

装备试验与评价

ZHUANGBEI SHIYAN YU PINGJIA



武小悦 刘琦 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

国家自然科学基金资助出版

国防科学技术大学学术著作专项经费资助出版

装备试验与评价

武小悦 刘琦 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统地介绍了装备试验与评价的基本概念、过程与基本原则、类型与作用、试验的实施过程,美军装备试验与评价的管理体制与方法。书中较全面地阐述了装备的使用适用性试验与评价方法,软件与电子信息装备的试验与评价方法,建模与仿真的校核、验证与确认(VV&A)技术,经典的装备统计试验鉴定理论及统计试验设计方法,Bayes小子样试验鉴定理论与方法。

本书可供各级装备管理部门、装备总体论证单位、装备试验单位的管理与技术人员参考使用,也可作为高等院校相关专业的教学与培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

装备试验与评价 / 武小悦, 刘琦编著. —北京: 国防工业出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-118-06036-2

I. 装... II. ①武... ②刘... III. ①武器装备-武器试验②武器装备-综合评价 IV. TJ06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 174647 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 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 32 字数 588 千字

2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

装备试验与评价是装备全寿命周期管理的重要工作,也是装备定型决策的重要依据。通过试验与评价,可以验证关键技术及设计方案,及时发现装备存在的缺陷,检验装备是否达到规定的战术技术指标和使用效能,保证交付部队装备的质量,消除部队使用装备的风险。我军装备现代化建设给试验与评价工作提出了许多新问题和新要求,试验与评价对于保证装备质量的作用越来越明显。做好试验与评价工作是装备建设中急需解决的重要问题。

目前,国内外关于装备试验与评价方面较系统全面的研究文献较少,一些从事装备管理和科研的人员对于试验与评价的了解还不系统。本书是作者在参考国内外相关文献的基础上,结合多年的相关教学与科研实践,历时两年多时间完成的。本书主要面向装备试验与科研管理部门、装备总体论证单位、试验基地及研制单位的技术管理与总体人员。本书也可以作为相关专业教学与干部培训的教学参考书。希望通过阅读本书,读者能对装备试验与评价工作有较为全面的了解。

全书共分为8章。第1章介绍了装备试验与评价的基本概念、过程与基本原则、装备全寿命周期的阶段划分、装备试验与评价的类型与作用、装备试验靶场系统的构成及试验实施过程,使读者对于装备试验与评价工作有一个总体了解和认识。第2章介绍了美军装备试验与评价的管理体制与方法,可以为我军装备试验与评价工作提供借鉴。第3章介绍了装备的使用适用性试验与评价方法,这是装备试验与评价的重要内容,近年来已越来越得到重视。第4章介绍了软件与电子信息装备的试验与评价方法,以适应装备信息化发展的趋势。由于建模与仿真在装备试验与评价中的应用越来越多,第5章介绍了建模与仿真的校核、验证与确认(VV&A)技术。第6章与第7章介绍了经典的装备统计试验鉴定理论及统计试验设计方法。第8章介绍了Bayes小子样试验鉴定理论与方法。

全书的第1章到第5章由武小悦编写,第6章到第8章由刘琦编写。国务院、中央军委军工产品定型委员会(一级定委)专家咨询委员会,总装备部装备

定型管理机关,国防科技大学科研部、信息系统与管理学院对本书的编写给予了大力支持与指导。总装备部科技委副主任、一级定委专家咨询委员会主任丛日刚中将审阅了全书并为本书作序。总装备部王林峰、高建军、康文兴、王新文,北京系统工程研究所牛新光研究员,空军装备管理机关王方高工,中国电子系统设备工程公司研究所韩柯高工,北京系统工程研究所艾克武高工等有关领导和专家审阅了书稿,并提出了许多建设性的意见。国防科技大学张金槐教授、沙基昌教授,北京系统工程研究所游光荣研究员,装甲兵工程学院单志伟教授审阅了全书,并对本书的出版给予了支持。中国航空综合技术研究所祝耀昌研究员,中国白城兵器试验中心王广伟高工,国防科技大学电子科学与工程学院刘培国教授、机电工程与自动化学院张春华副教授、理学院段晓君副教授、信息系统与管理学院李自力研究员和冯静副教授对本书提出了许多宝贵意见。一级定委专家咨询委员会的王海强、乔中岳、张建、鄢格青等对本书的编写提供了大力支持。北方科技信息研究所的田雨华研究员为本书编写提供了部分资料。本书的编写工作得到了国家自然科学基金项目《小子样条件下装备可靠性试验评定方法》(编号 70571083)、一级定委专家咨询委员会研究项目、国防科技大学学术著作专项经费资助与校预研项目的支持。在此向所有关心和支持本书编写的单位和个人表示诚挚的感谢。同时,感谢国防工业出版社为本书编辑出版所做的大量工作。

