

# 某型水陆两栖飞机主结构 铝合金材料选用分析

## Analysis of Choosing Aluminum on Mainstructure of Amphibious Aircraft

江 武 王金娥 / Jang Wu Wang jine

(中航通飞研究院有限公司, 珠海 519040)

(China Aviation Industry General Aircraft Institute Co., Ltd, Zhuhai 519040, China)

### 摘 要:

材料选用是飞机研制过程中的一项重要内容, 选用材料的好坏直接影响飞机性能的优劣, 飞机选材需要考虑多个因素。某型水陆两栖飞机按照疲劳、损伤容限设计原则进行结构设计。通过对某型水陆两栖飞机载荷工况和服役环境的分析, 结合飞机基本选材原则和某型水陆两栖飞机结构设计对材料的静强度性能, 疲劳、损伤容限性能, 耐腐蚀性能等的要求, 综合考虑铝合金材料特点、适航性、成本及供货等因素, 最终提出某型水陆两栖飞机结构的铝合金材料选材方案。

**关键词:** 损伤容限; 适航性; 载荷工况; 服役环境

**中图分类号:** V250.2

**文献标识码:** A

[ **Abstract** ] Choosing material is important during the development of an aircraft and the materials which are appropriate or not influence the performance of the aircraft. So many factors should be considered. The amphibious aircraft structure design is in accordance with fatigue and damage tolerance design. This paper analyses the load condition and service circumstance of the amphibious aircraft and the requirement of static strength properties, fatigue and damage tolerance properties and corrosion resistance properties, considers about factors such as aluminum characters, airworthiness, cost and material supply, then the scheme of choosing aluminum on structure of amphibious aircraft is presented.

[ **Key words** ] damage tolerance; airworthiness; load condition; service circumstance

## 0 引言

材料选用是飞机研制过程中的一项重要内容, 选用的材料直接影响飞机的性能。飞机选材的基本原则是所选材料应满足零件的使用性能要求、加工工艺性良好、制成的零件具有较好的经济性<sup>[1]</sup>。飞机选材需考虑多个因素, 主要包括材料的比强度、疲劳强度、断裂韧性和裂纹扩展速率、易获取性及成本、制造特性、腐蚀和脆变现象、与其他材料的相容性以及环境的稳定性等<sup>[2]</sup>。材料选用工作的目的是通过对飞机各部位的载荷工况和服役环境分析, 确定各部位对材料性能的要求, 并对备选材

料的性能、适航性、成本等因素综合考虑, 制定出满足型号研制要求的、切实可行的全机选材方案<sup>[3]</sup>。

某型水陆两栖飞机按照疲劳、损伤容限设计原则开展结构设计。材料选用过程中不仅需要考虑材料的静强度性能, 还需考虑材料的疲劳性能、断裂韧性和裂纹扩展速率等损伤容限性能<sup>[4]</sup>。与普通民机不同, 该型飞机的服役环境恶劣, 引起飞机承受的载荷与普通民机存在很大区别。飞机的腐蚀环境更为严苛, 这要求飞机选用的材料应具有较高的耐腐蚀性能。该型飞机按照 CCAR25 部进行设计, 飞机选用的材料应符合 25.603 和 25.613 的规定。

铝合金具有密度小、综合性能优良、成本低、在

飞机上的应用已十分成熟等优点,在现代民用飞机结构中广泛使用。本文结合水陆两栖飞机的需求量相对较少、载荷工况特殊、环境恶劣等特点,综合考虑铝合金材料特点、成本及供货等因素,提出某型水陆两栖飞机结构的铝合金材料选材方案。

## 1 服役环境分析

根据某型水陆两栖飞机预期使用区域和使用模式及使用环境特点,服役环境可分为停放地面环境、水面停放环境、空中飞行环境、水上着水/滑水飞行环境。地面停放环境考虑内陆机场停放环境和沿海机场停放环境及环境要素;水面停放环境考虑水面停放环境及其环境要素;转场飞行环境包括从一个场站到另一个场站之间的空中转场飞行及从机场或场站到灭火或救援地点的任务飞行;着水/滑水环境是飞机着水撞击、水面滑行、海上/水上飘浮环境及其要素。

