

中央氣象局雨滴譜儀觀測網資料品質管與分析

盧可昕 唐玉霜 林品芳 陳姿瑾 張保亮

中央氣象局

摘要

近地面雨滴粒徑分布(Drop Size Distribution, DSD)的量測，對於了解臺灣近地面降水與雲物理特性、改進雷達定量降水估計(Quantitative Precipitation Estimation, QPE)扮演著重要的角色，然而在進行 DSD 分析及降雨參數估算前，必須確保雨滴譜儀之觀測資料品質。本研究利用中央氣象局 27 個測站的一維雷射式雨滴譜儀(Parsivel²)觀測資料，建立適用臺灣區域的雨滴譜儀資料品質管(Quality control, QC)流程。並針對不同環境條件(風向、風速、濕度及地形等)及作業上的限制，分析探討造成雨滴譜儀資料品質不佳可能原因，期望有效提升雨滴譜儀網資料品質。分析結果顯示，Parsivel² 資料經過 QC 後能有效濾除不合理資料。統計比對 2016 至 2018 年雨滴譜儀與傾斗式雨量計觀測資料，發現普遍低估，尤其是山區及離島測站。分析不同環境條件之影響，顯示強風速對 Parsivel² 觀測品質影響較為顯著。未來將進一步結合雙偏極化雷達觀測資料，期可提升臺灣雷達 QPE 的準確度，以提供後續研究及其相關應用。

關鍵字：雨滴譜儀

一、前言

雨滴譜儀觀測的雨滴粒徑分布為近地面雨滴的大小及數量，除可提供地面降水特性外，亦可應用於雷達資料品質管，例如減少雷達系統偏移、衰減、濕天線罩效應等影響，並可連結雨量站觀測雨量和雷達偏極化參數，進行雷達定量降雨估計在地化的調整，皆可進一步應用於改進雷達定量降水估計技術，藉以提升其準確度。

為了配合臺灣雷達網的觀測作業，中央氣象局於 2016 年完成 27 站的雨滴譜儀(Parsivel²)網建置(圖 1)，以期提升雷達資料品質與改善定量降雨估計技術。Parsivel² 能夠量測雨滴粒徑及落速，但可能因為環境、儀器限制等影響產生不合理的觀測資訊，故在進行 DSD 分析及降雨參數估算前，必須確保雨滴譜儀之觀測資料品質。本研究利用中央氣象局雨滴譜儀網資料，針對不同環境條件及作業上的限制探討雨滴譜儀資料品質差異，期可建立合理且適用於臺灣區域的雨滴譜儀資料品質管

(Quality control, QC)流程，藉以有效提升雨滴譜儀網觀測資料品質，以提供後續研究及應用。

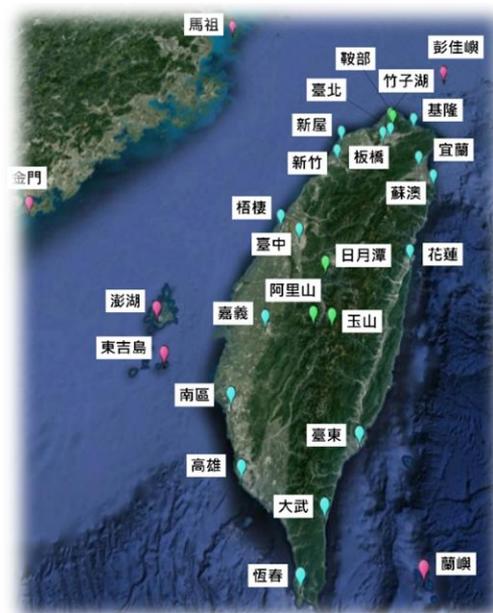


圖 1、中央氣象局 27 部雨滴譜儀(Parsivel²)之觀測作業網。

二、資料與方法

(一) 雨滴譜儀資料品管

本研究針對氣象局屬 Parsivel² 每分鐘資料品管方法主要分成三個部分：

1. 定義降雨事件：

剔除每分鐘雨滴個數小於 10、時雨量小於 0.1 mm hr⁻¹ 的觀測資料(Tokay and Short 1996)。

2. 僅採納合理雨滴粒徑：

雨滴粒徑小於 0.2 mm 及大於 8 mm 者濾除(Tokay et al.2013;陳 2017)。

3. 僅採納合理雨滴落速：

雨滴粒徑與終端落速理想曲線(Brandes et al. 2002)的差值大於 0.5 倍理想曲線者濾除。經由以上方法將不合理資料濾除後，所保留之合理資料區間如圖 2 之紅色區域。

