

文章编号:1674-8190(2016)02-198-11

一种商用飞机工程更改分类模型及管理策略

孟旭, 占红飞

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要: 工程更改分类是构型控制的重要内容, 为了满足日益突出的精细化工程更改管理需求, 减少工程更改分类判断对人的依赖, 需要引入新的分类和管理技术研究商用飞机工程更改分类模型及管理策略。首先, 通过分析商用飞机研制过程工程更改的特点, 分析工程更改影响力的组成因素, 从“重要性”、“紧急性”和“复杂性”三个维度对工程更改影响力进行刻画, 构建商用飞机更改影响评价指标体系。然后, 采用综合模糊评价方法和坐标映射方法构建商用飞机更改分类模型, 并基于八种分类给出与其密切相关的飞机更改管理策略和流程, 实现对工程更改精细化管理。最后, 以某商用飞机公司典型工程更改为例, 讨论并验证更改分类模型和管理策略, 结果表明模型有效。

关键词: 商用飞机; 工程更改; 更改分类; 构型控制; 构型管理

中图分类号: TB181

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2016.02.010

A Classification Model and Management Strategy of a Commercial Aircraft Engineering Change

Meng Xu, Zhan Hongfei

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: Engineering change classification is an important part of configuration control. In order to meet the increasingly prominent requirements for fine management of engineering change, reduce the dependence on human judgment for engineering change classification, it is necessary to introduce a new classification and management technology to study a commercial aircraft engineering change classification model and management strategy. Firstly, by analyzing the characteristics of commercial aircraft engineering changes during the development process, the composition of engineering changes influence is analyzed. From three dimensions, the “importance”, “urgency” and “complexity”, to portray the engineering changes influence, and to build commercial aircraft change impact assessment index system. Then, an integrated fuzzy evaluation method and coordinate mapping method are applied for constructing commercial aircraft to change the classification model. Based on eight classifications, the closely related aircraft change management strategy and procedures are given to achieve the fine engineering change management. Finally, take a typical commercial aircraft company engineering changes as an example, the classification model and change management strategies are discussed and validated. The results indicate that the model is valid.

Key words: commercial aircraft; engineering change; change classification; configuration control; configuration management

0 引言

构型管理是从20世纪50年代提出的, 逐渐成为当前世界复杂产品研制所必须的管理技术之

收稿日期:2016-03-08; 修回日期:2016-03-27

通信作者:孟旭, mengxu@comac.cc

一^[1]。在国际民用飞机产业中,几乎所有的制造商、供应商都建立了有效构型管理体系,从而有效地促进项目研制顺利推进^[2]。作为构型管理中关键要素之一,构型控制关注对产品研制阶段发生的工程更改进行管理,使产品构型状态处于可控的状态,使产品的基线获得维护,支持产品研制活动^[3-4]。工程更改分类是构型控制核心技术之一,目的在于保证产品构型状态受控的前提下,对更改进行差异化标识和管理,有效利用项目资源,提高构型控制的效率^[3]。

国际上构型管理标准中均将工程更改分为Ⅰ类更改和Ⅱ类更改,更改判断原则基本一致^[5-8]。以EIA-649B为例,将影响以下要素之一的定为Ⅰ类更改:①功能或分配基线中确定的技术规范;②影响到产品基线中以下要素(客户采购产品的安全性、兼容性、互换性或替代性等);③需对交付后的产品进行改进;④影响到对客户费用/成本、保证、允诺、合同规定的交付日期或里程碑。除此之外的则定为Ⅱ类更改^[5]。国内主要包含两个观点。于勇等^[9-10]将更改分为两类,一类为经重新设计或者更改以后,零部件的外形、装配、功能和互换性等发生了更改;另一类则为上述内容不发生变化,零件的更改只是为了纠正设计的错误。第二类观点源于构型管理标准,并进行了简化,侧重于从产品本身的性能角度对更改进行分类。齐鹏斌等^[11]和骆晶妍等^[12]也均表达了类似于第二类的观点。卢鹄等^[13]则将更改与产品信息的变化直接关联,将更改分为两类:一类是以改变产品结构为目标的变化,即需要产生具有新的模块/零件号的产品对象;另一类是仅对产品自身信息的完善,仅影响产品的属性或工程数据集的信息,不影响产品结构。

从工程实践角度,在民用飞机机载系统或设备供应商选择直接沿用标准中更改分类的原则,例如泰雷兹(航电)、霍尼韦尔(飞控电子)等,该类供应商的产品规模相对简单,产品研发和集成能力较强,工程经验丰富,更改影响面一般,因此在执行过程中基本可行。然而,商用飞机作为一种商业目标驱动的、极端复杂的产品,其工程更改分类需考虑的影响因素愈发繁杂。商用飞机研制的复杂性体现在项目规模极大、产品系统复杂、系统设计高要求、研发进度和成本控制严格和内外关系复杂等^[14]。商用飞机产品复杂性使得工程更改的影响

要素呈现以下特点:①多样性 更改发生时间多样,更改原因多样,更改对象和规模多样,解决方案多样,更改影响多样;②关联性 由于飞机内部复杂关系,更改通过产品分解关系或系统间接口而进行“扩散”,另外更改在对性能产生影响的同时,可能会带来商务、成本、进度、试验、合同、内外关系等方面的影响,并且这些影响因素之间相互转换;③对立性 某项工程更改带来的影响可能会呈现出对立性,例如重量和成本;④难以度量和比较 部分更改影响是可度量的,例如重量变化等,但更多影响是难以度量的,例如新功能的增值、内部关系变化等,在进行综合评估时,难以比较。因此商用飞机项目直接应用现有更改分类标准会存在以下问题:①分类判断因素不够全面 未考虑更改发生的阶段、更改对象级别和成熟度、接口数量、更改紧急性、更改的受影响范围等其他与商用飞机研制息息相关的因素;②分类原则难以执行 上述分类原则过于原则化、定性化、存在较大的模糊地带,实践指导性不强,过分依靠人为认知水平和工作经验;③未考虑到更改影响因素之间存在的相互转化、相互约束关系。

