

基于 ASDC 模型的民用飞机供应商 评估和监控准则研究

Evaluation and Overseeing Regulation for Civil Aircraft Supplier Based on ASDC Model

刘建方 孙景华 陈一可 花 卉 / Liu Jianfang Sun Jinghua Chen Yike Hua Hui

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

在“主制造商-供应商”的民用飞机研制模式下,供应商的选择和监控在某种程度上决定着民用飞机项目的成败。从供应商机载软件的研制资质、经验、体系规范和资源等角度出发,建立了供应商机载软件研制能力(Airborne Software Development Capability,简称 ASDC)模型,并结合具体机载软件项目的技术要求提出了一套确定供应商评价和监控准则的机制。在此基础上对 ASDC 模型向系统/技术/价格/质量/服务层级扩展,就可以建立一套完整的民用飞机项目供应商选择和监控准则。

关键词:机载软件;供应商评估;供应商监控

中图分类号:G272.7

文献标识码:A

[Abstract] The success of civil aircraft program is mainly determined by the supplier selection and overseeing in the ‘airframer-supplier’ development mode. The Airborne Software Development Capability (ASDC) model for supplier is established from airborne software development qualification, experiences, procedures and resource. Based on the process, the supplier evaluation and overseeing criteria is proposed. The supplier selection and overseeing criteria mechanism will be established based on the extending form the ASDC model to system /technology /price /quality.

[Key words] airborne software; supplier evaluation; supplier overseeing

0 引言

民用飞机的研制具有零部件众多、投入高、风险大、项目周期长等特点。基于风险共担、利益共享的原则,当前民用飞机项目普遍采用“主制造商-供应商”的研制模式。在这种研制模式下,主制造商承担总体和系统方案定义、系统集成等工作,而将零部件、机载设备的设计制造分包给供应商。以波音 787 项目为例,波音公司作为主制造商,负责总体定义和系统集成等核心工作,工作份额只占总量的 35%。而机体部件研发和制造任务则更多地分包给全球各地的供应商,以期转移风险、降低

成本^[1]。

在“主制造商-供应商”的研制模式下,对供应商的评估选择和监控决定着整个项目的成败。波音 787 项目五次推迟首飞、延迟三年半交付,其中的一个重要原因就是供应商协调和管理出现了问题。

随着技术的进步和发展,民用飞机项目逐渐走向智能化、集成化。以表 1 中空客公司的民用飞机项目为例,从 A310 到 A340 飞机中机载软件的数量和规模越来越大。因此,机载软件在供应商的研制任务中占据了越来越大的比例,对供应商机载软件研制能力进行评估也逐渐成为民用飞机项目供应商选择和监控的重要依据。

表 1 数字化机载设备的增长趋势

机型	A310 (70 年代)	A320 (80 年代)	A340 (90 年代)
数字化设备	77	102	115
代码总量(MB)	4	10	20

1 国内外研究现状

国内外对供应商评价与选择的研究大致经历了定性、定量、定性与定量相结合的方法等几个阶段。常见的供应商评价与选择方法包括费尔德法、模式识别法、运筹优化法、经济分析法等几类^[2]。其中层次分析法是运筹优化方法中的典型代表,具有可靠性高、误差小的特点,在很多领域得到了广泛应用。模式识别法中,Akram Zouggari 等人建立了一个模糊系统,采用绩效、服务质量、创新、风险等四类指标对供应商进行评估^[3]。

我国“大飞机”重大科技专项启动以来,国内众多科研院所从不同角度对民用飞机供应商的评价和选择进行了研究。例如,翟子钧借鉴波音公司的五色码评估体系提出一种我国“大飞机”供应商选择模型^[4];徐建新等人选取质量、价格、交付、服务、管理等指标建立了一个多层次评估模型^[5]。

