

航空发动机科技信息研究报告选编

(合订本)

第一册

航空航天工业部发动机专业情报中心

1993年3月

V23-53
1008

V23-53
1008-A1

-A-

航空发动机科技信息研究报告选编

(合 订 本)

第一册



一九九七年九月十四日



30763040

航空航天工业部发动机专业情报中心

1993年 3 月

763040

〔内部发行〕

航空发动机科技信息研究报告选编

航空航天工业部发动机专业情报中心

航空航天工业部发动机专业情报中心出版发行

沈阳市沈河区万莲路1号

——邮政编码: 110015——

航空航天工业部第606所第24室印刷

1993年3月30日第一版 1993年3月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 38

印数: 1—300 字数: 960千字

内部图书资料准印证: 辽沈出临图字〔1993〕第41号

航空发动机科技信息研究报告选编

(合 订 本)

第一册

出版编委会

主 任: 严成忠

委 员: 孙广华 严成忠 张绍基 陆连生

赵锡同 崔仲尧 鞠云峰

主 编: 崔仲尧

副 主 编: 陆连生 鞠云峰

责任编辑: 鞠云峰



序 言

航空发动机专业情报(信息)中心(简称情报中心)是我部成立较早的专业情报(信息)中心,部局经过较长时间的酝酿和准备,根据部1983年12月颁布的《航空工业部科学技术情报工作条例》的规定,于1984年1月正式成立,经慎重研究决定将情报中心设在606所,并长期担任航空发动机技术情报网网长。建立专业情报中心的宗旨是为了健全和完善我部科技情报(信息)工作体系,提高情报信息工作的总体效能。

情报中心按《航空工业部科学技术情报工作条例》规定和部局“关于成立航空发动机专业情报中心的通知”要求,自1984年开始边探索边实践,采用经济合同制管理情报(信息)研究课题的新路子,沿这条路子,通过情报网的组织形式,调动了我们发动机全行业广大科技和情报人员的积极性,先后完成部局批准下达的中心情报(信息)研究课题共7批,47项,完成研究报告260余篇,今出版的《航空发动机情报(信息)研究报告选编》(合订本),包括航空发动机研制道路、技术发展途径、技术政策、先进机种发展研究、发动机结构、强度、试验与测试技术以及航空发动机新技术、新材料和新工艺等内容。由于本选编篇幅有限,第一册只能选入有代表性的55篇研究报告,以便有关领导和同志存用。

多年来的实践证明,情报中心和情报网所完成的课题任务是紧密结合部局科研、生产任务的。所完成的课题报告对于部局的决策、制订规划和计划以及科学管理,对于有关厂、所、院校制订规划、计划以及完成科研、生产和教学任务都起到了一定的参考作用。几年来,在完成的研究报告中,有相当一部分受到各级领导及有关专家的好评、表彰与奖励。其中获部局三等科技情报成果奖2项,二等奖2项,沈阳市一等科技情报成果1项,1992年又获部局一等科技情报成果奖1项。1988年5月在全国国防科技情报网站联合会成立大会上,报告了他们“专业情报中心与情报网有机结合是情报网

改革的有效途径”的经验后，受到科工委有关领导及与会代表的肯定与好评，并被选为国防科技情报网站联合会第一届理事单位。

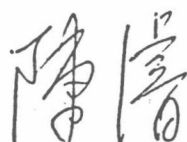
在多年的实践过程中，我们深刻体会到，在情报工作中首先要树立“信誉第一”和“为科研、生产服务”的思想，拓宽情报信息工作领域。八年来，他们调动了全网43个成员单位的积极性，各项活动有生气，完成任务效果好。今后，情报中心要在党中央十四大深化改革方针指引下，团结全行业成员单位，共同努力奋斗，为我国航空发动机事业振兴与发展做出贡献。

