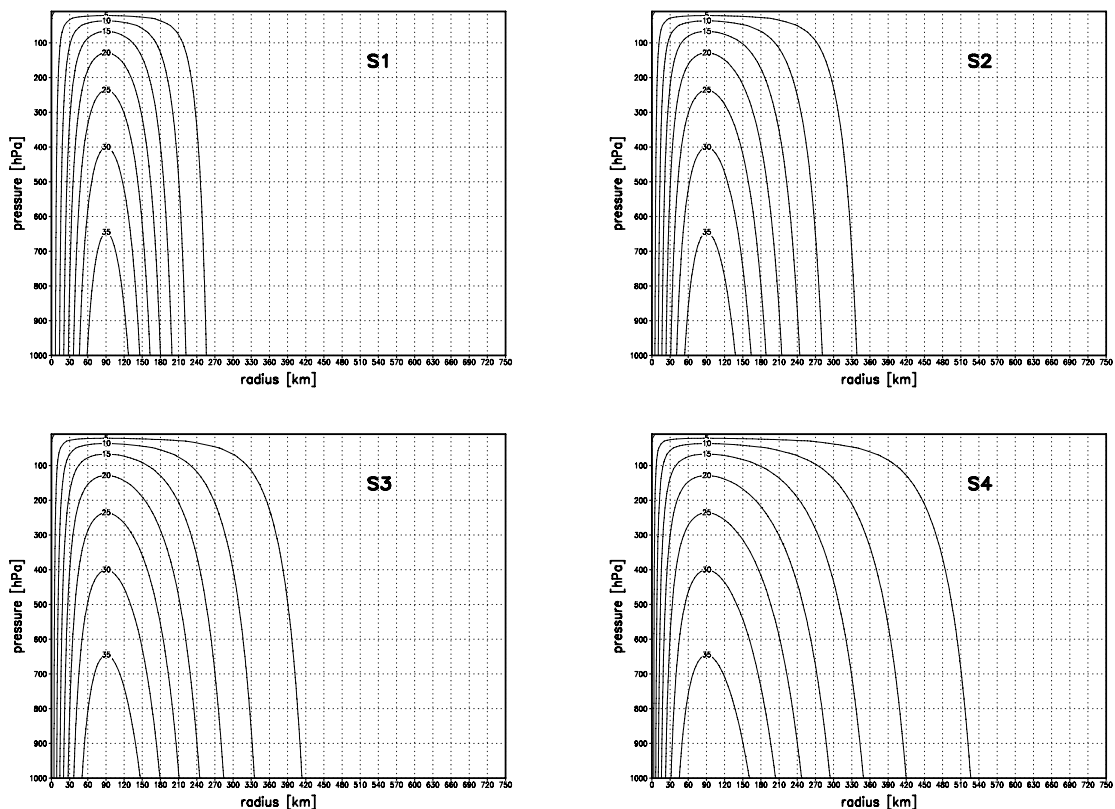
Bảng 3.3.6 Các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15 m/s khác nhau.

Tham số	S1	S2	S3	S4
R_{15}	200	250	300	400

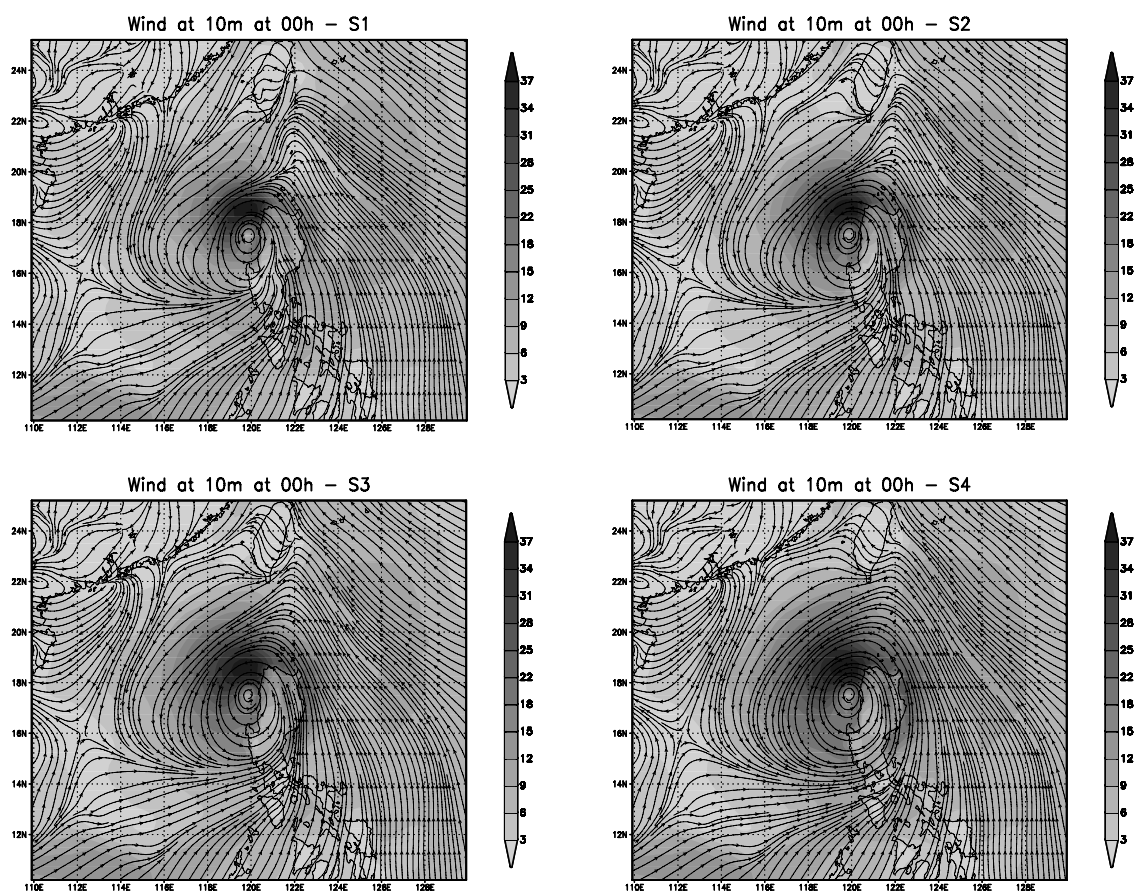
Hình p2.1 (phụ lục 2) là phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính của các phương án khảo sát ứng với các trường hợp bão khác nhau. Có thể thấy, phía trong bán kính gió cực đại, phân bố gió tiếp tuyến của các phương án ban đầu hóa xoáy thay đổi không đáng kể. Sự khác biệt thể hiện rõ rệt đối với tốc độ gió tiếp tuyến ở khu vực phía ngoài bán kính gió cực đại và sự mở rộng theo bán kính của hoàn lưu bão (Hình 3.3.9 trái). Mặc dù tốc độ gió cực đại và bán kính gió cực đại không đổi, nhưng phân bố trường khí áp mực biển theo bán kính thay đổi khá nhiều. Đối với các phương án có R_{15} lớn hơn thì trường khí áp mực biển giảm từ ngoài vào tâm bão trong mạnh hơn và có giá trị cực tiểu của khí áp mực biển nhỏ hơn (Hình 3.3.9 phải).



Hình 3.3.9: Phân bố gió tiếp tuyến tại mực 850hPa (trái) và phân bố trường áp suất mực biển đối xứng (phải) theo bán kính đối với trường hợp bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003. “Analysis” là phân bố xác định từ kết quả phân tích xoáy từ trường GME, S1, S2, S3, S4 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s tương ứng là 200km, 250km, 300km, 400km.



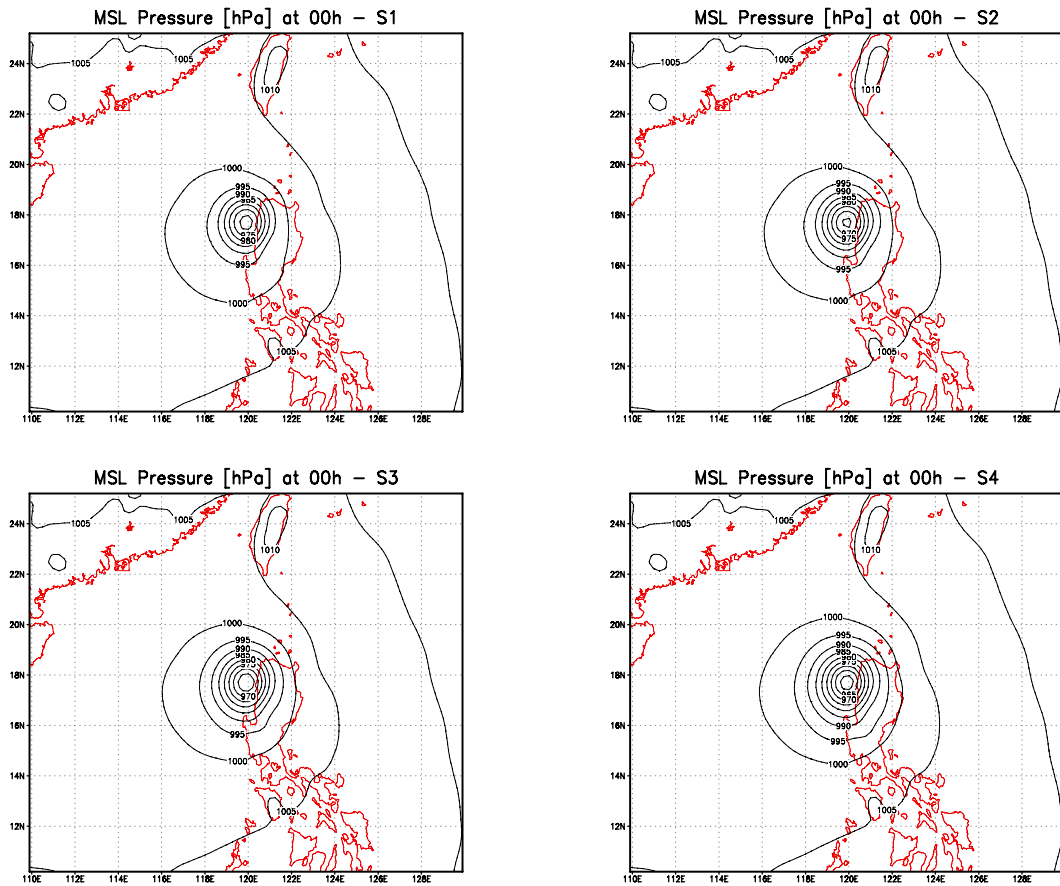
Hình 3.3.10: Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy bão ứng với bán kính gió 15m/s khác nhau của bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003. S1, S2, S3, S4 là các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s tương ứng là 200km, 250km, 300km, 400km.



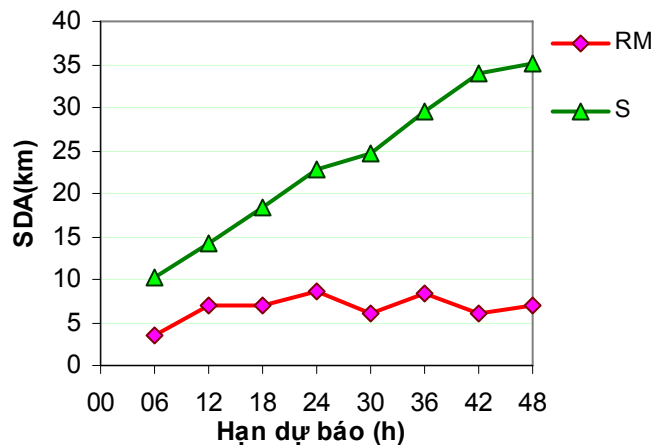
Hình 3.3.11: Trường gió 10m của ban đầu của 4 phương án ban đầu hóa xoáy bão ứng với các bán kính gió 15m/s khác nhau của bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003.

Hình p.2.2 (Phục lục 2) là quỹ đạo dự báo (trái) và sai số vị trí (phải) của 11 trường hợp bão khi không sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy bão và các phương án ban đầu hóa xoáy bão từ S1 đến S4. Khác với thí nghiệm khảo sát bán kính gió cực đại, ở đây quỹ đạo của các phương án ban đầu S1 đến S4 biến đổi đáng kể, chứng tỏ việc thay đổi bán kính gió 15m/s có ảnh hưởng khá lớn đến quỹ đạo bão dự báo. Để so sánh, Hình 3.3.13 dẫn ra độ lệch chuẩn trung bình của sai số vị trí của thí nghiệm độ nhạy đối với bán kính gió 15m/s (S) và bán kính gió cực đại (RM). Có thể thấy rằng, SDA của thí nghiệm S tăng rất nhanh theo hạn dự báo và lớn hơn rất nhiều so thí nghiệm RM. Chẳng hạn, tại 48h, SDA của S là 35km còn SDA của RM là 7km. Điều này cũng chứng tỏ tốc độ gió phía ngoài có vai trò lớn đối với chuyển động

của bão, thống nhất với các nghiên cứu trên mô hình chính áp của Fiorino và Elsberry (1989) [39].

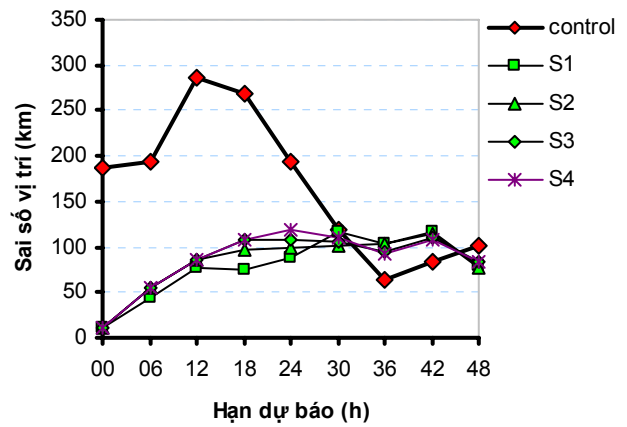
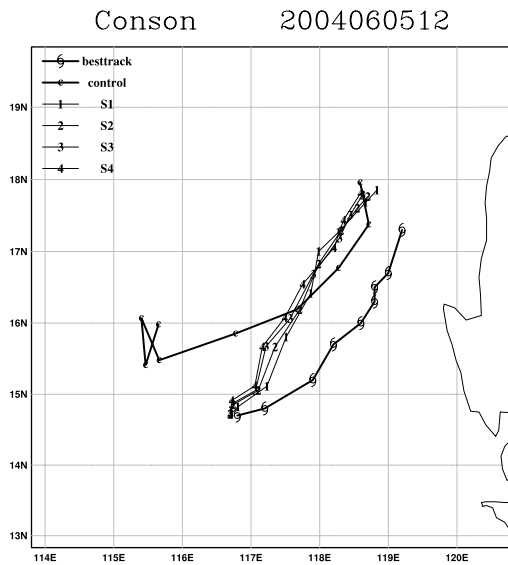


Hình 3.3.12: Trường áp suất mực biển ban đầu của 4 phương án ban đầu hóa xoáy bão ứng với các bán kính gió 15m/s khác nhau của bão Imbudo thời điểm 12Z ngày 22/7/2003.