随着机载软件在民用飞机项目中占据的比重越来越大,适航局方也在适航审查中提出了机载软件项目介入程度的概念。FAA 根据软件级别、申请人/开发者的软件适航审定经验、开发能力、服务历史、委任人员的能力以及系统/软件的实际情况(复杂度、规模、新技术等)等因素对软件项目进行评分,然后依据项目得分定义 LOW、MEDIUM、HIGH 三种 FAA 介入程度(Level of FAA Involvement, 简称 LOFI)^[6]。对于三种介入程度,FAA 在人力资源、DER 授权、资料提交、软件评审等方面都提出了不同的要求。EASA 根据相似的因素界定 NONE、LOW、MEDIUM、HIGH 四种介入程度(Level of Involvement, 简称 LOI)及每种介入程度中 EASA 软件评审、申请人软件评审、文件提交等要求^[7]。除此以外,EASA 还提出了 LOI 的变更机制以及确定申请人 LOI 的要求。

2 机载软件研制能力模型

鉴于机载软件在民用飞机项目研制过程中占据的重要地位,有必要明确供应商机载软件研制能

力的评估指标和方法以支持整个民用飞机项目的供应商评估过程。因此,选取供应商机载软件研制相关的技术评估指标,搭建了供应商机载软件研制能力(Airborne Software Development Capability, 简称 ASDC)模型。另一方面,对于复杂的问题很难直接确定相关技术指标的相对权重,所以根据层次分析法构造判断矩阵,进而计算 ASDC 模型中各个技术指标的权重。具体过程如图 1 所示。



图 1 ASDC 模型构建过程

2.1 选取技术指标

总体而言,影响供应商机载软件研制能力的因素主要包括如下几方面。

- 1) 机载软件供应商资质:权威评估机构颁发给供应商的 CMMI、GJB5000A 等软件资质证书以及证书的等级;
- 2) 机载软件研制经验:供应商先前研制的机载软件项目,需要综合考虑项目数量、级别、复杂度等;
- 3) 机载软件研制体系:供应商是否建立了指导机载软件开发、验证、构型管理、质量保证、适航审定工作的指导规范、操作程序、技术手册等;
- 4) 机载软件研制资源:供应商是否具备支持机载软件研制的各种资源,包括人力资源、软件研制工具和平台以及咨询专家等外部资源。

具体的 ASDC 模型的技术指标及相关说明见表 2。

2.2 构造/调整判断矩阵

构造判断矩阵就是评价者以上一层某一技术指标为基准,将本层次的技术指标两两比较,从而确定本层次技术指标的相对重要程度。为了量化比较结果,本文采用 Saaty 的 1~9 标度法来反映同层指标间的相对重要性,见表 3。

表 2 ASDC 模型的指标体系

一级指标	二级指标	指标说明
机载软件供应商资质 [E1]	CMMI [E11]	供应商获得的 CMMI 认证和级别
	GJB5000A [E12]	供应商获得的 GJB5000A 认证和级别
	其他资质 [E13]	供应商获得的其他相关资质认证
机载软件研制经验 [E2]	软件项目数量 [E21]	供应商先前研制的机载软件项目数量
	软件项目级别 [E22]	供应商先前研制的机载软件级别
	软件项目复杂度 [E23]	供应商先前研制的机载软件项目的复杂程度
机载软件研制体系 [E3]	软件开发体系 [E31]	供应商是否建立了软件开发的规范和程序
	软件验证体系 [E32]	供应商是否建立了软件验证的规范和程序
	软件质量体系 [E33]	供应商是否建立了软件质量保证的规范和程序
	软件构型管理 [E34]	供应商是否建立了软件构型管理的规范和程序
	软件适航审定 [E35]	供应商是否建立了软件适航审定的规范和程序
机载软件研制资源 [E4]	人力资源 [E41]	供应商是否拥有具备机载软件开发、验证、构型管理、质量保证、适航审定能力的技术人员
	软件研制工具 [E42]	供应商是否拥有支持软件开发、测试、构型管理、质量保证的软硬件工具和平台
	外部资源 [E43]	供应商是否有咨询专家等外部支持资源

