



陆军武器系统 作战效能分析

□ 罗兴柏 刘国庆 编著 □



国防工业出版社

National Defense Industry Press

本书得到总装备部“1153”人才工程专项经费资助

陆军武器系统 作战效能分析

罗兴柏 刘国庆 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

陆军武器系统作战效能分析 / 罗兴柏, 刘国庆编著.

北京: 国防工业出版社, 2007.6

总装备部研究生教育精品教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 04964 - 0

I. 陆... II. ①罗...②刘... III. 陆军 - 武器装备 - 武器
效应 - 评价 - 研究生 - 教材 IV. TJ

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 019304 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)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 10 字数 288 千字

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 26.00 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

武器装备对于战争的重要性不言而喻,武器系统的作战效能对于武器装备的重要性也是毋庸置疑的。作为未来从事武器装备科学研究的重要生力军,兵器科学与技术学科的研究生学习并掌握关于武器系统作战效能分析或评估的基本理论与方法,一般意义上说是十分必要的。但迄今为止,虽然有关专著和研究文献甚多,只是各有侧重,多数是针对某一类型的武器系统,且鲜有介绍战斗部威力计算的具体内容。欲进行有关的教学工作,非同时参阅多本不可,实是不便。为解此困,笔者向有关方面申请并得到批准,得以编写本教材,力求能够满足兵器科学与技术学科各二级学科研究生的教学需要,重点考虑了火炮、自动武器和弹药工程学科的需要,当然也可供有关人员工作参考。

为建立基本但完整的概念和工程计算的理论体系以及方法体系,本书内容共分7章。第1章武器系统作战效能概论,主要介绍武器系统的一般组成及其分类,武器系统作战效能与效能指标的含义及其一般计算步骤;第2章榴弹战斗部条件毁伤概率计算,在介绍目标的简化模型和易损性参数概念的基础上,重点介绍榴弹战斗部破片和冲击波参数的工程计算方法,对目标的作用机理和毁伤能力计算,最终建立榴弹战斗部条件毁伤概率的工程计算模型;第3章射击误差与命中概率,主要介绍武器系统射击误差的基本概念、计算原理和单发及多发命中概率的计算方法;第4章对地武器系统作战效能,主要针对地面和海面目标,在介绍武器系统的射击、特别是战斗部作用规律的基础上,重点介绍榴弹杀伤面积和目标覆盖率与毁伤率的有关概念和工程计算原理;第5章对空武器系统作战效能,简要介绍描述空中目标运动的有关概念,以高炮武器为背景,着重介绍对空武器系统的服务概率,及其在着发和近炸条件下对空中目标毁

伤概率的工程计算模型和方法,并在附录中给出了有关的计算机计算程序以供参考;第6章导弹武器系统作战效能,在简要介绍导弹系统的特点及其分类的基础上,比较系统地介绍对地(舰)和对空导弹系统作战效能及导弹的拦截与突防能力的计算;第7章武器系统战时生存与消耗,系统介绍了兰切斯特经典战斗理论,以高炮武器系统为重点介绍了武器系统生存概率的计算,以渡海登岛作战为背景,举例介绍对抗性条件下的装备消耗计算模型和模拟计算方法;重点以防空作战为背景,介绍体现威慑作用和战场抢修等诸多因素作用下的综合性的高炮武器系统作战效能指标——被保护目标连续可用时间的工程计算模型和部分模拟计算结果。各章均有各自的主要符号和思考题,全书最后附有高炮武器系统毁伤概率计算机计算程序和参考文献。

本书内容虽然较多,但考虑到几乎没有一个学科专业需要学习全部的内容,故教学学时从30学时到50学时均可,教学双方可以根据需要选择教学内容和时间。

本书由军械工程学院弹药工程系罗兴柏教授、刘国庆讲师共同编著。该系研究生甄建伟同学协助完成了附录部分的计算机C语言的程序编写和调试、计算工作以及其他大量辅助工作;刘鹏安同学和该系弹药处理工程教研室的全体同志,为本书的文图处理等工作付出了许多辛苦的劳动。在此,对他们一并表示感谢。

