



顾诵芬

江苏苏州人。1951年毕业于上海交通大学。现任中国航空工业第一集团公司科学技术委员会副主任、研究员。并任中国航空学会常务理事、中国空气动力研究会理事。1991年当选为中科院学部委员，1994年当选为中国工程院院士。

顾诵芬于50年代成功地完成亚音速教练机的气动力设计并建立实用的飞机气动设计方法，成功地设计了歼教1飞机和初教6飞机的气动布局。60年代后曾任歼8副总设计师与歼8—11总设计师，攻克了超音速飞机方向安定性及跨音速抖振难题，保证了歼8飞机定型。80年代又运用系统工程将新技术综合应用到高性能的歼8—11飞机上，在不到4年时间里就实现首飞。1988年领导了主动控制技术研究，在国内首次实现不安定飞机的飞行。后又组织中俄专家进行了远景飞机的概念研究工作。曾发表过《设计超音速高性能飞机中的一些气动力问题》、《关于航天飞机研制和发展的综述》、《2000年前后歼击机的发展趋向》等论文。其科研成果曾先后获国家科技进步特等奖、航空工业部科技进步二等奖、航空航天工业部航空金奖。

顾诵芬：对我国大飞机结构与选材的思考

文 / 李晶

发展大飞机是国民经济和社会发展的需要

随着国民经济的发展，民航的需求增长非常快。美国预测航空运输量每十年增加16 000亿人/km，波音公司预测2005—2024年，世界经济增长率每年平均为2.9%，客运年增长率为4.8%，货运为6.2%，全球客货机的机

队总数将达35 300架。一个国家每人坐飞机的次数和人均GDP有很大关系，中国人均GDP在1000美元左右时，每年人均乘坐飞机0.1次，按照小康水平，我们每年人均乘坐飞机达到0.3~0.4次这个比例来说，我国需要的飞机数量是很可观的。我国民航界预测，民航运输量每年以14%的速度

在增长，2007—2026年，大飞机增加的数目为4752架，其中坐150个人左右的是3700多架，每年需要进口150架左右，国际市场150座飞机的数量占大飞机总量的60%左右，我们国家达到70%，这形成了上千亿美元的市场。

除了民用市场外，军事运输的需要同样十分迫切，我国现在能装40多

吨的大飞机只有14架,在1998年抗洪救灾时,70%的救灾物资是靠这14架飞机运输的。2005年,我国与俄罗斯签订协议计划再购买38架运输大飞机,但最近听说,协议的执行遇到了困难。

基于各方考虑,2006年7月,我国政府做出了大型客机与运输机一起上的决定。按实际情况,在运输机方面国家已经安排了将近十多年的预先研究,特别是涡扇式发动机已经有一定基础,不用通过适航认证,材料问题的解决要容易一些,可能会比客机提前两年推出;而在大客机方面我们储备不够,目前,上海正在做78~90座的飞机,刚开始组装,预计2008年年底起飞,2009年交付,飞机重40多吨,比较小,做起来还比较容易,但材料基本上都是买国外的。大飞机项目的目标是要做150座,这个难度还是比较大的。

世界一级的民用飞机总的发展趋势

势是,亚音速经济客机、超音速、高超音速客机、倾转旋翼运输机,最后越做越大。从A380以后,大家都在探索1000座级的大飞机,发动机装在机翼上面,减低噪声,我们离这一步比较远,我国中长期发展战略中在交通运输类里明确提出要发展低空的多用途的通用航空器。

大飞机对材料的要求

70年代,飞机空重比全重大约在50%~60%左右,到了90年代,空重占全重大约在40%左右,这说明飞机上留出了很大的比例用来装人、载物,如果没有新材料、新技术的话不可能有这样大的进步。我国大飞机项目中,大客机选择的是150座级的,因为这样座级的客机在我国需求量很大,而且,波音和空客公司现在正在忙于研制大型远程客机,还没有顾及研制更好的150座级的客机,因此,我们研制新型的150座级客机是会有市场的。

做了150座以后,加长可能到200座,缩短到130座左右,可以增加航程,比较舒适。目前,空客也在酝酿研究这种机型,温总理要求我们制造的大飞机要和当时国外研制出来的同级别飞机相比在安全可靠、经济性、舒适和环保性上具备竞争能力,这是相当难的。

为了达到以上目标,就要求从飞机的结构设计、选材及制造各个环节都要有所创新与提高,目标是确保安全,减轻重量,降低成本。在确保安全方面,要全面采用结构完整性设计思想,综合考虑结构的静强度、动强度、耐久性、损伤容限、气动弹性的综合优化设计和验证,满足重量、寿命、维修性和可靠性指标。关键是从基于安全系数的确定性分析方法向不确定性(non-deterministic)、非线性、模糊和概率方向发展。在减轻重量方面,结构复合材料应用量正在加大。现在的飞机减重主要是靠大量的采用复合材料,因为相关专家对复合材料的可

