國家運輸安全調查委員會

1150307 Quicksilver MXL II Sport 超輕型載具於屏東縣高樹鄉墜毀事故

調查報告編號：TTSB-AOR-26-11-001

發布日期：中華民國 115 年 11 月 10 日

一、事實資料

1.1 事故發生日期與時間

中華民國 115 年 3 月 7 日，約 1015 時[1]。

1.2 事故地點

屏東縣高樹鄉同興路與光復路口以北約 110 公尺處農田（座標 N 22°47'58.6"，E 120°36'34.6"）。

1.3 活動場地與活動空域

事故載具起飛之樹發活動場地，參考點座標 N 22°48'47.8"，E 120°37'27.9"，非屬合法之超輕型載具活動場地。

事故載具飛行之賽嘉超輕空域，為交通部民用航空局（以下簡稱民航局）核定空域，使用高度上限為 1,000 呎 MSL/ SFC[2]，空域地勢較高部分，不受高度上限之限制，惟不得逾地面 500 呎，活動時間為每日之日出至日落。

---

[1] 本報告所列時間均為臺北時間（世界協調時+8）。

[2] MSL 為平均海平面高度（Mean Sea Level, MSL）；SFC 為地表高度（Surface, SFC）。

依據中華民國運輸事故調查法及國際民航公約第 13 號附約，本調查報告僅供改善運輸安全之用。中華民國運輸事故調查法第 5 條：*運安會對於重大運輸事故之調查，旨在避免運輸事故之再發生，不以處分或追究責任為目的*。國際民航公約第 13 號附約第 3 章第 3.1 節：*The sole objective of the investigation of an accident or incident shall be the prevention of accidents and incidents. It is not the purpose of this activity to apportion blame or liability.*

1.4 載具基本資料及毀損情況

所屬活動團體或專業機構：	無
管制號碼：	無
檢驗合格證號碼：	無
發證日期/有效日期：	無
製造廠名稱：	Quicksilver Aircraft
載具類別/機型/機身序號：	固定翼載具/ MXL II Sport/無資料
製造日期：	無資料
引擎型號/引擎序號：	FIATE MZ202/13108
損害情況：	載具實質損害

1.5 操作人員相關資料與傷亡情況

操作人所屬活動團體或專業機構：	台灣飛行大玩家運動協會；中華航空協會；花蓮縣超輕型載具運動協會；花蓮縣航空協會
操作證號碼：	Y002**
操作證類別/載具屬別/機型：	教練/AP-5[3]/Sling LSA
發證日期/有效日期：	民國 114 年 1 月 4 日/116 年 1 月 3 日
機載人數：	1 人
傷害情況：	1 人受傷

1.6 天氣

中央氣象署高樹自動氣象站[4]1000 時之觀測紀錄為氣溫攝氏 23.4 度、西風風速 1 浬/時。依據操作人訪談資料，事故當時天氣良好，靜風，能見度超過 10 公里。

1.7 事故說明

1.7.1 事故經過

民國 115 年 3 月 7 日，一架未取得檢驗合格證之 Quicksilver MXL II Sport 超輕型載具，於維修人員完成組裝及整理後，在非屬合法之樹發活動場地進行測試飛行。事故載具操作人約於 0900 時執行飛行前檢查，隨後於該場地內執行載具引擎測試、滑行與拉飄著陸測試，

[3] AP-5 為最大平飛速度 140 公里/時或以上，陸地前三點之超輕型載具屬別。
[4] 高樹自動氣象站位於事故地點北北西方約 3 公里。

當認定引擎及飛操系統正常後，即自跑道上向南起飛。事故載具離地後不久，引擎出現異常狀況。操作人表示原計劃以淚滴形飛航操作返場落地，然因判斷載具高度僅略高於右側之樹木，返場恐有困難，改持續向西南飛行，約 1015 時迫降於屏東縣高樹鄉同興路與光復路口附近農田，載具遭受實質損害，操作人受傷。事故地點及飛航軌跡示意如圖 1.7-1。

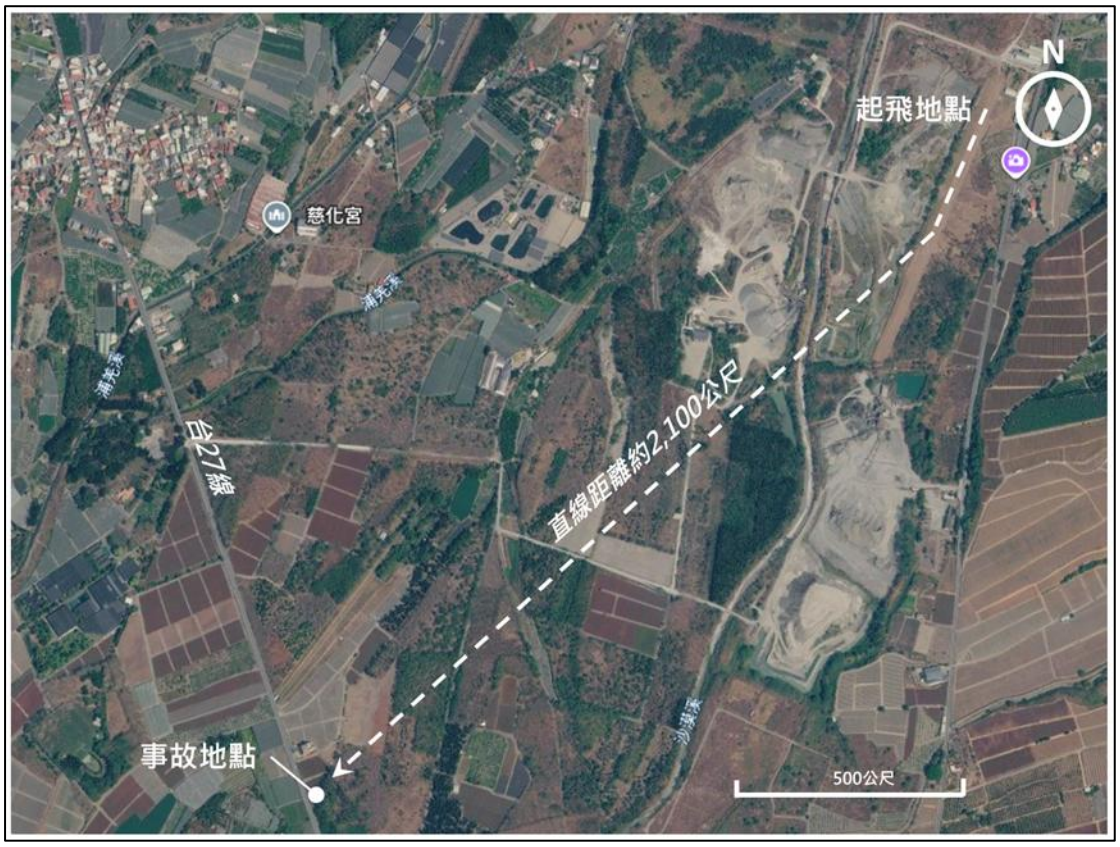


圖 1.7-1 事故地點及飛航軌跡示意圖

1.7.2 基本資料

1.7.2.1 人員資料

事故載具操作人

事故載具操作人為 51 歲男性，持有民航局核發之超輕型載具教練操作證，有效日期至民國 116 年 1 月 3 日。事故時操作人總飛時約 2,000 小時。操作人之體格檢查日期為民國 113 年 12 月 26 日，檢查

結果符合超輕型載具管理辦法之要求。事故當日無酒測紀錄。

事故載具維修人員

事故載具維修人員為 60 歲男性，超輕型載具維修經驗約 40 年，專職接受委託，執行超輕型載具之組裝、修理、保養等維護工作；目前於台灣飛行大玩家運動協會擔任載具檢驗人員。該員於民國 113 年 11 月 30 日完成民航局民航人員訓練所舉辦之超輕型載具檢驗人員訓練。

1.7.2.2 載具

事故載具為 Quick Silver Aircraft 公司設計製造，型號 MXL II Sport，未領有民航局超輕型載具檢驗合格證。載具為高單翼、並列雙座、鋁合金管材開放式結構、主翼及操縱面為鋁合金管材包覆聚酯纖維布，無襟翼裝置，前三點固定式起落架；左、右翼各有一具 20 公升塑膠油箱，總容量為 40 公升；儀表板裝有高度、空速、磁羅盤、引擎轉速、汽缸頭溫度、時數等儀表。事故載具無稱重資料。載具檔案照片如圖 1.7-2，3 視圖如圖 1.7-3。



