

航空发动机设计制造协同的思考与实践

Design and Manufacturing Collaboration of Aero Engine

■ 陈立新/中国航发黎明

航空发动机是多学科、多技术的集成，需要设计、制造等领域人员通过跨学科、跨组织的协作来共同完成。设计制造协同是提高研制质量、缩短研制周期的重要手段。中国航发黎明和中国航发动力所在建设满足设计制造协同需求的技术规范、平台基础、研制流程及制度方面开展了前瞻性思考和探索，初步形成了航空发动机设计制造协同研制模型雏形，并取得了一定的成效。

航空发动机的研制需要气动、结构、强度、制造、材料、试验和管理等人员通过跨学科、跨组织的协作共同完成。近年来，国家对先进航空发动机的需求愈发迫切，客观要求航空发动机的研制单位不断提高产品性能和质量、加速产品的研发与成熟。随着我国航空发动机研制模式由测仿转向自主研发，当前设计制造分离的弊端凸显，制约了型号研制的质量和进度，急需探索一种新的研发模式来加速提升研发能力。

设计制造分离研制模式的弊端

设计制造分离的研制模式存在设计的可生产性考虑不周、制造符合性差、规范标准缺乏等突出问题，已经难以满足高质量航空发动机产品研制的需求，具体表现在以下四个方面。

设计制造不融合造成研发工作脱节

设计单位负责产品的需求管理、设计、测试、试验等工作，生产单位负责根据设计单位的图样和相关数据进行产品的试制，双方针对产

品的交流主要通过会签、评审、鉴定等工作环节，制造介入产品研发的时间较晚，设计、制造理念得不到有效沟通和统一，设计可生产性考虑不周，制造符合性差距较大。

研制流程不规范导致研发秩序不畅

设计和生产单位缺乏结构化的标准研发流程，不能有效进行各层级需求分解、接口协调和开发过程控制，开发过程的系统性、完整性、规范性、严谨性和精细化程度不足。工厂研制与批生产混线，研制过程采用批产流程进行管理，造成产品研制工作秩序不畅、周期过长、质量不稳定、研制成本高等弊端，严重影响了新机研制周期及研制质量。

技术文件不完善无法有效指导生产

航空发动机行业经过多年的技术发展与科研生产实践，形成的制造技术文件体系基本能够保障现有型号的研制生产，但仍存在着许多不容忽视的问题，具体表现为设计图产品定义要素不全、文件框架逻辑关系不清晰、技术标准经验总结

归纳不足、工艺规程操作指导性不强和工艺质量评估控制有效性差。

工程数据不系统难以有力支撑研制

厂所多年来积累了设计、试验及生产等多方面的工程数据和经验，但仍存在三方面问题：一是数据库尚不完整，缺少设计所需的性能数据，材料的使用性能数据更是缺乏且分散；二是厂所已有的数据库处于孤立状态，未建立关联关系，也没有形成共享机制；三是数据库中的数据简单堆积，没有经过系统筛选、分析，不能有效地支撑航空发动机产品研发。

