

# 航空发动机领域军民融合发展的思考

## Thoughts on the Civil-Military Integration Development of Aero Engine

■ 王巍巍/中国航发涡轮院

航空发动机领域的军民融合走过了很长的道路，有一定的发展模式和思路，但在新形势下，尤其是我国把军民融合上升为国家战略高度的历史时期，有必要以创新的发展思路谋求航空发动机领域的军民融合。

**军**民融合发展,指既要保障国防建设又要促进国民经济发展,是国家为协调国防需求和经济发展而推进的一项重大举措。习近平主席在十二届全国人大三次会议解放军代表团全体会议上提出把军民融合发展上升为国家战略,这意味着未来各行各业将进行深度的军民融合,航空发动机领域也不例外。



以AE3007发动机为动力的RQ-4B和ERJ-145

### 航空发动机领域军民融合的典型模式

航空发动机作为典型的军民两用产品,在国防建设和国民经济中具有突出的贡献,具备典型军民融合特征,其所在领域具有发展军民融合产业的潜力。航空发动机研制技术难度大,研制周期长、经费投入高。因此航空发动机领域更加注重研制成果的扩展使用,关注航空发动机研制成果在军民两用领域的相互转移应用。

一型航空发动机的研制周期需要10~20年,因此在航空发动机研制之初,就建立起一个既能满足军事需求又能满足民用需求的发展目标,可以降低研制成本,实现经济可承受性,使研制成果的利用实现

最大化。

此外,军用航空发动机作为重要的国防武器装备,在保卫国家利益方面发挥着重要作用,在国际局势动荡和地方冲突不断的情况下,军用航空发动机的研制尤其引人注目,因此把军用航空发动机技术的开发列在民用航空发动机研制计划里。航空发动机领域的军民融合,大致有以下三种模式。

#### 军民双向技术转移

军民双向技术转移在航空发动机领域的应用比较广泛。它是指将军用航空发动机领域的成熟技术转移应用到民用领域,或者把民用航空发动机技术转移应用到军用航空

发动机领域。前面已经谈到了航空发动机研制的艰巨性,因此一定要最大化地利用其成果,其中最直接的方式之一,就是把已经发展成熟的技术在军民领域双向转移应用。这样的实例很多,其中以美国F101发动机最为典型。该发动机是20世纪60年代末由美国空军投资、GE公司承制的一款军用发动机。在70年代其核心机技术被转移应用到CFM56民用发动机上。

民用航空发动机技术向军用航空发动机技术转移应用主要发生在20世纪90年代以后。随着民用航空发动机技术的发展,国际形势的变化,许多在民用航空发动机上成熟

应用的技术逐步转移应用到军用航空发动机上。例如，英国罗罗公司的AE3007发动机，研制于20世纪90年代，用于支线客机和大型公务机。之后该发动机被转移应用在美国空军的RQ-4B“全球鹰”无人机和RQ-4C“人鱼海神”上。

### 寓军于民

寓军于民的模式主要是指国家不再设立专门从事武器装备研制和生产的企業。大部分的武器装备研制任务均委托给民用企业完成。日本是采用寓军于民开发军工产品的典型代表，在航空发动机领域的很多项目都是以寓军于民的模式开发的。例如，日本研发的组合循环发动机（CCE）就是隐藏在一个民用计划下发展的。该计划的目标是探索民用高速运输机所需推进技术，验证的组合循环发动机具有典型的变循环特征，如今变循环发动机技术已经成为下一代战斗机的关键技术。装备了变循环发动机的战斗机，航程更远、有效载荷更大，与配备常规燃气涡轮发动机的战斗机相比作战优势明显。