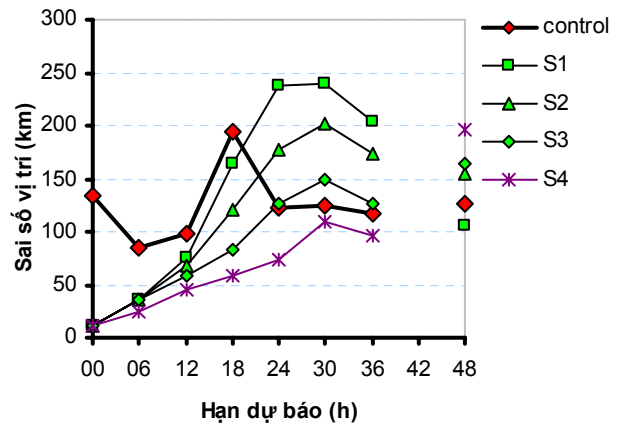
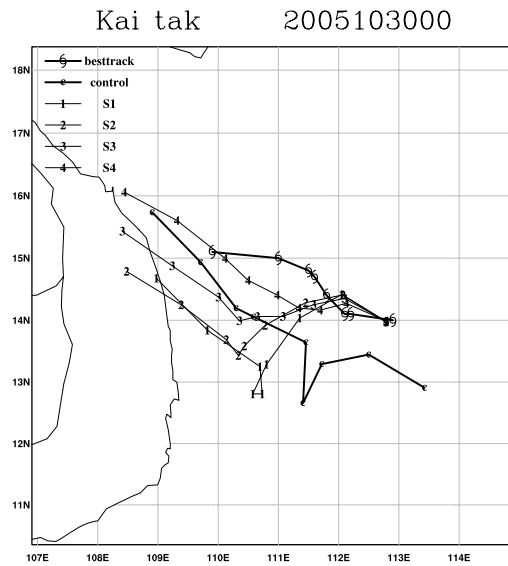


Hình 3.3.13: Độ lệch chuẩn trung bình (SDA) của các thí nghiệm thay đổi bán kính gió cực đại (RM) so với thí nghiệm thay đổi bán kính gió 15m/s (S).

Có thể thấy sự phân tán quỹ đạo bão của các phương án dự báo phụ thuộc vào từng trường hợp bão khác nhau. Trong một số trường hợp bão, quỹ đạo dự báo của các phương án bám sát nhau, như trường hợp bão Conson 12Z ngày 5/6/2004 (Hình 3.3.14). Ngược lại, một số trường hợp khác, quỹ đạo dự báo phân tán khá mạnh (bão Kaitak 00Z 30/10/2005, Hình 3.3.15). Về mặt định tính, những trường hợp có quỹ đạo dự báo bám sát nhau đồng thời chúng cũng bám tương đối gần quỹ đạo quan trắc. Ngược lại, khi các quỹ đạo dự báo phân tán mạnh thì hầu như không có phương án nào cho quỹ đạo dự báo sát với thực tế. Điều này chứng tỏ khả năng báo và tính ổn định của quỹ đạo bão khác nhau đối với mỗi hình thể bão cụ thể. Trong những trường hợp bão thể hiện tính không ổn định đạo dự báo của các phương án ban đầu hóa khác nhau, người làm dự báo cần thận trọng khi đưa ra bản tin dự báo của mình.



Hình 3.3.14: Quỹ đạo dự báo (trái) bão Conson (12Z 5/6/2004) và sai số vị trí (phải) ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau.



Hình 3.3.15: Quỹ đạo dự báo (trái) bão Kaitak (00Z 13/10/2005) và sai số vị trí (phải) ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau, sai số vị trí tại 42h không có do thiếu số liệu quan trắc.

Nhìn chung, khi sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s (R_{15}) lớn hơn bão có xu hướng di chuyển nhanh hơn. Trong một số trường hợp bão có sự chuyển hướng đột ngột (chẳng hạn cơn bão Chanchu), các phương án có R_{15} lớn (S4) thường di chuyển nhanh và có vị trí đổi hướng vượt quá trị trí đổi hướng quan trắc. Đối với những cơn bão có quỹ đạo tương đối đơn giản như Imbudo, Koni và Krovanh, khi ban đầu hóa xoáy với R_{15} lớn cho vị trí tâm bão dự báo di chuyển nhanh hơn so với các phương án ban đầu hóa với R_{15} nhỏ và so với tâm bão thực.

Sai số vị trí trung bình của 11 trường hợp bão ứng với các phương án dự báo khác nhau của thí nghiệm này được cho trong Bảng 3.3.7 và được biểu diễn ở Hình 3.3.16 (trái). Có thể nhận thấy, phương án S4 ($R_{15}=400\text{Km}$) cho sai số trung bình nhỏ nhất ở những hạn dự báo dưới 24 giờ, nhưng lại cho sai số lớn ở các hạn dự báo dài hơn. Nhìn chung, phương án S2 ($R_{15}=250\text{Km}$) cho dự báo ổn định nhất với sai số nhỏ nhất ở các hạn dự báo lớn hơn 24h và sai số tương đối nhỏ ở các hạn dưới 24h. Sai số vị trí trung bình tổng thể (MPEA) của phương án S2 cũng nhỏ nhất (88km), tiếp đến là các phương án S3 (94km), S1 (97km), và lớn nhất là S4 (101km). Điều đáng nói là tất cả các phương án có sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy đều cho sai số vị trí dự báo nhỏ hơn so với khi không ban đầu hóa xoáy (113km).

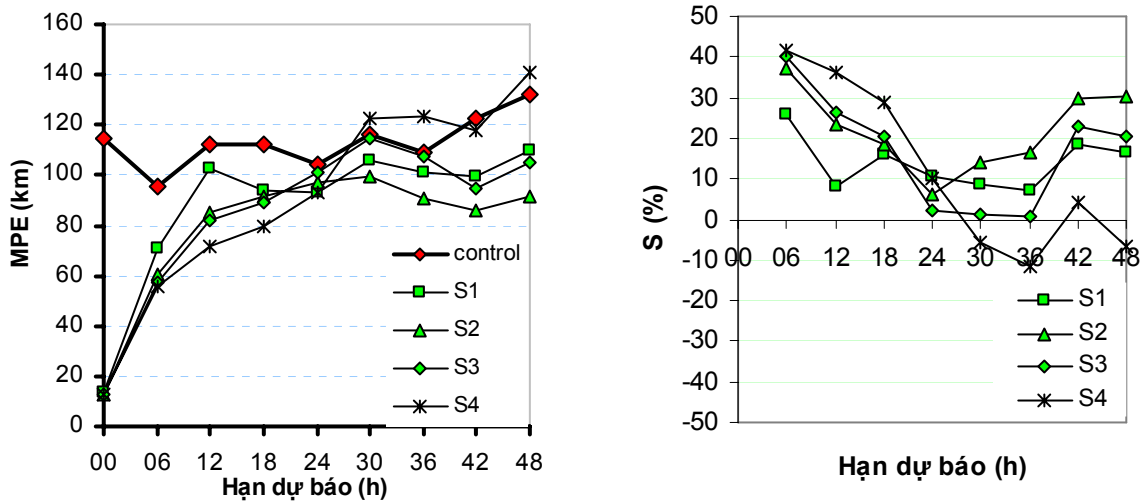
Bảng 3.3.8 và Hình 3.3.16 (phải) là chỉ số kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy với các giá trị bán kính gió 15m/s khác nhau so với phương án không ban đầu hóa xoáy. Ở những hạn dự báo tới 18h, các phương án sử dụng bán kính gió 15m/s lớn hơn cho kỹ năng dự báo cao hơn. Chẳng hạn, ở hạn 6h, kỹ năng của các phương án S1, S2, S3, S4 lần lượt là 26%, 37%, 40% và 42%. Sau đó, trừ S2, kỹ năng của các phương án khác giảm nhanh tới hạn 36h. Ở hạn dự báo 24h, 30h và 36h, S3 hầu như không có kỹ năng so với phương án đối chứng (kỹ năng tương ứng với các hạn dự báo này là 2%, 1%, 1%), còn S4 lại cho dự báo kém hơn với chỉ số kỹ năng âm tại 30h (-5%) và 36h (-12%). Nhìn chung, S2 có kỹ năng trung bình là 22%, các phương án còn lại là 14% (S1), 17% (S3), và 12% (S4). Chênh lệch kỹ năng tổng thể giữa phương án tốt nhất (S2) và xấu nhất (S4) là 10%.

Bảng 3.3.7 : Sai số vị trí trung bình cho các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau

Hạn dự báo (h)	control	S1	S2	S3	S4
00	114	13	13	13	13
06	96	71	60	57	56
12	112	103	86	82	71
18	112	94	91	89	80
24	104	93	97	101	93
30	116	106	100	115	123
36	109	101	91	108	123
42	123	100	86	95	118
48	132	110	92	105	141
MPEA	113	97	88	94	101

Bảng 3.3.8: Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau so với phương án không ban đầu hóa xoáy.

Phương án Hạn dự báo	S1	S2	S3	S4
06	26	37	40	42
12	8	24	26	36
18	16	19	21	29
24	11	6	2	10
30	9	14	1	-5
36	7	16	1	-12
42	19	30	23	4
48	17	30	20	-7
SA	14	22	17	12



Hình 3.3.16: A) Sai số vị trí trung bình ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy với bán kính gió 15m/s khác nhau và phương án đối chứng; B) Kỹ năng của các phương án.

Tóm lại, những thử nghiệm trên đây đã cho thấy vai trò quan trọng của phân bố gió tiếp tuyến phía ngoài (được đặc trưng bởi bán kính gió 15m/s) đối với sự di chuyển của bão. Tham số bán kính gió 15m/s (R_{15}) trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy có độ nhạy khá lớn và có ảnh hưởng quan trọng đến quỹ đạo bão dự báo. Quỹ đạo bão trong các phương án thí nghiệm thay đổi R_{15} khá phân tán và không giống nhau đối với mọi trường hợp bão mà phụ thuộc vào từng tình huống bão cụ thể. Nói chung khi giá trị R_{15} lớn, kỹ năng dự báo của mô hình tốt hơn ở hạn dự báo dưới 36h, sau đó bão thường di chuyển quá nhanh và do đó làm giảm kỹ năng dự báo ở những hạn dự báo dài hơn. Đánh giá chung, giá trị tham số $R_{15}=250\text{km}$ được xem là phù hợp nhất đối với tập hợp số liệu bão thử nghiệm.

3.3.5 Hàm trọng số theo phương thẳng đứng

Nếu như các sơ đồ ban đầu hóa xoáy cho các mô hình hai chiều chỉ cần xác định phân bố gió hoặc khí áp theo bán kính thì đối với các mô hình ba chiều đòi hỏi phải có cả phân bố theo bán kính và độ cao của các trường xoáy nhân tạo. Phân bố

của gió tiếp tuyến theo bán kính và phương thẳng đứng được xây dựng bằng cách kết hợp của phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính với một hàm trọng số theo phương thẳng đứng (hay *trọng số thẳng đứng*). Hàm trọng số thẳng đứng trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy có thể là một hàm lý thuyết nào đó hoặc cũng có thể là tập các giá trị thực nghiệm thu nhận được qua việc xử lý, phân tích các nguồn số liệu khảo sát thực tế. Do điều kiện không cho phép, ở đây chỉ khảo sát một số dạng hàm trọng số lý thuyết ứng với các phương án thí nghiệm nhằm xác định vai trò của nhân tố này đối với quỹ đạo bão dự báo.

- Phương án W1: Hàm trọng số là hàm tuyến tính theo của cao z :

$$W = 1 - \frac{z}{H} \quad (3.3.1)$$

trong đó, z là độ cao tại một mực cụ thể và H là độ cao của đỉnh mô hình. Đây là dạng đơn giản nhất trong số các dạng hàm trọng số được khảo sát.

- Phương án W2: Hàm trọng số theo phương thẳng đứng có dạng tương tự như dạng hàm trọng số trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy của Lownam (2001)[55] sử dụng trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy của mô hình MM5, trong đó :

$$W = \begin{cases} 1 & p > 600\text{hPa} \\ \frac{p-100}{500} & 100\text{hPa} \leq p \leq 600\text{hPa} \\ 0 & p < 100\text{hPa} \end{cases} \quad (3.3.2)$$

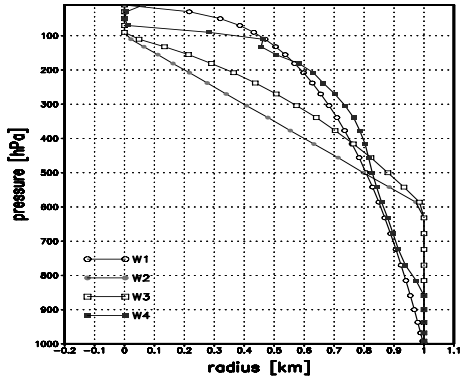
- Phương án W3: Có dạng tương tự với phương án W2, nhưng ở đây thay vì tuyến tính từng phần theo áp suất, sử dụng tuyến tính từng phần theo độ cao.

$$W = \begin{cases} 1 & p > 600\text{hPa} \\ \frac{z - z_{100}}{z_{500}} & 100\text{hPa} \leq p \leq 600\text{hPa} \\ 0 & p < 100\text{hPa} \end{cases} \quad (3.3.3)$$

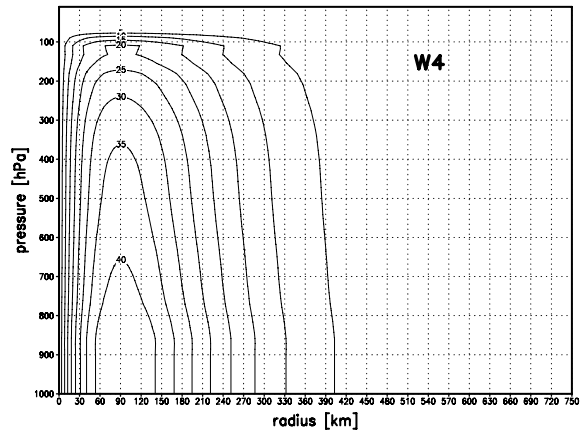
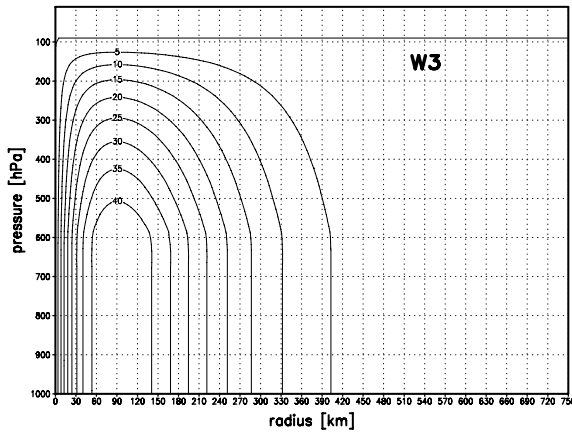
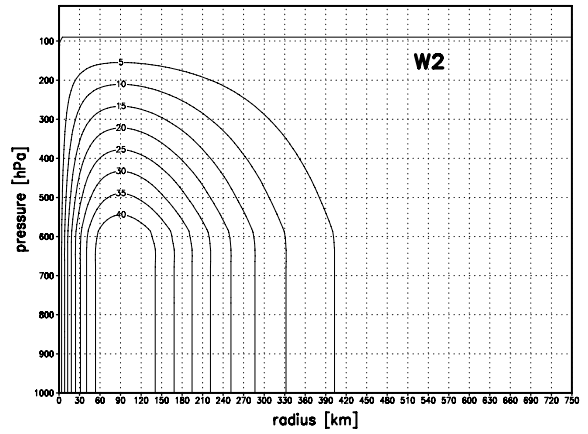
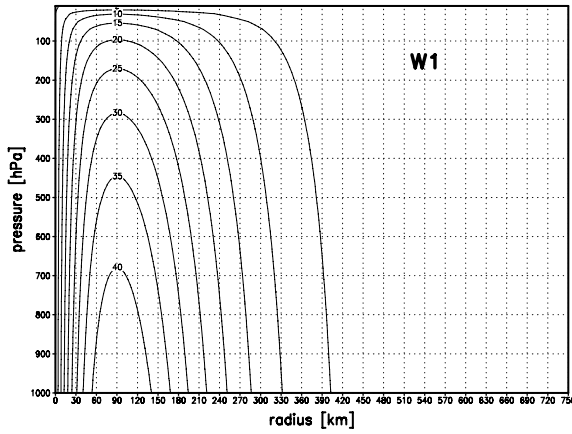
- Phương án W4: Hàm trọng số được tính từ profile gió phân tích như sau. Giả sử ta có tốc độ gió cực đại tại các mực $V_{LMax}(z)$, tốc độ gió cực đại toàn cục V_{GMax} xảy ra tại mực Z_G , khi đó trọng số được tính bằng công thức

$$W = \begin{cases} 1 & z < Z_G \\ \frac{V_{LMax}(z)}{V_{GMax}} & z \geq Z_G \end{cases} \quad (3.3.4)$$

