

使用Blending方法進行系集平均場置換對於EAKF之效能分析

江琇瑛 馮欽賜 洪景山

中央氣象局氣象資訊中心

摘 要

為了改善系集調整卡爾曼濾波（Ensemble Adjustment Kalman Filter ; EAKF）資料同化系統因全循環（full cycling）流程所累積下來之模式系統性誤差，本研究使用美國國家大氣科學中心（National Center for Atmospheric Research）發展之 Blending 方法，將全球模式分析場與系集平均場，兩種不同模式進行環流尺度分離，並重新結合，得出全新的系集平均場，而後再對各個系集成員進行平均場置換，透過 Blending 方法置換大尺度環流結構，期望能提升資料同化效能與預報表現。

本研究除了分析有無使用 Blending 方法對於 EAKF 同化效能和模式預報之影響，同時也進階探討使用 Blending 方法進行系集 6 小時預報平均場置換與系集分析平均場置換對 EAKF 同化系統作用之差異。結果顯示，使用 Blending 方法之 EAKF 系統的系集離散表現明顯提升，改善原本系集離散表現不足的情況，不過對於 Blending 方法運用於系集 6 小時預報平均場置換，其離散表現有過大的現象。在預報校驗結果中，有使用 Blending 方法之模式預報表現明顯改進許多，其中以 Blending 方法運用於系集分析平均場置換的 EAKF 實驗結果最為顯著。

關鍵字：Blending、系集調整卡爾曼濾波、平均場置換

一、前言

有別於傳統變分資料同化，系集卡爾曼濾波（EnKF, Burgers et al. 1998 ; Houtekamer et al. 2005）同化方法的背景場誤差結構會隨時間更新，該方法係將系集成員預報場當作統計樣本，每次計算出新的背景場誤差，故背景場誤差結構與天氣型態有關聯，使得背景場誤差更接近於實際大氣狀態，進而能提升資料同化效能並改善模式預報準確度。為了讓系集預報場有效建立出不同參數場之間的相關特性，使用全循環同化流程（full cycling）進行 EnKF 資料同化，但全循環同化流程可能因觀測資料分布不均勻，尤其在海平面上，這些區域可能沒有觀測資訊對模式初始場進行調整與更新，將使模式系統性誤差愈來愈顯著，造成嚴重的模式系統性誤差問題，進而降低模式預報效益。

美國國家大氣科學中心（National Center for Atmospheric Research; NCAR）發展出改善模式初始場之方法，其運用結合不同數值預報模式環流場資訊之

技術，將全球預報模式之大尺度環流資訊，結合於區域預報模式層場中（Yang, 2005），對於此方法稱為 Blending。此目的是希望透過 Blending 方法，使區域預報模式初始場可有效掌握大尺度環流特徵結構，並且減少模式系統性誤差，提升模式預報準確度。

本研究將探討使用 Blending 方法，將系集模式層場之大尺度環流結構，置換為全球模式 NCEP GFS 分析場資訊，對於系集調整卡爾曼濾波（Ensemble Adjustment Kalman Filter ; EAKF）系統之同化效能和預報效益之影響。EAKF 為 EnKF 資料同化技術之一，該方法為 NCAR 資料同化研究平台（Data Assimilation Research Testbed ; DART）所發展（Anderson, 2001），中央氣象局數值預報小組已將 EAKF 方法，結合 WRF 預報模式，建置出系集資料同化系統於作業環境中，並進行多次穩定性測試與分析。在本文中，第二部分說明 Blending 基本原理，第三部分說明研究方法和運作流程設定，第四部分討論實驗結果，第五部分為結論。

二、基本原理

Yang(2005)運用低階 spatial filter 方法(Raymond and Garder, 1991)，結合不同數值預報模式之環流場資訊。首先將大氣環流場分離出不同波長結構，而後再擷取各個模式環流場所需的波長資訊，以將不同模式參數場之環流分布重新結合，得出全新的模式層場，其公式如下所示：

$$X_A^{NEW} = X_A - \overline{X_A}^{sf} + \overline{X_B}^{sf} \quad (1)$$

其中， X_A 代表模式 A 環流場， X_B 代表模式 B 環流場，而上標 sf 代表 spatial filter，即要進行環流波長結構替換之模式層場。因此，如果將模式 B 大尺度環流波長結構置換到模式 A，則全新模式 A 環流資訊將如圖 1 所示，其同時包含模式 B 之大尺度環流結構（黃色區塊），和本身模式 A 之小尺度環流資訊（紅色區塊）。

