

# 智能制造——航空制造业转型升级之路

(上接一版)工业和信息化部于2016年12月7日在南京正式发布了《智能制造发展规划(2016—2020年)》，提出了“两步走”的发展战略目标：到2020年，智能制造发展基础和支撑能力明显增强，传统制造业重点领域基本实现数字化制造，有条件、有基础的重点产业智能转型取得明显进展；到2025年，智能制造支撑体系基本建立，重点产业初步实现智能转型。

李克强总理曾说：“传统的‘Made in China’还要继续做，但中国制造业的核心应该是主打‘中国装备’。”这一战略思维在国务院2015年5月下发的纲领性文件《中国制造2025》中得到体现。“中国装备”占据了重要位置：高端装备制造工程作为五大工程之一被重点部署，航天航空装备作为十大领域的内容被重点推动。

航空工业领域是先进制造技术发展的重要领域，航空制造业作为国之重器，兼具高新技术产业和先进制造业的典型特征，是国家科技、经济、国防实力和工业化水平的重要标志。智能制造推进航空工业转型升级和创新发展的关键，对于我国高端装备制造业未来的发展将具有重大引领示范作用，是推动工业转型升级的强大引擎。航空武器装备结构复杂、零部件数量多、制造过程繁杂，所涉及材料、加工、装配等制造相关的各个环节，涵盖了大量的制造部门和制造装备，是一个庞大的系统工程。航空装备研制生产零部件结构复杂、协调性和尺寸精度要求高，在制造过程中常常涉及复杂型面和空间复杂结构，其制造过程工艺环节多、生产周期长，工艺设计、加工余量分配、工件定位、现场加工操作、质量状态监控、制造资源和物料配置等因素，都会影响到产品的质量和研制进度；另外航空企业生产组织管理复杂、具有多品种小批量生产等特点使得航空制造企业对制造系统的适应性、制造质量稳定性、产能提升等方面有着更加迫切的需求。航空工业经过多年发展，在信息化、数字化、自动化和网络化发展上取得了长足进步，产品定义实现了全三维无纸设计，在广域协同、数字化企业、生产制造执行与集成以及自动化装配等方面获得了应用经验，取得较大成绩。

## 顶层设计牵引，明确行动路线

为贯彻《中国制造2025》的要求，抢抓新一轮科技革命和产业变革的重大机遇，加快推进集团公司智能制造工作，集团公司成立了由有关主机厂、设计所相关专家组成的航空工业“智能制造”项目论证工作组，采用架构理论和方法，通过深入调研和科学分析，摸清现状，廓清迷雾，制定了《中国航空工业集团

公司智能制造架构(V1.0)》，明确了航空工业智能制造的总体架构与总体发展思路。

智能制造架构定义了航空工业智能制造的典型特征，从数字化、网络化、智能化出发解读了智能制造的核心要素，设计了包括企业联盟层、企业管理层、生产管理層和控制执行层的航空工业智能制造总架构和分层架构，明确统一规划、统一架构和统一标准的原则要求，为航空工业各成员单位开展智能制造项目工作提供了顶层设计指导。

为支撑架构的落地，明确行动路径，在《中国航空工业集团公司智能制造架构(V1.0)》的基础上，集团公司研究制定了《中国航空工业集团公司智能制造推进计划》，提出建立一个中心(航空工业智能制造创新中心)、突破三项关键技术(模型驱动的设计/制造/验证/服务技术、CPPS技术、基于云平台、智能控制技术等)、实施七项重点任务(基于模型的协同设计制造平台、智能生产管理系统和集成自动化系统、智能制造试点示范生产线、供应链和客户服务平台、智能制造规范及验证平台、智能工艺装备研发平台、工业机器人集成应用技术研发平台)，给出了需求导向、顶层规划、示范带动和整体推动的发展思路，明确2020年和2025年的智能制造发展目标。

