

風變對空速之影響 童文海譯

Wind-Shear Effects on Air Speed

飛機為由機翼受空氣上舉力而升空飛行，風之變化影響飛行，其理至明。風變（或稱風切 Wind Shear）是一種風向風速在水平或垂直方向某一段距離內之變化。飛機由某一種風的情況飛到另一種風的情況，可能因風變引起飛機空速之突然改變，而影響飛行安全。風變可區分為風向改變與風速改變二類，通常以風向之風變影響飛機起飛者較多，風速之風變則對飛機降落影響較大。因飛機起飛時，必係逆風且大多載重大，其空速可能常僅較其失速臨界速度稍高，剛一離地升空如遇風向變化，可能即使原有之逆風風速突減因而失速，例如有界面存在，低空有風向之突變，如在跑道上原有 20K（浬/時）之逆風，起飛後低空因界面風向改變以致此 20K 之逆風突然消失，則飛機正在起飛中將發生突然失去 20K 之空速，此時飛機高度尚低，不易補救。至飛機降落係由高而下且已預知跑道上之風向。但低層風速變化較大，在降落至一千呎以下仍常可能遭遇 20-30K 之風速改變。亦能使飛機空速突然減低，此時飛機高度速度均低，操作改正不易，冒然進場易影響準確安全之著陸。美國 TWA 航空公司作有對空速與風變之專題報告，分析飛行所受影響甚為詳明，經美空軍氣象勤務部採錄為技術報告，茲摘述如下，轉供參考。

水平風變 Horizontal Shear

如圖 1 為一標準冷面之風變，在暖空氣區內為 SW 風，冷空氣區內則為 N 風，飛機向東北方穿越界面飛行，原在冷區為逆風，進入暖區則突然轉為順風，即在極短時間內遭遇完全不同之風，圖 2 為其風速與空速地速之舉例說明，在 A 處飛機空速 200K（浬/時），有逆風風速 10K，故其地速為 190K。過風變線至 B 處變為有 40K 之順風，此種風變為短時間之急突變化，飛機在此短時間內仍保持其 190K 之地速前進，而其空速則因由逆風而轉為順風將突減為 150K。俟至 C 處再逐漸恢復至空速 200K，則此時地速將達 240K。飛機飛行中有慣性作用，如遇風變其空速亦必生變化，逆風增強則空速加大，順風則使空速減小，其變量則隨風變之程度而異。飛機因風變而空速突降。如欲恢復至其風變以前之情況，必需一段

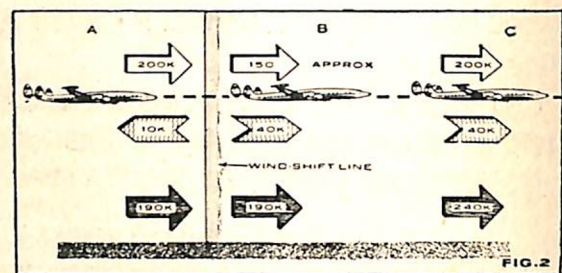
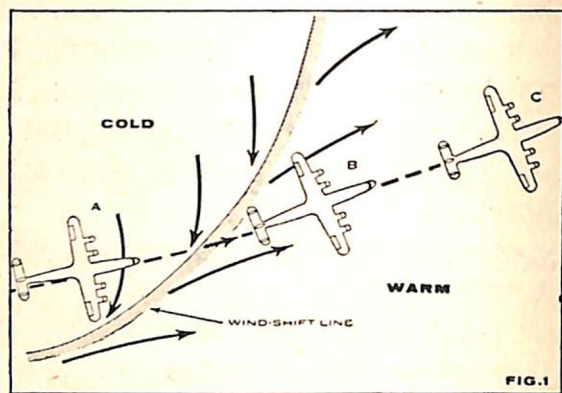


圖 1. 2.: 飛過風變線

時間，故飛行安全與否端視當時變化程度與操作改正是否能把握時間。如飛機正僅在其失速速度邊緣飛行，一遇風變降速，即能造成失速下墜，駕駛員須能及時警覺加速，以儘快恢復原來速度，尤以在飛機進場降落時，高度已低，時間已迫，最常遇之情況為原逆風進場下降，但至跑道面則為無風，即成為因風變而空速突減，此時飛機高度已低最易生危險，故飛機之安全降落速度應為飛機失速速度加上逆風風速。又如飛機在靜風中起飛，本可由跑道任何方向起飛，但至空中多不與跑道上同為靜風，如不先獲知低層之風向，則亦可造成起飛後即突遭遇順風因而空速突減之情況。發現與上述類似之危險。

