

民用飞机生产体系需求定义过程研究

李 民^{1*} 郝 莲²

(1. 上海飞机制造有限公司, 上海 201324; 2. 上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘 要: 建立高效灵活的民用飞机生产体系是民机项目研制成功的重中之重,也是民机制造商面对变化多端的民机市场必须解决的关键所在。民机产品的复杂性与多样性,决定了民机生产体系的复杂性与多样性。借助系统工程方法探索以需求为牵引对生产体系开展正向设计的方法,在充分研究民机产品与生产体系关系的前提下,借鉴目前广泛用于飞机产品需求定义的思路,本文对生产体系需求定义过程进行了研究,提出了利益攸关方模型和基础功能模型,将风险分析引入生产需求定义过程以提升目标系统的安全性,描述了从利益攸关方需要到需求和从风险应对需要到需求这两类需求捕获方法,提供了生产体系需求的分类方式并阐述了分类的目的,给出的典型生产体系需求来源可作为相关实践的模板。

关键词: 系统工程;民用飞机;生产体系;利益攸关方;基础功能;需求定义

中图分类号: N945.23/V37

文献标识码: A

OSID:



0 引言

建立与民机产品相适应的生产体系在民机研制过程中举足轻重,它既是飞机研发项目商业成功的基础,也是民机制造商实现灵活配置产品战略的必要条件。民机产品的复杂性,决定了民机产品生产体系(Production System)的复杂性。同时,飞机制造技术的不断发展和市场需求的瞬息万变也对生产体系不断提出更高要求:

1) 组成飞机的零件数量越来越庞大、生产资源全球化、协作关系复杂。一架 A380 客机由全世界 30 个国家、1 500 家公司生产的超过 400 万个独立零部件组成;

2) 市场瞬息万变,需要快速的市场响应能力。2017 年波音 737 系列飞机年中实现每月 47 架产能,全年交付 529 架;

3) 具备用户信赖的质量体系。采用行业认可的质量标准(如 AS9100),实现对产品的质量期望,规范供应链管理;

4) 提高生产效率、降低制造成本的新技术应用

能力。如采用自动化钻铆和柔性工装的装配技术,采用 MBD/MBI 等基于模型的数字化制造技术,实现 CAX/PDM/ERP/MES 高度集成的信息化管理;

5) 为满足新材料、新技术的运用,建立新的制造工艺能力。如复合材料、先进金属材料的成形和加工,3D 打印技术的使用等。

在以往的民机项目中并未建立适用于生产体系定义、设计、实施和验证等的流程,由于缺乏对目标生产体系的准确定义,方案与利益攸关方需要脱节,方案实施结果缺乏验证,最终围绕特定民机产品形成的生产体系难以满足各方的期望,有时不得不再启动另一个项目来满足生产要求,失去了掌握市场主动权的先机。最为重要的是,以往生产体系建设中并未充分考虑交付能力与投资强度、统一控制与资源协作这类问题。

本文借助系统工程方法探索以需求为牵引对生产体系开展正向设计的方法,在充分研究民机产品、生产体系及相互关系的前提下,借鉴目前广泛用于飞机产品需求定义的思路,提出了利益攸关方模型和基础功能模型,将风险分析引入生产需求定义过

* 通信作者. E-mail: limin@comac.cc

引用格式: 李民,郝莲.民用飞机生产体系需求定义过程研究[J].民用飞机设计与研究,2020(3):127-132. LI M, HAO L. Research on the requirement definition process for production system of civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2020(3):127-132(in Chinese).