### 军民两用技术研发

在航空发动机领域的军民两用技术是指在航空发动机开始先期技术探索时，就瞄准最终军民两用的目标，确保后期开发出的产品既可应用于军用航空发动机，也可用于民用航空发动机。例如，美国现在正在执行的“通用经济可承受先进涡轮发动机”（VAATE）计划，它就是军民两用的经济可承受性涡轮发动机计划。在该计划开始筹划之初，就明确要通盘考虑到军民两用的设计特点，以确保开发的技术能够在军民领域转换应用。军民两用

这种模式能够降低产品全生命周期的成本，是提高产品经济性的重要手段。

## 航空发动机领域军民融合特点

通过对航空发动机领域军民融合模式的阐述可以看出，航空发动机领域的军民融合有技术牵引、利益驱动和机制保障等主要特点。

首先，航空发动机领域军民融合的技术牵引包括两个方面：一方面技术要成熟可靠，不是任何军用技术或者民用技术都可以转移应用的，只有成熟可靠的技术才具备转移应用的前提条件；另一方面技术要有创新性和生命力，F101军用发动机的核心机能够被民用CFM56发动机选中，成功转移应用，主要得益于F101发动机成熟的核心机技术，也得益于该发动机上采用的创新技术，F101发动机是当时世界上最先进的航空发动机。

其次，军民两用领域的技术转移应用，要能够产生经济效益。当年F101发动机核心机技术之所以能够成功转移应用到CFM56民用发动机，其中一个吸引美国当局下决心实施技术转移的促进因素是这一举措会创造出成千上万的工作岗位，带来巨大的经济效益。结果也正如决策层所料，F101军用发动机技术转移应用到民用发动机CFM56上后，GE公司由此获得了丰厚的回报，其在民用航空发动机的市场份额一跃成为世界首位。

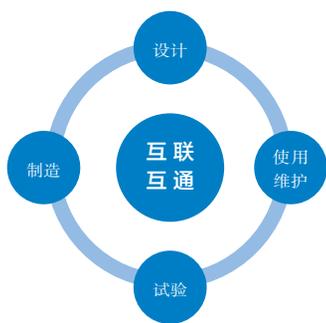
第三，航空发动机领域的军民融合一定要有国家政策支撑。日本军民融合模式的发展也首先得益于政府政策的扶植。日本政府对具有

研制和生产军工产品能力的企业在经费投入上实施政策倾斜，用增大政府订货量，提高产品价格等手段吸引和鼓励企业从事军品生产，保护其军事能力。与此同时，日本还注重企业结构的优化调整，将军品分散到多个企业中，既可以掩人耳目，同时又避免过于集中，特别是关键技术不是由一家垄断，这样使得产品能够有序竞争，即使一方遇到不可抗力因素，也会由于分散而不至全盘被毁。

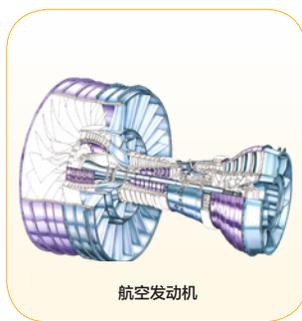
## 航空发动机领域军民融合的模式创新

通过对航空发动机领域一些军民融合模式及特点的归纳总结可以看出，成熟技术是实现航空发动机领域军民融合的桥梁，创新技术是使产品得以在军民两用领域保持生命力和产生经济效益的“杀手锏”。在新的国家战略条件下，我国航空发动机领域的军民融合应立足于成熟技术牵引，着力于创新技术驱动。为实现航空发动机领域深度的军民融合，有必要推动成熟技术和颠覆性技术在航空发动机领域的高效利用，以及航空发动机领域的尖端技术向民用领域的流动，实现全方位、多层次和立体的军民融合发展。

互联网技术已经走过了四十年，目前已经发展得相当成熟，如果我们在航空发动机领域，建立“互联网+航空发动机”军民融合发展模式，可以充分利用互联网强大的互联互通技术，打破航空发动机行业发展壁垒，实现航空发动机产业优化升级，提高其竞争力，提升其快速响应能力，为国防建设和武器装备快速提供产品。



