

文章编号: 1671-7449(2024)04-0395-06

触/延手榴弹引信开闭功能测试方法研究

蒲利森, 徐鹏, 于立骁, 付嘉琪, 牛安冬

(63856部队, 吉林 白城 137001)

摘要: 针对性能鉴定试验需要考核测试触/延手榴弹引信第一碰撞信号的时阈和开闭灵敏度的问题, 通过研制测试设备以及设计试验方案, 实现了对触/延手榴弹引信开闭功能的考核评估。通过分析触/延引信的结构组成和作用机理, 确定了引信中碰炸开关可靠闭合的临界条件, 结合产品性能指标规定的时阈要求, 提出了基于PLC程序控制手榴弹保险握片松开至跌落中硬地面全流程精准管控的设备研制方案, 确保了手榴弹的跌落高度和与中硬地面的碰撞时间, 有效解决了触/延引信开闭时阈和开闭灵敏度无法考核测试的技术难题。

关键词: 手榴弹; 触/延引信; 自适应; 开闭时阈; 开闭灵敏度; PLC程序

中图分类号: TJ43

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1671-7449.2024034

引用格式: 蒲利森, 徐鹏, 于立骁, 等. 触/延手榴弹引信开闭功能测试方法研究[J]. 测试技术学报, 2024, 38(4):395-400.

PU Lisen, XU Peng, YU Liyao, et al. Research on test method of open-close function of trigger/delay grenade fuze[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2024, 38(4):395-400.

Research on Test Method of Open-Close Function of Trigger/Delay Grenade Fuze

PU Lisen, XU Peng, YU Liyao, FU Jiaqi, NIU Andong

(Unit 63856 of PLA, Baicheng 137001, China)

Abstract: Aiming at the problem that the time threshold and open-close sensitivity of the first impact signal of trigger/delay grenade fuze need to be examined and detected in qualification test, the open-close function of trigger/delay grenade fuze was evaluated by developing test equipment and designing test scheme. By analyzing the structure and principle of the trigger/delay fuze, the critical condition for the reliable closure of the crash switch in the fuze was determined. Combining with the time threshold requirements stipulated by the product performance index, a device development scheme based on PLC program to control the accurate control of the whole process from opening the grenade safety grip to falling to the concrete floor was proposed, which ensures the fall height of the grenade and the collision time of the concrete floor, and effectively solve the technical problem that the open-close time threshold and the open-close sensitivity of the trigger/delay fuze could not be tested.

Key words: grenade; trigger/delay fuze; self-adaptation; open-close time threshold; open-close sensitivity; PLC program

收稿日期: 2023-04-10

作者简介: 蒲利森(1977—), 男, 高级工程师, 主要从事榴弹特种弹试验与评估研究。E-mail: 1821178155@qq.com。

0 引言

触/延杀伤手榴弹也叫延期着发两用手榴弹,是我国新研的一种单兵手投武器装备,兼有延期和触发两种性能^[1],外观呈卵型结构,全貌如图1所示,配用数字电路延时机电引信,用于士兵近距离作战,能够依靠弹丸第一碰撞信号的时阈自动关闭或开启触发功能,从而实现以触发、延期自适应作用方式杀伤敌有生目标或压制敌火力点的战术意图。配用的机电引信在执行任务期间,应实现保险、解除保险和感知目标并适时起爆弹丸3项主要功能,试验鉴定考核共涉及3项关键技术指标:1)触发功能开闭灵敏度(中硬地面、自由落体)1.0 m,依靠第一碰撞信号时阈,自动实现触发、延期自适应作用;2)触发功能关闭时阈 ≥ 1.0 s,即1.0 s内收到关闭信号时不允许出现触发功能未关闭现象;3)触发功能开启时阈 ≤ 1.8 s,触发发火率 $\geq 95\%$ 。试验时,主要考核弹药在手榴弹保险握片释放后,经过1.0 s和1.8 s时分别在高度为1.0 m的自由落体(中硬地面)冲击下能否可靠实现触发功能的开闭自适应作用,即弹药在1.0 s前跌落必须转延期作用,以保证人员作战使用过程中意外跌落时的安全,而在1.8 s后跌落要保证弹药可靠触发作用。指标中要求的中硬地面,根据GJB3484—98《枪械性能试验方法》术语定义,也称为中等强度地面,即由圆锥贯入仪测得的圆锥指数为100~150的地面^[2]。经计算,弹药从释放到自由下落于距地面1.0 m高度的时间为0.447 s,同时还要保证在1.0 s和1.8 s时刻准确撞击地面,因此,对跌落试验设备的自动化控

