

系统工程

管理指南

SYSTEMS ENGINEERING MANAGEMENT GUIDE

(美) 国防系统管理学院 编
周宏佐 曹纯 陆镛 邵德生 卿寿松 译

GUOFANG
GONGYE
CHUBANSHE

系统工程管理指南

[美] 国防系统管理学院 编

周宏佐 曹纯 陆镛 邵德生 卿寿松 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是美国国防系统管理学院根据国防部对武器系统采办和研制工程管理的指令、标准的要求编写的,是国防部和工业部门(公司)的工程项目负责人进行工程管理工作指南。本书从工程实际应用的角度,全面地介绍了系统工程管理各个要素的基本原则、要求和程序,是了解和研究美国军事装备工程管理的实际资料。其中包括工程项目的主题论证、系统的定义,计划管理、系统设计、综合优化、风险分析、技术状态管理、设计评审和审核、生产管理、寿命周期费用、综合后勤保障、软件开发等系统工程过程诸要素。

本书可供武器装备的订购、研制管理部门、工业企业、研究所从事工程管理、质量管理和工程项目设计的领导和工程技术人员参考,也可供高等院校管理专业教师、研究生和本科生阅读。

Systems Engineering Management Guide
Defense Systems Management College
U.S. Government Printing Office

1986

*

系统工程管理指南

〔美〕国防系统管理学院 编

周宏佐 曹纯 陆镛 邵德生 卿寿松 译

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

新华书店经售

北京通县向阳印刷厂印装

787×1092毫米 16开本 13.125印张 300千字

1991年5月第1版 1991年5月北京第1次印刷

印数: 00001 - 4000册

ISBN 7-118-00862-1/F·48 定价: 7.80元

译 序

这套《系统工程管理》丛书是由美国国防系统管理学院组织编写的。它从系统工程管理、综合后勤保障、试验与评价、制造管理、嵌入式计算机资源等方面，系统地阐述了在武器装备采购、研制、生产和使用过程中各个方面、各个阶段的管理方法和程序，旨在保证进度和费用的前提下，使军方获得作战性能优良、质量可靠性高、维护使用便利的武器系统。在目前我国国防建设实行战略转变的新形势下，国防科技工业面临新的情况和挑战，为了促进复杂武器系统的发展，认真研究借鉴国外系统管理经验是十分必要的。他山之石，可以攻玉。翻译出版这套丛书，对于从事国防武器装备的订购、研制的科研管理工作有一定的参考价值。当然，由于各国的社会制度不同，管理体制和科技工业的具体情况各异，我们在借鉴他人经验时，务必结合我国的实际情况，努力探索，不断总结出一套具有中国特色的系统工程管理方法来。

陈网
- 一九九〇年九月十四日

译 者 的 话

由于科学技术的高度发展和生产力的不断提高,现代武器装备和工程项目的特点是:技术先进,系统复杂,协作面广,质量要求高,寿命周期长,耗资巨大,是一项复杂的系统工程。要确保质量、降低成本、缩短周期地完成任务,必须进行周密的计划,实行科学的系统工程管理。工程项目的各级负责人在管理上和技术上应该具备很高的运筹帷幄的才干,才能领导好这个复杂的系统工程。

美国国防系统管理学院为了适应重要武器系统科学管理的需要,组织编写了一套教材,也为国防部、各军部及工业承包商的工程项目负责人提供一套工作指南。这套教材共有五册:《系统工程管理指南》,《综合后勤保障指南》,《嵌入式计算机资源指南》,《试验与评价指南》和《国防部制造管理手册》。

我们首先组织翻译出版AD报告的缩微版《系统工程管理指南》,为从事武器装备的订购、工程研究及国防科技工业部门的工程研制、生产管理人员,也为广大工程技术和系统工程、全面质量管理研究人员提供有益的参考资料。

系统工程就是要通过对系统的定义、结合、分析、设计、试验和鉴定等方面的迭代过程,将使用要求转变为系统性能和系统技术状态;要综合系统有关技术参数,保证所有的物理的和功能的及程序接口的兼容性,使整个系统的设计得到优化;并将可靠性、维修性、安全性、生存能力、人的因素及其有关特性综合到整个系统工程过程中去,以满足成本、进度和技术性能的总目标要求。

