

AC 90-95 直昇機不可預期之右偏

日期：1995/12/26

編者：AFS-804

壹. 目的。本 AC 將討論直昇機在何種情況下會產生不可預期的右側轉現象，如何防止，及駕駛員如遭遇此情況時，應如何處理。

貳. 相關參考書藉。

貝爾直昇機緊急及正常操程序補充版直昇機教材；操作安全 NOTICE, OSN 206-83-10(1983/10/31), 貝爾直昇機教材；會導致不可預期向右偏側的低速飛行特徵，資訊文件 206-84-41 及 206-84-27(1984/7/6)貝爾直昇機教材；Sneelen, D.M., OH-58 尾旋翼效能喪失—為何發生，美國陸軍航空文摘(1984 年 9 月)，美國陸軍航空中心，Prouty, R W, 背風原地轉：喪失方向控制，旋翼及固定翼(1994 年 5 月)，Phillips Business Information, 附件，OH-58 LTE 問題, Flightfax：陸軍飛機失事報告，卷 13, No 32 (1985/5/22), 美國陸軍安全中心；喪失尾旋翼效能.... 是與不是, Flightfax: 美國陸軍失事報告, 卷 14, No. 1

(September 25, 1985), 美國陸軍航空安全中心;美國陸軍, *OH-58 直昇機操作手冊*, TM 55-1520-228-10, 美國陸軍; 美國海軍航空訓練指揮部, *飛訓指導*, TH-57 (1989), 美國海軍訓練指揮部。

參. 背景

「不可預期的向右偏轉」, 或是「尾旋翼效能喪失」(LTE), 已確定是造成美國陸軍不同機型直昇機一連串失事的重要因素。國家運輸安全委員會(NTSB)亦証實 LTE 是造成數起民間航空公司駕駛員因遭遇喪失操控能力而產生之直昇機意外的重要成因。不適當或改正過晚多數是導致產生不可控制偏轉的主因。上述的不幸事件都發生於低距地高度、於低空速飛行區域內操控飛機、於五邊進場落地、於低空奇襲戰術飛航時(nap-of-the-earth tactical terrain flying)等。較典型而相關的民間公司營運項目包括高壓電纜巡線、電磁測量、農噴、家畜群牧、警方/空中無線電廣播之交通監管、緊急醫療服務/救援、支援電影或電視拍攝。

肆. 「尾旋翼效能喪失」的現象

一. LTE 是一具迫切性的低空速空氣動力學飛航特

性, 可能產生無法控制及無法自行消退的快速率偏側,

若不改正將造成尾旋翼效能喪失。

二. **LTE 無關於機械保養失效**，當飛行空速低於 30 knots 而又風向不定時，它會發生在使用單一主旋翼系統的所有直昇機類型。操控能量不足並非全然是造成 LTE 的因素。抗扭力可操控範圍(anti-torque control margin)是經過美國聯邦航空局(FAA)執行精確測試，確認其抗扭力能量可合理而足夠的在陣風情況下提供直昇機於設定的側/後向速度範圍內飛航。該項測試先假設駕駛員對欲駕駛直昇機的關鍵性(critical)風向方位有充足的知識，並在不允許過量偏側率產生的原則下執行直昇機操控測試。

三. **LTE 已經證實為數起有關直昇機因喪失操控能力而造成意外的重要因子**。在低高度及低空速情況下飛航，而駕駛員又分心未注意直昇機操控動態特別容易產生此種現象。下述為三種此類型意外的例子：

1. 一架直昇機在進場落地階段發生操控能力喪失而撞地。該名駕駛員述說當時正對著山脊線上的落地區進場，當到達距地高度(AGL)70 呎，空速 20 knots 時因遭遇陣風而喪失方向控制。該直昇機開始沿著旋翼

主承桿快速向右旋轉。駕駛員在直昇機觸地前都無法獲得方向控制。

2. 一架直昇機在距海平面(MSL)14100 呎高度撞擊派克峰(Pike's Peak)山頂。駕駛員敘述在喪失尾旋翼效能之前，一度以低高度通過峰頂而在遭遇 40 knots 的頂風之後便喪失方向控制而撞擊地面。

