

武器装备研制项目 系统工程管理

张健壮 史克禄 编著



中国宇航出版社

武器装备研制项目 系统工程管理

张健壮 史克禄 编著



中国宇航出版社

· 北 京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

武器装备研制项目系统工程管理 / 张健壮, 史克禄
编著. --北京:中国宇航出版社, 2015. 5

ISBN 978 - 7 - 5159 - 0921 - 9

I. ①武… II. ①张… ②史… III. ①武器装备—研
制—项目管理 IV. ①E139

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 094417 号

责任编辑 杨 洁

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

邮 编 100830

(010)60286808

(010)68768548

网 址 www.caphbook.com

经 销 新华书店

发行部 (010)60286888

(010)68371900

(010)60286887

(010)60286804(传真)

零售店 读者服务部

(010)68371105

承 印 北京画中国画印刷有限公司

版 次 2015 年 5 月第 1 版

2015 年 5 月第 1 次印刷

规 格 880 × 1230

开 本 1/32

印 张 9.75

字 数 278 千字

书 号 ISBN 978 - 7 - 5159 - 0921 - 9

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

重大武器装备的研制项目是一个复杂的大型工程，必须用系统工程的理论和方法，协调处理系统、子系统、设备之间的关系，控制系统内部和系统之间的接口，平衡技术、性能、进度、经费和风险。

系统设计是重大武器装备研制的主要环节。设计质量决定了系统固有质量，也决定了大部分系统寿命周期费用。由于种种原因，系统设计可能出现失误，导致设计方案频繁更改，给样机的研制、装配、总装、调试、测试、试验、产品的试生产和批生产带来不利影响，直接影响研制项目的性能、进度和费用目标的实现。系统设计方面的问题只有通过系统工程的理论与方法才能解决。

本书的目的是介绍武器装备系统工程管理的知识体系和系统工程管理的方法与技术，推广中美两国军工企业系统工程管理的成功经验，促进我国武器装备研制项目的系统工程管理水平的提高。

全书由绪言、武器装备系统工程的发展、中国武器装备研制程序及其系统工程要求、美国武器装备研制程序、系统工程管理框架、系统工程过程、权衡研究、技术状态管理、技术产品度量、技术审查与审核、技术数据管理、接口管理、技术设计制造成熟度管理、技术风险管理、美国武器装备研制阶段的系统工程活动、案例等 16 章组成。

绪言阐述系统工程管理在武器装备研制中的重要地位，指出我国武器装备研制中存在的一些问题。现在我国和欧美国家的大型工程，无论是军事工程，还是民用航天工程，都按国家的采办政策行

事,都有一些系统工程标准可循。绪言介绍了美国武器装备的采办政策,对世界主要的系统工程标准进行了评价。近二十年来,随着我国武器装备的信息化程度的提高,我国研制的武器系统的规模越来越大,越来越复杂,信息化复杂大系统的研制成为武器装备研制的必然趋势。为此,绪言不仅探讨了系统与系统工程的定义,还介绍了体系与体系工程的定义和应用。

第2章“武器装备系统工程的发展”全面回顾我国系统工程和美国系统工程的发展历史,介绍了我国武器装备系统工程的现状和美国军用系统工程标准的演变和升级。

第3章“中国武器装备研制程序及其系统工程要求”回顾了我国武器装备研制程序的演变历程,完整地介绍了我国现行的战略武器装备研制程序和对系统工程的要求。我国从东风二号导弹首次飞行失败中真正地知道了系统工程、研制程序和各种必要的地面试验对研制项目成败的决定作用。我国现行的武器装备研制程序和系统工程要求是几十年来武器装备研制的经验与教训的总结。

第4章“美国武器装备研制程序”全面回顾了美国武器装备研制程序的发展历史,完整地介绍美军2008年版的武器装备研制程序,其中包括3个里程碑决策点和5个研制阶段。3个里程碑和5个研制阶段保证:采用的技术是成熟的,设计是稳定的,制造过程是可控的,生产出来的产品是达到性能和效能标准的,采购成本和使用与保障成本是最低的。读者可将我国的研制程序与美国的研制程序对比来读,从中发现和借鉴美国研制程序的长处。

