

民机研制风险管理浅析

Risk Management Analysis of Civil Aircraft Development

李海涛 李翔 宋健 / Li Haitao Li Xiang Song Jian

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

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

摘要:

对风险管理的相关定义进行了描述,分析了民机研制风险管理国内外现状,结合国内民机研制的特点,提出了民机研制风险管理过程和工作流程,着重对风险识别方法进行了研究。对比分析了风险识别方法,提出了民机研制风险识别体系。

关键词:风险管理;风险分解结构;风险识别

中图分类号:F425

文献标识码:A

[Abstract] This article describes the definition of risk management, and analyzes the domestic and international status of civil aircraft development risk management. Combined with domestic civil aircraft development characteristic, civil aircraft development risk management process and workflow are put forward, focusing on risk identification methods. Comparing and analyzing risk identification methods, civil aircraft development risk identification system is presented.

[Key words] risk management; risk breakdown structure; risk identification

0 引言

任何项目都存在风险,民用飞机研制是集科研、新产品试制及产业化于一体的复杂项目,涵盖了设计-产品-商业成功的全过程,具有项目规模大、技术要求高、投资强度大、研制周期长、协作单位/人员多、市场竞争激烈以及对政治经济环境的变化特别敏感等特点,面临着诸多内外部不确定性因素的挑战,这些不确定的风险因素会对项目研制产生不利影响,抑制项目研制的顺利开展。如果不对非不确定性加以有效的管理,一旦某一环节的质量出现问题,就有可能出现轻则降低飞机的性能、延长研制和生产周期、增加整个项目的投资,重则引起机毁人亡,造成巨大的经济损失。波音某型飞机曾经由于一个标准件供应商倒闭,而没有相应的标准件装机,导致项目整体拖延,严重影响了进度和成本,造成很大损失;国内某型民机 2.5G 试验的失误,使项目延误了半年之久,相关取证工作计划均受到严重影响。

在研制成本不变的前提下降低风险或风险不变情况下降低成本,都会降低产品的性能;为保证产品性能不变的情况下降低成本或降低风险,必然要承担较高的成本^[1]。通过风险管理可以有效降低风险的潜在影响,忽略风险可能在成本、研制周期、质量等方面产生明显不利的影响及性能的变化^[2],从而降低民机研制成功的风险。

随着国内民机项目的发展,民机研制风险管理变得格外重要。通过开展民机项目风险管理,建立有效的风险管理体系,促进民机研制风险管理的科学化和精细化,提升风险管理水平,可以有效地保障民机项目研制的技术成功和市场成功。

1 民机研制风险管理国内外现状

1.1 民机研制风险管理国内现状

目前,国内项目风险管理理论的研究和应用与欧美发达国家仍存在较大差距,研究和应用的领域多集中于大型建筑工程项目、金融等方面。对于航空领域的风险管理尤为薄弱,没有形成统一的风险

管理标准与实施规范,部分标准中也只是对风险评估作了要求,如 GJB2993-1997《武器装备研制项目管理》中对控制研制风险提出了要求,GJB5852-2006《装备研制风险分析要求》规定了风险识别和风险分析方法。随着近几年民机产业的发展,对该领域的风险管理需求越来越大,随着国内民机研制发展,风险管理也越来越广泛应用,各主要飞机研制单位逐步取得了一定成果,但是整个风险管理体系比较零散,没有形成闭环,不具有系统性、完整性。

目前,国内航空项目管理的体系已经基本建立,但是航空项目风险管理体系国内各航空企业尚未建立。虽然完善的项目风险管理体系未建立,但是在项目风险管理上也积累了不少经验。2002年,西飞公司根据公司实际情况进行机制改革,引入项目管理机制,在型号研制和民机项目上实行弱矩阵式的项目管理,取得了良好的效果,相应型号项目都是在项目管理机制下按计划要求的时间节点顺利地完成的;西飞公司没有设立专门的风险管理机构,风险管理由项目管理组织执行,各职能部门作为支撑部门协同完成。618所针对型号研发项目,管理模式采用弱矩阵式,职能部门的作用强于项目部门的作用;一飞院也采用弱矩阵的组织模式,职能部门权限大,项目人员权限小。项目管理只停留在院一级,院科技部协调各所协同完成各型号研制项目,没有真正意义上的项目管理和项目风险管理。中国商飞目前正在由弱矩阵管理向强矩阵管理转变,建立了专门的风险管理机构,为国内民机研制风险管理体系建立打下基础。国内民机研制项目风险管理现状主要如下。

