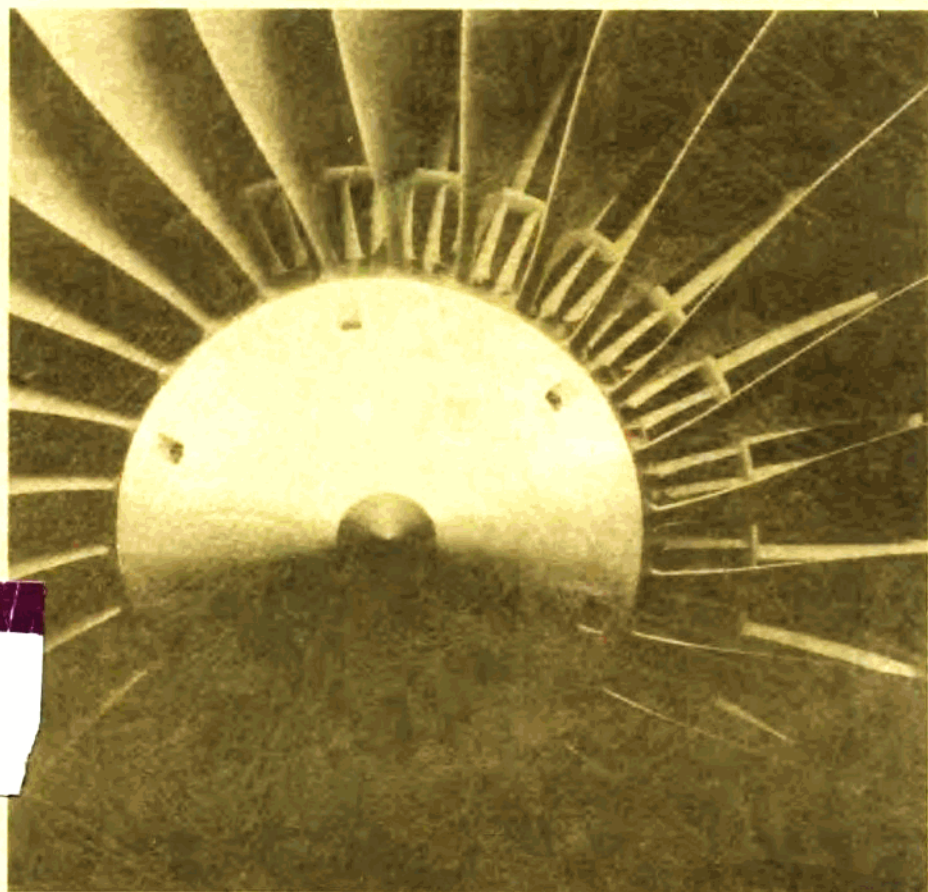


航空 发动机研制 工作论文集

吴大观 著



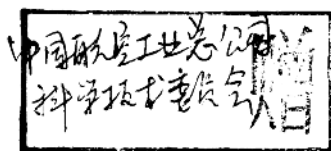
航空工业出版社

09902120

航空发动机研制工作论文集

HK52/10

吴大观 著



航空工业出版社



C0466104

前 言

本“文集”是作者从事航空发动机研制工作时,在航空工业部系统的司局及下属的研究所、设计所主办的期刊上曾经发表过的文章选择汇编而成。共收集论文 46 篇,按文章性质分为 7 类:航空发动机科研管理及经验教训;发动机结构完整性研究与研制方法和程序;发动机设计师的素质与科研工作;核心机和验证机的内涵与相互关系;航空发动机研制必须贯彻通用规范及型号规范;国外航空发动机研制技术经验介绍;航空发动机试验技术和试验设备。由于我国航空工业的新机研制长期处于资金不足,预研基础薄弱,研制型号太少,从而缺乏积累实践经验,航空发动机研制,经历了漫长的艰辛道路。《文集》中所有论述,多系作者在发动机研制工作中 40 多年的亲身体会:其中在研制生产第一线工作两个单位共 26 年,1982 年调到部科技委工作,继续跟踪基层新机研制进程,并回顾自己以往研制经历,从中发现研制技术管理、设计、制造、试验技术上暴露的问题,在研制方法和程序上,与军方在贯彻通用规范中出现的问题等,经过作者从 1982 至 1998 年 16 年间利用科技委的有利条件,反复调研查阅国内外资料、研究国外发动机研制成熟的经验,进行对比分析,根据我国国情,写出针对性的文章,提出一些建议,供同行专家、领导同志们,在进一步改进研制工作中研究参考。

本《文集》承蒙总公司科技局的大力支持,并由科技委丁文慧、谭万诚同志协助整理、复印才得以顺利出版的,在此一并表示谢忱。

文中论述的观点,所提建议随着科学技术飞速进步、时间的推移及国内外社会发展及事物的变迁,论文中的某些观点,有错误和不当之处在所难免,供我国从事航空发动机研制工作的设计师、专家和领导同志们参考和指正。

吴大观

1998 年 10 月 12 日

作者简介

吴大观,研究员,男,1916年11月生于江苏镇江,中共党员。1942年毕业于昆明西南联合大学航空系。1944~1947年赴美国莱康明发动机厂及普惠航空发动机公司学习,曾任沈阳606所副所长,沈阳410厂总工程师,西安430厂副厂长,第3届全国人大代表,第5、6、7届全国政协委员。现任中国航空工业总公司科技委常委,北航、南航、西工大兼职教授,中国工程热物理学会荣誉理事,中国航空学会动力学会委员。

