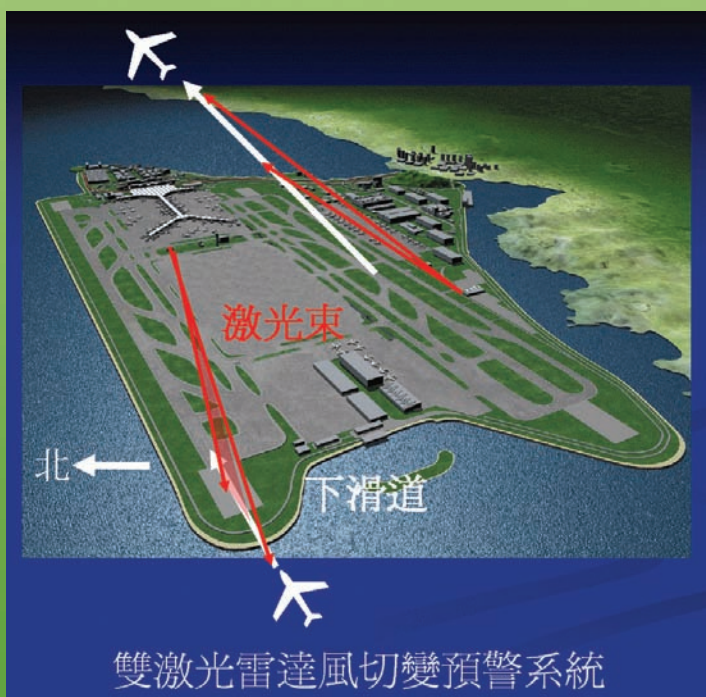


# 在香港出現的 風切變和湍流

- 供飛行員參考的資料



香港特別行政區政府，香港天文台出版。

第一版 2002

第二版 2005

第三版 2010

©香港天文台 2010。版權所有，未經香港天文台台長同意，不得翻印本刊物任何內容。

## **聲明**

香港特別行政區政府(包括其僱員和代理人)、國際航空公司飛行員協會和英國皇家飛行員及導航員協會不會就本小冊子所載資料的準確性、可供使用情況、完整性或有用程度，作出明示或默示的保證、陳述或申述，而在法律所容許的情況下，也不會就提供或使用或依據該等資料行事而直接或間接引致的任何損失或損害，承擔法律責任或其他責任(包括疏忽責任)。

## 前言

香港天文台為使用香港國際機場的飛機提供風切變和湍流的預警服務。

本小冊子為飛行員及航空導航員提供有關風切變和湍流及其成因，以及香港的風切變和湍流預警服務的基本資料。

相對於前一個版本，這個版本特別包含有關使用激光雷達的最新知識和經驗，此雷達在晴空環境下有效地發出風切變和湍流警告。其它更新還包括飛機數據的應用，以及有關“緩變風切變”的分析。

本小冊子只供參考和教育用途，並非要取代個別航空公司所制訂的標準操作程序。

本小冊子由香港天文台、國際航空公司飛行員協會、和英國皇家飛行員及導航員協會合編。

李本滢  
香港天文台台長  
2010年9月

## 符號說明



表示供飛行員參考的重要資料



表示例子



## 引言

本小冊子採用問答形式，首先說明風切變和湍流的特性，然後解釋香港的風切變和湍流預警服務的運作，進而解釋在香港國際機場和附近範圍出現風切變和湍流的原因，並指出飛行員須注意的一些重要事項。

本小冊子的讀者大多是經驗豐富的飛行員，對風切變和湍流及其成因都很熟悉，閱讀本小冊子，對他們有溫故知新的作用。至於其他讀者，本小冊子可讓他們明白什麼是風切變和湍流，以及風切變和湍流怎樣影響飛行。

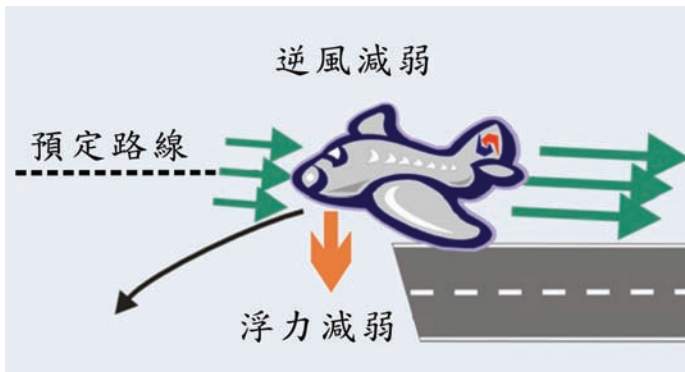
在閱畢本小冊子後，讀者應對下列事項有所了解：

1. 風切變和湍流預警是怎樣發出的；
2. “微下擊暴流預警(MBA)”一詞的意義；
3. 在出現風切變時，為何有些飛機會遇上，而其他飛機卻不會遇上；
4. 在風切變和湍流出現時可能會遇到的情況；以及
5. 在香港國際機場附近的地區性風向和風速的影響。

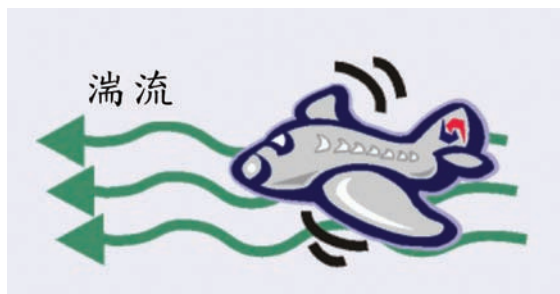
## 什麼是風切變和湍流？

**風切變**是指由於風向或風速出現持續(飛機感受多於數秒)的轉變，以致飛機遇到的逆風或順風有所改變。浮力減低會導致飛機向下偏離預定航道(見下圖)；反過來說，浮力增強則會令飛機向上偏離預定航道。

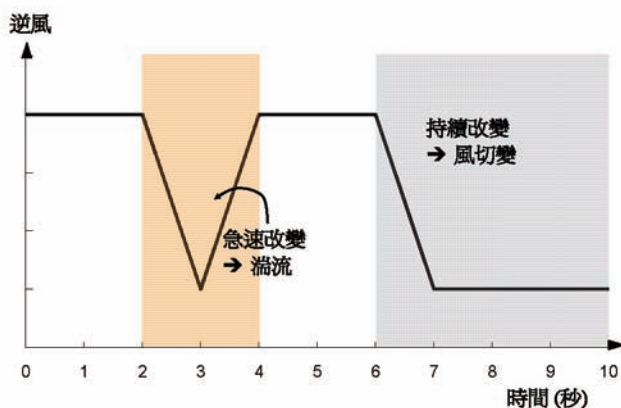
飛行員應注意，在進場區或離場區如遇到顯著的低空風切變，控制飛機可能會有困難，因此須及時作出適當的修正行動，以確保飛機安全。



