



國家運輸安全調查委員會

重大運輸事故 調查報告

中華民國 114 年 11 月 28 日

內政部空中勤務總隊 AS365N3 型機

編號 NA-108

於大甲溪河口上空訓練時駕駛艙儀表板冒煙事故

報告編號：TTSB-AOR-26-10-001

報告日期：民國 115 年 10 月

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 節規定：

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.

摘要報告

民國 114 年 11 月 28 日，內政部空中勤務總隊（以下簡稱空勤總隊）1 架 AS365N3 型直昇機(以下簡稱事故機)，編號 NA-108，1756 時自臺中清泉崗機場（以下簡稱臺中機場）起飛，執行夜視鏡訓練飛行任務，機上載有飛航教師、正駕駛及機工長各 1 名。約 1825 時，事故機於大甲溪河口外約 2 哩海面上(東經 120.55 度/北緯 24.40 度)，飛航教師發現駕駛艙前方儀表板中央下方區域冒出火花及煙霧，並伴隨電氣線路燒焦異味，即刻中止訓練並接手操控航機，執行相關緊急程序後返航，約 1833 時於臺中機場落地，人機均安。

依據中華民國運輸事故調查法並參考國際民航公約第 13 號附約（Annex 13 to the Convention on International Civil Aviation）相關內容，本會為負責本次重大運輸事故調查之獨立機關。受邀參與本次調查之機關(構)包括：內政部空中勤務總隊及新加坡商東南亞空中巴士直昇機股份有限公司台灣分公司。本調查報告經徵詢相關機關(構)之意見並於民國 115 年 9 月 10 日經本會第 90 次委員會議審議通過。

本次事故調查經綜合事實資料及分析結果，提出調查發現共計 8 項，改善建議共計 4 項。

調查發現

與可能肇因有關之調查發現

1. 事故機駕駛艙前方儀表板 6α 電力控制面板後方線束之捆紮與固定方式較為鬆弛，致儀表板於鎖定位時，該線束最下方之電壓表供電線路 2PJ1 導線與左側動靜壓分配器後方之靜壓管碰觸。在旋翼航空器運作產生之高頻振動長期作用下，2PJ1 導線隔離襯套與絕緣層因與靜壓管持續摩擦而破損，造成該導線內部銅芯線裸露並觸及透過保險鋼絲接地之靜壓管金屬組件，形成低阻抗短路迴路引致瞬間之高溫電弧與熱能造成該導線熔斷，並伴隨產生火花與煙霧。

2. 2PJ1 導線為駕駛艙前方儀表板、連接 6α 電力控制面板選擇旋鈕至 9α 整合式監測儀表電壓表之唯一電壓訊號傳輸路徑，導線熔斷後造成監測迴路開路，電壓表失去指示功能。

與風險有關之調查發現

1. 現行 AS365N3 維護計畫缺乏針對線路檢查特定工單，且缺乏針對線束密集區域（如儀表板後方）線路與周邊組件間之安全間距檢查及查核項目，難以主動識別線路之早期劣化與摩擦徵兆。
2. 早期航空器未完整導入電氣線路互聯系統管理概念之維護作業及訓練計畫，可能使非航電專業之維修人員在執行涉及線路區域之機械維修或拆裝作業時，對於線路保護與摩擦具有風險認知不足之情形。

其他調查發現

1. 事故機飛航組員持有空勤總隊核發之有效飛行人員檢定證，飛航資格符合空勤總隊要求，訓練與考驗紀錄中無與本案有關之異常發現。飛航組員事故前 72 小時之休息及活動正常，無證據顯示本次事故與飛航組員之醫療、藥物與酒精因素有關。
2. 事故機之載重與平衡均位於限制範圍內，飛行前之適航資訊皆無異常。
3. 本次事故僅涉及駕駛艙前方儀表板整合式監測儀表中電力監控系統之電壓表失效，航機主電力產生與供應系統（1、2 號發電機及電瓶）功能均維持正常，未對航機之飛行動力安全造成影響。
4. 事故機飛航組員使用未經空勤總隊核准發布之緊急程序快速參閱手冊。

運輸安全改善建議

致新加坡商東南亞空中巴士直昇機股份有限公司台灣分公司

1. 參照民用航空監理標準（如 AC F120-102B），編訂具備電氣線路互聯系統性質且針對特定區域檢查使用之工程指令或專案檢查工單，以彌補現

行維護計畫之不足。

2. 建立全體維修人員之電氣線路互聯系統基礎訓練計畫，強化維修人員對線路摩擦、污染及安裝干涉之風險識別與預防能力，確保線路維修品質符合適航標準。

致內政部空中勤務總隊

1. 要求 AS365 型直昇機商維廠商，編訂具備電氣線路互聯系統性質且針對特定區域檢查使用之工程指令或專案檢查工單以及基礎訓練計畫，納入查核項目。
2. 編訂 AS365 型直昇機之緊急程序快速參閱手冊，納入相關文件管理程序並建立正式之編修、審核、核准及發布管制機制，以確保其內容與原廠文件、機隊任務需求及訓練程序一致。

(本頁空白)

目 錄

摘要報告.....	i
表目錄.....	viii
圖目錄.....	ix
中英文名詞暨縮寫對照表.....	x
第 1 章 事實資料.....	1
1.1 飛航經過.....	1
1.2 人員傷害.....	2
1.3 航空器損害.....	3
1.4 其他損害情況.....	4
1.5 人員資料.....	4
1.5.1 飛航組員基本資料	4
1.5.1.1 飛航教師.....	5
1.5.1.2 正駕駛.....	6
1.5.2 飛航組員事故前 72 小時活動	6
1.5.2.1 飛航教師.....	6
1.5.2.2 正駕駛.....	7
1.6 航空器資料.....	7
1.6.1 航空器與發動機基本資料	7
1.6.2 航空器維護資訊	9
1.6.2.1 當日飛航及定期維護紀錄	9
1.6.2.2 電氣線路非例行性維護紀錄	10
1.6.2.3 AS365 機隊一次性檢查紀錄	10
1.6.3 載重平衡.....	10
1.6.4 電力監控系統.....	12
1.7 天氣.....	13
1.8 助導航設施.....	14
1.9 通信	14

1.10 場站資料.....	14
1.10.1 跑道場面特性與公布距離	14
1.10.2 進場及跑道燈光設備	15
1.11 飛航紀錄器.....	17
1.11.1 飛航紀錄器設置概況.....	17
1.11.2 飛航資料紀錄.....	18
1.11.3 時間同步與資料分析.....	18
1.11.4 機載攝影機影像.....	19
1.12 航空器殘骸與撞擊資料	20
1.13 醫療與病理.....	20
1.14 火災.....	20
1.15 生還因素.....	21
1.16 測試與研究.....	21
1.16.1 儀表板後方線束網紮狀態模擬	21
1.16.2 電壓表供電線路短路模擬分析	22
1.16.2.1 短路電流路徑模擬	23
1.16.2.2 分析計算參數與邊界條件	23
1.16.2.3 短路電流與正常工作電流之對比	24
1.16.2.4 熱能釋放與燒熔分析	25
1.16.3 電氣線路互聯系統之背景、發展與相關適航要求	25
1.16.3.1 EWIS 發展背景與國際適航趨勢.....	26
1.16.3.2 主管機關對 EWIS 之要求.....	26
1.16.4 小結.....	27
1.17 組織管理.....	28
1.17.1 空勤總隊組織與職掌	28
1.17.2 空勤總隊航務相關手冊管理	29
1.17.2.1 手冊修訂與管理	29
1.17.2.2 航務相關手冊修正審核程序	30
1.17.2.3 航務手冊飛航作業相關操作手冊規定	31

1.17.3 AS365N3 飛航手冊有關異常狀況之處理程序	32
1.17.3.1 事故航次飛航組員使用之緊急程序	32
1.17.3.2 航機製造商發布之事故機飛行手冊版本	33
1.17.4 空勤總隊 AS365 機隊維修委託概況	36
1.17.5 空勤總隊對委託維修之監督與管理	36
1.18 其他.....	37
1.18.1 訪談紀錄.....	37
1.18.1.1 飛航教師.....	37
1.18.1.2 正駕駛.....	38
1.18.1.3 勤務隊主管	38
1.18.1.4 維護人員.....	39
1.18.2 事件序.....	41
第 2 章 分析.....	42
2.1 概述.....	42
2.2 儀表板冒煙與電氣線路維護	42
2.2.1 火花及煙霧成因	42
2.2.2 電壓指示異常狀態	43
2.2.3 維護計畫.....	44
2.3 飛航操作手冊使用與管理	46
第 3 章 結論.....	48
3.1 與可能肇因有關之調查發現	48
3.2 與風險有關之調查發現.....	49
3.3 其他調查發現.....	49
第 4 章 運輸安全改善建議	51
4.1 改善建議.....	51

表目錄

表 1.5-1 飛航組員基本資料表.....	5
表 1.6-1 航空器基本資料.....	8
表 1.6-2 發動機基本資料.....	9
表 1.6-3 線路與電氣系統非例行性維修紀錄.....	10
表 1.6-4 載重平衡數據.....	11
表 1.10-1 臺中機場跑道公布距離.....	15
表 1.10-2 臺中機場進場及跑道燈光設備.....	15
表 1.18-1 事件序.....	41

圖目錄

圖 1.1-1 事故機飛航軌跡圖.....	2
圖 1.3-1 導線斷開處之熔斷現象.....	3
圖 1.3-2 靜壓軟管金屬接頭頸部熔陷與摩擦痕跡	4
圖 1.6-1 載重平衡相關資料.....	11
圖 1.6-2 電力系統控制面板與監測儀表.....	13
圖 1.10-1 臺中機場圖.....	16
圖 1.11-1 機載攝影機火花影像.....	20
圖 1.16-1 網紮鬆弛與網紮緊實狀態之比較.....	22
圖 1.16-2 多處破損之 2PJ1 導線隔離襯套	22
圖 1.16-3 短路電流路徑示意圖.....	23
圖 1.17-1 空勤總隊組織架構.....	28
圖 1.17-2 航勤組組織架構.....	29
圖 1.17-3 緊急程序快速參閱手冊修正內容對照表	32
圖 1.17-4 座艙冒煙處置程序.....	33
圖 1.17-5 AS365N3 飛行手冊面頁	34
圖 1.17-6 飛行手冊之座艙冒煙程序.....	35
圖 2.2-1 6α面板與 9α儀表線路連接情形	44

中英文名詞暨縮寫對照表

AC	Alternating Current	交流電
AC	Advisory Circular	民航通告
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast	廣播式自動回報監視系統
ALSF-1	Category I Approach Lighting System, Sequenced Flashers	含順序閃光燈之 第 1 類進場燈光系統
AMP	Aircraft Maintenance Program	航空器維護計畫
AWG	American Wire Gauge	美國標準線規
BAT	Battery	電瓶
CAA	Civil Aviation Administration	民用航空局
CFR	Code of Federal Regulations	美國聯邦法規
DC	Direct Current	直流電
EASA	European Union Aviation Safety Agency	歐洲航空安全總署
EWIS	Electrical Wiring Interconnection System	電氣線路互聯系統
EXT	External Power	外部電源
EZAP	Enhanced Zonal Analysis Procedure	增強型區域分析程序
FAA	Federal Aviation Administration	美國聯邦航空總署
FLG	Flashing	閃光
GEN	Generator	發電機
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球衛星導航系統
GPS	Global Positioning System	全球定位系統
GVI	General Visual Inspection	一般目視檢查
ICAO	International Civil Aviation Organization	國際民航組織
INV	Inverter	變流器
LH/RH	Left Hand / Right Hand	左側/右側
LIH	Light Intensity High	高亮度
MTC	Maintenance Tooling and Components	維護手冊
PAPI	Precision Approach Path Indicator	精確進場滑降指示燈
PCR	Pavement Classification Rating	鋪面分類指數
PF	Pilot Flying	操控駕駛員
PM	Pilot Monitoring	監控駕駛員
QC	Quality Control	品質管制
QI	Quality Inspector	品質檢驗員
RAI	Runway Alignment Indicator	跑道對正指示燈
SB	Service Bulletin	服務通告

UTC	Coordinated Universal Time	世界協調時
VDC	Volts Direct Current	直流電壓
WBAR	Wing Bar Lights	翼排燈

(本頁空白)

第 1 章 事實資料

1.1 飛航經過

民國 114 年 11 月 28 日，內政部空中勤務總隊（以下簡稱空勤總隊）1 架 AS365N3 型直昇機(以下簡稱事故機)，編號 NA-108，1756 時¹自臺中清泉崗機場（以下簡稱臺中機場）起飛，執行夜視鏡訓練飛行任務，機上載有飛航教師、正駕駛及機工長各 1 名。約 1825 時，事故機於大甲溪河口外約 2 哩海面上(東經 120.55 度/北緯 24.40 度)，駕駛艙前方儀表板中央下方區域產生火花及煙霧。飛航組員隨即穩定滯空，執行相關緊急程序後返航臺中機場落地，人機均安。

事故機約於臺北時間 1750 時自臺中機場空勤總隊機坪滑出，預計使用 W 滑行道向北起飛，目視飛航至大甲溪口北方近岸海域，執行正駕駛夜視鏡訓練。正駕駛為受訓學員坐於右座擔任操控駕駛員（Pilot Flying, PF），飛航教師坐於左座擔任監控駕駛員（Pilot Monitoring, PM）並擔任該次訓練之飛航教師，機工長坐於客艙執行後艙勤務。1756 時，事故機起飛後左轉朝西北航向離場，定向大甲溪口空勤訓練場，於該處實施夜視鏡設定與調整。1812 時，航機離開訓練場，以北北東航向飛往溫寮溪口近岸海域，執行夜視鏡訓練課目。

1825 時，事故機地速約 55 哩/時、高度²約 1190 英尺，飛航教師發現駕駛艙前方儀表板中央下方區域短暫冒出閃光，並伴隨電氣線路燒焦異味，即刻中止訓練並接手操控航機，右轉朝陸地飛航，並檢視駕駛艙電力系統儀表，發現兩具發電機及電瓶之電壓顯示均為零。經組員研判，後續未再出現火花或異味，遂依座艙冒煙緊急程序處置，關閉加溫系統、開啟窗戶、增加指示空速，並向臺中機場塔臺申請返場落地。

