

安全考量因素

EHEST
Component of ESSI



增進直昇機駕駛員能力之作法

訓練宣導手冊(中文版)



HE 1



目錄

序言	5
目的	5
1.0 逐漸惡化之目視環境	7
1.1 直昇機操控特性	
1.2 駕駛員能力	
1.3 目視參考	
1.4 風險分析	
1.5 飛行中	
1.6 喪失目視參考	
1.7 結論	
2.0 環狀渦流狀態	12
2.1 環狀渦流的形成	
2.2 環狀渦流效應	
2.3 駕駛員脫離環狀渦流的改正動作	
2.4 防止環狀渦流產生	
3.0尾旋翼喪失效能 (LTE)	14
3.1 LTE發生時機？	
3.2 如何避免LTE發生？	
3.3 LTE改正方式	
4.0 動態及靜態失控翻滾	16
4.1 靜態失控翻滾	
4.2 動態失控翻滾	
4.3 預警事項	
飛行前計畫檢查表	21



序言

歐洲直昇機安全執行小組(EHSIT)隸屬歐洲直昇機安全小組(EHEST)，專門負責執行由歐洲直昇機安全分析小組(EHSAT)研發確認之各類建議執行事項(IRs) (參閱最後報告 – EHEST歐洲直昇機意外分析2000 – 2005 ^{註1})

本宣導小冊係以改善安全，分享好的(操作)習慣為主軸，為一系列安全相關宣導刊物的首版刊物。各宣導小冊將討論國際公認之訓練相關議題以強化飛安，亦可經由網路免費提供駕駛員相關訓練及視頻教材。

目的

在檢視歐洲直昇機安全分析小組(EHSAT)資料中，發現有顯著連續多起數量的直昇機意外事件，都與駕駛員因逐漸惡化之目視環境而產生空間迷向、環狀渦流狀態、尾旋翼喪失效能及靜態/動態失控翻滾有關。因此，本宣導小冊藉由提供前述各種問題的適切資訊，讓駕駛員瞭解意外發生的原因及預防改正措施，採取較佳而睿智的決定，進而達到改善直昇機操作安全之目的。

^{註1}：參考文件：最後調查報告 - EHEST歐洲直昇機意外分析2000 – 2005 (ISBN 92-9210-095-7)

6 >> Safety considerations for helicopter pilots



1. 逐漸惡化之目視環境 (DVE)

駕駛員因逐漸惡化之目視環境(DVE)導致空間迷向而產生顯著連續多起數量的直昇機意外事件。研究顯示，直昇機不穩定特性及可用的目視參考物之間有很強烈的關連性。

顯而易見，當目視參考物不足、直昇機不穩定特性及駕駛員飛行能力等三種問題合併發生時(單一情況較易克服)，極可能發生無法控制之飛航情況。

分析顯示下列三種情境之任一種或合併發生，將導致嚴重的意外：

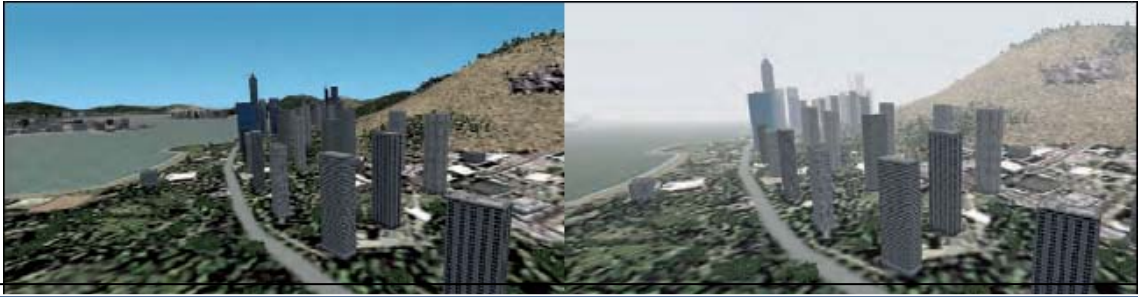
- A >> 當企圖操控直昇機避開能見度不良區域，亦即企圖以折返、爬升或下降方式避開逐漸惡化之目視環境(DVE)而導致失控。
- B >> 駕駛員不預期飛入儀器天氣情況(IMC)，轉換為儀器飛行時產生空間迷向或失控。
- C >> 駕駛員喪失情境認知，導致直昇機在可操控情況下撞擊地面/海面/障礙物或空中相撞。

