

遇今 编著

航天器研制 风险管理

航空工业出版社

航天器研制风险管理

遇 今 编著

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书详细介绍了航天器风险管理技术及应用案例,给出了航天器研制风险管理过程、实施步骤及要求,对航天器研制过程的共性风险因素进行了分析。全书共分为6章:第1章主要介绍航天器研制风险概论;第2章介绍了国外项目风险管理及应用案例,包括美军项目风险管理、NASA 空间项目风险管理、ESA 空间项目风险管理和“卡西尼”号探测器研制风险管理案例等;第3章阐述了风险管理技术与风险评估方法;第4章介绍航天器研制风险管理的实施;第5章对航天器研制过程风险因素分析;第6章介绍资源一号卫星风险管理示例。

本书适合从事航天器研究的科研人员和航天器项目的管理人员做参考,也适合对风险管理有兴趣的读者。

图书在版编目(CIP)数据

航天器研制风险管理/遇今编著. --北京:航空工业出版社,2012.12

ISBN 978-7-5165-0120-7

I. ①航… II. ①遇… III. ①航天器-研制-风险管理 IV. ①V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 290273 号

航天器研制风险管理 Hangtianqi Yanzhi Fengxian Guanli

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2012 年 12 月第 1 版

2012 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 8.25

字数: 209 千字

印数: 1—2000

定价: 36.00 元

前 言

航天器研制伴随着很高的固有风险，这是因为开发航天器及应用技术，常常要采用未经空间验证的新技术、新材料、新工艺；航天器的复杂性大大增加，元器件数量从几百、几千增至6~7万；用户的市场需求使得对航天器的质量与可靠性要求越来越高；研制航天器要组织众多的单位和人员协调地工作，投入数以亿计的资金。航天器在空间的工作环境十分严酷，一旦发生故障，航天器不能工作，会造成科学研究、经济、军事，甚至政治上不可挽回的损失。因此，不论是航天器型号管理部门，还是设计和生产部门都力求对航天器研制风险“透明”管理，即通过连续不断地识别、评估、消除或控制和跟踪型号风险，以保证已知的和意料之外的风险不致发展成为对航天器型号研制费用、进度产生重大影响的问题，或导致航天器研制的失败。

在美国，正是由于核工业、化工及航天系统对风险管理的强烈需求，才促进了风险管理技术的发展。同时也引起了美国国防部对风险管理的极大重视，并制定和采取了相应政策和措施，因而使风险管理技术日趋完善。

美国国防部关于风险管理的政策十分明确，就是必须进行风险管理。要求型号研制方提供风险评估的分析结果，以便为管理部门提供决策依据。美国国防部在装备采购办公室的顶层文件 DODD 5000.1 《防务采办系统》中明确规定“项目经理和其他采办管理人员都应不断地对采办项目进行风险评估”。为指导开展风险评估及管理工作，1984年，美国国防部成立了一个特别工作组，专门研究武器装备从研制到生产的转移过程中的风险问题。在特别工作组完成大量研究工作的基础上，于1985年发布了 DODD 4245.7 《从研制到生产的转移》及随后发布的指令手册 DODD 4245.7 - M。该指令和手册给出了用于工程研制过程的风险分析模型，作为美国国防部降低装备研制过程风险的基本指南，在国防部的很多采办文件中都明确规定使用该指令及手册进行风险管理。此外，DODD 5000.4 还将风险管理作为项目经理的职责加以规定。

2001年，美国防务系统管理学院出版了《美军装备采办的风险管理指南》（简称《指南》）。该《指南》详细介绍了美国国防部风险管理政策和实施程序、风险管理技术和

方法，用于指导美军装备采办风险管理工作。

美国国家航空航天局（NASA）在1998年发布的《NASA项目管理过程和要求》文件中，对项目风险管理提出了详细的要求，规定了实施风险管理的工作内容和要求。

美国国防部风险管理的特点是预防为主，有组织实施，有信息支持和持续管理。成功实现风险管理，关键在于及早策划，积极、主动实施，并详细地规定了各级部门在风险管理中的作用。

