

# 声发射检测技术在固体推进剂研制中的应用

刘科祥<sup>1</sup>, 陈宝科<sup>2</sup>

(1. 西安电子科技大学 理学院 西安 710071;  
2. 中国航天工业总公司四院四十三所 西安 710000)

**摘要:** 介绍一种应用声发射探测技术测试固体火箭推进剂燃烧速度的系统。该系统基于 Windows 9x 平台, 具有自动调压、调温、注水、排水等测试条件的控制功能; 具有试样药条检测、水位检测及实时点火测试等功能; 具有试样测试数据管理和综合统计分析功能。各种测控操作均在一个界面下完成, 并伴有工作动画提示。

**关键词:** 声发射 固体火箭推进剂 燃速 计算机测控

复合固体推进剂燃烧速度是固体火箭发动机的内弹道性能, 是推进剂配方设计和装药工艺研制中需要严格控制的主要技术指标。因此, 其燃速测试极为重要。水下声发射法以其测速范围宽、精度高、使用简单安全等特点得到广泛应用。水下声发射测试法是利用压电陶瓷声发射传感器探测复合固体推进剂药条在水下燃烧产生的声波信号, 经过放大、滤波、整形后, 进行记录、处理、分析, 得到已知长度试样药条的燃烧曲线和燃烧速度值。改变条件参数进行测试, 就可综合分析出同一试样在不同温度、压力条件下的温度敏感系数和压力指数。来评价试验样品的燃烧性能。

## 一. 系统组成

### 1. 1 测试原理

将已知长度的试样药条置于特殊设计的盛有水的耐压燃烧室内。通过空气压缩机、管道和阀门调节燃烧室内的压强, 利用半导体冷堆控制燃烧室内的温度。在一定的温度、压强条件下, 点燃浸入燃烧室内水中的试样药条, 用声发射传感器将药条燃烧产生的声压信号转换为电信号, 放大滤波等处理后, 与温度压力条件信号一起, 经高速 A/D 转换和计时得到实时数据, 并送入计算机。实时显示药条燃烧过程中声压信号的变化 (称为: 燃烧曲线) 以及温度、压强变化曲线。根据燃烧曲线可实时分析出试样的混合状况、均匀程度等参数。计时是用定时器记录燃烧声波信号的持续时间 (称为: 药条燃烧时间), 来换算该试样同一压强、温度条件下的燃速值。改变条件参数进行测试, 就可综合分析得到压力指数和温度敏感系数。用数据来评价同一样品的燃烧性能。