第5章“系统工程管理框架”全面介绍了美国国防部的系统工程管理的框架。这个框架将系统工程管理分为系统工程策划、系统工程活动以及分析与控制3个部分。系统工程策划是制定一个指导工程活动的路线图;系统工程活动是开展系统工程过程的各项基本活动;分析与控制是采用适宜的工具和技术控制和管理系统工程过程。

第6章“系统工程过程”全面呈现系统工程的技术过程，这个过程是产品逐步实现的过程。系统工程过程保证完成一个合理的系统设计，最终向作战使用用户提供所需要的作战使用能力。

第7章“权衡研究”的重点是权衡研究过程。权衡研究是在系统工程过程中解决冲突的决策方法。这一章通过列举装备费用效能分析和灵敏度分析两个案例说明权衡研究的应用。

第8章“技术状态管理”回顾了技术状态管理的发展史，介绍了技术状态管理的全部内容，其中包括技术状态管理策划、技术状态标识、技术状态控制、技术状态记实、技术状态审核。技术状态管理策划部分弥补了新版技术状态管理标准的缺失部分。

第9章“技术产品度量”讨论产品度量、技术性能度量、管理过程度量、软件质量度量和获得值。介绍软件质量特性体系、技术性能度量程序和获得值程序。本章建议，产品质量度量应贯穿于整个研制过程，并延伸到交付用户使用之后。

第10章“技术审查与审核”几乎包括全部的武器装备研制技术审查和审核。从数量看，美军的技术审查与审核项目多于我军的技术审查与审核项目。从内容看，我军的技术审查与审核偏重于技术过程，而美军的技术审查与审核偏重于技术管理过程。

随着我国武器装备研制生产过程的数字化和信息化的发展，以及产品数据管理的普及，使得技术数据管理越来越重要，本书用一章的篇幅专门讨论技术数据管理。

第11章“技术数据管理”的内容是近十年来进入欧美国家武器装备和航天产品的系统工程的知识领域。技术数据管理是将政策、程序和信息技术应用到技术数据的识别、获取、管理、维护、访问、保护和使用，目的是在整个寿命周期内对系统的研制、使用和保障提供支持。为方便技术数据的管理，本章对数据、技术数据和技术产品数据进行分类，并描述了技术数据管理程序。

第12章“接口管理”：最新一代武器装备的发展，陆、海、空、

天、电各作战单元,指挥控制、情报通信、综合保障等作战要素组成联合作战体系,复杂大系统的接口管理的重要意义被越来越多的研制项目接受。接口管理已经成为系统工程知识体系中的重要成员。本章介绍了接口类别、接口层次、接口定义文件、接口管理要求和接口管理过程。

第13章“技术设计制造成熟度管理”全面介绍了美国国防采办项目中强制性要求的技术成熟度、设计成熟度和制造成熟度管理方法。美军采办管理条例规定,一项研制产品在转入下一个采办阶段前必须达到要求的技术成熟度等级、设计成熟度等级和制造成熟度等级。技术设计制造成熟度管理是科学的武器装备研制生产管理办法,可最大限度地满足战术技术指标要求,降低研制费用,缩短研制周期。我国国防工业已经开始推广技术成熟度管理办法,中国航天科技集团公司第九研究院已在探索制造成熟度的应用。制造成熟度的管理也必将在我国国防工业得到全面的推广和应用。

第14章“技术风险管理”详细地分析了我国武器装备研制技术风险的主要成因,向读者介绍一个完整的风险管理过程,这个风险管理过程是参照美国国防部、美国国家航空航天局的风险管理过程构建的,适用于硬件和软件。风险管理过程由风险识别、风险分析、风险缓解策划、风险缓解实施、风险监测等部分组成,形成一个完整的环路,本章全面地讨论各个环节的工作任务。

第15章“美国武器装备研制阶段的系统工程活动”:我国的研制程序和系统工程要求没有明确在哪个阶段应该开展什么样的系统工程活动。美国的《国防采办指南》第4章对每个研制阶段提出了具体的系统工程活动要求,这非常值得我国武器装备研制项目来学习和借鉴。本章全面介绍了美国武器装备各研制阶段应该开展哪些系统工程管理活动,如何开展系统工程管理活动,每个研制阶段应该设立什么样的准入准则和放行准则,如何达到准入准则和放行准则的要求,如何达到每个阶段的技术成熟度、设计成熟度和制造成