欧洲航天局（ESA）在总结NASA空间项目风险管理经验的基础上，从20世纪80年代开始推行规范的空间项目风险管理工作，提出一整套适用于ESA空间项目的风险管理方法和程序。在90年代先后颁布了一系列相关标准，如ESA PSS-01-40《风险评估和要求》（1992），ESA PSS-01-403《危险分析、安全性风险评估方法和要求》（1994）等；配套开发了《项目风险评估和管理》、《项目风险管理方法》等软件包，并应用到空间项目研制中。2008年7月，ESA又颁布了ECSS-M-ST-80C《空间项目管理—风险管理》标准。该标准详细地描述了空间项目风险管理的基本概念、原理、过程、风险管理的实施程序以及风险管理要求。

2008年由欧洲空间标准化合作组织（ECSS）负责起草国际标准ISO 17666《空间系统—风险管理》，该标准几乎完全等同采用了ECSS-M-ST-80C标准的内容。

我国对风险管理技术进行系统的研究始于20世纪80年代，10多年来一些研究单位对风险管理技术进行了探索性研究，并且有在型号应用的实例。

1996年，由中国宇航出版社出版的《飞行器系统工程》一书有一章专门介绍了风险分析和管理。该章的内容引用和参考了美国洛克希德导弹和空间公司1983年编写的《系统工程管理指南》中的风险分析和管理的内容。

航天标准QJ 9000《航天工业质量管理和质量保证要求》也对风险控制提出了要求。要求承制方应制定风险评估制度，以实现合同的要求。承制方应分析、评估各类风险，风险评估应包括确定的风险事件发生后造成后果的潜在严重性，以及风险事件发生的概率，并采取措施消除或减小其影响。

本书详细地介绍了国外风险管理技术及应用案例，其中包括美军项目风险管理，NASA空间项目风险管理，ESA空间项目风险管理，国外航天器风险管理的应用案例。阐

述了风险管理技术，风险评估技术，风险评估方法，风险控制技术；给出了航天器研制风险管理过程、实施步骤及要求；对航天器研制过程的共性风险因素进行了分析，并提出了应采取相应措施的建议；给出了航天器研制风险因素（风险源）检查单；较详细地阐述了资源一号卫星风险管理的实际应用情况。

目 录

第 1 章 航天器研制风险概论	(1)
1.1 风险概念	(1)
1.2 航天器研制风险分类	(3)
1.3 航天器研制风险管理过程	(3)
第 2 章 国外项目风险管理及应用案例	(7)
2.1 美军项目风险管理	(7)
2.1.1 概述	(7)
2.1.2 术语定义	(7)
2.1.3 实施途径	(9)
2.1.4 美国政府在风险管理中的作用	(9)
2.1.5 在风险管理中承包商的作用	(10)
2.1.6 实施方法	(10)
2.1.7 文件编制	(13)
2.2 NASA 空间项目风险管理	(15)
2.2.1 概述	(15)
2.2.2 NASA 风险管理新政策	(16)
2.2.3 NASA 风险管理程序	(16)
2.2.4 NASA 风险管理计划	(17)
2.2.5 分析和记录主要风险的要求	(17)
2.3 ESA 空间项目风险管理	(18)
2.3.1 概述	(18)
2.3.2 术语定义	(18)
2.3.3 风险管理原理	(19)
2.3.4 风险管理程序	(19)
2.4 “卡西尼”号探测器研制风险管理案例	(22)
2.4.1 背景	(22)
2.4.2 风险管理途径	(23)
2.4.3 风险识别与特征	(23)
2.4.4 风险评估	(28)
2.4.5 风险减小	(30)
2.4.6 风险监控	(33)