制和时间精度要求较高;其次,该触/延引信属首次在手榴弹上运用,国内外尚无类似的定型产品,是一项在单兵手投装备上应用的开创性技术,因此,对于触/延引信开闭时阈相关测试技术属于空白领域^[3]。为解决引信开闭功能测试技术难题,本文从触/延引信的结构组成及作用原理和指标规定的开闭时阈内涵要求进行综合分析,研究设计了符合测试考核需求的试验设备,明确了开闭功能试验考核实施方案,确保了试验任务的顺利完成。

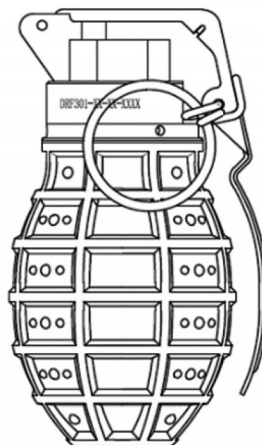


图1 手榴弹全貌

Fig. 1 General view of the grenade

1 引信结构原理及受力分析

1.1 引信结构原理

触/延引信主要由引信体部件、机芯和底螺部件组成,其中关键核心部件是机芯,主要由电路部件、隔离机构及支撑销、支撑簧、针刺雷管等零部件组成,集成电路工作示意图如图2所示。

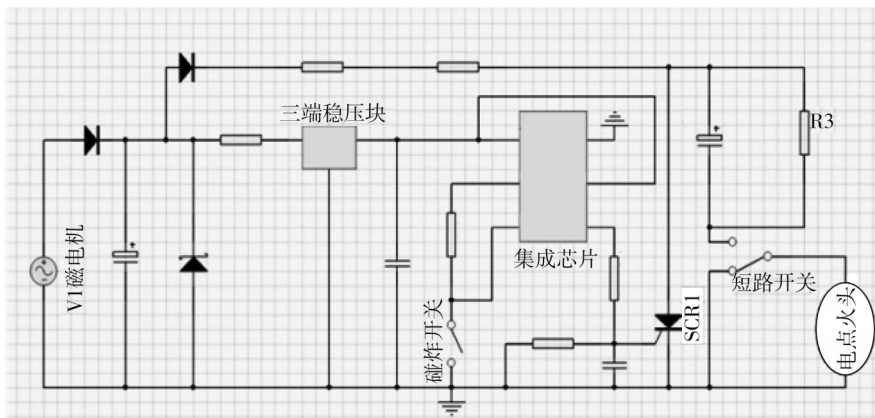


图2 集成电路工作示意图

Fig. 2 Schematic diagram of integrated circuit operation

当手榴弹掷出后, 击发机构推开保险握片, 击锤击发火帽, 火帽作用产生的气体驱动闭气块剪切短路铜丝并发电, 产生的电能被储存在电容内, 经稳压后供电路工作; 同时, 保险杆在解保簧抗力作用下上移, 解除对转子的约束, 转子转正到位后释放短路扭簧, 将电点火头接入发火电路。自手榴弹出手起, 若 1.5 s 内引信机芯部件内的碰炸开关闭合, 则电路设定引信仅在 4.0 s 时延期发

火; 若在 1.5 s 后碰炸开关闭合, 则电路在碰炸开关闭合时输出信号使可控硅 SCR1 导通, 引信触发发火; 若 4.0 s 内碰炸开关均未闭合, 则电路使引信延时 4.0 s 后作用; 若触发发火和延期发火均失效, 则能量耗散电阻 R3 在 6 min 内将发火电容内的电能耗散至不能引燃电点火头水平, 使引信绝火失能, 其工作时序如图 3 所示。

