

一种基于 ARP 4754A 的民机机载系统研制项目风险分析方法研究



董锐*, 王平利

中国航空工业发展研究中心, 北京 100029

摘要: 全面的风险识别、准确的风险评估以及方便的风险管理是民机机载系统研制成功的重要保障之一。本文以传统的 WBS-RBS 方法为基础, 提出了基于 ARP 4754A 的 WBS 分解以及针对民机机载系统特征的 RBS 分解的风险识别方法, 构建 WBS-RBS 风险判断矩阵, 以适应先进的民机机载系统研制流程和风险特征并全面识别项目风险。针对识别的风险采用层次分析法(AHP)和模糊评价法相结合的方式进行评估, 并在此基础上构建项目风险登记表。为民机机载系统研制项目的风险分析提供思路和借鉴。

关键词: WBS-RBS; 风险分析; ARP 4754A; 机载系统; 研制项目

中图分类号: X820.4

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2019.12.006

民机机载系统项目研制具有研制周期长、专业面广、复杂程度高、系统性强、技术难度大等显著特点, 具有较高的研制风险性。加上我国尚未形成有竞争力的系统级供应商, 缺乏符合适航要求的民机机载系统的研制经验, 使得项目研制风险进一步加大, 成为制约我国民机机载系统发展的一大阻碍, 亟需一套有效的风险管理体系保障民机机载系统的研制。

而我国在 20 世纪 90 年代才将项目风险管理引入到航空企业, 由于时间较短, 经验匮乏, 无法形成完善的体系。加上多数风险管理集中到质量管理中, 并未实现对风险的整体防控, 风险管理理论与实践较欧美国国家相差甚远。一是风险识别及评估主要以主观经验为主, 多采用专家经验以及项目成员的经验判断等, 鉴于我国民机机载系统研制经验整体不足的现状, 经验判断较容易出现风险项的遗漏以及风险的错误估计; 二是识别出的风险项多集中在传统的风险上, 偏重于系统的开发过程, 难以体现民机机载系统研制所特有的适航审定、过程保证、构型管理、安全性评估等综合过程, 所识别的风险难以与现在先进的民机机载系统研制流程相适应, 不利于风险的提前预防。

鉴于当前民机机载系统项目研制风险识别主要依赖经验判断的现状, 本文采用构建 WBS-RBS 矩阵的方法进行风险因子的全面识别。鉴于目前先进的民机机载系统研制多以 ARP 4754A 所定义的流程为指导开展工作, 传统的基于系统结构或项目研制阶段的 WBS 分解没有体现先进的研制流程, 难以适应民机机载系统的研制工作, 因此本文提出在风险识别中采用基于 ARP 4754A 的 WBS 分解。同时, 在 RBS 分解中, 充分考虑民机机载系统研制特征, 对传统的 RBS 分解进行适应性修改。在风险评估中, 采用成熟的层次分析法和模糊评价法相结合的方式开展风险评估, 最后构建项目风险登记表对风险进行管理和追踪, 并为风险库的建立积累素材。

1 基于 WBS-RBS 的风险识别方法

1.1 WBS-RBS 矩阵介绍

美国项目管理学会(PMI)的 David Hillson 提出了基于 WBS-RBS 矩阵^[1,2]的风险管理方法, 这套方法能够系统地发现项目的风险规律, 涵盖项目中可能发生的风险, 通过按照 RBS 对每个 WBS 节点进行风险识别, 能全面地梳理出风险项, 有效避免风险遗漏; 该方法对风险进行分类, 风险经

收稿日期: 2019-10-17; 退修日期: 2019-10-29; 录用日期: 2019-11-15

*通信作者. Tel.: 010-57827627 E-mail: 405255680@qq.com

引用格式: Dong Rui, Wang Pingli. Study of civil aircraft airborne system development project risk analysis method based on ARP 4754A[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(12): 38-44. 董锐, 王平利. 一种基于 ARP 4754A 的民机机载系统研制项目风险分析方法研究[J]. 航空科学技术, 2019, 30(12): 38-44.

