

文章编号: 1003-1480 (2004) 03-0047-03

# 底火输出能量的几种测量方法

黄红凯, 蔡瑞娇, 柳维旗, 温玉全

(北京理工大学爆炸灾害预防与控制国家重点实验室, 北京, 100081)

**摘要:** 介绍了国内外底火输出能量的几种测量方法: 压力测量法、光学测量法、声学测量法、机械能量输出测量法, 分析了各种测量方法的特点及应用情况; 提出结合密闭爆发器原理, 通过测量底火输出的火焰温度、底火作用时的压力—时间关系、声学特性等, 对底火输出能量进行全面定量化测试的研究方向。

**关键词:** 底火; 输出能量; 测量方法

中图分类号: TJ451

文献标识码: A

## Several Output Energy Measurement Methods of Primer

HUANG Hong-kai, CAI Rui-jiao, LIU Wei-qi, WEN Yu-quan

(State Key Laboratory of Prevention and Control of Explosion Disasters, Beijing, 100081)

**Abstract:** Several output energy measurement methods were introduced, including pressure, optics, acoustics and mechanical output energy measurement method. The properties and application of measurement methods were also analyzed. Through measuring the temperature of the flash, pressure vs. time relation as primer function, acoustic property, etc., with closed bomb principle, a full and quantitative output energy measurement of primer could be attained.

**Key words:** Primer; Output energy; Measurement method

底火是一种复合的引燃装置, 一般由火帽、火台、传火药和其它零件构成。底火的点火能力表现为其多种形式的输出能量综合作用的结果。在一定的输入能量范围内, 底火能够可靠发火且输出满足一定需要的能量, 是弹丸实现顺利发射并保证其发射精度的重要技术参数。

长期以来, 在弹药的科研、定型和生产中, 对底火点火能力的检测国内一般都是通过实弹射击检验; 国外最广泛使用的方法是主观判断底火作用时的声音或通过配弹试验检验底火的快速作用时间和作用的一致性。这不仅需要耗费大量的人力、物力和弹药, 有时还影响了新型弹药的研制周期。本文旨在介绍国外研制的几种底火输出能量的测量方法。

## 1 压力测量<sup>[2, 3]</sup>

在底火性能的测试中比较容易得到的一项指标是它的压力—时间输出特性。压力通常能直接反映底火的输出能量(质量流和能量流)或起爆威力。主要的3种方法是: 密闭爆发器方法、开放式爆发器方法和脉冲爆发器方法。

### 1.1 密闭爆发器法

国外最早评价底火点火能力的方法是密闭爆发器方法, 即在密闭容器中测量装置发火后的压力波形及最大压力峰值, 一般给出的指标是在10mL(或实际结构体积)容器中压力峰值和上升到压力峰值的时间。其不足之处主要是: 首先, 气体对点

收稿日期: 2004-06-04

作者简介: 黄红凯(1978-), 女, 硕士研究生, 从事火工品输出特性研究工作。

火总能量的贡献小于 50%；其次，密闭爆发器没有考虑计算在底火的输出中占很大比重的质量流和热量损失；再次，此方法不能真实模拟在实际过程中的反应情况，如有时点火器压力未到峰值就出现点火药点火燃烧，这在压力曲线上有时表现为双峰<sup>[4]</sup>。图 1 为 NAVSEA/IH 设计使用的密闭爆发器。

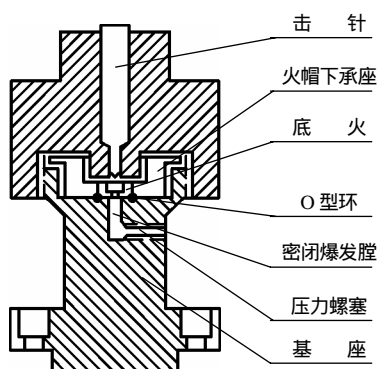


图 1 NAVSEA/IH 密闭爆发器

Figure 1 Closed bomb of NAVSEA/IH

### 1.2 开放式爆发器法

开放式爆发器作为工程工具能更准确地描述底火的输出特性，因而倍受推崇。开放式爆发器（配有适合的传感器和软件）能测量气体状态质量变换和能量流，其点火非常快（50~500 $\mu$ s），热量传递损失大大减少。虽然 NAVSEA/IH 推崇使用开放式爆发器作为底火输出特性的定量评估，但该方法只适合在实验室使用而不适宜作为输出特性的定量评估方式。

### 1.3 脉冲爆发器法

脉冲爆发器可用于测量底火点燃标准推进剂或烟火材料装药的能力，一般较多地用于测量底火与推进装药之间相互的混合影响，而不用于底火输出的某个单一特性，如压力、能量流等的输出测量。这种点火测试装置既可以是开放式的也可以是非开放式的。大多数军用弹药都有最大膛压要求，而该方法又因最大膛压要求（基于枪炮后膛的底火/推进剂之间）的施用产生差异。通常，在脉冲爆发器的测量参数中比较重要的有点火延时、压力上升率和最大压力。许多研究人员近年来仍一直在研究这种方法。

## 2 光学测量<sup>[2]</sup>

简单的测量底火输出的光学方法是使用一个光电元件测量火焰（光）的强度和持续时间，或用高速摄影仪、快闪相机测量火焰长度。这些方法得到的结果通常比较壮观，但却很难转化为与成品的底火性能相关的有意义的的数据。20 世纪 70 年代早期，国外使用了由 Franklin Institute Research Labs 改进的高速双色高温计作为测量工具。使用这一工具在区分底火类型和测量底火输出的动态特性方面有独到之处，但是仪器要求相对黑体源进行校准且对物理方位等非常敏感，这使该方法更倾向于是一种研究工具而不适于定量地评估底火的输出特性。