程。综合考虑民机产品系列化发展、全生命周期管理、先进制造技术使用、采购及供应商控制等因素，给出了需求来源模板。

1 生产体系正向设计分析

生产体系是将输入资源转换为期望产出的过程，民机产品生产体系为实体类的转换过程。

国际知名民机主制造商根据电子工业协会 (EIA) 的标准 Processes for Engineering a System (EIA-632), 应用“飞机产品系统” (如图 1 所示架构) 的概念, 将生产体系视为制造使能产品, 是民机项目需要交付的产品之一, 也是最终产品实现的关键组成部分。

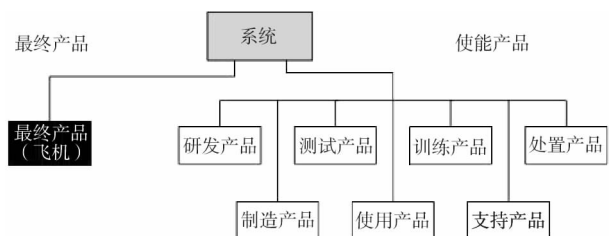


图 1 飞机产品系统通用组成架构

鉴于以上分析, 尝试将用于最终产品 (飞机) 的研制方法和工具用于生产体系这一产品的研制, 基于需求的工程 (Requirement Based Engineering, 简称 RBE) 方法即是其中之一, 它以需求为牵引面向复杂产品开展正向设计。

RBE 的基本方法步骤如图 2 所示。

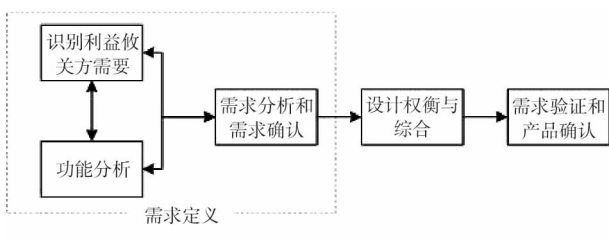


图 2 RBE 方法步骤

将 RBE 方法用于生产体系, 按照“需求-设计-验证”的总体思路实施, 本文仅讨论需求定义过程。参照 Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems (SAE ARP 4754A) 所建议的飞机产品的相关过程, 分析飞机和生产体系两类产品对象, 发现如下差异:

1) 飞机产品是一个实物, 所有需求都面向它的最终状态; 生产体系是一系列生产过程的集成, 需求

既面向过程输出能力, 也面向过程控制能力;

2) 飞机的安全性需求决定了功能研制保证等级 (FDAL) 的概念, 确定了对需求确认/验证的严苛程度要求; 生产体系没有安全性概念, 在需求确认/验证时没有确定置信度的来源;

3) 飞机的功能分解可以参照国际 ATA 规范进行; 生产体系缺乏功能分解的概念或规范;

4) 飞机需求的层级划分采用“飞机级-系统级-设备级”的方式, 各层级的界面易于区分; 生产体系需求如果考虑依据加工方式, 却无对应的标准, 各层级的界面不易于区分;

5) 飞机需求通过设计落实于方案; 生产体系需求有可能落实于管理程序或制度, 成为工作要求或管理要求。

由此可见, 飞机产品所适用的方法无法直接用于生产体系。尝试解决这些差异, 在生产体系正向设计的需求定义中引入利益攸关方模型和基础功能模型两个概念。

利益攸关方模型解决满足用户对产品的品种、质量、数量、价格、服务和交货期方面要求。

基础功能模型解决产品对生产体系系统的创新、质量、弹性 (应变能力)、成本、继承性 (刚性) 和按期交货等方面要求。创新、弹性和继承性 (刚性), 是由外部环境提出的, 是使系统适应环境要求的能力, 质量、成本和按期交货, 是按照生产过程运行规律合理组织生产过程所体现的能力。