在此情况下,多数主制造商均结合自身产品的特点,在标准中分类原则的基础上进行了细化、补充、修正和重新阐述,编制发布了企业标准。例如空客公司发布了一系列流程规定用于指导更改分类工作^[15],波音公司和庞巴迪公司发布了更改分类的逻辑图和操作指南,以指导研发人员的实际工作^[16]。中国商用飞机有限责任公司则将更改进一步细分为五类,并发布了指导文件^[2]。在标准分类方法的基础上所进行的细化,一定程度上降低了判断的难度,但是仍然需要设计师具有丰富的工程经验,对分类标准足够深入和准确的理解,才能综合多方面受影响的要素,从而较为准确地判断工程更改分类。为了能够精细化工程更改管理方式,减少工程更改分类判断对人的依赖,需要在理清商用飞机研制过程工程更改特性的基础上,引入新的分类和管理技术,优化商用飞机工程更改分类,提高商用飞机工程更改精细化管理水平。

本文首先分析商用飞机的工程更改影响要素,并对其进行归纳和分类,形成商用飞机构型控制影响力评价指标体系;其次,运用模糊综合评价法和模糊层次分析法(Fuzzy Analytical Hierarchy

Process,简称FAHP)对指标体系中的要素进行优先级排序,并通过将三个维度要素映射到三维坐标中构建工程更改分类模型;然后,针对分类结果提出差异化的管理策略;最后,以某民用飞机制造商的具体工程更改实例进行实例验证。

1 商用飞机工程更改分类指标体系

对于具体的工程更改而言,可能产生的更改影响非常复杂的,其复杂性一方面是由于更改影响的多方面特征带来的,既可能是产品本身功能、性能等技术特性的影响,也可能是商务、合同、成本、进度的影响等,并且各种影响之间存在传导、关联的关系;另一方面是由于更改影响通常是定性的分析,无法转化为定量的指标,不便于评估更改影响,并且更改影响之间没有统一的单位,无法进行数学运算。为了综合反映工程更改可能产生的影响,在本模型中提出“更改影响力”。更改影响力定义为某一项工程更改所有产生的影响程度合集,不同影响力的工程更改需采取不同的评估和决策方式。通常影响力越高,需要评估越全面,决策的级别越高。决定更改影响力的要素多并且非常复杂,本文提出的构型控制影响力分类模型将综合考虑工程更改影响力关联的要素,结合航空工业具体实践和评估分析,将其整合为三个一级评价指标和九个二级评价指标,建立的模型评价指标体系如图1所示。

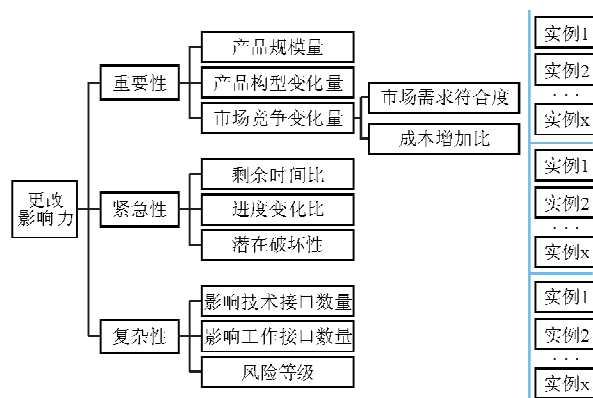


图1 构型控制影响力评价指标体系

Fig.1 Configuration control influence evaluation system

1.1 重要性指标

重要性指标表示更改对产品的特性或项目影

响大小,本文定义产品规模量、产品构型变化量和市场竞争性变化量三个二级指标衡量更改的重要性。

(1) 产品规模量。产品规模量由产品级别和产品成熟度共同决定。产品更改对象应该分级管理,在商用飞机项目中产品分为飞机、多系统、单系统、分系统、部件、设备/组件/软件、零件/元器件/代码行等级别,另外部件以下的产品可以进一步分为关键件、重要件和一般件。更改对象的级别越高,更改产生的影响力越大。随着飞机研制的逐步推进,产品的成熟度不断提高。产品成熟度越高,对其更改所产生的影响力越大,例如功能构型文件在详细设计阶段成熟度远比在初步设计阶段高,因此在详细设计阶段提出对功能构型文件更改所带来的影响力远大于在初步设计阶段。

(2) 产品构型变化量。产品构型变化量由产品构型变化程度和受影响基线数量共同决定。构型基线建立后,对产品构型特征(功能、性能、物理等)进行确立冻结,形成基准。后期设计过程中,如果需要对构型进行更改,应该描述构型的变化量。不同变化量对更改影响力的贡献不同,通常变化量越大,影响力越大,例如重量的变化,超过1 kg和不超过1 kg,决策者层级将会不同。另外由于更改可能会在基线之间进行扩散,某些重要的工程更改,可能影响多条基线。影响到基线的数量越多,构型变化量累加效应越大,产生的更改影响力越大。

(3) 市场竞争性变化量。市场竞争性是飞机与其他同座级飞机相比所具有的优势。市场竞争性的分析非常复杂,需要考虑多个参数,并通过专门数学模型进行计算。本文结合构型变化的特征,将其简化为以下两个三级指标:

① 市场需求符合度 假设发布的市场目标和需求能够真实地反应市场需求,并且在短时间内市场需求不会发生大的波动。按照系统工程理论,设计应该符合市场目标的要求,但是工程更改可能会造成实际构型对市场目标的偏离,偏离越大,飞机的竞争性越差,更改的影响力越大;

② 成本增加比 成本包含研制成本和单机成本,单机成本包含飞机后期的营运成本、维修成本等。通常商用飞机在正式启动时,会确定飞机的成本基线,后期的设计应该保持这个基线。但是工程

更改可能导致研制费用增加或者单机成本变化,成本的变化比越大,更改的影响力越大。

1.2 紧急性指标

紧急性评价指标主要是更改的紧急程度和优先级。本文定义更改剩余时间比、进度变化比和潜在破坏性三个二级指标来评估更改的紧急性。

(1) 剩余时间比。剩余时间比是指完成整个更改流程(从提出更改到更改实施和验证)预计时间和项目最大允许时间的比值。通常商用飞机采用高度的并行工程,在进行工程更改的同时,项目的研制进度还在继续向前推进,项目管理者希望尽快确定和发布更改后的构型,以便于各方开展工作,因此能够提供的允许时间有限,但是工程更改需要确定更改方案的合理性和完整性,自身需要一个评估和执行周期。通常剩余时间比越高,说明更改越紧急,更改影响力越大。

(2) 进度变化比。进度变化比是指工程更改带来的进度变化量与项目中初始赋予目标周期比值。飞机项目管理者将研制活动进行分解,并赋予每一个任务以目标周期,形成项目的工作计划。工程更改对产品的构型基线提出更改,会影响到飞机的研制中某些活动的时间进度,例如新要求的提出,导致需要采购新的材料或者补充额外的试验等,进而影响到产品的交付进度和试验进度等。通常进度变化的比值越大,说明更改越紧急,更改影响力越大。

(3) 潜在破坏性。潜在破坏性是从反方向推算如果更改不在最大允许时间内完成,可能带来各类恶性后果综合。对更改来说,能够产生的直接后果是多方面的,包括工作成果作废、生产暂停、交付进度延迟、客户不满意、商务纠纷等。

1.3 复杂性指标

复杂性评价指标表示工程更改的影响深度和广度,或者更改存在潜在的技术障碍和商务风险。本文选取了影响技术接口数量、影响工作接口数量和风险等级来度量工程更改的复杂性。

(1) 影响技术接口数量。商用飞机的系统高度复杂,系统之间需定义很多的技术接口(功能接口、电气接口、机械接口),作为双方开展下一步工作的基础。工程更改可能影响到接口要求的变化,导致多个产品团队需配合完成更改的标识和评估。

影响到技术接口数量越多,需参与的团队越多,团队之间的协同关系越复杂,更改的影响力越大。

(2) 影响工作接口数量。商用飞机研制中除了技术接口,还有很多的工作接口,例如设计与制造之间、主制造商与制造供应商之间、设计和试验之间,这些相关方之间技术接口较少,但是工作分工导致的工作接口较多。工程更改可能导致工作接口受到影响,例如新增工作量,实施难度加大等。受影响方越多,影响到的工作接口越多,完成更改需要工作量越多,更改越难落实,协调关系越复杂,更改的影响力越大。

(3) 风险等级。虽然要求更改评估要全面,但是实际工作中,仍会有一些不确定存在,例如:采用的新技术没有在任何型号上应用,因此在后期取证工作方面存在风险;由于新增的设计要求,需要更换新的供货商,能否在最佳的时间内找到物美价廉的供货商,也存在风险。风险的存在会使得更改的复杂性进一步提高,通常风险越多,风险等级越高,复杂性越高,更改的影响力越大。

2 商用飞机工程更改分类模型

上述构型控制影响力评价指标体系出现了三类指标:一个是一级指标,令其为 U_i ,即构型控制影响力分类模型的三个维度。由三个一级指标延伸出九个二级指标,令其为 U_{ij} 。为了更准确地评估二级指标,本文对市场竞争变化量二级指标进行细化,产生两个三级指标。

2.1 二级指标的模糊综合评价方案

(1) 构造模糊评价矩阵

在模糊综合评价方法中,首先确定评价方案的指标论域 U 和评语等级论域 V ,其中在一级指标下的二级指标 U_{ij} 为待评因集,例如重要性指标中的产品规模、市场竞争变化量和产品构型变化量为模糊综合评价方案中的指标论域,即待评价因集。而以需要进行筛选分类的工程更改实例 $V_i(v_1, v_2, \dots, v_n)$ 表示评价因集。论域中元素 U (待评价因集)都以一定的隶属度属于评语等级论域 V (评价因集)。隶属度可以是定量的数值,也可以是定性的描述,用 r_{ij} 表示。 r_{ij} 表示评价因集中的 v_i 对待评价因集 U_j 的隶属度,从而构建模糊综合评价方案中的模糊评价矩阵 $R^{[17-18]}$ 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & K & r_{1n} \\ M & 0 & M \\ r_{m1} & L & r_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2) 确定二级指标之间的权重系数

根据二级指标 $U_{ij}(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ij})$ 对于一级指标 U_i 的重要程度不同,通过模糊层次分析法确定各二级指标的权重系数 $W_{ij}(w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ij})$ 。一般问题的层次分析中,构造两两比较判断矩阵时通常未考虑人的判断模糊性,而专家对于某些问题咨询通常会给出一些模糊答案,并且商用飞机的研制过程是一个高度复杂的系统工程,涉及众多学科和技术的综合,商用飞机工程更改实例所产生的更改影响,专家也不可避免存在不确定性,为此本文采用模糊层次分析法,使专家能够凭借经验和技能更好地给出其偏好,从而构建质量好的判断矩阵,进而使权重系数的确定更加符合工程实际^[19-20]。

