

固体推进剂燃烧过程实时监测与燃速测定系统^{*}

杨荣杰¹, 李玉平¹, 刘云飞¹, 华志春²

(1. 北京理工大学 化工与材料学院, 北京 100081;

2. 浙江大学 计算机系统研究所, 浙江 杭州 310027)

摘 要: 在固体推进剂线扫描摄像实时燃速测定系统的基础上, 研制成功了新一代的固体推进剂燃烧过程和燃速的实时监测系统。介绍了这一新系统的组成、硬件工作原理和软件的主要功能。利用该系统, 可以得到更多有关固体推进剂燃烧过程的信息。

主题词: 固体推进剂, 推进剂燃烧; 燃速测试; 实时测量; 扫描成像系统

中图分类号: V512 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4055 (2000) 01-0086-03

Advanced system of monitor and measurement for the combustion process and rate of solid propellants

Yang Rongjie¹, Li Yuping¹, Liu Yunfei¹, Hua Zhichun²

(1. Coll. of Chemical Engineering and Material Science, Beijing Inst. of Technology, Beijing 100081, China;

2. Computer System Inst., Zhejiang Univ., Hangzhou 310027, China)

Abstract: A kind of advanced system of monitor and measurement for the combustion process and rate of solid propellants was successfully developed based on the system of burning rate measurement of solid propellants by real time line scan camera designed in 1984. The article introduced the components of the advanced system, working principle of hardware and major functions of software. The more combustion information of solid propellants, such as distribution of combustion flame light strength etc., can be obtained, and data treatment and operations are more convenient with the system compared with the old system.

Subject terms: Solid propellant; Propellant combustion; Burning rate testing; Real time measurement; Scanning imaging system

1 引 言

为了解固体推进剂燃烧过程中燃面随时间的变化而研制的线扫描摄像实时燃速测定系统^[1], 实现了无胶片操作和实验结果数字化, 从而简化了操作并提高了实验的精度和准确度。但随时间的推移, 该法也逐渐暴露出一些不足: 系统组成复杂, 获取信息量少, 采用预置阈值, 实验成功率低。为此我们研制了性能更高、操作更方便的燃烧过程测试系统。

2 系统组成

对线扫描摄像实时燃速测试系统作了如下简化: 用打印机完成绘图工作; 用计算机代替示波器实时监测摄像机的 AV 等信号, 并将其实时显示在计算机的显示屏上; 采集每次扫描的所有 1024 个像素的电压

信号 (AV 信号) 以扩大获取的信息量, 在计算机上设置阈值。由计算机代替原来的像素定位器完成从 AV 信号到二值信号的转换和燃烧界面的确定。

为完成大信息量的实时高速采集, 增设数据采集器 (安装在计算机的机箱内)。新的硬件系统如图 1 所示。各主要组成及性能指标如下:

(1) 透明高压火药燃烧室: 最高工作压力 30 MPa。

(2) CCD 线扫描摄像系统 (由摄像机 CCD1310 和摄像机控制单元 CCD1320 组成): 扫描频率 80 Hz ~ 10 kHz; 曝光时间 100 μ s ~ 11 ms 连续可调; 数据速率 100 kHz ~ 10 MHz 连续可调; 光谱范围 400 nm ~ 1200 nm; 视频输出负载为 75 Ω 时 1 V_{pp}。

(3) 计算机: PC 兼容机 (现为 Pentium CPU、32M 内存, 软、硬件设计不受计算机更新的影响)。

* 收稿日期: 1999-02-01; 修订日期: 1999-07-19。

作者简介: 杨荣杰 (1963-), 男, 教授, 博士, 主要从事含能材料及高分子材料物理与化学研究。

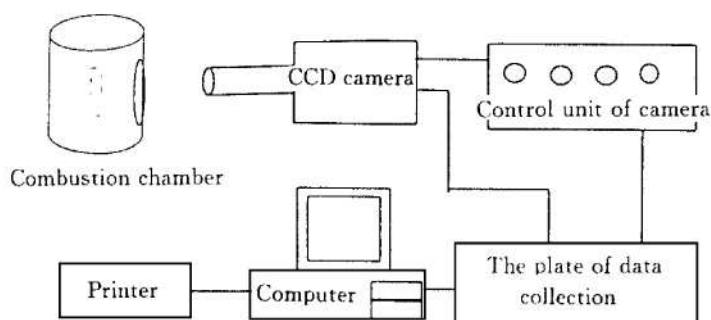


Fig. 1 Monitor and measurement system

(4) 打印机: Win95 支持的任何型号的打印机。

(5) 数据采集板: 最大采集行数 1024 行; 采集分辨率 1024 点; 最大采集速率 10 MHz; 最大内存 1 M。

数据采集器上述性能可保证摄像以最高速率扫描时, 计算机能实时采集到其所有 AV 信号。

3 硬件工作原理

药柱在燃烧室内燃烧的火焰, 经透镜聚焦到线扫描摄像机的 CCD 光敏线阵上, 在其每个像素上产生一个正比于光强的电压信号。摄像机对各像素扫描一次, 产生一组 AV 信号, 其波峰对应于药柱的火焰部分, 信号的数值大小对应于火焰的亮度。

