

武器装备研制项目 制造风险与制造成熟度

张健壮 史克禄 编著



中国宇航出版社

013036030

E139
04

武器装备研制项目 制造风险与制造成熟度

张健壮 史克禄 编著



北航

C1643280



中国宇航出版社

· 北京 ·

E139/04

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

武器装备研制项目制造风险与制造成熟度 / 张健壮, 史克禄编著. --北京:中国宇航出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-5159-0390-3

I. ①武… II. ①张…②史… III. ①武器装备-研制-风险管理-研究 IV. ①E139

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 039075 号

责任编辑 刘亚静

封面设计 文道思

出版
发行

中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号
(010)68768548

邮 编 100830

网 址 www.caphbook.com

经 销 新华书店

发行部 (010)68371900

(010)88530478(传真)

(010)68768541

(010)68767294(传真)

零售店 读者服务部

北京宇航文苑

(010)68371105

(010)62529336

承 印 北京国中画印刷有限公司

版 次 2013 年 3 月第 1 版

2013 年 3 月第 1 次印刷

规 格 880 × 1230

开 本 1/32

印 张 12.125

字 数 251 千字

书 号 ISBN 978-7-5159-0390-3

定 价 85.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

前 言

制造风险是武器装备研制项目的固有属性。制造风险主要来自技术与工业基础能力、设计、成本与资金、材料、过程能力与控制、质量管理、制造人员、生产设施和制造管理等风险源，其根本原因是技术不成熟、设计不稳定、制造能力不成熟。如果不能有效地评估和控制制造风险，就不能保证制造过程的稳定性和一致性，不能保证高效率低成本地生产，不能保证武器装备的可靠性、安全性、维修性和保障性，就不能实现研制项目的性能、费用和进度目标。

本书的目的是分析主要的制造风险源，介绍控制制造风险的有效措施，推广美军重大武器装备采办采用的制造成熟度的理论与实践，促进我国武器装备研制项目的制造风险管理水平的提高。

全书由绪言、制造成熟度、制造要素的制造成熟度、制造成熟度与武器装备研制程序、制造风险与制造成熟计划、风险管理过程、制造风险管理的标准化、风险管理方法与技术、案例、附录等 10 个部分组成。

第 1 章介绍风险和风险管理的基本概念、风险管理的基本原则、美国防务采办项目的制造风险管理政策、制造管理的三大任务、与制造有关的技术开发策略、采办策略

和系统工程评审的成功准则等内容。

第2章定义制造成熟度、生产相关环境、生产代表环境、试生产线环境、可制造性、可生产性等术语,阐述制造成熟度与设计成熟度和技术成熟度的关系,介绍制造成熟度的评估流程。制造成熟度用于确定采办各阶段中制造技术是否成熟,技术转移过程中是否存在风险,提高技术开发项目向武器装备采办项目传递新技术的能力。制造成熟度定义是为评估并讨论制造成熟状态及其风险提供一整套的衡量尺度和词汇。

第3章详细阐述技术与工业基础、设计、费用与资金、物资管理、过程能力与控制、质量管理、制造人员、设施、制造管理等9个制造要素,重点讨论基于知识的新产品开发过程、质量成本和各研制阶段的制造管理要点。

第4章重点介绍美国最新的防务采办程序和采办程序各阶段规定的目标制造成熟度,以及制造成熟度与武器系统采办里程碑、技术成熟度和技术审查的关系。这些内容是我国提升武器装备研制项目管理和制造风险管理水平必须学习和借鉴的知识。

第5章的重点是阐述武器装备研制生产过程中常见的制造风险和控制这些风险的有效措施。这一部分的内容主要是基于美国国防部《从研制到生产的过渡》这一文件。其他内容有制造风险管理的最佳实践和制造成熟计划。

第6章包括风险管理策划,推荐了一个完整的风险管理过程。目前欧美国家国防工业通用的风险管理过程有欧洲空间局的风险管理过程、美国国家航空航天局的风险管

理过程和美国国防部的风险管理过程。本部分推荐的风险管理过程以美国国防部的风险管理过程为基础，借用了欧洲空间局的风险管理过程和美国国家航空航天局的风险管理过程的优点。