2 利益攸关方模型

生产体系利益攸关方是对生产体系的形式、活动、结果具有影响能力的个人、群体或组织。本文在研究飞机产品利益攸关方的基础上, 针对生产体系

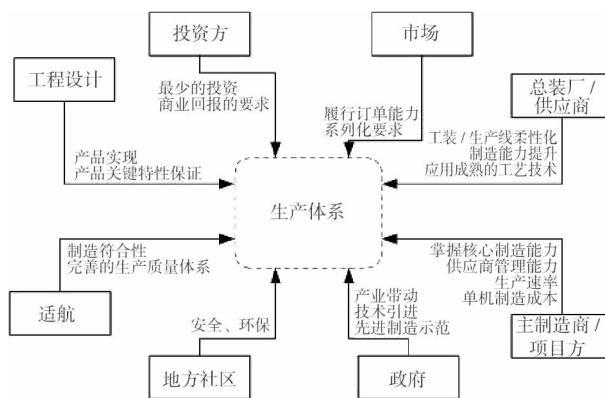


图 3 生产体系利益攸关方模型

特征,提出生产体系利益攸关方模型,如图3所示。此模型既包含了生产体系的主要相关方,也包含了各方对生产体系可能提出期望的方面。以该模型作为输入,进一步分析可以获得完整的利益攸关方清单。然后通过调查、对比、分析等手段开展利益攸关方需要识别。

综上所述,各利益攸关方对生产体系的需要一般体现在以下几个方面:1)生产速率满足产品市场需求和交付需求;2)生产过程满足产品功能和性能的要求;3)使用成熟的生产技术/工艺技术实施产品方案;4)通过供应链管理,建立了保证产品持续生产的货源;5)合理的生产成本保证产品具有价格竞争力;6)具有一定程度的柔性化,降低产品设计变更、改型和实现系列化生产所需代价。

除此以外,新产品的生产体系显然必须遵守组织原有的质量保证体系和工艺体系的要求。再者,在保持共通性方面,尽可能兼顾已有产品和未来产品的需求,适当前瞻性的运用新的制造技术和生产管理技术。

从内容来看,利益攸关方需要既可以是针对具体功能特征(如:性能、实现方式和管理要求等)提出的期望,也可以将生产体系作为一个整体,表明它在设计、建立和运行过程中受到的客观条件限制(如:适航法规或运输条件等)。

3 基础功能模型

对于民用飞机这类产品对象,多年的研究已形成了较为一致的产品基础功能——载人和装货、从起点运动到终点、提供公共资源、确保安全和支持运营,以此为基础分解形成主要功能,再分解形成功能和子功能,但对于生产体系这类产品对象,尚无如此的共识。

确定生产体系的基础功能和功能分解方法,首先想采用成熟的“人机料法环”方法,但仔细分析则发现它更偏向于生产现场的准备配套,用于需求分析时无法体现正向设计的理念。如采用“零件-装配-测试-交付”的分解方式,虽然从功能的角度易于理解,但也是面向生产现场交付物,反映的是生产结果,而无法反映生产过程和生产现场以外的内容。基于对生产体系特征的研究,本文提出民航生产体系的通用基础功能包含5项,分别为:“F1 将设计输入转化为产品”“F2 为生产过程提供质量保证”“F3 提供生产能力”“F4 配套生产所需物料”和“F5 管

理和监控生产过程”。如图4所示,这些基础功能间存在一定的相互关系:F1是核心功能,其他功能为F1服务。

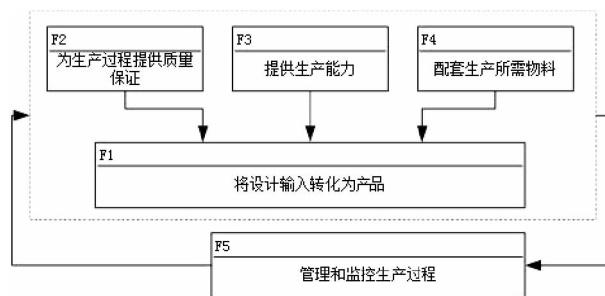


图4 生产体系基础功能模型

基于生产体系的基础功能,对各种不同的需要进行权衡和综合,转化为需求,再确定满足需求的功能(逻辑)方案,以细化功能架构、功能特征与功能接口。

生产体系功能自基础功能向下分解,随着生产体系需求定义详尽程度的提升而渐进明细。在功能分解过程中,建议既要体现产品集成过程中上下游之间天然的需求关系(例如:飞机总装与大部件装配),也应集中体现生产体系实现过程中交付物的特性(例如:生产线以及满足特定要求的车间等)。对于功能分解的技术过程,本文仅提出观点,不做详细叙述。

