

建设航空发动机快速反应 科研试制平台

Building Quick Response Research and Trial-Manufacturing Platform for Aeroengine

中国一航科技委 彭友梅



彭友梅

研究员, 中国一航科技委特邀常委。1965年8月毕业于中国人民解放军哈尔滨军事工程学院空军工程系发动机设计专业。先后在中国燃气涡轮研究院、中国航空系统工程研究所和中国一航科技委从事发动机科研工作。历任研究室主任、所副总师、科技委副秘书长等职。1999年获国务院颁发的政府特殊津贴。

航空发动机研发平台包括设计平台、试制平台和试验平台。目前我国缺少和最急需的是科研试制平台。主要原因是:

航空发动机是在高温高压下高

速旋转的热力机械, 而发动机研究发展的过程是一个研究、设计、制造、试验、修改设计、再制造、再试验……直到成功的反复迭代的过程。其中, 科研试制是一个重要环节, 试制加工的质量和进度对发动机科研工作的进展具有重大影响。新中国航空动力工业创建 50 多年来, 科研试制问题始终没有得到很好的解决, 成为长期制约发动机科研进程的一大难题。为了我国航空动力的振兴发展, 为了装备自研动力的大型飞机能够早日翱翔蓝天, 加强我国航空发动机科研试制平台条件建设与组织管理、提高科研试制快速反应能力, 就成为一项十分重要且刻不容缓的任务。

相比, 科研试制主要有如下特点:

(1) 技术新、难度大。

批生产往往都是采用成熟的工艺和工装, 而新研发发动机采用大量新结构、新材料、新工艺和新技术, 许多制造技术和工装都是原本不具备的, 需要研究、攻关, 难度很大。如第四代发动机上采用的整体叶盘、无盘转子、单晶、复合气冷叶片、粉末冶金涡轮盘的加工, 大涵道比涡轮风扇发动机的大型宽弦风扇空心叶片、大型钛合金机匣、复合材料构件、低排放燃烧室的制造等。

(2) 变化多、进度急。

批生产的发动机都是大批量定型使用产品, 具有稳定的技术状态、成熟固化的工艺和规范的制造组织体系, 实行流水作业; 而新研发发动机的设计、加工、试验是一个动态过程, 需要经过修改设计、再加工、再试验的多次反复和迭代, 因此设计不定型、工艺不稳定、工装不完备、生产要

发动机科研试制的 规律与特点

发动机科研计划是指预先研究和型号研制过程中试验用零部件和整机的试制加工。与发动机批生产

素多变是其显著特点,而且进度要求很急。如: 昆仑发动机在定型前, 低压压气机前后就设计了4种大方案, 49个小方案, 进行了159次试验, 各种零部件更改的图号就达6900多个。而相应的工艺变化更达到设计变化的一倍以上。

(3) 批量小、成本高。

批生产的发动机都是大批量、规范化的流水作业, 成本低、效益高; 而新研发动机及其零部件品种多、非标件多、新材料多、新技术多、要求高、数量少, 甚至为单件生产, 因此成本很高, 经济效益低, 按批产赢利原则, 企业一般都不愿承担此类任务。

(4) 集中工序、组合工装, 高度柔性、快速反应。

批生产阶段, 为提高工作效率、均衡设备利用率、严格质量控制, 多采用工序分散的原则, 按分散的工艺路线固化工艺参数, 增加专用工装和专用测具, 实行流水作业, 严格执行批生产技术管理程序; 而科研试制阶段, 为适应设计多变的特点, 尽量减少工装和设备调试时间, 尽快拿出试验件(机)进行试验验证, 新研发动机试制需要高度柔性、快速反应, 多采用集中工序、综合检测、组合工装和科研型技术管理规程。

根据科研试制的以上特点, 可以得出以下几点基本认识:

- 科研试制不能完全在批生产线上进行, 需要有专门的、相对独立的、快速反应的试制加工力量。

- 需要适应科研试制特点的运行机制和管理模式。

- 需要高度柔性的数字化先进加工设备和高素质、高水平的科技人才。

国外的做法和经验

航空发动机的科研试制, 国外主要有两种模式:

一是在发动机公司的工程发展部内设立快速反应试制车间, 完成

新研发动机的试制。在产品定型后才移交批生产部门。如GE、PW及RR等欧美发动机公司, 其新机研制部门与批生产部门是分开的, 快速反应试制车间与型号工程设计部门同属于公司内的工程发展部(也可称为研发中心), 他们共同承担新机研制工作, 实行设计、制造一体化和并行工程管理, 保证了研制的质量和进度。