三、研究方法

（一）實驗設計

本研究之 WRF 預報模式使用 V 3.3.1 版本進行實驗，該動力模組採用 WRF-ARW，使用單層巢狀網格架構，其水平解析度設定為 45 km，網格點數為 222 x 128，投影法為藍伯特（Lambert），模式網域分布如圖 2 所示，另外垂直解析度設定為 45 層，模式頂為 30 hPa。本研究實驗期間選取 2012 年 6 月之 1 個月的實驗測試，EAKF/WRF 系集同化系統因考慮到運轉啟動（spin up）所需時間，故自 2012 年 5 月 28 日 0600 UTC 由 NCEP 全球模式之分析場冷啟動，先由隨機擾動產製 32 組系集成員，再以每 6 小時之更新週期，使用傳統觀測資料和福衛三號 GPSRO 觀測連續進行循環資料同化，給予 3 天的啟動時間，然後於個案期間之 00 UTC 和 12 UTC 進行系集平均分析場之 72 小時預報，另外由圖 2 觀測資料水平分布也可看出，海洋面上的觀測資料非常缺乏。

本研究除了分析有無使用 Blending 方法對於

EAKF 同化效能和模式預報之影響，同時也進階探討使用 blending 方法進行系集 6 小時預報平均場置換與系集分析平均場置換對 EAKF 同化系統作用之差異，其運作流程分別如圖 3 和圖 4 所示。兩者實驗流程在進行系集平均場置換時，首先藉由方程(1)之 Blending 方法，將大尺度環流系統之系集 6 小時預報／分析平均場，置換為 NCEP GFS 分析場，期望改善海上或觀測偏少地區之大氣環流結構，以減少模式系統性誤差。而後再對系集 6 小時預報／分析場進行新舊平均場之置換（re-center），透過該方式更新各個系集參數場之大尺度環流資訊，以提升系集 6 小時預報表現。

此外，本研究 Blending 的擷取波長（Blended Cut-off Length Scale）設定為 1200 公里，而置換之 WRF 模式參數場分別有：U 風場、V 風場、擾動位溫、混合比、擾動重力位、擾動氣壓、擾動乾空氣柱質量（perturbation dry air mass in column）、10 米 U 風場、10 米 V 風場、2 米溫度、2 米位溫、2 米混合比和地面氣壓，共 13 個模式參數場。

（二）診斷與校驗方法

本研究在觀測空間（observation space）進行系集離散診斷分析，透過 Total Spread（簡稱 **TotalSPRD**）和 Root Mean Square Error（簡稱 **RMSE**）之差異程度以評估系集離散表現。由於是以觀測資料當作真值，故與 **RMSE** 比較時，除了考慮系集預報的誤差，觀測誤差也必需一併衡量。公式分別如下：

$$TotalSPRD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\sigma_b^2 + \sigma_o^2)} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\overline{x^f} - y^o)^2} \quad (3)$$

其中， $\overline{x^f}$ 代表系集 6 小時預報場之系集平均； y^o 代表觀測值； σ_b^2 代表系集 6 小時預報場和其系集平均之變異數； σ_o^2 代表觀測場之變異數； N 代表觀測數量。當 **TotalSPRD** 與 **RMSE** 相當時，表示系集成員 6 小時預報場之離散程度為最佳狀態；當 **TotalSPRD** 小於 **RMSE** 時，代表系集離散程度不足。

在 72 小時預報校驗中，則是在模式網格點上進行校驗，本研究以 NCEP 全球模式 0.5 度 × 0.5 度的分析場作為校驗的真值，透過均方根誤差 (*RMSE*) 進行模式預報的校驗分析，公式如下所示：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (x^f - x_{GFS}^a)^2} \quad (4)$$

公式 (3) 和公式 (4) 雷同，但方程式裡面的變數含義完全不一樣， x^f 代表模式預報場，分別有 12、24、36、48、60 和 72 小時預報； x_{GFS}^a 代表 NCEP GFS 全球模式分析場資料內插至模式網格點； M 代表全部網格點數。

本研究將藉由上述方法進行沒有使用 Blending 方法、使用 Blending 方法進行系集 6 小時預報場置換，以及系集分析場置換，分析與比較這三者實驗結果，其中實驗分別簡稱為 nBf、gBf12 和 aBf12。

