

一文盘点飞机上所用的材料

2016-02-11材料+

材料改变世界



所谓“一代飞机，一代材料”，航空材料的发展对航空技术起到强有力的支撑和保障作用，反过来，航空技术的发展需求又极大地促进和引领航空材料的发展。今天小编就带你来看看飞机上常用的材料吧~~~

铝合金



目前民用飞机中常用铝合金：

1

2000 系列铝合金

2000 系列铝合金中，2024 是其中较常用的一种铝合金。2024 合金常用 T3 和 T4 状态，有较高塑性、疲劳寿命、断裂韧性和抗疲劳裂纹扩展性能，但抗蚀性较差。该合金主要半成品形式有棒材、板材、型材、管材。

主要应用位置：机身蒙皮，机翼下壁板。

2

6000 系列铝合金

6000 系列铝合金中，6061 是其中较常用的一种铝合金。6061 合金常用的是 T4 和 T6 状态，主要半成品形式有板材、管材。

主要应用位置：用于要求有高塑性和高抗腐蚀性的飞机零件及管件。

3

7000 系列铝合金

7000 系列铝合金中，**7075 是其中较常用的一种铝合金**。7075 合金常用热处理状态有 T6、T73、T76、T74。T6 状态静强度最高，塑性和韧性最低，抗疲劳性能差，对应力腐蚀开裂敏感。并且韧性随温度的降低而降低，所以 T6 状态不用于低温工作零件，T73 状态的强度最低，但有较高的断裂韧性和优良的抗应力腐蚀开裂和剥离腐蚀性能；T76 状态性能介于 T6 和 T73 之间，与 T6 状态比较强度低。但耐应力腐蚀性能要好，与 T73 状态比较，强度高，但耐应力腐蚀性能差。主要半成品形式有板材、棒材、型材、锻件。

主要应用位置：广泛使用于飞机结构的重要受力零件，如机翼上壁板、翼肋、接头等。

通过降低 7075 合金中杂质 Fe, Si 的含量可获得一种**高纯度的合金 7475**。该合金静强度与 7075 合金相应的状态相近，T6 状态的室温韧性与 2021-T3 相当，抗应力腐蚀开裂与剥离腐蚀性能与 7075 合金相应状态相当。主要半成品形式是板材。

主要应用位置：用于要求高强度、高韧性、抗疲劳裂纹扩展的飞机构件，如机身蒙皮、机翼下壁板梁和隔框等。

通过用晶粒细化元素 Zr 替代 7075 合金中的晶粒细化元素 Cr，以及增大 Cu / Mg 之比可获得 **7050 合金**，是目前综合性能很好的铝合金之一。T73 状态的耐应力腐蚀开裂性能最高；T76 状态有较好的耐剥离腐蚀性能，且静强度较高；T74 状态应力腐蚀特性介于 T73 和 T76 之间。主要半成品形式有板材、型材、锻件。

主要应用位置：适用于制作厚大截面且受高负荷的结构件，如梁、加强壁板、缘条、机翼上蒙皮、重要承力接头等。

钛合金



钛工业的历史要比航空工业的历史晚几十年。钛是唯一在两次世界大战中都没有使用过的结构金属材料。钛与航空有着不解之缘。1953年,在美国道格拉斯公司生产的 DC-7 机发动机吊舱和防火壁上首次使用钛材,从而揭开了钛航空应用的历史。从那时以来,钛在航空上已应用了半个多世纪。钛能在航空上广泛应用是由于它有适于飞机应用的许多宝贵特性。