摄像机对 CCD 光敏线阵按一定的时间间隔进行周期性地扫描, 将连续产生一系列 AV 信号。燃烧火焰的移动在 AV 信号上表现为波峰的移动。实时采集并记录燃烧过程的 AV 信号, 即记录了药柱在燃烧过程中的光强分布及随时间的变化。

设计制作的数据采集板可为高速实时采集到燃烧过程中产生的所有 AV 信号, 其组成见图 2。

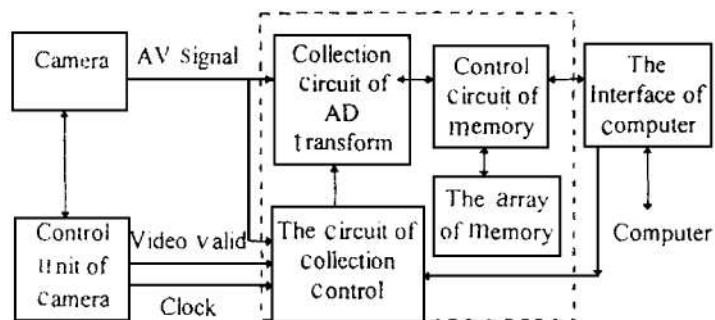


Fig. 2 The principle of data collection

为使整个系统的工作与摄像机扫描和数据输出同步, 时钟信号由摄像机控制单元提供。采集的始与终既可由计算机通过接口用软件控制, 也可受视频及视频有效信号控制。药柱未燃烧时, 输出的 AV 信号接近 0V, 即无波峰, 计算机不采集数据; 当药柱开始燃烧时, 摄像机感受到光信号, 输出的 AV 信号就

有波峰, 设置了合适阈值后即产生有跳变沿的二值信号, 用二值信号的上升沿来启动数据采集器和 A/D 变换采样电路, 使它开始采集 AV 信号。

变换采样电路将模拟的 AV 信号变换成 8 位数字信号, 再通过存储器控制电路写入存储器阵列。当采集完 1024 组 AV 数据, 计算机靠存储器控制电路和接口电路将存储阵列中的数据读入计算机。

4 软件组成及主要功能

系统软件是在中文 Windows 95 环境中用 C++ Builder 开发而成, 组成如下:

(1) 信号监视: 将摄像机扫描产生的 AV 信号实时显示在计算机的显示器, 起示波器的作用, 供系统调试使用。

(2) 周期校准: 检测摄像机的扫描周期、曝光时间等参数, 并将其作为计算机计时的根据。

(3) 实验参数管理: 记录和管理每次实验过程有关参数, 如样品名、样品密度、实验压强、初始温度、实验日期、阈值、光圈、曝光时间等。

(4) 数据采集: 实时采集摄像机扫描产生的 AV 信号。

(5) 数据保存: 将实验采集的数据与实验条件一起保存在磁盘上。

(6) 数据处理: 对采集的 AV 信号进行处理, 获得所希望的结果。

(7) 数据打印: 打印各种实验图表。

5 系统主要功能

5.1 获得任一时刻的 AV 信号

AV 信号是像素上产生的与光强成正比的电压值的模拟信号。经 A/D 变换为 0~255 的数值信号。摄像机每扫描一次, 产生一组 AV 信号; 一次燃烧过程最多可以产生 1 020 组。燃烧一根药柱, AV 信号的数据量约为 1M。AV 信号值正比于光强, 因此该信号可以反映出火焰的光强结构。不同的 AV 信号结构代表着不同的火焰光强分布, 进而可以表示不同的燃烧机理。因此获取 AV 信号对于固体推进剂燃烧机理的研究有着重要意义。图 3 是双铅-2 在 7.0 MPa 下燃烧时的一条 AV 曲线。它有一个极小值, 说明在火焰中有一个暗区; 这一结果与其它方法得出的结论相一致^[2]。进一步实验发现: AP/HTPB 复合推进剂、AP 单元推进剂和 HMX 单元推进剂 AV 曲线与双铅-2 的不同。说明该系统的确可以使我们获得更多的有关推进剂燃烧的信息。

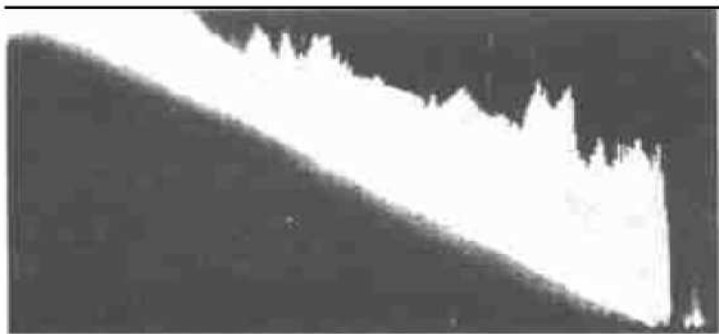


Fig. 3 The AV signal of SQ-2 at 7.0 MPa

5.2 获得火焰光强的灰度图

用“灰度”表示不同的光强,即最亮的AV值255用全白表示、最暗的AV值0用全黑表示,AV的各中间值用适当灰度表示,即可“还原”火焰光强,得到“灰度”图。它相当于转鼓照相法得到的感光照片。图4是双铅-2在7.0MPa下燃烧时的灰度图。根据灰度图可以直观地了解燃烧过程中药柱端面随时间的下降情况,得到药柱界面的规律性和稳定性图形;必要时还可以象转鼓照相法那样手工计算燃烧速度。

