

颱風強度之動力統計預報初步研究

黃嘉美 呂國臣 陳怡良 蔡孝忠

中央氣象局氣象預報中心

摘要

本研究初步採用2001年至2005年之NCEP重分析資料，包含溫度、溼度、以及風場等分析場作為颱風初始場之環境變數資訊，透過動力統計方法取得各環境變數與各預報時段颱風強度之多重線性回歸關係。初步結果顯示2天內的強度預報與初始強度有較強之正相關，12小時與24小時強度預報與初始強度之相關係數均大於0.75，高層溼度與高層暖心則為較低正相關；而垂直風切、朱利安日期及颱風所在初始緯度均呈現微弱負相關。進一步利用此動力統計方法所得之迴歸係數建置動力統計預報模式，並藉由2006年至2008年實際颱風強度資料與最佳路徑資料，進行各預報時段之誤差校驗分析，初步校驗發現12小時至48小時預報誤差隨預報時間越長而誤差越大，12小時預報誤差約4m/s，48小時預報誤差約為9m/s，3至5天的預報誤差則無明顯變化。檢視三年強度預報之年平均誤差，結果顯示12小時的強度預報表現較為穩定，預報誤差的標準差最小。而預報至48小時的較短期預報分析顯示，2008年的誤差標準差增加幅度最小，表示該年於不同預報時段之預報表現較為穩定。未來除了考慮納入海溫之重要環境因子外，亦可加入衛星雲頂資料對於颱風強度的影響，以增加此動力統計預報模式之預報能力。此外，加強重點測試模式於較短期預報之穩定性，以配合實際作業需求，供作實際作業時之颱風極短期強度預報作業之參考。

一、前言

颱風預報產品通常包含路徑、強度、以及強風範圍等。在大西洋，相對於路徑預報的技術能力，NHC(the National Hurricane Center)作業化強度模式之預報能力相對缺乏(DeMaria and Gross, 2003)。在西北太平洋方面，近年來由於數值模式的發展與進步，路徑預報的技術與能力有相對穩定的改善，然而在此同時，強度預報的技術卻遠遠落後於路徑預報(AMS 2000)。今(2010)年3月1日至4日在美國舉行的「跨部會颶風研討會」更明確指出，未來颱風強度預報的改善將會是優先研究發展議題。

綜觀大西洋颶風強度預報的發展，除了早期僅考慮氣候、持續性因子間關係的統計模式(SHIFOR, Jarvinen and Neumann, 1979)外，Pike (1985)加入高度與厚度等變數，以作為統計預報模式中的綜觀環境資訊；DeMaria et al. (2005)說明作業於大西洋SHIPS之近年改變，評估除氣候與持續法、大氣環境參數及海溫等預報因子外，衛星觀測資料的加入更有助於改善強度預報的表現。

在西北太平洋上，早期可作為強度預報指引的方法，乃類似 STIFOR (statistical typhoon intensity forecast model, Chu 1994)，與ST5D (5-day version of the Statistical Typhoon Intensity Forecast, Knaff 2003)等僅結合氣候法與持續法之預報參考。

描述熱帶氣旋初始強度與綜觀環境場對強度預報的重要性，不僅僅從Elsberry et al. (1988)證明綜觀環境條件對西太平洋的統計預報模式有明顯的改善外，Knaff et al. (2005)亦說明了強度預報的技術相對較低，主要是因為熱帶氣旋複雜的增強過程，其包含了環境、氣旋和對流間的尺度交互作用。為解決西北太平洋作業上颱風強度預報的瓶頸，JTWC (Joint Typhoon Warning Center)發展一統計動力模式，即STIPS (Statistical Typhoon intensity Prediction Scheme)，STIPS為一個多元線性迴歸模式，使用完美診斷的假設並納入NOGAPS分析場的環境資訊，與大西洋SHIPS模式之預報誤差較低於氣候持續法(CLIPER)一樣，STIPS之預報表現亦優於氣候持續法。

目前我國仍未發布颱風強度預報，但有鑑於發布更多元化的颱風資訊乃世界潮流之趨勢，未來勢必有此需求。因此本研究希望以STIPS技術為基礎，搭配現有國內預報作業之資源，嘗試將STIPS技術調整移植至國內作業系統，以提供預報員未來在進行強度預報時之參考。本研究即為初步調整之結果。