1.1 直昇機操控特性

直昇機固有的不穩定特性是產生類此意外之主因。對無穩定系統協助的小型直昇機而言，駕駛員必須利用外界目視參考物保持直昇機穩定。

1.2 駕駛員能力

雖然多數的駕駛員都接受過有限的基礎「儀器飛行」訓練，然此操作技能會快速生疏，因此沒有準備好的駕駛員不能寄望於進入儀器天氣情況後，總能安全脫離。



1.3 目視參考

事實顯示，有顯著數量的失事事件，主要肇因皆為目視參考物的減少。造成可用目視參考物減少的一般因子，包括：

- A >> 週遭環境光度不足，導致現場及目視參考物之目視品質全面下降，例如沙塵/夜晚。
- B >> 因霧或雲的影響，造成視距下降及/或無法目視地面/海面。
- C >> 出現霾或強烈日光。
- D >> 夜間飛行時，缺少地形地物參考，例如建築物、馬路及河流，或無照明的街道等等。
- E >> 飛越海面/水面缺少水上參考物，亦即，平靜水面。
- F >> 處於背景輪廓不明顯不易判斷上、下坡的環境，亦即，雪原。
- G >> 易造成錯誤判斷的目視參考，例如：遠距離的一排街/路燈，造成水平面的假象。
- H >> 降水或薄霧，造成駕駛艙窗戶模糊。

1.4 風險分析

當計劃執行「目視地表」之目視飛航，飛行前應將下列數個明顯的風險因子列入考量：

- 1 >> 經認證僅可執行目視飛航規則(VFR)/目視天氣情況(VMC)之航空器。
- 2 >> 駕駛員未接受過儀器飛航訓練/未保持儀器飛航資格。
- 3 >> 駕駛員未接受/未保持不正常姿態改正訓練之資格。
- 4 >> 使用地圖及目視參考物飛航，也許另以GPS協助導航。
- 5 >> 計劃於地表模糊不清、不易判斷之高地飛航。
- 6 >> 計劃之飛行路線中，將飛越鄉野、無人居住地區或大片空曠地表，如水面、雪地等等。
- 7 >> 於夜間或天氣「陰暗不良」狀況下飛航。
- 8 >> 在無月光，或月光及星光暗淡的夜間飛航。
- 9 >> 飛行路徑中，有顯著(或可能有)多層之低雲(4/8到8/8雲量)。
- 10 >> 航路能見度到達或可能到達最低限制，亦即，目視距離已達或接近安全飛行之最低需求(此時之能見度可能明顯高於規定之最低能見度需求)。
- 11 >> 航路上極可能遭遇薄霧/濃霧/霾。
- 12 >> 航路上極可能遭遇降水。



如果將前述危險因子組合視為風險評估檢查表之項目，隨著各危險因子勾選數量的增加，自然將使風險強度增強。例如：

- 在良好的目視天氣環境下，如果勾選1至4項危險因子，則其風險強度為可接受的。
- 經驗顯示，如果勾選1至9項之危險因子，該次飛行應予取消。
- 7至12項之危險因子如果都被勾選，駕駛員將極不可能僅憑目視參考，操控航空器保持飛航姿態。

1.5 飛行中

直昇機一旦昇空，下列危險因子將隨之產生：

- 13 >> 週遭環境光度不足。
- 14 >> 無法目視天地線，或僅能約略目視天地線。
- 15 >> 地表面幾乎沒有目視參考物。
- 16 >> 僅憑目視參考，無法感知或僅能約略感知速度及高度變化。
- 17 >> 降低高度無法改善對天地線或地面參考物的目視程度。
- 18 >> 因降水/薄霧造成駕駛艙向外看的視線模糊不清。
- 19 >> 雲底高度不斷下降，造成駕駛員為保持目視前方相同參考物，而非計畫性的下降高度。

