

doi: 10.7690/bgzdh.2022.04.003

一种枪械击发点火系统模拟试验装置设计

赵聪聪¹, 魏志芳¹, 郭向向², 辛长范¹, 张树霞¹, 蒲 辉¹

(1. 中北大学机电工程学院, 太原 030051; 2. 山东特种工业集团有限公司, 山东 淄博 255201)

摘要: 为揭示枪械击发点火机理, 研究枪械击发点火故障机理并提高击发点火可靠性, 设计一种枪械击发点火系统模拟试验装置。通过改变落锤的高度可给测试单元提供不同的击发能量条件, 以击针及带底火弹壳为试验对象, 模拟枪械中击发点火系统的装配关系和实际工况。试验结果表明: 测试单元与监测单元配合能测试出底火输出火焰长度、火焰持续时间、压力特征参数等输出特征量, 实现对枪械击发点火性能的定量评价。

关键词: 枪械; 击发点火系统; 底火; 模拟试验装置; 压力; 火焰长度

中图分类号: TJ20 **文献标志码:** A

Design of Simulation Test Device for Firing System of Firearms

Zhao Congcong¹, Wei Zhifang¹, Guo Xiangxiang², Xin Changfan¹, Zhang Shuxia¹, Pu Hui¹

(1. College of Mechatronics Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Shandong Special Industry Group Co., Ltd., Zibo 255201, China)

Abstract: In order to reveal the firing mechanism of firearms, study the firing failure mechanism of firearms and improve the firing reliability, a simulation test device for firing system of firearms was designed. By changing the height of the drop hammer, different firing energy conditions can be provided for the test unit. Firing pin and cartridge case with primer are used as test objects to simulate the assembly relationship and actual working conditions of the firing system in firearms. The test results show that the test unit and the monitoring unit can test the output characteristic parameters of the primer, such as flame length, flame duration and pressure characteristic parameters, and realize the quantitative evaluation of the firing performance of firearms.

Keywords: firearms; firing system; primer; simulation test device; pressure; flame length

0 引言

枪械击发点火系统是枪械击发底火引燃发射药的部组件的统称, 由枪械击发机构、底火、枪弹弹壳及发射药等组成。枪械击发机构一般由击锤、击锤簧、击锤簧导杆、击针等组成。枪械击发点火系统工作原理: 击锤打击击针, 击针撞击底火, 底火壳向内变形与火台挤压击发药, 形成热点, 当热点达到点火温度时, 击发药点火产生火焰, 通过传火孔进入枪弹弹壳, 引燃发射药。击发点火性能直接影响枪械发射任务, 底火能够可靠击发并满足一定的输出能量, 以可靠点燃发射药, 是枪弹实现顺利发射并确保其发射精度的关键^[1]。

击发点火系统输出特性主要有输出压力、火焰温度、火焰长度和火焰持续时间等, 目前工程上仅使用底火感度来表征, 即通过底火感度试验获取底火感度曲线、感度上限及下限等表征量, 这种通过听声音来定性评价底火输出能量的感度试验方法, 已不能满足新形势下提高击发点火可靠性等武器装

备质量需求。有学者对底火输出的定量化测试进行了研究, 底火输出压力和火焰温度的测试主要应用于密闭爆发器试验^[2-6]。J.V.Frank等^[7]利用密闭爆发器测量底火装置发火后的最大压力, 得到底火的压力-时间输出特性。E.W.Prince^[8]研究推进剂的燃烧特性时, 用热电偶监测了样品的表面温度。李浩德等^[9]设计了一套压电晶体, 以测试大口径枪弹底火输出气体的压强。柳维旗等^[10]设计了一套由击发器、密闭爆发器、耐高温高频动态压力传感器、比色式红外温度传感器、综合测试仪和计算机构成的测试系统, 能动态采集底火爆发瞬间输出产物的温度和压力随时间变化的曲线。李博等^[11]以落锤仪作为改造基础, 利用高速摄影机和光电传感器搭建了撞击底火输出火焰长度和持续时间的综合测试平台。彭加斌等^[12]采用模拟实验和高速摄影技术对一种无起爆药撞击火帽的输出特性进行了研究。

以上学者均以底火作为试验及研究对象, 并未考虑底火与弹壳、弹膛和击针与枪机的装配关系, 也未考虑击针撞击底火过程中底火变形和能量传递

收稿日期: 2021-12-10; 修回日期: 2022-01-28

作者简介: 赵聪聪(1996—), 男, 河南人, 硕士, 从事武器系统现代设计方法、武器系统仿真技术、弹箭虚拟设计研究。

E-mail: 1486547269@qq.com.