2.2 分类模型的建立

构型控制工程更改影响力的三个维度评估公式为

$$R_i = \sum_{j=1}^k w_j \times p_j (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, k) \quad (2)$$

式中: R_i 为工程更改影响力的三个维度(重要性、紧急性和复杂性)的评价值; w_j 为各个维度下指标准则的相对权重; p_j 为指标准则对维度 R_i 的贡献大小。

p_j 的确定方法采用模糊综合评价法中专家评分的方法确定,各指标准则的相对权重通过二级指标的模糊综合评价方案中的模糊层次分析法得到,为此可以得到各个工程更改实例中重要性、紧急性和复杂性的评价值。

假设飞机研制过程中的待评估和分类的工程更改实例有 x 个:

重要性评价集 $(Imp_1, Imp_2, \dots, Imp_x)$, 设评价集中最大值为 Imp_{max} , 坐标系量化基数为 $Imp_{axis}(Imp_{axis} \geq Imp_{max})$, 则工程更改实例的相对重要性定义为 $Imp_R_i = Imp_i / Imp_{axis}$;

则紧急性评价集 $(Urg_1, Urg_2, \dots, Urg_x)$, 设评价集中最大值为 Urg_{max} , 坐标系量化基数为 $Urg_{axis}(Urg_{axis} \geq Urg_{max})$, 则工程更改实例的相对紧急性定义为 $Urg_R_i = Urg_i / Urg_{axis}$;

则复杂性评价集 $(Cop_1, Cop_2, \dots, Cop_x)$, 设评

价集中最大值为 Cop_{max} , 坐标系量化基数为 $Cop_{axis}(Cop_{axis} \geq Cop_{max})$, 则工程更改实例的相对复杂性定义为 $Cop_R_i = Cop_i / Cop_{axis}$;

将相对重要性、相对紧急性和相对复杂性定义为构型控制分类模型坐标系中的坐标值, 则第 i 种工程更改实例的坐标定位为 $(Imp_R_i, Urg_R_i, Cop_R_i)$ 。

为了使分类模型更好地符合实际研制, 同时考虑飞机具体研制阶段和飞机研制过程中构型控制力度的差异, 分类模型中 Imp_{axis} 、 Urg_{axis} 和 Cop_{axis} 数值的确认原则为

$$\begin{cases} Imp_{axis} = xIMP \\ Urg_{axis} = yURG \\ Cop_{axis} = zCOP \end{cases} \quad (3)$$

式中: IMP 、 URG 、 COP 为工程更改实例各指标三个维度属性评分极值; x 、 y 、 z 为三个维度构型控制力度系数, $x, y, z \in (0, 1)$, 可根据飞机具体研制流程过程中的管理力度而定, 例如在质量检查的特殊时期, 管理的力度较大, x 需要取小值; 更改管理比较有序时, 可以进行适当授权时, x 可取大值。

本文用 Imp^* 、 Urg^* 、 Cop^* 分别表示各变量的临界值, 将工程更改所产生的重要性大用 $Imp > Imp^*$ 表示, 将工程更改所产生的重要性一般用 $Imp < Imp^*$ 表示, 将工程更改紧急性高用 $Urg > Urg^*$ 表示, 将工程更改紧急性一般用 $Urg < Urg^*$ 表示; 将工程更改复杂性高 $Cop > Cop^*$ 来表示, 将更改复杂性一般用 $Cop < Cop^*$ 来表示。将以上各因素组合, 根据 80/20 规则, 结合工程更改影响力分析, 可以将工程更改分为八种类型, 如表 1 所示。

表 1 工程更改分类

Table 1 Engineering change classification

序号	重要性	紧急性	复杂性	更改类型	更改类型代号
1	$0 < Imp \leq 0.8$	$0 < Urg \leq 0.8$	$0 < Cop \leq 0.8$	第一类	1
2	$0 < Imp \leq 0.8$	$0 < Urg \leq 0.8$	$0.8 < Cop \leq 1$	第二类	2
3	$0 < Imp \leq 0.8$	$0.8 < Urg \leq 1$	$0 < Cop \leq 0.8$	第三类	3
4	$0.8 < Imp \leq 1$	$0 < Urg \leq 0.8$	$0 < Cop \leq 0.8$	第四类	4
5	$0.8 < Imp \leq 1$	$0 < Urg \leq 0.8$	$0.8 < Cop \leq 1$	第五类	5
6	$0 < Imp \leq 0.8$	$0.8 < Urg \leq 1$	$0.8 < Cop \leq 1$	第六类	6
7	$0.8 < Imp \leq 1$	$0.8 < Urg \leq 1$	$0 < Cop \leq 0.8$	第七类	7
8	$0.8 < Imp \leq 1$	$0.8 < Urg \leq 1$	$0.8 < Cop \leq 1$	第八类	8

3 商用飞机工程更改差异化管理流程

将基于商用飞机工程更改流程中更改标识、更改评估、更改决策、更改流程监管四个方面构建出有效的差异化管理策略。

3.1 更改标识要求

对于重要性高的更改,更改的原因、更改的措

施/方案、更改前后构型变化、更改影响综述、更改的实施项目和实施计划需要重点标识。对于紧急性高的更改,更改的紧急性申明、更改的实施项目和实施计划需要重点标识。对于复杂性高的更改,更改受影响团队清单、更改团队配合更改措施、更改前后接口的变化需要重点标识。因此,对于本文定义的八类更改,标识的要求如表 2 所示。