由于写作时间较紧,加之资料来源与作者知识水平有限,本书对装备试验与评价方面的认识难免存在不妥之处,欢迎读者批评指正。

武小悦 刘琦

2008 年 12 月于湖南长沙

序

当前,随着军事高科技的迅猛发展,世界军事变革正在加速推进,信息化武器装备体系建设方兴未艾,新型武器装备的高新技术含量越来越大,体系结构越来越复杂,呈现出综合化、信息化、智能化的发展趋势。如何加强对新型高技术装备的试验与评价,降低装备试验消耗和技术风险,保证装备质量,是世界各军事大国武器装备发展中面临的共同挑战。多年来,我军武器装备试验与评价工作,经历了一个不断探索、不断创新、不断发展的艰辛历程,创造出许多富有特色的方法,积累了许多成功的经验,为装备建设提供了强有力的保障。

为推进中国特色军事变革和满足军事斗争准备装备建设的需要,亟待按照科学发展观的要求,深入研究装备试验与评价工作中遇到的新问题、新矛盾、新特点,进一步加强装备试验与评价的理论创新,完善和规范装备试验与评价的内容及要求,推动装备试验与评价工作迈上新的台阶,实现又好又快发展。这部专著就此进行了有益的探讨,开展了深入的研究,提出了很有见地的观点,对开展新形势下装备试验与评价工作具有重要的理论和应用参考价值。

这部专著立足前沿、廓清概念,在装备试验与评价理论创新方面进行了积极探索。装备定型必须经过严格、系统的试验考核,客观评价装备是否满足批准的战术技术指标和作战使用要求。通过试验与评价,可以在早期发现和纠正装备发展中存在的缺陷和问题,为改进装备性能,完善研制项目监控,保障部队作战使用提供至关重要的信息。这部专著针对上述问题,准确理解和界定了装备试验与评价对象的内涵,全面系统论述了装备试验与评价的基本概念和原理,并提出了装备试验与评价的分类原则和管理体制设想,以及试验实施程序要求,具有较强的针对性和操作性。

这部专著紧密跟踪、选择借鉴,全面介绍了美军装备试验与评价工作的管理和技术发展动态,对其管理政策、管理体制、系统构架、实施方法以及相关计划等进行了深刻剖析。我军装备研制在发展目标、方向重点、实现途径以及管理模式等方面都与美军存在很大不同。这部专著为我们打开了一扇了解外军实际做法和学习借鉴其成功经验的窗户,使我们能够以更广阔的视野审视当今世界装备

试验与评价技术的发展趋势和特点,联系我军装备发展实际,查找不足,取其所长,消化吸收,发展创新,为逐步建立健全具有我军特色的装备试验与评价理论方法和管理体系打下了坚实理论基础。

这部专著着眼于未来信息化战争的本质特征,突出复杂电磁环境给武器装备研制带来的新问题、新挑战,论述了装备对可靠性、维修性、测试性、环境适应性、电磁兼容性等方面的要求,提出了装备使用适用性的试验与评价方法,特别是对软件装备和电子信息装备的试验、建模与仿真以及小样试验鉴定理论方法等进行了深入的探讨,对经典试验鉴定理论和装备统计试验设计的基本概念及其实施流程和步骤作了详细的描述,丰富了装备试验与评价组织实施的内容,为提高装备试验与评价工作的可信度提供了必要的条件。

这部专著论证充分、观点明确、体例规范、文字流畅、数据翔实,全书内容较好地体现了理论性、系统性、实用性、先进性的有机结合,凝聚了作者长期以来辛勤劳动的研究成果。

我相信,该书面世,将使我军装备试验与评价理论研究花圃中增添一朵绚丽的花朵,为繁荣我军装备建设理论研究做出重要贡献,广大从事武器装备发展和管理的读者将从本书中有所启迪、有所收获。借此机会,我殷切希望装备建设理论工作者更加深入实际,准确把握武器装备发展的时代特征和内在规律,积极探索新理论、新技术、新方法,写出更多、更好的作品,为推动我军装备现代化建设献计献策。