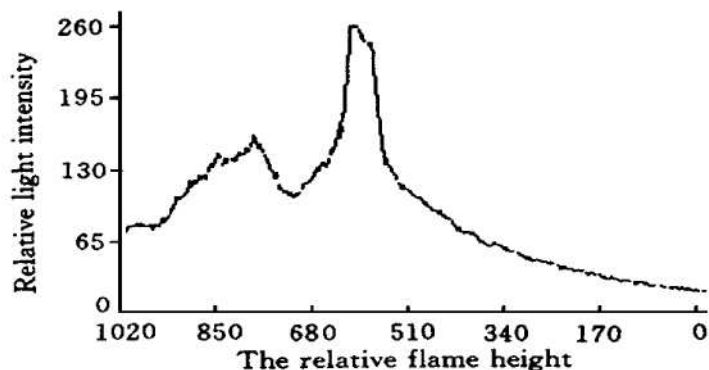


Fig. 4 The grayness of SQ-2 at 7.0 MPa

5.3 获得燃烧界面随时间的变化并计算出燃速

将灰度图上“界面”处的光强定为“阈值”,可以把“AV”信号转化为在“界面”处跳变的二值信号,其跳变沿位置即为燃烧“界面”位置。由“界面”位置随时间的变化关系可以求出药柱高度随时间的变化关系,从图5所示的药柱高度随时间的变化曲线,可以看出药柱的详细燃烧过程。取稳定燃烧段用最小二乘法即可计算药柱的平均燃速。

5.4 仪器的标定

以靶线法测得的燃速为基准,采用固体推进剂燃烧过程实时监测与燃速测定系统对标准药双铅-2进行了测定,试验结果见表1。

从表1中可见,在充氮气3.0, 5.0, 7.0 MPa下靶线法与本系统方法所得燃速数据符合得很好,相对误差最大为0.9%。6次平行试验结果也良好,均方

差为2.47%,可满足测试研究水平要求。

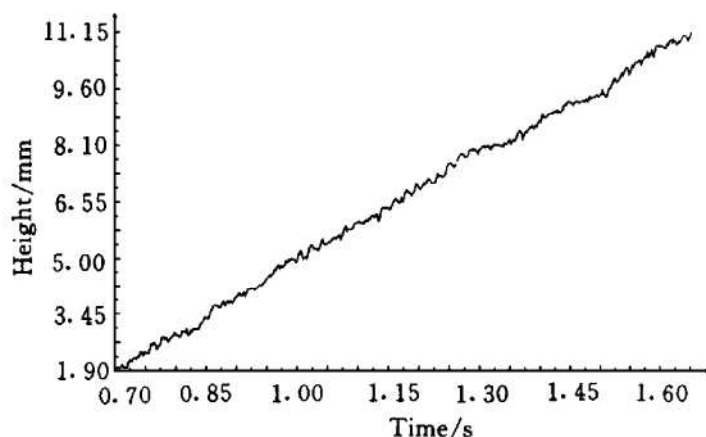


Fig. 5 The Variation relationship of the height of SQ-2 with time at 7.0 MPa

Table 1 The burning rates of SQ-2 measured by the melting fuse and this system

The methods	Burning rates/ (mm/s)		
	3.0 MPa	5.0 MPa	7.0 MPa
Melting fuse	4.54	6.63	8.50
This system	4.498	6.593	8.466

6 结 论

(1) 简化了系统。系统能够对摄像机输出进行实时监测,在调试光路时不再需要示波器。报表和曲线都由打印机输出,省去X-Y绘图仪。燃烧界面的定位由软件自动完成,无需象素定位器。

(2) 上一代系统仅仅测定推进剂的燃速,而本系统则对燃烧过程进行实时监测,获得了燃烧过程中的多种参数,包括火焰光强分布等,从而为燃烧机理的深入研究提供了大量的有用数据。

(3) 系统在测出药柱高度-时间图的同时,还可以测出:“灰度图”,它等同于转鼓照相的感光底片;AV信号图,它相当与高速摄影的一幅照片。

(4) 采用后置阈值法大大提高了实验的成功率;先进的计算机软、硬件技术使操作非常简单方便,因而大大提高了系统的运行速度。

(5) 该仪器的测试精度可以满足试验要求。

参 考 资 料

- 1 马庆云,孙培懋,刘大力,等.固体推进剂线扫描摄像实时燃速测定系统[J].兵工学报,1985(2).
- 2 王伯羲,冯增国,杨荣杰.火药燃烧理论[M].北京:北京理工大学出版社,北京:1997:212.

(责任编辑: 龚士杰)