过归类和层次划分后更加清晰、系统,避免了风险划分的混乱,便于风险规划应对、数据处理、评价分析等^[3]。

建立 WBS-RBS 矩阵主要分为三个步骤,首先构建 WBS,其次构建 RBS,最后以 WBS 最底层的作业包集合作为矩阵的列,以 RBS 最底层的风险因子集合作为矩阵的行,建立 WBS-RBS 矩阵,构建起 WBS 和 RBS 的关联,见表 1。

表 1 WBS-RBS 矩阵
Table 1 WBS-RBS matrix

			RBS															
			R1			R2			R3			...						
			1.1	1.2	...	2.1	2.2	...	3.1	3.2	...	...	...	...
WBS	W1	1.1																
		1.2																
		...																
	W2	2.1																
		2.2																
		...																
	W3	3.1																
		3.2																
		...																
																

1.2 基于 ARP 4754A 的 WBS 分解

ARP 4754A《Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems》是于 2010 年 12 月由 SAE 发布代替 1996 年发布的 ARP 4754《Certification Considerations for Highly-Integrated or Complex Aircraft Systems》。基于 ARP 4754A 的 WBS 分解^[4]更优于传统的基于系统结构或者研制阶段的 WBS 分解,主要有以下几个原因。

(1) ARP 4754A 规定的研发流程是被 FAA 及 EASA 接受和推荐的标准流程,是适航当局认可的可用于证明系统开发保证过程的符合性方法。基于 ARP 4754A 的 WBS 分解既能充分适应民机机载系统项目的研制流程又能被广泛认可。

(2) ARP 4754A 不仅强调适航审定,更着重于对整个开发过程进行指导,覆盖民机机载系统研制全流程,因此,基于 ARP 4754A 的 WBS 分解有助于更全面地识别整个项目研制周期的风险项。

(3) ARP 4754A 以需求为导向,以计划为基础,重视顶层策划,重视过程保证,重视综合过程,而这些方面正好是我国民机机载系统能力薄弱的关键所在,是研制风险集中地,因此,基于 ARP 4754A 的 WBS 分解有助于识别出准确的民机机载系统研制风险。

ARP 4754A 将机载系统研制分为计划过程、研制过程

和综合过程,如图 1 所示。

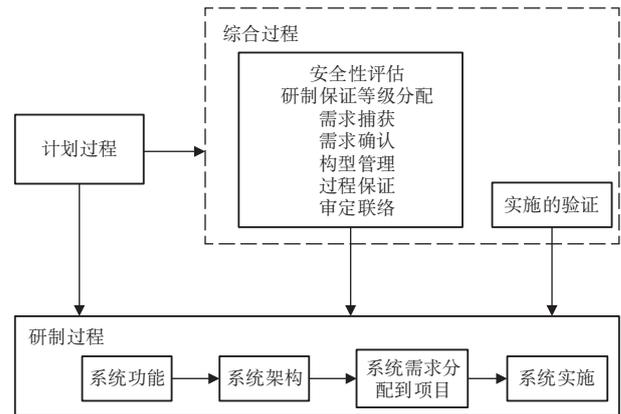


图 1 ARP 4754A 定义的系统研制过程模型

Fig.1 System development process model based on ARP 4754A

计划过程是用来定义民机机载系统在整个研制生命周期内的各项活动、方法工具、输入输出、转换标准、内在联系等,最后需要形成一系列计划类文件。通过制定这些计划文件,以规范研制活动。研制过程包括系统功能与架构的开发、功能与需求的分配、软/硬件开发、系统的实现与集成等,是一个典型的 V 模型开发过程,也是复杂系统开发应当遵循的规律。综合过程赋予了系统研制过程应满足的特殊的属性,例如,研制保证等级的分配过程定义了产品开发过程的保证等级、需求确认的严苛度以及需求验证的严苛度,是一种减少研制错误的过程保证方法。因此综合过程执行得好坏直接决定了系统的品质,包括安全性、可靠性、环保性、经济性等。