总装备部科技委副主任
一级定委专家咨询委员会主任

丛日刚

目 录

第1章 概论	1
1.1 装备的相关基本概念	1
1.1.1 装备的效能及使用适用性	1
1.1.2 战术技术参数与指标	6
1.1.3 装备全寿命周期阶段的划分	9
1.2 试验与评价的概念及管理	13
1.2.1 试验与评价的定义	13
1.2.2 试验与评价的作用与原则	16
1.2.3 试验与评价的分类	24
1.2.4 试验与评价的管理体制	26
1.2.5 试验与评价的信息管理	29
1.2.6 试验与评价的质量管理	32
1.3 靶场试验系统及实施过程	40
1.3.1 靶场试验系统	40
1.3.2 试验实施过程	44
参考文献	53
第2章 美军的装备试验与评价	54
2.1 美军采办决策支持系统	54
2.1.1 联合能力集成与开发系统	55
2.1.2 规划、计划、预算与执行系统	61
2.1.3 美国国防采办系统	63
2.2 美军的试验与评价管理机构	66
2.2.1 使用试验与评价局	67
2.2.2 国防系统局	69
2.2.3 试验资源管理中心	71
2.2.4 各军种的试验与评价机构	73
2.3 美军装备试验与评价的政策	81

2.3.1	美军试验与评价管理的变革	81
2.3.2	试验与评价技术的专项计划	84
2.3.3	在联合环境中进行试验的路线图	85
2.3.4	美国陆军试验资源总计划	91
2.4	国防采办管理框架	96
2.4.1	相关文件与概念	96
2.4.2	概念细化	100
2.4.3	技术开发	101
2.4.4	系统开发与演示验证	102
2.4.5	生产与部署	104
2.4.6	使用与维持	106
2.5	美军试验与评价的类型	107
2.5.1	研制试验与评价	107
2.5.2	生产与合格试验	109
2.5.3	使用试验与评价	112
2.5.4	实弹试验与评价	115
2.5.5	多军种试验与评价	116
2.6	使用试验与评价的方法	116
2.6.1	实施要求	116
2.6.2	Stryker 系统的使用试验与评价	118
2.7	采办项目管理中的技术评审	120
2.7.1	技术评审的目的与作用	120
2.7.2	概念细化阶段的技术评审	121
2.7.3	技术开发阶段的技术评审	121
2.7.4	系统开发与演示验证阶段的技术评审	122
2.7.5	生产与部署阶段的技术评审	124
2.8	试验与评价培训与学术活动	125
2.8.1	试验与评价的教育培训	125
2.8.2	相关的学会与研究机构	129
	参考文献	130
第3章	使用适用性试验与评价	131
3.1	可靠性试验与评价	131
3.1.1	可靠性的概念与要求	131

3.1.2	可靠性试验的类型	135
3.1.3	环境应力筛选	136
3.1.4	可靠性增长试验	141
3.1.5	可靠性鉴定试验与验收试验	145
3.1.6	寿命试验与加速寿命试验	147
3.1.7	高加速应力试验	150
3.2	维修性试验与评价	154
3.2.1	维修性和维修性要求	154
3.2.2	维修性试验与评价的类型	159
3.2.3	维修性验证试验	161
3.3	保障性试验与评价	166
3.3.1	保障性及保障性要求	166
3.3.2	保障性试验与评价的类型	168
3.3.3	保障性试验与评价的内容	168
3.3.4	保障性试验与评价的计划	169
3.3.5	保障性试验与评价的实施	169
3.4	测试性试验与评价	169
3.4.1	测试性的概念及其重要性	169
3.4.2	测试性要求	170
3.4.3	测试性设计	173
3.4.4	固有测试性评价	174
3.4.5	测试性验证试验	176
3.5	环境适应性试验与评价	179
3.5.1	环境适应性的概念与要求	179
3.5.2	环境试验的类型	181
3.6	电磁兼容性试验与评价	185
3.6.1	电磁兼容的概念与电磁兼容设计	185
3.6.2	电磁兼容性试验方法	188
	参考文献	190
第4章	软件与电子信息装备的试验与评价	192
4.1	软件的开发与测试管理	192
4.1.1	软件的质量及开发过程	192
4.1.2	软件测试的过程与组织	205