完成飛行前風險評估後，飛行中應再將潛藏之風險因子納入考量，例如：

- 飛行前之風險評估雖僅勾選1到4項，如在飛行途中遭遇13到19項之任一風險因子，飛行風險將顯著增加。
- 第13到19項風險因子都告訴駕駛員須極度小心(亦即告訴駕駛員須柔和操控直昇機)且應認真考量終止本次飛行，並在安全無虞、全程掌控情況下實施預警落地。

1.6 喪失目視參考

如喪失外界目視參考，防止駕駛員產生空間迷向，駕駛員應立即將注意力集中於航空器飛行儀器並據以規劃安全飛行路線。快速執行風險評估，考量天氣、地形、航空器限制、油量及駕駛員能力等因素，是加速規劃安全飛行路線的關鍵。前述之安全飛行路線需駕駛員於建立儀器飛行之後，配合執行回航、下降或爬升至安全高度或合併執行前述動作以完成改出。

1.7 結論

不論飛航前計劃或實際飛航階段，風險分析及適時決斷是駕駛員的二代工具。不斷更新並評估所有可用資訊，可協助駕駛員辨識逐漸惡化目視環境之各種潛藏危機。經由預先採取適切行動，可防止情況惡化至超出駕駛員的飛行技術、能力及/或直昇機儀器飛行能力之外，而造成無法安全處理的危急階段。



2. 環狀渦流狀態

環狀渦流狀態經常與固定翼的失速相提並論，直昇機在帶動力下降過程中，進入本身產生的下洗氣流稱為環狀渦流；在相同的馬力配置下，導致下降率劇增(典型的動力下沉所產生的下降率至少大於進入環狀渦流前三倍)。

2.1 環狀渦流的形成

當空速30哩/時以下，直昇機帶動力飛行下降時之下降率趨近主旋翼「下洗氣流速度」，即可能發生環狀渦流。

下洗氣流速度或下洗誘導速度定義為空氣於通過旋翼旋轉盤後向下移動的速度(佛羅德方程式)。誘導速度是直昇機型別及總重的函數。舉例來說，總重2250公斤而直徑為10.69公尺的三片主旋翼葉片直昇機所產生的誘導速度為每秒10公尺/(1000呎/分)，然而，總重1000公斤而直徑為11公尺的二片主旋翼葉片直昇機所產生的誘導速度為每秒6.5公尺 (700呎/分)。因此，環狀渦流狀態明顯將隨著直昇機的型別及總重不同而改變，但一般認定不安全的下降率是每分鐘大於500呎(帶動力下沉)。

2.2 環狀渦流效應

- 渦流自旋翼尖分離造成震動。
- 不穩定的氣流不斷地改變推力及操控力矩，造成俯仰與滾轉軸之操控遲緩。
- 大量阻力變化衍生推力變動，造成馬力(扭力或歧管壓力MAP^{註2)}需求不斷改變。
- 隨著渦流的演化，造成下降率不正常增加，甚至可能超每分鐘3,000呎。

2.3 駕駛員環狀渦流改正動作

改正行動可運用駕駛桿及/或集體變矩桿，但由於旋翼系統不同，有時僅運用駕駛桿將不足以修正直昇機姿態而獲得空速。將集體變矩桿降至最低也可能脫離環狀渦流，但僅使用減低集體變矩桿改正，在改出過程中損失的高度將遠高於僅使用駕駛桿改正，因為在低空速情況下執行自轉將產生非常高的下降率。

^{註2}：MAP, Manifold Air Pressure

因此，在初始發生階段應以下述改正動作來減少高度損失：

- 明確的前推駕駛桿，建立加速姿態^{註3}以獲取空速。
- 如果加速姿態無法建立，降低集體變矩桿並建立自轉，再次明確的視需要前推駕駛桿以增加空速。

2.4 防止環狀渦流產生

由於改正措施會造成高度大量損失，尤其在接近地面期間，防止環狀渦流產生顯得特別重要。避免空速低於30浬/時及下降率大於每分鐘500呎的帶動力下降，因此，執行下列的飛航操作應特別小心：

- 在封閉場地執行偵察及進場
- 順風進場
- 大角度進場
- 無地面效應滯空(HOGE)
- 低空速自轉改出
- 順風急停
- 空中照測

脫離渦流環的改正方法

1. 明確的前推駕駛桿，建立加速姿態以獲取空速。
2. 若空速增加；於空速到達 40 浬/時以上恢復直昇機正常姿態。
3. 空速如未增加；降低集體變矩桿並建立自轉，再次明確的視需要前推駕駛桿以增加空速。