## 3 声学测量<sup>[2]</sup>

声音最初用于底火的坠落试验和哑弹测试中，作为判断底火是否作用的依据，各种下落测试的结果都是由操作者主观判断底火是否发出合适的输出声响得到的。为了使这些结果更客观，NAVSEA/IH 开发了一种声音测量装置，用基本的声音放大器将声音传递到复杂的声频谱分析仪，通过底火作用时声波谱图的不同，评价底火的点火特性。目前这项工作国外正在进行，还没有实际应用。

## 4 机械能量输出测量<sup>[2, 4]</sup>

底火作为能产生压力和冲击波的小型爆炸装置，可对外作机械功，因而国外开发了一种将底火的输出能量转化为机械能，用测量机械能的大小表征底火输出能量大小的测量方法。麦道能量输出测试装置就是用这一原理设计的。麦道能量输出装置是利用底火发火后的能量来推动活塞，使能量传感器中的蜂窝件受到挤压，从而测出发火件的推力。该方法适用于输出能量较大的发火件，对输出能量较小的底火并不适用；同时，这种方法不提供关于能量——时间的任何信息，其测量结果有时与密闭爆发器法和火焰长度测量法相矛盾，因此该方法只限于推冲器做功类火工品。

## 5 温度测量

20世纪80年代以来,各国和地区的学者纷纷研究利用测量底火燃烧释放热量的方法来评估底火的点火能力。在众多的测试方法中,微热电偶测量法成为研究的热点。微热电偶技术最早始于美国和日本,用来研究各种推进剂的燃烧机理,如Price在研究推进剂的燃烧特性时,用热电偶监测样品表面温度<sup>[5]</sup>。后来,各国学者将微热电偶用于测量底火燃烧释放的热量,如De Yong<sup>[6]</sup>用热电偶测量M42底火的温度,Evans和Brezowski<sup>[7]</sup>以热电偶直接测量不同配药比例与不同颗粒大小的点火药的热通量。台湾的葛扬雄硕士也用热电偶测量M42底火被撞击后释放能量冲撞铜片的温度,来估算底火瞬间释放的热通量。Siddiqui和Smith<sup>[8]</sup>曾做过影响测量温度的精确度的实验。但是可以看到,单纯用测量底火燃烧温度的方法虽然可以推算出底火的输出能量,却仍有不足之处,如不能测量出底火的输出压力和时间等。

## 6 建议

虽然国内外在改进测量底火输出能量的方法上做出了许多努力,但仍没有得到一个可以被广泛接受和使用的方法。目前,国内外除了使用配弹射击试验之外,密闭爆发器法应用较多,通过上述分析可知,这种方法存在一些无法克服的缺点,还需要进一步完善。值得关注的是,现有的国标、国军标及行业标准中对底火作用输出的火焰温度没有明确的验收规定,既没有把其纳入鉴定性检验项目,也没有把其纳入质量一致性检验项目,而只是通过配弹射击试验来检验底火的点火能力。实际上底火的输出火焰温度、压力及作用时间是存在一定的内在关系的。但由于技术等方面的原因,底火输出的火焰温度测试还没有引起人们重视。另外,底火作为一个结构简单的产品,价格不高,但配弹射击试验的成本非常高。如果能够建立底火输出能量

的定量化测试系统,可以大大降低底火的试验成本,提高试验精度。因此,结合密闭爆发器的原理,针对底火的作用特点,应用当前的先进科学技术,通过测量底火的火焰温度、底火作用时的压力——时间关系、声学特性等,对底火输出能量进行全面的定量化测量,以评价底火的输出特性,从而代替配弹试验,将是底火测量技术的研究方向。这一技术的研究成功,将对底火的研究与生产有重要的促进作用。

### 参考文献:

- [1] 蔡瑞娇. 火工品设计原理 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999: 156~175.
- [2] Frank J. Valenta and Aubrey J. (Jay) Dalton. Comparison of several techniques to evaluate percussion primer performance [C]. Twenty-ninth International Pyrotechnics Seminar, Westminster, Colorado, 2002: 14~19.
- [3] 李国新,程国元,焦清介. 火工品实验与测试技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998: 142~150.
- [4] 王凯民,符绿化. 航天火工品输出能量试验及其作用裕度的确定 [J]. 火工品, 1999 (3): 51~56.
- [5] Price E.W. Hot stage microscope studies of decomposition of propellant ingredients [C]. Proceedings of 30th JANNAF Combustion Meeting, 1993: 197~209.
- [6] De Yong, L. V.. An evaluation of temperature and heat flux of gasless and gassy percussion primers [R]. Defense Science and Technology Organization Materials Research Lab., 1985.
- [7] Evans, N. A. and Breowski, C. F.. The effect of charge mixture ration and particle size on igniter plume heat transfer characteristics [C]. Explosive Subsystems Division 2512 Sandia National Laboratories Albuquerque, 1990.
- [8] Siddiqui, K. M. and Smith, L. E.. Product of igniter particulates and their effect on heat flux measurement in solid propellant rocket motors using thin platinum film gauges [C]. Boston, Massachusetts: AIAA/ASME/SAE /ASEE 24th Joint Propulsion Conference, 1998.