《系统工程管理指南》是根据美国军用标准MIL-STD-499A《工程管理》和《陆军作战手册770-78》“系统工程”中规定的要求编写的,本书的特点是比较系统地、深入浅出地论述了系统工程管理各管理要素的基本原则、要求和程序,介绍工程应用的实质,以便掌握工作要领。

我们在改革开放、深入推行全面质量管理、贯彻执行《军工产品质量管理条例》以及引进国际标准化组织编制的ISO 9000系列标准《质量管理和质量保证》而进行的工程项目管理中,提出了不少问题。因此,我们在总结自己工程项目管理中的实践经验的同时,也要吸收国外先进的科学管理技术,从而走我国自己的科学管理道路。

本书由“国防科工委质量与可靠性研究中心”组织五位同志翻译,并由曹纯同志统校。此书得到了国防科工委综合计划部的支持,国防科工委怀国模副主任非常关心这项工作,并为本书撰写了序言。

在本书翻译过程中,有几张缩微胶片的图表字迹模糊不清,未能译出,由此对有关文字也作相应处理,但对理解全书内容并无影响,希读者谅解。另外对原书中的图、表进行了分类和重新排序,以符合我们的出版要求。

由于译者水平所限,难免有翻译不妥或错译之处,恳请读者批评指正。

译 者

1990年10月

原 序

本书是美国国防系统管理学院(DSMC)根据美国国防部的要求编写的系列教学丛书之一,它主要是作为美国国防系统管理学院的教材使用,同时也可作为工程和项目管理人员常备的参考书。该丛书是供现在或将来的美国国防部(DoD)采办管理人员使用的,但又不仅仅局限于军方。这些管理人员在参与政府和工业界双方实施武器系统采办和保障的管理职能时,在一定程度上已对基本的名词术语和概念有所了解。该丛书包括以下五种:

- 《综合后勤保障指南》;
- 《嵌入式计算机资源指南》;
- 《系统工程管理指南》;
- 《试验与评价指南》;
- 《国防部制造管理手册》。

在目前,工程界、管理界、企业界、军队装备主管部门特别需要这套丛书。因为我们都希望在保证进度和一定费用的前提下交付作战性能优良、易维护、可生产与试验的武器系统。然而;随着武器系统的采办费用和技术复杂程度的增加,促进了功能的专业化,并出现了许多特殊的专业。公众对武器系统采办过程也越来越表示关注。项目获得成功的关键因素就是在构成现代系统的诸多专业中进行理智的综合和平衡。这个过程从双方联络开始,一直延续到系统寿命周期内权衡研究的全过程。

丛书的目的是帮助项目管理人员培养敏锐的判断能力和集中统一的思想。由于项目各异,在应用本书时既不能把它作为万能的钥匙,也不能把它作为解决系统采办管理问题的唯一模式,而应该进行专门的判断和普遍的观察。