二是在发动机科研机构内部设有独立的试制厂, 如前苏联和俄罗斯。前苏联实行研制与批生产相分离的管理体制, 几个主要的航空发动机设计局都设有自己的试制工厂, 具有新机试制和小批量生产能力, 新型号小批生产试用成熟之后才转到批生产厂。

当前, 俄罗斯对航空工业进行了重大改组, 设计局与批生产厂相结合, 组建了科研生产联合体或集团公司。但在三大联合体内仍保留有试制厂, 专门负责新机试制。发动机控制系统的研制也是如此。

航空动力发达国家的经验证明, 公司内部或科研机构内部的相对独立、快速反应的科研试制力量, 是他们高速优质研制先进航空发动机的重要保证。

国内的状况与问题

我国航空发动机科研生产沿用了原苏联的管理体制, 科研与生产分离, 但是, 最大的不同就是研究设计单位没有强大的试制厂, 而生产企业里没有专门的科研试制车间或试制线。

我国的传统做法是: 研究、设计、生产单位联合协作、试制、批生产混线进行。因为设计研究单位只具备少量、简单的试验件加工能力, 部件和整机的试制都委托生产厂负责。有的坯料、零部件或工序委托专业化厂、材料/工艺研究所、高等院校以及民口单位承担, 实行全国大协作,

联合攻关。虽然新机立项后国家都投入一定的资金进行研保条件建设, 但都是按任务分工分散在各单位的生产线上进行的, 没有形成专门的科研试制能力。在各方面的努力下, 新机研制虽然也取得很大成绩, 但确实存在不少问题。如果建有专门的科研试制平台, 新机研制的进程必将会大大加快。存在的问题主要是:

(1) 试制在批生产线上进行, 相互干扰, 批生产管理流程过长, 科研试制任务的进度、质量难以保证。

如前所述, 批生产有自身完整、稳定、严密的工艺规程和运行管理机制; 而科研试制由于技术新、变化多, 工艺流程和技术管理都需要高度的柔性。这两种不同的生产模式放在一起必然相互冲击、相互影响。由于新机科研试制沿用批生产的技术管理流程, 设计稍有修改, 技术文件的签署、周转的过程就很长(要10多道工序), 因此很难做出快速反应。

科研试制放在批生产线上的好处是在批生产任务不饱满的情况下可充分利用现有的人力、设备资源, 并便于转产。但现役武器装备的生产供应总是第一位的, 批生产任务一紧, 型号试制必须给批生产让路, 预先研究的试验件就更排不上队了。况且先进发动机加工难度越来越大, 将试制任务插入到批生产线上也是非常困难的。

(2) 科研与生产、设计与制造脱节, 事业单位与生产企业两种性质, 管理体制不同, 严重影响了科研试制的进程。

(3) 技改滞后, 资源配置不尽合理, 专业化程度低。科研试制能力与任务实际需求存在较大差距。

历史上形成的多条发动机生产线均是按照批生产配置的, 小而全、大而全, 低水平重复; 长期以来, 技改跟着型号走, 技改滞后, 忽视了基础能力建设。近几年在高新工程的推动下, 加大了技改力度, 各厂的制

造能力有了一定提高。但基本上还是以批生产分工定点布局展开的,经费使用分散,信息化水平低,没能集中力量建成强有力的科研试制能力。

(4) 材料、工艺技术工程应用研究薄弱,不能尽快实现工程化,一些关键制造技术久攻不克,严重影响科研试制。多年来,工厂的冶金、工艺试验室被取消,技术人员流失;近期通过技术中心建设有所恢复,但没有专项资金投入,科研条件差,研究工作仍然十分薄弱。另一方面,材料/工艺研究单位从经济效益考虑,都想承担小批量试制,导致预研成果不能很快地转移到工厂、实现工程化。

(5) 在市场经济体制下,有些民口单位对技术复杂、批量小、效益不高的军工任务缺乏积极性,材料、毛坯等常常不能及时地保质保量供应。

以上种种问题,导致几十年困扰发动机研究发展的科研试制问题始终没有得到根本解决,试验件/试验机的加工“降指标、拖进度、涨经费”似乎已成为“定式”,而且超差件多,合格率低,质量不稳定,极大地影响了新机研制工作。同一种零部件的试制,国内要比国外多花许多时间。如,涡轮叶片国内试制需 12 ~ 15 个月,国外制造仅需要 4 ~ 6 个月。同样,整机试制,国外从设计出图到完成加工仅需 6 ~ 8 个月,国内最短需要 18 个月。有的发动机历经 18 年才设计定型,试制周期太长、加工质量不高是重要因素之一。

