

## 利用衛星資料反演三維環境風場之初步研究

<sup>1</sup>劉崇治 <sup>2</sup>涂明聖 <sup>3</sup>黃清順<sup>1</sup>明新科技大學 <sup>2</sup>空軍氣象中心 <sup>3</sup>空軍第三天氣中心

## 摘要

本文利用 2004 年 NCEP 再分析場一整年共計算 720 個個案，利用熱力風的原理從 1000hPa 當初始場反演 925hPa、850hPa、700hPa、500hPa、400hPa、300hPa、200hPa 及 100hPa 等共八層風場並與實際風場在不同的相對濕度上作相關係數與均方跟差等誤差分析，藉以了解所反演的風場與實際風場的差異及水汽這項因子對於這套反演風場方法的影響。

研究結果顯示風向及 U 分量所反演的結果比較好，而風速及 V 分量所反演的結果則比較差，在風向方面顯示夏半年比冬半年所反演的結果表現比較好，而冬半年在 500hPa 以上的風速及 U 分量所反演的結果則比夏半年來的好，至於 V 分量都顯示比較差的結果；在水汽的誤差分析上，相對濕度越低(越乾)其所反演的風場與實際風場的相關係數越高且均方根差越小，在風向的表現上尤為明顯，風向無論在相對濕度場的那個條件下，在 850hPa 或 700hPa 均方根差是偏差最大，各月份均顯示同樣的結果；在去除青康藏高原地形影響分析，風場相關係數明顯提升且各層的均方根差亦有顯著減小，因此熱力風所反演風場與實際風場資訊兩者相當一致，未來可應用實際衛星資料上，以獲得大氣環境三維環境風場。

## 一、前言

## 1.1 研究動機

台灣地區近年常見天然災害如颱風、豪雨、雷暴雨及土石流的產生，其所帶來的直接、間接災害或是其所造成經濟生產與民生活動的影響可謂甚鉅，因此近年來對防災的預警可以說受到全國的高度重視。天然災害的生成與發展經常發生於廣大洋面，然後才移進台灣地區，而隨著遙測技術的改進，衛星觀測資料的數量與種類增加，因此，對颱風監測與分析的能力，皆有長足的發展與改進，故在缺乏傳統觀測的洋面上，衛星資料的重要性與實用性日漸顯著。

傳統氣象衛星僅利用紅外線(IR, Infrared)或可見光(VIS, Visible)雲圖的研究，只能提供雲表的資訊，對於雲下的情形卻無法觀測；而微波頻道並不會有此限制，利用輻射傳遞原理所發展的遙測技術來觀測大氣的變化，提供了預報者全面且即時的觀測資料，因為微波對雲層具備良好的穿透能力。可用於觀測雲雨區的大氣狀態，而且微波觀測除了可

提供溫溼度剖面的反演外，也可偵測雲雨區內液態水、冰晶、降雨及海面風等其它重要參數，來進行海面上大尺度環境場的四維空間的垂直剖面分析。

過往衛星微波觀測受限於解析度的不足，始終無法描述颱風溫度場與風場的三維結構，自從 1998 年 5 月 13 日美國 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)發射其所屬衛星 NOAA-15 升空後，其上所承載的新一代微波探空儀器 Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) 較先前的 MSU 具有更好的水平與垂直解析度。這提供一個良好的觀測與分析颱風的機會。AMSU 的頻道由原先的 MSU 的 4 個頻道增加到 20 個頻道，AMSU 包括 AMSU-A 與 AMSU-B 兩部份，其中 AMSU-A 觀測頻道之頻率由 23.0GHz 到 89.0GHz，內含 23.8、31.4、50.3 及 89.0GHz 4 個窗區頻道，主要用途是探測地表特性及液態水含量，另外 11 個頻道的頻率由 52.8 到 58.0GHz，主要用途是反演大氣的溫度垂直分布。

AMSU-B 包括 5 個微波頻道，其中 89.0GHz 與 150GHz 為窗區頻道，另外 3 個頻道，頻率在 183.0GHz 附近的水吸收帶上，主要的目的是反演水汽的垂直分布。除了垂直的解析度增高外，AMSU-A 的水平解析度，由先 MSU 星下點 111 公里提高為 48 公里，AMSU-B 於星下點的位置解析度為 15 公里。由於上述的改進，在結合 AMSU (NOAA 系列) 及 AMSR-E (EOS-AQUA) 衛星觀測資料，不但在空間解析度有明顯提升，同時在時間解析度亦有顯助改善，故用於分析三維的環境溫度場與風場成為可行。

本研究目的即為利用衛星觀測資料反演三維的環境風場，以提早預警天然災害如颱風、豪雨、雷暴雨及土石流的發生，有效減輕或避免災害性降雨所造成的損失，借此提供防災作業單位作為防災決策之參考。本文是針對風場部份的前置作業，初步利用 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 的重新分析資料，利用熱力風方程式以反演風場方法，分析其實際的可行性與誤差因子的影響，最後當然希望建立一套方法能應用在衛星資料上來反演風場，以逐步提升對天然災害預報能力。

## 1.2 論文回顧

國際上關於利用衛星進行天然災害的研究已經有很顯著成果。在颱風研究方面，Kidder et al.(1978,1980)指出：微波觀測得到的颱風中心增溫，與颱風中心氣壓及外圍風場具有關連性，此後的研究以 Microwave Sounding Unit(MSU)資料，利用其反演所得 250hPa 的颱風中心增溫，估計颱風的強度與中心氣壓，並與飛機的觀測比較，結果顯示具有良好的相關，此外 Grody et al(1982)指出，微波觀測亮度溫度的梯度與 500hPa 風場的關連性。Tibbetts et al.(2000)則運用全球波譜模式，以四種不同衛星降雨估算法進行評估，估算法分別為 Cal/Val、NESDIS、GPROF 4.0 和 TMI-2A12 (TRMM)，以改善模式降雨

分布及颱風預報。其中以 NESDIS 降雨估算法在雨量大小與實際測站檢驗結果較接近。研究顯示正確的降雨分布及雨量大小有利於模式估算潛熱釋放及積雲參數化，因此 NESDIS 降雨估算結果輸入模式，在颱風路徑預報上效果最佳，故降雨分布的正確與否，攸關模式預報颱風路徑之良窳。Chen(2004)使用 SSM/I 的資料於此系統之中，其實驗的結果發現，MM5 三維變分同化 SSM/I 資料之後，可增加颱風附近的水汽含量，增加下層的環流，縮減 spin-up 的時間並明顯的改善模擬的颱風強度，而在颱風路徑預報亦有些許的改進。

另外，在中尺度對流系統研究方面，Acee and Dowell (1974)發現海上發展的對流系統需要海面和空氣溫度差所供給的熱能和低層風切提供的動能。Watson et al. (1991)也曾針對美國佛羅里達州對流活動和低層輻合、風向、風速進行討論。Liu et al.(2002)則使用衛星資料反演海氣參數，以獲得台灣地區附近海域之潛熱通量(latent heat flux; LHF)和可感熱通量(sensible heat flux; SHF)，並進而有效監測該區域海上生成發展的中尺度對流系統。Williams and Coauthors (2002)在南美洲亞馬遜河區域低層風向偏東風與偏西風時所產生的對流環境做比較，兩者的大氣環境有明顯的不同，例如：氣塊垂直運動在偏東風時有較強的上升運動、水氣的垂直剖線在偏東風時各層的水氣也較偏西風潮濕等等。Halverson et al. (2002)針對此地區低層的風場會隨季節變化而改變，迫使南美洲大尺度的環流和南大西洋輻合區的位置隨之改變，在低層風向為偏東風期間產生對流時，環境的對流可用位能和垂直風切的值，跟低層風向為偏西風所產生對流時的環境比較起來不一樣，當低層為偏東風而產生對流時，CAPE 值較大，且垂直風切也較大。Cifelli et al. (2004)利用 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) -LBA (Large Scale Biosphere) 資料在南美洲亞馬遜河地區的濕

季進行研究，發現低層流偏東風和偏西風和對流發展強度有很大的關聯，當低層偏東風時所產生的對流在雷達上的回波較強，即產生的對流較低層流為偏西風強烈。2005 葉與劉等利用 NOAA 衛星資料反演大氣溫濕剖面，進而估算大氣穩定指數和水氣含量來了解大氣環境熱力機制，加上利用地面風場所計算的輻散場來了解大氣環境動力機制，有利於增加在臺灣地區午後對流環境的認識並增進午後對流的預報準確度。

## 二、研究資料及方法

本文利用資料是由美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction) 所提供日平均的重新分析資料。每日一筆的觀測資料，初始資料的網格間距為  $2.5^\circ(\text{lat.}) \times 2.5^\circ(\text{long.})$ ，範圍是全球而垂直上則是 1000mb 到 10mb 分有 17 層。利用 2004 年 NCEP 再分析場一整年共 726 個個案(一天 00Z 及 12Z 兩個個案)，扣除掉 6 個個案資料有錯誤，共計算 720 個個案，利用熱力風的原理從 1000hPa 當初始場反演 925hPa、850hPa、700hPa、500hPa、400hPa、300hPa、200hPa 及 100hPa 等共八層風場並與實際風場(NCEP 再分析場上各層的風場)在不同的相對濕度上(共分為四類，分別為 90~100、80~90、70~80 及 70 以下) 及去除青康藏高原地形影響下，作相關係數與均方跟差等誤差分析，藉以了解所反演的風場與實際風場的差異與各項因子的影響。