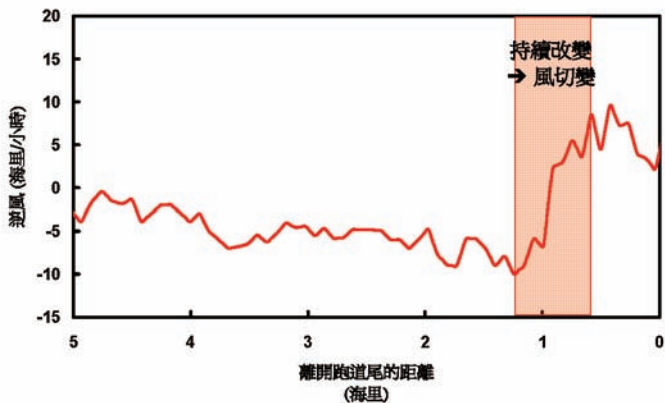
**湍流**是由空氣急劇而不規則的流動引致，使飛機急速顛簸，但通常不會令飛機顯著偏離預定航道。然而，如遇到強烈湍流，飛機的飛行高度和角度可能會突然改變，而飛行員可能瞬間無法控制飛機的飛行。



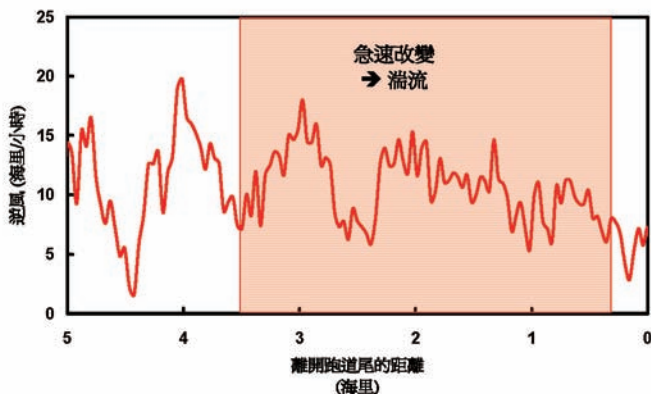
概括地說，湍流是指飛機感受到少於數秒的逆風或順風的**急促改變**。另一方面，顯著的風切變是指當飛機遇到多於數秒及不少於 15 海里/小時的逆風或順風的**持續轉變**。



下圖（見下頁）顯示從飛機飛行數據（FDR）提取的逆風廓線，當時該飛機在海風情況下降落香港國際機場。紅色區域顯示飛機經過海風鋒面時，遇到逆風增加的顯著風切變。



下圖顯示從飛機飛行數據提取的逆風廓線，當時飛機在下降香港國際機場時遇到強西南風下的擾動氣流。紅色區域代表飛機遇到顯著的湍流，當時飛行員報告在下滑道上遇到中度至強烈的湍流。



風切變和湍流的影響範圍可以很小，也可以間歇的出現，出現時間亦可以很短暫，這可能對相繼經過的飛機產生不同的影響。因此，某一架飛機受風切變或湍流影響的情況，有時會與前一架受影響的飛機所報告的情況不同，也可能與提供的預警有異。

## 香港國際機場出現風切變和湍流的次數有多少？

香港國際機場啓用以來(一九九八年七月至二零零九年十二月)，每約 500 班於機場進出的飛機中有一班報告遇到顯著的風切變。而在同一期間，每約 2,500 班飛機中有一班報告遇到顯著的湍流。風切變和湍流大多在春季的三、四月間出現。

## 香港天文台怎樣向飛機發出風切變和湍流預警？

一台機場多普勒天氣雷達(多普勒雷達，TDWR)不斷地掃描機場跑道各條走廊，以探測風切變及“微下擊暴流”。當機場附近有雨或雷暴時，多普勒雷達相當可靠。

在無雨情況下，激光雷達(LIDAR)用來量度下滑道的逆風廓線。激光雷達風切變預警系統(LIWAS)從量度的逆風廓線中探測逆風的明顯轉變，並發出風切變預警。激光雷達風切變預警系統擁有兩台激光雷達，一台在北跑道附近，而另一台則在南跑道附近，因而每一條跑道都有專門的激光雷達提供服務。

同時，在機場及其週邊安裝了一個密集的地面測風計網絡，負責探測低空風的改變。除了在機場和東面一個海島大磨刀上的 8 個測風計外，它還包含機場島東西兩方對出海面的 5 個氣象浮標。這些測風數據透過一個名為增強版測風計風切變預警法則(AWARE)的系統發出風切變預警。



這些數據均實時地輸入風切變及湍流警報系統(風湍警報系統，WTWS)，當系統探測到風切變及湍流時，能每分鐘自動發出**預警**。

此外，香港天文台的航空氣象預報員亦根據大範圍的盛行氣象狀況、上面提到的實時探測系統的數據、透過航空交通管制員傳送過來的飛行員報告、和透過飛機氣象資料下傳（AMDAR）的空對地數據連線自動收取的數據發出風切變及湍流**警告**。

低空風切變和湍流預警經以下兩個途徑向在香港國際機場運作的航班發出：

**(甲) 由航空交通管制員傳送風切變和湍流預警：**

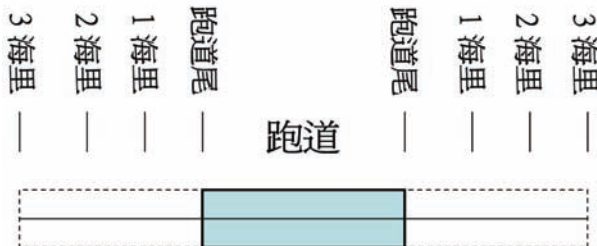
跑道兩端入口 3 海里範圍內的地形或對流引致的風切變和湍流，其**預警**會由風湍警報系統自動發出，並由航空交通管制員向飛機傳送。

**(乙) 透過自動航站情報服務發出風切變和湍流警告：**

航空氣象預報員會透過話音自動航站情報服務及數據化自動航站情報服務向飛機發出風切變和湍流**警告**。同時，由機場多普勒天氣雷達探測的“微下擊暴流”及風切變亦會用來發出風切變和湍流警告。

**風切變預警分為什麼等級？**

風湍警報系統就機場跑道兩端入口 3 海里範圍內可能出現的風切變發出預警：



風切變預警分爲“**微下擊暴流預警(MBA)**”和“**風切變預警(WSA)**”兩個等級。這個分級法參考美國聯邦航空局在美國各主要機場安裝的機場多普勒天氣雷達所採用的風切變預警術語來制訂。

### 微下擊暴流預警(MBA)：

表示在沿著跑道方向(即逆風或順風分量)的風速**減少達 30 海里/小時或以上及有降雨**的情況下發出的風切變預警。這項預警只會由多普勒雷達發出。

### 風切變預警(WSA)：

表示在沿著跑道方向(即逆風或順風分量)的風速**減少或增加達 15 海里/小時或以上(微下擊暴流除外)**時發出的風切變預警。注意，在風速增加 30 海里/小時或以上的情況下發出的是風切變預警(WSA)，而非微下擊暴流預警(MBA)。

