

飞机研制需求管理技术研究

董亮*, 刘俊堂, 张永辉

中航工业第一飞机设计研究院 信息系统研究所, 陕西 西安 710089

摘要:“文档式”需求管理模式已不能满足飞机研制发展的要求。本文结合飞机研制的特点,将飞机研制需求分为功能需求、质量需求和约束需求,并对三类需求间的关系进行了分析;将需求管理分为飞机顶层需求层、主部段/主系统需求层、部段/分系统需求层、部件/设备需求层,并对各层次间各类型需求的演变进行了分析,对需求管理的难点进行了剖析,为实现基于模型的飞机研制需求管理奠定基础。

关键词:飞机研制;需求管理;功能需求;质量需求;约束需求;需求层次

中图分类号: V37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2014) 04-0050-05

飞机研制需求从产品工程研制的角度,把利益相关者的期望,完整转换成为待解决问题时得到的技术要求完备集^[1],是对飞机各级产品对象(系统、分系统、设备等)属性、行为等的定义,描述了它们“是什么、能做什么、能做多好”等,因此,需求数据也是飞机研制全生命周期数据管理的重要组成部分。飞机研制需求则是飞机研制应遵循的约束条件,包括功能要求、性能要求、可靠性要求、可维护性要求、安全性要求等。早在20世纪80年代中期,美国兰德公司就根据美国参谋长联席会议的要求研究了武器研制中需求管理技术,以实现战略需求和武器使用需求的融合。经过三十年的发展,目前国外先进的飞机制造企业^[2-4]正逐步实现从“文档式”需求管理向“模型化”需求管理(基于模型的需求管理)转变,极大地促进了飞机数字化研制水平和产品质量的提高。

当前,需求管理以“文档式”需求管理模式为主,存在以下问题:(1)需求信息表达不完善,如优先级、创建过程信息等缺失;(2)上下级需求分解分配关系不明,需求追溯关系以“文档引用号”体现,需要花费大量的时间阅读理解才能获得追溯关系;(3)由于需求追溯关系不显性导致变更难以进行精准监控,无法保障变更的实时落实与更新,并因为需求与产品设计制造等的不一致性导致研制周期和成本的增加;(4)以文档章节、段落的方式进行需求描述与组织,具有一

定的随意性、模糊性、不准确性等,影响了需求信息的准确传递;(5)“文档式”的需求定义与组织模式,使需求数据很难纳入现有以结构化、模型化为特点的飞机研制全生命周期数据管理中,造成了数据孤岛。

“文档式”需求管理方式存在手段落后、管理低效、需求追溯与变更过程难等问题,已不能满足飞机研制发展的需要,因此,基于模型的需求管理已成为飞机研制需求管理的发展趋势。本文结合飞机研制的特点,对需求的特点、类别和演变过程进行分析,为实现基于模型的飞机研制需求管理奠定基础。

1 需求类别

飞机研制中的需求涵盖了飞机及其组成部分的功能、性能、操作、物理与安装、安全、维护、接口等^[1,5,6]方面的技术要求,这些需求按照相互的依赖和演变关系可分为功能需求、质量需求、约束需求三大类。功能需求描述了飞机产品应具备的能力或可提供的服务,质量需求描述特定功能项应具备的质量特性(如性能指标、安全性、可靠性等),约束需求描述功能需求和质量需求的边界范围,三者之间的相互关系如图1所示。在基于模型的需求管理中,需求类别以需求模板的形式存在。

收稿日期: 2013-12-23 录用日期: 2014-02-21

*通讯作者: Tel.: 029-86832939 E-mail: werun@126.com

引用格式: DONG Liang, LIU Juntang, ZHANG Yonghui. Study on requirement management for aircraft development [J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(04): 50-54. 董亮, 刘俊堂, 张永辉. 飞机研制需求管理技术研究[J]. 航空科学技术, 2014, 25(04): 50-54.