在計算原理部份乃利用熱力風的方程式，其公式推導如下：  
等壓座標系中的地轉風的關係為：

$$f \vec{k} \times \vec{V}_g = -\nabla_p \Phi$$

展開後兩速度分量為

$$v_g = \frac{1}{f} \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad u_g = -\frac{1}{f} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \dots\dots(1)$$

重力位的定義為：

$$\Phi = \int_0^z g dz$$

$$\delta \Phi = g \delta z$$

$$\frac{\delta \Phi}{\delta p} = \frac{g \delta z}{\delta p} \quad \text{由流靜方程可得}$$

$$\delta p = -\rho g \delta z$$

$$\frac{g \delta z}{\delta p} = -\frac{1}{\rho} = -\alpha$$

$$\frac{\delta \Phi}{\delta p} = \frac{g \delta z}{\delta p} = -\alpha$$

$$p = \rho RT \quad \alpha = \frac{RT}{P}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial p} = -\alpha = -\frac{RT}{P} \dots\dots\dots(2)$$

將(1)式對氣壓微分，並利用(2)式，可得

$$\frac{\partial v_g}{\partial p} = \frac{\partial}{\partial p} \left( \frac{1}{f} \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) = \frac{1}{f} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) = \frac{1}{f} \frac{\partial}{\partial x} \left( -\frac{RT}{p} \right) \quad \text{故}$$

$$\frac{\partial v_g}{\partial \ln p} = -\frac{R}{f} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_p \quad \text{同理可得}$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial \ln p} = \frac{R}{f} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)_p \quad \text{此兩式以向量形式表示則為}$$

$$\frac{\partial \vec{V}_g}{\partial \ln p} = -\frac{R}{f} \vec{k} \times \nabla_p T \quad \text{此式為熱力風方程}$$

將上式對氣壓積分，則可得

$$u_T = u_{g\uparrow} - u_{g\downarrow} = -\frac{R}{f} \left( \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial y} \right)_p \ln \left( \frac{p_T}{p_\uparrow} \right)$$

$$v_T = v_{g\uparrow} - v_{g\downarrow} = \frac{R}{f} \left( \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial x} \right)_p \ln \left( \frac{p_T}{p_\uparrow} \right) \quad \text{故}$$

$$u_{g\uparrow} = u_{g\downarrow} - \frac{R}{f} \left( \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial y} \right)_p \ln \left( \frac{p_T}{p_\uparrow} \right)$$

$$v_{g\uparrow} = v_{g\downarrow} + \frac{R}{f} \left( \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial x} \right)_p \ln \left( \frac{p_T}{p_\uparrow} \right)$$

## 三、反演風場與實際風場之誤差分析

表 1 至表 4 乃 2004 年 720 個個案所反演的各層風場針對風向、風速、U 及 V 分量與

實際風場所作的相關係數在 0.6 以上所占的百分比一覽表，黃色的部份乃百分之 90(含)以上的個案在相關係數 0.6 以上，白色的部份乃介於百分之 50(含)至 90(不含)之間的個案在相關係數 0.6 以上，綠色的部份乃百分之 50(不含)以下的個案在相關係數 0.6 以上，研究結果顯示風向及 U 分量所反演的結果比較好，而風速及 V 分量所反演的結果則比較差，在風向方面顯示夏半年(05 至 10 月)比冬半年(11 至 04 月)所反演的結果表現比較好，而冬半年在 500hPa 以上的風速及 U 分量所反演的結果則比夏半年來的好，至於 V 分量都顯示比較差的結果。

由於在表 4 中，在 V 向量風場的相關性明顯偏低，故分析比較 2004 年 01 月 925hPa、850hPa、700hPa、500hPa、400hPa、300hPa、200hPa、100hPa 各層 U、V 向量風場(如圖 1~圖 8)，在 U 向量風場的反演熱力風與 NCEP 再分析場資料的相關性，由底層 925hPa 至高層 100hPa 分別為 100.0、96.8、93.5、100.0、100.0、100.0、100.0、100.0，但在 V 向量風場的反演熱力風與 NCEP 再分析場資料的相關性，由底層 925hPa 至高層 100hPa 分別為 88.7、4.8、1.6、25.8、48.4、46.8、35.5、17.7，研究顯示 V 分量所反演的結果比較差，比較圖 4a、圖 4b 顯示在 500hPa 的實際 U、V 向量風場間距明顯不同，U 向量風場的極大與極小之差異間距大於 V 向量風場，同時 V 向量風場的數值偏低，兩項結果都導致 V 向量風場的相關性明顯偏低。因此，由圖 9、圖 10 分別為 2004 年 01 月 850hPa、500hPa 反演熱力風與 NCEP 再分析場資料的風場比較，其 V 向量風場的相關性明顯偏低，但在各點的風向與風速比較並無明顯的差異產生。

緯度差異的靈敏度測試，將分析風場資料位於東經  $100^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$  及北緯  $10^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  區域進行測試，由於逐月資料點數有限，因此分析綜整 2004 年 1~6 月風速資訊，並將研究區域分為北緯  $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 、北緯  $20^{\circ}\sim$

$30^{\circ}\text{N}$  及北緯  $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  三個部分，並分別為分析 925hPa、850hPa、700hPa、500hPa、400hPa、300hPa、200hPa、100hPa(如圖 11~圖 19)，其半圓形的上半部所代表意義為反演熱力風場與 NCEP 再分析風速資料的正負相關性，而 X 軸則代表兩者間之風速均方差，由各層分析皆顯示區域  $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  的風速最接近實際風速，其次為區域  $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ，表現最差則為區域  $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ，顯示熱力風場反演的風速在越接近中緯度區域越準確，而在接近熱帶區則較為不準確的趨勢。而在分析綜整 2004 年 1~6 月風向資訊(圖略)亦有上述之結果。

水氣差異的靈敏度測試，由於水氣多寡會影響衛星資料反演的準確度，因此分析風場資料位於東經  $100^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$  及北緯  $10^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  區域進行水氣測試，以大氣環境相對濕度(RH)進行分類，分別區分為  $\text{RH}\leq 70\%$ 、 $70\%<\text{RH}\leq 80\%$ 、 $80\%<\text{RH}\leq 90\%$ 、 $90\%<\text{RH}\leq 100\%$  四類，並分析由 1~12 月不同水氣差異所造成風向、風速、U、V 向量風場的影響(如圖 20~圖 23)，由 2004 年 1~12 月份(如圖 20)U 及 V 分量相關係數及均方根差隨高度的變化可以看出相對濕度越低(越乾)其所反演的風場與實際風場的相關係數越高且均方根差越小，而相對濕度越高(越濕)則所反演的風場與實際風場的相關係數越低且均方根差越大，在 U 向量風場的表現上尤為明顯。在風向的表現上尤為明顯，風向無論在相對濕度場的那個條件下，在 850hPa 或 700hPa 均方根差是偏差最大。

青康藏高原地形影響的靈敏度測試，原本風場資料位於東經  $100^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$  及北緯  $10^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  區域，由於研究區域有部分會受青康藏高原地形影響及接近熱帶地區，因此截掉有可能地形影響及低緯度的區域，故以風場資料位於東經  $110^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$  及北緯  $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  區域，以進行靈敏度測試，並分析由 1~12 月不同水氣差異所造成風向、風速、U、V 向量風場的影響，以 2004 年 7 月份有無受

青康藏高原地形影響比較(如圖 24~圖 25)，不論在風向、風速、U、V 向量風場在去除青康藏高原地形影響後，相關係數明顯提升且各層的均方根差亦有顯著減小，以各層 U 向量風場為例在均方根差有顯著減小至 0.3 以下，相關係數明顯提升至 0.7 以上，結果顯示去除青康藏高原地形影響，風場資訊有明顯提升，因此熱力風所反演風場與實際風場資訊兩者相當一致，故此反演方法未來可應用實際衛星資料上，以獲得大氣環境三維環境風場，以提早預警天然災害的發生，有效減輕或避免災害性所造成的損失；而 2004 年其餘各月風向、風速、U、V 向量資料(圖略)亦有上述之結果。

#### 四、結論

本文利用 2004 年 NCEP 再分析場一整年，扣除掉 6 個個案資料有錯誤，共計算 720 個個案，利用熱力風的原理從 1000hPa 當初始場反演 925hPa、850hPa、700hPa、500hPa、400hPa、300hPa、200hPa 及 100hPa 等共八層風場並與實際風場(NCEP 再分析場上各層的風場)在不同的相對濕度上(共分為四類，分別為 90~100、80~90、70~80 及 70 以下)作相關係數與均方根差等誤差分析，由以上的誤差分析可得以下結論：

1. 風向及 U 分量所反演的結果比較好，而風速及 V 分量所反演的結果則比較差，在風向方面顯示夏半年(05 至 10 月)比冬半年(11 至 04 月)所反演的結果表現比較好，而冬半年在 500hPa 以上的風速及 U 分量所反演的結果則比夏半年來的好，至於 V 分量都顯示比較差的結果。
2. 在水汽的誤差分析上，相對濕度越低(越乾)其所反演的風場與實際風場的相關係數越高且均方根差越小，在風向的表現上尤為明顯。
3. 風向無論在相對濕度場的那個條件下，在 850hPa 或 700hPa 均方根差是偏差最大，各月份均顯示同樣的結果，是否有可能是