而且,预先研究试验件的加工更难。例如,某核心机加工周期达 2 年; 25 片单晶涡轮叶片补加工花了 10 个月; 某三级风扇试验件加工也用了 2 年时间。此外,超差、代用的情况也比较多。

由此看出,试制加工严重制约了航空发动机科研工作的进程,这种情况如果再不改变,我国航空动力与世界先进水平的差距将会越来越大。

发展急需、刻不容缓

我国航空发动机工业正处于跨越发展的关键时期: 先进军用发动机攻关研制和系列发展,大飞机用大涵道比涡扇发动机已列为国家重大专项工程,未来新一代发动机和传统新型航空动力的预先研究也已开始……航空动力的发展对科研试制提出了更高的要求,建设先进的高度柔性的快速反应科研试制平台迫在眉睫、刻不容缓。

科研试制平台建设方案

1 科研试制平台的总体构架

参考国外的做法和经验,综合考虑我国的历史、现状和发展,贯彻航空动力行业结构调整、整合重组的思路,经行业专家、领导反复研讨认为: 现阶段,俄罗斯或欧美国家的模式(设计所建试制厂或厂所合并建立工程发展部)在我国都不太适宜而且难以做到。而在发动机事业部统一组织领导下,除研究设计所适当提升试验件、转接段、受感部等加工能力外,有关生产厂按专业化分工,依托母厂分别组建快速反应科研试制车间,共同构成发动机科研试制平台,应该是合理可行的选择。

科研试制平台包括 3 个部分:

(1) 现有批生产线上的部分加工能力。

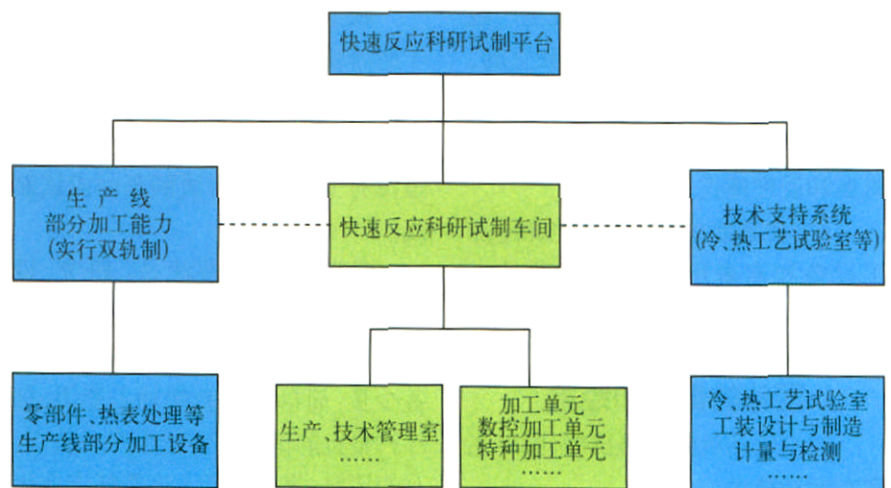
新机研制中,大量常规零部件工艺工序与现有批生产线相同或相近,这部分可以利用母厂批生产线的富裕加工能力,通过简化流程,实施科研运行机制,进行科研试制工作。这需要具备两个条件: 一是批生产设备能力有一定的余度; 二是实行不同于批生产的科研试制技术管理制度(简称双轨制)。

(2) 以工艺试验研究室为主的科研试制技术支持系统。

这里所说的科研试制技术支持系统,包括各企业技术中心下面的冷热工艺试验室(制造技术研究室/工程应用中心等)及工装、检测、标准、计量系统、信息化平台及配套基础设施等。它们为科研试制提供技术服务和保障,也是发动机科研试制平台的重要组成部分。

(3) 快速反应科研试制车间。

这是科研试制平台的核心部门,也是 50 多年来我国发动机工业始终没有解决的老大难问题。它针对发动机预先研究和型号研制中约占 20% ~ 30% 的新技术、新结构、新材料、新工艺,进行零部件和整机的试制加工(其加工的难度和工作量决不仅 20% ~ 30%)。国内外的实践证明: 没有这样一个专门的科研试制机构,研发试制完全在批生产线上混线进行是不行的。