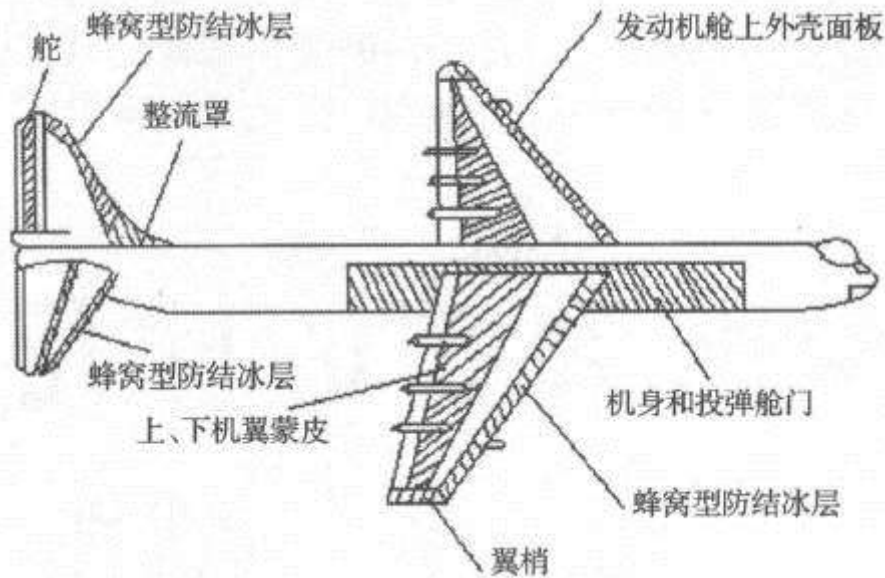
飞机上钛的主要应用是发动机,用钛量取决于其尺寸和功率。亚音速发动机达到其质量的 30%,发动机减重大约 600 kg。发动机的风扇、高压压气机盘件和叶片等转动部件,不仅要承受很大的应力,而且要有一定的耐热性,即要求钛在 300~650℃ 温度下有良好的抗高温强度、抗蠕变性和抗氧化性能。这样的工况条件,对铝来说温度太高;对钢来说密度太大;钛是最佳的选择。因此,钛在先进发动机上的应用不断扩大,主要制造压气机的模锻件和板式结构。在飞机上使用较多的钛合金有

Ti-6Al-4V, Ti-8Al-1M-1V, Ti-17, Ti-6242, Ti-6246, TC 6, TC 9, TC 11, Ti-1100, IMI 829, IMI 834 等。

当航空发动机的推重比从 4-6 提高到 8-10,压气机出口温度相应地从 200---300℃ 增加到 500-600℃ 时,原来用铝制造的低压压气机盘和叶片就必须改用钛合金,或用钛合金代替不锈钢制造高压压气机盘和叶片,以减轻结构重量。70 年代,钛合金在航空发动机中的用量一般占结构总重量的 20%-30%,主要用于制造压气机部件,如锻造风扇、压气机盘和叶片、铸钛压气机机匣、中介机匣、轴承

壳体等。日前，国外先进的航空发动机已普遍采用钛合金作为风扇涵道、燃烧室壳体等部件的材料，钛合金的用量已占发动机总重的三分之一。我国制造的一些航空发动机也已大量应用钛合金材料机件。

镁合金



阴影部分为镁合金在飞机上的应用位置

早在 1934 年德国就开始将镁合金应用到飞机机翼蒙皮上。作为最轻的金属结构材料，镁合金具有密度小、比强度高、可承受较大冲击载荷的特点。但由于镁合金易燃和不耐热的缺点，其在航空领域的应用逐渐下降。不过在 21 世纪，新型镁合金再一次进入人们的视野，逐渐开始在民用飞机隔框、座椅、油箱等部位得到应用。埃塞克斯飞机公司制造的镁合金油箱，与铝合金油箱相比，每升容积可减重约 0.15 千克，整架飞机最大减重可达 454 千克。

