

文章编号: 1000-582X(2013)01-050-05

可燃元器件耐温时间新型测试装置的研制

王光建, 刘中华, 喻立

(重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 针对可燃元器件的特点, 提出了适用于速射火炮用可燃元器件耐温时间测试方法, 并研制了测试装置样机; 通过采用光电倍增管配合光纤进行火焰检测, 以及红外发射、接收管配合光纤检测烟雾, 作为一种测定可燃元器件膛内耐温时间方法; 经试验测试, 该测试装置能有效测试烟雾和火焰信号; 该装置也能应用于其他非金属材料的耐温特性测试。

关键词: 可燃元器件; 火焰传感器; 烟雾探测器; 实验设计

中图分类号: TJ430.6

文献标志码: A

Development of an apparatus for testing heat-resistance time of combustible devices

WANG Guangjian, LIU Zhonghua, YU Li

(The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Based on the characteristics of combustible cartridge case, a test method for heat-resistance time of minor-caliber rapid-fire gun with high rate of fire is proposed and test apparatus prototype is developed. The method is to do the flame detection through the use of photomultiplier tubes combined with optical fiber and detecting smoke by using the infrared and receiver combined with optical fiber. The test experiments show that the apparatus can effectively test the signal smoke and flames. Moreover, it can be applied to the heat-resistance test of other nonmetallic materials.

Key words: combustible cartridge case; flame sensor; smoke detectors; experimental design

可燃元器件常常应用于高膛压火炮中, 如主战坦克、反坦克炮, 即主要在低射速、大口径火炮中应用, 具有重量轻、成本低、无需退壳和供输弹方便等优点。近年来, 随着防空反导速射武器的快速发展, 火炮武器系统广泛应用于陆军、海军和空军, 用于野战防空、要地防空、舰船防空和飞机空中近距格斗^[1]。因此, 迫切需要开展可燃元器件在速射武器中的应用研究。可燃元器件的自燃严重制约了其在射速火炮中的应用^[2], 为了避免可燃元器件在射速火炮上可能的弹丸自燃问题, 必须对可燃元器件耐温特性进行研究。同时, 当越来越多的非金属材料应用于各种场合时, 也需要进行耐温特性的研究。

近年来较多学者对可燃元器件进行了理论和试验研究, 如 Shedge 等^[3]研究了其材料成分如粘接剂对燃烧性能的影响, Jia 等^[4]研究了湿度对燃烧性能的影响, 大部分对可燃元器件的特性或性能的研究采用密闭容器法^[5-7]和热重法, 少数采用其他方法, 如乔丽洁等^[8]用化学分析和红外光谱对燃烧残渣的分析研究。虽然可燃元器件的主要材料为硝化棉(燃点为 160~170 °C), 但由于试验条件、几何参数等的不同, 以及近年来新型可燃元器件的不断研发^[9-10], 其性能存在差异, 耐温特性并不相同。国内尚未对速射火炮用可燃元器件的耐温时间进行试验研究。大口径火炮用可燃元器件的耐温时间测试, 采用的是

收稿日期: 2012-08-20

基金项目: 国防科工局专项技术研究项目(JG2010039)

作者简介: 王光建(1973-), 男, 重庆大学副研究员, 主要从事新型及精密机电传动系统研究, (E-mail)gjwang@cqu.edu.cn。

手工和热电阻进行测试,热电阻的响应时间为秒级。而速射火炮用可燃元器件的耐热时间测试精度要求在毫秒级,因此必须进行可燃元器件膛内耐温持续时间新的测试方法和试验研究。笔者针对可燃元器件的特点,提出了适用于速射火炮用可燃元器件耐温时间测试方法,研制了测试装置样机并开展相关试验。

1 可燃元器件耐温时间测试原理及组成

1.1 测试要求和组成

根据可燃元器件的燃烧特性,不同膛温条件下可燃元器件耐温时间测试装置应满足如下要求:1)较高精度。测试精度应该在毫秒级。2)高可靠。根据燃烧的定义,只要冒烟或明火均定义为燃烧,因此测试装置需要能识别烟雾和明火信号。3)安全。能隔离操作,具备防护措施。

测试装置主要由 4 部分组成:1)加热及温控模块,包括模拟炮膛、温度控制装置;2)传感器,包括燃烧火焰识别和烟雾识别传感器装置;3)数据采集与系统控制,包括计时触发装置、计算机控制硬件和软件;4)机械与操作机构,包括模拟炮膛、操作机构和支撑台架。

