

# 国外先进航空发动机技术 带给我们的启示

## Edification of Advanced Foreign Aeroengine Technology

西北工业大学动力与能源学院 黎明 索建秦 吴二平



黎明

副教授,研究方向为航空发动机燃烧室与燃烧;在研课题包括“某微型涡喷发动机燃烧室的设计”、“高温升蒸发型双腔燃烧室的设计”、“环形折流燃烧室的数值计算”、“某型燃烧室火焰筒的性能对比试验研究”。

在航空技术发展早期,由于缺乏合适的动力,飞机的发明比以蒸汽机为标志的工业革命晚了近 140 年,直到 19 世纪末、20 世纪初活塞发动机的发明和应用,才终于圆了人类的飞行梦想<sup>[1]</sup>。20 世纪上半叶,装有活塞发动机的螺旋桨飞机主宰了天空,并在两次世界大战中大显身手,彻底改变了人类的战争模式,同时也推动了民用航空事业的发展。20 世纪 40

年代后,喷气发动机的出现,使飞机突破了“音障”,实现了超声速飞行,并从此进入喷气飞行时代。飞机由活塞式发展到喷气阶段,既是其性能的飞跃,也是航空技术一次划时代的革命。20 世纪 60~70 年代涡轮风扇发动机的问世及其发展,使军用飞机的飞行速度、航程和机动性有了很大的提升。与此同时,大涵道比民用涡扇发动机和宽体客机的出现,使得航空运输的成本大大降低,并实现了不着陆越洋飞行,极大地缩短了人们的时空观。显然,航空发动机不仅是飞机的动力装置,也是推动飞机和整个航空工业发展的源动力。由于发动机在航空技术发展过程中的重要性,可以说人类在航空领域每一次重大的历史性进展,都与其动力装置的突破和进步密切相关,而人们对飞机的需求和发展又促进航空发动机向更高水平迈进。

技术水平、军事实力和综合国力的重要标志。迄今为止,世界上能够设计、生产飞机的国家很多,但具有独立研发和制造航空发动机能力的只有美、俄、英、法等少数国家<sup>[2]</sup>。

### 军用发动机的发展

航空技术是重要的国防科学技术之一,在一个国家的军事力量组成部分中占有极其重要的地位。自第一次世界大战飞机用于军事目的以来,以航空技术为核心的军事装备在现代战争中的作用日益突出,对战争的结局可谓举足轻重,是引起当前世界新军事变革的重要因素。如海湾战争、科索沃战争、阿富汗战争以及伊拉克战争等现代局部冲突,都充分印证了这一点。自 20 世纪 40 年代至 21 世纪初,军用发动机大致经历了从涡喷到涡扇发动机的 4 次更新换代<sup>[3]</sup>。其中第一代已全部退役;第二代除英、美外其他国家还在部分使用;第三和第四代为世界各国现

役主战机种的动力装置。在这个更新换代期间,发动机的性能参数有了很大的提高,如军用大型发动机的增压比由 5 增至 25~35,涡轮进口温度由 1200K 增至 1850~2000K,推重比由 3~4 提高到 10 左右,而不加力单位油耗则从 0.1~0.12kg/(N·h) 降到 0.06~0.07kg/(N·h)。

### 1 推重比 8 一级的第三代发动机

20 世纪 70 年代,美国和前苏联等国家开始研制第三代战斗机,其重点是强调空中格斗和全天候作战能力,重视飞机在亚、跨音速范围内的机动性,这就要求发动机的推重比具有 8 一级的数量级。在该研制背景下,以美国 PW 公司 F100 为代表的推重比 8 一级的第三代涡扇发动机相继问世,如美国 GE 公司的 F404 和 F110、西欧 3 国的 RB199、前苏联的 PД33 和 AЛ31Ф 等。第三代发动机主要结构特点为<sup>[4]</sup>:

(1) 3~4 级风扇和 7~9 级高压压气机采用较高负荷的压气机叶片,平均级压比为 1.3~1.4,且大多静子叶片可调。

(2) 主燃烧室为环形或短环形结构,普遍采用空气雾化供油方式,长度比第二代发动机的缩短了 1/2。

(3) 1~2 级高、低压涡轮采用耐高温高负荷设计,高压涡轮单级落压比可达 3.5~4.2。采用复合气冷空心结构的定向凝固单晶材料叶片,涡轮进口温度大幅提高。

(4) 加力燃烧室采用分区供油和先进的火焰稳定器,长度较第二代发动机的缩短了 1/3,加力温度提高。

(5) 采用可调式轴对称收敛-扩张型喷管,推力特性得到提高。

(6) 采用全权数字式电子控制系统(FADEC),增强了发动机的适航可靠性。

第三代发动机在投入现役的同时,国外各发动机公司还采取“多继承、少创新”的研制原则,利用新的预研成果不断对其进行改进和改型,

进一步提高性能和用途,主要包括:

(1) 改善可靠性和耐久性。如 F100-PW-100 在使用中曾出现了大量的可靠性和耐久性问题,后来通过采用单晶材料涡轮叶片、双层气膜冷却滚压成形燃烧室、数字式电子控制系统、改进的齿轮泵和发动机诊断装置等新技术,改型研制出 F100-PW-220。其设计寿命达 4300 个循环,相当于 7 年的使用期,空中停车率减少到 0.2 次/1000 飞行小时,返厂率降至 0.3 次/1000 飞行小时。

(2) 提高推重比。F404 发动机服役时就已具有良好的可靠性和耐久性,在经过性能渐改和扩大用途后,又实施了大幅度的性能改进计划。通过采用风扇和压气机整体叶盘结构、多斜孔冷却燃烧室、高负荷高温涡轮和轴对称或二元矢量喷管等新技术后推出了 F414-GE-400。其涡轮进口温度比 F404 提高了 167K,空气流量增加了 10%,压气机和涡轮效率提高了 2%,推重比达 9.0~9.5。

(3) 增大推力。在外廓尺寸不变和保证可靠性及耐久性的条件下,通过对 F100-PW-220 采取加大风扇和压气机流量,减小涵道比,采用浮动壁燃烧室、耐高温的第二代单晶材料和改进的数字式电子控制系统等措施,衍生出 F100-PW-229。其推力达到 129kN,比 F100-PW-220 的推力增加了 21%。

### 2 推重比 10 一级的第四代发动机

20 世纪 80 年代初,为争夺“空中霸权”,世界主要军事强国开始研制具有隐身性能、过失速机动、不加力超音速巡航、短距起降、超视距多目标攻击和装备更先进航空电子及武器系统等特点的第四代战斗机。为了满足上述要求,20 世纪 80 年代末至 90 年代初,国外主要发动机公司研制出了推重比 10 一级的第四代发动机,如美国 PW 公司的 F119、F135 和 西欧 4 国的 EJ200 等,其主

要性能参数见表 1。1997 年 9 月,配装 F119 发动机的美国 F-22 首次试飞,并于 2005 年 12 月服役,成为目前世界上唯一列装的第四代战斗机。

第四代发动机具有高推重比、小涵道比、高增压比、高涡轮进口温度、结构简单可靠、耐久性和可维护性好及低寿命期费用等特点。其采用的新技术主要有<sup>[5]</sup>:

(1) 风扇和压气机采用三维非定常粘性流设计,提高了级负荷,平均级压比为 1.45~1.5,用 3 级风扇和 5~6 级高压压气机即可达到总增压比 25~27,并提高了效率和喘振裕度。风扇和压气机采用空心叶片、整体叶盘结构,减轻了重量。

(2) 采用两相三维数值计算和模拟技术设计的短环形燃烧室,具有高紊流度、强旋流头部结构。采用双旋流空气雾化喷嘴和浮动壁加多斜孔冷却火焰筒,减少了火焰筒热应力,延长了其低循环疲劳寿命。