3. 一架直昇機進入不可控制的向右旋轉而撞擊地面。當直昇機發生不可預期的向右旋轉時該名駕駛員正在距地約 300 呎高度操作。因無法重獲控制，他關停動力並企圖在市立公園內實施緊急迫降。

伍. 認識 LTE 現象。要了解 LTE 現象，駕駛員首先需了解抗扭力系統的功能。

一. 在美國製造的單主旋翼系直昇機，其主旋翼如由上往下看其旋轉方向為逆時鐘方向。主旋翼所產生的扭力會迫使機身向反方向旋轉(機頭向右)。抗扭力系統提供推力以抵消扭力並提供滯空時之方向控制。

二. 某些歐洲及蘇俄製造的直昇機，由上向下看主旋翼是以順時針方向旋轉。此情況下，主旋翼產生的扭力將使機身向反方向旋轉(機頭向左)。抗扭力系統提供推

力以抵消扭力並提供滯空時之方向控制。

附註：本 AC 將專注於美系製造的直昇機。

三. 尾旋翼推力的產生是因駕駛員施加力量於抗扭力腳踏。若尾旋翼產生的推力大於對抗主旋翼抗偏扭力需求則該直昇機將沿著垂直軸向左偏側或轉動。若尾旋翼產生的推力小於抗偏扭力需求則該直昇機將沿著垂直軸向右偏側或轉動。駕駛員在滯空時即藉著增減尾旋翼推力大小保持航向控制。

四. 在無風情況下，若主旋翼保持其輸出扭力不變則尾旋翼產生對抗直昇機左或右偏的推力將為一定值。此時之尾旋翼推力即為大家熟知的「協調推力」(trim thrust)。直昇機在此情況下滯空，駕駛員欲保持航向不變就必須使尾旋翼產生之推力相等於協調推力。

五. 直昇機飛行的環境是無法予以控制的。直昇機必須面對不斷變化的風向及風速。直昇機尾旋翼推力在實際飛行時會因應風的影響而不斷改變。若飛行中產生非控制性的飛機向右偏側，可能就是因為風造成的尾旋翼推力效能減低。

六. 風也可能增加抗扭力系統之推力。此情況將造成

直昇機產生非控性向左方偏側的反應。風有能力而且一定會造成抗扭力系統推力產生變化。某些特定風向的相對風似乎比其他風向的相對風更會造成尾旋翼推力變化。這此特定風向或風向區塊產生了尾旋翼效能喪失(LTE)的環境。

陸. 何種情況會造成 LTE 發生。

- 一. 飛行員必須在高動力、低空速而又是左側風或後側風的情況下操作飛機時，即是處於發生非預期性向右偏側的環境。
- 二. 向右轉彎時最易產生 LTE 的情況。特別處於低空速情況下，駕駛員可能無法停止飛機旋轉。直昇機會企圖向右偏側。駕駛員能否於飛機產生非控制性向右偏側之初及時更正(時效性)將是問題關鍵。駕駛員如立即增加大量的左舵，偏側情況將非常易於改善。若改正方式不正確或改正太慢，偏側率將快速增加以至於無法改正。
- 三. 經由電腦摹擬，當飛行由左側風情況(駕駛員為修正偏側而施用大量右舵)轉變至後側來風時，駕駛員若延誤修正方向舵操控方向則可能喪失方向控制且飛機