^{註3}：機頭低姿態將隨旋翼系統不同而不同

3.尾旋翼喪失效能(LTE)

單主旋翼直昇機的尾旋翼推力主要功能之一就是控制直昇機航向，如果尾旋翼推力不足，將發生非預期與無法控制的偏扭情形。這種現象是造成直昇機意外事故因素之一，通常稱為尾旋翼喪失效能（LTE）。

在本冊中，LTE被視為是一種尾旋翼推力不足伴隨其操控行程不足，進而導致無法控制的快速偏扭率。這種偏扭現象不會自行消退，未及時改正，可能會導致直昇機損毀。

3.1 LTE發生時機？

在關鍵方向舵接近全行程位置時，LTE更容易發生。

關鍵方向舵在順時針旋轉的主旋翼系統為右舵，在逆時針旋轉的主旋翼系統為左舵。

LTE通常在前進空速低於30浬/時發生，且伴隨：

- 尾翼空氣動力效率不足
- 主旋翼產生的下洗氣流及其他氣流與進入尾旋翼的氣流相互干擾
- 需要幾乎使用全行程方向舵之大馬力配置
- 造成尾旋翼推力需求增加之逆風環境
- 需要大量與快速的集體變矩桿與方向舵操作之亂流環境

執行下列作業時，駕駛員特別容易發現自己處於**低高度、低空速、高動力及風速**難以判定的環境，且為了執行工作而需不斷調整直昇機姿態：

- 電纜與油管巡視
- 機外吊掛
- 救生吊掛
- 空中滅火
- 落地場偵察
- 低速空中照測
- 執行公權力與直昇機緊急醫療服務
- 高密度高度（DA）起降

3.2 如何避免LTE發生？

飛行計畫作業期間，駕駛員必須特別將飛行手冊中有關臨界風角範圍之性能圖表、作業地區的密度高度（DA）、直昇機的起飛總重（AUM）與飛行特性等納入考量。

飛行期間，駕駛員應持續注意風向風速及可用尾旋翼剩餘推力（亦即關鍵方向舵之行程）。

駕駛員應盡可能避免下列條件合併發生：

- 逆風低速飛行
- 未予以控制的偏扭
- 低速時大量且快速的移動集體變矩桿與方向舵
- 亂流情況下低速飛行

3.3 LTE改正方式

駕駛員應能警覺到，如果進入上述任何一種或多種組合的飛行狀態時，就是進入可能發生LTE的情況；他們必須能夠辨識發生LTE前的徵兆，並立即執行改出動作。改出動作將根據具體情況而有所不同，如果高度許可，在不增加馬力情況下增加前進空速（視需要減少馬力），通常可以解決上述情況。因此，這些行動可能大量喪失高度，建議駕駛員在執行上述行動前，預先確定適切的逃生路線。

LTE 改出動作

1. 使用與旋轉方向相反之全舵量
2. 建立加速姿態以獲得向前之空速
3. 如高度許可；減少馬力

4.動態及靜態失控翻滾

4.1 靜態失控翻滾

靜態失控翻滾發生於直昇機的單邊滑橈或機輪與地面接觸形成支點，且其重心位移超出支點時；一旦超過靜態失控翻滾角，即使移除原先造成直昇機翻滾的動力向量，亦無法停止其翻滾動作。絕大部分的直昇機通常在其翻滾角超過 30° 時發生，如圖1。

臨界失控翻滾角

臨界失控翻滾角係指在保持主旋翼面與天地線平行條件下，直昇機的斜坡橫向最大可落地角度，或主旋翼系統的最大撲動角。大多數直昇機的臨界失控翻滾角通常在 13° 至 17° 間，一旦超過該角度，即使將駕駛桿完全反向操作亦無法停止直昇機翻滾。

