



## 航空工业昌飞 MBD实施技术取得重大进展

航空工业昌飞 吴雨华 白雪梅

2010年，航空工业昌飞在AC392型号上首次应用MBD技术，通过不断的探索、研究，克服重重困难，近年来，实现了基于MBD技术的制造方式的转变，构建基于MBD技术协同数据管理平台，搭建基于MBD的装配工艺仿真平台，实现生产现场的可视化应用，总结编制了基于MBD的研制规范，建立了基于MBD技术的研制模式，实现了昌飞公司的数字化制造的跨越。

MBD (Model Based Definition, 基于模型的定义) 技术是波音公司推行的新一代产品定义方法，其核心理念就是把设计、制造、检验及维护维修等产品生命周期内所有信息都集成在产品的三维数模中，彻底摆脱传统的二维图设计生产模式。MBD是三维实体模型作为生产制造过程的唯一依据，改变了传统以二维工程图为主要制造依据、三维实体模型作为参考依据的制造方法。因此MBD技术不仅能实现全机100%数字化产品定义、100%三维数字化预装配技术、100%数字化产品工装设计，不再需要生成和维护二维工程图样，而且对企业管理及设计下游的活动，包括工艺规划设计、车间生产应用等都产生重大影响，带来了数字化制造技术的重大变革，真正开启了三维数字化制造时代。

### 构建基于MBD技术协同数据管理平台

基于MBD技术，设计全部采用三维设计图样，设计图样的发放由原来的二维蓝图转变成MBD模型。针对MBD技术数据的发放特点，需迫切建立基于MBD的数据发放传递通道，实现研制过程与数据的协调、统一。早几年前，国内航空企业大部分是厂所分离体制，各参研厂所只能通过金网信息平台进行简单的数据交换，还无法实现并行协同研制，不能满足实现三维模型集成产品周期内信息交换的要求。为此，昌飞公司通过一系列举措，探索了MBD技术的数据管理之路。

为了实现这一目标，昌飞公司在工厂建立产品设计环境(VPM系统)实现并行协同研制，利用VPM系统、LCA电子审签系统，实现了零件、ECO单的异地电子审签字，组、部件审签从VPM系统中提取

整套数据进行审签；另外，昌飞公司通过VPM数据镜像的方式，获取设计所MBD数据，再导入昌飞制造系统中，实现设计数据和制造数据的统一。

同时，还在EBOM基础上构建了PBOM；以PBOM为依据，按部件下达试制计划。依据试制计划在条码生产系统中下达生产计划，与其他型号一并管理。要求各车间按试制计划进行工艺准备。工艺准备在昌飞公司制造数据管理系统中进行，并由工艺准备管理软件进行跟踪考核。在构建PBOM的同时进行装配单元划分，并将装配方案在MBOM中体现。MBOM在研制过程中可动态进行调整，在工艺准备过程中产生的文档均挂接到MBOM中。文件的有效性依靠MBOM来进行组织。为每一个零组件建立一个轻量化模型，满足零件加工、装配、检验对信息的需要，轻量化模型保留必要的标注信息，主要为尺寸信息、公差信息、基准信息。

### 数字化装配工艺仿真和现场可视化应用

为了减少或避免依据工艺工程师个人经验引发的各种工艺设计错误，或工艺设计不合理的情况而导致实际装配过程中引起装配工艺与工装的再调整，保证直升机研制工作的顺利开展，昌飞公司进行了深入的探索，开展三维数字化装配工艺仿真，在产品实际(实物)装配之前的装配工艺、工装设计过程中，及时的发现产品设计、工艺设计、装配设计存在的问题，保证了结构的合理性与工艺的可行性，从而保证了产品的装配质量。通过开发三维CAPP系统，将三维产品工程数据、三维工装资源数据、操作过程工艺图解和操作动画组织起来，编制基于MBD的三维仿真工艺指令，通过在装配车间的各装配工位铺设网络，架设生产现场数字化应用终端设备，将三维装配指令传递到装配车间操作现场，在数字化环境中指导工人进行飞机的装配工作。