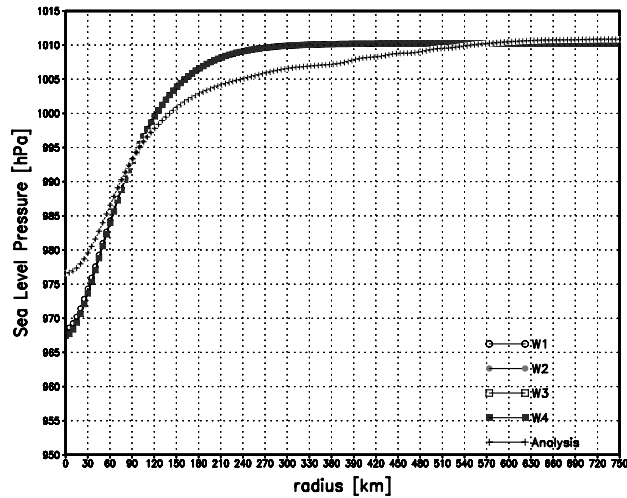
Hình 3.3.17 là biến đổi của trọng số theo phương thẳng đứng ứng với các cấu hình thí nghiệm của trường hợp bão Chanchu 00Z 14/5/2006. Có thể thấy, trong phương án W1, biến đổi thẳng đứng của gió tiếp tuyến khá gần với phương án W4 (xác định từ trường phân tích), tuy thế tốc độ gió chỉ giảm tới 0 tại đỉnh mô hình (20hPa) trong khi W4 và các phương án còn lại không còn tồn tại hoàn lưu bão khi tới mực khoảng 100hPa. Hoàn lưu xoáy nhân tạo của phương án W1 và W4 có sự phát triển theo chiều thẳng đứng cao hơn so với W2 và W3 nhưng có tốc độ gió ở phía dưới mực 500hPa thấp hơn. Profile gió tiếp tuyến trong các phương án W2 và W3 tương tự nhau ở các mực từ bề mặt đến 600hPa và phía trên mực 100hPa. Từ 600hPa đến 100hPa, tốc độ gió tiếp tuyến của W3 lúc đầu giảm chậm hơn và do đó lớn hơn phương án W2 một chút. Phân bố gió tiếp tuyến của xoáy nhân tạo theo phương thẳng đứng và theo bán kính tính từ tâm xoáy được biểu diễn ở Hình 3.3.18, còn phân bố trường áp mực biển theo bán kính được dẫn ra trên Hình 3.3.19 ứng với các phương án thí nghiệm. Có thể thấy, mặc dù phân bố của trường gió khác nhau khá nhiều nhưng trường khí áp mực biển trong các phương án ban đầu hóa xoáy với hàm trọng số thẳng đứng khác nhau gần như không thay đổi.



Hình 3.3.17: Hàm trọng số thẳng đứng theo áp suất của gió tiếp tuyến của các phương án ban đầu hóa xoáy khác nhau đối với trường hợp bão Chanchu 00Z 14/5/2006

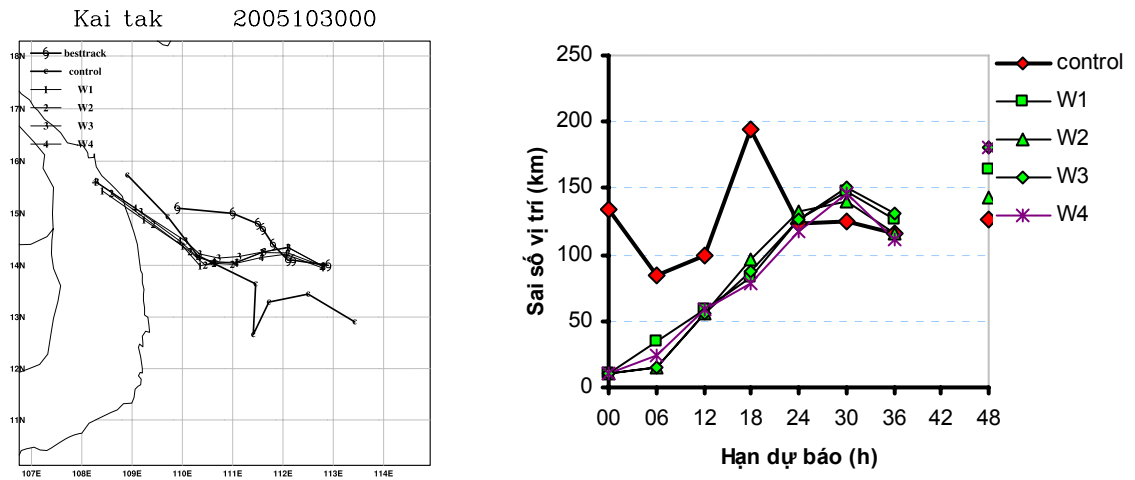


Hình 3.3.18: Phân bố của gió tiếp tuyến theo bán kính và áp suất ứng với các hàm trọng số thẳng đứng khác nhau của trường hợp bão Chanchu 00Z 14/5/2006



Hình 3.3.19: Phân bố của trường khí áp mực biển bán kính ứng với các phương án ban đầu hóa với hàm trọng số thẳng đứng khác nhau của trường hợp bão Chanchu 00Z 14/5/2006

Quỹ đạo dự báo của các phương án thí nghiệm sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy đối với các hàm trọng số thẳng đứng khác nhau (Hình p3.1, phụ lục 3) không khác nhau nhiều. Nhìn chung quỹ đạo dự báo trong hầu hết các trường hợp bão tương đối bám sát nhau. Ngay cả đối với trường hợp có quỹ đạo dự báo phân tán mạnh như Kai_tak 00Z 30/10/2005, quỹ đạo trong các phương án ban đầu hóa xoáy cũng biến động không đáng kể (Hình 3.3.20). Hình 3.3.22 là độ lệch chuẩn của sai số dự báo trong các phương án ban đầu hóa của thí nghiệm thay đổi hàm trọng số thẳng đứng (W) và các thí nghiệm thay đổi bán kính gió cực đại (RM) và thay đổi bán kính gió 15m/s (S). Có thể thấy, độ lệch chuẩn của sai số trong thí nghiệm W chỉ lớn hơn so với thí nghiệm RM một chút và nhỏ hơn nhiều so với thí nghiệm S. Như vậy, hàm trọng số thẳng đứng trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều của HRM_TC không phải là một tham số có độ nhạy lớn đối với quỹ đạo dự báo.



Hình 3.3.20: Quỹ đạo dự báo (trái) bão Kaitak (00Z 13/10/2005) và sai số vị trí (phải) ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy bão sử dụng các hàm trọng số thẳng đứng khác nhau (sai số vị trí tại 42h bị thiếu do không số liệu vị trí tâm xoáy trong tập số liệu chỉ thị bão).

Sai số vị trí trung bình của 11 trường hợp bão của các phương án từ W1 đến W4 và phương án đối chứng control được cho trong Bảng 3.3.9 và được biểu diễn ở Hình 3.3.21 (trái). Ở hầu hết cả các hạn dự báo, phương án W2 cho sai số vị trí trung bình nhỏ nhất, giữa các phương án còn lại đại lượng này không khác nhau nhiều. Sai số vị trí trung bình tổng thể (MPEA) của phương án W2 là 88 km, nhỏ hơn so với các phương án W1, W3, W4 khoảng 5km và nhỏ hơn phương án không ban đầu hóa xoáy khoảng 25km.

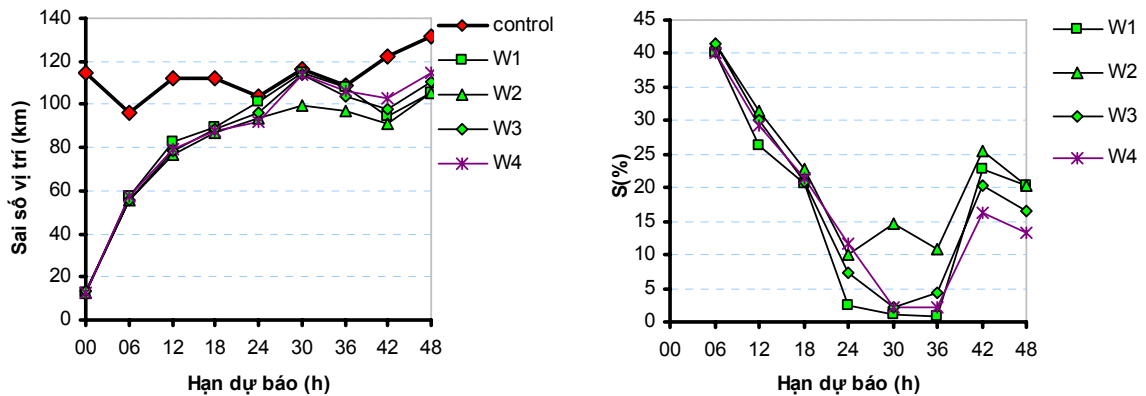
Bảng 3.3.10 và Hình 3.3.21 (phải) là chỉ số kỹ năng (so với phương án không ban đầu hóa xoáy) của các phương án W1–W4. Kỹ năng của các phương án đạt khoảng 40% ở hạn 06h và giảm nhanh đến khoảng 5–10% ở các hạn dự báo 30h và 36h. Đánh giá chung, kỹ năng trung bình của W2 là 22%, của W1 và W2 là 17% còn của W3 là 18%.

Bảng 3.3.9 : Sai số vị trí trung bình của các phương án ban đầu hóa xoáy với hàm trọng số thẳng đứng khác nhau và phương án không ban đầu hóa xoáy.

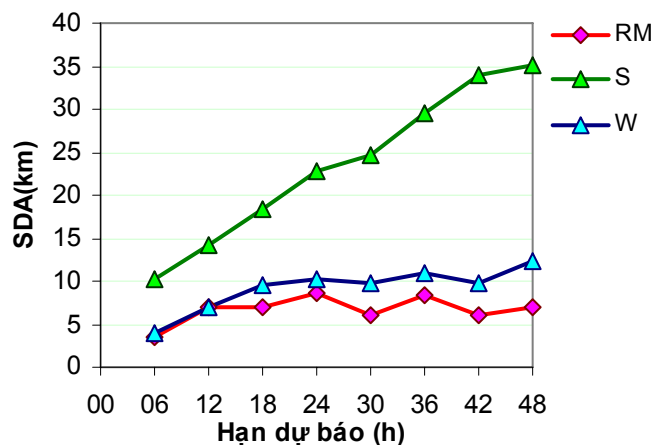
Hạn dự báo (h)	control	W1	W2	W3	W4
00	114	13	13	14	13
06	96	57	56	56	57
12	112	82	77	78	79
18	112	89	87	89	88
24	104	101	94	96	92
30	116	115	99	114	114
36	109	108	97	104	106
42	123	95	91	98	103
48	132	105	105	110	114
MPEA	113	94	88	93	94

Bảng 3.3.10: Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy với hàm trọng số thẳng đứng khác nhau so với phương án không ban đầu hóa xoáy.

Phương án Hạn dự báo	W1	W2	W3	W4
06	40	42	42	40
12	26	32	30	29
18	21	23	21	21
24	2	10	7	12
30	1	15	2	2
36	1	11	4	2
42	23	26	20	16
48	20	20	16	13
SA	17	22	18	17



Hình 3.3.21: A) Sai số vị trí trung bình ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy W1 đến W4 và phương án đối chứng control; B) Kỹ năng của các phương án ban đầu hóa xoáy W1 đến W2 (so với control).



Hình 3.3.22: Độ lệch chuẩn trung bình của sai số (SDA) của các phương án ban đầu hóa xoáy thay đổi bán kính gió cực đại (RM), thay đổi bán kính gió 15m/s (S) và các phương án thay đổi hàm trọng số thẳng đứng (W).

Tóm lại, hàm trọng số theo phương thẳng đứng trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều cho HRM_TC có ảnh hưởng không lớn đến quỹ đạo bão dự báo (độ nhạy không cao). Trong các dạng hàm trọng số được khảo sát ở đây, dạng hàm của phương án W2 cho kỹ năng trung bình cao nhất và sai số vị trí trung bình tổng thể nhỏ nhất.

