

浅谈飞机设计的选材

六〇三所 张学峰

一、引言

目前,国内外航空设计者都认为,在飞机设计中主要结构材料选择适当与否,将直接影响飞机的战术性能、设计定型进度、生产可能性、寿命和可靠性等。如果选择了合理而可靠的材料,就可以提高飞机的结构效率,使之减轻重量,增加推重比,改善机动性,提高载重量和加大航程。反之,由于材料选择考虑不周或脱离了国内工业水平,势必难以达到预定的设计目标,必然影响设计、定型、生产的进度。

从我国航空工业发展史来看,国产的大部分机种都是仿制或按测绘设计的飞机,因此,结构设计选材基本上是按照资料或对零部件的材料分析确定的,所以对如何选材往往考虑较少;另外,国内虽然也自行设计了某些机种,但由于一般设计人员对结构设计选材缺乏经验,又未引起足够重视,所以还存在一定的问题。这里对有关飞机结构设计中如何考虑选材问题,谈点粗浅看法。

二、选材的依据

根据国内外飞机设计选材实践,归纳起来大体有下述几个方面:

1. 材料的选择,必须以满足型号设计的战术技术要求为前提,在选材前必须弄清飞机使用包线、飞机寿命、使用环境、过载、飞行速度和飞行高度等一系列指标;同时,对具体构件来说,还应进一步掌握其载荷状况、连接关系和工作环境等细节要求。根据上述要求结合

材料的不同特点,进行合理选择,以便提高结构效率。

2. 由于任何型号设计的周期均与设计产品的使用价值有直接关系,所以在决定选用的材料上必须从整个研制周期进行考虑。如果原型机设计进度很重要,那么对一些风险大而又不可能按设计周期来完成材料研制的项目,即使有发展前途也可能不被选上。

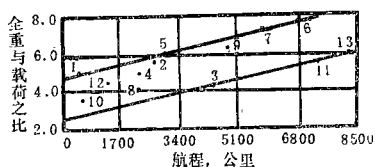
3. 注意经济性。选材时要考虑在整个批生产期间内均能符合成本效率的原则。一般认为选材时只要强调重量轻就意味着能降低成本,实则不然。事实上过分强调重量轻反而造成费用的上升。因此费用低加上重量轻才是应有的真正准则。这个经济性的问题,在国外飞机设计中是一个重要的衡量指标。美国在选择飞机结构材料时认为,大型亚音速运输机的材料费用为50美元/磅,而超音速战斗机为250美元/磅。但在国内型号设计中考虑得非常欠缺,没有一个经济指标衡量。随着今后航空工业的发展,用经济指标来衡量选材也是必不可少的。经济性又与很多因素有关,例如新合金的选用、材料工艺的特性、压缩材料的品种和规格、材料选用的继承性等等。

上述几点看起来容易接受,但在实际应用中就往往容易被忽视。另外,在结构设计中,材料选择的合理性与许多因素有关,这种选择是复杂的,并且往往与具体结构的类型和使用环境、工艺水平等相联系。

三、飞机设计中考虑材料的因素

选择飞机结构材料的主要目的,在于保证

飞机的完整性并能承受最大的载荷。权衡飞机效能的手段之一是全重与载荷之比, 见下图。



各种飞机的结构效能的比较

- 1—DC3; 2—子爵700; 3—DC6A;
4—子爵810; 5—快帆6R; 6—DC7C;
7—彗星4; 8—先锋; 9—彗星4B;
10—HS748; 11—波音707;
12—BAC1-11-400; 13—C5A。

在改进整个结构效能时, 设计特性和材料选择参数必须作为整体来考虑, 使材料的综合性能、加工性能和成本都达到适当的水平。

1. 传统的考虑因素

飞机设计从传统遇到的麻烦是重量问题, 因此设计中尽量想法提高结构效率。在飞机设计中常用强度重量比来衡量不同材料的结构效率。这种方法虽然是一个重要参数, 但只能部分解决最佳结构效率问题, 因为在实际应用中只限于受纯张力载荷的框架部件; 对于一些飞机构件如控制杆、长桁、蒙皮、扭力杆、地板、蜂窝夹层板等, 其破坏往往是由弯曲或折损引起的, 应该用抗压强度重量比来衡量; 刚度是结构材料的另一个重要参数, 它可作为刚性结构的选材依据, 通常用弹性模数重量比来衡量。对于一些构件考虑其局部失稳时, 材料的重要性能是屈服强度和屈服强度以上的应力-应变的关系。由于飞机构件承受着多种载荷, 且连接情况又不同, 所以有时就必须将材料的几个参数同时考虑, 至于哪个参数为主, 就得根据构件进行具体分析。

