

云爆弹对地面人员综合杀伤的仿真评估研究

刘想炎, 黄振贵, 陈秋元, 吴国袁, 李其然, 陈志华

引用本文:

刘想炎, 黄振贵, 陈秋元, 等. 云爆弹对地面人员综合杀伤的仿真评估研究[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(8): 103-106+147.

您可能感兴趣的其他文章

1. 杀爆弹破片与冲击波对地面人员目标综合毁伤

引用本文: 朱继业, 郑纯, 孙晓晖, 等. 杀爆弹破片与冲击波对地面人员目标综合毁伤[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(4): 1-4.

2. 某小型强光爆震弹爆炸仿真研究

引用本文: 马永忠, 赵法栋. 某小型强光爆震弹爆炸仿真研究[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(5): 65-69.

3. 强光爆震弹安全性优化设计

引用本文: 马永忠, 刘加凯. 强光爆震弹安全性优化设计[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(8): 63-67.

4. 电子对抗对防空作战效果影响的定量评估

引用本文: 姜广顺, 于海涛, 黄院生, 等. 电子对抗对防空作战效果影响的定量评估[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(6): 170-173.

5. 基于射击线技术的杀爆战斗部杀伤面积计算

引用本文: 应国淼, 董桂旭, 肖师云. 基于射击线技术的杀爆战斗部杀伤面积计算[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(11): 20-23.

云爆弹对地面人员综合杀伤的仿真评估研究

刘想炎^{1a}, 黄振贵^{1b}, 陈秋元^{1a}, 吴国袁^{1a}, 李其然², 陈志华^{1b}

(1. 南京理工大学 a. 能源与动力工程学院; b. 瞬态物理国家重点实验室, 南京 210094;

2. 中国航天科技集团公司八院八部, 上海 200233)

摘要: 为了建立提出地面战场中云爆弹对人员综合杀伤作用的评判标准, 结合超压和热辐射作用建立了云爆弹的综合毁伤概率评估模型, 通过计算机仿真, 得到了特定条件下的仿真杀伤概率图。研究分析了不同云爆剂含量和爆炸高度下综合杀伤概率曲线, 揭示了其对人员综合杀伤效果的影响。研究表明, 该杀伤概率仿真模型可以用于对云爆弹的战场杀伤效果评估。

关键词: 云爆弹; 综合毁伤; 人员目标; 仿真模型; 杀伤评估

本文引用格式: 刘想炎, 黄振贵, 陈秋元, 等. 云爆弹对地面人员综合杀伤的仿真评估研究[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(08): 103-106, 147.

Citation format: LIU Xiangyan, HUANG Zhengui, CHEN Qiuyuan, et al. Simulation Evaluation of Comprehensive Killing Effect of FAE on Ground Personnel Targets[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2020, 41(08): 103-106, 147.

中图分类号: TJ414. + 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-2304(2020)08-0103-04

Simulation Evaluation of Comprehensive Killing Effect of FAE on Ground Personnel Targets

LIU Xiangyan^{1a}, HUANG Zhengui^{1b}, CHEN Qiuyuan^{1a},
WU Guoyuan^{1a}, LI Qiran², CHEN Zhihua^{1b}

(1. a. School of Energy and Power Engineering; b. National Key Laboratory of Transient Physics,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjin 210094, China;

2. Eighth General Design Department, China Aerospace Science and Technology Corporation, Shanghai 200233, China)

Abstract: In order to establish the criterion for the comprehensive killing effect of FAE on the ground battlefield, combined with the effects of overpressure and heat radiation, the comprehensive damage probability assessment model of FAE was established. Through computer simulation, the simulation kill probability under certain conditions was obtained image. The study analyzed the comprehensive killing probability curves of different cloud explosives content and explosion height, and revealed its influence on the comprehensive killing effect of personnel. The research results show that the killing probability simulation model can be used to evaluate the battlefield killing effect and cloudburst characteristics of FAE.