(3) 涡轮采用三维粘性流跨声速气动设计,提高了加功量,采用单级高、低压涡轮和高效高强度隔热涂层及先进冷却结构。

(4) 涡轮采用对转结构,既可取消高、低压涡轮之间的导向器,又可减小机动飞行时作用于机匣和飞机上的陀螺力矩。

(5) 采用叶轮机复合倾斜、端弯技术,以减少端壁损失,提高效率。

(6) 采用刷式封严装置,以减少漏气,提高效率。

(7) 大量采用新材料和新工艺,如粉末冶金高压压气机盘和涡轮盘、高温树脂基材料风扇机匣、阻燃钛合金高压压气机机匣、第三代单晶材料涡轮叶片、陶瓷基复合材料喷管调节片和双性能热处理涡轮盘等。

(8) 采用推力矢量喷管,以实现短距起降和非常规机动并减少红外和雷达信号特征。

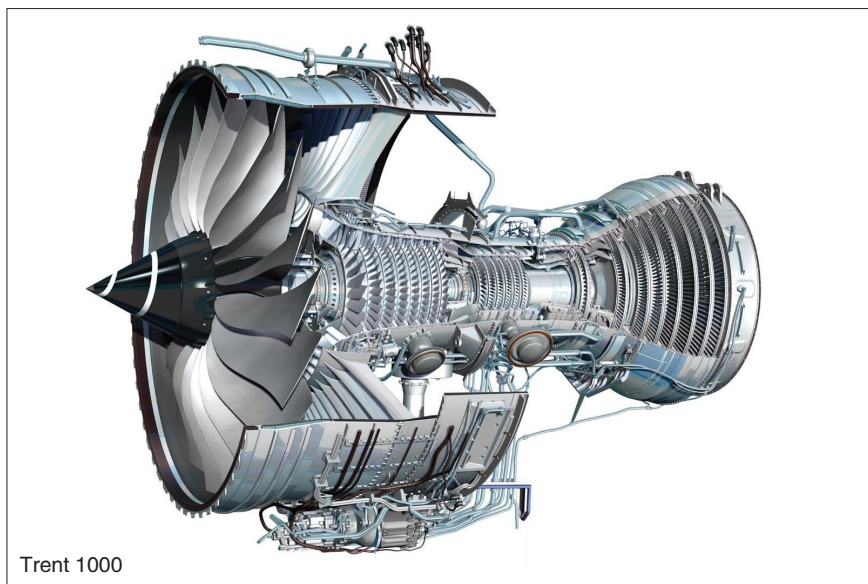
(9) 采用第三代双余度全权数字式电子控制系统,以进一步提高控

制可靠性。

由于航空发动机的研制周期很长,通常新一代发动机的预研工作往往在型号研制之前大约10~15年就开始了。因此,世界上航空技术发达国家从20世纪80年代中期就着手实施更为先进的发动机预研计划。其中规模最大、水平最高的是美国的综合高性能涡轮发动机技术(IHPTET)计划。该计划为发展下一代高性能发动机而进行更高层次的研究与开发明确了目标和要求。如大型军用发动机,其目标是推重比在目前的基础上翻一番,油耗降低30%~40%,成本降低35%~60%,并使发动机具有低信号特征<sup>[6]</sup>。IHPTET计划采取了许多变革性的技术途径,综合运用了当今发动机气动热力学、材料、结构、工艺和控制等方面的最新成果,可大大提高涡轮前温度,简化结构,降低重量并实现最佳性能控制。IHPTET计划的分阶段实施,不仅使美国成功研制出了以F119为代表的第四代军用发动机,而且目前已具备了研制推重比15~16发动机的技术能力。预计在2020年左右,推重比20一级的发动机即可问世。具分析,未来装备推重比20一级发动机的战斗机可在21000m高空以M3~M4持续巡航,在载弹量近1t的情况下作战半径可达1850km并具有隐身和非常规机动的能力。

## 民用发动机的发展

民用大飞机是知识高度密集、综合的现代化科学技术的结晶,亦是一个国家科技实力、工业水平和综合国力的集中体现。民用大飞机在某些航空技术发达国家的工业制造业和出口贸易中占有相当大的份额,在某种意义上已成为这些国家经济发展的“晴雨表”,其产品附加值远高于汽车、造船、机械和钢铁等传统制造业,甚至在世界范围内已具有垄断地位。如在欧洲空中客车公司成立以前,世



