

美国飞机工业发展近况

A SKETCH ON US AIRCRAFT INDUSTRY

牛春匀

近年来,世界性的油价高涨促使飞机设计的目标,从以性能为主转变为以省油和低噪声为主。目前世界上正在使用的各型民航机,如波音(Boeing)公司的B-707及道格拉斯(Douglas)公司的DC-8,不但耗油多,噪声也大。从1981年开始,美国政府采用更严格的飞机噪声标准。这两种飞机如不换用噪声低的新型发动机,则从1981年开始,在美国境内将面临停飞的命运。因此,拥有该机种的美国各航空公司,不惜花费工本更换新型发动机,以期使飞机符合噪声标准,并使耗油量降低、航程延长。其他民航机如B-727, B-737, DC-9等面对新定噪声标准,也遇到改换发动机的问题。

今后,美国在民航机设计方面,将以亚声速飞机(约0.8倍声速)为主。至于超声速飞机的研究,只限于几家大公司,并依靠有限的政府补助经费维持(1982年的经费预算已删去),其未来的市场价值还大成问题。美国要生产新型的超声速民航机,估计其研究费用将需60~100亿美元之巨。英法合制的两倍声速的协和式(Concord)飞机共耗资30亿美元,只造了16架。其中9架正在使用中,其余的还停在地面待售。该型机不但耗油量极大,噪声也很大,而且有效载重只占飞机总重的6%左右,是一种经济价值不高的飞机,虽然它是第一架人们梦寐以求的超声速客机。苏制图144也是两倍声速民航机,但出厂以来,毛病百出,无法与协和式相比。由于协和式等超声速民航机的缺点突出,使美国飞机工业界不敢贸然在超声速民航机研制方面投入巨额经费。

军用飞机与民用飞机的要求全然不同。民航机的要求,是在符合经济的原则下,将旅客或货物从一地安全地运送到另一地。但军用飞机以完成军事任务为主,其他因素均属次要。例如,美国最新式的B-1轰炸机(生产计划虽已取消,但里根政府计划把它改良

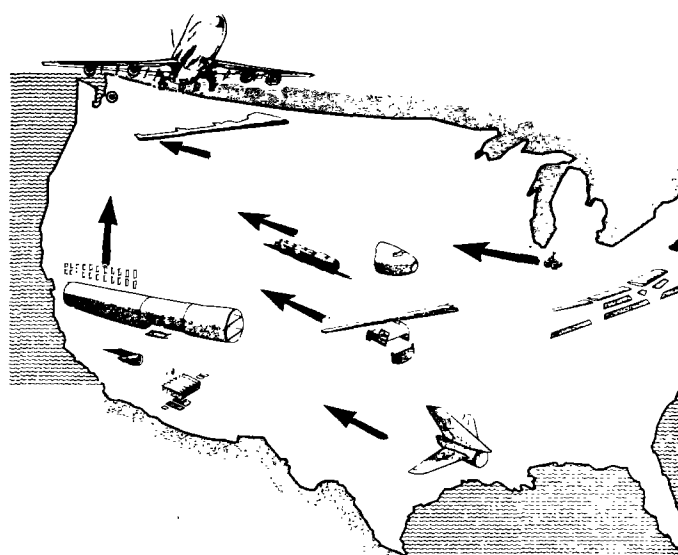
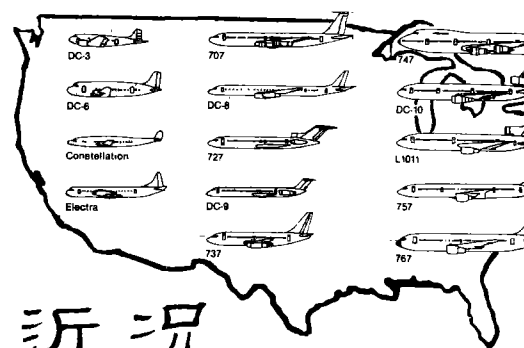


图1 B-747型飞机组件分散在美国各地生产的情况

后恢复生产),以及一些最新式的战斗机均为超声速的,以满足各种军事用途。

协作生产与政府招标

过去几十年中,制造民航机的公司出于经济方面的考虑,都不由本公司全部承担飞机各个部分的设计及制造任务。例如,飞机上的发动机、起落架、航空电子设备等部分,均由其他专门公司负责制造(有的还包括设计工作),而飞机制造公司只是负责监督及检验工作。波音公司B-747型飞机的许多部件都是分散到美国各地制造的。其分散在各地制造的部件占50%以上(图1)。有时,某些部分还分散到世界各地,制成配件后再运回美国进行装配。以上这种情况在大型运输机制造上是普遍的。

