

XIAONENG PINGGU

LILUN FANGFA JI YINGYONG

效能评估

理论、方法及应用

陈磊 姚伟召 郭全魁 王秀华 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

效能评估理论、方法及应用

陈 磊 姚伟召 郭全魁 王秀华 著



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

目前,效能评估的理论、方法和模型多种多样,有的适用范围很广,有的针对性很强。本书在广大学者研究的基础上,系统介绍了解析法、模拟法、统计法和多指标综合评定法这四类通用的效能评估方法,以及各类评估方法的特点和适用范围。在实际效能评估活动中,针对具体的评估对象,通用的效能评估方法有时并不能够理想地解决问题,而且单单使用一种方法也不能够解决问题。因此,本书以装备保障训练、装备供应保障能力、防化装备体系作业等评估活动为例,介绍如何通过对通用的效能评估方法进行改进和融合来实现针对性的效能评估。

本书可作为相关专业本科生或研究生教材或参考书使用,并可为从事效能评估研究、装备管理与保障的教学科研人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

效能评估理论、方法及应用 / 陈磊等著. --北京:北京邮电大学出版社,2016.1

ISBN 978-7-5635-4582-7

I. ①效… II. ①陈… III. ①评估方法 IV. ①C931.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 285292 号

书 名:效能评估理论、方法及应用

著作责任者:陈 磊 姚伟召 郭全魁 王秀华 著

责任编辑:刘春棠 刘 佳

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京九州迅驰传媒文化有限公司

开 本:720 mm×1 000 mm 1/16

印 张:14

字 数:270 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4582-7

定 价:35.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

效能评估是一项非常复杂的系统工程,涉及诸多领域。本书系统介绍了通用的效能评估方法,并针对不同评估课题的特殊性,对传统的通用评估方法进行融合创新,结合部分实例,给出了具体评估过程。

全书共分为两大部分。第一部分基础理论篇重点介绍了效能评估的相关概念、效能评估的意义和作用、国内外效能评估研究的发展历程及现状,详细阐述了解析法、模拟法、统计法和多指标综合评定法包含的效能评估方法及其原理,以及各类评估方法的特点和适用范围。第二部分应用篇重点介绍了针对装备保障训练评估、装备供应保障能力评估、防化装备体系作业效能评估的特殊性,如何对传统的通用评估方法进行改进与融合,并结合仿真实验的方法来实现效能评估,包括了效能影响因素分析、评估流程分析、活动过程分析、指标体系构建、评估模型构建、仿真实验设计及仿真实验系统构建,最后进行了实例验证。

特别是在2015年8月12日晚上,天津塘沽开发区发生爆炸之后,人们担心储存的化学物质发生次生危害,因此动用了专业的防化力量进行救援,人们再次敲响了警钟,也凸显了防化装备的重要性,对防化装备的作业效能评估,可以更好地遂行核生化应急救援任务。

本书在写作的过程中,参考了国内外一些学者和专家编著的同类教材和著作,并从中吸收了一些研究成果,在书中进行了标注,并列出了相应的参考文献。作者对这些学者在系统工程领域所作出的重要贡献表示崇高的敬意,并对引用他们的成果感到十分荣幸,在此,表示衷心的感谢。

由于作者理论水平有限,书中谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者
2015年9月

目 录

基础理论篇

第 1 章 绪论	3
1.1 效能评估的意义和作用	3
1.1.1 效能评估的意义	3
1.1.2 效能评估在装备发展中的作用	4
1.2 效能评估的产生	5
1.3 效能评估的发展	6
1.3.1 简单的定量计算	6
1.3.2 效能评估研究的广泛开展	6
1.3.3 效能评估研究的深入	7
1.3.4 效能评估研究的应用	7
1.4 效能的基本概念	8
1.4.1 效能的定义	8
1.4.2 效能的分类	8
1.5 效能评估的基本概念	10
1.5.1 效能评估的定义	10
1.5.2 效能评估的基本步骤	10
1.5.3 效能评估的层次	11
第 2 章 效能评估指标体系	13
2.1 指标体系的一般概念	13
2.1.1 目标、指标、标准基本概念	13
2.1.2 指标体系的基本概念	14
2.1.3 指标体系的主要类型	15

