

装备系统工程

陈学楚 主编

国防工业出版社

装备系统工程

陈学楚 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

装备系统工程/陈学楚主编. —北京:国防工业出版社,
1995.3

ISBN 7-118-01423-0

I. 装… II. 陈… III. 装备-军事系统工程学 N. E92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 01911 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 11 $\frac{1}{8}$ 288 千字

1995 年 3 月第 1 版 1995 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1—2500 册 定价:15.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

内 容 简 介

本书按全寿命周期和全系统的观点,从“优生”和“优育”两个方面阐述武器装备的研制和使用,以达到提高装备战备完好性、持续作战能力和降低寿命周期费用之目的。“优生”体现在围绕装备作战效能,论述可靠性、维修性、保障性、经济性(寿命周期费用)这四个固有属性上;“优育”体现在预防性维修、修复性维修和战伤修理这三项工作以及维修管理信息系统上。

全书共九章,即绪论、系统工程过程及管理、效能与寿命周期费用、可靠性与维修性、保障性与综合保障工程、预防性维修、修复性维修、战伤修理、维修管理信息系统。

本书既可作为军事工程院校本科班、装备管理干部学习班的教材,也可作为军事部门和国防工业部门的装备论证、设计、研制、生产、采购、监造、使用、保障人员和院校师生的参考书。

ISBN 7-118-01423-0/TJ · 101

定价:15.00 元

致 读

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列出出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄 宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾 铎		
秘 书 长	刘琯德		
委 员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔划为序)	刘 仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯 迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

前 言

现代武器装备的研制、使用和保障是一项复杂的系统工程。在寿命周期过程中,特别是在早期阶段,如果未运用系统工程管理,常常容易出现性能指标达不到要求,维修保障不配套,研制费用一再追加,研制进度不断延长,最终将问题遗留给使用部队,其使用保障费用负担沉重,难以形成应有的作战能力。

如何有效地控制研制进度、费用和性能指标,获得作战效能高而寿命周期费用低的武器装备?怎样使所采购的武器装备开始部署使用之时就能迅速发挥其应有的作战效能,并且能够持续保持其作战能力?这是一些有待解决的实际问题。60年代以来,美军在武器装备研制过程中,也遇到过类似的问题。由于在论证、设计、研制、试验、评审、生产、采购、使用、保障直到退役的全寿命周期中,采用了系统工程的理论和方法,问题解决得颇有成效。为了吸收外军的有益经验,并结合我军情况,我们编著《装备系统工程》一书,但愿对提高武器装备作战效能和降低寿命周期费用有所帮助。

关于系统工程的常用工具,如预测技术、模拟技术、线性规划、动态规划、概率统计、排队论、对策论、图论、技术经济分析等,由于目前这方面已有大量出版物,本书不再赘述。

本书编著人员有陈学楚(一、二、三、四、五、八章)、张净敏(三、五章)、陈云翔(六章)、陈德清(七章)、程慧力(九章),全书由陈学楚主编。限于编著人员水平,错误之处,希望读者指正。

本书在编著和出版过程中得到空军装备技术部张志勇部长和国防科工委技术基础局殷鹤龄局长的大力支持,特此致谢。

编著者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 装备使用中出现的問題	1
第二节 效能与寿命周期费用	4
第三节 装备系统工程的基本概念	6
第二章 系统工程过程及管理	15
第一节 系统工程过程及技术状态管理	15
第二节 立项论证阶段	28
第三节 初步设计(预研)阶段	36
第四节 详细设计及研制阶段	45
第五节 系统试验、评价及更改	52
第三章 效能与寿命周期费用	61
第一节 效能	61
第二节 寿命周期费用	76
第三节 费用——效能分析	94
第四章 可靠性与维修性	109
第一节 可靠性的基本概念	109
第二节 可靠性试验及评估	118
第三节 维修性和可用性	146
第四节 寿命周期过程中可靠性与维修性工作	153
第五章 保障性与综合保障工程	161
第一节 概述	161
第二节 综合保障计划	168
第三节 保障性分析	173
第四节 提高保障性的措施	189
第六章 预防性维修	193