计划过程、研制过程以及综合过程互为补充,相互协调、彼此约束,覆盖整个民机机载系统研制生命周期的活动,共同保障系统的成功研制。通过对三大过程的归类整理,本文将基于 ARP 4754A 的民机机载系统研制工作分解为 9 项,包括计划、系统研制过程与需求捕获、安全性评估、研制保证等级分配、需求确认、实施验证、构型管理、过程保证以及审定联络。

(1) 计划

计划是针对研制过程以及整个生命周期的综合过程,包括研制计划、安全性大纲计划、需求管理计划、验证计划、确认计划、构型管理计划、过程保证计划和合格审定计划。

(2) 系统研制过程与需求捕获

系统研制过程与需求捕获是定义系统的功能、需求、架构,并完成各层级的分配以及系统的实现,主要活动包括系统需求、系统派生需求、系统架构、系统需求分配给子系统、

子系统架构、子系统需求分配给设备、设备需求分配给软硬件、软硬件实现以及系统集成。

(3) 安全性评估

安全性评估需要保证相关的失效状态都已经被识别,并且导致这些失效状态的所有重要失效组合都已经被考虑,在此基础上建立安全性要求并保证研制的系统能满足安全性需求。主要活动包括系统功能危害性评估、初步系统安全性评估、共因分析以及系统安全性评估。

(4) 研制保证等级分配

研制保证等级是应用于研制过程的严格程度的度量,用来限制功能与产品研制过程中对安全性有负面影响的错误的可能性到可接受的安全性水平。研制保证等级的分配取决于研制错误引起的失效状态严重性分类,失效状态分类越严重,需要越高的研制保证等级以减轻失效状态。在功能研制阶段,功能需求的提出过程的严格程度的级别由功能研制保证等级给定;在产品研制阶段,产品研制过程的严格程度由软硬件的保证等级给定。因此,研制保证等级分配包括功能研制保证等级分配和设备研制保证等级分配。

(5) 需求确认

需求确认是保证特定要求在一定的严格程度下的完整性和正确性,使产品符合客户、使用者、维修人员、合格审定局方等利益攸关方的需求,并提供证据表明需求是完整和正确的。因此,需求确认的主要活动为需求完整性检查、需求正确性检查、确认的严酷性定义、提供符合性证明材料。

(6) 实施验证

实施验证的目的是确定执行的每个层次均满足其已规定的要求,包括确认正确实现了预期功能,确认满足捕获到的系统的需求及衍生需求,保证安全性分析对所实施系统有效。实施验证的主要活动包括验证程序的正确性确定、软硬件需求验证、设备需求验证、子系统需求验证、系统需求验证、需求验证覆盖达标确定、提供满足需求的证明。

(7) 构型管理

构型管理既是系统研制活动,又是审定活动,应依据审定计划,利用首次要求审定置信性的系统研制时间点,确定基准构型及使用的更改控制程序,并实现从最终申请构型到基准构型的追溯。构型管理的活动包括构型识别、构型基线的建立、更改控制和问题报告、归档及检索。

(8) 过程保证

过程保证是为了确保采取或制订了所需计划并在系统研制的所有方面坚持该计划,确保按照这些计划执行研制活动和过程,并确保可以获得表明计划实施的证据。因此,

过程保证的活动包括按计划评审以及提供过程保证证据。

(9) 审定联络

审定联络的目标是证明所研制的民机机载系统符合相应的需求,即符合一系列的合格审定计划。主要活动包括提供一套符合性验证方法,能够确定研制的系统满足相应的审定基础,并提供符合性证明材料。

综上所述,基于 ARP 4754A 的 WBS 分解结构如图 2 所示。

为了让识别出的风险项更有针对性和可操作性,在实际工作中可根据需要对 WBS 进行进一步分解到更低的层级。例如,验证计划又包括验证方法、验证活动的顺序、关键验证活动的安排、验证置信度的鉴定等活动;系统需求可以进一步分解为安全需求、功能需求、性能需求、接口需求、审定需求等。本文考虑到篇幅限制以及研究的深度仅进行两级分解。

1.3 符合民机机载系统研制特征的 RBS 分解

根据项目管理控制的要求,可以从不同的角度对风险进行不同的分类并以此为基础确定项目 RBS。本文结合民机机载研制项目工作实际,对研制过程的典型风险进行分析,将民机机载系统研制风险分为技术风险、管理风险、环境风险、资源风险和适航风险 5 类^[5,6]。