2.2 指标体系的确定	15
2.2.1 指标体系确定的理想条件	15
2.2.2 确定指标体系的原则	16
2.2.3 确定指标体系的方法	17
2.3 指标值的确定	18
2.3.1 定性指标的量化	19
2.3.2 定量指标的规范化	22
第3章 效能评估方法	25
3.1 效能评估分析模式	25
3.2 效能评估方法分类	26
3.3 效能评估的解析法	28
3.3.1 ADC 法	28
3.3.2 SEA 法	33
3.4 效能评估的模拟法	37
3.4.1 模拟法的建模过程	38
3.4.2 蒙特卡洛法	39
3.4.3 兰彻斯特方程	44
3.4.4 基于仿真的探索性分析法	50
3.5 效能评估的统计法	55
3.5.1 指数法	55
3.5.2 德尔菲法	60
3.5.3 试验统计法	66
3.5.4 云重心评判法	67
3.6 效能评估的多指标综合评定法	71
3.6.1 层次分析法	71
3.6.2 模糊综合评估法	78

应用篇

第4章 装备保障训练评估	83
4.1 装备保障训练评估概述	83
4.1.1 装备保障训练评估的原则	83
4.1.2 装备保障训练评估的类型	84

4.1.3	装备保障训练评估的步骤	85
4.1.4	装备保障训练评估的内容	87
4.2	建立装备保障训练评估指标体系	89
4.2.1	建立装备保障训练评估指标体系的依据和要求	89
4.2.2	建立装备保障训练评估指标体系的过程	91
4.2.3	建立装备保障训练评估指标体系的实践	93
4.3	确定装备保障训练评估指标权重	107
4.3.1	权重的一般概念	107
4.3.2	确定权重的一般方法	108
4.3.3	确定装备保障训练评估指标权重的实践	108
4.4	装备保障训练评估信息的获取与处理	113
4.4.1	评估信息的一般概念	113
4.4.2	装备保障训练评估信息的获取	115
4.4.3	装备保障训练评估信息的处理	118
4.5	装备保障训练综合评估	121
4.5.1	变权模糊综合评估法	121
4.5.2	装备保障训练变权模糊综合评估	124
第 5 章	装备供应保障能力评估	130
5.1	装备供应保障能力评估概述	130
5.1.1	装备供应保障能力评估的要求	130
5.1.2	装备供应保障能力评估的思路	131
5.1.3	装备供应保障能力评估的流程	132
5.2	建立装备供应保障能力评估指标体系	133
5.2.1	装备供应保障能力评估指标体系的构建方法	133
5.2.2	装备供应保障能力评估指标体系构成	136
5.3	确定装备供应保障能力评估指标权重	140
5.3.1	层次分析法初步确定装备供应保障能力评估指标权重	140
5.3.2	德尔菲法确定装备供应保障能力评估指标权重	143
5.4	装备供应保障能力评估信息的量化处理	146
5.5	装备供应保障能力综合评估	151
5.5.1	装备供应保障能力评估方法的选取	151
5.5.2	装备供应保障能力案例分析	154

第 6 章 防化装备体系作业效能评估	159
6.1 基于仿真的防化装备体系作业效能评估方法	159
6.2 面向仿真模型的防化装备体系作业过程分析	164
6.2.1 基于信息获取的防化装备体系作业过程结构化描述	164
6.2.2 基于图论的防化装备体系作业过程形式化描述	165
6.2.3 基于相对时间尺度法的防化装备体系作业过程数理化描述	167
6.3 防化装备体系作业效能评估指标体系	172
6.3.1 防化装备体系作业效能评估指标体系构建的过程	173
6.3.2 防化装备体系作业效能评估指标体系的基本要素	173
6.3.3 防化装备体系作业效能评估指标体系构成	174
6.4 防化装备体系作业效能评估模型	177
6.4.1 基本理论	177
6.4.2 防化装备体系作业效能评估模型体系框架	178
6.4.3 基于 VADC 法和整体任务完成情况分析的防化装备体系作业 效能评估模型	179
6.5 案例分析	199
6.5.1 作业条件设定	199
6.5.2 实验方案设计	200
6.5.3 构造评估指标体系	203
6.5.4 任务分解	203
6.5.5 指标权重设计	204
6.5.6 实验数据采集与可信度校验	204
6.5.7 效能评估	205
6.5.8 评估结果分析	207
参考文献	211

An abstract geometric design featuring a large, thin-lined triangle that points towards the top right. A thick, light gray curved line sweeps across the page from the top left towards the bottom right, intersecting the triangle. The title '基础理论篇' is centered within the triangle.