地形因素所造成的影響，值得進一步探討。

4. 風向、風速、U、V 向量風場在去除青康藏高原地形影響後，相關係數明顯提升且各層的均方根差亦有顯著減小，以各層 U 向量風場為例在均方根差有顯著減小至 0.3 以下，相關係數明顯提升至 0.7 以上，因此熱力風所反演風場與實際風場資訊兩者相當一致，故未來可應用實際衛星資料上，以獲得大氣環境三維環境風場。

由於研究仍在持續進行中，未來將針對此方法應用在衛星資料上反演風場並與實際探空風場進行誤差分析，以便更務實評估應用的可能性。未來風場的問題只要能夠獲得解決將可進一步計算動力上的量場，以逐步提升對天然災害預報能力。

#### 參考文獻

- 葉與劉等，2005：衛星資料在夏季午後熱對流潛勢環境之初步分析。*大氣科學*第 33 卷 3 期，189-214。
- Acee, E. M. and K. E. Dowell, 1974: Observation studies of mesoscale cellular convection. *Journal, of applied Meteorology*, **13**, 46-53.
- Chen, S.-H., F. Vandenberghe, G.W. Petty, and J.F. Bresh, 2004: Application of SSM/I satellite data to a hurricane simulation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **130**, 801-825.
- Cifelli, R., L. Carey, W. A. Petersen, and S. A. Rutledge, 2004: An Ensemble Study of Wet Season Convection in Southwest Amazonia: Kinematics and Implications for Diabatic Heating. *Journal of Climate*, **Vol. 17**, No. 24, 4692-4707.
- Grody, N., F. Weng and W.C. Shen, 1982: Observation of Hurricane David(1979) using the Microwave Sounding Unit. NOAA tech. Rep. NESS 88, Washington,

- DC, 52pp.
- Halverson, J. B., T. Rickenbach, B. Roy, H. Pierce, and E. Williams, 2002: Environmental characteristics of convective systems during TRMM-LBA. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 1493–1509.
- Kidder, S.Q., W. M. Gray, and T.H. Vonder Harr, 1978: Estimating tropical cyclone central pressure and outer wind from satellite microwave data. *Mon Wea. Rev.*, **106**, 1458-1464.
- Kidder, S. Q., W. M. Gray, and T. H. Vonder Harr, 1980: Tropical cyclone outer surface winds derived from satellite microwave data. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 114-152.
- Liu, G.R., C. C. Liu and T. H. Kuo, 2002: A Satellite-derived Objective Potential Index for MCS Development during the Mei-Yu Period. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **Vol. 80**, NO. 3, pp. 503-517.
- R.T. Tibbetts and T. N. Krishnamurti, 2000: An intercomparison of hurricane forecasts using SSM/I and TRMM rain algorithm(s). *Meteorol. Atmos. Phys.* **74**, 37-49.
- Watson, R. L. Holle, R. E. Lopez, R. Ortiz, and J. R. Nicholson, 1991: Surface wind convergence as a short-term predictor of cloud-to-ground lightning at Kennedy Space Center. *Wea. Forecasting*, **6**, 49-64.
- Williams, E., and Coauthors, 2002: Contrasting convective regimes over the Amazon: Implications for cloud electrification. *J. Geophys. Res.*, **107**, 8082.

#### 致謝

本文在國科會專題研究計畫 96-2745-M-159-001 及 96-2625-Z-159-002 資助下完成。

表一 2004年1-12月各層風向相關係數0.6以上所佔百分比一覽表。

	1000	925	850	700	500	400	300	200	100
一月	100.0	100.0	98.4	67.7	46.8	56.5	43.5	6.5	16.1
二月	100.0	100.0	100.0	76.8	76.8	87.5	78.6	47.1	32.1
三月	100.0	100.0	88.4	93.5	88.7	77.4	69.4	62.8	74.2
四月	100.0	100.0	100.0	86.7	86.7	86.7	77.7	65.0	76.7
五月	100.0	100.0	88.3	100.0	95.0	86.7	100.0	86.7	100.0
六月	100.0	100.0	100.0	96.6	88.3	88.3	100.0	100.0	100.0
七月	100.0	100.0	100.0	98.4	98.4	100.0	100.0	100.0	91.9
八月	100.0	100.0	100.0	98.4	98.4	100.0	100.0	100.0	80.3
九月	100.0	100.0	100.0	86.7	88.3	100.0	100.0	100.0	100.0
十月	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	88.4	80.3	85.5
十一月	100.0	100.0	100.0	98.3	100.0	95.7	88.3	88.3	48.3
十二月	100.0	100.0	100.0	87.1	75.8	91.9	77.4	46.8	33.8

表二 2004年1-12月各層風速相關係數0.6以上所佔百分比一覽表。

	1000	925	850	700	500	400	300	200	100
一月	100.0	69.4	11.3	45.2	100	100.0	100.0	100.0	100.0
二月	100.0	87.5	17.9	33.9	85.7	86.4	100.0	100.0	100.0
三月	100.0	72.6	6.5	35.5	80.6	100.0	100.0	100.0	100.0
四月	100.0	83.3	33.3	25.0	55.0	80.0	91.7	95.0	78.3
五月	100.0	88.3	43.3	25.0	66.7	90.0	86.7	98.3	58.3
六月	100.0	100.0	77.6	34.5	17.2	47.4	81.0	87.9	13.8
七月	100.0	88.4	50.0	16.1	14.5	28.0	56.5	62.9	14.5
八月	100.0	100.0	81.8	38.7	8.7	16.1	51.6	64.5	18.4
九月	100.0	100.0	40.0	20.0	26.7	73.3	83.3	83.3	33.3
十月	100.0	100.0	71.0	27.4	58.1	87.1	100.0	100.0	74.2
十一月	100.0	100.0	21.7	26.7	66.7	86.3	100.0	100.0	88.3
十二月	100.0	77.4	24.2	33.9	78.0	83.5	88.4	100.0	86.8

表三 2004年1-12月各層U相關係數0.6以上所佔百分比一覽表。

	1000	925	850	700	500	400	300	200	100
一月	100.0	100.0	96.8	83.5	100	100.0	100.0	100.0	100.0
二月	100.0	100.0	89.3	78.6	84.6	100.0	100.0	100.0	100.0
三月	100.0	96.8	59.7	75.8	98.4	100.0	100.0	100.0	100.0
四月	100.0	98.3	66.7	83.3	80.0	98.3	100.0	100.0	100.0
五月	100.0	100.0	80.0	83.3	86.7	96.7	98.3	100.0	100.0
六月	100.0	100.0	83.1	83.8	74.1	83.1	100.0	100.0	84.8
七月	100.0	100.0	85.5	72.6	80.6	88.7	91.9	93.5	75.8
八月	100.0	100.0	88.4	50.0	56.5	64.5	91.9	88.4	87.1
九月	100.0	100.0	85.0	63.3	83.3	100.0	100.0	100.0	85.0
十月	100.0	100.0	80.6	46.8	80.6	100.0	100.0	100.0	100.0
十一月	100.0	100.0	83.3	86.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
十二月	100.0	100.0	85.5	91.9	86.8	100.0	100.0	100.0	100.0

表四 2004年1-12月各層V相關係數0.6以上所佔百分比一覽表。

	1000	925	850	700	500	400	300	200	100
一月	100.0	88.7	4.8	1.6	25.8	48.4	46.8	35.5	17.7
二月	100.0	82.8	23.2	0.0	16.1	35.7	50.0	39.3	12.5
三月	100.0	83.8	12.9	0.0	12.9	21.0	28.8	26.8	8.1
四月	100.0	98.3	43.3	13.3	31.7	40.0	45.0	38.3	18.3
五月	100.0	98.3	73.3	48.3	46.7	46.7	65.0	60.0	21.7
六月	100.0	100.0	82.8	46.6	36.2	44.8	62.1	56.9	3.4
七月	100.0	100.0	81.8	56.5	48.3	45.2	48.8	61.3	8.7
八月	100.0	100.0	72.6	30.6	21.0	14.5	14.5	17.7	3.2
九月	100.0	100.0	88.3	33.3	35.0	41.7	45.0	55.0	6.7
十月	100.0	100.0	72.6	28.0	41.9	56.5	61.3	54.8	21.0
十一月	100.0	100.0	35.0	10.0	25.0	48.3	71.7	70.0	8.3
十二月	100.0	96.8	33.9	11.3	35.5	58.7	66.1	64.5	23.0