MBD技术是对传统制造方式的一次变革，为满足MBD技术的研制需求，昌飞公司通过对MBD技术进行研究应用，建立了完善的MBD技术研制标准体系规范，涵盖从工艺设计、工装设计、工装备制造、零件、装配、检验等全制造过程的MBD工艺规范。

## 瞄准智能制造 不断提升体系能力

——上电所生产制造系统发展实践

航空工业上电所 刘建中

生产制造是通过整合相关的生产资源，按预定目标进行系统性的从前端设计到产品实现的物化过程，是企业创造经济效益和实现自主创新能力的核心环节。伴随着航空武器装备产品的复杂程度日益加深，用户对于产品的制造周期和可靠性的要求也在不断提高，这就对广大航空科研生产单位提出了更加严峻的考验。多年以来，上电所生产制造系统始终坚持以完善体系能力为抓手，以产品研制和生产交付为目标，通过不懈努力实现了生产制造能力的大幅提升，有效支撑了企业的持续健康发展。

### 正视挑战，不断提升生产制造体系能力

优化生产计划管理，完善生产组织管理模型。依据航空电子设备系统设计验证、产品研制交付的特点，针对性地构建了一套敏捷、高效的生产组织方式，形成了主生产计划、二级生产任务计划、三级工序作业计划的计划模型，覆盖了从外部订单输入、物料需求分析、现场物料配套、现场加工制作全过程，确保了整个生产制造系统在统一协调指挥下高效完成各项科研试制、批产交付等任务。

聚焦研制生产周期，完善工程制造技术体系。为了全面提升体系能力，

补充能力短板，上电所不断完善工程制造技术体系，覆盖了生产制造的质量、设计、工艺和设备四大领域，并形成了各自的顶层规范和程序文件，从而加强了各自的生产制造过程中的质量管理、设计指导、工艺要求和设备维护，保证了整个产品研制和生产过程的规范。

依据业务发展需求，加强加工能力中心建设。在机械加工中心形成了车、铣、刨、数控、线切割、钳等各类工序能力，建设了数字化的加工生产线；在电子装配中心形成了模块焊接、电缆加工、机箱布线、三防涂覆等各项能力，建设了自动化的表面贴装生产线、插件焊接生产线和三防涂覆生产线；在产品集成测试中心形成了模块测调、整机装配、整机测试、系统测试等各项能力，建设了专业模块测试单元、整机装配单元、整机测试生产线和系统测试生产线。构建了较强的航空电子产品机械加工能力、电子装配能力和产品集成测试能力。

### 瞄准未来，积极探索智能制造发展道路

尽管上电所生产制造体系能力实现了有效的提升，基本满足了当前航空电子产品研制的需要，但随着企业内外部环境的不变化，生产制造系统依然面临着巨大挑战：一是随着“十三五”期间型号研制任务不断加重，如何高效完成各项科研和批产交付任务，现有的

管理模型是否能够适应发展需求，需要作进一步的评估和改进；二是随着业务的不断拓展，如何提升生产技术满足新产品的需求，如何协同设计进行一体化设计生产过程，不断提高过程能力，需要更深层次的思考；三是随着德国工业4.0和“中国制造2025”的提出，结合未来生产制造的产业化发展需求，如何实现生产制造过程的智能化已经成为企业必须面对的一个重要课题。

未来上电所生产制造系统将在工业4.0和中国制造2025的大背景下，结合集团公司AOS运营体系，对标国际、国内同行业标杆企业，以问题为导向，用架构治理思维提升体系能力，并将在以下几个方面重点改进：

1. 持续开展流程优化，提升生产运营管理水平。生产制造整体运营过程中需要应用5M1E分析法，对过程所涉及的计划、组织、实施和控制等环节进行流程优化，消除流程中不增值的环节，提升生产管理的效率，并通过信息化技术能力将整个运营过程的各个环节显性化，采集各个运营点的运营数据，最后利用大数据分析能力对历史运营数据进行分析，为后续决策提供支撑以及为后续改进提供方向。

2. 引入基于模型的数字化生产制造技术，提升新产品导入能力。未来市场的竞争是产品的全生命周期的竞争，为了提升企业的核心竞争力，生产制造必须引入智能制造的思想，实现整个

