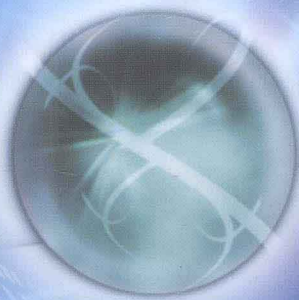




国防特色教材·兵器科学与技术



目标易损性

MUBIAO YISUNXING

李向东 杜忠华 编著

 **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

目标易损性

李向东 杜忠华 编著



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 提 要

本书分析了常规弹药形成的毁伤元、毁伤元的分布规律及其对目标的毁伤机理,介绍了人员、飞机、车辆、导弹、舰船、建筑物等战场常见目标的结构特点及易损特性,重点阐述了战场目标的易损性评估理论,内容主要包括目标结构、功能、关键部件及其分析方法,目标的毁伤级别及其划分原则,关键部件的毁伤准则,部件毁伤与目标毁伤的关系,目标易损性的度量,不同毁伤元作用下目标易损性的评估方法和技术等内容。

本书既可用做弹药工程、武器系统及运用工程等专业的研究生教材,又可作为弹药终点效应、弹药效能评估、武器系统效率分析、战场毁伤评估及战场目标设计等科研人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

目标易损性/李向东,杜忠华编著. —北京:北京理工大学出版社,2013. 1

ISBN 978-7-5640-7235-3

I. ①目… II. ①李… ②杜… III. ①目标-损坏-研究 IV. ①O22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 004988 号

目 标 易 损 性

李向东 杜忠华 编著

责任编辑 王玲玲

*

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>

北京泽宇印刷有限公司印刷 全国各地新华书店经销

*

开本:787 毫米×960 毫米 1/16 印张:16.25 字数:326 千字

2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷 印数:1—3000 册

ISBN 978-7-5640-7235-3 定价:45.00 元

前 言

目标易损性是指在战斗状态下,目标被发现并受到攻击而损伤的难易程度。目标易损性研究的目的是提高战场目标在弹药作用下的抗毁伤及生存能力。此外,对武器弹药系统的论证、研制、效能评价、靶场验收、目标防护的设计与改进、战场指挥、弹药使用、各种战场目标的操纵和防护都具有非常重要的意义。

国外非常重视目标易损性的研究工作,很早就开始了相关的研究,如美国在目标易损性方面的研究已经经历了三个阶段:第二次世界大战结束之前为第一阶段,是该领域的初级阶段,该阶段主要以试验方法进行易损性研究,为目标易损性研究提供了大量的基础数据,使人们对目标的毁伤机理和规律有了深入的认识;第二次世界大战结束到20世纪60年代末为第二阶段,该阶段主要探索和研究以理论分析、综合计算为主的易损性评估方法,并成立了弹药效能/目标生存能力联合技术协调组(简称JTTCG),专门进行这方面的研究和协调工作;20世纪70年代初期至今,为第三个阶段,该阶段的特点是全面应用计算机模拟的方法进行目标易损性评估和计算,并实现了目标设计与易损性评估的无缝对接。

国内自20世纪80年代开始开展目标易损性的研究工作,先后进行了装甲目标、飞机、巡航导弹、舰船、地下工事等典型目标的易损特性研究,获得了一些试验数据,并初步建立了目标易损性评估理论和方法。但是,国内还没有系统介绍目标易损性的相关书籍,为了科研和研究生教学的需要,结合目标易损性的研究成果以及国内外的相关资料,特编写了本书。

目标易损性包括战术易损性和结构易损性,本书主要介绍目标的结构易损性,内容包括人员、飞机、车辆、战术导弹、舰船目标、建筑物等战场常见目标的结构特点、易损特性以及影响目标易损性的因素,各种毁伤手段作用下目标易损性的评估理论、方法和技术。