## 两化深度融合，研制模式转型

2013年5月15日，工信部作出正式批复，依托中国航空工业集团设立国家级“信息化和工业化深度融合创新体验中心”和“信息化和工业化深度融合工业软件研发基地”，创新体验中心旨在落实航空工业两化融合提升工程，推动先进装备制造两化融合解决方案开发和产品的发展应用，形成面向全国制造业两化深度融合的示范和带动作用。运用基于模型的定义技术，实现全三维数字表达和全局数字量传递，大型飞机数百万零部件均采用MBD技术表达；运用基于模型的系统工程，进行复杂系统功能、逻辑和物理的自顶向下的分解以及自底向上的综合模型验证，形成新一代复杂航空产品创新设计能力；新型号的工程与制造设计技术已与国际领先航空与防务企业同步。运用虚拟仿真试验替代传统风洞、强度、结构等物理试验过程，加速了在数字空间对产品的快速迭代，型号研制周期普遍缩短为原先型号的三分之一。已建立成熟的跨地域、多厂所、多项目并行协同研制环境，重点型号开发流程和体系实现串行工作向区域协同、能力协同的转变。

近年来，航空工业在“工程与制造”领域里大力推进基于模型的系统工程，系统工程方法从局部试点到体系推进，

从2013年的3家单位发展到2016年的42家单位，并在多个机型研制中得到应用，覆盖从系统之系统到系统、子系统、组件，航空武器装备创新开发能力大幅提升，模型驱动的先研飞机研发模式逐渐形成。国际系统工程师培训人数已达810人，其中11人取得国际系统工程师认证，航空工业系统工程的推进在国际、国内影响力与日俱增。

在“组织与管理”领域，2014年集团公司启动AOS流程体系建设，引进国际先进管理方法论，着力构建“架构—模型—流程—IT—标准”为一体的业务流程管理体系。纵向上，AOS流程体系向上开展企业架构和业务模型，向下衍生IT执行系统，是战略、业务和IT实现一致性的关键所在；横向上，AOS流程体系集成质量、风险、人力、财务等各种管理要素，融合多种管理方法和工具，增强管理的协同性，是提升集团核心能力的关键所在。AOS流程体系建设的基本出发点就是要通过业务流程把隔阂的组织贯通起来，通过流程明晰企业创造价值的逻辑。AOS流程体系通过对业务流程的建模、仿真和优化，构建航空制造业智能化的基础平台，并将例行的业务流程结构化、规范化和自动化，让员工从繁杂的例行工作中解放出来，把精力集中在增值和创新等方面的工作。

大部分航空主机制造厂通过逐步开展以企业资源计划(ERP)和制造执行系统(MES)为核心的信息化平台建设，提高了精益化水平，创建了以移动生产线和优异中心全局协同为代表的新型制造模式。部分航空制造企业已经开始应用3D打印、复杂结构件数控加工等由模型直接驱动智能设备制造技术，取得了较好的工程应用效果。工业机器人广泛应用于制孔、铆接、喷涂、密封、复材铺敷、无损探伤、切割、检测等工业领域。部分领先的航空制造企业数字化管控模式已从制造现场向组织管理全局延伸，带动计划流、物流、信息流、资金流的全面集成，支撑生产精益化和交付质量的提升。通过精细的计划安排、精准的执行管控、实时的状态反馈，让装备的一举一动、数据的动态变化，在虚拟环境中得到实时监控，实现生产全过程可视、可监控、可协调，飞机装配配套准确率达到了99%以上，周期缩短60%。

## 成立创新中心，开展技术验证

航空工业依托航空工业制造所和信息技术中心成立智能制造创新中心工作，开展智能制造架构设计、发展规划、技术体系建设、关键共性技术研究和验证、试点示范项目的筛选和推

荐、解决方案开发、技术交流、国际合作和培训、服务实施以及最佳实践模式的总结、提炼与推广。

基于工业互联网开展智能互联和监测是实施智能制造的基础手段之一。智能制造创新中心开展与国外先进供应商PTC(美国参数技术公司)和GE(美国通用电气公司)的技术合作，就智能互联和监测方面的技术体系和技术平台进行了深入研究。基于航空工业制造所某生产车间建立智能互联和监测的技术验证工作，解决了异构异类设备互联的技术难关，为构建CPPS环境做出了成功的探索，并为后期形成智能制造的体验验证环境提供了基础。