(1) 项目风险管理体系尚未形成

民机项目风险管理尚未形成完善的体系,更没有形成独立的体系,大多纳入质量管理或企业经营管理中。究其原因主要是受计划经济时代的计划管理模式影响,国内航空企业虽然在上世纪九十年代引入了项目管理,但是项目管理的体系尚未完善,项目风险管理作为项目管理的重要组成部分,所以也没有形成体系。大多风险管理被纳入到质量管理活动中,通过质量控制的方法来控制技术风险等。

(2) 风险管理方法上主要依据主观判断,缺少成体系的管理方法

风险管理上缺乏较为客观的方法,目前以主观

判断为主。在风险识别上是根据专家经验,概率估计和后果估计上也主要由专家判断打分,评价上由专家综合概率和后果后给出风险等级。在风险管理形式上主要是采用会议的形式。尽管在型号项目研发过程中,也存在一定的风险管理活动,零星地运用了一些方法,如挣值法等在某些机体制造商的进度和费用管理上得到试用和推广,另外德尔菲法、故障树法、安全检查表法等也得到一定的应用,但是,整个风险管理活动没有一套有效的体系方法。

(3) 风险管理的意识不足

受长期计划经济时代管理模式的影响,造成无论是决策者还是管理人员普遍缺乏项目管理意识,更缺乏风险管理意识。在型号研发过程中往往出现问题后再寻找办法去解决,并非具有一定的风险管理意识,防患于未然,在研发之前和研发过程中进行风险识别、分析和评价,制订有效的风险应对措施。

(4) 缺少风险管理人才

由于项目风险管理尚未形成完善的体系,所以在型号研发项目上没有形成风险管理人才培养模式。具有项目管理经验的人员缺乏必要的风险知识培训,而引进具有风险管理知识的人才却缺乏项目实践的锻炼。人是项目管理和项目风险管理中的核心要素,只有配备具有风险管理技能的人才方能促成项目风险管理体系的形成。

(5) 缺乏民机研制风险数据库

完备的风险信息库是开展有效风险管理的基础,尤其是在风险识别和风险概率分析以及风险影响后果分析上作用巨大。但是由于我国航空业只有五六十年发展历史,而且在型号研制上缺乏经验和历史资料的收集与整理,造成了没有将历史上型号研制风险事件记录并整理,所以风险信息库的建设工作任务任重道远。

1.2 民机风险管理国外现状

国外基本采用通用的项目风险管理过程,即风险的规划、识别、评估、制订应对措施和监测,差异在于不同的企业在管理过程中应用了一些具有偏好的管理工具与方法。国外在项目管理、项目风险管理和民机项目研制管理上具有较长的历史和较为完善的体系,很多先进的风险管理方法、工具在国外民机项目上得到充分应用,以下是国外民机项目风险管理的现状。

(1) 完善的项目风险管理体系

项目管理和风险管理的研究起源于国外发达国家,而且像美国、欧盟等发达国家在飞机研制上具有很强的技术力量和先进的管理方法、技术以及丰富的管理经验,基于以上几点在波音、空客等飞机研发制造企业早已经形成了完善的民机研发项目风险管理体系,拥有完善的风险管理制度、规章等用以支撑项目风险管理工作的顺利开展。虽然波音在 787 项目、空客在 A380 项目上出现了一些问题,但是 787 项目和 A380 项目的难度远大于之前项目的难度,同样,正是他们完善的风险管理体系才能保证 787 项目和 A380 项目的成功。

(2) 先进的风险管理方法、工具

在完善的风险管理体系基础上,空客、波音等国外民机研制企业在项目风险管理上应用先进的风险管理方法和工具。例如波音采用全球供应链风险管理模式,应用故障模式与后果分析(FMEA)、风险矩阵、6 σ 问题分析工具、挣值法等先进方法和工具,再加上并行工程、过程管理等先进的管理机制保证了项目的顺利开展。由于多年的研制经验和多个项目的研制经历,国外民机研制企业建立较为完善的风险信息库,风险识别可直接依据风险信息库,结合故障树法、安全检查表法、事件树法、故障模式与后果分析等方法进行;概率估计和后果估计可以根据历史数据采用蒙特卡洛模拟、回归分析等方法预测风险事件发生概率和可能的后果;风险评价是依据风险矩阵法判断风险等级;风险监控是采用挣值法检测风险变化。