技术风险主要集中在民机机载系统本身,主要涉及设计技术、工艺技术、制造技术、试验技术等风险。管理风险主要包括进度、成本、质量、供应商管理、沟通管理、合同管理、人员组织管理等风险^[7]。环境风险主要为影响系统研制的外部影响因素,主要包括政策风险、知识产权风险、法律法规风险、市场预期风险、不公平竞争风险、政治风险等。资源风险主要表现在系统研制的人力、财力和物力保障上,包括人力资源风险、财务风险、采购风险等。适航风险主要体现为研制出的系统不能满足适航要求,包括审定基础风险、符合性方法风险、符合性验证风险、适航取证风险、持续适航风险等。在实际民机机载系统研制项目中,根据项目的需要,可对风险结构进行调整或者进一步分解,以达到能充分识别风险项的程度。本文仅进行两级分解,如图 3 所示。

1.4 构建 WBS-RBS 风险识别矩阵

以基于 ARP 4754A 的 WBS 最底层的作业包集合作为矩阵的列,以符合民机机载系统研制特征的 RBS 最底层的风险因子集合作为矩阵的行,建立 WBS-RBS 矩阵,构建起 WBS 和 RBS 的关联。受限于篇幅限制,矩阵仅展现部分内容,见表 2。

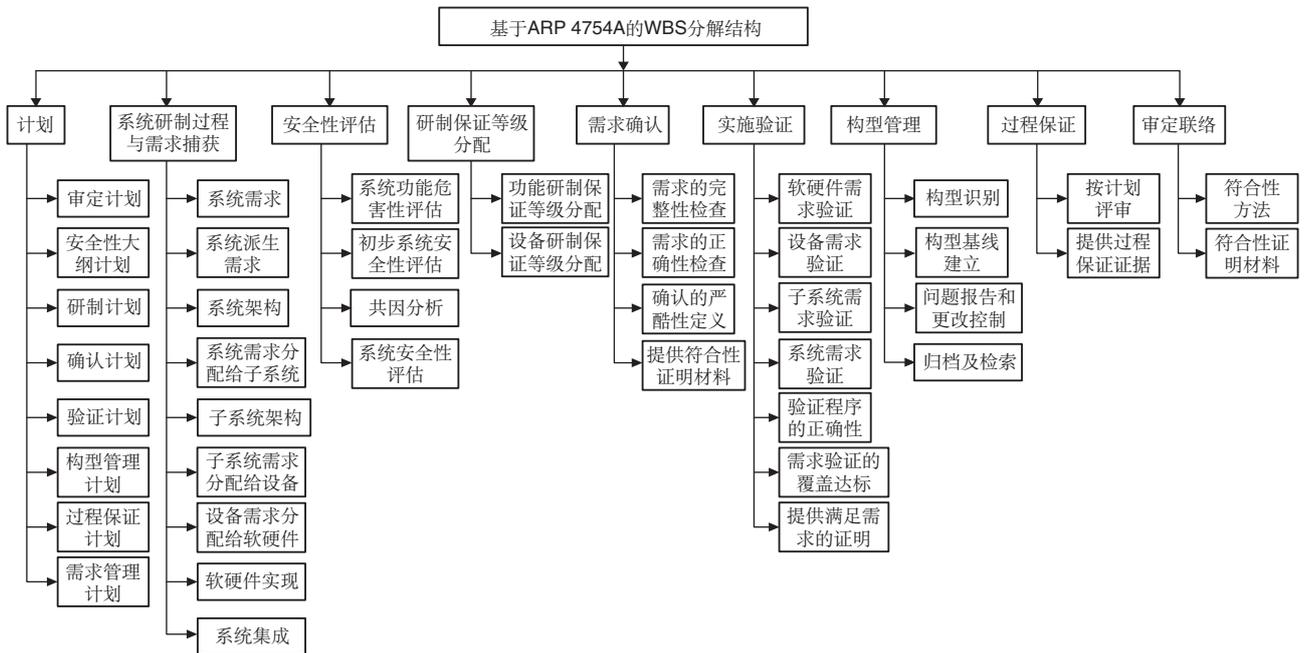


图2 基于 ARP 4754A 的民机机载系统研制项目 WBS 分解

Fig.2 Civil aircraft airborne system development project WBS based on ARP 4754A

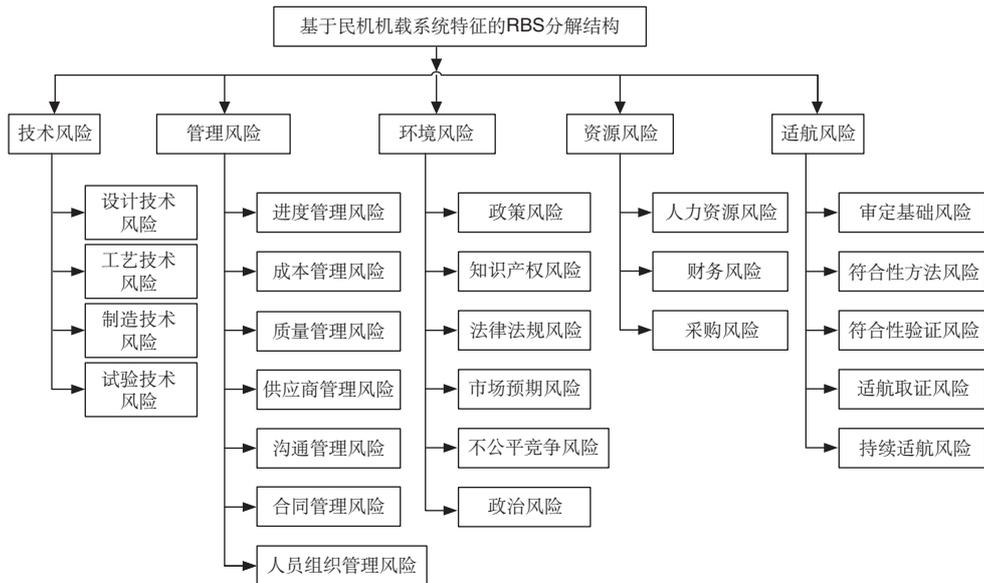


图3 符合民机机载系统研制特征的 RBS 分解

Fig.3 RBS based on civil aircraft airborne system development project feature