本书共分8章,其中第1~第6章由南京理工大学李向东教授编著;第7、第8章由南京理工大学杜忠华研究员编著。

本书在编写过程中,参考了大量国内外相关文献资料,在此,对文献资料的原作者表示谢意。北京理工大学的蒋浩征教授和南京理工大学的赵国志教授对本书进行了认真评阅,提出了许多宝贵的意见,在此编者对他们表示衷心的感谢。

本书插图由南京理工大学的秦仕勇、许化珍和李庆珍三位研究生绘制,对他们所付出的辛勤劳动表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,望读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 目标易损性的概念	1
1.2 目标易损性研究的国内外发展动态及趋势	2
1.3 目标易损性研究的意义	7
1.4 目标易损性的度量指标	8
1.5 目标易损性研究方法	8
参考文献	8
第 2 章 目标易损性评估理论	12
2.1 弹药作用原理及毁伤元分析	12
2.1.1 弹药及其作用原理	12
2.1.2 毁伤元及其毁伤特性	13
2.1.3 毁伤元的作用域及毁伤元特征度的分布	15
2.1.4 毁伤场	16
2.2 战场目标分析	16
2.3 目标的功能及结构分析	18
2.4 目标的毁伤及毁伤级别	20
2.5 目标关键部件分析	22
2.5.1 失效/毁伤模式及影响分析法	23
2.5.2 毁伤树分析法	24
2.6 部件的毁伤准则	28
2.6.1 毁伤准则的定义和形式	28
2.6.2 部件毁伤准则的建立	31
2.7 目标的易损性评估	34
参考文献	36
第 3 章 人员目标易损性	38
3.1 杀伤人员目标的毁伤元及杀伤机理	38
3.1.1 破片和枪弹对人员的杀伤	38
3.1.2 冲击波对人员的杀伤	44

3.2 杀伤人员目标的判据	50
3.2.1 人员目标丧失战斗力概念及影响因素	50
3.2.2 人员目标丧失战斗力的准则	51
3.3 人员目标在破片场作用下的易损性	57
3.3.1 破片的初速及速度衰减	57
3.3.2 破片密度	60
3.3.3 人员目标的易损性评估	61
参考文献	62
第4章 飞机目标易损性	63
4.1 飞机构造	63
4.1.1 飞机的构造特征	63
4.1.2 固定翼飞机的常规布局及系统组成	63
4.2 飞机目标主要毁伤模式分析	68
4.3 飞机相对于动能侵彻体的易损性	70
4.3.1 单个毁伤元打击下的易损性评估	72
4.3.2 多次打击下飞机的易损性评估	78
4.4 战斗部在飞机目标内部爆炸的易损性	88
4.5 外部爆炸破片场作用下飞机目标的易损性	89
4.5.1 坐标系	90
4.5.2 战斗部爆炸形成的破片流	92
4.5.3 破片流密度	98
4.5.4 和目标遭遇的破片参数	101
4.5.5 破片流对目标结构的毁伤	103
4.5.6 破片对目标要害部件的毁伤	104
4.5.7 目标的毁伤概率	107
4.6 外部爆炸冲击波作用下的易损性	107
参考文献	108
第5章 车辆目标易损性	110
5.1 车辆目标分析	110
5.1.1 车辆目标类型	110
5.1.2 典型装甲车辆系统组成及结构	111
5.1.3 装甲类型	114
5.2 反车辆目标弹药	116