Key words: FAE; comprehensive damage; personnel objectives; simulation model; killing assessment

收稿日期: 2019-09-05; 修回日期: 2019-10-20

基金项目: 南京理工大学本科生科研训练“百千万”计划项目(201810288058); 装备预研重点实验室基金项目(614260403041803); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(309190112A2, 30917012101)

作者简介: 刘想炎(1997—), 男, 主要从事武器发射工程研究, E-mail: 1018804044@qq.com。

通讯作者: 黄振贵(1986—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事兵器发射理论与技术研究, E-mail: hzkeylab@njust.edu.cn。

云爆弹自第二次世界大战出现后,由于其在战场打击中不仅能够直接打击到地面上的人员目标,同时因其云雾性能,还能对地上和地下工事内的人员和设备造成毁伤,成为了当今的热点研究方向。从国内外对云爆弹的研究上来看,主要集中在对云爆弹的弹药和结构设计^[1-2]、云爆弹的云雾生长规律^[3-5]和抛洒特性^[6]、云爆弹的超压分布规律^[7]以及超压威力评估^[8]上的研究。但是随着弹药的发展,云爆弹的杀伤原理不仅仅只有超压作用,当今云爆弹的杀伤机理还包括热辐射、窒息等。但是目前在对于云爆弹的多重杀伤作用的研究上,结合多种杀伤作用形成的仿真评估系统相对较少,而对于实时战场决策来说,打击前对弹药进行杀伤作用评估是必不可少的。

因此,本研究为解决当前云爆弹的综合杀伤评估模型缺失问题,通过结合云爆弹的超压和热辐射作用原理,提出了一种针对地面人员目标的杀伤评估模型,并进行仿真程序的编写,以此为战场实时决策提供依据。

1 综合毁伤模型的建立

1.1 云爆弹作用机理

1.1.1 云爆弹对人员目标的综合杀伤过程

云爆弹的杀伤过程从云爆剂的抛洒形成云雾团开始,云雾团点燃后,首先形成一个巨大的火球,火球内部以及火球周围一段距离内的热辐射作用极强,通过热作用直接对人员造成伤亡;同时,云爆弹在爆炸后还会产生以爆炸点为中心的冲击波,当冲击波峰值及其冲量达到人员受伤阈值时,也会对人员造成杀伤。其次,随着云爆剂的燃烧,氧气消耗量变大,同时还会引起云雾区内其他可燃物的燃烧,加大氧气消耗,从而造成严重缺氧,对人员形成窒息作用。

根据文献[9],云爆弹爆炸后以云雾区为基准,向外依次形成近场和远场,而因为窒息作用主要发生在云雾区内,所以在近场、远场内的窒息作用可以不做考虑。同时在云雾区内还具有很强的超压和热辐射作用,因此在云雾区内超压、热辐射和窒息作用三种效果下人员必然死亡,则云雾区内的人员杀伤效果可直接评定为致死。故在本次仿真模型的建立中不考虑窒息作用,仅结合超压和热辐射两种杀伤作用建立毁伤模型。

1.1.2 超压作用的压力计算和冲量计算

炸药在空气中爆炸后,某点爆轰波的超压峰值会在传播过程中随着与炸点间的距离的增大而衰减。因为在本文的杀伤模型的计算中并未考虑各种杀伤作用的持续时间问题,同时依据文献[8],对于云爆弹的压力峰值计算可采用与云爆弹超压分布计算相同的计算方法,所以距爆炸中心任一距离 R 处的超压峰值的计算公式^[10]为

$$\Delta P_m (\text{MP}) = \begin{cases} 0.0981 \times \left(\frac{14.0717}{\bar{R}} + \frac{5.5397}{\bar{R}^2} - \frac{0.3572}{\bar{R}^3} + \frac{0.00625}{\bar{R}^4} \right) & (0.05 \leq \bar{R} \leq 0.3) \\ 0.0981 \times \left(\frac{6.1938}{\bar{R}} - \frac{0.3262}{\bar{R}^2} + \frac{2.1324}{\bar{R}^3} \right) & (0.3 \leq \bar{R} \leq 1) \\ 0.0981 \times \left(\frac{0.662}{\bar{R}} + \frac{4.05}{\bar{R}^2} + \frac{3.288}{\bar{R}^3} \right) & (1 \leq \bar{R} \leq 10) \end{cases} \quad (1)$$

