



国防特色教材·兵器科学与技术

终点效应及靶场试验

ZHONGDIAN XIAOYING JI BACHANG SHIYAN

张国伟 主编 徐立新 张秀艳 副主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

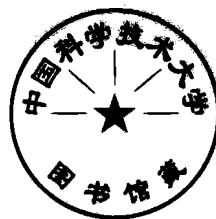


国防特色教材·兵器科学与技术

终点效应及靶场试验

张国伟 主 编

徐立新 张秀艳 副主编



北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书较详细地讨论了弹药战斗部的作用原理及终点效应的基本理论和知识,并对部分典型终点效应的靶场试验测试技术做了介绍。主要内容包括:目标易损性;穿甲效应;聚能破甲效应;碎甲效应;杀伤作用;空气中爆炸;岩土中爆炸;软杀伤效应概述;终点效应靶场试验及测试等。

本书为弹药工程专业国防“十一五”规划教材,可作为相关专业本科生、研究生的教学参考书,也可供从事弹药战斗部设计、科研和生产及靶场试验的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

终点效应及靶场试验/张国伟主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009. 8

国防特色教材. 兵器科学与技术

ISBN 978-7-5640-2386-7

I. 终… II. 张… III. ①弹药-武器效应-高等学校-教材 ②靶场试验-高等学校-教材 IV. TJ41 TJ06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 107654 号

终点效应及靶场试验

张国伟 主编

责任编辑 周艳红

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 5 号 (100081) 发行部电话: 010-68944990 传真: 010-68944450

<http://www.bitpress.com.cn>

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

*

开本: 787 毫米×960 毫米 1/16 印张: 19 字数: 384 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷 印数: 1~2000 册

ISBN 978-7-5640-2386-7 定价: 50.00 元

前 言

随着现代化战争的需要,常规弹药向着精确制导、超远射程、高效毁伤的方向发展,同时,涌现出了大量的新概念弹药。为满足弹药高新技术的发展,培养宽口径人才和掌握现代弹药设计能力的新型人才的需求,我们针对目前军工专业教材陈旧、严重缺乏的现状而编写本书。

本书着重介绍了弹药战斗部的作用原理及终点效应的基本理论和知识,并专门针对部分典型终点效应的靶场试验测试技术做了介绍。全书共分9章,第1章,目标易损性,简要介绍了人员、车辆、建筑物等不同目标的易损特性,最后介绍了最新内容即电力系统易损特性;第2章,穿甲效应,介绍了量纲理论与阻力定律、弹丸对靶板的侵彻理论及侵彻效应等;第3章,聚能破甲效应,介绍了聚能射流形成理论、射流侵彻理论、破甲影响因素、自锻破片及聚能破甲的数值仿真等内容;第4章,碎甲效应,介绍了应力波基础知识、层裂效应的工程计算及层裂效应的影响因素等;第5章,杀伤作用,介绍了破片速度特性和飞散特性、破片性能影响因素、杀伤威力等,并简要介绍了创伤弹道的相关内容;第6章和第7章介绍了装药在空气和岩土等介质中的爆炸理论和效应等;第8章,软杀伤效应概述,简要介绍了部分软杀伤武器弹药的毁伤效应,包括高功率微波辐射效应、激光致盲效应、音频效应、信息干扰效应、短路毁伤效应等尖端技术内容;第9章,终点效应靶场试验及测试,主要介绍了穿甲弹的威力性能试验及测试、破甲弹的威力性能试验及测试、战斗部的破片性能试验及测试以及战斗部的爆破威力性能试验及测试等。

本书是在作者原有内部讲义《终点效应及应用技术》的基础上,经过对多届本科生、部分专业研究生的教学使用实践,同时参考大量相关文献,融进了许多国内外最新研究成果而编写成的。本书在注重基本概念和基本理论讲述的同时,努力做到深入浅出,在内容的编排上,力争做到通俗易懂。