由于时间较紧，编者水平有限，难免有漏误之处，敬请读者指正。

本选编供内部使用，请妥善保管。

中国航空发动机总公司

总经理



1993年3月13日

目 录

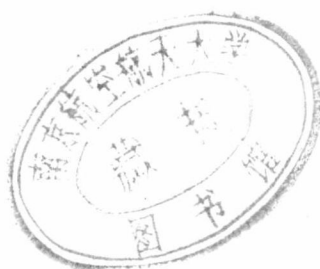


序言

1	航空燃气涡轮发动机研制道路·····	田宝林 金新祥等	1
2	美国航空发动机的研制与发展·····	陈昭盛	13
3	英国航空燃气涡轮发动机研制道路·····	郭成林 金新祥	20
4	法国航空发动机研制道路·····	靳宝林 金新祥	33
5	英法航空发动机发展道路·····	陈炳貽	39
6	从RM8发动机看瑞典的研制道路·····	靳宝林 鞠云峰	46
7	日本和瑞典的航空发动机发展道路及其现状和趋势·····	周世恒	54
8	从分析国外航空发动机发展道路 看我国航空发动机发展技术途径·····	鞠云峰 崔仲尧 严成忠	67
9	我国航空发动机自行研制发展途径·····	鞠云峰 陆连生	86
10	对我国航空发动机发展道路的若干思考·····	方昌德	100
11	国际合作途径初探·····	王定勇	109
12	我国航空动力工程发展的最佳途径·····	林培孚	116
13	国际合作发展航空动力装置途径的探讨·····	彭友梅	129
14	美国航空动力工程研制的发展途径·····	陈本柱	140
15	航空发动机在航空系统工程中的地位与作用·····	郭允良	149
16	从设计与制造看航空发动机在航空系统工程 发展中的作用与地位·····	何 敬	157
17	论试验设备在发展航空动力中的重要地位·····	杨铁兰	161
18	从飞行试验看航空发动机在航空系统工程发展中的作用·····	秦佩瑜	166
19	英国的发动机验证机计划·····	方昌德	172

20	发动机研制程序及几个有关问题	方昌德	178
21	使用发展的作用和改进改型与全新研制的关系	方昌德	194
22	航空发动机研制中的经济技术可行性论证	郭允良	203
23	航空发动机技术的继承与创新	张德康	215
24	美国航空发动机技术的继承与创新	靳宝林	228
25	核心机选型与核心机计划在航空发动机 研究发展中的地位与作用	周斯璠	240
26	—航空涡轮发动机寿命周期成本分析—	盛元生	254
27	航空燃气涡轮发动机研制成本估算法	田宝林	271
28	典型发动机的研究与发展	郑永成 靳宝林	282
29	F100发动机的研究与发展	靳宝林 郑永成	296
30	F404加力涡扇发动机的发展	鞠云峰	307
31	F101发动机的研制与发展	靳宝林 郑永成	322
32	F110发动机的研制与发展	田忠贤	330
33	中等推力军用小涵道比涡扇发动机技术发展跟踪及预测	朱鸿义	340
34	EJ200小涵道比发动机跟踪与预测	佟淑兰	353
35	苏联小涵道比军用加力涡扇发动机PД-33的发展评述	侯志兴	365
36	CFM56涡轮风扇发动机的发展	鞠云峰	375
37	干线客机发动机发展前景	瞿立生	394
38	桨扇和超扇航空发动机的发展前景	郭允良	406
39	民航涡扇发动机的技术发展	江和甫 鲍秀珍	415
40	干线飞机动力装置用材的若干问题	傅孙靖	429
41	桨扇发动机基本发展途径、设想与新技术特点	倪行强 杨 铭	436
42	民航干线客机发动机最佳选择	常凯本	446
43	民用干线客机动力装置的最佳选择	周世恒 刘国玉	463
44	民航干线客机用涡扇发动机技术发展跟踪及预测	周世恒	474

45	新技术在航空发动机发展中的应用	陈 光	487
46	轴流压气机气动设计的近期进展与展望	江和甫	502
47	先进燃烧技术的应用	张宝诚 张惠芬	509
48	航空发动机新试验项目和新测试技术	张宝诚 陈本柱 盛元生	520
49	航空发动机新机研制试验项目综述	张明恩	534
50	新的传感器技术	陈本柱	542
51	航空发动机新工艺的发展	乔宝通	552
52	航空燃气涡轮(扇)发动机新材料和热工艺的发展趋势	傅孙靖	562
53	钛合金的发展和应用	全宏声	568
54	高温合金发展近况及展望	陈婉华	574
55	2000年航空发动机材料的发展	赵书杰	588



航空燃气涡轮发动机研制道路

王清奇 田宝林 郭成林 金新祥

摘 要

本文从简介一些航空技术发达国家航空燃气涡轮发动机发展和变化过程出发,综述了航空燃气涡轮发动机的各种研制道路,并分析了决定不同研制道路的诸多因素,以供在选取我国航空燃气涡轮发动机研制道路中参用。



1 前言

一个国家,航空燃气涡轮发动机技术水平的高低,发展的快与慢,不仅取决于经济实力和工业各门类的发达程度,而且在很大程度上取决于其视国情所制定和选取的发展航空燃气涡轮发动机的技术政策和研制道路。