主要贡献有:50年代中期组织成立沈阳中国第一个航空发动机设计室,领导研制第一型喷气教练机用喷发-1A型发动机,参与领导研制涡扇-5,涡扇-6等发动机,参与研制涡扇9发动机总装,试车、赴英考核试验。主编《英国罗·罗公司斯贝(涡扇-9)发动机设计技术资料》,《斯贝发动机赴英高空台试验,部件强度考核试验结果技术资料》;组织编写国军标:涡喷、涡扇及涡桨涡轴发动机两册通用规范(GJB241-87、GJB242-87),组织编写《发动机结构完整性大纲》、《发动机结构设计准则研究报告(涡喷、涡扇)》等航空发动机基础标准和规范。编著《涡轮风扇发动机及其系统的性能研究》及《涡喷发动机试车中的性能研究与故障分析》两书。1990年获国家级第一批有突出贡献的专家,1992年被评为航空航天部有突出贡献的专家,1993年被国家人事部定为暂不离退休的专家。

目 录

(一)航空发动机科研管理及经验教训

1. 参加首次研制喷气发动机的体会..... (1)
2. 我国航空发动机发展的经验教训..... (4)
3. 论发动机预先研究与型号研制的根源关系..... (9)
4. 开展航空发动机可靠性管理工作的建议 (14)
5. 论可靠性管理与航空发动机型号研制的重要关系 (17)
6. 从经济效益和指导方针试论小发动机研制中的几个问题 (20)
7. 我国航空发动机改进改型工作的回顾与展望 (24)
8. 加速发展我国航空发动机事业的关键是改善科研管理 (27)
9. 航空发动机发展及研制的经验教训 (30)
10. 航空发动机发展及研制的经验教训(1998 年补充材料) (41)
11. 谈航空发动机的首翻期寿命问题..... (51)
12. 谈武装直升机采用民用涡轴发动机必须重视的几个问题..... (54)
13. 关于航空发动机改进计划问题..... (56)
14. 浅谈“试验与评审”在航空发动机研制中的重要作用..... (58)
15. 再论预先研究对航空发动机发展的重要性..... (61)
16. 航空发动机研制的风险评定问题..... (63)

(二)发动机结构完整性研究与研制方法和程序

17. 发动机结构完整性研究的回顾与展望..... (66)
18. 航空发动机技术发展的新动向及新问题..... (71)
19. 再论航空涡轮发动机研制程序..... (76)
20. 航空涡轮发动机结构研制基本方法的探讨..... (80)
21. 《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则(研究报告)》的出版在发动机研制中的
作用..... (88)

(三)发动机设计师的素质与科研工作

22. 浅谈航空发动机设计师的基本素质..... (90)
23. 矢量喷管技术研究初议..... (93)

(四)核心机和验证机的内涵与相互关系

24. 谈谈航空发动机核心机的研究与发展..... (97)
25. 再论核心机的试验方法——机械性能测试是关键 (101)

26. 航空发动机核心机的研制重点是提高耐久性	(103)
27. 十年预研之花结成核心机丰硕之果	(105)
28. 从核心机研制看工艺的重要性	(108)
29. 航空发动机验证机的研究与发展	(111)
30. 浅论核心机与验证机的相互关系	(114)
31. 扩大验证机方法在发动机研制中的作用	(117)
32. 借鉴外国经验,重视验证机在发动机研制中的作用	(120)

(五) 航空发动机研制必须贯彻通用规范及型号规范

33. 航空发动机通用规范发展概况及对我国发动机研制的作用	(123)
34. 积极贯彻通用规范 提高航空发动机研制质量	(128)
35. 论航空发动机通用规范与型号规范的指导关系	(132)

(六) 国外航空发动机研制技术经验介绍

36. F414 发动机采用可靠性高、风险小的研制方法	(134)
37. 国外先进发动机屡出故障给我们的启示	(137)
38. 遛达 800 发动机的研制经验	(139)
39. 罗·罗公司遛达发动机的市场覆盖战略	(143)

(七) 航空发动机试验技术和试验设备

40. 试验技术是航空发动机研制的三大技术支柱之一	(147)
41. 航空发动机试验设备必须经过严格校准方可使用	(151)
42. 航空发动机高空台和飞行台在我国的应用前景	(153)
43. 不容忽视发动机叶片动应力测量的作用	(159)
44. 研制一种航空发动机需要试车一万小时以上	(164)
45. 应该十分重视发动机的试验工作	(167)
46. 严格区别两种不同性质的发动机长期试车规程	(168)

航空发动机科研管理及经验教训

参加首次研制喷气发动机的体会

中华人民共和国成立以后,我国航空工业在非常薄弱的基础上,从小到大,迅速成长壮大。1956年6月,我国第一台涡喷发动机“涡喷-5”在沈阳航空发动机厂仿制成功;同年7月,安装该发动机的第一架喷气战斗机“歼-5”也在沈阳飞机厂仿制成功,飞上蓝天。下一个新使命,就是如何向自行设计过渡,这也是我从国外回来参加革命的夙愿。