4 生产体系需求定义过程

4.1 生产体系需求定义

以上述生产体系利益攸关方模型和基础功能模型为输入,运用系统工程的分析方法,经长期研究和反复演算,提出基于利益攸关方模型和基础功能模型的、确定生产体系需求定义技术过程的方法,如图5所示,同时给出过程所需的模型/模板,用于指导确定生产体系需求定义。

图5中,生产体系需求定义过程自前向后,是一个通过识别利益攸关方需要然后转化为需求的正向过程。自下向上,是一个通过识别风险应对需要然后转化为需求的风险管理过程。每轮需求捕获的结果,都将作为下一轮识别利益攸关方需要和开展风险分析的输入,通过迭代最终获得需要-需求-风险三者的均衡。

过程内产生的输出“功能架构和功能清单”,本质上属于生产系统的逻辑方案,它反映了生产系统的功能定义和功能接口,将与“需求”一起作为制定生产系统实施方案的输入。

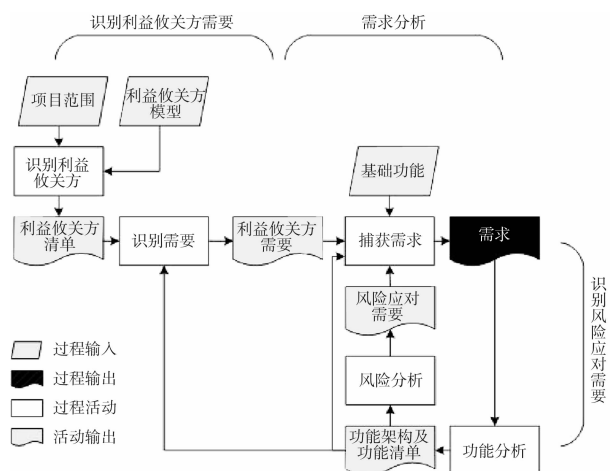


图5 生产体系需求定义过程

将生产系统的早期风险分析与需求定义相结合,是该过程的重要特点。同时,它也是为提高需求捕获完整性,在实践中形成的理论创新。

4.2 将利益攸关方需要转化为需求

将利益攸关方需要转化为需求涉及的技术活动包括:“识别利益攸关方”、“识别需要”、“捕获需求”和“功能分析”。

“识别利益攸关方”,它以“项目范围”和“利益攸关方模型”为输入,识别与飞机生产相关的所有组织或个人,形成“利益攸关方清单”,清单中应对利益攸关方的优先级进行排序。模型为识别活动提供了基本框架和思维方向。根据不同项目的特殊性,可以进一步深入分析,并考虑模型以外利益攸关方的可能性,最大程度确保完整性。

“识别需要”,它以“利益攸关方清单”为输入,分析各方对生产体系的期望或限制,形成“利益攸关方需要”。识别需要的过程应反复与利益攸关方进行主动交互,确保各方理解的一致性。为避免需要之间存在明显矛盾或互相制约的情况,应对需要进行初步的综合,包括合并、取舍和妥协。

“捕获需求”,它以“利益攸关方需要”和“基础功能”为输入,按照“基础功能”进行初次的权衡分析,被接受的需要将转化为“需求”。应注意的是,有些需求是与功能相关的,有些则是面向整个生产体系的。生产体系需求根据类别来确定适用的管理要求,分类方式详见 4.4 小节。

“功能分析”,它以“需求”为输入,形成关于生产体系的初步定义(逻辑方案),进而获得详细的“功能架构和功能清单”。与“基础功能”相比,此时

的“功能架构和功能清单”将是一个足以反映生产体系特征的功能定义文件,也是后续生产体系实施方案(物理方案)的设计输入。另外,功能分析的结果可能会再次触发“识别需要”,这种迭代确保了利益攸关方需要在生产体系的实施过程中被渐进明细,需求完整性不断提高。