一个国家航空工业的起飞,不可能完全依靠飞机

制造公司本身，而要取决于整个国家的工业水平。航空工业是一项需要巨额投资的工业，如无必要，宁可向国外购买飞机，这比自己生产经济得多。即使有能力制造飞机的国家（如日本），也不是自行生产。因为生产民航机，必须有大批量，才合经济原则，为此除供应本国需要外，还须向世界各地出售。可是今日世界上的民航机市场，大部分已被美国所独占（欧洲只占一小部分）。在这种情况下，如果日本自制民航机，很难销售到世界各地，显然是蚀本生意。

制造军用飞机的情况则大不相同。最近许多国家都开始发展本国的军用飞机，一则因为军用飞机属于战略物资，不一定能从国外买到，二则因其体积小，除小部分发标制造外，大部分均可自己制造。以往美国政府都是公开招标设计和制造军用机的。某公司得标后，即由政府将所有预算费用逐年拨下。但在制造过程中，预算往往超支，从而使飞机交货数量减少，有时会减少30%左右。其主要原因是得标公司处理不当。为避免上述弊病，美国政府改变了政策，把花费在“样机”（prototype aeroplane）上的预定经费分成两份，选择两家得标公司，分别拨下，加上每家公司本身的一些补助费用，各自设计及制造出所规定架数的样机，进行试飞评比，再择其优者商订生产合同。此方法实施以来，效果很好。两家得标公司为争取今后更大的订货量，竭尽所能使飞机性能良好，并尽力节省经费，以表现他们的能力，结果往往替政府省了钱。上述情形可从F-16及F-17两种轻型战斗机的竞争看出。竞争以F-16战斗机得标告终，这种飞机除供美国空军使用外，还供北大西洋公约组织成员国使用。

美国某些大公司对民航机的设计，在初期阶段也将工作人员分成两组或两组以上的设计班子，让他们努力证明自己设计的优越性，然后由上级单位从中选定一种合适的设计方案。这种措施能使飞机设计更臻完善。例如目前正在试飞的B-767型飞机，其水平尾翼型式在设计初期就有T型及常规型两种。

工程技术的研究

美国各大飞机公司对技术研究及发展都很重视。在这方面稍有疏忽就会落后。每年各公司花在这方面的经费很多。一般从事这方面工作的工程人员，约占公司总员工的15%~20%。如果公司研究人员比例低于10%，该公司在技术方面将会逐渐落后而有被淘汰的危险。

目前用于飞机结构上的主要材料，仍以铝合金为主。自从1950年发明高强度铝合金后，过去30年中，铝材料的性能一直没有大的进展。其原因是美国几家大的铝公司没有兴趣在飞机铝材料方面从事研究发展工作，而飞机工业用铝只占其总产量的30%，其余大部分用于制造啤酒和汽水罐头。最近，由于政府的协助，加上飞机工业和铝公司合作，发展了粉末冶金技

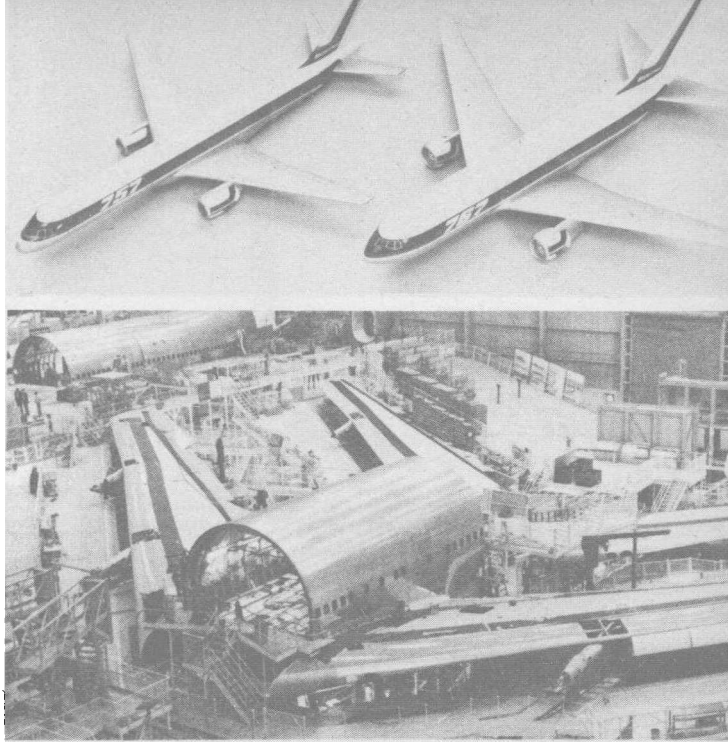


图2 波音公司的B-757及B-767型民航机，
下图为在西雅图市北方Everett的B-747总装配厂

术（powder metallurgy）和有效控制及调节铝合金成分的技术。这两种技术都分别能使铝合金强度增加约10%。目前波音公司B-757及B-767两种新型飞机（图2）将采用后一种技术制造的铝合金。据说，若工业界愿花费大量经费从事这方面的研究，铝合金的强度将可增加30%以上。