返場過程中，為避免受進場其他航機影響延誤落地，飛航教師向臺中

¹ 除非特別註記，本報告所列時間皆為臺北時間，即世界協調時（Coordinated Universal Time, UTC）+8 小時。

² 除非特別註記，本報告所列高度皆為 GPS 高度。

機場塔臺宣告 PAN-PAN 緊急情況，並獲同意優先進場。航機於 1833 時降落於臺中機場 W 滑行道，隨後滑行返回空勤總隊機坪。

事故機飛航軌跡示意圖如圖 1.1-1。



圖 1.1-1 事故機飛航軌跡圖

1.2 人員傷害

無。

1.3 航空器損害

事故機返航落地後，維修人員於次（29）日執行故障排除，並發現以下異常狀況：

- 編號 6a 之電力控制面板後方、線路編號 2PJ1 之電壓表供電線路導線（以下簡稱 2PJ1 導線）斷開；
- 受損線路下方靜壓軟管之金屬接頭頸部有燒灼痕跡；
- 電力控制面板選擇旋鈕在各檔位均無電壓指示（選擇旋鈕及檔位詳圖 1.6-2）。

維修人員於上述故障確認後即實施線路修復。專案調查小組依據維修資料及維修人員說明，該導線絕緣外皮破損且芯線外露，呈熔斷現象（詳圖 1.3-1）。專案調查小組取下事故機之靜壓軟管後，以具備元素分析模組之電子顯微鏡檢視該軟管金屬接頭頸部區域（詳圖 1.3-2, A），表面可見熔陷凹點（詳圖 1.3-2, B）以及摩擦痕跡（詳圖 1.3-2, C），凹點及摩擦區域表面經元素分析均檢出 10%以下銅元素殘留，未受損表面則為不含銅元素之氧化鋁。

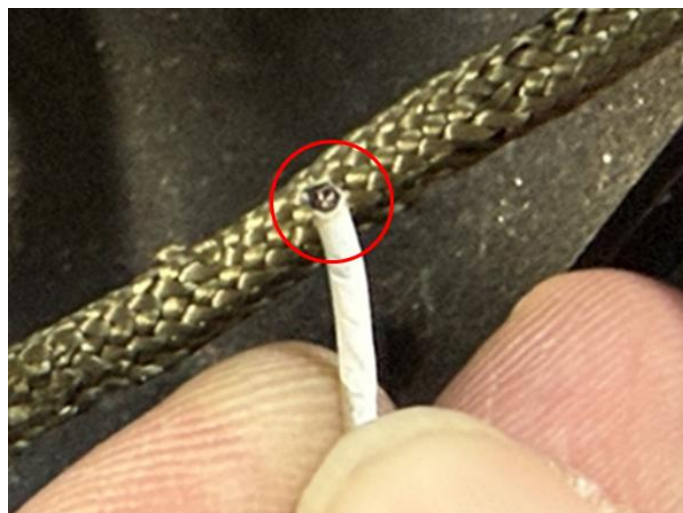


圖 1.3-1 導線斷開處之熔斷現象

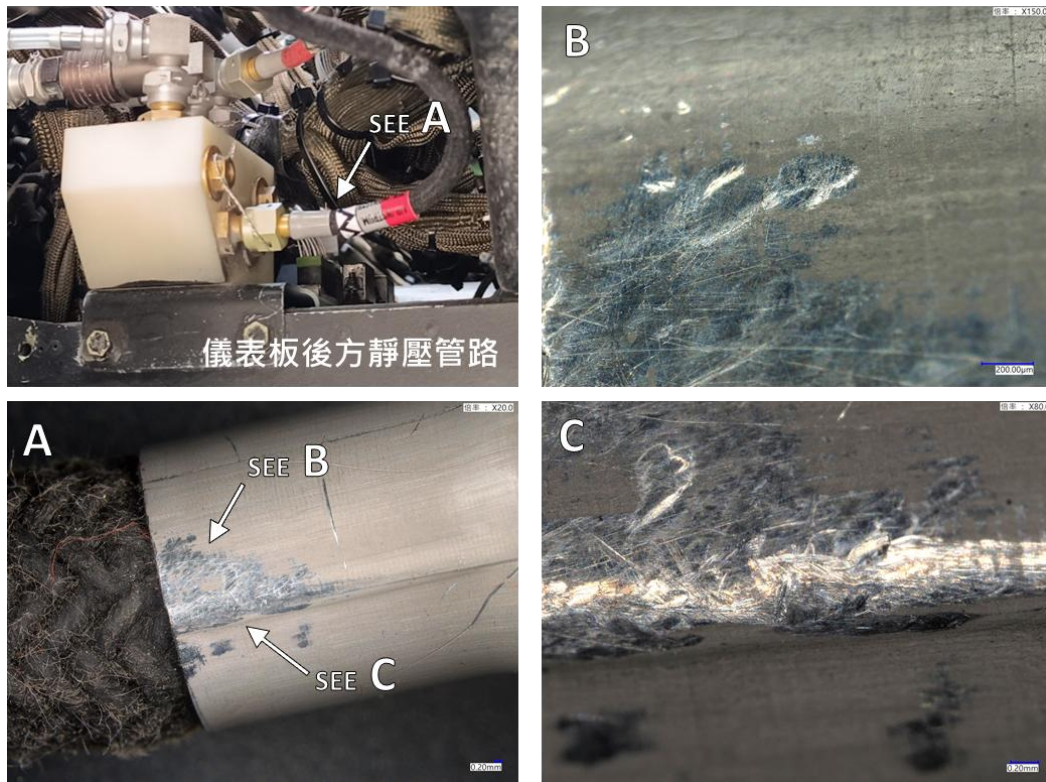


圖 1.3-2 靜壓軟管金屬接頭頸部熔陷與摩擦痕跡

1.4 其他損害情況

無。

1.5 人員資料

1.5.1 飛航組員基本資料

飛航組員基本資料如表 1.5-1。

表 1.5-1 飛航組員基本資料表

項 目	飛航教師	正駕駛
性 別	男	男
事 故 時 年 齡	46	49
進 入 空 勤 總 隊 日 期	民國 105 年 8 月	民國 110 年 7 月
檢 定 機 種 空 勤 職 務 有 效 日 期	AS365N 飛航教師 民國 115 年 12 月 31 日	AS365N 正駕駛 民國 115 年 4 月 30 日
最近之航空體格檢查日期 適合航空體檢標準否	民國 114 年 6 月 2 日 適合（乙類體位）	民國 114 年 6 月 17 日 適合（乙類體位）
總 飛 航 時 間 ³	1,745 小時 20 分	1,797 小時 32 分
事 故 型 機 飛 航 時 間	1,402 小時 20 分	580 小時 45 分
最 近 12 個 月 飛 航 時 間	205 小時 30 分	135 小時 50 分
最 近 90 日 內 飛 航 時 間	106 小時 40 分	43 小時 00 分
最 近 30 日 內 飛 航 時 間	50 小時 20 分	12 小時 55 分
最 近 7 日 內 飛 航 時 間	15 小時 40 分	4 小時 10 分
事 故 前 24 小 時 內 飛 航 時 間	3 小時 55 分	2 小時 40 分

1.5.1.1 飛航教師

飛航教師為中華民國籍，具 500 MD/D、S-70C、TH-67、UH-1H、UH-60M-14 及 AS365N 等型機飛行經驗。民國 105 年 8 月進入空勤總隊，同年 12 月取得 AS365N1/N2 副駕駛資格；民國 109 年 1 月取得 AS365N1/N2 正駕駛資格；民國 111 年 1 月取得 AS365N3 正駕駛資格；民國 113 年 5 月取得 AS365N 型飛航教師資格迄今。

事故發生時，該員持有空勤總隊核發之飛行人員檢定證，檢定機種為 AS365N，空勤職務為飛航教師，有效期限至民國 115 年 12 月 31 日。

³ 本表所列飛航時間係依照空勤總隊提供之資料統計，其中包含事故航班之飛行時間，計算至事故航班任務結束為止。

飛航教師最近一次體檢日期為民國 114 年 6 月 2 日，空勤人員體格檢查紀錄表中「適合航空體檢標準否」欄註記為「適合」。事故當日於執行每日任務提示前完成酒精測試，測試值為零。

1.5.1.2 正駕駛

正駕駛為中華民國籍，具 TH-55、UH-1H、AH-1W 及 AS365N 等型機飛行經驗。民國 110 年 7 月進入空勤總隊，同年 11 月取得 AS365N1/N2 副駕駛資格；民國 112 年 5 月取得 AS365N3 副駕駛資格；同年 10 月取得 AS365N 正駕駛資格迄今。

事故發生時，該員持有空勤總隊核發之飛行人員檢定證，檢定機種為 AS365N，空勤職務為正駕駛，有效期限至民國 115 年 4 月 30 日。

正駕駛最近一次體檢日期為民國 114 年 6 月 17 日，空勤人員體格檢查紀錄表中「適合航空體檢標準否」欄註記為「適合」。事故當日於執行每日任務提示前完成酒精測試，測試值為零。

1.5.2 飛航組員事故前 72 小時活動

1.5.2.1 飛航教師

11 月 25 日 0600 時起床，0720 時進辦公室，實施例行性隊務管理工作，1700 至 1905 時帶飛學員實施目視夜航飛行訓練，2030 時飛行後工作結束並留隊，約 2330 時就寢，睡眠品質佳。

11 月 26 日 0630 時起床，0720 時進辦公室，實施例行性隊務管理工作，1600 至 1920 時實施維護飛行及帶飛學員實施夜視鏡飛行訓練，2030 時返家，約 2330 時就寢，睡眠品質佳。

11 月 27 日 0600 時起床，0720 時進辦公室，實施例行性隊務管理工作，0800 至 1005 時帶飛學員實施高山訓練飛行，1750 時返家，約 2330 時就寢，睡眠品質佳。

11 月 28 日 0600 時起床，0720 時進辦公室，實施例行性隊務管理工

作，1715 時執行事故航班夜視鏡飛行訓練。

1.5.2.2 正駕駛

11 月 25 日 當日休假。約 2330 時就寢，睡眠品質佳。

11 月 26 日 當日休假。晚上搭 2055 時高鐵左營到臺中，約 2300 時返回隊部，約 2330 時就寢，睡眠品質佳。

11 月 27 日 0700 時起床，擔任備勤機組員。0840 至 1100 時執行海洋空偵巡護，1535 至 1610 時執行地面試車兩架次。約 2330 時就寢，睡眠品質佳。

11 月 28 日 0700 時起床，擔任備勤機組員。當日夜視鏡訓練前，全日作息正常，在辦公室辦公及寢室休憩。1715 時執行事故航班夜視鏡飛行訓練。

1.6 航空器資料

1.6.1 航空器與發動機基本資料

事故機統計至民國 114 年 11 月 28 日之基本資料，詳如表 1.6-1。

表 1.6-1 航空器基本資料

航空器基本資料表（統計至民國 114 年 11 月 28 日）		
國 籍	中華民國	
航 空 器 登 記 號 碼	NA-108	
機 型	AS365N3	
製 造 廠 商	Airbus Helicopters	
出 廠 序 號	6561	
出 廠 日 期	民國 88 年 11 月 16 日	
接 收 日 期	民國 88 年 12 月 06 日	
所 有 人	內政部空中勤務總隊	
使 用 人	內政部空中勤務總隊	
國籍登記證書編號	不適用	
適航證書編號	不適用	
適航證書生效日	不適用	
適航證書有效期限	不適用	
航空器總使用時數	5,316 小時 30 分	
航空器總落地次數	7,719 次	
上 次 定 檢 種 類	25 小時階段檢查	
上 次 定 檢 日 期	民國 114 年 11 月 25 日	
上次定檢後使用時數	8 小時 15 分	
上次定檢後落地次數	5 次	
最 大 起 飛 重 量	4,300 公斤	
最 大 著 陸 重 量	4,300 公斤	

事故機統計至民國 114 年 11 月 28 日之發動機資料，詳如表 1.6-2。

表 1.6-2 發動機基本資料

發動機基本資料表 (統計至民國 114 年 11 月 28 日)		
製 造 廠 商	Safran Helicopter Engines	
編 號 / 位 置	#1 LH	#2 RH
型 別	ARRIEL 2C	ARRIEL 2C
序 號	24032	24044
製 造 日 期	民國 87 年 11 月 30 日	民國 88 年 4 月 29 日
上次維修廠檢修後 使用時數	2,905 小時 45 分	826 小時 40 分
上次維修廠檢修後 使用週期數	Gas Generator:2103.15 次 Power Turbine:1205.61 次	Gas Generator:1756.76 次 Power Turbine:983.19 次
總 使 用 時 數	5,133 小時 20 分	4,660 小時 50 分
總 使 用 週 期 數	Gas Generator: 4,155.55 次 Power Turbine: 2,249.40 次	Gas Generator: 3,925.06 次 Power Turbine: 2,063.79 次

1.6.2 航空器維護資訊

1.6.2.1 當日飛航及定期維護紀錄

根據事故當日航機資料及勤務資料表，飛行前檢查執行完成，無異常登載；延遲改正登錄 1 項，故障項目為 Vision 1000 無法錄影，延遲改正屆期日為民國 115 年 1 月 26 日；飛行後登錄飛行後檢查執行完成，並登錄 1 項缺點「飛行中座艙出現火花，電瓶失效，#1 #2 發電機無電壓指示」。

事故機之定期維護作業係依據 Airbus Helicopters (以下簡稱 Airbus) 及 Safran Helicopter Engines (以下簡稱 Safran) 編訂之維護手冊與維護計畫，委託 Airbus 維修團隊⁴執行；該機自民國 114 年至事故日前，已執行之定期維護情況如下：

114 年完成 1 次包含所有高階項目 (600 小時/1200 小時/2 年/4 年/8 年) 全機大檢，以及 1 次 100 小時 (含 25/50 小時) 階檢。另發

⁴ Airbus 維修團隊：新加坡商東南亞空中巴士直昇機股份有限公司台灣分公司

動機每 20 小時健康檢查 (Engine Health Inspection) 左發動機共執行 8 次、右發動機執行 7 次。

上述維護工作內容，經檢視無電氣系統相關之檢查缺點或維修紀錄。

1.6.2.2 電氣線路非例行性維護紀錄

檢視事故機民國 114 年非例行性維修紀錄，與電氣線路、航電系統相關工作紀錄彙整如表 1.6-3，計有 3 筆紀錄顯示該機曾於事故前執行過電氣類相關系統檢修及缺點改正，其中工單編號 6561-002045 維修內容係發現電腦後方線路受損並執行線路修復。

表 1.6-3 線路與電氣系統非例行性維修紀錄

工單編號/日期	工作摘要
6561-002036 2025/07/23	燃油存量指示異常，執行故障排除發現存量指示訊號不穩定，執行線路接頭（編號 13Qa）重新壓接（Re-Crimping）後排除故障。
6561-002045 2025/08/18	自動駕駛航向轉彎側滑量超限，檢修發現電腦後方線路受損，執行線路修復，並更換自動飛行電腦後排除故障。
6561-002081 2025/10/22	根據總隊要求，執行 AS365 機隊貨艙電器裝置架及地板下線束（Wiring Harnesses）一次性特別檢查。