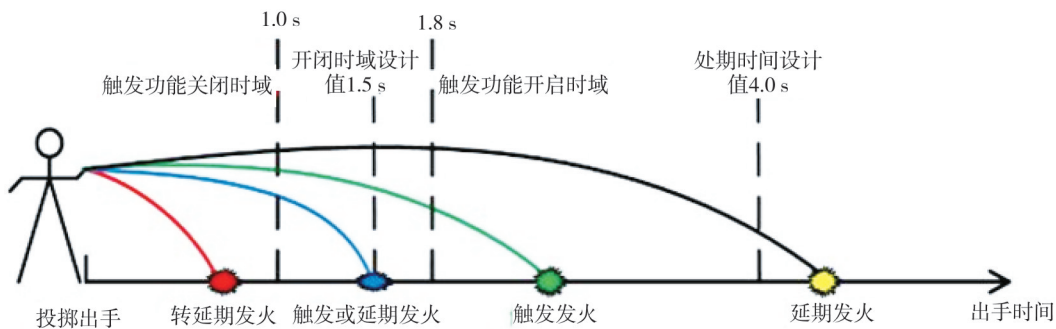


图 3 触/延引信工作时序图

Fig. 3 Trigger/delay fuze working time sequence diagram

1.2 碰炸开关受力分析

电路组件中的碰炸开关作用是弹丸落地时接通电路, 提供触发信号, 结构如图 4 所示。为确保测试设备研制方案设计及其试验方案制定的科学性、合理性, 首先要对碰炸开关在使用过程中最不利闭合和最有利闭合两种情况下进行受力分析, 找出引信开闭的临界条件。

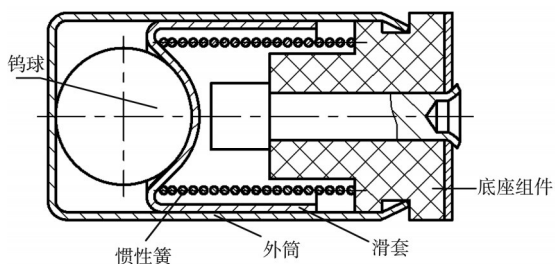


图 4 碰炸开关

Fig. 4 Collision explosion switch

当碰炸开关受到垂直于惯性簧簧力方向的过载时, 即处于最不利闭合方向, 此时若碰炸开关自锁, 将无法闭合, 引信不能触发作用。如碰炸开关自锁, 钨球和滑套的受力应处于平衡状态, 分别对钨球和滑套的受力进行分析(如图 5、图 6 所示)^[4], 不计重力影响, 则有

$$ma = N_1 \cos \frac{\beta}{2} + \mu_1 N_1 \sin \frac{\beta}{2} + \mu_1 N_2, \quad (1)$$

$$N_1 \sin \frac{\beta}{2} = N_2 + \mu_1 N_1 \cos \frac{\beta}{2}, \quad (2)$$

$$N_3 = N_1 \sin \frac{\beta}{2} + \mu_1 N_1 \cos \frac{\beta}{2} + Ma, \quad (3)$$

$$N_1 \frac{\beta}{2} = \mu_1 N_1 \cos \frac{\beta}{2} + \mu_2 N_3 + F, \quad (4)$$

式中: 钨球质量 $m = 4.2 \times 10^{-4} \text{ kg}$; 滑套质量 $M = 1.3 \times 10^{-4} \text{ kg}$; 滑套锥面锥角 $\beta = 90^\circ$; F 为惯性簧抗力; a 为惯性过载加速度; μ_1, μ_2 为静摩擦系数; N_1, N_2, N_3 为压力; 引信研制设计时要求不利方向受到冲击过载 180.0 g (1764 m/s^2) 时能可靠闭合, 为了使冲击过载能够打破抗力平衡的约束条件, 则惯性簧抗力 F 应小于撞击时的冲击力, 即

$$F < 2.51 \times 10^{-4} \text{ kg} \times 1764 \text{ m/s}^2 = 0.44 \text{ N}.$$

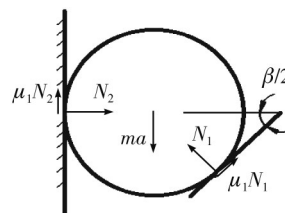


图 5 钨球受力分析

Fig. 5 Force analysis of tungsten sphere

当开关受到的过载方向与惯性簧簧力方向在同一轴线上且方向相反时, 即处于最有利于闭合方向, 为确保手榴弹弹道安全, 引信研制设计时要求在最大过载 $a = 20.0 \text{ g}$, 持续时间 $T = 4 \times 10^{-4} \text{ s}$ 的三角