熟度的要求，每个研制阶段应开展哪些技术审查和技术审核。

第 16 章“案例”收录 F-35 联合攻击战斗机、联合空对面防区外导弹增程型、三维探测远程雷达、地面/空中任务导向雷达、联合轻型战术车 5 个案例。通过阅读这 5 个案例，读者可以知道如何开展技术设计制造成熟度管理活动。我国武器系统的研制单位可以从中借鉴美国武器系统研制项目的技术成熟度、设计成熟度和制造成熟度的管理经验。

随着我国经济的发展，工业基础不断夯实，国防科技水平整体提高，我国重大武器装备的研制广度和深度已经达到前所未有的水平，结束了十年磨一剑的历史。我国国防工业在数字化、信息化和精细化方面进行了多方面的探索和实践，武器装备系统工程管理水平大幅度上升。如今，利用现代化信息技术，通过大规模协同作业，研制效率大幅度提升，研制周期大幅度缩短。我们相信，在不远的将来，有中国国防工业特色的系统工程管理体系将建立起来。

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。

编著者

2014 年 12 月

目 录

第 1 章 绪言	1
1.1 系统与系统工程的定义	4
1.2 系统工程的方针与政策	6
1.3 系统工程的过程标准和能力模型	7
1.4 系统工程标准评价	8
1.5 体系工程	11
第 2 章 武器装备系统工程的发展	14
2.1 引言	14
2.2 中国武器装备系统工程的发展	15
2.3 美国武器装备系统工程的发展	20
第 3 章 中国武器装备研制程序及其系统工程要求	25
3.1 引言	25
3.2 论证阶段	26
3.3 方案阶段	27
3.4 工程研制阶段	28
3.5 定型阶段	29
3.6 系统工程管理要求	30
第 4 章 美国武器装备研制程序	35
4.1 引言	35
4.2 装备解决方案分析阶段	38
4.3 技术开发阶段	39
4.4 工程与制造研制阶段	43

4.5	生产与部署阶段	51
4.6	使用与保障阶段	54
第 5 章	系统工程管理框架	57
5.1	引言	57
5.2	系统工程策划	58
5.3	系统工程活动	62
5.4	分析与控制	65
第 6 章	系统工程过程	72
6.1	引言	72
6.2	要求分析过程	72
6.3	体系结构设计过程	75
6.4	实施过程	77
6.5	集成过程	79
6.6	验证过程	80
6.7	确认过程	81
6.8	移交过程	82
第 7 章	权衡研究	84
7.1	引言	84
7.2	权衡研究过程	84
7.3	权衡研究方法应用	86
第 8 章	技术状态管理	92
8.1	引言	92
8.2	技术状态管理策划	93
8.3	技术状态标识	98
8.4	技术状态控制	99
8.5	技术状态记实	102
8.6	技术状态审核	103

第 9 章 技术产品度量	104
9.1 引言	104
9.2 管理度量体系	105
9.3 技术性能测量	107
9.4 软件质量度量	111
9.5 获得值	113
第 10 章 技术审查与审核	117
10.1 引言	117
10.2 我军系统要求审查	118
10.3 美军系统需求审查	121
10.4 我军初步设计审查	123
10.5 美军初步设计审查	127
10.6 我军系统设计审查	131
10.7 美军系统功能审查	134
10.8 美军技术准备评估	136
10.9 美军综合基线审查	137
10.10 我军关键设计审查	138
10.11 美军关键设计审查	140
10.12 美军试验准备审查	144
10.13 美军系统验证审查	146
10.14 我军功能技术状态审核	147
10.15 美军功能技术状态审核	148
10.16 我军物理技术状态审核	149
10.17 美军物理技术状态审核	150
10.18 我军生产准备审查	151
10.19 美军生产准备审查	153
第 11 章 技术数据管理	156
11.1 引言	156