四、結果與分析

圖 5 為系集離散表現診斷結果，首先探討 *RMSE* 和 *TotalSPRD* 差異程度，圖中顯示，gBf12 和 aBf12 實驗之離散表現不論是在溫度場(圖 5A)或是風場(圖 5B、圖 5C)上，表現皆優於 nBf 實驗，不過 gBf12 之離散表現卻有些過大的情形。進階分析 *RMSE* 和 *TotalSPRD* 變化趨勢，結果顯示，gBf12 和 aBf12 實驗的 *RMSE* 表現明顯大幅改進，意味著系集 6 小時預報之準確度的確有提升；不過對於 gBf12 實驗，其 *RMSE* 會如此明顯減小，也包括 gBf12 實驗的系集 6 小時預報平均場已經含有 NCEP GFS 分析場大尺度環流資訊之因素，故造成 gBf12 實驗的 *TotalSPRD* 大於 *RMSE* 的情況，但 gBf12 實驗的 *TotalSPRD* 卻是這三者實驗中最小的。

圖 6 為重力位高度場於 2012 年 6 月，模式初始時以及第 12、24、36、48、60 和 72 小時預報場對 NCEP 分析場校驗的均方根誤差結果，除此之外，也將校驗範圍再細分別東北、東南、西北和西南共 4 個區域。首先由圖 6A 結果顯示，gBf12 和 aBf12 實驗的預報表現皆比 nBf 實驗好，至 72 小時預報仍可看出此優勢，

其中又以 aBf12 實驗結果最佳。比較圖 6B—E 指出，重力位高度場在模式東北區域之預報表現的改進幅度最顯著。進階透過各個實驗預報與 NCEP 分析場的差值水平分布得知(未圖示)，看到東北區域有較佳的預報準確度主要在高對流層的西風帶。

圖 7 同圖 6，但為溫度場的校驗結果，圖 7A 同樣表現出 gBf12 和 aBf12 實驗的溫度預報準確度獲得改善，而 aBf12 實驗又比 gBf12 實驗的結果好；然而在不同區域方面，溫度場除了在模式東北區域西風帶之預報表現有明顯的提升，在東南洋面區域上也可明顯看出。圖 8 和圖 9 皆同圖 6，但分別為 U 風場和 V 風場的校驗結果，首先由圖 8A 和圖 9A 同樣也指出 gBf12 和 aBf12 實驗在風場的預報表現較佳，然而從圖 B—C 顯示，gBf12 和 aBf12 實驗之風場有較好的預報表現，其主要貢獻來自於東北和西北地區之西風帶預報準確度的提升。

進階只比較 gBf12 和 aBf12 實驗之預報校驗結果，從圖 6—9 皆顯示，aBf12 實驗的預報表現比 gBf12 實驗略好些，其中以 V 風場之東北區域範圍的表現最為顯著(圖 9B)。

五、結論與未來展望

本研究希望透過 Blending 方法，使區域預報模式初始場可有效掌握大尺度環流特徵結構，以減少模式系統性誤差，進而改善系集資料同化效能，提升模式預報準確度。此外，在進行運用 Blending 方法於 EAKF 系統時，也分別探討系集 6 小時預報平均場置換與系集分析平均場置換之結果差異。進行系集 6 小時預報平均場置換之用意，是希望提供 EAKF 較好的系集猜測場，期望對 EAKF 系統的同化效能有更好的幫助，不過這也表示將會對 NCEP 分析場之大尺度環流資訊進行第二次分析。然而，對於進行系集分析平均場置換方面，則是不再對 NCEP 分析場之大尺度環流進行調整，表示在進行系集 6 小時預報時，其系集初始場之大尺度環流資訊為 NCEP 分析場，但在中小尺度環流方面，仍取自 EAKF 同化後之分析場。

首先在系集離散診斷方面顯示，使用 Blending 方法進行平均場置換之 EAKF 系統，其系集離散表現明顯獲得改善，主要是透過系集 6 小時預報準確度之提升；但 Blending 方法用於系集 6 小時預報平均場置換（gBf12 實驗），可能提供過於準確之模式預報值，造成診斷出的系離散表現有過大的情形，不過，實際上 gBf12 實驗的離散度是三者實驗中最小的。

