

一文盤點飛機上所用的材料

2016-02-11材料+

材料改变世界



所謂“一代飛機，一代材料”，航空材料的發展對航空技術起到強有力的支撐和保障作用，反過來，航空技術的發展需求又極大地促進和引領航空材料的發展。今天小編就帶你來看看飛機上常用的材料吧~~~

鋁合金



目前民用飛機中常用鋁合金：

1

2000 系列鋁合金

2000 系列鋁合金中，2024 是其中較常用的一種鋁合金。2024 合金常用 T3 和 T4 狀態，有較高塑性、疲勞壽命、斷裂韌性和抗疲勞裂紋擴展性能，但抗蝕性較差。該合金主要半成品形式有棒材、板材、型材、管材。

主要應用位置：機身蒙皮，機翼下壁板。

2

6000 系列鋁合金

6000 系列鋁合金中，6061 是其中較常用的一種鋁合金。6061 合金常用的是 T4 和 T6 狀態，主要半成品形式有板材、管材。

主要應用位置：用於要求有高塑性和高抗腐蝕性的飛機零件及管件。

3

7000 系列鋁合金

7000 系列鋁合金中，**7075 是其中較常用的一種鋁合金**。7075 合金常用熱處理狀態有 T6、T73、T76、T74。T6 狀態靜強度最高，塑性和韌性最低，抗疲勞性能差，對應力腐蝕開裂敏感。並且韌性隨溫度的降低而降低，所以 T6 狀態不用於低溫工作零件，T73 狀態的強度最低，但有較高的斷裂韌性和優良的抗應力腐蝕開裂和剝離腐蝕性能；T76 狀態性能介於 T6 和 T73 之間，與 T6 狀態比較強度低。但耐應力腐蝕性能要好，與 T73 狀態比較，強度高，但耐應力腐蝕性能差。主要半成品形式有板材、棒材、型材、鍛件。

主要應用位置：廣泛使用於飛機結構的重要受力零件，如機翼上壁板、翼肋、接頭等。

通過降低 7075 合金中雜質 Fe, Si 的含量可獲得一種**高純度的合金 7475**。該合金靜強度與 7075 合金相應的狀態相近，T6 狀態的室溫韌性與 2021-T3 相當，抗應力腐蝕開裂與剝離腐蝕性能與 7075 合金相應狀態相當。主要半成品形式是板材。

主要應用位置：用於要求高強度、高韌性、抗疲勞裂紋擴展的飛機構件，如機身蒙皮、機翼下壁板梁和隔框等。

通過用晶粒細化元素 Zr 替代 7075 合金中的晶粒細化元素 Cr，以及增大 Cu / Mg 之比可獲得 **7050 合金**，是目前綜合性能很好的鋁合金之一。T73 狀態的耐應力腐蝕開裂性能最高；T76 狀態有較好的耐剝離腐蝕性能，且靜強度較高；T74 狀態應力腐蝕特性介於 T73 和 T76 之間。主要半成品形式有板材、型材、鍛件。

主要應用位置：適用於製作厚大截面且受高負荷的結構件，如梁、加強壁板、緣條、機翼上蒙皮、重要承力接頭等。

鈦合金



鈦工業的歷史要比航空工業的歷史晚幾十年。鈦是唯一在兩次世界大戰中都沒有使用過的結構金屬材料。鈦與航空有著不解之緣。1953年,在美國道格拉斯公司生產的 DC-T 機發動機吊艙和防火壁上首次使用鈦材,從而揭開了鈦航空應用的歷史。從那時以來,鈦在航空上已應用了半個多世紀。鈦能在航空上廣泛應用是由於它有適於飛機應用的許多寶貴特性。

