

文章编号: 1673-3193(2024)02-0178-07

安全高效毁伤旋翼手榴弹的结构设计

韩泽瑜, 张会锁

(中北大学 机电工程学院, 山西 太原 030051)

摘要: 针对提高手榴弹使用安全性与高效毁伤能力的工程应用要求, 设计了一种采用旋翼装置控制保险解除与弹道姿态的新型手榴弹结构。在分析握片式手榴弹与弹跳式空炸手榴弹的基础上, 提出了旋翼手榴弹的设计思路。通过作用机理分析, 采用理论计算与动力学仿真相结合的方法完成了旋翼手榴弹的结构设计, 并采用ADAMS分析软件对结构安全解保和实现高效毁伤的功能可行性进行了仿真验证。仿真结果表明: 旋翼手榴弹以 45° 方向和 30 m/s 的速度投掷时, 其旋转圈数 14.5 圈大于所需圈数 9.5 圈; 以 45° 方向进行投掷时, 旋翼手榴弹的最低投掷速度为 25.95 m/s ; 旋翼手榴弹在弹道垂直下降段的平衡速度为 8.7 m/s 。该结构可以实现空中安全解保, 旋翼装置可以调整手榴弹的弹道姿态, 为定高空炸创造弹道条件, 可为相关工程应用设计提供参考。

关键词: 手榴弹; 旋翼; 保险装置; 弹药; 高效毁伤

中图分类号: TJ416

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1673-3193.2024.02.007

引用格式: 韩泽瑜, 张会锁. 安全高效毁伤旋翼手榴弹的结构设计[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2024, 45(2): 178-184.

HAN Zeyu, ZHANG Huisuo. The structure design of rotary wing hand grenade for safety and efficient damage[J]. Journal of North University of China(Natural Science Edition), 2024, 45(2): 178-184.

The Structure Design of Rotary Wing Hand Grenade for Safety and Efficient Damage

HAN Zeyu, ZHANG Huisuo

(School of Mechanical and Electrical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aiming at the engineering demand of improving the safety and efficient damage ability of hand grenade, a new hand grenade structure using device of rotary wing to control arming device and ballistic attitude was designed. Based on the analysis of the gripping grenade and the bouncing air-bomb grenade, this paper put forward the design idea of the rotor grenade. Based on the analysis of the mechanism of action, this paper used a combination of theoretical calculation and dynamic simulation to complete the structural design of the rotor grenade, and the functional feasibility of structural safety relief and efficient damage was simulated and verified by ADAMS analysis software. When the rotor grenade was thrown at 30 m/s in the direction of 45° , the number of revolutions was 14.5 , which was greater than the required number of revolutions of 9.5 ; when the throwing angle was 45° , the minimum throwing speed of the rotor grenade was 25.95 m/s ; the equilibrium velocity of the rotor grenade in the vertical descent phase of the trajectory was 8.7 m/s . The simulation results show that the structure can realize the air safety guarantee; the rotary rotor device can adjust the trajectory attitude of the grenade and create ballistic conditions for the fixed-altitude explosion. This structure can provide a basis for the design of related engineering applications.

Key words: hand grenade; rotary wing; safety device; ammunition; efficient damage

收稿日期: 2023-07-10

作者简介: 韩泽瑜(2000—), 男, 硕士生, 主要从事弹药工程方面的研究。

通信作者: 张会锁(1976—), 男, 副教授, 博士, 主要从事弹药工程与爆炸技术方面的研究。E-mail: 13653513620@139.com。

0 引言

手榴弹作为重要的近战武器,也是防暴、反恐斗争不可或缺的重要武器^[1]。但是,在训练或实战中,手榴弹还可能存在着安全问题和毁伤能力不足的问题。针对手榴弹的安全问题,周明安等^[2]设计了一种数码手榴弹,利用单片机和三轴加速度传感器来提高手榴弹的安全性,但其依靠电池供电,增加了维护成本。孙忠胜等^[3]设计了一种采用磁电发电机供电的手榴弹,改善了机电式手榴弹的电源问题,但其复杂的结构增加了手榴弹的生产成本。Dirk 等^[4]设计了一种采用泄压孔调节延迟时间的手榴弹,可实现延期时间的现场调节,但其控制精度依赖延期药的质量。Helge^[5]设计了一种保证运输安全的手榴弹,仅提高了手榴弹在某一应用场景下的安全性,具有局限性。针对手榴弹的毁伤能力问题,美国的 M67 延时破片手榴弹和俄罗斯的 RG-60TB 温压手榴弹^[6]通过提高战斗部的威力来提高其毁伤能力。瑞典的 AB HGr 弹跳手榴弹是一款典型的空炸手榴弹,主要利用弹簧片与辅助装药实现空炸,相比于提高战斗部威力,采用空炸的毁伤形式能达到事半功倍的效果,但是,目前多数手榴弹的炸点控制并不能有效实现定高空炸,而且其弹射高度和角度容易受地面松软或起伏情况的影响。