还有另一种航空界所熟悉的“高级复合材料”（advanced composite material），这种新材料的发展仅有十几年历史。由于它具有强度高而重量轻的优点，促使航空界花了许多经费、时间去研究它。它将是未来最有希望被大量使用的材料，但目前仅用于

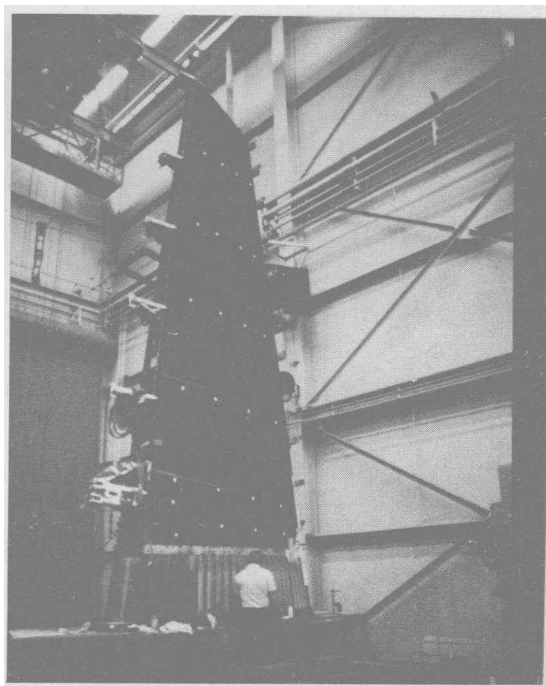


图3 L-1011民航机的石墨复合材料垂直尾翼主翼梁

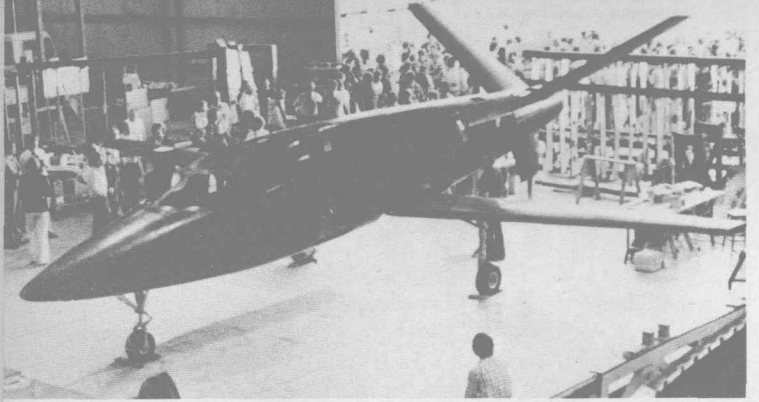


图4 里尔凡 (LEAR-FAN) 商用小型机

军用飞机上。目前最热门的垂直与短距起落战斗机，例如美国制造的 AV-8B 型机，是世界上首先在机翼结构方面采用复合材料的飞机，因为该类飞机对重量的要求特别严格。B-757，B-767 两种新型飞机上仅仅采用了约 3% 的复合材料。因为复合材料的物理性能变化太大，不易掌握，必须采用复杂的电子计算机分析方法，才能使其性能得到最有效的应用，从而使飞机结构重量最轻。目前世界上试用复合材料的飞机结构是 L-1011 的垂直尾翼主翼梁（图 3）；目前正在研制中的里尔凡（LEAR-FAN）商用小飞机则采用复合材料制作机体（图 4）。以往无法找到合适的材料来设计性能优越的前掠翼战斗机。由于复合材料的发现，将使战斗机的设计有进一步的突破。目前将这种材料大量地应用于军用飞机上，但尚处于试验阶段。因为该材料尚存在不少问题等待解决，还需要一段相当长的时间才能大量应用到民航机上。

民航机机身设计出于载客、载货及增压舱的考虑，都尽量采用圆筒形或双圆形（为了使下半部能有足够体积用于载货）（图 5）。预计在今后的设计中，不会有太大的改变。战斗机的机身尺寸完全取决于喷气发动机的安装问题。机翼及尾翼的翼型在过去十年中最常采用的是超临界翼型（supercritical airfoil）（其与一般翼型的对比见图 6）。这种翼型又称升力