飛機感受風切變的程度受多個重要因素影響，包括風速的變化率、逆風或順風之總改變值、航機之空速、風切變作用的距離、飛機型號和飛機的反應。



“**微下擊暴流預警(MBA)**”只是一個術語，表示多普勒雷達探測到在沿著跑道方向的風速減少達 30 海里/小時或以上及有降雨的情況。微下擊暴流預警，可能並非由一般的微下擊暴流引致。舉例來說，倘有強烈氣流從南面橫過大嶼山，同時出現降雨，多普勒雷達亦可能會發出微下擊暴流預警。因此，飛行員不應**預期在微下擊暴流預警生效時，一定會遇上穿越一般微下擊暴流時的一連串典型現象**(即逆風增強，飛機的浮力增加，隨即遇到下沉氣流，繼而逆風減弱，令飛機下沉)。



## 湍流預警分為什麼等級？

根據氣象探測器的觀測資料，風湍警報系統就機場跑道兩端入口 3 海里範圍內可能出現的湍流發出預警。

發出湍流預警依據重型飛機（如 747-400）所受的影響作為參照。湍流預警按渦流消散率(Eddy Dissipation Rate, EDR)的立方根，即  $EDR^{1/3}$ ，劃分為兩個等級：

### 中度湍流預警：

中度湍流預警在  $EDR^{1/3}$  介乎 0.3 與 0.5 之間時發出。

### 強烈湍流預警：

強烈湍流預警在  $EDR^{1/3}$  為 0.5 或以上時發出。



請緊記，這個劃分法是指湍流對**重型飛機**的影響。中型和輕型飛機所受的影響可能會較大。

## 由航空交通管制員傳送風切變和湍流預警的用語是什麼？

航空交通管制員所傳送的**微下擊暴流**或**風切變預警**，內容包括**預警類別**(即微下擊暴流或風切變)，沿著跑道方向**風速改變的數值及位置**(即最後進場或離場範圍，視情況而定)，

### 例子

*Caution. Microburst minus 30 knots on final approach.*

警告。微下擊暴流；於最後進場風速減少達 30 海里/小時。

*Caution. Windshear plus 15 knots on departure.*

警告。風切變；於離場風速增加達 15 海里/小時。

這裡的用語與裝設在美國主要機場的多普勒雷達所採用的“初遇位置、最大強度”準則並不相同。後者的準則要求根據預期首次遇上顯著的風切變的位置和預期遇上的風切變的最大強度來報告。香港國際機場採用較簡單的用語以避免預警信息可能被誤解。香港國際機場所發出的預警表示飛機在走廊的**任何位置**可遇上之最強烈風切變，以及同時可能在多於一處地方出現風切變(見第 16 及 17 頁例子)。

航空交通管制員所傳送的**湍流預警**，內容包括**預警強度**(即中度湍流或強烈湍流)和**位置**(即最後進場或離場範圍，視情況而定)。

### 例子

*Caution. Moderate turbulence on departure.*

警告。於離場中度湍流。

為確保就每條跑道走廊提供的預警資料簡明扼要，在任何一條走廊上無論探測到多少次風切變的出現，航空交通管制員都只會傳送單一項預警，即“微下擊暴流預警”或“風切變預警”。“湍流預警”根據同樣方式傳送。

當“微下擊暴流預警”或“風切變預警”在某條跑道走廊生效時，如在該走廊同時也探測到湍流，航空交通管制員會將“湍流預警”聯同“微下擊暴流預警”或“風切變預警”一併傳送。

例子

*Caution. Windshear minus 20 knots and moderate turbulence on departure.*

警告。風切變；於離場風速減少達 20 海里/小時及中度湍流。

### **透過自動航站情報服務提供的風切變和湍流警告的用語是什麼？**

在進場及離場自動航站情報服務提供的風切變警告，包括警告的類型(顯著風切變)及所適用特定的跑道走廊。

例子

*Significant windshear forecast 07R.*

顯著風切變預報 07R。

*Significant windshear forecast 25L and 25R.*

顯著風切變預報 25L 及 25R。

多普勒雷達探測的微下擊暴流和風切變亦會發出警告。

例子

**Microburst and significant windshear 07L and 07R.**

微下擊暴流和顯著風切變 07L 及 07R。

**Significant windshear 25L and 25R.**

顯著風切變 25L 及 25R。

自動航站情報服務提供的湍流警告，包括強度及警告類型(即中度或強烈湍流)及相關的跑道走廊。當湍流警告生效時，它總是適用於所有跑道走廊。

例子

**Moderate turbulence forecast 07L and 07R.**

中度湍流預報 07L 及 07R。

**Severe turbulence forecast 25L and 25R.**

強烈湍流預報 25L 及 25R。

基於香港天文台航空氣象預報員的預報資料所發出的警告稱為“預報”。當這資訊被飛行員或飛機氣象資料下傳的飛機報告確認時(見第 8 頁)，警告稱為“預報及報告”。

例子

**Significant windshear forecast 07L and 07R.**

顯著風切變預報 07L 及 07R。

(當航空氣象預報員預報跑道 07L 及跑道 07R 均出現風切變)

**Significant windshear forecast and reported 07L and 07R.**

顯著風切變預報及報告 07L 及 07R。

(當該警告被飛行員或飛機資料下傳的飛機報告確認在任何一條跑道走廊發生)

基於多普勒雷達發出的警告不會稱為“預報”或“預報及報告”(第 14 頁的例子)。

經由數碼化自動航站情報服務發出的警告，依據國際民航組織縮寫編碼，例如：“SIG WS FCST 07L AND 07R”或“MOD TURB FCST AND REP 25L AND 25R”。

為幫助飛行員在強風情況下於進場的最後階段評估風的可能變化，每當香港國際機場南面山頂風速計的 2 分鐘平均風速超越 35 海里/小時，在“進場自動航站情報服務”的尾段將包括風速計的數據以作為 2,500 英尺的估計風。

例子

*2,500 feet estimated wind 160 degree 40 knots.*  
*2,500 英尺估計風 160 度 40 海里/小時。*

這項風的資料僅供參考！由於風在空間的可變性及山頂站的不同地理環境，山頂風數據也許與飛機實際在進場航道 2,500 英尺所體驗的風不盡相同。

## 若多於一處地方出現風切變，系統會發出那一種預警？

風湍警報系統及多普勒雷達均在跑道走廊的特定位置發出風切變預警。倘多普勒雷達及風湍警報系統在某跑道走廊上多於一處地方探測到風切變，兩個系統會分別根據**最高優先次序**及**最大強度**來發出預警。如在某一地區同時出現風速減少和風速增加的情況，“**風速減少**”會較“**風速增加**”為優先。

倘多普勒雷達或風湍警報系統就某條跑道發出微下擊暴流預警及風切變預警，系統會根據以下的優先次序，並考慮到預警的嚴重性及不同資料來源的可靠性，把兩項預警併為一個綜合預警：