开展工业机器人集成应用技术研发平台建设，围绕提升工业机器人在航空产品制造中的应用水平，针对航空产品制造中特有的自动钻铆、激光焊接、搅拌摩擦焊接等加工工序，突破了针对工艺需求的末端执行器设计技术、针对工艺需求的柔性工装技术、加工运动轨迹规划与仿真技术、加工状态检测与监控技术、加工过程智能分析与决策方法、面向应用场景的机器人系统集成技术等关键技术。建立工业机器人技术验证平台，提升技术成熟度，形成工业机器人成套系统的技术研发能力，为航空工业整体推进工业机器人的应用提供技术支撑的同时，带动国产工业机器人的发展。

## 试点示范推进，形成最佳实践

航空工业针对航空行业典型装备，积极组织参与国家级智能制造试点示范和智能制造专项的项目建设，申报成功了直升机旋翼系统制造智能车间试点示范、航空数字化车间关键应用标准研究及试验验证平台、行业信息物理系统测试验证解决方案应用推广等20余项智能制造专项。

这些项目既包括了针对飞机研制生产需求的产品总装、关键零部件试制和生产的项目，也陆续开展了基础理论研究、工艺技术攻关和标准化技术基础研究等多个方向的研究类项目。目前各项目工作正在按计划开展，促进了整个集团智能制造水平的有效提升。通过推广试点示范企业，有效形成上下联动的态势，调动和发挥更多地区、更多厂所的智慧力量，合力构建航空工业智能制造的良好局面。

成飞公司为解决复杂飞机结构件自动化加工关键核心技术及提升设备利用率，提高飞机结构件批次生产效率，实现数控制造过程与数字化制造环境的深度融合，建成了以高精度立卧

转换机床为基础的柔性自动化生产线及飞机结构件数字化车间，形成了由机外集中装卸、线内物流自动运输、零件无人干预加工、管理驾驶舱及智能管控中心共同组建的柔性线自动化生产模式。通过对车间制造过程实时运行状态的动态感知，并对获取的运行状态数据进行实时分析及自主决策，达到对设备运行状态、生产线管控动态调整的目的，实现了飞机结构件数控制造生产管控、作业调度、现场管理及制造资源管理等全要素的智能管控。通过柔性生产线的实际运行，实现了飞机结构件完全无人干预加工模式，生产效率、产品质量得到大幅提高，柔性生产线机床利用率达到85%，为飞机结构件实施柔性自动化生产线提供了典型案例。

昌飞公司为解决直升机旋翼系统核心制造技术并提升批产配套能力，建设了以动部件机加及装配、复材桨叶为专业化生产的旋翼系统智能制造车间，构建由动部件关键零件机加生产线、复材桨叶生产线、旋翼系统装配生产线、自动仓储及物流系统、生产运行智能管控系统等组成的生产环境。建立具有自适应加工、物料与工件自动识别、机器人装卸与自动对接装配、制造过程动态调度、运行管理与现场控制集成等典型功能的直升机旋翼系统智能车间，形成具有“状态感知、实时分析、自主决策、精准执行”特征，以数据驱动、交互识别、自主决策为核心的智能制造体系。通过实际运行，产品质量和生产效率得到显著提高，成功解决了旋翼系统生产配套的迫切需求，并在智能制造车间的建设与实施方面摸索出一套典型的经验案例。

中国航空制造技术研究院联合信息技术中心、成飞等单位，针对航空制造业的特点，正在开展CPS技术与应用验证工作。通过搭建面向行业的共性技术平台，探索典型的应用模式和规范，形成面向行业的CPS架构，构建机加生产线、装配生产线和机器人集成应用平台等智能制造系统，进行CPS测试验证，形成行业典型应用解决方案并进行推广和应用，提升航空产品的研制能力和产品质量。

惟其艰难，更显勇毅；惟其磨砺，始得玉成。与国际先进航空制造业相比，航空工业的智能制造水平尚有一定差距，存在整体水平不高、发展不均衡、部分领域存在短板、关键核心技术有待突破、高端装备对外依存度高的突出问题。航空工业必须牢牢抓住新一轮科技革命和产业变革与我