5.2.1 穿甲弹	116
5.2.2 破甲弹	117
5.2.3 杀伤爆破战斗部	119
5.2.4 反车辆目标地雷	119
5.3 装甲车辆目标的毁伤机理及毁伤级别	119
5.3.1 车辆目标的毁伤级别	120
5.3.2 装甲车辆目标的毁伤机理	120
5.4 反装甲弹药对装甲的侵彻能力	124
5.4.1 杆式穿甲弹对装甲的侵彻能力	124
5.4.2 射流对装甲的侵彻能力	128
5.4.3 爆炸成型弹丸对装甲的侵彻能力	131
5.5 靶后破片分布特性	131
5.5.1 正撞击靶后破片分布特性	132
5.5.2 斜撞击靶后破片分布特性	136
5.6 装甲车辆目标易损性的评估	140
5.6.1 易损性评估列表法	140
5.6.2 受损状态分析法	148
参考文献	156
第 6 章 战术导弹易损性	158
6.1 战术导弹结构及组成	158
6.1.1 战术导弹的载荷	158
6.1.2 战术导弹的动力舱段	160
6.1.3 战术导弹的导引和控制导舱	162
6.2 关键部件及失效模式	163
6.3 战术导弹对冲击波的易损性	165
6.3.1 近区冲击波效应	165
6.3.2 远区冲击波效应	166
6.4 爆炸方程和相似定律	169
6.5 破片侵彻机理	172
6.5.1 THOR 侵彻方程	172
6.5.2 破片侵彻模型	173
6.5.3 靶后二次破片	178
6.6 杆条侵彻机理	180
6.6.1 杆条侵彻的极限穿透速度	180

6.6.2 金属杆对薄靶板的切口长度	181
6.7 爆炸冲击波和破片对导弹结构的毁伤	182
6.8 引爆弹药的碰撞弹道	185
6.8.1 冲击起爆模型	186
6.8.2 入射角的影响	189
6.9 集束弹药对破片的易损性	191
6.10 液压水锤效应	191
参考文献	194
第7章 舰船目标易损性	196
7.1 舰船目标分析	196
7.1.1 潜艇的结构及性能参数	196
7.1.2 航空母舰的结构及性能参数	199
7.2 反舰弹药对舰船的毁伤模式	203
7.2.1 侵彻毁伤	204
7.2.2 破片毁伤	204
7.2.3 爆炸毁伤	204
7.2.4 引燃毁伤	205
7.3 舰船的破坏标准	205
7.3.1 冲击波峰值标准	205
7.3.2 冲击因子标准	205
7.3.3 冲击加速度标准	206
7.4 舰船结构在接触爆炸载荷作用下的毁伤	208
7.4.1 接触爆炸的破坏半径	208
7.4.2 接触爆炸的破孔宽度	208
7.5 舰船结构在非接触爆炸载荷下的毁伤	209
7.5.1 水下爆炸载荷	210
7.5.2 水下爆炸冲击波	213
7.5.3 气泡的脉动	213
7.5.4 气泡脉动引起的压力	214
7.5.5 水下爆炸载荷的半经验公式	215
7.5.6 水下爆炸作用下舰船结构毁伤评估	218
7.6 舰船设备毁伤评估	224
7.6.1 直接破坏引起的设备破坏模式分析	224
7.6.2 冲击引起设备的破坏模式分析	225

7.6.3 舰船设备的冲击破坏判据	226
参考文献	226
第8章 建筑物易损性	229
8.1 混凝土目标特性	229
8.1.1 混凝土材料的特性	229
8.1.2 地面建筑目标	230
8.1.3 地下建筑目标	232
8.2 反建筑物目标战斗部	234
8.2.1 侵爆战斗部	234
8.2.2 串联侵彻战斗部	235
8.3 建筑物目标的毁伤模式	236
8.3.1 侵彻毁伤	236
8.3.2 目标腔室内的爆炸毁伤	241
8.3.3 目标防护介质中的爆炸毁伤	242
8.4 建筑物的易损性分析	244
8.4.1 地面建筑物易损性分析	244
8.4.2 地下建筑物易损性分析	245
参考文献	247

第1章 绪 论

1.1 目标易损性的概念

目标易损性是指在战斗状态下,目标被发现并受到攻击而损伤的难易程度,包括战术易损性和结构易损性^[1-1]。

战术易损性是指目标被探测装置(如红外、雷达或其他探测器)探测到、被威胁物体(如动能弹丸、破片、冲击波、高能激光束等)命中的可能性,也称为目标的敏感性,可用 P_H 来衡量,指目标被毁伤元命中的概率。其与下列因素有关:目标的特性(例如,无烟引擎,小尺寸以减少被发现概率;高机动性,用以躲避对方威胁的攻击);对抗装置(用以防止被探测或用于欺骗导弹的电子对抗装置,以及用于压制跟踪雷达的反雷达导弹);所运用的战术(例如利用地形、地势、气候条件等避免探测);此外,还与对方的探测、跟踪、打击以及战术运用等能力有关。