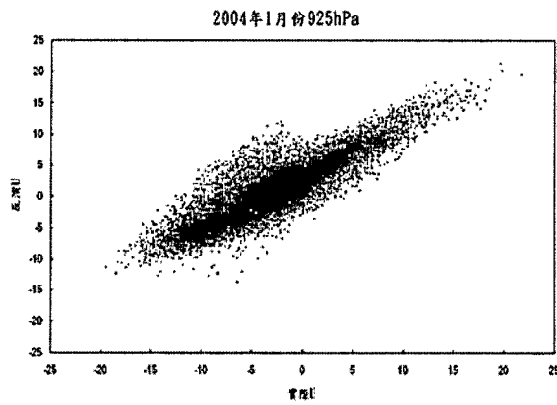


圖 1a 2004年01月925hPa反演風場U與實際風場。

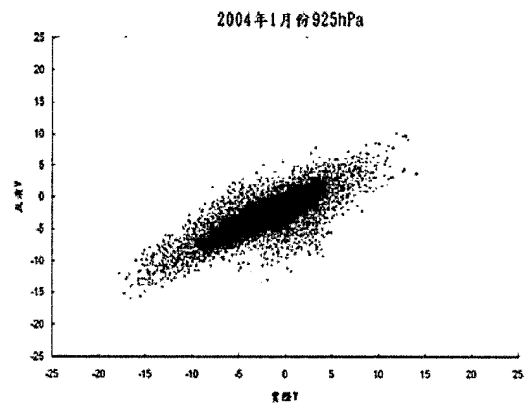


圖 1b 2004年01月925hPa反演風場V與實際風場。

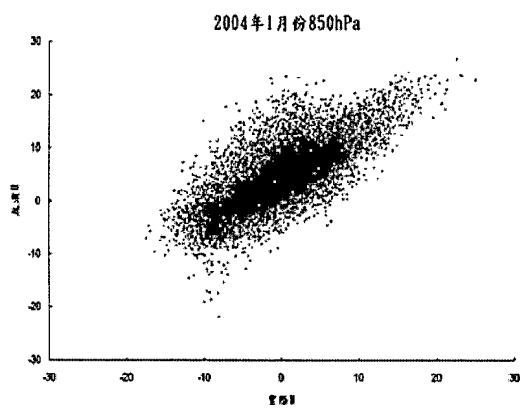


圖 2a 2004年01月850hPa反演風場U與實際風場。

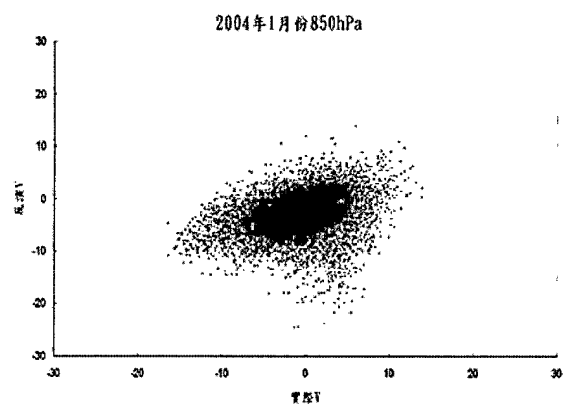


圖 2b 2004年01月850hPa反演風場V與實際風場。

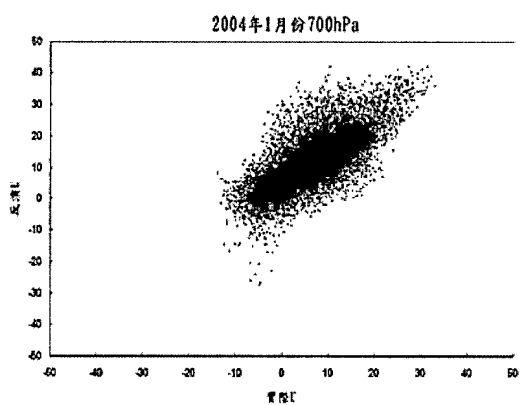


圖 3a 2004年01月700hPa反演風場U與實際風場。

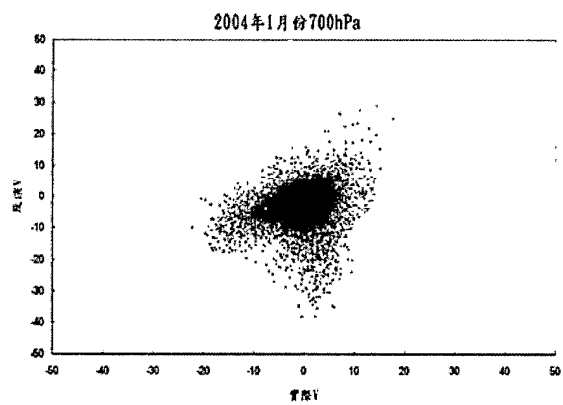


圖 3b 2004年01月700hPa反演風場V與實際風場。



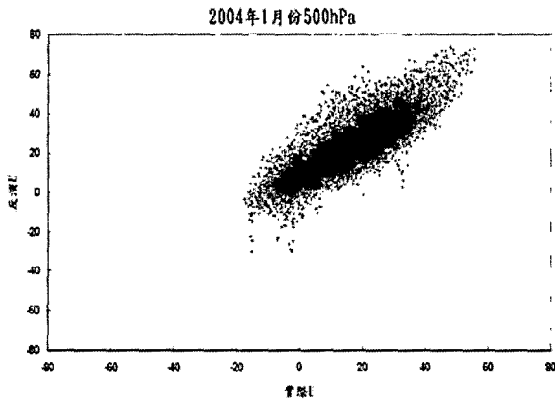


圖 4a 2004年01月500hPa反演風場U與實際風場。

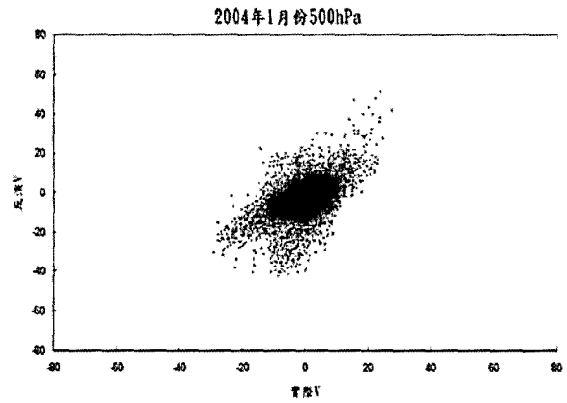


圖 4b 2004年01月500hPa反演風場V與實際風場。

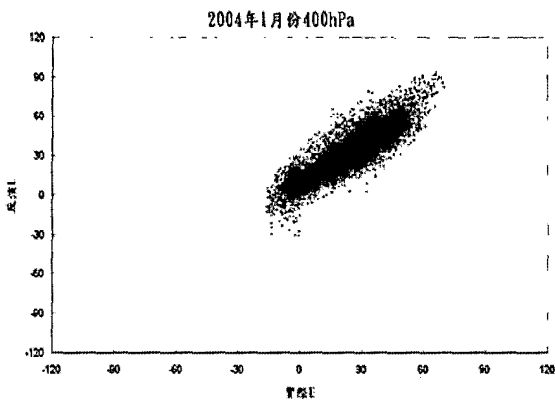


圖 5a 2004年01月400hPa反演風場U與實際風場。

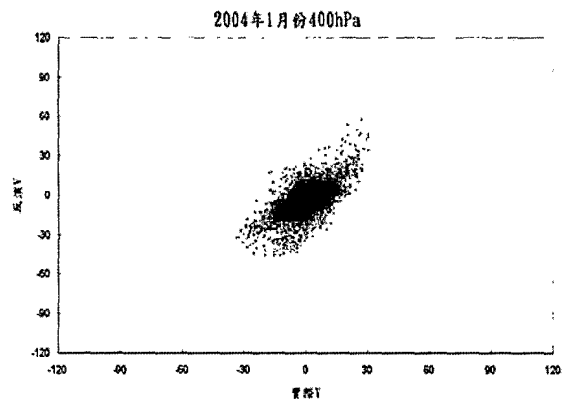


圖 5b 2004年01月400hPa反演風場V與實際風場。

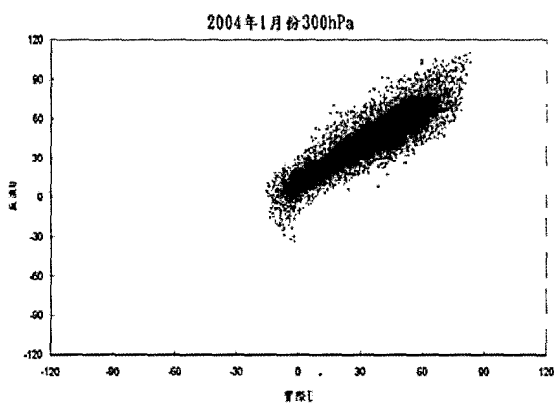


圖 6a 2004年01月300hPa反演風場U與實際風場。

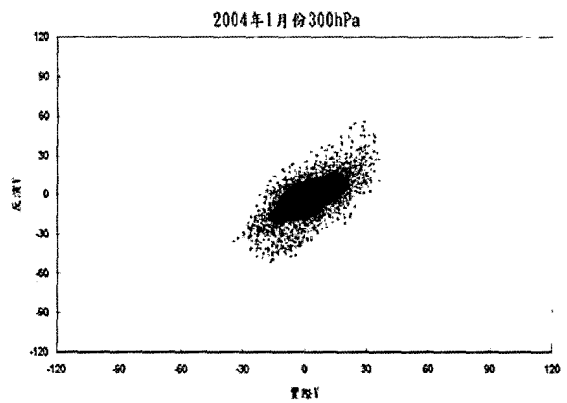


圖 6b 2004年01月300hPa反演風場V與實際風場。

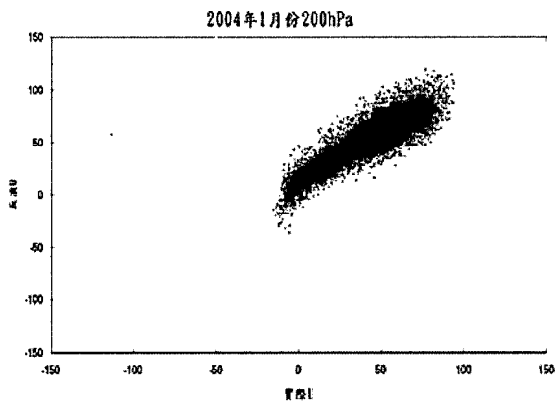


圖 7a 2004年01月200hPa反演風場U與實際風場。

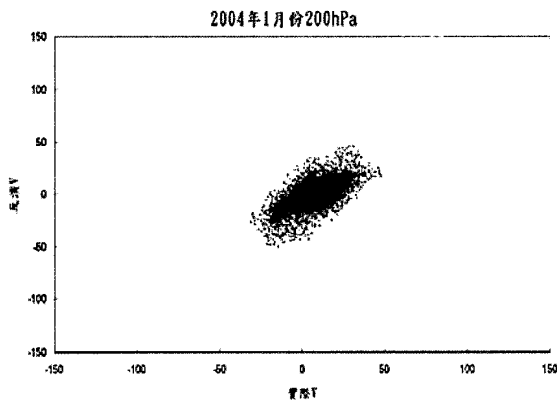


圖 7b 2004年01月200hPa反演風場V與實際風場。

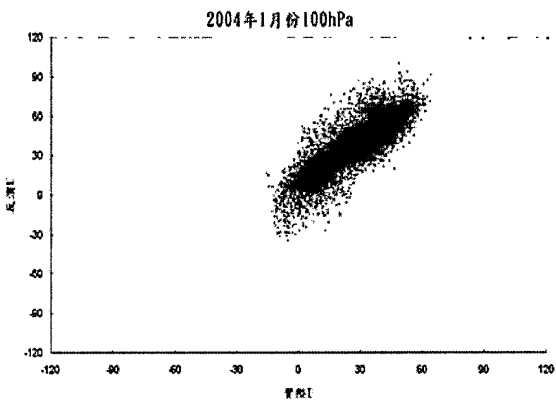


圖 8a 2004年01月1000hPa反演風場U與實際風場。

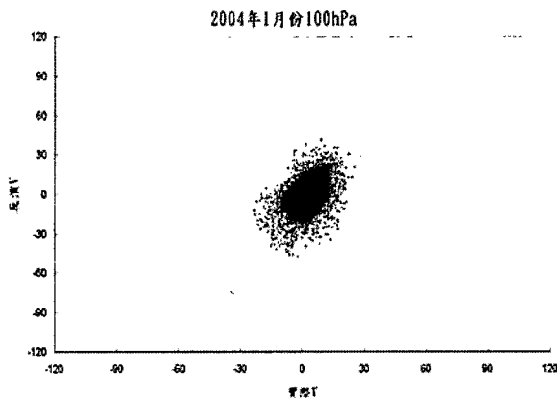


圖 8b 2004年01月1000hPa反演風場V與實際風場。

