

文章编号: 1006-9941(2008)02-0222-03

## Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯辐射特性研究

叶迎华, 沈瑞琪, 项 汛, 胡 艳

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 研究了 Zr 与 O<sub>2</sub> 的燃烧特性, 测试了 Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯的发射光谱。实验结果表明: 点火电压越高(22 V), 氧气量越多(0.7 MPa), 锆条越细(0.3 ~ 0.5 mm), 发火率越高。Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯的辐射光谱的分布范围为 500 ~ 900 nm, 其中在 700 ~ 900 nm 范围的近红外区内有较强的辐射峰。Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯的发射光谱特性与锆氧反应速度、反应程度及充氧气的压力等因素无关。

**关键词:** 应用化学; Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯; 发射光谱

**中图分类号:** TQ567; TJ5; O69

**文献标识码:** A

### 1 引言

近年来, 化学闪光光源已得到广泛研究, 有望取代惰性气体放电灯来泵浦固体激光器。美国已研制出用锆氧闪光光源泵浦的固体激光器<sup>[1]</sup>, 并且已经用烟火型激光器进行了含能材料的点火和起爆研究。由 Nd:YAG 在 0.3 ~ 0.9 μm 范围的吸收光谱<sup>[2]</sup> 可以发现, 0.75 μm 和 0.81 μm 为中心的两个辐射带是 Nd:YAG 最佳的光吸收带。因此, 作为固体激光器的泵浦源药剂应具有以下特性: 在近红外区(0.75 μm 和 0.81 μm 为中心的两个辐射带) 辐射强度高而可见光辐射低, 并且反应速度快。

本研究小组<sup>[3-6]</sup> 对锆/高氯酸钾、锆/硝酸钠和镁/高氯酸钾、镁/硝酸钠的烟火闪光灯的发光光谱特性进行了大量的研究, 结果表明, 锆系烟火药闪光灯的发光光谱主要集中在近红外区, 而镁系烟火药闪光灯的发光光谱主要集中在可见区。由于上述烟火药剂在燃烧时会生成大量气体产物, 并且氧化物中的 N、Cl、K、Na 等原子会消耗过多的氧, 因此, 用这两个体系的烟火剂制备的闪光灯在发光效率、氧利用率和灯管安全性等方面都存在不足。锆-氧化剂烟火药剂燃烧的发射光谱, 主要是灼热的 ZrO<sub>2</sub> 固体颗粒形成的。锆在氧气中燃烧生成固体氧化锆, 在此过程中不仅氧能够充分利用, 而且由于消耗氧气降低灯管的内压, 可以提高灯管的安全性。因此, 本工作研究了不同条件下锆条在氧气中的燃烧特性, 并测试其辐射光谱特性, 为 Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯用于泵浦固体激光器提供基础数据。

### 2 实验

#### 2.1 Zr-O<sub>2</sub> 反应性研究

由于无法获得合适的锆丝, 本实验中先将锆管剖开, 碾压成 0.08 mm 厚的薄片, 然后裁剪成不同宽度的锆条来代替锆丝。研究锆条在不同的点火条件下的反应性能, 包括发火率和发光持续时间。

为了研究不同条件下锆条在氧气中的发火率, 设计了 Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯, 其结构如图 1 所示。选用石英玻璃管作为灯管, 参照 Nd:YAG 激光器中氙灯的尺寸, 灯管内径 6 mm, 外径 8 mm, 长 180 mm。点火丝材料采用未经过退火处理的钨丝, 并且缠绕成双螺旋结构。将锆片裁剪成 0.3 ~ 0.5 mm, 0.5 ~ 0.7 mm 及大于 0.7 mm 三种尺寸的锆条, 将裁剪好的锆条(宽度不同, 质量相同) 挂在钨丝上, 装入石英玻璃管, 密封, 充入所需的氧气, 通电点火丝点燃锆条。实验中, 通入的氧气量越多, 氧气压力越大。每种条件平行实验十发, 计算发火百分率。不同的点火条件下锆条在氧气中的发火百分率见表 1。

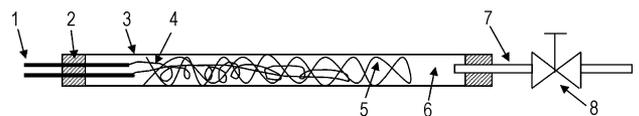


图 1 Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯的结构

1—脚线, 2—密封材料, 3—石英玻璃管, 4—点火钨丝,  
5—锆条, 6—氧气, 7—连接件, 8—小阀门

Fig. 1 Structure of Zr-O<sub>2</sub> flashlamp

1—leg wire, 2—sealing materials, 3—quartz glass tube,  
4—igniting tungsten wire, 5—zirconium strip,  
6—oxygen, 7—connector, 8—small valve

