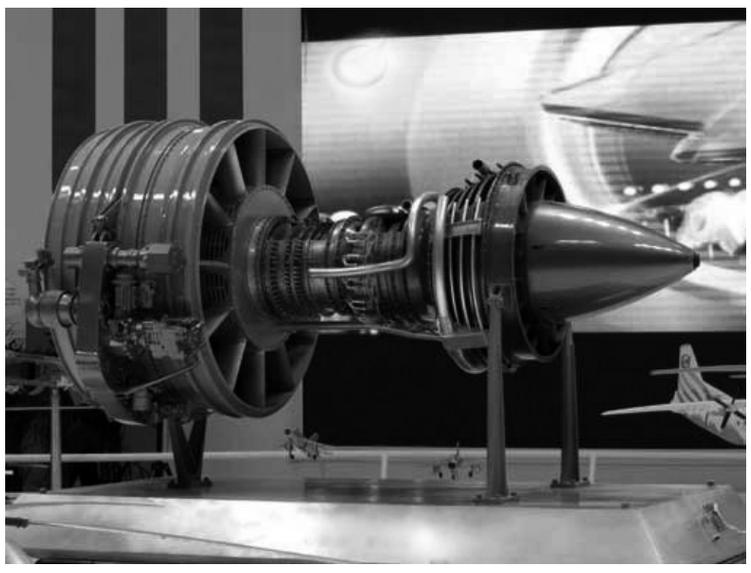
科技创新

编者按：作为飞机的“心脏”，航空发动机被誉为“工业皇冠上的明珠”。我国致力于开发国产高性能航空发动机，自首次立项研制商用航空发动机以来已取得一些进步，但在技术和管理层面仍有很大的提升空间。鉴于此，本报特约请千人计划专家胡忠志撰文，对全球航空发动机主要制造商的最佳实践加以剖析，并对国家在研制商用航空发动机过程中应如何形成研制所需的核心能力、提升综合技术能力和管理水平提出建议。

GE商用航空发动机产品研发启示

□ 胡忠志



航空发动机产业被誉为“工业皇冠上的明珠”，是航空产业的重要组成部分和制高点，是典型的高科技高端装备制造业和国家战略性新兴产业。快速发展的航空发动机产业将为我国工程科技、国民经济发展与社会等方面带来前所未有的推动作用，而一旦中国决心进入世界商用航空发动机“俱乐部”，我们将面临的是与GE、罗罗、普惠等航空发动机制造商同台竞技，这是一场长期艰苦的战役。

GE航空（GE Aviation）是全球航空发动机的主要制造商之一。目前，全球每2秒钟就有一台由GE航空发动机提供动力的飞机起飞。中国自主研发的ARJ21支线飞机配装的是GE航空提供的CF34-10A发动机，首款大飞机C919唯一指定的外方发动机则是由GE航空与法国斯奈克玛的合资公司CFM提供的LEAP-1C发动机。经过近百年的实践，GE航空研发的产品得到了全球航空公司客户的信赖，并在残酷的市场竞争、多变的地缘政治及复杂的经济环境下取得了令人瞩目的商业成就。它是怎样做到的，有何成功诀窍？

技术是发动机产业生存的王道

航空发动机虽然只是飞行器的一个分系统，但其所涉及的学科和技术领域几乎与整个飞行器相同，在许多技术上的要求甚至更高，可以说是集成了各个技术领域的尖端技术，是典型的知识、技术密集的高科技产品。

2015年7月22日，我们都注意到，CFM公司研发的LEAP-1C发动机正式交付中国商飞。这台发动机将安装在C919飞机上，为飞机的下线和首飞做准备。LEAP发动机是CFM56的换代产品，相比CFM56-7BE发动机，它的研制目标是保持CFM56发动机的99.98%高派遣率，并减少15%的耗油率。到目前为止，LEAP系列发动机在全球市场大获全胜，市场份额占60%以上，已得到世界各地50多家航空公司约10000台发动机的订单。LEAP发动机为何一经推出，便能广受客户青睐？这主要得益于GE航空和斯奈克玛两家公司长期的技术积累、技术创新和大量的试验验证。

