

閃電對噴射機之危害

Danger to Jet Aircraft From Lightning

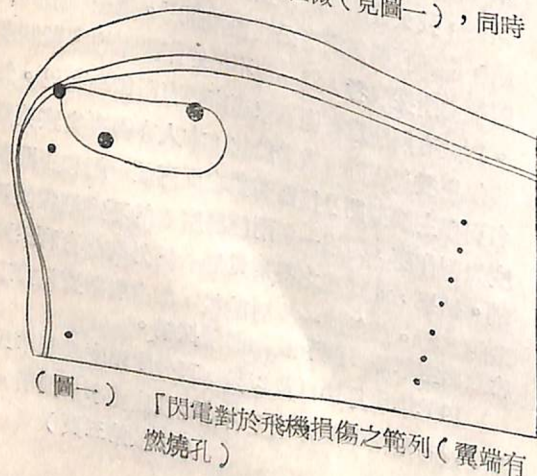
章鳳材譯

提要

本報告提供有關閃電對於噴射機危害之最新資料。其中包括通常最易遭遇電擊之溫度及高度範圍，簡明討論可能遭受之損壞類別，並包括一項較為深入探討，以討論由於閃電及靜電放電作用對於油箱爆炸之可能性。按本研究，似乎此類爆炸之可能性不太大，然而飛機使用 JP-4 燃料，較之使用汽油 (Gasoline) 及煤油 (Kerosene) 更易遭受此種電擊之危害。按本報告與其他由於使用 JP-4 燃料而發生之危害報告，吾人之結論認為，至少噴射客機，應儘可能使用煤油 (Kerosene) 作為燃料。

一九六三年十二月八日，一架泛美波音七〇七噴射機當其於低高度飛越離線雷雨區時，着火墮毀於馬里蘭州依爾克東附近。雖肇事原因尚未全部調查完竣，但有人提出閃電導致燃料爆炸為一項可能之肇事原因。據一九六三年十二月廿三日出版之航空週刊 (Aviation Week) 第四十一頁載：「由於在左翼尖留有顯明的燃燒痕跡以及疤痕，此一事實，有力的指出受有嚴重閃電之可能性；此外，在左翼油箱區的變形，亦提供實質的證據，以證明爆炸曾發生」。該雜誌同時並列舉聯邦航空協會飛航公報略謂：「……一反過去對於閃電襲擊而肇致之飛機損壞報告，最近失事調查資料指出，閃電有觸發油管中氧化燃料「點火」作用，肇致重大結構損壞之可能性」。

在過去多少年來，使用汽油作燃料 (Gasoline) 之飛機，曾於飛行中遭遇千百次之電擊，但通常所受之損傷，均極輕微 (見圖一)，同時



(圖一) 「閃電對於飛機損傷之範圍 (翼端有燃燒孔)」

亦絕未聞有燃料爆炸之事例。目前被提出之問題是：「是否噴射機具有同樣之安全性。」為了解答這個問題，吾人曾檢閱不少過去所作閃電及靜電放電對於飛機之危害的研究報告。此項研究，大部係由明尼阿伯勒斯「閃電及閃擊利那研究學院」(Lightning and Transients Research Institute, 簡稱LTRI) 所完成。此外，對閃電之發生，從事研究之人士及機構亦復不少。

閃電之發生

權威人士多相信，為放電所必需之強烈電場，係在積雨雲中產生，即當雲頂伸展至相當高度，可以使得雲中之水點變成冰時，數次使用雷達的詳細調查報告指出，第一次閃電發生之前，雲頂溫度係在 -25°C 至 30°C 之間。間有未經證實之零星報告稱閃電曾發生於暖雲中，(即雲頂尚未伸展達於結冰層) 主要在熱帶及亞熱帶之海洋區域。此種閃電可能係不常見，並限於雲中發生。

過去研究指出，在一典型之雷雨包中，其上層部份得淨陽電或以陽電為多，下層則以陰電為多，閃電主要發生於雲中陽電及陰電中心之間，或從雲底陰電部份至地面間，偶有閃電發生於陽電中心至地面間，或相鄰於雷雨包兩放電中心之間，臨近雷雨終了時，雷雨包之下層部份，開始消散，僅留有砧狀卷雲，放電仍將繼續發生於砧部，發射方向不定，時間間隔亦不一致，如是者可持續至相當時間，飛行員極易毫不覺察而飛近或穿越，還不知道它是閃電的來源。