1.2 测试装置原理

将可燃元器件试件放入设定温度的模拟炮膛内,使试件受热分解,产生冒烟或明火。从完全进入炮膛内开始到产生冒烟或明火之间,或烟火并存的时间,即为可燃元器件在规定温度下的耐温持续时间。测试装置如图 1 所示。

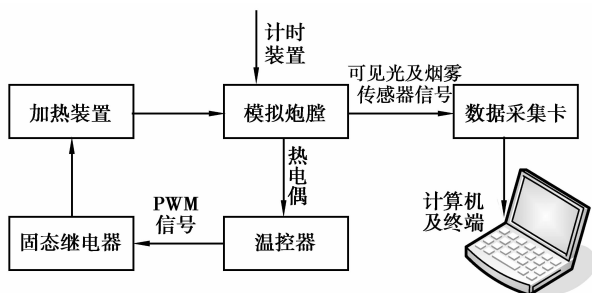
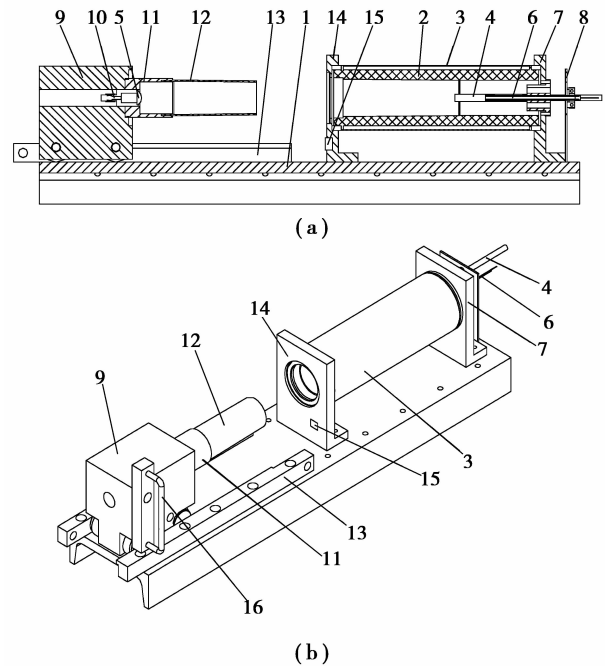


图 1 测试装置示意图

当模拟炮膛加热到设定的温度时,将可燃元器件(通过安装底座)放置在模拟炮膛的设定位置,此时计时触发器给出触发脉冲信号,则数据采集系统开始采集数据;数据采集卡将火焰检测传感器信号和烟雾传感器信号采集到计算机内,进行分析处理。燃烧结束,可燃元器件安装底座退出炮膛。

2 模拟装置的总体布置

图 2 所示为试验装置结构示意图。方案采用筒形陶瓷电加热器 3(外有石棉瓦保温层和护罩),可燃元器件试样 12 置于模拟炮膛 2 内进行加热,陶瓷电加热器通过温控器进行温度控制。红外发射管 6 和燃烧的光信号经过平凸镜 5 后,再通过一入二出的光纤头 10 分别传给光电倍增管和红外接收管。



1—底座;2—模拟炮膛;3—陶瓷加热器;4—热电偶;
5—平凸镜;6—红外发射管;7,8,14—支撑座;
9—滑块;10—光纤头;11—夹持头;12—试样;
13—轨道;15—光电行程开关;16—把手

图 2 实验装置结构示意图

2.1 燃烧传感器的设计及数据采集

由于燃烧识别采用 3 种判别方式:火焰燃烧识别、烟雾识别和烟火并存。因此,实现可燃元器件耐温时间较高精度测试的关键技术之一在于测试方法和传感器选择。经过分析、研究和原理性试验,最终选择:光电倍增管检测火焰的燃烧识别方式和红外光检测烟雾的烟雾识别方式。

光电倍增管采用滨松电子 R212 倍增管,配 CC238 的高压模块;红外发射与接收管采用 IR204C-A,峰值波长为 940 nm;平凸透镜的型号为:GL21-015-020。

1)应用光电倍增管和光纤检测火焰。

光电倍增管在检测光时具有极高的灵敏度,可以做到荧光检测^[11-12]。光电倍增管与光纤配合检测燃烧,作为燃烧检测的一种方法,具有很好的效果,

Wojcik^[13]应用到电站锅炉燃烧过程的诊断中,得到了很好的效果,因此用来检测可燃元器件的燃烧极为合适。

由于可燃元器件燃烧的光谱范围比较宽,且燃烧形式不固定,选择不同的可见光传感器或红外传感器,经实测效果均不理想。市场现有的火焰传感器,由于响应速度远远不够,最终也选择由光电倍增管和光纤组成的火焰检测传感器。如图 2 和图 3 所示,一入两出光纤传感器 10 固定安装在滑动块上,采光探头使用的是平凸透镜 5,可燃元器件燃烧产生的火焰光由采光探头采集到光纤头,再传输至暗箱中的光电倍增管,最后信号由采集卡输入至计算机中。光电倍增管对光具有高灵敏度、快速响应速度(响应时间 2.2 ns),当输入燃烧光谱达到一定值时,其信号则达到一定强度,从而判定火焰的产生。