总装备部有关专家对本书的初稿进行了认真的审查并提出了许多宝贵意见,笔者悉数接纳并特表谢意。

本书虽有部分内容源于笔者多年来的教学、科研所得,但大部分内容源于他人。没有他(她)们的辛勤探索和劳动,就不可能有本书。为此,真诚地向这些前(同)辈、特别是本书所列参考文献的作者们,表示衷心感谢。

本书错误或不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

笔者:  刘国庆

2007年1月

目 录

第 1 章 武器系统作战效能概论	1
1.0 本章主要符号	1
1.1 武器系统的基本组成与主要功能	2
1.1.1 侦察系统	2
1.1.2 指挥控制系统	2
1.1.3 火力系统	3
1.1.4 动力等辅助系统	3
1.2 武器系统作战效能与效能指标	5
1.2.1 武器系统作战效能	5
1.2.2 武器系统作战效能指标	7
1.2.3 武器系统作战效能评估的一般方法	12
1.2.4 武器系统作战效能评估的应用	13
1.2.5 武器系统作战效能计算的一般步骤	16
思考题	19
第 2 章 榴弹战斗部条件毁伤概率计算	20
2.0 本章主要符号	20
2.1 目标的简化与易损性参数	21
2.1.1 目标分类	21
2.1.2 目标的简化	23
2.1.3 目标易损性参数	27
2.2 破片参数与毁伤概率	28
2.2.1 榴弹战斗部的一般构造与作用过程	28
2.2.2 破片的形成与对目标的作用	29

2.2.3	破片参数的计算	31
2.2.4	破片对目标作用与毁伤概率	41
2.3	冲击波参数与毁伤概率	48
2.3.1	空气冲击波的形成与传播	48
2.3.2	空气冲击波参数计算	51
2.3.3	空气冲击波对目标作用与毁伤概率计算	55
2.4	条件毁伤概率计算的一般步骤与实验测定	60
2.4.1	条件毁伤概率计算的一般步骤	60
2.4.2	条件毁伤概率的简化计算	61
2.4.3	条件毁伤概率的实验测定	61
	思考题	62
第3章	射击误差与命中概率	63
3.0	本章主要符号	63
3.1	武器系统的射击误差	64
3.1.1	射击误差概述	64
3.1.2	散布误差	66
3.1.3	诸元误差	72
3.1.4	弹道散布的概率分布密度函数	84
3.2	单发命中概率	85
3.2.1	瞄准误差为零时的圆形目标命中概率	85
3.2.2	瞄准误差为零时的矩形目标命中概率	86
3.2.3	波利亚—威廉斯近似值	87
3.2.4	非圆形正态射击误差或椭圆形高斯射击误差	89
3.2.5	冯诺伊曼—卡顿散布目标概念	91
3.2.6	多发射击至少命中一发的概率	93
	思考题	95
第4章	对地武器系统作战效能	97
4.0	本章主要符号	97
4.1	对地武器系统对目标的作用规律	98
4.1.1	近炸引信作用规律	98

4.1.2 近炸地面武器系统作用条件	101
4.2 杀伤面积计算	101
4.2.1 弹丸的杀伤作用场	101
4.2.2 杀伤面积的计算	104
4.2.3 对目标的毁伤概率计算	108
4.2.4 杀伤面积的影响因素	112
4.3 目标覆盖率与毁伤率	115
4.3.1 目标覆盖率及其与毁伤率的关系	115
4.3.2 圆盘与毁伤的关系	116
4.3.3 在具有高斯投射误差的条件下目标的覆盖率	118
4.3.4 重叠的方差和百分比覆盖的一个近似分布	119
4.3.5 目标毁伤模型	121
思考题	124
第5章 对空武器系统作战效能	125
5.0 本章主要符号	125
5.1 空中目标的运动描述	126
5.1.1 描述空中目标的坐标系与运动参数	126
5.1.2 目标几何尺寸的描述	130
5.2 对空武器系统的服务概率	131
5.2.1 引言	131
5.2.2 对空武器系统服务概率数学模型	133
5.2.3 服务概率的计算模型与模拟计算	145
5.3 着发射击时的毁伤概率	150
5.3.1 射击误差模型及其简化	150
5.3.2 着发射击毁伤概率计算	153
5.4 近炸射击时的毁伤概率	159
5.4.1 近炸引信的起爆面	159
5.4.2 弹目遭遇条件	161
5.4.3 引信启动规律	163
思考题	166