4.1.3	软件评价与定型测评	208
4.2	软件测试类型与技术	212
4.2.1	测试策略与测试用例	212
4.2.2	软件测试的级别	214
4.2.3	软件测试技术	218
4.3	电子信息装备的试验与评价	223
4.3.1	电子战系统的功能与特点	223
4.3.2	电子战系统试验与评价过程	224
4.3.3	C ⁴ ISR 系统的试验与评价	227
	参考文献	227
第5章	建模与仿真及其 VV&A	229
5.1	建模与仿真	229
5.1.1	建模与仿真的基本概念	229
5.1.2	建模与仿真的作用	232
5.1.3	建模与仿真的开发过程	233
5.2	校核、验证与确认(VV&A)	236
5.2.1	VV&A 的概念及其作用	236
5.2.2	VV&A 的计划	237
5.2.3	V&V 的活动	238
5.2.4	确认的实施	239
5.2.5	VV&A 文件	240
5.2.6	VV&A 的技术	241
5.2.7	VV&A 的组织管理	246
5.3	仿真在试验与评价中的应用	250
5.3.1	集成试验与评价	250
5.3.2	虚拟试验技术	252
	参考文献	255
第6章	经典试验鉴定理论	256
6.1	试验鉴定概述	256
6.1.1	基本概念	256
6.1.2	统计试验鉴定的主要工作内容	264
6.2	分布的拟合优度检验与异常值检验	265
6.2.1	分布的拟合优度检验	265

6.2.2	异常值检验	271
6.3	装备战术技术指标的评价	275
6.3.1	指标的点估计方法	275
6.3.2	指标的区间估计方法	282
6.3.3	指标的假设检验	283
6.3.4	二项分布参数的估计与检验	284
6.3.5	正态及相关分布参数的估计与检验	290
6.3.6	指数分布参数的估计与检验	299
6.4	变动总体下的可靠性评定	303
6.4.1	变动总体下装备可靠性分析概述	303
6.4.2	可靠性增长的趋势检验	305
6.4.3	可靠性增长模型	314
6.5	加速寿命试验模型	330
6.5.1	常用加速寿命模型	330
6.5.2	加速寿命试验评定	332
6.6	系统可靠性的综合评估	340
6.6.1	系统可靠性综合评估的金字塔模型	340
6.6.2	基于 MML 的系统可靠性评估	341
6.6.3	经典 L-M 方法	346
	参考文献	348
第 7 章	装备统计试验设计	351
7.1	统计试验设计概述	351
7.1.1	试验设计的基本概念	351
7.1.2	试验任务设计	354
7.1.3	作战模型与试验模型	355
7.1.4	试验设计的分类	359
7.1.5	试验设计的原则与注意事项	365
7.2	正交设计和均匀设计	368
7.2.1	正交设计	368
7.2.2	均匀设计	381
7.3	统计验证试验设计	388
7.3.1	成败型一次抽样统计验证试验设计	388
7.3.2	正态型指标的统计验证试验设计	393

7.3.3	指数型指标的统计验证试验设计	404
7.4	序贯试验设计	410
7.4.1	二项分布的序贯试验设计	410
7.4.2	正态分布的序贯试验设计	413
7.4.3	指数分布的序贯试验设计	419
	参考文献	422
第8章	Bayes 试验鉴定理论	424
8.1	Bayes 方法概述	424
8.1.1	Bayes 试验鉴定理论的发展	424
8.1.2	Bayes 方法的应用	426
8.1.3	Bayes 公式	429
8.2	验前分布技术	430
8.2.1	验前信息的主要来源	430
8.2.2	共轭分布的超参数确定	432
8.2.3	最大熵法	435
8.2.4	无信息验前分布的确定	438
8.2.5	其他验前分布计算技术	441
8.2.6	验前信息的融合技术	443
8.2.7	验前分布的检验技术	444
8.3	战术技术指标的 Bayes 统计推断	449
8.3.1	Bayes 点估计	449
8.3.2	Bayes 区间估计	453
8.3.3	Bayes 假设检验	455
8.3.4	共轭分布下的相关结论	458
8.4	Bayes 序贯检验	463
8.4.1	Bayes 序贯检验的基本理论	463
8.4.2	Bayes 序贯概率比检验	470
	参考文献	476
附录1	美军试验与评价总计划 (TEMP) 参考模版	478
附录2	缩略语英汉对照	486
附录3	常用分布函数	498