对于设计大M数的飞机, 选材除考虑上述因素外, 还必须考虑材料在长时间承受载荷和温度的综合作用。

目前在新机选材中, 为了减轻重量, 设计

人员往往容易单纯考虑高强度的材料。其实飞机中不少部件并非如此, 因为较高的材料强度不一定能使构件的截面厚度获得减小, 这个问题已被客观实际所证实。

2. 关于疲劳性能、断裂韧性和抗腐蚀性能

随着航空工业的发展, 由国内外飞机事故的统计分析中, 可以清楚地看出, 疲劳破坏引起的事故比例逐渐增多, 此外腐蚀破坏也相继出现, 如某些不同类型飞机的大梁断裂、螺栓断裂以及30~32框地板长桁断裂等等。因此, 为了保证飞机的使用可靠性以及延长寿命、减少维护, 设计选材中考虑以上因素是非常必要的。

对于承受疲劳载荷的构件, 还需估计在较大应力-应变范围内不同载荷下的疲劳断裂性能, 在整个疲劳应力范围内还需要考虑缺口敏感性的作用。因为在实际设计和制造中不能完全消除应力集中的问题。

国外在飞机结构设计中已采用“破损安全设计”, 从这一概念出发, 要求有效强度取决于材料的断裂韧性和裂纹扩展速率。据报导, 对于破损安全设计的构件, 耐破损能量是通过剩余强度和寿命的计算来实现的。目前我国在断裂力学方面研究时间还不太长, 原材料还不能以断裂韧性指标作为衡量验收的依据, 更不能提供一套有关材料断裂力学的设计计算数据, 以及相应的设计计算规定。所以, 国内飞机设计还未采用破损安全设计。鉴于当前状况, 断裂韧性参数在选材上可作为参考的因素来衡量。

在选材时, 抗腐蚀性能也将起着重要作用。因此构件的选材必须考虑抵抗在使用中拉伸应力与腐蚀环境综合作用所产生的裂纹。应力腐蚀对于当前飞机上承力构件经常采用的大型锻件、挤压件和厚板的选择上是一个重要的因素。

根据国外资料报导, 将主要设计因素与需要有关材料(金属材料)的数据列表如下(供参考)。

设计因素	应力-应变	断裂 韧性	疲劳	缺口 敏感	裂纹 扩展	静力 强度	磨损
结构稳定性	X(静与动)					X*	
静力强度	X(静)					X	X
周期强度	X(动)		X	X		X	X
疲劳强度			X	X		X	X
剩余强度		X				X	
剩余寿命		X			X	X	

* X表示做过试验。

四、材料的选择和使用

目前国内外都认为,任何飞机设计要想顺利投入使用,必须正确选择材料和加工方法。由于以往对此缺乏认识,结果造成许多严重问题,例如高强度结构钢氢脆、铝合金的应力腐蚀裂纹等而引起的事故。这种情况,一般说来,与设计上单纯追求结构效率有关,致使材料出现副作用的结果。因此,在设计选材中不要只选择一种材料,最好选择2~3种材料。美国诺斯罗普公司一贯主张原型机的结构设计和选材不应超出当前的水平,并且基本上是能办得到的。

在一个新型号设计中,对有些过去使用中产生过问题的材料,应该慎重考虑,甚至限制使用到新机中去。

1. 关键部位的材料

对关键部位的材料选择上,最好由结构设计员、强度设计员和材料设计员共同选择适当的材料、提出热处理和加工工艺的要求。

对于一些关键部位,为了提高疲劳性能和改善抗腐蚀性,可以采取一些工艺措施(例如喷丸等)来弥补材料性能的不足。

根据国外有关喷丸强化在飞机零件上应用的资料分析,可以看出以下一些部件或部位常常进行喷丸:

- 1) 主要的受力部件;
- 2) 构件受集中载荷部位,例如拉杆的耳片;
- 3) 力的传递发生转折处。因为这些地方

一般容易出现附加应力,应力分布复杂容易产生疲劳裂纹;