第6章 导弹武器系统作战效能	168
6.0 本章主要符号	168
6.1 导弹武器系统的特点和分类	169
6.1.1 高技术条件下导弹武器系统作战特点	169
6.1.2 导弹武器系统的分类及组成	170
6.2 对地导弹武器系统作战效能	175
6.2.1 导弹射击精度与射击偏差	175
6.2.2 对地(舰)导弹武器系统作战效能的计算方法	183
6.3 对空导弹武器系统作战效能	209
6.3.1 对空中目标的作战效能指标	209
6.3.2 单批单架目标的毁伤概率	210
6.3.3 地空导弹武器系统对机群目标作战效能的计算	222
6.4 导弹的拦截与突防	226
6.4.1 导弹的生存能力及其对突击效能的影响	227
6.4.2 地地弹道式战术导弹战斗部的突防	230
6.4.3 地地弹道式战术导弹与反导弹体系的 总体对抗	236
思考题	237
第7章 武器系统战时生存与消耗	239
7.0 本章主要符号	239
7.1 兰切斯特经典战斗理论介绍	241
7.1.1 兰切斯特第一线性定律(直接瞄准射击模型)	241
7.1.2 兰切斯特第二线性定律(对面目标间接瞄准射击 模型)	245
7.1.3 兰切斯特平方定律	247
7.1.4 混合定律(悌曲曼游击战模型)	250
7.1.5 兰切斯特方程的补加项	251
7.1.6 多个战斗组成的战斗的兰切斯特线性定律	253
7.1.7 指挥效率在战斗中的价值	255
7.2 武器系统的生存概率	258

7.2.1 引言	258
7.2.2 非对抗条件下高炮武器的生存概率	259
7.2.3 对抗条件下高炮武器的生存概率	277
7.3 对抗条件下武器装备消耗规律的典型分析	280
7.3.1 渡海过程中的装备消耗	280
7.3.2 抢滩作战中的装备消耗	282
7.4 被保护目标连续可用时间的计算	287
7.4.1 高炮系统防空作战任务分析	287
7.4.2 概念约定	288
7.4.3 无防空作用时的抗击能力	289
7.4.4 有防空作用时的防空能力	290
7.4.5 影响高炮系统综合效能的因素分析	293
思考题	295
附录 高炮武器系统毁伤概率计算机计算程序	297
参考文献	309

第1章 武器系统作战效能概论

本章在简要介绍武器系统组成的基础上,着重介绍与武器系统作战效能相关的基本概念、模型和分析计算的一般步骤。

1.0 本章主要符号

A : 系统可用度或有效度指标	时,顺利完成其规定任务的
A_0 : 作战的可使用性	概率
C : 能力或能力向量	P_{OK} : 当要求系统工作时,系统正常工作或作好战斗准备的概率
c_i : 系统处于 i 状态时完成任务的能力	P_{RM} : 在执行任务所要求的期间内,系统持续正常工作的概率
D : 可信赖度或可信赖性矩阵	P_{TR} : 传递目标信息概率
d_{ij} : 系统从 i 状态开始工作,至 t 时刻处于 j 状态的概率	$P(x,y,z)$: 炸点位于 $A(x,y,z)$ 点的概率分布密度
E 、 E_{FF} 、 E_S 、 P_{SE} : 系统效能	P_{CUM} : 发现概率
$G(x,y,z)$: 炸点位于 $A(x,y,z)$ 点时的条件毁伤概率	P_{DET} : 系统发现、识别、传递目标信息的概率
M_L : 导弹毁伤威力	P_{KSS} : 单发毁伤概率
MTBF: 系统平均故障间隔时间	R_L : 导弹发射可靠性
MTTR: 系统平均修复时间	R_F : 导弹飞行期间的可靠性
P : 系统性能指标	V : 系统的利用率指标
P_0 : 系统鉴别概率	σ : 导弹投射均方差
P_K : 毁伤概率	
P_{OA} : 系统在设计要求范围内工作	