与转换的实际工况。实际上击针能量的转换、能量的散失、击针材料、尺寸以及与各部件的配合均会影响击发点火的性能。笔者设计一种枪械击发点火系统模拟试验装置，以击针及带底火弹壳为试验对象，能够模拟枪械中击发点火系统的装配关系和实际工况，使击针以不同能量撞击底火，测试出底火输出火焰长度、火焰持续时间、压力特征参数等输出特征量，以实现枪械击发点火性能的定量评价。

1 击发点火系统模拟试验装置总体设计

1.1 总体结构

枪械击发点火系统模拟试验装置的总体结构如图1所示。

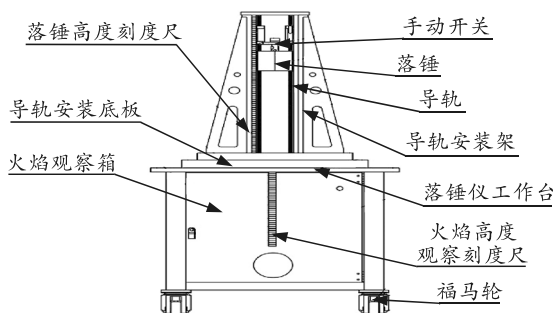


图1 模拟试验装置结构

导轨安装在导轨安装架的安装槽内，手动开关滑动连接在导轨上，落锤悬挂在手动开关下方。导轨安装架固定连接在导轨安装底板上，一侧安装落锤高度刻度尺。导轨安装底板固定连接在落锤仪工作台上，落锤仪工作台下方连接保护单元，保护单元为火焰观察箱。火焰观察箱正面为防爆玻璃观察面，背面为可开关的烟雾排放门，烟雾排放门中部安装火焰高度观察刻度尺，下方预留有圆形接线口。火焰观察箱底部4个角各安装有1个福马轮便于装置的运输。落锤仪工作台中部留有工装安装孔，测试单元可拆卸安装在工装安装孔中。监测单元用于对测试单元的测试信号进行放大、转化、记录，并对测试时间进行标定。

1.2 手动开关

手动开关如图2所示，主要由紧固件、手动扳手、固定安装块和观察指示标志组成，实现落锤的固定、释放与高度调节的功能。选择45#钢材材料作调制处理，以增强其综合力学性能，同时为防止表面生锈，作表面化学处理。

1.3 落锤

落锤是本装置的动力源，动力来自落锤释放的

高度和重量，落锤的重量分为(0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kg)，提供最终的碰撞冲击力。落锤通过导轨自由下落，不同重量的落锤可以自由更换，以满足不同撞击能量的需求。落锤选择合金工具钢Cr12MoV进行淬火处理。为保证落锤的使用寿命和损伤，其硬度淬火到HRC56-58，以增强其硬度和耐磨性，表面作化学处理。

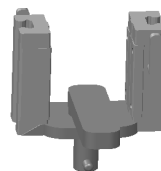


图2 手动开关结构

1.4 导轨

选用直线导轨，有效高度为100~700 mm，主要作用是对落锤进行精密导向和高度刻度控制，以达到试验效果。导轨表面平整光滑，落锤沿着导轨下落时不会受到过多摩擦阻碍而影响到落锤的下落速度。

1.5 导轨安装架

导轨安装架是本装置的主要核心机构，用于支撑导轨的垂直和水平方向，安装手动开关和落锤高度刻度尺及落锤，为落锤提供上升高度，保证实现落锤自由落体。导轨安装架的材料选择铸铁，零件为铸造件，以保证其在不同环境、长期使用时的稳定性。

1.6 落锤高度刻度尺

落锤高度刻度尺主要作用是标定落锤高度，在试验中，不同的落锤高度产生不同的试验参数。落锤高度刻度尺采用规范的国标刻度尺。

1.7 导轨安装底板

导轨安装底板用于支撑导轨安装架，以提高试验平台刚度，并标定了工件的水平位置。导轨安装底板选择铸造工艺，以保证其在不同环境、长期使用时的稳定性。

1.8 落锤仪工作台及保护单元

落锤仪工作台下方连接保护单元即火焰观察箱，火焰观察箱的正面为防爆玻璃观察面。落锤仪工作台的材质选择合金工具钢Cr12MoV，并作表面处理，防止生锈。台面采用水平研磨，以确保落锤仪工作台台面光滑。火焰观察箱采用钣金焊接，并将正面预留为观察面。为观察方便，火焰观察箱箱

内选用暗色喷漆处理。为安全起见，观察面选用防爆玻璃用于观察。火焰观察箱的背面为可开关的烟雾排放门，便于打开，方便烟雾排出，其下方中部预留有圆形接线口。火焰观察箱内壁涂暗色耐高温漆，以便观察火焰高度。

