

蘭嶼亂流分析

陳建蒲 鄧仁星
中央氣象局氣象科技研究中心

摘要

2018年2月5日，一架空勤總隊黑鷹直升機，夜間執行病患後送時，直升機起飛不久後，便發生墜機，不幸帶走了6條生命。行政院衛生福利部推動空中轉診後送15年、執行了超過4,000次空中後送救援任務以來，第1次在運送病患途中發生的飛安事件，雖然程序一切合法，但夾雜許多高風險情境，包括醫療風險與飛安風險。其中飛安風險因蘭嶼機場位在蘭嶼島西南側近山腳處之海邊，距離山邊約100公尺，跑道呈東南-西北($130^{\circ} \sim 310^{\circ}$)走向，冬季由於東北季風盛行，機場正處於山之背風面，氣流自島嶼東北角遇山爬升，越山後下降至機場出海，部分氣流由島嶼西北角及東南角水平繞流至西南沿岸及其近海，因此常於機場附近產生強烈低空風切及亂流現象。

本研究希望利用由Yamada et al.(1992)所發展考慮了地形及長短波輻射、水氣等物理量的中尺度數值模式，建立不同的天氣型態下連續24小時之可能風場，進一步分析並分類出何種氣象條件下容易產生亂流，因此可提供決策者根據天氣預報於應變時採取適當之措施之參考，以達到降低危害天氣對航空器之威脅。

關鍵字：亂流、中尺度數值模式

一、前言

臺灣離島醫療資源不足，發生緊急重症醫療事故往往需要透過空中轉診制度送往臺灣本島，在衛福部推動空中轉診後送至今10多年，累計4000餘件後送任務，衛福部昨指出，金門、馬祖、澎湖、蘭嶼、綠島每年醫療後送架次約220到230次。其中，蘭嶼機場位在蘭嶼島西南側近山腳處之海邊，距離山邊約100公尺，跑道呈東南-西北($130^{\circ} \sim 310^{\circ}$)走向，冬季由於東北季風盛行，機場正處於山之背風面，氣流自島嶼東北角遇山爬升，越山後下降至機場出海，部分氣流由島嶼西北角及東南角水平繞流至西南沿岸及其近海，因此常於機場附近產生強烈低空風切及亂流現象，往往增加飛機及直升機的起降難度。

亂流雖然不是造成航機發生飛航事故之主要原因，確為飛機上乘員傷害主因之一，因為亂流常常是不預期發生且對飛機造成快速且劇烈顛簸，尤其是晴空亂流。亂流與風切，就大氣觀點是屬於小尺度之大氣特徵，其最大不同點在於風切為平均風速發生瞬間變化，而亂流為平均風之擾動。因此；美國於1999年擬整合NASA、飛機製造商、學術界，發展商用客機亂流量測及自動通報系統，改良現有的感應器、航電裝備及通信網路產生及傳送量化之大氣亂流的尺度，並規範亂流的強度定義方式

—不再只憑藉飛航組員操作上的感受，將利用垂直加速度之均方根值及渦流消散率(Eddy Dissipation Rate, EDR)量化亂流強度等級。

蒲與徐(1993)研究台灣嘉南地區低空風切和亂流與天氣類型，顯示在台灣發生亂流，常在高層西風和近地層東風之間發生；冬季近地層東北季風較強，低層大氣發生亂流之頻率較多；此外，東北季風強勁和台灣低壓或鋒面系統接近台灣時，更為亂流頻率最多之天氣類型。蒲(2009)研究顯示蘭嶼山上全年之風速甚強，年平均風速為17.6kts且各月平均風速皆在15.0kts以上，冬季受強勁東北季風之影響，每年11~12月風力最強，平均風速高達20kts以上；夏季6~8月盛行西南風和西南西風，可能受颱風侵襲的影響，常出現強風。本研究將透過中尺度數值模式，輸入不同季節之氣象因子的初始條件，分析並分類出何種氣象條件下容易發生亂流，藉此可提供決策者根據天氣預報於應變時採取適當之措施的參考依據，以降低危害天氣對飛航安全之威脅。