世界上,一些航空技术发达国家航空燃气涡轮发动机的研制道路各有不同,但归结起来不外乎是三种:一为“创新研制”——即按战术技术和使用要求,在无“原准机”的情况下进行创新设计、论证、原型机制造(工程研制)和试飞,直至投入批生产的过程;二为“派生研制”——即在现有先进机种作“原准机”的基础上进行改进改型,派生出符合一定要求的新机种;三为“创新与派生相结合”。

有些国家(如英、德),由于特定的条件,一开始就选取“创新研制”道路,但随后便采取了第二条“派生研制”道路,使两者兼而有之。有些国家(如美、苏、法),一开始便走捷径,从引进原准机仿制入手,进而不断改进改型,派生出一系列新机种;当然他们同时也在创造条件,以便能适时进行“创新研制”,走上“创新与派生相结合”的研制道路。

由此可见,一个国家航空发动机研制道路不是孤立的,一成不变的;而是时而一条在前,另一条在后,时而又互易其位,甚至两者同时并存。两条道路相辅相承,互得益彰。

目前更有甚者,在新机方案研究阶段就要求孕育未来改进的构思。这样一来,两条研制道路就更加密不可分,从而形成一种新的研制管理方法——“产品改进预筹法”。

本文将对上述“道路”做比较详细阐述,并分析决定走何种研制道路的诸多因素,以使我国航空燃气涡轮发动机研制有所借鉴。

至于近年来由于政治和经济的原因,一些国家采取的多国联合研制航空燃气涡轮发动机的做法,有人也把它算作一条研制道路。但究其根底,它只能属于上述“道路”中之一,只不过这种办法能“集资”、“集技”,有利于加速研制进程和提高研制的成功率。因此本文将为其单独列题,加以阐述。

因篇幅所限,文中仅以涡喷,涡扇等发动机为例加以说明,未能涉及涡桨和涡轴发动机。

2 一些航空技术发达国家航空燃气涡轮发动机的沿革简况

2.1 英国

英国是世界上从事航空工业和航空科研最早的国家之一,也是最早从事航空喷气发动

机研究的国家之一。

在航空基础研究和应用研究的基础上,英国于1935年开始了喷气发动机的探索发展,专门成立了喷气动力公司,并在1937年设计和运转了带离心压气机的燃气涡轮发动机试验机WU。随后又于1938年发展了怀特W·1发动机。这两个探索发展的试验机为英国的航空燃气涡轮发动机的发展奠定了坚实的技术基础,使英国在航空燃气涡轮发动机的舞台上演出了一幕又一幕令人眼花缭乱的戏剧来。

(1) 涡喷发动机

由于在活塞式发动机离心增压器的技术基础上探索发展了WU和W·1,取得了宝贵的经验。所以1941年开始发展实用型离心式涡喷发动机,很快于1943年和1944年先后研制出“德温特”和“尼恩”两型离心式涡喷发动机。前者装在双发战斗机“流星”上。“流星”是盟军在第二次世界大战中使用的唯一的喷气式飞机。当然,随后这两型发动机得到了不断改进。

由于1942年探索发展了“对流一反转型”轴流式涡喷发动机CR·1试验机,并在“尼恩”研制经验基础上,1945年开始研制轴流式发动机“埃汶”,至1950年3月取得成功,投入批生产。后经二十年不断改进改型,派生发展出四个系列,19个主要型号(其中14个型号投入了批生产),创造了英国第一台轴流式涡喷发动机和第一台用于M数2一级歼击机动力装置的记录。

为适应高速远程轰炸机的需要,自1947年至1950年进行了双转子涡喷发动机“奥林帕斯”Bo1·1的研制(工程发展阶段的试验原型机研制)。随后也经过约20年的不断改进改型,派生发展出4个系列,20来个型号,其中9种投入生产。

(2) 涡扇发动机

1945年开始双涵道发动机探索发展,1948年设计了涡扇发动机试验原型机RB·80,1950年开始研制“康维”涡扇发动机RCO·2。随后,陆续发展出RCO·10(民用型)和RCO·11(军用型),直到1960年派生发展出的RCO·12装在波音707和DC—8飞机上,投入了航线使用,成为世界上最早投入使用的涡扇发动机。其后,又经过5年,在RCO·12的基础上先后发展出RCO·42和RCO·43。这样,前后15年经三次设计和十余次大改,发展出了11种型号,其中4个型号投入批生产,形成了“康维”系列。

