

# 波音 747 飞机金属材料的选用特点

哈飞公司飞机设计所 廖美东

据美国 AIAA81-0508 文件, 波音 747 是目前起飞重量最大的客机, 空重为 164 吨。制造一架这种飞机所需各种金属材料如下: 铝 180 吨、铁 72 吨、钛 15 吨、铜 9.9 吨、锌 3.2 吨、镍 2.7 吨、锰 1.5 吨、铬 1.2 吨, 共计 285.5 吨。

另据日本《铁与钢》, 民航机产量占西方世界 60% 的波音飞机公司, 其所产波音 747 飞机, 一般铝合金占 82%, 优质铝合金占 0%, 钛合金占 4%, 钢占 13%, 复合材料占 1%。

对于镁合金, 波音公司持否定态度, 若设计师要使用, 须得证实可行后再经结构技术主管批准。鉴于波音 747 采用常规材料, 研究其选用特点对我们是有参考意义的。

1. 有经批准推荐的范围。研制波音 747 开始时, 公司组建型号发展系统, 其人员来自学科研究系统, 如结构组中的材料专业人员可将其研究成果带到型号发展组中, 制定材料及工艺的设计要求, 编制推荐的选用材料范围, 从繁多的金属材料中, 精选行之有效的 38 种进行推荐, 虽然推荐范围已经批准, 但其中的 5 种高强度铝合金和高强度钛合金仍需再经主管项目工程师和结构技术主管批准后方可使用。推荐材料表中简明摘要, 列有热处理状态、供应技术条件、使用部位、设计准则、应用工艺规范和文件等。

2. 有很明确的设计准则。设计准则是确保符合适航标准的, 波音公司制定的设计要求, 就是根据 FAR25.615, 明确每个设计人员按经认可的材料技术标准或手册所列的“A”值和“B”值来设计飞机结构。若该构件的受载方式是当它损坏后会导致结构完整性的丧失, 则必须用该材料的“A”值; 对于蒙皮、长桁壁板等超静定结构的部位则可用该材料的“B”值。这不仅完全符合适航标准, 而且减轻了结构重量。

3. 有较科学的材料安排。波音公司推荐的硬铝牌号是 2024, 超硬铝是 7075, 它们是常用材料, 但各有几种热处理状态。其目的是改善抗应力腐蚀的性能, 如 7075-T76 与-T73 就比-T6 状态抗应力腐蚀性能好。但是, 波音公司规定 7075 超硬铝用于压应力的受力构件, 而 2024 硬铝却可以广泛用于受拉受压的机身蒙皮及受拉的机翼下部结构。由于科学地安排材料, 使强度较高的超硬铝使用于机翼上蒙皮, 增强了结构的稳定性, 减轻了结构重量。

4. 有改进材料的目标。波音公司的学科研究系统

的材料及材料工艺人员不断改进材料的特性, 经过充分试验为型号设计系统编制实用飞机结构设计手册提供疲劳及断裂的数据, 如标注细节疲劳额度强度 (DFR), 表示在 95% 置信度和 95% 可靠性下, 以 0.06 的应力比水平, 该材料能够承受  $10^5$  次循环的最大应力, 也表示该材料制成的零件质量和耐重复载荷能力的度量。如 2024-T351 的 DFR 为 19 千磅/英寸<sup>2</sup> (131MPa); 7075-T6 的 DFR 为 16 千磅/英寸<sup>2</sup> (110MPa), 说明受拉时的 7075, 其耐重复载荷能力不如 2024, 不能用于机翼下表面的蒙皮。由于波音公司有改进材料的目标, 不断总结经验教训, 长期不懈进行试验, 因而在疲劳及损伤容限应力腐蚀等领域取得成绩, 不仅可定量计算, 而且有定性的措施, 如应注意最小装配应力, 合理的抛光、喷丸和排水等措施, 便可将应力腐蚀问题降至最少。

结合我国实际对照波音公司的材料选用特点, 建议有关材料的科研和制造部门着手确立航空材料的“A”值及“B”值, 赶上目前世界民用航空的大潮流。近十年来, 我国对外开放, 从英、美引进了先进的适航标准, 确立了世界大多数国家采用的适航鉴定体制, Y12II 型飞机就是按 FAR23 研制经 CAAC 鉴定而取得适航的型号合格证的。航空材料作为飞机研制的基础要适应这种新形势。过去, 我国的航空材料仿制许多苏联材料, 如常用的 30CrMnSiA、LY12 及 LC4 等, 但长期以来改进较少, 性能不甚满意, 与美国同类材料比稍差, 见下表:

国别	牌号	抗拉强度 $\sigma_b$	屈服强度 $\sigma_{0.2}$	伸长率 $\delta$
		MPa	MPa	%
中国	LY12	392.2	254.9	12%
美国	2024-T3	465.8	353.0	10%
中国	40CrNiMoA	1176.8	1029.7	12%
美国	4340	1441.5	1343.5	12%

上表所列 2024 及 4340 皆为美国常用的铝合金及合金钢。但是与其对应的 40CrNiMoA 合金钢却不如 30CrMnSiA 合金钢在中国大量使用, 究其特性, 无论其静强度、耐久性、疲劳及抗应力腐蚀性能都不如 40CrNiMoA, 可能是含钼使价格较贵吧, 这可通过技术经济分析来解决。不过, 从 30CrMnSiA 在美国找不到对应材料这种现象, 启示我们使用它并不十分优越, 似乎有将其改进或代替的必要。

总之, 我国的航材科研需要发展, 需要借鉴国外先进技术, 需要以此来促进飞机的优质高产。