在停止前已旋轉超過 360 度。

- 四. 駕駛員必須能預期這些變化，專注於操控飛機，絕不允許偏側率產生。在可能產生 LTE 的環境下執行向右轉彎必須非常小心。

柒. 飛行特徵

- 一. 飛機製造商已執行過密集的飛行及風洞測試。測試結果發現在四種相對風方位的控操區及其衍生的飛機特徵會產生(非常嚴重的或是複合性的)不利於飛機操控能力的 LTE 誘發性環境。執行這些測試獲得最直接的結果之一，就是駕駛員於低空速飛行而又操作於此特定操控區域所產生的驚人工作負荷。
- 二. 雖然已經確認出特定操控區域的風向方位，但駕駛員仍要了解相對風是會隨著外界情況而改變其方位的。這些操控區域是會相互重疊的，而最明顯的扭力變化就發生在此種重疊的操控區域。
- 三. 這些特徵會在空速 30 knots 以下發生而且適用於所有單主旋翼系的直昇機。經由飛行測試的資訊，證實尾旋翼並不會在此測試期間失速。
- 四. 這些飛機特徵以及相對風方位的控操區域為：

1. 主旋翼旋轉面渦流影響區域 (285° 到 315°)。(見圖

1)

- a. 由左前方約 10 到 30 knots 的來風將致使主旋翼渦流被相對風吹入尾旋翼。此種主旋翼旋轉面渦流會導致尾旋翼始終運轉在一極端亂流的環境下。
- b. 在執行向右轉彎時，當尾旋翼進入主旋翼旋轉面渦流區之時，會遭遇尾旋翼推力減低。減少的推力源自於主旋翼旋轉面渦流區在通過尾旋翼旋轉面的同時造成了尾旋翼空氣流動的變化。主旋翼旋轉面渦流會導致尾旋翼葉片攻角增加(推力增加)。
- c. 針對該增加之攻角，駕駛員為維持飛機固定的轉彎率就必須增加右舵用量(減少推力)。
- d. 當主旋翼旋轉面渦流通過尾旋翼後，尾旋翼攻角會減低。減低的攻角造成推力減低而致使向右側的速率開始加速。由於駕駛員已在先前增加了右舵用量，造成這種加速情況非常快速而驚人。

e. 發生這種推力減少情況很突然，然而，若不改正，將使飛機衍生成為順著主承桿快速而又不可控制的旋轉。駕駛員必須了解，操作於此種環境發生尾旋翼推力減低的情況會非常突然，必須隨時準備以快速而大量的左舵來修正此種推力減低情況。

2. 風標穩定現象(120° 到 240°) (見圖 2)

- a. 120° 到 240° 來向的尾風，一如左側風，會造成駕駛員很高的工作負荷。尾風最為顯著的特性是它們等於飛機的側向加速器。此區域內的風會企圖將飛機機頭轉向對正相對風就如同風向計。機身及垂直尾翼是造成此種特性的原因。
- b. 駕駛員若不施加方向舵修正，直昇機會自動依風向位置向左或向右緩慢轉彎。若正操作飛機向左或向右轉彎，當相對風到達 120° 到 240° 範圍之後，而又未以方向舵修正則飛機會向已建立的轉彎方向加速。
- c. 若直昇機移動到此操作區而駕駛員又允許此種側向加速率繼續發展，則此種加速會非常的快速。

當操作在此尾風情況下，駕駛員是否能保持控制
絕對的飛機側向加速率並全神貫注操控飛機將是
極為重要關鍵。

- d. 若駕駛員對保持飛機操控能付出合宜的注意，則
直昇機還是可在上述的相對風操作區內安全的操
作。若飛機處於上述的相對風操作區之一且開始
產生向右偏側現象，此同時駕駛員又分心於其他
的事務，則偏側率可能會快速增加。