(3) 丰富的民机研制风险数据库

空客、波音等国外民机研制企业具有多个型号的研制经验,在过去的研制道路上遇到过很多困难和问题,积累了丰富的风险管理经验。而那些解决困难和问题的方法,以及风险事件的发生经过、原因、结果、解决措施等宝贵经验再经过一批批人的整理、升华后就成为了风险信息数据库。

(4) 优秀的风险管理人才

完善的项目风险管理体系、先进的管理技术以及多个型号的研发管理经历造就了一批具有相当风险管理能力的人才。像空客、波音这样的国外民机研发企业已经形成了风险管理人才培训和培养的模式,在这样的体系下会源源不断地培养出优秀的风险管理人才。

2 民机研制风险管理过程

风险管理过程的建立是项目风险管理发展的一个主要标志,即从系统的角度来认识和理解项目风险,从系统过程的角度来管理风险。项目风险管理过程一般由若干主要阶段组成,这些阶段不仅相互作用,而且与项目管理其他管理区域也互相影响。

针对风险管理的方法和步骤,不同组织和个人各不相同。2000年,美国项目管理协会(PMI)制订的PMBOK中对风险管理的内容由原来的四个过程扩展为六个过程:风险管理规划(Risk Management Planning)、风险识别(Risk Identification)、风险定性分析(Qualitative Risk Analysis)、风险定量分析(Quantitative Risk Analysis)、风险应对计划(Risk Response Planning)、风险管理和控制(Risk Monitoring and Control)。

美国系统工程研究所(SEI)把风险管理的过程主要分为若干环节,即风险识别(Identify)、风险分析(Analyze)、风险计划(Plan)、风险跟踪(Track)、风险控制(Control)和风险管理沟通(Communicate)。

根据民机研制的特点,民机研制风险管理必须遵循几个方面:(1)风险源头必须清楚。对风险的来龙去脉做到心中有数,进行深入的风险识别;(2)风险识别要准确。对风险发生的概率和对民机研制可能产生的影响要准确把握,进行科学的风险评价;(3)处置落实。采取有效手段,对影响项目实施的重要风险进行有效处理,提出务实高效的风险应对措施;(4)动态控制。密切关注民机项目的发展动态,及时发现新风险、解决新问题,建立完整的风险管控体系;(5)善后处理。对项目实施过程出现的风险及时进行整理分析,从中发现规律,为后续型号研制项目的成功实施提供借鉴。

民机项目风险管理过程主要包括风险规划、风险识别、风险评估、风险应对、风险控制等五个主要步骤,如图1所示。

(1) 风险规划:风险管理规划是项目风险管理的第一步,是结合民机研制的组织管理流程规划和设计如何进行风险管理活动的过程。包括定义项目组织和成员风险管理的行动方案 and 方式,选择适合的风险管理方案,确定风险判断的依据等,用于对风险管理活动的计划和实践形式进行决策。

(2) 风险识别:通过有效的识别方法发现风险

项目,确认哪些风险有可能会影响项目实施,并记录每个风险所具有的特点,形成风险列表。

(3) 风险评估:通过评估方法,定性或定量地对项目风险进行初始分析,分析风险和风险之间的相互作用,以便评定项目可能的产出结果的范围,对项目风险发生的概率和影响程度进行评估;根据分析结果进行评价,给出相应的风险概率等级和风险后果等级,对风险进行分级排序,并给明理由或依据。

(4) 风险应对:结合民机研制组织管理,对潜在风险分层分级做出应对的步骤、解决措施,制订具体风险解决方案和工作计划。

(5) 风险控制:建立有效的风险控制工具/平台,在项目全寿命周期中,跟踪已识别的风险、监测残余风险、识别新风险和实施风险应对计划,对项目中的风险实施全过程的监视和控制。