式中, \bar{R} 为比例距离

$$\bar{R} = R / \sqrt[3]{M_w} \quad (\text{m/kg}^{1/3}) \quad (2)$$

式中: R 为距炸点的距离(m); M_w 为 TNT 炸药质量(kg); 冲量 I 可以根据以下经验公式^[11]:

$$I = \frac{AW^{2/3}}{r} = \frac{A}{R} \sqrt[3]{W}$$

单位, $[I] = \text{kg} \cdot \text{s/m}^2$ 。此式适用范围: $r > 12r_0$, r_0 为装药的半径。其中: I 为爆炸产生的空气冲击波作用在目标上的冲量; W 为该炸药的 TNT 当量(kg), 其中 $W = W_i Q_{vi} / Q_{vTNT}$; W_i 为该炸药的质量; Q_{vi} 为该炸药的爆热(J/kg); Q_{vTNT} 为 TNT 的爆热, $Q_{vTNT} \approx 4187 \text{ J/kg}$; r 为距爆炸中心的距离(m); A 为由实验确定的系数。

1.1.3 热辐射下的热通量计算

云爆弹在飞抵目标上空一定高度时,在抛洒云爆剂后迅速爆炸并形成一个高温火球,在仿真过程中忽略火球的作用时间的长短,直接选用瞬时产生的热通量作为评定对人员杀伤作用的主要参数。热通量计算表达式为^[12]

$$q = 1.253 \times 10^{-7} T^4 \left[1 + 0.0324 \left(\frac{T^{1/3} r}{W_q^{1/3}} \right)^2 \right] \quad (3)$$

式中: q 为距离为 r 处目标接收到的热辐射通量 (W/m^2); r 为测点至爆点的距离(m); T 为火球温度(K); W_q 为基于热通量的 TNT 当量(kg)。

1.2 杀伤准则

人员在超压作用下的杀伤程度,不仅与超压的大小有关,还与超压作用在人员目标上的时间长短有关,同等超压值下作用的时间长短不同,所造成的人员杀伤程度也会不同,所以综合作用时间和超压作用峰值形成以下杀伤准则,可用公式表示为:

$$(\Delta p - p_{cr})(I - I_{cr}) = C$$

式中: Δp 为冲击波超压(Pa); p_{cr} 为引起目标破坏的最小临界超压(Pa); I_{cr} 为引起目标破坏的最小临界冲量(Pa); C 为常数,与目标性质和破坏等级有关。

根据文献[12],超压效应对地面人员目标的毁伤效果范围划分如表1所示。

热辐射作用下,忽略热作用时间,根据文献[12],可划分出了4种杀伤程度的评判标准如表2所示。

表1 超压杀伤准则压力范围

杀伤程度	压力范围/MPa
轻度	$\Delta P_m < 0.04$
中度	$0.04 < \Delta P_m < 0.06$
重度	$0.06 < \Delta P_m < 0.1$
致死	$\Delta P_m > 0.1$

表2 热辐射杀伤准则

杀伤程度	热通量范围/(kW·m ⁻²)
轻度	$q < 6.40$
中度	$6.40 < q < 16.00$
重度	$16.00 < q < 37.50$
致死	$q > 37.50$

在毁伤作用中,可将超压作用毁伤和热辐射作用毁伤看作两个相互独立的事件,则单发云爆弹对地面人员目标的毁伤概率计算公式为:

$$P_{cr} = 1 - (1 - P_c)(1 - P_r)$$

式中: P_c 为超压作用对目标毁伤概率; P_r 为热辐射作用对目标毁伤概率; P_{cr} 为单发云爆弹对地面人员目标综合毁伤概率。

1.3 计算机仿真流程

图1为仿真流程,仿真开始时,输入弹药参数和弹目交汇时弹体末状态参数,包括战斗部装药类型、战斗部装药量、云爆剂喷洒半径、爆高和人员姿势。通过输入参数计算战斗部装药量当量和弹目相对距离。然后计算目标点的热通量和超压,按照杀伤准则表计算各个毁伤效应在目标点的杀伤概率,最后计算对目标点的综合效应杀伤概率^[13]。使用循环过程,计算所有点的综合效应杀伤概率并输出,最后程序结束。