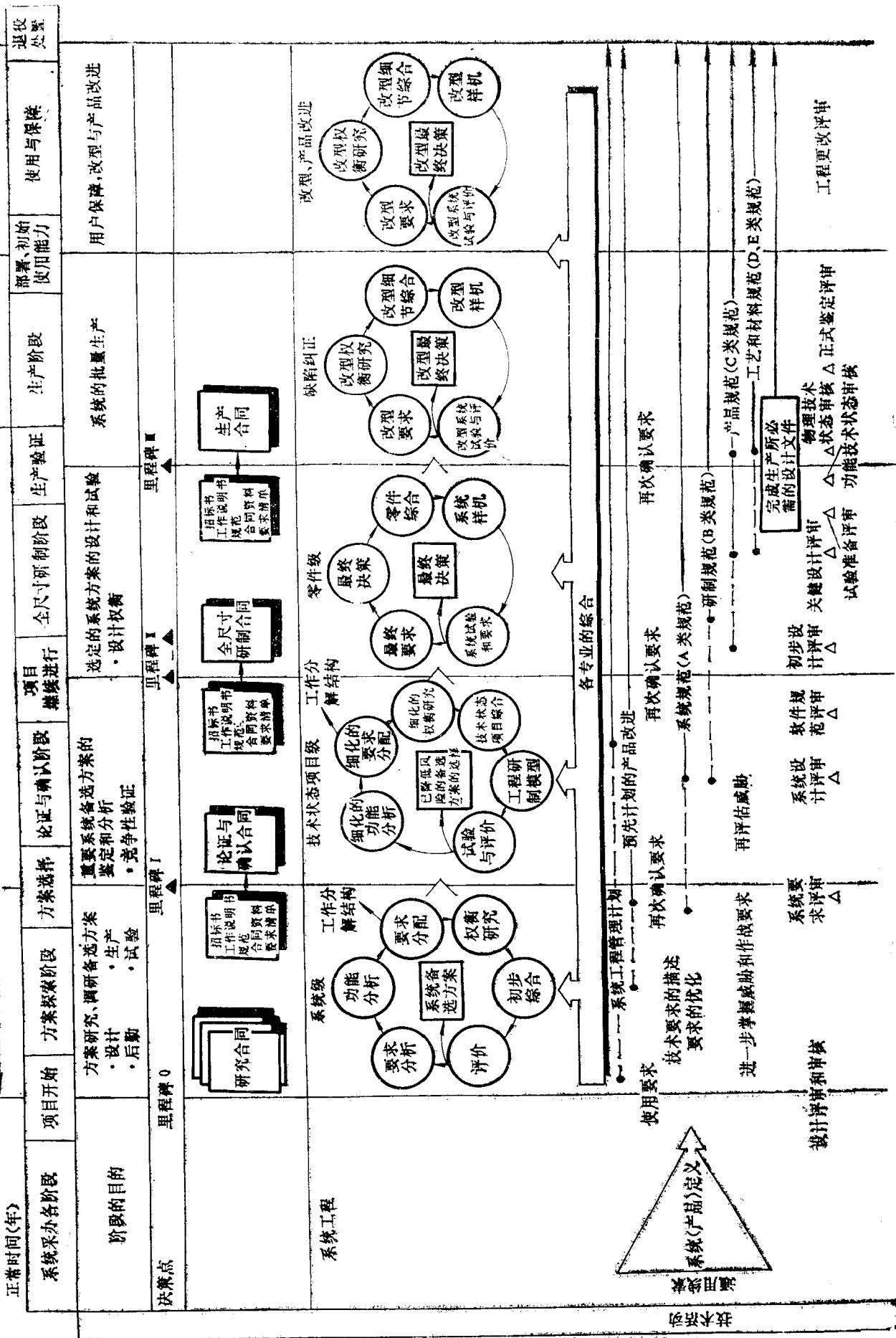
本书是在国防系统管理学院的指导下,根据 MDA 903-85-C-0171合同,由布兹、艾伦和哈密尔顿公司(Booz,Allen & Hamilton Inc.)负责编写的,在此特向国防系统管理学院的教职员工、学员、校友以及各采办团体成员表示感谢。他们的观点、建议及其素材对本书的完成起了很大的作用。国防系统管理学院是本书的主编单位,现欢迎读者对本书提出批评和改进建议。

前言对系统寿命周期内的技术管理进行了系统的阐述。本书的后续章节为掌握这些技术领域内的特殊专业提供了详细的材料。在过去的几十年里,我们已经看到处于技术前沿、相互渗透的大型武器系统在不断增加。这些系统都存在固有的发展过程,即存在着寿命周期。早期采取了措施或没有采取措施可能造成系统取得成功或失败。

系统寿命周期包括从项目开始,直到系统使用完毕为止的整个时期。采办过程中的所有活动都围绕系统进行。这样,在系统寿命周期内,无论什么时候系统确定的技术状态都是各专业涉及的范畴。武器系统的寿命周期划分为:方案探索、论证与确认、全尺寸研制、生产、使用和保障等各阶段。