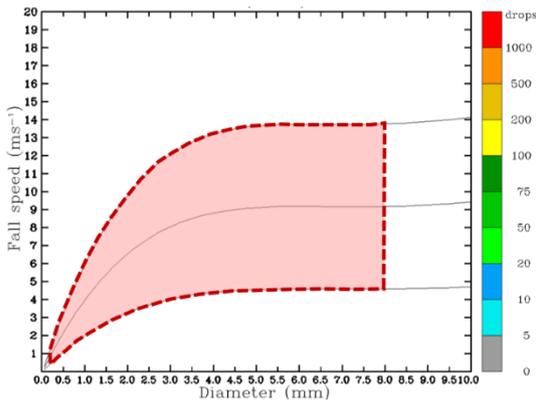


圖 2、經過資料品管後資料保留的區域(紅色區域)。

(二) 降雨量、回波計算

1. 雨滴粒徑分布計算

雨滴譜儀提供了每個雨滴的等體積直徑(D_i)及垂直落速(V_t)，因此雨滴粒徑分布計算如下：

$$N(D_i) = \frac{1}{\Delta t \Delta D_i} \sum_{j=1}^n \frac{1}{A V_t j} \quad (2.2)$$

N(D)(m³mm⁻¹)為單位體積單位粒徑的雨滴個數；Δt 為選取資料的時間窗區；ΔD 為選取的粒徑間距；V_t 為雨滴垂直落速；A 為觀測面

積；n 為雨滴個數。

2. 降雨量、回波計算

從 N(D)經由以下算法得到降雨量

$$R = 0.6\pi \times 10^{-3} \sum_{i=1}^n v t(D)_i D_i^3 N(D)_i \Delta D_i \quad (2.3)$$

R(mm hr⁻¹)為降雨率；V_t(m s⁻¹)為雨滴理想落速(Brandes et al. 2002)；D(mm)為雨滴粒徑；N(D)(m⁻³ cm⁻¹)為單位體積單位粒徑的雨滴個數。

回波與雨滴粒徑六次方成正比，計算方法如下：

$$Z = \sum_{i=1}^n D_i^6 N(D)_i \Delta D_i \quad (2.4)$$

其中，Z(mm⁶m⁻³)為回波；D(mm)與 N(D)(m⁻³ cm⁻¹)同上所述。

(三) 降雨量誤差計算

於氣象站中並無其他雨滴譜儀(JWD、2DVD 等)可供 Parsivel² 資料進行比對，故本研究以解析度為 0.5 mm 的傾斗式雨量計觀測雨量(此後稱為R_{gauge})為標準，計算 Parsivel² 量測降雨量(此後稱為R_{parsival})之誤差。本研究使用的誤差結果分別有相對平均誤差(normalized mean bias, NMB)、相對均方根差(relative root mean squared error, RRMSE)以及相關係數(correlation coefficient, CC)：

$$NMB = \frac{\sum R_{parsival} - R_{gauge}}{\sum R_{gauge}} \quad (2.5)$$

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(R_{parsival} - R_{gauge})^2}{N}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(R_{gauge})^2}{N}}} \quad (2.6)$$

$$CC = \frac{covar(R_{parsival}, R_{gauge})}{\sigma_{parsival} \times \sigma_{gauge}} \quad (2.7)$$

此R_{parsival}為 Parsivel² 估計雨量值、R_{gauge}為傾斗式雨量計觀測雨量值；σ_{parsival}與σ_{gauge}分別為R_{parsival}與R_{gauge}的標準差；N 為資料數。