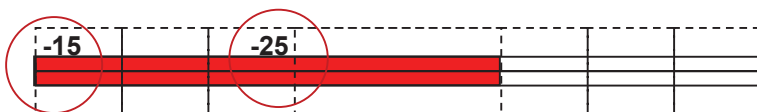
1. (最高) 多普勒雷達微下擊暴流
2. 風湍警報系統預警風切變引致風速減少達 30 海里/小時或以上
3. 多普勒雷達預警風切變引致風速減少或增加達 15 海里/小時或以上(微下擊暴流除外)
4. (最低) 風湍警報系統預警風切變引致風速減少或增加達 15 海里/小時或以上(第二項除外)

註：風湍警報系統風切變預警包括激光雷達風切變預警系統和增強版測風計風切變預警法則系統發出的預警（見第 7 頁）。

風湍警報系統會將較高優先次序的預警發出，經由航空交通管制員向飛機傳送。

例子

假若多普勒雷達在最後進場 3 海里處探測到風速減少達 15 海里/小時的風切變，並在最後進場 1 海里處探測到風速減少達 25 海里/小時的風切變，系統發出的預警為：**Caution. Windshear minus 25 knots on final approach** “警告。風切變；於最後進場風速減少達 25 海里/小時”。



必須注意的是，預警指由跑道兩端入口 3 海里範圍內的最大強度風切變。所報告的強度是指飛機在進場或離場跑道走廊 3 海里範圍內任何一處遇上的最大風速減少或增加。

例子

假若風湍警報系統在最後進場 2 海里處探測到風速增加達 20 海里/小時的風切變，並在最後進場 1 海里處探測到風速減少達 20 海里/小時的風切變，系統發出的預警為：**Caution. Windshear minus 20 knots on final approach** “警告。風切變；於最後進場風速減少達 20 海里/小時”。



上述例子的情況有可能會發生，尤以因地形引致的風切變為然(見第 20 頁)。飛行員須注意，在同一條進場或離場走廊，風速增加和減少的情況可能同時出現。這表示，雖然向飛機發出的是風速減少的風切變預警，你亦有可能遇上風速增加的情況。

### 例子

倘多普勒雷達發出一項微下擊暴流預警，顯示在最後進場 1 海里處的風速減少達 30 海里/小時，而風湍警報系統計算出的是風速增加達 15 海里/小時，則系統只會發出微下擊暴流預警。



## 導致在香港國際機場出現風切變和湍流的典型成因是什麼？

多種現象可導致風切變和湍流。按飛行員報告統計，引致香港出現風切變和湍流的五個主要成因，按出現頻率高至低排列如下：

1. 風吹越山脈(由地形引致)；
2. 海風；
3. 颶鋒(與雷暴有關)；
4. 微下擊暴流(與雷暴有關)；
5. 低空急流。

在香港國際機場出現的風切變和湍流，大多是由吹越機場南面的大嶼山山脈的強風引致(請參閱第8頁的地圖)，包括熱帶氣旋及強烈季候風所產生的強風。它們佔了所有飛行員風切變報告百分之七十，而因海風引致的風切變則佔了百分之二十。餘下的百分之十由颶鋒、微下擊暴流、和低空急流所產生。以上是基於飛行員報告的統計結果，與風切變**實際出現的次數**可能並不相同。舉例來說，飛行員一般避免飛進雷暴，因此由微下擊暴流和颶鋒所引致的風切變的實際數目可能更高。

引致香港國際機場出現風切變和湍流的主要成因會在以下數頁詳述。

## 什麼是“由地形引致的風切變”？

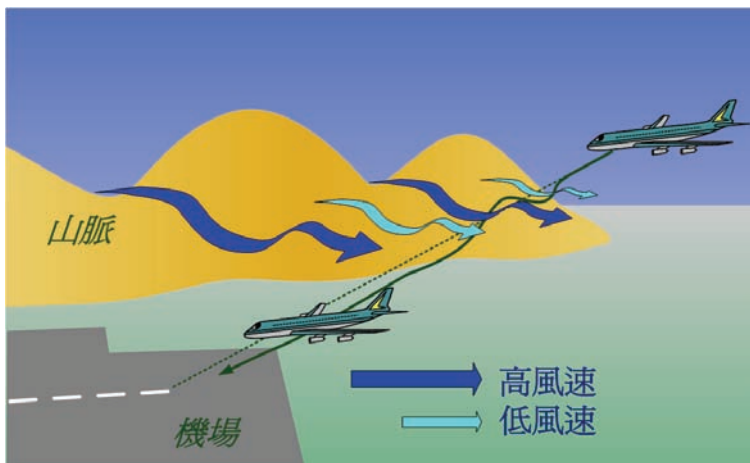
氣流橫過山脈時會因為受到擾亂而可能形成風切變和湍流。香港國際機場位於大嶼山北面，大嶼山地勢多山，最高的山峯海拔超過 900 米(3,000 英尺)。當風速為 15 海里/小時或以上的風由東面、東南面、南面或西南面吹過大嶼山的山脈時，機場附近就可能出現風切變和湍流。如果風速超過 30 海里/小時，則可能會引致更強烈的風切變和湍流。



當風速為 20 海里/小時或以上的風由西北面至東北面吹過香港國際機場以北的山脈時，機場附近也可能出現風切變和湍流，不過這種情況較為少見。

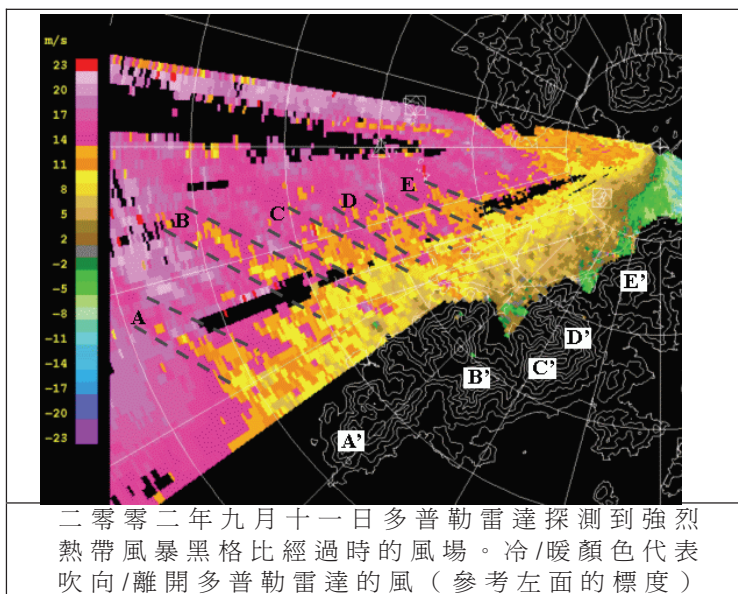


在颶大風的時候，例如在熱帶氣旋逼近時，高速氣流會在山峽形成。在這些高速氣流之間，有些較低速的氣流同時出現。當飛機沿著進場或離場走廊穿越這些高低速交替的氣流時，可能會在不同位置遇到逆風減少和增加的情況(見第 17 頁第二個例子)。



特別要注意的是，當飛機由低速氣流進入高速氣流時，逆風會大為增強，增加對飛機的浮力。相反，當飛機由高速氣流進入低速氣流時，逆風則會大為減弱，令飛機下沉；無論當時是否下雨，這種下沉情況都會出現。