1.6.2.3 AS365 機隊一次性檢查紀錄

事故後，空勤總隊對其所屬 AS365 機隊 8 架直昇機（包含 N1、N2 及 N3 型）執行「儀表板後方線路一次性特檢」（One Time Fleet Inspection On The Wiring Circuit Behind The Instrument Panel）。該項檢查作業係依據 Airbus 維護手冊（Maintenance Tooling and Components, MTC）規範執行，檢查項目涵蓋線束固定狀況、絕緣保護、以及確保無外物殘留。全機隊檢查結果均無異常發現。

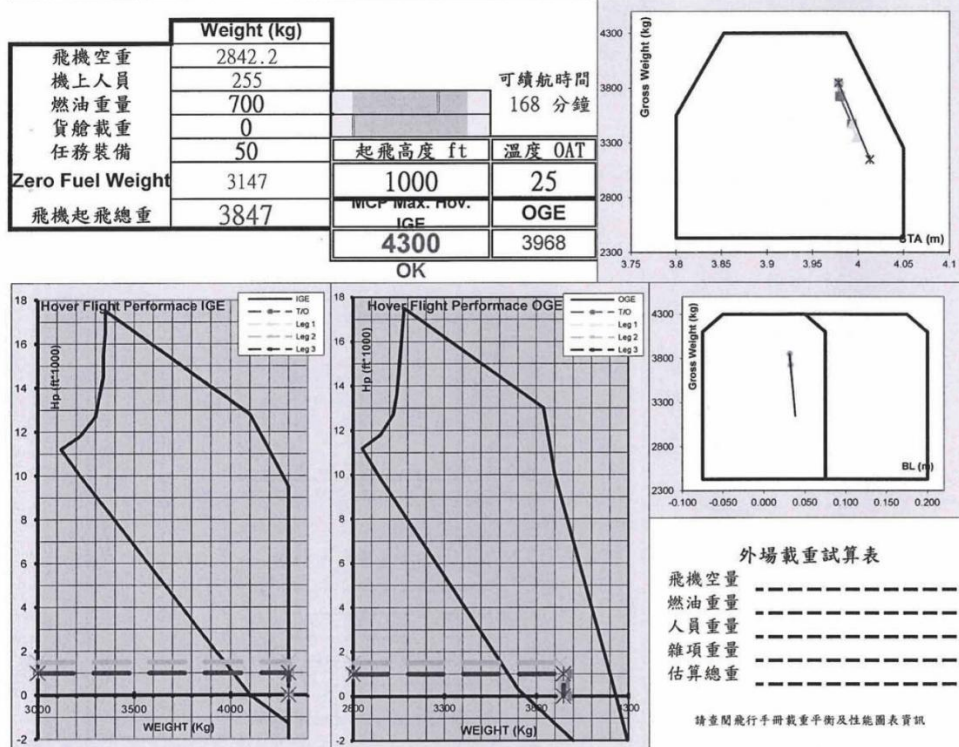
1.6.3 載重平衡

事故機載重平衡數據如表 1.6-4，載重平衡相關資料如圖 1.6-1。

表 1.6-4 載重平衡數據

實 際 零 油 重 量	3,147 公斤
最 大 起 飛 總 重	4,300 公斤
實 際 起 飛 總 重	3,847 公斤
起 飛 油 量	700 公斤
最 大 落 地 總 重	4,300 公斤
實 際 落 地 總 重	3,497 公斤

任務製表時間 2025年11月28日	二大一隊AS365-N3 載重平衡估算表			
機號	任務	基本組員	同乘人員	含人員吊掛、喇叭、探照燈索燈、右後座乘客椅
NA-108	訓練飛行	3	0	機組與同飛以平均75KG計算(包括個人裝備與隨身行李重量)、並由機工表依序安排位置。
本表只提供相關性能估算，各項資料均以空速120呎及250kg/hr燃油消耗率運算，若需更精確資料請查閱飛行手冊性能圖表計算。				



機長簽核		主官簽核	
------	--	------	--

圖 1.6-1 載重平衡相關資料

1.6.4 電力監控系統

AS365N3 型直昇機直流(Direct Current, DC)與交流(Alternating Current, AC)電力系統係透過電力控制面板(編號 6 α)及整合式監測儀表(編號 9 α)進行控制與監測,電力控制面板之旋鈕可選擇欲檢測之電力來源,並透過單一組儀表顯示電源參數及發電機負載情形,詳細功能說明如下:

1. 直流監測系統

在 28VDC 電力系統中,選擇旋鈕與電壓表/安培表連動,主要包含以下組件:

(1) 控制與顯示:儀表板包含一個電壓表(Voltmeter,圖 1.6-2, 9)與一個安培表(Ammeter,圖 1.6-2, 10),透過選擇旋鈕(Selector,圖 1.6-2, 6)進行電源來源切換。

(2) 監測檔位(旋鈕檔位):

- 發電機(GEN 1 & GEN 2):可分別讀取 1 號及 2 號直流發電機輸出電壓與電流負載。
- 電瓶(BAT):讀取機載電瓶的電壓狀態。
- 外部電源(EXT):當接上地面電源車時,讀取外部電源的電壓(標準為 28V,超過 31.5V 將觸發保護)。

(3) 負載讀取:安培表標示為 A%,範圍為 0~100,顯示發電機額定輸出電流(160A)的百分比負載。

2. 交流監測系統

AS365N3 型直昇機配備兩個靜態變流器(Static Inverters),將 DC 轉換為 115V/26V 400Hz AC 電力。

(1) 監測對象:選擇旋鈕可切換監測 1 號(INV 1)或 2 號(INV 2)變流器輸出。

(2) 顯示內容：僅讀取 115V 系統的電壓值 (Voltmeter,圖 1.6-2,9)。

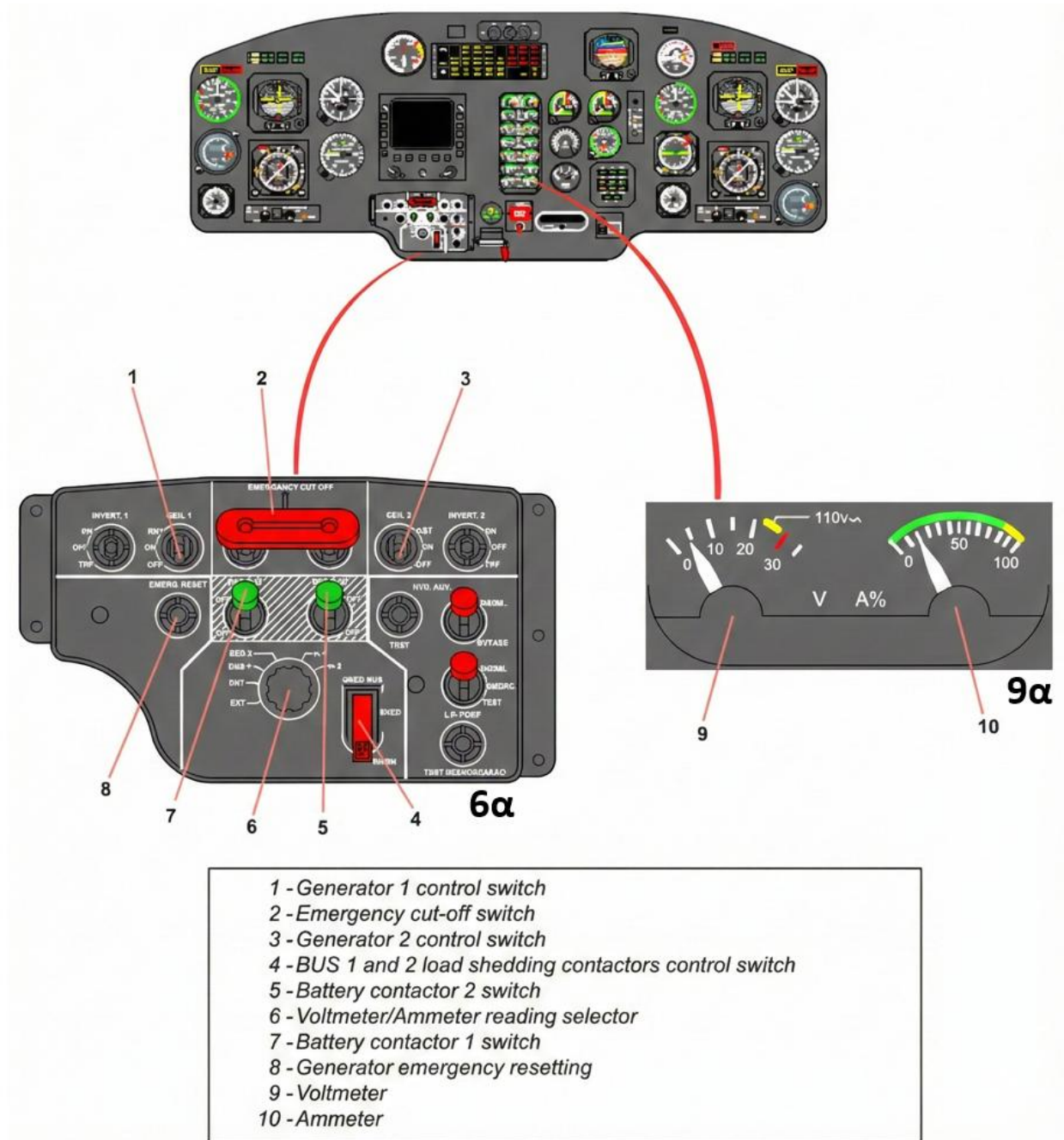


圖 1.6-2 電力系統控制面板與監測儀表

1.7 天氣

事故當日 1830 時臺中機場地面天氣觀測紀錄如下：

風向 020 度，風速 6 浬/時；能見度 10 公里或以上；稀雲 1,000 呎，裂

雲 6,000 呎；溫度 18℃，露點 12℃；高度表撥定值 1016 百帕；趨勢預報—無顯著變化。

1.8 助導航設施

無相關議題。

1.9 通信

無相關議題。

1.10 場站資料

1.10.1 跑道場面特性與公布距離

依據「臺北飛航情報區飛航指南」(生效日期民國 114 年 9 月 4 日，以下簡稱飛航指南)，臺中機場位於臺中市西北方約 10 公里處，標高 665 呎，設有跑道 1 條，跑道名稱為 18/36，跑道長 3,659 公尺、寬 61 公尺，材質為水泥混凝土，鋪面分類指數 PCR 410/R/A/W/T⁵。18/36 跑道之跑道地帶範圍長 3,779 公尺、寬 300 公尺，跑道兩端皆設有跑道端安全區，其中於 18 跑道末端範圍為長 240 公尺、寬 150 公尺；36 跑道末端範圍則為長 90 公尺、寬 90 公尺，均未設置緩衝區與清除區。同時，針對上述跑道端安全區之配置，於飛航指南之 36 跑道場面特性備註欄中列有「跑道端安全區寬度不符 Annex 14 之規定」說明。

飛航指南中有關臺中機場之跑道公布距離摘錄如表 1.10-1 所列，機場圖如圖 1.10-1 所示。

⁵ PCR 410/R/A/W/T：表示該鋪面之分類指數為 410、屬剛性鋪面(R)、路基强度高(A)、允許之最大胎壓無上限(W)、採用技術評估法計算(T)。

表 1.10-1 臺中機場跑道公布距離

跑道名稱	可用之起飛 滾行距離 (公尺)	可用之 起飛距離 (公尺)	可用之加速 - 停止距離 (公尺)	可用之 降落距離 (公尺)	備註
18	3,659	3,659	3,659	3,659	無
36	3,659	3,659	3,659	3,659	無

1.10.2 進場及跑道燈光設備

18/36 跑道之進場及跑道燈光設備設置情形，摘錄飛航指南資料如表 1.10-2 所列。

表 1.10-2 臺中機場進場及跑道燈光設備

跑道名稱	進場燈型式 長度 強度	跑道頭燈 顏色 有無翼排燈	目視進場 滑降指示燈 (最低眼高)	著陸區燈 長度	跑道中心線 燈總長度、 間距、顏 色、強度	跑道邊燈總 長度、間 距、顏色、 強度	跑道末端燈 顏色、有無 翼排燈	緩衝區燈長 度、顏色
18	RAI 300M White, FLG LIH, Uni- dir	Green WBAR	PAPI LEFT/3° (57.32 FT)	NIL	NIL	3,659M, 60M, White, Yellow, LIH	Red No WBAR	NIL
36	ALSF-1 900M LIH	Green WBAR	PAPI LEFT/3 (56.68 FT)	NIL	NIL	3,659M, 60M, White, Yellow, LIH	Red No WBAR	NIL