- 4) 受弯部位的外表面;
- 5) 受力状态复杂的零件外表面。

2. 整体结构

飞机的整体结构包括整体壁板、整体大梁、整体框架、整体翼肋等。

目前,随着飞机速度、航程和载油量的增加,整体件的应用面积有增加的趋势;随着飞机性能的提高和吨位的增加,其整体件外廓尺寸也有增加的趋势;同时按等强度设计整体件的内形日趋复杂。而当M数大于2.5以上时,铝合金就无法作为飞机主要结构材料,需采用钛合金。

由于厚板机加可以满足内形设计不受限制的要求,能较好地按等强度设计整体结构,并且尺寸公差小使之减轻结构重量。此外,还可用厚板代替试制中的自由锻件。因此,目前研制中不但继续扩大选用整体锻件,而且厚板机加也将加以采用。

3. 钛合金

钛合金的强度/重量比、抗裂纹生长能力、抗疲劳、抗应力腐蚀性能都优于铝合金和不锈钢,因此,在当代飞机发展中,钛合金用量逐渐增多;此外,半成品及结构形式也不断改进。钛合金是一种很有前途的结构材料。

目前,钛合金在我国飞机上的应用,大体上相当于西方国家钛合金应用的初期阶段,即只用于非受力构件。虽然,在一些新机研制中也考虑到扩大应用于承力构件,但除了钛合金的成本高以外,主要是目前对冶金工艺和加工工艺的研究还不充分,阻碍了钛合金的选用。今后,应加强这方面工作,使钛合金在飞机设计中逐步扩大应用。当前在某些新机中作局部应用,以积累使用经验是非常必要的。

4. 复合材料

复合材料具有比强度和比刚度高、内阻尼小、性能有方向性等特点,一般被认为是最有发展前途的航空材料之一。

复合材料的优异性能对于战斗机、垂直/短距起落飞机、运输机、轰炸机等都是十分适用的。外刊报导 F 106 飞机如采用复合材料与钛合金作为主要承力构件,可使飞机结构重量减少 23%,从而增加 15% 的有效载荷,而并不致减少速度和航程。洛克韦尔国际公司制造高机动性遥控研究机 (HiMAT),采用 30% 的复合材料,除减重外,还使机翼和鸭翼实现“气动弹性裁剪”,即这两翼型在飞行中因气动弹性作用扭转和弯曲成最有利状态,使之对具体飞行状态提供最佳性能。这种飞机利用机翼和鸭翼组合产生较高升力,以提高亚音速和超音速的机动性。

复合材料在国内已有一些研究所、院校和工厂正在进行研制,有的已在个别产品上进行试用,如用于高速飞机的垂尾壁板、起落架支柱护板、前缘蒙皮、氧气瓶,直升机旋翼后段件以及空空导弹的弹翼等。这方面的工作

已受到有关部门的重视,相信将会有较快的发展。

五、结 束 语

1. 正确选材的重要性和选材中须考虑的问题,应在飞机设计中引起适当的重视,以便设计出来的结构能保证最佳的结构效率。

2. 具有最轻而又可靠的构件是结构设计选材中应考虑的一个重要因素。确定最合理的设计应采用何种材料,必须考虑载荷类型、结构效率以及材料强度。

3. 疲劳性能和抗腐蚀性能应在当前设计选材中作为不可忽视的因素。

4. 断裂韧性和裂纹扩展速率,在当前可作参考因素,但它可限制一些超高强度材料的有效强度,也可成为具有相同比强度材料的决定因素。

(上接第16页)

参 考 文 献

- [1] AD764266 Development of isothermal forging of titanium centrifugal compeller (1971).
- [2] AD874582 Isothermal forging of titanium alloys using large precision-cast dies (1973).
- [3] Forging equipment, materials, and practices (1973).
- [4] Isothermal forging scores new advances. Precision Metal, Vol. 30, No.4, 1974, P.57.

- [5] Titanium-alloy isothermal forging, Tooling, Vol. 27, No. 8, 1973, P.31-34.
- [6] Get ready for isothermal forging, Iron Age, Vol.204, No.11, 1969, P.24.
- [7] Advances in aerospace materials-processing technology, Metal Progress, 1974, No.3.
- [8] TC-4 钛合金压机叶片研制,第三机械工业部三〇一研究所。

本刊编辑部邮政编码是:

1
0
0
0
9
5