二、資料

本研究採用2001年至2005年之氣象局官方最佳路徑資料，與NCEP Reanalysis之環境場資料，特別是颱風所處環境之風場、溼度場、以及溫度場等分析

場，其水平解析度為 2.5° ，每天有四筆資料(00Z、06Z、12Z、18Z)。

本研究參考Knaff et al. (2005)適用於西北太平洋颱風強度統計預報(STIPS)之部分氣象變數。颱風於每個時間的定位點與強度資訊，取自氣象局官方之最佳路徑資料，其包含日期、時間、經度、緯度、以及強度等資訊，時間間隔為每6小時一筆，所採用的強度單位均為公尺/秒；可進而推算出朱利安日期、過去12小時強度變化、以及過去12小時之颱風移速等氣象變數，組合起來可歸屬為「氣候場變數」之預報因子(表1)。

利用NCEP Reanalysis資料可推導出颱風於每個時間所處環境之各項氣象場變數，即「環境場變數」，作為颱風生成後所在初始場之環境條件等資訊，包含高低層之平均垂直風切、中低層相對溼度、高層暖心程度、以及高層緯向風等綜觀環境預報因子(表2)，除了考慮過去常用於CLIPPER預報之氣候場變數外，期使描述颱風所處綜觀環境條件之各項環境場變數加入有利於增加統計模式之預報能力。

三、研究方法

在西北太平洋，STIPS模式的發展與大西洋或東太平洋之SHIPS模式極為相似(DeMaria and Kaplan, 1999)。本研究的目標乃在利用前述資料中代表氣候性與持續性之「氣候場變數」，及代表颱風所處綜觀環境條件的「環境場變數」，透過多元線性迴歸統計方法，發展出一動力統計預報模式，以期尋找出各種不同的氣象場變數與不同預報時段的颱風強度變化間之關係。

採用的2001年至2005年強度資料中，均沒有濾除因為颱風登陸所造成強度快速減弱的影響，逕行透過每個初始時間的預報12至120小時之每12小時間距的強度變化，結合每個初始時間的氣候場變數與環境場變數等各項預報因子，搭配出10組預報方程。測試各預報因子的重要性與篩選方式即是透過R統計軟體進行，個別因子的信賴性都根據F檢定，有99%的信賴程度的因子才會納入模式中，否則則剔除，最後可篩選出個別預報因子於每個預報時間的重要程度，即以迴歸係數呈現之。

取得個別預報因子之迴歸係數並了解於每個預報時段的重要性後，即可組成10組帶有係數的預報方程式，即形成一簡單的動力統計強度預報模式。進而藉由2006年至2009年之實際颱風強度資料，包含氣象局官方最佳路徑以及NCEP重分析資料，取得每一任意時間之氣候場及環境場變數，置入預報方程以為獨立變數，可得到相依變數，亦即每個預報時間的強度數值，利用強度預報值與該時間於不同預報時段之實

際強度值，進行誤差校驗分析，以了解該模式之預報能力與特性。

四、初步結果

表1與表2中為代表不同特性或不同環境條件之氣象參數，除了以上述統計迴歸方法所得之迴歸係數之正負值或大小，可得知預報因子與預報時段強度間之相關程度外，我們亦可取2001年至2005年可用資料簡單地利用單一預報因子逐一與單一預報時段的強度進行相關係數分析，結果如圖1所示。

就氣候場預報因子而言，未來12小時至48小時的預報強度與該時間熱帶氣旋之初始強度呈現較強的正相關，尤其是未來12小時的強度預報，其相關係數大於0.91，而初始強度與未來24小時的強度預報的正相關亦在0.75以上；未來12小時至96小時期間，隨著預報時間的增加，初始強度與預報強度之相關性越來越小，意味著預報時段越長的強度預報與熱帶氣旋之初始強度之相關性越低，受其影響可能越小；甚至未來108小時與120小時之強度預報與初始強度呈現微弱負相關。

熱帶氣旋所處經度、過去12小時熱帶氣旋強度變化與未來強度預報亦均呈現正相關性。不同的是，過去12小時強度變化與未來強度預報呈現較強相關者乃是較短期的強度預報，即預報24小時、36小時、以及48小時，相關係數均大於0.3。而經度與預報強度的相關性，則是隨著預報時間越長相關性越大，預報第5天的相關係數大於0.35。而緯度與未來強度預報的相關性則大都呈現負相關，顯示隨緯度增加而未來強度有減弱的現象，並且隨預報時間越長負相關性越大。