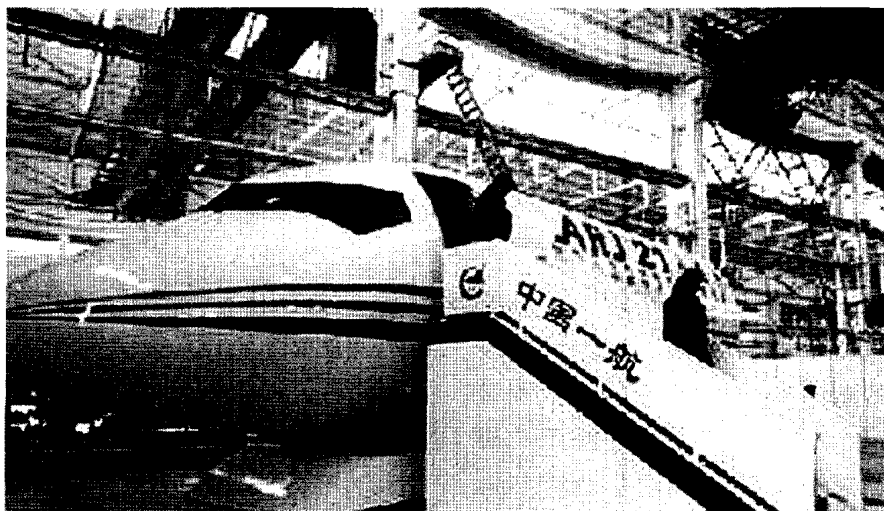


↑ 发展大飞机是国民经济和社会发展的需要

靠性还存有疑虑,2000年以前在民机中复合材料只占到结构重量的10%左右,A380也只有20%左右,在当时波音787的设计方案中,复合材料用量达到了整个结构重量的40%以上,现在接近50%。但在军机方面,英国、德国合作生产的欧洲战斗机复合材料用量已接近80%。

还有就是结构的综合利用,用了复合材料以后,很多部件都可以埋在一层一层的片子里面了,如无线电的高频电缆就变成了复合材料一层里面的一个部分,为了做“健康诊断”还要把应变片也埋进去,进一步准备把天线也埋到复合材料里面去,同时要尽量用大件,不用小零件拼起来,这样就会使飞机的结构重量大大减轻。结构的再进一步发展,就是NASA所提出来的使用纳米管材料,它的强度比钢大100倍,密度只有钢的1/6。将来的设计尽量用大件,用超塑成型,扩散连接等方法,尽量都用整体来作。例如,F-15E后机身原来都是铆接的,现在采用了超塑成型、扩散连接以后,很简洁,没有几片了。尽管超塑成型花费很大,但是节省了726个零件,显著降低了装配成本。现在美国已经取得了进展,在构件很复杂的F-16上以及F5-T38的进气口结构,实现了一次浇铸成形。我们的飞机要和波音737下一代相媲美,必须要走这条路,设计当然要负责任,更多的是要和工艺、材料部门一起合作。

除了复合材料外,还有分布式的气流传感器需要自修复材料,万一有裂纹,它自己可以探测到,因为安装了一个小的装有修复液体的胶囊,自己往上输液就能制止裂纹扩展。压电聚酯传感器随着环境条件要产生变化,所以要采用记忆合金,使飞机翼面按



↑我国几十年来研制成功的航空材料品种为数十分可观,不同程度地应用于军用或民用飞机。

着记忆合金记忆的形状变化使之永远处于最高的气动效率状态。

材料开发面临的问题

复合材料加大用量是大飞机发展的必然趋势,但现在,复合材料的加工对我们来讲难度很大,特别是因为对复合材料的破坏状态不是很了解,材料的允许值很难搞清楚,比如说美国的F-22,原来设计用复合材料的比例要达到30%多,做到部件实验的时候,机翼经不起炮打,只好把复合材料肋改成钛合金和复合材料一个一个间隔的形式,这样才能抗御炮弹的轰击。有些数值,飞机设计人员不敢全相信,除了制造过程本身的缺陷,复合材料对强度和刚度都有降级,还有对其故障的不确定性,以及固有的强度、刚度的变化,让复合材料允许使用的各种数值分散就很大,复合材料要想达到和金属一样的可信度,就要用统计概率的处理方法,前提是必须对复合材料的特性了解的很清楚,希望材料工作者能够深入研究一下。现在复合材料本身已经面临险境,在国际市场上

基本上买不到复合材料的原料,都被欧美囤积了,我们该怎么办?

第二个问题是金属材料。最近,美国的美铝公司和欧洲阿尔卡公司都急了,市场都被复合材料抢过去以后,铝业公司怎么活下去?他们跟空客在讨论,提出现在有了新的材料,保证强度可靠,价格比复合材料要低,铝锂合金也已经有办法改进它的疲劳性能了,美国提出来用7085合金。我们研发150座级客机是全部采用复合材料还是可以用金属材料现在也很难说,如果用金属材料,我们最关心的还是疲劳断裂的性能,安全可靠,比重还要下来。现在国家已经下决心在为大型飞机制造用8万吨水压机、预拉伸地板等大型设备进行投入。我们自己的大民机不仅仅是为自己用,还要出口,材料必须要通过适航认证,要通过美国FAA适航当局的认证。材料的开发过程管理也是个很大的问题,材料必须要和设计紧紧结合在一起,但现在难的是民机的项目牵头公司还没有建立起来。■

(本刊根据沙龙录音整理)