国加快转变经济

发展方式形成的历史性交汇战略机遇，形成以新一代信息技术为支撑、以架构为牵引的两化融合新体系，实现由综合集成向协同与创新的整体跃升，抢占新一轮产业竞争制高点，重塑航空工业竞争新优势。

依据航空工业智能制造架构，面向企业联盟、企业管理、生产管理和控制执行等四个层面建立具有“动态感知、实时分析、自主决策、精准执行”特征的智能制造系统，打通产品研制生产的设计、制造、试验和管理智能处理流程，形成航空工业全局推进和协同发展的制造新模式，建成一批具有国际先进水平的智能企业，智能制造水平和整体能力位居全国制造业领先地位。

到2020年，突破智能制造相关的部件、软件和系统等关键技术，研制开发一批具有智能化、网络化、嵌入式等工业CPS特征的智能系统和装备，并在相关企业分类开展试点示范，实现典型研制生产过程的数字化分析、网络化连通和智能化决策，试点项目显著缩短产品制造周期、降低产品不良率、提高设备(资源)利用率。在重点单位实施的智能制造试点示范项目中，实现产品研制周期缩短30%，研制成本降低30%，产品不良品率降低30%，设备利用率提高30%，专用工装数量减少30%。

到2025年，全集团航空产品研制生产基本实现智能化，重点企业全面建立智能制造新模式，并向一般企业推广，实现航空产品研制生产从模型空间到物理空间的全面连通和智能处理，制造周期和产品不良率大幅降低，设备利用率大幅提高。基本实现产品研制周期缩短50%，研制成本降低50%，产品不良品率降低50%的目标。

察势者智，驭势者赢。未来，航空工业将“稳打稳扎”逐步深入，“整队出击”形成合力，持续提升、创新驱动集团公司先进科技与制造能力，成为推动工业转型升级的强大引擎，成为中国两化融合、智能制造的排头兵。

(航空工业科技部供稿)

## 1 中国航发 壹周年

| 本报通讯员 田晔

2017年7月30日，在朱日和基地的蓝天碧空中，一百余架战机先后呼啸着划过，展示着我国国防军队现代化建设的最新成就。震耳欲聋的轰鸣声由远及近，由中国航发研制、生产、改装与保障的七大系列发动机、三型辅助动力装置、两型燃气涡轮起动机与两型传动系统全力运转，为中国人民解放军90周年华诞献礼。

质量，是中国航发圆满完成阅兵任务的重要支撑。从一颗螺栓、一个叶片到一台发动机，如果没有过硬的产品质量，再先进的设计理念和技术都是空谈，我国先进武器装备的发展将受到严重制约；没有过硬的产品质量，就无法保证飞行员的生命安全，更无法满足国防军队现代化建设的基本要求。

面对新形势下国防军事装备发展，习近平总书记提出，要贯彻质量就是生命、质量就是胜算的理念，为军工企业特别是高端装备制造企业指明了根本遵循。承载“动力强军、科技报国”的使命，中国航发成立之初，就明确将“质量制胜”作为集团发展战略之一。“航空发动机的质量和可靠性直接关系到飞行安全，关系到部队的战斗力。”集团党组书记、董事长曹建国强调，质量是航空发动机的生命之魂，要高度重视质量工作，持续提升产品质量。

时钟拨回到一年前。2016年8月，正是北京最燥热的时候。在中国航发首次战略研讨会上，100多位行业领导、专家共聚一堂，热烈探讨集团未来的发展蓝图。在600多条意见中，“质量”一词频繁出现，成为研讨热词之一。彼时，“质量制胜”战略刚刚发布，战略如何落地、质量提升工作怎么开展是他们最为关心的问题。这种关切，

# 用质量筑牢动力强军的生命线 ——中国航发成立一周年系列报道之质量制胜

源于装备发展技术水平高要求与目前产品质量之间的差距，质量形势十分严峻。

质量之路怎么走？中国航发提出，要践行“保质量就是保动力、保生命、保发展”的质量价值观，弘扬“严谨细致、精益求精”的作风，将“一次把事情做对”作为质量工作的行为准则。