为了适合不同专业学生及不同层次、不同工作岗位的科技人员学习的需要,在使用时,教师可根据讲授课时数选讲,自学者可根据自己的需要选学。

本书由中北大学的张国伟教授任主编,中北大学张秀艳、总装炮兵防空兵装备研究所徐立新任副主编。书中绪论、第1章、第3章和6.4节、6.5节由张国伟编写;第5章、第8章和9.4节由张秀艳编写;6.2、6.3节、第7章由徐立新编写;第2章、第4章、6.1节和9.1~9.3节和9.5节由孙学清编写。在本书的编写过程中参考了大量的相关专业的书籍、参考文献,

在此对其作者深表谢意。北京理工大学蒋浩征教授、南京理工大学薛晓中教授以及中北大学张景玉教授在本书的编写过程中给予了很大的帮助，在此表示衷心的感谢。同时，对本书出版做出贡献的相关人员也一并表示感谢。

由于编者水平有限，虽竭尽所能，谬误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
0.1 终点效应学简史	1
0.2 终点效应学的研究课题	2
第 1 章 目标易损性	4
1.1 概述	4
1.2 人员	4
1.2.1 丧失战斗力的判据	4
1.2.2 破片、枪弹和小箭	5
1.2.3 冲击波	9
1.2.4 火焰和热辐射	12
1.3 地面车辆	14
1.3.1 装甲车辆	14
1.3.2 非装甲车辆	21
1.3.3 终点毁伤威力的评定方法	22
1.4 地面和地下建筑物	25
1.4.1 地面建筑物	25
1.4.2 地下建筑物	29
1.4.3 常规炸弹破坏力分析	30
1.4.4 地面目标的破坏概率	33
1.5 电力系统	34
1.5.1 毁伤等级划分	35
1.5.2 高压变电站短路毁伤易损性	36
1.5.3 输电网满负荷状态或处在峰值载荷时短路易损性	37
1.5.4 大系统短路毁伤易损性	37
思考与习题	39
第 2 章 穿甲效应	40
2.1 概述	40

2.1.1	靶的分类	40
2.1.2	贯穿破坏的基本形式	41
2.1.3	冲击速度的划分	42
2.1.4	弹道极限和冲击状态图	43
2.2	量纲分析与阻力定律	44
2.2.1	无量纲经验式	44
2.2.2	通用侵彻公式	47
2.2.3	Poncelet 阻力定律	47
2.2.4	De Marre 公式	51
2.3	弹体冲击变形理论	53
2.4	瓣裂动量理论	64
2.4.1	模型建立	64
2.4.2	锥形头部条件下的解	65
2.4.3	截顶蛋形头部条件下的解	67
2.5	冲塞模型	70
2.5.1	动量守恒模型	71
2.5.2	流体阻力模型	71
2.5.3	剪切阻力模型	72
2.5.4	能量守恒模型	73
2.5.5	斜冲塞时方向改变的预测模型	75
2.6	空穴膨胀理论	78
2.7	长杆弹穿甲理论	81
2.7.1	长杆弹的穿甲过程	81
2.7.2	长杆弹的侵彻模型	83
	思考与习题	86
第3章	聚能破甲效应	87
3.1	概述	87
3.2	金属射流形成的定常不可压缩理想流体理论	89
3.3	金属射流形成的准定常不可压缩理想流体理论	93
3.4	压合过程中药型罩壁厚中速度和压力的分布	97
3.4.1	速度分布	97
3.4.2	压力分布	99