首先，在产品项目启动之前，两家公司就在材料、设计、制造、试验等方面大胆地引入新技术，并开展了大量技术成熟度提升及验证工作。比如，2005年就开展了三维气动设计，下一代低污染、低排放的TAPS燃烧室等研发工作。

其次，GE航空的技术创新除了自己持续投入外，许多资金来源于美国政府NASA和军用发动机客户，政府支持有力且聚焦，军民融合有效且彻底。例如，LEAP以及GE90和GEnx核心机技术就来源于七八十年代由NASA主持的E3发动机项目。

再次，在项目启动后开展了大量降低风险的专项试验、部件、核心机和整机试验验证工作。比如：在2011年进行了风扇叶片脱落台架试验；2012年进行了高压涡轮、燃烧室等部件和多轮的核心机试验验证工作；从2013年地面首次试车到2016年的三个客户的飞行适航验证总计将使用60台发动机，等等。

坚定遵循NPI研发流程

自成立以来，GE航空遵循科技创新规律的同时，根据过去四十年中积累的研制发动机的经验教训，于上世纪八十年代总结出并开始使用结构化的发动机产品研发流程，即新产品引入（New Product Introduction，NPI），在后续的产品研发中严格执行此流程，并对其持续更新优化。GE航空的NPI流程是GE公司秘而不宣的产品开发和项目管理的法宝，同时也推广到GE公司的所有业务部门，比如信息化系统的建立和人事管理流程的建立。

这里，NPI中的“产品”已变成一个广义的概念。使用NPI流程，有序均衡并行地开展各项活动，有效地降低了产品研发的成本，控制了产品研发的质量，并保证了产品研发进度。NPI流程综合考虑了人、财、物及其相互关系和产品的全生命周期，将一个复杂新产品引入所需的所有活动，包括开发产品的团队构架、成员职责、市场调研、商务分析、可行性论证、供应商选择、设计、制造、试验、适航认证、客户支持等，有逻辑地分解成十个阶段的工作。在每个阶段，都定义了相应的交付物和检查清单，并安排了相应的评审。

事实上，GE航空的NPI流程，除了上述介绍的十个阶段门要素外，还包括团队构架建立及运行、成员职责划分、技术和管理评审、工具四个其他要素。

一般来讲，整个团队由三支队伍组成：项目管理、系统工程和设计工程。项目管理团队负责新产品引入的商业成功，主要与市场和客户对接，管理经费，决定项目的方向。系统工程团队负责新产品引入的技术成功，包括发动机系统的定义、集成和适航认证，主要与客户技术线和适航当局对接，定义总体要求并分配总体要求，管控工程研发的所有活动。设计工程团队来自工程部或合作伙伴的各个工程技术专业，负责完成系统工程团队分配的任务，专心做研发工作。这三支队伍按照NPI流程并行协同有序地开展工作。每个阶段门技术评审由系统工程团队负责，管理评审由项目管理团队负责，评审的形式、内容、检查清单，风险分析及规避计划等都有详细的定义和标准模板。另外，根据项目顶层的NPI流程，发动机系统设计、集成和验证，部件和子系统的设计、制造和试验，各专业和各职能支持部门和专业都有相应对照的NPI子流程，而且只有下级评审通过了，才能举行阶段门的评审。

对国家研制商用航空发动机的建议

研发一款在市场上有竞争力、被客户接受并能给所有利益相关者都带来回报的商用航空发动机是一项挑战极大的系统工程。中国航空发动机工业要取得长足进展，可注意以下几点。

建立信心。随着中国综合国力的不断增强，工业基础的逐步完善，科技和管理体制的改革创新，人才队伍的不断成长和壮大，我们完全有可能在近期先做出一款符合民航局适航要求的航空发动机，然后以此为平台，通过持续投入，不断优化性能，锻炼队伍，强化和验证技术体系，提升管理水平，逐步追赶国际先进水平，最终研发出有市场竞争力的商用航空发动机。