结构易损性是指目标在被探测到的条件下,在弹药的毁伤元素(如破片、冲击波、金属射流等)作用下被毁伤的可能性。结构易损性通常用 $P_{K/H}$ 来度量,实际上是一种条件概率,指目标在命中条件下被毁伤的概率。结构易损性受以下因素影响:关键部件在经受某种毁伤元素作用后能继续工作的能力(例如,直升机传动装置在失去润滑油后可持续工作 30 min);可以避免和抑制对关键部位损伤的设计手段和装置,例如关键部件的冗余、防护以及合理的布置。

本书主要介绍分析目标的结构易损性,后面文中所讲易损性均指目标的结构易损性。

假设目标在敌对环境被毁伤的容易程度用毁伤概率 P_K 来表示,它等于击中目标概率(敏感性) P_H 和给定的一次命中后毁伤目标的概率(易损性) $P_{K/H}$ 的乘积,即

$$\text{毁伤概率} = \text{敏感性} \times \text{易损性}$$

或

$$P_K = P_H P_{K/H}$$

目标在敌环境下能够生存的能力用生存概率 P_S 来度量,则它与 P_K 的关系可由下式表示:

$$P_S = 1 - P_K = 1 - P_H P_{K/H} \quad (1.1.1)$$

可见,目标的易损性越高,其被毁伤的可能性越大,生存能力越低。为了提高目标的战场生存能力,可以通过降低目标的敏感性和易损性两个方面来实现,表 1.1.1 分别列出了降低目标敏感性和易损性的一些措施^[1-2]。

表 1.1.1 提高生存力的措施

敏感性降低	易损性降低
威胁告警	部件冗余和分离
干扰和欺骗	部件布置
信号减缩	被动损伤抑制
可放弃或牺牲的人员或装备	主动损伤抑制
威胁抑制	部件屏蔽
战术	部件消除

如表 1.1.1 所示,目标的敏感性可通过使用被动告警系统来减少,被动告警系统可以告知目标的驾乘人员针对目标的威胁或一个朝向目标的跟踪系统的类型和位置;干扰和欺骗装置可用来阻止跟踪系统发现目标或向跟踪系统发送一个假的目标信号,如雷达干扰技术(箔条、红外线闪光弹)可以提供一个供目标藏匿的屏障,或作为一个比目标更具有吸引力的诱饵;信号减缩或可见性减少(各种隐身技术)使目标更难被探测及被跟踪;威胁抑制可以借助于各种武器装备和伴随的支援火力来破坏敌方的跟踪或拦截打击各种威胁。此外,战斗部队可以采用适当的战术将目标暴露于威胁之下的可能性减至最小,从而达到减小敏感性的目的,这种战术是通过利用地形和天气来隐蔽目标。

可以通过部件冗余、部件布置、被动损伤抑制、主动损伤抑制、部件屏蔽和部件消除等六种措施降低目标的结构易损性。部件的冗余和分离就是用多于一个的部件来完成一个重要功能,并且冗余部件必须被有效地分开,目的是为了将单次击中就使一个以上的冗余部件受损的概率减至最小;部件布置是指将关键和致命性部件的位置科学合理地布置,使其受损伤的可能性和程度减至最小;被动或主动损伤抑制概念是通过被动防护或主动拦截减小部件的损伤效应来降低易损性,通过非关键部件的遮挡防止毁伤元素击中关键部件;部件消除是通过去除关键部件或用不太易损的部件来代替关键部件。