3.3.6 Kết hợp phân bố gió tiếp tuyến phân tích với phân bố gió tiếp tuyến giả

Những kết quả khảo sát độ nhạy của tham số bán kính gió 15m/s trên đây đã cho thấy vai trò quan trọng của phân bố gió tiếp tuyến phía ngoài đối với chuyển động của bão. Trong một số hình thể bão, phân bố gió lý thuyết theo bán kính không mô tả được một cách hợp lý phân bố gió thực tế, dẫn đến mô hình chưa mô phỏng tốt quỹ đạo thực. Trong những thí nghiệm trước, phân bố gió tiếp tuyến phân tích được xem là chứa nhiều sai sót và được loại bỏ khỏi trường môi trường. Thực tế, những sai sót này một phần sinh ra bởi sự thừa thớt của số liệu quan trắc và độ phân giải thô của mô hình toàn cầu. Vì qui mô không gian của vùng gió phía ngoài tương đối lớn so với qui mô không gian của phân bố gió bên trong tâm bão, nên trường phân tích có thể nắm bắt được một số đặc thù phân bố gió tiếp tuyến thực. Như vậy, việc loại bỏ hoàn toàn phân bố gió tiếp tuyến phân tích có thể làm mất mát một số thông tin quan trọng của phân bố gió tiếp tuyến thực. Mục này sẽ khảo sát sự kết hợp phân bố xoáy nhân tạo với phân bố xoáy phân tích ở các bán kính phía ngoài với hy vọng có thể tăng độ chính xác dự báo. HRM_TC có thể kết hợp phân bố gió tiếp tuyến giả với phân bố gió tiếp tuyến phân tích bằng cách, thay vì phương trình (3.2.1), phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính–độ cao được xác định bằng phương trình:

$$v(r, z) = v_B(r)w_T(r, z) + v_{VS}(r)[1 - w_T(r, z)] \quad (3.3.9)$$

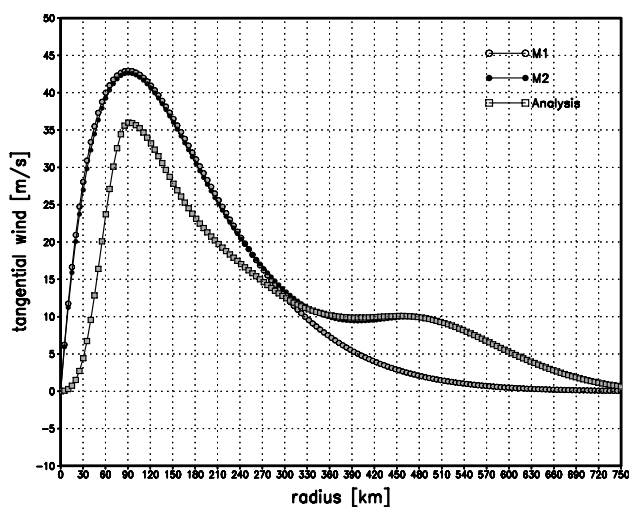
$$w_T(r, z) = w_m(r)w_z(z) \quad (3.3.10)$$

trong đó, tham số v_B là phân bố gió tiếp tuyến giả; v_{VS} là phân bố gió tiếp tuyến đối xứng phân tích; w_m là hàm trọng số kết hợp theo bán kính, được chọn sao cho bằng 1 phía trong bán kính gió cực đại và bằng 0 ở phía ngoài bán kính bằng 500km. Để khảo sát hiệu ứng của việc kết hợp xoáy phân tích, thí nghiệm này sẽ khảo sát 2 phương án:

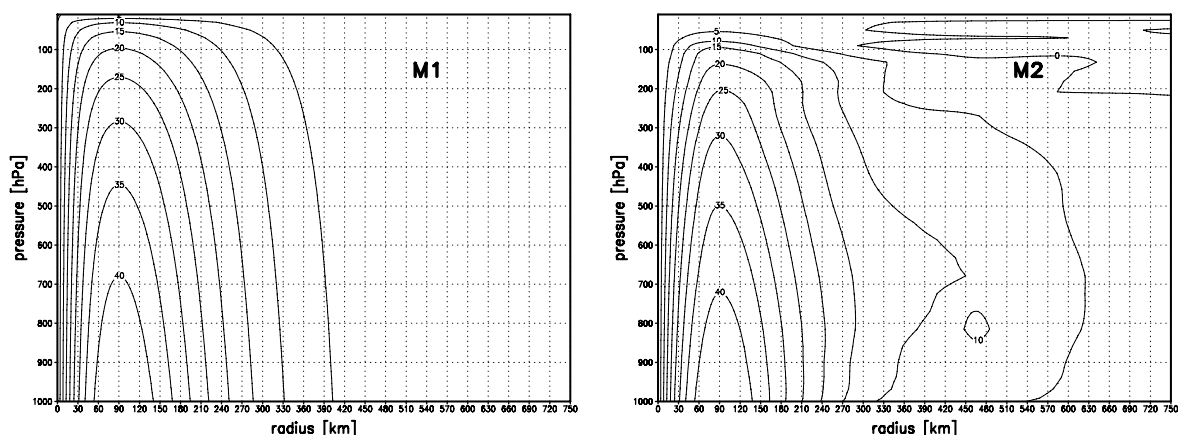
- M1: Ban đầu hóa xoáy không kết hợp xoáy phân tích

- M2: Xoáy nhân tạo được kết hợp với xoáy phân tích.

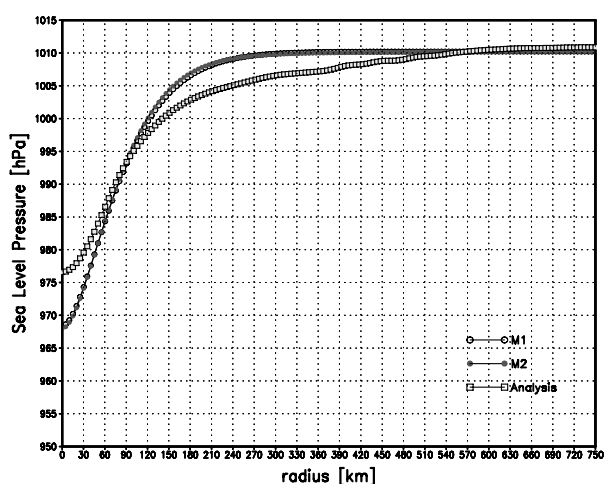
Hình 3.3.23 là phân bố của gió tiếp tuyến của các phương án ban đầu hóa xoáy khảo sát M1, M2 và phương án không ban đầu hóa xoáy control của trường hợp bão Chanchu thời điểm 00Z ngày 14/5/2006. Có thể thấy, phương án M2 có phân bố gió ở phía ngoài bán kính 300km có dạng tương tự với phân bố phân tích còn ở phía trong có phân bố trùng với phân bố của M1. Tương tự như vậy trên Hình 3.3.24, phân bố gió tiếp tuyến của xoáy nhân tạo của M2 tương tự với trường phân tích ở phía ngoài và xuất hiện một hoàn lưu xoáy nghịch yếu ở gần đỉnh mô hình (thể hiện qua đường đẳng tốc độ gió số 0) trong khi ở phía trong tương tự với trường hợp M1. Hình 3.3.25 là phân bố của khí áp mực biển theo bán kính của trường phân tích và trường xoáy nhân tạo của phương án không kết hợp xoáy phân tích và phương án có kết hợp xoáy phân tích, có thể thấy, phân bố trường khí áp mực biển đối xứng hầu như không khác nhau.



Hình 3.3.23: Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính của trường xoáy phân tích (control), phương án ban đầu hóa xoáy không kết hợp với trường phân tích (M1) và có kết hợp với trường phân tích (M2)



Hình 3.3.24: Phân bố gió tiếp tuyến theo bán kính-áp suất của của phương án ban đầu hóa xoáy không kết hợp xoáy phân tích (M1) và có kết hợp xoáy phân tích (M2).



Hình 3.3.25: Phân bố của trường khí áp mực biển theo bán kính của phương án ban đầu hóa xoáy không kết hợp xoáy phân tích (M1) và có kết hợp xoáy phân tích (M2) và trường khí áp đối xứng phân tích (analysis).

Quĩ đạo và sai số vị trí của các trường hợp bão của thí nghiệm này được cho ở hình p4.1, phụ lục 4. Có thể thấy trong một số trường hợp, phương án có kết hợp xoáy M2 đã cho quỹ đạo dự báo gần với thực hơn so với phương án không kết hợp M1. Chẳng hạn các trường hợp bão Conson 12Z ngày 5/6/2004 và 00Z ngày 6/6/2004, Koni 12Z ngày 18/7/2003, vị trí tâm xoáy của phương án M2 so với M1

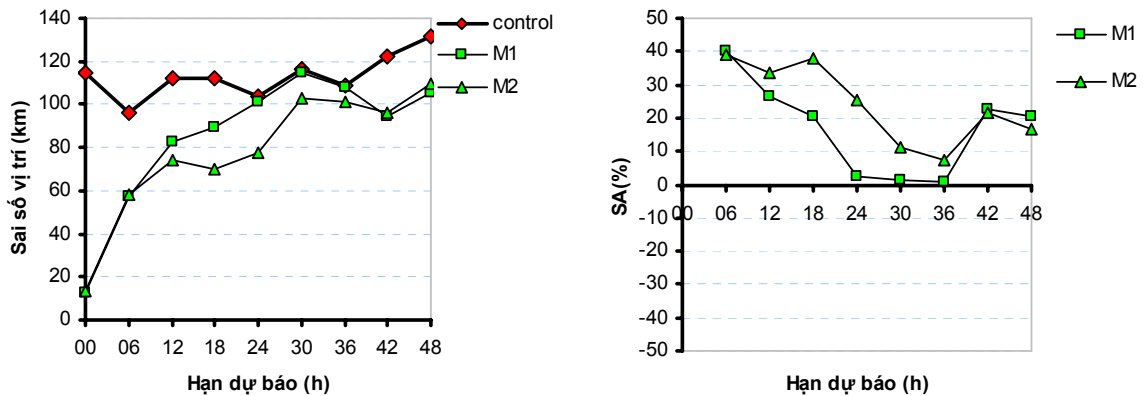
đã di chuyển gần với thực hơn và có quỹ đạo dự báo bớt lệch bắc hơn. Tuy thế cũng có những trường hợp, M2 thể hiện sự khác biệt không đáng kể so với M1 hoặc có trường hợp cho dự báo tồi hơn như trường hợp Krovanh – 12Z 23/8/2003.

Đối với các trường hợp xoáy bão trên trường phân tích thể hiện rõ và mạnh như cơn bão Chanchu, phương án M2 cho quỹ đạo dự báo bám sát với quỹ đạo phương án không ban đầu hóa xoáy ở những hạn dự báo sau 24 giờ. Điều này có thể được giải thích do phân bố gió phía ngoài của phương án M2 được gần như trùng với phân bố xoáy phân tích, trong khi trường phân tích cũng có cường độ bão tương đối mạnh và cấu trúc gió phía trong tương tự với trường hợp xoáy nhân tạo.

Bảng 3.3.11 là Sai số trung bình tổng thể của các phương án ban đầu hóa xoáy M1, M2 và phương án đối chứng control và kỹ năng trung bình của các phương án M1, M2 so với control. Nhìn chung, sai số vị trí phương án M2 nhỏ hơn M1 ở hầu hết các hạn dự báo (từ 6h đến 36h) và chỉ lớn hơn M1 một chút ở hạn 42h và 48h. Sai số trung bình tổng thể của M2 là 86km so với 94km của M1. Nhận xét tương tự đối với kỹ năng dự báo so với phương án control. Kỹ năng trung bình của M2 là 24% so với M1 là 17%.

Bảng 3.3.11: Sai số trung bình tổng thể và kỹ năng trung bình của các phương án ban đầu hóa có và không kết hợp xoáy phân tích.

Hạn dự báo (h)	Sai số trung bình (KM)			Kỹ năng (%)	
	Control	M1	M2	M1	M2
06	96	57	59	40	39
12	112	82	74	26	34
18	112	89	70	21	38
24	104	101	77	2	26
30	116	115	103	1	11
36	109	108	101	1	7
42	123	95	96	23	22
48	132	105	110	20	17
Trung bình	113	94	86	17	24



Hình 3.3.26: A) Sai số vị trí trung bình ứng với các phương án ban đầu hóa xoáy có và không kết hợp xoáy phân tích và phương án đối chứng.

Tóm lại, đối với tập hợp các trường hợp bão thử nghiệm, việc kết hợp xoáy nhân tạo với xoáy phân tích đã làm làm chính xác hơn hoàn lưu của gió tiếp tuyến phía ngoài, từ đó làm giảm sai số vị trí của quỹ đạo bão dự báo so với khi không thực hiện việc kết hợp này. Đối với các trường hợp bão có trường phân tích tương đối mạnh và cấu trúc gió bên trong tương tự với cấu trúc xoáy nhân tạo, sự kết hợp này tạo ra phân bố gió tiếp tuyến tương tự với phân bố phân tích và cho quỹ đạo bám sát nhau ở những hạn dự báo sau 24h. Tuy thế do vị trí ban đầu của xoáy nhân tạo đã được chính xác hóa nên nhìn chung đã giảm sai số vị trí ở những hạn dự báo ban đầu. Đối với các nhiều trường hợp bão yếu, sự kết hợp xoáy phân tích đã làm tốc độ di chuyển của xoáy bão gần với thực hơn. Nhìn chung, phương án ban đầu hóa xoáy có kết hợp xoáy nhân tạo với xoáy phân tích cho sai số trung bình tổng thể giảm khoảng 8km và kỹ năng trung bình tăng lên khoảng 5%.

3.4 Nhận xét chung

Một trong những cách tiếp cận nhằm làm tăng độ chính xác của các mô hình số dự báo thời tiết là cải thiện độ chính xác trường ban đầu. Điều đó càng trở nên quan trọng hơn đối với các mô hình dự báo bão bởi bão thường hình thành, phát triển và di chuyển trên biển, nơi mà mạng lưới số liệu quan trắc thưa thớt. Với mục đích nâng cao chất lượng dự báo quỹ đạo bão, một sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều

được xây dựng và áp dụng cho mô hình HRM. Sơ đồ này dựa trên phương pháp phân tích xoáy của Weber và Smith (1995) [81] và xây dựng xoáy cân bằng ba chiều của Smith (2005) [75]. Quá trình phân tích xoáy nhằm loại bỏ xoáy phân tích yếu và sai vị trí khỏi trường môi trường để cài vào đó một xoáy nhân tạo có cấu trúc và vị trí phù hợp hơn với thực tế hơn. Sơ đồ ban đầu hóa xoáy được xây dựng là một thành phần của HRM và có thể được kiểm soát thông qua các tham số điều khiển. Phiên bản HRM đã có ban đầu hóa xoáy bão được gọi là HRM_TC, khi không đặt tùy chọn chạy sơ đồ ban đầu hóa xoáy, HRM_TC cho kết quả giống với phiên bản HRM gốc.

Có nhiều tham số đầu vào cho sơ đồ ban đầu hóa xoáy và việc lựa chọn các tham số này một cách thích hợp có vai trò quan trọng trong chất lượng dự báo bão. Ngoài các tham số có thể xác định trực tiếp từ các thông tin chỉ thị bão là vị trí tâm xoáy và tốc độ gió cực đại, bốn tham số cấu thành cơ bản trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy này là: bán kính gió cực đại R_{max} , bán kính gió 15m/s R_{15} , hàm trọng số theo phương thẳng đứng và sự kết hợp xoáy nhân tạo và xoáy phân tích. Đối với một sơ đồ có sự tham gia của nhiều tham số khác nhau như vậy, kết quả dự báo cuối cùng của mô hình là sự tương tác phức tạp giữa các yếu tố và việc xác định một bộ tham số tối ưu không phải là một công việc dễ dàng. Nếu khảo sát tất cả các phương án tổ hợp của các tham số thì số trường hợp khảo sát rất lớn. Trong luận án này, từng tham số cụ thể được khảo sát qua những thí nghiệm riêng lẻ. Mỗi thí nghiệm sẽ khảo sát một tham số trong khi các tham số khác được giữ cố định, từ đó rút ra được mức độ ảnh hưởng của từng tham số đến kết quả dự báo quỹ đạo bão. Với mỗi thí nghiệm sẽ rút ra được một tham số tốt nhất, bộ tham số kết hợp các tham số tốt nhất tìm được trong các thí nghiệm riêng lẻ được chờ đợi là bộ tham số cho kết quả dự báo tốt nhất so với tất cả các phương án thí nghiệm.

Một loạt thí nghiệm khảo sát độ nhạy khác nhau của từng số tham số trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy đã được tiến hành cho 11 trường hợp bão với 7 cơn bão hoạt động trên khu vực Biển Đông từ năm 2003 đến 2006. Kết quả thí nghiệm cho thấy, cấu trúc gió phía ngoài của xoáy nhân tạo (thể hiện qua bán kính gió 15m/s và sự

kết hợp xoáy nhân tạo và xoáy phân tích) có ảnh hưởng mạnh đối với quỹ đạo dự báo và là những tham số có độ nhạy lớn. Cấu trúc bên trong gần tâm xoáy (thể hiện qua bán kính gió cực đại) và cấu trúc gió tiếp tuyến đối xứng thẳng đứng (thể hiện qua hàm trọng số thẳng đứng) có ảnh hưởng không lớn đến quỹ đạo dự báo. Từ các thí nghiệm riêng lẻ có thể sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo, bao gồm bán kính gió cực đại 60km, bán kính gió 15m/s 250km, hàm trọng số theo phương thẳng đứng có dạng tuyến tính từng phần theo áp suất và sử dụng kết hợp phân bố gió tiếp tuyến giả với phân bố gió tiếp tuyến phân tích.