互联互通，打破封锁



- ◎ 打破行业壁垒
- ◎ 加速核心技术发展
- ◎ 缩短研发周期
- ◎ 促进自主研发能力成熟

“互联网+航空发动机”融合效应

3D打印技术作为一项前沿的先进制造技术，已经成为全球新一轮科技革命和产业革命的重要推动力，如果我们把它与航空发动机联合起来，建立“3D打印+航空发动机”的融合发展模式，将会推动高新技术在军民两用技术双向流动。

### 互联网+航空发动机

航空发动机本身是知识密集型产品，但在其研发过程中却存在信息孤岛，即设计、试验、试制、批产和使用维修等信息分散，甚至相互割裂。如果把互联网和航空发动机联合起来，可以打破行业壁垒，消除设计、试验、制造和使用等全生命周期领域的信息孤岛，实现产品全生命周期的数据互联互通和信息资源整合，同时利用互联网中的大数据可以把航空发动机的全生命周期的数据集成起来，以使数据资源得到有效利用和深度挖掘。互联网平台的协同技术具有跨地域和跨领域快速传递信息的功能，航空发动机的研制涉及领域众多，利用互联网协作平台可以实现便捷的协同、数据的共享，打破航空发动机研制中各领域信息封锁的障碍。

航空发动机研制周期长，费用高，采用“互联网+发动机”融合发展模式，可以利用互联网平台

的虚拟仿真技术，研发出各种性能指标的部件、核心机和验证机，然后开展一系列仿真验证试验，最后根据飞机的需求和任务性质，对相应的部件、核心机和整机匹配模拟，建立发动机数字化孪生体，最终通过仿真技术实现虚拟环境下的线下整机交付，建立储备，以备不时之需。仿真技术，可以有助于航空发动机实现从传统设计向预测设计的转变，可以在和平年代就根据虚拟现实手法，开展航空发动机设计，进而达到缩短研制周期，快速形成装备，最终打赢战争的目的。

### 3D打印+航空发动机

3D打印技术作为一种先进的制造技术，可在航空发动机领域得到很好的应用，能够一定程度提高制造精度、缩短加工时间和降低成本等，但3D打印技术作为一种颠覆

性技术，仅仅发挥这些优势，只怕是辜负了其颠覆性技术的盛名。如果能将3D打印设计理念与航空发动机设计理念融合起来，一方面航空发动机的设计人员可利用3D打印带来的技术优势，重新审视航空发动机部件的结构设计；另一方面，也可以通过在航空发动机领域的应用促进3D打印技术的进一步成熟。“3D打印+航空发动机”融合发展模式，把航空发动机领域对3D打印技术的应用定位在“面向3D打印技术的航空发动机设计”，而把3D打印技术在航空发动机领域的应用定位在“面向航空发动机设计的3D打印技术”。

“面向3D打印技术的航空发动机设计”是指使航空发动机结构设计人员摆脱以往结构设计的某些束缚，利用3D打印技术快速而精密地制造出任意复杂形状的零件，解



#### 创新发动机设计理念

- ◎ 无约束设计
- ◎ 拓扑优化设计
- ◎ 按需设计

#### 创新3D打印设计理念

- ◎ 创新3D打印工艺
- ◎ 创新3D打印材料

高新技术融合效应

决过去难以制造的复杂结构零件问题，采用创新的航空发动机结构实现无约束设计。如果不突破航空发动机传统的设计理念，基于原有结构设计发动机，采用3D打印技术制造优势不明显。因此，将3D打印设计理念与航空发动机设计理念融合起来，既能够发挥3D打印技术潜能，又能够提升航空发动机创新设计水平。