航空发动机从设计研发到生产制造要经过反复迭代，不断试验，研制成本高、研发周期长、风险大。有人说，中国航空发动机产业从测绘仿制走向自主研发，筚路蓝缕六十余载，是在“不断试错”中艰难前行。如今，要赶超世界先进，唯有“一次把事情做对”，才能有效缩短研制周期，在竞争中抢占先机。

一次做对一次成功，要在科研生产、经营管理的方方面面都保证质量，这需要完整、规范的制度支撑，需要科学、高效的方法管控，更需要全员参与、深植质量意识的文化氛围。

心中有数，还需脚下有路。集团成立两个月后，陆续编发《质量管理规定》《质量问题处理管理办法》等6项规定，按集团主管、厂所主体、型号主线的层级分工，明确职责、梳理流程，做到质量工作“有法可依，有法必依”，全力推进依法治质。为推动规范制度落实，一年来，集团编制修订24份质量管理规范，以促进行业质量管理要求统一，解决标准细化落地不足、控制要求弱化的问题，并组织规范贯彻情况督导检查；各单位贯彻规范制度和规范，结合自身特点，编制修订了900余份制度及规范文件。以制度为约束，促进质量管理制度化、规范化，从而推动全面构建起质量管理体系长效机制。

以制度为基础，集团将实施质量综合提升工程、强基工程质量与可靠

性专项行动列入“十三五”发展规划，优化和创新质量管理模式，提高质量控制和保证能力。“我们的工作要着眼于质量，出发于质量，最终的成果也要体现于质量。”集团总经理、党组书记李方勇提出，要坚持问题导向，加强质量过程管控，将质量要求贯穿各个体系建设中。

过去，制造厂将试车成功率作为检验指标之一，把发动机总装完成后试车全过程的总次数作为分母计算成功率，在一定程度上反映了产品试车的相关情况；现在，增加了一次试车合格率统计监控，更加真实、严谨地反映出试车阶段的一次成功率。考核指标的改变，意味着要在研制、生产、试验的全过程严把质量关，真正考验全过程的质量控制，检验一次把事情做对的能力。

在强化考核指标监控的同时，集团大力推进“双五归零”方法应用，既要促进质量问题的解决，又要杜绝问题的重复发生，强化彻底解决问题的观念；开展“双想”“自检自纠”“不合格品管控”等活动，推进质量管理重心前移，将以“事后救火”为主的思路转变为“事前预防”，着力消除质量隐患，提升过程控制能力；完善质量信息管理系统，提升质量问题处理的规范性，督导问题处理的效率效果；将质量管理要求融入研发、生产、服务及供应商管理等过程，促进实现全过程、全要素的质量保证。

鼓舞人心的消息频频传来：集团上半年科研生产任务完成良好，部分型号大修及批产实现“时间过半、任务过半”；多型号一次试车合格率、试车成功率均好于年度控制目标，部分重点型号试车成功率同比提升；重点型号批生产交付周期大幅缩短。

然而，质量改进并非朝夕之事，需要久久为功，要坚持正确的价值引

领，持之以恒地走下去。“质量工作，需要人人参与、人人尽责，需要常抓不懈、持之以恒，经常抓、抓经常。”曹建国表示，质量工作是长期性工作，要全员参与、持续改进。

从全国“质量月”到中国航发首次“质量周”，从专项质量活动到日常质量管理，集团的质量文化建设工作抓得有特点、接地气、长效力。一把手带头履行质量责任，“三准”原则落实质量职责，质量培训、质量竞赛、质量自查自纠等活动提高群众参与度，质量文化手册培育和规范质量共识……通过质量文化氛围的营造，将文化“软实力”转变为质量保证的“硬功夫”。这其中，党建工作与质量工作深度融合亮点突出，2016年，集团组织开展“质量双放心”活动，将党建工作考核与质量成效指标结合，充分调动广大党员的工作热情。2017年，为进一步发挥各级党组织、党员在“质量周”活动中的主导和先锋模范作用，集团开展“质量双一”活动，一个月的时间里，共有2万余名党员参与活动，梳理出的相应整改措施达2万余条。这些“热腾腾”的建议和措施第一时间应用于一线，产品与工作质量显著提升。党支部的战斗堡垒作用和党员的先锋模范作用得到充分发挥，以星火燎原之势助力形成全员质量意识的良好氛围。