2.4.7	风险管理职责	(34)
2.4.8	实施风险管理的益处	(36)
第3章	风险管理技术与风险评估方法	(37)
3.1	风险管理技术	(37)
3.1.1	风险规划技术	(37)
3.1.2	风险识别技术	(39)
3.1.3	风险评估技术	(41)
3.1.4	风险控制技术	(43)
3.2	风险评估方法	(46)
3.2.1	风险评估指数 (RAC) 法	(46)
3.2.2	总风险暴露指数 (TREC) 法	(48)
3.2.3	多目标决策方法	(50)
3.2.4	模糊风险评估方法	(50)
3.2.5	概率风险评估方法	(51)
3.2.6	风险评估中确定权重的方法	(60)
第4章	航天器研制风险管理的实施	(67)
4.1	风险管理准则	(67)
4.2	风险管理实施	(67)
4.2.1	总则	(67)
4.2.2	职责	(68)
4.2.3	航天器研制过程需要考虑的其他问题	(68)
4.2.4	风险的透明管理和决策	(69)
4.2.5	风险管理文档	(69)
4.3	风险管理过程要求	(70)
4.4	风险管理实施要求	(71)
第5章	航天器研制过程风险因素分析	(72)
5.1	项目论证	(72)
5.2	设计	(74)
5.2.1	方案论证	(75)
5.2.2	方案设计	(75)
5.2.3	设计分析	(77)
5.2.4	元器件与配套件选择	(79)
5.2.5	软件设计	(80)
5.2.6	检测设计	(81)
5.2.7	技术状态管理	(83)
5.3	制造	(83)
5.3.1	制造计划	(84)
5.3.2	工艺准备	(86)

5.3.3	工艺评审	(88)
5.3.4	协作单位控制	(89)
5.3.5	元器件控制	(90)
5.3.6	生产质量控制	(91)
5.3.7	工艺装备及设备	(93)
5.3.8	专用测试设备	(94)
5.3.9	环境应力筛选	(95)
5.4	试验与测试 (含总装)	(95)
5.4.1	试验综合计划	(96)
5.4.2	故障归零	(97)
5.4.3	试验质量控制	(99)
5.4.4	大型试验	(101)
5.4.5	软件测试	(102)
5.5	使用 (在轨运行)	(103)
5.6	航天器研制风险因素 (风险源) 检查单	(103)
第 6 章	资源一号卫星风险管理示例	(108)
6.1	概述	(108)
6.2	风险识别与评估	(108)
6.2.1	风险因素的识别	(108)
6.2.2	风险评估	(109)
6.3	风险决策和采取的措施	(110)
6.3.1	贮存环境条件的决策	(111)
6.3.2	定期检测周期的决策	(114)
6.3.3	贮存后试验方案的决策	(115)
6.3.4	对有限寿命和生产时间长的产品进行复查	(117)
6.3.5	严格质量控制	(118)
6.4	监控、传递和接受风险	(118)
6.5	小结	(119)
参考文献		(120)

第1章 航天器研制风险概论

1.1 风险概念

风险是对成功实现项目目标的威胁。风险一般具有以下几种特征。

(1) 客观性

风险是不以人们意志为转移的一种客观存在。随着科学技术的进步与项目管理水平的提高,人们认识、管理和控制风险的能力也在不断增强,在航天器研制中所面临的风险事件虽然可以部分地得到有效控制,但是从总体来说,损失是不可能完全消除的。从这种意义上来说,风险具有客观存在性。

(2) 危害性

风险是对航天器成功完成任务的一种潜在危害,造成的各种后果往往都是不利的。在航天器研制的进展过程中,风险的危害性不仅可以表现为经济价值的损失,还有可能表现为对航天器执行任务的损失,对参与航天器研制人员人身的损害,甚至会造成不利的社会或政治影响。

(2) 并存性

即风险与利益的并存性,风险主体在面临风险的同时,往往有获得利益的机会,风险是利益的代价,利益是风险的报酬。

(3) 不确定性

从总体上说,发生风险是必然的。但对某个具体的时间和地点来说,风险的发生则是偶然的、不确定的,不确定性可以表现在3个方面:

空间上的不确定性。以航天器研制经费所面临的风险为例,航天器研制过程中可能会需要大量的资金,有部分资金会受到各种风险的侵害是必然的,但具体到某一项资金是否会发生损害,发生何种损害,则是不确定的。

时间上的不确定性。同样在航天器研制过程中,什么时候会出现上述资金风险也是不可预知的。

损失程度的不确定性。出现风险事件可能造成的损失也是不能提前确定的。

(4) 可评价性

风险的不确定性说明风险基本上是一种随机现象,对个别风险而言是不可预知的,但随机现象总是要服从某种概率分布,因而,从总体上看,对一定时期内特定风险事件发生的概率或损失率是可以正确测定的,从而可以把不确定性转化成确定性来研究。对单个风险而言,其引致发生的原因以及损害发生的过程与结果也存在一定的规律性,风险的这一