1.1 武器系统的基本组成与主要功能

所谓武器系统(Weapon System),是指能够独立实施射击的一整套兵器和技术器材,也称为一个射击综合体。武器系统的根本作用在于完成包括杀伤人员、毁伤固定或活动目标、发布信号、施放烟幕、侦察、干扰等在内的各种预定作战任务。为了完成这些不同的作战任务,需要有不同类型的武器系统,如轻武器系统、压制武器系统、反坦克武器系统和高炮武器系统等。

无论何种武器系统,一般都需要有多个功能不同、但又存在有机联系的子系统才能组成一个独立的武器系统,都必须在指挥、操作人员的使用、控制下才能完成作战任务,必要时还需要车辆或车辆底盘、飞机、坦克、舰艇等运载平台。不同类型武器系统的组成不尽相同,但从完成作战任务的过程和功能考察,一般由侦察系统、指挥控制系统、火力系统及动力等辅助系统组成。

1.1.1 侦察系统

侦察系统一般包括搜索系统与跟踪系统,常由无线电器材和(或)光学器材组成,如警戒雷达、炮瞄雷达、测距机、瞄准具、指挥镜、望远镜等,主要用途是搜索、发现、识别、瞄准、跟踪目标,测定固定目标坐标(距离和高低角、方向角等)、运动目标航迹(距离、高度、速度、方向等)等目标信息,同时将这些信息输送给指挥控制系统。

高炮武器系统基本都具备上述器材,地炮武器系统的侦察系统则主要由光学器材构成,枪械之类的轻武器系统和直瞄射击的武器系统,其侦察系统的功能一般靠瞄准具和射手眼睛来完成。

1.1.2 指挥控制系统

对高炮武器系统而言,指挥控制系统由模拟或数字计算机组成,又称射击指挥仪或火力控制系统。其主要用途如下。

(1) 接收侦察系统传来的目标坐标和运动信息。

(2) 计算射击诸元(射角、射向、装药参数、引信作用方式或装定时间等)。

(3) 通过电气联动装置(随动系统)控制火力系统追随目标、适时发射。

对于其他武器系统,指挥控制系统的上述功能都具备,但不一定由计算机完成,可由人员根据射表等实现。

1.1.3 火力系统

火力系统由发射平台(火炮、枪械、发射架、发射井等)和弹药组成,其主要功能如下。

(1) 在指挥控制系统的控制下,适时对目标或向预定地域、空域进行射击。

(2) 在预定的位置或时间,按预定的方式,由弹药完成毁伤目标或其他作战任务。

1.1.4 动力等辅助系统

动力等辅助系统的主要用途是为电气装置供电(移动电站)、运载其他子系统。

武器系统的各个子系统,既相互独立,各有自己的功能,又相互联系、互相制约,都对整个武器系统的作战效能程度不同地发挥着作用,同时也程度不同地起着约束作用。武器系统要完成作战任务,都存在一个最小的系统组合,如一个独立的高炮武器系统,至少应包括一部警戒雷达、一部炮瞄雷达、一部指挥仪、一台电站、一门高炮和若干高炮弹药及通信设备等,其工作过程(图1-1)一般为:根据警戒雷达提供的目标信息和上级命令,打开炮瞄雷达,精确测定目标的位置和运动信息,同时传给指挥控制系统;指挥控制系统计算出射击诸元,并通过随动系统驱动高炮跟踪瞄准目标;当目标飞行至适当位置处,根据指挥员开火命令,弹药发射(发射瞬间的目标位置称为当前点或瞄准点),当弹丸飞行至接触或接近目标(满足命中条件)时,弹丸在引信(两者装配在一起,合称战斗部)作用下爆炸(此时,目标位于遭遇点),并对目标起不同程度的毁伤作用。若命中条件始终不能满足,则弹丸飞行一定时间后自毁,以免误伤我方地