表 3 Saaty 的 1~9 标度法

标度	相对关系定义	说明
1	同等重要	两个指标相比,具有同样的重要性
3	稍微重要	两个指标相比,前者比后者稍微重要
5	明显重要	两个指标相比,前者比后者明显重要
7	强烈重要	两个指标相比,前者比后者强烈重要
9	极端重要	两个指标相比,前者比后者极端重要
2,4 6,8	上述两相邻判断的中值	介于上述判断的中间值
倒数	反比较	若指标 i 与指标 j 比较得 a_{ij} , 则 j 与 i 比较得 $1/a_{ij}$

判断矩阵如图 2 所示,其中 e_{ijk} 表示技术指标 E_{ij} 与 E_{ik} 两两比较对于 E_i 目标的重要程度的标度值, n

表示判断矩阵阶数。

E_i	E_{i1}	E_{i2}	...	E_{in}
E_{i1}	e_{i11}	e_{i12}	...	e_{i1n}
E_{i2}	e_{i21}	e_{i22}	...	e_{i2n}
...
E_{in}	e_{in1}	e_{in2}	...	e_{inn}

图 2 判断矩阵示意图

2.3 一致性检验

判断矩阵是评价者在主观上两两比较技术指标得出的,评价时的思维偏差有可能影响对技术指标相对重要性的判断,而一致性检验就是检验判断矩阵是否存在逻辑错误。只有通过一致性检验的判断矩阵才是有效的,否则应当进行修正。检验步骤如下:

1) 计算一致性指标 CI :

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

其中, λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征值。

2) 计算一致性率 CR :

$$CR = CI / RI$$

其中, RI 是平均随机一致性比率,可由表 4 得出。

表 4 平均随机一致性比率 RI

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.94	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当 $CR < 0.1$ 时,判断矩阵具有一致性,否则应重新调整判断矩阵中的元素,直至具有满意的一致性为止。

2.4 计算指标权重

按照如下步骤采用方根法计算各个技术指标的权重:

1) 将判断矩阵 E_i 的每一行要素相乘,得到一新的向量:

$$M_{ij} = \prod_{k=1}^n e_{ijk} (j=1, 2, \dots, n)$$

2) 计算 M_{ij} 的 n 次方根:

$$S_{ij} = \sqrt[n]{M_{ij}} (j=1, 2, \dots, n)$$

3) 对 S_{ij} 进行归一化后即得到所求的权重向量:

$$W_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sum_{j=1}^n S_{ij}} (j=1, 2, \dots, n)$$

建立 ASDC 模型后,对于某一供应商,就可以根据其机载软件研制的技术水平按照表 2 中的技术指标逐项打分,然后按照如下公式计算该供应商的 ASDC 值:

$$\text{asdc} = w_1 \times \sum_{j=1}^3 e_{1j} \times w_{1j} + w_2 \times \sum_{j=1}^3 e_{2j} \times w_{2j} + w_3 \times \sum_{j=1}^5 e_{3j} \times w_{3j} + w_4 \times \sum_{j=1}^3 e_{4j} \times w_{4j}$$

3 基于 ASDC 模型的供应商评估准则

对于每一个候选供应商,按照 ASDC 模型的技术指标进行评分,可以很容易看出供应商在机载软件研制上的能力差异。但是,民用飞机项目中不同系统中的机载软件在级别、规模和复杂度等方面存在很大差异,对供应商的要求也各不相同。而且,“最优秀”的供应商由于价格和成本上普遍较高,不一定是最好的选择。所以,本文还针对机载软件本身的技术要求提出了机载软件研制要求 (Airborne Software Development Requirement, 简称 ASDR) 模型,并通过 ASDR 模型与 ASDC 模型的对比计算来选择“最合适”的供应商。