第 1 章 概 论

1.1 装备的相关基本概念

1.1.1 装备的效能及使用适用性

一、装备的定义

要正确地理解装备试验与评价,必须准确理解试验与评价对象的内涵,对“装备”、“军事装备”、“武器装备”、“武器”等概念进行界定。

按照 1997 年的《中国人民解放军军语》,“武器”也指“兵器”,是指直接用于杀伤敌有生力量和破坏敌作战设施的器械,如刺刀、枪、炮、坦克、战斗飞机、战斗舰艇、火箭、导弹、核武器、化学武器、生物武器等。

国内军事装备学学术界部分学者认为:“装备”作为名词是“军事装备”的简称,是指用以实施和保障军事行动的武器、武器系统和其他军事技术器材的统称。主要指武装力量编制内的武器、弹药、车辆、机械、器材、装具等。

从上述定义可以看出,装备包括了武器和其他装备,武器是装备的一部分。

“武器系统”是指武器和为了完成作战任务而与武器功能相关、配套使用的其他装备所构成的有机整体。多个武器系统还可构成更高层次的武器系统。例如,高射炮武器系统与地空导弹武器系统等结合起来可组成地面防空系统。但是,为完成一定军事任务而设置的不含武器的装备系统,如导航系统、声纳系统、雷达系统、C³I 系统等,不能称为武器系统。

“武器装备”的概念有狭义和广义之分。狭义的“武器装备”是指武器及其配套的弹药、仪器、器材、备附件的统称(或是武器和武器系统的统称);广义的“武器装备”可泛指“装备”。

在本书中,如果不加特别说明,将不严格区分“装备”、“系统”、“装备系统”等概念。

装备各相关概念之间的关系可用图 1-1 表示^[1]。

二、装备的分类

装备的分类方法有多种^[2]。从装备使用的角度看,通常可分为以下类型:

(1) 枪械。包括手枪、步枪、冲锋枪、机枪和特种枪械等。

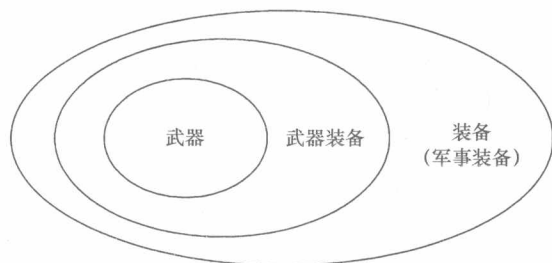


图 1-1 装备各相关概念之间的关系

(2) 火炮。包括各种压制火炮、高射炮、坦克炮、反坦克炮、航炮、舰炮和岸炮等。

(3) 装甲战斗车辆。包括坦克、步兵战车、装甲输送车等。

(4) 舰艇。包括战斗舰艇(航空母舰、战列舰、巡洋舰、鱼雷艇、导弹艇等)、两栖作战舰艇、勤务舰船等。

(5) 军用航空器。包括各种作战飞机、勤务飞机、直升机、无人机、军用飞艇、军用气球等。

(6) 军用航天器。包括各种军用卫星等。

(7) 核、生、化学武器及“三防”(防核、生、化)装备。

(8) 弹药与导弹。包括各种导弹、火箭弹、炮弹、枪弹、炸弹、手榴弹、枪榴弹、地雷、水雷、鱼雷、火炸药、橡皮子弹、催泪瓦斯、眩目弹等。

(9) 新概念武器。包括定向能武器、电磁炮武器、激光武器、电磁脉冲武器、电脑病毒武器等。

(10) 工程装备。包括工程侦察器材、布雷与扫雷器材、爆破器材、喷火器材、渡河器材、伪装器材、野战给水器材、军用工程机械等。

(11) 作战保障装备。包括指挥自动化装备、通信装备、侦察情报装备、电子对抗装备、气象装备、测绘装备、机要装备等。

(12) 技术保障装备。包括各种维护保养器材、储存保管器材、修理器材、检查测试器材等。

(13) 后勤保障装备。包括医疗卫生装备、供应补给装备、炊事装备、军用运输车辆等。

(14) 军事训练装备。包括各种训练和模拟训练器材等。

(15) 其他装备。包括匕首、指北针、军用地图、警报器、铁锹等。

三、装备的效能

(一)效能的定义

复杂装备的战术技术性能参数数量较多,有的甚至有上百个。要评价装备的优劣,必须构建能在整体上对装备进行综合评价的模型和度量参数,这就是效能这个概念的作用。目前,国内外文献中关于装备效能(Effectiveness)的定义和解释较多,侧重点也不一样。本书将装备的效能定义为:在规定的条件下,装备达到规定的使用目标的能力。