设计制造协同的必要性

要消除设计制造分离对航空发动机研发的影响，开展设计制造协同建设是提高研制质量、缩短研制周期的重要手段。

设计制造协同是加快研制进程所需

通过设计制造协同，设计和生产单位经充分沟通、数据共享，对产品研发的风险预判将更加准确，能

更好、更快地解决制造、试验过程中出现的问题，加快产品研制进程。

设计制造协同是提高技术水平所需

一代产品需求一代材料和技术。新产品研发时，通过设计制造协同，制造尽早参与设计过程，可提早知道产品对新材料和新技术的需求，并通过技术攻关等途径提高自身技术水平。

设计制造协同是提升产品质量所需

通过设计制造协同，产品在役期间的功能、性能、故障表现等数据可及时传递给设计单位，帮助设计不断完善产品，提高产品可靠性。

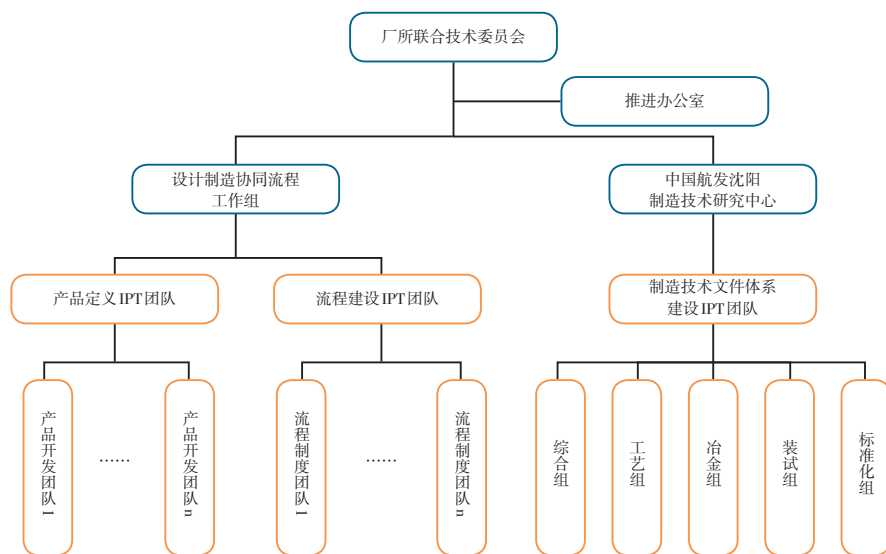
通过开展设计制造协同建设，建立起组织健全、流程协同、规范统一、数据共享、业务融合的设计制造协同发展模式，将有效提升航空发动机的正向研发能力。

设计制造协同的工作思路

2017年，随着中国航发AEOS建设工作的实施，设计制造协同建设被列为研发体系的专项工作，以中国航发黎明和中国航发动力所为试点合作开展，航空发动机的自主研发之路开启了新篇章。

中国航发黎明和中国航发动力所研究借鉴国内外先进经验，经过充分论证，确定从流程制度建设和制造技术文件体系建设探索设计制造协同的产品研发模式，同时开展信息化建设，为设计制造协同提供平台和工具。

在流程制度建设方面，建立和健全满足产品全生命周期要求的设计制造协同研制流程及制度，明确设计制造协同的环节和接口，用流



厂所设计制造协同组织架构

程穿透设计和制造的组织边界，实现跨单位工作的有效协同；完善产品定义相关设计准则和技术标准，指导并规范产品设计人员输出定义准确、完整、可生产性强的设计图样和数据，使产品制造人员能够精准理解并执行设计意图与要求。

在制造技术文件体系建设方面，构建设计和制造共同遵循的统一的技术标准和准则，构建完整的制造技术文件体系，满足设计图样引用、工艺设计、现场操作、质量检验等各环节的使用需求，提高产品实现的能力。

在信息化建设方面，以中国航发的统一协同平台为基础，围绕设计数据的交互与使用，基于产品数据管理（PDM）系统建设厂所协同管理平台，完善系统功能，满足设计制造协同对信息传递、处理的效率与质量需求。

设计制造协同的具体实践

成立组织机构，推进厂所协同

健全有力的组织机构是项目顺利实施的基础保障。按照“厂所协同、

共建共享”原则，中国航发黎明和中国航发动力所于2017年共同组建了管理组织机构，包括厂所联合技术委员会、协同工作组、中国航发沈阳制造技术研究中心，以及由厂所相关部门领导、业务骨干组成的集成产品开发团队（IPT）。

为确保工作顺利推进，厂所双方分别提供专门用于协同工作人员办公的地点、设备，建设同时登陆双方PDM系统、实现异地工作的环境，制定了IPT团队人员保障措施和制度保障措施，指导团队成员开展工作，并按制度进行监督检查。

建设协同流程制度，提高研发效率

在研发体系建设之前，中国航发黎明的新品研制过程采用批产流程进行管理。2017年年初，针对原流程存在的问题，中国航发黎明开始研讨、设计正向工艺研发流程。经多次讨论、修改，历时近一年时间设计了覆盖产品全生命周期，包含设计、工艺管理、工艺研发和生产业务域的正向工艺研发流程图，

在此基础上与中国航发动力所进行对接，增加了用户业务域，细化设计业务，确定了协同环节，形成了设计制造协同流程。

设计制造协同流程的建立将使产品的设计和制造工作由串行向并行模式转变，使设计提早考虑可生产性要求，制造尽早介入设计过程，缩短设计制造准备周期，降低制造阶段出现问题的概率，减少设计反复。

组织梳理产品研制全流程设计制造协同业务问题159项，经整理、合并、归类、评审，形成设计制造协同流程制度类和面向制造的产品定义类共24项任务，涵盖技术状态管理、协同管理、设计偏离管理、成熟度管理、共享数据库建设等业务域，其中21项任务的实施方案已通过评审，下达了工作计划。