系统的技术活动很容易划分为设计、试验、生产和保障等各功能领域的活动,并且常常可以导致项目办公室内形成相应的工作分工。

寿命周期各阶段



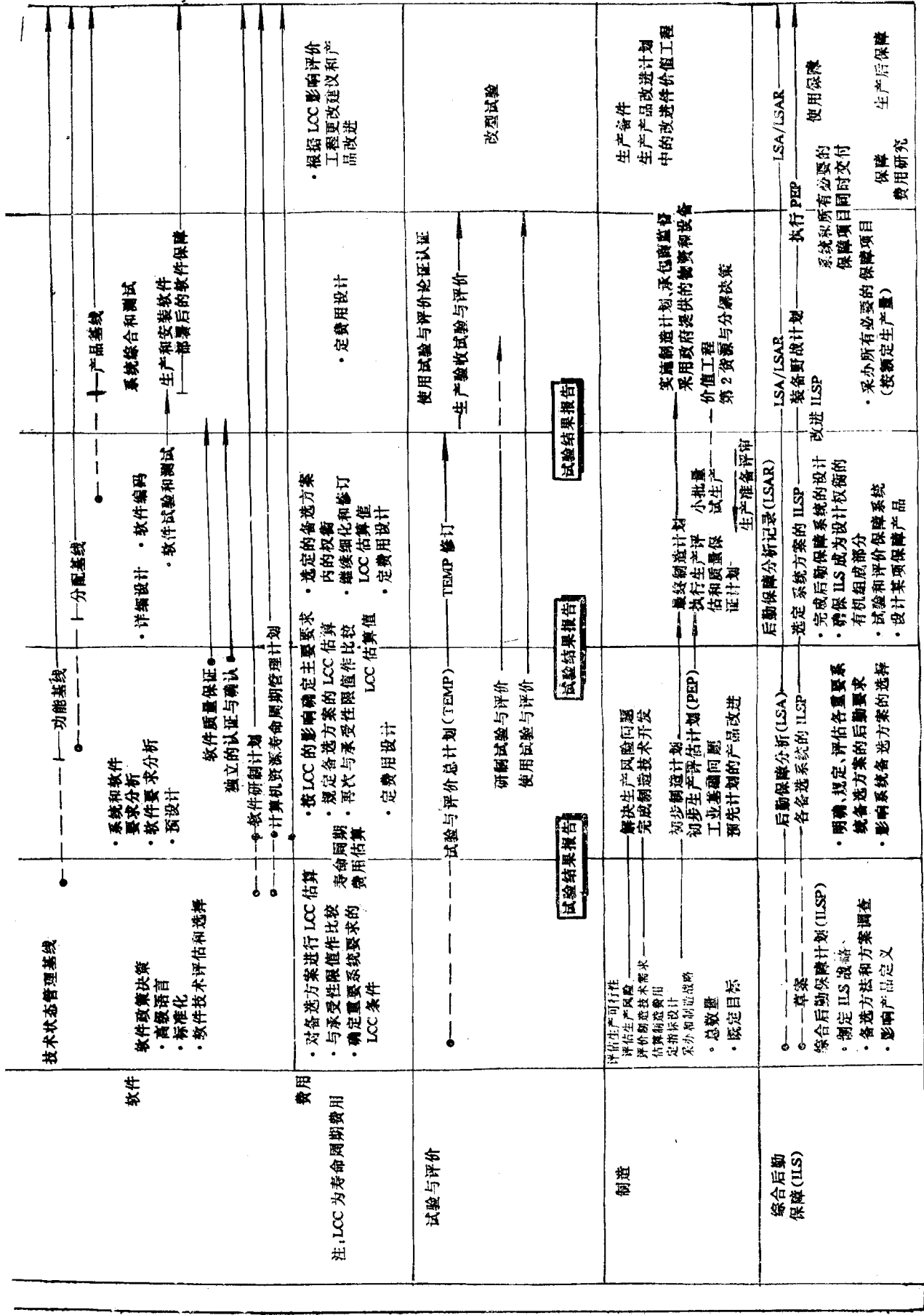


图 1 系统寿命周期技术活动

根据 LCC 影响评价
工程更改建议和产
品改进

定费用设计

使用试验与评价论证
生产验收试验与评价

改型试验

生产备件
生产产品改进计划
中的改型件价值工程

实施制造计划,承包商监督
采用政府提供的物资和设备
价值工程
第 2 页:资源与分解决策

LSA/LSAR
执行 PEP
使用保障
生产后保障

系统私有必要的
保障项目同时交付

保障
费用研究

LSA/LSAR
装备野战计划
改进 ILSP
采办所有必要的保障项目
(按预定生产量)