圖 1.7-2 事故載具檔案照片

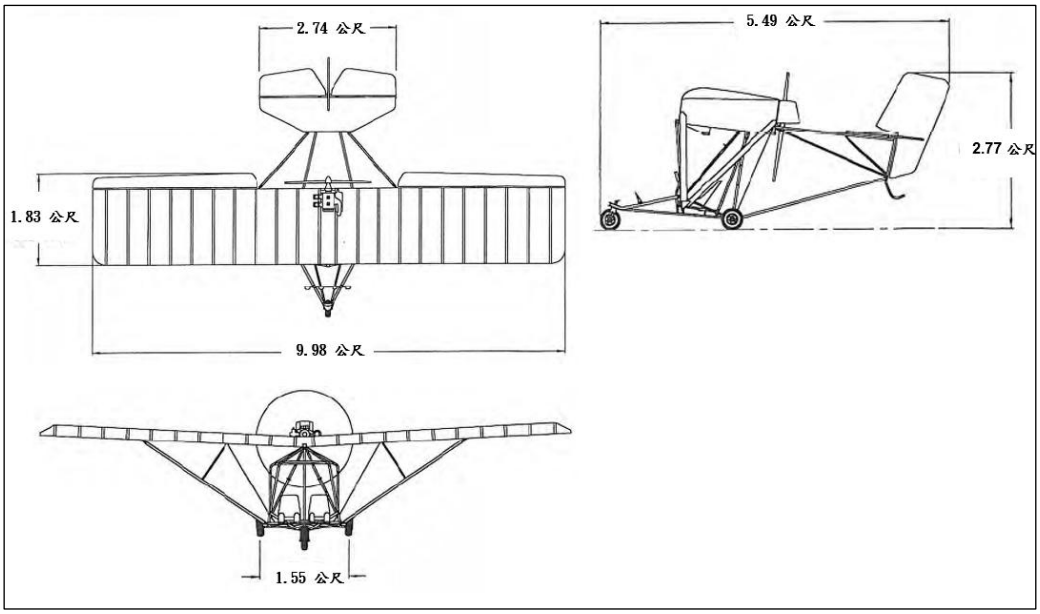
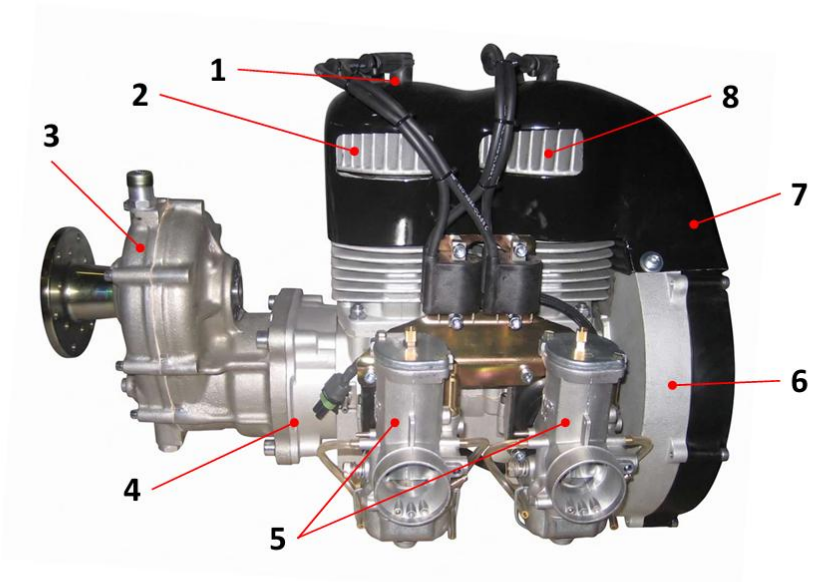


圖 1.7-3 事故載具 3 視圖

1.7.2.3 引擎

事故載具使用 FIATE Aviation 生產之 MZ202 型引擎，2 行程直列 2 氣缸，總排氣量 626 立方公分，風扇強制氣冷，生產序號 13108；標準大氣狀況下，6,250 轉可產生最大 63 匹馬力，氣缸頭溫度限制為攝氏 260 度，引擎含附件總重 43 公斤，引擎外觀如圖 1.7-4。根據維護手冊，該引擎需使用辛烷值 95（RON[5]）以上無鉛汽油混合 2 行程合成潤滑油，以 50（汽油）：1（潤滑油）比例混合後使用。引擎裝置於機翼後方，螺旋槳則安裝於引擎後方，屬推進式（Pusher）配置。

[5] RON（Research Octane Number）研究法辛烷值。



1	點火塞	5	Bing54 化油器
2	後氣缸	6	風扇及發電機(內部)
3	減速齒輪箱	7	風扇導流罩
4	曲軸箱	8	前氣缸

圖 1.7-4 MZ202 引擎外觀

1.7.2.4 載具及引擎維護

事故載具及引擎無維護資料。

1.7.2.5 油品檢測

引擎維護手冊規定 MZ202 引擎應使用合成二行程潤滑油，且不得將合成油與礦物油混合使用。依事故載具維修人員訪談紀錄，該事故載具使用 Q-Plus TC-W3 潤滑油，並依 40：1 比例混合 95 無鉛汽油作為引擎燃料。

為驗證本次事故使用油品之潤滑性能，經選用市售且符合原廠規範之合成二行程潤滑油 MOTUL 710，於民國 115 年 4 月 8 日委託磨潤有限公司進行潤滑油抗磨性能測試，測試之程序及結果敘述如後：

該試驗採四球磨耗試驗法，以 4 顆標準鋼球浸置於攝氏 75 度之受測潤滑油中，施加 40 公斤負荷，並以每分鐘 1,200 轉之轉速持續

運轉 60 分鐘。試驗完成後量測鋼球表面磨痕直徑，並計算其平均值；磨痕直徑愈小，代表潤滑油之抗磨性能愈佳。

試驗結果如表 1.7-1，MOTUL 710 潤滑油之平均磨痕直徑略小於 Q-Plus TC-W3 潤滑油，兩者差異為 33 微米（0.033 毫米）。依本次抗磨性能試驗結果，MOTUL 710 潤滑油之抗磨性能略優於 Q-Plus TC-W3 潤滑油。

表 1.7-1 抗磨損性能試驗結果

平均磨痕直徑	
MOTUL 710	Q-Plus TC-W3
 719μm	 752μm
依照美國材料與試驗協會測試規範 ASTM D4172 B	

1.8 事故現場勘查

事故地點位於屏東縣高樹鄉台 27 線同興路東側灌溉溝渠旁，載具呈機尾朝上垂直豎立姿態，事故現場及載具狀態如圖 1.8-1（左圖為機背側；右圖為機腹側）。



圖 1.8-1 事故現場及載具狀態

事故現場旁鳳梨田南側混凝土牆可見連續磨擦痕跡，比對左起落架鋁管磨擦痕跡，事故載具應自東北朝西南方向迫降，撞擊道路旁溝渠混凝土邊牆後翻覆；事故載具迫降方向及地理位置如圖 1.8-2。