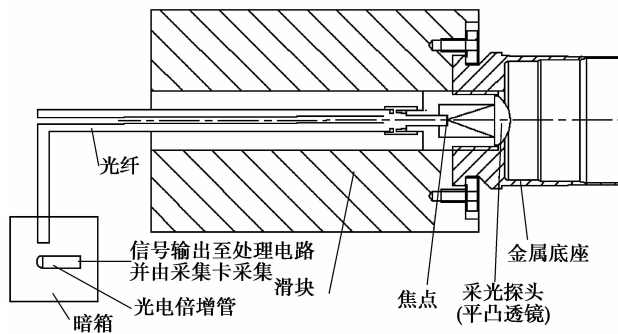


图 3 光纤燃烧传感器的原理示意图

2) 应用红外发送接收管和光纤检测烟雾。

烟雾的检测国内外研究较多,如 Li 等^[14]研制的紧凑型光学烟雾探测器,使用收集气缸进行烟雾探测;Gould 等^[15]使用烟雾传感器应用在柴油机上进行实验研究。但是这些烟雾传感器对烟雾的灵敏度和时间响应都难达到要求,因此笔者自制了烟雾传感器如图 4 所示,由红外接收管、红外发射管、光纤、平凸透镜 3 及信号处理电路组成。由于模拟炮膛温度很高,同时为了便于与平凸透镜对中,红外发射管安装于石英玻璃管中(当然即使使用石英玻璃管,也必须短时间置于模拟炮膛中)。

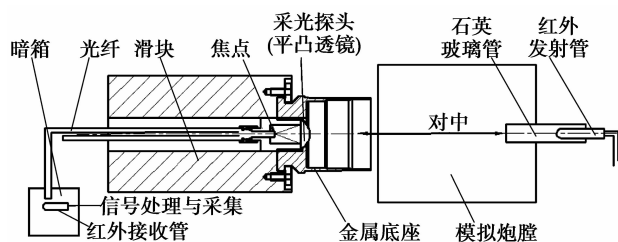


图 4 红外烟雾传感器原理示意图

当红外发射管发射信号通过炮膛内部,经平凸透镜聚光后,经光纤传递至红外接收管,经过适当的电路处理即由数据采集卡将信号采集。在没有烟雾情况下,红外接收管输出信号基本上处于一个固定的最大值;而当烟雾产生时,红外发射管发射的信号由于烟雾的阻碍而变弱,从而判定烟雾的大小。当然,由于烟雾的漂浮和滞后,可以考虑设置多个烟雾传感器,以检测不同位置的烟雾,再综合评估。在本样机中,设置了一个烟雾传感器。

2.2 数据采集与处理

数据采集采用 NI 公司 USB-6210 数据采集卡,250 k/s 的速度,软件采用 Labview 作为编程工具进行数据采集和处理。炮膛加热至指定温度时,将装在滑块 9 上的试验元器件 12 推入模拟炮膛 2,当到位后则触动光电开关 15 发出触发信号,数据采集开始。

不同温度下,可燃元器件的燃烧特征不同,可能会出现 3 种情况:只产生烟雾、爆燃(没有烟雾或者烟雾特征不明显)、烟雾火焰并存。从信号上看,通常都有明显的分界点,以此作为分界点即可判定燃烧开始。

3 实验结果与分析

在实际测试过程中,由于火焰信号和烟雾信号均为连续值,因此对于烟雾信号,设定以峰值降低到 70% 的时候为燃烧开始;而对于火焰信号,设定为峰值信号的 30% 的时候为燃烧开始;当烟火并存的时候,以最先达到判定条件的信号为燃烧开始信号。以 300 °C、350 °C 和 400 °C 为例来说明可燃元器件耐燃燃烧特性曲线的测试。

1) 模拟炮膛温度 300 °C 时,可燃元器件燃烧只产生了烟雾,如图 5 所示为烟雾信号曲线,以烟雾传感器信号急剧下降点为燃烧标志,即可燃元器件耐燃时间为 2.50 s。