LSA/LSAR
后勤保障分析记录 (LSAR)
改进 ILSP
完成系统方案的 ILSP
确保 ILS 成为设计权衡的
有机组成部分
试验和评价保障系统
设计某项保障产品

后勤保障分析 (LSA)
各备选系统的 ILSP
明确、规定、评估各重要系
统备选方案的后勤要求
影响系统备选方案的选择

草案
综合后勤保障计划 (ILSP)
制定 ILS 战略
备选方法和方案调查
影响产品定义

综合后勤
保障 (ILS)

确定的备选方案
内的权衡和修订
继续细化
LCC 估算值
定费用设计

TEMP 修订

试验结果报告

试验结果报告

试验结果报告

最终制造计划
小批量
生产准备评审
生产准备计划

解决生产风险问题
完成制造技术开发
初步制造计划
初步生产评估计划 (PEP)
工业基础问题
预先计划的产品改进

评估生产可行性
评估生产风险
评估制造技术需求
估算制造成本
定制造设计
采办和制造战略
总数量
既定目标

技术状态管理基线

功能基线

分配基线

产品基线

软件政策决策
高级语言
标准化
软件技术评估和选择

系统和软件
需求分析
软件要求分析
预设计

详细设计
软件代码
软件试验和测试

系统综合和测试
生产和安装软件
部署后的软件保障

软件质量保证
独立的认证与确认
软件研制计划
计算机资源寿命周期管理计划

按 LCC 的影响确定主要要求
规定备选方案的 LCC 估算
再次与承受性限值作比较
LCC 估算值
定费用设计

根据 LCC 影响评价
工程更改建议和产
品改进

注: LCC 为寿命周期费用

在寿命周期的最初阶段,各功能领域内的技术活动很活跃,并且持续到项目的许多阶段。技术管理的一般步骤如下:

——通过分析确定需要哪些措施来保障和生产以及需要哪些测试系统,然后再看是否能满足要求;

——通过应用可生产性工程、后勤分析、可试验性设计和按成本设计等技术,来完善设计、制定规范并把要求转化为合同语言;

——通过准备试验设施、采购和安装生产线、计划并获得后勤保障来准备实施;

——通过试验、制造和后勤保障来实施。

图1表明了在项目各阶段必须综合和完成的技术管理活动有以下四项:

——用计划、进度、目标、决策点和总的合同流程表示各阶段;

——系统工程和相关的交叉专业的综合,把产品在各阶段形成的进程联系起来,它包含了系统级、技术状态项目级、产品级、缺陷的纠正以及产品改进与改型;

——制造和综合后勤保障能影响设计,并且可进一步以一定的方式来完成确定的设计思想;

——试验结果为提高性能的分析提供了反馈信息。

系统采办过程从确认要求开始,其目的是在满足一定费用的前提下及时地部署和维持满足技术需求、有战斗力的武器系统。

这样,采办过程可模拟为:输入、处理和输出过程。输出是系统,输入是要求和其它相应的约束条件。处理过程就是在费用(系统采办、生产、使用与保障、处理所需要的资源)、系统效能(系统预计能满足决定作战要求的程度)和进度之间建立和保持平衡的技术活动的管理。对重要的国防武器项目引起非议的地方常常就是在这些因素之间未能取得平衡。

总的来讲,采办过程管理可以定义为:在将军事需求转化为作战武器系统的过程中,对所开展的全部工作进行有逻辑的、系统的管理。

系统寿命周期可以有30年或更长的时间。例如M60坦克、B-52飞机就是其中的例子。寿命周期内的技术活动都不是孤立的事件,每一活动都以一定的方式在系统寿命周期内表现出来。

系统采办和保障的成功,需要政府和工业部门双方的共同努力。因为坚实的工业基础能够提供经济地、及时地生产武器系统的能力,因而是采办过程的关键因素。

系统寿命周期技术活动图(图1)对各项活动进行了详细描述,这是作为我们工作出发点的基本概貌。通过对图1的仔细研究,我们相信开始时努力工作将对后续工作产生良好的影响。早期的技术决策在总的系统费用和进度中有着深远影响,当然在重要的技术活动及其一体化过程中有进一步的要求。