至於環境場預報因子部分，垂直風切與未來36小時以內強度預報有負相關性，顯示垂直風切越強則未來12小時至36小時之預報強度值越小。高層溼度場對未來強度預報亦呈現正相關，且隨預報時間越長相關性越大。高層溫度場於未來12小時與24小時呈現較顯著的正相關，意味著高層暖心程度與未來12小時至24小時的強度增加有較佳的一致性。另外，高層緯向風場對未來強度預報亦均為負相關，雖然負相關程度不大，均在-0.2以下，但是隨預報時間越長相關性亦越大。

進一步檢視多個預報因子分別對單一預報時段強度進行迴歸分析所得之迴歸係數，其係數所帶的正負號表示該預報因子對各預報方程之貢獻。在預報因子中，經度、初始颱風強度、過去12小時颱風強度變化、以及高層緯向風之迴歸係數在12小時至120小時之預報方程均為正號，顯示此些氣象場變數至120小時均有利維持颱風強度增強的趨勢。

不同的是，經度對增強颱風強度的貢獻是隨預報時間越長而增加；初始颱風強度則是隨預報時間越長而對颱風增強的貢獻越小，亦即初始颱風強度對較短時間的強度增強影響較顯著；過去12小時颱風強度變化於不同預報時間對颱風強度的增強貢獻則無明顯差異，迴歸係數均在0.5左右，顯示其增強正貢獻均有相當程度的重要性。高層緯向風的影響，隨著預報時間持續至72小時，高層緯向風對強度增強的貢獻越顯著。高層暖心程度則於較短期預報時間，12小時至48小時，對颱風強度增強貢獻隨預報時間增加而增大。

緯度、過去12小時颱風移動速度、垂直風切、以及低層相對溼度等預報因子之迴歸係數所帶符號均為負號，表示對預報方程的貢獻為負，可能影響颱風未來強度的減弱。緯度對強度增強為負貢獻，可能因為西北太平洋颱風於形成後常以西北西方向移動，逐漸進入較高緯度區，為較不利颱風持續增強的環境，可解釋隨緯度增加颱風強度卻減弱的關係。颱風移動速度部分，隨著預報時間越長有更加減弱強度的趨勢，可見颱風的移動可能不利增強。垂直風切與強度均為減弱的關係，亦符合一般熟知風切對颱風的影響。底層相對溼度略使颱風減弱的相關性，於每個預報時段均為較小的負貢獻。

於個別預報因子有不同貢獻的強度預報模式中，我們嘗試置入2006年至2008年西北太平洋上實際之颱風資料，透過模式預報的強度數值與實際強度之誤差，進行初步校驗分析。

檢視單一颱風2006年珍珠颱風之未來12小時強度預報誤差(圖2)，每個時間之未來12小時的強度預報數值在實際12小時強度之增強或減弱的轉折處有基本的預報能力，但是第一階段增強時強度略為高估，而第二階段增強略為低估，並且預報減弱與增強的轉折時間點上，仍有大約12小時的時間落後。進一步觀察珍珠颱風所有時間之預報誤差，不僅預報時間越長誤差越大，且於5月12日後的增強期間，強度預報均為明顯低估的情形，此現象可能由於颱風實際強度維持沒有增強一段時間，增強強度有明顯正貢獻的DVMX因子無法發揮作用，而受環境因子減弱強度的影響較顯，此低估現象於預報72小時至120小時的誤差線分布更為顯著。觀察其他單一颱風於強度維持沒有增強的期間，其後的強度預報均有相似表現特性。

此統計預報模式的強度校驗從預報誤差的年平均均來看更具有代表性，圖3顯示2006年、2007年與2008年之整年預報平均誤差，隨預報時間越長誤差越大的趨勢。預報12小時強度之誤差值約在4m/s左右，預報24小時強度的誤差為6.1~6.3m/s，48小時之誤差均在10m/s以下；而此三年於72小時至120小時的校驗誤

差，隨預報時間增加而誤差增加的幅度不大或是持平，分別均在9m/s、10m/s、以及12m/s上下，顯示3天至5天的預報誤差等級並無持續增大的趨勢。

前述2006年至2008年之不同年份中，12小時至48小時預報誤差的年平均誤差值差異不大，因此，我們進一步分析逐一颱風之平均誤差分布，以觀察此統計模式在較短期預報時段(預報12小時至48小時)的近三年表現。將三年期間66個颱風個案的強度預報平均誤差逐一繪製於同一表上(如圖4)，其誤差分布的離散程度便可顯示出三年間於個別預報時段之強度預報特性，12小時強度預報誤差值的分布較集中於2m/s至4m/s左右，其他時段的誤差值分布則較為分散許多，可知12小時強度預報的表現相對較為穩定，誤差不會忽大忽小。