高速與低速的氣流可以從下面的多普勒雷達的例子看到，當時剛有一熱帶氣旋經過香港。圖中可以看到在大嶼山山峰（A'，B'，C'，D'及E'的位置）的下游地方風速較低（A，B，C，D及E的位置）。



風切變除了在颶大風時出現外，在大氣穩定(例如出現低空逆溫層)而風勢較弱的情況也會於機場上空出現。事實上在春季，在風速低於 15 海里/小時的風吹過大嶼山山脈時，亦曾出現風切變。



南跑道由於接近大嶼山山脈，因此所受的風切變和湍流影響通常較為顯著。



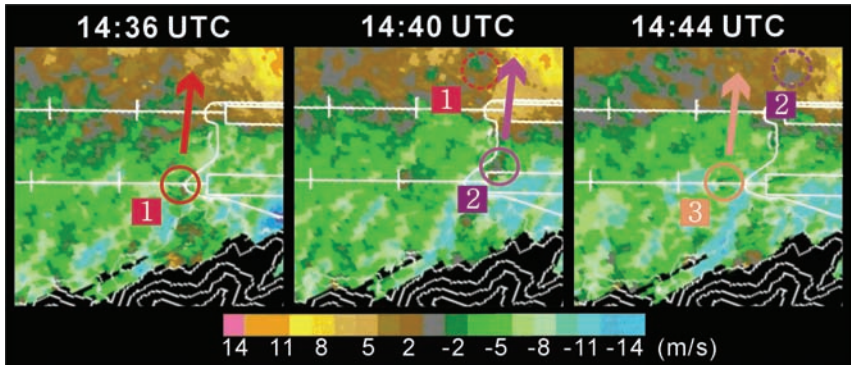
由地形引致的風切變不一定在下雨時才出現。實際上，根據進入或離開香港國際機場的飛機的報告，大部分這類風切變都與降雨無關。



雖然由地形引致的風切變並非由“一般的微下擊暴流”所造成(見第 10 和 27 頁)，但逆風減弱及因而導致的飛機下沉情況，則與“一般”的微下擊暴流所引致的相似。

### 在香港出現的風切變變化有多快？

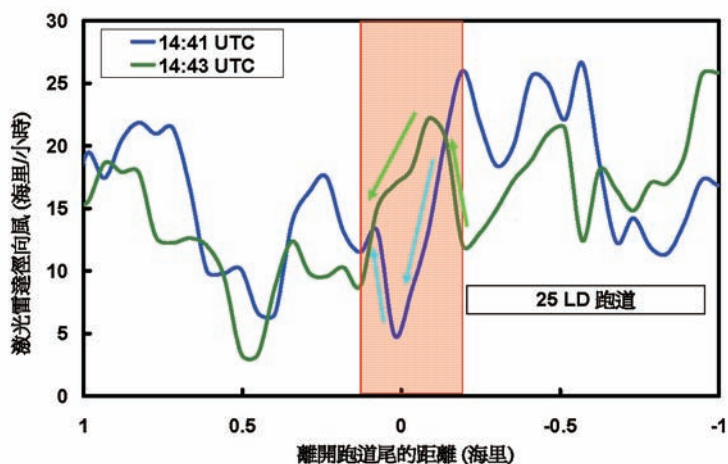
以下三張在二零零四年八月三十日的激光雷達圖像，每張分隔四分鐘，顯示強烈南風受大嶼山影響，產生小尺度的風切變和湍流(圓圈區域)，越過西面跑道走廊。



二零零四年八月三十日的激光雷達圖像。冷/暖色代表吹向/離開雷達的風(參見底部標度)。箭咀表明由圓圈標記的風切變在隨後四分鐘內的移動。

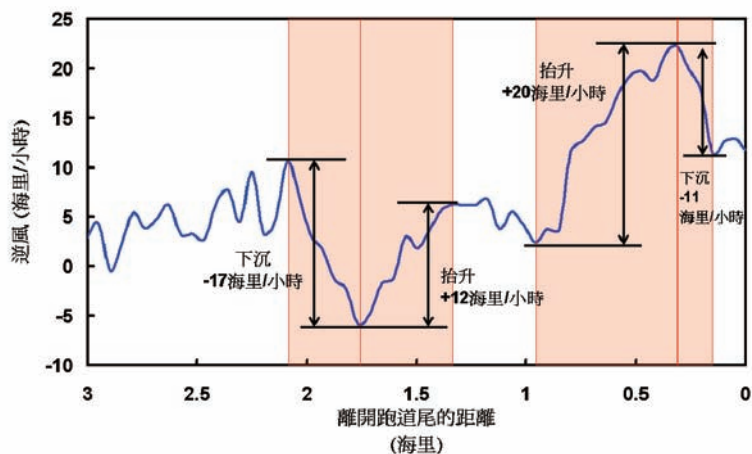
以上的圖像清晰顯示在香港國際機場出現的風切變和湍流具有短暫及間歇出現的特性。在短短幾分鐘之間，這些小尺度現象從大嶼山山脈湧現，並隨強烈的南風迅速越過跑道走廊並消散。飛機穿越這些小尺度現象時會遇到一連串逆風的轉變。一些飛機可能先遇上逆風減少然後增加的情況，而另一些飛機則可能會先遇上逆風增加然後減少的情況。激光雷達清楚地顯示當有地形引致的風切變出現時，相繼飛過的飛機有可能出現“完全相反”的情況。

由激光雷達探測到的逆風廓線也能清楚顯示由地形引致的風切變具有短暫及間歇出現的特性。例如，下圖顯示二零零四年八月三十日 14:41 世界協同時在 25LD 上升跑道走廊出現 20 海里/小時逆風減弱，緊隨是 10 海里/小時的逆風增加（紅色區域中的藍色箭頭）。但只是 2 分鐘之後，在同一個區域內，逆風的次序剛剛反轉，跑道尾先出現 10 海里/小時逆風增加，然後是差不多 15 海里/小時的逆風減少（綠色箭頭）。當時一班從 25LD 離開的飛機報告遇到了顯著的風切變。