特性也就成为我们控制与管理风险的前提。

(5) 变化性

航天器研制过程总是处在不断发展变化的进程中,各种风险也不例外。随着航天器研制的不断深入,所面临的技术风险、计划风险、费用风险、进度管理风险和保障性风险等也会发生不同程度的变化,认识风险的这种变化性,是管理与控制风险的重要基础。

(6) 相关性

风险主体所面临的风险与其自身的行为和决策紧密相关,采取不同的行为,做出不同的决策,将产生不同的风险后果。

(7) 可控性

风险主体可对风险事件施加有目的的控制措施来控制它的发生,减轻它造成的不利影响。

风险管理最先起源于第一次世界大战后的德国。1931年美国管理协会首先倡导风险管理,并在以后的若干年里,以学术会议及研究班等多种形式集中探讨和研究风险管理问题,风险管理问题逐渐得到了理论探讨和一些大企业的初步实践。从20世纪60年代起,对风险管理的研究逐步趋向系统化、专门化,风险管理逐步发展成为企业管理中的一门独立学科。在60年初,美国的“阿波罗”计划采用的故障模式及影响分析(Failure Modes and Effects Analysis, FMEA)和关键项目清单(Critical Items List, CIL)就是风险管理的雏形,由于这种定性分析方法仅限于故障模式和关键项目的风险分析,还不能识别出所有的风险源,分析方法也很局限。在“挑战者”号航天飞机爆炸事故发生后,NASA才认识到用FMEA/CIL方法进行航天飞机风险分析存在重大缺陷,开始引入了在核安全与化学工业界中已被广泛应用的概率风险评估法(Probabilistic Risk Assessment, PRA)。此后,PRA逐步在NASA各项业务领域中得到成功运用,并开始用PRA对航天飞机从发射到着陆所有主要过程进行全面和深入细致的风险分析。1994年NASA的喷气推进实验室(JPL)对“火星全球勘测者”(MGS)探测器制订了风险管理计划,1996年在“卡西尼”(Cassini)土星探测器项目中分别对航天器、整个项目和地面系统制订了风险管理计划。1998年NASA开始引入持续风险管理(Continued Risk Management, CRM)的理论与方法,1999年NASA在火星任务中遭遇失败,进一步促使NASA的专家对风险管理进行深入研究。2008年ISO发布了ISO 17666《航天项目风险管理》的标准,进一步规范了航天项目的风险管理工作。

在西方发达国家,很多大企业都相继建立了风险管理机构,专门负责风险的分析和处理方面的工作。美国还成立了全美范围的风险研究所和美国风险与保险管理协会等专门研究工商企业风险管理的学术团体,拥有3500多家大型工商企业会员。

风险管理协会的建立和风险管理教育的普及,表明风险管理已渗透到社会的各个领域。美国风险与保险管理协会(RIMS)和美国风险与保险协会(ARIS)是美国最重要的两个风险管理协会。日本风险管理协会(JRMS)则是日本国内从事风险管理研究的主要机构。同样,英国也建有工商企业风险管理与保险协会(AIRMIC)致力于风险管理的研究与推广。

随着风险管理和项目管理的日益普及,迫切需要更为规范的项目管理学科体系作为理

论基础,于是世界各国的项目管理专业组织纷纷建立各自国家的项目管理知识体系,在各国的项目管理知识体系中都把风险管理列为最为重要的管理内容之一。美国项目管理学会(PMI)项目管理知识体系把项目管理划分为9个知识领域,风险管理是其中的一个知识领域。我国也于2001年5月由中国优选法统筹法与经济数学研究会项目管理研究委员会(PMRC)正式推出了中国的项目管理知识体系文件《中国项目管理知识体系》(C-PM-BOK),对风险管理也进行了详细规范,以作为项目管理规范化运作的理论基础和技术指南。

1.2 航天器研制风险分类

风险一般分为技术风险、计划风险、费用风险、进度管理风险和保障性风险等5大类。

技术风险,指航天器在其设计、试制、试验、生产过程中包含的技术和工艺方面的风险,包括新技术选择、技术指标风险、新设备或技术状态更改风险、设计缺陷、工艺缺陷等。例如,设计的技术性能指标过于先进,实际又达不到;使用环境过于恶劣,选用的原材料不能满足要求;可靠性、安全性不能满足要求;要求的零部件精度太高而工艺水平达不到等。