表 2 标识要求
Table 2 Identification requirements

项目内容	更改类型							
	1	2	3	4	5	6	7	8
更改源头和更改原因	√	√	√	★	★	√	★	★
更改对象	√	√	√	√	√	√	√	√
更改的措施/方案	√	√	√	★	★	√	★	★
更改前后构型变化	√	√	√	★	★	√	★	★
更改必要性说明	○	○	○	★	★	√	★	★
更改影响综述	○	○	○	★	★	√	★	★
紧急性申明	○	○	★	○	○	★	★	★
受影响团队清单	○	★	○	○	★	★	○	★
受影响团队配合更改措施	○	★	○	○	★	★	○	★
更改前后接口的变化	○	★	○	○	★	★	○	★
实施项目和实施计划	√	√	★	★	★	★	★	★

注:“○”表示此项更改的该信息按需标识;“√”表示此项更改的该信息必须标识;“★”表示此项更改的该信息必须详细描述。

3.2 更改评估要求

评估要求可以从参与评估方和评估方式两个角度进行描述。对于重要性高的更改,除了团队内部评估外,需要上一级产品设计团队参与评估,对于非常重要的更改,还需要飞机级设计团队、技术专家、非技术团队(成本、合同、销售、客户等管理团

队)参与评估,同时需要组织专题评估会,并提供论证报告。对于紧急性高的更改,通常需要组织专题评估会。对于复杂性高的更改,则需要上一级产品设计团队参与评估,对于明显复杂的更改,还需要邀请技术专家参与评估,同时需要组织多团队的协调会完成评估工作。因此,本文定义的八类更改,更改评估要求如表 3 所示。

表 3 评估要求
Table 3 Evaluation requirements

评估角度	项目内容	更改类型							
		1	2	3	4	5	6	7	8
评估方	团队内部	√	√	√	√	√	√	√	√
	受影响产品设计团队	×	√	×	×	√	√	×	√
	上一级产品设计团队	×	○	×	√	√	○	√	√
	飞机级设计团队	×	×	×	○	√	×	√	√
	技术专家	×	○	×	√	√	○	√	√
	非技术团队	×	×	×	√	√	○	○	√
评估方式	审签流程	√	√	×	√	×	×	×	×
	团队例会	√	√	×	√	×	×	×	×
	协调会	×	√	×	×	√	√	√	√
	专题评估会	×	×	√	√	√	√	√	√
	论证报告	×	×	×	√	√	○	○	√

注:“√”表示需要参与评估或应该采用该方法进行评估;“○”表示参与评估或按需采用该方法进行评估;“×”表示不需要参与评估或不需要采用该方法进行评估。

3.3 更改决策要求

决策要求从决策者和决策工作方式两个角度进行描述。对于重要性高的更改,除了团队 CCB 决策外,需要上一级产品设计团队 CCB 参与决策,对于非常重要的更改,还需要飞机级设计团队

CCB 决策,同时需要组织专题汇报会。对于紧急性高的更改,通常需要组织专题汇报会。对于复杂性高的更改,则需要所有受影响方设计团队 CCB 参与决策,同时需要组织多团队联合汇报会。因此,本文定义的八类更改,更改决策要求如表 4 所示。

表 4 决策要求
Table 4 Decision requirements

决策角度	项目内容	更改类型							
		1	2	3	4	5	6	7	8
决策者	团队 CCB	√	√	√	√	√	√	√	√
	受影响产品设计团队 CCB	×	√	×	×	√	√	×	√
	上一级产品设计团队 CCB	×	○	×	√	√	○	√	√
	飞机级设计团队 CCB	×	×	×	○	√	×	√	√
决策方式	审签流程	√	√	×	√	×	×	×	×
	团队例会	√	√	×	√	×	×	×	×
	联合汇报会	×	√	×	×	√	√	√	√
	专题汇报会	×	×	√	√	√	√	√	√

注:“√”表示需要参与决策或应该采用该方法进行决策;“○”表示参与决策或按需采用该方法进行决策;“×”表示不需要参与决策或不需要采用该方法进行决策。

3.4 更改流程监管

监管要求从监管者和监管方式两个角度进行描述。对于重要性高的更改,除了团队项目主管外,需要上一级产品设计团队项目主管参与监管,对于非常重要的更改,还需要飞机级设计团队项目

主管参与监管。对于紧急性高的更改,通常需要上一级产品设计团队项目主管参与监管。对于复杂性高的更改,则需要所有受影响方设计团队项目主管联合监管。因此对于本文中定义的八类更改,更改流程监管要求如表 5 所示。

表 5 流程监管要求
Table 5 Super vision requirements

监管角度	项目内容	更改类型							
		1	2	3	4	5	6	7	8
监管者	团队项目主管	□	□	□	□	□	□	□	□
	受影响产品设计团队项目主管	×	□	×	×	□	□	×	□
	上一级产品设计团队项目主管	×	□	□	□	□	□	□	□
	飞机级设计团队项目主管	×	×	×	×	□	□	□	□
监管项目	任务项和责任人	√	√	√	√	√	√	√	√
	起始时间	√	√	√	√	√	√	√	√
	配合时间	×	√	×	×	√	√	×	√
	中间检查时间	×	×	√	√	√	√	√	√
	完成时间	√	√	√	√	√	√	√	√