CHƯƠNG 4 : THỬ NGHIỆM SƠ ĐỒ BAN ĐẦU HÓA XOÁY MỚI

Chương 3 đã trình bày việc xây dựng một sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều cho mô hình khu vực phân giải cao HRM. Sơ đồ ban đầu hóa xoáy được xây dựng thành một module của mô hình và được kích hoạt khi cần thiết. Phiên bản mô hình HRM được áp dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy được gọi là HRM_TC. Ngoài các tham số về vị trí tâm bão và tốc độ gió cực đại là các tham số cơ bản của sơ đồ ban đầu hóa xoáy, còn nhiều tham số tự do khác mà việc xác định chúng một cách thích hợp có vai trò quan trọng trong việc dự báo quỹ đạo bão. Chương 3 cũng đã trình bày các thí nghiệm độ nhạy nhằm xác định vai trò của các tham số cũng như đã tìm ra được một bộ tham số khả dụng cho dự báo quỹ đạo. Bộ tham số này là các tham số cho sai số vị trí trung bình nhỏ nhất trong tập hợp 11 trường hợp bão.

Trong chương này, chúng tôi sẽ thử nghiệm hiệu quả của việc dự báo quỹ đạo bão với HRM_TC trong hai trường hợp, không ban đầu hóa xoáy và có ban đầu hóa xoáy. Bộ tham số sử dụng trong trường hợp cài xoáy là bộ tham số khả dụng đã tìm được trong chương trước. Để kết quả mang tính khách quan, các trường hợp bão dự báo thử nghiệm là độc lập so với các trường hợp bão trong các khảo sát độ nhạy ở chương 3.

4.1 Thiết kế thí nghiệm

4.1.1 Cấu hình thí nghiệm

Để khảo sát hiệu quả của việc sử dụng bộ tham số này, trong mục này sẽ khảo sát hai phương án:

- Nobogus: Phương án không ban đầu hóa xoáy.

- Bogus: Ban đầu hóa xoáy với bộ tham số đã tìm được trong chương 3, bao gồm:
 - Bán kính gió 15 m/s: 250km
 - Bán kính gió cực đại: 60km
 - Hàm trọng số theo độ cao: Tuyến tính từng phần theo áp suất
 - Có kết hợp phân bố gió tiếp tuyến phân tích với phân bố gió tiếp tuyến lý thuyết

4.1.2 Các trường hợp bão dự báo

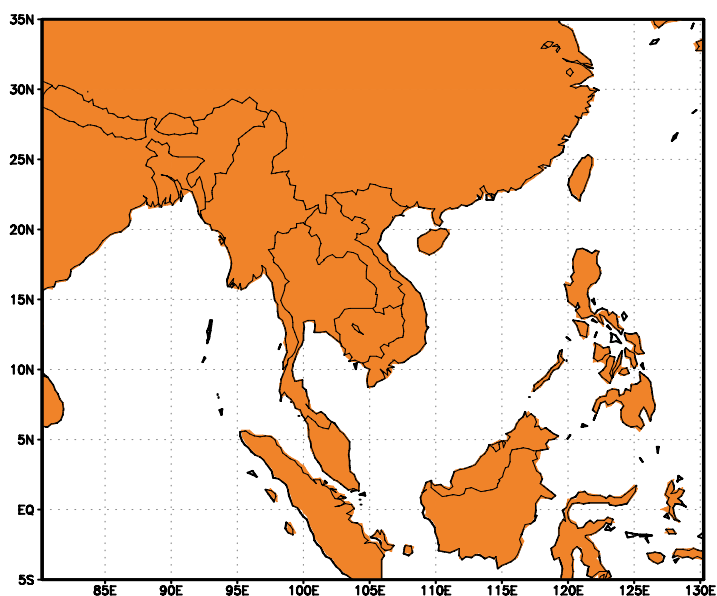
Các dự báo được thực hiện trên 20 trường hợp bão hoạt động trên khu vực biển Đông của 6 cơn bão diễn ra từ 2002-2006, cụ thể trong bảng Bảng 4.1.1.

Bảng 4.1.1: Các trường hợp bão dự báo thử nghiệm

Tên bão	STT	Thời điểm dự báo	Vĩ độ Tâm	Kinh độ tâm	Vmax (ms ⁻¹)
Chanthu	1	00Z 11/06/2004	12.7	115.8	22
Damrey	2	00Z 23/9/2005	20.2	118.4	27
	3	12Z 23/9/2005	20	116.3	22
	4	00Z 24/9/2005	19.8	115.3	22
	5	12Z 24/9/2005	19.3	114	33
Durian	6	00Z 02/12/2006	13.5	117	37
	7	12Z 02/12/2006	13.9	115.6	27
	8	00Z 03/12/2006	13.8	113.9	45
	9	12Z 03/12/2006	13.5	112.7	45
Koni	10	00z 19/07/2003	13.7	117.2	22
	11	12z 19/07/2003	15.2	116.2	22
	12	00z 20/07/2003	16.4	114.8	33
	13	12z 20/07/2003	17.6	113.6	33
Muifa	14	00Z 21/11/2004	11.9	117.2	33
	15	12Z 21/11/2004	11.8	115.1	40
	16	00Z 22/11/2004	11.5	113.8	42
	17	12Z 22/11/2004	10.8	112.5	35
	18	00Z 23/11/2004	10.4	111.8	33
Washi	19	00Z 29/07/2005	18.3	112.2	15
	20	12Z 29/07/2005	18.4	111.6	17

4.1.3 Số liệu và miền tính

Tương tự như các thí nghiệm khảo sát độ nhạy trong chương 3. Trong các dự báo thử nghiệm, chúng tôi cũng sử dụng số liệu khí tượng từ mô hình toàn cầu GME. Miền tính gồm 201x161 điểm lưới ngang và 31 mực thẳng đứng. Miền tính bao phủ một vùng rộng từ 80E–130E và từ 5S–35N (Hình 4.1.1) nhằm khảo sát các cơn bão hoạt động ở khu vực Biển Đông và có ảnh hưởng tới Việt Nam. Các thông tin quan trắc về bão được lấy từ website weather.unisys.com. Các dự báo được thực hiện tới hạn dự báo hai ngày (48h), tâm bão dự báo cách nhau mỗi 6 tiếng được đưa ra đánh giá so với tâm bão quan trắc.

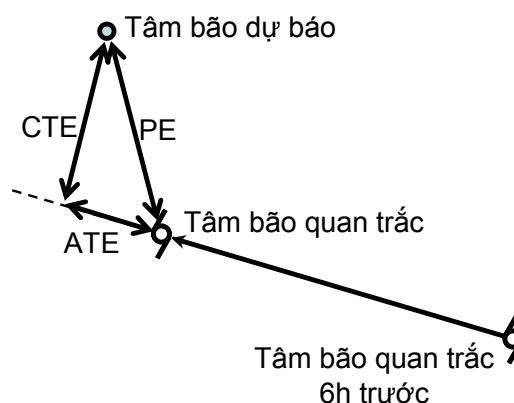


Hình 4.1.1: Miền dự báo của mô hình HRM được sử dụng trong luận án.

4.1.4 Các chỉ tiêu đánh giá

Để đánh giá kết quả dự báo quỹ đạo, chương này cũng sử dụng các chỉ tiêu đã nêu ở chương 3, bao gồm: Sai số vị trí (PE), sai số vị trí trung bình (MPE), sai số vị trí trung bình tổng thể (MPEA), kỹ năng so với không ban đầu hóa xoáy (S), kỹ năng trung bình (SA).

Ngoài ra, để có thể nhận định chi tiết hơn về xu thế của quỹ đạo dự báo so với quỹ đạo quan trắc. Chúng tôi sẽ sử dụng thêm sai số vị trí dọc với hướng di chuyển của bão AT (ATE: Along Track Error) và sai số vị trí ngang so với hướng di chuyển của bão CT (CTE: Cross Track Error) (Hình 4.1.2). ATE nhận dấu dương nếu tâm bão dự báo nằm phía trước tâm bão quan trắc và nhận dấu âm khi tâm bão dự báo nằm phía sau tâm bão quan trắc. CTE nhận dấu dương khi tâm bão nằm phía phải so với tâm bão quan trắc và nhận dấu âm khi nằm về trái. Với qui ước này, nếu sai số ATE trung bình (MATE) nhận giá trị dương có nghĩa tâm bão dự báo có xu thế di chuyển nhanh hơn so với thực và ngược lại, MATE nhận giá trị âm thì tâm bão dự báo cho xu thế di chuyển chậm hơn. Sai số CTE trung bình (MCTE) dương cho thấy quỹ đạo bão có xu thế lệch phải còn MCTE âm cho thấy xu thế lệch trái so với quỹ đạo thực.



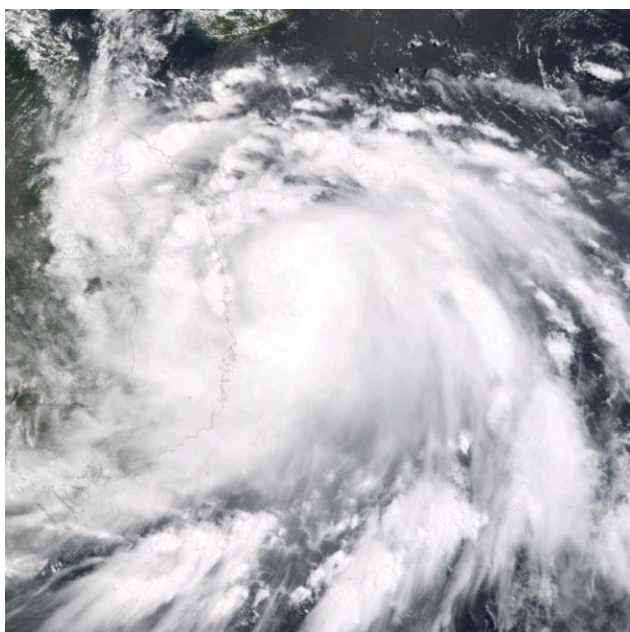
Hình 4.1.2: Sơ đồ sai số ATE, CTE và PE

4.2 Kết quả dự báo thử nghiệm

4.2.1 Khảo sát một số trường hợp

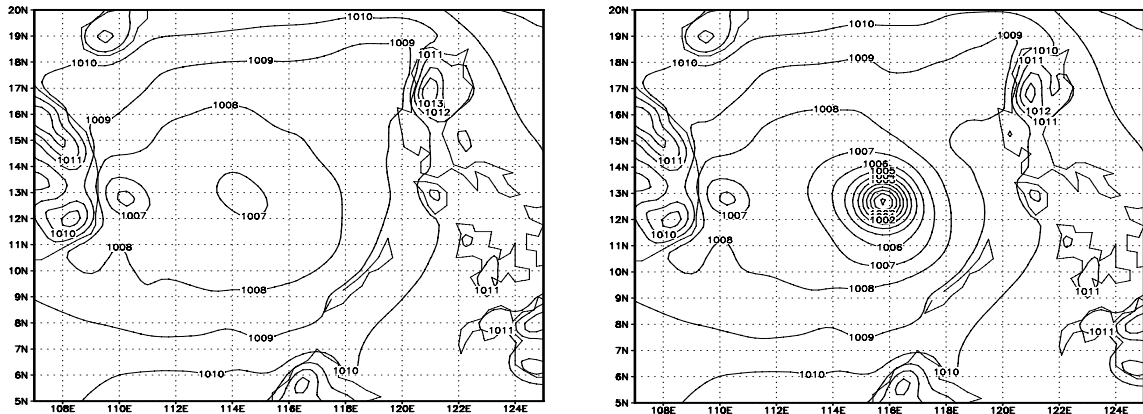
Trường hợp bão Chanthu 00Z ngày 11/6/2004 là một trường hợp cho kết quả dự báo tương đối tốt. Bão Chanthu năm 2004 (bão số 2) là một cơn bão bắt nguồn từ một ATNĐ từ phía đông Philipin, di chuyển vào Biển Đông và mạnh lên thành bão. Chanthu di chuyển nhanh, chủ yếu theo hướng giữa Tây Tây Bắc và Tây Bắc. Đến ngày 12, Chanthu tiến sát đến bờ biển Trung Bộ (Hình 4.2.1) và đổ bộ vào đất

liền tối ngày 12, thuộc địa phận tỉnh Bình Định, gây ra gió mạnh và mưa rất to ở các tỉnh Quảng Ngãi và Bình Định và Tây Nguyên. Sau khi vào đất liền, Chanthu suy yếu thành ATNĐ rồi tan dần. Bão Chanthu ở thời điểm mạnh nhất đạt cấp bão mạnh (typhoon) với tốc độ gió cực đại khoảng 33m/s.



Hình 4.2.1: Ảnh vệ tinh bão Chanthu lúc sắp đổ bộ vào bờ biển Trung Bộ, thời điểm 00Z 12/6/2004. (Nguồn visibleearth.nasa.gov)

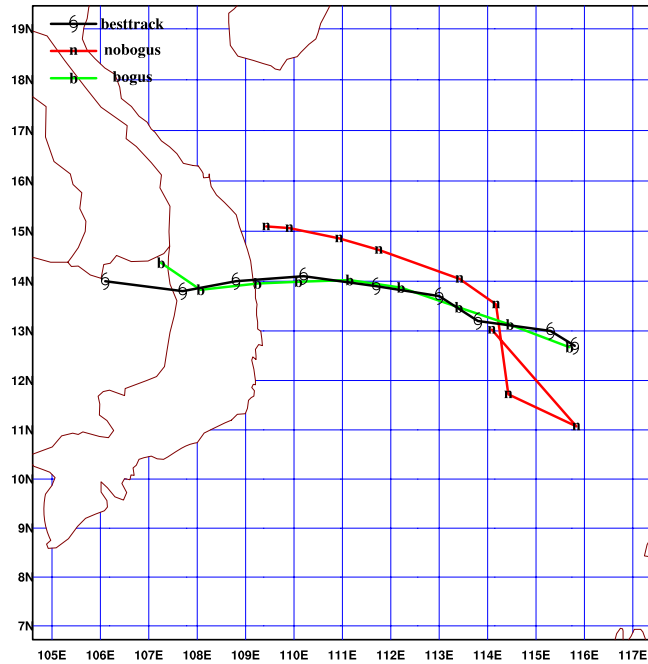
Ở thời điểm bắt đầu dự báo, bão đang ở vị trí 12.7 độ Vĩ Bắc và 115.8 độ Kinh Đông và di chuyển về phía đất liền theo hướng Tây-Tây Bắc. Lúc này, Chanthu đang là một cơn bão nhiệt đới không mạnh với tốc độ gió cực đại khoảng 22m/s. Trên trường phân tích của GME (Hình 4.2.2 trái), trường áp suất mực biển rất nông và có tâm bão không chính xác so với trường đã ban đầu hóa xoáy (Hình 4.2.2 phải).