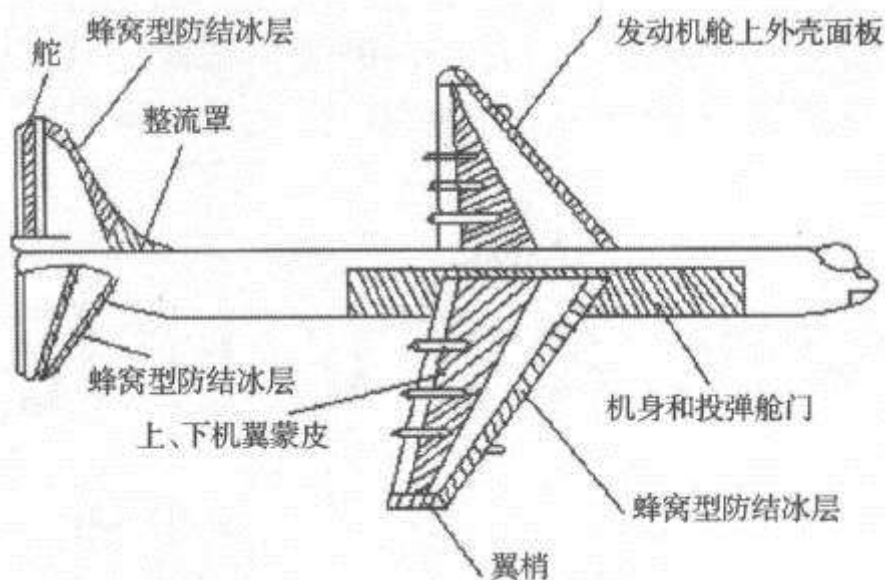
飛機上鈦的主要應用是發動機,用鈦量取決於其尺寸和功率。亞音速發動機達到其品質的 30%,發動機減重大約 600 kg。發動機的風扇、高壓壓氣機盤件和葉片等轉動部件,不僅要承受很大的應力,而且要有一定的耐熱性,即要求鈦在 300 ~ 650°C 溫度下有良好的抗高溫強度、抗蠕變性和抗氧化性能。這樣的工況條件,對鋁來說溫度太高;對鋼來說密度太大;鈦是最佳的選擇。因此,鈦在先進發動機上的應用不斷擴大,主要製造壓氣機的模鍛件和板式結構。在飛機上使用較多的鈦合金有

Ti-6Al-4V, Ti-8Al-1M-1V, Ti-17, Ti-6242, Ti-6246, TC 6, TC 9, TC 11, Ti-1100, IMI829, IMI 834 等。

當航空發動機的推重比從 4-6 提高到 8-10,壓氣機出口溫度相應地從 200---300°C 增加到 500-600°C 時,原來用鋁製造的低壓壓氣機盤和葉片就必須改用鈦合金,或用鈦合金代替不銹鋼製造高壓壓氣機盤和葉片,以減輕結構重量。70 年代,鈦合金在航空發動機中的用量一般占結構總重量的 20%- 30%,主要用於製造壓氣機部件,如鍛造認風扇、壓氣機盤和葉片、鑄鈦壓氣機機匣、仲介機匣、軸承

殼體等。日前，國外先進的航空發動機已普遍採用鈦合金作為風扇涵道、燃燒室殼體等部件的材料，鈦合金的用最已占發動機總重的三分之一。我國製造的一些航空發動機也已大量應用鈦合金材料機件。

鎂合金



陰影部分為鎂合金在飛機上的應用位置

早在 1934 年德國就開始將鎂合金應用到飛機機翼蒙皮上。作為最輕的金屬結構材料，鎂合金具有密度小、比強高、可承受較大衝擊載荷的特點。但由於鎂合金易燃和不耐熱的缺點，其在航空領域的應用逐漸下降。不過在 21 世紀，新型鎂合金再一次進入人們的視野，逐漸開始在民用飛機隔框、座椅、油箱等部位得到應用。埃塞克斯飛機公司製造的鎂合金油箱，與鋁合金油箱相比，每升容積可減重約 0.15 千克，整架飛機最大減重可達 454 千克。