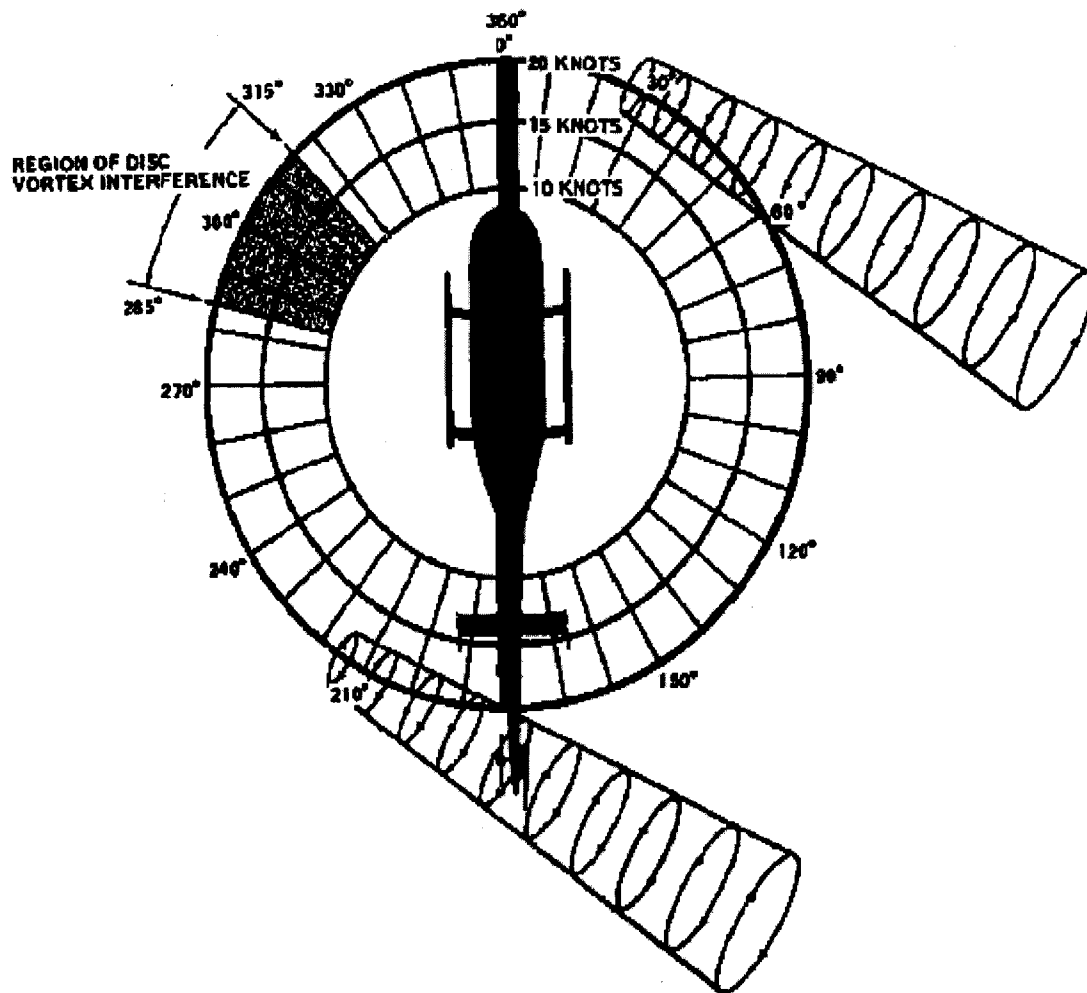


FIGURE 1. MAIN ROTOR DISC VORTEX INTERFERENCE

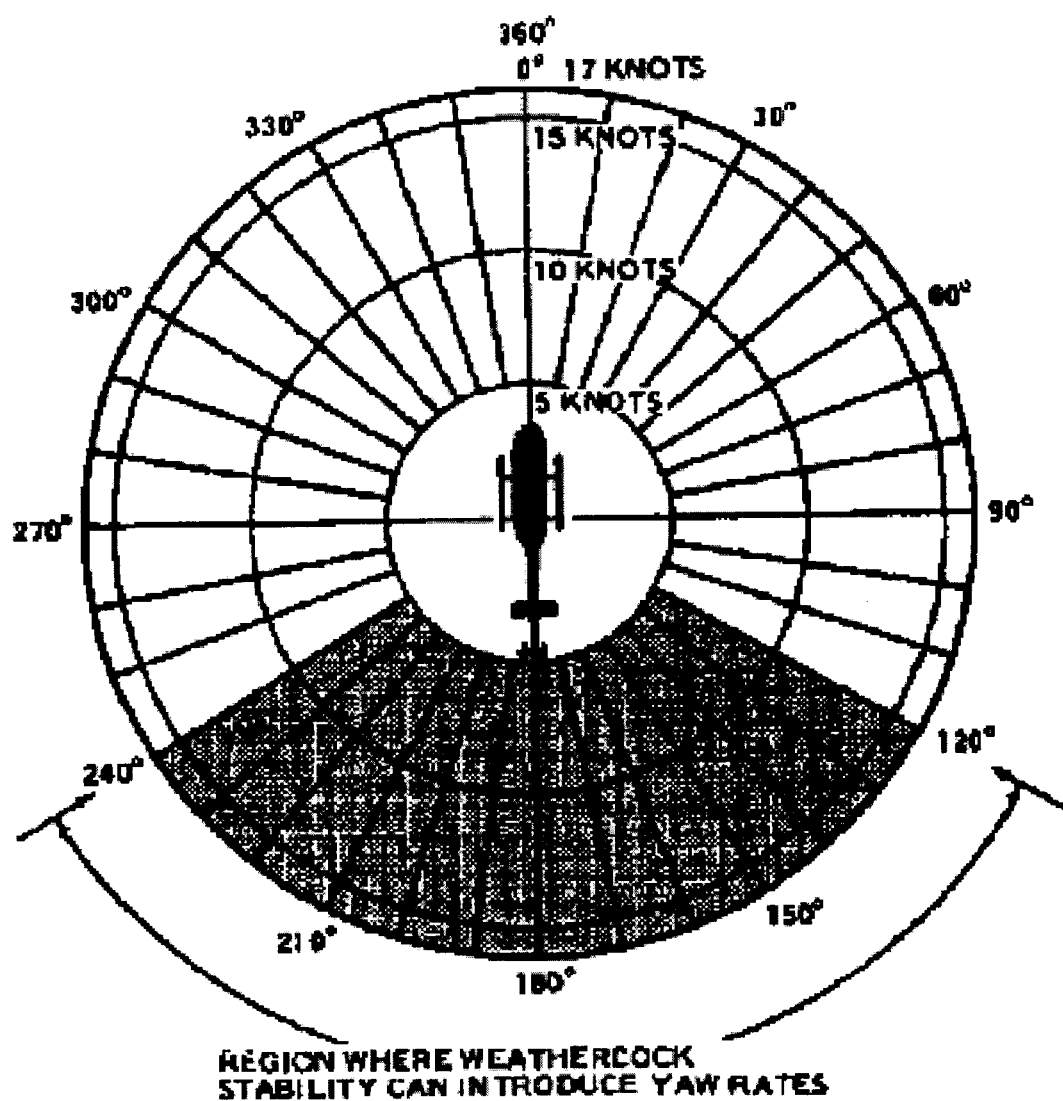


FIGURE 2. WEATHERCOCK STABILITY

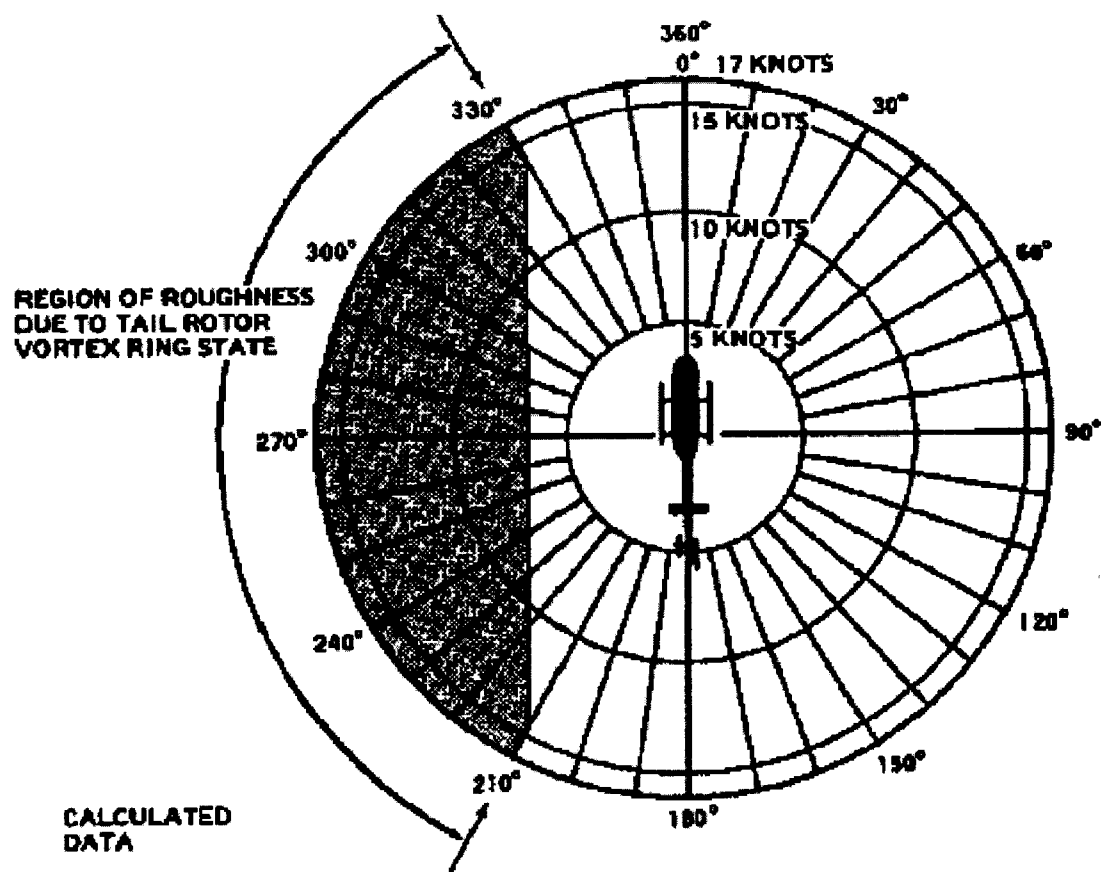


FIGURE 3. TAIL ROTOR VORTEX RING STATE

3. 尾旋翼環狀渦流(210°到 330°)(見圖 3)

22
17

- a. 來自此範圍的風會造成尾旋翼環狀渦流生成。大氣流經尾旋翼，會使尾旋翼向左的推力增加。左側的相對風卻會防礙此種尾旋翼推力生成。