4.2 動態失控翻滾

動態失控翻滾通常發生在直昇機起飛、落地或滯空而單邊滑橈或機輪碰觸地表（支點）之時，直昇機有可能沿著支點發生滾轉。單邊滑橈/機輪因故卡於或陷於地面、結冰的地面、軟化的瀝青或泥濘的地面，都可能形成支點，也可能在執行滯空側滑或斜坡落地時，單邊滑橈或機輪碰觸到固定物體或地面而造成支點。在翻滾角遠小於靜態失控翻滾角或臨界失控翻滾角時，也可能發生動態失控翻滾。

圖1

靜態失控翻滾

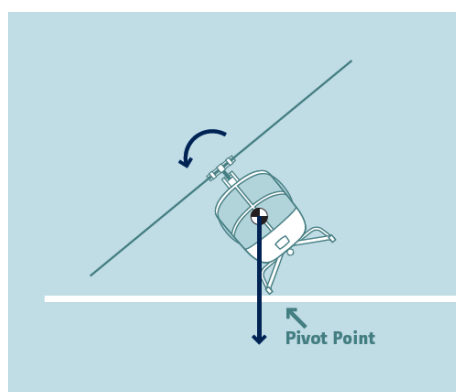
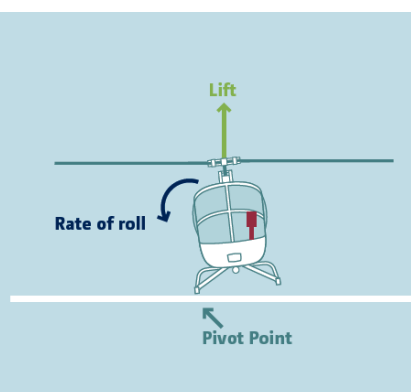


圖2

起飛至滯空



當直昇機開始沿著滑橈/機輪產生滾轉時，如過量增加集體變矩桿，將大量增加滾轉力矩，造成即使未到達臨界失控翻滾角，亦無法以駕駛桿反向全行程操作加以控制。

起飛至滯空（見圖2）

- 增加集體變矩桿，產生升力。
- 右邊滑橈附著於地面成為支點。
- 向左移動駕駛桿以維持旋翼面與天地線平行。
- 產生少量滾轉率

動態失控翻滾（見圖3）

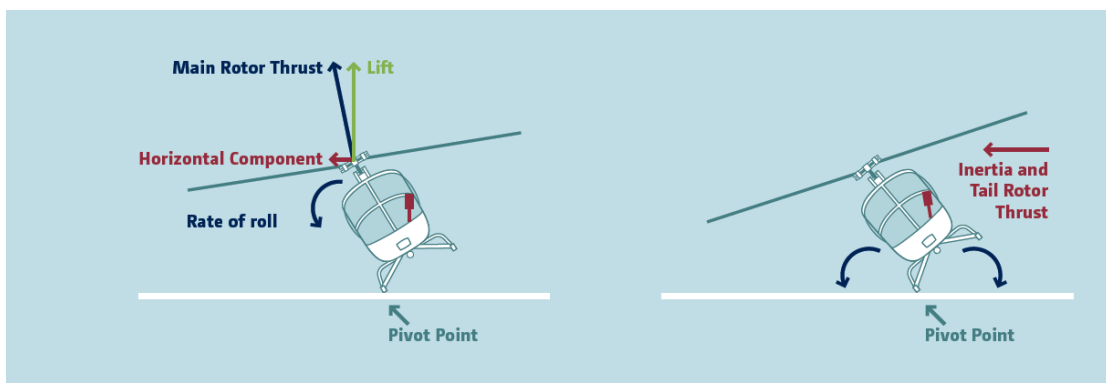
- 繼續增加集體變矩桿，升力持續增加。
- 到達臨界失控翻滾角。
- 駕駛桿向左之行程臨界亦無法保持旋翼面水平。
- 旋翼產生水平向量推力，增加滾轉率。
- 滾轉率增加。