2 综合毁伤结果的仿真计算

在完成仿真程序的编写后,选择人员姿态均为站立,弹药参数如表3所示。

将上述参数代入仿真系统,得出综合杀伤效果如图2~图4所示。

由图2可以得出在该种情况下热辐射杀伤概率大于10%的面积为17 700 m²,由图3可以得出超压杀伤概率大于10%的面积为6 400 m²,热辐射情况下的杀伤面积和超压情况下的杀伤面积百分比为2.77。由图4可以得出,致死面积为1 020 m²、重度杀伤的面积为2 830 m²,中度杀伤面积为

2 510 m²,通过单次打击后,可以根据具体观察的杀伤情况,决定下次打击的位置。

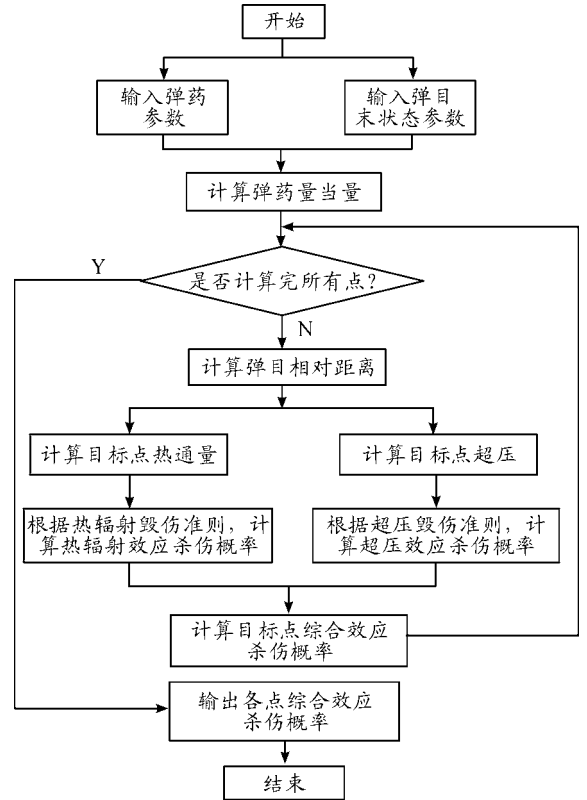


图1 仿真流程框图

表3 弹药基本参数

炸药类型	B 类型
炸药质量/kg	80
炸药爆热/(kJ·kg ⁻¹)	5 045
炸药燃烧热/(cal·g ⁻¹)	2 790
分配系数	0.2
弹药抛洒高度/m ²	30
云雾抛洒半径/m ²	18