对 WBS-RBS 矩阵通过德尔菲法和专家会议法相结合的方式对行列矢量相关性分析,即先通过匿名征求专家意见,并对专家意见进行整理、归纳、统计,再将意见反馈给各专家进行再征询,直至得到较为一致的意见。在此基础上组织有丰富知识和经验的人员组成专家小组进行座谈讨论,互相启发、集思广益,形成最终结果。如果不相关,即不产生风险因

素,用“0”表示;如果相关,即存在风险因素,则用“1”表示^[8]。

2 风险评估方法

2.1 风险系数计算

针对识别出的风险,首先采用模糊分析法^[9]进行风险量化统计。即分析风险的概率以及风险一旦发生所造成的

表2 基于ARP 4754A的WBS-RBS矩阵
Table 2 WBS-RBS matrix based on ARP 4754A

WBS/RBS		技术风险				项目管理风险					...
		设计技术风险	工艺技术风险	制造技术风险	试验技术风险	进度管理风险	成本管理风险	质量管理风险	人员组织管理风险	...	...
计划	研制计划										
	需求管理计划										
	安全性大纲计划										
	确认计划										
	验证计划										
	构型管理计划										
	过程保证计划										
	审定计划										
系统研制过程与需求捕获	系统需求										
	系统派生需求										
	系统架构										
	系统需求分配给子系统										
	子系统架构										
	子系统需求分配给设备										
	设备需求分配给软硬件										
	软硬件实现										
系统集成											
...	...										