它造成環狀渦流(使得流入尾旋翼的大氣變得非常不規則且不穩定)生成。環狀渦流致使尾旋翼推力產生改變進而導致側向的偏移。不穩定氣流最終的影響是導致尾旋翼推力的振蕩。這就是為何在左側風情況下滯空必須以方向舵快速而持續修正的原因。
- b. 在真實狀況下，駕駛員會不斷補償尾旋翼推力的快速變化。在此操控區內要保持飛機精確航向非常困難。若駕駛員過量操控飛機，可能會發生 LTE。
- c. 大家都知道直昇機在此操作區工作時，照例都會因尾旋翼環狀渦流造成很高的方向舵操作負荷。只要不延誤修正動作，此種飛行特性並不會造成嚴重問題。
- d. 當產生的推力低於所需之推力需求，直昇機將開始向右偏轉。在左側風情況執行滯空，駕駛員必須專注於協調而平順的控制方向舵，決不允許

產生未經控制的右側轉。

- e. 若已產生右側轉，直昇機將轉入風標效應產生區域並將使右側向的加速率增加。駕駛員在產生環狀渦流的情況下操作，其工作負荷將很高。絕不允許向右側轉率增加。

4. 喪失傳導升力(所有方向)。

- a. 喪失傳導升力將造成馬力需求增加及額外的抗扭力需求。
- b. 當以最大馬力或接近最大馬力操作，類此之飛行特性會因下述二原因而與LTE有密切關聯。第一，若駕駛員因故未注意而導致飛機開始向右偏轉，他可能未發現自己已經脫離原本對正的風向，而就在此時，傳導昇力開始減低。第二，若駕駛員於下風邊執行右轉而又未能維持空速，當飛機因開始下沉而增加馬力就可能造成向右的側轉加速。駕駛員疏於注意風向風速又將導致突然的喪失傳導昇力。若在最大馬力或接近最大馬力操作情況下，再增加馬力(提高變距桿)將導致主旋翼轉速衰退。