计划风险,指在航天器研制中,由于计划管理工作不当或失误引起的风险。航天器研制是复杂的系统工程,由于主客观因素的发展变化,一旦出现方案论证不充分、所选研制单位技术、工艺水平不符合要求、协作配合关系处理不当、计划调度工作不及时等问题,就将引起计划风险。

费用风险,指因费用指标不当或原计划费用指标满足不了目前研制任务所引起的风险。例如,原计划费用指标过低,未考虑物价上涨因素;原计划指标未留余地,遇到技术攻关任务时就出现经费无法支持;成本控制不严,忽略时间与成本的关联等,这些都会引起费用风险。

进度管理风险,指不良的进度管理,导致进度推迟的风险。

保障性风险,航天器在研制和使用中都需要有一定的保障条件,一旦某种保障条件满足不了需要,就将引起保障性风险。例如,当人员配备和培训、设备供给和安装、技术资料和文件的供给、产品的可靠性和安全性的技术储备达不到任务要求时,就会出现保障性风险。

1.3 航天器研制风险管理过程

航天器研制的风险管理是根据航天器任务要求和约束条件,在风险识别、风险分析、风险评估的基础上,有组织地制订计划,降低航天器研制风险可能产生的不利影响,确保航天器任务目标实现的一系列管理活动。

航天器研制的风险管理过程包括风险识别、评估、减少和接受的所有活动。

评估总的风险范围,评估风险的严重性和发生可能性的不期望事件。反复对减少风险

备选方案进行评估，以反映航天器研制的状况和风险趋势。

在风险管理过程中，收集、整理和分析可利用的风险信息，以便传递和管理风险。要将风险管理的有关信息及时传递给航天器研制的管理部门和设计部门，并进行跟踪管理。

风险管理过程分为4个步骤（如图1-1所示），即确定风险管理实施要求；识别和评估风险；决策和采取措施；风险监控、传递和接受风险。这4个步骤要在航天器研制过程中不断地反复迭代，不断地完善。

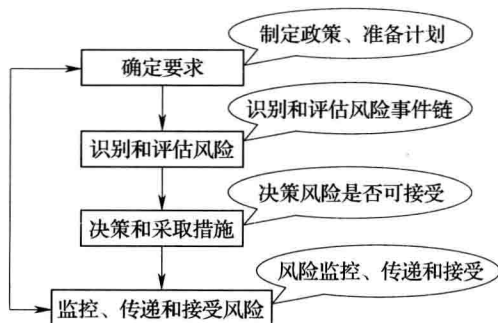


图 1-1 风险管理过程

步骤 1：确定风险管理实施要求

目的 通过制定航天器研制风险管理政策和准备航天器研制风险管理计划，开始风险管理过程。

工作项目 1：制定风险管理政策。

在该工作项目中包括下列工作：

- ①确定航天器研制风险因素（风险源）；
- ②确定航天器研制目标和资源约束条件；
- ③确定处理航天器研制风险的策略；
- ④根据航天器研制要求，对进度和风险目标进行排序；
- ⑤确定有关航天器研制风险发生的可能性和后果的严重性的评分表；
- ⑥定义各种各样风险事件链级别的风险指数；
- ⑦确定对各种各样风险级别采取措施和有关项目组织的风险决策级别的准则；
- ⑧对每个风险定义风险接受准则；
- ⑨确定风险比较和风险排序方法；
- ⑩确定评估风险的方法；
- ⑪确定总风险接受准则；
- ⑫确定用于向决策者传递的风险数据和用于监控的风险表格；
- ⑬对项目风险管理活动的评审程序。