第一节	以可靠性为中心维修的形成与发展	193
第二节	以可靠性为中心的维修的主要内容	198
第三节	预防性维修工作间隔期的确定	229
第四节	修理级别分析	243
第五节	预防性维修大纲的制订与修改	247
第六节	网络分析技术在装备维修管理中的应用	249
第七章	修复性维修	256
第一节	概述	256
第二节	装备系统的故障特征与结构机件的失效形式	258
第三节	装备技术状况的监控与故障诊断	261
第四节	装备结构机件的无损探伤	270
第五节	系统功能故障原因的查找方法	276
第六节	装备结构损伤的修复与系统故障的排除	291
第八章	战伤修理	293
第一节	战伤修理的必要性	294
第二节	战伤修理与平时修理的主要区别	298
第三节	战斗恢复力及其设计	303
第四节	战伤评估	307
第五节	战伤修理的若干问题	310
第九章	维修管理信息系统	317
第一节	信息系统的概念与作用	317
第二节	维修工程的信息管理	322
第三节	维修管理信息系统的建立	334
参考文献		339

第一章 绪 论

系统可分为自然系统和人造系统。自然系统是自然形成的自然物质(矿物、植物、动物)的系统,如原子系统,自然生态系统。人造系统是由人工造成的各种要素有机构成的系统,如武器装备系统,生产加工系统。本书仅讨论武器装备的人造系统。

军事部门总是希望在保证一定费用、进度的前提下,能够获得作战性能优良、可使用、可保障的武器装备系统。近30年来的实践证明,要成功地创造出这样一种人造系统,需要在研制阶段,特别是早期,运用系统的方法,以系统分析和设计为中心,按照一定目标来全面权衡,综合优化,注重装备的“优生”和“优育”,而系统工程正是实现这一目标的有效途径。

第一节 装备使用中出现的問題

科学技术的发展,不仅改善了军事装备的性能,也使装备本身复杂化。一方面,装备的复杂化,给使用、保障带来一些新的问题;另一方面,重性能、轻效能传统观念的影响,忽视可靠性、维修性、保障性、安全性等的设计,造成装备使用寿命短,故障严重,维修效率低,停用时间长,寿命周期费用高。上述两方面给装备的使用带来十分严重的后果。主要问题是:

一、危及安全

装备研制时,对安全性缺乏系统分析和试验评估,致使像飞机、军舰这类武器装备使用了多年,有的甚至几十年,承制方仍然

给不出使用寿命指标和可靠性技术结论。由于安全性水平底数不清,薄弱环节得不到充分暴露及改进,有些本来完全可以避免的严重事故,却一再发生,使用方承担了不应该承担的风险。例如,歼击机活动座舱盖锁钩的可靠性差,飞行中自动飞掉座舱盖,从 50 年代初起的 40 余年来不断出现,多次造成机毁人亡的事故。

二、出勤率下降

装备复杂化之后,如不注意可靠性与维修性的设计及其增长,必然出现故障增多,维修频繁,能工作时间缩短,不能工作时间增长,使装备的出勤率(或使用可用度)下降。

表 1-1 是美军 60 年代设计的几种主要飞机的统计资料。从表可看出,随着飞机复杂程度的增加,其平均故障间隔飞行小时下降,每出动架次的维修工时增长,而执行任务率(每 24 小时装备能执行任务时间的百分比)却下降。

例如 F-14 战斗机,1975 年首次服役的使用可用度只有 26%,全年平均使用可用度也只是 32.3%。又如我国自行研制的一种歼击机,也是由于装备复杂化程度增加,机载设备可靠性差、寿命短,长期难以形成战斗能力。

表 1-1 装备复杂化带来的问题

飞机的复杂程度	平均故障间隔飞行小时 MFHBF ^①	每架次维修工时 MMH/S ^②	执行任务率 MC(%) ^③
A-10 中等	1.2	18.4	67.4
A-7D 中等	0.9	23.8	61.4
A-4E 中等	0.4	38.0	65.9
F-15 上等	0.5	33.6	55.7
F-111F 上等	0.3	74.7	63.1
F-111D 上等	0.2	98.4	34.4

①MFHBF——Mean Flight Hours Between Failure.