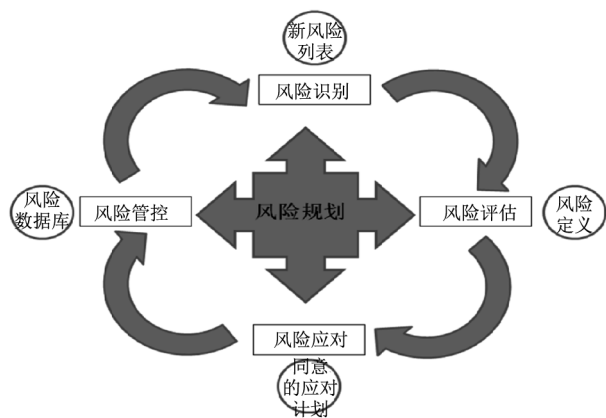


图1 民机风险管理主要过程

民机研制风险管理主要工作流程如图2所示。

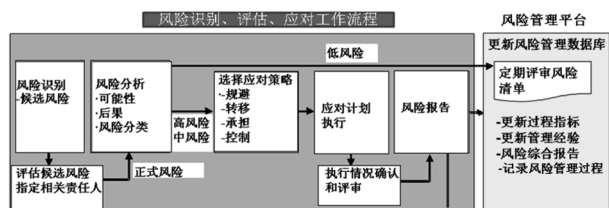


图2 民机风险管理主要工作流程

2.1 项目风险管理主要方法

民机研制周期长、投资额度大、内部关系复杂,项目所面临的风险因素数量众多、种类繁多,风险之间形成相互关联的风险链,呈现出可变性、可传播性、多样性和多层次性等特点。根据国内外风险管理研究,结合实际航空航天项目风险管理经验,按照风险管理规划、风险识别、风险评估、风险应

对、风险管控五个阶段,从定性与定量两方面,建立了一套客观、科学、系统、动态的大型客机项目风险管理方法体系,以便确保民机研制实现安全可靠与经济效益的完善与统一。常用的风险管理方法见表1。

2.2 民机研制风险识别

风险识别是风险管理过程中最困难的环节,因为它不仅是技术层面的难题,在管理层面也面临极大挑战。从技术层面来说,设计要求不稳定,产品外形变化,系统功能拓展,从原有技术性能水平向较高性能水平改进,或者在新的约束(如减重等)条件下力求保持原有性能水平等,往往需要采用很多新技术或者新的技术组合,新材料、新工艺、新技术等的应用,或者已有成熟技术在新环境下的应用等,往往存在很大的不确定性。这些不确定性,就是风险,也是风险识别的难点。从管理层面来说,典型的例子就是,供应商可能出于某些因素考虑,在特定的时间节点或者阶段之前,不愿意揭露项目所存在的真实风险,甚至直到该风险暴露,这就是管理层面所面临的难点。

因此,在进行风险识别时,应重视对识别过程的控制和识别方法的应用,以充分揭露项目风险。常用风险识别方法很多,各自有不同的适用范围和优缺点,在实际风险识别过程中,应尽量结合使用多种风险识别方法,以达到最好的效果。民用飞机研制风险识别主要可采用检查单法、风险事件案例法、头脑风暴法(又称集思广益法)、面谈法、专家调查法(又称德尔菲法)等方法,

民机项目研制技术复杂、研制周期长、协作单位众多、输入输出关系复杂,无法照搬任何一种风险识别方法^[3-4]。民机项目的这些特点,决定了要在综合以上各种风险辨识方法优势的基础上形成一套综合化的民机风险识别体系^[5]。通过对各种风险识别方法优缺点的对比,民机研制采用综合化的风险识别手段,主要采用检查单法,依据建立的风险检查单按照WBS(Work Breakdown Structure,简称WBS)-RBS(Risk Breakdown Structure,简称RBS)矩阵进行风险识别,并结合其他识别方法逐步完善检查单。民机研制WBS-RBS矩阵如图3所示。