生产过程的数字化和自动化，在新产品导入时重点关注产品可制造性的协同设计，实现设计模型的前后端快速传递，以及加工模型和数据的上下传递，从而达到产品实现维度全生命周期的自动化、数字化和模型化，保证产品整个生产制造过程的过程控制，缩短研制生产周期、提升产品加工质量。

3. 持续推进生产制造的精益生产，加快生产作业标准化和单元化，提升生产效率。运用精益生产理念，对生产制造过程中的工艺路线、物流流转、生产组织方式、质量管理等业务流程进行分析，运用六西格玛管理思想，实现产品实现过程中的工艺标准化、作业标准化、加工环节的精益单元化、物料配送的规范化，通过不断的PDCA循环过程实现生产制造加工能力的螺旋式上升，满足战略发展需求。

4. 借力“中国制造2025”，结合行业优势，引领行业生产制造的发展。作为高新技术企业的生产制造单元，需要结合自身在航空电子装备的行业优势，充分参与行业各项标准和规范的研究和制定，积累雄厚的技术存储和人才储备，引领航空电子生产制造技术发展，加快航空电子生产制造的产业布局。

历史给予了我们新的机遇，我们应该牢牢抓住“中国制造2025”的脉搏，用务实的创新和实践不断推动生产制造的快速发展，为祖国的航空事业做出应有的贡献。

## 技术、发展、创新、引领——航空工业复材自动铺丝技术

航空工业复材 郑广强

复合材料具有重量轻、高强度、高模量、结构功能一体化和设计制造一体化等优点，尤其是碳纤维增强复合材料的应用，可有效减轻飞机结构重量、提高飞机的可靠性。随着材料技术和自动化制造技术的日趋成熟，复合材料在飞机上的应用突飞猛进，应用范围越来越广，用量越来越大，以波音787和空客A350为代表的大型客机复合材料用量已经占到飞机结构重量的50%，整个机身、机翼结构几乎全部采用了碳纤维复合材料，航空复合材料时代已经来临。

### 自动铺丝，功不可没

复合材料用量的大幅提升离不开自动化制造技术的强力支撑，尤其是自动铺带技术和自动铺丝技术。自动铺带技术解决了飞机小曲率机翼、尾翼等翼面类结构的制造问题，将飞机的复合材料用量提升到结构重量的25%左右；自动铺丝技术解决了大曲率机头、中机身、后机身等复杂机身结构的制造问题，将飞机的复合材料用量提升到机体结构重量的50%左右。自动铺放制造技术不仅能有效降低生产成本、提高生产效率，而且可以对铺放工艺参数进行精确控制，铺放程序一旦固化，便可重复操作，保证了复合材料构件质量的可靠性和稳定性，经济效益显著。

自动铺丝技术近年来发展迅猛，其工艺原理是由铺丝头将多束预浸丝束在柔性压辊下集束成带后，按照计算机规划的路径进行铺放。预浸丝束窄带在铺放过程可实现单独控制、并可进行转弯，具有较强的曲面适应能力，不仅可以铺放凹面、凸面，还可以实现开口、补强等变厚铺层，纤维角度偏差更小，生产效率更高。民航

方面波音787、A350的机身结构已全部采用自动铺放技术进行制造。军机方面F-22、F-35飞机的翼身融合体、进气道等大曲率复合材料零件，已采用该技术进行生产。高端的自动铺丝设备是国外军机制造的重要专用装备，具有重要的战略意义。

### 审时度势，大器终成

没有自动铺丝技术，我们很难造出像波音787那样的大型宽体客机，也很难完成F-35那样完美的S形进气道。正是看到此类专用装备的重要性及战略意义，结合前期的技术储备，2015年，航空工业制造院、复材公司联合国内的科研力量，集智攻关，共同开发大型龙门铺丝装备，突破了多轴联动控制技术、大跨度轻质高刚性横梁结构设计及制造、曲面铺放路径规划及仿真技术等关键技术，研制了国内首台工程化应用级别的大型自动铺丝设备。设备X向行程30米，Y向行程6.5米，能实现最多32束预浸丝束的高效铺放。该设备是国内目前唯一可以完成大尺寸复合材料机身壁板研制的高端专用装备，为我国大型飞机的研制提供了强力技术保障。