三、 結果與討論

(一) 27 站資料分析

1. 傾斗式計比較結果

對於 2016 年至 2018 年間 27 個站進行處理，將 27 個 Parsivel² 測站分為五類，依序為北部平地測站、中南部平地測站、東部平地測站、山區及離島。分析比較雨滴譜儀(QC 後資料)計算之 10 分鐘降雨量與傾斗式雨量計觀測雨量，誤差結果及 Parsivel² QC 前後總資料濾除比例(總濾除雨滴個數除以所有觀測雨滴個數)，結果如表 1。27 站結果顯示，Parsivel² 觀測結果有普遍低估的情形(NMB 皆為負值，除了南區與澎湖測站)，且平地測站觀測資料品質較好(除了宜蘭、臺東及大武測站)，其相對平均誤差與相對均方根差皆較山區測站與離島測站為小。另外，宜蘭及東吉島測站(灰色標示之測站)相對平均誤差皆大於 60%、相對均方根差皆超過 100%，且相關係數小於 0.7，表示 Parsivel² 及雨量計觀測雨量明顯不一致，主要誤差來源為宜蘭站 2018 年觀測資料及東吉島站 2016 年資料異常所致。

2. Z-R 關係式係數分析

由表 1 與 Parsivel² 計算雨量與傾斗式雨量計觀測雨量分布圖(圖未示)，挑選 2016-2018 年 5、6 月(梅雨季)各測站相對平均誤差(NMB)小於 ±20% 之共 15 個測站資料進行 Z-R 關係式係數比較，並擬合 Z-R 關係式之係數 a 與 b。圖 3 結果顯示係數 a 範圍介於 110 至 270 之間，b 則介於 1.3 至 1.6 之間，此外發現北部測站(基隆、臺北、板橋、新竹)Z-R 關係式之係數較類似(a 皆小於 200 而 b 則大於 1.4)；而中南部測站(臺中、嘉義、南區、高雄及恆春)之 Z-R 關係式係數較類似(a 皆大於 230、b 小

於 1.5)。此結果除了代表平地區域 Z-R 關係式具有南北差異外，亦表示南北降雨雨滴粒徑分布與降雨特性上的不同，未來將進一步結合雙偏極化雷達觀測參數所反演之雨滴粒徑，探討兩者觀測差異所導致之雷達降雨估計誤差以及如何進一步改善觀測差異之相關議題。

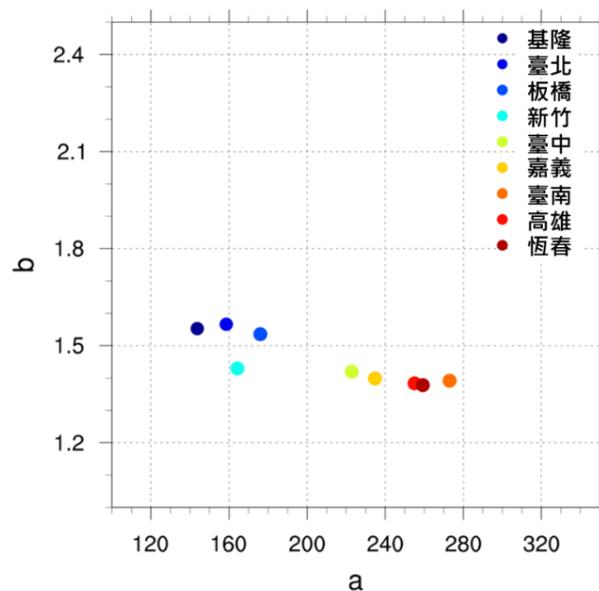


圖 3、2016-2018 年 5、6 月 Parsivel² 觀測資料擬合 Z-R 關係式($Z = aR^b$)之係數 a 與 b 分布圖。

(二) 影響 Parsivel² 觀測品質因素

素

第二代一維雷射光學式雨滴譜儀(Parsivel²)與第一代光學式雨滴譜儀(Parsivel)相比，雖觀測精確度上的提升以及觀測結果也較貼近雨量觀測值(曾等 2016)，但仍存在著觀測誤差。以下探討 Parsivel² 受環境風場、非降水粒子(例如昆蟲、落葉等)通過感應區及即時作業傳輸穩定性等產生觀測及計算上的誤差。