民机研制风险识别体系主要是根据同类项目的历史经验教训以及可获取的相关信息,编制同类项目的典型风险源清单,通过列举同类项目实施过

表 1 常用风险管理方法对比表

风险过程	主要方法	优点	缺点	使用范围	
风险规划	分解结构法	能够没有遗漏地分析系统各组成部分的风险	不能适用所有项目要适时调整	项目风险管理的初期	
	概率分析法	简化确定各种概率,更科学合理	未给出方案取舍原则和多方案比选方法	适用风险事件概率分布确定,风险发生后引起后果可量化	
风险识别	问卷调查法	调查问题全面、详细	回收周期长	适用于前期实地调研阶段	
	德尔菲法	简便易行,有一定参考价值	易受主观因素影响,易偏保守	常用于信息、数据缺乏等长期项目	
	头脑风暴法	充分发挥集体智慧	不可拘泥于特定的形式,据实变化	适用于无先例可参照项目	
	PHA 法	全面了解和识别可能的风险因素	对重要的风险因素需进一步识别	风险识别的初期阶段	
	环境分析法	重视外部环境对项目的影响	受内部风险识别结果的影响	对项目的内部风险了解的基础上使用	
	失效模式法(PFMEA)	有效避免失效模式和后果	过程复杂	有可供借鉴的失效模式的项目	
	盈亏平衡法	简单、可直接对项目关键因素分析	产销相等;精确度不高;结论不全面	适用于现有项目的短期费用、效益分析、经济风险识别	
	检查单法	有利于较深入地发掘问题和有针对性地提出更多的可行设想	思考和评论问题时容易发生遗漏	项目前期调研阶段	
风险评估	定性分析法	风险矩阵方法	确定风险因素的排序	没有反映项目全寿命周期动态变化的特点	对风险因素排序
		层次分析法	灵活、有一定精度	结论信赖使用者的知识、经验和判断	适于投标、评价单项风险,又可用于多方案综合风险评价
		情景分析法	展示未来变化趋势,避免过高或过低	“隧道眼光”的局限性,可能有偏差	适用于中长期项目计划
	定量分析法	模糊排序法	处理非数字化、模糊变量有独到之处	计算繁琐,受一些主、客观因素限制	适用于“内涵明确,外延不明确”类型的风险评估
		敏感分析法	简单易理解,有助于实施中重点控制	未考虑不确定因素未来发生变动概率	常用于进行方案比选及方案替代
		决策树法	有效在各种可选投资方案中选择	只能量化计算	收益和决策全部可量化的投资方案选择
	蒙特卡罗模拟法	合理准确,提高效率,避免偏差	得不到通解和中间成果	适用于大中型项目,解决难以用解析方法求解的复杂问题	
风险应对	消极应对	风险回避	可避免损失	可能丧失机会,有局限性,受信息制约	适于潜在威胁发生可能性大,不利后果严重,又无其他策略
		风险转移	可减轻自身风险压力、损失	受一定限制,有一定盲目性	适用资源有限不能实行减轻预防策略;频率不高,潜在损失大
		风险减轻	可减轻风险	不能从根本上消除风险	适用于早期采取措施降低风险发生概率或影响,效果较好
	积极应对	风险承担	有明确的应对措施,处理快速	有可能会降低性能,增加成本	适用于项目研制后期,该策略适用于发生概率高的低等影响程度的风险
风险控制	偏差分析法	直观动态反映工程进度和费用	从费用比较看,费用偏差实际意义不大	适用于监视项目的整体费用、进度风险	
	网络计划技术	侧重对工作流程、资源等优化配置	不能反映不确定因素对总工期的影响	适用于有经验的项目,其作业时间是肯定的单一时间	
	审核检查法	据审查结果分析,随时更新风险列表	只限于定性分析	适用于项目的全过程,从项目建议书开始直到项目结束	
	风险数据库	可帮助总结经验教训,以供参考借鉴	数据收集工作量大,比较繁琐	适用于项目管理的全过程	

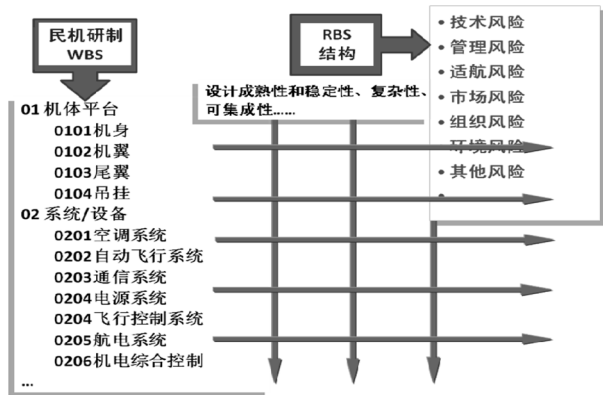


图3 民机研制 WBS-RBS 矩阵

程中可能出现的各种风险因素,以此作为项目风险识别的依据。通过纵向的 WBS 单元项穷举,确保在项目范围内的特定风险要素均得到考虑,通过横向 RBS 的风险检查单,确保风险要素得到广泛列举,根据项目阶段制订不同类型的风险源清单,弥补风