面人员、设施、装备等。在此过程中,需要移动电站不断地供电;在此之前,需要通过牵引车将高炮(牵引式)、弹药等运至阵地并及时完成行军战斗转换。

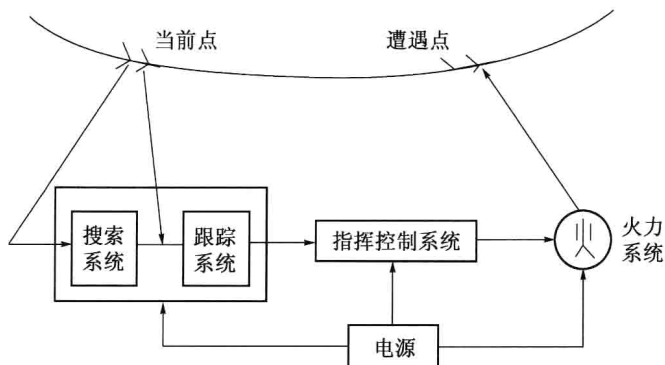


图 1-1 高炮武器系统的工作过程

但是,实际使用中的武器系统并非按最小的系统组合进行编成,而是根据最有利于发挥武器系统作战效能、同级部队兵力接近等原则,确定火力单位并据此对部队进行编成。所谓火力单位,是指按编制能够独立完成一个射击任务的最小的作战部队所拥有的武器系统组合。如高炮(牵引式)部队的最小作战部队是一个高炮连,它由警戒雷达(营属)、炮瞄雷达、指挥仪、移动电站各一部及多门高炮和若干弹药组成。高炮连武器系统的阵地配置通常如图 1-2 所示。

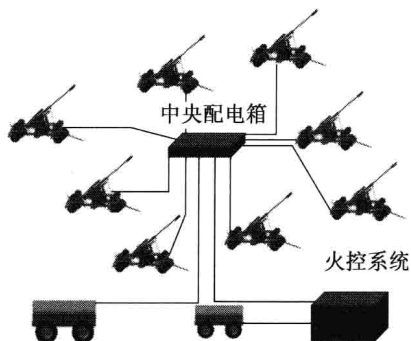


图 1-2 高炮连武器系统的阵地配置

需要说明的是,由于上述火力单位中的各门高炮均按相同的诸元设计,同样的火力单位在不同的阵地配置情况下,所发挥的作战效能是不同的。

1.2 武器系统作战效能与效能指标

1.2.1 武器系统作战效能

要理解武器系统作战效能,首先应弄清什么是效能。为此,需对系统效能、能力、性能和作战效能等四个字面含义接近但又不尽相同,同时又存在联系的概念进行界定。

(1) 效能。所谓系统的效能,严格的定义应是指系统在规定的条件下和规定的时间内,完成预定任务的能力。显然,系统在开始执行任务时的状态、在执行任务过程中的状态和最后完成给定任务的程度,三者共同构成了系统的效能。

按照目前武器系统效能研究文献的一般说法,系统在开始执行任务时的状态可由系统的“可用性”描述,系统在执行任务过程中的状态可由系统的“可信性”描述,系统完成给定任务的程度可由系统的“能力”描述。因此,系统的“可用性”、“可信性”和“能力”构成了系统的效能,称为系统效能的三大要素。

(2) 能力。按字面理解,“能力”是一个内涵丰富、外延广泛的概念,附加一定的限定条件(如规定的条件下和规定的时间内,完成预定任务的能力)就和“效能”相当。但在武器系统效能研究领域,单独使用“能力”一词,则特指武器系统在最后阶段完成给定任务的程度,即排除由于平时储存、训练等导致的系统失效(不可用)和作战使用过程中的故障、战损等导致的系统失效(不可信)两大因素,在系统正常工作的前提下能够完成预定作战任务的程度。能力的量度指标可以是系统完成给定任务的概率,也可以是杀伤面积、预定概率下的毁伤目标平均数等战术指标。因此,“能力”在某种意义上乃是不考虑技术保障(保管、修复等)和操作使用等人为因素作用,是武器系统更为本质的