表 1、2016–2018 年 27 站 Parsivel² 雨滴譜儀網資料之相對平均誤差(NMB)、相對均方根差 (RRMSE)、相關係數(CC)及濾除資料比例。粗體為 NMB 絕對值大於 30%、RRMSE 大於 35%及 CC 小於 0.9；灰色底區域為誤差較大之測站。

| | | 測站代碼 | NMB(%) | RRMSE(%) | CC | 總濾除資料比例 (%) | | | 測站代碼 | NMB(%) | RRMSE(%) | CC | 總濾除資料比例 (%) |
|-----------|----|--------|---------------|--------------|--------------|-------------|----|-----|--------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| 平地測站(北) | 基隆 | 466940 | -19.07 | 27.1 | 0.952 | 2.78 | 山區 | 竹子湖 | 466930 | -34.69 | 37.05 | 0.965 | 1.23 |
| | 臺北 | 466920 | -14.74 | 17.09 | 0.983 | 0.68 | | 鞍部 | 466910 | -19.72 | 25.03 | 0.966 | 1.28 |
| | 板橋 | 466880 | -12.6 | 18.01 | 0.98 | 0.67 | | 玉山 | | | | | |
| | 新屋 | 467050 | -26.33 | 28.62 | 0.961 | 0.9 | | 阿里山 | 467530 | -26.56 | 32.58 | 0.943 | 1.62 |
| | 新竹 | 467571 | -27.77 | 28.37 | 0.976 | 0.91 | | 日月潭 | 467650 | -11.28 | 21.36 | 0.967 | 0.97 |
| 平地測站(中、南) | 梧棲 | 467770 | -19.42 | 25.03 | 0.964 | 1.46 | 離島 | 馬祖 | 467990 | -26.66 | 26.96 | 0.965 | 1.63 |
| | 臺中 | 467490 | -5.97 | 21.92 | 0.966 | 0.7 | | 彭佳嶼 | 466950 | -38.15 | 42.62 | 0.942 | 5.02 |
| | 嘉義 | 467480 | -4.79 | 22.28 | 0.962 | 0.13 | | 金門 | 467110 | -32.8 | 37.87 | 0.928 | 1.32 |
| | 南區 | 467410 | 5.97 | 22.52 | 0.968 | 3.06 | | 澎湖 | 467350 | 2.32 | 33.89 | 0.917 | 2.23 |
| | 高雄 | 467440 | -9.41 | 21.6 | 0.967 | 0.92 | | 東吉島 | 467300 | 63.64 | 116.45 | 0.676 | 10.6 |
| | 恆春 | 467590 | -15.37 | 22.76 | 0.969 | 1.15 | | 蘭嶼 | 467620 | -36.32 | 42.11 | 0.912 | 3.63 |
| | 宜蘭 | 467080 | 93.02 | 213.0 | 0.568 | 2.82 | | | | | | | |
| 平地測站(東) | 蘇澳 | 467060 | -2.67 | 22.59 | 0.961 | 1.73 | | | | | | | |
| | 花蓮 | 466990 | -5.42 | 17.9 | 0.978 | 0.81 | | | | | | | |
| | 臺東 | 467660 | -33.37 | 35.43 | 0.967 | 0.56 | | | | | | | |
| | 大武 | 467540 | -38.57 | 42.53 | 0.944 | 0.97 | | | | | | | |

1. 環境風場

Friedrich et al. (2013)及唐與張(2017)研究指出，風速會明顯影響 Parsivel² 觀測結果。2016 年梅姬颱風 9 月 27 日 0540 UTC 宜蘭測站出現最大風速約 25ms⁻¹，此時 Parsivel² 受強風影響量測到大量落速小且粒徑大的資訊(圖 4)，此不合理資訊會造成計算其他降雨相關參數的誤差。本研究以雨滴譜儀觀測資料 QC 前後雨滴數量的比值來說明風速對 Parsivel² 觀測的影響程度，如下式表示：

$$\text{Ratio} = \frac{\text{QC 後(圖 2 紅色範圍)雨滴顆數}}{\text{QC 前雨滴顆數}}$$

比值等於 1 代表 QC 後沒有觀測資料被濾除，亦指觀測到的資料皆出現在合理範圍內(如圖 2 紅色區域)；反之，比值等於 0 代表 QC 後所有資料都被濾除，即所觀測到的資料皆為不合理資料，故比值越大代表觀測的資料品質越好。