在預報校驗結果中，有使用 Blending 方法之 EAKF 實驗（gBf12 和 aBf12 實驗）的模式預報表現明顯改進許多，其中 Blending 方法運用於系集分析平均場置換的預報結果（aBf12 實驗）又比運用於系集 6 小時預報平均場置換的預報結果（gBf12 實驗）稍好，由此說明，gBf12 實驗的分析場品質可能略微不及於 aBf12 實驗，即 EAKF 系集資料同化系統的分析效能仍有調整的空間。

系集資料同化系統扮演角色不單單只限於資料同化這部分，也可介接系集預報系統，提供擾動初始場。中央氣象局已建置一套以 WRF 區域模式為基礎之系集預報系統（WRF Ensemble Prediction System，WEPS，李和洪 2011），因此，除了思考如何有效提升 EAKF 同化系統的效能表現，未來也將持續考量 EAKF 同化系統如何提供 WEPS 較佳的初始擾動場，以提升 WEPS 系集預報準確度和系集離散程度表現。

六、參考文獻

- 林昀瑱、劉輝和馮欽賜，2010：EAKF 系集資料同化系統初步分析。2010 年海峽兩岸災害性天氣分析與預報研討論，6，22 - 27。
- Anderson, J. L., 2001: An Ensemble Adjustment Kalman Filter for Data Assimilation. *Monthly Weather Review*, **129**, 2884-2903.
- , 2003: A local least squares framework for ensemble filtering. *Monthly Weather Review*, **131**, 634-642.
- , 2007: An adaptive covariance inflation error correction algorithm for ensemble filters. *Tellus A*, **59**, 210-224.
- , 2009: Spatially and temporally varying adaptive covariance inflation for ensemble filters. *Tellus A*, **61**, 72-83.
- , T. Hoar, K. Raeder, H. Liu, N. Collins, R. Torn, and A. Arellano, 2009: The Data Assimilation Research Testbed: A Community Facility. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **90**, 1283-1296.
- Burgers, G., van Leeuwen, P. J. and Evensen, G. 1998: Analysis scheme in the ensemble Kalman filter. *Mon. Weather Rev.*, **126**, 1719-1724.
- Houtekamer, P., G. Pellerin, M. Buehner, and M. Charron, 2005: Atmospheric data assimilation with an ensemble Kalman filter: Results with real observations. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 604-620.
- Raymond, W. H. and A. Garder, 1991: A review of Recursive and Implicit Filters. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 477-495.
- Yang, X., C. Petersen, B. Amstrup, B. Andersen, H. Feddersen, M. Kmit, U. Korsholm, K. Lindberg, K. Mogensen, B. H. Sass, K. Sattler and N. W. Nielsen, 2005: The DMI-HIRLAM upgrade in June 2004. DMI Technical Report, 05-09, pp 35.

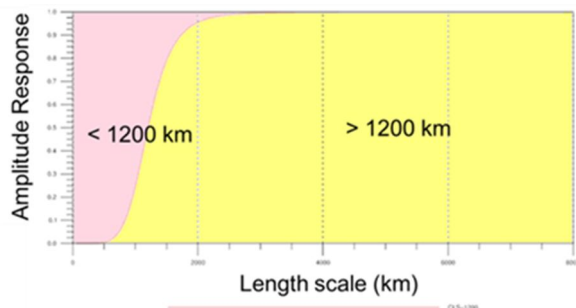


圖 1：結合不同模式環流波長結構示意圖，其中 x 軸為環流波長大小，y 軸代表振幅大小。

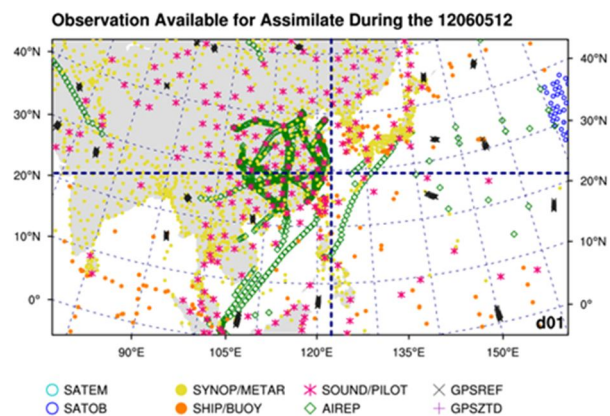


圖 2: 2012 年 6 月 5 日 12 UTC 之觀測資料水平分布。此外，圖中虛線代表進行模式預報校驗時之劃分界線，有東北、東南、西北與西南共四個區域，分別簡稱 EN、ES、WN 與 WS。