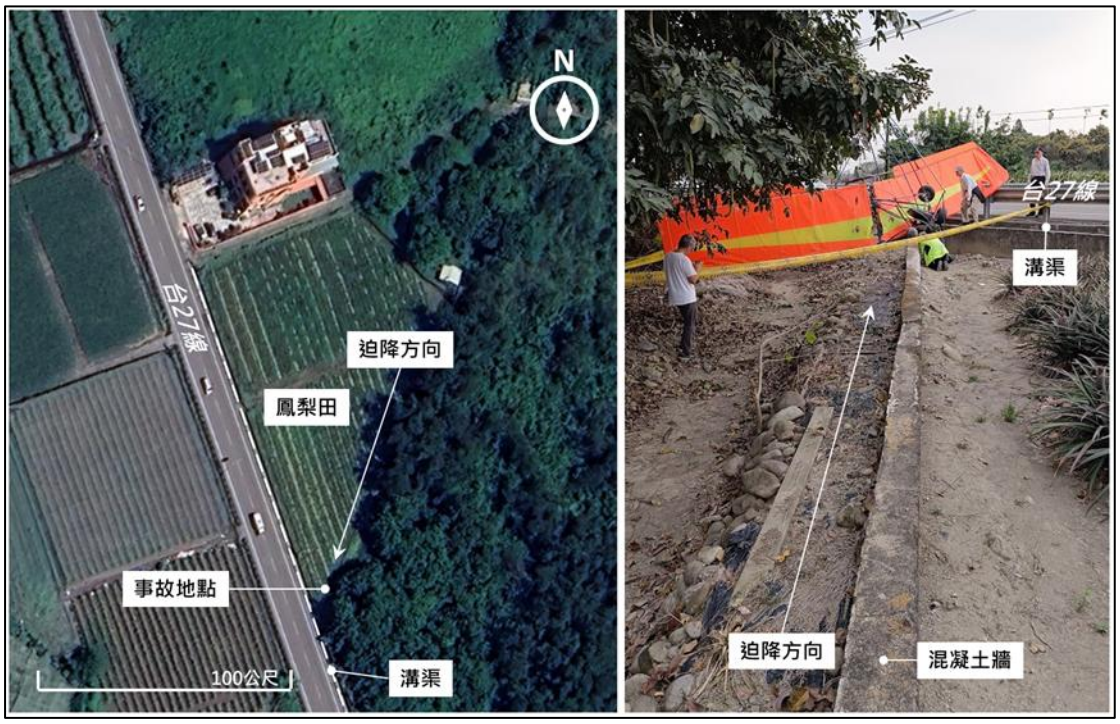


圖 1.8-2 事故載具迫降方向及地理位置

1.9 事故載具損害

1.9.1 載具機體

事故載具機體主要損傷情況如下：機體鋁合金管材彎折，鼻輪及左主輪之輪軸與支撐管材斷裂，翼梁變形，支撐鋼索鬆脫或斷裂。

現場檢視未發現燃油外洩跡象。油門手柄位於慢車位置，儀表板脫落，引擎時數表顯示 508 小時。主電力控制盒總電源開關位於 On 位置，燃油增壓泵開關位於 Off 位置；點火系統 A 開關位於開啟位置，B 開關位於關閉位置。

1.9.2 螺旋槳及引擎

事故載具之 3 片螺旋槳葉片均因撞擊外物而產生脫層及纖維散開情形。檢查發現，引擎可藉由冷卻風扇盤動，仍能自由轉動；油管及透明油濾杯內可見充滿燃油；控制系統及點火系統線束均未見損傷。另發現位於後氣缸下方之曲軸箱殼體破裂，由破裂處觀察引擎內部，可見活塞連桿斷裂，且曲軸連桿軸頸（Rod Journal）有嚴重磨損情形。曲軸箱殼體及連桿軸頸損壞情形如圖 1.9-1。

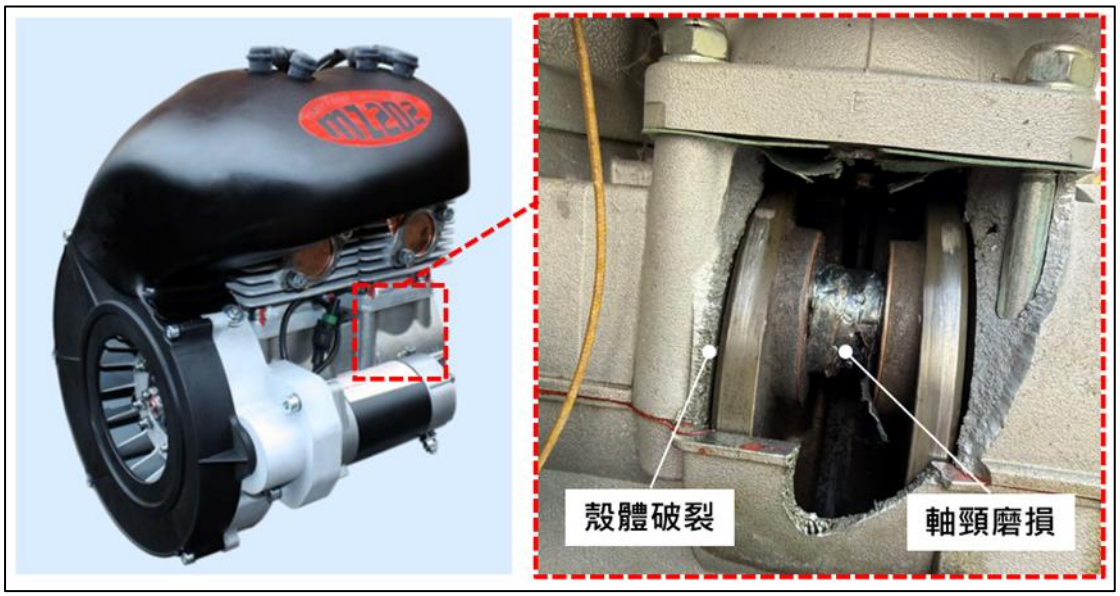


圖 1.9-1 曲軸箱殼體及連桿軸頸損壞情形

事故引擎內部損壞之檢視，係於民國 115 年 3 月 16 日會同外部技師於本會執行。拆解順序及檢視結果如下：

1. 移除化油器、冷卻風扇、飛輪、發電機及氣缸冷卻外罩：
   觀察氣缸外觀未見異常。啟動馬達、發電機外殼及風扇轂局部可見鏽蝕。兩具 Bing 54 化油器經細部分解檢查後，其控油系統組件規格完全相同，主油針位置均設定於 2，主油針規格為 8F6Z，出油孔規格為 195，主噴口規格為 2.76，浮塊重量為 3 公克，油道未發現阻塞情形。

2. 移除點火塞及氣缸蓋：
   觀察前氣缸（風扇側，以下簡稱前缸）燃燒室及活塞頂面光滑；後氣缸（螺旋槳側，以下簡稱後缸）燃燒室及活塞頂面呈灰黑色，表面有噴砂狀粗糙痕跡。4 具點火塞之中心電極及接地電極均呈棕色，並有輕微積碳情形。前、後缸頂面與活塞頂面如圖 1.9-2。

3. 移除前缸：
   前缸與活塞分離後，觀察氣缸內壁光滑，活塞表面未見明顯刮痕，活塞頂面光亮；活塞連桿及兩端軸承均未發現異常磨損情形。

4. 移除後缸：
   後缸活塞連桿已斷裂，活塞卡滯於氣缸內。觀察活塞頂面呈粗糙麻點（Pitting）狀，並殘留金屬碎屑。輕敲移除活塞後，可見活塞側面有嚴重刮損，活塞裙部破裂；氣缸內壁附著黏稠油污，缸壁未見明顯刮痕。活塞連桿僅存小端及部分桿身，下方連接連桿軸頸之大端已佚失；大端軸承完全損壞，滾針全數缺失，燒結金屬殘留於連桿軸頸表面。氣缸底部鄰近曲軸箱破裂處發現一處凹痕，經比對後，與殘留之活塞連桿小端外形相符。前、後缸活塞及連桿如圖 1.9-3。

5. 分解曲軸箱：

上、下曲軸箱體分解後發現，其接觸面封膠分布不均；後缸殼體單側破裂，底部可見刮擦痕跡及金屬碎片殘留。氣缸及曲軸箱固定螺帽、螺桿均未見扭力封膠或拴緊標記，部分螺桿及墊片有鏽蝕情形。上、下曲軸箱體接觸面如圖 1.9-4。

6. 分解曲軸：

前缸曲軸及軸承未見異常。後缸連桿軸頸呈現高溫變色情形，表面包覆經高溫燒結之軸承殘留物；前、後平衡塊與連桿軸頸連接處呈褐色或藍色高溫變色（Bluing）現象。主軸頸及內側軸承均可見鏽蝕跡象。後缸連桿軸頸及主軸頸如圖 1.9-5。

