

# 揭開黑盒子的祕密

■ 官文霖

飛機上有一種航電設備稱為「飛航紀錄器」，俗稱「黑盒子」。它記錄著每趟飛行任務的過程，提供調查人員研判飛航事故中駕駛員與其他人員的對話、飛航軌跡、速度、高度、姿態、系統警告等。

## 黑盒子的由來

第二次世界大戰期間，歐美地區的航空工程師開始研發能夠記錄飛機軌跡及狀態的裝置。受限於當時的科技，研究人員是以照相感光底片、錫箔或鋼絲為記錄媒介。1939年，法國馬里尼亞納試飛中心嘗試使用滾動式的照相感光底片記錄飛機的高度及速度變化。1942年，芬蘭航空的工程師 Veijo Hietala 發明了一種稱為「Mata Hari」的機械裝置，做為芬蘭空軍戰鬥機的飛航紀錄裝置及失事調查工具，芬蘭坦佩利市的間諜博物館迄今仍收藏著這個神奇裝置。

1953年，澳洲華倫（David Warren）博士的父親因一場空難喪命。悲傷之餘他參考口袋型錄音機的構想，發明了一具以鋼絲為紀錄媒介的黑盒子。它能持續記錄4小時的聲音及8項飛航資料，並命名為「ARL Flight Memory Unit」（以下稱為ARL型黑盒子）。然而，這個偉大發明並未獲得澳洲國家航空研究實驗室（ARL）的重視。

隨後，華倫博士受邀前往英國繼續發展，並在1958年開始量產ARL型黑盒子，安裝在英國的民航機上做為失事調查的工具。在這期間，DH Comet客機發生多起空難，英美法澳等國因而著手立法，要求所有民航機都必須安裝飛航紀錄器，以做為失事預防及事故調查的工具。



採用照相感光底片記錄資料的黑盒子，由芬蘭 Veijo Hietala 所發明，稱為 Mata Hari。  
（圖片來源：wiki 百科網站）

## 第一代 ARL 地面解讀裝備

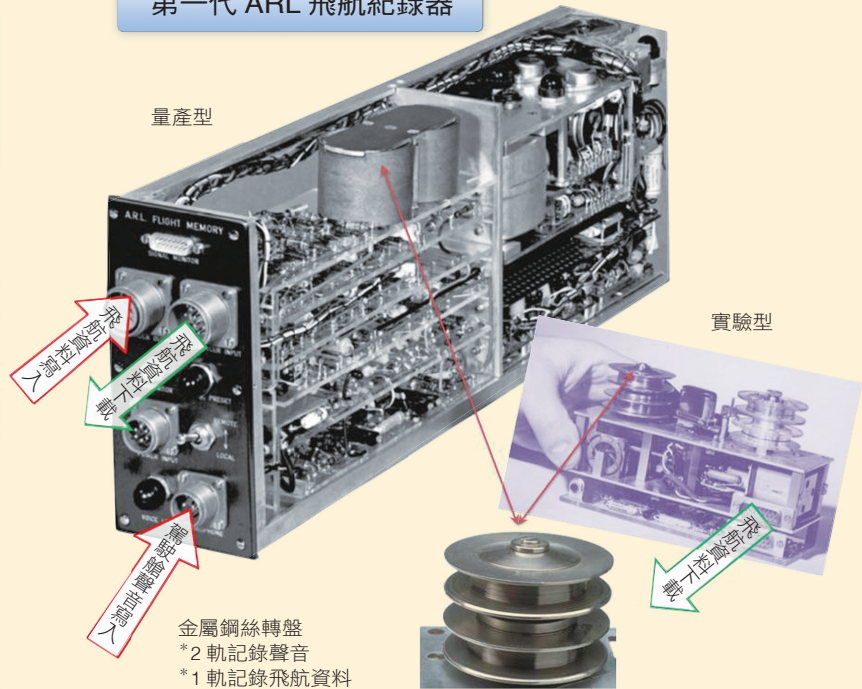


駕駛艙  
聲音輸出

飛航資料  
解讀及分析

ARL 飛航紀  
錄器電源供  
應介面及資  
料下載設定

## 第一代 ARL 飛航紀錄器



第一代 ARL 飛航紀錄器採用鋼絲同時記錄聲音及資料，由澳洲華倫博士所發明，圖左是地面解讀裝備，圖右是 ARL 飛航紀錄器的實驗型及量產型，兩者的主要差別是連接飛機訊號的介面。（圖片來源：澳洲國防科學及技術發展局 DSTO）