后移翼型（aft loaded airfoil），其优点是能在有利的气流相对流动情况下减少空气阻力。缺点是由于升力后移，须加大水平尾翼的向下力来平衡飞行，无形中产生一种空气动力学上称为配平阻力（trim drag）的不利因素。目前使用的这些翼型都是经过无数次风洞试验后的改良型。



图6 超临界翼型与常规翼型的比较

电子工业的发展使飞机工业受益不少。例如随控布局（active control），它可将飞机重心后移，从而减少配平阻力；并可使飞机采用较小的水平尾翼，以减少机翼上的空气荷载，从而使结构重量较轻以增加飞机的有效荷载，或在相同有效荷载重，得到省油的益处。使用随控布局的另一种常用方法（如图 7 所示），是在使机翼的副翼作上下摆动方面着手，将一个特别设计的自动操纵电子装置连接到副翼上。当飞

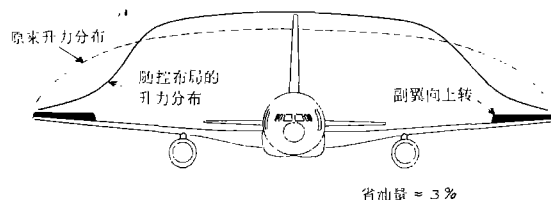


图7 随控布局的副翼操作情况

机受到向上的阵风时，副翼会自动的向上偏转而产生向下的力，从而平衡一部分由该阵风所引起的向上弯矩。这种装置不但可减少机翼上的向上弯矩，并能使飞机更趋于平稳飞行。

发动机在飞机工业的发展上，占有非常重要的地位。省油的飞机，除了飞机机身设计外，最主要的还是靠发动机的低耗油量。今日的高涵道比涡扇喷气发动机（high by-pass ratio turbofan engine）是利用位于最前方的大风扇的转动，把空气向后推。其中一小部分空气进入发动机内部，与燃料混合进行燃烧，然后推动内部的涡轮叶片以带动前面的大风扇。废气从后部喷出。另外一大部分空气沿着发动机外侧四周向后喷，形成主要的推力。外侧气流产生的推力与后部喷气流的推力之比值称为涵道比（见图 8）。此种

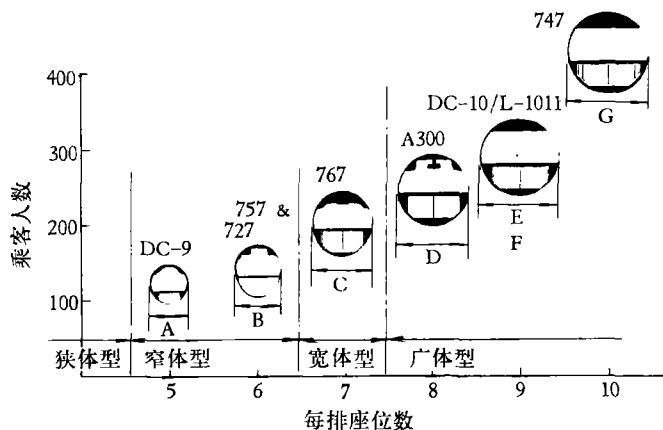


图5 民航机截面图比较

机身宽度（单位：英寸）：A=131.6，B=148，C=198，D=222，E=237，F=235，G=256

发动机可比以前的涡轮喷气发动机省油约30%，这是相当可观的。目前，各发动机公司正努力设法增加涵道比值（约6.0）。除此之外，并利用自动控制风扇尖端与机壳之间的微间隙来增加效率。这种发动机称为E³（energy efficient engine）型，能使耗油量再减少10%。美国的民航喷气发动机除了B-727上所采用的JT8发动机之外，其他几乎全是从军用发动机改良而来的。这样做，可节省一大笔初期研究发展费用。发展一台新型发动机，远较设计一种新型飞机更费时、费钱。这也就是为何世界上飞机发动机的种类屈指可数的原因。这种现象使飞机设计人员极为头痛。由于很难找到合适的发动机，往往非得迁就发动机的性能来决定新飞机的设计不可。