機場圖
AERODROME CHART

AD ELEV 665FT ARP: 241554N 1203715E

清泉崗機場
CINGCYUANGANG AD

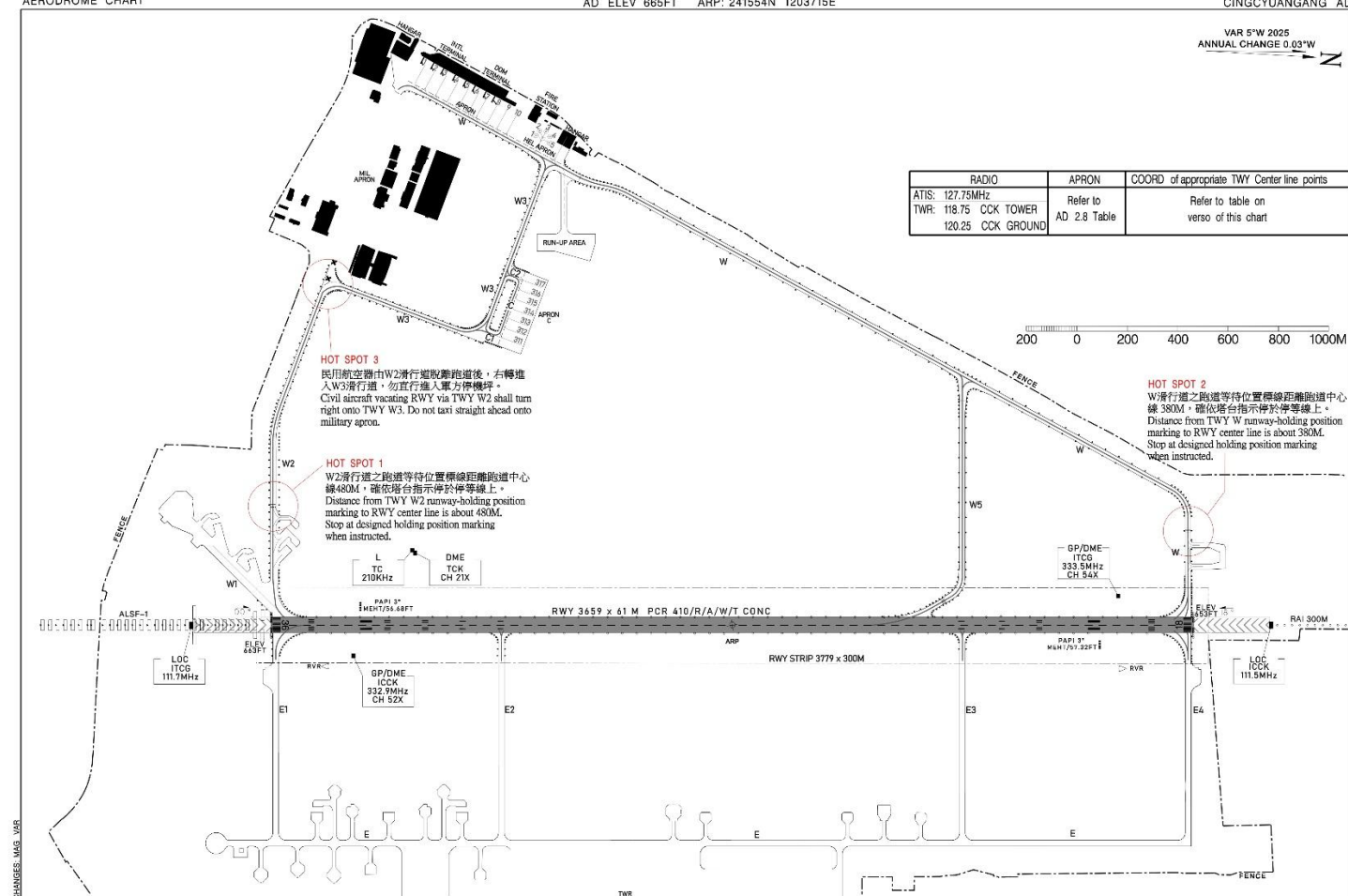


圖 1.10-1 臺中機場圖

1.11 飛航紀錄器

1.11.1 飛航紀錄器設置概況

我國公務航空器目前尚無與飛航紀錄器安裝及管理相關之法規；本會前身（飛航安全調查委員會）於民國 106 年曾針對空勤總隊提出與飛航記錄器有關之飛安改善建議，其內容為「整體評估各機隊裝置飛航紀錄器或簡式飛航紀錄器的必要性；重新檢視公務航空器的飛行風險評估及監控的方法，積極地應用機載紀錄資料。」。針對此改善建議，空勤總隊短、中期之作法為於機隊安裝簡式飛航紀錄器，長期則規劃於採購新型機種時，研議於規格中納入裝置飛航紀錄器，以利飛行紀錄監控、蒐證與風險評估分析⁶。

有關 AS365 型機機隊飛航記錄器安裝及規劃之現況敘述如下：

- 事故機原安裝之 Vision 1000 故障，因維修商源消失改以安裝 GoPro HERO 12 運動攝影機代替；
- 目前 Vision 1000 安裝於 NA-104、NA-105、NA-106、NA-109、NA-110 等 5 架直昇機，另 NA-101 配置 GoPro HERO 8、NA-102 配置 GoPro HERO 8 及 NA-108 配置 GoPro HERO 12 運動攝影機替代簡式紀錄器；配合民國 119 年 AS365N3 升級至 N3+專案，將全面拆除 Vision 1000，全數採用 GoPro 運動攝影機；
- AS365 機隊目前均使用可攜式衛星接收機(Portable GNSS Receiver, 下稱 GPS⁷) 用以記錄飛航軌跡；
- AS365N3+構改機隊預計自民國 117 年第二季起陸續交機，機隊架數將達到 9 架，全數將統一安裝 GoPro 運動攝影機及可攜式衛星接收機。

⁶ 106/08/21 內授空勤字第 1060860077 號函。

⁷ GPS 原係全球定位系統(Global Positioning System)之縮寫，於本報告中用以代稱可攜式衛星接收機。

1.11.2 飛航資料紀錄

事故機安裝之 GPS 型號為 Garmin Aera 660，具備資料記錄功能，包括日期、時間、經度、緯度、高度、地速及航向；事故機安裝之運動攝影機型號為 GoPro HERO 12，未具備軌跡速度及姿態數據紀錄功能。

與本次事故有關之記錄器資料包括：GPS 紀錄檔案及 2 筆 GoPro 運動攝影機影像資料，說明如下：

1. GPS 紀錄檔：為 kml 格式⁸，開始記錄時間為事故當日 1648:51 時，停止記錄時間為 1850:57 時，共紀錄 262 個點位。
2. GoPro 影像資料 (A-1)：影片長度為 1 小時 21 分 08 秒，檔案為 MP4 格式，畫面寬度及高度分別為 3840 畫素及 2160 畫素，每秒含 30 幅影像，包含事故機當天任務前地面準備至落地前約 40 秒之飛行過程；
3. GoPro 影像資料 (A-2)⁹：影片長度為 17 分 30 秒，檔案為 MP4 格式，畫面寬度及高度分別為 3840 畫素及 2160 畫素，每秒含 30 幅影像，包含事故機落地前約 40 秒、滑行至停妥之飛行過程。

1.11.3 時間同步與資料分析

上述資料經與其他航機之廣播式自動回報監視系統 (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast, ADS-B) 動態資料比對後，以 GPS 接收機紀錄之時間為基礎，進行上述資料解析。

事故機開始滑行至返回臺中機場之飛航軌跡如圖 1.1-1 所示，飛航資料摘要如下：

- 1750:02 時，事故機位置為東經 120.5997 度/北緯 24.25228 度，航向 24.8 度，顯示開始滑行；

⁸ 此為 GPS 設備經第三方軟體轉換之圖形化成果檔案，非原始紀錄數據資料。本會人員於民國 115 年 1 月 13 日前往空勤總隊嘗試直接下載設備內原始紀錄資料，正常下載後僅取得 1 筆事故後非關事故架次之飛航軌跡。

⁹ 與 A-1 銜接之連續影像，本事故安裝之 GoPro 運動攝影機具備檔案超過一定大小後，自動分切影片檔案以利輸出之功能。

- 1756:47 時，事故機位置為東經 120.6058 度/北緯 24.26378 度，航向 25.9 度，顯示起飛狀態；
- 1825:58 時至 1826:07 間，事故機位置為東經 120.5541 度/北緯 24.40095 度，航向介於 25.3 度至 31.7 度，駕駛艙前方儀表板中央下方區域出現火花；
- 1832:13 時至 1832:21 時，事故機位置為東經 120.6107 度/北緯 24.27595 度，航向介於 171.8 度至 181.9 度，進入臺中機場範圍；
- 1840 時，事故機停妥於臺中機場停機坪。

1.11.4 機載攝影機影像

檢視機載攝影機影像，火花出現於影片 0113:21 時，約為時間 1826:02 時，該影片解析度為每秒 30 幀，平均每幀 0.033 秒，火花出現至完全消失共歷經 10 幀畫面，其中第 6~9 幀未見火花，推算持續時間約為 0.33 秒。火花出現位置及影像截圖詳見圖 1.11-1。

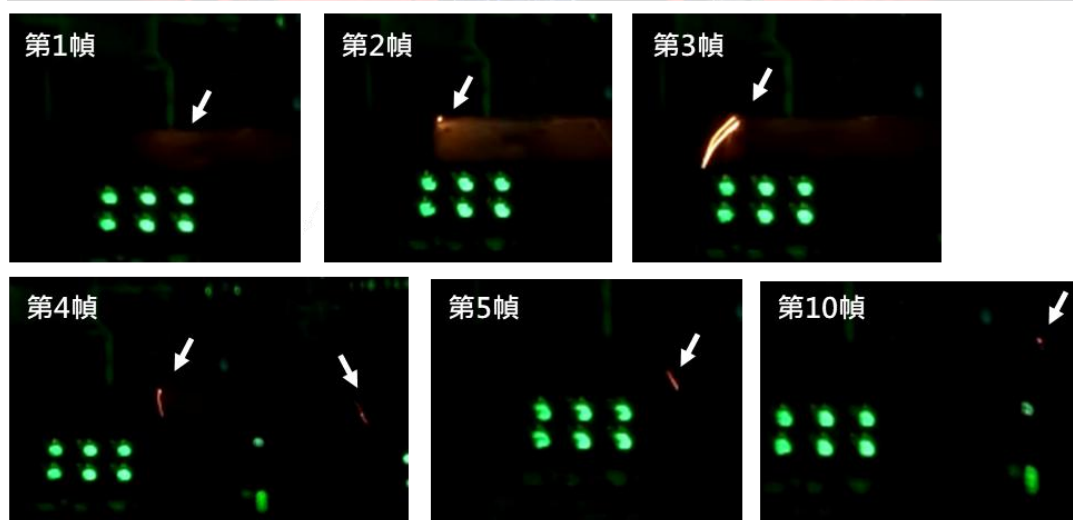


圖 1.11-1 機載攝影機火花影像

1.12 航空器殘骸與撞擊資料

無相關議題。

1.13 醫療與病理

無相關議題。

1.14 火災

無。

1.15 生還因素

無相關議題。

1.16 測試與研究

本節摘錄專案調查小組為執行事故調查所進行之測試與研究，目的係為確立事實，此部分內容之分析與結論屬於事實資料之一部分；本會另將於第 2 章分析章節中，綜合考量所有事證，提出本案整體性分析與結論。

1.16.1 儀表板後方線束網紮狀態模擬

專案調查小組於民國 114 年 12 月 8 日前往空勤總隊臺中駐地進行現場蒐證，2PJ1 導線已完成修復並以黑色絕緣膠帶包覆；後於民國 114 年 12 月 23 日再次前往檢視事故機，並針對儀表板後方線束網紮狀態進行模擬。

事故機駕駛艙之前方儀表板，經解鎖後可朝機尾方向放倒約 30 度，以利進行該儀表板後方線束之維修。所有與前方儀表板連接之線束均須符合：當儀表板解鎖放倒時避免拉扯線束，推回鎖定時後方線束與周邊結構或附件至少保持 1 公分間距¹⁰。專案調查小組採模擬方式，以線束於「網紮鬆弛」與「網紮緊實」兩種情境下，檢視線束與周邊結構或組件干涉之可能，如圖 1.16-1。若線束網紮鬆弛，於儀表板向後放倒時（即維修狀態）雖未碰觸任何組件，然當儀表板向前推回鎖定位時（即飛航狀態），線束將會下垂、跨越左側動靜壓分配器且與靜壓管相互碰觸；反之，若網紮緊實，則在任何部位均能與下方動靜壓組件保持 0.5 吋以上之間距。此外，該儀表板於鎖定位時，後方空間狹小，無法直接執行線束維修或間隙調整，需於放倒狀態進行，維修或調整完畢推回鎖定位後，需使用強光或反射鏡方能由隙縫中觀察線束固定之情形。

6α 電力控制面板後方線束包含數捆線路，各捆均有棕綠色纖維隔離襯套包覆，其中單線獨立包覆隔離襯套之 2PJ1 導線位於該捆線路最下方(如

¹⁰ MTC 20.80.20.441: General rules to be complied with when not otherwise specified on the technical sheets. Structure or equipment item regardless of position, Clearance: 10 mm minimum + slack.

圖 1.16-1 左圖)。專案調查小組檢視 2PJ1 導線線路，在長度僅約 10 吋的線段中發現襯套有 3 處起毛、甚至磨穿現象，如圖 1.16-2 箭頭處所示。

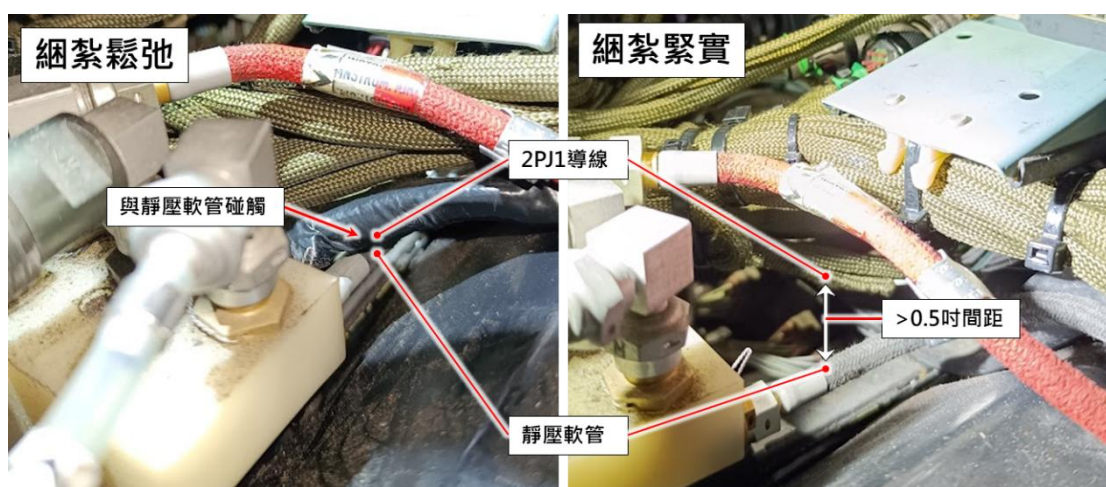


圖 1.16-1 網紮鬆弛與網紮緊實狀態之比較

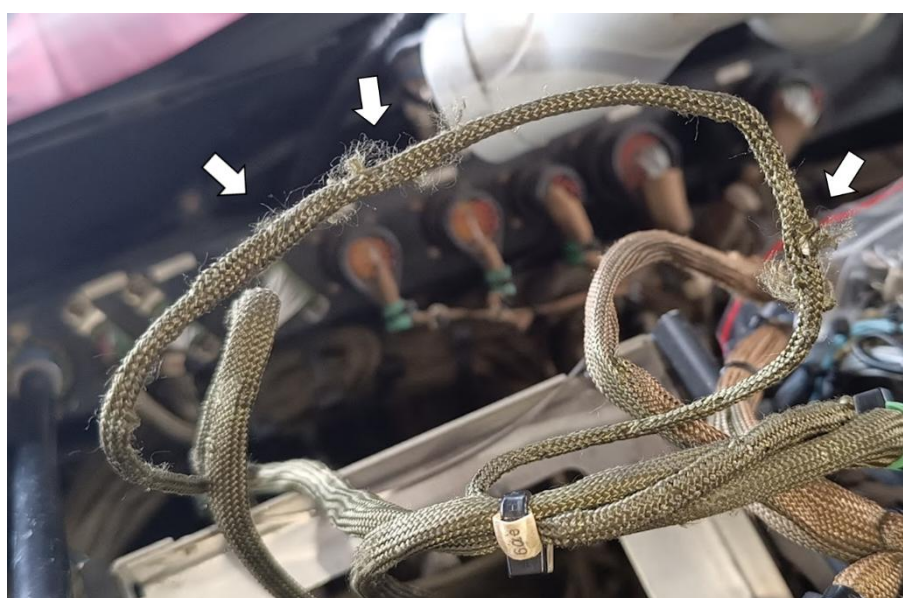


圖 1.16-2 多處破損之 2PJ1 導線隔離襯套

1.16.2 電壓表供電線路短路模擬分析

為確認事故機駕駛艙電力控制面板電壓表供電線路短路之電流路徑、並評估短路可能造成之破壞與風險，本會針對事故機儀表板電壓表之正極供電線路，發生絕緣層破損並對地短路之路徑、與引致導線燒熔之情境進行模擬與分析。分析係依據實際電路配置與線路參數，建立理論模型進行計算，以評估 28 V 直流電系統於低負載線路發生短路時之能量釋放特性與