統計 2016-2018 年風速影響資料品質分析(圖 5)，結果顯示風速小於 5 m s⁻¹，各站 Ratio 值皆大於 0.97，係指有百分之 97 的資料皆為合理的雨滴資訊；風速 5–10 m s⁻¹，各站 Ratio 值約大於 0.9；風速 10–15 m s⁻¹，Ratio 值最低約下降至 0.69 (基隆測站 466940)，開始出現較多不合理資料；而風速大於 35m s⁻¹，東吉島觀

測(467300) Ratio 甚至低於 0.25。

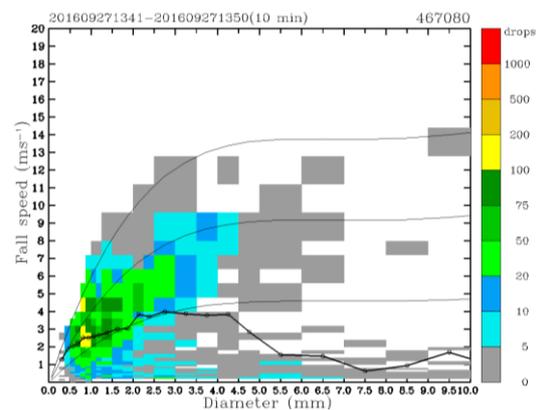


圖 4、2016 年 09 月 27 日 0540–0550 UTC 宜蘭站 Parsivel² 觀測資料。中間黑色實線為 Brandes (2002)理想落速，上(下)面黑色實線為 Brandes et al. (2002)理想落速±0.5 倍落速；黑色粗線為觀測值計算之平均落速；橫軸為雨滴粒徑 D(單位 mm)，縱軸為雨滴垂直落速 Vt(單位 m s⁻¹)，色階為雨滴顆數。圖左上方顯示時間為臺灣當地時間。

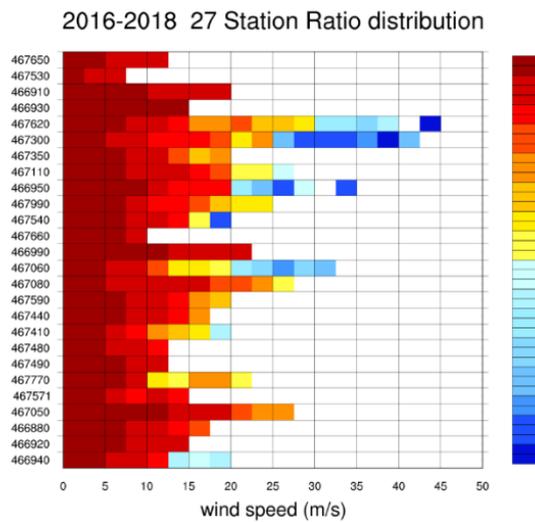


圖 5、2016–2018 年 26 站(不包含玉山測站)Parsivel²觀測 Ratio 值。橫軸為測站每 10 分鐘平均風速(m/s)，縱軸為 26 測站代碼，色階為 Ratio 值。

2. 非降水粒子之影響

非水象粒子通過感應區會造成觀測上的誤差，例如昆蟲或樹葉落入感應區，或者有固定不動的物體遮蔽 Parsivel² 電磁波光束等。以板橋測站 2017 年 3 月 29 日觀測結果為例，傾斗式雨量計觀測值為 0 mm，但 Parsivel² 卻觀測到明顯降雨資訊，甚至計算出負的降雨量。圖 6 顯示 Parsivel² 量測到粒徑大小不一且落速很小的零星訊號(數量皆小於 5)，這些資料偏離合理雨滴落速區域，明顯為非雨滴觀測資訊。上述不合理資料經過資料品管後，Parsivel² 估算雨量皆為 0 mm，故經由不合理雨滴粒徑及落速的濾除能有效降低非雨滴資訊造成的錯誤降雨估計值。