Hình 4.2.2: Trường áp suất mực biển của trên trường phân tích GME (trái) và trường đã ban đầu hóa xoáy (phải) đối với trường hợp bão Chanthu 00Z ngày 11/6/2004

Hình 4.2.3 là quỹ đạo bão quan trắc và quỹ đạo dự báo ứng với hai phương án có sử dụng ban đầu hóa xoáy (bogus) và phương án không ban đầu hóa xoáy (nobogus). Phương án nobogus trong khoảng 18h đầu có vị trí tâm không rõ và di chuyển không đều. Sau đó bão được tăng cường và di chuyển theo hướng Tây-Tây Bắc, tiến sát đến bờ biển miền trung Việt Nam nhưng quỹ đạo dự báo lệch bắc so với quỹ đạo quan trắc khoảng 1 độ và tâm bão chưa đổ bộ vào đất liền cho đến hạn dự báo 48h. Đối với phương án bogus, vị trí cũng như cường độ của xoáy bão đã được hiệu chỉnh về gần với thực. Quỹ đạo dự báo của phương án cài xoáy gần bám sát so với thực ở tất cả các thời điểm dự báo.

Chanthu 2004061100



Hình 4.2.3: Quỹ đạo dự báo của hai phương án: ban đầu hóa xoáy (b) và không cài xoáy (n) so với quỹ đạo quan trắc (s) đối với trường hợp bão Chanthu 00Z ngày 11/6/2004

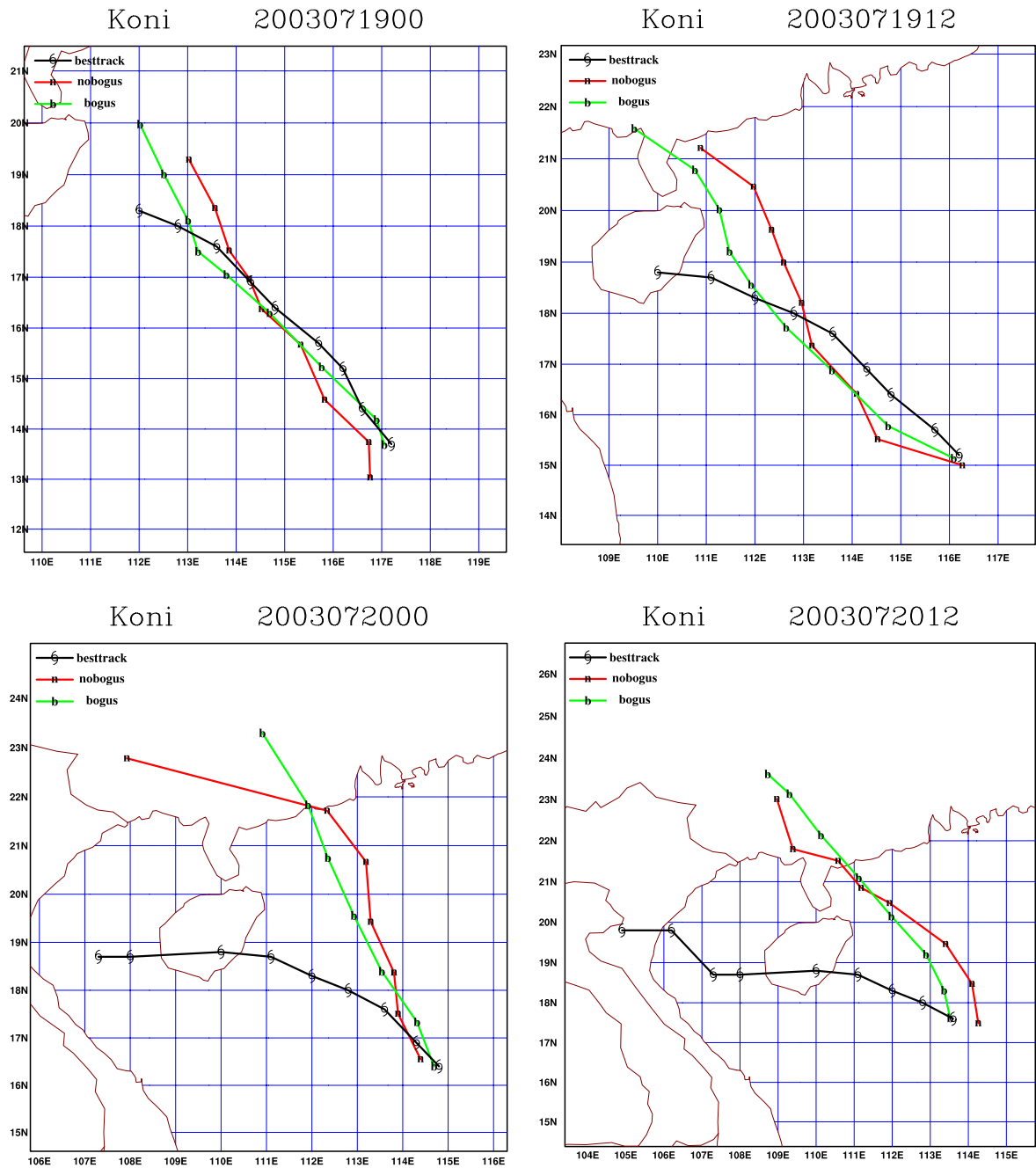
Bảng 4.2.1: Sai số dự báo của hai phương án đối với trường hợp bão Chanthu 00Z ngày 11/6/2004

Hạn dự báo (h)	No bogus			Bogus		
	PE	ATE	CTE	PE	ATE	CTE
6	218.4	-157.2	-151.6	87.5	79.8	-35.8
12	179.3	-87	-156.7	54.7	47.4	27.4
18	131.7	-121.2	51.6	89.3	84.9	-27.7
24	184	-179.6	39.9	65.8	65.8	1.1
30	181.3	-163.3	78.7	15.5	9.2	-12.5
36	247.6	-233	83.7	43.2	-43.1	-3.3
42	277.8	-259.5	99.2	43.2	-42.5	-8
48	376.1	-336.4	168.1	136.9	-122.8	60.6

Có một số trường hợp bão cho kết quả dự báo rất xấu đối với cả hai trường hợp bogus và nobogus. Điển hình là các trường hợp bão Koni tại các thời điểm dự báo ngày 19 và 20 tháng 7 năm 2003. Koni là một cơn bão hình thành từ phía ngoài Biển Đông vào ngày 13 tháng 7, cơn bão mạnh dần lên và di chuyển vào Biển Đông theo hướng Tây vào ngày 17. Từ đây bão đổi sang hướng Tây Bắc và di chuyển về phía đảo Hải Nam, Trung Quốc. Từ ngày 19, cơn bão lại chuyển dần sang hướng Tây, băng qua đảo Hải Nam ngày 21, suy yếu dần và đổ bộ vào miền Bắc Việt Nam ở khu vực tỉnh Nam Định.

Hình 4.2.4 là hình vẽ quỹ đạo quỹ đạo best track và các phương án dự báo bốn trường hợp bão Koni. Có thể thấy ở thời điểm đầu tiên, các dự báo tương đối chính xác. Quỹ đạo phương án bogus tỏ ra chính xác hơn tại những hạn dự báo 24h, nhưng sau đó, cả hai phương án bogus và nobogus có có dấu hiệu lệch bắc mạnh ở những hạn dự báo sau. Sự lệch bắc này tiếp tục thể hiện rõ ở các trường hợp dự báo tiếp theo chứng tỏ đã có một sai số hệ thống trong trường môi trường của bão, dẫn đến cả phương án có cài xoáy và không cài xoáy đều có sai lệch lớn mà cụ thể ở đây là lệch Bắc mạnh.

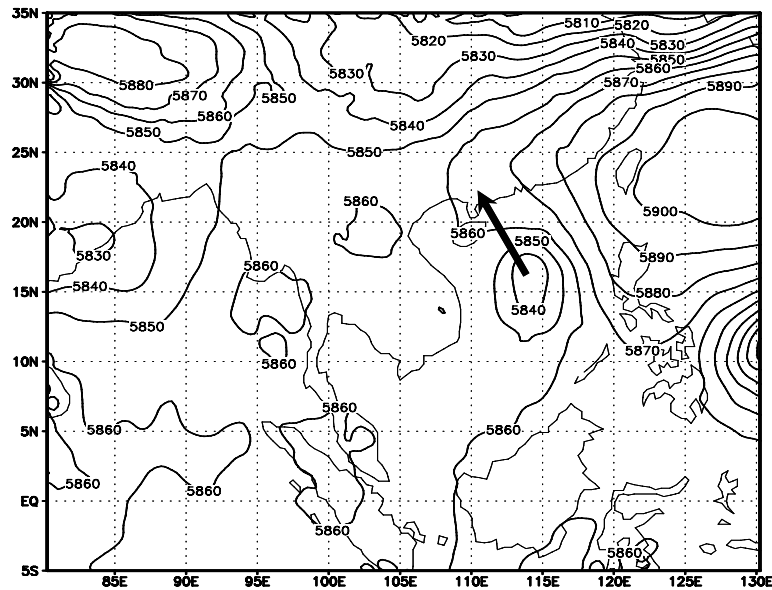
Có thể nhận định nguyên nhân dẫn đến sự sai lệch của các dự báo nằm ở trường môi trường qui mô lớn. Hình 4.2.5 là hình thể trường độ cao địa thế vị mực 500hPa thời điểm 00Z ngày 20/7/2004. Có thể thấy, trên trường qui mô lớn, áp cao lục địa bị đẩy lùi xa ra phía Đông và Koni hiện tại nằm ở rìa phía Đông của cao áp. Đây là hình thể điển hình của các cơn bão di chuyển lên phía Tây Bắc. Như vậy, sự sai lệch quỹ đạo bão dự báo nằm ở sự thiếu chính xác của trường môi trường qui mô lớn mà nguyên nhân có thể do các phương pháp phân tích số liệu toàn cầu không chính xác trong một số hình thể thời tiết đặc biệt. Một điểm đáng chú ý là ở các thời điểm dự báo, thực tế có một cơn bão khác rất mạnh cũng đang tiến vào miền tính là bão Imbudo. Việc xuất hiện đồng thời hai cơn bão ở gần nhau có thể cũng là một nguyên nhân dẫn đến sự thiếu chính xác trên trường phân tích môi trường qui mô lớn.



Hình 4.2.4: Các thời điểm dự báo cơn bão Koni 2003.

Đối với các trường hợp thiếu chính xác trong trường môi trường qui mô lớn, các sơ đồ ban đầu hóa xoáy theo phương pháp cài xoáy không thể cải thiện được chất lượng dự báo do bản chất của phương pháp này là chỉ thay thế xoáy phân tích bằng xoáy giả mà không tác động đến trường môi trường qui mô lớn. Để khắc phục các tình huống tương tự có lẽ cần kết hợp thêm phương pháp đồng hóa số liệu nhằm

chính xác hóa trường môi trường. Người làm dự báo cần thận trọng trong các hình thể đặc biệt như có bão đôi nhằm đưa ra được quyết định xác đáng. Tuy vậy, dấu hiệu sai số thiên lệch thường thể hiện tại hầu hết các thời điểm dự báo và người làm dự báo có thể hiệu chỉnh các dự báo tiếp theo căn cứ vào các sai lệch trong các thời điểm dự báo trước đó.



Hình 4.2.5: Trường độ cao địa thế vị của trường phân tích GME ứng với trường hợp bão Koni 00Z ngày 20/7/2003. Chú ý một cơn bão rất mạnh mới tiến vào miền dự báo là cơn bão Imbudo. Mũi tên màu đen chỉ hướng di chuyển của tâm bão Koni.

4.2.2 Đánh giá chung

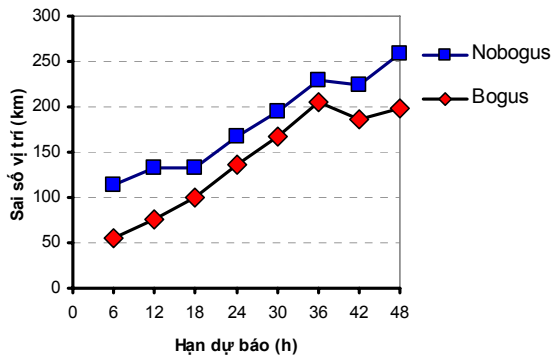
Bảng 4.2.2 là sai số vị trí trung bình, sai số AT và CT trung bình và trung bình tuyệt đối cho tất cả các trường hợp khảo sát. So sánh kết quả dự báo tại 12h, 24h, 36h và 48h với kết quả dự báo các trường hợp bão năm 2005 trên khu vực Biển Đông của các mô hình khác (Bảng 1.3.1), ta thấy rằng phiên bản HRM_TC cho sai số vị trí tương đương với các mô hình trong nghiên cứu trên trong khi phiên bản HRM không ban đầu hóa xoáy có sai số dự báo lớn hơn rất nhiều. Mặc dù số lượng các trường hợp bão trong các nghiên cứu còn ít và không trùng về các trường hợp bão nhưng kết quả này cũng phần nào cho thấy sự cải thiện chất lượng dự báo quỹ

đạo bão của HRM_TC so với HRM cũng như sự hợp lý so với các mô hình dự báo khác trên thế giới.

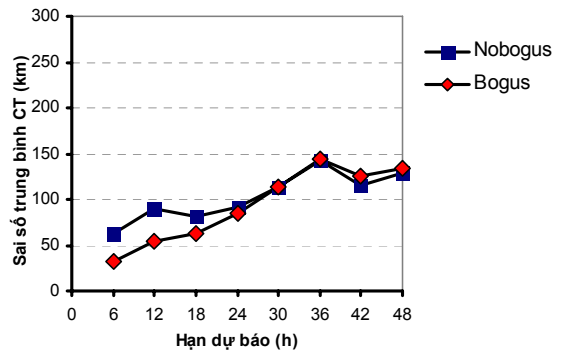
Bảng 4.2.2: Sai số dự báo trung bình của các trường hợp dự báo thử nghiệm

Hạn dự báo (h)	Nobogus					Bogus				
	Sai số vị trí	Sai số CT		Sai số AT		Sai số vị trí	Sai số CT		Sai số AT	
		TB	TB tuyệt đối	TB	TB tuyệt đối		TB	TB tuyệt đối	TB	TB tuyệt đối
6	115	-36	63	9	78	56	6	32	-4	38
12	133	-8	90	17	77	76	17	55	13	41
18	132	3	81	56	75	101	41	63	36	57
24	167	24	91	50	107	135	45	85	64	78
30	196	67	114	53	128	167	57	113	91	92
36	229	109	142	60	142	205	46	143	135	111
42	224	83	116	100	141	185	98	126	120	104
48	258	45	129	88	191	198	68	134	133	116
Trung bình	182	117	103	141	80	94	182	117	103	141

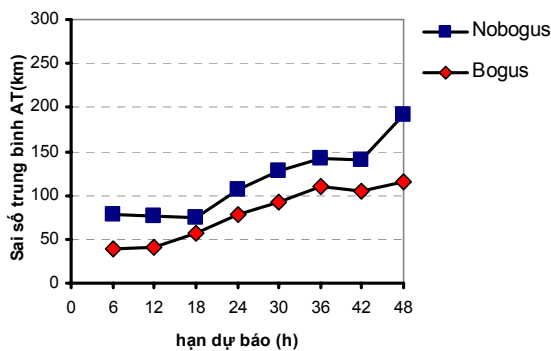
Có thể thấy tâm bão dự báo của cả trường hợp có cài xoáy và không cài xoáy đều có xu thế di chuyển lệch bắc và nhanh hơn so với bão thực thể hiện qua sai số AT và CT trung bình hầu hết mang dấu dương. Sai số vị trí của phương án dự báo bogus nhỏ hơn so với phương án nobogus ở tất cả các thời điểm dự báo. Ở hạn dự báo 24h, sai số vị trí trung bình phương án bogus nhỏ hơn so với nobogus khoảng 30km và con số này ở hạn 48h là 48km. Nếu xem xét các sai số AT và CT trung bình ta thấy, nhìn chung, xoáy dự báo đều có xu hướng đi nhanh hơn so với thực và lệch về phía phải.