基础理论篇

第 1 章 绪 论

20 世纪 90 年代以来,以信息技术为主导的新技术革命蓬勃发展,使得高技术特别是以信息技术为核心的装备大量涌现和广泛使用,标志着信息化装备时代的初步形成。要建设信息化力量,达到预期的目标,必须深刻认识信息化装备、系统的特点,科学评价其效能。

装备效能评估方法非常广泛,包括解析法、指数法、统计法、计算机仿真方法以及研讨法等。信息化装备效能评估是一个非常宽、非常难的研究课题,不仅涉及装备分析评估的理论、方法,还涉及需求分析和想定描述,以及系统体系结构和模型体系框架,还包括分析过程和分析环境,以及建模仿真标准和模型认证与检验等问题。

1.1 效能评估的意义和作用

现代高技术装备性能先进、构成复杂、费用昂贵,其一体化、综合化、信息化的发展趋势,对装备全系统建设的各个方面、全寿命管理的各个环节,都提出了更新、更高的要求。开展装备效能评估对研究装备的发展和建设、评估装备的综合运用效能、做好装备体系整体运用效能的评估和优化、装备体系发展和建设的科学决策等都具有重要的意义和作用。

1.1.1 效能评估的意义

军事运筹研究的问题大体上可以分为两种:一是评估给定备选运筹方案、装备系统或军事组织的效能;二是找出能够获得规定(或最大可能)效能或者使效能得到最大改进的运筹方案或条件。解决这两个问题都不能离开效能研究,因而从某种意义上说,效能问题是军事运筹研究的出发点和归宿。由此可以看出效能研究有助于我们了解、掌握装备系统的能力和不足,明确装备的使用价值,可为装备的发展、决策提供可靠依据,为提高装备的运用能力创造条件。因此,效能评估研究

对于全面搞好装备建设和提高总体运用能力具有十分重要的意义。

1. 效能评估为科学谋划装备发展和装备论证提供理论依据

为了适应世界军事领域的深刻变革和科学技术突飞猛进的发展趋势,必须科学谋划装备建设及其长远发展战略,正确分析和评估装备发展存在的薄弱环节,研究制订装备建设的战略目标和发展方向。效能分析方法是开展装备发展战略研究和装备建设的有效手段,运用效能评估等多种定量分析方法,评估装备在近似实际条件下的运用及其效果,促进各类装备建设进一步协调发展,推动重大装备的发展与关键技术的综合协调,促进新型装备的加速发展。装备体系中诸多要素之间的关系错综复杂,这些关系包括:结构与比例、数量与质量、新装备与老装备、主要装备、电子信息系统与保障装备等。通过效能分析,可以发现体系的薄弱环节,优化装备体系的结构,检查战略和计划的效果与缺陷,确定装备发展方向和重点,为装备发展战略、规划计划的制订提供依据,为装备体系建设提供决策支持。

2. 效能分析方法为实现装备全寿命管理提供技术支撑

为实现装备全寿命管理,在装备全寿命管理过程中的不同阶段,对相应的决策环节进行论证评估,为管理机构实现宏观层次的科学管理提供咨询建议。利用效能分析方法、技术和环境,可以在模拟未来可能的装备使用环境中,建立各种重大装备效能分析与预测模型,对重大装备项目特别是新型装备立项论证、研制进度、技术风险等进行综合分析和比较,优选装备发展方案,逐步实现基于仿真的装备全寿命管理,为信息化装备发展决策提供可靠的技术支撑,提高管理决策科学化水平。

3. 效能评估方法是加强新型装备先期探索研究的重要手段

世界军事领域正在发生深刻变革,高新技术的迅猛发展及其在军事领域的广泛应用,促使新的装备概念和装备运用概念不断涌现。利用效能分析方法,研究未来的装备实际运用效果,已成为世界军事强国实行军事变革的有效途径。以装备建设实际需求为牵引,以军事系统工程理论为指导,探索新的军事能力和新型装备的技术发展途径,加大概念创新、技术创新、装备创新、管理创新的力度,推动装备体系建设步伐。