地形引致的風切變中，逆風減弱和增強可以在同一條跑道上出現。下圖是二零零五年二月十四日從激光雷達探測到逆風廓線所顯示的例子。

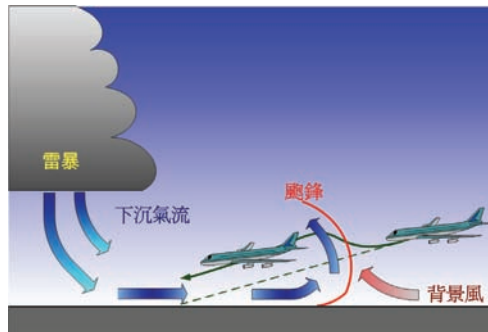


從以上的地形引致風切變的例子中可見：

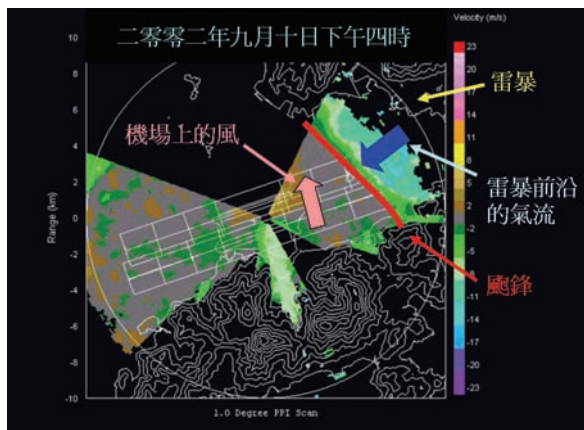
- 風速增加和減少的情況可以在同一條進場或離場走廊中出現。
- 雖然所發出的是風速減少的風切變預警，你可能同時遇上風速增加的情況。
- 由於風切變具有短暫及間歇出現的特徵，風速的減少/增加未必會在風速增加/減少的之前/之後出現。
- 某一架飛機所遇到的一連串風切變(如風速先減少後增加，或反之)，可能與相繼經過的飛機所遇上的情況不同。
- 雖然天氣情況大體相同，一些航機可能遇上風切變和湍流，但其他航機可能不會遇上。

## 什麼是“颶鋒”？

強烈的雷暴與劇烈對流有關，經常會帶來猛烈的下沉氣流和大雨。下沉的空氣較冷和較重，在接觸到地面時會擴散。冷空氣的前端稱為**颶鋒**。飛越颶鋒的飛機或會遇上逆風增強，因而增加飛機的浮力。



下圖是激光雷達探測到的颶鋒的例子，背景南風和從雷暴下沉氣流帶來的東北風所產生的輻合線就是颶鋒的位置。

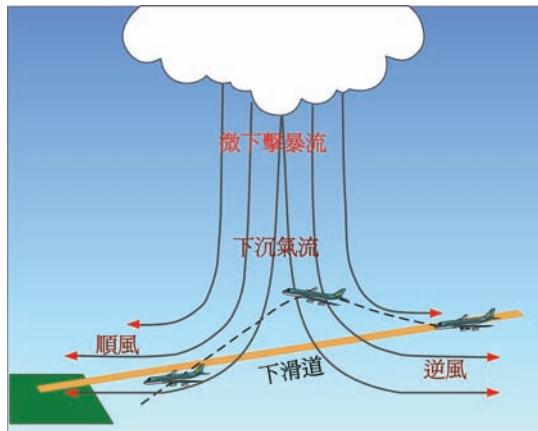


激光雷達二零零二年九月十日圖像。颶鋒由位於東北方的雷暴所產生，藍色箭頭代表它的移動方向。冷/暖色代表吹向/離開激光雷達的風(參見右面標度)。



## 什麼是“微下擊暴流”？

**微下擊暴流**是由雷暴引致的一種最猛烈下沉氣流，其特徵是一團強烈而局部的冷空氣下沉，引致地面上出現突如其來水平方向的風，擴散範圍通常達數千米。飛越微下擊暴流的飛機可能首先會因逆風增強而浮力增加，隨即遇到上空的下沉氣流，及繼因順風增強而降落。飛行員必須及時採取修正行動，以確保飛機安全，不致受到微下擊暴流的影響。

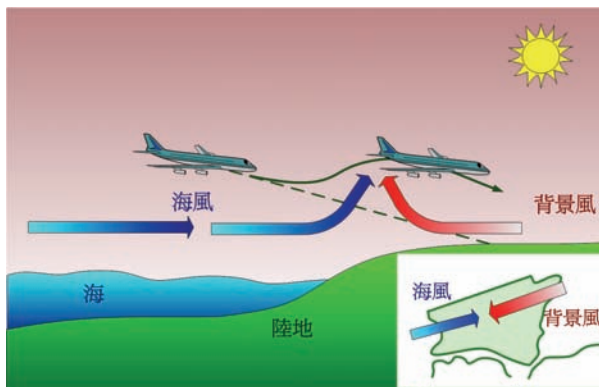


這裡所述有關微下擊暴流的情況，雖然實際上可能會發生，而一些飛行員也可能經歷過，但只是一種理想化的描述。首先要注意的是，微下擊暴流所產生的風力可以是不對稱的，即一邊的風力會較另一邊強。其次，下沉氣流可以沿傾斜的角度下降至地面，而非垂直下沉的。因此，如飛機在進場時穿越微下擊暴流，未必會遇到下述的“典型”情況：即逆風增強，飛機浮力增加，隨即遇到下沉氣流，繼而逆風減弱。

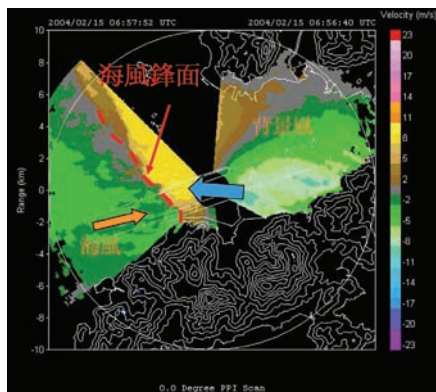
## 什麼是“海風”？

**海風**通常在風和日麗的情況下產生。由於海面和陸地在太陽照射下吸熱的反應不一樣，海面較涼和密度較高的空氣會流向陸地較暖 and 密度較低的空氣（見第 6 頁中第一個逆風廓線的例子）。就香港國際機場而言，海風出現時，在機場西部通常轉吹西風。在背景風普遍為東風的情況下，海風會引致逆風增加，機場跑道可能出現顯著的風切變。同樣，當背景風為西至西南風時，在機場東面可能轉吹偏東風，產生風切變。但須注意，與海風相關的風切變可能因海風與背景風交界面出現複雜的垂直結構，因而產生逆風減少的情況。