工作项目 2：准备风险管理计划。

风险管理计划包括下列典型信息：

- ①航天器研制风险管理组织说明；
- ②风险管理政策总结；

③风险管理文档要求；

④在整个航天器研制过程风险管理的范围。

步骤2：识别和评估风险

目的 确定每个风险事件链，然后在步骤1输出的基础上确定每个风险的级别，最后对风险排序，尽量应用已有的航天器研制数据。

工作项目3：识别风险事件链。

主要包括：

①风险事件链的确定，包括确定产生风险的原因和造成后果；

②确定为避免后果传播而对不期望事件发生的早期告警（探测）手段；

③确定实现航天器研制目标的风险。

工作项目4：评估风险。

主要包括：

①每个风险事件链后果严重性的确定；

②每个风险事件链可能性的确定；

③每个风险事件链风险指数（级别）的确定；

④收集风险评估所需数据；

⑤根据其风险指数对每个风险事件链的排序，确定风险指数为最高的事件链；

⑥通过对已确定的每个风险、风险级别、交互影响，以及对航天器研制的残余影响的评价，确定航天器研制的总风险。

步骤3：决策和采取措施

目的 根据风险管理政策，分析风险的是否可接受，对不可接受风险，确定相应的风险减小策略。

工作项目5：决定风险是否可以接受。

在该工作项目中包含下列工作：

①应用风险接受准则，确定可接受风险；

②应用风险接受准则，确定不可接受风险；

③对可接受风险直接转到步骤4，对不可接受风险转到工作项目6。

工作项目6：减小风险。

主要包括：

①确定每个不可接受风险的预防和减轻措施；

②确定成功减小风险和验证准则；

③确定每个风险减小措施的可能性；

④验证风险减小的效果；

⑤确定不能减小到某接受水平的风险，并将其提交给适当的管理部門进一步处理；

⑥确定不能验证的风险减小的风险；

⑦确定关于总风险的所有风险减小工作的风险减小可能性；

⑧在已解决的风险表中记录成功减小的风险。在没有解决的风险表中记录未成功减小的风险，并将其提交给有关部门处理。

工作项目 7：推荐的接受风险。

主要包括：

- ①接受风险的决策选择；
- ②批准接受和已解决的风险；
- ③提交需进一步采取措施和未解决的风险。

步骤 4：监控、传递和接受风险

目的 跟踪、监控和报告风险，最终接受风险。

工作项目 8：监控和报告风险。

主要包括：

①定期对所有确定的风险进行评估和评审，在每个风险管理过程迭代后更新其评估和评审的结果；

②验证风险减小的效果；

③用风险级别随整个航天器研制时间进程产生的影响，说明整个项目进度的风险趋势；

④风险的变化趋势；

⑤新风险报警系统。

工作项目 9：提交接受风险。

主要包括：

- ①通过适当管理级别提交正式接受风险；
- ②未接受风险返回到工作项目 6。

第2章 国外项目风险管理及应用案例

国外风险管理工作开展得比较早，积累了许多成功经验，取得了很好的效果。本章简要地介绍国外风险管理情况，其中包括：美军项目风险管理，NASA 空间项目风险管理，ESA 空间项目风险管理，“卡西尼”号探测器研制风险管理案例。

2.1 美军项目风险管理

2.1.1 概述

美国国防部高层领导早在 20 世纪 60 年代末就强调对项目的风险评估、监控和管理。在 20 世纪 70 年代制定了指令和条例，把风险分析在采办过程中的地位提高到了显著位置。1976 年 4 月，公布的（美国）预算与管理局（OMB）通告 A-109 “重要系统采办”中，要求把对“分析和评估承包商和政府风险的方法”作为重要系统采办策略的一部分。

1981 年，美国国防部采办改进大纲（AIP）识别了造成采办过程中制订的计划和执行中发生问题的根源是不确定性，风险就是由不确定性产生的。1982 年 3 月 29 日，发布的国防部指令 DOD 5000.1 “重要系统的采办”中陈述了各研制阶段要考虑技术风险。

风险分析和风险管理与政府和承包商人员均有关系，风险管理应考虑所设计系统的能力并使之达到技术性能、进度与费用目标。

风险分析是一个迭代的过程。它试图确定什么事情可能有问题，以及对此可以做些什么。风险分析能识别有潜在问题的领域，量化和这些问题有关的风险，评估这些风险的影响，并采取各种活动来降低风险。风险管理包括风险识别、分析和减小风险等所有方面的管理。还包括提出各种不同的活动来降低风险。