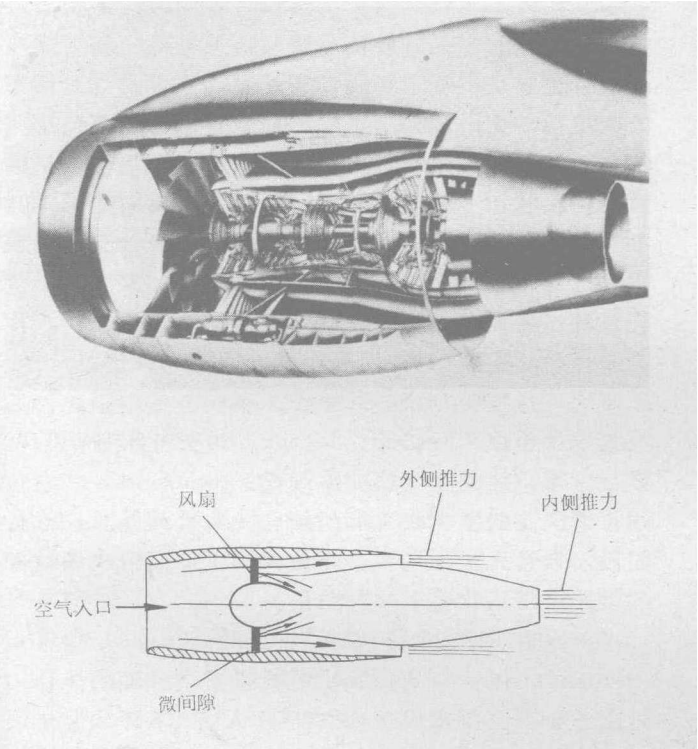


图8 高涵道比螺旋桨发动机示意图

近年来，油价高涨，飞机设计人员又想到使用省油的螺旋桨飞机。这种飞机的缺点是飞行速度慢而机舱内噪声大。目前正在研究一种称为螺旋桨型(propfan)的涡轮喷气机。(图9)其优点是可与使用高涵道比螺旋桨发动机的飞机速度（约0.8倍声速）相匹敌，而耗油量降低20%以上。其缺点是由于螺旋桨上所产生的高频对机身内部产生很高的噪声。目前螺旋桨技术发展极为缓慢，这是由于美国国家航空与航天局（NASA）每年只提供800万美元的经费，而研制E³发动机的经费为2亿美元。但因油价不断上涨，因此人们对螺旋桨发动机的发展极为乐观，相信研究经费亦必定会逐年提高。目前已有数家大航空公司对此极感兴趣。另有一取代办法，即以液氢作飞机燃料。只须对目前所使用的喷气发动机稍加改良，就可燃用液氢。但如何把液氢燃