1956年11月,组织上把我从航空工业局调到沈阳航空发动机厂参加航空发动机研制工作。对这一光荣任务,我心中既高兴又担心。在当时的条件下,年轻的航空工业每向前走一步,都要付出很大的代价,要走自行设计喷气发动机的路子是十分艰巨的。1956年,党中央、毛主席发出“向科学进军”的伟大号召,国家制定了12年科学技术发展远景规划,对创建航空科研机构起了巨大的推动作用。当时,航空工业局王西萍局长、段子俊、油江、徐昌裕副局长,对成立研究设计机构的决心很大。参加航空工业工作的技术人员都有新中国主人翁的自豪感和高昂的革命热情,有为我国设计自己的航空发动机的强烈愿望和献身精神。在短短的三年时间里,我们闯过了一个又一个难关,第一次自行设计出飞机和喷气发动机。吃了不少的苦头,也尝到不少的甜头。

一、如何确定第一台发动机选型方案

“万事开头难”。要开始设计第一台喷气发动机,该怎样起步?我多次与飞机设计室主任徐舜寿同志商量。他和我一同从航空工业局调来沈阳,是一位作风严谨、扎实、细致、敢于创新、才华出众的飞机设计师。我们反复分析当时的国内经济、工业基础和技术水平,决定只能是“先易后难、由小到大,先从教练机开始”。最后选定设计喷气教练机,定名“歼教-1”,发动机定名“喷发-1”推力为1200公斤,由于这是首次设计喷气发动机,既缺乏实践经验和技术储备,又没有现成的试验设备,一切都得重新设计,技术风险确实很大。我与当时设计室副主任虞光裕同志研究决定,要寻找既有创新又符合我国国情、力所能及的方案,结果选定工厂刚仿制成功的“涡喷-5”(苏联BK-1)和苏联ПД-45发动机为原准机,采用相似定律进行缩型设计,这是一条风险小、把握大的捷径。1957年3月,设计工作全面铺开。现在看来,发动机型号方案的选择,走什么途径,风险大小,是设计新发动机能否成功的首要环节。

二、设计人员从何处来,技术素质怎样提高

设计发动机要有设计人员,从哪里来?首先从沈阳航空发动机厂设计科和航空工业局选调了一些技术人员,但是还不够。后来又从哈尔滨航空发动机厂调来一些。国家还分配了一批新毕业生,他们多数来自南京航空专科学校,因为发展航空工业就提前毕业,只学了两年半的课程。到1957年上半年,总共调来设计人员100名左右。

在这些设计人员中,有一半以上是学活塞式发动机、发动机制造和装配修理专业的,对喷气发动机设计理论和设计方法都很生疏,我们于1956年10月向北京航空学院求援,请该院四系开设航空发动机设计速成班,主要学习喷气发动机原理和叶片机原理两门主要课程,我们送去的20多人,于1957年4月回到沈阳参加“喷发-1”发动机设计,从而解决了燃眉之急。现在,他们多数已成为发动机研制工作的主要领导和技术骨干。

三、新机试制力量在哪里

航空工业局筹建飞机和发动机设计室是1956年在北京进行的,但北京没有相应的工厂,唯有依靠刚试制成功歼-5飞机和涡喷-5发动机的沈阳飞机厂和航空发动机厂,这样,“喷发-1”发动机研制可以充分利用“涡喷-5”发动机的生产技术以及部分锻铸件毛料和工艺装备,以缩短研制周期。更重要的是这里有一支生产工人队伍,是试制新机的雄厚基础。

试制并不是一帆风顺的。1958年3月空军审查“歼教-1”木质样机时,认为发动机的推力不够,要求由1200公斤增加到1600公斤,因而发动机的直径必须相应增大,由于当时机匣、离心压气机、燃烧室、涡轮转子等部件已在加工,有几个车间的情绪产生了一些波动,莫文祥厂长亲自深入车间进行动员,使试制工作得以继续进行。在全厂职工的共同努力下,克服了重重困难,经过210天的奋战,终于在1958年6月把四台新发动机试制出来。新发动机通过了20小时的长期试车后,便送沈阳飞机厂装机。

四、新发动机的部件试验怎样过关

在“喷发-1”发动机研制中,最伤脑筋的问题是没有试验设备。“喷发-1”发动机虽然是以“涡喷-5”为原准机来缩型,可以省去一些部件试验,但有些重要部件仍需经过试验才能进行研制,否则设计成功的可能性就不大,比如,单管式燃烧室九个火焰筒,经过按相似定律缩小后,仍沿用原型机上的喷嘴,在缩型后的火焰筒内能否点着火和正常工作?这是燃烧室设计成功的关键问题。还有涡轮叶片缩型后,能否达到涡轮设计的功率?这也是一个关键问题,当时我们还想做离心压气机的试验和涡轮模型试验,但是得不到相应的试验设备。即使是必不可少的火焰筒单管试验和叶栅吹风试验器也无处可寻。这些试验设备只有靠自己设计制造,没有其他路可走。

在“喷发-1”设计工作开始的同时,测试传感器的研制、试验设备的设计和制造也紧张地展开了。我们得到航空工业局油江副局长的批准和沈阳航空发动机厂的大力支持,在工厂抽调10多台设备、10多名老工人组建了试制车间。又抽调了几位技术人员成立测试传感器设