按 GJB/Z 594A 对某型水陆两栖飞机的使用环境进行划分,可分为一般、恶劣、海上及特殊四种环境类型。表 1 给出了某型水陆两栖飞机各区域使用环境分类。

表 1 各区域使用环境分类

结构区域使用环境等级	结构区域	说明
一般	机身内部(通舱地板上第一根机身上桁以上区域)、机身内部(后机身)、中央翼盒段内部(非油箱区)、翼尖内部、内外襟翼内部、水平安定面翼尖内部等	受到潮湿空气、冷凝水等飞机一般使用环境的影响
恶劣	机身内部(通舱舱门开口区域)、机身内部(通舱地板上第一根机身上桁以下区域)、船底内部(后机身)(龙骨梁除外)、雷达罩内部、翼身整流罩内部、舱门内部、垂直安定面前缘内部、垂直安定面盒段内部、方向舵前缘内部、方向舵盒段内部、升降舵前缘内部、升降舵盒段内部等	受到淡水/海水、雨水、盐雾、潮湿空气或凝露的直接作用
海上	机身外表面、抑波槽、船底内部(舵桁及以下区域)、龙骨梁区域(后机身)、水箱内部、前起落架货仓内部、主起落架整流罩内部、中央翼盒段外表面、外翼盒段外表面(燃油区)、垂直安定面外表面、方向舵外表面、升降舵外表面等	直接与海水接触或经常处于饱和海雾中
特殊	中央翼盒段内部(油箱区)、外翼盒段内部(燃油区)等	滋生微生物,引发微生物腐蚀

## 2 受力分析

水陆两栖飞机除与普通民机存在相同典型的的载荷工况如突风、机动之外,还存在对称断阶着水、对称船首着水和对称船尾着水等非典型载荷工况,导致机体结构部分部件时效工况发生变化,从而引起所关注的材料主要性能参数发生变化。着水工况将引起船体部分承受较大的冲击载荷、机身上部承受压缩载荷、机翼下部承受压缩载荷等<sup>[2]</sup>。某型水陆两栖飞机各部位的主要受力及环境分析如图 1 所示,根据图 1 所示各部位主要受力及环境分析结果所确定的机体结构选用材料主要性能要求见表 2。

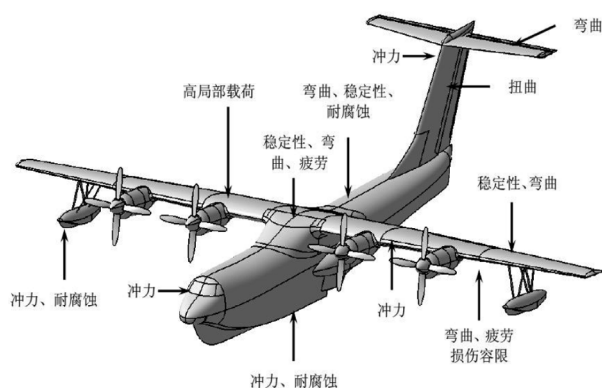


图 1 水陆两栖飞机各部位的受力分析

表 2 飞机结构对材料特性的要求

部件	部位	特性要求
机身	上机身	损伤容限,剩余强度,抗蚀性
	下机身	稳定性,水冲击,高抗蚀性
	后机身	剪切以及尾翼载荷引起的复杂应力
	前机身顶部	由着陆载荷引起的剪切、压缩
	机身机翼接头处	复杂的剪切、拉伸、压缩、强力弯折
机翼	驾驶舱	静强度及抗蚀性(座舱玻璃抗鸟撞)、增压载荷
	上翼面(中央翼)	稳定性,疲劳损伤容限,抗蚀性
	上翼面(外翼)	稳定性,抗蚀性
	下翼面(内侧翼)	疲劳损伤容限,抗蚀性
尾翼	前缘	抗鸟撞,抗蚀性
	垂直安定面	静强度,稳定性,抗蚀性
	水平安定面下翼面	稳定性,抗蚀性
	水平安定面上翼面	疲劳损伤容限,抗蚀性
	前缘	抗鸟撞,抗蚀性
浮筒	舵面	静强度,剪切强度,抗蚀性
		静强度,稳定性,水冲击,高抗蚀性

### 3 结构铝合金材料选用方案

#### 3.1 机身

机身结构为金属半硬壳式,其各部分受力情况,蒙皮承受座舱载荷和剪切力,桁条或者纵梁承受纵向拉伸和压缩载荷,普通框架支撑蒙皮形状并分配蒙皮载荷,加强隔框承受集中载荷<sup>[5]</sup>。