A



B



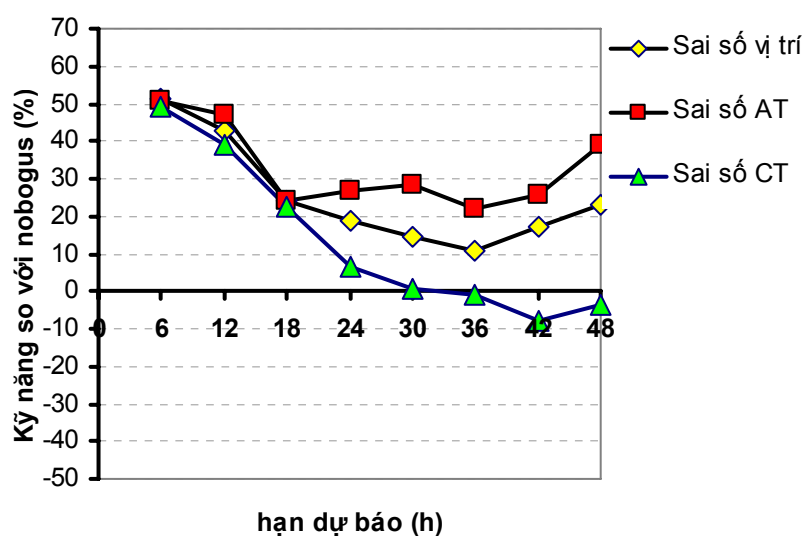
C

Hình 4.2.6: Sai số vị trí trung bình (A), sai số CT trung bình (B) và sai số AT trung bình (C) của các trường hợp dự báo thử nghiệm.

Phương án bogus cho sai số trung bình tuyệt đối AT giảm nhiều hơn so với sai số CT (Có thể thấy rõ ở Bảng 4.2.3 và Hình 4.2.6), chứng tỏ việc cài xoáy có hiệu quả đối với tốc độ di chuyển của của bão hơn là đối với hướng di chuyển. Điều này có thể thấy rõ khi xét chỉ số kỹ năng sai số của phương án bogus so với phương án nobogus (Hình 4.2.7). Kỹ năng đối cả ba loại sai số bằng khoảng 50% tại hạn dự báo 6h và có xu thế giảm dần cho tới hạn 48h. Tốc độ giảm kỹ năng nhiều nhất ứng với loại sai số CT, đến hạn 30h, kỹ năng ứng với sai số CT giảm về không cho thấy khả năng dự báo hướng chuyển động của bogus là tương đương hoặc kém hơn so với nobogus, trong khi đó kỹ năng ứng với sai số AT vẫn duy trì khoảng 30% đến 40% cho đến hạn dự báo 48h còn sai số vị trí có kỹ năng khoảng 20% ở hạn 24h đến 48h.

Bảng 4.2.3: Kỹ năng đối với sai số vị trí, sai số AT và sai số CT của trường hợp ban đầu hóa xoáy (bogus) so với không ban đầu hóa xoáy(nobogus)

Hạn dự báo (h)	Kỹ năng so với nobogus (%)		
	PE	AT	CT
6	51	51	49
12	43	47	39
18	24	24	22
24	19	27	7
30	14	28	1
36	11	22	-1
42	17	26	-8
48	23	39	-4
Trung bình	23	32	9



Hình 4.2.7: Kỹ năng của phương án bogus so với phương án nobogus ứng với sai số vị trí (PE), sai số CT (CTE) và sai số AT(ATE)

4.3 Tóm tắt

Chương này đã khảo sát sơ đồ ban đầu hóa xoáy HRM_TC với 20 trường hợp bão hoạt động trên khu vực Biển Đông. Tất cả các trường hợp có ban đầu hóa xoáy chỉ sử dụng một bộ tham số cố định nhận được qua các thí nghiệm độ nhạy

được thực hiện trong chương 3. Để đảm bảo tính khách quan, tất cả các trường hợp bão khảo sát trong chương này là độc lập với các trường hợp bão trong các thí nghiệm độ nhảy. Các kết quả cho thấy sai số vị trí trung bình của phiên bản HRM_TC đã giảm khoảng 30km ở hạn 24h và 60km ở hạn 48h so với phiên bản HRM nguyên gốc. Ngoài ra, việc ban đầu hóa xoáy có hiệu quả đối với tốc độ chuyển động của bão hơn là so với hướng chuyển động. Cũng nhận thấy được một hạn chế của sơ đồ ban đầu hóa xoáy sử dụng trong luận án là phương pháp này không cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo bão trong các trường hợp mà trường môi trường mô tả quá sai khác so với thực. Đây cũng là hạn chế của các sơ đồ ban đầu hóa xoáy sử dụng phương pháp cài xoáy nói chung bởi vì phương pháp này chỉ hiệu chỉnh được cấu trúc, cường độ và vị trí của bản thân trường xoáy và giả định trường môi trường đã mô tả đúng so với thực tế. Chính vì thế những người làm dự báo cần thận trọng để nhận định trong những hình thế đặc biệt như tương tác bão đôi và chú ý đến các dấu hiệu sai số hệ thống như sự lệch Bắc mạnh ở các dự báo trước đó để có thể hiệu chỉnh cho các dự báo tiếp theo.

KẾT LUẬN

Dưới đây là các kết quả chính của luận án:

1) Đã xây dựng được sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều cho mục đích dự báo quỹ đạo bão. Sơ đồ ban đầu hóa xoáy bao gồm hai phần chính là quá trình phân tích xoáy dựa trên Weber và Smith (1995) và xây dựng xoáy nhân tạo theo phương pháp của Smith (2005). Để khảo sát tính hợp lý của phương pháp xây dựng xoáy nhân tạo, một module ban đầu hóa xoáy lý tưởng cho mô hình WRF đã được xây dựng, đồng thời một số thí nghiệm lý tưởng cũng đã được thiết kế và thực hiện. Kết quả nghiên cứu cho thấy: a) Trong trường hợp thí nghiệm khô, không có ma sát và hệ số Coriolis là hằng số (mặt f), xoáy nhân tạo đã duy trì được cấu trúc và cường độ trong suốt thời gian tích phân chứng tỏ xoáy nhân tạo đã thể hiện tính cân bằng động lực tốt. b) Trường hợp thí nghiệm có các quá trình ẩm hiện, ma sát bề mặt, mô hình cũng đã mô phỏng được các đặc trưng gần với thực các giai đoạn hình thành và phát triển của một xoáy thuận nhiệt đới. Những kết quả này mở ra khả năng áp dụng phương pháp xây dựng xoáy ba chiều vào sơ đồ ban đầu hóa xoáy cho dự báo bão nghiệp vụ.

2) Một phiên bản cải tiến của HRM – HRM_TC đã được phát triển mà nền tảng chủ yếu của nó là thêm vào HRM một sơ đồ ban đầu hóa xoáy ba chiều đối xứng cho mục đích dự báo bão. Sơ đồ này sẽ được kích hoạt trong tình huống dự báo bão và sẽ thực hiện các quá trình phân tích xoáy, xây dựng xoáy nhân tạo và “cài” vào trường ban đầu. Ngược lại, trong trường hợp không kích hoạt sơ đồ ban đầu hóa xoáy, HRM_TC sẽ hoạt động tương tự như phiên bản HRM nghiệp vụ dự báo thời tiết. Phiên bản HRM_TC thực hiện ban đầu hóa xoáy thông qua một số tham số tùy chọn, bao gồm: bán kính gió cực đại, bán kính gió 15m/s, dạng hàm trọng số theo phương thẳng đứng và tùy chọn kết hợp phân bố xoáy nhân tạo và xoáy phân tích.

3) Đã khảo sát hiệu quả của sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong HRM_TC trên 11 trường hợp dự báo của 7 cơn bão hoạt động trên biển Đông và Tây bắc Thái Bình

dương thời kỳ 2003–2006. Bốn nhóm thí nghiệm đã được thực hiện: 3 phương án khảo sát độ nhạy của bán kính gió cực đại (RM), 4 phương án đối với bán kính gió 15m/s (S), 4 phương án đối với hàm trọng số theo phương thẳng đứng (W), 2 phương án đối với tùy chọn kết hợp xoáy nhân tạo với xoáy phân tích (M). Những kết quả thí nghiệm cho phép rút ra một số nhận xét sau: a) Bán kính gió cực đại của xoáy nhân tạo có ảnh hưởng không lớn đối với sự chuyển động của bão. Trong những phương án được khảo sát, giá trị bán kính gió cực đại bằng 60km cho sai số trung bình tổng thể nhỏ nhất. b) Bán kính gió 15m/s của xoáy nhân tạo là tham số có ảnh hưởng lớn đến quỹ đạo của bão. Trong số những phương án khảo sát, giá trị bán kính gió 15m/s bằng 250 km cho kết quả dự báo trung bình tốt nhất. c) Sự biến đổi của gió tiếp tuyến theo phương thẳng đứng không nhạy với quỹ đạo bão dự báo. d) Phương án kết hợp gió tiếp tuyến lý thuyết với với gió tiếp tuyến phân tích đã làm giảm sai số trung bình tổng thể của các trường hợp bão được khảo sát so với phương án chỉ sử dụng phân bố gió tiếp tuyến lý thuyết.

4) Khảo sát trên số liệu độc lập đối với 20 trường hợp bão hoạt động của xoáy bão trên khu vực Biển Đông cho thấy:

- HRM_TC có khả năng dự báo tốt hơn so với phiên bản gốc cả về hướng và tốc độ. Tuy nhiên hiệu quả dự báo về tốc độ của HRM_TC cao hơn so với hiệu quả dự báo về hướng đặc biệt ở các hạn dự báo tới một đến 2 ngày. Kỹ năng trung bình của trường hợp ban đầu hóa xoáy so với không ban đầu hóa xoáy là 23%, 32% và 9% tương ứng cho sai số vị trí, sai số dọc quỹ đạo (AT) và sai số ngang quỹ đạo (CT).
- Tuy nhiên, cả 2 phiên bản đều cho vị trí tâm xoáy dự báo có xu thế di chuyển nhanh hơn và lệch phải so với sự di chuyển của tâm bão thực. Đặc biệt trong một số hình thế thời tiết, quỹ đạo dự báo có thể sai lệch khá nhiều so với thực tế do sự thiếu chính xác của trường môi trường quy mô lớn. Sự sai lệch này không thể khắc phục bằng bài toán ban đầu hóa theo phương pháp cài xoáy. Việc quan sát xu thế dự báo tại các thời điểm khác nhau để phán đoán chính xác là công việc quan trọng đối với những người làm dự báo.

5) Như vậy, xét trên tổng thể, HRM_TC với chức năng ban đầu hóa xoáy đã làm cải thiện đáng kể chất lượng dự báo quỹ đạo bão so với phiên bản HRM nghiệp vụ. Vai trò hoàn lưu phía ngoài của bão là tham số quan trọng nhất trong sơ đồ ban

đầu hóa xoáy của HRM_TC. HMR_TC đã được đánh giá với một bộ tham số cố định, kết quả này là một bài toán mở cho thấy vẫn có khả năng để tăng cường độ chính xác của các dự báo sử dụng HRM_TC. Để có được kết quả dự báo chính xác hơn, những nghiên cứu tương lai cần tập trung vào việc xác định cấu trúc gió phía ngoài của tâm bão và tìm được phương pháp biểu diễn nó tốt nhất cho các trường hợp bão cụ thể. Trước mắt, HRM_TC có thể được triển khai thử nghiệm nhằm ứng dụng cho nghiệp vụ dự báo quỹ đạo bão khu vực biển Đông và Tây Bắc Thái Bình Dương.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Bùi Hoàng Hải, Phan Văn Tân (2002), “Khảo sát ảnh hưởng của trường ban đầu hóa đến sự chuyển động của bão trong mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão khu vực Biển Đông”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 8(500), tr. 17-25.
2. Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải (2003), “Về một phương pháp ban đầu hóa xoáy ba chiều”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 11(515), tr. 1-12.
3. Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải (2004), “Ban đầu hóa xoáy ba chiều cho mô hình MM5 và ứng dụng trong dự báo quỹ đạo bão”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 10(526), tr. 14-25.
4. Bùi Hoàng Hải, Phan Văn Tân, Nguyễn Minh Trường, (2005), “Nghiên cứu lý tưởng sự tiến triển của xoáy thuận nhiệt đới bằng mô hình WRF”. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 4(532), tr. 11–21.
5. Bùi Hoàng Hải, Phan Văn Tân, (2007), “Về một sơ đồ ban đầu hóa xoáy mới áp dụng cho mô hình khu vực phân giải cao HRM”. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 3(555), tr. 42–50.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Hoàng Đức Cường (2004), “Nghiên cứu thử nghiệm áp dụng mô hình khí tượng động lực qui mô vừa MM5 trong dự báo hạn ngắn ở Việt Nam”. Đề Tài nghiên cứu và công nghệ cấp bộ
2. Lê Đức, Đỗ Lê Thủy, Nguyễn Thị Anh Đào, Võ Văn Hòa (2006), “Ban đầu hóa bằng lọc số trong các mô hình khí tượng”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 7(500) Tr. 17-43.
3. Bùi Hoàng Hải, Phan Văn Tân (2002), “Khảo sát ảnh hưởng của trường ban đầu hóa đến sự chuyển động của bão trong mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão khu vực Biển Đông”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 8(500), tr. 17-23.
4. Võ Văn Hòa (2005), “Lựa chọn profile gió tiếp tiếp đối xứng giả tối ưu cho mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão WBAR”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 7(535) Tr. 28-35.
5. Võ Văn Hòa (2005), “Lựa chọn mực dòng dẫn tối ưu cho mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão WBAR gió tiếp tiếp đối xứng giả tối ưu cho mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão WBAR”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 8(536) Tr. 6-19.
6. Nguyễn Chi Mai, Nguyễn Thu Hằng (2004), “Phương pháp dự báo tổ hợp và khả năng ứng dụng ở Việt Nam”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 7(500) Tr. 17-43.
7. Đặng Thị Hồng Nga (2006): “Nghiên cứu ứng dụng và cải tiến sơ đồ phân tích xoáy trong dự báo quỹ đạo bão bằng phương pháp số”, Đề Tài nghiên cứu cấp bộ, Viện KTTV, Bộ Tài Nguyên Môi Trường.
8. Nguyễn Thị Minh Phương (2003), “Lựa chọn một tham số cho sơ đồ ban đầu hóa xoáy trong mô hình chính áp dự báo đường đi của bão trên biển Đông”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 12(516) Tr. 13-32.
9. Nguyễn Thị Minh Phương (2005): “Hiệu chỉnh công thức tính thành phần xoáy bất đối xứng trong sơ đồ ban đầu hóa xoáy”. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 1 (529) Tr. 35-45
10. Nguyễn Thị Minh Phương (2007), “Kết quả dự báo nghiệp vụ quỹ đạo các cơn bão hoạt động trên biển đông năm 2005 bằng mô hình chính áp với sơ

đồ ban đầu hoá xoáy cải tiến". Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ 10 - Viện KH KTTV & MT.