飛機轉彎時如遇風變，同時可能有多種危害影響發生。如圖 3 所示舉例，飛機在左轉彎時遭遇颶線，有顯著之風變。照一般經驗，飛機將遭遇下列變動：

1. 由逆風變為順風之風變使飛機空速突然減低。
2. 機翼下反角受風變影響而迅速增大傾斜角。
3. 飛機左翼（在冷空氣側之翼）遭遇強烈下沉力，而失却平衡。

如果此時飛機又正係在進場降落，其高度速度均低，同時驟遭數種突變危險因素，影響安全至大。圖 3 為北半球常見之情況，在北半球僅以作左轉彎時須予注意。

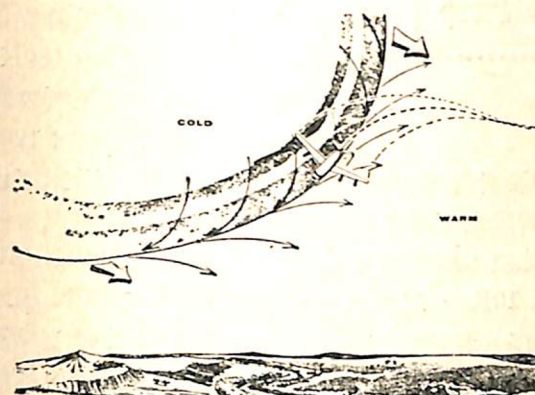


圖 3.: 左轉彎遇風變

垂直風變 Vertical Wind Gradient

近地面層之風受地形摩擦影響，其上下風速多不一致，此種風速之變化以對飛機降落時影響較大。通常地面摩擦使風速減小，故風速係自地面向上漸增強，直至地面摩擦影響消失之層為止，此層通稱為梯度層 (Gradient Level)，其厚度因地形而異，通常自數百呎以至二三千呎，其上下風速差別須視地點不同，風速強弱，溫度垂直分佈情形及地面情況等而異。通常日間差別小。夜間因溫度直減率多較穩定，上下風速差別較大。據一般分析高 20 呎處風速與高 300 呎處風速比較日間 20 呎處風速約為 300 呎處風之 82%，夜間則僅及其 40%，故如上層風速不變，下層風速日夜可相差一倍。但如地面有強烈逆溫層，或氣壓梯度急峻地區，則日間上下風速變差亦可能反而更大。

地面摩擦影響之大小可以地面崎嶇度 (Roughness) 表示之，按地面風在摩擦層內呈對數變化率，如由二不同高度測得二不同之風速即可求出此崎嶇度值；公式如下：

$$\ln Z = \frac{V_b \ln h_a - V_a \ln h_b}{V_b - V_a}$$

式中 V_a 、 V_b 為高度 h_a 、 h_b 風速，因一地地形對各種風向之風所生影響不同，故宜求出各種風向下之崎嶇度 Z 值。如已知此 Z 值，即可根據測風儀高度

h_a 測得之風速報告 V_a 而求出上空某一高度 h 之風速 V ：

$$V = V_a \frac{\ln \frac{h+Z}{Z}}{\ln \frac{h_a+Z}{Z}}$$

對一機場而言，似可先求算其各種風向下之崎嶇度，即可由地面風（跑道面風）推算進場區上空風速，比較其差異。故可先就二具測風儀，例如一在地面，一在塔台頂，先精密觀測二者風速之差異，用以求出機場各種風向之崎嶇度 Z 值，再由此 Z 值與地面風報告 V_a 求出飛機進場區下滑航線上之風速。在計算時亦可將式中自然對數 \ln 改用常用對數 \log （因係按對數比值計算），以資便捷。並應經常利用飛行員報告或其他高空風報告校驗此項推算是否準確適用。此種風變對飛機作精確安全之著陸，極有關係。尤以在有界面臨近或氣壓梯度急峻區其上下風速變差大時為甚，其如何影響飛機著陸，以下將予討論。