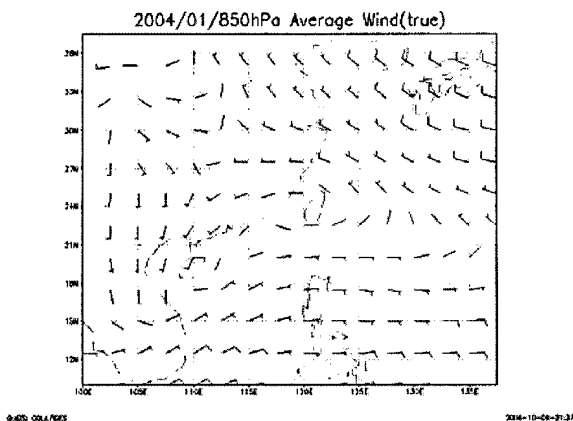


圖 9a 2004年01月850hPa實際風場。

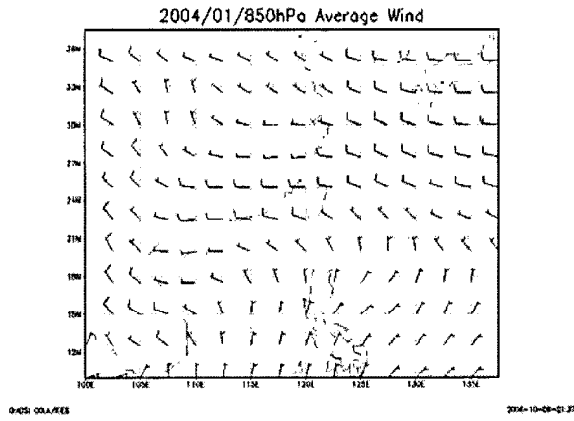


圖 9b 2004年01月850hPa熱力風反演風場。

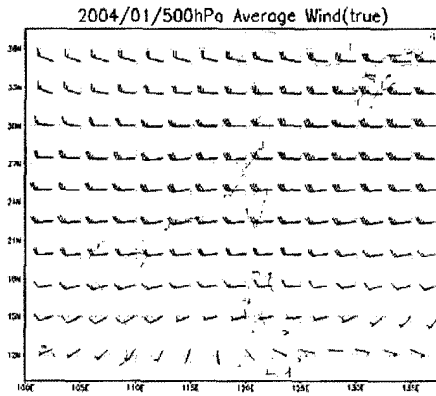


圖 10a 2004年01月500hPa 實際風場。

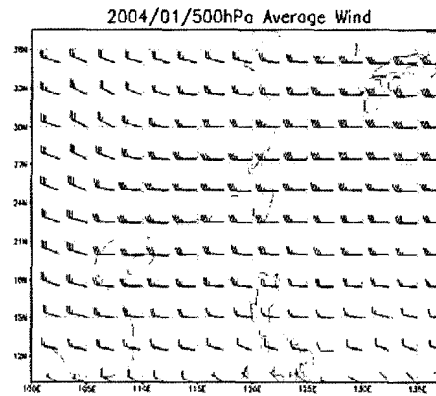


圖 10b 2004年01月500hPa 熱力風反演風場。

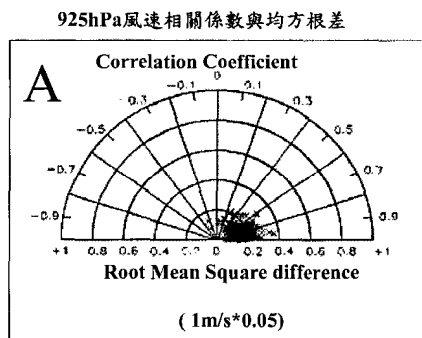


圖 11a 2004年01~06月925hPa反演風場速與實際風速比較，A：為10N=<緯度<20N。

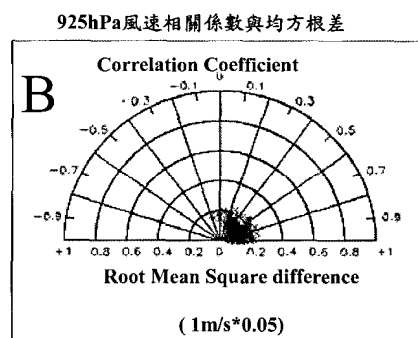


圖 11b 2004年01~06月925hPa反演風速與實際風速比較，B：為20N=<緯度<30N。

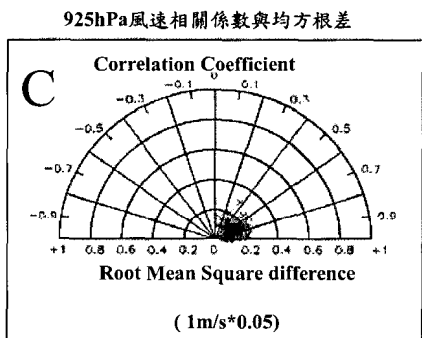


圖 11c 2004年01~06月925hPa反演風速與實際風速比較，C：為30N=<緯度<40N。

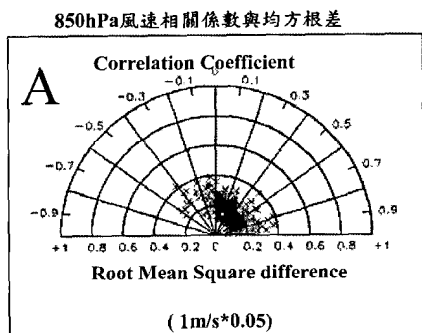


圖 12a 2004年01~06月850hPa反演風速與實際風速比較，A：為10N=<緯度<20N。

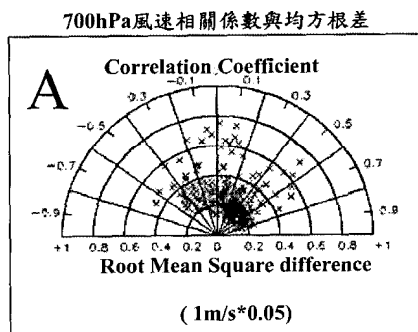


圖 13a 2004年01~06月700hPa反演風速與實際風速比較，A：為10N=<緯度<20N。

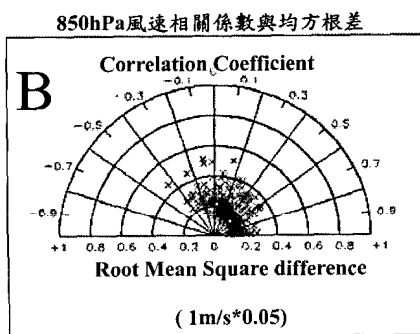


圖 12b 2004年01~06月850hPa反演風速與實際風速比較，B：為20N=<緯度<30N。

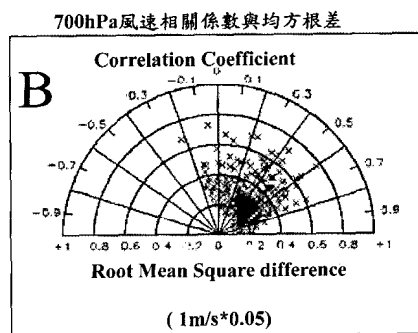


圖 13b 2004年01~06月700hPa反演風場與實際風場比較，B：為20N=<緯度<30N。

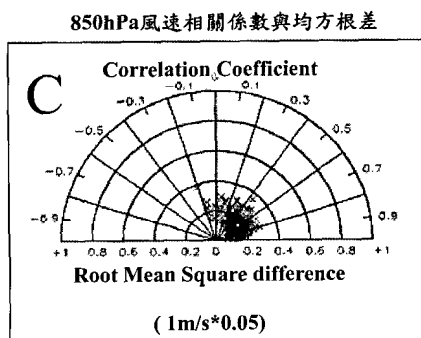


圖 12c 2004年01~06月850hPa反演風速與實際風速比較，C：為30N=<緯度<40N。

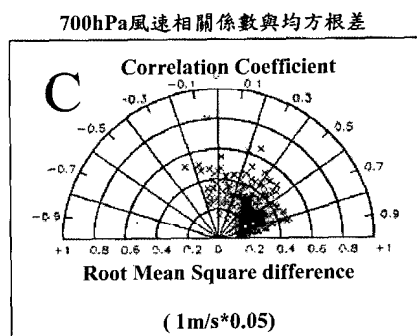


圖 13c 2004年01~06月700hPa反演風場與實際風場比較，C：為30N=<緯度<40N。

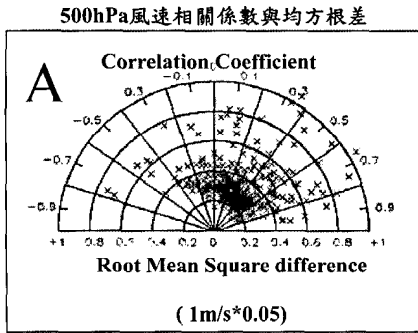