1958年应“三叉戟”飞机的要求开始研制“梅德韦”(RB141)发动机。后因飞机缩小,相应于1959年7月开始研制“斯贝”发动机。“斯贝”是在“梅德韦”的基础上,广泛吸取“达特”、“埃汶”、“苔茵”,特别是“康维”发动机的成熟技术和经验而研制成功的,可以说它是这些发动机的集大成。“斯贝”发动机在研制过程中,经历过1型、2型和25型三个阶段,到1969年发展出12个型号,基本都投入了生产和使用。现在“斯贝”发动机的派生发展工作仍在进行,如将装于意大利和巴西的AMX轻型战斗机上的MK807和比目前“斯贝”发动机推力增加25%,耗油率降低15%,噪音低7dB的“泰”发动机。

为满足70年代巨型运输机及旅客机的大推力、低油耗、小污染和维护方便等要求,英国研制了RB211三轴涡扇发动机。

三轴涡扇发动机开始于1961年,准备作为“康维”的后继机。60年代中期研制了RB178双轴涡扇发动机,后因受JT9D等机种的排挤而停止。但其技术成为后来发展三轴涡扇发动机的基础。随之便发展出“特伦特”RB203三轴涡扇发动机(计划用于美国近程运输机F—228)和RB207(准备参加欧洲的“空中公共汽车”A300的投标)。1966年9月为参加美国的三发“空中公共汽车”运输机的投标,又将RB207缩小成为RB211—06,并在此基础上派生出RB211—22。1968年3月,美国洛克希德公司选中RB211—22作为它的L1011“三星”式旅客机的动力,直到

1972年4月始投入航线使用(为RB211—22C型)。

RB211投入使用以后,经过不断改进改型,至今已派生发展出4个系列,16个机型,其中600系的RB211—600正在研制中。

目前罗·罗公司正在研制战斗机用的一种新型涡扇发动机XG—40。据分析,它可能是RB199的派生型。该机原型机试验安排在1988—1990年进行,如不出意外,可望在90年代初投入使用。

(3) 升力/巡航发动机

“飞马”发动机是为世界上第一个垂直/短距起落“鹞”式喷气飞机研制的动力装置。它是一种推力可以换向的升力/巡航涡轮风扇式发动机。

该发动机的原始方案是1954年由法国米歇尔·威布尔特工程师提出的,是用英国“奥利安”涡桨发动机带动4个鼓风式离心式压气机。该方案1956年得到英国布里斯托尔·西德利公司的赞同,并在其基础上于1957年6月提出了用一台“奥菲斯”发动机作为燃气发生器驱动“奥林帕斯”发动机的双级低压压气机的修改方案。在“奥林帕斯”压气机两侧装两个旋转喷口,以产生垂直到水平的转向推力。随后这一方案经过四次重大改进,于1959年研制成“飞马”发动机的原型机BS·53(后称飞马1)。在原型机基础上又陆续发展出13个机型,形成了“飞马”系列。

(4) 螺旋桨风扇发动机

一些航空技术发达国家,现在正抓紧研究作为下一代70—150座涡桨飞机的动力装置。这种飞机的飞行速度与喷气飞机相当,而动力装置的耗油率将比现代涡扇发动机要低25—28%。

这种动力装置,有的主张用无涵道风扇,有的主张用螺旋桨风扇。英国罗·罗公司在研究螺旋桨风扇之前,曾打算增加常规涡扇发动机的涵道比来改善推进效率。但发现当涵道比大于10:1时,风扇需要用齿轮传动,且短舱变得过大,从而使安装后的耗油量增加。因此,转而研究螺旋桨风扇。罗·罗公司打算在进行螺旋桨风扇全尺寸研制之前,掌握所需的技术和弄清有关问题。这些技术和问题包括:高速重载齿轮箱的研制,调节系统的确定,安装气动力学和噪音生成理论研究,桨扇叶片材料和制造工艺,以及降低由排气造成的桨叶温度等问题。当然罗·罗公司也没放弃无涵道风扇方案的研究工作,并更加强调RB529反转风扇发动机的研究。

目前,罗·罗公司正在抓紧进行上述研究和桨扇整机RB509—11的研究工作,但认为桨扇与无涵道风扇发动机在1995年前研制成功的希望不大。

2.2 美国

美国自1941年开始发展航空燃气涡轮发动机,比英国晚5年。在整个40年代,发动机设计和制造水平皆落后于英国。50年代始,由于组建了强有力的管理和科研专门机构,迅速建立了各种试验手段,制定和选择了正确的政策和研制道路。从而在发动机研制水平上赶上和超过了英国。60年代以后至今,美国航空燃气涡轮发动机技术已居于世界领先地位。其发动机发展沿革简况如下:

(1) 涡喷发动机

通用电气公司(以下简称通电机)和普拉特·惠特尼公司(以下简称普·惠公司),于1941年和1947年,分别从英国引进“怀特”WIX离心式涡喷发动机(和W2B图纸)及“尼恩”离心式涡喷发动机进行仿制。仿制成功后,前者定名为I—A,后者定名为J—42。

通电公司在I—A基础上,自行研制出第一批生产型发动机I—16,即后来定名的离心式涡喷发动机J31。接着1944年又研制出J33。

普·惠公司仿制成J42之后,又引进英国的“苔茵”仿制成J48。

1945年后,通电公司把J33转给了艾利逊公司,同时开始研制轴流式涡喷发动机,搞成了J35。此后,在J35基础上,又不断派生发展出J47, J73。1953年又开始研制 $M > 2$ 的涡喷发动机J79, 1956年研制成功并于1957年接替J47和J73投入大批生产。而后便不断派生发展,直至1960年J79—GE—8又投入批生产。

普·惠公司于1947年,在仿制离心式发动机同时开始研制轴流式发动机J57,在英国双转子结构的启迪下,大力开展双转子压气机的研究工作,终于使J57在1953年2月投入批生产。随即又派生了许多型号,以改原为轰炸机的动力一变而为当时美国低超音速歼击机的主要动力装置(例如装歼击机的第一个型号J57—P—7)。从1953年开始,普·惠公司对J57进行放大,于1956年搞成了J75,随后也派生了不少型号。

普·惠和通电两公司分别于1955和1958年开始研制M3一级涡喷发动机。前者型号为J58,后者为J93。两者均约在1962年前后研制成功,虽装机使用但均未投入批生产。

(2) 涡扇发动机

美国涡扇发动机始于民用涡喷发动机的改型。如通电公司在J79民用型CJ805上加装后风扇而成后风扇发动机CJ805—23;又如普·惠公司在J57民用型JT3C上换装两级风扇和增加一级涡轮而成JT3D涡扇发动机。随后又将J52(J57的缩小型)民用型JT8改成涡扇发动机JT8D。

继上述第一代涡扇之后,60年代末又研制成功高流量比,大推力的第二代涡扇发动机。诸如通电公司的TF39及其民用改型CF—6;普·惠公司的JT9D及其各派生型(JT9D—3, JT9D—3W, JT9D—7, JT9D—7W, JT9D—17)。

在军用领域,普·惠公司从1958年开始研制TF—30涡扇发动机,1966年取得成功,随后派生出一系列型号,分别用于F—111A/B、F—14A、A—7A/B(不加力)等飞机。

在60年代中期开始的研制M2一级加力涡扇发动机热潮中,出现了一批先进的涡扇发动机,诸如:通电公司的F101—GE—100、F404—GE—400,普·惠公司的F100—PW—100、F401—PW—400。F101—GE—100是在GE1/10双转子加力涡扇发动机基础上派生的;F404—GE—400是YJ101连续放气式涡喷发动机的派生机,其本身又派生出F404—GE—100、F404—GE—FIJI, F100—PW—100发动机则是在过去发展的技术基础上“创新”研制的,而F401—PW—400则是其派生发展型(内涵相同)。

在F101和F100基础上,通电和普·惠公司又派生发展出F110和PW1128加力涡扇发动机。它们是这两家公司为取得空、海军改进F15, F16和F14的投资而激烈竞争的产物,皆准备作为90年代战斗机的动力装置。通电公司还正在研制F404的“发展2型”,也准备用于90年代战斗机。