团队合作。发动机研发的团队将包括国内、国外多层级多类别的公司、合作伙伴和供应商。共同目标和清晰分工，互相尊重和相互信任，利益和信息共享，统一流程和工具，真正实现军民融合，这些都是成功研制发动机的基础。在这个过程中，我们需要设计好团队构架，划分清职责，定义好权利，保护好各自的知识产权和分配好短期和长期利益，规范化沟通交流和团队运行机制。此外，要充分利用信息化技术手段，搭建和使用工程技术研发和项目管理协同的合作平台。

试验验证。商用航空发动机适航证的获取主要基于分析数据和试验数据的结果。这里的分析数据是指经过使用验证过的分析工具和方法得到的数据。鉴于我国是第一次研发商用航空发动机，必须要走过设计、制造、试验、失败再设计，反复修改和试验验证，直到发动机通过各项试验验证的摸索过程。目前，国内以满足军机发展需要的试验验证资源严重不足，已有及在建试验验证设施的军品任务安排已经完全饱和，试验技术能力也无法满足商用发动机研制需求，已经成为制约我国商用航空发动机产业快速发展的关键因素。为了加快形成我国商用发动机研制所需的核心能力，中航工业商发利用自身的商用发动机产业实体优势，通过积极引进国际一流资源，致力于规划建设具备国际竞争力的商用航空发动机试验验证体系。这项工作周期长、投入大、风险较高，但一旦建成，之于我国商用航空发动机产业发展的关键性意义是不言而喻的。

遵循规律。虚心学习GE航空和其他航空发动机公司研发发动机的最佳实践，从技术和管理两方面分析我们的优势和不足，用系统工程的方法制定切实可行的实施路径，持续不断地提升综合技术能力和管理水平。在技术上，采用结构化的方法将复杂技术问题进行条目化分解，对于成熟度低的技术，要用开放的态度，调动全社会的力量并吸引汇集全球的智慧，按照NPI流程逐项进行攻关。在管理上，学习并借鉴西方国家经过验证的技术管理和项目管理思路与方法，加强团队之间的合作及执行力，不断激励研发人员和团队的积极性，实施严格的过程管控，并坚持结果导向的考核机制。只有将研发发动机所需要的材料、设计、制造和试验方面的每项技术，与项目、质量、供应商管理等方面的管理成熟度提升到相应的水平，建立好工程技术体系和管理体系，才有可能真正开展自主研发商用航空发动机，并最终得到满足适航要求和商业成功的产品。

军事变革

世界新军事变革中的“中国浪潮”

□ 袁和平

纪念中国人民抗日战争暨世界反法西斯战争胜利七十周年阅兵式，展示了近年来中国特色新军事变革战略思想的重大转变。与以往阅兵不同的是，胜利日大阅兵的受阅装备方队首次按照作战体系模块化编组，分为地面突击、防空反导、海上攻击、战略打击、信息支援和后勤保障6个模块；空中梯队也以空域攻防的作战体系模块化编队受阅，首次把中国特色新军事变革的战略取向与强军目标和“能打仗、打胜仗”的根本要求相连接，与维护国家安全、拓展国家利益和巩固大国地位的需要相适应。这一重大转变具有特殊战略意义和现实意义。正如国内外许多媒体所指出的那样，以前的历次阅兵式都是以传统的陆海空编排，这次完全按照体系作战力量进行编组。表明体系力量作战装备相互融合，并已经成体系发展。中国特色新军事变革正在有条不紊地积极推进。

2013年发布的《中国武装力量的多样化运用》和2015年5月发布的《中国的军事战略》，这两份重要的国防白皮书将解放军的总体任务设定为：“以国家核心安全需求为导向，着眼建设信息化军队、打赢信息化战争，努力构建中国特色现代军事力量体系，不断提高军队应对多种安全威胁、完成多样化军事任务的能力。”正是在这样的框架下，人们把中国特色新军事变革的相关内容分解为“四个转变”：陆军按照机动作战、立体攻防的战略要求，实现以区域防卫型力量向全域机动型力量的转变；海军根据近海防御、远海护卫的战略要求，逐步实现由近海防御型力量向近海防御与远海护卫力量结合的转变；空军按照空天一体、攻防兼备的战略要求，实现由国土防空型力量向攻防兼备型力量的转变；第二炮兵则按照精干有效、核常兼备的战略要求，加快推进信息化转型。研读“四个转变”的核心内容，它的最终落脚点是打赢一场信息化条件下的高科技局部战争，以捍卫国家领土主权、统一和安全。