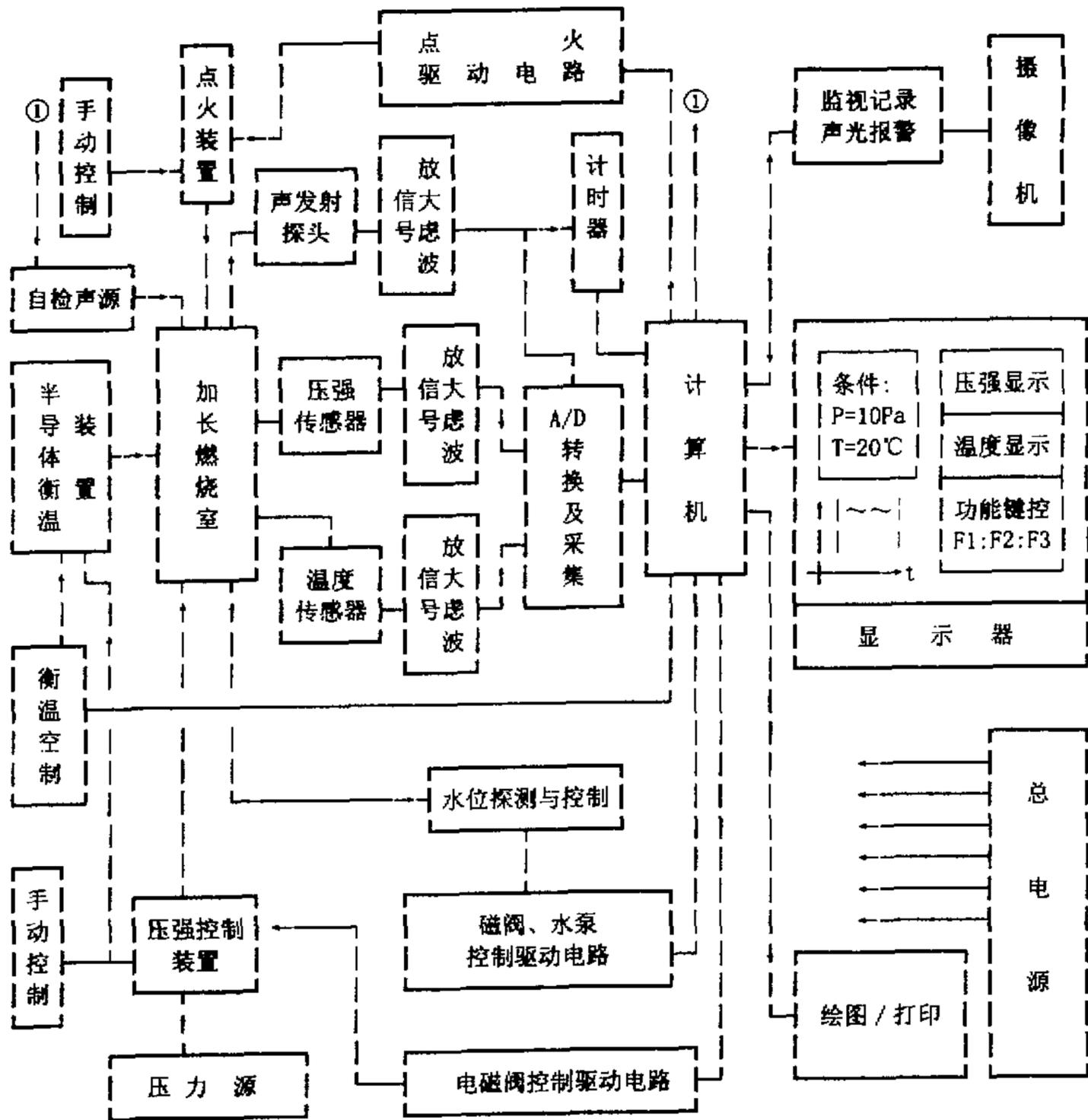
测试过程中压强和温度的控制、液位和药条检测、多根药条自动点火、测试都由程序控制自动完成, 并在显示屏上实时显示燃烧曲线和测试数据。实现了多任务多窗口操作。

### 1. 2 测试系统的性能指标

#### 1. 2. 1 系统主要性能

- a. 具有计算机控制和手动两种控制方式;
- b. 对压强、温度进行闭环控制;
- c. 对温度、压强和药条燃烧过程进行实时测试; 显示其变化曲线。
- d. 具有自动定量注水、排水功能;
- e. 具有一次装三根药条点火通道;
- f. 具有压强、温度控制测量功能;
- g. 具有燃烧室内水位检测联锁功能;
- h. 具有燃烧室内有无药条试样的检测功能;
- i. 燃烧时间硬定时精测功能;
- j. 压强指数、温度敏感系数自动计算;

k. 测试数据的自动管理。



图一. 系统的原理框图

1.2.2 技术指标:

- 声发射检测频带 5 KHz—600KHz
- 响应时间 0.1 us
- 量化精度 12 ±1 位
- 量化时间 最小 32 us
- 计间精度: ±0.1 ms ; 不稳定性: 10<sup>-6</sup>
- 压强: 测量精度: ≥0.5% (F.S 2 - 25 MPa)
- 控制误差: 1.5 - 2.0% (F.S 2 - 25 MPa)
- 温度范围: -40 °C - 70 °C;