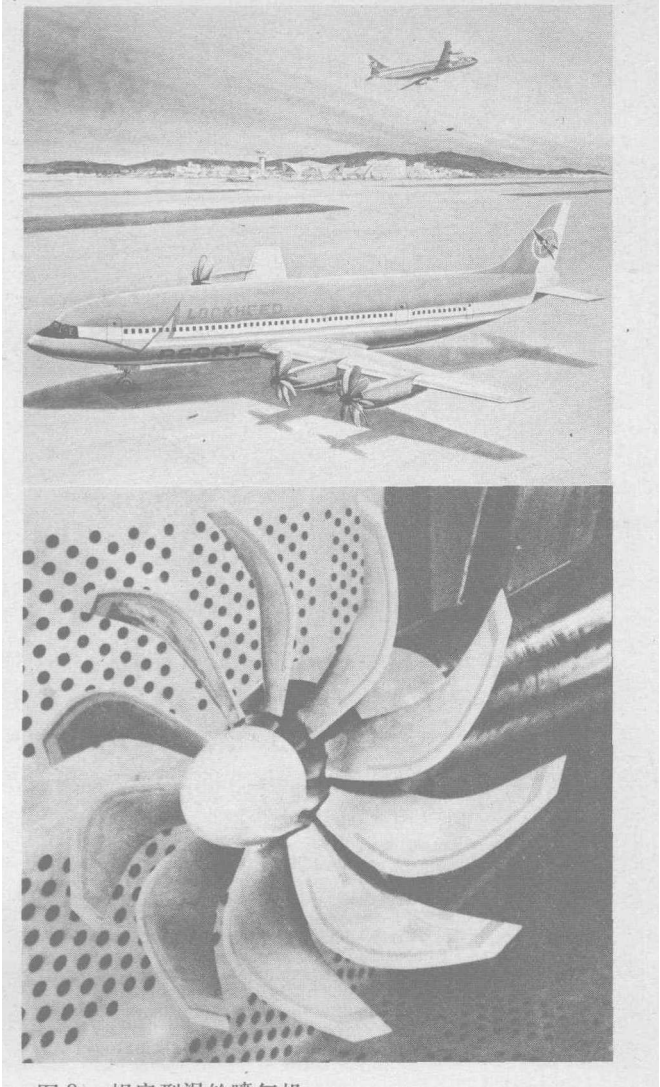


图9 螺旋桨型涡轮喷气机，最近研究结果表明，用10片螺旋桨最佳（下图）

料储存在飞机上，却是个棘手的问题。由于其温度极低，压力极高，不可能储放在机翼内。唯一的方法是储放在机身内部，这就使机身膨大。不少人认为此举将危及乘客的安全，但在设计人员精心研究下，必可达到可靠的安全程度。此外，还有一种可使飞机省油的方法，即采用翼尖垂翼（winglet）。目前一部分商用小飞机已正式使用；在大型运输机方面，已在美国空中加油机KC-135（图10）上试用，据说情况不错。有些人认为，大型运输机在翼尖处伸长来代替翼尖垂翼，较为经济。在已生产的较小型运输机上，按此种设计加以改进，也是一种改进耗油量的补救方法。设计新型飞机时，也可在机翼部位增大其展弦比来达到省油的目的。

由于新型飞机的造价高昂，目前拥有飞机者都希望增加飞机使用年限。因此，各飞机制造公司对本公司所生产的每架飞机重作统计，重作结构疲劳及断裂力学分析，找出其真正的寿命上及结构上的弱点，有针对性地加固或更新，使该飞机的使用寿命延长。此法称为结构延寿处理（structural life extension program）。

今后，由于飞机工业的不断发展，不同性能和不

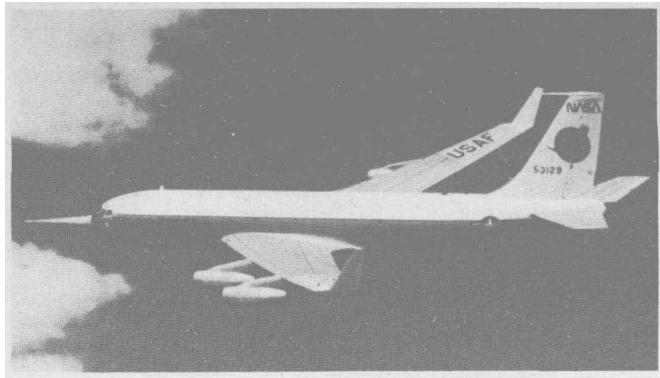


图10 装有尖垂翼的空中加油机 KC-135 飞机试飞情况

同用途的飞机将逐年出现。航天飞机的出现和使用，就引起世人的注目。

民航机和军用机的发展

民航机设计远较军用战斗机设计困难的主要原因，是民航机设计的主要原则是：经济、安全。民航机如发生事故，非但航空公司的顾客将减少，并且该型飞机亦无人问津，以致面临停产的厄运。今后发展任何一种新式亚声速宽体型民航机的全部设计及研制费用，大约在10至20亿美元之间，任何一家飞机公司也难以承担这样巨大的投资，必须找其它公司共同投资并冒很大风险。例如，波音公司B-757和B-767、欧洲共同市场一些国家合资研制的A-300和协和式超声速民航机、麦克唐纳道格拉斯公司的新技术——中程民航机ATMR、以及欧洲的F-29中短程民航机等，都是觅求其它国家共同合作生产。一般来说，民航机都以销售出200架左右为依据来计算收回全部研究及发展投资。不过常常由于其它种种原因而造成预算倍增，例如DC-10型及L-1011型宽体民航机，必须售出600架以上，才可能收回投资。

从1955年以来的25年中，各种民航机几乎都有加长机身的变型机（derivatives）。这是为了迎合航空公司或使用者的需要而做的改进，以多载乘客或货物、减低飞机的直接操作费用。在美国，几乎每几年就有一些新型及变型飞机出现图11。变型机的销售额只要能达到某一数量以上，即可收回改进所花的成本，所以与发展新飞机的费用相比，是经济的。

军用飞机的发展，完全是为了国防的需要。设计及制造战斗机不能强调安全第一，否则操作性能差而降低了空战优越性，反而不是最安全的。大部分战斗机均采取装在机身中的双喷气发动机，一台发生故障时，另一台能立即取代。缺点是制造费用高及操作灵活性差。

美国政府本身没有飞机制造部门，所有军用飞机都是政府公开招标，由民间飞机制造公司负责设计及生产，并在一定期限内研制出数架样机来进行多次试飞。如试飞情况良好，再商讨以后大量生产的订货。军用飞机通常都采用最先进的技术，因此，样机在试飞