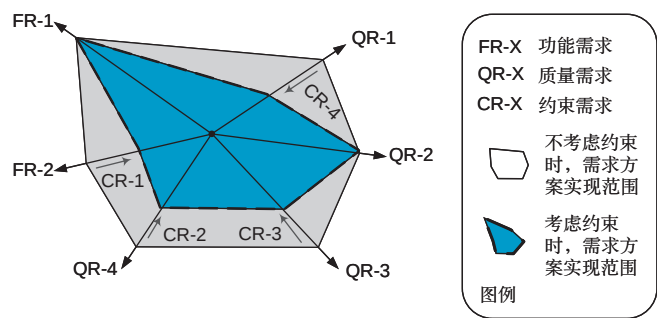


图1 三类需求的关系

Fig.1 Relationship between three kinds of requirements

由图1可知，功能需求和质量需求定义了产品方案的最大可达范围，而约束需求定义了产品方案的最小可达范围，该范围是所有利益相关者的期望范围。

1.1 功能需求

功能需求定义了飞机应向客户提供的必要服务或应发挥的效能，是客户期望、操作约束、调整限制、实际执行等对应的功能项集合。功能可以分为基本型功能、期望型功能、兴奋型功能。基本型功能是飞机必须具备的功能，期望型功能是客户主动要求的功能，兴奋型功能是指客户没有期望或没有意识到的某个功能。

飞机功能需求以使用者为出发点，确定功能项应具备的特性，随飞机类型、功能特点、系统类型的变化而变化，通常包含载荷要求、起降要求、操作与维护特征、外观特点等。

1.2 质量需求

质量需求是针对特定功能的质量属性定义，如性能、可靠性、稳定性等。在需求演变过程中，父层产品结构的质量需求通常依赖于子层产品结构的特定功能进行体现。

质量需求可按照利益相关者（涉众）的不同进行分析和确定。在飞机研制全生命周期中，这些涉众包含使用单位（客户）、设计单位、制造单位、适航管理部门等。部分常见的质量需求类别和不同涉众的关系见表 1。

表1 常见质量需求和涉众的关系

Table 1 Relationship between common quality requirements and stakeholders

常见质量需求类别	客户部门	设计部门	制造部门	适航部门
性能需求	★	★	★	★
可维护性需求	★	○	○	○
可靠性需求	★	○	○	★
接口需求	○	★	★	○
安全性需求	★	○	○	★
人因工程需求	★	○	★	○

★：涉众较关心；○：涉众一般关心。

(1) 性能需求

性能需求是度量功能项达成任务使命或运行成功程度的属性，如准确性、逼真性、范围、分辨率、速度、响应时间等。这些属性通常在特定的实验条件或运行环境下度量，如功能项发挥作用的响应时间、事务处理时间、资源开销、可能的并发用户数量等。

(2) 可维护性需求

可维护性被定义为一个产品功能项在特定条件下，由具体特殊技能人员，使用预定的技术规程和资源，在预定的维护层级进行维护时，保持和恢复期望能力的度量。可维护性需求包含与安全性相关功能的检验性维修和修复性维修两种需求。功能项的故障检测率和故障隔离率同样重要，并需要考虑额外的测试装备以满足这些需求。

(3) 可靠性需求

可靠性需求定义了功能失效的频率和严重性，以及功能项从失效中恢复的程度。可靠性由功能运行时间内所要求的有效性、可接受的失效时间、产生结果的正确性等因素确定。因此，可靠性是一个设备、产品或系统在特定的运行条件下，在给定的时间内不出现故障的概率。可靠性定义影响设计健壮性、故障容错性和冗余方面的设计选择，在确定费效关系中起关键作用。

(4) 接口需求

接口需求定义了相关功能项之间的信息联系，包含输入、输出等。接口类型包括：结构接口、电路接口、信号接口、热交换接口、数据接口、人机系统接口等物理接口和逻辑接口。

(5) 安全性需求

安全性需求是指飞机结构和系统功能的最小可用、完整性约束，通过功能失效分析获得。广义“安全性”包含了人员（公众和职工）、环境及资产的安全性。安全性需求分为：确定类安全性需求和风险类安全性需求。确定类安全性需求是行动或性能阈值的定性或定量定义，与使命任务相关的设计、系统或相应活动必须满足这个阈值要求。风险类安全性需求是在考虑与安全相关的技术性能指标及其相应不确定性的基础上建立的。如在确定置信水平下乘员损失概率P (LOC)不得超过设定值 α 。