11.2	数据的定义与范围	158
11.3	数据需求的识别	162
11.4	数据获取	162
11.5	数据的接收验证与验收	163
11.6	数据的存储维护与控制	163
11.7	数据的使用与交换	163
11.8	数据保护	164
11.9	数据访问控制	164
11.10	数据版本控制	165
第 12 章	接口管理	166
12.1	引言	166
12.2	接口管理概念	167
12.3	接口分类	168
12.4	接口定义文件	173
12.5	接口管理要求	174
12.6	研制阶段的接口管理要求	175
12.7	接口管理过程	176
第 13 章	技术设计制造成熟度管理	179
13.1	引言	179
13.2	技术成熟度	180
13.3	设计成熟度	188
13.4	制造成熟度	190
13.5	美军研制程序中的制造成熟度	210
第 14 章	技术风险管理	218
14.1	引言	218
14.2	技术风险的主要成因	219
14.3	风险管理策划与准备	225
14.4	风险识别	229

14.5	风险分析	231
14.6	风险缓解策划	235
14.7	风险跟踪	239
14.8	风险文件编制与报告	241
第 15 章	美国武器装备研制阶段的系统工程活动	243
15.1	引言	243
15.2	装备解决方案分析阶段的系统工程	244
15.3	技术开发阶段的系统工程	254
15.4	工程与制造研制阶段的系统工程	263
15.5	生产与部署阶段的系统工程	269
15.6	使用与保障阶段的系统工程	271
第 16 章	案例	276
16.1	联合空对面防区外导弹增程型	276
16.2	F-35 联合攻击战斗机	278
16.3	三维探测远程雷达	282
16.4	地面/空中任务导向雷达	284
16.5	联合轻型战术车	286
参考文献		289

第 1 章 绪言

重大武器装备的研制项目是一个复杂的大型工程，项目管理的任务是以国家武器装备研制中长期计划和武器装备研制合同为依据，用系统工程的理论和方法，协调处理系统、子系统、设备之间的关系，控制武器装备系统内部和系统之间的接口，统筹平衡技术、性能、进度、经费和风险，评估和控制系统、子系统和单机中的各类风险，寻求最佳技术经济效益的途径，实现武器装备系统作战效能和作战适应性的研制目标。

设计、试验、生产是重大武器装备研制的 3 个主要环节。从设计来说，设计质量决定了产品固有质量。由于受设计师思维能力、客观条件与实践经验的限制，每项设计都可能因设计失误和考虑不周等原因导致设计不稳定，而不稳定的设计会给样机的研制、产品的试生产和批生产带来很大的困难，直接影响研制项目的性能、进度和费用目标的实现。

一个武器装备从方案论证开始，经研制、定型、批量生产直至装备部队要进行大量的试验活动，各种硬件和软件都要经过试验，各种试验费占研制经费的很大比例。由于考虑不周全或准备不充分，试验很可能失败或达不到预定目的，从而产生进度风险和费用风险。

承制单位从样机制造、小批试生产，到按设计要求批量生产出符合作战使用要求的产品，涉及技术与工业基础能力、设计、资金、材料、过程能力与控制、质量管理、制造人员、研制生产设施、制造管理等诸多因素，若处理不当，将引发各种制造风险。

武器装备研制的项目管理涉及计划管理、范围管理、进度管理、费用管理、质量管理、人力资源管理、沟通管理、风险管理、物资管理、系统工程管理、软件工程管理、后勤保障管理、试验与评定

管理、制造管理等众多知识领域，这些知识领域构成了项目管理知识体系。无论项目管理知识体系中的哪一个工作流程出现问题，都有可能妨碍研制项目总体目标的实现。

系统工程管理在武器系统的研制过程中起着核心的作用。系统工程管理的内容包括：需求分析、功能分析与功能分配、设计综合、系统设计方案验证、工作分解结构、技术状态管理、技术审查与技术审核、权衡研究、建模与仿真、度量指标管理、风险管理、系统管理规划、产品改进、系统研制组织建设、研制合同管理等。以上每一项内容都可能包含风险，因此，从本质上讲，系统工程管理也是风险管理，通过各项系统工程过程的实施，使研制项目的技术性能、进度、费用与风险处于平衡的状态。

国内外大型工程项目的成功经验表明，重大工程项目必须用系统工程的理论和方法进行管理，必须包括工程项目管理的全部知识体系。在这一方面，美国的曼哈顿原子弹计划和阿波罗登月计划堪称是典范。

曼哈顿计划是人类史上第一个规模最大、最复杂的工业与科学工程，开始于1942年，结束于1946年，动用了150 000多人，耗资20亿美元（1945年），仅用三年多的时间，成功制造出4枚原子弹，1枚用于试验，2枚投向了日本的广岛和长崎，加速了第二次世界大战中日本的投降。