测温精度:  $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 二、测控电路和系统软件

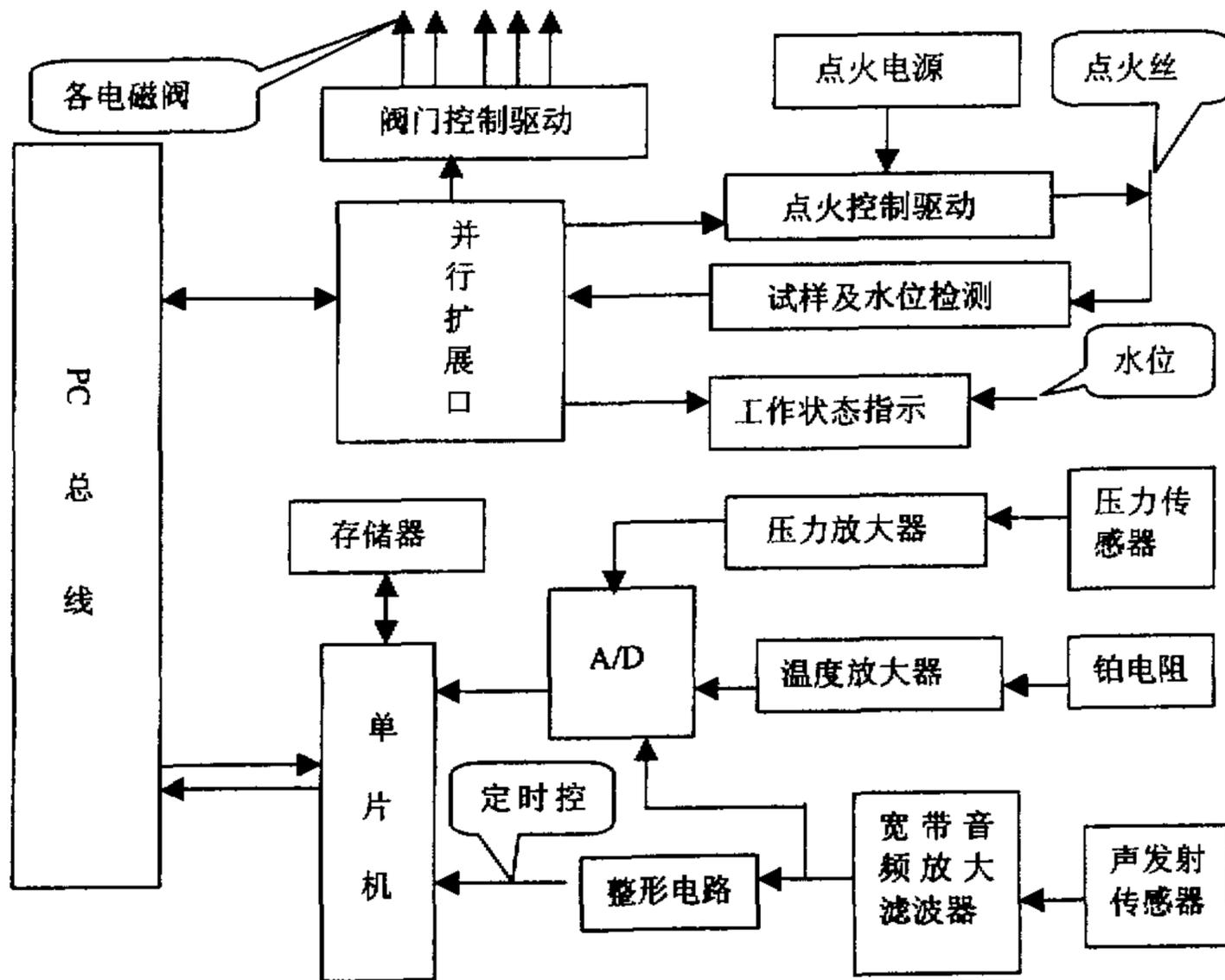
本系统设计采用了计算机测控技术和 Windows 9X 操作系统, 用 Delphi 语言编制测试控制软件。能够同时控制调节多种测量参数。其主界面设置有各种控制按钮, 使操作更方便可靠。鉴于测试的高压力环境, 采用了水位检测、药条检测、自动注水、自动加压、自动排水等互锁联锁功能来保证测试系统的安全和测试效率。

### 2.1 测控电路

测控电路(见图二)由开关量输入/输出和模拟量输入两部分组成:

在图示电路中, 并行接口直接与计算机总线连接(口地址 280H--283H), 用它完成试样检测、水位检测、各阀门及点火电路互锁联锁控制。其中点火电源能瞬间提供 20V、20A 点火能量。

考虑到多用户操作系统的特点, 所有模拟信号的实时数据采集由单片机子系统控制完



图二、测控电路框图

成。单片机与 PC 机以并行方式通信, 并受控于 PC 机。任务是完成模拟输入信号的实时采集和试样燃烧时间的记录。供 PC 机显示和分析。单片机工作前, PC 机要向单片机发送采