改正動作（見圖4）

- 在重心超過支點前，藉由降低集體變矩桿消除旋翼面的水平向量推力，以停止翻滾。
- 如集體變矩桿未能即時降低，直昇機將因慣性繼續翻滾，並可能超越靜態失控翻滾角。

圖3
動態失控翻滾

圖4
改正動作



4.3 注意事項

- » 任何橫向重心的改變，將影響駕駛桿橫向操控需求與可用行程。
- » 經常練習頂風無動力滯空落地。
- » 在滯空或滑行而接近障礙物/地表時，應保持高度警覺。
- » 斜坡操作應盡可能逆風實施。
- » 直昇機起飛與落地期間，特別是斜坡操作，所有的操控應力求緩慢、平順與柔和，並應避免橫向移動。
- » 斜坡操作期間，若上坡邊的滑橈/機輪較下坡邊先離地，應放棄離地滯空動作。
- » 落地時，若駕駛桿已達操作極限，繼續降低集體變矩桿將導致失控翻滾。
- » 在有俯仰及/或滾轉現象的漂浮平台起降時，應保持高度警覺。

後記

免責聲明：

上述安全改善分析與建議事項，係歐洲直昇機安全執行小組（EHSIT）依據專家判斷以及各事故調查委員會（AIBs）之官方調查報告附件內容資料而提出。此類建議事項與後續安全改善行動，純係著眼於改善直昇機安全，不具約束力；在任何情況下，不得取代事故調查委員會（AIB）官方調查報告。採用此類安全改善建議屬自願性質，且責任僅止於為這些採用者；歐洲直昇機安全執行小組對任何執行這些建議事項內容資料者不承擔任何責任。

相片贊助來源：

封面：AgustaWestland / 內頁封面：Eurocopter / 第4頁：Eurocopter / 第6頁：Eurocopter / 第11頁：AgustaWestland

Contact details for enquiries: 詳情洽詢方式：

European Helicopter Safety Team 歐洲直昇機安全小組

E-mail: ehest@easa.europa.eu

www.easa.europa.eu/essi

請至下列網址下載直昇機飛行前檢查計畫檢查表：

<http://www.easa.europa.eu/essi/ehestEN.html>



直昇機飛行前計畫檢查表

共2頁/第1頁

飛行種類		日期		提示時間			
離場點/航路/到場/及備降場天氣							
正點天氣 (METAR)							
測報天氣 (TAF)							
天氣圖		顯著天氣圖					
高空風		結冰高度		結冰			
地面風		日出時間		日落時間			
任務							
飛航公告	離場			航路			
	到場			備用			
通信頻率	呼號						
		離場	航路	航路	目的地	備降1	備降2
	ATIS						
	GND						
	TWR						
	APP						
	INFO						
助導航設施	離場			航路			
	到場			備用			
各可用機場		離場	航路	目的地	備降1	備降2	
飛行計畫		PPR/落地許可					
時間	裝載	開車					
	起飛	落地			飛航時間		
人員資料							
有效文件		駕駛員檢定證與體檢證				□有	
		型別等級/儀器等級				□有	
		飛行資格				□有	
		護照或身分證件				□有	

直昇機飛行前計畫檢查表

共2頁/第2頁

直昇機資訊					
機型		機號		重量	
	縱向			橫向	
起飛重心					
落地重心					
備降場重心					
機載燃油量		所需燃油量		續航燃油量	
飛航/維護紀錄簿					
隨機文件		第三責任險證書正本或影本			<input type="checkbox"/> 有
		登記證			<input type="checkbox"/> 有
		適航證(ARC)			<input type="checkbox"/> 有
		噪音證明正本或影本(如適用)			<input type="checkbox"/> 有
		航空營運許可證(AOC)正本或影本			<input type="checkbox"/> 有
		無線電臺執照			<input type="checkbox"/> 有
		操作手冊/飛航手冊			<input type="checkbox"/> 有
工作所需時間			距下次檢查時間/CRS		
外型			裝備		
性能等級(如適用)					
	離場	航路	目的地		
最大起飛/落地重量					
最大IGE滯空重量					
最大OGE滯空重量					
OEI升限					
燃油量					
基本或空重	+	目視飛航油量		儀器飛航油量	
燃油	+	開車	+	開車	+
組員	+	滑行	+	滑行	+
機內裝載	+	航程	+	航程	+
機外掛載	+	5或10%應變	+	備用	+
起飛總重		20 min備用	+	10%應變	+
航程油量	-	機長考量	+	30 min備用	+
落地總重		機坪總油量		附加	+
備用油量	-	依據JAR OPS 3所需油量		額外	+
備降場落地總重				機坪總油量	