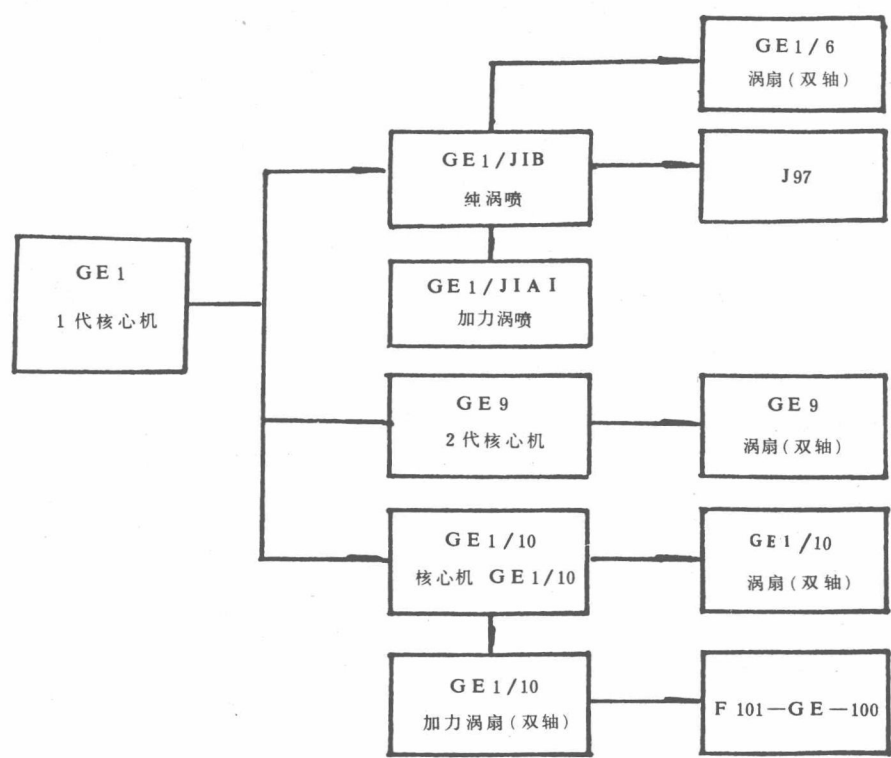
(3) “核心发动机”及其系列族

1961年夏,通电公司提出研制“核心发动机”的新概念,核心机型号定为GE1。以核心机为基础,根据需要用堆积木的方法加装部件,便提出了满足各种需要的发动机,形成GE1的系列族,详见下图。

(4) 螺旋桨风扇发动机

目前美国四家公司(通电、普·惠、艾利逊、汉密尔顿标准公司)正在研制桨扇发动机。通

电公司的目标是在1990年拿下“无涵道风扇”——一种不用减速齿轮传动的螺桨风扇发动机，而普·惠、艾利逊和汉密尔顿标准公司则是搞齿轮传动的螺桨风扇(桨扇)。



波音和麦·道两家飞机公司一致赞同用无涵道风扇而不用桨扇作为1992年班机的动力装置。但也一直注视着罗·罗公司、普·惠公司和艾利逊公司桨扇的进展，准备一旦无涵道风扇未有进展，就改用桨扇作为新型班机的动力装置。

四家公司目前的研究工作集中在：减速齿轮箱，桨叶单向还是反向旋转，采用推进还是牵引式动力安装布局，对桨扇和无涵道风扇尺寸有无限制以及降低桨叶温度和选用桨叶材料等问题。

2.3 法国

(1) 涡喷发动机

斯奈克玛公司于1945年以德国BMW003为原准机研制“阿塔”101V，1948年5月实现首次台架运转，成为“阿塔”系涡喷发动机的原型机。以后陆续改进改型派生出22个机型，成为法国最主要的军用涡喷发动机。

(2) 涡扇发动机

在继续发展“阿塔”系涡喷发动机同时，1960年从美国普·惠公司先后引进JTF—10A和TF—30涡扇发动机，在此基础上发展出TF106和TF306加力涡扇发动机。

从1967年开始，在“阿塔”系发动机基础上，吸收研制TF106和TF306的经验研制“超阿塔”——M53单转子加力涡扇发动机。1976年完成定型试车，装备“幻影”飞机使用。此后又派生发展出几个型号，其中M53—P2的加力推力98kN，比原型推力增加15.3%。

斯奈克玛公司在70年代中期以来所进行的先进动力装置研究基础上，提出研制下一代战

斗机用涡扇发动机M88。1979年提出研制核心机的论证和可行性方案，1980年提出研制全台发动机的论证和可行性方案。

在1982—1983年完成了低压和高压压气机，燃烧室，加力燃烧室，冷却涡轮等部件以及电调系统的试验之后，在萨克累推进试验中心开始了核心机台架试车。核心机试车通过后，于1984年1月6日在梅伦——维拉洛什中心开始了第一台全台试验机试验。验证机运转不长时间就达到了额定性能。该公司计划于1995年使M88投入使用。

(3) 螺旋桨风扇发动机

斯奈克玛公司同通电公司合作研制无涵道风扇。它将承担研制工作量的30%。

2.4 苏联

苏联航空燃气涡轮发动机的发展是从二次世界大战后开始的。从引进仿制一直到1954年开始自行研制，然后采取全新研制与派生发展相结合，研制出许多类型机种，迅速赶上了世界先进水平，满足了苏联民用和军用航空的需要。

(1) 涡喷发动机

1946年仿成德国的JU MO—004和BMW—003，分别定名为PД—10(装雅克15飞机)和PД—20(装米格9飞机)。接着在1947年又引进了英国的“尼恩”和“德温特”发动机，进行仿制成为PД—45和PД—500，分别装用于“米格”—15和“拉”—15、“雅克”—23。