波冲击下,开关不能闭合。经查阅产品图可知,惯性簧质量 $m_1 = 4 \times 10^{-5} \text{ kg}$, 自由高 $h_0 = 10^{-2} \text{ m}$, 装配高 $h_j = 5.1 \times 10^{-3} \text{ m}$, 滑套运动行程 $\Delta x = (0.160 \sim 0.468) \times 10^{-3} \text{ m}$ 。假设 W_1 为惯性力做功, W_2 为惯性簧抗力做功, 则有

$$W_1 = \frac{1}{2} \left(m + M + \frac{1}{3} m_1 \right) \left[\int_0^T a(t) dt \right]^2, \quad (5)$$

$$W_2 = F \times \Delta x \left(1 + \frac{\Delta x}{2(h_0 - h_j)} \right). \quad (6)$$

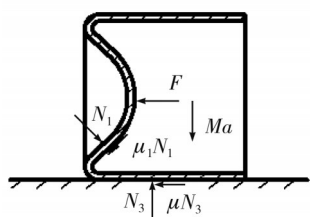


图6 滑套受力分析

Fig. 6 Force analysis of sliding sleeve

当 $W_1 > W_2$ 时, 惯性力做功大于惯性簧抗力做功, 碰炸开关闭合。为保证弹道安全, 惯性簧抗力做功要大于惯性力做功, 即 $W_1 < W_2$, 进而计算得出惯性簧抗力 F 约束条件^[5]。

$$F > 9.27 \times \frac{1 \times 10^{-2} - 5.1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-2} - 4.35 \times 10^{-3}} \times 10^{-4} \text{ N} = 8.9 \times 10^{-4} \text{ N}.$$

据此得出碰炸开关在最有利闭合条件下, 惯性簧抗力 F 应大于 $8.9 \times 10^{-4} \text{ N}$, 才能确保手榴弹投掷过程中的弹道飞行安全; 在最不利闭合的条件下要保证闭合的可靠性, 其惯性簧抗力 F 应小于 0.44 N 。经查阅图纸资料, 实际引信的惯性簧抗力 $0.1 \text{ N} \leq F_{\text{设}} \leq 0.16 \text{ N}$, 在最不利条件下引信受到的冲击过载必须要大于 65.0 g 才能保证开关闭合的可靠性。虽然从理论设计计算来看, 惯性簧抗力能够确保手榴弹弹道飞行安全和可靠开闭触发功能, 但在实际作战使用过程中, 由于手榴弹外形为卵型且由战士随身携带行手投使用, 因弹丸落地时其姿态复杂多样, 而不同地面硬度差异也较大, 在最不利闭合条件下可能存在由于无法克服惯性簧抗力而导致触发开闭功能失效的可能性。为检验引信开闭功能的时阈、可靠性及灵敏度是否满足指标要求, 结合产品结构特点和作用原理研究设计了开闭时阈试验方案和基于 PLC 程序控制的气动跌落试验设备^[6]。

2 试验设备研制

鉴于触/延引信内含集成电路组件, 为避免试验过程中电磁辐射对引信可靠性的影响^[7], 设备使用高压气泵提供驱动力; 采用 360° 旋转凹面夹具和杠杆传动机构, 保证弹药可任意角度夹持和快速释放^[8]; 通过 PLC 可编程控制器按开闭时阈时间要求精确控制气门打开和闭合^[9], 确保系统能够快速准确完成手榴弹夹持、抽拔拉环、释放弹丸、推弹入坑等动作, 系统动作精度不低于 0.01 s 。设备主要包括拉发装置、释放装置、推挡装置、监控摄像头、跌落箱以及控制系统等, 系统外观全貌及 PLC 控制电路结构如图 7、图 8 所示。