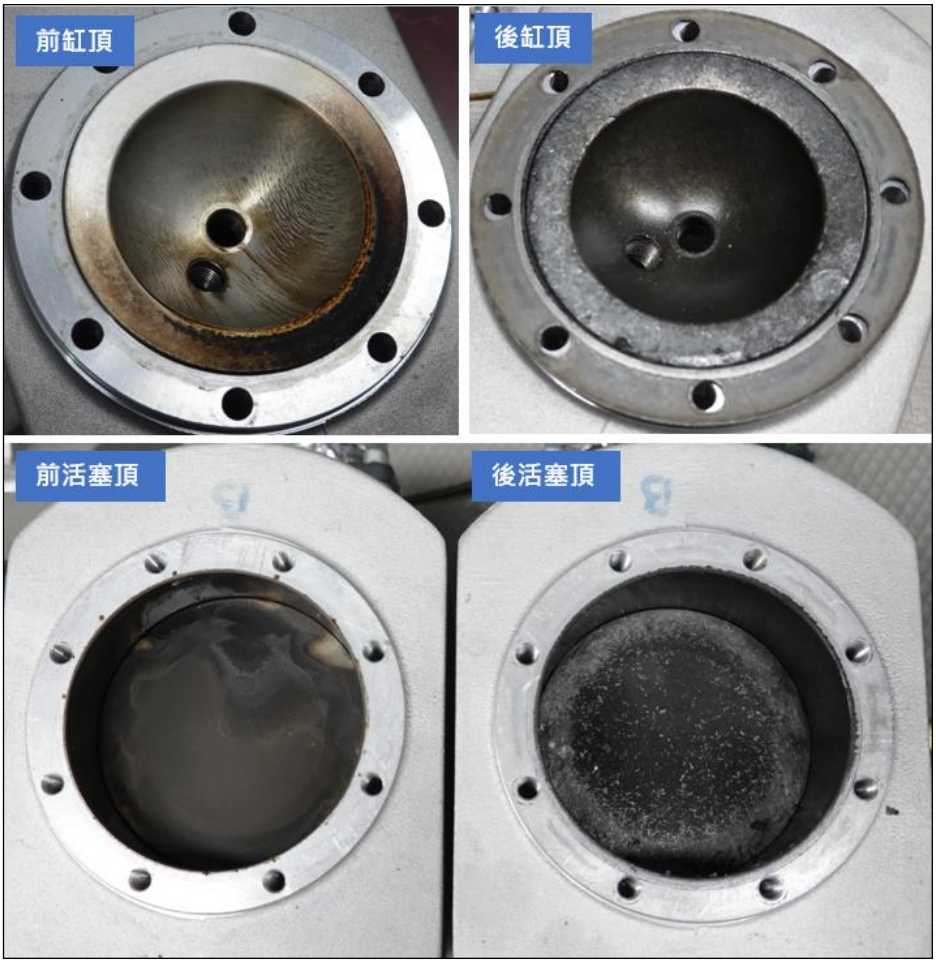


圖 1.9-2 前、後缸頂面與活塞頂面



圖 1.9-3 前、後缸活塞與連桿

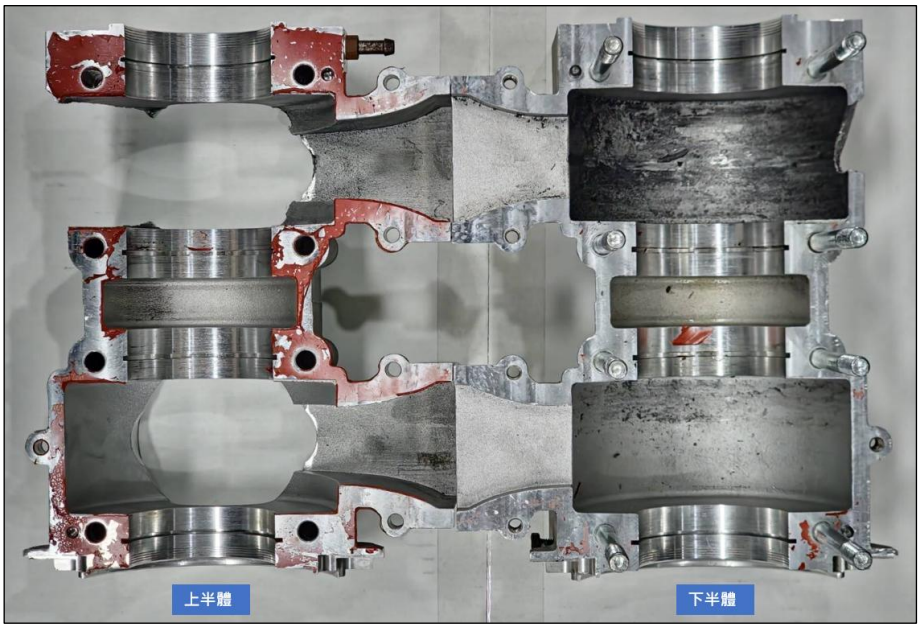


圖 1.9-4 上、下曲軸箱體接觸面

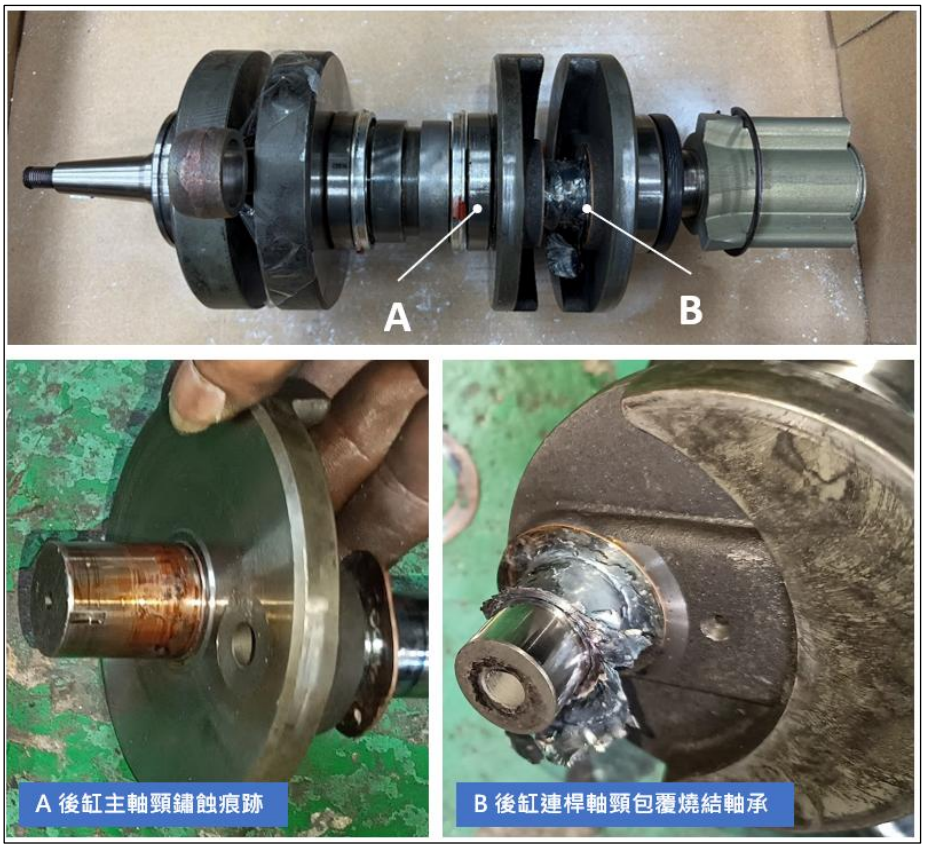


圖 1.9-5 後缸連桿軸頸及主軸頸

1.9.3 連桿及後缸軸承檢視

本節依據 1.9.2 節中分解後之後缸及曲軸檢查結果，針對所發現之活塞連桿斷裂及軸承鏽蝕跡象進行巨觀觀察及微觀檢視，說明如下：

檢視後缸活塞連桿殘留之小端，其破斷面外觀呈現塑性變形，斷面有灰暗之纖維狀特徵，如圖 1.9-6。進一步以掃描式電子顯微鏡（Scanning Electron Microscope, SEM）進行微觀形貌觀察（取樣位置如圖 1.9-6 之區域 1 與區域 4），其斷面表面呈現韌窩（Dimple）組織，如圖 1.9-7，具典型過載延性破壞[6]（Ductile Fracture）特徵。

另比較前、後缸主軸頸軸承之損傷狀態，前缸軸承滾珠仍具金屬

[6] 指材料或構件承受的靜態外力超過其極限抗拉強度，在經歷顯著的巨觀塑性變形（如頸縮）後所發生的斷裂現象。

光澤，且未見明顯氧化物堆積；後缸軸承滾珠表面可見紅褐色斑塊。元素分析結果顯示該斑塊主要為鐵氧化物，顯示金屬表面已發生鏽蝕現象。前、後缸軸承氧化程度對比如圖 1.9-8。