- c. 駕駛員必需持續觀察飛機航向，通過地面軌跡，與地面相對速度，據以判斷飛機因風造成之飄移情況及感知速度變化。放任直昇機在地面上方順風飄移會喪失相對速度，同時減少傳導升力。傳導升力減少必將造成馬力及抗扭力需求的增加。

捌. 其他因子

下述因子會造成 LTE 的惡化。

- 一. **總重及密度高度。**前述因子無論何者增加都會減少界於最大可用馬力及滯空馬力需求之間的範圍。駕駛員操作於低距地高度、低空速情況，應以最低的重量為之
- 二. **低指示空速。**在低於產生有效傳導升力以下的空速飛行，尾旋翼必須產生 100% 的力量用來控制方向。無論任何原因，只要尾旋翼無法提供所需之推力，飛機就會向右偏轉。
- 三. **轉速(馬力)衰退。**快速的施用馬力(增加變矩)可能會導致瞬間轉速(馬力)衰退。主旋翼轉速有任何減少都將造成尾旋翼推力相對的降低。駕駛員必須預期此種現象產生同時增加左舵施用量以消除主旋翼產生的扭

力。施用馬力時應儘量平穩以期能將轉速(馬力)衰退效應降至最低。

玖. 降低LTE的危害。要降低LTE的危害，駕駛員應：

- 一. 依據維護手冊**確證尾旋翼已正確裝配**。
- 二. 保持帶動力最大旋翼轉速。若主旋翼轉速降低，抗扭力可用推力亦相對的降低。
- 三. 操作在滯空到 30 knots 範圍內：
 1. 避開尾風。若發生喪失傳導升力，將導致高動力需求及額外之抗扭力需求。
 2. 避免於無地面效應(OGE)下滯空及高馬力配置情況，例如低速於下風邊轉彎。
 3. 當於風速大約 8 到 12 knots 滯空(特別於無地面效應情況下)，要特別注意風向及風速的變化。並無明顯跡象可供駕駛員察覺傳導升力已減低。喪失傳導升力會導致不預期的高動力需求及高抗偏之扭力需求。
 4. 如已施用相當量的左舵，要注意可能在遭遇不預期右偏後飛機無法提供足夠之左舵修正用量。
 5. 當延著山脊線及繞著建築物飛行，改變飛行及風的環境時應預警可能發生的情況。

6. 始終保持對馬力及風的環境警覺。

壹拾. 建議之改正技巧

- 一. 若發生無預期右偏，駕駛員應執行下列：
 1. 同時施用全量之左舵，駕駛桿前移以增加空速。若高度許可，降低馬力。
 2. 若情況已獲改善，回復正常向前飛行操作。
- 二. 減低集體桿對控制偏側率有幫助但會造成下降率增加。為避免撞擊地面或障礙物而快速又大量的增加變矩桿，將造成偏側率更大且降低主旋翼轉速。
- 三. 決定集體桿減低的量應視距障礙物或地表的高度，飛機總重，及現場大氣環境等而定。
- 四. 若無法停止側轉而即將面臨碰撞，立即實施自轉是最好的方法。駕駛員在飛機未停止旋轉前應保持左全滿舵，停止後再調整至欲保持之航向。

壹拾壹. 總結

- 一. 不斷改變的風向會造成轉彎率不斷變化(方向舵保持位置不變)。唯駕駛員須牢記尾旋翼並未失速的定律。改正的方式為向旋轉的反方向施用方向踏舵。
- 二. 要避免 LTE 最好的方法為駕駛員相關知識豐富並

避開會誘發 LTE 的環境。適當而及時的反應是必要的關鍵。

三. 借由保持對風及其對飛機產生影響的敏銳警覺，
駕駛員才能有效的降低 LTE 的發生。

Willian J. White

飛航標準組，副組長