3.5 形成金属射流的临界条件.....	101
3.6 金属射流的稳定性.....	103
3.7 金属射流侵彻的定常不可压缩理想流体理论.....	107
3.7.1 金属射流的侵彻过程.....	107
3.7.2 定常不可压缩理想流体理论.....	108
3.8 金属射流侵彻的准定常不可压缩理想流体理论.....	109
3.9 考虑强度和断裂影响的侵彻理论.....	111
3.9.1 考虑靶板强度修正的侵彻计算.....	111
3.9.2 断裂射流的侵彻计算.....	112
3.10 破甲影响因素.....	113
3.10.1 炸药.....	113
3.10.2 隔板.....	115
3.10.3 药型罩.....	115
3.10.4 炸高.....	117
3.10.5 壳体.....	117
3.10.6 旋转运动.....	118
3.10.7 靶板材料.....	118
3.11 自锻破片.....	118
3.11.1 自锻破片形成机理.....	118
3.11.2 自锻破片速度分布计算.....	119
3.12 聚能破甲效应的数值仿真.....	120
3.12.1 软件简介.....	121
3.12.2 算例分析.....	122
思考与习题	124
第4章 碎甲效应	125
4.1 概述	125
4.1.1 碎甲机理研究的主要内容.....	125
4.1.2 碎甲作用的特点.....	125
4.2 应力波基础知识.....	126
4.2.1 应力波的概念.....	126
4.2.2 平面应力波.....	127
4.2.3 应力波的性质.....	132

4.3 层裂效应的工程计算.....	137
4.3.1 破片厚度计算.....	137
4.3.2 裂片速度计算.....	140
4.4 层裂效应的影响因素.....	142
4.4.1 炸药.....	142
4.4.2 装甲板.....	142
思考与习题	142
第5章 杀伤作用	143
5.1 概述	143
5.2 破片初速计算.....	144
5.2.1 爆炸作用下弹体破裂的刚塑性模型.....	144
5.2.2 计算破片初速的能量模型.....	151
5.2.3 计算破片初速的动量模型.....	155
5.3 破片初速沿壳体的分布.....	158
5.4 破片在空气中的运动.....	164
5.5 杀伤威力.....	168
5.5.1 杀伤标准.....	168
5.5.2 杀伤威力.....	172
5.6 破片性能影响因素.....	181
5.6.1 炸药性质.....	181
5.6.2 壳体.....	182
5.7 创伤弹道.....	184
5.7.1 抛射体致伤机理.....	184
5.7.2 组织对抛射体的反应.....	184
5.7.3 影响致伤效应的物理因素.....	185
5.7.4 创伤弹道的形态.....	186
思考与习题	186
第6章 空气中爆炸.....	187
6.1 空气中爆炸现象及其描述.....	187
6.1.1 爆炸产物的膨胀和爆炸空气冲击波的形成.....	187
6.1.2 爆炸空气冲击波的传播.....	188

6.2 爆炸空气冲击波参数.....	189
6.2.1 爆炸空气冲击波初始参数.....	189
6.2.2 爆炸相似律——无限空气介质中爆炸冲击波参数的经验算法.....	191
6.3 战斗部(弹丸)在空气中的爆炸.....	194
6.3.1 带壳装药的爆炸.....	195
6.3.2 装药运动的影响.....	197
6.4 空气冲击波对目标的作用.....	197
6.4.1 空气冲击波在刚性壁面上的反射.....	198
6.4.2 空气冲击波的绕流.....	201
6.5 空气中爆炸的破坏作用.....	202
思考与习题	204
第7章 岩土中爆炸	205
7.1 概述	205
7.2 岩土中爆炸的基本现象.....	205
7.2.1 装药在无限均匀岩土介质中的爆炸.....	205
7.2.2 装药在有限岩土介质中的爆炸.....	206
7.3 岩土中的爆炸波及其传播规律.....	208
7.3.1 岩土中爆炸波的基本关系式.....	208
7.3.2 岩土介质的状态方程(本构关系)和爆炸波参数.....	209
7.3.3 岩土中爆炸波的传播规律.....	211
7.4 岩土中的爆炸相似律.....	212
7.4.1 岩土中爆炸相似律的基本内容.....	212
7.4.2 岩土中爆炸相似律的应用.....	217
7.5 岩土中的爆炸效应.....	221
7.5.1 爆腔.....	221
7.5.2 爆破漏斗.....	224
7.6 战斗部在岩土中的爆炸.....	227
7.6.1 侵彻深度.....	227
7.6.2 引信作用时间.....	229
思考与习题	230
第8章 软杀伤效应概述	231
8.1 基本概念.....	231