以上方案在一定程度上提高了手榴弹的安全性

与毁伤能力,但仍存在不足,因此,本文设计了一种采用旋翼装置的新型手榴弹结构,该手榴弹全弹采用机械结构,无需供电且加工简单,维护成本也与传统手榴弹保持一致;该弹依靠空气动力在远离人员时才解保,清除手榴弹在使用人员附近爆炸的可能性,提高了手榴弹使用的安全性;在提高毁伤能力方面,该手榴弹可依靠旋翼装置的阻力来实现姿态调整,从而达到垂直下落的效果,为手榴弹的空炸提供了弹道条件,也不会受地形的影响。

1 问题分析

1.1 安全问题分析

手榴弹投掷时发生意外的原因主要分为 3 类:手榴弹质量、人员心理障碍和训练组织实施^[7-9]。分析认为,对手榴弹进行结构优化,才能最大限度降低人为因素对手榴弹安全问题的影响。

以某型全塑无柄钢珠手榴弹^[10]为基础建立故障树,寻找结构薄弱点对其进行优化^[11]。如图 1 所示,目前握片式手榴弹发生安全事故的原因主要分为两类:握片质量缺陷和人为操作失误。握片质量缺陷是指在生产中出现质量缺陷,握片出现不可消除的应力集中,在使用过程中出现疲劳脆断导致手榴弹提前爆炸。人为操作失误是指在使用过程中,手榴弹解除保险后,将紧握保险握片作为投掷前的最后一道保险^[12],而一旦出现意外松手或投掷力度过小等情况,导致手榴弹在单兵附近爆炸。

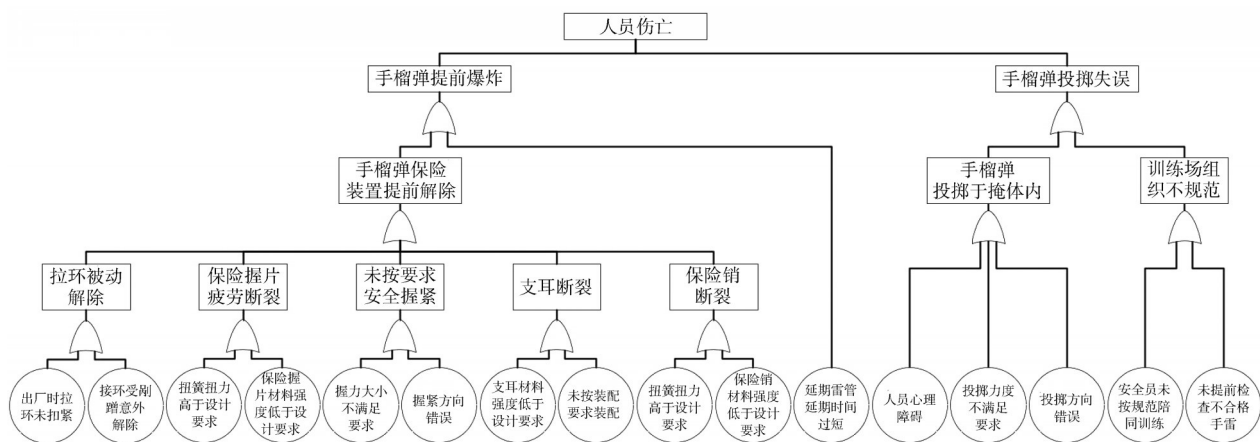


图 1 故障树分析图

Fig. 1 Fault tree analysis diagram

以上因素容易造成手榴弹在单兵手中爆炸,且人员距离爆炸中心越近,所受到的威胁水平越高,因此,在手中爆炸的威胁水平是各类安全事故中最高的。分析认为:使手榴弹远离人员解除