险检查单的周期适用性,同时利用德尔菲法等其他方法,不断完善风险源清单。

在总结国内外民机研制历史经验教训的基础上,对美国已有的国防装备研制风险识别检查单进行了综合研究和分析,并通过对民机研制风险进行分析、分类、归纳和总结,形成了民机研制项目风险识别检查单,用于识别民机研制过程中经常发生的、具有一定代表性的风险。通过梳理研究,民机研制主要关注技术类风险和管理类风险,其中技术风险主要包括设计风险、集成风险、试验风险、适航风险等,管理风险主要包括质量管理风险、供应商管理风险等。技术风险是指没有满意地达到顶层飞机设计要求(即型号规范)的风险;市场风险是指型号规范没有满足客户要求,如果市场风险变成现实,必然会导致研制周期大大延长。民机研制风险分解结构(RBS)如图4所示。

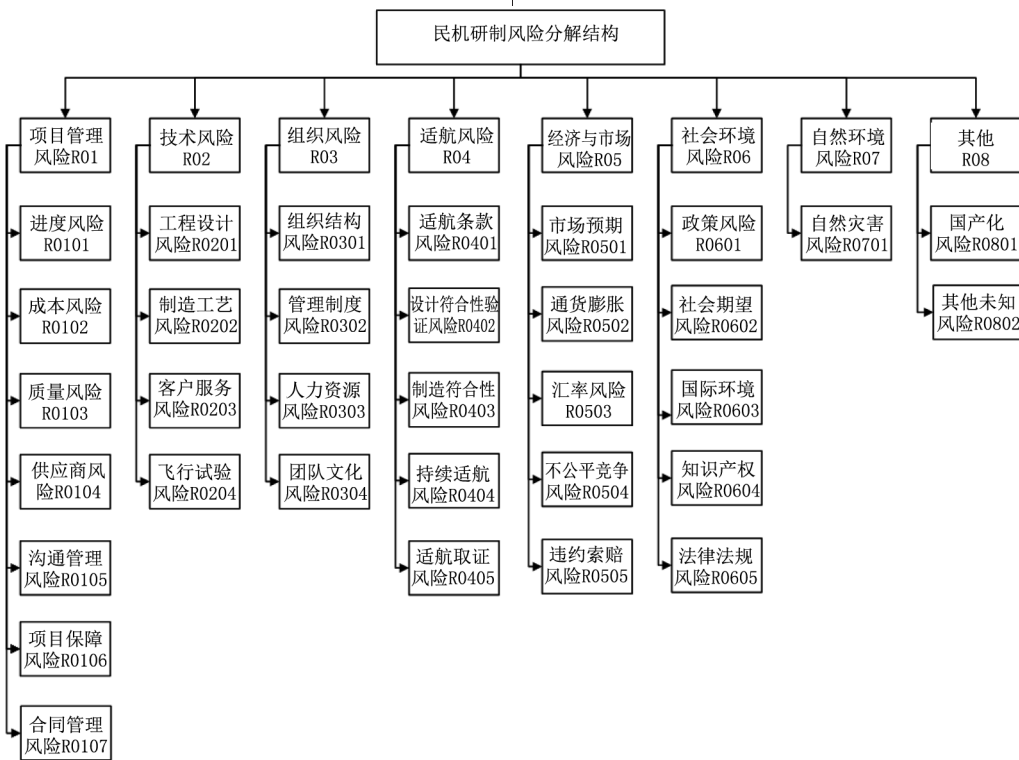


图4 民机研制风险分解结构(RBS)