各作者對於雷雨中主要放電中心之高度說法並

不一致。無疑問的，此一高度變動頗大，各次不同。根據所獲報告，陰電中心高度從 0° 至 -30°C (夏季約等於15,000至31,000呎)，通常接近於較低層；陽電中心則約高出數千呎。飛行中飛機遭遇的電擊，大部近於結冰高度。但依照雷雨計劃，一隊P-61機，曾以5,000呎的間隔距離，自5,000呎遞增至25,000呎，共完成總數1,363次穿越雷雨飛行。其中遭遇電擊共31次，大部在15,000呎—即最接近結冰層之高度。另國家航空顧問委員會NACA-LTRI研究指出，百分之九十的電擊係飛行在 -10° 至 $+10^{\circ}\text{C}$ 之間。根據一九六三年空軍飛機遭遇閃電之飛行員報告 (空軍表格編號1228, 失事摘要)，在報告的56員中，AWSOT/OA發現僅有三次係在19,000呎以上。最高高度為38,000呎，LTRI指出，噴射機平均每飛行一萬小時，遭受閃電一次，比較低空飛行之螺旋槳飛機，平均為每二千五百小時遭受閃電一次為少。在噴射機所遭受之十四次閃電中，十次係間於六千呎至一萬八千呎之間，餘四次則間於二萬呎至四萬呎之間。其他之研究報告，亦獲得相似之結果。無疑的，不論係何種型式之飛機，大部份閃擊，很明顯的發生於結冰層五千呎上下處。向上升離結冰層愈遠，閃電之頻率急遽減少，但電擊可發生於任何高度，一直到雲頂，甚至在卷雲砧之上。

在雷雨中空氣阻力頗高，所以一閃電之發光不克發生，直至電場積聚至數千伏特/公分。吾人有時假定，一金屬飛機為優良導體，可以減低此阻力，而於電場對別的物质仍係太弱的情況之下，引致閃電發生。

在電磁場發生之際，飛機通常發生極光氣流 (Corona Streaming)。此一現象，復因飛機將低阻力帶延伸而使效果益增。然而由於閃電發射帶之全長極廣大 (常在一至十哩之間)，本來不應發生，却由飛機導生之電擊，其可能性亦不大。另一方面，在下述的情況下，閃電可在飛機鄰近四週的任何一方向消失的，却可由於飛機的減低阻力效應，而增加閃擊機會。所重要者，飛機結構及其外載情形，以及極光氣流，可能決定此電擊將擊中飛機的那一部份。

閃電及靜電放電對飛機之效應

閃電是雷雨中兩高電壓中心，或雲與地面間之電磁放電現象，包括極強度電場及高電流，一被閃

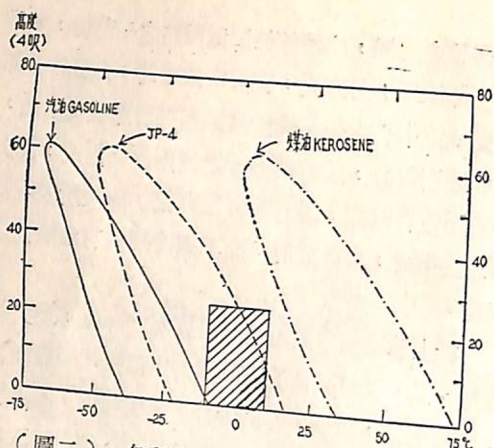
電襲擊之飛機，成為整個閃電帶路之一部份，並帶有全部電流；另一方面，在靜電放電時，飛機本身即成為放電中心之一。飛機當飛越經雲點或降水區，即能吸引電荷，或當飛機接近雷雨區域附近，即受感應而帶有電荷，機上並有數部位，能使所吸收及感應之電荷，自行放射，而不致達到具有危險性之程度。

機上最易招致閃電及靜電放電之部位，為尖銳弧形、點、及被減低的空氣壓力出口處，一般而言，閃電危害，對於一妥為接合之金屬飛機，僅限於傷痕，或偶而燃燒一小孔於飛機表皮，或損壞天線及無線電系統。然對於一未加掩蔽之非導體表面，如塑膠天線罩等，倘被擊中，即易炸破。LTRI報導，諸如此類的損害，僅導源於真閃電打擊，因靜電放電並不能含有如此重大之能量，但是已知靜電放電能使塑膠罩破一孔，而降水則使其內部之損害擴大。

雖然根據以往記錄，飛機很少因閃電及靜電放電損害，而使之失去能力，但是否可用燃料爆炸而產生極嚴重之災害，則久在調查之列。所有油箱均有孔道接連大氣，在液體燃料以上之空間，充滿着氣態燃料與空氣之混合物，適當的氣態燃料對空氣之混合比率，即成為高度易爆之混合體。另一方面，對定量之空氣而言，太多或太少之汽體，即產生太「濃」或太「淡」之混合物，而使爆炸不易發生。溫度高，高度高，增加燃料氣化，成為較「濃」混合物；溫度低，高度低，減少燃料氣化，成為較「淡」混合物。圖二顯示三種標準燃料形成爆炸混合體之概約溫度—高度範圍，臨界範圍之右區或左區，顯示混合體距爆炸點為太「濃」或太「淡」。

圖二曲線僅示一概約數，此等曲線係基於均一而均衡條件而調製的。在實際應用上，該等限度可能有相當程度的出入，例如在油箱中的汽化燃料與空氣，可能因為沒有調勻而於油箱內形成起伏不定的過濃過淡情形。同理，燃油的激蕩及振動，可能在油料表層之空層間，產生極細微的珠粒。其次，由於飛機之急遽爬升或下降，而使油箱中之溫度，不能於瞬間升降，得與四週的溫度一樣，而顯得較其四週更冷或更暖。動力加熱可增加或抵消此種溫度差別。反過來，飛機穿越大雷雨區，則使燃料溫度接近於真正大氣溫度。