时，经常发生各种想不到的情况，须设法解决并修改设计。曾有许多样机试飞不理想而根本没有投产。由于军用运输机极难改装为民航机，其发动机也与民航机不同。当发动机制造公司在研制军用发动机时，就要考虑到将该发动机应用到某些民航机上的可能性。如美国新式轰炸机B-1上的新式发动机，由于政府取消了该机的生产计划，该公司将发动机改良后（称为CFM 56），应用在B-707，B-737，DC-8等旧飞机，并打算用在其他新型飞机上，可达到降低耗油量及减低噪声的效果，而成为目前最先进的高涵道比涡扇发动机。当然，材料、控制、通讯等工程技术方面的最新成果也是首先应用于军用飞机上的。

设计及生产过程

任何一家飞机制造公司都设有专门部门来负责设计和计划新的产品，称为先进飞机设计部。新型飞机的设计完全是根据市场的需要；军用飞机设计则由军方决定后，交民间公司在军方监督下制造。上述部门的任务，纯属方案设计，最重要的是决定新型飞机的大小、形状及性能。飞机性能受到众多参数的影响，如空气动力、发动机及飞机重量等，使设计工作不易得到可靠答案，必须使用电子计算机程序来达到最优化设计。各大公司都有自己一套非常复杂的程序，作为设计时的重要工具。但程序不能解决一切设计问题，还需要一些资深专家共同工作，以使方案定型。然后交给设计单位（project design）进行各部细节设计。设计中最重要的是飞机实体模型（mock-up），它可用来解决飞机上构件之间的配合及吻合问题。在设计阶段，设计人员常与生产单位共同工作，解决各方面的问题，最后才进入生产阶段。

美国的联邦航空署（FAA——Federal Aviation Administration）专门负责民航机安全方面的工作，订出各种安全要求规范。共有工作人员约8千人左右，

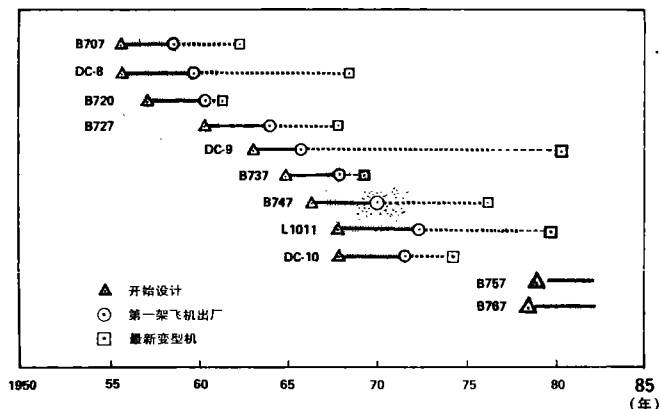


图11 美国一些主要民航飞机发展情况

大部集中在美国飞机工业集中的西岸。联邦航空署并指定某些资深工程师（均由飞机制造公司推荐）负责一些日常审查工作。这样，可为该署省下不少人力。这些工程师称为指定工程师代表（designated engineer representation），其总人数约有1000人左右，散布在飞机制造公司各个部门中。军用飞机则另有一套军方核定规范，与航空署规范有相同之处。

各种实际安全性试验，占整个计划费用中很大的比例，有时高达20%以上。某些重要的地方，除经过多次分析、试验外，还要使用两架飞机的结构骨架，在地面上做静态及疲劳试验。这不仅花费高昂，而且极为费时。图12是一架正在做疲劳试验的L-1011宽体客机。

近十几年来，飞机价格非常昂贵。一般喷气民航机价值1千多万美元。一台先进的涡轮发动机就要1百万美元以上。从飞机结构本身来说，人工费用约占60%以上。因此，在设计时要力求简单，尽量利用自动操作机械来节省人工费用。同时，在设计时亦不能忽略了将来维修方面的方便，以降低使用者的维修开支。应尽量利用已有的标准件及其他飞机上相同的构件，以减少备用件的种类。

组织和管理

飞机制造公司的组织与管理制度和一般的生产企业大同小异。通常设有总公司（corporation）及分公司（division或company）。总公司具督导地位。每一个分公司自己负责营业的盈亏，由分公司的总裁负全责。如果经营不善，总公司有权更换分公司的总裁。每个分公司除设一名总裁外，另有两名副总裁，分别负责行政、财务、生产制造、工程技术及特别部门等单位。如该公司有民用与军用两方面的业务，则另设两名副总裁来分别负责。