在读完本书后我们会深刻地体会到:早期的努力工作,将在后续阶段得到更大的效益。早期的技术决策对系统总的费用和进度有着深远的影响。当然,重要的技术活动和综合会有进一步的要求。

目 录

第一篇 系统管理

第一章 系统工程概述	2
1.1 引言	2
1.2 系统工程的发展过程	2
1.3 系统工程的定义	3
1.4 系统工程过程	3
1.5 系统工程目标	4
1.6 系统工程的实施	4
1.7 参考文献	4
第二章 采办过程中的系统工程	5
2.1 引言	5
2.2 政府采办政策	5
2.3 系统寿命周期	5
2.4 参考文献	11
第三章 系统工程管理计划	12
3.1 引言	12
3.2 系统工程管理计划的内容	12
3.3 系统工程管理计划的实施	12
3.4 有关的计划	13
3.5 文件	14
3.6 参考文献	14
第四章 系统工程过程中的工程综合	15
4.1 引言	15
4.2 综合框图	15
4.3 参考文献	19

第二篇 系统研制过程和方法

第五章 系统工程过程	21
5.1 引言	21
5.2 基本过程	21
5.3 文件	23
5.4 参考文献	25
第六章 功能分析	26
6.1 引言	26

6.2 实施途径	26
6.3 功能的确定	27
6.4 分配要求	31
6.5 文件	36
6.6 结论	37
6.7 参考文献	37
第七章 系统综合	38
7.1 引言	38
7.2 实施途径	38
7.3 原理框图	39
7.4 物理模型	40
7.5 数学模型	40
7.6 参考文献	41
第八章 评价与决策：权衡研究	43
8.1 引言	43
8.2 基本方法	44
8.3 权衡分析的应用	51
8.4 权衡研究报告	52
8.5 风险框图：权衡研究 (DoD 4245.7-M).....	52
8.6 结论	53
8.7 参考文献	54

第三章 系统的确定与控制

第九章 工作分解结构	56
9.1 引言	56
9.2 定义	57
9.3 工作分解结构的编制	60
9.4 工作单元的形成	61
9.5 文件编制	63
9.6 参考文献	65
第十章 规范的制定	66
10.1 引言.....	66
10.2 定义.....	66
10.3 项目规范编制程序.....	69
10.4 剪裁.....	74
10.5 风险框图：资料要求(DoD 4245.7-M).....	77
10.6 参考文献.....	78
第十一章 技术状态管理.....	80
11.1 引言.....	80
11.2 建立基线技术状态.....	80
11.3 技术状态管理的一般做法.....	82

11.4	文件	86
11.5	风险框图：技术状态控制(DoD 4245.7-M)	88
11.6	参考文献	89
第十二章 技术评审和审核		90
12.1	引言	90
12.2	正式设计评审	92
12.3	非正式评审	97
12.4	设计评审的管理	98
12.5	设计评审与项目规范的关系	99
12.6	风险框图：设计评审(DoD 4245.7-M)	100
12.7	结束语	100
12.8	参考文献	101

第四篇 系统性能管理

第十三章 试验与评价在系统工程过程中的作用		103
13.1	引言	103
13.2	试验	104
13.3	实施途径	107
13.4	试验大纲的管理	111
13.5	试验大纲报告	111
13.6	试验与评价同系统工程过程文件的关系	113
13.7	试验与评价同技术性能度量大纲的关系	113
13.8	试验与评价同软件研制过程的关系	113
13.9	文件	114
13.10	参考文献	118
第十四章 技术性能度量		120
14.1	引言	120
14.2	技术性能度量的计划	122
14.3	技术性能度量参数的选择	122
14.4	计划剖面的制定	126
14.5	评定方法	128
14.6	报告的形成	129
14.7	报告的频度和时间	129
14.8	技术进展评审	131
14.9	技术性能度量同系统工程的关系	131
14.10	报告格式	131
14.11	参考文献	132