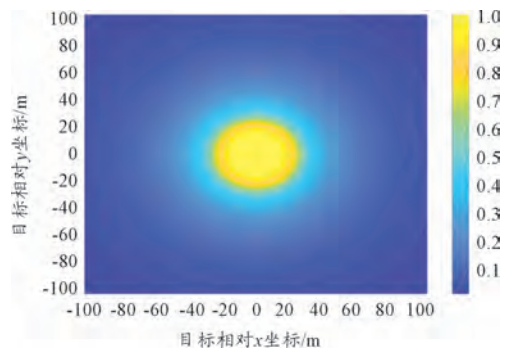


图2 热辐射毁伤概率

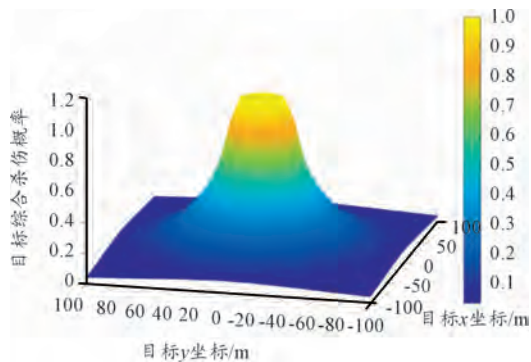


图3 超压毁伤概率图

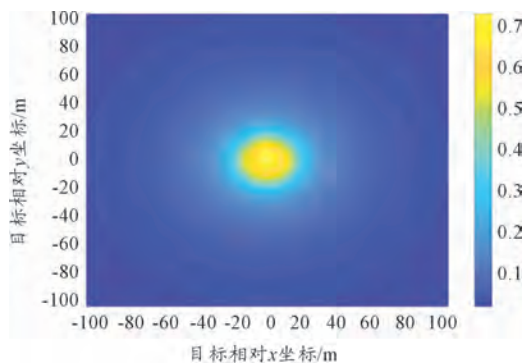


图4 综合杀伤概率图

从图5中可以得到随着爆炸高度从40 m下降到20 m,爆炸中心的综合杀伤概率从0.688上升到1,同时致死区域范围半径从0 m上升到27.08 m,在致死区域的边缘,杀伤概率呈大变化曲率趋势下降,当杀伤概率为10%时,杀伤范围在83.4~90.3 m。因此可以得出在弹药特性一致的情况下,弹药的炸高主要对致死区域的范围产生影响,弹药炸点越低,致死半径越大,当杀伤半径大于90 m时,杀伤概率几乎相同。

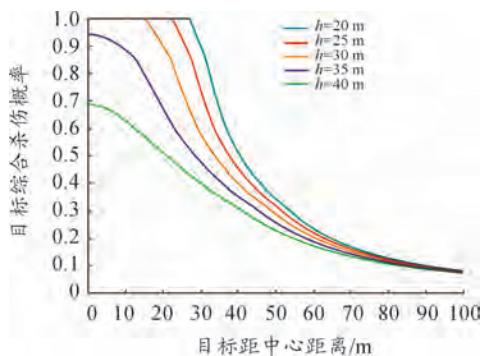


图5 不同爆炸高度的综合杀伤概率曲线

从图6可以看到随着炸药填充量从60~100 kg,爆炸中心的综合杀伤概率从0.612上升到0.839,杀伤概率曲线变化趋势是相似,均在在20~30 m有一转折点,在此点之前的杀伤概率衰减趋势近似符合一次函数下降规律,斜率为

-0.035 6,这是由于在这段区域内,超压和热辐射的衰减程度是最快的,但是当衰减到和外界的相差值相近时,杀伤概率衰减趋势越来越平缓,这就是转折点之后的情况,当杀伤概率到达10%的范围普遍在40.76~48.10 m。因此可以得出云爆剂填充量在其他条件一致的情况下,主要对弹药中心炸点的杀伤概率产生影响,云爆剂填充量越大,中心爆点杀伤概率越大,而远区的杀伤概率则基本相同,云爆剂杀伤作用集中在云雾区。

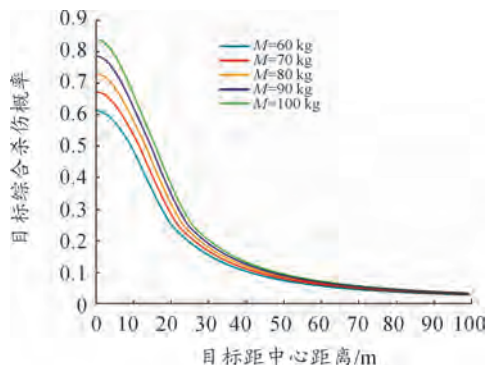


图6 不同装药量的综合毁伤概率曲线

3 结论

- 1) 提出了一种在超压和热辐射作用情况下对地面人员的综合杀伤评估模型。
- 2) 计算出特定情况下云爆弹毁伤概率图,得出该情况下综合致死面积为1 020 m²、重度杀伤面积为2 830 m²、中度杀伤面积为2 510 m²,并且热辐射的作用范围是超压作用范围的2.77倍。
- 3) 在弹药特性相同的情况下,得到了爆高不同情况下的仿真杀伤概率图。
- 4) 在其他条件相同的情况下,得出云爆剂填充量是中心爆点杀伤概率的主要影响因素,云爆剂填充量对云雾区外的杀伤概率影响较小。