常见的确定类安全性需求类别见表2。满足安全性需求需要辨别和排除危险，降低事故发生的可能性，或在可接受水平上降低危险及其引发相应事故的影响。

(6) 人因工程需求

人因工程需求要求人的能力和局限必须以材料特性和组件特征方式在设计中予以考虑。需求工程师研究系统与人

表2 确定类安全性需求的常见情况

Table 2 Common conditions of determined security requirements

确定类安全性需求的常见情况	例子
安全设备的考虑	使用限位器,防止液压臂的延伸超过预设安全高度和长度极限
进行输入命令的限制检查,确保输入在允许取值范围之内	飞机在空中飞行状态下,收缩起落装置的命令才是被许可的
冗余设计,故障容错设计	双冗余的计算机处理器
安全保护	某些系统温度超过安全极限后,能够探测并自动关闭系统
安全警示	系统自检故障时,能启动警示或报警装置

之间接口及交互,并提出需求、标准和指南以确保整个系统所具备的功能,能够为人员提供有效空间。

1.3 约束需求

约束需求指功能和质量需求实现过程需要遵守的政策、法律法规、文化习惯等方面的约束。约束需求具有避免功能和质量需求不兼容、满足最低程度要求、降低运行成本等作用。按照约束的来源不同可分为:

- (1) 文化约束:来源于用户的文化背景、习惯等;
- (2) 法律约束:需要遵循的法律和各种标准规范等;
- (3) 组织约束:项目研制的组织模式及工作流程约束;
- (4) 项目约束:项目运行需要遵循的成本、重要时间节点等。

2 需求层次与演变特点

2.1 需求层次

由于需求的多样性和复杂性,通常采用逐阶段、逐层次的方法来进行需求分解处理,也就是把问题分解成更小、更容易辨识的单元,形成一个自上向下的层级划分^[7]。按照飞机研制阶段的演进及其结构单元的组织特点,需求管理的层次可以分为飞机顶层需求层、主部段/主系统需求层、部段/分系统需求层、部件/设备需求层,如图2所示。

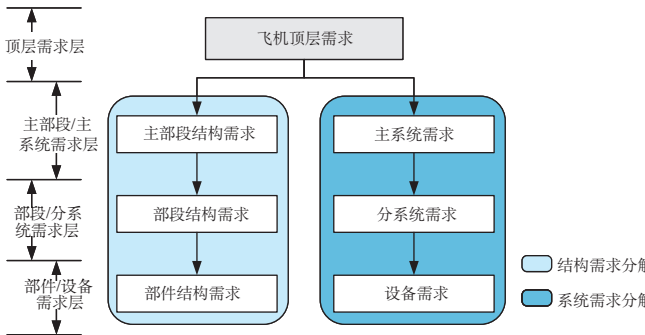


图2 飞机研制需求的层次

Fig.2 Hierarchy of aircraft development requirement

(1) 飞机顶层需求层

飞机顶层需求包含两个方面的内容:飞机顶层源需求和飞机顶层技术需求。

飞机顶层源需求来自于利益相关者的顶层期望,这些利益相关者包括采购单位、使用单位、设计单位、制造单位、维护单位及各自的主管部门等。

飞机顶层技术需求需要明确飞机研制的使命任务目标、运行使用目标、成功准则、设计动因等用于需求描述飞机的整体性能、功能需求等,包含布局、外形、布置、重量、操稳特性、飞行性能、飞行载荷、进排气、发动机推重等需求。明确飞机顶层技术需求是确定利益相关者期望的过程,也是理解使命任务目标、确定使命任务如何运行、操作的过程。

(2) 主部段/主系统需求层

主部段/主系统需求层描述飞机主部段结构与主系统的各种技术需求,由飞机顶层需求分解、分配得到。主部段结构需求包含发动机、机头、短舱吊挂、尾翼、起落架、舱门、前机身、中机身、后机身、尾段、起落架整流罩、机翼、翼身整流罩等部段的需求。主系统需求包含电气系统需求、环控救生系统需求、动力燃油系统需求、飞控液压系统需求、综合航电系统需求等。