“面向航空发动机设计的3D打印技术”指在3D打印设计理念中要考虑航空发动机的设计需求，通过设计驱动3D打印技术提升。未来新一代航空发动机可能会采用许多新材料，例如，陶瓷基复合材料，但现有技术还不能针对这种材料进行3D打印。另外，航空发动机的设计会受到常规制造工艺工具和设计经验局限的约束，无法实现按需设计的目的。因此，有必要把3D打印技术与航空发动机设计的需求牵引结合起来，寻求新的设计方法和工具，全面发掘3D打印技术优势。

“3D打印+航空发动机”的融合模式促进民用经济中产生的高新技术在航空发动机领域的创新发展，不仅使航空发动机领域受益，也可推动3D打印技术进一步挖掘潜力，实现军民技术双向流动、相互促进和协调发展，即新的设计理念驱动下的3D打印技术发展和3D打印技术驱动下的航空发动机设计理念的创新。

## 航空发动机领域军民融合的发展思路

航空发动机领域军民融合要坚持需求牵引，以国家政策作为主导，以技术创新为手段，来开启深度的军

民融合发展模式。我们可以尝试采用航空发动机领域常用的GOTChA方法来梳理航空发动机领域军民融合发展思路。GOTChA由目的（Goals）、目标（Objectives）、技术挑战（Technical Challenges）和方法（Approaches）构成。采用该方法，有助于合理制定顶层目标和分目标，理清航空发动机领域军民融合所面临的困难和挑战，确定合理的发展路线。

以“互联网+航空发动机”为例来阐述如何应用该方法。其顶层目标（Goals），即实现深度的军民融合。然而，这个目标不可能一蹴而就，需要各个分目标（Objectives）的实现来支撑，例如，要提升航空发动机自主研发能力、跨界融合能力和产业转型升级能力等。

为达到这些目的，需要面临很多挑战（Challenges）。首先是该领域的开放，航空发动机属于国防领域的产品，如果把它与互联网融合起来，不得不考虑行业的开放性，不可能全开放，但要开放到什么程度，才能最大限度的利用到互联网平台带来的效益，需要有国家相关的法规和政策来支撑。其次，是利用已有工业互联网平台，还是再建设？按照军民融合发展战略中“凡是国家经济社会体系能办的事，国防建设不要另铺摊子”的精神，在“互联网+航空发动机”军民融合发展中，可以利用现有的或者正在发展的工业互联网，但必须要进行定制化改造。第三，要实现“互联网+航空发动机”既要有高速、高效的计算机技术，还要有满足航空发动机全生命周期设计的虚拟仿真技术，包括软件等。再有就是人们对客观世

界的认知，以我们现有的知识，可能还不能完全预料可能会面临的挑战和困难。最终就是为应对挑战要采用的方法和途径，例如，互联互通方法和跨界融合途径等。

航空发动机领域军民融合发展的思路可以采用GOTChA方法来梳理。例如，航空发动机领域军民融合的核心目标就是要实现富国和强军，就是要军民平衡发展，相互兼容，彼此协调。为了达到这个目的，可以把它再分解为若干个子目标，既要能够促进航空发动机核心技术和加强自主研发能力，同时又能带动国民经济发展，催生新的产业链。为达到这些目标，必须要面临很多挑战和克服困难，例如，如何建立创新机制、开放机制、保密机制和技术转移机制。为应对这些挑战，最主要的是需要创新的工作思路或者颠覆性技术手段来攻克，例如，“3D打印+航空发动机”等技术途径。

## 结束语

目前，航空发动机领域正在实施“两机”重大专项，这是非常好的时机，可以根据国家武器装备建设和国家经济发展需要，在重点领域选择一批具有重大战略意义的军民两用技术，纳入国家科技计划，其中最主要的是要有创新的思路和先进的技术管理方法，找到合适的发展途径，找到影响军民融合发展的关键问题，只有准确地确定和预测出可能面临的挑战和要面临的困难，才能找出合适的解决问题的途径，最终真正实现航空发动机领域深度的军民融合。

**航空动力**

（王巍巍，中国航发涡轮院，研究员，主要从事科技情报研究。）