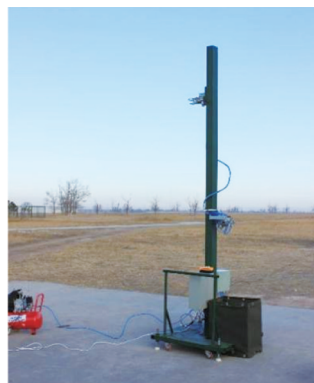


图7 系统外貌

Fig. 7 System appearance

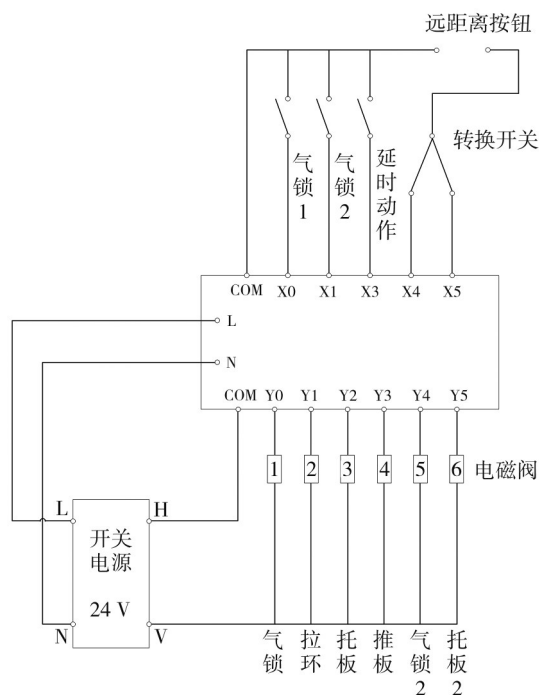


图8 PLC控制电路

Fig. 8 PLC control circuit

试验时将设备架设在 1.5 m 深土坑边的平整地面上, 保证手榴弹第一次和第二次落地处均为中硬地面, 调节夹具高度使弹体最低点距地面为 1.0 m。将设备与空气压缩泵进行连接, 接通电源充气, 启动 PLC 控制器将程序设定为触发功能开启时阈或关闭时阈测试, 充气完毕后按下夹持按钮夹持固定手榴弹, 完成跌落试验前的准备工作。一切准备就绪后, 进入系统测试界面按下确定按钮, 系统会根据预置程序按时间节点要求自动完成相关动作, 人员通过视频监控观察记录引信发火情况。其中, 触发功能关闭时阈和开启时阈程序的关键时间节点如下:

- 1) 保险解除: 保险销拔出后, 保险握片开始弹开, 将此刻设为 0 s;
- 2) 弹体释放: 驱动气门打开, 夹具释放弹体, 弹体开始自由落体运动时刻;
- 3) 弹体落地: 弹体自由下落 1.0 m 后落于中硬地面时刻;
- 4) 启动推板: 推板在气体动力作用下开始推弹前进的时刻;
- 5) 推板停止: 推板将弹体推入 1.5 m 坑道时的时刻。

用高速摄影仪测试手榴弹解除保险、释放弹体、时阈测试各节点动作时刻, 根据测试结果调试程序中的各阶段流程的延期时间, 直至调试结果满足精度要求, 调试后试验数据如表 1、表 2 所示。

表 1 关闭时阈测试调试结果(1.0 s 落地)
Tab. 1 Close time threshold test result (1.0 s landing)

弹序	保险解除/s	弹体释放/s	弹体落地/s	启动推板/s	推板停止/s
1	0.000	0.530	0.992	1.763	2.139
2	0.000	0.536	1.002	1.777	2.162
3	0.000	0.536	1.003	1.782	2.165
4	0.000	0.530	0.994	1.771	2.119
5	0.000	0.534	0.991	1.739	2.110
6	0.000	0.539	0.996	1.766	2.139

表 2 开启时阈测试调试结果(1.8 s 落地)
Tab. 2 Open time threshold test result (1.8 s landing)

弹序	保险解除/s	弹体释放/s	弹体落地/s
1	0.000	1.363	1.798
2	0.000	1.366	1.806
3	0.000	1.368	1.807
4	0.000	1.359	1.798
5	0.000	1.364	1.806
6	0.000	1.364	1.803

从上表中可以看出, 按上述流程对开启时阈 1.0 s 和关闭时阈 1.8 s 两种条件各测试 5 枚弹体, 得到了

各节点动作时间, 测得弹丸实际落地的平均时间为 0.996 s 和 1.803 s, 表明研制的触/延开闭时阈测试设备时间精度满足 0.010 s 的设计要求。

3 试验方案及结果评定

3.1 试验方案

依据触/延引信依靠第一碰撞信号的时阈, 自动关闭或开启触发功能, 用以触发、延期自适应作用方式的结构特性, 通过对开闭时阈、灵敏度指标要求进行综合分析, 研究制定测试考核方法如下^[10]:

1) 触发功能关闭时阈及关闭灵敏度测试。使用触/延开闭时阈测试设备对手榴弹进行夹持固定, 按下确定按钮后启动关闭时阈测试程序, 拔出手榴弹保险销, 自手榴弹握片翻开开始计时, 使其在 1.0 s 时自由下落 1 m 高度撞击在中硬地面上, 观察引信发火情况; 如果引信未发火, 将跌落高度增加至 1.5 m, 进一步提高冲击强度考核引信开闭灵敏度是否满足要求; 同时使其在 1.8 ~ 3.0 s 间二次自由下落跌落至中硬地面上, 观察引信是否触发发火。