二、研究資料與方法

2.1 模式介紹

本研究係利用Mellor and Yamada(1974)及Yamada(1981)所發展含地形的模式(Higher Order

Turbulence Model for Atmospheric Circulations, HOTMAC)為工具。HOTMAC模式為一三為地形二階擾動閉合模式Yamada(1981,1985);Yamada et al.(1988)。HOTMAC假設了靜力平衡及Boussinesq approximation,由於其擾動場採二階閉合模式,因此比一般零階或利用K理論之模式來的精確。HOTMAC模式曾被用於大氣邊界層的模擬(Yamada and Mellor, 1975; Yamada and Mellor, 1979; Yamada and Kao, 1986)。例如: Yamada and Mellor(1975)曾以此模式與Wangara實驗觀測結果作比較,其成功模擬出夜間邊界層(離地200公尺)之最大風速及擾動動能的日夜變化。模式也曾用以模擬複雜地形下氣流之傳送,結果顯示溫度及風場模擬與觀測塔比較結果一致(Yamada 1983)。

在大氣部分(A2Cflow),為能模擬非均勻地形並易於處理地表邊界條件,本模式垂直方向採用Mahrer and Pielke (1975)所定義之地形座標,

$$z^* = H \frac{z - z_g}{H - z_g}, \quad (2-1)$$

其中 z^* , z 分別為轉換後及卡氏座標下的垂直座標。式中 z_g 為地表高度, H 為 z^* 座標下的模式頂高度, H 為 z 座標下的模式頂高度。在模式頂,兩種座標(z^* 及 z 座標)之座標面為相同的水平面。

模式中基本控制方程式包括x方向(東西方向)及y方向(南北方向)之動量方程、連續方程、亂流動能方程、亂流長度尺度方程、熱力及水汽混合比方程等。

A2Cflow模式主要預報的變數為水平風場(U 、 V)、亂流動能(q^2)、亂流長度尺度 l 、溫度擾動($\delta\theta$)及水汽混合比(q_v)。利用有限差分的方法將這些預報方程寫成有限差分式,積分是採用內隱式法(Alternating Direction Implicit method, ADI),積分間距則滿足CFL(Courant-Friedrich-Lewy)之穩定條件標準。ADI法在時間及空間微分是具有無條件性穩定及二階準確。

為增加有限差分法的準確性,網格點上平均及擾動場之變數在水平及垂直方向均採交錯網格配置。由於風場、溫度場及水汽場在靠近地面往上之變化非常快,因此垂直方向採用非均勻網格間距。

2.2 模式設計

A2Cflow模式模擬的設計分為二個巢狀網格(如圖2.2.1),解析度為1km、0.25km,格點數分別為51×51、101×101、最小範圍則涵蓋以各蘭嶼測站為中心;模式將初始風向依據蘭嶼測站與蘭嶼機場測站之風向頻率統計結果(圖2.2.2),有8個風向的分類,模擬的初始風速分別設為10m/s、15m/s和

20m/s,穩定度參數值則分成0.002(即0.65°C/100m,相當於穩定度分類中的D級)跟0.005(-0.35°C/100m,相當於穩定度分類中的E級)兩種穩定度,其中穩定度參數值0.002代表標準大氣之溫度遞減率,相較於穩定度參數0.002的標準大氣之溫度遞減率,穩定度參數0.005較為穩定。

根據上述條件模擬日期取每季季中,其中春季和秋季的初始模擬時間為22LST,夏季的初始模擬時間為02LST,冬季的初始模擬時間為20LST,每一個模擬均總共模擬36個小時。

2.3 亂流強度

本研究根據國際民航公約第3號附約中定義之亂流強度量化指標,利用渦流消散率(EDR)之立方根計算而量化亂流強度,渦流消散率計算方法如下:

$$\epsilon = \frac{e^{\frac{3}{2}}}{Le} \quad (2-2)$$

e 為亂流動能, Le 為亂流長度尺度。

依強度之不同可分為輕度、中度以及嚴重。在蘭嶼起降之航空器多為小型螺旋槳飛機與直升機,根據表2.3.1之亂流強度分類,當亂流強度達到13為輕度;16為中度;若為36以上則屬於嚴重等級。

三、分析結果

3.1 風場

圖3.1.1至3.1.4為A2Cflow模式模擬之風場,其中冬、夏2季2個風向1個風速、1種穩定度之結果。向量圖為模式第二層風,其高度為20m,風速以填色表示。從風場變化皆顯示風場受到蘭嶼地形影響會在背風側有明顯風向轉向之特性,在風速上變化也較明顯。模擬結果顯示夏季風速比冬季小,故夏季風場在蘭嶼周遭繞流的現象較冬季顯著。