通过有效的风险识别方法,可以有效地梳理出风险清单,有针对性地根据风险清单采取措施,从而有效降低风险。

2.3 民机研制风险评估

随着持续的风险识别,暴露的风险数量将越来越多,通过评估,定性或定量地对每项风险进行初

始分析,对项目风险发生的概率和影响程度进行评估;根据分析结果进行评价,给出相应的风险概率等级和风险后果等级,划分风险的优先级。

2.4 民机研制风险应对

风险应对是指针对已评估出的风险,制订并实施相应的风险应对计划。目的是在可用的项目资

源条件下,使风险保持在可接受的水平上,保证项目成功完成。风险应对包括风险应对计划编制和风险应对计划执行两部分,风险应对计划编制需要确定责任单位、计划内容、完成时间、完成形式以及配合单位等,同时,还要将相应的风险应对计划纳入项目临时计划或者专项计划,甚至更改项目年度计划或者项目 I 级网络计划,以确保风险应对计划实施。风险管理控制策略包含以下四种:

(1)回避。风险回避是指改变项目管理计划,以完全消除威胁。可以把项目目标从风险的影响中分离出来,或改变受到威胁的目标,如延长进度、改变策略或缩小工作范围等。

(2)转移。把某风险的部分或全部消极影响连同应对责任转移给第三方。本策略仅把风险管理责任简单地推给另一方,而并非消除风险。

(3)减轻。风险减轻是指把不利风险事件的概率和/或影响降低到可接受的临界值范围内。提前采取行动来降低风险发生概率和/或可能给项目所造成的影响,比风险发生后再设法补救往往要有效得多。

(4)接受。因为几乎不可能消除项目的全部威胁,所以需要采用风险接受策略。即已决定不为处理某风险而变更项目管理计划,或者无法找到任何其他的合理应对策略。该策略可以是被动或主动的。被动地接受风险,只需要记录本策略,而不需要任何其他行动。

2.5 民机研制风险管控

风险管控的主要过程包括实施应对计划、评价应对效果、跟踪已识别风险、识别新风险并应对等主要过程,具体如下:

- (1)实施的风险管理计划及其应对计划;
- (2)对风险应对计划实施效果进行评估;
- (3)如评估结果不佳,需对风险计划进行改进完善;
- (4)跟踪已识别的风险,确定风险影响保持在容许范围之内;
- (5)识别是否有新的风险产生;
- (6)对新识别的风险和残余风险进行评估,并根据评估结果制订相应的应对策略;
- (7)对风险管控的情况进行报告并记录;
- (8)形成风险管理数据库(包括风险检查单库、风险案例库等)。

2.6 民机研制风险管理其他因素

除了方法以外,文化背景也能对风险管理产生很大影响。由于民机研制涉及人员非常多,各自的风险文化不一样,对风险的识别也有很大影响。风险文化主要依赖于三个因素——人的个性、文化背景、项目的承认,如图 5 所示。在集体主义文化环境中,共同识别风险比个人识别风险更好,而在个人或具有较小“权利距离”的文化环境中,个人进行风险识别的效果会更好。

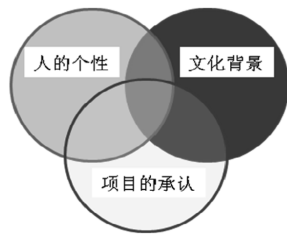


图 5 风险文化因素

国际项目中的风险管理必须适应多文化环境。只有做到这一点,风险管理才能对项目的成功有实际贡献。国际项目中风险交流的适当形式一方面要考虑风险文化,另一方面要考虑参与或影响这个项目的个人的不同兴趣,因此,以什么样的方式想什么人报告什么风险是一个政治问题^[6]。因此建议指定专门人员进行民机研制风险管理,尽量独立于研制项目之外,按照工作流程去识别风险,既发现了风险,也保护了那些发现了上司工作风险的团队成员。

3 结论

项目风险管理作为项目管理的重要一环,对保证项目实施的成功具有重要的意义和作用:(1)能促进项目实施决策的科学化、合理化,降低决策风险水平;(2)能为项目组织提供安全的运营环境;(3)能够保障项目组织经营目标的顺利实现;(4)能够促进项目组织经营效益的提高。