样频率、采样通道的地址顺序等参数和启动命令。在采样过程中，PC 机可随时向单片机索取数据进行显示和处理。

## 2.2 软件设计

该系统是以计算机为核心的自动化测试系统。自动控制了温度、压强、液位等条件参数。一次参数调整后，最多可测试三根药条。计算机能自动检测所装药条数目并顺序点火、采集处理数据。并具有自动加水、排水、水位检测等功能。系统的所有测试控制功能都可在软件控制下自动执行；也可人为分步执行。因此本系统计算机软件设计是全系统研制的重要组成部分。

软件在 Windows 9X 平台下用 Delphi 语言编制，利用高分辨率显示器显示所有硬件机制的动作关系。全部测试控制过程在同一主界面下进行，并在显示器右上角开设永久的压强、温度测量显示窗，目标值和实测值。测试过程中将实时显示药条燃烧过程的压强、温度、声发射信号曲线，测试数据自动填充于列表栏内。同时主界面内还设有形象的系统组成和测试进行状态的直观动画图。系统同时具有对测试数据自动计算压强指数、温度敏

感系数和数据存档管理功能。

## 2.3 压强控制过程

压强是燃速测试中要控制的主要条件之一，在本系统中为了能更精确的控制压强，设置了多组电动阀门，压强传感器装于燃烧室排气阀的前端，计算机将通过传感器的输出信号来检测当前的压强值，并与设定值比较后控制合适的电磁阀动作调压到设定值。其控制采用模糊控制与 PID 控制结合的方法。控制过程见图三。

$$P - P_0 < -3e \text{ 时: } P = k$$

$$\text{当压强控制量 } P - P_0 > 3e \text{ 时: } P = -k$$

$$\text{否则 } P = K_p * E_j + K_i * E_j + K_v(\Delta E_j) \quad (2-1)$$

其中：  $K_p$  为比例系数；  $K_i$  为积分系数；  $K_v$  为微分系数；

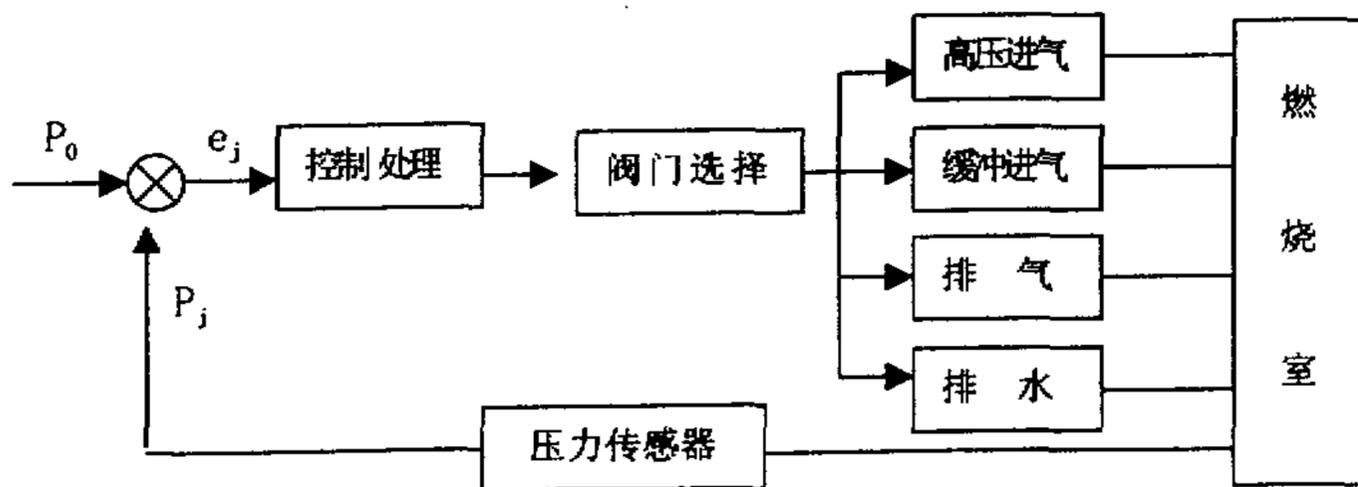
$$E_j = P_0 - P_j \text{ 为调节误差。} \quad P - P_0 < -3e \text{ 时: } P = k$$