②MMH/S——Maintenance Manhours Per Sortie.

③MC——Mission Capable Rate.

实际上,随着装备的复杂化,一方面使武器装备具有良好的战术、技术性能,另一方面却给维修保障工作带来诸多问题,使优越的性能发挥不出来,严重地影响到装备的出勤率。如果在研制时忽视了可靠性、维修性和保障性的问题,上述矛盾就表现得更加尖锐。

三、费用负担沉重

随着装备的复杂化,其采购费用、使用保障费用及寿命周期费用(采购费用+使用保障费用)不断增长。

表 1-2 是外军武器装备采购费用的增长情况。

在采购费用增长的同时,使用保障费用也在增长(高于采购费用的增长)。例如,美国空军装备的采购费用与使用保障费用,1962 年为 6 : 4,1968 年为 5 : 5,1977 年为 4 : 6。典型武器装备的寿命周期费用分配如表 1-3。

表 1-2 武器装备采购费用的增长(单位:万美元)

装备种类	1940~1945 年	1972 年	增长倍数
歼 击 机	5.3	1200	226
轰 炸 机	21.8	3000	138
潜 艇	470	17500	37
航空母舰	5500	90000	16
坦 克	7	90	13

表 1-3 典型武器装备的寿命周期费用分配

武器装备种类	采购费用	使用保障费用
飞机(歼击机)	30—50%	50—70%
战 车	20—30%	70—80%
军舰(驱逐舰)	25—40%	60—75%

武器装备的发展,要求使用保障费用相应增长,这是正常的。但是,由于可靠性、维修性差而造成使用保障费用成倍甚至几十倍的增长,则是不正常的,这样势必给使用部门造成巨大的经济负担。

第二节 效能与寿命周期费用

现代战争中,武器装备的性能是克敌制胜、完成战斗任务的一个关键性因素,优越的性能是至关重要的。但是,60年代初人们发现,伴随着装备性能的不断改善,一颗苦果也同时降临:装备复杂化,维修时间和寿命周期费用不断增加,而出勤率却明显下降,制约着装备的使用,使其不能够及时投入战斗,优越的性能难以充分发挥出来。单纯追求性能的观念受到挑战,人们转而追求更全面、更科学的东西:效能与寿命周期费用。由重视性能转为重视效能,由重视一次性的采购费用转为重视寿命周期费用,这是使用武器装备观念上的一次重大转变。

一、效能

效能是在规定的条件下达到规定使用目标的能力。即装备完成任务的能力。

要完成任务,至少需要回答三个问题:

1. 需要执行任务时,能随时出动吗? —— 使用可用性;
2. 出动之后,在完成任务过程中能继续工作吗? —— 可信性;
3. 能击中目标吗? —— 固有能力和性能。

所以,效能是可用性、可信性及固有能力的函数。可用性、可信性同可靠性、维修性及保障性关系密切;固有能力和性能包含了装备的性能、发现目标能力、攻防能力和生存能力等。

对一个只有工作和故障两种状态的系统,效能用下式表达:

$$E = A_0 DC \quad (1-1)$$

式中 E ——装备效能;
 A_0 ——装备的使用可用度;
 D ——装备的可信度;
 C ——装备的固有能。

二、寿命周期费用

寿命周期费用是在预期的装备寿命周期内,为装备的论证、研制、生产、使用保障、退役所付出的一切费用之和,也称全寿命费用。有时,寿命周期费用可表述为:

寿命周期费用 = 采购费用 + 使用保障费用

或 寿命周期费用 = 一次性费用 + 重复性费用

装备的采购费用固然是值得注意的,但随着装备要求不断提高和日益复杂化,其寿命周期费用中的采购费用与使用保障费用均大量增加。一般容易重视一次性的采购费用,而忽视重复性的使用保障费用,不注意寿命周期费用。强调寿命周期费用的目的在于,告诫人们树立统揽全局,以少换多的思想,宁肯在装备的论证、研制阶段稍稍多花一点钱,以换取后来的使用保障费用大幅度下降,从而降低寿命周期费用,减轻用户费用的负担。