后果严重程度,并以此为基础计算风险系数。本文将风险概率、风险后果均分为10个等级,见表3。

假设 P 为风险发生的概率, C 为风险后果的严重程度, R 为风险系数,风险量化的计算公式为 $R=P+C-P\times C$ 。

风险发生概率和风险后果统计与风险识别并行,即在采用德尔菲法和专家会议法识别风险时,同时要求专家对其识别的风险的这两项指标按评价指标进行评估并说明。

2.2 项目风险评估

本文将风险等级划分为三个等级,即低风险、中风险、高风险,各风险等级描述如下:

(1) 低风险($R\leq 0.3$)

这种风险发生概率相当低,其后果也无关系要,故除了通过正常的技术管理部门对其加以监控外,不需要采取其他的专门措施来处理该类风险。

(2) 中风险($0.3 < R < 0.7$)

这类风险发生的概率较高,以至需要对其进行严密的监视和控制,应当在各个设计阶段的设计评审中对这类风险进行评审,并应采取适当的手段或行动来降低风险。

(3) 高风险($R\geq 0.7$)

表3 风险发生概率及影响程度评价指标
Table 3 Risk probability and consequence

分值	发生的概率	风险后果
0.1	极低,发生概率10%以下	无影响
0.2	很低,发生概率10%~20%	影响很小,只有少数客户能发觉这种影响
0.3	低,发生概率20%~30%	对项目有较小影响,客户可能意识到这种影响
0.4	中等,发生概率30%~40%	项目有一些影响,客户将认识到这种影响
0.5	中等,发生概率40%~50%	项目进度、成本或质量受到轻微影响,客户轻微不满
0.6	中等,发生概率50%~60%	项目进度、成本或质量受到一些影响,工作仍然可以完成,客户不满意
0.7	高,发生概率60%~70%	项目的进度、成本或质量性能受到显著影响,可能导致有些工作不能完成
0.8	高,发生概率70%~80%	严重影响项目目标,导致严重拖期、超支或质量问题
0.9	极高,发生概率80%~90%	严重影响项目、导致项目取消,但有警示
1.0	发生概率90%以上	严重影响项目、导致项目取消,而且没有警示

这类风险发生的概率很高,其后果将对工程有极大的影响,必须严密地控制每一个高风险领域,必须强制性地执行风险降低的计划。对这类风险应当定期报告和评审。

本文采用层次分析法^{[9],[10]}评估整个项目的风险。首先采用专家会议法构建最低层次的判断矩阵,计算各风险的权重,以权重和风险系数为基础计算上一层级的风险系数,依

此类推,计算出整个项目的风险系数,确定项目的风险等级。

3 项目风险登记表

将识别出的风险、风险原因分析、风险概率、风险后果、风险系数等进行整理,形成风险登记表^[6]。受限于篇幅限制,风险登记表仅为示意,见表4。

表4 民机机载系统研制项目风险登记表

Table 4 Risk registration form of civil aircraft airborne system development project

序号	WBS		RBS	风险说明	风险概率	风险结果	风险系数	风险对策	风险责任人	完成日期
1	系统研制过程 与需求捕获	系统需求	人力资源风险	缺乏有经验的系统需求方面人才	0.30	0.50	0.65	...	...	...
2			审定基础风险	附加审定需求捕获不完全和不准确	0.20	0.60	0.68	...	...	...
3			进度管理风险	需求因为不完全和不准确造成需求变更,影响研制进度	0.40	0.40	0.64	...	...	...
4			...	...	...	...	...	...	...	...
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13		安全性评估								
14	...									

4 结束语

在民机及民机机载系统研制以 ARP 4754A 研制流程为指导的大背景下,本文尝试对民机机载系统项目研制进行基于 ARP 4754A 的 WBS 分解和符合民机机载系统研制特征的 RBS 分解,构建 WBS-RBS 矩阵,全面有效地识别出项目的主要风险,并对所识别出的风险采用层次分析法和模糊评价法相结合的方法进行风险评估,构建风险登记表。本文所用方法具有一定的操作性和有效性,又符合先进的民机机载系统研制项目研发流程,为项目风险分析提供思路,为解决当前面临的风险管理难题提供借鉴。