风险分析是一项系统工程的任务，美国军用标准（简称美军标）MIL-STD-499A 的附录 A “工程管理清单”确定了在技术方案规划和控制下的系统工程任务，其中包括型号的风险分析。这一任务的范围应当符合型号开发的需要，并需要在某种特定的范围里对所选择的研制该型号的承包商贯彻美军标 MIL-STD-499A。

随着对特定型号需求的调整，以及随着合同谈判的进展，型号的风险分析任务应当成为一种合同要求。

2.1.2 术语定义

美军项目风险管理的相关术语定义如下。

风险：达到一个基准目标的不确定性。风险具有失败的概率和失败的后果两个内涵。

基准目标：被定义为“一个效用函数”、“一个最小或最大值”、“一个指标”、“一项

技术要求”或“一个要求值”。

效用：当技术要求在不同程度上被满足时，用户具有的“使用质量或价值”。

低风险：是指可以识别并可以监控其对项目目标的影响或后果的风险。这种风险发生的概率相当低，其起因也无关紧要，故除了通过正常的设计部门对此加以监视和控制外，不需要制订专门的计划来处理它。

中等风险：是指风险可以被识别，但它的发生将影响到项目的目标、费用或进度。这种风险发生的概率相当高，以致需要对所有的影响因素进行严密的控制，并应建立风险里程碑和一个可接受的风险下降水平。风险的级别应作为一种“风险工作项目”来处理。承包商将准备一份“风险下降报告”（RRR）并把它作为合同工作报告书（SOW）和合同要求清单（CDRL）的一部分。

高风险：是指发生的概率很高，其后果将对项目有极大影响的风险。这种风险只有在单纯的研究或技术论证中方可允许，而对一个进入全面研制阶段的系统则是不允许的。必须控制和监视每一个高风险领域并应强制性地执行风险下降或减小风险计划。此外，还要求提供风险减小报告。

失败的概率（ P_F ）：是指系统、分系统、配置项目、部件或零件（元件）的工作没有成功或者不可靠的概率。失败的概率 $P_F = 1 - P_S$ ， P_S 是成功的概率或所选用元件的可靠性。 $P_S + P_F$ 必须等于1。

失败的后果或影响（ C_F ）：是由于元件的失效而导致其不能使用。 $C_F = 1 - C_S$ ， C_S 是成功的概率或元件的效用值。 $C_S + C_F$ 之和必须等于1。

风险因子（ R_F ）：

$$\begin{aligned} R_F &= \text{失败的似然估计} = \\ &1 - \text{成功的似然估计} = \\ &1 - P_S C_S = \\ &1 - (1 - P_F)(1 - C_F) \end{aligned}$$

将上式相乘并简化后，可得：

$$R_F = P_F + C_F - P_F \times C_F$$

假如 P_F 和 C_F 互斥，则它们的联合概率 $P_F \cdot C_F = 0$ ，而 $R_F = P_F + C_F$ 。这种情况只发生在失败没有影响时，亦即 $C_F = 0$ 和 $R_F = P_F$ 。

等风险曲线：如图 2-1 所示是一族等风险曲线。它是由给定的一系列 P_F 和 C_F 值生成的，用前述的 R_F 方程可以得出常值的 R_F 。在一个直角坐标系上将给定的 P_F 和 C_F 值画出。其中，横坐标为 C_F ，其值从0到1；纵坐标为 P_F ，也从0到1。将 R_F 的等值点相联即组成了风险因子的等值线。风险等值线提供了一种方法，可以把所有的风险项表示在一张图上。它还建立了一种有意义的方法来确定与项目开发有关的各风险活动的风险级别

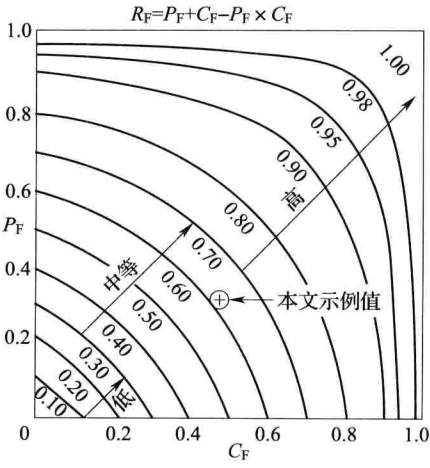


图 2-1 等风险曲线族