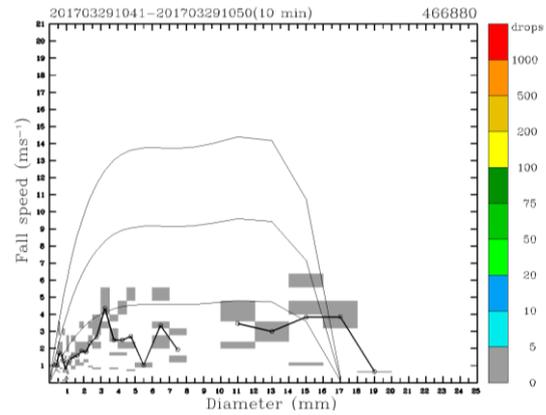


圖 6、同圖 5，但為板橋站 Parsivel² 於 2017 年 03 月 29 日 0240–0250 UTC 之雨滴粒徑、落速觀測圖。

3. 資料傳輸穩定性

雨滴譜儀作業觀測網資料為透過網路即時傳輸並且進行降雨量及降雨相關參數的計算，若即時觀測資料缺失，亦會造成降雨計算的誤差。目前作業進行 DSD 計算以每 10 分鐘計算平均參數，經統計 2017 年板橋測站資料顯示若資料缺漏 40% 以上資料時，相對平均誤差絕對值開始大於資料完整時的誤差。故，當資料缺漏超過一半時，計算之降雨相關參數不確定性有需確認。

4. 沿海、離島氣候環境

臺灣受季風及洋流影響，冬季盛行東北季風、夏季盛行西南季風，在沿海及離島地區容易受風力、沙塵及海鹽等影響而易使 Parsivel² 儀器損壞(Sun and Feng 2012)。除了風的影響外，較高濕度也易使儀器受潮，造成鏡面潮濕而降低雷射光偵測靈敏度。從 27 站誤差結果(圖未示)可發現離島或沿岸測站誤差皆逐年增加。故，位於沿海地區之 Parsivel² 雨滴譜儀，由於海風、濕度等影響，易使其精準度降低，更需保養與維護。

四、 未來展望

本研究未來將透過長期雨滴譜儀資料統計，針對強風速下雨滴譜儀資料進行評估，來量化其不確定性，以提供更合理且可信的觀測結果(尤其是颱風觀測資料)。由於各站地域差異及儀器誤差造成 Parsivel² 量測降雨結果不盡相同，未來希望透過 Chang et al. (2020)之方法將全臺雨滴譜儀觀測網進行修正，降低各站儀器間誤差，以得到更完整且精確的雨滴譜儀觀測網資料。在雨滴譜儀資料品質由上述獲得較全面性的改善後，希望利用 DSD 反演得到雙偏極化雷達參數，以提升雙偏極化雷達降雨估計準確度。未來也期望應用於雷達即時降雨估計校驗上，做為未來防災應用於短延時、強降雨之參考警示指標。此外，雨滴譜儀觀測資料與相關的雙偏極化雷達參數反演分析結果，亦可提供數值模式微物理參數化改進的參考。

五、參考資料

- 唐玉霜與張保亮，2017：中央氣象局雨滴譜儀網作業現況與展望。106年天氣分析與預報討論會，臺北。
- 陳如瑜，張偉裕與陳台琦，2017：北臺灣 S 與 C 波段雙偏極化雷達定量降雨估計之比較。大氣科學期刊，45，58–80。
- 曾吉暉，廖信豪與鳳雷，2016：新一代一維雷射式雨滴譜儀降水平行觀測分析。105年天氣分析與預報討論會，臺北。
- Brandes, E. A., G. Zhang, and J. Vivekanandan, 2002: Experiments in rainfall estimation with a polarimetric radar in a subtropical environment. *J. Appl. Meteor.*, **41**, 674–685.
- Chang, W.-Y., G. Lee, B. J.-D. Jou, W.-C. Lee, P.-L. Lin, and C.-K. Yu, 2020: Uncertainty in Measured Raindrop Size Distributions from Four Types of Collocated Instruments. *Remote Sensing*, **12**, 1167.
- Friedrich, K., S. Higgins, F. J. Masters, and C. R. Lopez, 2013: Articulating and stationary PARSIVEL disdrometer measurements in conditions with strong winds and heavy rainfall. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **30**, 2063–2080.
- Tokay, A., and D. A. Short, 1996: Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective clouds. *J. Appl. Meteor.*, **35**, 355–371.
- Tokay, A., W. A. Petersen, P. Gatlin, and M. Wingo, 2013: Comparison of raindrop size distribution measurements by collocated disdrometers. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **30**, 1672–1690.
- Sun, H. M., and Feng, X.G., 2012: Anti-Corrosion materials and spray technology in the coastal wind generating Set. *Appl. Mech. Mater.*, **164**, 306–310.