一个公司如不严格控制人事制度，将会逐渐产生许多不必要的高层管理人员，结果形成管理人员太多而实际工作人员不够的情况。这在大公司中是屡见不鲜的。待到公司的财务发生了困难后，才开始着手整顿，削减不必要的冗员。这是大企业经常造成浪费的因素之一。

通常，公司内部以负责财务方面的人员势力最大。由于他们负责预算和开支，操纵了整个公司的命脉。其实这种现象是不合理的。有些公司甚至把工程技术部门放在极次要的地位，更是本末倒置。类似这样的公司，很难有很大的发展前途。一位在专门生产液压操作系统的公司服务的朋友曾谈到，曾经有一家飞机制造公司派工程人员来商谈产品，经检验分析后，立即决定订购。这位朋友问他们，是否还需要经过该公司行政管理人员的批准和认可。那几位工程人员回答说：“不必了，只有我们才真正懂得这些产品的好坏和是否适用，至于那些行政管理人员，只不过是经办一些必要的手续而已”。事后，那位朋友很感慨地

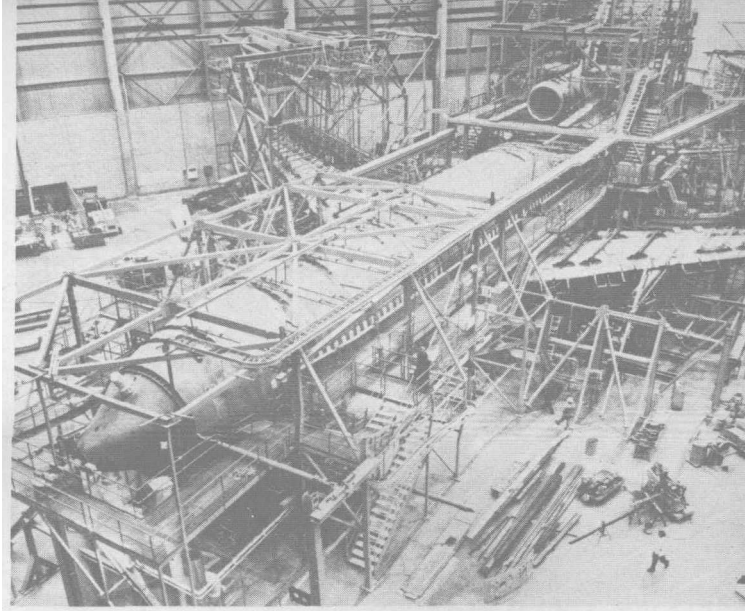


图12 正在做疲劳试验的L-1011飞机骨架

谈到，那家飞机制造公司的业务果然蒸蒸日上，今天几乎独霸了全世界的民航机市场。这个例子说明，只有分工合作、职责分明、层层负责，才能实现有效的企业管理。

美国航空界的工程师们的流动性比较大，很多人都曾经在好几个公司做过事，主要原因是总在一个公司内不易升级和加薪。每跳槽一次就有机会升迁。一般至少可得到10%以上的加薪。这种现象在年青一辈的工程师中最为普遍。为了解决这个问题，公司建立了休假和退休制度，完全是以在公司连续工作时间的长短为准。工程师的工作非常专业化，如果自己不下时间和精力去学习其他方面的知识，很可能一生中只做同样的工作。公司在招人时，往往把工作经验看作非常重要。

美国工人的劳动分工也极为细致，职务专门化，不过问其他方面的工作，如有问题直接向管理人员报告，而不聚在一起商讨解决方法。工人对公司几乎没有责任感，更换工作是常有的事。另一方面，美国工人工会力量相当强，不允许工人做除了自己专业以外的的工作，否则就会受到处罚。例如，工厂内有一个小型工具台要从屋内一处搬到十英尺外的地方，事实上任何一个人都可以完成，但由于工会的限制，非得等到搬运工人来做。要是别人做了，就等于抢了搬运工人的饭碗。而日本的企业就大不相同，在管理工人时采用分组方法，工人可根据自己的经验对生产提建议，把公司看成自己的家一样，有时下班后还留在公司内工作。工程师、技术人员和工人打成一片，共同解决生产上的问题，改进生产过程、降低成本并提高质量。这种情况可从近几年来汽车工业的发展看出来。日本汽车打入美国市场，几乎达到取代的地步，这并不是一件容易的事。有人说可能有一天，日本的飞机也会像今天的汽车一样打入美国市场，这不是不可能的。

美国飞机工业发展近况

(见正文48页)



上图 B-1轰炸机

左中 研究中的液氢燃料飞机

右中 研究中的超两倍声速的民航

左下 AV-8B垂直起落战斗机

右下 F-18战斗机(F-17改进型)