保险是有效提升手榴弹使用安全性的设计思路。

1.2 毁伤问题分析

手榴弹空炸是指手榴弹在距地面一定高度处的

空中爆炸。如图2所示,相比于平地爆炸,手榴弹空炸形成的冲击波与破片场受地形影响最小,能够较大幅度地发挥其威力来实现高效毁伤。

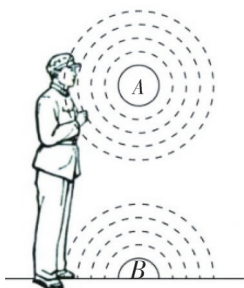


图2 空炸(点A)与平地爆炸(点B)示意图

Fig. 2 Air explosion (point A) and flat ground explosion (point B) schematic diagram

以瑞典的弹跳手榴弹为代表,实现手榴弹空炸的方式之一是采用弹跳的方式使手榴弹落地后再弹跳到一定高度爆炸,从而达到预期空炸效果,但这种方式受场地影响较大。分析认为:在手榴弹落地前调整弹道姿态,借助近炸引信等方式实现空炸,可以有效降低地形对手榴弹空炸的影响。

1.3 问题求解思路

综合前述分析,参照图3限位结构,对保险装置进行优化,利用空气动力作为驱动限位套筒运动的外力 F 来实现手榴弹在远离人员的空中解除保险。同时,利用空气动力对手榴弹弹道姿态进行调整,实现较好的空炸毁伤效果。为了提升空气动力对手榴弹的作用,设计了旋翼手榴弹,通过旋翼装置改良手榴弹的受力状态。

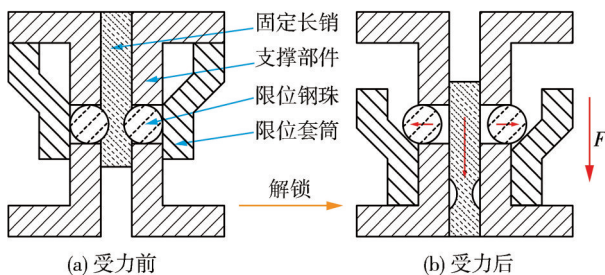


图3 限位结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of limit structure

2 旋翼手榴弹

2.1 定义

旋翼手榴弹是以某型手榴弹为基础,引入旋翼装置对保险解除和弹道姿态实现控制的新型手榴弹。该型手榴弹的核心是旋翼装置参数设

计,通过旋翼装置来借助空气动力改良传统手榴弹的受力状态,实现远离人员安全解保和定高空炸高效毁伤的效果。由于以旋翼装置作为该型手榴弹突出的结构特点,故称其为旋翼手榴弹。该型手榴弹主要满足山地、平原等地形的开阔地带需要手榴弹远掷的作战环境。

2.2 作用机理

旋翼手榴弹的作用机理如图4所示,主要分为四个阶段:

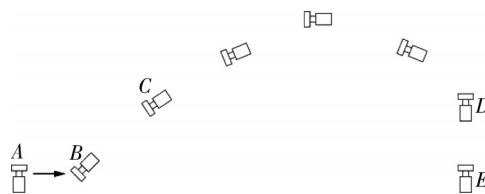


图4 旋翼手榴弹作用机理示意图

Fig. 4 Action mechanism diagram of rotary wing hand grenade

1) 保险阶段:旋翼手榴弹依靠保险插销—旋翼装置—限位钢珠实现对击针的保险限位,该结构减小了保险插销受力,提高了保险安全性。

2) 投掷阶段:手握旋翼手榴弹弹体部,确认安全无误后拔出保险插销,以标准掷弹姿势与一定的角度范围斜向上方用力掷出。

3) 飞行阶段:旋翼的存在导致全弹压心偏离质心并靠向旋翼侧,手榴弹会稳定于压心在质心后方的飞行姿态。因此,手榴弹掷出后经过旋转,较重的弹体转向前方,较轻的旋翼位于后方^[13-14]。旋翼装置在空气动力作用下产生旋转,沿导向螺纹向上传动^[15-16]。旋翼装置向上传动一定距离后,释放限位钢珠,完成解保,击针解除限制后,在击针簧作用下撞击火帽,完成击发。