第五篇 从研制到生产的转移

第十五章 风险分析和管理	134
---------------------	------------

15.1 引言	134
15.2 实施途径	134
15.3 避免普通的陷阱	141
15.4 风险监控	141
15.5 文件	142
15.6 参考文献	144
第十六章 改型工作的管理	146
16.1 引言	146
16.2 实施途径	147
16.3 实施方法	149
16.4 特殊应用: 预先计划的产品改进	149
16.5 从改型计划中得到的教益	150
16.6 文件编制系统改型计划	153
16.7 参考文献	154
第十七章 寿命周期费用	155
17.1 引言	155
17.2 实施途径	156
17.3 建立费用目标	158
17.4 估算费用的步骤	158
17.5 寿命周期费用分析	160
17.6 对寿命周期费用与按费用进行设计应用权衡分析	160
17.7 文件编制	162
17.8 参考文献	164
第十八章 制造工作和可生产性	166
18.1 引言	166
18.2 实施途径	167
18.3 生产工程分析	169
18.4 可生产性权衡研究	170
18.5 制造工作的计划保障	170
18.6 特殊的应用, 生产设施的鉴定	171
18.7 生产策略与计划制定	172
18.8 可生产性工程和计划	173
18.9 参考文献	174

第六篇 特殊应用

第十九章 综合后勤保障在系统工程过程中的作用	176
19.1 引言	176
19.2 综合后勤保障与系统工程管理的关系	176
19.3 系统工程与后勤保障分析的联系	178
19.4 可靠性和维修性对综合后勤保障的影响	178
19.5 保障系统设计与系统工程的联系	180

19.6	计算机软件可保障性与系统工程的联系.....	180
19.7	小结.....	181
19.8	参考文献.....	181
第二十章	计算机软件研制中系统工程的应用.....	183
20.1	引言.....	183
20.2	软件研制周期.....	184
20.3	软件寿命周期.....	187
20.4	软件文件.....	190
20.5	要求的剪裁.....	191
20.6	参考文献.....	192
附录A	缩略语简表.....	193

第一篇 系统管理

概 述

现代武器系统研制项目最显著的特征是其复杂性,它采用先进的科学和工程技术,并利用遍布各地的军事机构和承包商组织的服务。

面对各种挑战,在过去的 20 年里已经逐步形成了许多复杂的管理途径和方法。本篇扼要地阐述了在武器系统采办过程中系统工程在技术管理中的作用。它详述了系统工程过程中的关键事项是如何与整个采办管理要求相联系的。本篇还详细地描述了系统工程管理计划(SEMP)的目的与特定内涵,该计划对系统工程过程进行剪裁,以适应特定应用场合的要求。系统工程管理计划是由承包商制定的,它确定用于完成系统工程目标的系统工程管理的过程、组织和程序。系统工程管理计划也描述了在设计过程中为保证所要求的技术综合程度而建立的基本技术管理关系。本篇也为系统综合工作和系统工程主要文件之间的相互关系提供了详细的指南。

第一章 系统工程概述

1.1 引言

本章的主要目的是使人们熟悉系统工程管理及其在整个技术管理过程中的作用。在确定系统的要求、技术状态和规模，管理其研制过程和验证设计能力等方面，系统工程师们已经可以使用许多成熟的工具和方法。

本章是以美国军用标准 MIL-STD-499 A《工程管理》中确定的工作项目和《陆军作战手册(FM)770-78》“系统工程”中规定的概念和方法为基础，增加了在这些文件颁布以来受到美国国防部重视的内容编写而成的。本章说明了系统工程诸要素之间的相互关系，并把它们与在一定费用的前提下及时地部署和维持满足技术要求的、有战斗力的总目标联系起来。

1.2 系统工程的发展过程

自第二次世界大战后引入系统的概念以来，系统工程越来越引起人们的重视。随着研制和采办费用的增加、项目的技术复杂程度的提高，再加上应用系统工程方法可以避免或者至少可以减缓大型工程项目的失败，使得系统工程的作用更为显著。

尽管有许多专家较早地接触到了系统工程的基本原理，但在武器系统研制中，系统工程方法的最初应用是在 20 世纪 50 年代中期应用于弹道导弹工程项目上。从那时开始，这些项目总结出了在工程研制项目中强调必须应用系统工程技术的一些典型问题：