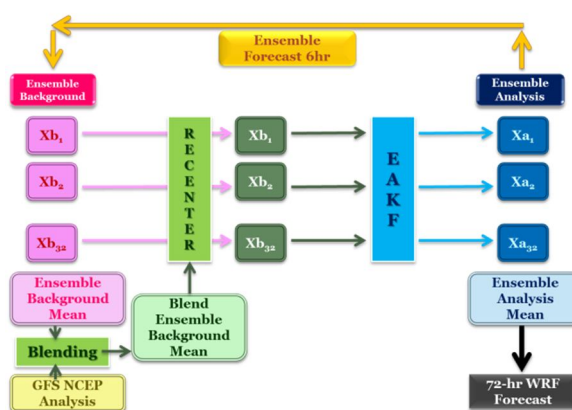


圖 3：使用 Blending 方法進行系集 6 小時預報場置換之 EAKF/WRF 全循環同化流程示意圖。

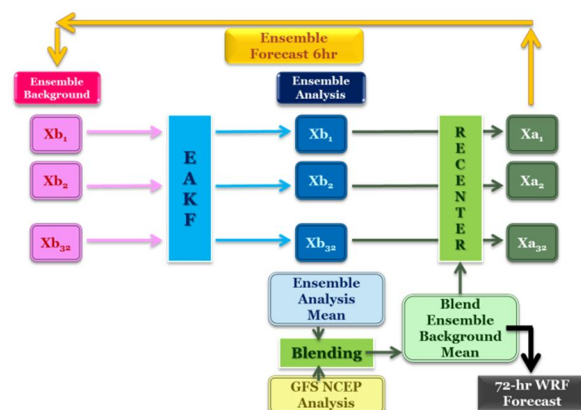


圖 4：使用 Blending 方法進行系集分析場置換之 EAKF/WRF 全循環同化流程示意圖。

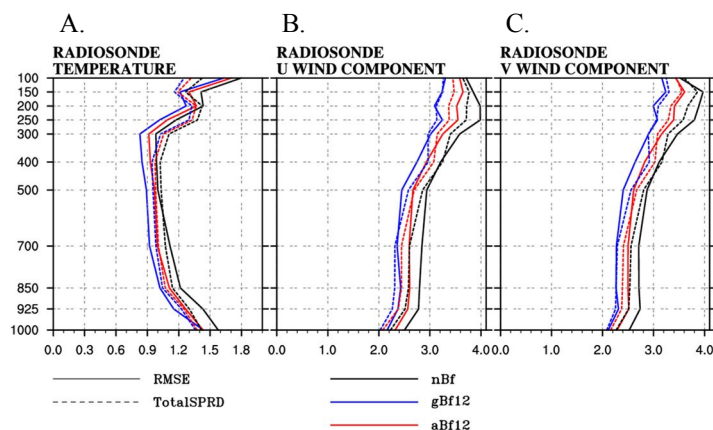


圖 5：nBf 實驗（黑色曲線）、gBf12（藍色曲線）與 aBf12 實驗（紅色曲線）之 A. 溫度場，B. U 風場，C. V 風場之系集離散表現診斷圖。其中實線為 RMSE，虛線為 TotalSPRD。

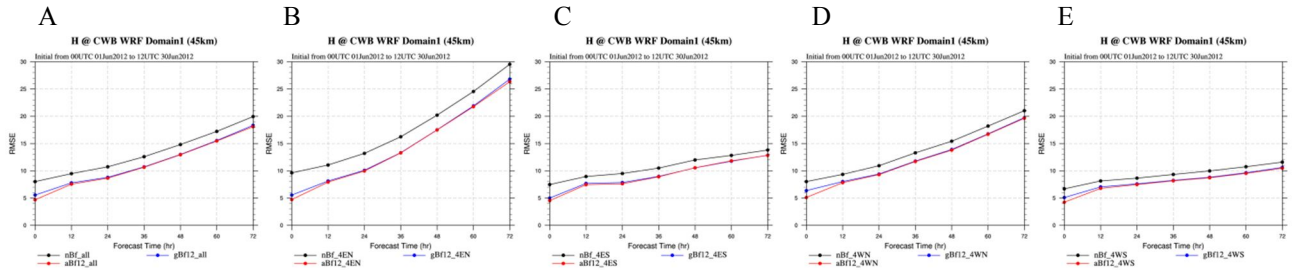


圖 6：nBf 實驗（黑色曲線）、gBf12（藍色曲線）與 aBf12 實驗（紅色曲線）之重力位高度場於 2012 年 6 月，初始時以及 12、24、36、48、60 和 72 小時預報對 NCEP 分析場校驗的均方根誤差結果。A. 為 45 公里模式全網域範圍的校驗；B. 為圖 2 東北區域範圍的校驗；C. 為圖 2 東南區域範圍的校驗；D. 為圖 2 西北區域範圍的校驗，E. 為圖 2 西南區域範圍的校驗。