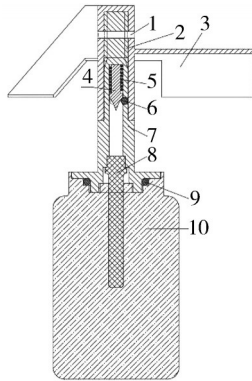
4) 终点阶段:静风条件下,旋翼手榴弹的水平速度在空气阻力水平分力的作用下减小为零,仅垂直方向受其自身重力与空气阻力,前者大于后者,故手榴弹垂直向下加速。手榴弹所受阻力随速度的增加而增加,达到某一速度时,手榴弹受力达到平衡,开始匀速下降,此时的速度即为平衡速度。该阶段通过手榴弹引信改良为实现定高空炸提供了弹道条件。

2.3 设计理论

旋翼手榴弹的击发机构采用弹簧针刺式发火机构^[17],如图5所示。其发火可靠性通过式(1)计算验证,验证结果如表1所示。

$$E_y = R_0 l_1 \left(1 - \frac{l_1}{2\lambda_0} \right), \quad (1)$$

式中: E_y 为发火能量; R_0 为预压抗力; l_1 为击发距离; λ_0 为预压量。



1—保险销孔; 2—导向螺纹; 3—旋翼装置; 4—击针; 5—击针簧; 6—限位钢珠; 7—钢珠套筒; 8—火帽; 9—密封圈; 10—弹体

图 5 旋翼手榴弹结构图

Fig. 5 Schematic diagram of rotary wing hand grenade

表 1 发火能量参数表

Tab. 1 Ignition energy parameter table

击发距离 l_1 /mm	预压量 λ_0 /mm	预压抗力 R /N
20	20	13
计算能量 E_y /J	发火能量 E /J	
0.130	0.098	

旋翼装置的翼片选用加工比较简单的平面翼片, 利用 Fluent 软件完成翼片在不同迎角 θ 下的升力系数 C_x 和阻力系数 C_y 的测量^{[[18-19]]}, 测量结果见表 2。为了提供足够的升力与阻力, 选用 60° 迎角的翼片, 旋翼装置参数见表 3。

表 2 不同迎角下的升力系数与阻力系数

Tab. 2 Lift coefficient and drag coefficient at different angles of attack

系数	$\theta/(^\circ)$						
	20	30	35	40	45	50	60
C_x	0.40	0.56	0.74	0.89	0.90	0.97	0.92
C_y	0.82	0.94	1.01	0.96	0.95	1.20	1.65

表 3 旋翼装置参数表

Tab. 3 Rotary wing parameter table

翼片数 n_w /片	长 a /mm	宽 b /mm	迎角 $\theta/(^\circ)$
4	40	56.85	60

利用式(2)计算旋翼装置的旋转力矩 M_w , 利用式(3)计算其摩擦力矩 M_f ^{[[20]]}。

$$M_w = n_w r S_w \frac{\rho v^2}{2} C_y, \quad (2)$$

式中: n_w 为翼片数量; r 为翼片到转轴的距离; S_w 为翼片迎风面积; ρ 为空气密度, 取

1.225 kg/m³; v 为飞行速度; C_y 为翼片升力系数。

$$M_f = M_{fg} + M_{fl}, \quad (3)$$

式中: M_{fg} 为旋翼装置与钢珠套筒及钢珠间的摩擦力矩; M_{fl} 为螺纹间的摩擦力矩。

$$M_{fg} = F_f r, \quad (4)$$

式中: F_f 为摩擦力; r 为作用半径。

$$M_{fl} = F_q \tan(\rho_\theta - \beta) \times d, \quad (5)$$

式中: F_q 为螺纹轴向载荷; ρ_θ 为当量摩擦角; β 为导程角; d 为中径。

选用梯形螺纹, 参数如表 4 所示。

表 4 梯形螺纹参数表

Tab. 4 Trapezoidal thread parameter table

长度 l_2 /mm	螺距 p /mm	螺纹牙型半角 $\alpha/(^\circ)$
20	2	30
中径 d /mm	导程角 β /rad	当量摩擦角 ρ_θ /rad
9	0.070 7	0.115 0