1.2 目标易损性研究的国内外发展动态及趋势

国外很早就开始了目标易损性的研究,如美国在目标易损性方面的研究已经经历了三个阶段,第二次世界大战结束之前为第一阶段,是该领域的初级阶段;第二次世界大战结束到 20 世纪 60 年代末为第二阶段,并成立了专门的组织——弹药效能/目标生存能力联合技术协调组(简称 JTCCG),进行这方面的研究和协调工作;20 世纪 70 年代初期至今,为第三个阶段,这个阶段的特点是应用计算机进行模拟和计算。^[1-3]

早期的研究主要是从弹药的角度出发,通过对目标的射击试验,提高弹药的威力和效能。据史料记载,早在 1860 年就进行过线膛炮对地面防御甲板的射击试验。此后,各种穿甲威力

试验纷至沓来。如,1861年,对由不同材料组成的装甲板的试验;1862—1864年,用10.5英寸^①口径大炮对模拟舰船目标进行的实弹射击试验;1871年,对带有双层装甲的模拟舰船的试验;1872年,对军舰炮塔的试验^[1-3]。20世纪,由于两次世界大战对弹药性能的需求,这种研究得到空前广泛的开展,各种各样高威力、高效能的新式武器弹药(如导弹、原子弹等)相继研制成功并投入使用。同时,一系列新发明(如坦克、飞机等)付诸军用。尤其在第二次世界大战期间,大量的飞机在战争中丧失,使人们意识到目标抗毁伤能力的研究是非常重要的。至此,这种研究出现了新的变化,开始从目标的角度研究其易损特性。

许多国家相继投入大量的人力、物力进行关于目标易损性的研究工作。例如,美国在第二次世界大战后不久,就制订了关于飞机易损性的研究计划,目的是研究飞机及其部件对各种弹药的易损性。该计划规模非常庞大,当时仅次于对核武器效应的研究,而居于第二位^[1-4]。同时,对其他各种战场目标也进行了大量的全尺寸实物射击试验。如,1959年在加拿大进行了名为 CAREDE 的试验,400发反坦克弹药对装甲车辆(包括美国的 M-47 和 M-48 坦克)进行了真实射击试验;1963—1976年,又进行了各种各样的全尺寸试验,包括小成型装药战斗部对装甲运输车(110发于1964年),HE弹丸对坦克(228发于1971年),30 mm GAU-8 弹药对坦克(153发于1975年),大口径动能弹丸对坦克(6发于1976年)的试验^[1-5]。

这种基于试验手段的易损性研究方法,为目标易损性研究提供了大量的基础数据,使人们对目标的毁伤规律有了较为深入的认识。但是试验工程浩大,限制因素诸多,且费用极高,例如,M2/M3 Bradley 战车的毁伤试验,成本高达75万~100万美元/发^[1-5],这样巨额的研究费用即使是发达国家也是较难承受的。所以,一些发达国家开始探索和采用以理论分析、综合计算为主的新的易损性研究方法。高速计算机的出现和快速发展,为这种新的易损性研究方法提供了必要的条件和可行性。

计算机模拟方法的特点是基于积累得到的丰富的试验、经验数据,根据目标、弹药及毁伤机理的内在规律,按照一定的数学模型,对它们的特性进行模拟^[1-6],然后通过计算得出目标在弹药作用下的易损性,这些计算机程序或模型主要分为四类:射线生成、易损面积程序、内爆程序和终点程序。前两类程序用于侵彻体和单个破片的毁伤,第三类用于杀伤战斗部内部爆炸,第四类用于杀爆战斗部的近炸模式。

1. 射线生成

该程序生成目标的射线形式的描述,为易损面积计算代码输入数据,该程序通常用一套基本几何形体或者平面多边形建立目标及其内外部部件的模型。射线描述方法是沿着射弹攻击方向将目标划分为许多单元格,如图1.2.1所示,沿通过每个单元格的大量平行射线生成易损性评估所需的目标几何信息,射线的位置和数目通过网格大小来控制,每根射线的位置在单元格内是随机的,并列出每根射线贯穿的平面清单,记录射线的位置、平面号、射线和平面法线