第7章的主要内容有实施制造风险管理标准化的背景、实现制造风险管理标准化的障碍、实施制造风险管理标准化的措施、实现制造风险管理标准化的成功经验。

第8章介绍美国防务采办项目常用的硬件和软件的风险管理方法和技术。

第9章案例部分有美国联合空对面防区外导弹增程型和F-35联合打击战斗机两个案例。从技术成熟度、设计成熟度和制造成熟度3个方面对这两个案例进行了分析。

附录含有20个制造要素的制造成熟度图示。这些图示可以让读者学习如何在不同的研制阶段评估制造要素的制造成熟度。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，诚恳希望读者批评指正。

作 者

2012年10月

目 录

第 1 章 绪言	1
1.1 风险概念	1
1.2 风险分类	3
1.3 风险管理概念	3
1.4 风险管理目标与目的	4
1.5 风险管理准则	5
1.6 风险管理成功的基础	7
1.7 风险与风险管理体系	10
1.8 有关制造风险的政策	13
1.9 技术开发策略和采办策略的制造成功准则	16
1.10 系统工程评审的制造成功准则	18
1.11 制造管理与制造成熟度	20
第 2 章 制造成熟度	23
2.1 引言	23
2.2 制造成熟度与设计成熟度和技术成熟度的关系	23
2.3 设计成熟度的定义	24
2.4 技术成熟度的定义	25
2.5 制造成熟度的定义	30
2.6 制造成熟度相关术语的定义	36

2.7	制造成熟度评估过程	39
第3章	制造要素的制造成熟度	56
3.1	引言	56
3.2	技术与工业基础	57
3.3	设计	61
3.4	费用与资金	73
3.5	物资管理	79
3.6	过程能力与控制	83
3.7	质量管理	86
3.8	制造人员	94
3.9	设施	97
3.10	制造管理	101
第4章	制造成熟度与武器装备研制程序	121
4.1	引言	121
4.2	武器装备研制程序	125
4.3	装备解决方案分析阶段及其制造成熟度	131
4.4	技术开发阶段及其制造成熟度	136
4.5	工程与制造研制阶段及其制造成熟度	144
4.6	生产与部署阶段及其制造成熟度	158
第5章	制造风险与制造成熟计划	163
5.1	引言	163
5.2	制造风险及其降低措施	164
5.3	制造成熟计划	190
5.4	制造风险管理的最佳实践	191

第 6 章 风险管理过程	193
6.1 引言	193
6.2 风险管理策划	193
6.3 风险管理过程结构	195
6.4 风险识别	196
6.5 风险分析	198
6.6 风险缓解策划	203
6.7 风险缓解计划实施	207
6.8 风险跟踪	209
6.9 风险文件编制与报告	212
第 7 章 制造风险管理的标准化	218
7.1 引言	218
7.2 美国新的防务采办政策强调制造风险	219
7.3 制造是费用增长进度拖延的重要原因	221
7.4 用制造成熟度识别和管理制造风险	226
7.5 政策和制造专家的缺位妨碍制造成熟度的接受	233
7.6 美国审计总署的结论与建议	237
第 8 章 风险管理方法与技术	240
8.1 引言	240
8.2 风险管理策划方法与技术	240
8.3 风险评估方法与技术	246
8.4 风险排序方法与技术	278
8.5 风险处理方法与技术	281
8.6 风险监测方法与技术	298
8.7 软件风险管理方法与技术	312

第 9 章 案例	323
9.1 联合空对面防区外导弹增程型	323
9.2 F-35 联合打击战斗机	326
附录 制造要素的制造成熟度	331
参考文献	372

第 1 章 绪言

制造风险是武器装备研制项目的固有属性。不成熟的技术、不稳定的设计、不可控的制造过程，使从研制到生产的过渡中，技术与工业基础能力、设计、成本与资金、材料、过程能力与控制、质量管理、制造人员、生产设施和制造管理等风险源中各类制造风险丛生，如不能有效地评估和控制制造风险，就不能保证制造过程的稳定性和一致性，不能保证最终产品的可靠性、安全性、维修性和保障性，结果是研制项目难以实现性能、费用和进度目标。