计小组,负责研制试验用的压力、温度测量传感器和高温热电偶,并进行电子测量仪器的研究。为了测量部件强度,应变片、水银引电器及滑环引电器等也开始设计试制。为了便于测试技术人员学习电子学知识,我把自己从美国带回国的6真空管长短波收音机拿出来,供他们拆装练习。我还拿出从苏联买回来的幻灯机,供他们用来阅读测量压力排照相底片的数据。当时我们只能在因陋就简、土洋结合的条件下,克服困难,起步做测试工作。在不到1年的时间里,测试小组和试制车间的工人师傅就试制出了温度传感器和定向定位用多点测压靶子,用于单管燃烧室和叶栅风洞试验,初步解决了“喷发-1”发动机的火焰筒和涡轮叶栅两项最关键的试验。

这里值得特别提出的是,在“喷发-1”设计图纸发出前几个月,工厂非标准设备的设计人员就设计出了单管燃烧室试验器和叶栅风洞,并由工厂组织加工力量,抢时间、赶进度,将其制造出来,解决了“喷发-1”发动机研制中的一大难题。这两台试验设备都靠近工厂空气压缩机组,可以利用工厂生产用气源,节省研制费用和建设气源的时间。白天试验的空气不够用,就改在深夜利用工厂停产的时间来做。这两项试验设备的建设经验,后来为很多厂、所效仿。

五、各级领导怎样支持这项研制工作

在筹建飞机和发动机设计机构中,航空工业局的领导在调集技术人员、决定飞机和发动机设计方案上做了大量工作,为首次研制自己的飞机和发动机创造了较好的条件。沈阳航空发动机厂党委和莫文祥厂长,在发动机设计室成立初期,对设计人员的生活、后勤供应等方面,给予了物质上的支持,使设计人员减少后顾之忧,一心扑在工作上。

1958年5月,工厂试制新机正在紧张进行时,航空工业局的王西萍局长亲自到沈阳两厂作动员,使试制工作再次出现高潮。通过20小时长期试车的新发动机提前于6月底送沈阳飞机厂,装上了“歼教-1”型飞机。7月26日,飞机在沈阳飞机厂机场首飞成功。叶剑英元帅、空军司令员刘亚楼上将等亲临沈阳出席了庆功大会。1958年10月,装备“喷发-1”发动机的两架“歼教-1”飞机,从沈阳飞到北京南苑机场,接受中央领导同志的检阅。首次研制成功的飞机和发动机,得到党中央高度重视,使从事航空科研事业的技术人员、工人和干部受到莫大的鼓舞。

我是在沈阳和广大工人、设计人员一起度过青春年华的,是在大家的帮助下成长的。我能参加“喷发-1”发动机的研制,对我以后从事航空发动机的研制工作有着深远的影响。在30多年的时间里,发动机行业经历了买专利仿制、测绘仿制、改进改型和自行设计,先后开发了40多种型号航空发动机,其中22种已投入生产,9种正在研制,共生产航空发动机近5万台。我国空军、海军装备的飞机发动机绝大多数是我国自己制造的。民用飞机发动机也已投入使用。我国航空发动机科研队伍的形成与发展速度,是十分惊人的。我想,回顾首次研制“喷发-1”发动机的工作,从中吸取更多的经验,对我们今后研制更先进的发动机是有益处的。

发表日期 1989年9月

我国航空发动机发展的经验教训

航空发动机研制,是一项技术高、风险大、周期长、投资多的艰巨工程,也是设计、制造、试验、失败再设计,多次反复修改和试验验证,直到发动机满意地通过各项试验的摸索过程。回顾我国航空发动机 30 多年的发展历史,几乎是一部仿制生产史。购买专利仿制已有 9 个型号,测绘仿制已有 6 个型号,自行研制虽曾有过几个型号,因种种原因,都未能定型装备部队,仅有少数改型的发动机投入使用。仿制的历史教训告诉我们:由于没有重视和狠抓航空发动机的预研和自行研制,导致了我国航空发动机的严重被动落后局面,已经严重影响了航空工业的发展和空军装备的更新。当我们走过了这段艰难曲折的道路后,应总结经验教训,从中吸取营养,搞好“八五”规划,以利于今后发动机的发展走上康庄大道。这是我们从事航空发动机行业的同志们的共同愿望。为了尽快扭转航空发动机的落后局面,现在根据个人从事航空发动机研制工作的粗浅体会,坦率诚恳地提出如下看法,即十二个必须:

一、国家必须有长远、稳定的航空工业发展规划

航空发动机研制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,又挫伤科研人员的积极性,结果是拖航空工业的后腿,领导同志对此尤要重视。

二、航空发动机的发展必须刨掉 20 年前遗留下来的“全靠引进仿制”的思想根子

建国初期,航空发动机行业很快从修理、制造备件发展到仿制苏联发动机。当时,作为国家重点工程,进展比较顺利。为了向部队提供装备,引进机种仿制的确来得快,比自行研制来得容易,世界上航空工业发达国家在发动机发展的初期都有这段经历。但是,30 多年来,我们却养成了仿制的习惯,使用单位也认为仿制比自行研制有把握。许多人对仿制的技术和管理是熟悉的,对研究、预研、研制要比仿制花出大好多倍的工作量、需要更多的技术知识和科研管理知识,要摸索一套科研规律,却理解不深。从而产生了不少疑问,如研制工作为什么要搞预研,型号研制不就是预研么?为什么要花那么多科研费?周期要那么长?有时研制工作试验稍有失误,就惊慌失措,吹冷风要早下马。一句话:长期以来在发展我国航空发动机的问题上,下述思想起着重大作用,即:自行研制没有把握,风险大,靠买外国产品进行仿制,来的容易、又“可靠”,好处好像比自行研制多得多,等等。