潛在破壞力。

1.16.2.1 短路電流路徑模擬

為瞭解靜壓軟管金屬接頭頸部是否確為短路電流之路徑，專案調查小組對該靜壓軟管附近組件執行電路連續性量測（Continuity Test）。量測結果顯示，該靜壓軟管金屬接頭與機身結構間之初期電阻值為無限大（即不導通），然靜壓軟管接頭下方之支架（如圖 1.16-3）則與機身結構呈現良好導通狀態。經訪查維修人員執行該處修護時所觀察到之防鬆保險鋼絲（Lockwire）裝置情形，得知該保險鋼絲原係繫縛於接頭下方，其結尾段長度及走向可能碰觸下方支架，進而形成導電通路。因此，當 2PJ1 導線芯線外露並與靜壓軟管之金屬接頭頸部碰觸時，短路電流可經由管路頸部、接頭底座、防鬆保險鋼絲及下方支架，最終導入機身結構接地，形成完整之低阻抗短路迴路。短路電流路徑之示意如圖 1.16-3。

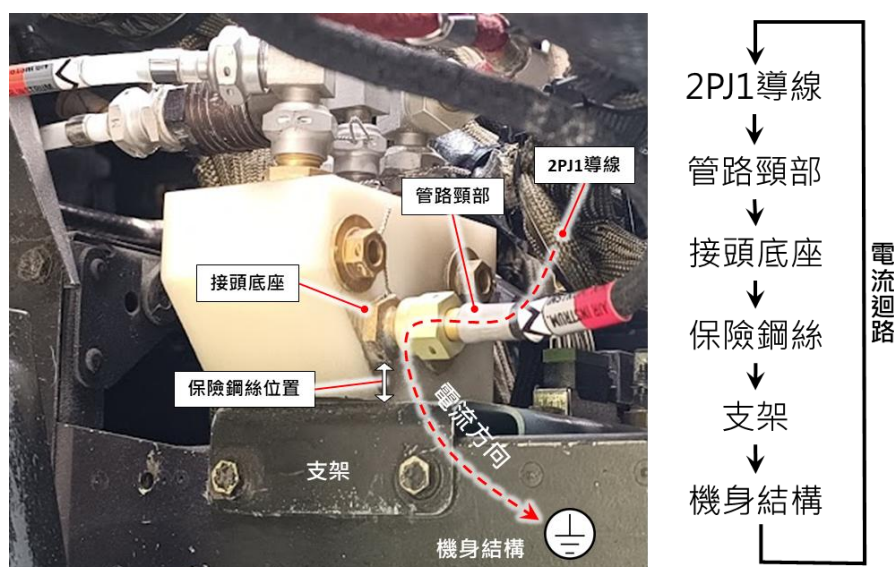


圖 1.16-3 短路電流路徑示意圖

1.16.2.2 分析計算參數與邊界條件

依據該機型線路規格與專案調查小組蒐集之相關資料，採用下列計算參數與假設條件如下：

1. 系統電壓（VDC）：28VDC。

2. 導線規格：20 號線，件號 EN2267-010A006S20 (20 AWG，鍍鎳銅導體，額定耐溫 260°C，截面積 0.518 mm²)。
3. 正常負載阻抗 (R_{load})：3,200 Ω (依實測之電壓表內部阻抗)。
4. 短路 (Short Circuit, sc) 迴路阻抗 (R_{sc})：
 - 短路發生時，電流路徑繞過電壓表負載，直接經由導線對航空器結構接地。
 - 考量導線長度 (故障點距電源匯流排約 3 公尺)、導線內阻 (約 33.3 mΩ/m) 及短路碰觸點電阻 (Contact Resistance)。
 - 綜合上述因素，設定短路總迴路阻抗約為 R_{sc} ≈ 0.15 Ω 作為保守估算值；實際阻抗值可能隨接觸狀態、壓力及幾何條件而有所變化。

1.16.2.3 短路電流與正常工作電流之對比

為凸顯短路狀態對線路所造成之危害，專案調查小組首先比較系統於正常運作狀態與短路故障狀態下之電流差異：

1. 正常工作電流 (I_{normal})：在系統正常運作下，電流流經電壓表內部線圈，其電流值依歐姆定律估算：

$$I_{\text{normal}} = V/R_{\text{load}} = 28\text{V}/3,200\ \Omega = 0.00875\text{A} \text{ (約 } 8.75\text{mA)}$$

該正常工作電流屬毫安培等級，線路於此狀態下之熱效應可視為極低，導線通常處於熱穩定狀態。

2. 短路瞬間電流 (I_{short})：當正極導線與機身金屬結構直接接觸時，原設計負載阻抗被旁路 (Bypass)，電流僅受導線與接觸點阻抗限制，其瞬間電流可依歐姆定律估算：

$$I_{\text{short}} = V/R_{\text{sc}} = 28\text{V}/0.15\ \Omega \approx 186.6\text{A}$$

計算結果顯示，短路瞬間可能產生百安培等級之瞬態電流，較正常工作電流 8.75mA 放大 21,326 倍，其量級遠高於 20 號線於航空器安裝環境下之額定安全載流能力 (正常約為 7.5A~10A)。

1.16.2.4 熱能釋放與燒熔分析

於短路情境下，高電流流經導體將產生顯著之焦耳加熱效應（Joule Heating）。本分析假設，在斷路器因過電流作動並完成斷路前，短路狀態可能持續一極短暫之瞬態時間（約 0.1 秒之量級），並以此作為理論計算之假設值，用以進行能量釋放之保守估算，其熱效應可估算如下：

1. 以電功率公式計算瞬時功率：

$$P = I^2 \times R = (186.6)^2 \times 0.15 \approx 5,223 \text{ Watt (瓦特)}$$

2. 以耗能公式計算累積熱能：

$$Q = P \times t = 5,223 \text{ Watt} \times 0.1\text{s} \approx 522\text{J (焦耳)}$$

3. 直流電弧效應（DC Arcing Effect）：

28 V 直流電系統與交流電系統相比，直流電於電流流動過程中不存在過零點（Zero-Crossing）。於特定條件下，當絕緣層破損且受振動影響而產生間歇性接觸時，電弧較不易自然熄滅，進而增加直流電弧形成與持續存在之可能性。一般直流電弧中心溫度可達約 3,000°C 至 5,000°C¹¹，而導線主要材質銅之熔點約為 1,085°C。

綜合上述熱效應分析，若約 522J（焦耳）能量集中釋放於短路接觸點或導線局部區域，可能於極短時間內使 20 號線局部溫度迅速上升至其熔點以上，導致導體局部熔融或燒斷，並可能伴隨高溫熔融金屬微粒之噴濺現象。

1.16.3 電氣線路互聯系統之背景、發展與相關適航要求

本節說明電氣線路互聯系統（Electrical Wiring Interconnection System, EWIS）之發展起源、基本概念，以及主要適航主管機關對 EWIS 所訂定之相關適航要求。

¹¹ Bingbing Dong, Ben Wu, Zhizheng Wang, & Xingliang Jiang (2022). Theoretical and experimental investigation of AC and DC arc propagation on polluted insulators surface. IET Generation, Transmission & Distribution, 16, 2681-2687.

1.16.3.1 EWIS 發展背景與國際適航趨勢

電氣線路互聯系統（EWIS）係指航空器上所有用以傳輸電力、訊號及控制指令之導線、電纜、接頭、端子、固定與保護裝置，以及其相關之支撐與安裝結構所構成之整體系統。EWIS 概念之形成，源於 1990 年代末期多起重大航空事故（如美國環球航空 800 號班機事故、以及瑞士航空 111 號班機事故）之調查結果，顯示航空器電氣線路系統可能因老化、磨損、安裝或維護不當，引發電弧（Arcing）現象，進而導致火災或關鍵系統失效。基於上述調查經驗，適航主管機關已逐步將電氣線路視為與發動機、結構同等重要之關鍵系統，強調其在設計、安裝及後續維護上，應作為一獨立系統並進行系統化管理。

1.16.3.2 主管機關對 EWIS 之要求

以下所述 EWIS 相關適航要求，係指各主要適航主管機關於航空器設計、認證及持續適航監理階段，針對電氣線路系統所建立之相關法規、可接受方法（Acceptable Means）及維護管理指引。

美國聯邦航空總署（Federal Aviation Administration, FAA）：自 2007 年 12 月 10 日起，FAA 即透過新增聯邦法規 14 CFR Part 25 Subpart H，明確定義 EWIS 之設計與安全要求。針對維修層面，FAA 於 AC 120-102¹²中，要求維護計畫需導入增強型區域分析程序（Enhanced Zonal Analysis Procedure, EZAP），強調對線路積塵、污染及物理損傷之主動檢查，並於 AC 43.13-1¹³提供詳細之電氣線路安裝、檢查與修復之標準技術做法。此外，亦於 AC 120-94¹⁴提供有關 EWIS 之人員訓練計畫建置指引。

歐洲航空安全總署（European Union Aviation Safety Agency, EASA）：EASA 於 2008 年 8 月起於 CS-25¹⁵（大型飛機）中增訂 Subpart H 專章規範

¹² AC 120-102: Incorporation of Electrical Wiring Interconnection System (EWIS) Instructions for Continued Airworthiness into an Operator's Maintenance Program.

¹³ AC 43.13-1: Acceptable Methods, Techniques, and Practices - Aircraft Inspection and Repair.

¹⁴ AC 120-94: Aircraft Electrical Wiring Interconnection Systems Training Program

¹⁵ CS-25: EASA Certification Specification for Turbine Powered Large Aeroplanes.

「電氣線路互聯系統 (EWIS)」；針對 CS-27¹⁶與 CS-29¹⁷（小型及大型旋翼航空器）則是採不另訂專章、於既有 Subpart F 中強化對電氣線路之安全性要求。在維修訓練要求方面則透過 AMC 20-22¹⁸訂定 EWIS 訓練準則，並於 Part-145 維修組織規範中，強調維修人員應具備 EWIS 之專業訓練，確保其在執行非電氣維修作業（如結構修理）時，亦能具備保護周邊 EWIS 系統之意識，避免電氣線路受到傷害。

我國民用航空局（Civil Aviation Administration, CAA）：我國航空器適航與維修管理制度係依循 ICAO 規範並參考 FAA 與 EASA 建立，有關 EWIS 之具體要求在維護作業方面，於 2011 年 5 月發布民航通告 AC F120-102 指引航空器使用人將 EWIS 檢查要求（含 EZAP）納入維護計畫，人員訓練則於 2010 年 3 月發布民航通告 AC F120-94 提供維修組織發展 EWIS 訓練計畫之參考，確保維修人員具備識別 EWIS 缺陷與風險之能力，適用於固定翼與旋翼航空器。

1.16.4 小結

本節所述之測試與研究，分別自線束綑紮狀態、電氣物理特性與維修制度背景等面向，提供本案事故調查所需之事實資料。

線束綑紮狀態模擬部分，當駕駛艙前方儀表板在鎖定位時，綑紮鬆弛之線束將會下垂、跨越左側動靜壓分配器且與靜壓管相互碰觸；綑紮緊實之線束，則在任何部位均能與下方動靜壓組件保持 0.5 吋以上之間距。

電氣線路短路模擬部分，依據事故機實際電路與線材規格合理假設條件，計算結果顯示，當低負載之 28 V 直流線路發生對地短路時，可能於極短時間內產生遠高於導線額定載流能力之瞬態電流與顯著熱能釋放，具備導致導線局部燒熔或產生火花現象之物理條件。

EWIS 背景資料部分，整理主要適航主管機關對 EWIS 之管理理念與

¹⁶ CS-27: EASA Certification Specification for Small Rotorcraft.

¹⁷ CS-29: EASA Certification Specification for Large Rotorcraft.

¹⁸ AMC 20-22: Aeroplane Electrical Wiring Interconnection System Training Programme

相關適航要求，顯示現行適航體系已將電氣線路視為需獨立管理之關鍵系統，並要求於設計、安裝與維修階段採取系統性之檢查與保護措施，同樣適用於旋翼航空器之維護。

1.17 組織管理

1.17.1 空勤總隊組織與職掌

依現行第十三版內政部空中勤務總隊航務管理手冊（以下簡稱航務手冊），其組織架構如圖 1.17-1 所示。航務運作隸屬於航勤組業務範疇，其編制情形如圖 1.17-2 所示。