依据这些基本思路，解放军以海、空、（导）弹为重点，有针对性地积极推进武装力量的多样性发展。本次阅兵再度表明解放军在努力提高应对多种安全威胁、完成多样化军事任务能力方面向前迈出了一大步。从国防科技和武器装备创新研发的层面出发，过去五年间，中国第一艘按信息化标准改装的航母正式服役，舰载机战斗力的形成也进入了最后阶段。以新型驱逐舰和护卫舰为基干的护航编队多次驶往亚丁湾执行国际反海盗任务，提升了训练水平和远洋活动能力；新型攻击型潜艇和战略核潜艇进入常年战备巡航。完全自主创新开发的第三代战斗机大批交付部队，以两款型号研发的全新的第四代战斗机也进入了试飞和技术攻关阶段。新型战略导弹和多用途中程导弹在提升防御战略灵活性的同时，和战略核潜艇一起，使中国的二次核打击力量获得了更稳妥的确保。中段反导、反卫星和高超声速动能武器研发进入新阶段。

此次阅兵中，核威慑与系统转型装备参阅。“战略打击”方队中新型东风（DF）-5B的回归，同样引发了高度关注，背后也有着深远的意义。最早的东风（DF）-5是一种重型洲际导弹，其基本型最大射程9000多公里，可配备一枚重达3吨、爆炸当量高达500万吨TNT的热核弹头。后来随着技术改进，东风（DF）-5A将射程增加至14000公里，成为全球射程最远的洲际导弹之一。长期以来，国内外均认为东风（DF）-5、东风（DF）-5A导弹价值有限，因为它的体积重量过大，只能部署在陆基导弹发射井使用，而采用液体火箭发动机会导致其发射准备时间较长。这些都使东风（DF）-5、东风（DF）-5A生存能力显得太弱，没法抵御敌方的第一波核攻击，特别是在我国奉行不首先使用核武器政策的情况下。但战略环境在不断变化，东风（DF）-5导弹的价值在于其运载能力强，能够将重达3吨的物体投掷到1万多公里之外。于是我国对其继续进行改进，这就使多弹头的东风（DF）-5B获得新生。特别是在我国继续坚持不首先使用核武器的郑重承诺时境下，即便是在敌方第一波核攻击下只要有数枚东风（DF）-5B存活下来，就可以对敌方形成极强的核威慑。

与之相伴受阅的作为固体洲际战略核导弹的东风（DF）-31A，则具备了铁路机动和适时发射的能力。最受关注、技术也最先进的东风（DF）-31A是世界上射程最远的导弹，几乎可以投射至地球任一角落。它们在保障了中国二次核打击能力的同时，进一步降低了对敌核威慑的门槛，能够以最小规模的核武库达成最大限度的战略威慑目标。

行进于历史与未来之间，要继续以机械化信息化复合发展为国防和军队现代化建设的发展方向。要立足国情军情，积极推进中国特色军事变革。特别需要围绕这个战略目标，最大限度地发挥后发优势，提高我军信息化建设水平，坚定地走跨越式发展的道路。必须坚持打仗导向，加快研制高新武器。当前尤其要进一步加强航天技术和太空武器的建设，通过攻防兼备的航天系统，加强对空中、地面、海洋作战系统的信息支援，提高战场目标控制和远程精确打击能力，必要时还可以遂行空间作战。只有这样，我们才能走出被动追赶式的发展模式，缩小与军事强国的“军事技术差”，最终进入与发达国家同步发展的轨道。

习近平主席指出，创新始终是推动一个国家、一个民族向前发展的重要力量。正确认识创新驱动发展是适应新常态、引领新常态的迫切需求和根本要求。创新驱动是落实总体国家安全观的必然要求。国防科技工业要为国家安全提供更有效的战略威慑力量，就必须像过去搞“两弹一星一艇”那样抢占科学技术发展及应用的前沿和制高点，这就是历史给予我们的重要启示。