目前飛機上使用的變形鎂合金有 MB1、MB2、MB3、MB8 和 MB15 等數種，其中 MB3、MB8 屬於中等強度，MB15 屬於強度較高的變形鎂合金，MB1、MB2 則屬於塑性較好的變形鎂合金。變形鎂合金長用來製作飛機蒙皮、翼肋、油箱、發動機罩等。飛機上使用的鑄造鎂合金有 ZM1、ZM2、ZM3 和 ZM5 四種，其中 ZM1 是飛機上使用最多的一種鎂合金。ZM5 是含有鋁、鋅、錳的鑄造鎂合金，具有良好的鑄造性和高的比強度，不但可鑄，還可焊接，用於製作飛機、發動機、儀錶及其他結構的高負荷零件，如飛機剎車轂、起落架輪轂、增壓機匣、操縱杆等。

主要應用位置：飛機輕質外殼、蒙皮、減振系統元件以及其他構件。

特種強度鋼



超高強度鋼常指拉伸屈服強度 1400MPa 以上的高強度鋼，其主要特點是具有很強的強度和足夠的韌性，是飛機製造的關鍵結構材料。

超高強度鋼按合金元素含量分為低合金、中合金、高合金 3 類。低合金長高強度鋼碳的品質分數一般在 (0.3~0.4) %，合金元素品質分數少於 5%，由淬火後低溫回火獲得的回火馬氏體組織達到超高強度。其強度主要取決於含碳量，其代表鋼種 40CrNi2Si2MoVA 已廣泛用作起落架零件。中合金超高強度鋼合金元素品質分數在 (5~10) %。由淬火後中溫回火產生二次硬化達到超高強度，用於製造 500 °C 以下工作的飛機、發動機重要承力構件。38Cr2Mo2VA 鋼屬於中溫超高強度鋼，並在飛機上應用。該類鋼在室溫下具有低合金超高強度鋼類似缺點，但在中溫下顯著改善。高合金超高強度鋼含有 10% 以上合金元素和低碳、超低碳量。由淬火產生的低碳馬氏體和中溫回火產生的二次硬化獲得超高強度、高韌性等優良性能。16Co14Ni10Cr2MoE 鋼已用作飛機平尾大軸。

主要應用位置：用於製造承受很高應力和減重設計的重要構件，如飛機起落架、機翼主樑、平尾大軸、直升機旋翼軸、接頭和對接螺栓等。

複合材料



先進複合材料於上世紀 60 年代中期一問世，即首先用於飛行器結構上。多年來先進 30 複合材料在飛機結構上應用走過了一條由小到大、由次到主、由局部到整體、由結構到功能、由軍機應用擴展到民機應用的發展道路。縱觀國外軍機結構用複合材料所走過的道路，大致可分為三個階段：

第一階段複合材料主要用於受力較小或非承力件，如艙門、口蓋、整流罩以及襟副翼、方向舵等，大約於上世紀 70 年代初完成。

第二階段複合材料主要用於垂尾、平尾等尾翼一級的次承力部件，F-14 硼/環氧複合以材料平尾於 1971 年研製成功作為標誌，基本於上世紀 80 年代初完成。此後 F-15、F-16、F-18、幻影 2000 和幻影 4000 等均採用了複合材料尾翼，此時複合材料用量大約只占全機結構重量的 5%。

第三階段複合材料開始應用於機翼、機身等主要的承力結構，受力很大，規模也很大。主要以 1976 年美國原麥道公司研製成功 FA-18 複合材料機翼作為里程碑，此時複合材料用量已提高到了 13%，軍機結構的複合材料化進程進一步得到推進。此後世界各國所研製的軍機機翼一級的部件幾乎無一例外地都採用了複合材料，其複合材料用量不斷增加，如美國的 AV-8B、B-2、F/A-22、F/A-18E/F、F-35、法國的“陣風”（Rafale）、瑞典的 JAS-39、歐洲英、德、意、西四國聯合研製的“颱風”（EF2000）、俄羅斯的 C-37 等，具體如表 2-2 所示。



應該指出繼機翼、機身採用複合材料之後，飛機的最後一個重要部件——起落架也開始了應用複合材料，向著全機結構的複合材料化又邁進了一步。複合材料用在起落架上代鋼而不是代鋁，可有更大的減重空間，一般可達 40%左右。