地面摩擦亦可使風向偏向。通常以 300 呎以上至 3000 呎間之偏向差較大，300 呎以下除有特殊情況或受界面影響，偏差甚小可予忽略，300 呎以上至 3000 呎風向約係向上順轉（順時鐘向），通常約差 20°-40°，特殊情況時有差達 70°-90° 者，通常此項風向偏差值約如下表：

地面情況	低緯度(20°)			中緯度(45°)			高緯度(70°)		
	不穩定	中度	穩定	不穩定	中度	穩定	不穩定	中度	穩定
海面	25	30	40	15	20	30	10	15	25
平坦地面	35	40	50	25	30	40	20	25	35
一般地面	40	45	55	30	35	45	25	30	40
崎嶇地面	45	50	60	35	40	50	30	40	45

由表可知風向偏離等壓線之角度係：(1)地面愈崎嶇偏向愈大。(2)空氣愈穩定偏向愈大。(3)緯度愈低偏向愈大。

飛機進場降落均係迎風下滑，而風速又均係高度愈低愈弱，故飛機降落必係遭遇風速變小因而飛機空速減低之情況。惟飛機進場降落本在減速中，故此種風變影響空速減低原屬正常情況，所應注意者為須能保持正常應有之下降與減速之比率，使不致因空速突變而影響安全。

進場速率控制 Approach Speed Control

圖 4 為一正常下降滑航剖析圖例，航線坡度為 3°，通過外標誌 (Outer Marker, LOM) 時高度為

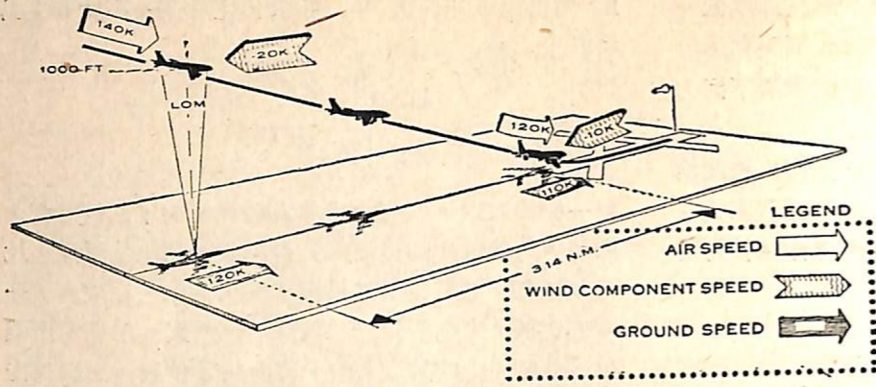


Fig. 4 NORMAL GLIDE PROFILE

圖 4：正常下降進場

1000 呎，距着陸點 3.14 哩，跑道上逆風風速為 10k (哩/時)，1000 呎高處為 20K，按一般飛機降落空速由 1000 呎高處之 140K 降至 120K，則地速之變化由 120K 減為 110K，按其平均速度計算此 3.14 哩需時 1.64 分鐘，故其下降率應為每分鐘 610 呎，此種正常下降情況飛機空速減低 20K，地速則減低 10K。此地速之變化最易因風變而引起急突變化，影響飛機作不正常之降落，極關重要，將另予分別舉例說明。

螺旋槳飛機與噴射機因機翼所受氣流之性質稍有不同，其進場速度之控制亦須有異。螺旋槳飛機可具有二種失速速度，一種是引擎開動時之失速速度，一種是引擎停歇時之失速速度。因引擎開動螺旋槳轉動可產生一股氣流沿機翼後流，此可使機翼藉以增加升力，較之引擎停閉時飛機僅以前衝所受氣流而生之升力為大。故開動引擎之螺旋槳飛機可以較慢速度飛行。噴射機則無此因素，其機翼所受氣流純由飛機前衝速度而定，無關引擎開閉。故螺旋槳機如發現進場過早空速過低，可以控制油門藉螺旋槳轉動之氣流以增加機翼上升力。使飛機不致下降太快而漸改正至正常之進場下滑航線。但噴射機則不同，如發現進場過早，必須先抬高機首以改正進場下滑航線，因抬高機首則機翼衝角增大，阻力增加，獲得升力，此時又必須同時加油門以增加衝力抵抗阻力，使飛機速度仍能保持不變。故噴射機進場速度控制須同時注意升降舵及油門之操縱，時間上亦更較緊迫。