3.1 亂流強度

依照蘭嶼機場跑道方位角作垂直剖面分析(如圖3.2.1所示),圖3.2.2至3.2.5為亂流強度在蘭嶼航空器起降之垂直分圖。冬季模擬結果顯示在風向為22.5°(NNE)時,亂流強度較強且分布範圍較風向225°(SW)時大,夏季亦是如此。此外,白天時,從EDR分布垂直分布顯示亂流影響的範圍越高層。

四、結論

本研究結果顯示,蘭嶼機場附近在冬季白天時且風向為22.5°(NNE)容易有亂流影響範圍較大,輕型航空器較難於低空接近蘭嶼機場附近。不論是夏

季或冬季，當風向為 22.5° (NNE)蘭嶼機場上空亂流強度對於輕型航空器皆屬危害等級，不利於起降。

五、參考文獻

1. 祝鴻鵬、任志超、曾憲瑗、蒲金標等，1984：蘭嶼機場低空風切與亂流之研究。交通部民用航空局研究報告，PP.72
2. 蒲金標與徐天佑，1993：嘉南地區低空風切和亂流與天氣類型之研究。國科 會防災科技專題研究,NSC-83-0414-P-117-002。
3. 蒲金標，2009，4：台灣東南海域季風與冬季低空風切之分析研究。「飛航天氣」第十一期。pp. 1-9。
4. Turbulence Reporting Procedures, the twenty-fourth meeting of the informal pacific ATC coordinating group.
5. Kao, C.Y.J, and T. Yamada, 1989 : Numerical simulations of a strato-cumulus-capped boundary layer observed over land. J. Atmos/ Sci., 46,832-848.
6. Mahrer, Y. and R. A. Pielke, 1975 : A numerical study of the air flow over mountains using the two-dimensional version of the University of Virginia mesoscale model. J. Atmos. Sci., 32,2444-2155.
7. Mellor, G. L., and T. Yamada, 1974 : A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. J. Atmos. Sci., 31,1791-1806.
8. Yamada T., 1979 : An application of a three-dimensional simplified second-moment closure numerical model to study atmospheric effects of a large cooling-pond. Atmos. Environ., 13,693-704.
9. Yamada T., 1983 : Simulations of nocturnal drainage flows by a q2l turbulence closure model. J. Atmos. Sci., 40,94-106.
10. Yamada T., and S. Bunker, 1988 : Development of a nested grid, second-moment turbulence closure model and application to the 1982 ASCOT Brush Creek data simulation. J. Appl. Meteor., 27,562-578.

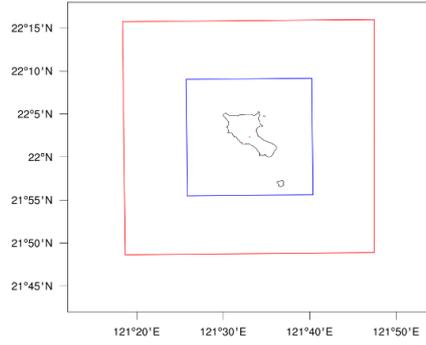


圖 2.2.1 巢狀網格設計範圍紅線範圍為第一層之網格解析度為 1 公里；藍線範圍為第二層之網格解析度為 250 公尺。

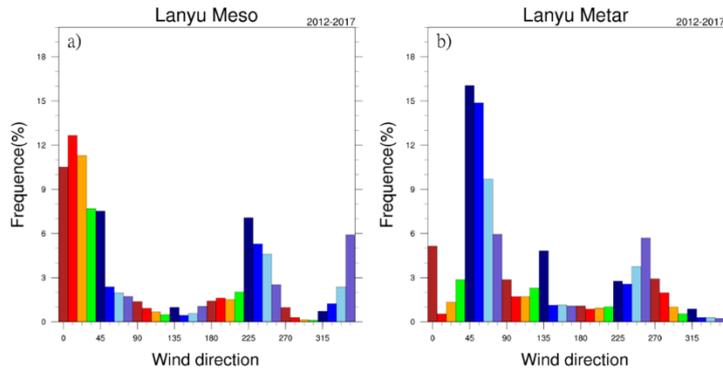


圖 2.2.2 2012 至 2017 年(a)蘭嶼測站(b)蘭嶼機場測站之風向頻率統計結果。

表 2.3.1 國際民航公約第 3 號附約中定義之亂流強度量化指標，依航空器重量對應亂流強度之不同可分為輕度、中度以及嚴重等級。

AC weight class	Estimated EDR Threshold * 100			
	Light	Moderate	Severe	Extreme
Light	13	16	36	64
Medium (Large)	15	20	44	79
Heavy	17	24	54	96