参考文献:

- [1] 秦友花. 小药量新型燃料空气炸药爆炸效应的实验研究[J]. 火炸药学报, 2002, 25(3): 7-8.
- [2] 张陶, 惠君明, 郭学永, 等. FAE战斗部壳体结构的设计计算[J]. 火箭与制导学报, 2003, 23(4): 163-165.
- [3] CARDNER D R. Near field dispersal modeling for liquid fuel air explosives[Z]. SAND 90-0686, 1990.
- [4] GLASS M W. Far field dispersal modeling for LiCuid fuel air explosive[Z]. SAND90-0687, 1991.

参考文献:

- [1] 孙淮清,王建中. 流量测量节流装置设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准管理委员会. 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量:GB/T2624.2—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [3] 罗军. 孔板在试验系统中的应用技术交流[R]西安航天动力研究所,2013.
- [4] MCIVER A,PETER S R. The use of a V-cone fuel flow meter to measure the coke oven gas and natural gas flow in a combined heat and power plant[C]//Proceedings of the IDEAS 95th Annual Conference &Trade Show, Seattle, Washington, June, F,2004.
- [5] HUANG S,MA T,WANG D,et al. Study on discharge coefficient of perforated orifices as a new kind of flowmeter[J]. Experimental Thermal and Fluid Science,2013(46):74-83.
- [6] 钟伟,明晓. 纺锤体流量计的流场数值模拟[J]. 计量学报,2008,28(3):5-262.
- [7] 张兆顺,崔桂香,许春晓. 湍流理论与模拟,北京:清华大学出版社,2005.
- [8] 赵奇,牛志娟,杨雪峰. 基于CFD的非标准孔板流量计的数值模拟[J]. 节能技术,2015,33(5):453-456.
- [9] 陈家庆,王波,吴波,等. 标准孔板流量计内部流场的CFD数值模拟[J]. 实验流体力学,2008(2):51-55.
- [10] 钟一峰,谢莉莉,周方,等. 孔板流量计中常见简化公式与流量理论值的误差分析[J]. 上海计量测试,2015(6):10-11,15.
- [11] 张顺峰,张胜,王强,等. 流固耦合作用下的液控换向阀动态特性仿真[J]. 兵器装备工程学报,2017(38):151-155.
- 科学编辑 王兵 博士(清华大学副教授、博导)
责任编辑 杨红梅
-
- (上接第106页)
- [5] 郭学永. FAE云雾生长过程的实验研究[J]. 弹箭与制导学报,2005,25(4):534-539.
- [6] 郭俊,余文力,王少龙. 端盖对FAE燃料抛撒影响的数值模拟[J]. 四川兵工学报,2013,34(06):65-67.
- [7] 蔡星会,孙新利,卢江仁. FAE爆炸场参数分布[J]. 四川兵工学报,2008(05):30-32.
- [8] 许化珍,彭朝晖,李向东. 云爆弹杀伤效能研究[J]. 弹箭与制导学报,2011,31(3):114-116.
- [9] 王杰. 某型云爆弹毁伤威力测试及评价方法研究[D]. 南京:南京理工大学,2016.
- [10] 魏慧之,朱鹤松,王东辉. 弹丸设计理论[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [11] DOROFEEV S B,SIDOROV V P,KURCHATOV M S,et al. Effect of scale on the onset of detonation[J]. Shock Wave,2000(10):137-149.
- [12] 曹凤霞. 爆炸综合毁伤效应研究[D]. 南京:南京理工大学,2008.
- [13] 朱继业,郑纯,孙晓晖,等. 杀爆弹破片与冲击波对地面人员目标综合毁伤[J]. 兵器装备工程学报,2016,37(04):1-4.
- 科学编辑 姚术健 博士(中南大学副教授)
责任编辑 周江川