

航空发动机系统工程技术浅析

中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司 兰影铎 于武 周鑫

系统工程技术的意义就是根据总体协调的需要，利用多方面的科学技术，把系统的构成要素、组织机构，对系统的构成要素、组织结构、信息交换等功能进行分析研究，以达到最优设计、最优控制和最优管理，本文以系统工程技术助推航空发动机产品制造为基本纲领，对系统工程的理论体系进行简要介绍，并对航空发动机研制周期系统工程管理进行了研究，同时结合航空发动机研制实际，对系统工程技术的应用现状进行了分析。

一、引言

航空发动机是一种综合工程热物理、控制、机械、空气动力学、固体力学等多学科强烈交叉、高度耦合的复杂流体机械，被誉为“现代工业皇冠上的明珠”，是衡量一个国家综合基础工业和技术实力、彰显强国地位的重要标志，其研制过程是一项跨学科、跨专业且需多厂所高度协同的复杂工程，具有技术高、周期长、难度大等特点。基于航空发动机复杂化、多元化和系列化的发展趋势，本文以航空发动机研制全生命周期为研究对象，采用系统工程思想，构建基于系统工程的航空发动机生产全生命周期管理方法。

二、系统理论

1940年，美国贝尔实验室在研制电话通信网络时，第一次提出并应用了系统工程一词。对于复杂的工程专案，系统的整体特性往往大于零件的组合特性，为了满足识别和操控一个系统的整体特性的需求，美国国防部、美国国家航空航天局(NASA)和其他工业相继地应用了这门学科并取得了重

大的成果，如美国的登月火箭阿波罗计划和北欧跨国电网协调方案等。

20世纪50年代，我国著名科学家钱学森的《工程控制论》的出版，奠定了中国系统工程的理论基础。70年代中期以来，随着社会形势的变化，我国对系统工程的需求日益迫切，所以众多来自各个领域的学者对系统工程展开了深入的研究与宣传，并成立了一些研究学会组织以及在大学设立了相应的学科，这些标志着我国系统工程事业已经步入了一个新的阶段。尽管我国在系统工程实践过程中，取得了大量的系统工程理论及实践成果，形成了较完善的系统工程技术体系，达到了较高的系统工程技术水平，但与国外大国相比，在系统工程流程、系统工程标准规范、系统设计能力等多方面都还存在明显的差距。综合多方定义，系统工程的内涵就是站在系统整体的角度上，综合多类专业技术，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和自动控制等功能进行统筹的分析与研究，从而达到整体最优化设计，最优控制和最优管理的目标。

与其他专业技术相比，系统工程具有以下突出特点：

(1) 系统工程涉及多个科学技术门类的知识，需要综合多个工程专业的技术，需要不同专业、不同部门的专家共同参与并紧密配合、协同一致地开展工作。

(2) 系统工程突出把整个系统视为研究对象，突出系统总体，强调整体优化。

(3) 系统工程先根据任务的需求，从整体出发确定系统的性能指标和功能结构，然后在总体指导下，对系统进行分解与分析研究从而确定分系统的结构方案再进行系统集成，从而实现系统的整体功能。

(4) 系统工程包含技术与管理两大并行优化的过程。系统工程技术是制定系统工程流程，并按系统工程流程，综合多种专业技术，通过适当的方法和工具，最终完成系统工程的过程；系统工程管理是运用一些技术管理手段，对系统工程技术过程、活动及要素进行管理和控制，确保系统工程目标实现的过程。

三 基于系统工程的航空发动机研制周期管理

系统工程实施的过程就是制定系统工程流程，并按流程开展系列系统工程活动的过程，因此系统工程全生命周期活动及流程是系统工程的核心，而系统工程专业技术体系、标准规范体系及工具方法体系是系统工程活动开展的支撑。基于系统工程的航空发动机研制周期从需求分析开始，再经过

概念设计和初步设计、具体设计和开发、生产制造、运行利用和支持等过程，航空发动机研制系统工程全生命周期过程如图 1 所示。

1. 概念设计阶段

概念设计是系统设计和开发过程的第一个、也是最重要的阶段，它的功能是建立、承诺或者用其他形式预先确定所期望的系统结构形式、功能、开发进度等，在概念设计阶段包括对航空发动机市场需求分析、客户需求分析、技术需求分析、可行性应用的评价等活动。

2. 初步系统设计阶段

初步系统设计的主要工作是根据系统层的功能要求，对设计和运行效果进行综合研究，完成子系统及部件的功能分析和分配，建立具体的设计要求和开发计划、辨识和使用适当的工程设计工具和技术、在预定的时刻进行设计评审。

3. 具体设计和开发阶段

经过概念设计阶段开发的功能基准和初步设计阶段得出的分配基准，设计团队在现阶段主要工作是对设计方案进行综合研究和评价，并进行航空发动机子系统和部件的详细设计，完成工程和原型模型的开发。