1.9 火焰高度观察刻度尺

火焰高度观察刻度尺采用国标刻度尺，安装于火焰观察箱背面(即烟雾排放门)的中间部位，主要作用是标定输出火焰的高度。

1.10 福马轮

福马轮如图 3 所示，火焰观察箱底部 4 个角各安装 1 个福马轮，通过设置福马轮使整个装置可以自由推动，而且福马轮自身的高度可以调节，可保证整个装置在安装福马轮后不会失衡。福马轮的型号为 GD40S-80F，具有承重性好、耐磨性强、高度调节行程大等优点。

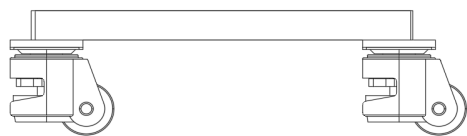


图 3 福马轮结构

1.11 测试单元

测试单元包括压力测试单元和火焰测试单元。测试单元以击针、带底火弹壳为试验对象模拟枪械击发点火系统的装配关系与实际工况：击针装配于模拟枪机上的击针孔中，突出模拟枪机端面的距离与实际强制突出量一致。落锤打击击针后，由于惯性击针会继续向前运动一段距离，直到受到模拟枪机前部锥孔的限制后停止运动。测试单元可拆可换，方便适应各种不同规格的试验对象，采用模块化的设计方法，压力测试单元与火焰单元外形直径设计一致，通过压螺安装在装置预留的工装安装孔中。压螺对测试单元起限位作用，同时保证同轴度和水平度。

1) 压力测试采用密闭爆发器原理，选择压电式测压方法，测试单元如图 4 所示，包括试验对象安装模块和压力测试模块，试验对象安装模块包括击针、模拟枪机和测压压螺；压力测试模块包括测压带底火弹壳、弹口垫圈、传感器安装块和压电式压力传感器。通常，小口径枪弹底火输出火焰气体压力在弹壳自由容积内可达 10 MPa 左右，故应选择测量量程与之相匹配的压电式压力传感器，为提高测试精度，需合理设计密闭爆发器容积，故需对弹

壳进行截断处理^[13]。

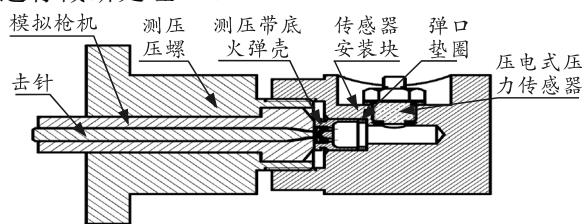


图 4 压力测试单元

2) 火焰测试单元如图 5 所示，火焰测试单元包括试验对象安装模块和火焰测试模块，试验对象安装模块包括击针、模拟枪机和测火焰压螺；火焰测试模块包括测火焰带底火弹壳和火焰观测块。为便于观察并测量火焰长度，对测火焰带底火弹壳进行加工，沿弹底内腔处截断，保留完整弹底，弹底内腔平面处定为火焰长度起始端，并在火焰观测块上开观测窗使火焰外露。

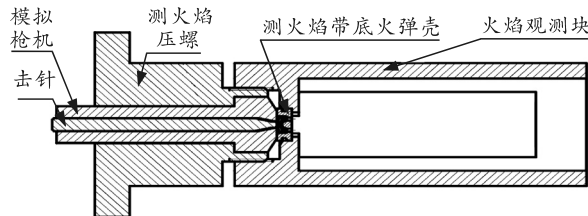


图 5 火焰测试单元

1.12 监测单元

监测单元包括压力监测单元和火焰监测单元。压力监测单元包括电荷放大器和数据采集仪，与压电式压力传感器连接以进行压力数据的采集。火焰监测单元包括高速摄像机和点式光强仪等。高速摄像机放置在火焰观察箱外，配合点式光强仪，对准火焰观测块侧面的观测窗采集火焰数据。

2 击发点火系统模拟试验装置的设计分析

2.1 总体参数设计

从击发能量、装置整体尺寸及重量、安全防护、工装接口等方面对装置进行设计，主要技术参数如表 1 所示。

表 1 主要技术参数

| 序号 | 主要技术参数 | 参数值 |
|----|------------|---------------|
| 1 | 直线型滑轨 | SHS-30 V |
| 2 | 防爆玻璃厚度/mm | ≥20 |
| 3 | 防护罩钢板厚度/mm | 5 |
| 4 | 工装接口直径/mm | 40 |
| 5 | 设备外形尺寸/mm | 800×600×1 550 |
| 6 | 设备重量/kg | 约 350 |