圖 14a 2004 年 01~06 月 500hPa 反演風速與實際風速比較，A：為 10N=<緯度<20N。

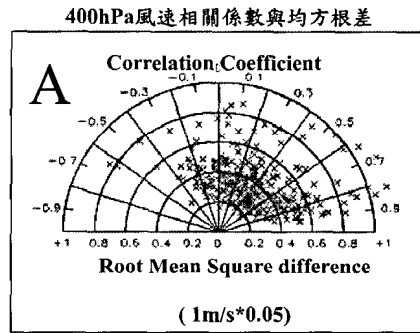


圖 15a 2004 年 01~06 月 400hPa 反演風速與實際風速比較，A：為 10N=<緯度<20N。

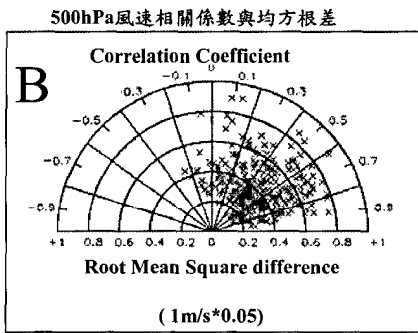


圖 14b 2004 年 01~06 月 500hPa 反演風速與實際風速比較，B：為 20N=<緯度<30N。

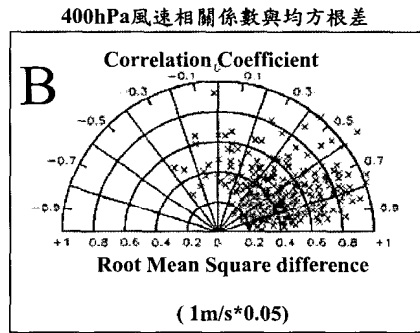


圖 15b 2004 年 01~06 月 400hPa 反演風場與實際風場比較，B：為 20N=<緯度<30N。

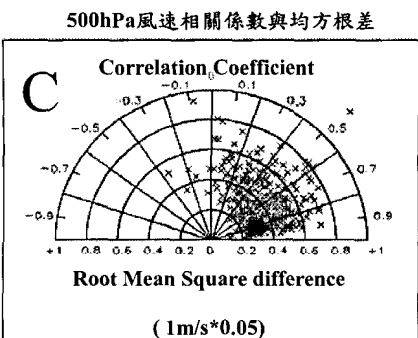


圖 14c 2004 年 01~06 月 500hPa 反演風速與實際風速比較，C：為 30N=<緯度<40N。

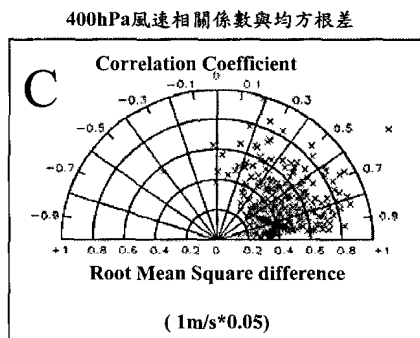


圖 15c 2004 年 01~06 月 400hPa 反演風場與實際風場比較，C：為 30N=<緯度<40N。

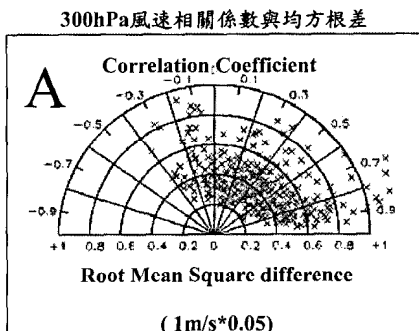


圖 16a 2004年01~06月300hPa反演風速與實際風速比較，A：為10N=<緯度<20N。

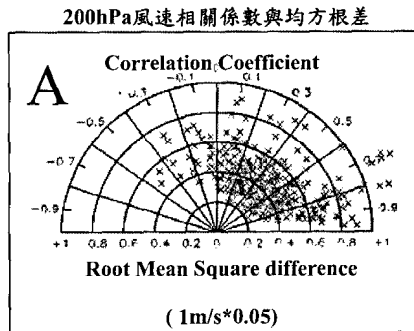


圖 17a 2004年01~06月200hPa反演風速與實際風速比較，A：為10N=<緯度<20N。

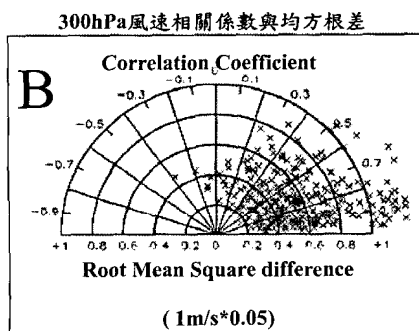


圖 16b 2004年01~06月300hPa反演風速與實際風速比較，B：為20N=<緯度<30N。

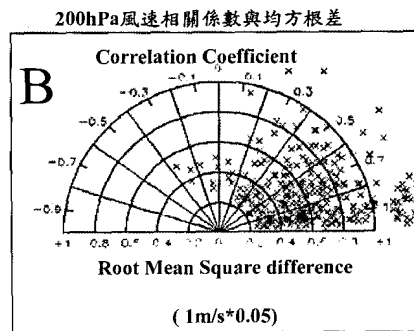


圖 17b 2004年01~06月200hPa反演風場與實際風場比較，B：為20N=<緯度<30N。

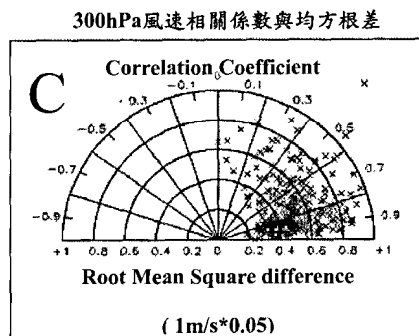


圖 16c 2004年01~06月300hPa反演風速與實際風速比較，C：為30N=<緯度<40N。

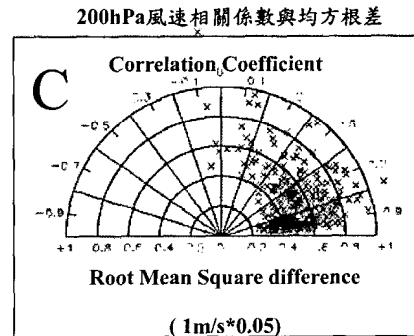


圖 17c 2004年01~06月200hPa反演風場與實際風場比較，C：為30N=<緯度<40N。

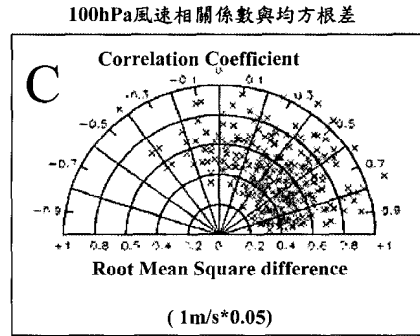
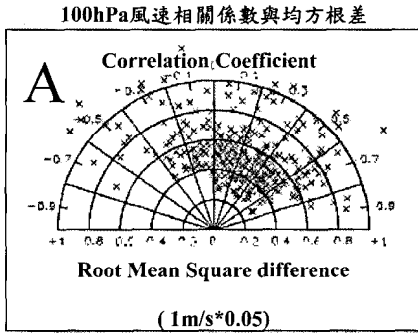