1.1 风险概念

风险是有可能发生并对项目产生负面影响的不利形势或不利情况。（欧洲空间局）

风险由两部分构成，一是项目或工程可能经历非期望的事件（如经费超支、进度滞后、安全灾害、健康问题、恶意活动、环境影响、没能够实现所需的科学或技术突破、没有能够达到任务成功标准），二是非期望的事件一旦发生所产生的后果、影响或严酷性。（美国国家航空航天局）

风险是不希望的事件发生的概率及发生后果的严重性。（美国国防部，1989 年）

风险是可能危及计划或工程项目的潜在问题，是在确定的经费、进度和技术约束条件下不能实现工程总体目标的度量。风险由两部分构成：

- 1) 不能产生某一特定结果的概率或可能性；
- 2) 不能产生这一结果的后果或影响。（美国国防部，1998 年）

风险是在既定的费用、进度和性能约束条件下实现项目性能目的和目标中将来不确定性的量度。风险表示计划途径及其预期结果的潜在变动差异。变动差异可能既包括负面的影响也包括正面的影响，风险管理仅涉及负面的将来影响，因为在项目采办过程中，项目往往是在这一方面经历困难。风险由 3 部分组成：

- 1) 未来根源（还没有发生），如果被消除或被纠正，可能防止潜在的后果出现；
- 2) 现时评估的未来根源出现的概率（或可能性）；
- 3) 未来根源发生的后果（或影响）。（美国国防部，2006 年）

综上所述，风险是可能危及计划或工程项目的潜在问题，是在确定的经费、进度和技术约束条件下不能实现工程总体目标的度量。风险由 3 部分构成：

- 1) 风险的根源，即风险的起因或风险的原因；
- 2) 不能产生某一特定结果的概率或可能性；
- 3) 不能产生这一结果的后果或影响。

1.2 风险分类

武器装备研制项目的目的是“以规定的费用按规定的时间交付达到规定技术性能要求的产品”。武器装备研制项目的风险可分为性能风险、费用风险和进度风险。

性能风险是指工程项目在预定的资源约束条件下，达不到战术技术指标的可能性，或者采办计划的某个部分出现事先意想不到的结果，从而对整个武器装备性能产生负面影响。人们有时把性能风险与技术风险相混淆，互用这两个术语。这两个术语就系统设计而言有着共同之处，但两者之间有着明显的差别。性能风险一般是评估一项设计的执行情况，而技术风险通常是检查在满足性能要求的过程中设计和技术的实施状态。在许多情况下，在检查特定的硬件组件或软件组件时评估技术风险，但在一些情况下，需要评估性能风险^[1]。有时性能风险与技术风险之间的界限模糊，在我国国防工业，这两个术语基本互用。

费用风险是指项目在实现其研制阶段费用目标或全寿命周期费用目标方面存在的风险。

进度风险是指因给武器装备的研制所估算和分配的时间不足而产生的风险。

1.3 风险管理概念

风险管理是一个依据研制项目的风险管理政策，系统

地迭代地优化资源的过程。风险管理通过明确相关人员的作用和责任贯穿到研制项目管理的全部日常活动。在项目研制过程中,风险管理帮助项目负责人、项目工程技术人员和其他参研人员处理管理和工程活动等方面的风险问题。风险管理的实施是综合性的和整体性的,使以下领域的效益最大化:

- 1) 设计、生产、试验、使用、维护,及其他他们之间的接口;
- 2) 风险影响的控制;
- 3) 管理、费用和进度。

1.4 风险管理目标与目的

武器装备研制项目应以实现武器装备系统作战效能和作战适应性为主要研制目标,反复进行性能、经费、进度和风险之间的权衡,逐步确定优化的设计方案。

一个研制项目的功能基线、研制基线和生产基线决定了该项目的费用、进度和技术性能参数。各种研制文件,如总体设计方案、全寿命期费用估算、进度综合计划、试验与评定总计划、技术准备状态评估、综合保障计划、工程专项计划等,可为研制项目管理提供详细的费用、进度和技术性能量度。为降低研制项目的风险,项目的基线应该是相对稳定的,并得到利益相关者的认可。