仿制的机种随后进行了不断改型，比如1947年PД—10改型机推力达19.60kN，到1949年改型机推力达到26.46kN。又如PД—45发动机改型成BK—1发动机，推力由22.24kN提高到27.44kN；其后BK—1又进一步派生出BK—1A、BK—1Φ等。

在仿制和改型基础上，1954年开始自行研制涡喷发动机。到50年代中后期陆续研制出AM—3(参考德国BMW—018图纸)、PД—9Б、P—11Φ—300、AЛ—7Φ、Д—15和TPД—31等轴流式涡喷发动机。随后各自又发展出派生型，如AM—3派生出3AM—3M、AM—3M—500、AM—3Φ；P—11Φ—300派生出P—11Φ2—300、P—13Φ—300和P—13Φ2—300等。

60年代到70年代又陆续研制出AЛ—21Φ、P—29—300以及P—29—300的缩型，分别装用于“苏”—20/22、“米格”—23和“米格”—29飞机。

(2) 涡扇发动机

1952年英国“康维”发动机运转后，索洛维也夫设计局首先注意发展这类发动机，最先搞成Д—20Π，然后派生发展出Д—30Π、Д—30K。

同一时期，库兹涅左夫设计局也研制成功了HK—8涡扇发动机。随后陆续派生出HK—8—2、HK—8—4和超音速运输机TY—144的动力HK—144加力涡扇发动机。

伊伏琴柯设计局也研制出了AИ—25涡扇发动机。

2.5 瑞典

(1) 涡喷发动机

二次世界大战后，从英国引进“埃汶”发动机进行仿制。在仿制“埃汶”的基础上进行改进而派生出RM6涡喷发动机，随后又不断派生出RM6B和RM6C，从而满足了Saab35飞机发展的需要，使之在50年代末60年代初达到了苏联“米格”—21和美国F—4战斗机的水平。

(2) 涡扇发动机

早在50年代初，瑞典就开始拟定Saab37飞机研究计划。经过十年的论证，该机的动力装置决定选用美国JT8D作为原准机进行派生发展，型号定名为RM8。

主机的改进工作由普·惠公司进行,瑞典负责加力燃烧室的研制。双方于1961年12月签订了合作协议。

美国于1963年提供了三台JT8D—1的改型机JT8D—22,由此开始了RM8A型的研制工作,到1967年7月研制成功。此后进行派生发展,到1974年搞成RM8B。

为满足90年代战斗机动力装置的需要,瑞典现正努力寻求新的原准机以便进行派生发展。新的原准机目标可能对准F404或RB199。

2.6 日本

(1) 涡喷发动机

二次世界大战期间日本就从事喷气发动机的研制工作。1945年8月7日第一台涡喷发动机Ne—20(推力4.80kN)装在双发“桔花”飞机上进行了飞行试验。

二次大战后,日本航空工业约有10年空白。当重建航空工业时,立即进行了J3(推力11.76kN)轴流式涡喷发动机的研制。1960年5月17日装在日本T—1/F—1中级教练机上首次试飞。

(2) 涡扇发动机

在J3涡喷发动机基础上研制了J3—F后风扇发动机。

1971年,作为工业技术院的大型计划项目,由日本喷气发动机技术研究协会组织研制FJR710涡扇发动机开始进入第一阶段。1977年3月,运转了约600h,并鉴定了性能和耐久性,发动机推力达49kN,耗油率 $0.34\text{kg/kgf}\cdot\text{h}$ 。此后进入第二阶段研制,至1979年3月累积运转了1500h,推力达68.6kN。此间,于1977年11月在英国NGTE进行了高空性能试验。

1975年,日本防卫厅技术研究本部第三研究所开始研制XF3—1涡扇发动机(推力11.76kN,耗油率 $0.67\text{kg/kgf}\cdot\text{h}$)。1976年初运转时推力达到10.78kN,年中即达设计推力。1978年中进行了低温环境试验,目前正在改进和提高工作,准备用于小型高性能飞机。

3 航空燃气涡轮发动机的研制道路

纵观上节所述各国航空燃气涡轮发动机研制的沿革可见:各国航空燃气涡轮发动机研制道路有相同和不同之处。所谓道路不外有三条,一为“创新研制”,一为“派生研制”,再一为“创新与派生(或为派生与创新)相结合研制”。所不同的是,有的国家开始走的是“创新研制”之路,而有的则始于“派生研制”之路。但不管开始选择的道路如何,总归都要走第三条路,这一点又是相同的。