雖然並不常見，但在東風風力達 10 海里/小時或以上時，由海風引致的風切變可能會達 20 海里/小時或以上。除風切變外，海風亦可同時引致湍流。

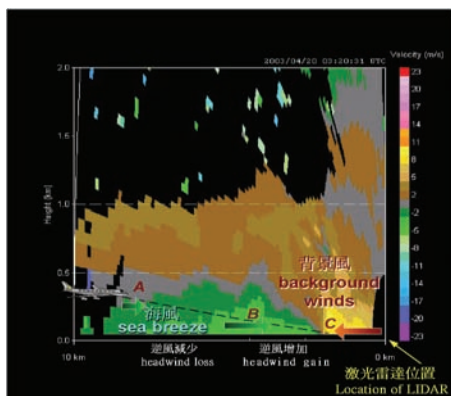


在下面的激光雷達掃描圖中，顯示典型與海風相關的風切變。海風一般在晴空的天氣下出現，激光雷達因而善於捕捉到海風鋒面。



二零零四年二月十五日的激光雷達圖像。冷/暖色代表吹向/離開激光雷達的風(參見右面標度)。虛線代表背景的東西風遇上由海風帶來的西風的邊界，也就是海風鋒面的地方。

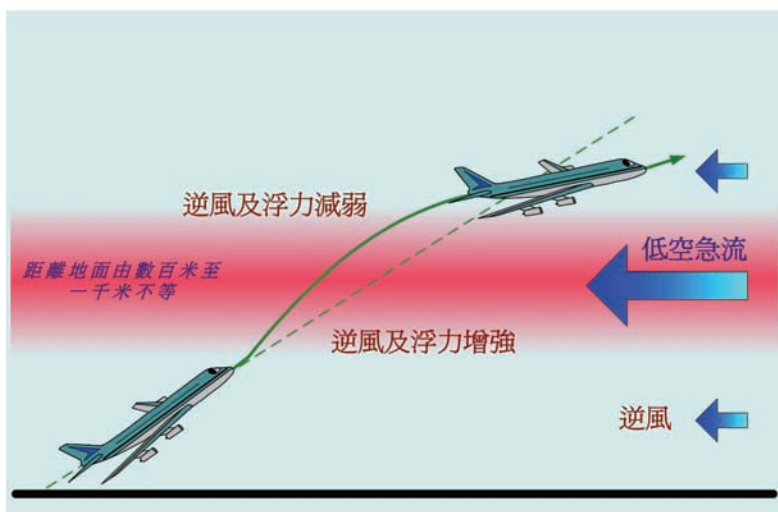
海風鋒面的複雜結構可以從下面激光雷達的垂直掃描看到。當飛機在下滑道從 A 點到 B 點穿越海風時，它遇到的風會從背景東風轉為西風，因而造成逆風減少。然後，當飛機繼續從 B 點下降到 C 點時，它遇到的風會從西風再次變回背景東風，因此遇到逆風增加。



二零零三年四月二十日激光雷達垂直剖面圖。虛線代表下滑道，灰色曲線（接近零速度）分隔底層的海風（冷色）和上層的背景風（暖色）。

## 什麼是“低空急流”？

**低空急流**是在大氣低層出現的狹窄強風帶。由低空急流引致的風切變，在香港國際機場較為少見。飛離機場的飛機在上升進入低空急流時，飛機的浮力因逆風增強而增加。不過，當飛機在離開急流後，逆風減弱，而飛機的浮力會突然減低。



由於飛機著陸時一般是逆盛行風而飛行，當它穿越低空急流亦同樣會遇到一連串逆風轉變的情況。然而，由於飛機著陸時下降的斜度約為3度，較飛機起飛時的上升斜度為小，因此逆風轉變所帶來的影響也較起飛的飛機為小。

## 什麼是“低空風效應”？

**低空風效應**是指風吹過人工結構，例如機場的建築物，繼而相關出現的湍流甚或風切變的現象。



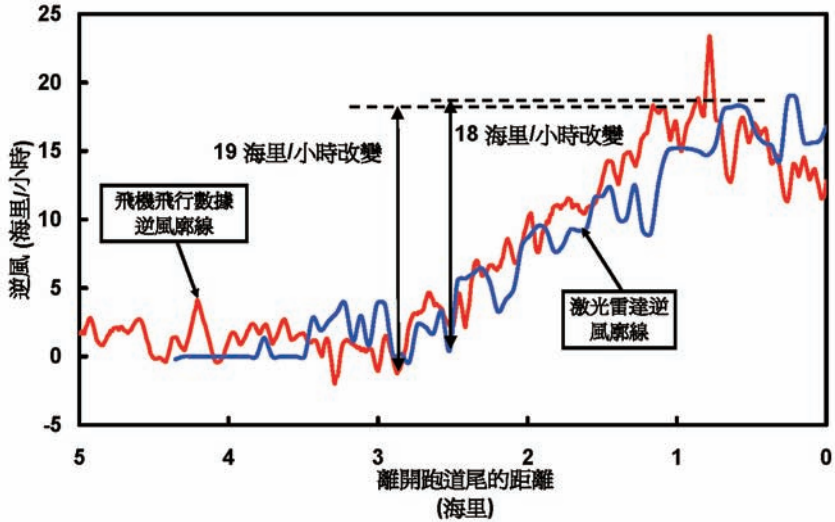
飛行員應留意，當機場吹強北風/西北風時，在香港國際機場 25L 跑道降落的飛機，可能會受到建築物引起的湍流和風切變的影響。同樣，當機場吹強西南風/南風/東南風時，在 25R 跑道降落的飛機，亦可能會受到建築物引起的湍流和風切變的影響。

## 當風切變預警發出時，為什麼飛行員有時遇不到風切變，反之亦然？

第一個可能是由於地形引起的風切變具有短暫及間歇出現的特徵。風切變可能只在短時段內影響某一跑道，因此不是每一班在該跑道移動的飛機都會遇到。

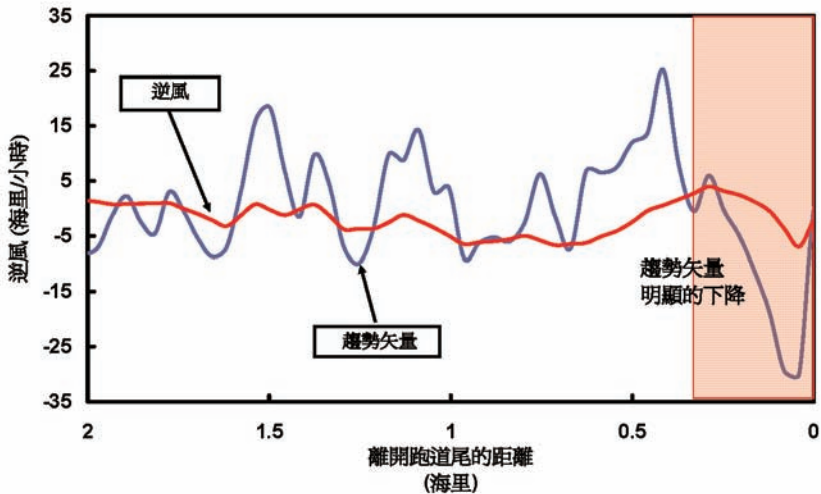
同時，根據飛行員“沒有遇到風切變”的報告(null report)和香港國際機場的天氣數據研究所得，飛行員傾向不報告或者較少報告水平空間尺度較長，比如 3 至 4 公里內出現的風切變。這些“緩變的風切變”一般在春天當香港國際機場地面吹東風時較為普遍，地面的東風經常隨高度轉至東南風，因此當飛機從機場西面降落時，遇到的逆風會慢慢增加。有提議說不要對“緩變的風切變”發出預警，但這是不實際的，因為有不少的飛行員報告還是認為它們屬於顯著的風切變。

下圖顯示一個“緩變的風切變”的例子。飛機的飛行數據及激光雷達的數據相當一致，均顯示差不多強度的顯著風切變。但是，該飛行員報告沒有遇到風切變。



尤其對於離開的飛機來說，“緩變的風切變”可能被視為不重要，這是由於起飛的飛機一般都處於全速加速狀態，飛行員一般會預期風速會隨高度逐漸增加。因此，激光雷達風切變預警系統對下降和起飛的跑道採用不同的水平空間尺度來發出預警，對起飛的飛機，所採用的空間尺度較短。