发动机快速反应科研试制平台构架

磨粒流—— 数控去毛刺、抛光、表面处理系统

■ 汽车工业零部件



中国区授权代理

Champion®
精品机械有限公司

广告索引号 08-062

地址: 北京海淀区知春路1号学院国际大厦1605A室(100083)
电话: 010-51660816 · Fax: 010-82337720
http://www.champion.com.cn Email: chambj@champion.com.cn

2 科研试制车间的建设

(1) 试制车间的主要任务。

原则上讲,科研试制车间的主要任务就是关键零部件、单元体和整机的试制加工。具体可分为以下5项:

- 预研试制: 发动机预先研究中试验件、验证机的试制加工。

- 型号试制: 发动机型号的试制加工。比如大飞机用的大涵道比涡扇发动机。

- 新品工装试制: 应用数字化制造技术,按最简单、最有效的原则,对新机研制件用工装和非标仪器实现快速设计制造。

- 新工艺的工程化: 协助工艺试验室,开展先进冷热工艺的工程化试验研究,加速科研院所研究成果向工厂的转移。

- 协助生产转移: 在完成试制任务的基础上,协助生产线,按批生产要求分散工序,细化工艺路线,调整、固化工艺参数,完成专用工装验证,编制生产工艺规程,加速试制向批生产的转移。

(2) 建设的基本原则。

以某发动机研制为切入点,兼顾其他重大科研项目的需求,根据发动机产业结构调整思路 and 专业化协作的原则,以母厂为依托,以关键零部件的关键工序为主线,各单位分别组建数字化、柔性化、高水平、小而精的科研试制车间,在发动机事业部统一组织领导下,共同形成行业内有别于批生产管理模式的发动机快速反应科研试制平台。

(3) 具体建设内容。

科研试制车间设置有关柔性制造单元和装试工段,厂房、设备、人员作相应的精工配置。加工设备主要是先进关键设备和柔性多功能数控机床。主机厂的科研试制车间负责大型零部件、单元体和整机的试制和装配;主机设计所的科研试制车间主要承担小型试验件、排故件、流道件、转接段和受感部的加工。控制系

统试制车间负责电子控制器、油泵和液压机械附件的试制和装配调试。

科研试制车间 组织管理与运行机制

1 建立科研试制指挥系统

确立以发动机事业部为中心的科研试制管理体系,建立统一的科研试制指挥线,统一安排试制任务。各参研企业单位要建立批生产和科研试制两条指挥线,实行不同的运行机制和管理规程。

2 建立有别于批生产的科研试制运行模式

强化科研试制过程中技术系统的主导作用,简化所有程序、重构管理机制,再造工作流程。在质量与管理互信原则的基础上,向技术系统授以科研试制过程中的处理权,用新流程及新机制将科研人员、生产单位、工艺技术与硬件资源紧紧联系在一起,并行工作,实现科研试制的快速反应。

3 实行科研型车间管理

(1) 质量管理。结合科研试制的特点,制定有别于批生产的质量管理程序文件,重点突出技术问题分析、记录与控制。

(2) 资源管理。采取相对封闭又开放交流式管理格局。对生产线上的关键大型设备实行挂牌(R & D)管理,根据需要优先安排科研试制;选拔精干、高素质人员到试制车间工作,培养一职多能、一专多能、既懂设计又会操作的复合型人才,保持研发试制队伍相对稳定。

(3) 财务管理。资金来源主要为科研经费。实行科研项目经费包干运行,严格控制科研成本,努力提高经济效益,按研制项目完成情况进行单项结算,使科研成果、科研成本与员工利益挂钩。

(4) 考核、分配、奖励制度。针对科研试制特点,制定相应的考核、分配、奖励办法,充分调动科研人员

积极性,确保他们专心致志地从事科研试制工作。

科研试制车间与各方面的关系

快速反应科研试制车间是整个科研试制平台的核心。在目前的组织体制下,与有关单位的相互关系如下:

(1) 与发动机设计单位的关系。

发动机设计、研究所有限的试制力量,主要承担小型试验件、排故件、转接段和受感部的加工,大的部件、核心机及整机主要依靠工厂的快速反应试制车间。

试制车间要与研究设计机构紧密结合,实行并行工程,利用计算机网络、CIMS系统和PDM技术,实现设计制造一体化和数字化。

从长远发展看,快速反应试制车间和发动机设计研究部门有可能密切结合,组成发动机研发中心或工程发展部;从近期运行看,为充分发挥设计研究在科研工作的主导作用,快速反应试制车间要接受总设计师系统的业务指导。