Trent 1000

界民航运输业所用的大型客机,大部分都出自美国的波音和麦道公司。波音公司大型干线客机的出口,已不仅仅是单纯的对外贸易问题,而经常成为美国政府外交手段的一个重要政治筹码。作为民用大飞机的动力装置,同样经历了从涡喷到涡扇发动机的发展过程。20世纪60年代以后,涡扇发动机逐渐取代涡喷发动机,现已成为民用大型干线客机和新型支线客机的主要动力。由此,民用涡扇发动机走上了一条与军用发动机不同的技术道路。近几十年来,在全球经济一体化、市场竞争加剧、油价波动和环保意识增强等背景下,一些新技术、新材料和新工艺首先在民用发动机上得到应用,然后向军用发动机

转移,从而使民用发动机走上了完全不依赖于军用发动机的发展道路,而且从技术和经济上支持了军用发动机的发展,真正实现了寓军于民。

经过40年的发展,民用大涵道比涡扇发动机的性能、经济型、安全可靠、噪声和污染排放等指标均有了很大进步<sup>[7]</sup>。与早期的涡喷发动机相比,发动机的噪声降低了20dB,推力增加了100倍,耗油率减少了50%。目前,大涵道比涡扇发动机的最大推力已超过500kN,空中停车率降至0.002~0.005次/1000飞行小时,返修率达到0.01~0.06次/1000飞行小时。发动机在飞机上不拆换的工作时间达到16000h,最长超过40000h,发动机的噪声和污染排放分

表1 国外现役的主要军用发动机性能参数

发动机型号	增压比	推重比	涵道比	空气流量/(kg·s <sup>-1</sup> )	涡轮前温度/K	不加力油耗/(kg·N <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	加力推力/kN	不加力推力/kN
F100	25	7.7	0.63	103.4	1606	0.0694	105.86	65.38
F110	30	7.2	0.87	122.5	1728	0.0785	122.68	74.06
F404	25	7.4	0.34	63.5	1655	0.0826	71.17	47.07
RB199	25	7.38	1.1	—	1590	0.065	75.27	42.95
PD33	21.7	7.87	0.48	76	1540	—	81.4	49.13
АЛ31Ф	23.8	7.14	0.6	112	1665	0.0785	122.6	76.2
F119	26	10	0.2	—	1950	0.062	155.7	97.86
EJ200	26	10	0.4	77	1803	0.074	90.0	60.0

别降低了 75% 和 80%。在民用大涵道比涡扇发动机市场上,中短程干线客机的发动机是主流产品。据预测,在未来 20 年内,这类发动机至少需要 25000 台,大约占世界民用发动机市场的 73%。典型的这类发动机主要有 CFMI 公司的 CFM56 和 IAE 公司的 V2500。其中,CFM56 系列发动机占据了中短程干线客机发动机市场的 78%,该发动机不仅是波音 737 的唯一动力,而且赢得新型 A320 一半以上的发动机订货。宽体干线客机的动力主要有美国 GE 公司的 CF6-80、GE90 及 GEnX, PW 公司的 PW4000 系列和英国 RR 公司的 Trent 系列。民用发动机技术大部分与军用发动机相同,但在可靠性、经济性、环保性及适航取证方面,民用发动机比军用发动机要求更高、更严格,研制难度更大<sup>[8]</sup>。因此,民用发动机也有其特有的关键技术<sup>[9]</sup>,主要有:

(1) 大涵道比风扇技术。大涵道比可使涡扇发动机推力增大、耗油率降低,如 GEnX 的涵道比已达到 10,未来的发动机可能会更高,这使得风扇直径越来越大,在气动、结构、材料和工艺等方面的难度也越来越大。早期带防振凸台的风扇设计由于效率低,现在已很少使用,取而代之的是无凸台宽弦钛风扇叶片或复合材料风扇叶片。宽弦风扇叶片已在 CFM56、V2500、CF6-80 上得到应用,对于更大直径的风扇,为解决颤振问题,减轻重量,还采用超塑成形/扩散连接的空心叶片,如 PW4084。