一种特征。

系统的能力在很大程度上依赖于分配给它的任务。用于完成特定任务的系统,对于这项任务而言,它的能力可能很高;若换成了另一项任务,它的能力就可能很低,甚至为零。特定的任务对应特定的系统。系统不同,它完成的任务也不同;任务不同,对系统能力的内容要求也不同。例如:导弹武器系统的最终任务是摧毁(或杀伤)给定目标,其能力由摧毁(或杀伤)给定目标的概率描述。因此,导弹武器系统的能力应该由导弹的毁伤能力、探测能力、突防能力和生存能力等决定,而各个具体的“能力”则是由多个相关“性能”和具体战斗任务、战场环境等决定的。

(3) 性能。本书所言“性能”一般由武器系统所给的单一的战术技术指标、经济性指标等衡量,如威力、射程(射高)、射击精度、可靠度、全重、外部尺寸、购置价格等,其具体含义不言而喻。特殊情况下,将具体任务与性能一词连用,如突防性能、毁伤性能、机动性能等,则是由多个单一性能指标和具体战斗任务、战场环境等决定的综合性能,实质上等同于“能力”,由于有前缀词限定,其含义既不难理解,也不会混淆。

综上所述,在本书范围内,“效能”指标是最高级别的综合指标,“能力”指标其次,“性能”指标则属最低级别的单一指标,在具体作战任务和战场环境等一定的情况下,能力指标由多个相关性能指标确定,效能指标由能力指标和若干相关性能指标确定。

(4) 作战效能。根据上述相关定义,所谓武器系统的作战效能,是指在规定的条件下(包括战场环境和敌我双方兵力、火力种类、数量、配置等)、规定的时间内(包括战前的储存时间、训练使用时间和战斗进行中的机动、展开、使用时间等)完成规定作战任务(如毁伤、侦察、干扰、照明、纵火等)的能力。武器系统也许还存在其他效能,但考虑到武器系统主要用于作战,本书中将武器系统的效能与作战效能作同一概念处理。

由此可见,武器系统作战效能的概念对于单一装备和装备体系都是适用的,但需要对具体的条件、时间和作战任务进行明确规定,单一装备的作战效能评估相对于武器系统的评估可能有所简化,而装备体系的作战效能评估则需要更高层次、更大规模的综合。

1.2.2 武器系统作战效能指标

为便于通过对武器系统作战效能的对比,决策是否开展某种武器型号的研制或选择采取何种研制方案,需要对武器系统作战效能进行定量描述,亦即需要定义和描述武器系统作战效能指标。为此,必须首先明确武器系统性能指标和能力指标。因为武器系统作战效能指标是最高级的综合指标,既是对性能指标的综合量度,也是对所有能力指标的综合量度。

1. 武器系统性能指标

武器系统的性能指标是在武器系统研制之前,主要依据未来战场的特点和当前的经济、技术发展水平而提出的设计要求;在武器系统设计定型之后,则是对设计工作满意程度亦即武器系统所达到的实际性能的描述。例如,高炮武器系统的单项性能指标主要包括以下内容。

(1) 搜索瞄准能力,包括最大作用距离、最大跟踪距离、精度、低空性能、抗干扰性能、全天候性能、快速反应能力等。

(2) 威力,包括弹丸威力、高射性、速射性、口径、射击精确度、初速、弹丸飞行时间等。

(3) 机动性,包括全重、底盘最小离地高度、运动速度、火力掉转时间等。

(4) 可靠性,包括平均寿命、成功率、故障率、可靠度等。

(5) 维修性,包括平均修复时间、修复率、维修度等。

(6) 环境适应性,包括使用环境的温度、湿度、海拔高度等。

2. 武器系统能力指标

武器系统的综合能力指标是衡量武器系统在给定条件下实现某一种功能的能力之量度,是对有关的几项甚至几十项性能指标综合效果之优劣的评判。一般来说,武器系统的能力指标如下。

(1) 命中概率。用以表征战斗部命中目标或子母弹战斗部母弹解爆投影点命中目标,或子弹命中目标这种随机事件发生的可能性。

(2) 覆盖概率。用以表征一次齐射或单发子母弹的抛撒幅员或导弹威力幅员覆盖目标的随机事件发生的可能性。