3.1 三种研制道路

(1) 创新研制

创新研制的定义已如前述。创新研制分为两类:一为“完全”创新研制,一为“继承”创新研制。

“完全”创新研制——即指在预先研究(包括基础研究、应用研究和预先研制)成果的基础上,直接设计、制造和试验原型机,直至设计定型和投入批生产的过程。在航空发动机领域实现新的飞跃,必须实行“完全”创新研制。英国的“德温特”和“尼恩”发动机,德国的BMW—003和JUMO—004发动机在世界上最先实现了航空发动机由活塞式向喷气式的飞跃,它们都是实行“完全”创新研制的结果。

60年代初,美国通电公司根据今后军民用市场对涡喷(加力和不加力)、涡扇(加力和不

加力)、涡轴和涡桨发动机的要求,以海军提出发展新型超音速战斗机(F-14)和其它九种可能发展的军用飞机的要求为基础,提出发展GE 1核心发动机。GE 1核心发动机推力与早期的J 47涡喷发动机相同,但长度仅为J47的49%,体积仅为其21%,重量轻一吨,运动零件少,耗油率低,推重比为J47的10倍。这样的技术飞跃,只能靠“完全”创新研制。此外,高性能的加力涡扇发动机F-100—PW-100也走的是“完全”创新研制道路。

据分析预测,美国将在2000年研制出总增压比为35(风扇压比为2.9—3.0)、燃烧室出口温度达2200K,推重比高达21—23的新型涡扇发动机。像这样的高参数、大幅度飞跃的发动机,靠现有先进机种派生,或借鉴和继承现有有机种的经验和进行技术创新研制,都是不可能的,必须走“完全”创新研制道路。为此,美国正在积极开展涡轮新的冷却技术、高通流压气机、高叶尖速度风扇、碳—碳材料及其成型工艺和防燃烧技术等预先研究工作,有些已取得很大进展。

此外,法国的M88也是走的“完全”创新研制之路;当然还值得一提的是,在小型发动机领域,日本于1945年8月“完全”创新研制出Ne-20涡喷发动机。这是二次大战即将结束前,日本航空发动机技术发展水平的大检阅。

“继承”创新研制一即在继承和借鉴现有有机种成熟经验和技术的基礎上,或者甚至沿用现有有机种的零部件而进行设计、制造和试验原型机,直至设计定型和投入批生产的过程。这条道路是创新的一条捷径,已广为航空技术发达国家所采用。如英国的“斯贝”发动机,其涡轮等长寿命部件的设计和巡航温度选取,采用了“达特”发动机的经验;压气机取自“埃汶”发动机的经验;风扇、气冷叶片、反推力装置、发动机操纵系统以及机械和气动设计,均采用“康维”发动机的经验;弹性支承用了“苔茵”发动机的经验。可以说:“斯贝”发动机是英国已有机种经验的集大成,是继承基础上的创新。又如“飞马”发动机,其转喷口是继承了“康维”发动机反推力装置的技术;前风扇部件直接采用了“奥林帕斯”发动机的低压压气机;高压压气机、燃烧室、涡轮都是“奥菲斯”发动机的相应部件的直接沿用。但这种发动机,从方案原理、气动设计和布局,到机械设计都是创新的。该发动机的研制是属于“继承”创新研制。

此外,美国的J79、J93等也都是“继承”创新研制出的发动机。

(2) 派生研制

派生研制也有两种,一为“主动派生研制”,一为“被动派生研制”。

主动派生研制一即在发动机方案研究阶段就领先孕育未来派生发展构思的研制。譬如始于美国,现已为英、法所采用的“积木式”系列化就属此类。所谓“积木式”系列化就是事先研制出一种基础核心发动机作为燃气发生器,然后根据需要加上涵道风扇、加力燃烧室、推力换向机构、自由涡轮、减速器等部件(所谓预先孕育未来派生发展的构思),组成基本结构相同而性能各异的发动机。

目前世界上研制出的“积木式”系列化发动机有三种:英法合搞的RB 172/T 260(阿杜尔)、M45和美国的GE 1。RB 172/T 260推力为21.56 kN~32.40 kN,是“美洲豹虎”攻击/教练机的动力,1971年初完成150h定型试验,已发展成系列投入了批生产。M45推力为31.12~44.35 kN,是VFW614近程客机的动力,1966年6月首次运转M45F验证机,1969年1月运转M45H—01型发动机,随后又研制了加大推力的M45H—04型,派生成系列。GE 1族系的推力为22.54 kN~133.28 kN,已发展出10余个机种,最新型号是F 101—GE—100。

被动派生研制一即根据需要进行选择现有有机种作为“原准机”进行派生的研制。可分为“自主式被动派生研制”和“引进式被动派生研制”两种。