第一代的黑盒子歷經了三項改進：（1）照相感光底片易受光和高溫影響，因此未能普及使用。（2）1953 年，美國洛克西德公司發展出 109-C 型飛航紀錄器，以金屬探針在金屬箔片表面上刻寫資料，這種黑盒子可記錄 6 項飛航資料，包括：時間、空速、航向、高度、垂直加速度、無線電通話。（3）1960 年初期，英國航空公司已大量安裝華倫博士發明的 ARL 型黑盒子；這期間，有人仿效 ARL 黑色長條型黑盒子，但更改為紅色圓球形，俗稱為紅蛋式黑盒子（red egg），之後演變為俄製黑盒子的常見外形。

## 黑盒子為何是橘紅色

1957 年，華倫博士在英國參加一場飛機失事會議，並發表 ARL 型黑盒子的功

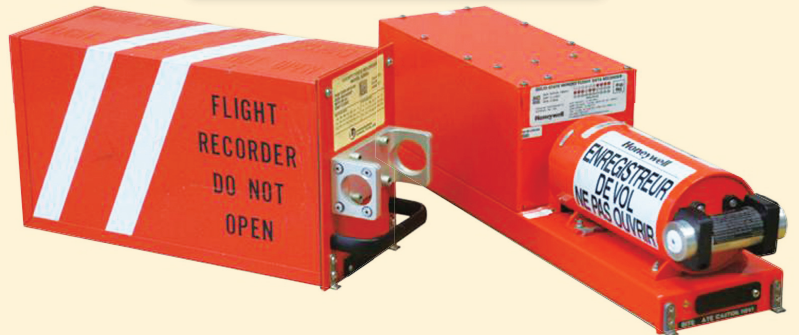
能期間，一位記者誇讚這項發明並用「Black Box」稱呼這項神奇裝置。當英美法澳等國規定民航機必須安裝兩具飛航紀錄器做為失事調查的工具時，就考量到其中一具應是座艙語音紀錄器（Cockpit Voice Recorder, CVR），用以記錄飛機駕駛艙內的各種聲音。

另一具是飛航資料紀錄器（Flight Data Recorder, FDR），記錄飛機的飛行狀態，包括：時間、空速、航向、高度、加速度、發動機轉速、操控舵面、警告訊號、無線電通話等資料。飛航紀錄器的外觀使用含有螢光塗料的橘紅色以方便辨識，另用英文及法文書寫白色文字：「FLIGHT RECORDER DO NOT OPEN」及「ENREGISTREUR DE VOL NE PAS. OUVRIR」。