2.1.1 击发能量的设计

底火击发能量范围为 0~1.5 J，为满足底火击

发能量范围的要求，落锤设计4种规格(0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kg)。落锤下落过程中，忽略落锤与导轨之间的摩擦以及空气阻力，落锤近似做自由落体运动。根据势能定理

$$mv^2=mgh. \quad (1)$$

式中： m 为物体的质量； v 为瞬时速度； g 为重力加速度； h 为落锤下落的高度。落锤的最大有效高度是700 mm，最小落锤的质量为0.5 kg，最小质量落锤下落的最大能量为：

$$E=mgh=0.5 \times 9.8 \times 0.7=3.43 \text{ J}. \quad (2)$$

故落锤能满足底火击发能量范围的要求。

2.1.2 安全防护

为实现对操作人员的安全防护，保护单元使用钢制防护罩，防护罩钢板厚度为5 mm。同时，为实现对输出火焰的观察与测试，保护单元正面采用防爆玻璃的设计，防爆玻璃厚度 ≥ 20 mm。

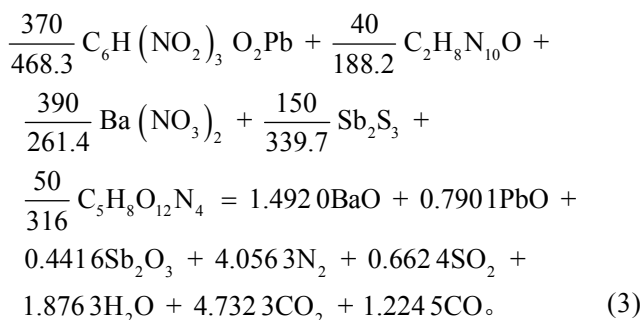
2.1.3 工装接口设计

工装接口直径根据测试单元外形直径确定。测试单元采用模块化的设计方法，压力测试单元与火焰单元外形直径设计一致，可拆可换。为方便测试单元安装，传感器应提前装入测试单元，根据传感器尺寸以及容腔管道的直径确定了测试单元外形直径均为 $\phi 40$ mm，故工装接口的直径也为 $\phi 40$ mm。

2.2 压力测试单元容腔体积设计计算

压力测试单元根据密闭爆发器原理进行设计，利用击发药的化学反应方程式计算出击发药定容燃烧的爆温和爆容等参数，进而得出容腔内最大压力和容腔体积的关系。设计截断后弹壳连同测压通道的容腔体积，使容腔内压力达到8 MPa。计算过程如下：

假设初始压力101 kPa，初始温度25 °C，击发药0.035 g。1 kg 击发药燃烧的化学反应式：



利用击发药的平均爆热、化学反应生成产物中各组分摩尔质量以及卡斯特平均分子热容来计算爆

温，净增温度：

$$t = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4BQ_v}}{2B}. \quad (4)$$

A 、 B 通过化学反应生成产物中各组分摩尔质量以及卡斯特平均分子热容得出，经计算可得击发药的爆温：

$$T_1=t+T_0=1736.5+298=2034.5 \text{ K}. \quad (5)$$

爆炸时产生的最大压力，可按压力与温度及摩尔数成正比的规律确定，按此规律有下列关系式：

$$P_1/P_0=T_1/T_0 \times n/m. \quad (6)$$

式中： P_1 、 T_1 和 n 为爆炸后的最大压力、最高温度和气体摩尔数； P_0 、 T_0 和 m 为爆炸前的初始压力、初始温度和气体摩尔数。

由此可得爆炸压力计算公式：

$$P=T_1n/(T_0m) \times P_0. \quad (7)$$

假设容腔体积为 x ml时最大压力为8 MPa，

$$8 = \frac{2034.5 \times ((x/24.5) \times 10^{-3} + 4.55 \times 10^{-4})}{298 \times (x/24.5) \times 10^{-3}} \times 0.1.$$

计算可得 $x=1.04$ ml。

以上计算的爆炸温度与压力都未考虑热损失，是按理论的空气量计算的，所得数值都是最大值。

3 结束语

笔者设计一种枪械击发点火系统模拟试验装置，以击针及带底火弹壳为试验对象，能够模拟枪械中击发点火系统的装配关系和实际工况，使击针以不同能量撞击底火。该装置能测试底火输出火焰长度、火焰持续时间、压力特征参数等输出特征量，可实现对枪械击发点火性能的定量评价。测试单元采用模块化的设计方法，可拆可换，方便适应各种不同规格的试验对象。

参考文献：

- [1] 朱跃龙. 底火能量释放特性及其对内弹道性能影响的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [2] 黄红凯, 蔡瑞娇, 柳维旗, 等. 底火输出能量的几种测量方法[J]. 火工品, 2004(3): 47-49.
- [3] 陈明华, 马桂海, 柳维旗, 等. 底-6乙底火药剂的燃烧温度测定与计算[J]. 含能材料, 2006, 2(14): 129-131.
- [4] 徐建国, 金昌根, 陈玲, 等. 底火输出能量测试仪的设计[J]. 火工品, 2010(3): 54-56.
- [5] 柳维旗, 姜志保, 苏振中, 等. 一种底火性能用密闭爆发器: CN, 102192689A[P]. 2011-09-21.