注:“√”表示参与监管或需要进行监管的项目;“×”表示不需参与监管或无法对该项目进行监管;“□”表示定期参与监管。

4 实例验证

4.1 实例验证准备工作

4.1.1 运用模糊综合评价方法构建二级指标模糊评价矩阵

根据模糊综合评价方法,构建模糊评价矩阵需确定待筛选分类的工程实例集合对于二级指标集合的隶属度。隶属度采用定性的描述和对应的定量数值的刻画。为了获得工程更改实例对评价指标隶属度的真实刻画,从而确定各个实例对各个指标的隶属度,必须组建 10 人以上的专家评估小组。小组成员可以是本公司丰富经验的高级工程师、研究员或专家,也可以是外部的专家顾问。所选择的评估小组成员不仅需要非常熟悉飞机整体研制流程,还需要对更改本身所属的技术领域有深入和透彻地研究。评估小组采用 Delphi 法(专家分析法),利用表评价指标隶属度量表收集评估小组成员对各个实例对各个指标隶属度评估意见,从而构建二级指标模糊评价矩阵。

4.1.2 运用 FAHP 方法确定二级指标之间的权重系数

根据构型控制影响力分类模型建立的评价指标体系,请专家评估小组确定评价体系的二级指标中第 i 各指标和第 j 各指标的相对重要性,具体的评估方法是评估小组成员分别按照 FAHP 方法的 M1-M9 标度法对二级评价指标之间的相对重要性进行量化,然后通过求平均方法将各个专家的模糊评估意见汇总,构造各判断矩阵。

(1) 重要性一级指标下的二级指标的相对重要性确定

A_1 是产品规模量, B_1 是产品构型变化量, C_1 是市场竞争性变化,其相对重要性专家评估结果如表 6 所示。

(2) 紧急性一级指标下的二级指标的相对重要性确定

A_2 是剩余时间比, B_2 是进度变化比, C_2 是潜在破坏性,其相对重要性专家评估结果如表 7 所示。

(3) 复杂性一级指标下的二级指标的相对重要性确定

A_3 是影响技术接口数量, B_3 是影响工作接口数量, C_3 是风险等级,其相对重要性专家评估结果

如表 8 所示。

表 6 重要性一级指标下的二级指标的相对重要性

Table 6 Relative importance of secondary indicators under level-one indicators of importance

相对重要性	数 值
$A_1 A_1$	(1,1,1)
$B_1 A_1$	(1/1.7, 1/1.5, 1/1.4)
$C_1 A_1$	(2.6, 2.8, 2.9)
$A_1 B_1$	(1.4, 1.5, 1.7)
$B_1 B_1$	(1,1,1)
$C_1 B_1$	(2.9, 3, 3.2)
$A_1 C_1$	(1/2.9, 1/2.8, 1/2.6)
$B_1 C_1$	(1/3.2, 1/3, 1/2.9)
$C_1 C_1$	(1,1,1)

表 7 紧急性一级指标下的二级指标的相对重要性

Table 7 Relative importance of secondary indicators under level-one indicators of urgency

相对重要性	数 值
$A_2 A_2$	(1,1,1)
$B_2 A_2$	(1/1.6, 1/1.5, 1/1.3)
$C_2 A_2$	(2.7, 3, 3.1)
$A_2 B_2$	(1.3, 1.5, 1.6)
$B_2 B_2$	(1,1,1)
$C_2 B_2$	(2.9, 3.2, 3.3)
$A_2 C_2$	(1/3.1, 1/3, 1/2.7)
$B_2 C_2$	(1/3.3, 1/3.2, 1/2.9)
$C_2 C_2$	(1,1,1)

表 8 复杂性一级指标下的二级指标的相对重要性

Table 8 Relative importance of secondary indicators under level-one indicators of complexity

相对重要性	数 值
$A_3 A_3$	(1,1,1)
$B_3 A_3$	(1/5.4, 1/5, 1/4.8)
$C_3 A_3$	(1/2.3, 1/2, 1/1.9)
$A_3 B_3$	(4.8, 5, 5.4)
$B_3 B_3$	(1,1,1)
$C_3 B_3$	(4.3, 4.5, 4.6)
$A_3 C_3$	(1.9, 2, 2.3)
$B_3 C_3$	(1/4.6, 1/4.5, 1/4.3)
$C_3 C_3$	(1,1,1)

在建立三个一级指标下二级指标相对重要性判断矩阵之后,按照 FAHP 的权重确定方法,构建模糊矩阵、解模糊、一致性检验,计算得到各指标权重系数,即各一级指标下二级指标之间的权重系

数。为此,得出构型控制影响力三个维度的权重向量:

重要性权重向量:

$$W_{Imp}(A_1, B_1, C_1) = (0.236\ 9, 0.175\ 0, 0.588\ 1)$$

紧急性权重向量:

$$W_{Urg}(A_2, B_2, C_2) = (0.227\ 0, 0.170\ 7, 0.602\ 3)$$

复杂性权重向量:

$$W_{Cop}(A_3, B_3, C_3) = (0.566\ 4, 0.092\ 9, 0.340\ 6)$$

4.2 辅助电源设备安装方式更改实例

在初步设计阶段,APU(辅助电源设备)供应商提出为了提高后期APU安装和维修便利性,将

APU的安装方式由原来8杆改为7杆,并修改安装的位置和角度,为此需要修改APU自身耳片数量和位置以及拉杆的长度和半径,同时由于拉杆需要与结构件进行连接,提供支撑点,因此APU设计团队与结构机身尾段设计团队协调,在机身中调整拉杆的连接点和连接方式。此外,由于APU的安装位置和角度发生了更改,APU设计团队与防火设计团队协调,防火团队对机身尾端的防火区域进行修改,最后APU还与电气布线设计团队和空调设计团队进行协调,将部分电缆和空调管路的走向进行调整。对此项更改进行影响力分析如表9所示。