$$\text{当压强控制量 } P - P_0 > 3e \text{ 时: } P = -k$$

$$\text{否则 } P = K_p * E_j + K_i * E_j + K_v(\Delta E_j) \quad (2-2)$$

其中：  $K_p$  为比例系数；  $K_i$  为积分系数；  $K_v$  为微分系数；

$$E_j = P_0 - P_j \text{ 为调节误差。}$$



图三、 压强控制流程图

$P_0$  为设定值；

$P_j$  采样值。

$k$  为最大调节量；

$e$  为稳定误差。

动作阀们的选择仅与 P 值的大小有关，进、排气量可用阀们的开通时间控制。阀们的开关时间 T 为：

$$T = T_s \times P \quad (2-3)$$

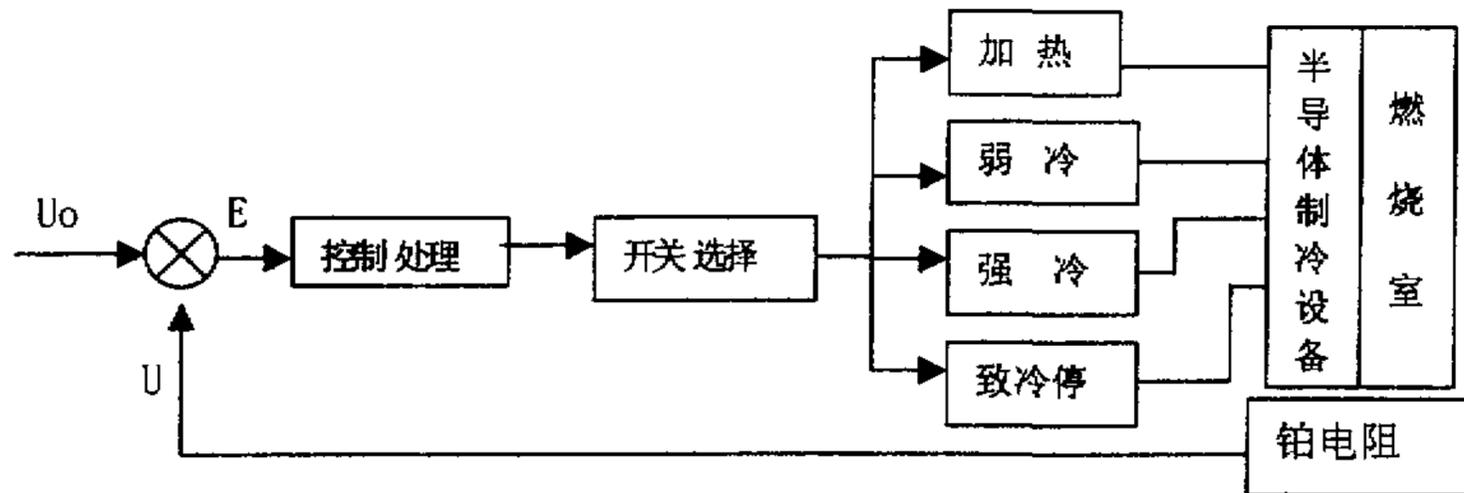
其中：T<sub>s</sub> 为时间当量，为阀门的最小开关时间。

当压强控制量 P 小于稳定误差并持续一段时间后将停止调节。

#### 2.4 温度控制过程

温度控制是以半导体致冷设备为执行机构，由计算机控制来调节燃烧室的温度。节过程见图四。

温度控制算法与压强控制过程相同。



图四、温度控制过程流程图

### 三、结论

该声发射燃速测试系统中，应用了计算机测控技术和声发射探测方法，实现了水下声发射燃速测试。操作中除药条装样要人工操作外，其余过程均由计算机控制，系统设计先进，操作简便，安全有效。

对不同配方、不同燃速试样的对比测试，系统测试精度不低于 0.5 %

根据本研究成果，已定型推广使用。

#### 参考文献：

- ① [美] Marco Cantu 著 王辉 谭海平译 《Delphi 3 从入门到精通》电子工业出版社 1998
- ② 曾庆勇 著 《微弱信号检测》浙江大学出版社 1994
- ③ 于恩山、沈鸿宾，泵压水下声发射法测定复合固体推进剂高压燃速 《推进技术》1994. (4)
- ④ Geisler R.L Acoustic Emission System For Burn Rate Measurement U. S. P. 3, 899, 919. 1975

# 声发射检测在固体推进剂研制中的应用

作者:

[刘科祥](#), [陈宝科](#)

作者单位:

[刘科祥\(西安电子科技大学理学院\)](#), [陈宝科\(中国航天工业总公司四院四十三所\)](#)

相似文献(0条)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference\\_114772.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_114772.aspx)

下载时间: 2010年5月27日