^① 1英寸=2.54厘米。

的夹角、内部部件之间的距离,对平行于攻击方向的射线都重复上述过程。由此可以算出每个视图方向的部件和目标的呈现面积,目标的呈现面积是将与目标交叉的射线数目和单元格面积相乘得到的。

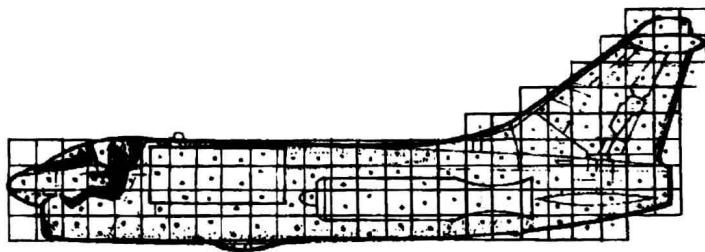


图 1.2.1 射线网格

射线生成程序有两个系列,分别是 MAGIC、GIFT 系列和 SHOTGEN、FASTGEN 系列。MAGIC 和 GIFT 代码(源程序)是美国陆军弹道研究所开发的^[1-7~1-9],这些代码使用组合几何的方法,用基本的几何形体如球体、立方体、圆柱体、椭圆体的组合来描述部件。GIFT 是 MAGIC 的改进版本,其特点是输入简单,计算效率高,并具有计算机图形显示功能。图 1.2.2 是使用组合几何方法建立的目标模型外观图。第二个系列有 SHOTGEN 和最近开发的 FASTGEN、FASTGEN II 程序,它们都使用了平面三角形方法描述部件的表面。SHOTGEN 由海军武器中心开发,FASTGEN 和 FASTGEN II 是 SHOTGEN 的改进版本,是由空军宇航局开发的。图 1.2.3 和图 1.2.4 为用平面三角形方法描述的飞机模型的外观和内部部件图^[1-10~1-12]。

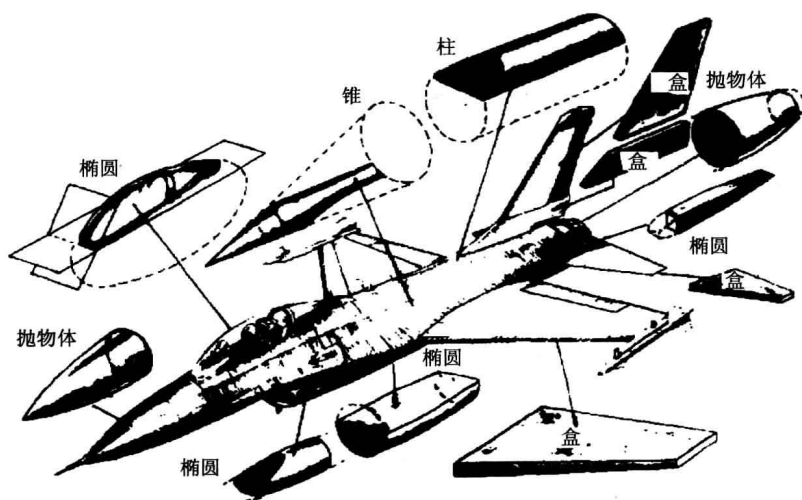


图 1.2.2 飞机的组合几何模型

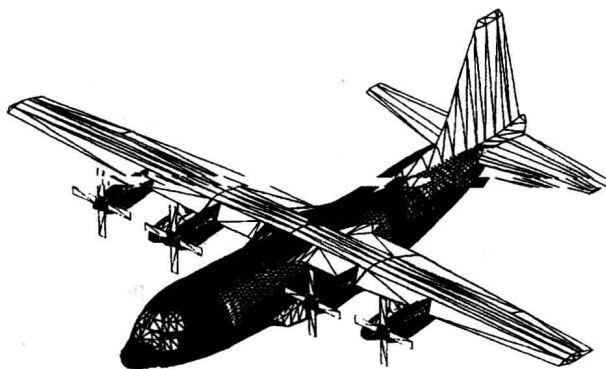


图 1.2.3 用平面三角形方法描述的飞机模型(外部)