一年来，集团深入贯彻“质量制胜”战略，强化制度落实，狠抓过程管控，扎实推进各项管理工作，质量安全形势总体趋稳，研制、生产、试验、维修及服务等多方面指标有明显改善，更重要的是，从被动解决到主动预防，从监督考核到自查自纠，观念转变正推进质量意识的深化。向质量时代迈进的嘹亮号角已吹响，中国航发用质量筑牢动力强军的生命线，奏响质量时代的有力和声。

## 中国航空工业 质量提升之路

# 六西格玛持续改进管理模式的应用

| 本报通讯员 李洲涛

作为各单位年度质量绩效评价输入，保证了六西格玛项目的有效完成。

成飞六西格玛项目以支持公司战略目标实现和顾客满意的改善为目标，围绕公司质量方针、目标，针对科研生产现场各环节存在的问题，实施过程质量改进。在项目选择上遵循的原则是：根据卓越绩效评价中发现的改进机会，确定改进项目的方向；根据公司或部门的平衡计分卡中的指标弱项确定改进项目的方向；根据内外顾客的声音的分析，确定主要的改进方向；通过竞争对比和水平对比，找出存在的差距或薄弱环节，确定改进的方向。

确定实施六西格玛管理以来，公司连续6年顾客满意度均达到满意水平。零件准时完成率和准时配套率均有较大提升，公司产值逐年增长，内外部损失不断减少，实施六西格玛改进带来的收益显著。

近年来，公司为六西格玛的实施建立了基础架构，通过营造氛围、制定规划、倡导项目、身体力行来组织和鼓励员工参与六西格玛项目。六西格玛管理将系统的培训体系和六西格玛改进项目结合起来，将个人学习、绩效改进和组织学习有效融合，促进员工职业发展、能力提升和组织业务绩效指标改进。同时，公司内部自上而下，普遍树立基于数据与事实的管理理念，强调一切以数据和事实说话，应用统计方法进行数据测量和分析，将六西格玛项目植根于业务流程改进，并搭建六西格玛项目成果共享平台，进一步促进了六西格玛知识在企业内部的传播与渗透。公司倡导的六西格玛管理，面向生产制造、经营管理领域等业务流程，将管理工具与业务流程有效融合，对核心过程和关键支持过程进行了设计或改进，使过程绩效取得优化或突破性提升，为顾客和相关方创造价值，增强了企业的核心竞争优势。

航空工业成飞作为飞机主机制造、装配单位以及民用航空产品转包项目零部件重要制造商，为国防建设和国民经济发展做出了重要贡献。目前，军民机处于转型升级的关键时期，顾客期望不断提高，市场竞争愈发激烈，成飞亟需提升自身综合能力，以更高效的管理、更好的质量、更低的成本、更快的响应速度、更优质的服务赢得先机。为此，寻找科学、高效的质量改进方法成为成飞的一项重要需求。在这种情况下，被全世界企业、特别是众多《财富》500强企业所关注和接受的六西格玛，进入了成飞相关人员的视野，公司决定全面推进六西格玛管理。

成飞紧密结合顾客需求、国家产业转型升级结构调整、产业政策、航空工业集团专业化发展战略，同时对标国际标杆企业，从六西格玛管理推进工作出发，运用SWOT决策分析、关键因素分析方法，制定了六西格玛战略，以流程为主线、车间评价为手段、精益管理方法为支撑，持续提升公司核心流程能力。

公司成立六西格玛管理推进领导小组，负责精益六西格玛管理统筹推进，解决精益六西格玛管理在推进过程中的重大问题，并提供资源保障，负责精益六西格玛管理总体策划与推进，组织专家团队梳理与分解公司级精益六西格玛项目，并对公司级项目的实施进行跟踪、检查。

公司制订了《六西格玛项目管理程序》，管理程序明确了管理职责、项目申报、项目实施计划等内容，使六西格玛改进工作系统并规范地开展。同时公司还制定了《六西格玛方法应用的质量改进项目有效性评价办法》，对六西格玛项目的实施效果进行评价。总体评价结果