11. Dương Hồng Sơn, Trần Thục, Hoàng Đức Cường, Nguyễn Duy Chinh (2002), "Mô hình số trị động lực MM5 và ứng dụng bước đầu cho Việt Nam", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 7(499) Tr. 4-11.
12. Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải (2003), "Về một phương pháp ban đầu hóa xoáy ba chiều", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 11(515), Tr. 1-12.
13. Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải (2004), "Ban đầu hóa xoáy ba chiều cho mô hình MM5 và ứng dụng trong dự báo quỹ đạo bão", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 10(526), Tr. 14-25.
14. Phan Văn Tân, Nguyễn Văn Sáng (2002), "Mô hình chính áp WBAR và khả năng ứng dụng dự báo bão khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 1(493) Tr. 27-33.
15. Phan Văn Tân, Kiều Thị Xin, Nguyễn Văn Sáng, Nguyễn Văn Hiệp (2002), "Kỹ thuật phân tích tạo xoáy ban đầu cho mô hình chính áp dự báo quỹ đạo bão", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 1(493) Tr. 13-22.
16. Lê Công Thành (2004), "Ứng dụng các loại mô hình số dự báo bão ở Việt Nam", *Tạp chí khí tượng thủy văn*, 5(521), Tr. 10-22.
17. Lê Công Thành, Kiều Thị Xin (2003), "Thí nghiệm dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông bằng mô hình nước nông ba lớp", *Tạp chí khí tượng thủy văn*, 7(499), Tr. 12-21.
18. Trần Tân Tiến, Mai Văn Khiêm, Nguyễn Văn Hiệp (2004), "Ứng dụng mô hình ETA không thủy tĩnh để dự báo định lượng mưa và quỹ đạo bão ở Việt Nam", *Tạp chí khí tượng thủy văn*, 5(521), Tr. 1-9.
19. Trần Tân Tiến, Nguyễn Minh Trường, Công Thanh, Kiều Quốc Chánh (2004), "Sử dụng mô hình RAMS mô phỏng đợt mưa lớn Miền Trung tháng 9-2002", *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội*, (3), Tr. 61-71.
20. Kiều Thị Xin, Lê Công Thành, Phan Văn Tân (2002), "Áp dụng mô hình số khu vực phân giải cao vào dự báo hoạt động của bão ở Việt Nam và Biển Đông", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 7 (499) Tr. 12-21.
21. Kiều Thị Xin và CS (2002), "*Nghiên cứu áp dụng bộ mô hình số trị khu vực cho dự báo chuyển động của bão ở Việt Nam*", Báo cáo kết quả thực hiện đề tài NCKH độc lập cấp Nhà nước, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Hà Nội.

Tiếng Anh

22. Aberson, S. D. and M. DeMaria (1994), “Verification of a nested barotropic hurricane track forecast model (VICBAR)”. *Mon. Wea. Rev.* (122), pp. 2804-2815.
23. Bach, H., 1969: On the downhill method. *Commun. Assoc. Comp. Mach.*, 12, 675–687.
24. Barnes, S. L. (1964), “A technique for maximizing details in numerical weather map analysis”, *J. Appl. Meteor.* (3), pp. 396-409.
25. Bender, M. A., R. J. Ros, R. E. Tuleya and Y. Kurihara (1993), “Improvements in tropical cyclone track and intensity forecasts using the GFDL initialization scheme”. *Mon. Wea. Rev.* (121), pp. 2046-2061.
26. Chan, J. C. L. and W. M. Gray, (1982), “Tropical cyclone movement and surrounding flow relationships”. *Mon. Wea. Rev.*, (110), pp. 1354-1374.
27. Cooks and Gray (2002), “Variability of the Outer Wind Profiles of Western North Pacific Typhoons: Classifications and Techniques for Analysis and Forecasting”
28. Davidson, N. E. and K. Puri (1992), “Tropical prediction using dynamical nudging, satellite-defined convective heat sources, and a cyclone bogus”, *Mon. Wea. Rev.* (120), pp. 2501-2521.
29. Davidson, N. E. and H. C. Weber (2000), “The BMRC high-resolution tropical cyclone prediction system TC-LAPS”, *Mon. Wea. Rev.* (128), 1245-1264.
30. Davidson, N. E., J. Wadsley, K. Puri, K. Kurihara, and M. Ueno (1993): Implementation of the JMA typhoon bogus in the BMRC tropical prediction system, *J. Meteor. Soc. Japan* (71), pp. 437-467.
31. Davis, C. A. and L. F. Bosart (2001), “Numerical Simulations of the Genesis of Hurricane Diana (1984). Part I: Control Simulation”, *Mon. Wea. Rev.* (129), pp. 1859-1881.
32. Davis, C. and S. Lownam, (2001), “The NCAR-AFWA tropical cyclone bogussing scheme”. A report prepared for the Air Force Weather Agency (AFWA). 12pp.
33. DeMaria, M., D. Aberson, K. V. Ooyama and S.J. Lord (1992), “A nested spectre model for hurricane track forecasting”, *Mon. Wea. Rev.* (120), pp. 1628-1643.
34. DeMaria, M. (1985), “Tropical Cyclone Motion in a Nondivergent barotropic model”, *Mon. Wea. Rev.* (113), pp. 1199-1209.

35. DeMaria, M. (1987), "Tropical cyclone track prediction with a barotropic spectra model", *Mon. Wea. Rev.* (115), pp. 2346-2357.
36. Dvorak, V. E. (1975), "Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery". *Mon. Wea. Rev.* (103), 420-430.
37. Emanuel, K. A. (1991), "Theories of hurricanes", *Annu. Rev. Fluid Tech.* (23), pp. 179-196.
38. Emanuel, K. A. (2005), "Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years", *nature* (436), pp. 686-688.
39. Fiorino, M.J., and R. L. Elsberry (1989), "Some aspects of vortex structure related to tropical cyclone motion", *J. Atmos. Sci.* (46), pp. 975-990.
40. Frank W. M. and E. A. Ritchie (1999), "Effects of Environmental Flow upon Tropical Cyclone Structure", *Mon. Wea. Rev.* (127), pp. 2045-2061.
41. Frank W. M. and E. A. Ritchie (2001), "Effects of Vertical Wind Shear on the Intensity and Structure of Numerically Simulated Hurricanes", *Mon. Wea. Rev.* (129), pp. 2249-2269.
42. Fujita, T. (1953), "Pressure distribution in typhoon." *Geophys. Mag.* (23), pp. 437-451.
43. George, J. E. and Gray, W. M. (1976), "Tropical cyclone motion and surrounding parameter relationships". *J. Appl. Meteor.*, (15), pp. 1252-1264.
44. Gray (1981), "Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis". *WMO Publication.*, Geneva Switzerland, pp. 1252-1264.
45. Grell G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, (1994): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). *NCAR Tech. Note* NCAR/TN-398+STR, 138 pp.
46. Holland, G. (1980), "An analytics model of the wind and pressure profile in hurricanes". *Mon. Wea. Rev.*, (108), pp. 1212-1218.
47. Horsfall F., M. DeMaria, and J. M. Gross, (1997): "Optimal use of large-scale boundary and initial fields for limited-area hurricane forecast models". Preprints, 22d Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Fort Collins, CO, *Amer. Meteor. Soc.*, pp. 571-572.
48. Iwasaki T., H. Hakano and M. Sugi, (1987), "The performance of a typhoon track prediction model with cumulus parameterization", *J. Meteor. Soc. Japan*, (65), pp. 555-570. ,
49. Kasahara, A.(1957), "The numerical prediction of hurricane movement with the barotropic model", *J. Meteorol.*, 14, pp. 386-402.

50. Kasahara, A. and G. W. Platzman (1963), "Interaction of a hurricane with a steering field and its effect upon the hurricane trajectory", *Tellus* (15), pp. 321-335.
51. Kimball S. K. and J. L. Evans (2002), "Idealized Numerical Simulations of Hurricane-Trough Interaction", *Mon. Wea. Rev.* (130), pp. 2210-2227.
52. Kurihara, Y., M.A. Bender, and R. J. Ross (1993), "An Initialization Scheme of Hurricane Models by Vortex Specification". *Mon. Wea. Rev.*, (121), pp. 2030-2045.
53. Kurihara, Y., M.A. Bender, R.T. Tuleya, and R. J. Ross (1995), "Improvements in the GFDL Hurricane Prediction System". *Mon. Wea. Rev.* (123), pp. 2791-2081.
54. Laprise R. (1992), "The Euler Equations of motion with hydrostatic pressure as as independent variable", *Mon. Wea. Rev.* (120), pp. 197-207.
55. Lowmam, S., and C. Davis (2001), "Development of a tropical cyclone bogussing scheme for the MM5 system". Preprint, The Eleventh PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop, June 25-27, 2001, Boulder, Colorado, pp. 130-134.
56. Merrill, R.T., (1984): "A comparison of Large and Small Tropical Cyclones", *Mon. Wea. Rev.*, (112), pp. 1408-1418.
57. Navon, I. M., X. Zou, J. Derber, and J. Sela (1992), "Variational data assimilation with an adiabatic version of the NMC spectral model". *Mon. Wea. Rev.*, (120), pp. 1433-1446.
58. Nguyen Chi Mai, R. K. Smith, H. Zhu, W. Ulrich (2002), "A minimal axisymmetric tropical cyclone model", *Q. J. R. Meteorol. Soc.* (128), pp. 1-20.
59. Ooyama, K. (1969), "Numerical Simulation of life cycle of tropical cyclones", *J. Atmos. Sci.* (26) No 1., pp. 3-38.
60. Pu, Z. X., S. A. Braun (2001), "Evaluation of Vortex Techniques with Four-Dimensional Variational Data Assimilation". *Mon. Wea. Rev.* (129), pp. 2023-2039.
61. Randhir Singh, P. K. Pal, C. M. Kishtawal and P. C. Joshi, (2005), "Impact of bogus vortex for track and intensity prediction of tropical cyclone", *J. Earth Syst. Sci.* 114, No. 4, August 2005, pp. 427-436.
62. Reeder, M. J., R. K. Smith and S. J. Lord (1991), "The detection of flow asymmetries in the tropical cyclone environment". *Mon. Wea. Rev.* (119), pp. 848-854.

63. Ross, R. J. and Y. Kurihara (1992), "A simplified scheme to simulate asymmetries due to the beta effect in barotropic vortices", *J. Atmos. Sci.* (49), pp. 1620-1628.
64. Sanders, F., and R. W. Burpee (1968), "Experiments in barotropic hurricane track forecasting". *J. Appl. Meteor.*, (7), 313-323.
65. Sanders F., C. Pike, and J. P. Gaertner, (1975), "A barotropic model for operational prediction of tracks of tropical storms". *J. Appl. Meteor.*, (14), pp. 265-280.
66. Serrano, E. and P. Undén (1994), "Evaluation of a tropical cyclone bogusing method in data assimilation and forecasting", *Mon. Wea. Rev.* (122), pp. 1523-1547.
67. Skamarock, W.C., J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, J. G. Powers (2005), *A Description of the Advanced Research WRF Version 2*, NCAR Technical Note, NCAR/TN-468+STR.
68. Smith, R. K. (1980), "Tropical cyclone eye dynamics", *J. Atmos. Sci.* (37), pp. 1227-1232.
69. Smith, R. K (1981), "The cyclostrophic Adjustment of Vortices with application to tropical cyclone modification", *J. Atmos. Sci.* (38), pp. 2021-2030.
70. Smith, R. K., W. Ulrich (1990), "An analytics theory of tropical cyclone motion using a barotropic model", *J. Atmos. Sci.* (47), pp. 1973-1986.
71. Smith, R. K., W. Ulrich, G. Dietachmaye (1990), "A numerical study of tropical cyclone motion using a barotropic model. I: The role of vortex asymmetries", *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* (116), pp. 337-362.
72. Smith, R. K. (1991). "An analytic theory of tropical-cyclone motion in a barotropic shear flow", *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* (117), pp. 685-714.
73. Smith, R. K., H. C. Weber, (1993), "An extended analytic theory of tropical-cyclone motion in a barotropic shear flow", *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 119, pp. 1149-1166.
74. Smith, R. K., W. Ulrich (1993), "Vortex Motion in relation to the absolute vorticity gradient of the vortex environment", *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* (119), pp. 207-215.
75. Smith R. K. (2005), "Accurate determination of a balanced axisymmetric vortex in a compressible atmosphere", *Tellus*, (58A), pp. 98-103.
76. Smith, R. K., M. T. Montgomery, H. Zhu (2005), "Buoyancy in tropical cyclone and other rapidly rotating atmospheric vortices.", *Dyn. Atmos. Oceans.* (40), pp. 189-208.

77. Tiedtke, M. (1989), "A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models". *Mon. Wea. Rev.* (117), pp.1779-1305.
78. Trinh V. T. and T. N. Krishnamurti, 1992, "Vortex initialization for Typhoon track prediction", *Meteor. Atmos. Phys.* (47), p 117-126.
79. Weatherford, C. L. and W. M. Gray, (1988): "Typhoon structure as revealed by aircraft reconnaissance. Part I: Data analysis and climatology". *Mon. Wea. Rev.*, (116), pp. 1032-1043.
80. Weatherford, C. L. and W. M. Gray, (1988): "Typhoon structure as revealed by aircraft reconnaissance. Part II: Structural variability". *Mon. Wea. Rev.*, (116), pp. 1044-1056.
81. Weber, H. C., and R. K. Smith (1995), "Data sparsity and the tropical cyclone analysis and prediction problem: Some simulation experiments with a barotropic numerical model". *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* (121), pp. 631-654.
82. Weber, H. C. (2001), "Hurricane track prediction with a new barotropic model", *Mon. Wea. Rev.* (129), pp. 1834-1857.
83. Wicker L. J. and W. C. Skamarock (2002), "Time-Splitting Methods for Elastic Models Using Forward Time Schemes". *Mon. Wea. Rev.* (130), pp. 2088-2097.
84. Wu LiQuang and S. A. Braun (2004), "Effects of Environmentally Induced Asymmetries on Hurricane Intensity: A Numerical Study", *J. Atmos. Sci.* (61), pp. 3065-3081.
85. Xiao, Q., Y. H. Kuo, Y. Zhang, D. M. Barker, D. J. Won, (2006), "A tropical cyclone bogus data assimilation scheme in the MM5 3Dvar system and Numerical experiments with typhoon Rusa (2002) near landfall", *J. Meteor. Soc. Japan*, (84), pp. 671-689.
86. Zhao-Xia Pu, Scott a. Braun (2001), "Evaluation of Vortex Techniques with Four-Dimensional Variational Data Assimilation", *Mon. Wea. Rev.*, (129), pp. 2023-2039.
87. Zhu H., R. K. Smith and W. Ulrich (2001), "A minimal three-dimensional tropical cyclone model", *J. Atmos. Sci.* (28), pp. 1924-1944.
88. Zou, X., and Q. Xiao (2000), "Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme". *J. Atmos. Sci.*, (57), 836-860.

PHỤ LỤC