

瞬态分光辐射仪在烟火药剂燃烧性能 参数测量中的应用

柳继昌 席兰霞

(中国兵器工业第213研究所, 西安 710061)

摘要 简要地介绍了瞬态分光辐射仪的结构及测量原理。用该仪器测量了军用黑药、绿光剂、黄光剂、燃烧剂、曳光剂等几种药剂燃烧过程的相对辐射功率分布、色度参数(主波长、色温、显色指数)和发光强度等主要物理参数。

关键词 瞬态分光辐射仪 辐射光谱功率分布 色度

1 引言

由于烟火剂燃烧时具有发光、焰色、声响、烟雾、气动和热效应现象,因此在军事、民用和娱乐等各个领域均有广泛应用。为提高产品质量并进行优化设计,首先必须对烟火剂的燃烧参数进行测量。

烟火剂燃烧的各种效应可通过测量主要参数,如燃烧时间(燃速)、相对辐射功率分布、光强、色度和温度等进行分析研究。这些参数反应出烟火剂制品的主要性能,也是评定烟火剂制品质量优劣的行之有效的。目前国内还是按传统的测量方法,一个试样,只测量一种参数,但采用瞬态分光辐射仪测量可同时得到几个主要参数,这样既可很好地反映各参数间的关系,又可节省试样和缩短测量周期,并为分析烟火剂的相关特性及其燃烧理论研究奠定了基础。国外曾将光学多通道分析仪(OMA)^[1]用于海军彩色信号弹的研究中。我们用此方法较之获得了更多信息。

2 瞬态分光辐射仪工作原理

瞬态分光辐射仪是由主机和微机系统两部分组成^[2]。主机包括内光路和外光路。烟火剂燃烧时发出的光束经外光路的锥形接头进入光纤,由光纤出射的光2经反射镜1变为平行光,经透镜3聚焦于狭缝4,聚光镜6将入射光准直后,投射到闪耀光栅5,经光栅色散成等间距谱带,反射球面聚光镜会聚光栅射来的略带发散的光谱,成为所需宽带和线长的谱带,经出射狭缝、平面镜7和半镀膜滤光片8,聚焦CCD探测器9的光敏面上,如图1所示。

CCD探测器件是一种并行输入、串行输出的光电转换器件。具有同时接收、转换、时序输出电信号的特性。可将按波长排列的瞬时光信号转换成按时间排列的电压信号输出,

对输出的一系列电信号经调整 A/D 转换成数字量存贮于微机,通过波长和能量标定,即可得到瞬时辐射光源的相对光谱功率分布,通过软件程序可计算光源的色坐标,得到主波长、色纯度、色温和显色指数等参数。

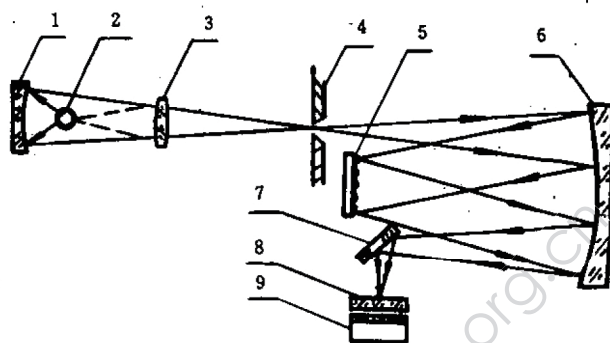


图 1 瞬态分光辐射仪原理框图

1—反射镜; 2—光源; 3—透镜; 4—狭缝; 5—光栅;
6—聚光镜; 7—平面镜; 8—半镀膜; 9—CCD 探测器。

Fig. 1 Diagram of transient spectro-radiometer

1—Reflecting mirror, 2—Source, 3—Lens, 4—Slit,
5—Blazed diffraction grating, 6—Focus mirror, 7—Plane mirror,
8—Filmed filter, 9—CCD detector.