通过式(6)验证旋翼手榴弹定高空炸的弹道条件是否满足平衡速度 V_b 。

$$mg = \frac{\rho V_b^2}{2} (n_w S_w C_x + S_d C_{rd}), \quad (6)$$

式中: m 为旋翼手榴弹质量; g 为重力加速度, 取 9.8 m/s²; C_x 为翼片阻力系数; S_d 为弹体迎风面积; C_{rd} 为弹体阻力系数。

3 仿真验证

3.1 安全解保险验证

旋翼手榴弹安全解保的仿真验证标准是其在弹道模拟过程中沿导向螺纹向上所产生的旋转圈数是否满足限位钢珠完全释放的要求。

根据式(3)、式(4)和式(5)计算旋翼装置产生的总摩擦力矩, 结果如表 5 所示。

表 5 旋翼手榴弹的摩擦力矩

Tab. 5 Friction torque of rotary wing hand grenade

摩擦力矩(接触) $M_{fg}/(\text{N}\cdot\text{m})$	摩擦力矩(螺纹) $M_{fl}/(\text{N}\cdot\text{m})$	总摩擦力矩 $M_f/(\text{N}\cdot\text{m})$
9.78×10^{-3}	3.43×10^{-4}	1.0123×10^{-2}

旋翼装置在不同速度下产生的旋转力矩如图 6 所示。

基于 ADAMS 软件, 对翼片数量 $n_w=4$ 、初速 $v_0=30$ m/s、投掷角 $\beta=45^\circ$ 条件下的旋翼手榴弹进行弹道模拟, 得到旋翼手榴弹的弹道速度, 结合旋转力矩随速度变化曲线, 得到旋翼手榴弹全弹道的旋转力矩变化曲线如图 7 所示。

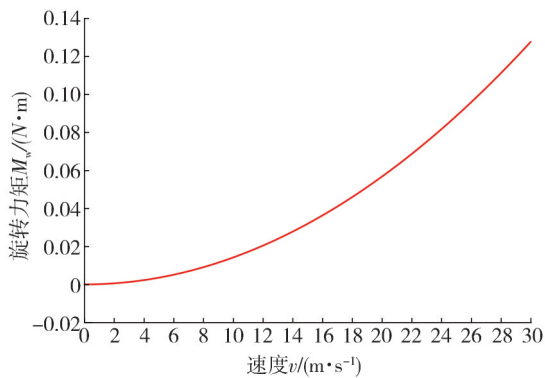


图6 旋转力矩曲线

Fig. 6 Rotating torque curve

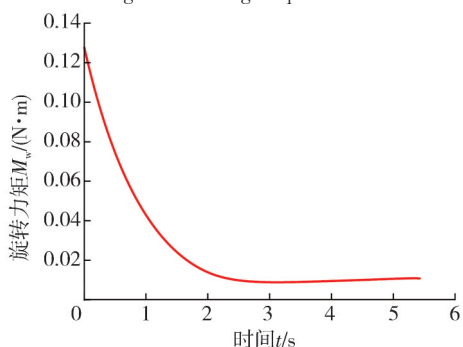


图7 弹道旋转力矩曲线

Fig. 7 Ballistic rotation torque curve

建立的坐标系及选取的测量点如图8所示,将旋翼手榴弹全弹道的旋转力矩输入ADAMS进行动力学仿真,得到旋翼装置某点 x 方向的位移,如图9

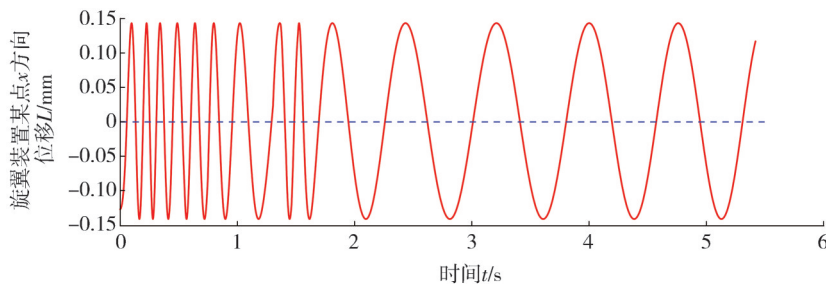


图9 旋翼装置某点 x 方向位移

Fig. 9 The x -direction displacement of a certain point of the rotary wing

3.2 定高空炸验证

旋翼手榴弹定高空炸的仿真验证标准是其在弹道末段是否达到理论平衡速度,误差应小于5%。

基于安全解保的验证,通过ADAMS完成了旋翼手榴弹弹道模拟,弹道曲线如图10所示。由图10可以看出,旋翼手榴弹的水平速度在C点减小为零,受垂直方向的阻力及重力的作用开始垂直下落,满足垂直下落的判定标准。