“文革”以后,与西方国家交往较多,改革开放的方针逐步实现,当时两弹从国外买不到,航空发动机可以买到。因此对自己研制的发动机不相信、不放心,要科研费就更加困难,而从国外引进的经费却相对比较容易批准。因此,在这种形势下,发动机的自行研制多年来都处在

风雨飘摇之中,正如有的领导曾经说过的:“中国发动机落后的主要原因之一,就是没有把引进仿制外国发动机的思想根子刨掉”,又有人说,“航空工业的关键就是不搞自力更生”,“我国的两弹是被国际封锁逼出来的,而航空发动机的落后局面却是被单纯引进仿制思想促成的。”这样的言论发人深思,应该认为是大体上符合历史事实的,这个教训岂能不沉痛吸取。

三、研制航空发动机必须有足够的研制经费

由于发动机研制是不同于发动机仿制的新领域,我们没有成熟完整的研制经验,不掌握研制规律,要经过多少种、多少次的试验?需要多少试验设备?会出现什么问题?都需要经过逐步探索。由于领导上对自行研制不像仿制那样心中有数,所以对基层上报的科研经费计划、有时要砍上一刀。这样往往造成研制投资强度远远脱离研制实际需要。例如60年代初开始研制的大推力加力涡扇发动机,根据606所的所史资料统计,20年总计研制费约1.5亿元,平均每年750万元。当研制进入高潮,需要高投资强度时,有两年每年都给200万元,以这样一点经费和投资强度来研制这样大型的航空发动机,现在看来,实在令人难以置信、难以理解。但是历史事实却正是如此。我们应从中吸取什么教训?根据发动机研制的客观规律,投资曲线应大致呈倒马鞍型,而我国某型发动机研制的拨款却呈水平直线型,不但严重违反投资规律,而且投资强度很低,但同一时期,引进“斯贝”MK202发动机进行仿制,却花了约13亿元。这在群众中就自然形成了“引进仿制发动机国家有钱,自行研制发动机国家却无钱”的看法。

根据国外经验,典型发动机研制周期约8~14年,发动机的整个寿命期约30年。研制经费历年在增长,根据发动机大小型别的不同,研制条件的不同,研制经费大约在5亿~20亿美元不等。研制经费除了经费数量必须足够外,还必须保证在大量部件和整机调试及进入小批生产前投资强度达到高峰。如果投资强度不能保证,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致命关键之一。

四、研制航空发动机必须有充足的试制力量

没有足够的试制力量是60年代影响发动机研制进度的主要原因之一。我国的发动机工厂多年来以批生产为主,批生产任务完不成,或出现产品质量问题,厂领导受压力很大;而新机试制任务,国家并未下达考核指标,新机任务未完成,工厂并不负责。但是研制单位却由于试验件或整机出不来,延误了试制进度。一个本来性能还算先进的发动机,研制进度一拖再拖,最终被拖成落后的,甚至拖垮。

除了试制进度不能保证外,还有加工质量问题。尺寸超差是严重影响研制质量的原因。有些工厂习惯于成批生产,对新机试制数量少、公差要求严、工艺复杂、技术要求高等特点很不适应。尤其近些年来,工厂大干民品,奖金高,技术简单,容易完成,新机试制任务对工厂更没有吸引力。实际上只要上级把新机试制放在应有位置,制定各种有效鼓励政策,问题并不难解决。

五、航空发动机研制必须对国家客观条件有实事求是的认识,防止急于求成

航空发动机研制应该考虑:

- 1)国家的工业条件,经济实力,技术水平,并据此来选择研制技术途径,制定方案;
- 2)发动机研制自身的技术水平,预研成果和技术储备;
- 3)试验设备和测试技术;
- 4)新材料、新工艺的选取;
- 5)技术上的继承与创新。

30多年来的实践证明,往往是我们的急于求成思想左右着发动机的研制,而不是走由小到大,先易后难的道路。现在看来,我们有条件研制的涡桨涡轴小发动机,过去我们不愿干;而难度大,耗资多,难以马上拿到手的加力涡扇大发动机却急于求成,高性能指标,非要一步到位,否则空军就不要。这只能是作茧自缚。

只有革命热情,不能耐心地做艰苦的试验研究、设计分析工作,盲目上马,造成研制上的困难,也是一个严重教训。

六、研制航空发动机必须加强预先研究,采用符合研制规律的研制方法

1)我国研制第一台发动机时,仅做了个别部件试验,谈不上预先研究。60年代中期以后预先研究本可以走在发动机研制的前面,为研制打基础创条件。但我们并未认真对待,违反了研制规律。

2)在安排发动机研制计划时,部件试验必须走在整机试验的前面。部件试验不充分,不允许做整机试验。

3)发动机研制中部件的气动性能技术基本过关,才能正式进行型号零部件设计。

4)发动机研制工作必须狠抓结构强度。发动机结构完整性大纲(ENSIP)直接影响发动机的可靠性、耐久性和寿命期费用及出勤率,没有结构强度的保证,发动机的性能再高,使用起来也会故障不断,寿命短,甚至很快成为一堆废铁。