此外，後缸大端軸承因高溫作用已完全破壞並燒結（Seizure）於連桿軸頸上；剝除燒結物後檢視連桿軸頸表面，同樣可見鐵氧化物特徵，如圖 1.9-9。

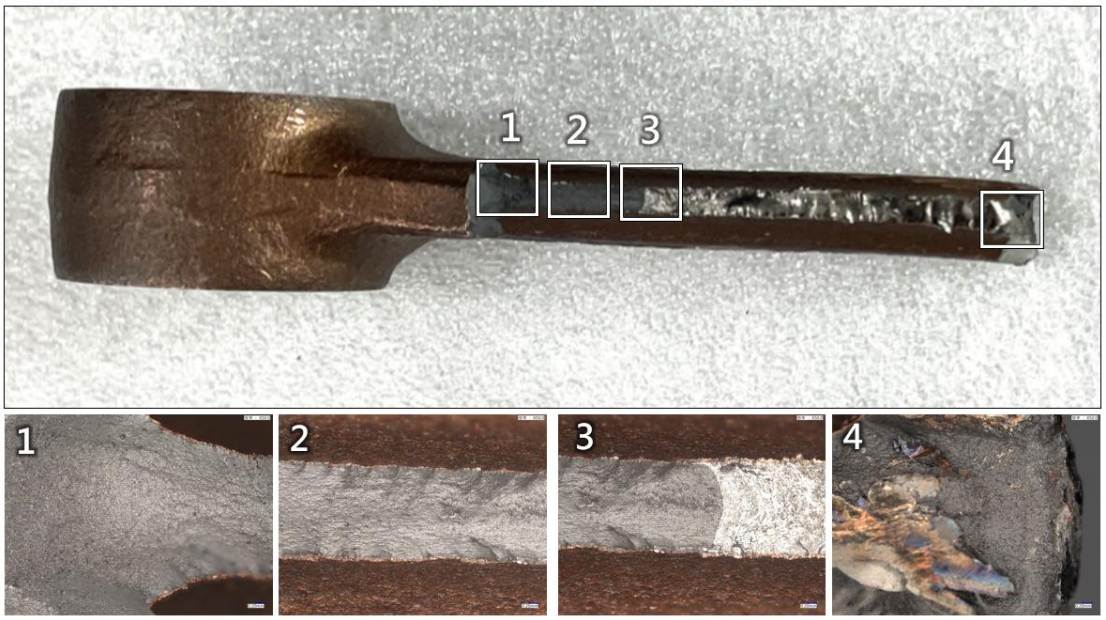


圖 1.9-6 後缸活塞連桿破斷面外觀檢視

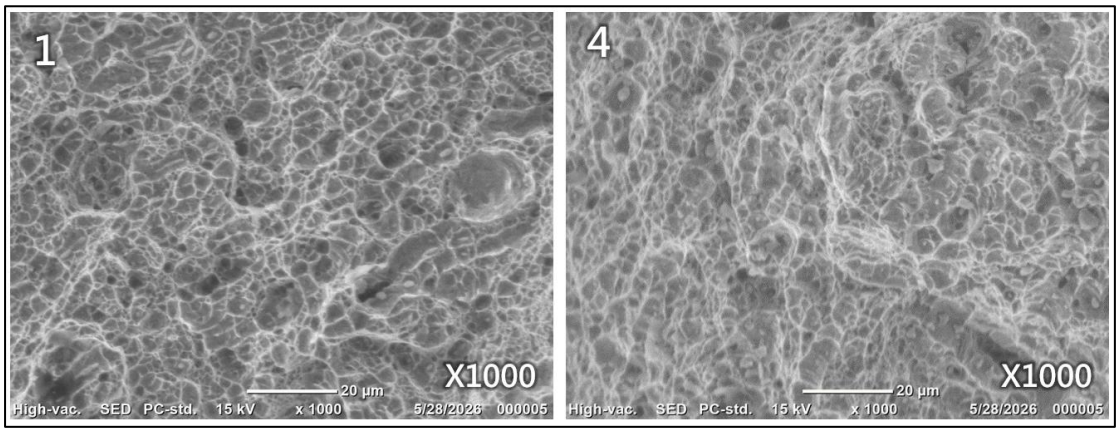


圖 1.9-7 斷裂面顯微觀察

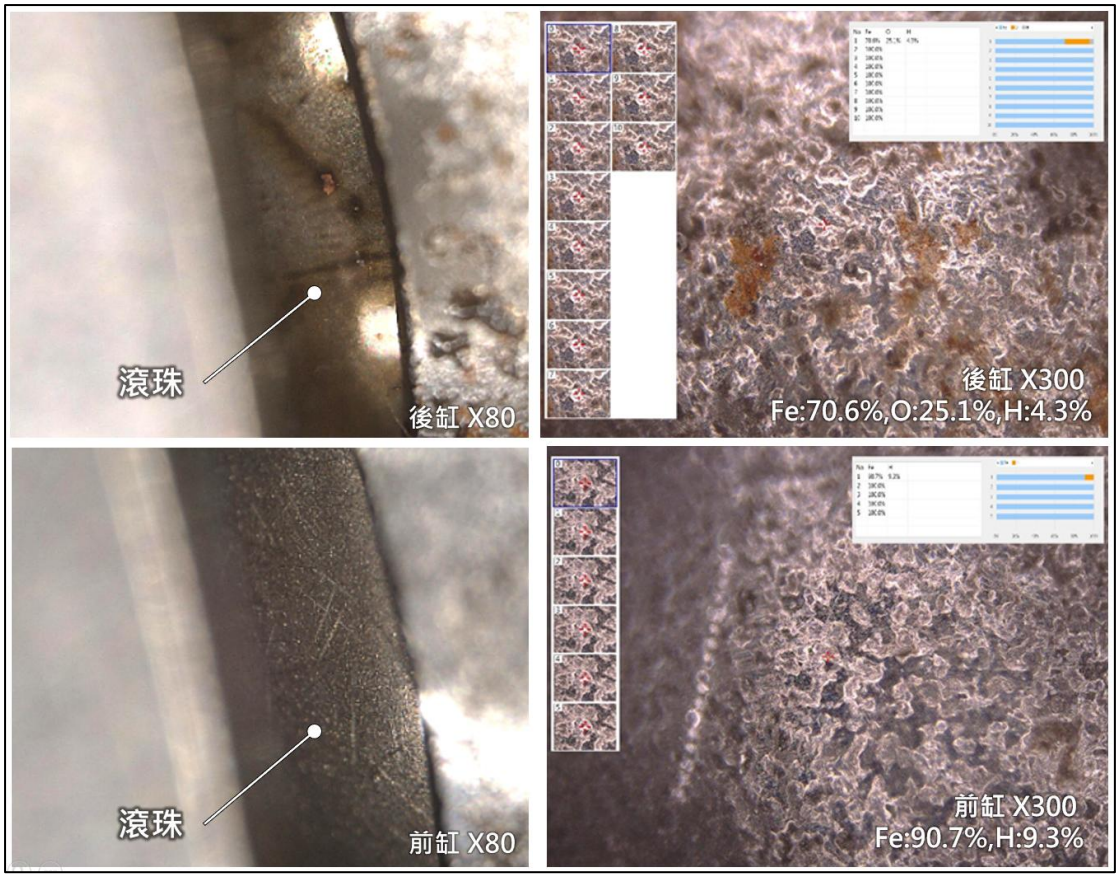


圖 1.9-8 前、後缸軸承滾珠氧化程度對比

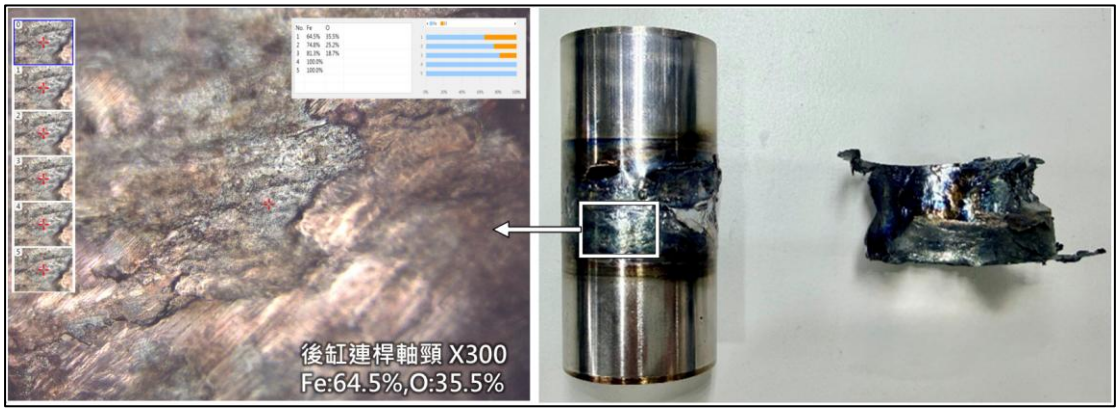


圖 1.9-9 後缸連桿軸頸鐵氧化物特徵

1.10 訪談摘要

1.10.1 事故載具操作人

受訪者具 10 年以上多款超輕型載具操作經驗，飛行總時數逾 2,000 小時，持有超輕型載具教練操作證，並為數家超輕型載具協會

會員及授權檢驗人員。

受訪者表示，其對事故載具型別具有豐富操作經驗。本次飛行係接受委託，試飛一架經整理並更換引擎之中古超輕型載具。該載具無維修紀錄，亦未完成註冊。

依據 Quicksilver 原廠手冊，該型載具可搭載 ROTAX 503 或 ROTAX 582 引擎，惟事故載具實際安裝之引擎為 MZ202 型。受訪者表示，相較於 ROTAX 系列引擎，MZ202 引擎重量較輕。載具維修人員告知該引擎已完成多次地面試車及磨合，因此決定進行試飛。