表9 更改实例影响力分析表

Table 9 Analysis table of change impact for changes instances

一级评价指标	二级评价指标	说明	打分
重要性	产品规模	产品对象为APU系统,属于飞机重要系统,因此产品级别高,但由于更改发生在初步设计阶段,各系统之间的协同设计较多,成熟度中等,因此综合判断产品规模大	4
	产品构型变化量	对APU本身物理特征影响较大,而且对周边系统的物理特征也较大,综合起来构型变化大	4
	市场竞争变化量	更改前后均符合市场需求,此次更改不会产生额外的研制成本,但有利于降低后期的维护成本	3
紧急性	剩余时间比	更改发生在初步设计阶段,这个阶段主要进行系统基于功能基线的要求,完成系统自身的顶层设计以及系统之间的接口设计,这个阶段的特征就是系统更改概率较大,从整个项目的周期安排上,通常会考虑到这种情况,预留出足够的时间,因此剩余时间比小于100%	1
	进度变化比	此次更改主要是APU安装方式的更改,对APU自身的功能、性能、功能接口、电气接口等无影响,对其他系统的影响也主要集中在物理特性方面,预计整个工作进度变化在1.5个月,占APU整个设计进度的10%	1
	潜在破坏性	此次更改降低了安装和维护的难度,有利于提高制造方和客户的关系,因此破坏性基本为零	1
复杂性	影响技术接口数量	此次更改影响与结构、强度、防火、电源、电气、管路等系统的多个接口	5
	影响工作接口数量	此次更改影响供应商与主制造方之间、设计方与制造方之间工作接口	3
	风险等级	此次更改无风险影响	1

从表9可以看出:工程更改实例二级指标模糊评价矩阵,即重要性、紧急性和复杂性的属性值向量。

$$Imp(A_1, B_1, C_1) = (4, 4, 3)$$

$$Urg(A_2, B_2, C_2) = (1, 1, 1)$$

$$Cop(A_3, B_3, C_3) = (5, 3, 1)$$

结合上文确定的三个维度的权重向量,则可以根据构型控制工程更改影响力的三个维度评估公式,得出三个维度的加权综合评价值

$$Imp = 3.411\ 9; Urg = 1; Cop = 3.451\ 3$$

同时,根据模糊综合评价方法构建二级指标模糊评价矩阵中确定的各评价指标隶属度量表,可得出三个维度加权综合评价值的极值

$$IMP = 5; Urg = 5; Cop = 5$$

该商用飞机公司项目处在研发阶段,工程更改较多,同时存在更改评估不全面和重复更改的风险,故构型控制力度系数设置 x, y, z 取0.8,控制力度属于正常范畴。

$$Imp_{axis} = x \times IMP = 0.8 \times 5 = 4$$

$$Urg_{axis} = y \times URG = 0.8 \times 5 = 4$$

$$Cop_{axiz} = z \times COP = 0.8 \times 5 = 4$$

从而得出分类模型坐标系三个坐标数值：

$$Imp_{R_1} = Imp_1 / Imp_{axiz} = 3.4119 / 4 = 0.8530$$

$$Urg_{R_1} = Urg_1 / Urg_{axiz} = 1 / 4 = 0.25$$

$$Cop_{R_1} = Cop_1 / Cop_{axiz} = 3.4513 / 4 = 0.8628$$

根据分类模型三个维度坐标值及分类模型中八类更改类型的定义(如表 1 所示),确定辅助电源设备安装方式更改实例属于第五类更改类型($0.8 < Imp \leq 1, 0 < Urg \leq 0.8, 0.8 < Cop \leq 1$)。对于该

实例,假如目前商用飞机公司对于“重要性”和“复杂性”的构型管理力度偏低,即构型控制力度系数 x 和 z 系数设置高于 0.8,则 Imp_{R_1} 和 Cop_{R_1} 的坐标数值则会相应低于 0.8,那么该实例属于第一类更改类型($0 < Imp \leq 0.8, 0 < Urg \leq 0.8, 0 < Cop \leq 0.8$),这也验证了工程更改分类模型能够实现商用飞机研制过程的精细化管理。

根据第五类更改类型,对应的更改管理策略和流程如表 10 所示。

表 10 更改实例更改申请单

Table 10 Change request of change examples

工程更改申请单			
编 号	ECR-490-0001		
标 题	更改 APU 的安装形式		
更改产品团队	APU 设计团队	编制者	张 三
更改原因	为了提高后期 APU 安装和维修便利性,……		
更改对象	APU 490-001-001; APU 一号拉杆 491-101-001 ……		
更改方案措施	将 APU 的安装方式由原来 8 杆改为 7 杆,同时安装的位置和角度进行修改,……		
更改的必要性说明和技术论证	原有的安装方式,安装和维护时需要专门工具,更改后的方案可以借用其他型号的工具,……		
更改影响综述	此次更改需要改变 APU 的……		
结构团队配合更改措施以及影响	为了配合此次更改,需要……		
防火团队配合更改措施以及影响	为了配合此次更改,需要……		
更改前后构型变化	取消了拉杆编号 491-101-001,APU 的安装图需要升版; 结构 XX 图纸需要升版,需要取消耳片 XXX……		
更改前后接口变化	APU 与结构之间的机械接口需要更改		
更改批准后的实施项目和实施计划	APU 设计团队在 15 个工作日发布数模; 结构设计团队对数模进行会签,并在 10 个工作日内发布数模 ……		

5 结 论

本文以更改影响力为核心,采用综合评价技术,建立了商用飞机工程更改分类模型,并形成了管理策略。通过以某民用飞机制造商的具体工程更改实例进行实例验证,表明分类模型能够快速、简单、正确地确定更改类型,同时能够在未影响构型管理目标的前提下,提高了流程效率。

下一步工作将在考虑商用飞机公司所处的发展阶段、飞机项目研制的不同阶段、不同工程更改具体场景的基础上,研究如何给出三个维度构型控制力度系数的确认准则。并且,为了更好地应用提出的构型控制分类模型,需借助信息化平台,研究

一套转化方法,将构型控制分类方法和差异化管理策略融入项目的研制流程中。

参考文献

- [1] 王庆林. 构型管理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2010: 3-15.
Wang Qinglin. Configuration management[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2010: 3-15. (in Chinese)
- [2] 汤小平. 构型管理工作研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2012(2): 49-56.
Tang Xiaoping. Research on configuration management work[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2012(2): 49-56. (in Chinese)
- [3] 孟旭. 提高民用飞机构型控制效率研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(8): 80-84.