4.3 将风险应对需要转化为需求

生产体系是一个多要素、多过程集成的系统,它的运行将会受到内、外部环境波动和不确定因素的影响。为了消除和减弱这些影响,对生产体系开展风险管理是必要的。有些风险应在生产体系设计阶段作为需求被纳入考虑,这部分需求实际来源于风险应对的需要,反映了目标生产体系预期的安全程度,其作用非常类似于飞机产品的安全性需求。

将风险应对需要转化为需求涉及的技术活动包括:“风险分析”、“捕获需求”和“功能分析”。

“风险分析”,它以“功能架构和功能清单”为输入,以将目标生产体系失效风险降至可接受程度为目标,通过对生产体系方案中的关键过程、过程关键因子的风险识别,制定风险应对措施,形成“风险应对需要”。

“捕获需求”和“功能分析”,与 4.2 小节中相应技术活动基本相似。不同点在于“捕获需求”的输入从“利益攸关方需要”变为了“风险应对需要”。生产体系方案为了满足这部分来源于风险的衍生需求,功能架构和功能清单可能会发生变化,这将再次触发“风险分析”进行迭代。

根据美国国防部(DoD)发布的 Manufacturing Management Program Guide(MIL-HDBK-896A),对生产体系的早期风险识别围绕制造可行性评估来进行,包括:1)当前不具备的生产工艺和制造技术;2)关键/长周期物料及生产设备;3)生产方案对可行性、产品性能、成本、进度的影响;4)生产速率和生产加速曲线;5)生产试验项目;6)关键性/战略性物料;7)生产瓶颈和限制因素。

因此,关于生产体系的风险应对需要一般集中在下列方面:

- 1)新工艺/新技术的应急方案和替代方案的要求;
- 2)新工艺/新技术的研发过程控制要求和成熟度评估要求;
- 3)长周期物料或生产设备的应急方案的要求;
- 4)对试生产项目/生产试验的要求;
- 5)针对关键性/战略性物料的货源监控和管理要求;
- 6)记

录生产数据,为成本、进度分析提供支持的要求;7)对生产体系实施监控,发现和消除生产瓶颈的要求;8)生产速率实现过程(生产提速)的要求。

4.4 生产体系需求分类

4754A 为不同功能研制保证等级(FDAL)的需求建议了不同的确认/验证方法,然而对于生产体系需求,并没有置信度被广泛认可的方法建议。同时生产体系需求本身的特殊性,也决定了其需求管理的特殊性。基于上述原因,本文提出为生产体系需求定义分类,以便将来基于类别定义不同需求管理方式的思路。

生产体系需求定义过程将产生三类需求:性能需求(Performance Requirements)、专业要求(Specialty Requirements)和强制要求(Mandatory Requirements)。专业要求和强制要求统称为约束(Con-