如果引信第一次跌落时触发发火, 则表明触发功能关闭时阈不满足指标要求, 引信存在严重的安全性问题; 如果引信第二次跌落后触发发火, 表明引信在第一次撞击中硬地面时未转延期作用方式, 关闭灵敏度不达标; 如果引信在第二次跌落后延期至 3.5~4.5 s 间发火, 表明触发功能关闭时阈和关闭灵敏度均满足指标要求。

2) 触发功能开启时阈及开启灵敏度测试。使用触/延开闭时阈测试设备对手榴弹进行夹持固定, 按下确定按钮后启动开启时阈测试程序, 拔出手榴弹保险销, 自手榴弹握片翻开开始计时, 使其在 1.8 s 时自由下落 1.0 m 高度跌落至中硬地面上, 观察引信是否触发发火。

如果引信触发发火率 $\geq 95\%$, 则表明触发功能开启时阈和开启灵敏度均满足指标要求。

3.2 结果评定

3.2.1 触发功能关闭时阈

对 60 枚雷管弹逐枚进行测试。拔出保险销, 从松开握片开始计时, 使其在 1.0 s 时经自由下落 1.0 m 落于中硬地面上, 在 1.8 s 时再经自由下落 1.5 m 落于中硬地面上。60 枚雷管弹两次触地均

未触发,第二次触地后均延期作用。

3.2.2 触发功能开启时阈

对60枚雷管弹逐枚进行测试。拔出保险销,从松开握片开始计时,使其在1.8 s时经自由下落1.0 m落于中硬地面上。59枚雷管弹触发作用,1枚瞎火,触发发火率为98.3%。

3.2.3 触发功能开闭灵敏度

触发功能关闭时阈试验中,雷管弹两次落于中硬地面,均未触发发火;触发功能开启时阈试验中,触发发火率为98.3%。

综上所述,触/延引信关闭时阈、开启时阈及开闭灵敏度均满足指标要求。

4 结论

本文针对新研的触/延杀伤手榴弹能够依靠第一碰撞信号的时阈自动关闭或开启触发功能,实现手榴弹的触发、延期自适应爆炸作用,试验时需要考核引信开闭灵敏度、关闭时阈和开启时阈是否满足指标规定的测试要求。从产品的结构组成和作用原理,对引信的碰炸开关这一关键部件在投掷使用过程中的受力进行了全面分析,综合对产品引信性能指标内涵的深入理解,研究提出了基于PLC控制程序的开闭功能测试设备和考核试验方案。经测试,60枚手榴弹触/延引信在1.0 s时经1.0 m高度自由落体跌落后,均未触发发火,全部转为延期作用,表明引信关闭时阈满足要求;另60枚手榴弹触/延引信在1.8 s时经1.0 m高度自由落体跌落后,1枚瞎火,触发发火

率为98.3%,表明引信开启时阈和开闭灵敏度满足要求,从而成功解决了新型触/延手榴弹引信开闭功能难以测试的技术难题。

参考文献:

- [1] 国防科学技术工业委员会. 弹药系统术语: GJB102A—1998[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1998.
- [2] 中国人民解放军总装备部. 枪械性能试验方法: GJB3484—1998[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 1998.
- [3] 国防科学技术工业委员会. 常规兵器定型试验方法延期爆炸杀伤手榴弹: GJB349.3—1987[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1988.
- [4] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学[M]. 8版. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- [5] 中央军委装备发展部. 引信及引信零部件环境与性能试验方法: GJB573B—2020[S]. 北京: 国家军用标准出版发行部, 2020.
- [6] 李金城, 付明忠. 三菱FX系列PLC定位控制应用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [7] 国防科学技术工业委员会. 电引信和电子引信安全设计准则: GJB1244A—2019[S]. 北京: 国家军用标准出版发行部, 2019.
- [8] 杨可桢, 程光蕴. 机械设计基础[M]. 第7版. 北京: 高等教育出版社, 2020.
- [9] 赵春生. 活学活用PLC编程190例[M]. 北京: 中国电力出版社, 2020.
- [10] 中国人民解放军总装备部. 榴弹发射器定型试验规程: GJB5692—2006[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2006.