如前所述，飛機遭受閃電，大部發生於 10 至 -10°C 之間 (圖二陰影區域)，在此種溫度中，均等狀



(圖二) 各種燃料在油箱中發生爆炸溫度之大致平衡極限

態下，汽油 (Gasoline) 與空氣之混合，形成太濃，無法爆炸，而煤油 (Kerosene) 則形成太「淡」，亦無法爆炸，唯有 JP-4 則形成一種近乎理想之典型爆炸混合劑。因之，雖然圖二之臨界限度，在實際運用上，可能有相當的出入，但 JP-4 較之汽油或煤油易於爆炸，則似乎是無多大問題的了。此項研究，仍在繼續中。

最少有下列五項情況，可以使得放電作用，導致燃料爆炸：(1)閃電在油箱壁上燒穿一孔，(2)直接閃電擊於油箱等孔道上，(3)高伏特閃電擊於飛機上任何一部份，使之彎曲而橫過燃油孔道，(4)附近閃電導致油箱絕熱增溫，(5)飛機飛行於強力電磁場，或飛行於降水，塵暴，冰針雲點處，有高壓區，靜電彎曲穿擊於燃油孔道。

LTRI 及其他專家，研究如何減少燃料爆炸之危害，目下甚多飛機裝載燃料於機翼，因機翼遭受閃電常在翼端一呎之內，故應設法避免裝載燃料於此一部位。LTRI 報告，僅有一次例證，閃電在油箱上穿一孔，而未發生爆炸，或引起燃燒（燃料為汽油），報告中其餘數個例證，為翼尖油箱上擊成數孔，並無爆炸發生，雖然在一次實例中，油箱着火並燃燒，但飛機並無其他損傷。

LTRI 認為爆炸之最大危害，係與燃料的出入口孔道有關連，並建議將孔道安裝於受閃電作用最

(上接第十三頁)

士如欲保持不動仍可擔任觀測職務，於參加廿一週訓練後可升為觀測督導士。為經歷管制及個人服務報酬起見，於擔任氣象預報士及觀測督導士多時後，仍可參加為期一年的在職訓練，然後即進入技術水準，為獲得額外晉升及支薪的進階。

為維護 AWS 的電子氣象裝備，士兵可選送另

少之區域，建議之位置，為翼展部份間於翼端與外側短艙之間，其餘安全措施方面之建議，包括使用雙層防燃隔層；外層用以防止閃擊彎向燃油孔道，並使用避雷桿，以引導閃電離開要害區之外。當飛機爬升時，燃料危害最為嚴重，因四週氣壓減低，油箱中空氣——燃料體混合物被迫慢慢滲出於油箱蓋，最易着火爆炸。

結 論

總之，飛機閃電發生於地面至四萬呎間任何高度，最少閃電可能偶而發生於卷雲頂，最常發生之爆炸位於結冰層五千呎上下處。因此，若以哩程為航程計算單位，噴射機較之螺旋槳機遭遇閃電之機會為少，且最大擊中率亦出現於噴射機正常巡航高度之下。

飛行中油箱爆炸的情形雖不多，但確實可於飛機飛近或穿越雷雨時發生。研究指出，JP-4 燃料，於溫度接近 0°C 時特別容易遭受閃電襲擊。雖然沒有任何一種燃料可以百分之 100 的避免危害，但毫無疑問的為，煤油較 JP-4 為安全。其間更主要的一項安全因素，為煤油較之 JP-4 具有低燃燒率，因而於相對的較小失事中，當飛機着火時，可以給旅客以所急要之求生時間。純從安全方面着眼，全部客機似應採用煤油為燃料。如屬可能，其他航行，亦以使用煤油為宜。

雖然閃電直接擊穿油箱，可肇致爆炸，但擊中油箱蓋，及弧線擊中蓋孔實較有更大危害。選擇蓋孔之適當位置，使用避燃隔罩，及安裝妥為設計之避雷桿等措施，可以減少燃料爆料；又因翼尖為閃擊之經常目標，燃料理宜不裝載於距翼端一呎之處，副油箱之攜帶，應妥為蔽合及錫裝，俾油箱被擊中時，亦不致使飛機遭受致命的損傷。

最後，油箱爆炸的可能性，特別是 JP-4 燃料，此時已無疑問，但是此種危害，其程度仍較之因雷雨亂流等，使飛機結構損傷而產生之危害為少。

AWS TR-July, 1964

外訓練課程。其中之基本課程有氣象裝備專門訓練施教前的「電子原理」。

為適應特種儀器裝備或進修，復有其他特種訓練課程，計有雷文，送作業課程，雷達判讀課程，熱帶氣象課程，計算機及其他新興科學範疇之課程等。