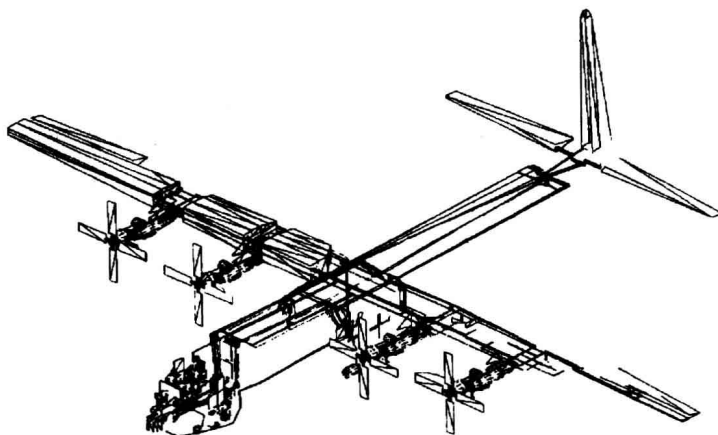


图 1.2.4 用平面三角形方法描述的飞机模型(内部)

2. 易损面积程序

这些程序可以计算生成部件和整个目标在单个侵彻体和破片作用下的易损面积。易损面积计算程序可以分为两组,一组是详细的,或者说是分析程序,它用射线方法计算易损面积;另一组是简化的,或者说是估算程序,它利用简化的方法确定易损面积。分析程序通常用于要求深入研究的问题,并且有助于前期设计研究的潜力,在这些研究中,可以利用的技术性描述数据非常有限。估算程序用于只要求粗略分析的问题。

(1) 分析程序

程序 VAREA、VAREA02 和 COVART 属于详细组,这些程序的输入包括目标描述模型(由射线程序生成)、单个侵彻体作用下的部件毁伤概率、经验的终点弹道侵彻数据和武器特性

数据。部件和目标的易损面积以表格的形式输出。

VAREA 是该组三个程序中最古老、最不全面的程序,它于 1965 年由海军武装中心开发,用于分析破片式战斗部作用下的目标易损性,它使用 THOR 公式计算侵彻体沿着射线穿透部件时的质量和速度衰减。VAREA02 程序于 1973 年开发完成,是从 VAREA 程序演化而来的。它增加的功能包括射弹穿透的模式、空气间隙着火模型、余度部件模型,使用 DRI 侵彻公式替代 THOR 方程^[1-13]。

COVART(易损面积和修复时间的计算)是目前较好的易损面积计算程序,它集中了 VAREA02 程序和 HART 程序(直升机易损面积计算程序)的所有特点并增加了战场损伤修复时间模型^[1-3]。

(2) 估算程序

COMVAT 程序是另一组程序的代表,是简单的程序代码。该程序是为满足快速易损面积计算的需求而开发的。该程序适宜于复杂的程序行不通或不合适的情况,如目标概念设计阶段的易损性分析。该程序不如详细程序精确,但它们需要考虑的影响因素较少,计算机运行时间短^[1-3]。

COMVAT 专门用于计算飞机关键部件对射弹作用下的易损面积。它与分析程序的原理相同,但它不用射线方法来描述目标,而根据部件的遮挡条件计算部件的易损面积。用 THOR 方程模拟射弹的速度衰减,并忽略破片的二次效应、射弹攻角和射弹破碎等因素的影响。

3. 内爆程序

在弹药效能联合技术协调组(JTCG/ME)的指导下,开发了几个计算弹药在目标内部爆炸时的目标易损性计算程序,这些程序被称为点爆程序,最有名的是 POINTBURST 程序^[1-14]。