(3) 部段/分系统需求层

部段/分系统需求层描述飞机部段结构与分系统的各种技术需求,由其父级主系统对应需求分解、分配得到。部段是飞机主部段进一步划分得到的子级结构单元,如机翼主部段包含中央翼、后缘襟翼、前缘和前缘缝翼、翼尖、翼尖整流罩、外翼、外翼盒段、扰流板、副翼、固定前缘、固定后缘等。分系统是飞机主系统的下一级组成,如飞控液压系统包含的机头部段飞控液压分系统、机翼部段飞控液压分系统等。

(4) 部件/设备需求层

部件是飞机部段的下一级组成,通常是部段包含的核心构件,如主承力件、接头等,设备是分系统的下一级组成,是系统功能的最底层执行单元。

2.2 需求的演变过程

需求的类型及层次特性确定了其特定的演变过程,如图3所示,体现在以下5个方面:

(1) 产品分解与需求分析的基本流程为:

- a. 以飞机顶层为对象进行需求分析、分解、分配等确定飞机主部段和主系统的组成;
- b. 以飞机单个主部段或主系统为对象进行需求分析、分解、分配等确定相应的飞机部段或分系统的组成;

c. 以飞机单个部段或分系统为对象进行需求的分析、分解、分配等确定相应的飞机部件或设备的组成,该过程可形象化描述为“ $P \rightarrow RD \rightarrow P \rightarrow RD \rightarrow P \rightarrow RD \rightarrow P$ ”,RD代表需求的分析、分解、分配等,P代表飞机不同层级的组成;

(2) 父层功能需求约束子层功能需求,即父层功能依赖于子层功能进行实现;

(3) 父层质量需求约束子层功能需求和质量需求;

(4) 父层约束需求约束子层功能需求和质量需求;

(5) 各类需求逐层分解,不允许隔层分解。

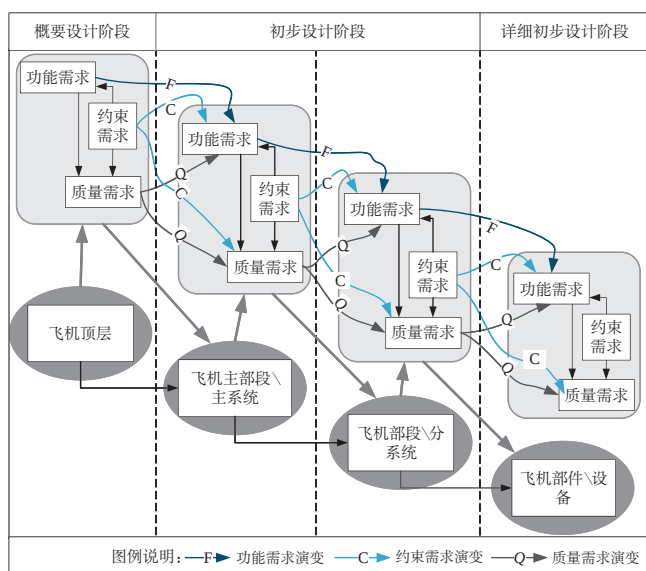


图3 需求的演变过程

Fig.3 Evolution process of requirements

3 需求管理的难点

对于飞机研制而来,要实施需求管理的难点主要体现在需求数据的组织及需求活动的控制。

3.1 需求数据的组织

(1) 需求项的组织结构

需求项的组织结构定义了满足需求演变过程要求的各类、各层需求的组织方法,采用“需求树”来实现这一目标。需求树以树形结构来存储、管理飞机设计过程中的需求项的产生、配置、变更等。需求树的结构和飞机的功能结构分解紧密相关,在产品研制过程中,需求项可以集成到产品设计结构树中,实现需求对产品设计过程的约束和指导。

(2) 需求项的模板化定义

需求项的模板化定义是为了实现对需求项各类属性的有序化组织和描述。需求项的模板按照层次特性进行组织,即对于不同层次的需求项、以及不同类型的需求项需要定义

不同的属性。属性类别有标示符、名字、需求类型、版本、作者、状态、优先级等。

需求项模板化的优势^[1,5]如下:

a. 确定所有的信息组成,清晰定义属性的类别及属性的取值范围;

b. 检查空缺,可清晰识别出未定义的属性,可大大降低检查的工作量;

c. 确保相同的信息在相同的位置,一方面,由于相似的需求属性信息在相同的位置上,有利于进行信息比较;另一方面,可以选择性的访问所描述的信息,同时便于进行快速检索。