##### (1) 机身蒙皮

机身蒙皮主要承受飞机剪切载荷以及增压载荷,对材料的疲劳、断裂韧性和疲劳裂纹扩展速率有较高的要求。由于机身上部蒙皮主要承受拉压交变载荷,因此,蒙皮需选用抗疲劳性能高的材料,而机身下部对疲劳寿命的需求相对于机身上部较弱,且受冲击载荷的影响。机身水线以下蒙皮腐蚀环境较水线以上蒙皮更加严苛,同时考虑蒙皮分块以及工艺性等因素,此处可将地板作为上下蒙皮的分界线。机身地板以上蒙皮选用抗疲劳性能好的2024(包铝)-T3 铝合金,机身地板以下蒙皮选用7475(包铝)-T761 铝合金。

##### (2) 机身桁条和框

桁条主要承受机身弯矩所引起轴力,由于机身各部位弯矩相差较大,将引起各部位长桁选材存在差异。机头区域外形较复杂,要求长桁选用钣金件,且其载荷较小,选用2024(包铝)-T42 铝合金。机身上部长桁区域弯矩较大,所引起轴向拉力较大,且着水工况下同时需要考虑压缩所引起的稳定性问题,此区域长桁选用7050-T74511 铝合金挤压型材。机身下部长桁属于船体部位,腐蚀环境严苛,对材料抗腐蚀性能(尤其是剥蚀)提出较高的要求。着水工况下机身下部长桁承受较大的弯矩,需要考虑稳定性要求。下部长桁选用7050-T76511 铝合金。

普通框主要维持机身外形,加强框主要承受并传递集中载荷。船底普通框需承受着水过程中的水动载荷,此水动载荷将引起船底普通框承受较大的弯矩和剪力。综合考虑加工工艺、装配工艺等因素,普通框采用整体机加件,选用7050-T7451 铝合金。水密框及加强框载荷和零件尺寸均较大,也选用7050-T7451 铝合金。

#### 3.2 机翼

机翼结构为悬臂式上单翼,机翼主要承受两种类型的外载荷:一种是以空气动力载荷为主,包括机翼结构质量力的分布载荷;另一种是由各连接点

传来的集中载荷。这些外载荷在机身与机翼的连接处,由机身提供的支反力取得平衡<sup>[2]</sup>。

##### (1) 壁板

机翼采取整体壁板和铆接壁板组合方式。由于机翼整体壁板主要承受拉压交变载荷和机翼发生扭转时引起的弯曲、扭转载荷,因此,为了提高整体壁板的疲劳寿命,上壁板选择7050-T7451 预拉伸厚板,下壁板选择耐腐蚀性能良好的2024-T351 预拉伸厚板。机翼铆接壁板和整体壁板相比,受载较小且生产工艺不同,对材料性能要求也有一定的区别。机翼铆接壁板蒙皮主要承受机翼弯矩引起的轴力和垂直于其表面的局部气动载荷。长桁用于提高蒙皮的抗剪和抗压稳定性,使蒙皮能更好地参与承受机翼的扭矩和弯矩,并且长桁还承受由弯矩引起的部分轴力。机翼下翼面的腐蚀环境较上翼面恶劣。综合考虑上述因素,机翼上部整体壁板选用7050-T7451,铆接壁板蒙皮选用7050-T7451 铝合金,长桁选择7050-T74511 挤压型材。下部整体壁板选用7475-T7351,铆接壁板蒙皮选用2024-T351,长桁选择2024-T3511 挤压型材。

##### (2) 翼梁

翼梁的主要功用是承受机翼的剪力和部分或全部弯矩。翼梁有两种结构形式,为机加翼梁和铆接翼梁。机加翼梁为整体机加件。梁腹板上有机加的立筋,用于提高腹板稳定性。铆接翼梁由腹板和缘条组成。翼梁承受弯矩时,缘条受拉伸或压缩载荷,腹板受剪。机加梁采用整体机加工工艺,选用7050-T7451 铝合金,机加梁上加筋板选用7050-T7451 铝合金,下加筋板选用2024-T351 铝合金。机翼铆接梁上缘条选用7075-T76511 挤压型材,下缘条选用2024-T3511 铝合金,梁腹板选用7075-T76 包铝板材。

##### (3) 翼肋

翼肋是机翼结构的横向受力构件。翼肋分为普通翼肋和加强翼肋。翼肋由缘条和腹板组成。普通翼肋用于维持机翼剖面形状。缘条、腹板和支柱铆接而成,缘条承受弯曲引起的轴向力,选用7050-T74511 铝合金,腹板承受剪力,选用7075-T76(包铝)铝合金。加强翼肋除具有上述作用外,还要承受和传递较大的集中载荷。加强翼肋采用预拉伸厚板机加制造,选用7050-T7451 铝合金。