按照目前国内相关文献的定义^[3],装备的效能可分为单项效能、系统效能和使用效能三类。

装备的单项效能是指装备在规定的条件下使用时,达到某一使用目标的程度,如作战飞机的空地作战效能、空空作战效能等。

装备的系统效能又称为综合效能,是指装备在规定的条件下,完成一组特定任务的程度。系统效能是装备的有效性、可信性和固有能力的综合反映,通常用于对单个装备系统的能力进行度量。

装备的使用效能(Operational Effectiveness)是指在特定的作战环境下,配备装备的部队在使用装备时,完成预期作战任务的能力。装备的使用效能也称为装备的“兵力效能”、“作战效能”或“作战使用效能”,具体是指:由具有代表性的人员在计划或者预期的系统使用部署环境中(如:自然环境、电磁环境、威胁等)使用装备,考虑部队编成(Organization)、条令(Doctrine)、战术(Tactics)、易损性(Vulnerability)、生存力(Survivability)和威胁(Threat)等因素,完成任务的总体能力。

装备的使用效能与系统效能的主要区别在于:装备的系统效能是以规定的环境和装备为对象进行效能评估。装备的作战效能则是考虑了整个作战系统,考虑了部队的编成与战术运用、作战对抗环境以及一定数量的装备,反映了完成任务的总体能力。由于影响因素较多,装备的使用效能一般需通过作战模拟的方法进行分析。装备使用效能是人员、装备、环境三者综合作用的结果,反映了装备研制的最终目的,也是装备试验与评价的根本目标所在。

(二)系统效能模型

国内外已提出的可用于系统效能评估的模型较多。例如,指数法、层次分析法(AHP)、模糊综合评判法、ADC法等。

目前国内广泛应用的系统效能模型是由美国工业界武器系统效能咨询委员会(Weapon System Effectiveness Industry Advisory Committee, WSEIAC)提出的,简称ADC模型。GJB 1364—92《装备费用—效能分析》^[4]中给出的参考模型也是这一模型。具体地,系统的效能SE定义为

$$SE = A \cdot D \cdot C$$

式中 A ——系统的可用度 (Availability) 向量, $A = (a_1, \dots, a_n)$, a_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 表示系统开始执行任务时处于状态 i 的概率, A 反映了系统的战备完好性水平;

D ——可信度 (Dependability) 矩阵, $D = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \cdots & d_{nn} \end{pmatrix}$, d_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 表示任务开始时系统处于状态 i 而在使用过程中转移到状态 j 的概率, D 反映了系统在执行任务过程中, 处于正常工作状态的程度;

C ——能力 (Capability) 向量, 表示了系统的作战能力, $C = \begin{pmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix}$, 其中 c_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 表示系统在状态 j 下完成任务的概率。

(三) 地地导弹武器主战系统的作战效能

地地导弹武器主战系统通常由导弹系统、发射系统和相关人员构成。导弹系统由战斗部、控制系统、动力系统和弹体组成。发射系统由电源系统、瞄准系统、测控系统和运输发射系统组成。

图 1-2 所示为地地导弹主战系统作战效能的构成层次^[5]。根据这一层次模型, 就可以建立作战效能的分析模型。据此, 可计算完成作战任务的概率, 以其作为作战效能的度量。

由图 1-2 可知, 地地导弹主战系统的作战效能最终是通过其各种战技指标的综合而实现的。因此, 装备的总体论证单位在提出研制总要求或研制任务书时, 根据效能分析的结果, 就可以提出对装备的战术技术指标要求。

四、使用适用性

装备的使用适用性 (Operational Suitability) 主要描述装备在部署与持续使用过程中令人满意的程度。

在评定装备的使用适用性时需要考虑以下特性: 可用性 (Availability)、兼容性 (Compatibility)、运输性 (Transportability)、互操作性 (Interoperability)、易损性 (Vulnerability)、杀伤力 (Lethality)、可靠性 (Reliability)、作战强度 (Wartime Usage Rates)、维修性 (Maintainability)、安全性 (Safety)、人因 (Human Factors)、可居住性 (Habitability)、人力 (Manpower) 和人员 (Personnel)、后勤保障 (Logistics)、自然环境效应与影响 (Natural Environmental Effects and Impacts)、文件 (Documentation)、训练需求 (Training Requirements) 等。