straints)。约束是一种特殊类型的需求,既可以纳入需求管理实施确认/验证,也可以仅仅在相关设计文件中注明,最后通过其他技术过程来验证是否实现。

性能需求以数值的方式定量反映相关功能所需达到的能力指标,例如:年生产能力、生产周期、装配自动化率等。

专业要求一般来自内部,它以定性的方式反映了项目受到的专业约束和管理约束,例如:采用特定的先进制造技术、使用模块化装配的生产方式等。

强制要求通常来自外部,它反映了项目受到的刚性约束,这些需求在生产体系的设计过程必须被满足,例如:安全环保法律法规、适航局方的要求、当前的行业水平和可利用资源等。

按这种分类方式,典型的生产体系需求将可能来自以下所关注的方面,如表1所示。

表1 生产体系需求

功能	性能需求	专业要求	强制要求
F1 将设计输入转化为产品	产能(如:生产速率、生产周期等) 成本(如:单机成本目标、定额工时目标等)	柔性化要求 生产模式(如模块化装配)	安全环保法规 适航局方要求(如:生产体系、PPV、FAI等) 行业水平 物流运输条件 工业化能力及容量
F2 为生产过程提供质量保证	生产质量指标 (如:一次提交合格率、质量成本损失率、关键特性保证(KCs)等)	新工艺验证 关键工艺过程的控制 生产准备评审(PRR)	
F3 提供生产能力	制造数字化指标 复材零件生产自动化指标 装配自动化指标 测试自动化指标	核心能力提升要求 (如:需掌握的新工艺、需建立和集成的信息化系统、先进加工成形技术的应用、智能制造技术的应用等)	
F4 配套生产所需物料	采购提前期 准时到货率 库存周转率	产业带动要求 项目造买决策 供应商管理要求与采购模式	
F5 管理和监控生产过程	生产计划按时完成率 设备利用率	工艺管理要求 生产管理和监控要求	

5 结论

本文提出的用于民用飞机生产体系需求定义的方法和理论,可以指导需求管理人员如何捕获利益

攸关方需要,然后通过“需要-需求-功能”和“风险-需求-功能”的两个闭环进行迭代,最终完成对生产体系的性能需求以及约束的定义。该过程是需求捕获和需求确认的综合。

生产体系需求定义的完整性依赖于功能架构的完整性。文中提及的概念“生产体系基础功能”，此功能定义的合理性将在实践中持续被证明和完善。再者，本文提出的关于生产体系的功能分解建议亦需在后续的工作中探索出具体的要求和办法。

参考文献：

- [1] EIA. Processes for Engineering a System: EIA-632 [S]. Arlington: EIA, 1999.
- [2] INCOSE. INCOSE systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities [M]. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [3] FAA System Engineering Council. NAS System Engineering Manual; Version 3.1 [S]. Washington: Federal Aviation Administration, 2006.
- [4] SAE International. Manufacturing Management Program: SAE AS 6500 [S]. Warrendale: SAE International, 2014.
- [5] DoD. Manufacturing Management Program Guide: MIL-HDBK-896A [S]. OH: DoD, 2016.
- [6] JACKSON S. Systems Engineer for commercial Aircraft [M]. 2nd ed. England: Ashgate Publishing Limited, 1997.
- [7] SAE International. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems: SAE ARP 4754A [S]. Warrendale: SAE International, 2010.
- [8] IEEE. Systems and Software engineering-Systems life cycle processes: ISO/IEC/IEEE15288 [S]. New York: IEEE, 2015.
- [9] 贺东风, 赵越让, 钱仲焱, 等. 中国商用飞机有限责任公司系统工程手册 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2016.
- [10] 郭博智, 李浩敏. 大型客机设计中的需求管理 [J]. 民用飞机设计与研究, 2013(4): 1-5.

作者简介

李 民 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 项目管理、需求管理。E-mail: limin@comac.cc

郝 莲 女, 硕士, 研究员。主要研究方向: 适航技术、市场技术、情报档案、质量技术、项目管理。E-mail: haolian@comac.cc

Research on the requirement definition process for production system of civil aircraft

LI Min¹* HAO Lian²

- (1. Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd, Shanghai 201324, China;
2. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: Establishing an efficient and flexible production system is the most important part of the successful civil aircraft development program, and is also the key problem that the aircraft manufacturers must solve in the face of a changing market. The complexity and diversity of civil aircraft products determine the complexity and diversity of the production system. The System Engineering method makes it possible that the production system is designed in a top-down way based on requirements analysis. By fully studying the relationship between civil aircraft products and production system, and using for reference to the requirement definition methodology of new aircraft development, this paper studies the requirements definition process of production system, proposes a stakeholder model and a basic function model, introduces risk analysis into the requirement definition process to ensure the safety of the target production system, describes the capturing methods of the requirements both from stakeholder needs and from risk response needs, provides a classification method of production system requirements and discusses the purpose of doing that, gives a list of typical source for production requirements capturing, which can be used as a template in practice work.

Keywords: system engineering; civil aircraft; production system; stakeholder; basic function; requirement definition

* Corresponding author. E-mail: limin@comac.cc