受訪者表示，事故當日上午約 0900 時抵達樹發活動場地進行試飛。該場地跑道長度約 600 至 700 公尺。試飛程序係參考民航局發布之 AC 90-001A 業餘自製超輕型載具飛行測試指引飛航通告辦理。完成飛行前檢查後，先進行地面滑行測試，確認引擎運轉正常，每分鐘轉速可達 6,200 至 6,300 轉；隨後進行滑行及拉飄著陸測試。經約 1 小時測試後，確認載具引擎及飛操系統運作正常，因此決定執行飛行。

受訪者表示，事故當時天氣良好，能見度超過 10 公里，靜風狀態。當次飛行自跑道北端向南起飛。依據飛行手冊，該載具之失速參考速度為 32 哩/時，不論單人或雙人搭載，以及座椅前後位置調整等不同飛行條件，均採用相同之失速參考速度。雖然 MZ202 引擎較原廠配裝之 ROTAX 水冷引擎輕數公斤，但其認為仍適用該失速參考速度。起飛滾行期間確認引擎每分鐘轉速達 6,200 轉以上，汽缸頭溫度約攝氏 100 度。當空速達 30 哩/時後持續加速，並逐漸帶桿使載具離地，起飛滑跑距離約 200 公尺。離地後即感覺引擎運轉異常，不久後聽見類似拉缸聲響。當時引擎仍可輸出部分動力，但推力持續下降。飛航操控系統運作正常，其嘗試維持爬升，但為避免失速，將空速保持於約 32 至 35 哩/時之間。

受訪者表示，原規劃採淚滴形轉彎返回起飛場地，但評估當時飛行高度僅略高於右側樹列頂部高度，難以安全返場，因此改尋找適合

迫降地點。其後發現道路旁一處鳳梨田可供迫降，過程中不清楚引擎是否仍持續運轉。由於迫降航線前方有電桿及電線，判斷無法安全飄降越過障礙物，因此提早下降高度。

受訪者表示，選定鳳梨田作為迫降地點時，未注意到田區與樹林間設有矮牆；若當時已發現該障礙物，則不會選擇於該處迫降。最後載具左側結構擦撞矮牆後滑了一下，機尾翻起後載具停止。

1.10.2 事故載具維修人員

受訪者具 40 年超輕型載具維修及飛行經驗，曾接受 ROTAX 原廠維修訓練，於民國 93 年取得民航局核發之超輕型載具操作證，惟該證照已逾期多年。受訪者目前參與台灣飛行大玩家及中華航空協會等超輕型載具活動團體，並於台灣飛行大玩家擔任授權檢驗人員。

受訪者表示，事故載具曾多次轉手，約於事故發生前一年餘受友人委託進行組裝及整理。載具運抵時即已安裝 MZ202 引擎。一般管布式超輕型載具多使用 ROTAX 二行程引擎，但因該型引擎已停產且零組件取得不易，因此嘗試搭載 MZ202 引擎評估其性能。受訪者表示，MZ202 引擎重量較輕且輸出馬力較大，常應用於 Mosquito 輕型直昇機；友人並告知該引擎為全新品。

受訪者表示，事故載具引擎時數表顯示 508 小時，乃因更換引擎後未將時數表歸零，所顯示之時數包含前一具引擎之累積運轉時間；MZ202 引擎實際運轉時數約為 10 餘小時。事故發生前約一個月已開始進行地面測試，期間約消耗 40 至 60 公升燃油。燃油採預混方式加入機油，使用之機油為過去常用之 CALTEX Super Outboard 3。受訪者表示，磨合及測試期間引擎運作正常，後缸氣缸頭溫度感測器所顯示之溫度約為攝氏 100 度。

受訪者表示，事故當日因油箱剩餘燃油不足，遂於高樹加油站購買 20 公升 95 無鉛汽油，並加入 500 毫升二行程機油混合後使用。由

於平時使用之 CALTEX 機油已無庫存，本次改用油品供應商推薦之 Q-Plus TC-W3 二行程機油，為首次使用。燃油與機油混合比例約為 40：1，較引擎手冊建議之 50：1 比例具有較高之機油含量。

受訪者表示，事故當日上午約 0800 時起，由操作人執行 2 至 3 次離地飄飛測試，每次約 10 分鐘，飛行方式為短暫離地後再返回跑道觸地。操作人於測試期間回報引擎運作順暢，未反映異常情形。於最後一次飛離跑道後，受訪者發現原可聽聞之引擎運轉聲消失，且無法目視載具位置；不久後接獲操作人來電，表示引擎內部出現異常聲響，並已迫降於起飛場地附近。

1.10.3 民航局檢查員

受訪者表示，其於民航局擔任檢查員約 24 年，其中約有 6 年兼辦超輕型載具相關業務。近兩至三年主要負責屏東地區及中華民國運動飛行發展協會之超輕型載具監理事務。

受訪者表示，目前民航局每季均至屏東皆豪活動場地執行一次查核，查核結束後並前往包括樹發活動場地在內之另外 3 處列管違法活動場地，查察是否有違規飛航情形，惟因該等場地位於私人土地範圍，歷次查察時多數棚廠均為關閉，民航局依法無權進入，亦未發現超輕型載具活動。

受訪者表示，違法超輕飛航活動之起降地點及時間不易掌握，主要仰賴地方警政系統及民眾通報。除重大事故外，民航局接獲通報後再派員前往現場查處，往往無法即時掌握違法活動情形。當地方民眾向警察機關通報時，若警方未於現場進行訪談及資料蒐集，民航局後續執法將面臨較大困難。爰此，為強化違法飛行活動之蒐證作業，民航局於民國 113 年函送違法飛行事件訪談紀錄表範本予各縣市警察局，供警方於現場取締時訪談當事人並記錄相關資訊。其目的係將過去僅有電話通報之方式，轉變為提供具體且完整之書面資料，以利民航局依民用航空法相關規定辦理裁處。受訪者表示，透過該訪談紀錄

表所蒐集之資料，有利於判斷飛行活動是否符合法規規定。

關於超輕型載具起降場之土地使用限制，係依內政部訂頒非都市土地使用管制規則辦理，土地管理屬地方政府權責。關於列管之違法活動場地，受訪者表示，各地方政府依法具有查處權責，可針對不符合原核准土地使用目的之建築物或設施進行調查及處理。民航局除曾函請各縣市政府、警察局及警政署協助辦理相關業務外，並定期召開協調會議，期望透過跨機關合作，共同遏止非法超輕活動之危害。受訪者表示，近兩至三年間，屏東地區未接獲民眾檢舉樹發活動場地或其他列管違法活動場地之案件；本次事故發生後，民航局已再次函請屏東縣政府依法查處。

1.11 樹發活動場地與民航局超輕型載具非法活動之查處

1.11.1 樹發活動場地未能合法化之緣由

民航局依據非都市土地申請變更作為超輕型載具起降場使用其興辦事業計畫審查作業要點，輔導超輕型載具活動場地辦理合法化作業。依現行土地使用管制規定，可供設置超輕型載具活動場地之土地類別，包括非都市土地中容許作戶外遊樂設施使用之丙種建築用地、交通用地、水利用地及遊憩用地等 4 類土地；另可依非都市土地使用管制規則，申請辦理土地變更使用。

截至事故發生時止，民航局核定之合法超輕型載具活動場地共 7 處，其中屏東縣高樹鄉皆豪活動場地為屏東地區唯一合法活動場地，目前供 3 個活動團體使用。

樹發活動場地位於皆豪活動場地北方約 6 公里處，屬民航局列管之違法活動場地。該場地曾於民國 103 年提出農業用地變更編定申請，惟屏東縣政府考量高樹鄉境內已有合法之皆豪活動場地，於民國 107 年未核准其土地使用變更申請，因此未能完成合法化程序。