3.2 需求管理活动

为确保需求管理的成功,需要完成的关键活动如下:

(1) 建立执行需求管理的计划;

(2) 依据系统设计流程捕获需求,构建需求树,并建立不同层次需求之间的双向追溯关系;

(3) 按照利益相关者的期望、产品的使命任务及约束、运行使用目标、使命任务成功准则对需求进行确认;

(4) 定义每一个需求验证方法;

(5) 为需求设立控制基线,以便进行需求变更控制,维护需求、运行使用构想和架构/设计间的一致性。

此外,由于需求管理的最终目的是实现以需求驱动的产品设计和验证,因此需求定义内容不仅需要和飞机各级产品组成的逻辑设计、功能设计和物理实现关联起来,还需要和飞机研制中的各种测试、试验、仿真分析等关联起来,如样机审查、试验数据管理、仿真数据管理等。

4 结论

基于模型的需求管理是在飞机研制中推行基于模型的系统工程(MBSE)的重要组成部分。本文分析了飞机研制需求的组成类别、层次及演变过程,并对需求管理的难点进行了讨论,为实现基于模型的需求管理奠定了基础。但仅从技术角度对需求管理过程进行分析、总结和抽象是不够的,还应深入研究相应的信息化技术对需求管理业务进行支撑,以期真正实现需求驱动的设计,研制出更高质量的飞机产品。

AST

参考文献

- [1] 朱一凡. NASA系统工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012. ZHU Yifan. NASA Systems Engineering Handbook[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012. (in Chinese)

- [2] Jean-Claude Roussel. AIRBUS Presentation Benefits of Requirement Engineering with DOORS[C]. Presentation at Telelogic Capital Market Event, 2005.
- [3] John Pfoestl, Requirements Based Engineering for Aerospace Certification Projects [EB/OL]. [2010-11]. <http://www.readbag.com/n-w-c-de-files-rbe-handout-day2-abr>
- [4] Ian Alexander. Requirements Management with DOORS A Success Story [EB/OL]. <http://easyweb.easynet.co.uk/~iany/index.htm>
- [5] SAE. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems (ARP 4754)[EB/OL]. [2010-10]. <http://sunnyday.mit.edu/16.355/arp4754a.pdf>
- [6] Klaus Pohl. 需求工程——基础、原理和技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
Klaus Pohl. Requirements Engineering—Fundamentals, Principles, and Techniques[M]. Beijing: China Machine Press, 2012.(in Chinese)
- [7] Hans-Henrich Altfeld. 商用飞机项目——复杂高端产品的研发管理[M]. 北京: 航空工业出版社, 2013.
Hans-Henrich Altfeld. Commercial Aircraft Projects—Managing the Development of Highly Complex Products[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2013. (in Chinese)
- 作者简介**
董亮(1983—) 男, 博士, 工程师, 主要研究方向: 需求管理、数字化设计等。
Tel: 029-86832939
E-mail: werun@126.com
刘俊堂(1964—) 男, 学士, 研究员, 主要研究方向: 数字化设计、产品数据管理等。
Tel: 029-86832939
E-mail: juntangliu@126.com
张永辉(1979—) 男, 学士, 高级工程师, 主要研究方向: 数字化设计、产品数据管理等。
Tel: 029-86832939
E-mail: zyh3728@126.com

Study on Requirement Management for Aircraft Development

DONG Liang*, LIU Juntang, ZHANG Yonghui

Institute of Information System, AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: Document-based requirement management now fails to satisfy the requirements for aircraft development. Based on the features of aircraft development, the aircraft development demand was divided into functional requirement, quality requirement and constraint requirement, and the relationship between them was analyzed. Besides, requirement management was explored from the perspectives of aircraft level, system level, sub-system level and component level. After that, the evolution of all kinds of requirements of all levels was analyzed. Finally, the difficulty in requirement management implementation was discussed. It lays a foundation for the realization of model-based requirement management in aircraft development process.

Key Words: aircraft development; requirement management; functional requirement; quality requirement; constraint requirement; requirement hierarchy

Received: 2013-12-23; Accepted: 2014-02-21

* Corresponding author. Tel.: 029-86832939 E-mail: werun@126.com