3 计算公式

烟火剂(制品)发光参数是在测得相对光谱功率分布的基础上,根据三基色原理及“CIE 国际照明委员会^[3]标准色度观察者光谱三刺激值”计算出被测光源的颜色三刺激值。从而求出色坐标,得到色度参数。色坐标计算公式为:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}, z = \frac{Z}{X+Y+Z};$$

$$X = K \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda; Y = K \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda; Z = K \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

式中, X 、 Y 、 Z 为被测光源的颜色三刺激值,即用光电探测器测定的三刺激值; $\varphi(\lambda)$, 颜色刺激函数(颜色刺激的光谱功率分布); $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 为 CIE 标准观察者光谱三刺激值(颜色匹配函数); K 为调整系数。

因为 $\bar{y}(\lambda)$ 刺激值恰好与视觉光谱一致,因此在测量色度同时将 Y 值经光照度标定后,设定测试距离参数。根据平方反比定律 $I = ER^2$ ^[4], 计算出光强。式中, I 为烟火剂燃烧时的光强, cd; E 为接收器表面照度, lux; R 为接收器的表面与光源间距离, m。

光源的色温测量是基于黑体辐射定律,当黑体连续加热,温度不断升高时,其光色按红→黄→白→蓝的顺序变化,各色度点的色坐标在 CIE 色度图上形成一个弧形轨迹,称为黑体轨迹。将被测光源的色坐标与黑体轨迹比较,恰好落在黑体轨迹上,则该色度点对应的黑体温度就是被测光源的色温;若落在黑体轨迹延伸出的等温线上,就可得到被测

光源的相关色温。

4 试验程序

4.1 试样准备

取烟火药剂 4g 散装入 $\varnothing 10\text{mm} \times 50\text{mm}$ 牛皮纸管内,底部插入 $\varnothing 2\text{mm} \times 150\text{mm}$ 安全引火线,用作点燃烟火药。将装药纸管安装于燃烧箱中,燃烧箱内设有排气风机,用作燃烧后排除废气。

4.2 测试仪器准备

将瞬态分光辐射仪的外光路探头对准被测试样,测量好试样与探测器距离。

按辐射仪的操作程序,使仪器处于正常工作状态后,进行引导测量操作,显示屏出现主菜单,根据测量要求选择菜单项目并输入参数,此时仪器处于测量等待状态。

4.3 试验

点燃引火线,引火线点燃烟火药试样,烟火药发光被仪器探头接收,辐射仪将接收的光信号进行转换、贮存、计算,最后打印输出测量曲线和试验结果。一种试样重复五次,取其平均值。

5 测量结果

1 相对辐射功率分布

试样经辐射仪测得的功率分布如图 2~图 6 所示。

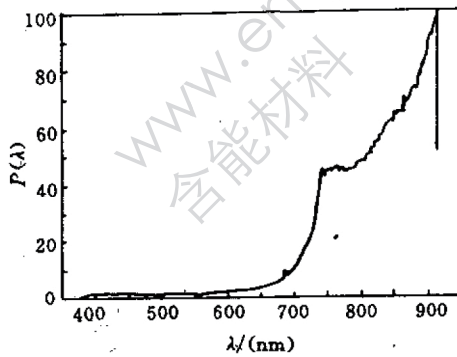


图 2 军用黑药的相对辐射功率分布
Fig. 2 Relative ratio-power distribution of military black powder

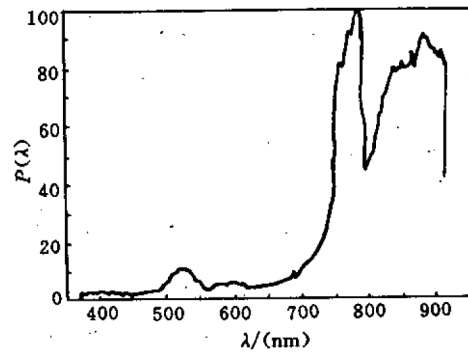


图 3 绿光剂的相对辐射功率分布
Fig. 3 Relative radio-power distribution of green luminous composition