### 工艺配套，材料先行

自动铺丝工艺的应用还离不开另外一个重要因素，铺丝材料。自动铺丝技术所用的材料是宽度为3.2mm、6.35mm、12.7mm等宽度不等的纤维窄带，窄带的宽度精度要求达到±0.125mm的偏差，这种精度偏差对于软材料来说很难实现。航空工业复材通过大量的技术调研和工艺试验，制定了采用精密分切工艺制备预浸丝束的工艺方案。该方法通过分切宽幅预浸料，制备长度连续的预浸丝束。利用该方法所制备的预浸丝粘性、宽

度均匀性等技术指标完全满足自动铺丝工艺要求。目前，航空工业复材已经完成了多种牌号的预浸丝束的制备，并开展了工艺验证和应用研究。

### 牛刀初试，不辱使命

2017年初，伴随着旧历新年的脚步，某机身壁板试验件在航空工业复

材成功下线。该件为民机机身曲板典型结构，蒙皮采用自动铺丝技术，筋条采用自动铺带技术，是目前国内制造的最大尺寸的自动铺丝复合材料结构，凝聚了航空工业复材各个专业的集体智慧。从材料的工艺适用性研究、到自动化成型工艺方案的制定、再到壁板蒙皮的高效铺放、超声无损检测

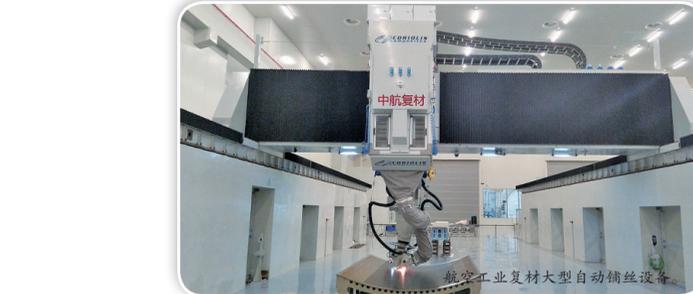
技术，充分展示了航空工业复材在大中型飞机复材构件制造领域的雄厚实力。航空工业复材铺丝团队作为该项目的生力军，承担了该复材构件的自动铺丝工作，并高质量地完成了此项重任。航空工业复材铺丝团队从材料的工艺适用性、设备的结构适用性、铺丝轨迹规划等多个方向开展攻关，并结合前期的技术积累，最终突破了变厚结构铺丝轨迹规划、铺丝路径优化、工艺参数优化等多项关键技术，实现了制件的高质量高效率铺放。

航空工业复材铺丝团队针对国内外铺丝材料开展了铺丝工艺适用性研究，针对材料的表面粘性、丝束浸润性、悬垂性、丝束宽度测量、边缘切割质量、接头搭接特性等关键技术要点进行了大量的工艺试验和验证，确定了自动铺丝材料的工艺适用性评价准则。针对铺丝装备，开展了设备的结构适用性研究：

包括适应的制件的曲率半径、可实现的台阶和下陷结构、最短纤维、转弯半径特性、端头定位精度等，确定了设备的结构适用性准则。轨迹规划和优化方面，针对典型结构锥体、复杂筒体、复杂曲板开展了固定角、测地线、平行线、变角度等单一方式或多种组合方式铺丝轨迹规划研究，确定了不同结构形式的轨迹规划准则。铺放工艺参数优化方面，针对铺放温度、铺放速度和制件的铺放质量开展矩阵试验，确定了工艺参数优化准则。5年时间，从早期的复杂进气道结构铺丝制造技术研究，到中型机身曲板的成型，再到今天的大型曲板的交付，铺丝团队攻克了一个又一个难关。航空工业复材在自动铺丝技术方面从无到有，从弱到强。目前，拥有大型龙门铺丝设备，机器人铺丝设备，未来还将补充大型卧式铺丝设备等先进自动化铺丝制造装备和技术，将满足国内外多种尺寸和结构的复合材料构件的自动化铺放。



机器人铺丝机。



航空工业复材大型自动铺丝设备



壁板铺丝。