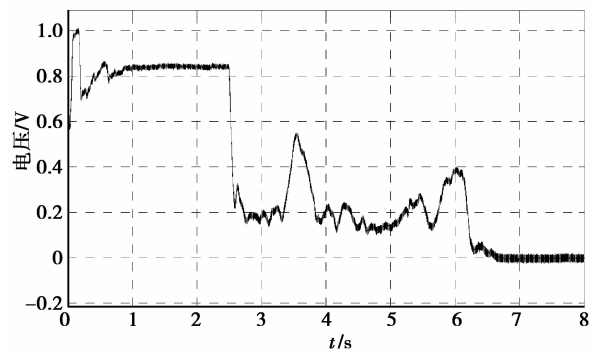


图 5 300 °C 只产生烟雾信号曲线

2)模拟膛温 400 °C 时,可燃元器件燃烧只产生了火焰(烟雾极少且时间非常短,不易检测),如图 6 所示,以光电倍增管信号增加的信号为燃烧标志,可燃元器件耐温时间为 0.942 s。

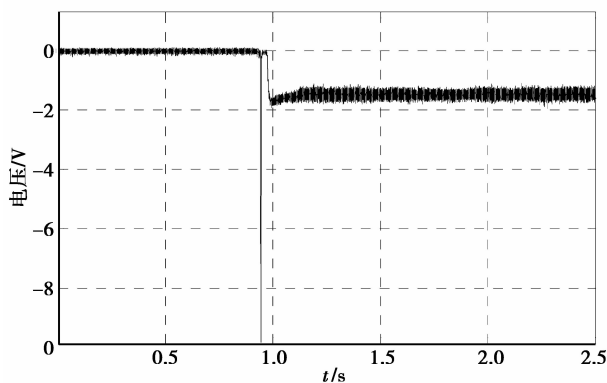


图 6 400 °C 时只产生火焰信号曲线

3)模拟膛温 350 °C 时,可燃元器件燃烧烟雾与火焰并存。图 7 为烟雾传感器和火焰传感器信号曲线,以先下降 30% 的烟雾的信号作为燃烧开始标志,由图 7 可知可燃元器件的耐温时间为 1.15 s。

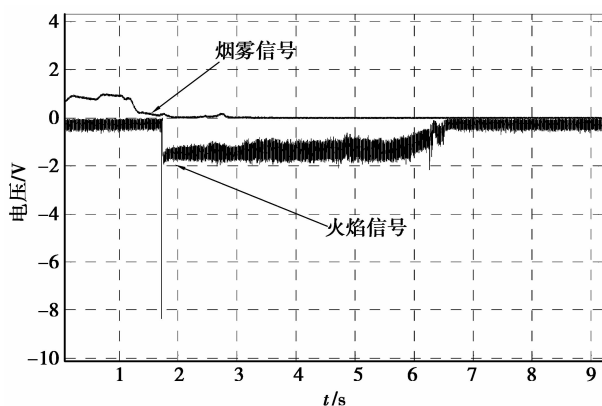


图 7 350 °C 可燃元器件燃烧曲线图

由于可燃元器件在实际的使用过程中并不与内膛壁直接接触,与膛壁的热交换主要通过辐射和对流,因此实际测试的耐温时间为 0.9 s 以上。同时,其耐温时间与可燃元器件本身的湿度等因素密切相关。以火炮射速每分钟 250 发为例,其每发弹所需时间为 0.24 s,因此可燃元器件耐温时间满足使用要求。

4 结 论

1)针对速射火炮可燃元器件的耐热时间测试要求,提出并设计了一种可燃元器件耐温时间的试验研究及测试装置。

2)设计了分别测试火焰和烟雾的燃烧传感器装置:以光电倍增管和红外发射、接受管分别和光纤组成燃烧传感器,适用于测试可燃元器件燃烧测试。

3)以 300 °C、350 °C 和 400 °C 为例测出可燃元器件的耐温燃烧特性曲线,表明该测试装置能有效测试可燃元器件燃烧烟雾和火焰信号,还能有效测试可燃元器件的耐温时间。

4)本装置适用于可燃元器件等非金属材料的耐温时间的测试。不足之处:由于烟雾产生和扩散较慢的特点,需进一步提高烟雾检测的响应速度。

参考文献:

- [1] 朱森元. 小口径速射火炮武器系统发展展望[J]. 兵工自动化, 2008, 27(6): 1-4, 8.
- ZHU Senyuan. Development forecasting for small caliber rapid firing artillery system [J]. Ordnance Industry Automation, 2008, 27(6): 1-4, 8.
- [2] 傅朝斌. 全可燃药筒高射速火炮身管传热性能研究[D]. 南京:南京理工大学硕士学位论文, 2009.
- [3] Shedje M T, Patel C H, Tadkod S K, et al. Polyvinyl acetate resin as a binder effecting mechanical and combustion properties of combustible cartridge case formulations [J]. Defence Science Journal, 2008, 58, (3): 390-397.
- [4] Jia H N, Lu G E, Jiang J Y, et al. The influence of humidity on burning perfectibility of molded combustible cartridge case [J]. Advanced Materials Research, 2011, 295/296/297: 446-449.
- [5] 李煜, 赵成文, 郭德惠, 等. 可燃药筒的定容燃烧特性[J]. 火炸药学报, 2009, 32(4): 75-79.
- LI Yu, ZHAO Chengwen, GUO Dehui, et al. Constant-volume combustion properties of combustible cartridge case [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2009, 32(4): 75-79.
- [6] 乔丽洁, 堵平, 廖昕, 等. 可燃药筒对模块装药燃烧残渣的影响[J]. 兵工学报, 2011, 32(10): 1250-1254.
- QIAO Lijie, DU Ping, LIAO Xin, et al. Influence of combustible case on combustion residue of modular charge [J]. Acta Armamentarii, 2011, 32 (10): 1250-1254.
- [7] 邹伟伟, 肖乐勤, 周伟良. 模压可燃药筒点火特性[J]. 弹道学报, 2012, 24(1): 79-82.
- ZOU Weiwei, XIAO Leqin, ZHOU Weiliang. Ignition characteristics of molded combustible cartridge case [J]. Journal of Ballistics, 2012, 24(1): 79-82.
- [8] 乔丽洁, 刘志涛, 王泽山. 炮用模块装药燃烧残渣的分

- 析[J]. 火炸药学报, 2010, 33(6):80-83.
- QIAO Lijie, LIU Zhitao, WANG Zeshan. Analytical study on combustion residue of modular charge[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2010, 33(6):80-83.
- [9] 李煜, 郭德惠, 赵成文, 等. 新型含能纤维可燃药筒性能研究[J]. 含能材料, 2009, 17(3):334-338.
- LI Yu, GUO Dehui, ZHAO Chengwen, et al. Characterization of combustible cartridge cases enhanced by novel energetic fibers[J]. Chinese Journal of Energetic Materials. 2009, 17(3):334-338.
- [10] 赵成文. 新型可燃药筒的制备及性能研究[D]. 南京: 南京理工大学硕士学位论文, 2008.
- [11] Robert J. Photomultiplier tubes are versatile components [J]. Biophotonics International, 2005, 12(10):30-33.
- [12] Herbert D J, Saveliev V, Belcari N, et al. First results of scintillator readout with silicon photomultiplier[C]//
 Proceedings of the 2004 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, October 16-22, 2004, Rome, Italy. Piscataway: IEEE Press, 2004, 7: 4185-4189.
- [13] Wójcik W. Application of fibre-optic flame monitoring systems to diagnostics of combustion process in power boilers[J]. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, 2008, 56(2):177-195.
- [14] Li F, Yoshino T. Compact optical smoke sensor that uses an integrating cylinder[J]. Applied Optics, 2003, 42(1):45-50.
- [15] Goud D, Gardiner D P, LaViolette M, et al. Further development of a smoke sensor for diesel engines[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2009, 131(2):022801.
- (编辑 张 苹)
-
- (上接第 49 页)
- [11] Qi X T. Outsourcing and production scheduling for a two-stage flow shop [J]. International Journal of Production Economics, 2011, 129(1):43-50.
- [12] Zhong W Y, Chen Z L, Chen M. Integrated production and distribution scheduling with committed delivery dates[J]. Operations Research Letters, 2010, 38(2): 133-138.
- [13] Lin F R, Yu J H. Visualized cognitive knowledge map integration for P2P networks [J]. Decision Support Systems, 2009, 46(4):774-785.
- [14] Fujiwara R, Kitamura A, Mutoh K. Ontology-based manufacturing knowledge navigation platform [C]//
 Proceedings of the 2011 IEEE 9th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, September 8-10, 2011, Subotica, Serbia. Piscataway: IEEE Press, 2011:175-179.
- [15] 苏海, 蒋祖华, 伍宏伟. 面向产品开发的知识地图构建[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(12):2034-2040.
- SU Hai, JIANG Zuhua, WU Hongwei. Building knowledge map for product development[J]. Journal of Shanghai Jiao tong University, 2005, 39(12): 2034-2040.
- (编辑 张 苹)