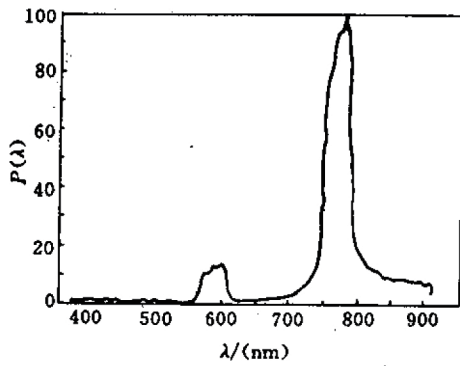


图4 黄光剂的相对辐射功率分布

Fig. 4 Relative radio-power distribution of yellow luminous composition

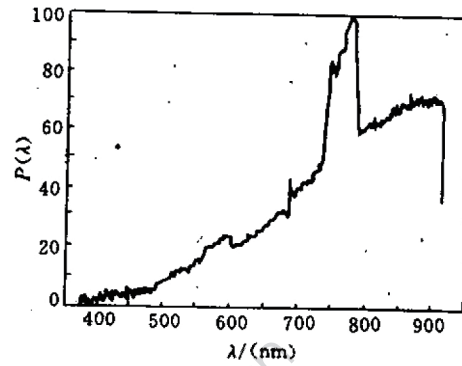


图5 燃烧剂的相对辐射功率分布

Fig. 5 Relative radio-power distribution of incendiary composition

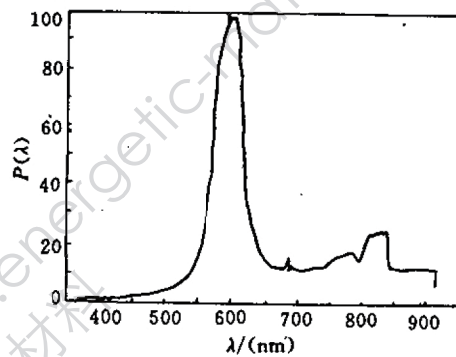


图6 曳光剂的相对辐射功率分布

Fig. 6 Relative radio-power distribution of tracers

5.2 色度参数

在测量相对辐射功率分布的同时,通过软件程序,测得的色度参数如表1所示。

表1 不同烟火剂的色度参数

Table 1 Chromaticity parameters of different pyrotechnics

药剂种类	色坐标		主波长 (nm)	色纯度 $P_e/(\%)$		显色指数 R_s	色温 (K)	光强 (cd)
	x	y		1	2			
军用黑药	0.4092	0.3292	617.2	21.56%	20.50%	78.2	2808	285
绿光剂	0.3500	0.4562	560.0	42.19%	57.76%	84.8	5103	301
黄光剂	0.5316	0.4106	589.6	82.81%	86.05%	8.7	1944	285
燃烧剂	0.4715	0.4261	583.0	69.45%	76.10%	90.2	2660	220
曳光剂	0.5367	0.4373	586.4	92.41%	94.22%	25.7	2063	323

6 结 论

- 6.1 用该方法研究烟火剂的输出特性,单发试样可以得到多个试验数据,可为产品的研制提供综合性能信息,便于全面分析评定产品质量。
- 6.2 该测试方法,用主波长和色纯度定量指标确定信号烟火剂颜色的技术指标,消除了用目视定性判别误差,提高了测试精度。
- 6.3 一般在信号用烟火剂中,黄光剂较易研制,测试得到的数据也说明了这一点。几种烟火剂中黄光剂色纯度最高为 86%,其它都比较低。
- 6.4 从相对辐射功率图谱中可以看出绿光剂在 500~550nm 有一辐射带,正是绿色对应的波段范围,但在 700nm 以后还有较强的红光辐射,因此它的色纯度较低,这也可能是由于原材料成分不纯含钠盐所致。在改进配方时要压缩 700nm 以后的辐射成份。

参 考 文 献

- 1 Fric A H, Robert G S. Optical Multichannel Analysis (OMA): Visible Spectra of Standed Navy Colored Flares. Naval Weapon Support Center Crane, Indiana, 47422~5050.
- 2 李硕中等. 瞬态分光辐射仪. 计量技术, 1990(2)
- 3 荆其诚等. 色度学. 北京: 科学出版社, 1979.
- 4 复旦大学电光源实验室编. 电光源原理. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.

APPLICATION OF TRANSIENT SPECTRORADIOMETER IN DETERMINATION OF COMBUSTION PARAMETERS OF PYROTECHNICS

Liu Jichang Xi Lanxia

(The 213th Research Institute of China Ordnance Industry, Xi'an 710061)

ABSTRACT The structure and basic principle of transient spectroradiometer in determination of combustion behavior of pyrotechnics are briefly described. Some important parameters including radiant spectro-power distribution, chromaticity (dominant wavelength, colour temperature, colour-rendering index) and luminous intensity are measured for a series of pyrotechnics such as military black powder, green and yellow luminous compositions, tracers and incendiary compositions.

KEYWORDS chromaticity, radiant spectro-power distribution, transient spectroradiometer.



作者简介 柳继昌 (Liu Jichang), 高级工程师, 1960 年毕业于西北大学物理系原子物理专业, 长期从事火工品及烟火剂测试技术研究工作, 中国兵器学会测试技术学会委员。