- 需要庞大的专业设计队伍；
- 设计人员高度专业化；
- 涉及到相当多的承包商；
- 承包商遍布全国各地使得联系很复杂；
- 同时研制大量有关的硬件和软件系统；
- 使用和后勤保障要求非常复杂；
- 研制周期很短；
- 某些高水平的先进技术为多个子系统所固有。

通过这些最初的弹道导弹研制项目，产生了大量的技术指令，并由系统工程和技术指挥承包商颁布。与此同时，制定了许多军用标准和手册。

到了 60 年代中期，根据承包商提出的更方便地应用系统工程方法的要求，以标准的形式颁布了军用标准，这就是现在的 MIL-STD-499 A。美国《陆军作战手册 770-78》和 MIL-STD-499A 是目前武器研制项目中应用系统工程概念和要求的基础。

从 50 年代末到 60 年代,在大多数研制项目中出现了缺少工程专业“专家”的情况,同时对专业化的强调程度也在不断提高。目前人们已看到在工程技术中已有 250 多个不同的工程专业。每个专业都要求从研制的全过程中获得数据以满足必要的条件,并且分析过程的结果。

1.3 系统工程的定义

美国军用标准 MIL-STD-499 A 对系统工程定义如下:

系统工程是将科学和工程技术的成就应用于:(1)通过定义、综合、分析、设计、试验和评价等的反复迭代过程,将作战要求转换成对系统性能参数和系统技术状态的描述。(2)综合有关的技术参数,确保所有物理、功能和程序接口之间的兼容性,在一定程度上使整个系统的确认和设计达到最佳状态。(3)将可靠性、维修性、安全性、生存能力、人的因素和其它的类似因素综合到整个工程之中,使费用、进度和技术性能达到总目标。^①

简单地讲,系统工程既是一个技术过程,又是一个管理过程。要使系统的研制顺利地完成,在系统寿命周期内两方面技术都必须应用。系统寿命周期是从使用方的需求开始(通常是强制性的),同时性能要求必须满足作战任务目标。在最先规划阶段,系统工程对制定系统方案和确定系统要求是非常重要的,在详细设计快结束时,系统工程师们要确保所有的设计专业之间取得平衡,解决接口问题,进行设计评审和权衡分析,并且协助进行性能验证。在生产阶段,系统工程涉及到系统能力的验证和系统基线的保持,并且建立可生产性分析的分解框图。在使用和保障阶段,通过系统工程评估所建议系统的更改,确定更改的有效性,并且促使各种更改、改型和更新之间有效的结合。第二章将对系统工程在国防部采办过程中的作用进行详细的阐述。

1.4 系统工程过程

尽管各项目的要求不同,但为最好地完成系统设计工作都有一致的、合乎逻辑的过程。图 1-1 表明了基本的系统工程过程的各项活动,在第二篇中对此过程还有详细的阐述。

系统工程过程是反复进行的,每次应用时产品要素说明则越来越详细,并且考虑到了随后的系统工程设计周期。最后的结果是所有系统要素的生产准备文件。

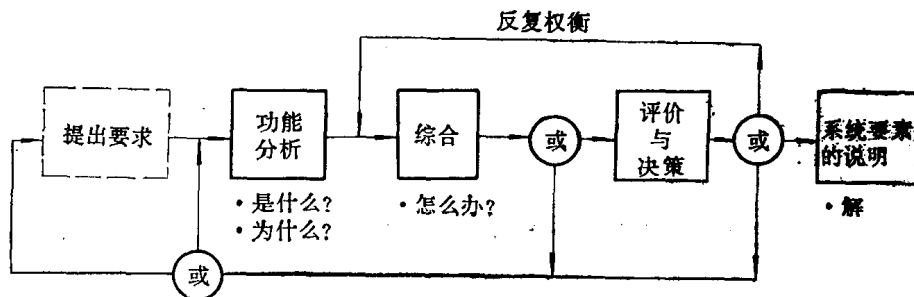


图1-1 系统工程过程

①亦可参见 MIL-STD-881A 《国防装备项目的工作分解结构》。——译者