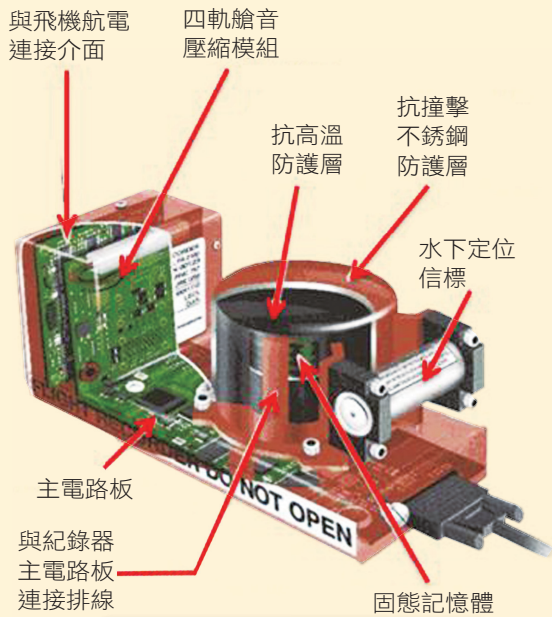
俄製黑盒子（磁帶）



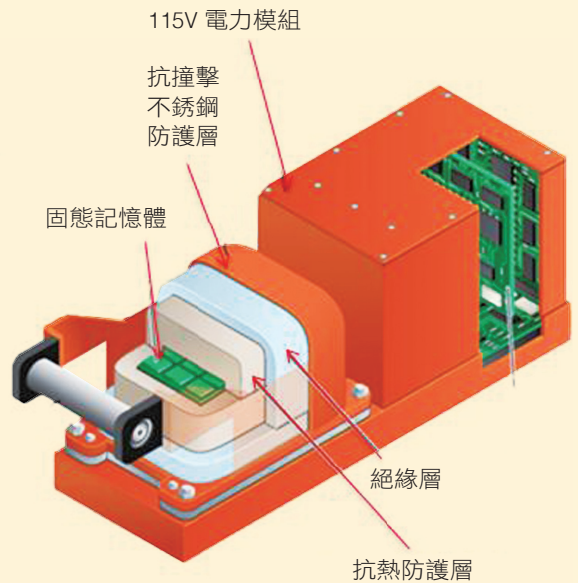
美製黑盒子（磁帶及固態晶片）



各種飛機用的黑盒子外觀及內部紀錄媒介



座艙語音紀錄器



飛航資料紀錄器

座艙語音紀錄器及飛航資料紀錄器的主要零件示意圖

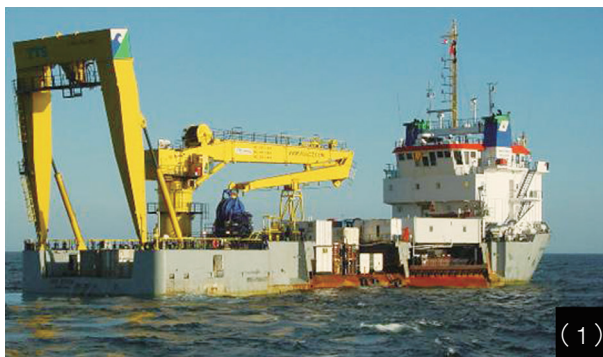
## 黑盒子的規格

有鑑於第一代飛航紀錄器在重大失事中常因撞擊及高溫火燒損壞，1980年初期及1990年初期，分別邁入第二代（以磁帶為紀錄媒介）及第三代（以固態記憶體為紀錄媒介），進而提升其抗撞、抗高溫及耐水深3大特性。

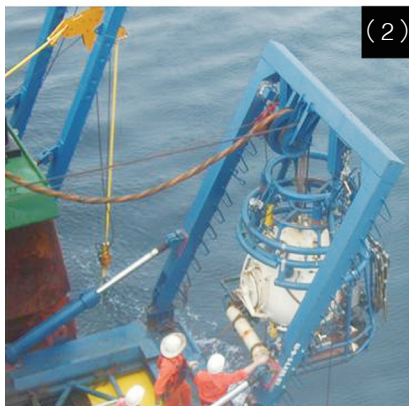
第二代飛航紀錄器的主要規格是千分之5秒內可承受1,000倍重力加速度的撞擊、攝氏1,100度的高溫30分鐘，以及20,000英尺水深的水壓30天。磁帶寬度0.64公分，長度約500英尺，CVR可記錄駕駛艙內4軌的聲音30分鐘；FDR可記錄25小時6軌或8軌的飛航資料，另記錄資料項目從6項提高至一百餘項。

第三代飛航紀錄器的主要規格是千分之6.5秒內可承受3,400倍重力加速度的撞擊、攝氏1,100度的高溫60分鐘、攝氏260度的高溫10小時，以及20,000英尺水深的水壓30天。固態記憶體容量介於9 MB至32 MB；CVR可記錄駕駛艙內4軌的聲音30至120分鐘；FDR可記錄25至100小時的飛航資料，紀錄資料從100項提高至三千餘項。現今，飛機重量達5,700公斤就必須安裝兩具黑盒子（CVR和FDR）。

以第三代飛航紀錄器為例，一具黑盒子造價約新台幣40至70萬元，重量介於4.5至7.3公斤，參考尺寸14公分（高）×12.7公分（寬）×32公分（高）。考慮飛機與地面或大海發生強烈撞擊的因素，兩



(1)



(2)

- (1) 打撈船
- (2) 飽和潛水裝備
- (3) 尋獲駕駛艙
- (4) 尋獲黑盒子

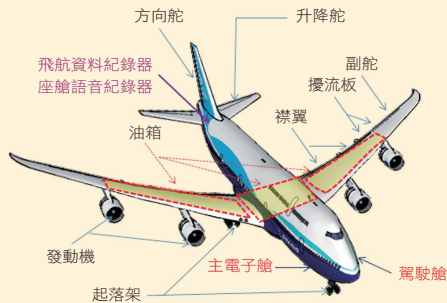


(3)