1.11.2 超輕型載具非法活動之查處與協調

民航局近年來持續透過跨部會及地方政府協調機制，辦理超輕型載具非法活動、非法活動場地及違章建物之查處與管理工作，並定期召開協調會議追蹤各地方政府執行情形及違規場地列管進度。

民國 109 年 1 月 6 日，民航局召開研商取締超輕型載具非法活動場地及建物執行狀況檢討會議，邀集地方政府、警政署等相關單位共同研商。民航局表示將持續執行違規飛航活動取締工作，並請地方政府辦理違法場地及違章建物之查處及拆除作業。針對屏東縣高樹鄉樹發及新南[7]等 2 處場地，因屏東縣政府不同意釋出農地供超輕型載具活動使用，民航局建議如仍有違反非都市土地使用管制規定情形，應優先拆除地上物，民航局並將持續瞭解該等場地是否仍有違法活動情形。

民國 111 年 12 月 21 日，民航局召開研商取締超輕型載具非法活動場地及建物執行狀況協調會議。屏東縣政府表示，樹發及新南兩處原列管疑似違法活動場地經同年 4 月查察後，似已無法提供超輕型載具起降作業，民航局將進一步確認該等場地是否仍具備活動條件。

該次會議說明，超輕型載具相關違規案件可區分為兩類，一類為非法場地從事之違規飛航活動，由民航局查明事證後依相關規定裁罰；另一類為非法活動場地及違章建物之取締與裁處，由地方政府依土地使用及建築管理相關法規辦理。會議紀錄顯示，地方政府多傾向於民航局先確認違規飛航事實後，再據以執行非法場地之查處作業。

民航局表示，由於案件通報資訊多僅記載載具顏色、活動區域及飛行方向，缺乏載具型式、編號、起降場地及操作人等資料，影響後續調查及裁罰作業。另因違規飛航活動多發生於偏遠地區，民航局接

[7] 高樹鄉新南活動場地位於皆豪活動場地西北方約 6 公里，亦為民航局列管之違法活動場地。

獲通報後派員前往現場時，常因時間落差而無法即時掌握違規事證，因此需仰賴地方警察機關協助蒐集現場照片、錄影、訪談紀錄及其他相關資料。

警政署於會議中表示，超輕型載具違法飛航之認定及蒐證方式涉及專業航空管理事項，非警察機關之專業及權責範圍；對於人員及載具之查驗、強制、留置或其他行政處分，亦應由主管機關依民用航空法相關規定辦理。警察機關如接獲具體危害預警情資，或執行過程涉及公共秩序及執法人員安全維護事項時，則依其法定職權範圍提供必要協助。

民國 113 年 10 月 28 日，民航局召開研商取締超輕型載具非法活動場地及建物執行狀況協調會議。會議資料顯示，自民國 111 年至 113 年 9 月止，民航局共接獲疑似違規超輕型載具活動檢舉 32 件，其中屏東縣計有 2 件，惟皆不在高樹鄉。當時已知或經民眾通報之違法飛行場地共 11 處，分布於臺中市、嘉義縣、屏東縣及花蓮縣等地。

超輕型載具事故除可能造成操作人傷亡外，亦可能對地面人員及財產造成損害。另指出非法活動場地常以農舍、自建棚廠或倉庫形式存在，部分場所存放載具、燃油、滑油及其他耗材，涉及違法土地使用、違章建築及公共安全等問題。民航局表示，接獲違規飛航通報後均會派員查察，惟因非法飛航活動之起降地點及時間不易掌握，加上查處人員需耗時抵達現場，部分場地又位於私人土地內，使查處工作受到限制，因此仍需地方政府及警察機關協助辦理查察及蒐證作業。

為提升蒐證品質，民航局於民國 113 年 6 月 17 日函送超輕型載具違法飛行事件訪談紀錄表範本予各縣市警察局運用。民航局表示，如能於現場取得訪談紀錄、照片、錄影及其他相關事證，將有助於後續查察及行政裁罰作業。

民國 114 年 11 月 27 日，民航局召開研商取締超輕型載具非法活動場地及建物執行狀況協調會議。會議資料顯示，民國 113 年 10 月

至 114 年 9 月期間共接獲疑似違規飛航通報 19 件，分布於新竹、花蓮、嘉義、屏東、雲林、臺中、彰化及臺南等地，其中屏東縣計有 2 件。第 1 件為民國 113 年 12 月 9 日台灣飛行大玩家 JJ2258 事故；第 2 件為民眾反映常有超輕型載具飛行至里港鄉里中路一帶，質疑其飛行路線已超出合法活動空域範圍。

會議紀錄顯示，目前列管之非法超輕型載具活動場地中，臺中市、彰化縣及花蓮縣各有 1 處場地已完成拆除，嘉義縣、屏東縣及花蓮縣仍有多處場地持續列管查察。屏東縣政府表示支持超輕型載具活動合法化及地方觀光發展，惟部分列管非法場地與合法活動場地位置相近，難以辨識載具實際起飛來源；後續如接獲相關通報，將由農業處、地政處等單位依土地使用及違章建築管理權責辦理查處作業。

依據民航局資料，該局除持續執行違規飛航活動查察外，亦辦理法規宣導、飛安講習、活動場地查核、活動團體教育訓練及維修公告發布等工作，並透過跨部會協調機制持續追蹤地方政府辦理違法土地使用、違章建築及非法活動場地之查處情形。

1.11.3 本事故後針對樹發活動場地之查處作業

本事故發生後，民航局於民國 115 年 3 月 10 日函請屏東縣政府及警政署協助查處違法超輕型載具活動。函文指出，屏東地區目前僅高樹鄉皆豪活動場地為合法超輕型載具活動場地，其餘列管場地均屬非法活動場地；部分場地並以農舍或相關建物作為載具及燃油存放場所，涉及公共安全風險。

屏東縣政府於同年 4 月 1 日會同相關機關，針對包括樹發活動場地在內之 3 處列管非法活動場地實施聯合稽查。其中，樹發活動場地查獲 3 棟未領有建造執照及使用執照之建築物。屏東縣政府已將稽查結果函送相關權責機關，後續將依土地使用及建築管理相關規定辦理查處。

二、 分析

事故載具操作人持有民航局核發之超輕型載具教練操作證，體格檢查結果符合超輕型載具管理辦法之標準；事故載具維修人員具有超輕型載具活動團體授權檢驗人員資格，並依規定完成超輕型載具檢驗人員訓練，無證據顯示本次事故與人員資格有關。

事故載具未依規定完成民航局註冊及檢驗程序，未取得超輕型載具檢驗合格證。載具起飛之樹發活動場地，非屬合法之超輕型載具活動場地。

有關本事故中引擎運轉情形、引擎失效過程、軸承失效原因，及超輕型載具非法活動查處等議題之分析，敘述如後。

2.1 引擎運轉情形

事故載具配置化油器式二行程引擎，機上裝有轉速、汽缸頭溫度及引擎運轉時數等基本監控儀表。依操作人及維修人員訪談內容，事故前地面測試及起飛前檢查期間，引擎運轉正常，起飛滾行時最大轉速約可達每分鐘 6,200 轉，汽缸頭溫度約維持於攝氏 100 度。上述情形顯示，引擎於起飛初始階段仍可輸出接近額定之動力，未出現足以影響操作人決定中止起飛之異常狀況。載具離地後不久，操作人即察覺引擎運轉異常，並聽聞異常聲響，其後引擎輸出功率持續下降，最終因無法維持飛行而實施迫降。

引擎拆解檢查結果顯示後缸活塞連桿斷裂、大端軸承完全破壞，連桿軸頸有嚴重磨損及高溫燒結現象。顯示事故引擎後缸於飛行過程中發生嚴重機械故障，導致該缸失去正常作動能力。然而，拆解結果亦顯示前缸活塞、連桿及軸承均未見異常損傷，且事故現場勘查發現，螺旋槳 3 片槳葉末端均有撞擊外物所形成之脫層及纖維散開痕跡。綜上資料研判，事故載具引擎在後缸失效後，前缸仍持續運轉並帶動曲軸及螺旋槳旋轉，因此引擎並非立即完全停止運轉，而是以降低之輸

出功率持續運作。由於單缸運轉所能提供之剩餘動力不足以維持載具正常飛行性能，操作人遂無法維持高度並被迫於場外迫降；螺旋槳則於迫降接地過程中撞擊地面或障礙物而停止轉動。