重构文件体系，支撑协同研发

2017年年底，厂所按集团专项会议精神启动了制造技术文件体系建设工作。厂所按照总体策划、分步实施的原则，将建设工作分为方案策划阶段、梳理分析阶段、编制实施阶段及总结验收阶段等四个阶段，目前方案策划和梳理分析工作已基本完成。

在方案策划阶段，厂所打破单位界限，遵照“厂所协同、共建共享”原则，以融合、协同的思维去沟通、分析问题，确定方案；对参与人员进行培训、宣贯，统一思想，确保整体工作达到预期目的。

在梳理分析阶段，ITP团队围绕航空发动机产品实现过程，组织相关人员通过多种途径，系统地学习先进企业经验，了解其工程图、标准体系、技术文件的基本要求和逻辑关系；组织梳理、分析军品型号

涉及的所有标准和文件；针对零件产品家族，面向工艺、检验、操作人员收集、梳理文件应用问题。

针对产品设计、工艺设计、产品制造和验收交付四项主要业务，聚焦设计、工艺、操作和检验四类人员需求，将先进经验与公司自主创新实践相结合，对技术文件之间的逻辑关系进行推理分析，搭建了制造技术文件体系框架。

优化管理平台，夯实协同基础

设计制造协同离不开强大的信息化管理平台。厂所以中国航发统一协同平台为基础，围绕设计数据的交互与使用，基于PDM系统开发建设了厂所协同管理平台，实现了厂所间协同数据的自动发放/接收管理，实现了跨系统的业务流程融合。

优化数据传递流程，提质增效

按照中国航发AEOS推进要求，IPT团队认真梳理产品研发体系业务流程，通过厂所协同管理平台将产品数据传输方式由航发网邮件传递变为在PDM系统共享区直接推送、信

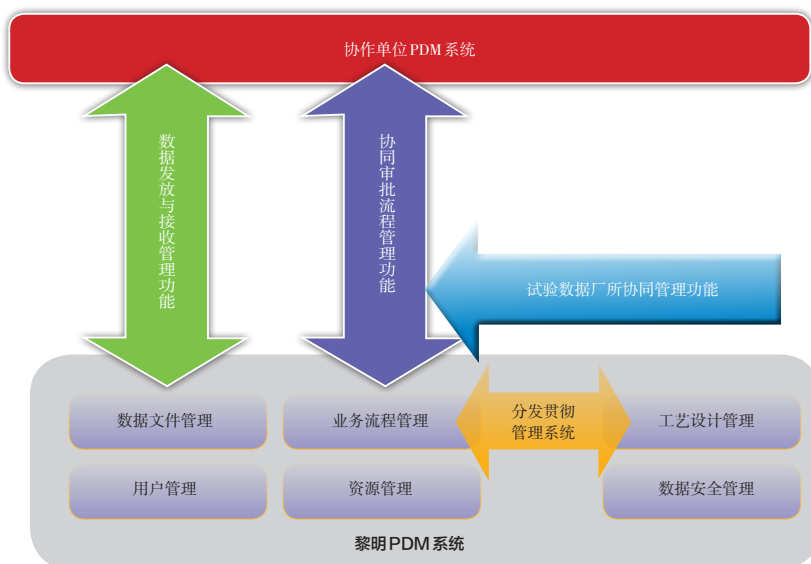
息化系统自动进行数据校验和检查管理，实现无人值守的厂所间数据发放/接收，简化了数据发放业务流程，节约了数据发放中的审批等待时间，提高了数据发放效率，解决了人工检查数据存在的遗漏以及效率低下等问题。对接收的设计文件进行信息化、自动化的管理，衔接设计业务流程，贯通审计/制造信息化平台，解决了设计文件贯彻管理难的问题。