順風進場 Tailwind Approach

設某機場南方有低壓，如圖 5 所示，其氣旋性氣流使機場上空梯度風為東風，跑道面上之風則為 NNE 風，如圖 5 放大 A 區所示。此對東西向之跑道而言，在場面風速既小，風向又與跑道垂直，應無所謂順

風或逆風，但一千呎處之梯度風為 E 風，係平行於跑道，如僅參照地面風報告可任由東向西進場，即可能發生順風進場之情況。

圖 6 為此情況下順風進場之例，與圖 4 正常情況比較，空速完全相同；由 140K 降至 120K。在外標誌 (LOM) 處高一千呎遭遇 40K 之順風，至着陸點則無順風，故其地速應為由 180K 降至 120K。由外標誌至着陸點間 3.14 哩按平均地速 $(180 + 120) \div 2 = 150K$ 計算應需時 1.25 分鐘，故下降一千呎應以每分鐘 800 呎之下降率為極準確之着陸。此與正常情況 (圖 4) 比較，即空速相同，原正常地速由 120K - 110K 僅減低 10K，現順風進場則由 180K - 120K 須減低 60K 之多。着陸時間亦由原正常之 1.64 分鐘須縮短為 1.25 分鐘。故問題在於能否來得及改變空速以適應此小範圍之風變影響。照此情況順風進場因地速增大，將發生進場過高，着陸點過遠，如圖 6 虛線所示，將遭遇跑道不夠現象，如遇跑道有水或較滑時更易招致危險。又如前節所述在低空摩擦層內風向多係由下向上順轉，亦即由上向下逆轉 (風向作反時針方向轉變)，故如飛機以左轉下降進場，將正與風向變化相同，亦更能因順風轉彎而成轉彎進場過高之情況，惟通

常此種左轉影響尚不如上述順風進場之影響為大。照飛行經驗遇此情況必須及早改正而不願冒險進場過高之險。因如飛機已逼臨跑道面上，將不及改正而須重作第二次降落。

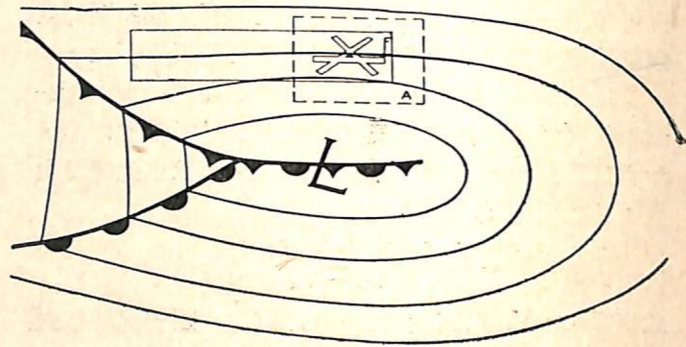
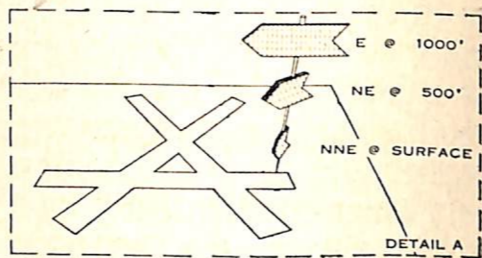


圖 5：南方有低氣壓之機場上空風向

結 論

1. 風變引起飛行中空速變化，乃極常有者，其影響似雖不太重要，但對安全精確之起飛與降落影響頗大。防護辦法有賴飛行員以迅速及時之操作改正，控制進場速度，始可免受其危害。

2. 風變影響飛機起落多以進場區高度之風與跑道面之風二者之差 (亦即梯度風與地面測風儀測報之風二者之差) 為最重要因素。

3. 目前機場上空逐層詳細測風報告仍無法隨時準確測報供應，故飛行人員應先注意高空風有無顯著變化，並隨時注意空速與地速之差以估計之。

4. 除有顯著地形影響外，通常如沿某一方向視跑道上為偏右之側風，則進場區上空必為順風，風速較跑道上風為強 (摩擦層風向向上順轉律)。如在氣壓梯

度大之地區，梯度風更強較地面風強，相差更大。反之如為偏左之側風，則將遭遇逆風進場。

5. 遇有不正常風變情況，首須作保持適當空速之措施。飛機安全降落速度應為失速速度加逆風風速。起飛中及爬升前均須具有足夠的空速，以免受風變不能照預定爬升航線升高，甚至撞山。如風有陣性變化，則應將飛機空速略提高 (約提高最大陣風速與平均風速差數之半)。