(4)

黑盒子的打撈經過：透過打撈船上的水下信標接收機定位、潛水夫搭乘飽和潛水裝備至海底、拆除及捆綁殘骸與黑盒子、使用吊掛裝置回收所撈獲的物件。



飛機各種操控面與駕駛艙及主電子艙的外觀圖，飛航資料是經由數位訊號擷取單元寫入飛航資料紀錄器。

具黑盒子都安裝在飛機的機身尾段。此外，黑盒子採用方型或圓筒型的不銹鋼盔甲做為主要防護層，內部有絕緣層及抗熱防護層，並充填蘇打粉以吸收熱量。

如果飛機掉入湖泊或海中，黑盒子上有一顆水下定位信標（Underwater Locator Beacon, ULB），ULB 只要接觸到水就會觸發 37.5 kHz 的超音波，可持續發射 30 天的訊號。因此，調查人員可使用水下信標接收機搜尋 ULB 訊號，有效範圍達 1.85 公里。一旦標定了黑盒子的位置，就可透過潛水夫或水下無人載具取回。在過去 30 年的重大失事中，只有很少數的黑盒子因強烈撞擊及高溫火燒而損壞。例如 2002 年 5 月發生在澎湖上空的空中解體案例，就因為黑盒子損壞，增加了解讀的困難。

## 黑盒子的神祕編碼

早期黑盒子編碼較簡單，駕駛艙聲音以類比方式傳入黑盒子內，透過數個磁鐵的電磁效應改變鋼絲或磁帶的磁性以記錄聲音。對於飛行儀表變化，以鋼針刻劃在金屬箔上，或把飛行儀表的類比訊號轉為磁性變化記錄在鋼絲或磁帶中。隨著科技進步，飛行儀表逐步邁入數位時代（8 ~ 32 位元），第一代黑盒子已無法滿足事故調查的需求。

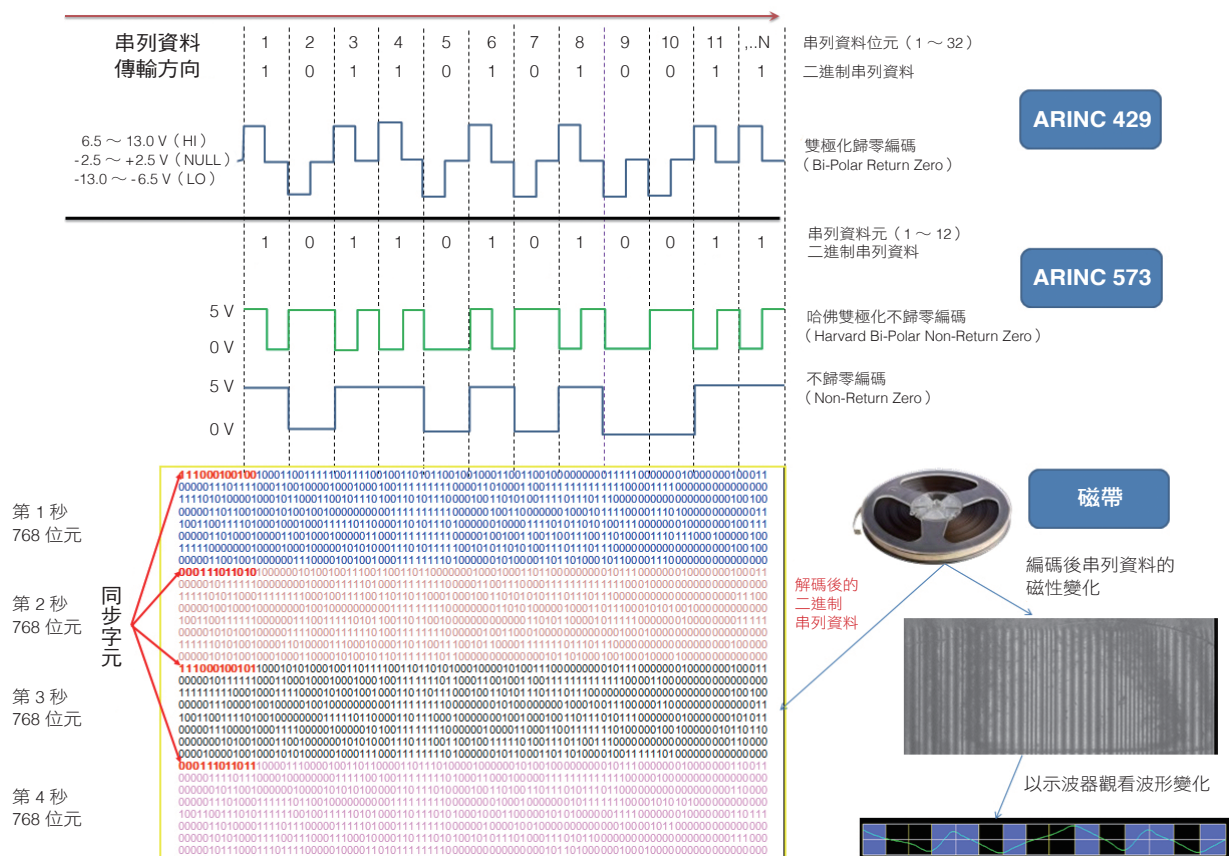
飛機上的各種訊號傳輸是透過 ARINC 429 的串列通信標準來達成，它應用雙極化歸零編碼方式傳輸 32 位元的資料，傳輸速度分為兩種：低速—每秒 12.5 至 14.5 千位元，以及高速—每秒 100 千位元。機上的