##### (4) 固定前缘和固定后缘

固定前缘和固定后缘主要承受机翼弯曲和扭

转载荷,腐蚀环境恶劣。蒙皮选用 2024-T42(包铝)铝合金,肋选用 2024-T42(包铝)铝合金,悬挂支架选用 7050-T7451 铝合金。

### 3.3 尾翼

尾翼采用“T”形布局,由水平安定面、升降舵、垂直安定面和方向舵组成。尾翼安定面除背鳍和翼尖外,都为金属结构,调整片为金属结构;背鳍、翼尖和舵面均采用复合材料结构。水平安定面采用双梁式结构,包括前缘、盒段、后缘、翼尖。垂直安定面采用三梁结构,主要由前缘、承力盒段、后缘、背鳍(复材)和翼尖(复材)组成。水平安定面和垂直安定面承受分布的气动载荷和在舵面悬挂点处的集中支反力。在这些载荷的作用下,其主要受力构件上产生剪力、弯矩和扭矩。水平安定面和垂直安定面应考虑材料的耐腐蚀性能,水平安定面的上翼面还需考虑材料疲劳、损伤容限性能。综上所述,梁缘条选用 7050-T7451 铝合金,梁腹板选用 2024-T42(包铝),蒙皮选用 2024(包铝)-T3 铝合金,长桁选用 7050-T7451 铝合金,普通肋选用 2024-T42(包铝)铝合金,加强肋缘条选用 7050-T7451 铝合金,肋腹板选用 2024-T42(包铝)铝合金。

### 3.4 浮筒

浮筒是保证飞机在水上起降、滑行和漂浮时的横向稳定性的部件。飞机的浮筒为翼下全金属辅助浮筒。浮筒整体结构腐蚀环境与机身一致,即下部蒙皮、长桁和框的腐蚀环境严苛,上部较轻,但浮筒蒙皮基本不用考虑疲劳性能。浮筒蒙皮选用耐腐蚀性能好的 7475-T761 包铝合金,长桁选用 7050-T7451 铝合金,钣金框选用 2024-T42 铝合金(包铝)<sup>[6]</sup>。

(上接第 28 页)

调平飞机时,利用水准仪或激光跟踪仪测量各个调平基准点的高度差,调整飞机姿态,当基准点之间达到理论高度差,即飞机达到了水平姿态。作为精细调平的手段,使用调平基准点调平飞机的精度比快速调平装置的调平精度高一个数量级以上。

## 7 结论

本文对民用航空主流机型的定水平设施进行了归纳和分类,并逐类进行了分析研究,经分析得出以下几点结论。

(1) 定水平设施根据用途及精度的不同,可以分为快速调平装置和调平基准点两大类,其中快速调平

## 4 结论

材料影响飞机的性能,选择合适的材料对飞机有着重要的意义。水陆两栖飞机服役环境比普通民机恶劣,承受载荷与普通民机有较大区别,对材料性能的要求也比较严苛。本文通过对某型水陆两栖飞机结构设计原则和适航规章进行解读,并对服役环境及飞机各部位的载荷工况进行了深入分析,确定了飞机机身、机翼、尾翼和浮筒等部位对材料的性能要求,结合对备选的铝合金材料的机械性能和工艺性能、适航性、成本、供货周期等因素综合考虑,最终提出某型水陆两栖飞机结构各部位选用的铝合金材料,制定了一套切实可行的结构铝合金选材方案。

### 参考文献:

- [1] 黄秋阳. 金属材料选择探讨[J]. 航空标准化与质量, 2007, 5: 22-48.
- [2] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 10 册: 结构设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2000.
- [3] 蓝元沛, 孟庆春, 李锋, 等. 基于多属性效用理论的飞机设计选材方法[J]. 航空材料学报, 2010, 3: 88-94.
- [4] 王克然, 许广兴. 现代战斗机对机体结构金属材料性能的要求[J]. 飞机设计, 2000, 3: 44-53.
- [5] 蹇西昌, 杨守杰, 张坤, 等. 铝合金在运输机上的应用与发展[J]. 轻合金加工技术, 2005, 33: 1-7.
- [6] 吴学仁. 飞机结构金属材料力学性能手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 1996.

装置又可分为铅垂和刻度板装置、水泡装置等几种。

(2) 对各类定水平设施进行了分析,包括功能、精度、量程及布置安装等,为国产民用飞机定水平设施的设计提供了重要参考。

最后,需要指出的是:为了保证定水平设施所指示的飞机姿态与飞机的实际姿态尽量一致,必须在型架状态下安装定水平设施,并且安装精度须比其本身的指示精度高一个数量级。

### 参考文献:

- [1] 中国民用航空局. CCAR25-R4 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.