6. 風變對巡航中飛機影響不大，但可引起顛簸，其大小與飛機速度成正比。故將遭遇強風變時宜即減速至適當之穿越速度以減顛簸。

7. 界面多易引起風向之風變，逆溫則多借有風速之風變，雷雨則二者皆備。

摘譯自：AWS TR 163 "Wind-shear Effects on Air speed"

AWS OP Digest Vol. II. No. 5.

Byers: General Met.

Haltiner & Martin: Dynamical Met.

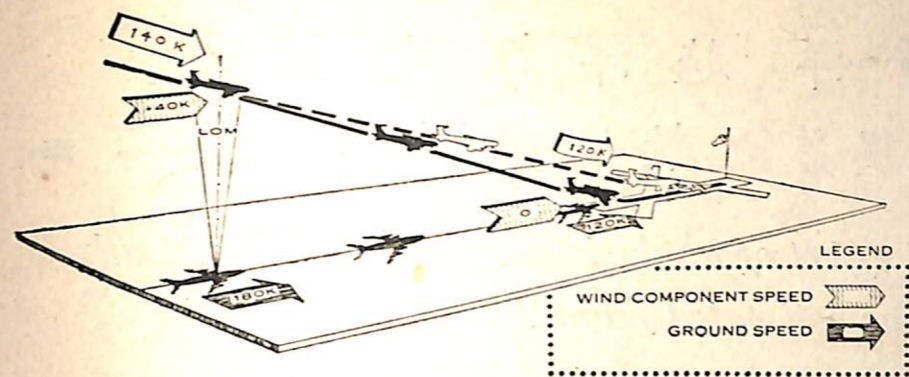


圖 6：順風進場

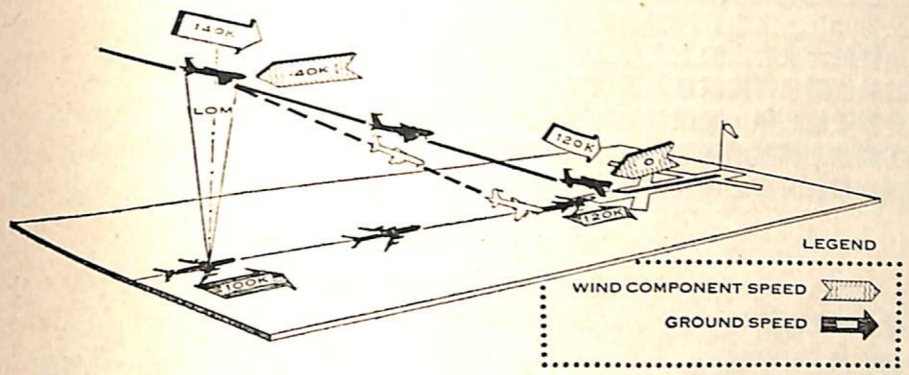


圖 7：逆風進場

常此種左轉影響尚不如上述順風進場之影響為大。照飛行經驗遇此情況必須及早改正而不願冒險進場過高之險。因如飛機已逼臨跑道面上，將不及改正而須重作第二次降落。

逆風進場 Headwind Approach

照上例如改由自西向東進場降落，即為遭遇逆風情況，如圖 7 所示。在一千呎高處有 40K 之逆風，至地面則無逆風，如飛機仍按原正常空速進場，則因逆風使地速減小，在外標誌處僅為 100K，至着陸點始增為 120K，按其平均地速計算此 3.14 哩應需時 1.71 分鐘，故應以每分鐘下降 580 呎之下降率始可作正常進場着陸。此與正常情況比較則地速過低將成為進場太近着陸過早如圖 7 虛線所示情況。又通常風速均係上空較強，地面較小，故逆風進場下降時所遇逆風風速必係逐漸減小，亦即使空速漸減，本屬正常情形前已述及，惟應注意者是否有突急或較大之變差，並隨時注意及早改正措施以獲得精確而安全的進場降落。