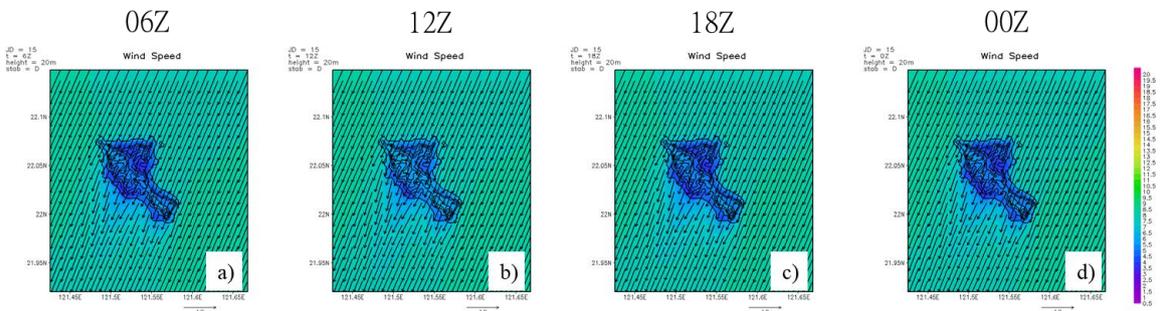


圖 3.1.1 A2Cflow 模式模擬冬季風向 22.5° (NNE)及穩定度 D 之(a)06Z(b)12Z(c)18Z(d)00Z 風場圖，填色為風速分布，高度為 20m。

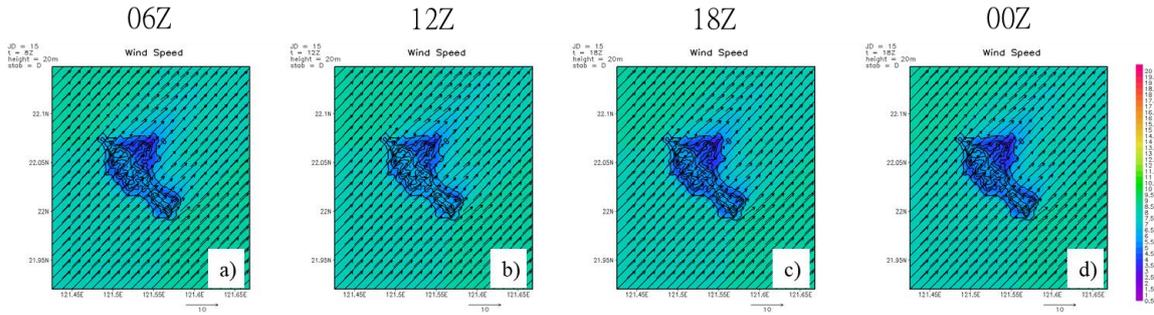


圖 3.1.2 A2Cflow 模式模擬冬季風向 225° (SW)及穩定度 D 之(a)06Z(b)12Z(c)18Z(d)00Z 風場圖，填色為風速分布，高度為 20m。

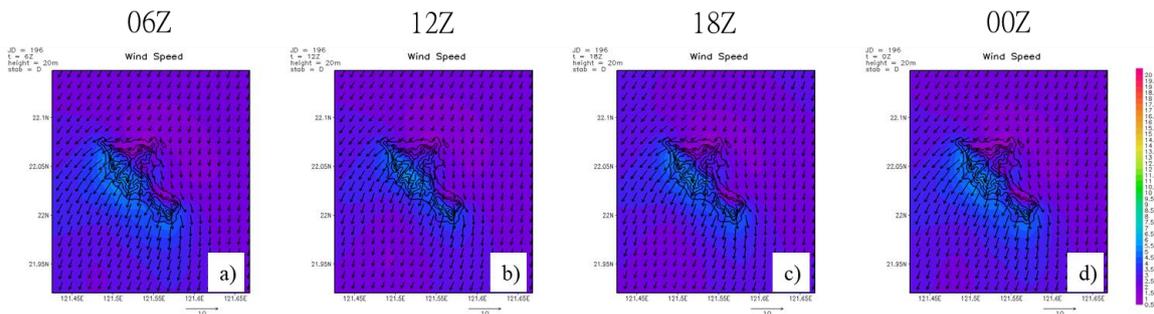


圖 3.1.3 A2Cflow 模式模擬夏季風向 22.5° NNE)及穩定度 D 之(a)06Z(b)12Z(c)18Z(d)00Z 風場圖，填色為風速分布，高度為 20m。

