

# 美国宇航总局(NASA)材料研究简况

颜 鸣 皋

一九八〇年九月十四日至十月五日随同中国航空研究院代表团对美国宇航局进行回访,团员中包括空气动力、推进技术、模拟技术、结构和材料等专业人员共十一人,参观访问了美国宇航局总部和四个航空研究中心(Langley, Lewis, Ames和Dryden),两个美国空军试验基地(Arnold与Wright-Patterson)并分组访问了四个航空工厂(Boeing, Grumman, General Electric和Sperry),历时三周,兹将访问考察简况(材料部分)介绍如下。

## 一、材料研究的发展方向

美国宇航局在材料与结构研究方面主要进行四方面工作,即复合材料、高温材料、结构分析、动力加载与气动弹性,以下仅就有关材料研究的发展动向列举如下:

### 1. 复合材料

复合材料是NASA材料研究的重点项目之一,其中Langley研究中心以飞机结构为主,Lewis研究中心以发动机部件为主,前者目前致力于碳/环氧基制造一类受力构件的应用研究,后者主要是进行金属基复合材料在发动机零件上应用的探索研究。

在复合材料的应用中,目前仍以碳/环氧为主,并已在民用与军用机的垂尾,水平尾翼、舱盖等二类受力构件上进行应用或试用。目前,除继续进行铺层设计、损伤容限、疲劳与断裂分析、质量控制与无损检验等试验与计算分析外,还积极开展复合结构(碳纤维+高强度有机纤维混合结构)加强与止裂结构,以及温度与湿度环境试验等。同时也开展高韧性与高温粘结剂及粘结技术的研究,在使用温度为

230~315℃的复合材料方面已有所突破并取得一些成就。

目前复合材料从广义来说包括以下三类:

类别	纤维	基体	使用温度(°C)
I	玻 璃 石 芳 纶	树 脂 聚 合 物	150
			315
II	硼 石 墨 铝 矾 土	铝 钛	315
			540
III	钨 石 墨 碳 化 硅	高温合金	~1370
		玻璃/陶瓷	~1850
		碳	>1650

在发动机零件应用方面,主要对象是风扇叶片、发动机机舱、框架等。硼/铝复合材料由于采用了大直径硼纤维、韧性基体和严格控制工艺过程,据告已将冲击韧性由10英尺·磅提高到65英尺·磅。此外,在采用石墨纤维与树脂进行聚合(Polymerization)制作风扇叶片和发动机部件方面也取得了一些进展。

### 2. 高温结构材料

关于发动机热端部件材料的研究主要在Lewis研究中心进行,研究对象是涡轮导向和工作叶片、涡轮盘和火焰筒材料。

1) 涡轮叶片: 进一步提高叶片使用温度的技术途径主要有三:

(1) 定向凝固法: 除定向凝固高温合金精铸叶片已应用于生产外,使用温度在1050~1200℃的尚有:

①单晶叶片

②共晶叶片: Co基+HfC, Ni基+Ni<sub>3</sub>Nb

(2) 预合金化粉末冶金法: 使用温度为1200~1360℃, 计有:

①钨纤维强化高温合金

## ②陶瓷纤维强化高温合金

(3) 陶瓷基叶片材料: 使用温度为 1300~1650℃。

2) 涡轮盘件: 主要采用预制高温合金粉末一次成型, 即热等静压 (HIP) 技术, 和两次成型, 即热挤压 + 等温锻造。

3) 高温零件防护: 用于隔热、防热侵蚀, 以延长叶片寿命

(1) 金属涂层: 包括多元涂层;

(2) 陶瓷 + 金属过渡层复合涂层: 已成功地用于 J-75 发动机一级涡轮叶片经过 500 次循环 (每次循环中最高温度达 1370℃ 历 1 分钟)。

4) 高温零件试验及寿命估算:

采用热疲劳、火焰冲刷及发动机模拟等试验方法, 在零件寿命估计方面, Lewis 中心创建了应变范围区分法 (SRP), 并成功地用于叶片的寿命估算。

### 3. 一般结构材料

1) 钛合金: 目前已大量用于军用机种, 主要开展随机载荷、环境介质的疲劳断裂试验, 开展  $\beta$  钛合金和  $Ti_3Al$  基高温钛合金的研究等。

2) 铝合金: 除开展一些使用条件下材料与结构件疲劳断裂试验外, 主要是提高合金纯度与改进热处理以提高构件的疲劳性能。

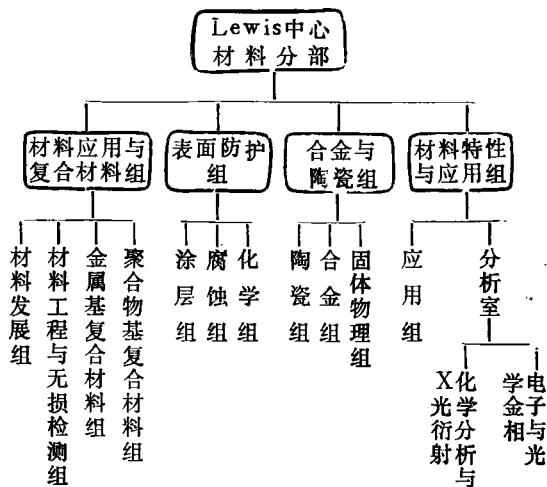
3) 采用复合结构: 如为了保证发动机的包容性, 采取铝皮 + Kevlar 布 + 铝蜂窝 + 钢带多层结构用于风扇机匣作为封严装置等。

## 二、材料研究的管理与体制

材料研究管理由隶属于总部的四个部之一——研究与技术部进行, 其下又设流体物理、推进、材料与结构、电子学与人身因素和航天能源等五个分部。

在四个研究中心中, Langley 以飞机结构材料为主, Lewis 以发动机材料为主, Ames 以航天专用材料为主, 材料研究管理的主要特点之一就是材料研究与结构强度研究紧密结合, 如 Langley 中心在结构部下设结构材料分部, 主要课题有聚合物研究、复合材料的应用

和疲劳与断裂三方面; 在 Lewis 中心, 材料分部则隶属于科学与技术部, 该分部的组成如下:



## 三、材料研究装备及测试技术

由于 NASA 以研究工作为主, 大型工艺装备不多, 目前以制备一些试件为主, 研究中所用大型零件多借用工厂装备或开展合作项目 (包括合同)。

在测试设备方面大都采用标准设备, 如 Langley 中心疲劳与断裂试验室, 装备有 MTS 计算机液压控制试验机 (由 70MN/m<sup>2</sup> 至 7GN/m<sup>2</sup>) 十余台, 均备有自动测量与记录装置, 并可进行大型壁板试验。此外还装备有制造复合材料壁板外物损伤的空气枪和落弹装置 (6~25.4 米) 及热象摄影仪, 可及时录制复合材料壁板在试验中损伤和裂纹的成长过程。此外还备有采用计算机模拟超音速飞行加热和冷却的变化程序的装置。

在 Lewis 研究中心还备有容量为 545 吨的大型液氢冷却材料试验机, 可以测定长度为 800 毫米以下试样在超低温下的力学性能, 并备有自行设计的低周疲劳试验、热腐蚀和热疲劳试验机多台, 后者可进行火焰冲刷试验以测定材料的抗热侵蚀性能。关于叶片寿命测定, 声称利用该中心发展的应变范围区分法, 估算叶片寿命的误差达 ±2%。