4. 终点程序

终点程序主要是分析在具有近炸引信的杀伤战斗部作用下目标的易损性,通常模拟战斗部爆炸、冲击波传播、破片飞散及对目标的撞击与侵彻等过程。目前常用的四个终点程序是 SYSYSTEM II、SCAN、ATTACK 和 REFMOD(MECA)。另一个程序是 SHAZAM,目前已快开发完成^[1-3]。

(1) SYSTEM II

该程序是 1977 年由美空军宇航局开发的,用于评估非核导弹战斗部作用下空中目标的易损性。可以计算直接命中、破片杀伤和冲击波等对目标的作用。可生成目标的毁伤轮廓图。

(2) SCAN

SCAN 程序是 1976 年在美国 JTCG/AS 所属的海军太平洋导弹试验中心的管理下开发的。SCAN 的功能是预估飞机受导弹战斗部攻击时的生存概率。可预估飞机受直接命中、破

片杀伤和冲击波等作用下的毁伤情况。

(3) ATTACK

ATTACK 是美国海军导弹中心开发的终点程序,用于预估导弹探测和摧毁空中目标的能力。程序考虑了直接命中、冲击波、单个破片和多个破片的杀伤,同时模拟了终点遭遇条件。

(4) REFMOD(MECA)

REFMOD 程序是 1981 年开发的,该程序是在 JTCG/ME 防空导弹评估小组的资助下完成的。REFMOD 集成了现有终点程序的算法,并且增加了一些显著的功能,使得该程序能与其他易损性方法一起进行战斗部效能/目标易损性的综合评估^[1-15]。

(5) SHAZAM

该程序由空军装备试验室开发,用以评估空-空导弹的效率。程序依次评估导弹直接命中目标的可能性、冲击波对目标结构产生的超压效应,以及战斗部破片对目标结构和关键部件打击的累积效应。用离散面描述目标及内部部件的大小、外形及位置,每个离散面对直接命中、冲击波或破片都是易损的。每个部件/离散面的杀伤准则由用户提供。该程序使用了许多 SHOTGEN 和 VAREA 程序的目标描述数据,因而更经济。

国内从 20 世纪 80 年代开始开展目标易损性的研究工作,经过持续和系统的研究工作,逐步建立和完善了目标易损性评估理论^[1-16],提出了一些易损性评估的新方法,如基于 BP 神经网络技术的新的易损性分析方法^[1-17]、射击线技术和 Monte Carlo 随机模拟方法^[1-18]等。进行了先进装甲目标^[1-19,1-20]、巡航导弹^[1-21]、飞机、舰船^[1-22]、地下工事^[1-23]等典型目标的易损特性研究与评估。

在装甲车辆的易损性研究方面,以性能降低程度为依据,构建了主战坦克各功能子系统的功能毁伤树图;开发了典型反坦克弹药对主战坦克目标易损性分析仿真系统,得到了主战坦克整体毁伤概率随打击速度、打击方位角等参数的变化规律。在导弹的易损性研究方面,建立了部件水平的巡航导弹易损性分析模型,并对破片战斗部打击下某巡航导弹目标的易损性进行了分析与毁伤评估;建立了预测舰艇在冲击荷载作用下易损性的计算模型以及地下目标的等效靶,为反坦克、反导、反舰以及反地下深层目标的弹药战斗部设计提供了重要的参考依据。此外,还进行了目标等效靶及部分实物的毁伤试验研究,获得了一些易损性试验数据,并开发了目标易损性评估计算机模拟仿真平台,这些工作推进了国内目标易损性学科的向前发展。

随着战场上新型目标和毁伤手段的出现,为目标易损性的研究注入了新的研究内容,主要表现在以下几个方面:各种探测、制导、控制等电子元器件或系统的毁伤机理及准则的研究;新的威胁手段(如电磁、微波、激光等)作用下目标易损性分析方法、理论以及相关的试验和测试技术研究;新的目标易损性评估理论和方法研究;高精度目标易损性评估的计算机模拟与仿真技术的研究。

1.3 目标易损性研究的意义

最早的易损性研究主要目的是为了提高目标在弹药作用下的抗毁伤能力及生存能力。随