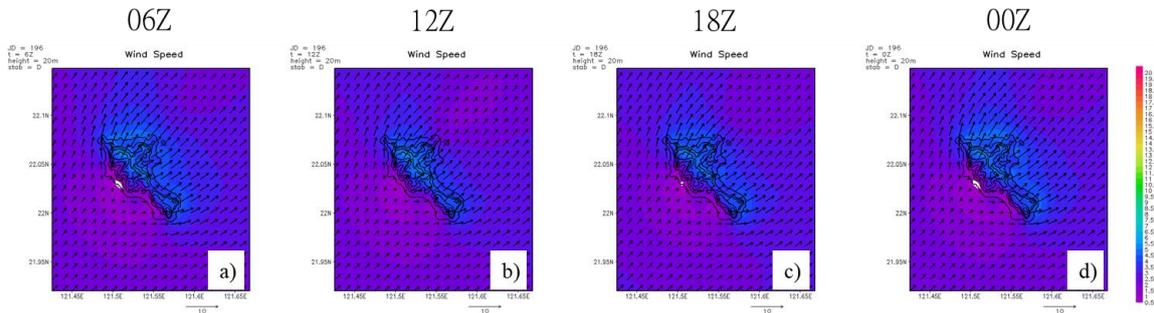


圖 3.1.4 A2Cflow 模式模擬夏季風向 22.5° (SW)及穩定度 D 之(a)06Z(b)12Z(c)18Z(d)00Z 風場圖，填色為風速分布，高度為 20m。

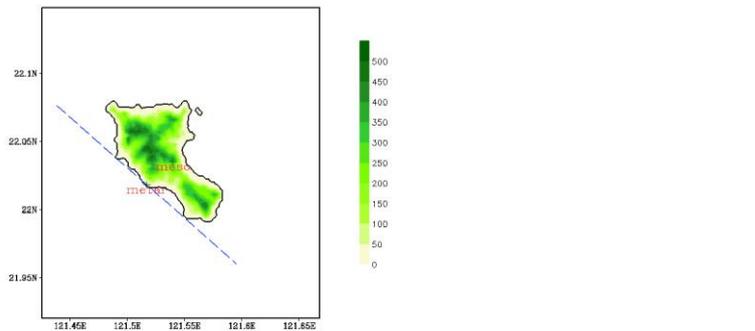


圖 3.2.1 填色為蘭嶼地形等高線分布，meso 標示蘭嶼測站位置；metar 標示蘭嶼機場位置，藍色虛線為此次研究剖面圖沿蘭嶼機場跑道方位角 $130^\circ \sim 310^\circ$ 之範圍。

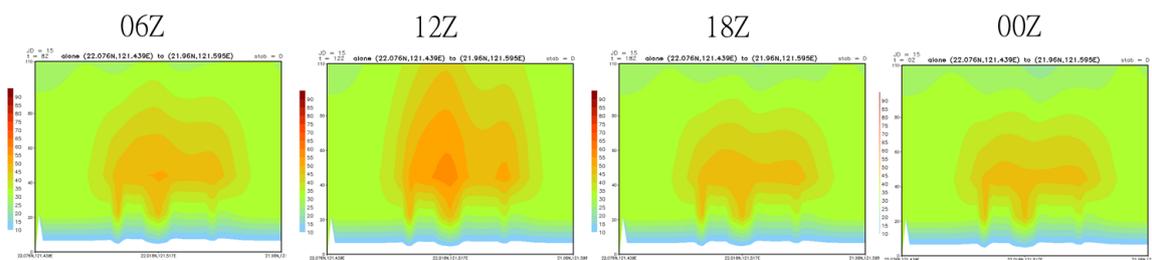


圖 3.2.2 A2Cflow 模式模擬冬季風向 22.5° (NNE)及穩定度 D 之(a)06Z(b)12Z(c)18Z(d)00Z 之亂流強度分布圖，填色為利用 EDR 換算之亂流強度指數，高度為 0m 至 110m。