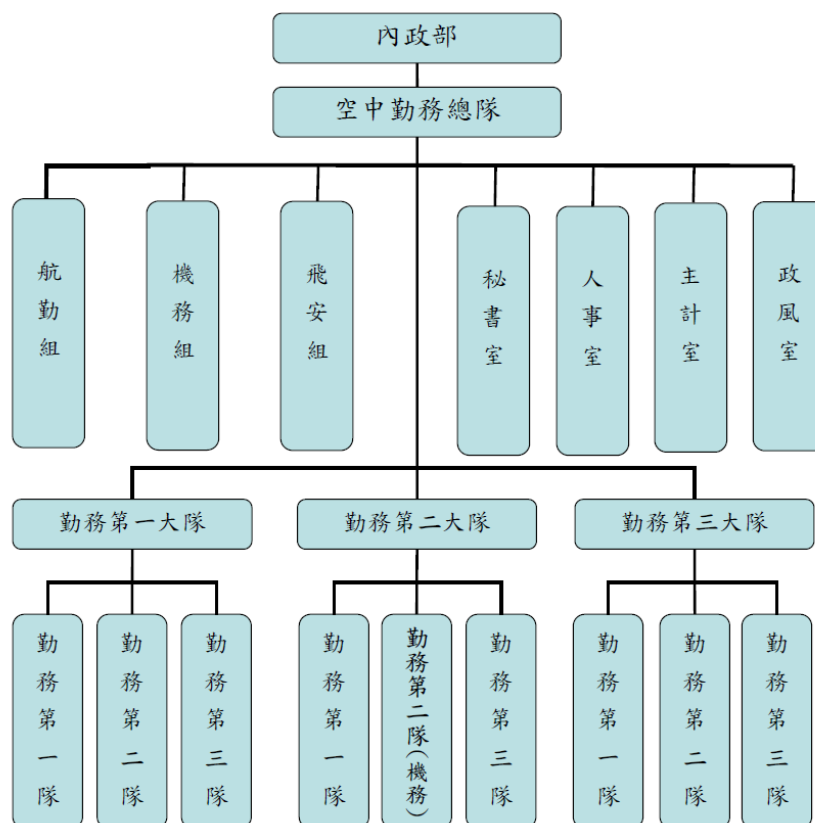


圖 1.17-1 空勤總隊組織架構

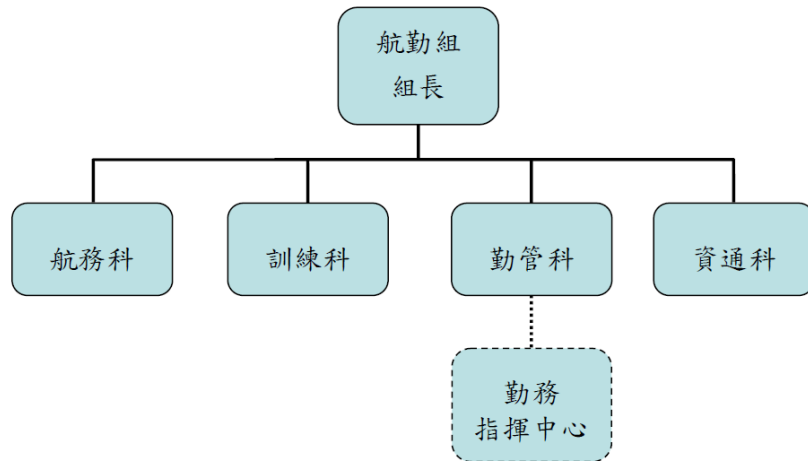


圖 1.17-2 航勤組組織架構

1.17.2 空勤總隊航務相關手冊管理

航務手冊第三條第二項明定：「本手冊如有修正，須經總隊長核可後頒布，本總隊各項勤務、訓練、執行單位應以本手冊為準據，編訂相關作業手冊；手冊修訂與管理、航務相關手冊修正審核程序，詳如附件一、二。」內文所提之附件一、二相關內容原文，詳見 1.17.2.1 及 1.17.2.2。航務手冊中飛航作業相關操作手冊規範於第四十條，內容原文述於 1.17.2.3。手冊原文部分以斜體字呈現。

1.17.2.1 手冊修訂與管理

一、修訂目的

係指作業手冊經頒布後，為反映實際情況（例如航空裝備更新、操作程序調整、航管公告修正、重大政策興革及建議等），以改進現存缺失，所作之修訂、增補或删除文件某些特定、局部內容，俾保持手冊之適切性與適用性，所執行之修訂作業。

(一)修訂程序手冊視需要，定期或不定期提報修訂，修訂須經建議、彙整、研討、審議、核准及頒布等六個程序。

1、建議：

各單位或人員針對現行作業手冊內容如有修訂建議，應填寫「手冊修訂建議表」，並得隨時送交編撰單位進行確認。不同章

節之修訂建議，應分開填寫，並應提供修訂前與建議修訂後之文句差異處，俾利編撰單位瞭解。手冊修訂建議如附表。

2、彙整：

手冊編撰單位彙整各單位所提修訂建議後，針對所列建議修訂事項予以確認，得分會相關單位就各單位意見進行彙整。

3、研討：

由各手冊編撰負責單位草擬修訂條文，並視需要協調各相關單位就修訂條文加以研討、確認。

4、審議：

視修訂內容，得由編撰單位自行審查或分會相關單位審查，重大修訂得召開審查會議為之。

5、核准：

經審查後之內容，完成所需修正後，由負責編撰單位簽陳總隊長或代理人核准。

6、頒布：

經總隊長或代理人核准後，應即頒布並發送各單位更新抽換。

二、管理之落實

(一)手冊編撰或負責管理單位，應定期或不定期至各接收單位檢查，防止不適用或過時之手冊誤用。

(二)手冊接收單位應責成專人負責保管及更新作業，以確實保持手冊內容為最新版本。

1.17.2.2 航務相關手冊修正審核程序

一、目的：

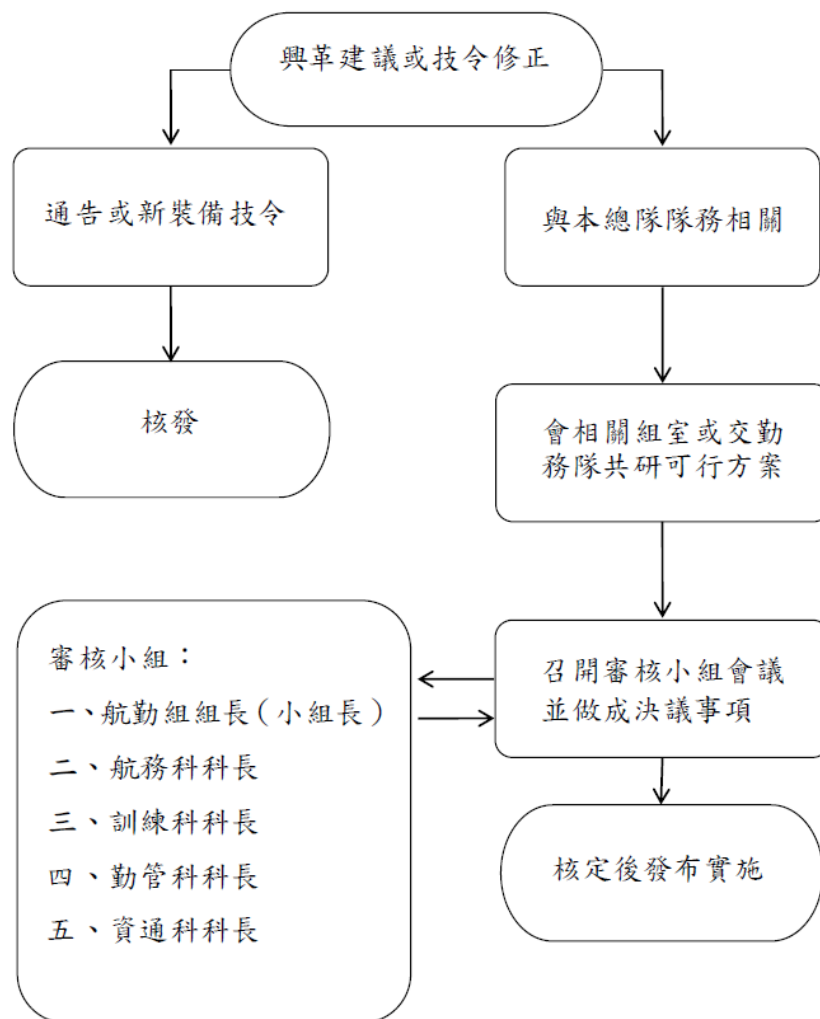
期使各項航務相關業務推展，能符合本總隊運作實際需要，訂定審核程序使各項任務執行能順利推展。

二、說明：

(一)本總隊為公務機關，航空器為「公務航空器」，與民間航空公司「民用航空器」兩者組織成立宗旨、空中勤務模式皆不相同，航空業務規定若一體適用民航法令，勢必造成本總隊業務推展困擾。

- (二)本總隊對於航空技令及航空管制通報，不做審核及任何文字上的修訂，函轉本總隊各業務及執行單位依內容執行相關航空作業。
- (三)本總隊各項航空相關規定、標準、手冊等編撰、修訂，經由審核小組開會討論，並經審核，陳核，核定後函發各單位實施。
- (四)作業暨審核編組：由航勤組組長擔任召集人，納編總隊相關單位與勤務隊人員實施條文修訂作業；其任務編組及修正審核程序詳如附圖。

航務管理手冊修正審核程序流程圖



1.17.2.3 航務手冊飛航作業相關操作手冊規定

- 一、各機型手冊內容應包括：正常（標準）、不正常，緊急操作程序，機型系統詳細說明，特種課目操作程序，飛航規定，各檢查程序，操作範圍與限制，相關使用檢查表，以及因時、地之不同，訂定異同之程序。

- 二、操作手冊之編審與修訂經總隊核備後，始得頒布實施。
- 三、飛航組員應依據操作手冊及飛航手冊中之各項規定、標準及限制操作航空器，不得逾越之。
- 四、具飛航教師資格以上人員，應依據飛機原製造之相關廠商所訂之航機操作手冊、程序，檢查表，配合本總隊之需要，在不違背相關法規原則下，制訂該機型操作教範或程序及檢查程序。

1.17.3 AS365N3 飛航手冊有關異常狀況之處理程序

1.17.3.1 事故航次飛航組員使用之緊急程序

飛航組員於駕駛艙冒煙狀況發生後所使用之 AS365N3 緊急程序快速參閱手冊(2 版)，其首頁於手冊名稱下方註明：「本手冊僅供訓練參考用，實際操作請參閱機種手冊」。

次頁為與前版差異之修正內容對照表(如圖 1.17-3 所示)。本次飛航組員選用之座艙冒煙處置程序，其頒布日期為 2023 年 9 月，程序內容如圖 1.17-4 所示。

緊急程序快速參閱手冊 2 版修正內容對照表				
項次	頁碼	修正(新增)項目	日期	修正原因
1	2	新增滯空、起飛及降落階段火警處置程序	2023.09	建議新增項目
2	3	座艙冒煙處置程序	2023.09	手冊更新
3	5	新增進場-落地階段時引擎失效處置程序	2023.09	建議新增項目
4	13	發動機金屬屑偵測處置程序	2023.09	手冊更新
5	17	2號液壓系油量(新增檢查 HYD ISO CUTOFF 在 Normal 位置)	2023.09	建議新增檢查項目
6	28	全部發電機失效處置程序	2023.09	手冊更新

圖 1.17-3 緊急程序快速參閱手冊修正內容對照表

座艙冒煙	SMOKE IN CABIN
- 加溫系統.....關閉 - 窗戶.....打開 - 指示空速.....增加 (60 kt 到120 kt) 若發現初始冒煙處 - 被影響之系統.....關閉 若無法辨別冒煙處 - 緊急電力開關.....關閉 - 所有耗電裝置.....關閉 - 緊急電力開關.....打開 - AP.....On - 剩餘耗電裝置.....關閉(由CTL4000或 其他 COM/NAV 控制盒關閉) - 所有耗電裝置.....一次開啟一個 - 引起冒煙之耗電裝置.....關閉 儘速落地 若持續冒煙: 立即落地	- Heating system Off - Bad-weather window..... Open - IAS.....Increase (60 KT-120KT) ✓ If the origin of the smoke is identified - Affected system ... Off ✓ If the origin of the smoke is not identified - EMERGENCY CUT-OFF.....Off - All consumers.....Off - EMERGENCY CUT-OFF... On - AP.....Engage - Remaining consumers..... Off via CTL 4000 or other COM/NAV control boxes. - Switch on the consumers one at a time in order to determine which one caused the smoke. Switch off this consumer and then switch all the others back on. LAND AS SOON AS POSSIBLE If smoke persists: LAND IMMEDIATELY

圖 1.17-4 座艙冒煙處置程序

1.17.3.2 航機製造商發布之事故機飛行手冊版本

依空勤總隊提供資料，AS365N3 飛行手冊現行版本為第十三版，生效日期為 2021 年 6 月 30 日，詳圖 1.17-5。飛行手冊中有關座艙冒煙程序之頁次截圖，詳圖 1.17-6。

INVENTORY SHEET

AS365 N3 FLIGHT MANUAL

EASA CERTIFICATION

[RFM dated on June 30, 2021]

The following chapters of **AS365 N3 EASA CERTIFICATION FLIGHT MANUAL** are subjected to export control regulations.

Classified sections or appendices are provided within this Flight Manual only if relevant to the aircraft (equipment installed/not installed) and if authorized by the proper export licence.

The presence of this sheet means the documentation has been checked and meets Export Control requirements.

US extraterritorial jurisdiction (ITAR)
US_EC_NoUScontent
US extraterritorial jurisdiction (Dual Use)
SUP.61_DUAL GNS 430W GPS (SOFTWARE VERSIONS MAIN 4.01 GPS 3.2 OR LATER APPROVED VERSIONS)
US_EC_EAR7A994
9.30_DUAL GNS 430W SYSTEM
US_EC_EAR7A994
French Jurisdiction (ML)
FR_EC_NotAssessed

Airbus Helicopters
Aéroport international Marseille-Provence 13725 Marignane Cedex – France

21-24

Page 1 / 1

圖 1.17-5 AS365N3 飛行手冊面頁

7 SMOKE IN CABIN

To ventilate the cabin, open the bad-weather windows and switch off the heating system.

EMER.COM (if installed) ON.

NOTE

It is recommended to reach flight level, V_i between 60 kt and 120 kt to be ready to the Auto Pilot disengagement.

If the origin of the smoke can be identified:

1. Affected system Switch off.

If the origin of the smoke cannot be identified:

1. EMERGENCY CUT OFF OFF.

NOTE

The Auto Pilot will be disengaged and SAS cannot be engaged.

2. All consumers OFF.

3. EMERGENCY CUT OFF ON.

4. AP Engage.

5. Remaining consumers Off via CTL 4000 or other COM/NAV control boxes.

6. Switch on the consumers one at a time in order to determine which one caused the smoke. Switch off this consumer and then switch all the others back on.

LAND AS SOON AS POSSIBLE

If smoke persists:

LAND IMMEDIATELY

8 ICING CONDITIONS

The appearance of ice on the windshield wipers is the first indication that the helicopter has entered icing conditions.

If unexpected icing conditions are encountered, fly out of the icing zone as quickly as possible.