8.2 软杀伤等级划分及指标体系·····	232
8.2.1 软杀伤指标体系·····	232
8.2.2 软杀伤社会效应评估体系·····	234
8.3 软杀伤效应·····	235
8.3.1 高功率微波辐射效应·····	236
8.3.2 激光致盲效应·····	243
8.3.3 音频效应·····	244
8.3.4 非致命化学战剂·····	246
8.3.5 战场宣传效应·····	246
8.3.6 计算机病毒·····	248
8.3.7 短路毁伤效应·····	252
8.3.8 信息干扰效应·····	252
思考与习题·····	254
第9章 终点效应靶场试验及测试·····	255
9.1 概述·····	255
9.2 穿甲弹的威力性能试验及测试·····	255
9.2.1 靶板与靶架·····	256
9.2.2 穿甲弹的弹道极限速度·····	259
9.2.3 穿甲威力试验·····	261
9.3 破甲弹的威力性能试验及测试·····	261
9.4 战斗部的破片性能试验及测试·····	265
9.4.1 弹体破碎性试验·····	266
9.4.2 扇形靶试验·····	269
9.4.3 球形靶试验·····	274
9.4.4 破片速度测定·····	275
9.4.5 破片对目标的毁伤威力性能参数测试·····	278
9.5 战斗部的爆破威力性能试验及测试·····	282
9.5.1 爆坑对比试验·····	282
9.5.2 爆炸冲击波超压试验·····	283
参考文献·····	290

绪 论

0.1 终点效应学简史

早在 19 世纪以前,为了在战争中保住自己和消灭敌人,人们就对提高武器的效能抱有极大的兴趣。不过,直到伽利略和牛顿时代,才真正建立了一系列科学原理,并开始用来解决与武器和弹药有关的各种问题。18 世纪的科学,以数学、物理学和力学研究为主。1829 年,法国工程师彭赛勒(J. V. Poncelet, 1788—1867)开始应用上述科学理论解决与武器有关的问题。彭赛勒提出了计算弹丸侵彻深度的阻力公式,并为确定公式中两个参量的具体数值进行了多次试验。彭赛勒阻力公式一直沿用到现在,而目前为了确定新的目标材料和新式弹丸结构的参量时,也要进行类似的试验。由此看来,彭赛勒的研究理论可以视为终点效应学研究的开端。

到了 19 世纪,英国的军事工程师们热衷于设计和建造能够抵御实心弹丸的战舰和地面防御工事。因此,也就开始了弹丸穿甲效应的试验和研究。例如:1861 年,对不同材料支撑的装甲板进行了穿甲试验;1862—1864 年,对模拟舰船目标进行了实弹射击侵彻试验;1865 年,用不同口径的火炮,在不同距离上对地面工事进行了射击破坏试验;1871 年,对配备单层装甲和双层装甲的模拟舰船进行了穿甲试验。

到了第一次世界大战期间,一系列的新发明付诸军用,为终点效应的研究开拓了崭新的领域。飞机作为一种武器运载工具,投入了战争。此时,飞机已经具有了空中轰炸的能力,面对这种情况,人们感到要把一切军事目标都构筑得坚不可摧是无法办到的。因此,关于爆破效应对目标的损坏机理的研究应运而生。大战期间,作为杀伤手段的现代化学毒剂崭露头角,激起了人们对化学物质和其他手段用作人体失能剂的研究兴趣。

第二次世界大战期间,又有许多新兵器研制成功并投入使用,其中包括近炸引信、空心装药破甲导弹、航空火箭、火焰喷射器、原子弹等,这些都为终点效应的研究开辟了广阔的新领域。