圖 18a 2004 年 01~06 月 100hPa 反演風速與實際風速比較，A：為 10N=<緯度<20N。

圖 18c 2004 年 01~06 月 100hPa 反演風速與實際風速比較，C：為 30N=<緯度<40N。

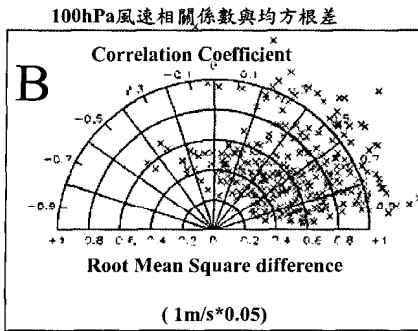


圖 18b 2004 年 01~06 月 100hPa 反演風速與實際風速比較，B：為 20N=<緯度<30N。

2004年平均風向相關係數與均方根差隨高度的變化圖

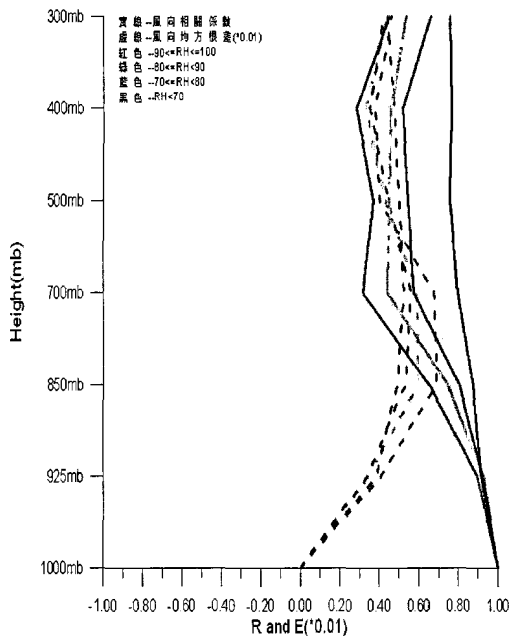


圖 19 2004年01~12月平均風向相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年平均風速相關係數與均方根差隨高度的變化圖

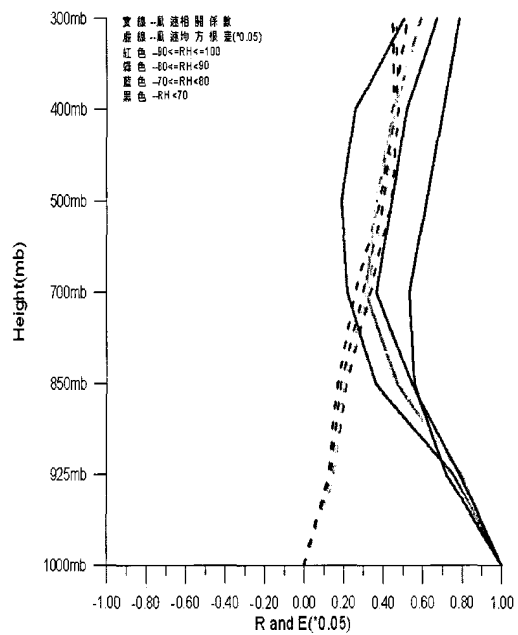


圖 21 2004年01~12月平均U場相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年平均風速相關係數與均方根差隨高度的變化圖

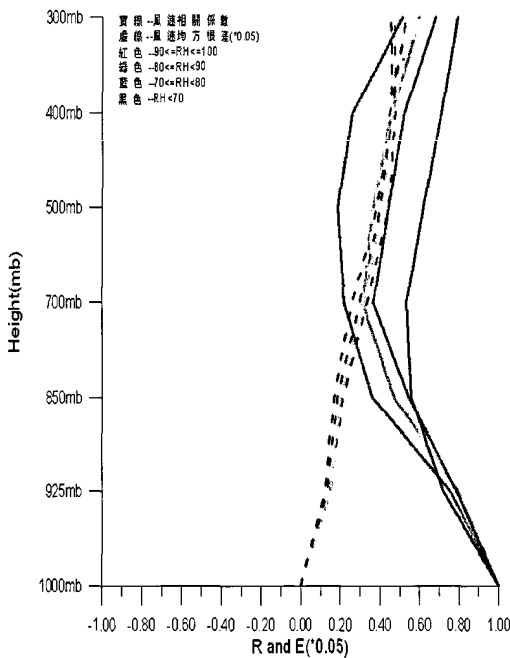


圖 20 2004年01~12月平均風速相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年平均V相關係數與均方根差隨高度的變化圖

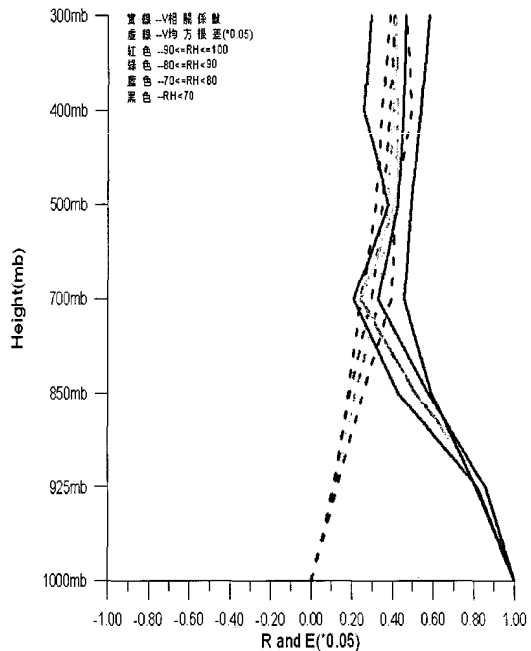


圖 22 2004年01~12月平均V場相關係數與均方根差隨高度的變化圖。



2004年7月份風向相關係數與均方根差隨高度的變化圖(截)

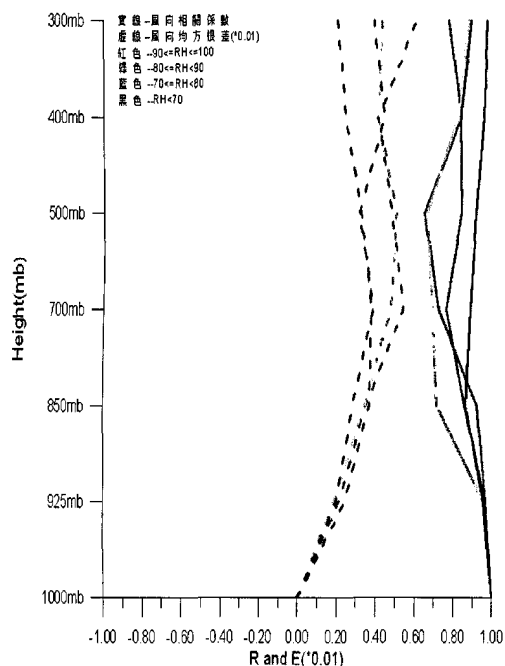


圖 23a 2004年7月份去除地形影響之風向相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年7月份風向相關係數與均方根差隨高度的變化圖

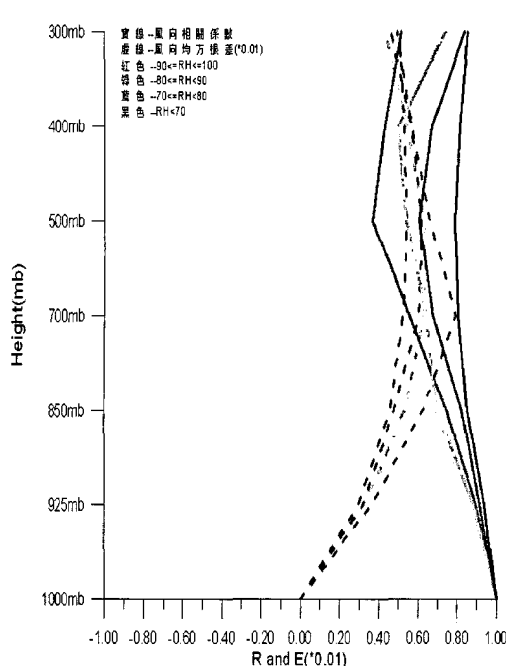


圖 23b 2004年7月份受地形影響之風向相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年7月份風速相關係數與均方根差隨高度的變化圖(截)