(2) 降低噪声技术。动力噪声是飞机噪声的主要来源,民用发动机降噪首先要降低风扇的噪声,如可通过选择合适的转子与静子叶片数比例、转子与静子轴向间距以及叶尖速度等来降低风扇噪声。宽弦无凸台大直径风扇叶片的应用,使得喷流速度降低,因而可使喷流噪声降低。另外,采用消声喷管和吸声材料以及利用多瓣式混合器进行内、外涵混合排

气等手段也可大大降低喷流噪声。

(3) 低污染排放技术。目前,国际民航组织航空环境保护委员会对民用发动机的污染排放要求越来越严格,民用发动机降低污染排放的主要途径就是改进燃烧室设计。已经应用及在研的低污染燃烧室技术主要有燃油分级燃烧室、双环预混旋流(TAPS)燃烧室、贫油预混预蒸发(LPP)燃烧室、贫油直接喷射(LDI)燃烧室、富油/淬熄/贫油(RQL)燃烧室、驻涡燃烧室(TVC)和可变几何燃烧室(VGC)等。

从 20 世纪 90 年代以来,主要围绕持续降低耗油率、全寿命期成本、污染排放和噪声等目标,欧美发动机技术强国开展了一系列针对民用发动机技术的研究计划。如 CFMI 公司实施的 TECH56 计划,其发展技术包括金属材料空心弯掠风扇叶片、新的高负荷高压压气机、双环预混旋流燃烧室、高负荷高压涡轮、对转低压涡轮和对转差动轴承、低噪声排气技术和低成本控制系统等。后续实施的 LEAP56 计划除了开发和验证常规大涵道比涡扇发动机技术外,还将桨扇发动机技术纳入进来。目前,民用发动机正朝着大推力、长寿命、低油耗、低排放等方向发展。常规大涵道比涡扇发动机在 21 世纪上半叶仍将控制民用航空动力市场。一些新型的发动机概念,如齿轮传动涡扇发动机、有涵道或无涵道桨扇发动机等,将会逐步被市场所接受。

### 加快我国航空动力发展的 建议和对策

(1) 必须将发动机置于相对独立、优先发展的地位。航空发动机虽然是飞机的一个分系统,但它又是一个独立完整的系统工程,有其自身的客观发展规律。纵观国外航空技术发达国家,航空发动机都是相对独立并优先发展的。但几十年来,国内总是将发动机置于飞机的从属地位,长

期沿用由飞机型号工程牵引发发动机的指导思想,即有了飞机型号才能搞发动机,一旦飞机型号下马,发动机也随着下马,导致发动机的研制始终赶不上飞机的进度,最终不得不购买或仿制国外的发动机,从而陷入不断引进和仿制的恶性循环。鉴于发动机已成为我国航空工业发展的“软肋”,因此行业上下首先要统一认识,必须坚持“振兴航空、动力先行、相对独立、优先发展”的指导思想。

(2) 国家必须有长远稳定的发展规划。航空发动机的发展是关系到航空工业能否振兴的关键。如果国家没有长远稳定的计划,发动机型号随意增减,新机研制半途而废,既损耗国家资金、挫伤从业人员积极性,又错失发展良机。因此,从国家的层面应将航空发动机列为构成国家实力基础和军事战略的核心技术,制定长期稳定的发展规划,将加快航空发动机的发展作为国家重大科技专项,列入“十二五”计划,加大投入,先行发展。总结国内航空发动机行业发展相对缓慢的原因很多,固然有基础差、底子薄的客观因素,但最根本的问题是缺乏一个像美国 IHPTET 计划那样的长远发展规划,没有形成持续、稳定、协调发展的局面,其他问题可以说都是由于这个主要问题的长期存在而产生的。