阿波罗工程开始于1961年5月，结束于1972年12月，历经11年，成功将12名航天员送到月球并安全返回。阿波罗工程总共花费254亿美元（1969年），有40多万人参与，涉及2万多家企业、大学和研究机构。工程结束后，阿波罗飞船仍然在发挥作用，往返于天空实验室与地球，运载航天员和各种物资，并与苏联的联盟-19飞船实现了对接。

曼哈顿计划和阿波罗工程成功的关键是应用了系统工程的思路，整个工程在进度计划、质量管理、可靠性评估和项目管理过程等方面都采用了系统工程方法，选用了正确的技术路线，把风险控制在

了可接受的水平，大大缩短了工程所耗时间，并使研制费用保持在允许的范围。

进入 21 世纪后，我国的武器装备研制生产进入了新的历史时期，新型的战略导弹、战术导弹、各类军用卫星、歼击机、直升机、运输机的研制生产快速发展，形成了以二代装备为主体、三代装备为骨干的现代武器装备体系。为满足国家安全的需要，我国正在研制更先进的新一代武器装备。新一代武器装备的特点是技术性能要求更高，系统更加复杂，研制周期更长，投资量更多，技术风险、费用风险和进度风险更高。

我国的武器装备研制目前依然存在各种各样的问题。例如：在设计方面，性能指标要求过高，采用不成熟的新技术，可靠性、安全性、维修性和保障性设计不充分，参数设计缺少优化，各种分配缺少权衡研究，设计变更缺乏详细的论证和验证，更改过多、控制不严；在试验方面，试验计划不周详，试验项目不合理，试验条件设置不科学；在生产方面，设计人员对工艺知识了解不够，设计与工艺脱节，设计可生产性和可制造性差，为满足产品高性能的需要，大量采用新材料和新工艺，关键特殊工艺不成熟，质量管理不到位，生产过程波动大，产品生产效率不高，产品单位生产成本低，成品率低，批生产能力差。这些问题往往造成武器装备研制费用不断攀高，研制周期不断延长，采购使用保障成本难以控制，装备可靠性差，使用寿命短，维修和保障达不到作战使用要求。

经过半个多世纪的发展，系统工程的理论与方法已经成为我国武器装备研制的重要支撑。以上的各种问题将逐步地得到解决。

总结我国武器装备研制项目的系统工程最佳实践，借鉴国外大型武器系统和大型工程项目的系统工程的成功经验，系统、全面地学习和掌握系统工程的理论与方法，对我国新一代重大武器装备研制项目的成功具有巨大的现实意义。

1.1 系统与系统工程的定义

1.1.1 系统

系统是由各种设备、技能和技术组成,能够执行和保障某项作战任务的综合体。一个完整的系统包括作战和保障所需的一切设备、相关的设施、武器装备、软件、勤务和人员等要素,是一个能够在规定的作战环境中不需外援的作战单位。(美国国防部, MIL-STD-499《系统工程管理》,1969年)

系统是能够完成某项工作任务的设备、人员及技术的组合。一个完整的系统应包括在规定的 work 环境下,使系统的工作和保障可以达到自给所需的一切设备、有关的设施、器材、软件、服务和人员。(中华人民共和国军用标准 GJB 451—90《可靠性维修性术语》)

系统是由各种设备、设施、器材、软件、资料、勤务和人员组成,能够执行和保障某项作战任务的综合体。(中华人民共和国军用标准 GJB 2993—1997《武器装备研制项目管理》)

系统是有能力满足规定需求或规定目标的由人员、产品和过程集成的综合体。(美国国防部,《系统工程概论》,2001年)

综上所述,一个系统一般由相关的子系统、设备组、部件等元素以及它们之间的接口组成。根据系统定义,系统的元素可能包括硬件、软件和人员。系统层次中的许多元素自身根据定义也可以被认为是一个“系统”,但实际上代表的是系统层次中的子系统。子系统、设备组或部件的层次数量取决于所研制的系统的复杂性。

1.1.2 系统工程

系统工程是将科学和工程的成果应用到:

1) 通过定义、综合、设计、试验与评价等迭代过程,把作战使用需求转换成系统性能参数描述和系统技术状态;