承制方管理的过程,如项目综合计划、进度综合计划、挣值管理等,可使项目负责人权衡项目要求和约束条件与

费用、进度和技术性能风险的关系。风险管理的目标是提供一个可重复的在项目研制经费范围内均衡费用、进度和性能三个参数的过程。

风险管理的目的是：在产品技术、研制周期和研制经费的约束条件下，系统地、积极地、全面地、经济可行地识别、分析、减小、接受和控制产品风险，确保实现研制项目的性能、进度和费用目标。

1.5 风险管理准则

武器装备研制的风险管理应遵循以下 5 个准则：

- 1) 前瞻性评估；
- 2) 策划风险评估程序；
- 3) 特别关注技术风险；
- 4) 编制风险管理文件；
- 5) 每个研制阶段重新评估风险。

这些准则并不一定是完全的、决定性的，但是评价风险管理质量的基础，也是代表风险管理质量的最低标准。

(1) 前瞻性评估

前瞻性评估是指不仅应考虑当前的技术问题，也要考虑未来的可能的技术问题。为使技术风险评估具有预期使用价值，技术风险评估必须在风险成为实际的问题之前就识别出它们。在研制过程的早期就应开展风险评估活动，确定风险源，估计风险的大小，其结果可为后继研制阶段实施进一步风险评估和在研产品转阶段提供扎实的基础。

(2) 策划风险评估程序

技术风险评估必须经过精心计划,也就是说,风险必须通过深思熟虑的系统的程序识别。没有技术风险评估策划,工程技术人员或技术管理人员可能会忽视潜在的风险,或者,有些人员认为研制系统的某些单机处于高风险状态,而另外一些人则认为处于中风险或低风险状态。对风险的认识上存在如此大的差异可能没有引起人们的注意,直至一个风险转变成一个重大问题。所以,技术风险评估必须策划,必须按计划步骤实施,不能把没有计划的管理人员在会议上对风险的泛泛之谈看成是技术风险评估,也不能把临时安排的议事程序看成是技术风险评估。

(3) 特别关注技术风险

风险评估应评估研制项目的总体风险,即综合评估技术风险、费用风险和进度风险。例如,可以用“高”,“低”或“最可能”费用估计值估计每个分系统的费用估算值,再用所有分系统的费用估算值评估整个研制系统的费用风险。分系统费用风险有许多来源,包括各类技术问题,这些风险源可能没有被明白无误地识别。如果出现这种情况,风险评估结果就不能反映系统技术风险的真实情况。

(4) 编制风险管理文件

风险评估过程和结果必须用文件的形式记录下来。这样做的好处是项目负责人、项目管理人员、工程技术人员、项目评审人员能够监督风险评估的整个过程,也能够核实风险评估的结果。编制风险管理文件对于项目管理人员、新加入的研制人员、研制节点评审人员更为重要。

(5) 每个研制阶段重新评估风险

研制项目能否从一个研制阶段转入另一个阶段取决于在研系统技术问题的状态。因此,项目管理人员和项目评审人员必须能够在项目研制过程中跟踪风险评估的过程和结果,跟踪的手段可以是试验结果数据,也可以是专家判断意见。在论证阶段就应对风险进行评估,在方案阶段、工程研制阶段、定型阶段还应持续不断地评估风险,因此项目决策者在方案阶段就应知晓识别出了哪些风险、风险处理结果如何。由于系统研制还在进行,节点评审可能导致设计变更,因此下一个研制阶段还要进行新一轮的风险评审。同样的逻辑支持产品定型前的风险评估。简而言之,技术风险评估在每一个研制阶段必须进行至少两次,一次在阶段初,一次在阶段末,评估的结果用于转阶段决策。每次风险评估可能是全新的评估,也可能是对前期风险评估的更新^[2]。

1.6 风险管理成功的基础

风险管理成败的关键在于是否及早规划,是否积极主动地实施。有了好的规划,才有可能有组织地全面地迭代地评估风险,才有可能制定各种正确的风险处理方案,才有可能满足项目研制策略的需要。要保障这些工作正常进行,在项目研制周期不同的阶段都应当进行评估风险,以确保掌握项目的关键性技术风险、进度风险和费用风险的真实情况,并将相应的对策纳入项目规划和预算预测。