- Meng Xu. A research on improving configuration control efficiency of civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2010(8): 80-84. (in Chinese)
- [4] 龚文秀. 民用飞机构型基线建立研究[J]. 科技创新导报, 2012(29): 19-21.
Gong Wenxiu. Research on establishment of civil aircraft configurations baseline[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2012(29): 19-21. (in Chinese)
- [5] American National Standards Institute (ANSI). EIA-649 B National consensus standard for configuration management[S]. USA: American National Standards Institute (ANSI), 2004.
- [6] Federal Aviation Administration. FAA-STD-021 Configuration management (contractor requirements) [S]. USA: Federal Aviation Administration, 1987.
- [7] International Organization for Standardization. ISO1007 Quality management systems-Guidelines for configuration management[S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 2003.
- [8] The USDOD. MIL-HDBK-61A Configuration management handbook[S]. USA: The US Department of Defense, 2001.
- [9] 于勇, 范玉青. 飞机构型管理研究与应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(3): 278-283.
Yu Yong, Fan Yuqing. Study and application of aircraft configuration management[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005, 31(3): 278-283. (in Chinese)
- [10] 于勇, 卢鹤, 范玉青, 等. 飞机构型控制技术研究与应
用[J]. 航空制造技术, 2009(23): 79-82.
Yu Yong, Lu Hui, Fan Yuqing, et al. Study and application of aircraft configuration control technical[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(23): 79-82. (in Chinese)
- [11] 齐鹏斌, 拜明星, 张尚安. 飞机构型管理及其控制技术研究与应用[J]. 航空制造技术, 2013(13): 86-89.
Qi Pengbin, Bai Mingxing, Zhang Shang'an. Study and application of aircraft configuration management and control technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(13): 86-89. (in Chinese)
- [12] 骆晶妍, 胡秦轶. 民机构型管理标准化初探[J]. 航空标准化与质量, 2008(5): 12-16.
Luo Jingyan, Hu Qin'gan. Standardization of civil aircraft configuration management[J]. Aviation Standardization & Quality, 2008(5): 12-16. (in Chinese)
- [13] 卢鹤, 于勇, 杨五兵, 等. 飞机单一产品数据源集成模型研究[J]. 航空学报, 2010, 31(4): 837-843.
Lu Hui, Yu Yong, Yang Wubing, et al. Research on integration of single source aircraft product data[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2010, 31(4): 837-843. (in Chinese)
- [14] 汉斯-亨利奇·阿尔特菲尔德. 商用飞机项目—复杂高端产品的研发管理[M]. 唐长红, 译. 北京: 航空工业出版社, 2013.
Hans-Henrich Altfeld. Commercial aircraft projects managing the development of highly complex products [M]. Translated by Tang Changhong. Beijing: Aviation Industry Press, 2013. (in Chinese)
- [15] 郝莲. 民机转包生产中的构型研制[J]. 航空制造技术, 2001(5): 38-42.
Hao Lian. Configuration development of civil aircraft sub-contract production[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2001(5): 38-42. (in Chinese)
- [16] 邹冀华. 欧洲空客飞机构型控制与更改技术[J]. 航空制造技术, 2006(8): 62-67.
Zhou Jihua. Configuration control and change technical of European Airbus[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006(8): 62-67. (in Chinese)
- [17] 王化吉, 宗长富, 管欣, 等. 基于模糊层次分析法的汽车操纵稳定性主观评价指标权重确定方法[J]. 机械工程学报, 2011, 47(24): 83-90.
Wang Huaji, Zong Changfu, Guan Xin, et al. Method of determining weights of subjective evaluation indexes for car handling and stability based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(24): 83-90. (in Chinese)
- [18] 王晖, 陈丽, 陈垦, 等. 多指标综合评价方法及权重系数的选择[J]. 广东药学院学报, 2007, 23(5): 583-585.
Wang Hui, Chen Li, Chen Ken, et al. Select multiple index comprehensive evaluation method and weighting coefficients [J]. Academic Journal of Guangdong College of Pharmacy, 2007, 23(5): 583-585. (in Chinese)
- [19] 李达, 王春树, 杜晓舜, 等. 多指标综合评价方法在上海市水闸安全鉴定中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 109-111.
Li Da, Wang Chunshu, Du Xiaoshun, et al. Comprehensive evaluation method of multiple indexes in Shanghai sluice safety identification [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 109-111. (in Chinese)
- [20] 张群僕. 基于 DEA 的远洋船舶备件 ABC 分类管理模型[J]. 中国水运, 2012, 12(12): 67-70.
Zhang Qunpu. DEA-based ocean-going vessels spare ABC classification management model[J]. China Water Transport, 2012, 12(12): 67-70. (in Chinese)

作者简介:

孟旭(1985—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机构型管理技术、系统工程实践、产品数据管理、PLM 系统原理和架构设计。

占红飞(1987—),男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机构型管理技术、产品数据管理、设计理论和方法。

(编辑:赵毓梅)