第二次世界大战以来,美国在终点效应领域主要侧重于原子武器和热核武器效应的研究。这些研究工作是由三军特种武器规划局(AFSWP)组织实施的。参加研究的除美国各军兵种外,还有教育界和工业界的许多机构。有关爆炸波、热辐射和核辐射等新破坏机理的研究,始终是理论研究和实验的重点。

飞机易损性研究在规模上仅次于核武器效应研究,居第二位。例如,在研究可以配备各种类型战斗部的导弹时,就必须开展相应的终点效应研究,以查明并鉴定飞机和导弹的易损

性的方法。飞机易损性研究涉及一系列专题研究,包括弹丸内爆炸装药的效应、延期引信的效应、燃烧剂的效应以及炸药装填方式的效应等方面的研究。

空心装药技术问世后,促使人们对空心装药破甲效应进行了大量的分析和试验。而高爆杀伤弹利用炸药爆炸产生破片并高速飞散的现象,又重新唤起了人们对侵彻效应的研究兴趣。

人造地球卫星的发射和洲际弹道导弹研制成功,不但引起了研究人员的极大关注,而且激发了他们对新的毁伤机理的研究。

20世纪末至今,又有许多新的武器装备发明问世,诸如:碳纤维弹、云爆弹、电磁脉冲弹等,使得人们在终点效应领域不断地向更深、更广的方向发展。

0.2 终点效应学的研究课题

目前,几乎所有的世界性大国都在从事终点效应学某些方面的研究工作。世界各国在终点效应领域所从事的研究主要有如下几方面。

1. 核战争条件下武器装备的性能

在核战争条件下,军队不是总能够具备充分有效的防护手段来保护武器装备的关键部件免受核辐射危害的。因此,需要研究具有更高抗核辐射能力的部件和装备系统。此外,为了建立预测现行军事装备在核辐射环境中生存能力的方法和取得相应的数据,也需开展此项研究。

2. 爆轰理论

爆轰理论主要研究爆轰过程中所涉及的各种物理现象。其中借助于经由空气间隙或金属隔板传递的压力波引爆高能炸药的研究,尤其具有重要意义。其研究内容还包括外加电场和磁场对爆轰的影响,以及“炸-电”换能器的研制。

3. 超高速碰撞

由于人造卫星和洲际导弹运载工具的出现,人们开始了对超高速碰撞的研究。人们通过实验室获得这一数量级的速度,并力求加深对该速度条件下显示的各种现象的理解。

4. 空心装药

空心装药研究,以前主要是研究如何改进武器结构同性能的关系,如关于能够补偿弹体自旋带来的副作用的抗旋药型罩的设计研究。而今,人们正在研究更新结构的药型罩以达到更大的威力,如W形药型罩、星形药型罩等。

5. 地下冲击波

通过实验室测试手段和野外试验方法对地下冲击现象的研究,目前仍在继续进行。研究工作主要体现在改进测试和模拟技术,以及确定各种传播介质的动态应力-应变特性,特别是当今局部战争中出现的一些新的目标介质。

6. 空中冲击波

为确定爆炸波对结构的效应,大量研究不断实施。如利用激波管研究爆炸波的绕射载荷

和目标的动态响应特性。

7. 创伤弹道学

创伤弹道学研究，旨在获取有关破片、枪弹及其他毁伤作用物致伤能力的知识，为人们提供一个定量评价致伤能力的依据。

8. 特种效应

早期的特种效应主要包括燃烧效应、照明效应、烟幕效应等。随着新武器装备的发明问世，特种效应范围不断拓展，如：高功率微波辐射效应、激光致盲效应、短路毁伤效应、信息干扰效应等。

本书主要讲授常规弹药的终点效应，未涉及核效应及特种效应，有关此方面需求的读者请参阅其他相关书籍。

本着理论联系实际的目的，在本书最后增加了终点效应靶场试验和测试内容，使本书具有系统性、科学性、知识性的同时，也更具有重视学生实际技能培养的特点。

第 1 章 目标易损性

1.1 概 述

所谓目标，是指弹药预计毁伤或获取其他军事效果的对象。在战场上，目标类型繁多，诸如：人员、坦克、车辆、布雷区、建筑物及工程设施等地面和地下目标，以及各种船只及潜艇等水面和水下目标，还有各种飞机、伞兵和导弹等空中目标。同时，随着科学技术的进步，目标涵盖的范围也越来越广。