各種飛行控制電腦，都透過 ARINC 429 傳輸資料到駕駛艙的儀表，以及數位訊號擷取單元。

數位訊號擷取單元蒐集到飛航資料後，以 ARINC 573 或 717 的串列通信標準傳給飛航資料紀錄器（第二代及第三代），採用哈佛雙極化不歸零編碼或傳統的不歸零編碼，每秒傳輸率 64 字元，每字元由 12 位元組成。雙極化歸零編碼、哈佛雙極化不歸零編碼及不歸零編碼，與個人電腦的 RS-232 串列通信標準非常類似，主要差別是傳輸速度、編碼長度及負載電壓。這是

因為飛機上發電機輸出是 115 伏特，400 Hz 的交流電，經過變壓轉為 28 伏特或 12 伏特的直流電所致。

飛航資料紀錄器的解碼需要兩道程序：地面解讀裝備以 ARINC 573 / 717 通信標準下載原始資料；根據飛機原廠技術手冊找出 64 個字元所對應的飛航資料，並轉換二進制資料為工程參數。例如，速度原始資料是「0001 0110 0011」，轉換為十進制獲得「351」，根據技術手冊速度轉換因子是 0.5，則速度是 177.5。



飛航資料紀錄器的編碼及解碼示意圖

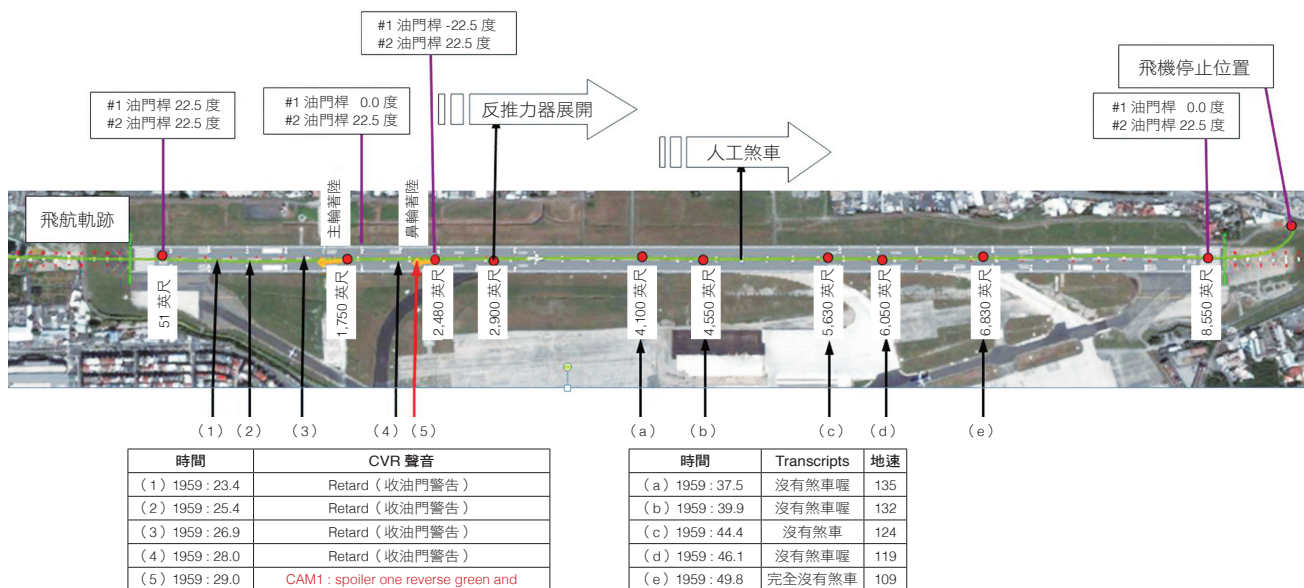
任何事故發生後，調查人員都積極尋找黑盒子，並根據其紀錄內容儘早發現可疑的問題及調查方向。