1.1.2 效能评估在装备发展中的作用

装备发展建设的全生命周期可以分为5个阶段:论证及方案阶段、工程研制阶段、生产阶段、使用阶段和退役阶段。效能分析在装备全生命周期各阶段中的应用主要包括以下几个方面。

1. 论证及方案阶段

在论证及方案阶段,利用效能分析方法可以估算装备效能;确定和评价装备的

固有能力和可靠性、维修性、安全性、保障性等因素对装备效能以及全寿命周期费用的影响;进行效能等诸因素(固有能力和可靠性、维修性、安全性、保障性等)的权衡研究;对各备选方案进行评价。

2. 工程研制阶段

在整个工程研制过程中,采用效能分析方法评价设计方案,并选择费用效能最佳的设计途径;评价变更设计方案对效能的可能影响;分析效能及其主要影响因素;确定和评价研制单位所实现的固有能力和可靠性、维修性、保障性等因素对效能及其主要部分的影响,作为提供转入生产阶段的决策依据之一。

3. 生产阶段

用以监督承制方完成订购方提出的效能要求;评价变更生产方案对效能的影响;分析和确定效能及其主要影响因素。

4. 运用阶段

评价实际使用过程中装备所能达到的效能;评价并改进使用与保障方案;为执行任务选择优化的使用与保障方案;为改进设计、现代化改装、封存决策和新装备的研制提供信息;评价退役时机和延寿方案;对装备更新提出建议。

5. 退役阶段

评价退役处置方案;全面收集整理装备效能资料以便为今后新装备效能分析提供资料信息。

1.2 效能评估的产生

最初在 20 世纪 30 年代到 50 年代,出现了效能评估所应用到的理论方法基础,有概率论和在“二战”中发展起来的军事运筹学,包括规划论、排队论、网络与图论、随机试验统计法等。

第二次世界大战后,人们从系统的角度研究装备发展与运用,标志装备发展进入新阶段。过去,人们的注意力往往集中在单一装备的本身——坦克、飞机、舰艇、运载火箭等发展方面,而把保证装备充分发挥作用的其他设备列为第二位。可是,实践证明,常常因为这些辅助工具数量不足或性能低劣而严重影响了装备的使用效果。因此,在装备研究中出现了“系统”的概念。装备及其携带工具以及保证它们使用的整套技术设备与操作人员构成一个整体,即系统。因为装备系统的成功运用依赖于各个组成部分的协调工作。为了使系统最大限度地适应特定的任务,就必须找出各个部分构成的最佳组合方案和相应的评估方法。

随着数学方法的广泛应用,出现了许多用于评价复杂系统的理论与方法,运筹

学就是较早创建的方法之一。它的第一个特点是在达到相同目的的条件下定量地评价组成系统的各种可能的方案;第二个特点是全面系统地解决问题。系统论的思路和方法在军事中的典型运用,就是美国在装备评估中提出的“系统分析”理论,后来又发展到装备费用效能分析。评价方法的不断发展和完善,将装备效能评估研究提高到一个新的水平,并不断推向新的阶段。

1.3 效能评估的发展

效能评估研究大体上经历了三个阶段:早期简单的定量计算、效能研究的广泛开展、效能研究的深入和在实践中的广泛运用。

1.3.1 简单的定量计算

从有关资料可知,早在 1871 年,俄国军界就提出有关装备杀伤力计算的问题。后来,由于装备发展论证和作战运用研究中的多方需要,普遍开展了计算武器杀伤效果的研究,提出了简单计算方法,所考虑的因素主要有威力、精度、爆炸方式、目标特性及其他有关参数等。当时,主要是通过粗略计算,从某一侧面概略地比较不同型号的作战效果。所用的指标通常有:对目标的毁伤概率、摧毁目标预定程度的弹药消耗量等。所有这些定量计算,开始一般都是作为其他课题中的量化分析内容,成为整个课题研究的一部分,后来逐渐形成一些独立的基础研究课题。在资料中,有时还用杀伤效率、杀伤破坏效果和杀伤力等术语表示。