4. 生产、制造阶段

生产、制造阶段主要的工作就是进行产品的生产制造，其中包括部件的外委生产加工活动，并完成子功能性能测试

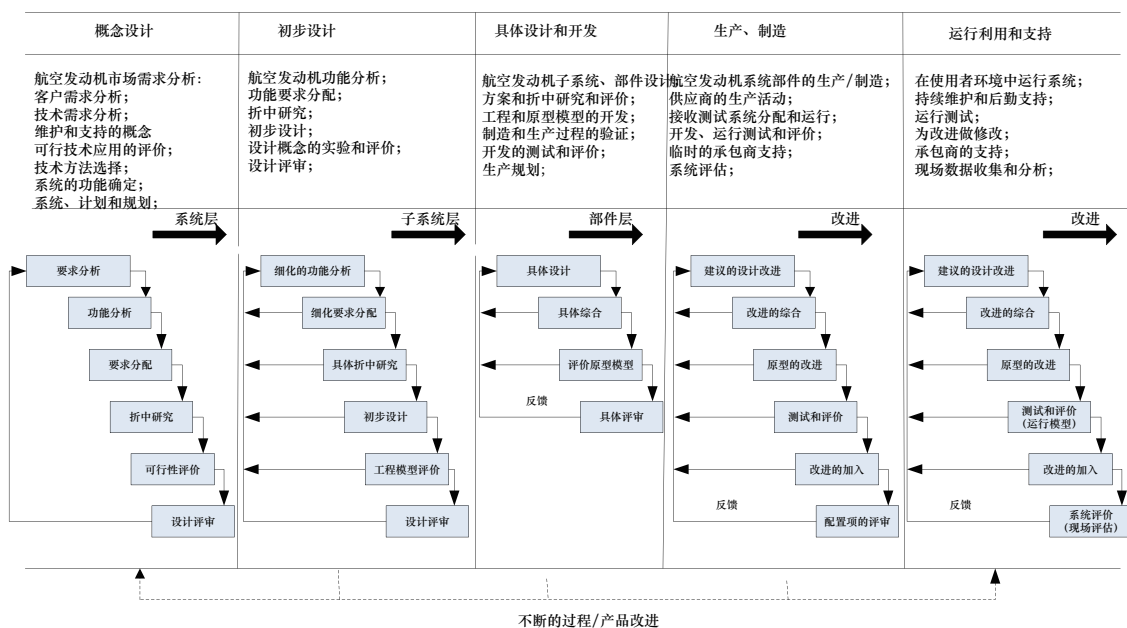


图 1 航空发动机系统工程全生命周期过程

(下转第 39 页)

转的智能化、工艺设计和质量处理的智能化。通过生产排除系统与质量系统的建立和数据交互，实现报废、超差零件的质量数据填报后按流程上报、数据的智能判定以及生产任务的追加申请和确认。

(3) 信息化新技术应用。近年来，大数据、云计算、物联网、3D 打印、人工智能等信息化新兴技术发展迅猛，在制造业中得到良好实践。所以企业要敢于尝试，认真梳理本单位需求，在信息化建设中有机开展信息化新兴技术应用工作，提升产品的设计效率、制造效率、质量品质及知识积累。

(4) 信息化基础环境建设。基础环境建设是企业信息化建设的支撑，含机房、数据存储、容灾备份、网络升级、

网络安全、高性能计算等建设。随着信息化技术在企业应用程度的加深拓宽，建立安全性高、稳定性强、速度快、存储容量大的信息化基础环境是必须的，企业要结合本单位实际情况和未来发展要求，有序推进信息化基础环境建设。

四、结语

智能制造建设是一项系统工程，是制造企业的发展趋势，对企业发展具有全局性、支撑性、引领性作用；所以，企业推进智能制造建设要有良好的指导思想和工作思路，抓好重点环节，推进重点领域突破是取得智能制造建设成效的关键。

(上接第 35 页)

和验收试验。

5、运行利用和支持阶段

进行发动机现场试车，进行运行测试，收集和分析现场数据，并根据试车状态，进行设计及制造的反复迭代修正。

四、系统工程技术应用现状分析及建议

目前，我国大多数航空企业对系统工程的认知还停留在较低层面上，即能够认识到企业是一个复杂的系统，企业管理是一个系统工程，但缺少运用系统工程方法去解决企业管理问题的意识和能力，尚未达到运用系统工程方法和工具的认知，且企业内推广系统工程方法是一件实践性很强的工作，需要具有扎实系统工程专业知识及丰富的企业实践经验的专业技术人员进行推广，而国内具备系统工程应用型人才相对不足，此外，虽然国内一些领域也开始制定系统工程标准，但这些标准往往规定了特定领域系统工程的技术过程和技术管理过程，其领域针对性较强，尚未形成系统、全面的通用性系统工程标准系统。

近年来，随我国航空制造业的迅猛发展，公司也对系统工程技术日渐关注，但真正运用系统工程技术解决航空产品全生命周期问题还任重道远，建议从如下角度开展系统工程技术的应用与推广。

1、提高对系统工程技术的认知

系统方法的理论体系较为成熟，但是在航空企业的推广还不够，原因之一是企业对系统工程方法的认知不够，因此

在我们企业推广系统工程方法时，首先应该提高我们企业对系统工程方法的认知，使企业充分了解航空产品在生产制造过程中是否适用应用系统工程技术方法解决生产问题及有效的系统工程方法有哪些方法能够帮助企业解决实际问题。

2、加强系统工程专业人才的培养与引进

我们企业具备从事系统工程方法的专业技术人员严重稀缺，建议把对从事系统工程方法研究的技术人员培养纳入我公司人才队伍建设，推进系统工程方法的人才培养及引进，积蓄能够“授人以渔”的创新人才。

3、加强系统工程项目的总筹研究及管理

系统工程技术的现场应用推广需要跨部门合作完成，所以相关部门能否分工明确的密切工作直接决定系统工程项目的进展，建议企业依托项目，确定主次研究部门，统筹项目管理实施。

五、总结

本文对系统工程内涵、全生命周期管理等内容进行了研究，并对我公司系统工程技术应用现状进行了分析。系统工程技术是航空产品系统研制中的重要综合性技术，系统工程技术在航空领域的推广应用迫切需要国家和企业加大投入，逐渐加深航空产品生产制造的系统工程适用性技术研究，并不断完善航空发动机系统工程技术应用标准体系，以促进航空产品型号研制和生产能力提升。