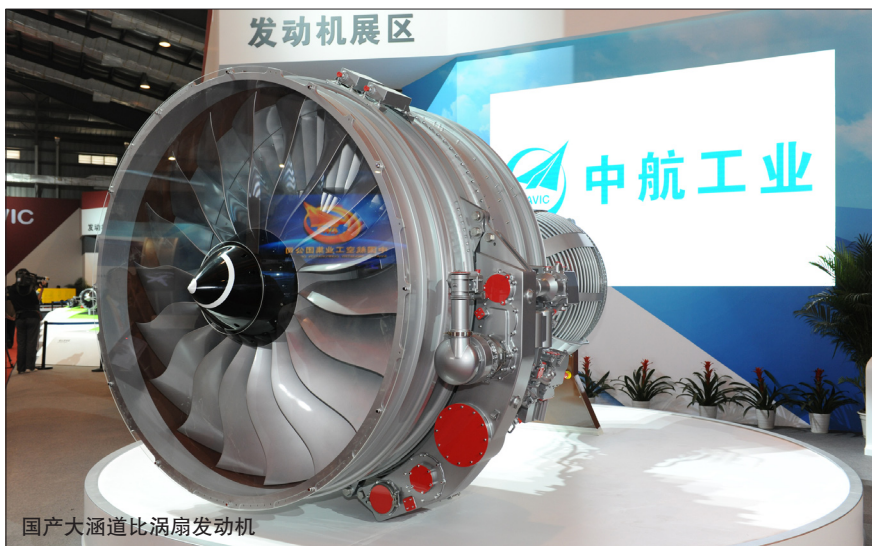
(3) 切实加强预研工作,采取符合研制规律的发展道路。航空发动机是技术高度密集的高科技产品,其研制过程具有周期长、耗资大、风险高、技术难点多等特点。如果没有雄厚的预研基础作为技术储备,先进发动机的研制将是“无源之水、无本之木”,对引进的国外技术也缺乏消化吸收的能力,即使参与国际合作也难以取得相应的地位。国内航空发动机行业长期徘徊不前,型号研制久攻不下,至今没有走出自行发展的路子。从技术角度看,其重要原因就是研究基础薄弱,技术储备缺乏,创

新能力不足。不搞预研就急于上型号,或者有了型号才安排预研,许多部件的关键技术并未提前解决,往往整机调试与部件排故同步进行,必然使型号研制曲折反复,有时又不得不回过头去搞预研,临时组织攻关,导致研制进度一拖再拖,性能指标一降再降,研制经费一涨再涨,这种局面再不能重演。美、英等国的发动机技术在当今世界处于领先地位也绝非一日之功,而是他们长期秉承“预研优先”的发展方针,坚持将基础研究、应用研究、产品开发和批量生产紧密结合,相互促进的结果。在预研阶段,应以核心机和验证机的研究为主,因为核心机和验证机是把先进部件预研与型号设计衔接起来的桥梁和纽带,是全面验证、发展和应用预研成

件。新时期下必须树立并落实以人为本的科学发展观,充分认识人才是核心技术竞争力的重要组成部分。要关注人才自身发展,不断满足各类人才日益增长的物质和精神需求,努力为他们改善工作条件,提高生活质量和健康水平。应当建立完善科学的人才考评体系,创新人才选用模式,健全人才激励和保障机制。要充分利用国内外人才市场,在最大范围、最广领域尽可能地集聚各类相关人才。大胆吸收和借鉴国内外先进的人才管理经验和科学方法,加快培养和造就一批理念先进、基础扎实、知识交叉、充满活力、经验丰富、作风严谨、无私奉献、具有集体主义与合作精神的高水平发动机研发人才。2011年3月,中航商发公司宣布正式启动国

禁运。在未来10~20年,航空发动机产业仍然占据了美国国防科技战略的核心位置。法国在组建空客公司的过程中,宁可放弃飞机整机的研发与制造,也要牢牢把握发动机不放。同时发达国家还在人力资源上实行看不见的封锁,不仅限制其他国家人员进入发动机核心研制领域,而且也限制本国相关人才向国外转移,以此来保持技术上的长期垄断。抛开政治、军事意义不谈,仅就经济利益而言,任何一个国家也都不会亲手扶植起一个自己的竞争对手。不论是西方还是俄罗斯,都不可能把发动机核心技术转让给中国的诚意,市场和金钱也换不回来核心技术。所以,要尽快提高我国航空发动机行业的整体水平是不可能以国外为后盾的,应坚持以“自力更生为主,争取外援为辅”的方针,要把立足点放在独立自主的根基上。