一个产品,尤其是军用产品,其效能不仅取决于它的性能,而且有赖于它的可靠性、维修性、保障性、安全性等因素。这些因素共同决定了武器装备的效能和寿命周期费用。用户对产品的基本要求是“物美价廉”。“物美”是指能够长时期保持良好性能,发挥其效能;“价廉”是指最佳的寿命周期费用。如何以有限的费用获得“物美价廉”——作战效能高而寿命周期费用低的武器装备?怎样使所采购的武器装备在开始部署使用之时就能迅速发挥其应有的作战效能,并且能够持续保持其作战能力?60年代以来,美军在武器装备的研制中,采用了系统工程的理论和方法,在解决这些问题上收效明显。系统工程正是达到上述目标的最有效的科学方法。

第三节 装备系统工程的基本概念

一、装备系统工程的定义

本书讨论的系统工程,是针对人造系统中的武器装备系统而言的,称为装备系统工程。

装备系统工程是以武器装备系统作为研究对象,从系统的整体目标出发,研究系统的论证、设计、试验、生产、使用和保障,以实现系统优化的科学方法。

系统工程是将科学的、工程的成果应用于:

1. 通过定义、综合、分析、设计、试验与评价的反复迭代过程,将作战要求转换成对系统性能参数和系统技术状态^①的描述;

2. 综合有关的技术参数,确保所有物理的、功能的和程序接口的相容性,使整个系统的论证和设计达到最佳状态;

3. 将可靠性、维修性、保障性、安全性、生存性、人素工程和其它有关因素综合到整个工程中去,使费用、进度和技术性能达到总目标。

简言之,系统工程既是一个技术过程,又是一个管理过程,是系统形成的有序过程。上述定义集中于技术方面。为了成功地完成系统的研制与使用,在整个系统寿命周期内,技术和管理两个方面都必不可少。基于军事部门的管理角度,美国国防部防务系统管理学院对系统工程作如下定义:

系统工程是为了达到所有系统要素的优化平衡,控制整个系统研制工作的管理功能,把作战需求转变为一组系统参数的描述,并综合这些参数以优化整个系统效能的过程。

1978 年我国钱学森同志在《组织管理的技术——系统工程》

^① 技术状态是对项目描述和控制的特性的总称。可表现为功能上描述(项目预期达到的性能是什么)和物理上描述(项目制成后外观将是什么样子和由哪些部分组成)。

一文指出：系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。

二、系统工程中的一般步骤与方法

系统工程思考问题和处理问题的方法中，具有代表性的是美国贝尔电话研究中心霍尔(A. D. Hall)在 1969 年提出的三维结构，它形象地概括了系统工程中的一般步骤与方法，从而为解决规模较大、结构复杂、涉及因素众多的系统问题提供了一个大体上的思路。三维结构是由时间维(阶段)、逻辑维(步骤)和知识维组成的空间结构，如图 1-1 所示。

(一)时间维

三维结构中的时间维也称为工作阶段，一般可划分成七个阶段：

1. 规划——拟订系统工程活动的方针、设想和规划；
2. 拟订方案——提出具体计划方案；
3. 研制——实现系统的研制方案，并做出生产计划；
4. 生产——生产出系统的零部件及整个系统，并提出安装计划；
5. 安装试验——安装整个系统，通过试验运行订出系统运行计划；
6. 运行——系统按预定目标进行工作，或按预定的用途服务；
7. 更新——改造更新旧系统，以提高系统的效能。

(二)逻辑维

三维结构中的逻辑维亦称思维过程，是指实施系统工程的每一个工作阶段所要经过的七个步骤，也是运用系统工程方法进行思考、分析和处理系统问题时应遵循的一般程序。

1. 明确问题 即弄清问题的实质。通过周密调查、全面收集有关资料和数据，并了解有关问题的历史、现状和未来发展趋势，为解决目标问题提供可靠的根据；