所谓目标易损性，是指目标对于破坏的敏感性。

1.2 人 员

人员在战场上易受许多杀伤手段毁伤，其中最重要的手段有破片、枪弹、小箭、冲击波、化学毒剂和生物战剂，以及热辐射和核辐射等。尽管毁伤人体的方式不同，但最终目的都是使人丧失行使预定职能的能力。

1.2.1 丧失战斗力的判据

按照当前关于杀伤威力标准的规定，所谓一名士兵丧失战斗力，系指他丧失了执行作战任务的能力。士兵的作战任务是多种多样的，取决于他的军事职责和战术情况的不同。在定义丧失战斗力时，应考虑四种战术情况：进攻、防御、充当预备队和后勤供应队。无论哪种情况，看、听、想、说能力被认为是必要的基本条件，丧失了这些能力，也就丧失了战斗力。

在进攻条件下，士兵首先需要利用的是手臂和双腿的功能，能够奔跑并灵活地使用双臂，这是进攻的理想条件，若士兵不能移动，或不能操纵武器，则认为士兵丧失了进攻的战斗力。在防御中，只要士兵能够操纵武器就有防御能力，所以，若士兵不能移动，又不能使用武器，则认为士兵丧失了防御能力。预备队和后勤供应队更易丧失战斗力，他们可能由于受伤就不能投入战斗。

丧失战斗力判据中常采用时间因素，是指自受伤直到丧失功能而不能有效地执行战斗任务为止的时间。

各种心理因素对于丧失战斗力也具有毋庸置疑的作用，他们甚至能够瓦解整个部队的士气。

现行的杀伤判据主要在于确定创伤效应与人体四肢功能的关联。所以,在分析一名士兵是否具有执行战斗使命的能力时,应以他使用四肢的能力为主要依据。当然,在任何战斗条件下,某些重要器官如眼睛、心脏等直接受到损伤时,都会使人立即丧失战斗力。

1.2.2 破片、枪弹和小箭

为了定量地讨论人员对破片、枪弹和小箭的易损性,目前常用命中一次使目标丧失战斗力的条件概率来表述。该概率是根据破片、枪弹或小箭的质量、迎风面积、形状和着速确定的,因为这些因素将决定着创伤的深度、大小和轻重程度。所以,上述诸因素应针对各种不同作战情况和从受伤到丧失战斗力所经过的时间来具体评价。

1. 杀伤标准

为了评价反步兵武器的杀伤概率,必须制定一个定量的杀伤标准。所谓杀伤标准是指有效地杀伤目标时杀伤元素参数的极限值。在以前的分析方法中认为,只有毙命或重伤才能使士兵丧失战斗力。基于这种分析,破片、枪弹和小箭的杀伤标准有几种。

(1) 动能标准

破片、枪弹或小箭杀伤目标一般只以击穿为主,而击穿则是靠动能来完成的,所以通常用破片、枪弹或小箭的动能 E_d 来衡量其杀伤效应

$$E_d = \frac{1}{2} m V_0^2 \quad (1-2-1)$$

式中, m 为破片、枪弹或小箭的质量; V_0 为破片、枪弹或小箭与目标的着速。

对于人员,杀伤概率的标准定为 78.4 J。78.4 J 标准是一种陈旧的杀伤威力标准,它以粗略的形式规定,动能小于 78.4 J 的破片、枪弹或小箭,不能使人致命,大于 78.4 J 就能使人致命。这种判据大致只使用于不稳定的特重破片,而不适用于衡量现代的杀伤元素。的确,即使在少数常见致伤情况下,人体的功能效应就足以证明,单一而简单的动能标准不适用于一般情况。