2.2 引擎失效過程

綜合 1.9 節引擎機械損傷情形及微觀檢驗結果，事故引擎後缸之失效過程分析如下：

該引擎經拆解檢查後發現，後缸連桿軸頸部有明顯高溫變色及燒結痕跡，大端軸承呈現嚴重磨損，軸承滾針已完全消失，並伴隨高溫燒結現象。上述跡象顯示，該處於運轉過程中曾發生異常摩擦、潤滑能力下降及局部高溫等情形，最終導致軸承功能喪失。

依二行程引擎之工作原理，混合氣自化油器進入曲軸箱後，於活塞下行時經掃氣道進入燃燒室，其流動方向由曲軸箱向上進入氣缸。因此，大端軸承失效過程中所產生之金屬碎屑及磨耗顆粒，可能先滯留於曲軸箱內部，並造成相關磨損痕跡；其後隨掃氣氣流進入燃燒室，在活塞頂面與氣缸頭間反覆受到高速擠壓及撞擊，導致後缸活塞頂面產生損傷（粗糙麻點，Pitting），亦造成後缸活塞側面嚴重刮損。

隨著大端軸承進一步劣化並完全失效，後缸活塞連桿之正常受力與運動關係遭到破壞。在前缸仍持續運轉並帶動曲軸旋轉之情況下，曲軸箱內部可能發生連桿、曲軸及相關組件間之異常碰撞。檢查結果顯示，後缸連桿於中段斷裂，曲軸箱殼體出現撞擊痕跡及破裂孔洞，且部分連桿組件已自曲軸箱脫離。顯示引擎內部曾發生劇烈機械破壞，並導致後缸完全失去作動能力。

綜上所述，事故引擎後缸連桿大端軸承於運作中因異常摩擦及局部高溫，產生金屬碎屑，經磨耗及組件碰撞，逐步造成活塞、連桿及曲軸箱等部件之連鎖損壞，致使該引擎失去部分動力。

2.3 軸承失效原因

有關潤滑油之使用，事故載具本次試飛係採用 40：1 之燃油與潤滑油混合比，較原廠手冊建議之 50：1 比例增加約 25%之潤滑油含量，理論上可提供較高之潤滑能力；潤滑油抗磨性能試驗（1.7.2.5 節）結果亦顯示潤滑油之抗磨擦性能相近。另經比對引擎前缸組件狀態良好、兩具化油器經細部分解後規格一致且未發現阻塞情形。以上顯示潤滑油之使用與本次事故無關。

事故引擎為二行程獨立缸室設計，運轉期間需仰賴混合氣中所含潤滑油提供潤滑；停機時主要依靠機件表面殘留之油膜、曲軸箱氣密性及存放於低濕度之環境條件，以降低水氣入侵及內部鏽蝕之風險，故該型引擎如長期停機未運轉，曲軸箱密封不良或環境潮濕將易造成引擎內部鏽蝕。該引擎拆解檢查結果顯示，引擎外部部分組件有鏽蝕現象，曲軸箱上、下箱體接觸面存在封膠塗敷不均情形，主軸頸表面可見鏽蝕痕跡；顯微鏡檢查亦發現後缸主軸頸軸承表面存在紅褐色鐵氧化物。此外，對後缸大端軸承燒結殘留物及連桿軸頸進行元素分析，均檢出明顯鐵氧化物成分。上述跡象顯示，事故前引擎軸承及軸頸表面已存在鏽蝕現象，其中後缸軸承之鏽蝕情形尤為明顯。

該型引擎軸承及軸頸表面若發生鏽蝕，運轉時將影響其表面平整度及運轉間隙，並可能降低潤滑油膜之穩定性。在高轉速及高負載運轉條件下，容易產生局部金屬接觸（Metal-to-metal Contact），進而導致異常摩擦、高溫累積及加速磨耗。事故引擎後缸大端軸承所呈現之嚴重磨損、高溫變色及燒結現象，可能係因其軸承及軸頸鏽蝕而於運轉中失效。

綜上述，事故引擎可能因曲軸箱氣密性不足或存放環境因素，使水氣進入引擎內部機件而產生鏽蝕現象。當引擎開始運轉後，鏽蝕面因摩擦造成表面損傷逐漸破壞潤滑條件，使後缸大端軸承異常磨耗、高溫燒結及結構崩解，最終導致引擎連桿斷裂及失效。

2.4 超輕型載具非法活動之查處

歷年涉及超輕型載具非法活動之事故調查報告中，本會曾針對未經核准之超輕型載具飛航活動及非法活動場地等議題提出飛安改善建議。建議內容主要包括加強違規飛航活動查察與取締、強化地方政府對非法活動場地及違章建物之查處作為、建立跨機關協調合作機制，以及持續推動合法活動場地及活動團體之輔導管理等事項。其目的在於降低非法超輕型載具活動可能衍生之飛航安全及公共安全風險。

依據民航局歷年改善措施執行情形及相關會議紀錄，民航局持續辦理違規飛航活動查察、法規宣導、飛安講習、活動場地查核及活動團體教育訓練等工作，並透過跨部會及地方政府協調會議追蹤非法活動場地、違章建物及土地使用違規案件之查處情形。

超輕型載具非法活動之查處涉及飛航管理、土地使用管理、建築管理及警政協助等不同權責機關。依現行機制，違規飛航活動之認定及裁罰由民航局辦理；非法活動場地、違法土地使用及違章建物之查處則由地方政府依相關法令執行。歷年會議紀錄顯示，地方政府持續辦理部分非法活動場地之列管、裁處及拆除作業，部分場地已完成拆除，部分案件則持續追蹤辦理中。

非法超輕型載具活動多發生於偏遠地區，且活動時間及起降地點不易掌握。民航局表示接獲通報後雖會派員查察，惟實務上常因通報資訊有限、查察人員抵達現場時機、私人土地進入限制，以及行為人身分辨識不易等因素，增加違規事證蒐集及後續裁處之困難。為改善相關問題，民航局近年持續透過跨機關協調機制，請地方警察機關於接獲民眾通報時協助蒐集訪談紀錄、照片及錄影等事證，並提供違法飛行事件訪談紀錄表範本供各縣市警察機關運用。

綜上所述，本會歷年針對非法超輕型載具活動所提出之飛安改善建議，主管機關已據以建立相關查察、協調、蒐證及場地管理機制，並持續辦理違規活動查處及非法場地追蹤作業。

三、 結論

<u>與可能肇因有關之調查發現</u>

1. 事故載具起飛後，引擎後缸連桿大端軸承於運作中因異常摩擦及局部高溫，產生金屬碎屑，經磨耗及組件碰撞，逐步造成活塞、連桿及曲軸箱等部件之連鎖損壞，致使該引擎失去部分動力，操作人無法維持高度而實施迫降。(1.9.2, 1.9.3, 2.2)

<u>與風險有關之調查發現</u>

1. 引擎曲軸箱上、下箱體接觸面封膠塗敷不均勻，可能降低曲軸箱氣密性，增加長期儲放期間外部水氣滲入曲軸箱內部引起機件鏽蝕之風險。(1.9.2, 2.3)

2. 事故載具未依規定完成民航局註冊及檢驗程序，未取得超輕型載具檢驗合格證。(1.4, 1.7.2.2, 2.1)

3. 事故載具起飛之樹發活動場地，非屬合法之超輕型載具活動場地。(1.3, 1.11.1, 2.1)

<u>其他調查發現</u>

1. 事故載具操作人及維修人員之相關資格符合超輕型載具管理辦法之要求標準。(1.5, 1.7.2.1, 2.1)

2. 事故載具使用之潤滑油其混合比雖未依照手冊規定，但潤滑油之使用與本次事故無關。(1.7.2.5, 2.3)

3. 針對超輕型載具非法活動及非法活動場地管理議題，主管機關已依本會歷年飛安改善建議建立相關查察、列管追蹤、跨機關協調及蒐證機制，並持續推動相關改善措施。(1.11.2, 2.4)

四、 運輸安全改善建議

4.1 改善建議

致交通部民用航空局

1. 強化對違反法規之超輕型載具活動之查處及取締，以遏止超輕型載具違規飛行活動[8]。（TTSB-ASR-26-11-001）

致屏東縣政府

1. 儘速依法採取具體、有效措施，對轄內超輕型載具非法活動場地及相關建物進行查處，以避免或降低超輕型載具違法飛行所造成之公共危險[9]。（TTSB-ASR-26-11-002）

[8] 本項改善建議，係因應與風險有關之調查發現第 2 項所提出。
[9] 本項改善建議，係因應與風險有關之調查發現第 3 項所提出。

報告結束