## 黑盒子的用途

任何事故發生後，調查人員都積極尋找黑盒子（CVR 和 FDR），並根據其紀錄內容儘早發現可疑的問題及調查方向。CVR 主要用途包括：駕駛員之間的對話（如操作程序、緊急處置等）、駕駛員與空服員之間的對話（如準備迫降、客艙異常等）、駕駛員與地面航管人員間的對話（如天氣資訊、起飛及落地許可、宣告緊急狀態等）、駕駛艙的警告聲響（如發動機火警、失速警告、地障警告等）。CVR 也可提供周遭環境變化的線索，如引擎轉速、爆炸聲、大雨等。

FDR 的主要用途包括：揭露飛機的異常行為、研判飛航性能及飛航軌跡、飛機系統狀態等。以飛航資料進行飛航模擬測試，可以排除特定的事故假說。根據黑盒子內容、地面塔台錄音、搜索雷達及地面助導航設施的紀錄，調查人員可以還原事故發生的過程，研討飛機系統與駕駛員的處置經過，進而研判事故的可能原因與潛在的飛安風險。

民國 93 年 10 月 18 日，台北時間 19：59，一架空中巴士 A320 型機執行台南至台北定期載客任務。該機採用台北松山機場 10 號跑道儀器進場（可用落地距離 8,550 英尺），在通過 10 號跑道頭後於 1,750 英



某 A320 型飛機於松山機場衝出跑道，根據航航紀錄器重建事故的發生經過。按飛機正常操作程序，飛機主輪觸地時必須把發動機油門桿收到慢車位置（0 度），確認擾流板展開後，監控駕駛員才能呼叫「spoiler」或「spoiler one reverser green」，在這事故中擾流板全程未展開嚴重影響減速性能。

根據黑盒子內容、地面塔台錄音、搜索雷達及地面助導航設施的紀錄，調查人員可以還原事故發生的過程，研判事故的可能原因與潛在的飛安風險。

尺處著陸，鼻輪通過 10 號跑道末端 321 英尺後向左偏出，停止在緩衝區北側，機頭朝向 002 度。這架飛機載有駕駛員 2 人，客艙組員 4 人、乘客 100 人，人員都無傷亡，但前起落架減震支柱折斷，2 號發動機觸地受損。

由於飛機在起飛及落地階段滑出或偏出跑道，可能導致飛機結構損壞或人員傷亡，因此對這事故進行調查，調查重點是飛航操作、天氣因素，機上警告及機場特性。在過程中，調查人員逐一檢視機場的可用落地距離、跑道鋪面的排水及抗滑特性；根據飛機操作手冊及性能資料，分析當時能見度、風及降雨對飛航操作的影響；探討飛機自動駕駛、自動油門及自動煞車的操作及警告。依據相關事實資料，研判事故經過及事故原因。

調查顯示這事故可能發生的原因有二：

(1) 飛機離地高度 20 英尺以下，以及收油門警示聲響提示時，操控駕駛員未把 2 號發動機油門收至慢車位置，導致落地後地面擾流板 (spoiler) 及自動煞車未啟動；飛機落地後，當自動油門轉為人工操作模式後，2 號發動機油門仍大於慢車推力。落地 13 秒後，駕駛員使用人工煞車，仍未能在剩餘跑道上完成減速。(2) 監控駕駛員於飛機落地時，未依公司的標準操作程序先檢查機上儀表顯示擾流板狀態後再呼叫「spoiler」，以致未發現地面擾流板未啟動。

---

官文霖

飛航安全調查委員會

---