(6)应加大投资力度,保证充足的研制经费。国内发动机行业由于长期处于仿制生产状态,对发动机研制客观规律掌握不足,对发动机研制工作的长期性、艰巨性和大投入性认识不清,造成我国发动机研制投资力度远远低于实际需要,预研经费比例更是偏低。据资料统计,国外发动机行业的科研费用约占整个航空科研总经费的25%以上。国外以往的研制经验表明,典型发动机的研制周期大约为8~15年,按照发动机大小、类型和研制条件的不同,研制费用大约在5~20亿美元不等,而且还在历年增加。目前,国外研制一种新型军用发动机的费用大约为20亿美元左右,如法国的M88为16亿美元,美国的F119为26亿美元。在拥有雄厚技术基础的情况下,为支持第四代发动机的研制和开展推重比15~20一级的先进军用发动机关键技术研究,美国的IHPTET计划从1988~2003年的15年中总计投资50亿美元。而我国从1980~2000年实



果并使之快速向型号转移的重要阶段。没有这个阶段,预研成果将很难向型号转化,其结果必然会出现与型号脱节的现象。由于核心机都采用了验证过的技术,发动机研制技术风险小、研制费用低、周期短,可极大地降低成本,提高竞争力。因此,走成熟核心机派生发展的道路,是国外行之有效的成功经验。

(4)坚持以人为本,加强人才队伍建设。人才是最宝贵、最重要的战略资源,人才的培养和凝聚是航空发动机技术进步和创新发展的先决条

件。新时期下必须树立并落实以人为本的科学发展观,充分认识人才是核心技术竞争力的重要组成部分。要关注人才自身发展,不断满足各类人才日益增长的物质和精神需求,努力为他们改善工作条件,提高生活质量和健康水平。应当建立完善科学的人才考评体系,创新人才选用模式,健全人才激励和保障机制。要充分利用国内外人才市场,在最大范围、最广领域尽可能地集聚各类相关人才。大胆吸收和借鉴国内外先进的人才管理经验和科学方法,加快培养和造就一批理念先进、基础扎实、知识交叉、充满活力、经验丰富、作风严谨、无私奉献、具有集体主义与合作精神的高水平发动机研发人才。2011年3月,中航商发公司宣布正式启动国

产大型客机发动机项目海外人才招募工作,这是我国航空工业系统跨出国门招募人才的首次实践。根据计划,在未来5~10年内商发公司将面向全球招募引进和培养涉及经营管理、设计研发、装试维修、营销客服等领域共5000人左右的人才队伍。

(5)坚持以自力更生为主的发展方针。航空技术发达国家历来将发动机产业视为保持大国地位的核心。美国政府从未放松过对发动机技术的控制,不仅对我国封锁,甚至在某些核心技术上也对其盟友实行

施的两项高性能发动机预研计划,20年的总投入只有美国一年经费的三分之一。如果投资力度不能保证,发动机就不可能按期保质研制出来,其后果只有夭折。因此,足够的经费是发动机研制成败的关键之一。另外,航空工业既是技术密集行业,更是资本密集行业。纵观国外发达国家航空工业发展的成功经验,国家投入只能作为前期引导资金或启动资金,而大量资金的补充则来自社会资本的加入,我国航空工业的发展也不可能背离这个规律。随着今后国内航空发动机产业的不断壮大和积累,要实现发动机跨越式发展,必须实现资金来源主要依赖国家支持向建立多元化融资渠道的转变。

(7) 必须重视关键材料和制造技术的研究。先进的材料和制造技术是发展高性能发动机的基础,对于保证发动机的性能质量和可靠性至关重要,是降低发动机制造成本和提高其市场竞争力的有效手段。现代高性能发动机的发展越来越依赖于材料和工艺的进步,同时高性能发动机的需求和发展又促使材料和制造技术迈向更高的水平。国外高性能发动机的研制采用了大量新材料、新结构,对制造工艺的要求也进一步提高。为此相继研发了一系列高性能发动机关键制造技术,如轻量化和整体化结构件制造技术、新型结构件精密制造技术、航空发动机制造新工艺、面向零件的专业化生产线等<sup>[10]</sup>。美国PW公司曾经指出,如果不采用粉末冶金锻造盘、定向凝固技术、大功率电解加工技术和立方氮化硼刀具等一系列先进制造技术,像F100这样的先进发动机是不可能短期内研制成功并投入批生产的。因此,国外著名的发动机公司,始终把制造技术和设计技术置于同等重要的地位,不断以产品性能和结构的发展促进材料和制造技术的发展,而材料和制造技术的发展又为发动机的发展