AST

参考文献

- [1] David Hillson. Use a Risk Breakdown Structure (RBS) to understand your risks[C]//Proceedings of the 33rd Annual Project Management Institute Seminars & Symposium. Newtown Square:PMI,2002.
- [2] David Hillson. Structuring a breakdown; the risk management RBS[J].Project Magazine,2003(7):12-14.
- [3] 张志清,王文周.基于 WBS-RBS 矩阵的项目风险识别方法的改进及应用[J].项目管理技术,2010,8(4):74-78.
Zhang Zhiqing, Wang Wenzhou. The improvement and application of project risk identification method based on WBS-RBS matrix[J]. Project Management Technology, 2010,8(4): 74-78.(in Chinese)
- [4] SAE international group. Guidelines for development of civil aircraft and systems[S].America:SAE Aerospace,2010.
- [5] 邱苑华.国产首架大型客机研制项目的风险管理研究[J].中国工程科学,2014,16(10):31-38.
Qiu Kouhua. Research on risk management of the first large passenger plane developed in China[J]. Chinese Engineering Science, 2014, 16(10):31-38.(in Chinese)
- [6] 张发玉.民机项目研制风险管理技术应用研究[J].项目管理技术,2017,15(5):99-104.
Zhang Fayu. Research on the application of risk management technology in civil aircraft development project[J]. Project Management Technology, 2017,15(5):99-104.(in Chinese)

- [7] 贾俊峰,梁青槐. WBS-RBS 与 AHP 方法在土建工程施工安全风险评估中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(7): 101-103.
Jia Junfeng, Liang Qinghuai. Application of WBS-RBS and AHP methods in risk evaluation of civil engineering construction safety[J]. Chinese Journal of Safety Science, 2005, 15(7):101-103. (in Chinese)
- [8] 任南,韩冰洁,何彦昕. 基于 WBS-RBS 的项目风险识别与评估[J]. 系统工程, 2014, 32(11): 96-100.
Ren Nan, Han Bingjie, He Yanxin. Project risk identification and assessment based on WBS-RBS-DSM[J]. System Engineering, 2014, 32(11): 96-100. (in Chinese)
- [9] 郭波,龚时雨,谭云涛. 项目风险管理[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.
Guo Bo, Gong Shiyu, Tan Yuntao. Project risk management [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2008. (in Chinese)
- [10] 柴大胜,申金升,李根柱. 基于 WBS-RBS 和 AHP 方法的虚拟物流组织风险研究[J]. 北京交通大学学报: 社会科学版, 2006 (3): 30-34.
Chai Dasheng, Shen Jinsheng, Li Genzhu. Study on risk of virtual logistics organizations based on WBS-RBS and AHP method[J]. Journal of Beijing Jiaotong University: Social Sciences Edition, 2006(3): 30-34. (in Chinese)

(责任编辑 王昕)

作者简介

董锐(1986—)男,硕士,工程师。主要研究方向:民机机载系统研究。

Tel: 010-57827627

E-mail: 405255680@qq.com

王平利(1973—)男,博士,高级工程师。主要研究方向:项目管理、民机综合论证、技术经济。

Tel: 010-57827628

E-mail: 15001133380@163.com

Study of Civil Aircraft Airborne System Development Project Risk Analysis Method Based on ARP 4754A

Dong Rui*, Wang Pingli

Aviation Industry Development Research Center of China, Beijing 100029, China

Abstract: Comprehensive risk identification, accurate risk assessment and convenient risk management for the civil aircraft airborne system project is an important guarantee for the successful development of the project. Based on the traditional WBS-RBS method, in this paper present a WBS based on ARP 4754A and a RBS based on civil aircraft airborne system and build the risk matrix to adapt to advanced civil aircraft airborne system development process and risk characteristics, and fully identify project risks. In view of the risks, AHP and fuzzy evaluation are combined to carry out risk assessment, and on this basis, the project risk registration form is constructed to facilitate risk tracking and management. It will provide ideas and references for risk analysis of civil aircraft airborne system development project.

Key Words: WBS-RBS; risk analysis; ARP 4754A; airborne system; development project

Received: 2019-10-17; Revised: 2019-10-29; Accepted: 2019-11-15

*Corresponding author. Tel. : 010-57827627 E-mail: 405255680@qq.com