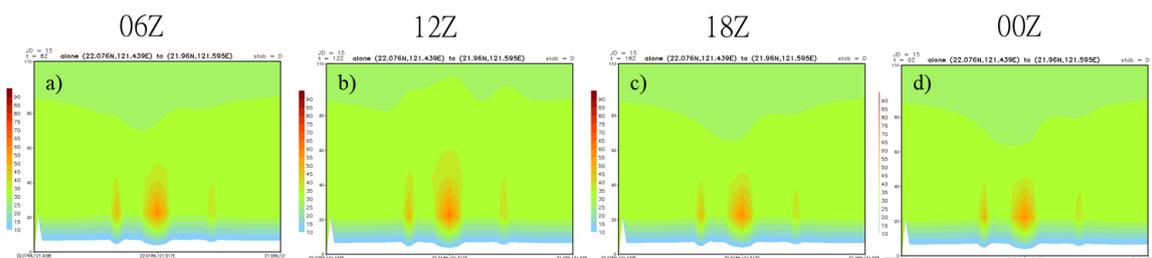


圖 3.2.3 A2Cflow 模式模擬冬季風向 22.5° (SW)及穩定度 D 之(a)06Z(b)12Z(c)18Z(d)00Z 之亂流強度分布圖，填色為利用 EDR 換算之亂流強度指數，高度為 0m 至 110m。

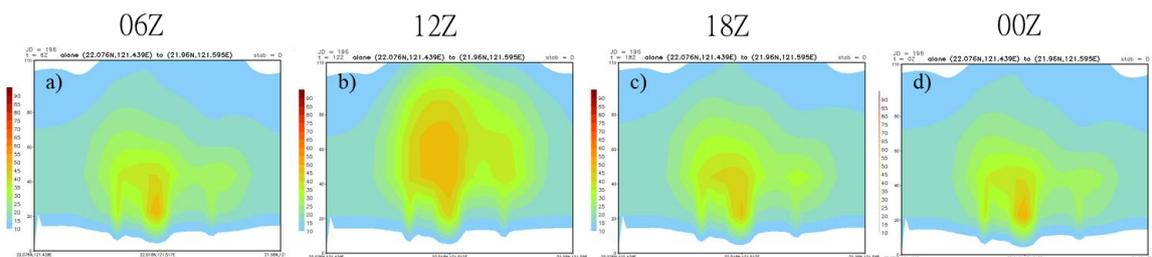


圖 3.2.4 A2Cflow 模式模擬夏季風向 22.5° (NNE)及穩定度 D 之(a)06Z(b)12Z(c)18Z(d)00Z 之亂流強度分布圖，填色為利用 EDR 換算之亂流強度指數，高度為 0m 至 110m。

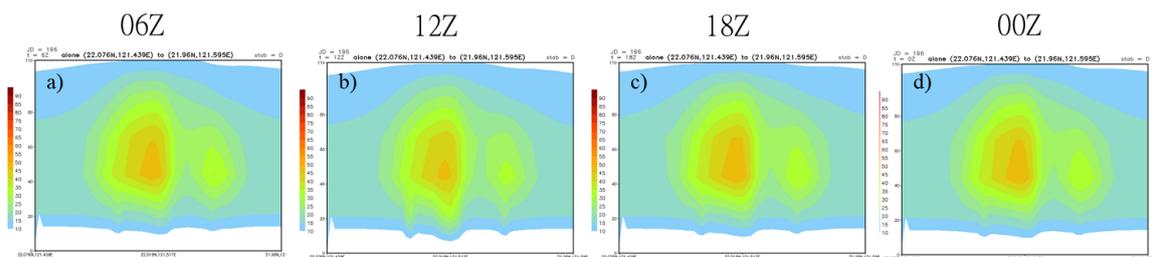


圖 3.2.5 A2Cflow 模式模擬夏季風向 22.5° (SW)及穩定度 D 之(a)06Z(b)12Z(c)18Z(d)00Z 之亂流強度分布圖，填色為利用 EDR 換算之亂流強度指數，高度為 0m 至 110m。