打基础,提供技术保证。否则,新型发动机的研制只能是纸上谈兵。

(8) 解放思想、创新思维,努力提高科学管理和决策水平。在发动机的研制发展中,确定目标、型号立项、设计思想、总体方案等,首先要经过论证和决策。科学决策是发动机研制成功的根本,如果一开始大方向就错了,最后只能以失败告终。决策失误是工作中的最大失误,这类例子在我国航空发动机的发展史上屡见不鲜。我国航空发动机行业一直落后,与管理水平低下,决策不科学关系极大。目前,我国还不具备在航空发动机的各个技术层面全面赶超世界先进水平的实力,在制定发展规划和选择发展道路时,应当紧密结合国情,坚持“有所为、有所不为”,遵循“整合现有、补充提升、统筹兼顾、科学发展、夯实基础、形成装备、军民结合、军用先行”的发展思路。进入21世纪,国际航空工业调整重组的趋势加快,国际航空市场的格局已是“民机制造两家对垒,航空动力三分天下”,形成了世界范围的垄断寡头竞争。我国航空工业多年来也在不断地改革,但固有的矛盾和难题大多没有触动,这与当前国际航空工业大调整、大改组、大联合的竞争趋势极不适应。新时期下,应当深入贯彻落实科学发展观,解放思想、创新思维,努力提高科学管理和决策水平。大力推进产业结构调整和管理机制转换,建立与国际接轨并符合航空发动机产业发展规律的运行体制和机制。打破行业 and 单位壁垒,实施全行业乃至全国的大协作,认真研究和妥善解决改革过程中因利益格局调整和生产要素重组可能出现的新问题和矛盾。只有这样,才能使我国航空发动机的研制工作更好地实现目标。

(9) 加强国际合作,正确处理好了技术引进和自主创新的关系。鉴于世界航空技术大国垂涎国内的巨大市场潜力,利用国内相对低廉的劳动

力和资源,降低制造成本和提高发动机性能以提升市场竞争力。我们则可利用其先进的技术和管理经验来缩短研制周期,节约研发资金,从而提高研制起点,少走弯路,规避风险,实现国内发动机行业跨越式发展。国内航空发动机过去的教训不在引进上,而是在引进以后。所谓自主创新,不是说只能用自己的资源进行创新,而是说为了实现自己的目标,按自己的需要去配置资源进行创新。自主创新不等于闭门造车和仅仅依靠国内的技术和资源,而是要尽可能地借鉴发动机技术强国的技术,利用全球科技资源进行创新。因此,贯彻自力更生、自主创新的方针,决不是盲目排外,不能把自主创新和国际合作两者割裂开来。相反,无论是过去、现在还是将来,都要不断地引进国外的先进技术,通过对其不断的消化、吸收继而再创新作为增强自主创新能力的重要途径,不能仅仅是“照葫芦画瓢”而不知其所以然。

## 结束语

航空发动机行业是关系国家安全、经济建设和科技发展的战略性产业。世界航空发动机技术的快速发展,为我国航空动力实现跨越式发展提供了难得的机遇。我们应当认真学习国外先进经验,坚持科学发展观,抓住机遇,不负重托,搞好战略规划,强化组织领导,加大投资力度,突出重点,选准目标,锲而不舍。相信在不远的未来我们一定能研制出自己的高性能发动机,从而实现“高起点、大跨度”的自主创新发展,完成从引进仿制到自行设计的战略转变,彻底扭转我国航空动力的被动落后局面。

本文共有参考文献10篇,因篇幅所限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 深蓝)