Check:

1. All PITOTS ON.

2. Windshield deicing system (if installed) ON.

APPROVED

AS 365 N3

3.3

A

17-27

Page 13

圖 1.17-6 飛行手冊之座艙冒煙程序

1.17.4 空勤總隊 AS365 機隊維修委託概況

空勤總隊 AS365 機隊之維修作業，係依據「AS365 系列直昇機機隊管理暨委商維修勞務採購案」執行。採全面商維模式，涵蓋 AS365 機隊 8 架直昇機之機體、發動機、附屬部件及相關裝備，依約委由 Airbus 執行機隊管理、飛行線及各階段維修、航材籌補（發動機航材由空勤總隊自行籌補）與庫存管理等業務。採購契約中要求維護工作需由合格證照之技術人員執行，並建立品質管理與內部稽核制度，確保所有作業均符合原廠手冊及 EASA、FAA 或 CAA 之適航規範。此外，承商須統籌維修時程並提供外場支援，確保機隊妥善率符合契約指標，維持機隊持續適航並滿足各項任務需求。

1.17.5 空勤總隊對委託維修之監督與管理

空勤總隊對 Airbus 執行維修作業之品質監督，透過下列方式進行：

1. 每日查核：由各駐地勤務隊指派機工長，依「每日督導日誌」對當日維修作業進行查核。查核項目共 11 項，內容包含維修進度、報表作業、修護管制、航材及工具管理等項目。檢視 10 至 11 月期間每日督導紀錄未記載任何缺失。
2. 每月查核：由總隊派遣稽核人員前往各駐地，依據「月履約督導表」對當月維修作業進行查核。查核項目共 30 項，內容包含庫房管理、維修實務，修護管制、品質與安全管理。檢視 9 至 11 月期間共開出 21 項缺點，均已由總隊督導後完成改善。
3. 每季查核：由總隊組成品保督導小組依據「季履約督導表」赴各駐地執行查核，查核項目同「月履約督導表」。檢視 114 年第 3 季查核共開出 10 項缺點，均已由總隊督導後完成改善。
4. 缺點改善追蹤機制：查核過程所開立缺點，空勤總隊以行文方式要求 Airbus 於期限內完成改善，並於每月工程技術研討會中檢討執行結果。

1.18 其他

1.18.1 訪談紀錄

1.18.1.1 飛航教師

受訪者說明當次的飛行任務是執行右座正駕駛的夜視鏡訓練，計畫時間是 1700 時至 1900 時。1600 時依照天氣、機務，以及操作等細節，作飛行提示。航機準時開車滑出，因為整趟任務都在塔臺的管制範圍內，在塔臺發給目視飛航起飛許可後，全程的無線電都是保持在塔臺的波道。

航機依任務提示的程序，先在大甲溪河口練習場讓正駕駛體驗夜視鏡在夜間的感受，以及 HOVER、CRUISE、HEADING 等操作後，接續飛往溫寮溪口近岸外海執行 HOVER、CRUISE、HEADING 等操作。過程中前方儀表板中央下方突冒出一陣閃光，後伴隨類似電線塑膠燒焦的煙味，其便接手航機操控，並請正駕駛查看儀表。

受訪者補充說明在直昇機發生緊急狀況時，會以所謂 FICTD 的原則處置。F (Fly) 是要先控制好直昇機，建立安全的空速、高度、和姿態等；I (Identify) 意指辨識出問題所在；C (Confirm) 為組員對於狀況進行確認；T (Threat) 則是要研判狀況所造成的威脅；最後 D (Decision) 是決定處置方針。

受訪者回顧當下發生的狀況：在接手航機操作後，先爬升高度，將直昇機轉向陸岸飛航，待直昇機穩定後請正駕駛和機工長查看儀表，瞭解二具發電機和電瓶其電壓顯示均為零，而二具發電機仍顯示有電流輸出，而電瓶的電流值為零。確認後由正駕駛執行緊急程序快速參閱手冊中的座艙冒煙程序，但考量當時已無火警、冒煙，除電壓表之外其餘儀表與電氣系統無異常，加以正處於夜間低高度的海面上且鄰近機場，因此並未執行電氣系統的 EMERGENCY CUT-OFF 和之後的程序。後續便由正駕駛呼叫臺中機場塔臺，訓練結束準備返場。塔臺指示，五邊有準備進場航機，須在清水服務區上空待命。在考量不確定先前的疑似失火的狀況是否會後續蔓延，

便接手無線電呼叫 PAN PAN，跟塔臺說明現在的狀況，請求先落地。塔臺便馬上許可本機落地並滑行。落地後以空勤總隊波道先行通知機務人員，俟滑回空勤大坪後關車離機。隨即按規定立刻向總隊飛安組報告，並以飛安回報系統上傳書面報告。

1.18.1.2 正駕駛

受訪者表示，該次飛航為其第二次執行夜視鏡訓練。當日傍晚完成任務提示後，依例行程序實施飛航。於外海進行夜視鏡訓練課目期間，其於夜視鏡左側視角中短暫目視一瞬間閃光，隨後飛航教師即接手操控航機，並將航機轉向陸岸飛航。

經檢視儀表，發現電壓表均顯示為零，惟發電機仍有電流輸出顯示。與飛航教師討論並確認後，隨即翻閱緊急程序快速參閱手冊，依指示執行座艙冒煙程序。受訪者補充，雖機上備有原廠飛行手冊（Flight Manual），惟實務操作上係使用具中英文對照之緊急程序快速參閱手冊。

程序完成後，考量總隊有「不帶狀況飛行」之指導原則，且當時距離機場較近，遂決定返場落地。

1.18.1.3 勤務隊主管

受訪者表示，目前隊上所使用之緊急程序快速參閱手冊並非原廠所提供的文件，而是由隊上自行整理編製而成的參考資料。原廠僅提供 Flight Manual，並未提供類似民航業界常見的緊急程序快速參閱手冊。過去在執行精進訓練時，曾有外籍教官使用一份英文版本的緊急程序快速參閱手冊資料，隊上即以此資料格式為參考，依據 Flight Manual 內的程序內容編製中英文對照版的緊急程序快速參閱手冊供隊員參考使用。受訪者指出，該手冊內容均依據 Flight Manual 編寫，僅作為快速查閱的輔助資料，實際飛航作業仍應以原廠 Flight Manual 為依據。

受訪者說明，由於該翻譯內容未經原廠或上級單位正式核可，因此該手冊定位為內部參考資料，而非正式作業手冊。

受訪者指出，在實務作業上，如發生異常或緊急狀況，組員會利用自行編製的緊急程序快速參閱手冊與原廠 Flight Manual 作交互確認與處置。在事故當日的情況下，由於發生過程非常短暫且鄰近機場，經組員判斷，以儘速返回機場落地顯為當下最佳方案，故組員先透過自編緊急程序快速參閱手冊確認相關程序，並無足夠時間查閱完整的 Flight Manual。

在手冊的版本更新方面，受訪者表示當原廠或相關機構發布新的技術資料或程序修訂時，由空中巴士直昇機公司東南亞分公司將訊息通知總隊後辦理修正，並以電子郵件寄送給飛行員參考；飛航查核時則由航勤組或飛安組不定期查核 Flight Manual。至於自行編製的中英對照快速參閱手冊，通常由勤務隊兼辦航務業務的人員負責更新相關內容，會先透過手機通訊軟體群組互相通知，或由隊長指定人員修改電子母檔後再告知其他隊員；隊員可能自行手寫方式修訂個人版本，或在累積較多修訂程序時再由隊上將修訂版印出。受訪者指出，由於該機型已屬成熟機種，近年操作程序的變動並不多，因此大幅修訂的情形較少。

受訪者表示，過去曾嘗試將該自編快速參閱手冊正式化並提交上級單位，但因涉及翻譯責任與定義問題，未能獲得同意。主要原因在於原廠僅提供英文版本手冊，若由單位自行翻譯並正式採用，可能涉及翻譯正確性及責任問題，故組織內現階段堅持使用原廠 Flight Manual。因此，目前該手冊僅作為訓練與輔助使用的參考資料，正式作業仍須以原廠 Flight Manual 為依據。

1.18.1.4 維護人員

受訪人曾於亞洲航空及港龍航空服務，從事航電維護工作，民國 104 年起加入 Airbus Helicopters 專責航電維修，服務期間完成 AS365 與 H145 原廠訓練課程，目前擔任維修經理。台中駐地維修編制共分 4 個部門：機體組、航電組、修管組以及物流組，維修經理負責統籌維修工作及協調 4 個部門之運作。

關於本次事故經過與初期處置，11 月 28 日晚間該機執行訓練大約 1 個

多小時後，飛行員通報儀表板下方出現「火花」並緊急返航，飛行員觀察到電壓表歸零，1、2 號發電機及電瓶電壓均無顯示，飛機落地後由值班人員先進行目視檢查，當時並未發現異狀或燒焦味，隨後機工長執行發動機「假啟動」(Dry Cranking) 測試，確認發電機功能正常，初步排除發電機故障的可能性，在未找到明確故障前先將該機列為「不妥善機」停止任務並拖入棚廠拆除 6α 控制面板進行檢查，11 月 29 日上午續執行故障排查，並詢問飛行員再次確認曾看到火花、聞到短暫燒焦味，選擇旋鈕轉動各檔位均無電壓顯示，維修人員移除儀表板上罩蓋與部分儀表、控制面板，針對 6α 控制面板後方的五捆線束進行細部檢查，逐一剪開束線帶，發現其中一條電線的外部隔離套有「起毛球」現象。進一步撥開檢查發現該隔離套存在破洞且內部的電線已完全斷開，經檢視後確認該斷點曾發生短路，且對照電路圖後，證實該線路正是連接選擇旋鈕至電壓表的線路，與飛行員描述的無電壓顯示狀況完全吻合；確認故障點後，依照標準程序，使用連接管將斷開的線路接回、包紮與線束固定，修復完成後接通外電源進行上電檢測，確認交、直流電、導航系統及電壓選擇顯示功能恢復正常，最後請飛行員協助進行試車驗證；此事件發生後，總隊下令對全機隊執行線路走位檢查，臺中駐地的四架飛機在規定時間內完成停機特檢，未發現類似異常狀況。

駐地維護工作，依據的手冊及文件均為線上取得以確保為最新版期；品管制度上，每項工作皆由合格維護人員執行並由檢驗員(Quality Inspector, QI) 確認後共同簽署工單。QI 資格需具備證照並經總隊核准列冊，這次特檢需由檢驗員做最後檢查。

Airbus 是空勤總隊 AS365 機隊的商維廠商，由台北總隊派員進行每月及每季稽核，稽核範圍涵蓋工作現狀、文件紀錄、設備工具及耗材管理，如發現缺失，由 Airbus 的品管部門統籌改善措施及回覆。有關線路的定期檢查，在 25 或 50 小時的定期短檢以目視檢查線路狀況，兩年及以上的檢查則會執行深入的線路搭地檢查(Bonding Check)，沒有特別的工單或檢查項目針對儀表板內部或某區域的線路執行特定的檢查。

1.18.2 事件序

本事故發生之重要事件順序如表 1.18-1。

表 1.18-1 事件序

時間	事件內容	資料來源
11 月 28 日		
1739	塔臺許可事故機離場後保持目視、高度 1,000 呎至大甲溪口岸以北，並與塔臺保持聯絡。	航管錄音抄件
1750:02	事故機位置東經 120.5997 度/北緯 24.25228 度，航向 24.8 度，顯示開始滑行	飛航資料紀錄
1756	塔臺許可事故機起飛。	航管錄音抄件
1756:47	事故機位置東經 120.6058 度/北緯 24.26378 度，航向 25.9 度，顯示起飛狀態。	飛航資料紀錄
1800	事故機到達訓練空域。	航管錄音抄件
1825:58 至 1826:07	事故機位置東經 120.5541 度/北緯 24.40095 度，航向介於 25.3 度至 31.7 度，駕駛艙儀表中央下方區域出現火花。	飛航資料紀錄
1826:29	事故機請求返場。	航管錄音抄件
1826:50	事故機呼叫 PAN-PAN，駕駛艙有火，有燒焦味。	航管錄音抄件
1827:55	事故機回復不需要地面支援。	航管錄音抄件
1831:03	塔臺許可事故機落地。	航管錄音抄件
1833:27	事故機落地，滑向臺中機場空勤總隊機坪。	航管錄音抄件
1840	事故機停妥於臺中機場空勤總隊機坪。	飛航資料紀錄

第 2 章 分析

2.1 概述

事故機飛航組員持有空勤總隊核發之有效飛行人員檢定證，飛航資格符合空勤總隊要求，訓練與考驗紀錄中無與本事故有關之異常發現。飛航組員事故前 72 小時之休息及活動正常，無證據顯示本次事故與飛航組員之醫療、藥物與酒精因素有關。事故機之載重與平衡均位於限制範圍內。依航空器維修資訊，自民國 114 年起至事故日前之定期與非例行性維護紀錄、以及事故當日之飛行前檢查紀錄，均無與本次事故相關之檢查缺點與維修紀錄，亦無尚待執行之適航指令。

與本事故有關之因素包括：儀表板冒煙與電氣線路維護、飛航操作手冊使用與管理之相關分析等敘述如後。

2.2 儀表板冒煙與電氣線路維護

2.2.1 火花及煙霧成因

訪談資料顯示，事故當天飛航組員於飛行過程中目擊駕駛艙前方儀表板中央下方區域出現火花並伴隨煙霧；根據機載影像紀錄，火花出現位置為 6 α 電力控制面板下方，持續時間約 0.33 秒。次日維修人員於檢修過程中，發現 6 α 電力控制面板後方線束中編號 2PJ1 之電壓表供電線路導線（以下簡稱 2PJ1 導線）發生熔斷。

依據第 1.16.1 節之儀表板後方線束網紮狀態模擬結果，可知當線束處於網紮鬆弛的狀態，在旋翼航空器長期持續運作時引致之高頻振動及接觸摩擦作用下，易造成 2PJ1 導線之外部隔離襯套破損，進而使 2PJ1 導線絕緣層出現破損、內部銅芯線外露；由第 1.16.2.1 節所述靜壓軟管金屬接頭之防鬆保險鋼絲裝置情形，該軟管金屬接頭可能因繫縛於接頭下部之防鬆保險鋼絲尾段碰觸下方固定支架而與機身接地導通。當外露之帶電導線與周邊接地結構或組件發生接觸時，即形成低阻抗之短路迴路。又依據第 1.16.2

節之電壓表供電線路短路模擬分析，可得該線路在正常狀態下電流僅約 8.75mA。然而，短路發生瞬間，電流繞過電壓表之高阻抗負載，瞬間電流突升至約 186.6A，約為正常工作電流之 21,326 倍。此極端之瞬態過電流，可於 0.1 秒內釋放約 522 焦耳之熱能。由於直流電弧中心溫度可達 3,000°C 至 5,000°C，遠超過銅導體 1,085°C 之熔點，推估於短路形成時該導線將瞬間熔斷。此高能量之金屬熔融與汽化過程，除導致導線熔斷外，其產生之高溫熔融金屬及電弧噴濺，亦可能造成位於下方之靜壓管金屬接頭表面呈現明顯之燒灼痕跡與銅元素殘留。

綜合以上組員訪談紀錄、線束固定幾何位置及導線短路模擬分析，本事故火花及煙霧之可能成因，係 6 α 電力控制面板後方線束捆紮方式較為鬆弛，線束於儀表板鎖定位位置與下方靜壓管發生碰觸，在長期環境振動作用下，位於線束最下方之 2PJ1 導線隔離襯套與導線絕緣層，因與靜壓軟管持續摩擦而破損，最終芯線外露觸及接地之靜壓軟管金屬組件形成短路迴路，致 2PJ1 導線瞬間熔斷，伴隨產生之高溫熔融金屬及電弧噴濺即形成飛航組員觀察到之火花及煙霧。