1.3.2 效能评估研究的广泛开展

从 20 世纪 60 年代中期开始,美国对效能评估问题开展了大量的研究,提出了各种类型的效能评估模型,并用于评估多种类型的装备。比较典型的是美国工业界武器系统效能咨询委员会为美空军提出的系统效能模型、杜佩的理论杀伤力指数及武器指数等。苏联比较典型的研究成果是 C. H. 佩图霍夫和 A. H. 斯捷潘诺夫著的《防空导弹武器系统的效能》以及 A. A. 切尔沃纳等所著的《评定武器效能的概率法》。书中主要对研究单个装备系统的效能评估问题进行了叙述。

之后到 20 世纪 80 年代,效能评估在理论研究和工程实践上都取得了一定的成果。理论方面,逐步形成了从军事运筹学到军事系统工程的方法论体系,同时为了定量分析的需要,研究出了一系列基于定性分析的定量分析方法。实践方面,美国陆海空三军和一些直接从事尖端装备生产的大公司都专门设立了从事系统效能分析的机构,也完善了各类装备的效能评估模型,并据此开展了装备的研制与开

发,使得美国装备建设和国防建设取得了巨大的成功。

20世纪90年代后,随着军事革命的到来,美国等军事强国的装备系统效能评估理论开始向系统化、自动化、智能化方向发展,并将层次分析法、模糊综合评价法、遗传算法、神经网络、Petri网的智能计算方法等方法应用到装备系统作战效能评估中。此外,还充分利用各种信息技术,特别是计算机技术、虚拟现实技术和网络技术,并采用“战争工程”的方法论,通过组建大量的实验室和研究中心,开展装备的运用效能分析和先期概念演示技术,以此来探索未来新的军事能力。

至此之后,美军在军事变革的探索中,越来越重视理论探讨与计算机仿真的结合,采用仿真的方法进行装备效能分析已经成为当前一种最为有效的做法。

到20世纪80年代后期和90年代初期,国外特别是美军应用比较广泛的模拟方法被引入我国,国内开始大量运用模拟方法评估装备效能,特别是应用在飞机效能评估中。国内还成立了多个专门的效能研究机构,开展了大量卓有成效的研究工作。

近几年,我国在装备系统效能评估方面开展了大量的研究工作,在评估理论方法创新、评估模型构建、评估仿真软件研制等方面都取得了大量成果,我军现役的大部分主要装备,如装甲装备、海军装备、空军装备、二炮装备,都开展了效能评估研究,并取得了大量的成果。

1.3.3 效能评估研究的深入

近年来,装备效能评估研究日趋深入,主要表现在以下两个方面。

1. 研究范围扩大

过去,装备效能评估研究多局限于主要装备系统,随着军事科学技术的发展和认识的提高,对各种保障设备也开展了大量的效能评估研究。当前效能评估研究的对象,已涉及各种类型装备及其研制、生产、使用的各个环节。

2. 系统性课题研究增多

所谓系统性课题指的是两种含义:一是以装备系统整体为对象,从完成既定任务出发,对涉及各种类型的设备从总体上进行系统分析和评估;二是从宏观方面对各力量合成或某一种力量的装备整体运用能力进行评估。

1.3.4 效能评估研究的应用

1991年2月,美国国防部制定的《国防采办管理政策与程序》中,对研制中的费用与效能分析问题做了政策性规定,将效能分析工作纳入管理轨道。另外,在条令和一些重要军事著作中也运用不少有关效能评估研究的成果。在我国,有关部门结合型号研制、装备体制论证、规划计划论证等,都开展了大量的效能评估工作。

1.4 效能的基本概念

人们在从事某项工作、制造某种产品或构造某个系统等活动时总是从中追求所得的收效,即活动的效果,在军事活动中,尤其是围绕军事装备或系统的活动中,效果则称为效能,用效能来体现军事装备或系统所具有的价值,这里价值是指军事装备或系统能达到的某个或某些任务目标的能力大小。

1.4.1 效能的定义

目前与效能相关的专著文献有很多,不同的学者也给出了不同的定义,但是基本意思都相差不大。在《装备效能评估概论》一书中,将效能定义为:系统在规定条件下达到规定使用目标的能力,这是目前比较有影响的关于效能的定义。“规定的条件”指的是环境条件、时间、人员、使用方法等因素;“规定使用目标”指的是所要达到的目的;“能力”则是指达到目标的定量或定性程度。