七、研制航空发动机必须重点培养专门人才

1)过去由于研制任务不足,研制人员得不到充足的培养和锻炼,加以“文革”10年造成技术人员断层。如果再没有饱满的研制任务,不但新发动机出不来,而且已经积累起来的一点发动机研制技术和经验也将后继无人,给今后发动机的研制造成更大的困难。

2)有些研制单位的领导忙于应付当前的研制任务,无暇认真研究今后的长远发展。航空发动机研制是多学科、多门类、高技术的工作,需要高级科研、设计、试验、机械、电子方面的人才,应该有重点有计划地培养气动设计、结构强度、附件系统、电子计算机辅助设计、外场修理维护和技术经济管理等方面的人才。

3)需要培养把基础研究和应用研究成果工程化,并用于型号研制的技术人才,这种中间开发的工程技术人才非常缺乏,需要专门培养。

4)在实践中培养总体设计、调试排故的专门人才。

八、飞机部门和使用部门各级领导必须大力扶持发动机的发展

“发动机是飞机的心脏”,“没有先进的发动机,飞机的发展将没有前途”,这是发动机在飞机上占重要位置的高度概括。现在发动机在航空工业中的地位逐渐被人们重视,但是当飞机研制选择动力,而动力暂时又不能满足飞机的要求时,就眼睛向外,要从外国引进,而发动机得不到研制任务,缺少研制锻炼的机会,愈是拿不出符合飞机要求的发动机,就愈要向外国购买,形成一种恶性循环。我们希望飞机部门和使用部门更多地关心和扶持本国发动机的发展,应给予锻炼的机会,性能如果一次不能达到,应允许分阶段实现。法国70年代自行研制的M53发动机,性能落后于英、美当时的发动机,但法国政府决定“幻影”2000战斗机决不使用外国发动机,M53发动机的性能不足之处,用飞机设计性能去弥补,从而研制出“幻影”2000战斗机。法国80年代研制的先进战斗机“阵风”也是采用自行研制的M88发动机,由于发动机进度不能满足要求,就暂用美国F404发动机做试飞,然后再过渡到M88。这些扶持本国发动机发展的例子,很值得我们借鉴。

九、决策必须民主化、科学化

决策的失误是工作中的最大失误。这类例子在发动机发展史上屡见不鲜。航空发动机行业一直落后,与决策不民主,不愿听不同意见的不科学态度关系极深。由于决策失误,发动机的发展损失极大,支付的学费太多,应该吸取深刻教训。

十、航空发动机研制必须组织全行业的力量,形成拳头,重点攻关

航空发动机行业资金少、人才缺、技术底子薄,要承担繁重的发动机研制任务,本应发扬协作精神,团结起来,顾全大局,联合攻关,才有可能做出点成绩。但是,30多年来,工厂之间、所与所之间、厂所之间、所校之间实际上是实行部门所有制,有了科研任务,争当主角,技术互相封锁,互不协作的现象时有发生。多年来领导部门不能及时处置,影响了航空发动机行业的发展。尤其是研制、研究单位本来技术基础就差,互相不能合作,对科研工作十分不利。今后应根据科研工作的需要,将厂、所、院、校的有学术成就、有理论和实践经验为数并不太多的人才,集中起来,形成拳头,才有可能重点攻克一些技术难关,发动机的研制工作才能兴旺发达。

十一、必须根据我国国情和国民经济发展的需要,加速发展直升机、通用飞机、支线客机等急需的涡桨、涡轴等小型发动机(略)

十二、必须坚决贯彻自力更生为主的方针,积极引进国外先进技术

为了加速提高我国航空发动机的研制技术水平,提高科研起点,拒绝引进国外先进机种和先进技术,无疑是不明智的,我们贯彻自力更生的方针,决不是盲目排外。相反,无论是过去,现在还是将来,都要不断引进国外先进技术。航空工业过去的教训不在引进上,而且在引进以后,不应单纯走仿制道路,也不应忽视预研。在引进以后,必须同时有一个较强的科研机构花大气力消化吸收国外的先进技术,取其精华,然后用到我们自己的实线中去。成功了,才能说明真正掌握了,也才能在此基础上发展自己的体系,不少技术先进国家就是这样做的。例如:1948年苏联喷气发动机性能总是不能满足米格喷气飞机的要求,米高扬便亲自向苏共中央提出引进英国罗·罗公司早期的尼恩发动机。并由米高扬带队,发动机总设计师克里莫夫参加,组成代表团去英国购买了尼恩发动机的专利。在那次引进国外发动机技术的基础上,有苏联航空发动机研究院参加,经过消化、吸收以后,自行研制出BK-1型发动机,填补了当时急缺发动机的空白,打下了喷气发动机的技术基础,航空动力问题初步得到解决。苏联的战斗机型号才一个接着一个研制出来。

以上的经验总结,很不全面,错误一定很多,但为了祖国航空事业早日得到振兴,希望航空发动机行业很快有新的转变,提出一些粗浅意见,与有关专家探讨。

发表日期 1991年1月

论发动机预先研究与型号研制的根源关系

一、历史回顾

我国航空工业从 50 年代中期仿制苏联喷气战斗机成功,以后转入自行研制(指的是型号发展),但由于科研与生产的关系,预研和型号研制的关系问题,长期以来没有总结经验教训,没有得到协调安排。