所示,该点每完成一次运动返回原坐标后即完成一圈旋转。仿真所得圈数为14.5,与实际所需圈数9.5对比,可以看出旋翼手榴弹能够实现安全解保。

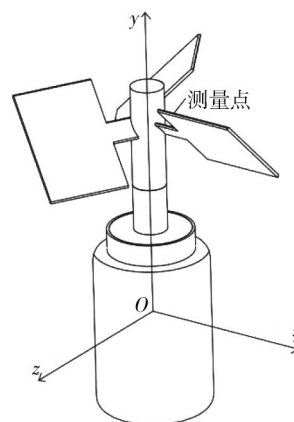


图8 坐标系及测量点示意图

Fig. 8 Coordinate system and measurement point diagram

基于ADAMS动力学仿真求得常用投掷角度下旋翼手榴弹安全解保的边界条件,如表6所示,投掷速度低于对应角度的最小速度时,手榴弹不能安全解保。

表6 旋翼手榴弹安全解保的边界条件

Tab. 6 The safety release boundary conditions of rotary wing hand grenade

投掷角度/(°)	40	45	50
最小投掷速度/(m·s ⁻¹)	26	25.95	26.25

旋翼手榴弹的弹道速度曲线如图11所示,旋翼手榴弹在进入弹道C点后,其弹道速度趋于稳定。根据表7的结果分析可知,误差在可接受的范围内,旋翼手榴弹满足匀速下降的判定标准。

表7 旋翼手榴弹的平衡速度

Tab. 7 The balance speed of rotary wing hand grenade

平衡速度 v_b /(m·s ⁻¹)		误差/%
理论值	仿真值	
8.9	8.7	2.25

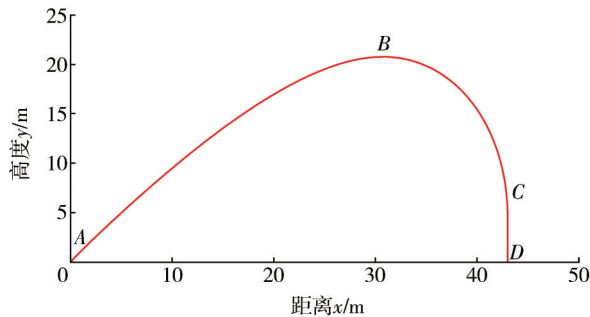


图 10 弹道曲线
Fig. 10 Ballistic curve

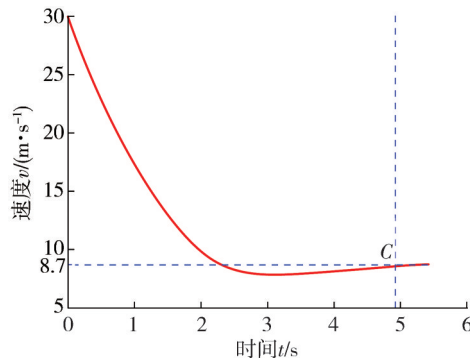


图 11 弹道速度曲线
Fig. 11 Ballistic velocity curve

4 结论

针对提高手榴弹使用安全性与高效毁伤能力的工程应用要求,完成了旋翼手榴弹的结构设计。通过 ADAMS 动力学仿真,验证了旋翼手榴弹安全解保的可行性,实现了手榴弹远离人员解保的设计目标;验证了旋翼手榴弹定高空炸的可行性,给出了通过改良引信设计实现手榴弹空炸的高效毁伤的弹道条件。

参考文献:

- [1] 王善武. 浅谈手榴弹的发展趋势和展望[J]. 国防技术基础, 2008(10): 48-50.
- [2] 周明安, 郭天天, 程小冬, 等. 数码手榴弹引信研究与设计[J]. 四川兵工学报, 2014, 35(8): 8-10. ZHOU Mingan, GUO Tiantian, CHENG Xiaodong, et al. Design and research of digital fuse for hand grenade[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2014, 35(8): 8-10. (in Chinese)
- [3] 孙忠胜, 郭军献, 郝益民, 等. 采用磁电发电机的手榴弹电子触发引信[J]. 探测与控制学报, 2010, 32(2): 1-4. SUN Zhongsheng, GUO Junxian, HAO Yimin, et al. Hand grenade electronic contact fuze with magnetoelectric generator [J]. Journal of Detection & Control,

2010, 32(2): 1-4. (in Chinese)

- [4] DIRK C, ERNEST S, JULIA S, et al. Igniter with an adjustable delay time: EP3864365B1 [P]. 2022-11-30.
- [5] HELGE G. System, in particular hand grenade: US20210018306A1[P]. 2021-01-21.
- [6] 祁恒, 柏席峰, 张子鹏, 等. 国外手榴弹与地爆器材关键技术发展与专利分析[J]. 中国军转民, 2022(3): 46-48.
- [7] 童万峰, 程爱宝, 黄宏, 等. 无柄手榴弹实弹投掷事故分析与预防措施研究[J]. 采矿技术, 2018, 18(5): 215-217. TONG Wanfeng, CHENG Aibao, HUANG Hong, et al. Stemless grenade live ammunition throwing accident analysis and preventive measures research [J]. Mining Technology, 2018, 18(5): 215-217. (in Chinese)
- [8] 张百晓, 肖悠悠, 胡民崇. 新兵手榴弹投掷训练研究[J]. 军事体育学报, 2014, 33(4): 43-45. ZHANG Baixiao, XIAO Youyou, HU Minchong. Research on grenade jaculation among new recruits. [J]. Journal of Military Physical Education and Sports, 2014, 33(4): 43-45. (in Chinese)
- [9] 汪庆桃, 吴克刚, 徐仲坤. 无柄手榴弹实弹投掷训练事故预防研究[J]. 军事体育学报, 2016, 35(1): 79-81. WANG Qingtao, WU Kegang, XU Zhongkun. Study on accident prevention of sessile live grenade throwing training[J]. Journal of Military Physical Education and Sports, 2016, 35(1): 79-81. (in Chinese)
- [10] 《弹药技术丛书》编辑部编. 手榴弹、地雷及爆破器材技术实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [11] 成云, 赵晓利, 仲伟君, 等. 某型手榴弹故障模式及影响分析研究[J]. 系统仿真技术, 2016, 12(3): 208-211. CHENG Yun, ZHAO Xiaoli, ZHONG Weijun, et al. Research on failure mode and analysis of grenade[J]. System Simulation Technology, 2016, 12(3): 208-211. (in Chinese)
- [12] 黄伟杰. 浅谈现代手榴弹的设计与运用[J]. 世界航空航天博览: A 版, 2003(1): 70-75.
- [13] 魏惠之, 朱鹤松, 汪东晖, 等. 弹丸设计理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [14] 王海森, 范军芳. 一种微小型弹药的气动特性仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2022, 34(10): 2272-2278. WANG Haisen, FAN Junfang. Simulation research on aerodynamic characteristics of a miniature munition [J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(10):

- 2272-2278. (in Chinese)
- [15] 闻邦椿. 机械设计手册: 第3卷[M]. 第6版. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [16] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 梯形螺纹—第3部分: 基本尺寸: GB/T 5796.3—2022 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [17] 《引信设计手册》编写组. 引信设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1978.
- [18] 马震宇, 付益博, 宋志超, 等. 基于FLUENT的导弹气动特性仿真分析[J]. 机电技术, 2021(6): 27-30.
- [19] Schmidt D K. 现代飞行动力学[M]. 向敏, 彭科, 王鹏, 刘龙斌, 译. 北京: 国防工业出版社, 2022.
- [20] 刘永学. 空气动力学[M]. 北京: 航空工业出版社, 2019.

声 明

本刊已许可中国知网、万方、维普、超星等数据库以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述数据库著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议, 请在投稿时说明, 本刊将按作者说明处理。