利用圖5以對照近三年強度預報誤差之標準差來看亦可得相似的解釋，12小時強度預報誤差的標準差較小，且與預報誤差隨預報時間增加而增加的情況相似，亦是隨預報時間越長標準差值越大，顯示較短時段的預報表現較為穩定。在此值得一提的是，預報12小時強度的誤差標準差值逐年減小，2006年之年平均誤差標準差為1.67m/s，2007年為1.23m/s，至2008年僅為1.07m/s，可能由於近年來模式的持續發展與改進，不僅改善颱風的路徑預報，此統計模式之強度預報對於較短期強度預報的表現亦逐年趨於穩定。另外，相對而言，2006年與2007年誤差之標準差隨時間預報至48小時逐漸增加的幅度較大，而2008年隨預報時間越長而增加的趨勢較緩，其24小時與48小時預報誤差的標準差均為2.5m/s左右，亦即，2008年於未來48小時內之較短期強度預報相對較具有穩定的表現。

五、總結

近年來颱風路徑的預報能力已較10年前大幅地提升，但國內外對於颱風強度或地面最大平均持續風的預報技術仍然是一項重大挑戰。颱風強度預報能力相對較低乃因為熱帶氣旋增強時的複雜物理過程，包含環境、氣旋本身、以及對流間的尺度交互作用。本研究除了納入氣候持續法(CLIPPER)之強度預報外，更採用2001年至2005年之NCEP重分析資料，包含溫度、溼度、以及風場等分析場作為颱風初始場之環境變數資訊，透過動力統計方法取得各環境變數與各預報時段颱風強度之多重線性回歸關係，以建置動力統計回歸之颱風強度預報系統。

初步結果顯示2天內的強度預報與初始強度有較強之正相關，高層溼度與高層暖心則為較低正相關；而垂直風切、朱利安日期及颱風所在初始緯度均呈現微弱負相關。而透過動力統計預報模式表現之誤差校驗顯示，12小時至48小時預報誤差隨預報時間越長而誤差越大，較長期的預報誤差等級則無明顯變化。年

平均誤差分析顯示極短期(12小時)的強度預報表現最為穩定。而預報至48小時的較短期預報分析顯示，2008年於不同預報時段之預報表現較為穩定。

未來除了考慮納入海溫之重要環境因子外，亦可加入衛星雲頂資料對於颱風強度的影響，以增加此動力統計預報模式之預報能力。此外，加強重點測試模式於較短期預報之穩定性，以配合實際作業需求，供作實際作業時之颱風極短期強度預報作業之參考。

參考文獻

AMS, 2000: Policy statement–Hurricane research and forecasting (adopted by AMS council on 14 February 2000). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1341-1347.

DeMaria, M. and Kalpan J., 1994b: A Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme (SHIPS) for the Atlantic Basin. *Wea. Forecasting*, **9**, 209-220.

DeMaria, M. and Kalpan J., 1999: An Updated Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme (SHIPS) for the Atlantic and Eastern North Pacific Basins. *Wea. Forecasting*, **14**, 326-337.

DeMaria, M. and J. M. Gross, 2003: Evolution of tropical cyclone forecast models. Hurricane! Coping with Disaster, R. Simpson, Ed., *Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 353-364.

DeMaria, M., M. Mainelli, L. K. Shay, J. A. Knaff, J. Kaplan, 2005: Further Improvements to the Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme (SHIPS). *Wea. Forecasting*, **20**, 531-543.

Elsberry, R. L., 1987: Observation and analysis of tropical cyclones. *A Global View of Tropical Cyclones*, R. L. Elsberry, Ed., Naval Postgraduate School, 1-12.

Fitzpatrick, P. J. 1997: Understanding and Forecasting Tropical Cyclone Intensity Change with the Typhoon Intensity Prediction Scheme (TIPS). *Wea. Forecasting*, **12**, 826-846.

Knaff, J., C. R. Sampson, M. DeMaria, 2005: An Operational Statistical Typhoon Intensity Prediction Scheme for the Western North Pacific. *Wea. Forecasting*, **20**, 688-699.