2.2.2 電壓指示異常狀態

AS365N3 型機之直流電力監測系統，係透過 6 α 電力控制面板（以下簡稱 6 α 面板）上之選擇旋鈕，切換不同電源來源，並將訊號傳送至 9 α 整合式監測儀表（以下簡稱 9 α 儀表）進行顯示，而 2PJ1 導線則為連接 6 α 面板選擇旋鈕至 9 α 儀表之唯一電壓傳輸路徑。當 2PJ1 導線因短路產生高溫熔斷後，6 α 面板與 9 α 儀表間之電壓監測迴路即形成開路（Open Circuit），即使飛航組員切換旋鈕讀取不同電源，電壓表皆無法接收訊號而顯示 0 伏特，6 α 面板與 9 α 儀表線路連接情形如圖 2.2-1。

飛航組員於事故過程中觀察到火花出現後電壓表指示 0 伏特，且轉動電力儀表選擇旋鈕至各檔位（1、2 號發電機及主電瓶）測試呈現 1、2 號發電機無電壓有電流、主電瓶無電壓無電流狀態（此處電流實為電流負載率 A%）；機工長於關車後另執行發動機假啟動（Dry Cranking）則確認發電機

功能正常。綜合上述電力監測系統說明及事故期間之觀察測試，事故機電壓指示異常狀態可歸因為「電壓表失效」所造成，影響包括：

- 1、2 號發電機之電壓無法顯示，惟兩具發電機仍維持正常運作與輸出，故監測儀表呈現「無電壓、有電流」。
- 主電瓶之電壓無法顯示，且根據該型機電力系統設計，不具主電瓶電流指示功能，故監測儀表呈現「無電壓、無電流」。

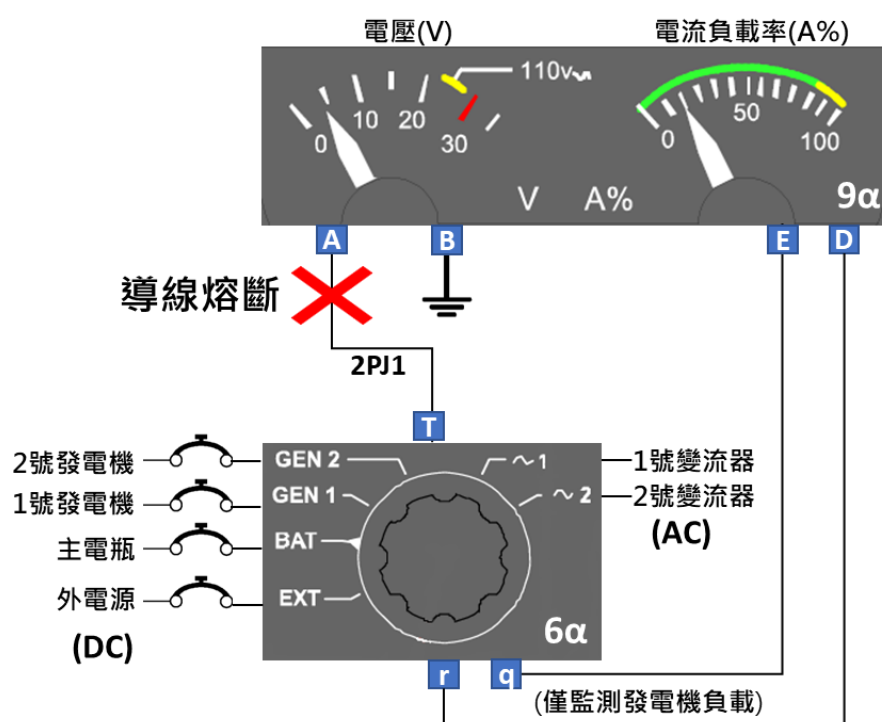


圖 2.2-1 6α面板與 9α儀表線路連接情形

2.2.3 維護計畫

早期航空器之維護計畫 (Aircraft Maintenance Program, AMP) 將電氣線路之維修分散於各個系統章節中，且普遍認為線路維修僅屬航電 (Avionics) 或電氣專業人員之職責。然航空器電氣線路分布於全機各個區域，從結構修理、機件更換乃至飛機清洗作業，各類專業人員均可能在執行任務時接觸線路或影響其完整性。EWIS 管理概念之建立，即在強調應將線路視為一獨立之關鍵系統，所有可能與線路接觸之人員，均須具備基礎之線路維修、風險識別及保護意識。

旋翼航空器於運作期間，長期承受高頻振動、多方向載荷及頻繁之操作循環，其電氣線路系統相較於固定翼航空器，更易因振動摩擦與相對位移產生疲勞劣化。由於機體空間緊湊，電氣線路常與機械操縱連桿、高溫組件或液壓管路緊鄰。因此，EWIS 維護管理在以下之旋翼航空器維護項目尤為重要：

1. 線束摩擦 (Chafing) 預防：固定導線及線束與結構、管路間之安全間距 (Clearance)，撓動性線束活動範圍。
2. 線束固定：導線及線束固定支架、固定夾環、束帶、保護襯套等組件之完整與牢固。
3. 線束安裝環境：識別並清潔可能導致電弧現象之污染物 (如漏油、灰塵、金屬碎屑)。

經檢視該機隊現行維護作業於 25 小時或 50 小時等定期檢查，其中與電氣線路相關之檢查僅包含於一般區域目視檢查 (General Visual Inspection, GVI) 項目，且維護人員之訓練計畫無 EWIS 相關重點如：線路積塵、污染及物理損傷之檢查等。因此，維修人員在執行儀表板放倒作業時，雖依手冊規範執行維護工作，然因該區域空間狹小且缺乏線束安全間距意識，致未能察覺推回鎖定後之線束與靜壓管發生干涉。且依據第 1.16.1 節針對 2PJ1 導線線路檢視時，在長度僅約 10 吋的線段中即發現隔離襯套有 3 處起毛、甚至磨穿之現象，可知在日常維護中此一風險均未被察覺及修正。

國內民用航空業在 CAA 監理下，已普遍依據最新版期之相關民航通告 (如 AC F120-102B 及 AC F120-94B) 建立完整之 EWIS 檢查要求與訓練制度，然空勤總隊及其所屬航空器依據現行制度非屬 CAA 監理範疇而未導入 EWIS。Airbus 兼具航空器製造與商維委託承包商之專業角色，具備豐富之適航實務經驗與專業技術能力。如能主動評估並協同空勤總隊引進 EWIS 之管理概念及專業訓練，將有助於更早識別高頻振動環境下之線路干涉與磨損風險，進一步強化維護品質。

是以，為強化線路維護品質並降低事故風險，建議參照民航運作模式，

針對易發生干涉摩擦之特定區域（如儀表板後方、電子艙），建立與 EWIS 同性質之檢查項目，針對線束隔離襯套、固定狀況、與周邊組件間距等，於適當維護週期進行檢查，以強化原有維護計畫之不足。同時，建立跨專業之 EWIS 訓練制度，以確保所有維護人員均具備識別 EWIS 風險之能力。

綜合本節分析，本事故雖係 2PJ1 導線單一線路之磨損熔斷所致，然其根本肇因乃與現行維護計畫對於線路維護之管理有關。當現行維護計畫侷限於一般性目視檢查，且缺乏針對線路干涉、摩擦風險之主動識別工單與跨專業人員訓練時，將難以在導線隔離襯套出現起毛現象時即意識到摩擦可能導致絕緣破損之風險。因此，藉由編訂特定線路檢查項目、建立訓練制度及強化品質查核，應可降低線路故障之風險。

2.3 飛航操作手冊使用與管理

訪談資料顯示，本次事故中，飛航組員於訓練過程發現儀表板下方出現閃光，並聞到類似電線塑膠燒焦之煙味後，即由飛航教師接手操控航機，並參閱機隊自行編製、標註僅供訓練參考用之中英文對照緊急程序快速參閱手冊（下稱快速參閱手冊）執行座艙冒煙程序後返場落地。

事故機型製造商未提供空勤總隊 AS365 型機於異常狀況處置時使用之快速參閱手冊。此次事故中所使用之快速參閱手冊，係該機隊依據原廠頒布之飛行手冊（Flight Manual）程序內容，並參考模擬機施訓教師使用之快速參閱手冊格式，自行編製之中英文對照文件，供飛航組員參考使用，惟該快速參閱手冊未經原廠審視，亦未依空勤總隊航務手冊所定航務相關手冊修正審核程序辦理審議、核准及發布。

空勤總隊因勤務型態特殊，其飛航任務工作負荷通常高於一般民用航空操作。相較於飛行手冊之程序編排方式，快速參閱手冊以較簡明、步驟化之方式呈現程序內容，較有利於飛航組員於高工作負荷環境下快速查閱與執行程序，對提升程序執行效率具正面效益。

空勤總隊 AS365 機隊依據原廠飛行手冊，配合機隊任務需求，自行編

製中英文對照快速參閱手冊供飛航組員參考使用，其目的應係協助組員於高工作負荷環境中，快速、正確地執行必要程序。惟飛航組員於飛航任務中使用未經空勤總隊核准發布之快速參閱手冊，可能發生程序內容誤植、與原廠文件或其他操作手冊不一致、版本管制失效等問題，增加飛航組員於異常或緊急之高工作負荷情況下誤判、誤操作或遺漏關鍵步驟之風險。

第 3 章 結論

本章中依據調查期間所蒐集之事實資料以及綜合分析，總結以下三類之調查發現：「與可能肇因有關之調查發現」、「與風險有關之調查發現」及「其他調查發現」。

與可能肇因有關之調查發現

此類調查發現係屬已經顯示或幾乎可以確定為與本次事故發生有關之重要因素，包括不安全作為、不安全狀況，或與造成本次事故發生息息相關之安全缺失等。

與風險有關之調查發現

此類調查發現係涉及影響飛航安全之潛在風險因素，包括可能間接導致本次事故發生之不安全作為、不安全條件，以及關乎組織與系統性風險之安全缺失，該等因素本身非事故之肇因，但提升了事故發生機率。此外，此類調查發現亦包括與本次事故發生雖無直接關聯，但基於確保未來飛航安全之故，所應指出之安全缺失。

其他調查發現

此類調查發現係屬具有促進飛航安全、解決爭議或澄清待決疑慮之作用者。其中部分調查發現係屬大眾所關切，且常見於國際民航組織(ICA0)事故調查報告之標準格式中，以作為資料分享、安全警示、教育及改善飛航安全目的之用。

3.1 與可能肇因有關之調查發現

1. 事故機駕駛艙前方儀表板 6α 電力控制面板後方線束之網紮與固定方式較為鬆弛，致儀表板於鎖定位時，該線束最下方之電壓表供電線路 2PJ1 導線與左側動靜壓分配器後方之靜壓管碰觸。在旋翼航空器運作產生之高頻振動長期作用下，2PJ1 導線隔離襯套與絕緣層因與靜壓管持續摩擦而破損，造成該導線內部銅芯線裸露並觸及透過保險鋼絲接地

之靜壓管金屬組件，形成低阻抗短路迴路引致瞬間之高溫電弧與熱能造成該導線熔斷，並伴隨產生火花與煙霧。(1.3, 1.6.4, 1.16.1, 1.16.2, 2.2.1)

2. 2PJ1 導線為駕駛艙前方儀表板、連接 6 α 電力控制面板選擇旋鈕至 9 α 整合式監測儀表電壓表之唯一電壓訊號傳輸路徑，導線熔斷後造成監測迴路開路，電壓表失去指示功能。(1.3, 1.6.4, 2.2.2)

3.2 與風險有關之調查發現

1. 現行 AS365N3 維護計畫缺乏針對線路檢查特定工單，且缺乏針對線束密集區域（如儀表板後方）線路與周邊組件間之安全間距檢查及查核項目，難以主動識別線路之早期劣化與摩擦徵兆。(1.6.2, 1.17.5, 2.2.3)
2. 早期航空器未完整導入電氣線路互聯系統管理概念之維護作業及訓練計畫，可能使非航電專業之維修人員在執行涉及線路區域之機械維修或拆裝作業時，對於線路保護與摩擦具有風險認知不足之情形。(1.6.2, 1.16.3, 2.2.3)

3.3 其他調查發現

1. 事故機飛航組員持有空勤總隊核發之有效飛行人員檢定證，飛航資格符合空勤總隊要求，訓練與考驗紀錄中無與本案有關之異常發現。飛航組員事故前 72 小時之休息及活動正常，無證據顯示本次事故與飛航組員之醫療、藥物與酒精因素有關。(1.5, 2.1)
2. 事故機之載重與平衡均位於限制範圍內，飛行前之適航資訊皆無異常。(1.6.3, 2.1)
3. 本次事故僅涉及駕駛艙前方儀表板整合式監測儀表中電力監控系統之電壓表失效，航機主電力產生與供應系統（1、2 號發電機及電瓶）功能均維持正常，未對航機之飛行動力安全造成影響。(1.3, 1.6.4, 2.2.2)

4. 事故機飛航組員使用未經空勤總隊核准發布之緊急程序快速參閱手冊。
(1.18.1, 1.18.2, 2.3)

第 4 章 運輸安全改善建議

4.1 改善建議

致新加坡商東南亞空中巴士直昇機股份有限公司台灣分公司

1. 參照民用航空監理標準（如 AC F120-102B），編訂具備電氣線路互聯系統性質且針對特定區域檢查使用之工程指令或專案檢查工單，以彌補現行維護計畫之不足¹⁹。（TTSB-ASR-26-10-001）
2. 建立全體維修人員之電氣線路互聯系統基礎訓練計畫，強化維修人員對線路摩擦、污染及安裝干涉之風險識別與預防能力，確保線路維修品質符合適航標準²⁰。（TTSB-ASR-26-10-002）

致內政部空中勤務總隊

1. 要求 AS365 型直昇機商維廠商，編訂具備電氣線路互聯系統性質且針對特定區域檢查使用之工程指令或專案檢查工單以及基礎訓練計畫，納入查核項目²¹。（TTSB-ASR-26-10-003）
2. 編訂 AS365 型直昇機之緊急程序快速參閱手冊，納入相關文件管理程序並建立正式之編修、審核、核准及發布管制機制，以確保其內容與原廠文件、機隊任務需求及訓練程序一致²²。（TTSB-ASR-26-10-004）

¹⁹ 本項改善建議，係因應與可能肇因有關之調查發現第 1 項及與風險有關之調查發現第 1 項所提出。

²⁰ 本項改善建議，係因應與可能肇因有關之調查發現第 1 項及與風險有關之調查發現第 2 項所提出。

²¹ 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。

²² 本項改善建議，係因應其他調查發現第 4 項所提出。

報告結束