3.1 机载软件研制要求模型

ASDR 模型是通过评估某个系统中机载软件的级别、规模和复杂度等指标,从而明确对机载软件供应商研制水平的要求。ASDR 选取的评估技术指标见表 5。

表 5 ASDR 技术指标体系

技术指标	技术指标说明
软件级别[M1]	机载软件的设计保证等级
软件规模[M2]	机载软件实现功能的数量,软件需求/代码的规模
软件复杂度[M3]	机载软件实现功能的复杂程度

对于表 5 中的技术指标,按照本文第 2 章的过程采用层次分析法可以计算出各个 ASDR 技术指标的相对权重。对某个系统中的机载软件按照表 5 的技术指标逐项打分,则可以根据下式计算该机载软件的 ASDR 值:

$$\text{asdr} = \sum_{i=1}^3 m_i \times w_i$$

3.2 供应商机载软件评估准则

根据某个系统机载软件的 ASDR 模型和候选供

应商的 ASDC 模型,可以按照下式计算供应商的评价指标 SEL:

$$\text{sel} = |\text{asdr} - \text{asdc}|$$

SEL 体现了供应商机载软件研制能力与机载软件研制要求的差距。对于不同供应商按照 SEL 的值从小到大排序,SEL 值越小的供应商就越“适合”该系统机载软件的研制任务。

3.3 供应商机载软件监控准则

由于供应商的选择受技术、价格、质量、风险等多重因素制约,所以民用飞机项目选定的供应商对于机载软件而言未必是“最合适”的。因此,仍然有必要根据机载软件的技术要求和选定供应商的技术水平对机载软件研制过程进行合适的监控。根据某个系统机载软件的 ASDR 模型和选定供应商的 ASDC 模型,供应商监控准则 SOL 可以按照下式计算:

$$\text{sol} = \text{asdr} \times [1 + (\text{asdr} - \text{asdc})]$$

由上式可见,选定供应商机载软件研制能力越差,承担的机载软件的研制要求越高,则对该供应商的监控力度就越要加强。反之,对供应商机载软件研制过程的监控力度则可以适当降低。

根据不同的 SOL 区间,本文定义的供应商机载软件研制过程监控准则见表 6。

表 6 供应商机载软件研制过程监控准则

SOL	监控准则说明
$\text{sol} > 0.9$	在机载软件研制过程中,主制造商派驻工程师与供应商协同工作; 对供应商机载软件研制过程进行阶段(计划过程、开发过程、验证过程和最终过程)评审;
$0.6 < \text{sol} \leq 0.9$	在项目关键节点(下线、首飞、TIA 等),主制造商派驻工程师与供应商协同工作; 对供应商机载软件研制过程进行阶段(计划过程、开发过程、验证过程和最终过程)评审; 授权供应商资深工程师监控机载软件研制过程;
$0.3 < \text{sol} \leq 0.6$	对供应商机载软件研制过程进行阶段(计划过程、开发过程、验证过程和最终过程)评审; 授权供应商资深工程师监控机载软件研制过程;
$0.1 < \text{sol} \leq 0.3$	授权供应商资深工程师执行机载软件计划过程和最终过程阶段评审; 对供应商机载软件研制过程进行阶段开发过程和验证过程评审;
$0 < \text{sol} \leq 0.1$	授权供应商资深工程师执行机载软件阶段(计划过程、开发过程、验证过程和最终过程)评审;

(下转第 92 页)