科学评论

屠呦呦：点燃中国科学家诺贝尔奖的火种



□ 陶　春

屠呦呦的名字朗朗上口，很好记住。她的科学成就是从青蒿中提取了一种物质叫作青蒿素，用于治疗疟疾，也很好记住。但大多数人知道这个名字却是在这个十一假期的后半段。10月5日，屠呦呦获得诺贝尔生理学或医学奖，国人为之振奋，科技界、教育界、中医药界、传媒界趋之若鹜，政界、商界也传递出极大的热情和兴奋，就连八九十岁的退休老者和七八岁的学童也都竖起大拇指，记住和赞扬这位退休的老太太。

笔者知道屠呦呦名字的时候是在2011年，那一年，屠呦呦获得国际医学领域最重要的奖项——拉斯克奖。当时拉斯克奖授予屠呦呦主要是基于三个方面的考虑：一是谁先把青蒿素带到“523项目组”（1967年在中国国家领导人的亲自过问下，中国开始集中全国力量进行抗疟疾研究，将项目命名为“523”项目）；二是谁提取出有100%抑制率的青蒿素；三是谁做了第一个临床实验。拉斯克奖特别注重科学发现的思维，认定屠呦呦是科学发现的原点。

集体成果是长期以来困扰中国科学家评价的一个问题。“523项目组”的研究聚集了中国60多家科研机构、超过500名科研人员，历时13年才取得了成功，成果无疑是集体的。屠呦呦在接受新华社记者采访时也强调成就是属于集体的，荣誉是集体的，“没有一个领域能够独立解决所有问题，各个方面都要配合，取长补短很重要”。

集体不排斥团队的成功，不排斥团队的核心。在集体中，谁是核心，谁的贡献最具有原创性、开创性。屠呦呦能够获得诺贝尔奖，无疑是国际学术界认可并证明了她在青蒿素发现中的原创性贡献。

在科学领域的原始创新是最为重要的。只有做出原创的工作，才可能受到最高荣誉的青睐。

诺贝尔化学奖委员会主席斯文·利丁曾经指出过诺奖的评判标准：当我们去看有大量人员参与的领域，通常情况下你都能追溯到一个起始点，那时只有有限的几个人……是他们点燃了火种。屠呦呦不仅点燃了青蒿素发现的火种，也点燃了中国科学家诺贝尔奖的火种。正因为在青蒿素研究中的原创性工作，才使得诺贝尔奖专家委员会认定屠呦呦的卓越贡献。

在科学领域具有重大贡献的人都是为人类发展有大使命大担当的科学家。科学研究的价值导向要为人类的未来而努力，这样才能获得大的成就。屠呦呦在获奖后坦言：“现在研究形势越来越好了，中国人应该在人类健康上多做努力。”荣誉就意味着责任，荣誉越多，责任越多。

屠呦呦和青蒿素能够被世界所关注，经历了一个复杂的过程，最早是1979年外宣刊物《中国建设》发表短文介绍青蒿素的研究，1985年美国《科学》杂志发表一篇关于青蒿素的综述文章，但对于关键的发现者时，都没有具名指出研究者是谁。在此后很长时间，青蒿素已在大量使用，其发现者是谁，一直都是模糊不清。2006年，美国国立卫生研究院的传染病专家路易斯·米勒则在寻找青蒿素的发现者，2011年，米勒在生命科学领域最具有影响力的期刊《细胞》上发表基于证据的调查结论：“我们的发现毫无疑问地显示最大功劳应该归属于屠呦呦。”

总之，青蒿素的发现，屠呦呦的获奖，又一次非常清晰地证明了在现代社会，中医药仍然有益于人类，仍然是很有潜力的宝藏。我们相信中国科技界已经取得了突飞猛进的成就，希望屠呦呦的获奖能够点燃中国科学家重大原创研究的火种，点燃青年学子探求真理、科技创新的火种。