搭建流程与信息传递桥梁，不断扩展协同业务范围

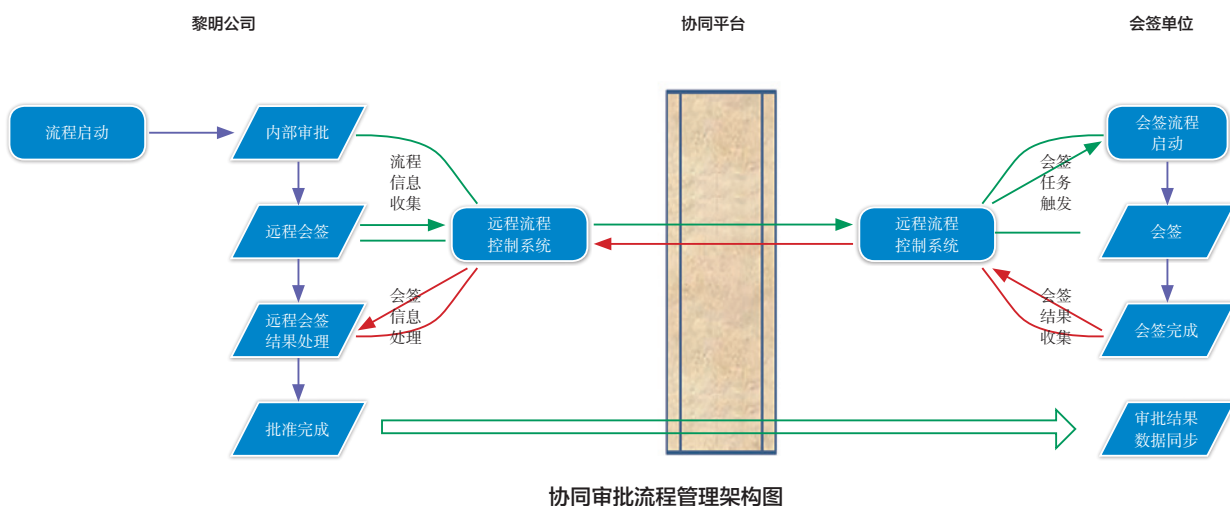
建立了跨系统的协同业务审批流程，打通厂所协同业务通道，实现了远程审批流程的无缝对接，极大地方便了用户的使用，突破了“审签流程不能跨系统审批”的限制。其中不合格品审理系统上线后，实现27个型号不合格品审理单的厂所协同审批，共计1448条流程。

打通试车信息通道，促进产品正向研发

实现了批产及大修发动机外场飞参数据的上传、存储、下



厂所协同管理平台架构图



协同审批流程管理架构图

载、检索、管理、分析和展现，实现了发动机参数与飞行任务之间的关联查询。厂所协同管理平台实现试验数据共享，方便出现故障时进行对比分析。通过该数据通道的利用，保障长期稳定的发动机数据收集分析。

创新管理机制，保障项目实施

为了调动协同建设参与人员的积极性，确保各项工作按计划高质量开展，厂所首次联合建立了管理和考核机制。

按科研攻关项目实施管理 将设计制造协同建设各项工作分解为任务包，按照科研攻关项目进行管理。指令性下达任务，依据任务的难度、贡献度确定匹配奖励额度，由厂所共同出资奖励。在资源配置、成果应用验证等方面提供支持，组织客户对应用效果进行验收。

分解落实责任到人 将设计制造协同建设工作纳入各部门年度重点工作计划，逐层分解，责任分解落实到人，严格考核。

实施动态监控 各项目IPT团队建立周例会制度。推进办公室对总

体工作进度进行掌控，按月实施动态管理，每季度总结汇报总体进展情况，按年度组织对各项目达成目标情况进行评价。厂所联合技术委员会每半年检查一次总体进展情况，协调处理重大事项。

设计制造协同的初步成效

设计制造协同项目实施以来，部分工作成果已在型号科研生产中试用，并取得一定效果。

在发动机气动方案优化改进中试用了设计制造协同流程和制度，取得了预期效果。厂所共成立17个协同团队，通过协同设计，使进气机匣和风扇等部件工艺准备工作比原流程提前130天启动，设计与工艺准备工作并行开展，缩短了零件的研制周期，提高了零件的加工质量，其中风扇整体叶盘部分零件已实现合格交付。

厂所协同管理平台的投入使用，提高了信息交换的效率，降低了出错概率。人工传递改为自动分发、即时通知，数据发放周期由原来的3天左右缩短为1天；传统纸介质审批

改为电子审批，协同审批周期由原来约10天缩短为3天，解决了产品数据会签环节多、周期长等问题；实现了产品数据传递过程管理、厂所协同业务的融合，解决了协同审批业务历史追溯、设计/生产协调难点问题；为中国航发各单位之间实现协同业务对接、协同数据自动交换铺设了数据高速公路，协同工作人员工作效率提升了10%以上。

结束语

随着中国航发黎明和中国航发动力所设计制造协同建设工作的实施，协同工作流程和制度将得到进一步完善，产品研发设计和制造两个工作域的融合程度将进一步提高。设计将高度关注产品的可实现性和可生产性，工厂将通过提前介入设计方案确定过程，尽早开展系统的工艺研究，避免新材料、新技术工程化应用的真空状态，不断提高航空发动机的正向研发能力。

航空动力

(陈立新，中国航发黎明，高级工程师，主要从事工艺研发体系、技术基础管理)