通过对国内外民机研制风险管理现状的分析,结合国内民机研制特点,明确了民机研制风险管理过程和工作流程。通过对风险识别方法的对比,提出了有效的民机研制风险识别体系。

本文主要对民机研制风险管理过程和风险识别进行研究,后续将继续对风险评估、风险应对、风险管控和风险文化进行进一步研究。同时,由于国内民机研制还处于起步阶段,技术体系还不成熟,相应的 WBS 还在不断完善,后续需要不断完善工作

单元;国内民机研制风险数据资源不足,需要结合民机的研制不断补充,从而形成有效的民机研制风险管理体系。后续应结合风险管理体系建立风险管理平台工具,有效地进行民机研制风险管理。

参考文献:

- [1] Shishko, R. et al. . NASA System Engineering Handbook [Z]. NASA SP-6105, 1995.
[2] 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.

(上接第 8 页)

证体系的必要性以及国内企业如何建设设计保证体系的思路和方法,给出了设计保证文件体系从手册到程序的基本框架,提出了有关设计保证体系建设的一些建议。后续还要对设计保证体系建设和审查的一些难点问题进一步研究。

参考文献:

- [1] 中国民用航空局. CCAR-21-R3 民用航空产品和零部件合格审定规定[S]. 中国:中国民用航空局, 2007.
[2] 中国民用航空局. AP-21-AA-2011-03-R4 航空器型号

(上接第 11 页)

的垂尾和后机身连接结构,为国内的民机研发提供相应的技术参考。

参考文献:

- [1] 余春华,尹晓春,田阿利,蒋志伟. 飞机垂尾尾翼的非线性结构设计[J]. 机械设计与制造, 2004, 74(2): 6-10.
[2] 牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京:航空工业

(上接第 15 页)

- [2] E. B. White and W. S. Saric. Application of Variable Leading-Edge Roughness for Transition Control on Swept Wings [J]. Arizona State University, AIAA 2000-0283.
[3] William S. Saric, Ruben B. Carrillo, Mark S. Reibert. Leading Edge Roughness as A Transition Control Mechanism [J]. AIAA 98-0781.
[4] Zuo Sui-han, Yang Yong, Li Dong. Experiments of Cross-Flow Instability in A Swept-Wing Boundary Layer [J]. ICAS2010, Northwestern Polytechnical Uni-

[3] 何哲. 大型飞机项目风险管理研究[D]. 上海:上海交通大学, 2009.

[4] 黄斌. ARJ 民机项目风险管理研究[D]. 重庆:西南交通大学, 2009.

[5] 丁常宏. 民机项目风险识别方法研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2012, 1:1-2.

[6] Hoffman, H. -E., Schoper, Y. -G. and Fitzsimons, C. J. . Internationales Projektmanagement (Munchen: Beck - Wirtschaftsberater im Deutschen Taschenbuch Verlag), 2004.

合格审定程序[S]. 中国:中国民用航空局, 2011.

[3] EASA. EU No 748/2012 Annex I Part 21 Certification of Airplane and related Products, parts and appliances, and of design and production organizations[S]. EU:EASA, 2012.

[4] TCCA. AWM 505, Delegation Of Authority, Subchapter E: Design Approval Organization[S]. Canada:TCCA, 2009.

[5] TCCA. Staff Instruction 505-001, Delegation of Authority Process - Aircraft Certification[S]. Canada:TCCA, 2007.

[6] TCCA. AC 505-002, Airworthiness Control System for a Delegated Organization (Aircraft Certification)[S]. Canada: TCCA, 2008.

出版社, 2008.

[3] 王志瑾,姚卫星. 飞机结构设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.

[4] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 9 册:载荷、强度和刚度[M]. 北京:航空工业出版社, 2001.

[5] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 10 册:结构设计[M]. 北京:航空工业出版社, 2001.

versity.

[5] Ed Obert. Aerodynamic Design of Transport Aircraft [J]. Delft University.

[6] 黄勇,钱丰学,于昆龙,何彬华,畅利侠,林学东. 基于柱状粗糙元的边界层人工转捩试验研究[J]. 试验流体力学, 2006, 20(3): 59-62.

[7] 程厚梅. 风洞试验干扰与修正[M]. 北京:国防工业出版社, 2003.

[8] 恽起麟. 风洞试验数据的误差与修正[M]. 北京:国防工业出版社, 1996.