再者，根據與飛行員在各場合討論的綜合了解，飛行員在提供低空風切變報告時，除了根據逆風改變外，亦可能參考其它數據，比如在主飛行顯示器上的“速度趨勢矢量”。“速度趨勢矢量”是根據飛機過去遇到的風的數據，從而估計未來幾秒鐘飛機可能遇到的風的改變。飛機飛行數據的研究顯示，“速度趨勢矢量”有時會高估飛機實際上所遇到的風的改變。下圖顯示一個例子，當時飛行員可能根據“速度趨勢矢量”報告遇到顯著風切變，但實際的逆風減少低於 15 海里/小時。





## 飛行員須知

總括來說，飛行員應注意下列重要事項：

- 風切變和湍流有**短暫**及**間歇出現**的特性。特別是在風勢急速轉變時，例如在熱帶氣旋掠過而引致的強風吹過山脈時，情況會更為明顯。即使天氣情況大體上相同，有些飛機會遇上風切變和湍流，但有些則不會。
- **微下擊暴流預警(MBA)生效時**，飛機遇到的風切變可能並非由一般的微下擊暴流引致。飛行員**不應預期每次都出現穿越“一般”微下擊暴流時的一連串典型情況**(即逆風增強，飛機浮力增加，隨即遇到下沉氣流，繼而逆風減弱，令飛機下沉)。
- 因地形引致的風切變不一定在下雨時出現。這種風切變若在下雨時出現，可能會引發“微下擊暴流預警(MBA)”。
- 微下擊暴流所產生的風力可以是不對稱的，即一邊的風力會較另一邊強。微下擊暴流所產生的下沉氣流，可以沿傾斜的角度下降至地面，而非垂直下沉的。因此，如果你**在進場時必須穿越微下擊暴流**，你**可能不會遇到下述的“典型”情況**：即逆風增強，飛機浮力增加，隨即遇到下沉氣流，繼而逆風減弱。



- 在同一跑道走廊出現的多次風切變/湍流會被結合成單一風切變/湍流預警。請緊記，首次遇上的可能不是最惡劣的情況。同時亦請緊記，在首次遇上風切變/湍流後，仍有可能再次遇上。
- 在同一條進場或離場走廊中，可以同時出現風速增加和減少的情況，特別是在因地形引致的風切變的情況下出現的機會更大。雖然**預警系統發出的是風速減少的風切變預警，但你也有可能遇上風速增加的情況**。
- 大部份在香港國際機場的風切變和湍流皆由**強風吹越機場南面的大嶼山山脈**所致，包括因熱帶氣旋掠過而引致的強風。
- 由於香港國際機場的南跑道較接近大嶼山山脈，因此由大嶼山山脈引致的風切變和湍流，對南跑道的影響會較顯著。
- 為幫助飛行員評估在進場的最後階段時風的可能變化，每當山頂風速超越 35 海里/小時，“進場自動航站情報服務”會附加 2,500 英尺之“山頂風”。
- 在“微下擊暴流預警(MBA)”或“風切變預警(WSA)”生效期間，特別是在風速增加或減少達 30 海里/小時或以上時，應盡量避免進入微下擊暴流區或風切變區。

香港天文台不斷優化風切變預警系統，以提高它的準確性。飛機的風切變報告(PIREPs)是其中一種用來核實預警的方法。你們的支持是風切變預警服務賴以持續發展不可缺少的一環。如果你們遇到風切變或湍流，請**向航空交通管制員報告，或以圖文傳真/電郵方式把飛行員報告送交香港天文台**。風切變/湍流報告表格可於以下網頁下載：

[http://www.weather.gov.hk/aviat/amt\\_e/report\\_form.pdf](http://www.weather.gov.hk/aviat/amt_e/report_form.pdf)。

如果警告或預警生效時，你們沒有遇上，亦請通知航空交通管制員和香港天文台，因為天文台仍需知道有關的情況。香港天文台已採用及將會繼續採用你們提交的報告和問卷調查所得的資料，藉以繼續提高預警系統的效能。謝謝大家向我們提出的意見。**請繼續向我們報告風切變及湍流！**

## 未來工作

由相關的航空業界人士組成的風切變和湍流預警系統工作組定期檢討風湍警報系統的表現，亦會作出改善建議。

利用激光雷達和機場多普勒天氣雷達來探測湍流的研究正密鑼緊鼓地進行。除了飛行員的報告外，利用商用飛機的飛行數據和在政府飛行服務隊定翼機上安裝的氣象儀器所收集的渦流耗散率，將成爲發展湍流探測程式的基礎。

除了垂直風廓線外，大氣的穩定度也可以用來推導/分析地形引致的湍流和風切變出現的可能性。在香港國際機場安裝的微波輻射計（見第 8 頁）可以連續地量度溫度垂直廓線，對這方面的工作提供一個基礎。基於微波輻射計數據的嶄新風切變警告法則正在發展中。

有個別的飛行員報告遇到類似地形擾動氣流的現象，但它們的空間尺度較小，可能與在香港國際機場上的建築物有關，天文台正研究由這些結構產生的低空風效應。例如，一部高分辨率的短程激光雷達將會安裝在機場作試驗，觀測在結構下游出現的風的擾動情況，同時計算湍流強度。

另外，香港天文台正積極研究將實時風切變及湍流預警上傳至駕駛艙，使飛行員立即關注。爲配合未來上傳的應用，風切變及湍流圖像格式的原型亦正在開發中。



## 其他資料



如欲獲得更多有關本港風切變和湍流預警服務的資料，請瀏覽下列的香港天文台網頁：

[http://www.weather.gov.hk/aviat/amt/windshear\\_warning\\_c.htm](http://www.weather.gov.hk/aviat/amt/windshear_warning_c.htm)

此外，亦可參閱《香港航空資料匯編》第 GEN 3.5 節(只以英文發表)，該刊物可於以下網頁瀏覽：

[http://www.hkadc.gov.hk/HK\\_AIP/aip.htm](http://www.hkadc.gov.hk/HK_AIP/aip.htm)



有關風切變的其他資料，特別是低空風切變對飛機性能的影響，可參閱下列文件(只以英文發表)：

ICAO Manual on Low Level Wind Shear and Turbulence (Doc 9817)

US Federal Aviation Administration's Advisory Circular No.00-54 "Pilot Windshear Guide" (1988)

HKO/IFALPA/WMO/ICAO Windshear Posters, 可以在以下網頁瀏覽:

[http://www.hko.gov.hk/aviat/ws\\_poster/ws\\_poster.htm](http://www.hko.gov.hk/aviat/ws_poster/ws_poster.htm)

香港天文台網頁：[www.weather.gov.hk](http://www.weather.gov.hk)

香港天文台電郵地址：[outreach@hko.gov.hk](mailto:outreach@hko.gov.hk)

國際航空公司飛行員協會網頁：[www.ifalpa.org](http://www.ifalpa.org)

英國皇家飛行員及導航員協會網頁：[www.gapan.org](http://www.gapan.org)

香港天文台出版