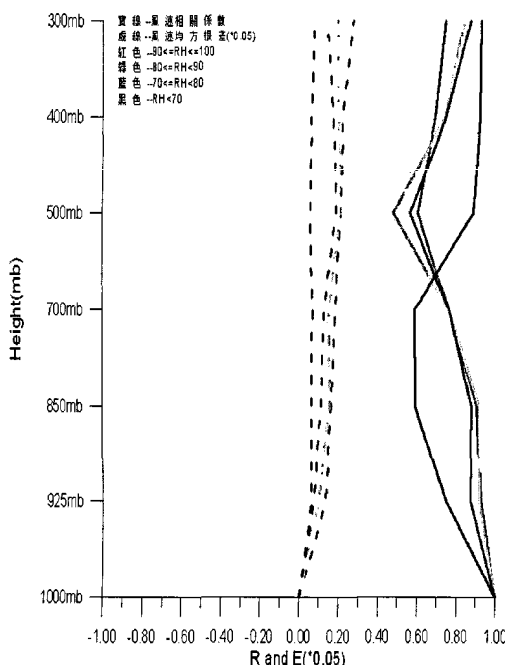


圖 24a 2004年7月份去除地形影響之風速相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年7月份風速相關係數與均方根差隨高度的變化圖

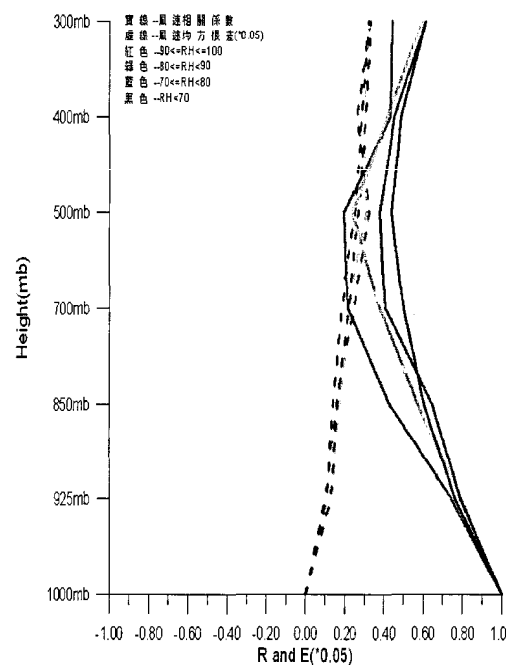


圖 24b 2004年7月份受地形影響之風速相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年7月份U相關係數與均方根差隨高度的變化圖(截)

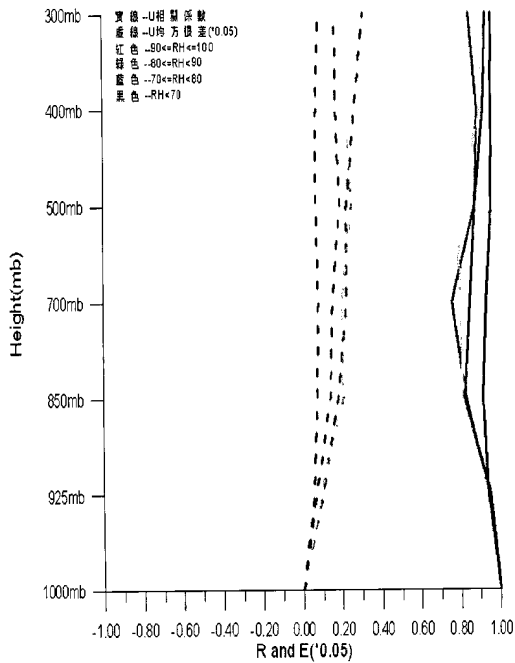


圖 25a 2004年7月份去除地形影響之U場相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年7月份V相關係數與均方根差隨高度的變化圖

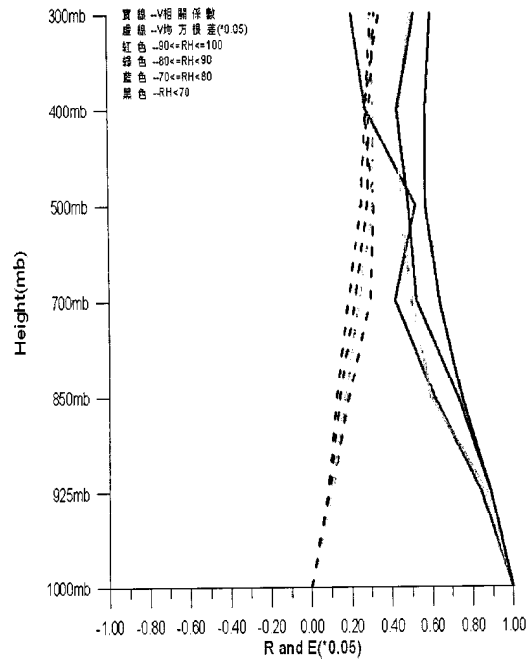


圖 25b 2004年7月份受地形影響之V場相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年7月份V相關係數與均方根差隨高度的變化圖(截)

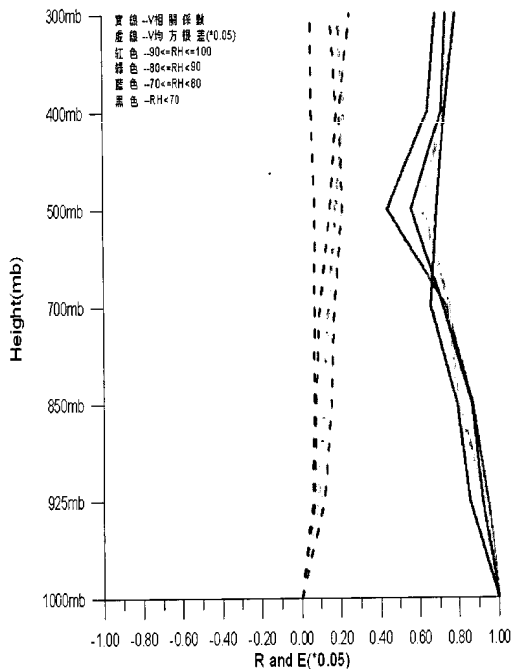


圖 26a 2004年7月份去除地形影響之V場相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

2004年7月份V相關係數與均方根差隨高度的變化圖

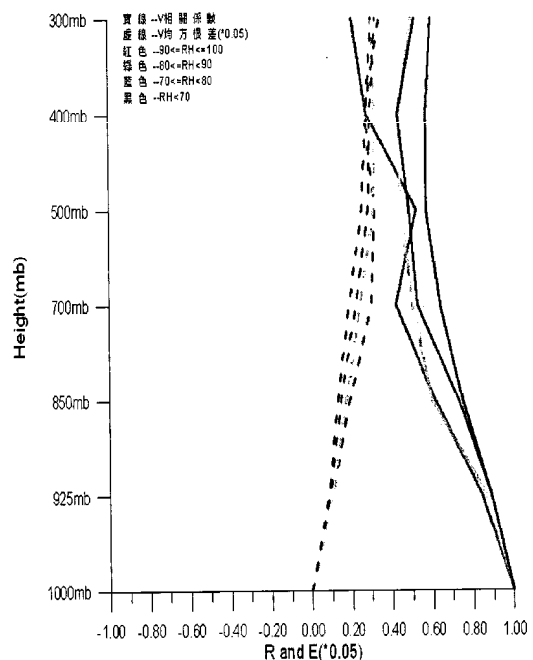


圖 26b 2004年7月份受地形影響之V場相關係數與均方根差隨高度的變化圖。

**Initial steps in using satellite data to invert for three-dimensional windfields****Chung-Chih Liu<sup>1</sup> ming-sheng Tu<sup>2</sup> Ching-Shun Huang<sup>3</sup>**<sup>1</sup>*Ming University of Science and Technology*<sup>2</sup>*Weather Center, Weather Wing, CAF R.O.C*<sup>3</sup>*The third Weather Center, Weather Wing, CAF R.O.C***ABSTRACT**

This study makes use of a whole year's worth of 2004 NCEP Reanalysis fields to focus on 720 case studies, inverting satellite data for winds at eight height levels in the atmosphere based on thermodynamic principles. The eight height levels consisted of 925, 850, 700, 500, 400, 300, 200, and 100 hPa. Derived winds were compared against observed winds under different relative humidity regimes and subjected to a statistical analysis resulting in, e.g., correlation coefficients and RMSE to reveal systematic differences and the effect of water vapor on the satellite retrieval.

The analysis results revealed that the retrieved wind direction and U were more accurate than wind speed and V. The derived wind direction performed better during the summer half year. In contrast, during the winter half year the retrieved windspeed and U were superior than during the summer months; larger errors in V were observed all around. During drier conditions (lower relative humidity) the retrieved wind fields were better correlated against observations, as well as exhibiting smaller RMSE. The wind direction at the 850 hPa and 700 hPa levels showed large RMSE regardless of relative humidity or month. If the Tibetan Plateau region was removed, correlations increased while RMSE decreased.

This study has demonstrated that the satellite-retrieved windfields compare favorably against observations, illustrating the potential of satellite data in yielding three-dimensional windfields in the future.