效能的概率定义:系统在规定的工作条件下和规定的时间内,能够满足运用要求的概率。

另外,需要说明一下系统的“效能”与相近概念“效果”“能力”和“性能”的区别。

“效果”首先要有一定的使用环境和任务,指的是系统在特定的环境下完成特定的任务所体现的结果。一般用于对装备完成任务情况作定性的评价。

“能力”指的是装备系统在正常工作的前提下完成预定任务的程度,对于不同的任务,同一个系统表现出来的能力高低是不同的。从某种意义上讲,能力是系统固有能力和在特定使用环境中的一种体现,而排除了其他人为因素的作用。

“性能”一般通过系统的单一指标来衡量,如喷洒车的喷洒宽度、毒剂报警器的灵敏度等。特殊情况下将具体任务与性能一词连用,如遮蔽性能、机动性能、防护性能等,则是由多个单一性能指标和具体任务、环境等决定的综合性能,实质上等同于“能力”。装备的使用性能也是对装备的基本能力的描述。

综上所述,效能是最高级别的综合能力,包含若干不同的能力,性能则是最低级别的单一能力指标,在具体任务和环境等一定的情况下,能力由多个相关单一性能确定,效能由若干能力和相关性能确定。

1.4.2 效能的分类

通常效能的概念可以分为三类,即单项效能、系统效能和作战效能。其中单项效能和系统效能是武器系统本身所具有的基本效能,而作业效能是在作业实际情

况下的动态效能。为了很好地理解效能的概念,需要对效能、系统效能和作业效能三个含义接近但又不完全相同的概念进行界定。

1. 单项效能

主要指装备作业活动中,达到单一使用目标的程度,如防空装备的射击效能、探测效能等。单项效能对应的作业活动是目标单一的行动。

2. 系统效能

系统效能是在对装备系统可靠性、维修性、保障性深入研究的基础上发展起来的,GJB451-91《可靠性维修性术语》给出了系统效能的定义:“系统在规定的条件下满足给定定量特征和服务要求的能力。它是系统可用性、可信性及固有能力的综合反映。”在这个定义中,装备系统的效能是可用性、可信性和固有能力的函数。可用性、可信性同可靠性、维修性、测试性及保障性关系密切;固有能力的包含了装备的性能、发现目标能力、攻防能力和生存能力等。这是一个人们普遍接受的定义,以此定义所建立的分析模型将系统效能的参数分解为可用性、可信性和固有能力的三大部分,如图 1-1 所示。

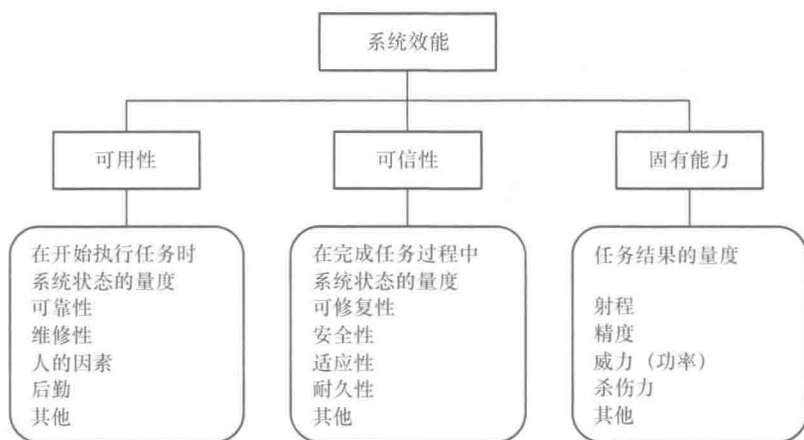


图 1-1 装备系统效能结构图

3. 运用效能

在实际运用条件下,由于各种不利环境的影响,使得装备系统不能完全发挥其固有能力的。将运用效能定义为:装备在一定条件下完成任务时所能发挥有效作用的程度。这个定义看似简单,其实给出了装备运用效能的诸多限制条件,必须是在实际运用环境中,考虑到自然环境、复杂电磁环境、生存威胁等诸多影响因素,由代表性的人员使用所取得的运用效果,它强调了在真实的运用环境中装备完成其规定任务的能力。

由“系统效能”和“运用效能”的定义可以看出,二者是站在不同层次、不同环