建国初期与其他行业一样,航空发动机研究和发展,受到极左思想影响极大,特别是受到“大跃进”和“文革”期间的破坏与干扰,影响尤为严重。它使航空发动机的科研发展脱离了国情,违背了科学规律,表现在对发动机型号研制的艰巨性和复杂性缺乏足够的认识,片面盲目地追求高指标、高速度,忽视了科研工作对技术高度密集的航空发动机的进步和发展所产生的推动作用。1978 年全国科学大会以后,航空工业提出了“科研先行”的指导方针,对科研工作的重要性的认识有所提高,开始对航空发动机的预先研究编制了计划,科研经费有了一定拨款规定,但是,有关技术领导和技术管理人员,对预先研究的认识很不统一,有人认为型号设计就是预先研究;能拿到手里,吃到嘴里并及时使用到生产中,才算是预先研究等,20 多年来,预先研究未能有计划分步骤地开展起来。

1983 年在原航空工业部发动机管理局的倡议下,中国航空学会管理科学专业委员会委托 628 所,组织厂、所、院校的专家、教授,讨论研究编写“航空发动机研究发展管理规定”,曾开过三次大型讨论会,经过多次讨论修改,于 1985 年此“规定”定稿报部,1988 年三月航空工业部正式颁发此“暂行规定”,要求各单位参照执行。1987 年,原航空工业部科技委组织航空系统有关单位的专家教授编写“2000 年的中国航空工业发展战略研究报告——第三分册,2000 年中国航空动力”,经过两年的讨论研究,于 1988 年 9 月定稿出版。对航空发动机的预先研究都提出了战略决策性的意见。

从上述的“暂行规定”和“2000 年中国航空工业发展战略研究报告”的第三分册,都针对航空发动机研究和发展规律需要,结合我国 30 多年发动机研制经过的曲折道路,总结出一些带科研规律性的经验,制定出今后航空发动机研究发展的规定及发动机科研工作的战略方针。在党的十一届三中全会以后,随着改革开放政策的贯彻,很多技术领导对科研先行及预研工作的重要性在认识上有所提高,航空发动机科研方面,近 10 年来在高性能推进系统的预研工作上,做了大量的打基础上水平的工作。但是预先研究在新机型号研制,改进改型、技术引进等工作中,尚未得到普遍重视和深入了解,近十年来的型号研制中,仍然出现偏差,甚至有些仍在走着五六十年代的研制老路。

值得回忆的首先是涡扇 6 发动机经过 20 多年的艰难曲折的研制道路,花费了 1 亿多元的研制费,虽然已于 1982 年通过地面台架 24 小时的飞行前合格试验,终因研制周期拖得太长,技术性能指标显得落后,飞机型号下马失去使用对象,而形成“停止投资,总结经验”的历史结局。究其主要原因却是错综复杂,各方面的看法,众说纷纭。但有显而易见的认识是由于 60

年代初,发动机行业中没有认真做好技术基础建设,缺少技术储备,在“左”的思潮影响下,急于自行研制象涡扇6那样在当时继承技术太少,创新技术太多,性能指标较先进的大推力加力式涡扇发动机,冒的风险很大,这是难以研制成功的主要原因之一,教训至为深刻。606所在1987年开过涡扇6的技术总结会议,总结了不少经验教训。可惜的是在未重视预先研究上吃了大亏这条教训,并未被人们广泛记取。80年代初的型号研制中,不重视预先研究的阴影,依然伴随着研制工作出现。

我国的航空工业是从仿制苏联机种起家,当然苏联只教会我们如何“仿”,并不教会我们如何“研”,过去虽然有些技术人员曾想冲破这个“仿”字,自己走出“研”的路子,可是这个阻力却无法克服。航空发动机过去仿过苏联十多个型号,70年代中期买了英国罗罗公司的斯贝MK202的制造专利权。本应该吸取过去的历史教训,不能再走单纯仿制的道路,可是近几年来在多次召开的购买斯贝专利的专题座谈会上,对买此专利责任问题,买专利的利弊问题,争论不休。是否还应该研究一下,我国买了专利以后,不拨经费做消化、吃透的技术储备工作,而是在仿制,考核试验尚未结束之前,就搞起航机陆用、舰用改进方案。80年代初经国家下达改进任务,着手搞起舰改、油田用型号。当时斯贝发动机整机各主要截面流程参数,几个主要部件性能,除了英方提供的纸上资料以外,我们的消化吃透、试验工作一项也没有做过,到现在斯贝的改进型号已经进行了八年多。这样不自觉地花费一千多万元的研制费,走50年代仿苏的老路子,能创出奇迹来吗?

二、剖析几种新研制的发动机型号

80年代初期,开始研制的涡喷 $\times\times$ 发动机,是采用涡喷 $\times\times$ 发动机的低压压气机及斯贝MK202发动机的高压压气机前七级叶片造型设计成高压压气机,另外根据涡扇6等发动机的设计经验,设计出燃烧室,高低压涡轮和加力燃烧室等部件,研制涡喷 $\times\times$ 发动机。这本来应该是继承性大,技术风险较小,投资较少,周期短的设计方案,同时由于上级的大力支持,几个厂、所联合共同承担研制任务,所以从方案论证到验证机设计、加工、试验工作进行比较顺利。据了解,1986年通过验证机试车,批准转入型号研制以后,调试中由于高低压压气机之间的性能不相匹配,加速性不符合规定、高压压气机一级转子叶片两次发生折断等故障,使得在验证机调试中没有解决的问题,重在试验机上出现,不得不重新做高低压压气机的试验,寻找故障原因,使型号研制程序不能按计划进行。这个过程与20年前涡扇6发动机研制中出现的问题,何其相似。而且当前形势逼人,被动局面,也是不减当年。