目前飞机上使用的变形镁合金有 MB1、MB2、MB3、MB8 和 MB15 等数种，其中 MB3、MB8 属于中等强度，MB15 属于强度较高的变形镁合金，MB1、MB2 则属于塑性较好的变形镁合金。变形镁合金长用来制作飞机蒙皮、翼肋、油箱、发动机罩等。飞机上使用的铸造镁合金有 ZM1、ZM2、ZM3 和 ZM5 四种，其中 ZM1 是飞机上使用最多的一种镁合金。ZM5 是含有铝、锌、锰的铸造镁合金，具有良好的铸造性和高的比强度，不但可铸，还可焊接，用于制作飞机、发动机、仪表及其他结构的高负荷零件，如飞机刹车毂、起落架轮毂、增压机匣、操纵杆等。

主要应用位置：飞机轻质外壳、蒙皮、减振系统组件以及其他构件。

特种强度钢



超高强度钢常指拉伸屈服强度 1400MPa 以上的高强度钢，其主要特点是具有很高的强度和足够的韧性，是飞机制造的关键结构材料。

超高强度钢按合金元素含量分为低合金、中合金、高合金 3 类。低合金长高强度钢碳的质量分数一般在 $(0.3\sim 0.4)\%$ ，合金元素质量分数少于 5% ，由淬火后低温回火获得的回火马氏体组织达到超高强度。其强度主要取决于含碳量，其代表钢种 40CrNi2Si2MoVA 已广泛用作起落架零件。中合金超高强度钢合金元素质量分数在 $(5\sim 10)\%$ 。由淬火后中温回火产生二次硬化达到超高强度，用于制造 500°C 以下工作的飞机、发动机重要承力构件。 38Cr2Mo2VA 钢属于中温超高强度钢，并在飞机上应用。该类钢在室温下具有低合金超高强度钢类似缺点，但在中温下显著改善。高合金超高强度钢含有 10% 以上合金元素和低碳、超低碳量。由淬火产生的低碳马氏体和中温回火产生的二次硬化获得超高强度、高韧性等优良性能。 16Co14Ni10Cr2MoE 钢已用作飞机平尾大轴。

主要应用位置：用于制造承受很高应力和减重设计的重要构件，如飞机起落架、机翼主梁、平尾大轴、直升机旋翼轴、接头和对接螺栓等。

复合材料



先进复合材料于上世纪 60 年代中期一问世，即首先用于飞行器结构上。多年来先进 30 复合材料在飞机结构上应用走过了一条由小到大、由次到主、由局部到整体、由结构到功能、由军机应用扩展到民机应用的发展道路。纵观国外军机结构用复合材料所走过的道路，大致可分为三个阶段：

第一阶段复合材料主要用于受力较小或非承力件，如舱门、口盖、整流罩以及襟副翼、方向舵等，大约于上世纪 70 年代初完成。

第二阶段复合材料主要用于垂尾、平尾等尾翼一级的次承力部件，F-14 硼/环氧复合以材料平尾于 1971 年研制成功作为标志，基本于上世纪 80 年代初完成。此后 F-15、F-16、F-18、幻影 2000 和幻影 4000 等均采用了复合材料尾翼，此时复合材料用量大约只占全机结构重量的 5%。

第三阶段复合材料开始应用于机翼、机身等主要的承力结构，受力很大，规模也很大。主要以 1976 年美国原麦道公司研制成功 FA-18 复合材料机翼作为里程碑，此时复合材料用量已提高到了 13%，军机结构的复合材料化进程进一步得到推进。此后世界各国所研制的军机机翼一级的部件几乎无一例外地都采用了复合材料，其复合材料用量不断增加，如美国的 AV-8B、B-2、F/A-22、F/A-18E/F、F-35、法国的“阵风”（Rafale）、瑞典的 JAS-39、欧洲英、德、意、西四国联合研制的“台风”（EF2000）、俄罗斯的 C-37 等，具体如表 2-2 所示。



应该指出继机翼、机身采用复合材料之后，飞机的最后一个重要部件——起落架也开始了应用复合材料，向着全机结构的复合材料化又迈进了一步。复合材料用在起落架上代钢而不是代铝，可有更大的减重空间，一般可达 40%左右。