Pike, A. C., 1985: Geopotential heights and thicknesses as predictors of Atlantic tropical cyclone motion and intensity. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 931-939.

表1.氣候場變數之預報因子，來自氣象局官方最佳路徑資料

Climatological and persistence predictors		
predictor	描述	內容
JDAY	Julian Day	朱利安日期
LAT	Latitude	緯度
LON	Longitude	經度
VMAX	Initial intensity	初始颱風強度
SPD	Storm translational speed	過去12小時颱風移動速度
DVMX	12-h change in intensity	過去12小時颱風強度變化

表2. 綜觀環境場變數之預報因子，來自NCEP Reanalysis資料

predictor	synoptic predictors 描述	內容
RHLO	Area-averaged (200-800 km) relative humidity at 850-700 hPa	低層相對濕度之環狀區域平均
RHHI	Area-averaged (200-800 km) relative humidity at 500-300 hPa	高層相對濕度之環狀區域平均
U200	Area-averaged (200-800 km) zonal wind at 200 hPa	高層緯向風之環狀區域平均
T200	Area-averaged (200-800 km) temperature at 200 hPa	高層溫度場之環狀區域平均
SHRD	Area-averaged (200-800 km) 200-850-hPa vertical wind shear	垂直風切之環狀區域平均
USHRD	Area-averaged (200-800 km) 200-850-hPa zonal wind shear	緯向垂直風切之環狀區域平均
SHRS	Area-averaged (200-800 km) 500-850-hPa vertical wind shear	低層垂直風切之環狀區域平均
USHRS	Area-averaged (200-800 km) 500-850-hPa zonal wind shear	低層緯向垂直風切之環狀區域平均