据了解,高低压压气机的气动设计,是来自涡喷 $\times\times$ 和斯贝MK202发动机,而这两个部件没在原型发动机上做足够的压气机性能和结构强度分析试验工作,或有的根本未做。新研制的涡喷 $\times\times$ 发动机的高、低压压气机的进出口流路工况都有改变,尤其是高压压气机的进口在斯贝MK202发动机上有的可调叶片被取消,中介机匣的支板位置、外形和低压压气机出口导向叶片的数目和安装角与斯贝发动机原型都有不同。这就难免要发生气动性能上的不协调,结构强度会发生故障。在发动机调试时产生的喘振或颤振问题,不从部件设计和试验中找原因,想凭主观愿望顺利通过,那样,调试合格的机会是极少的。显而易见,根本问题还是测绘仿制和引进仿制的生产机种没有花大功夫彻底消化部件和整机的设计技术,没有摸清这些生产机种的性能和结构强度的技术问题。涡喷 $\times\times$ 发动机研制过程中碰到的实际难题,只有花

功夫在部件设计试验上找原因,才能解决故障,整机调试才能顺利进行下去。在研制过程中,调试工作十分艰巨,风险难以避免。

剖析新研制的另一个型号是斯贝 MK202 发动机舰改舰用动力。70 年代中我国引进英国罗罗公司斯贝 MK202 发动机制造权,1980 年完成整机仿制任务以后,1981 年国家批准用斯贝 MK202 为燃气发生器改装成舰用动力装置,按计划规定 1985 年完成 13000 马力级机组,1987 年完成 15000 马力的成套装舰的动力装置,这是个很理想的研制计划,实际上 430 厂在仿制斯贝任务完成以前,1979 年就开始搞斯贝舰改方案,1981 年发出了性能试验机改装图纸,1982 年 9 月性能试验机开始整机调试,1983 年 3 月召开了性能试验机阶段成果鉴定会,肯定了顶切(风扇叶片)技术的可行性,表面上看,研制工作进行顺利,1984 年 4 月重新切顶的性能试验机在调试中发生涡轮叶片折断事故,经过一年多的时间于 1985 年底恢复后的性能试验机重新上台,到 1987 年 4 月性能试验机共运转 63 小时,此时 430 厂并未意识到斯贝发动机未经过消化吃透设计技术,将会使斯贝改进研制工作难以达到预期目的。

接着舰改型就转入生产型样机的设计,1983 年开始设计,1984 年发出改进全部生产图纸和技术文件,经过工厂加工、装配,1987 年开始台架调试和持久试车,1988 年 1 月完成了 150 小时持久试车,总共花了 6 年多的时间,比海军提出的 1985 年完成的要求晚了三年,而且在性能上燃气发生器的功率比 13000 马力约低 5%,与动力涡轮联调以后,估计可达到的功率比要求值小 4%,未能达到海军要求的性能,据了解由于研制进度推迟三年,动力装置的功率达不到要求,1988 年海军传出不要这套斯贝舰改机组。

这项改进研制任务,是在引进国外机种的基础上进行的,它已有斯贝 MK202 发动机的全套生产图纸和部件设计试验的部分资料,而且又买到英国罗·罗公司用斯贝改进型(TF41)发动机改设计为舰用动力(SMIA)的全套设计图纸做参考,同时又多次派出领导和技术人员到英国去考察和咨询。有这样的优越条件,要比 20 年前研制发动机时强好多倍。也可以说,斯贝舰改研制的技术风险较小,成功的把握要大,但是现在看来,却仍有被使用单位抛弃的危险。追究其原因,情况更为复杂,据了解除了这些年工厂对航空产品有些不同看法,上级拨款强度不够,拨款不及时,而影响到研制进度以外,恐怕根本原因之一,还是对斯贝 MK202 发动机在改进方案开始前没有进行必要的试验验证和技术上深入消化。因此对斯贝发动机性能了解不够,能不能达到海军要求的性能,仅凭一般性能计算,而没有进行试验验证;高低压压气机的性能特性和结构强度,没有部件的预先研究和试验分析;发动机内部冷却空气系统和转子轴向力,只是根据计算结果,就进行改动设计到底效果如何,没有定量验证。这样的改进设计方案和研制工作,有什么理论和实际基础!在验证试验程序上看,也是走了先整机试验,后部件试验的违背研制规律的道路。低压压气机顶切后的性能试验,必须在整机试验之前,把切顶后的性能数据拿到手再进行整机试验。据了解 430 厂因总研制经费不够,投资强度也弱,结果这项关键性的试验,不得不推迟到整机试验之后。还有些必须做的试验被中途取消了,就形成带有较大的盲目冒险性的型号研制。

由于斯贝 MK202 发动机的性能结构设计技术没有消化吃透;对海军提出的过高的性能要求,在发动机上不采取措施;对发动机研制缺乏经验,对舰改设计工作的难点认识不足,把改进改型设计看得过于简单,不做艰苦的研究试验工作,光凭满腔热情,上马以后,就是工厂全力以赴,由于预研工作这个大缺口,研制过程中必然要碰上“暗礁”,这也是必然规律。