(2) 与材料/工艺研究单位的关系。

航空材料、工艺科研院所以研究先进材料、工艺技术为目标,着眼于未来先进航空发动机的需求开展基础研究和应用研究;而快速反应试制车间及其相应的材料、工艺试验研究室的任务是开展新材料、新工艺用于发动机制造的工程化应用研究和工艺优化研究,使科研院所的预研成果迅速向工厂转移,尽快转化为实际的生产力。发动机零部件的小批量试制和生产应主要由工厂承担。

(3) 与专业化厂的关系。

各单位快速反应试制车间都突出专业特色,联合协作,优势互补,不搞大而全。发动机总承制单位将充分利用专业化厂和传统协作厂的加工手段,不搞自我封闭。

(4) 与母厂和技术中心的关系。

快速反应试制车间现阶段隶属于母厂的技术中心。为充分利用母厂和技术中心的优势资源(包括特种工艺设备、热表处理能力、常规批生产加工设备、能源动力基础设备、质量保证体系、常规检测能力、物流供应系统等),应由副厂级领导兼任技术中心主任,并专设项目经理负责组织协调,保证试制过程高效运转。

快速反应试制车间与母厂传统的制造系统是点和面的关系。“快速反应试制车间”是先进制造技术的生长点,其新技术的储备是一个动态的不断更新的过程。通过科研试制,新技术逐渐成熟后转移到传统的制造系统中,成为该系统的新生组份,使传统制造技术系统的水平上升到新的层次。两者之间这种由点到面、推陈出新、点面结合、良性互动的关系,将不断推进我国航空发动机制造技术的快速发展。

以上组织管理方面的设想和建议,仅供探索、试行中参考。随着体制机制改革的深入和结构调整、整合重组的进展,相信通过全行业的创新和实践,发动机研发工作和科研试制的组织管理将逐步提高和完善。

几点工作建议

(1) 列入国家计划。发动机快速反应科研试制平台建设的核心是科研试制车间。它是当前新机研制的急需,不仅仅针对某一个型号,而是为整个发动机科研工作服务,是发动机研究和发展的长远需要,具有重要的现实意义和深远的历史意义。因此应当把它列入国家的技改计划或新机研发平台建设计划,作为“强化基础、提高能力”的关键项目,给予高度的重视和优先的支持。

(2) 经费来源问题。科研试制车间是新机研发平台的重要组成部分,也属于新机研制保障条件建设内容,应由国家拨款支持。根据原国防

科工委委计函[2004]346号文件规定,当时的新机研发平台不包括加工制造条件,因此就要在新机研保条件建设中加以解决。

(3) 积极主动、自筹自建。各基层单位发扬自力更生精神,不等不靠,积极谋划,主动筹集资金,调整厂房、设备,及早起步,打好基础。一旦国家拨款到位,可大大加快建设进度。不少单位已经主动这样做了,希望上级机关给予支持。

(4) 努力改革管理。现行体制机制已经严重阻碍了生产力的发展,也影响了科研试制的快速反应。国家机关、地方政府、集团公司和发动机事业部应密切协同,积极推进体制机制改革和资源整合重组。同时,各厂所基层单位也不能消极等待,而要在力所能及的范围内主动改进管理,建立批生产和科研试制两条指挥线和两种管理程序,积极开展并行工程和数字化异地协同设计制造的探索。没有管理的创新,科研试制的快速反应是不可能的。但是不采取硬措施(建立试制车间和工艺试验室等),只靠软管理,作用有限,也不能根本解决问题。

(5) 加强信息化建设。尽快落实、实施发动机信息化专项建设,强化信息网络基础平台,积极推进数字化异地协同设计制造。转变观念,深化改革,用信息技术武装和改造传统的发动机工业,这是提高快速反应试制能力的基础和关键。

(6) 加强关键材料、工艺的工程化应用研究。大力提高工厂的冷热工艺试验室条件,加速预研成果向工厂生产第一线的转移。

(7) 注意外部协作单位的配套建设。除发动机系统外,还需要外部协作单位的大力配合和快速反应。包括航空工业内、外有关科研院所和专业化厂(如冶金、材料、毛坯、轴承等),都要统筹规划、协调配套建设。

(责编 晓霖)