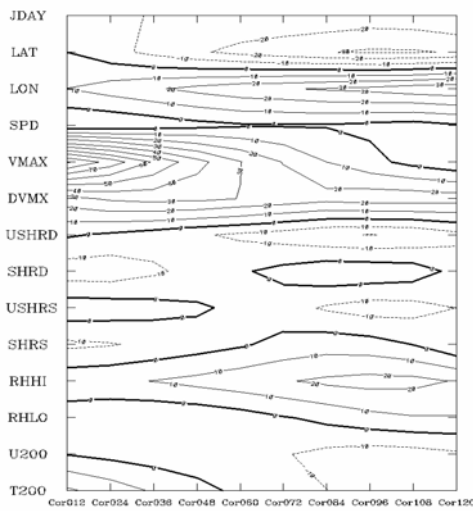


圖1. 以2001年至2005年資料，代表不同特性預氣報因子之單一氣象參數逐一與未來各時段預報強度間的相關係數分布圖。

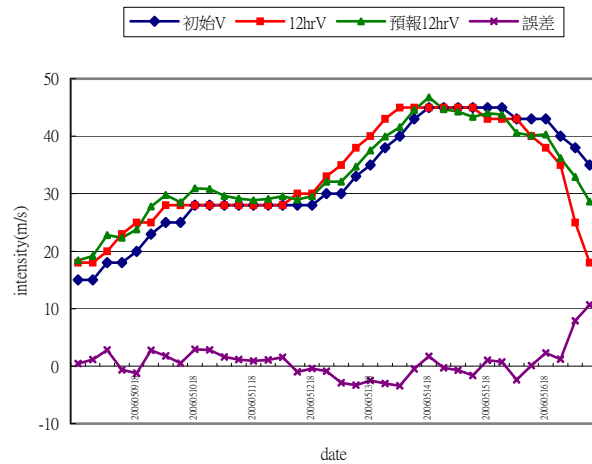


圖2. 2006年珍珠(CHANCHU)颱風之各時間象局實際強度、12小時強度、統計模式預報12小時強度、以及誤差。

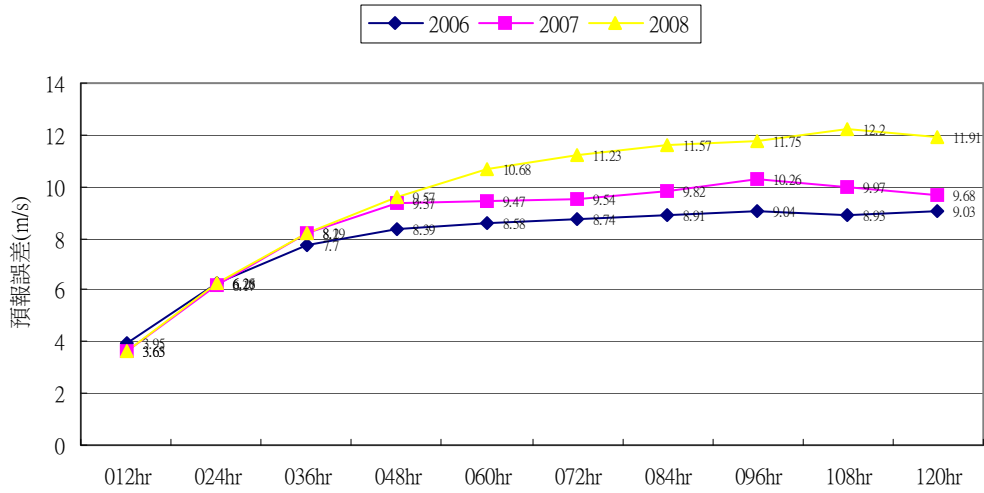


圖3. 動力統計模式2006年、2007年、以及2008年強度預報誤差於各預報時段之年平均分布。

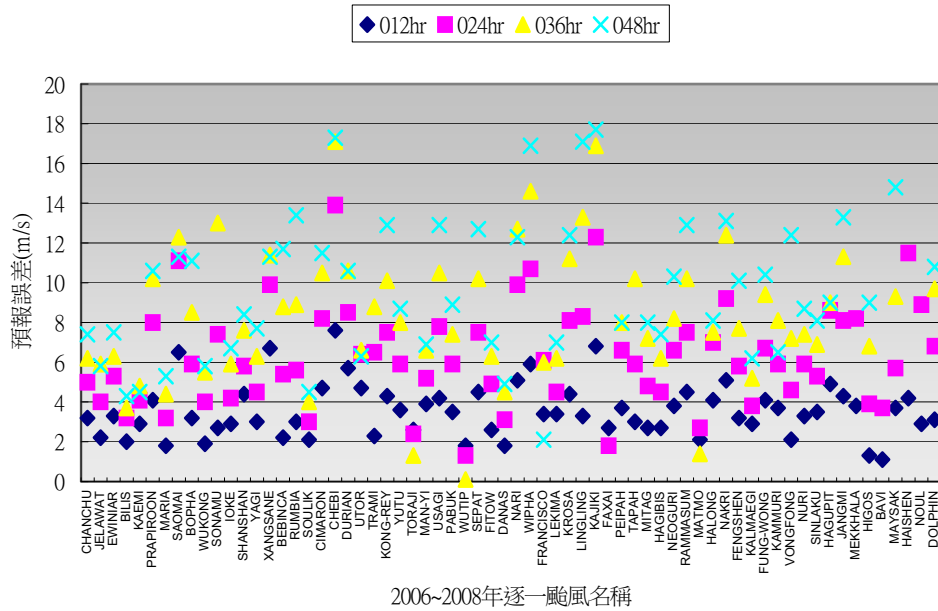


圖4. 動力統計模式預報2006年至2008年逐一颱風強度之平均誤差分布。

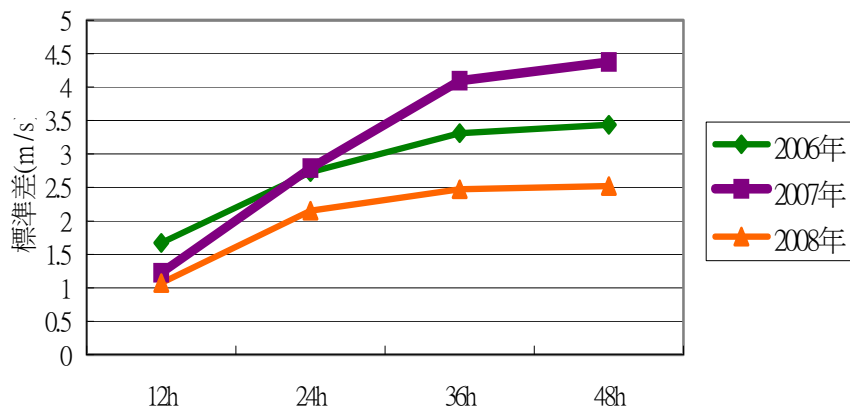


圖5. 動力統計模式於2006年至2008年強度預報年平均誤差之標準差分布。