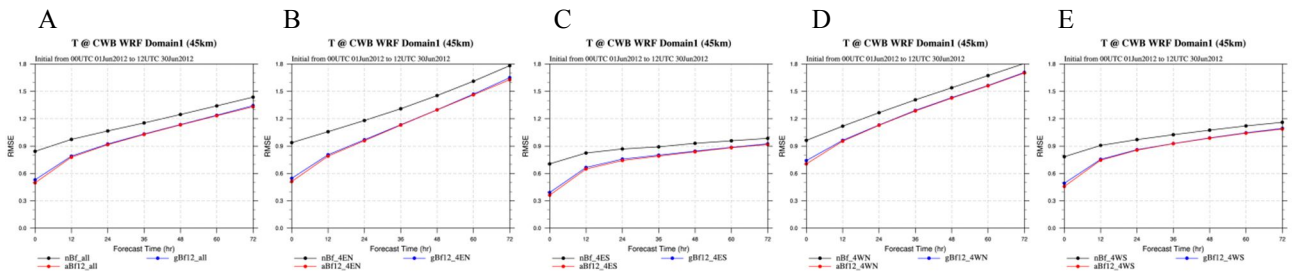


圖 7：同圖 6，但為 2012 年 6 月溫度場的校驗結果。

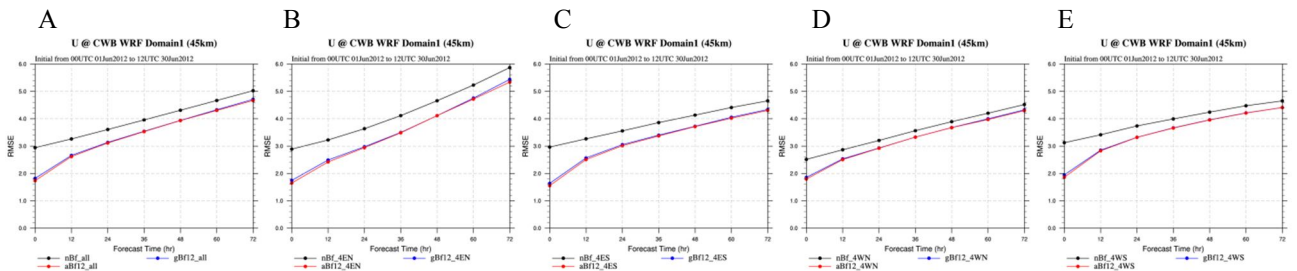


圖 8：同圖 6，但為 2012 年 6 月 U 風場的校驗結果。

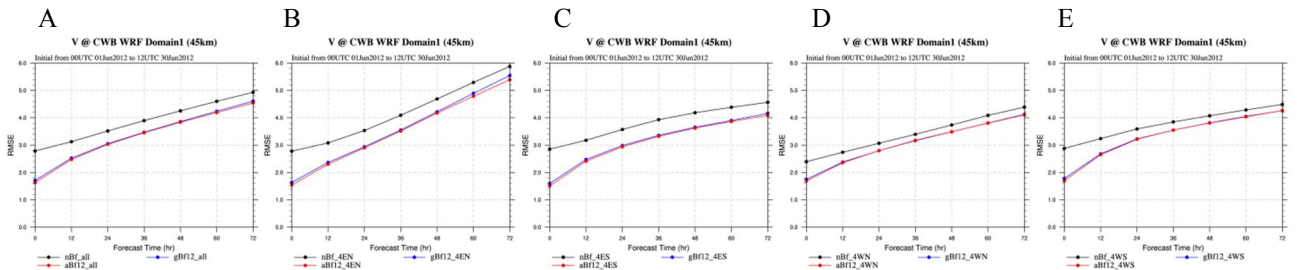


圖 9：同圖 6，但為 2012 年 6 月 V 風場的校驗結果。