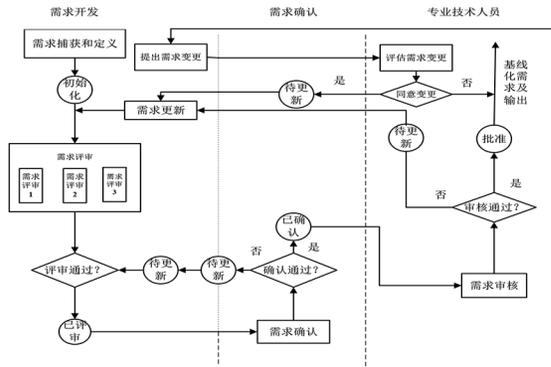


图6 需求变更流程

和进展。平台能够涵盖下列功能^[3]：

- (1) 识别单个需求；
- (2) 将需求分配和分类；
- (3) 识别需求分组修改并添加基线；
- (4) 提供基础数据接口。

随着研制的进展,自动化的工具集可以辅助管理项目的需求。工具能涵盖的范围如下^[4]：

- (1) 管理文档:通过添加表格或者对先前已存在的文件链接来追踪需求；
- (2) 追溯需求:在导入的需求集之间追溯和编辑需求；
- (3) 生成需求:在平台内部生成需求文件；
- (4) 嵌入模型或模拟图。

需求管理工具应能够通过更改控制来收集和监控需求的稳定性。更改控制追踪对现有需求的任何添加、删除和改变。追踪导致更改的原因,改进流程,降低未来型号的更改及成本。通过这种数据收集进行持续的改进,从而降低未来的不稳定性^[5]。

2 结论

针对民用飞机的特点和研制要求,提出了基于状态流的需求管理过程,阐述了需求开发团队,需求确认团队和需求验证团队的职责,介绍了需求捕获流程,需求分析评审,需求确认和需求验证,需求变更等活动。通过有效的需求管理,确保了飞机早期需求的正确性和完整性,以及系统生命周期中需求的稳定性。

参考文献:

- [1] 胡楠. 对基于项目需求工程理论的软件需求管理的研究[J]. 计算机光盘软件与应用, 2012(14): 116-118.
- [2] 吕岸. 面向民用记载系统的需求管理过程研究[J]. 航空研究, 2015, 5: 23-25.
- [3] Scott Jackson. Systems engineering for commercial aircraft 1997 .
- [4] SAE AIR6110 飞机/系统研制过程示例[S].
- [5] SAE ARP 4754A 民用飞机与系统研制指南[S].

(上接第 57 页)

4 总结

民用飞机项目的供应商选择需要考虑技术、价格、质量、服务等多种因素,如图 3 所示。本文从机载软件的角度出发,以供应商机载软件研制能力评估入手,提出了一种供应商评估和监控的机制。在此基础上扩展,逐层建立机载软件/电子硬件、机载系统、技术/价格/质量/服务层级的评估模型,就可以形成一套民用飞机项目供应商选择和监控的机制。

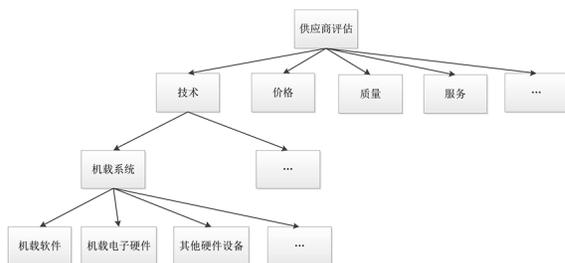


图3 民用飞机供应商评估因素

参考文献:

- [1] 姜香美,张亚莉,徐祎飞. 波音供应商合作关系对大飞机项目的启示[J]. 航空制造技术, 2010, 24: 102-105.
- [2] 王圆. 航空制造业供应商评估体系研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [3] Akram Zouggari, Lyes Benyoucef, Vipul Jain. A Knowledge-based Discrete Event Simulation Approach for Supplier Selection with Order Allocation [C]. Proceedings of the 2009 IEEE IEEM, 1673-1678.
- [4] 翟子钧. 我国大飞机供应商选择模型的初探[C]//西安: 中国航空学会管理科学分会学术交流会议论文集, 2011.
- [5] 徐建新,李洋,郭巧荣. 民用飞机供应商评估体系研究[J]. 中国民航大学学报, 2012, 8, 30(4): 17-21.
- [6] 8110.49 Chg 1, Software Approval Guidelines [S]. FAA, Sep 28, 2011.
- [7] CM - SWCEH - 002 Issue: 01, Subject Software Aspects of Certification[S]. EASA, Aug 11, 2011.