(2) 比动能标准

由于破片的形状很复杂,飞行过程中又是不稳定的,因此破片与目标遭遇时的面积是随机变量,故用比动能 e_d 来衡量破片的杀伤效应较动能更为确切

$$e_d = \frac{E_d}{A} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{A} V_0^2 \quad (1-2-2)$$

式中, A 为破片与目标遭遇面积的数学期望值。

1968 年斯佩拉扎(J. Sperrazza)等人用不同直径的子弹对皮肤进行射击,实验表明,穿透皮肤所需的最小着速(弹道极限) V_l 在 50 m/s 以上,侵入肌体 2~3 cm 时,所需弹道极限在 70 m/s 以上,并提出其速度与断面比重的关系式为

$$V_1 = \frac{125}{\bar{S}} + 22 \quad (1-2-3)$$

其中, $\bar{S} = m/A$ 。

这时, 穿透皮肤所需的最小比动能关系式可表示为

$$e_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{A} V_1^2 \quad (1-2-4)$$

显然, 对于一定厚度的皮肤, 其 e_1 值是一定的。在惯用的杀伤标准中, 对人员一般取 $e_1 = 160 \text{ J/cm}^2$ 。有关人员通过对创伤弹道学的研究, 提出擦伤皮肤的最小比动能为 $e_1 = 9.8 \text{ J/cm}^2$ 。

(3) 破片质量标准

为直观地表示破片对目标的杀伤概率, 过去还曾采用过破片质量杀伤标准。对一般以 TNT 炸药为主的弹药, 其壳体形成的破片初速往往在 $800 \sim 1\,000 \text{ m/s}$, 这时杀伤人员的有效破片质量一般取 1.0 g , 随着破片速度增大, 也有取 0.5 g 甚至 0.2 g 为有效破片。所以, 破片质量标准, 实质上仍是破片动能杀伤标准。

(4) 破片分布密度标准

弹药爆炸形成杀伤破片在空间的分布是不连续的, 且随破片飞行距离的增大, 破片之间的间隔也愈大。因此, 就单个破片而言, 并不一定能够命中目标。可见, 单纯的规定破片动能、比动能或质量作为杀伤标准是不全面的, 还必须考虑破片的分布密度要求。显然, 有效破片的密度愈大, 命中目标和杀伤目标的概率就愈大。

2. 杀伤概率

杀伤判据本是在生物实验研究的基础上制定出来的, 并且在医学上建立杀伤判据与人体生理构造之间的联系。这方面的工作正随着创伤弹道学的深入研究而迅速发展, 因此现行的杀伤标准可能必须予以修改, 以适应现代的杀伤元素。1956 年艾伦 (F. Allen) 和斯佩拉扎曾提出一个考虑士兵的战斗任务和从受伤到丧失战斗力所需时间的关系式

$$P_{hk} = 1 - e^{-a(91.36mV_0^{\beta} - b)^n} \quad (1-2-5)$$

式中, P_{hk} 是表示钢破片 (枪弹或小箭) 的某一随机命中使执行给定战术任务的士兵丧失战斗力的条件概率; m 为破片质量 (g); V_0 为着速 (m/s); a 、 b 、 n 和 β 是根据不同战术情况和从受伤到丧失战斗力的时间而由实验得到的常数, 其中 $\beta = 3/2$ 与实验吻合较好。

在考虑四种标准战术情况下, 即防御 0.5 min 、突击 5 min 和后勤保障 0.5 d 条件下, 杀伤士兵所需要的最长时间可参见表 1-2-1。四种情况下的 a 、 b 和 n 值见表 1-2-2 和表 1-2-3。杀伤概率 P_{hk} 的变化曲线如图 1-2-1~图 1-2-4 所示。应当指出, 这些图表是根据几种质量和几种撞击速度的钢破片的实验数据得到的, 它显然较之过去的粗略判据前进了一步, 但仍很不完善。随着更多的实验数据的获取及高新技术的采用, 杀伤判据预期会得到改进和完善。