收稿日期: 2007-03-12; 修回日期: 2007-11-22

作者简介: 叶迎华(1962-), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为火工品技术。e-mail: yyinghua@mail.njust.edu.cn

表1 不同点火条件下铅条的发火率

Table 1 Fire ratio of Zr strip under different conditions

oxygen pressure / MPa	ignition voltage/V								
	10			16			22		
	0.3-0.5/mm	0.5-0.7/mm	>0.7/mm	0.3-0.5/mm	0.5-0.7/mm	>0.7/mm	0.3-0.5/mm	0.5-0.7/mm	>0.7/mm
0.3	30%	10%	0	50%	30%	0	70%	50%	10%
0.5	40%	30%	10%	60%	40%	10%	100%	60%	20%
0.7	50%	40%	10%	80%	50%	20%	100%	70%	30%

从表1可看出,点火电压越高,氧气压力越大,发火率越高。在相同点火条件下,铅条越细,发火率越高,燃烧反应越完全。铅条粗细影响较大,是因为铅燃烧时生成一层固体氧化物层,燃烧热不能将该氧化物层熔化,妨碍了铅的进一步燃烧。铅条越细,与氧气的接触面积越大,燃烧速度越快,相应地发光持续时间越短<sup>[6]</sup>。

因此,选择铅条发火率较高的条件进一步研究铅/氧燃烧发光持续时间,即研究0.3~0.5 mm的铅条在点火电压为22 V,通入氧气量不同时的发光持续时间,实验结果见表2。

表2 不同氧平衡时铅条燃烧发光持续时间

Table 2 Irradiation time of Zr strip combustion in different oxygen balance

oxygen pressure/MPa	quality of Zr strip/mg	time/ms
0.3	56.8	584
0.4	57.2	622
0.5	57.8	665
0.6	58.6	704
0.7	60.4	688

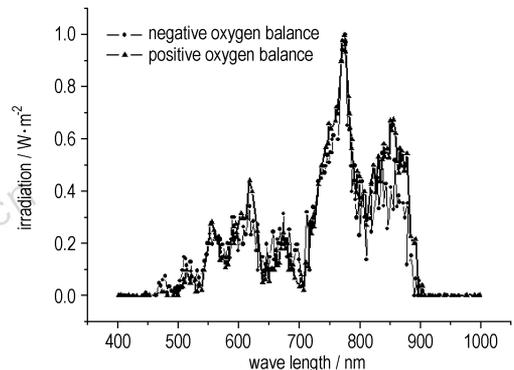
根据化学计算结果,Zr-O<sub>2</sub>反应体系当氧气压力0.3~0.5 MPa时为负氧平衡状态,氧气压力0.6 MPa时为氧平衡状态,氧气压力0.7 MPa时为过氧平衡状态。实验中固定铅的量不变,通过控制通入氧量来调整氧平衡状态,氧量的控制采用压力表和阀门相配合的办法来实现。表2结果说明氧平衡对铅条的燃烧影响较大,处于负氧平衡(氧气压力0.3~0.5 MPa)时,由于氧气不足,铅燃烧不完全,发光持续时间较短;处于氧平衡(氧气压力0.6 MPa)状态时,铅完全燃烧,发光持续时间较长;处于过氧平衡(氧气压力0.7 MPa)状态时,铅全部燃烧,由于氧量充分,燃烧速度快,发光持续时间较零氧平衡时短。

## 2.2 Zr-O<sub>2</sub> 闪光灯辐射光谱特性

称取两份0.3~0.5 mm宽的铅条各约60 mg,挂在钨丝上装入石英玻璃管,密封,一个充约0.5 MPa的氧气(负氧平衡),另一个充约0.7 MPa的氧气(过氧

平衡),点火电压均为22 V。所用的测试设备为瞬变光源分光测试系统(光谱辐射计、数据处理系统)、测光塔。光谱辐射计量程设为400~1000 nm,把光谱辐射计对准待测样品,取下探头盖,打开光谱辐射计电源开关,测试距离3 m。在相同的压力、温度条件下,在测光塔中,通电点燃铅条,同时启动瞬变光源分光测试系统记录其静态光谱图,结果如图2所示。

由图2可看出,负氧平衡状态下和过氧平衡状态下Zr-O<sub>2</sub>闪光灯的辐射光谱基本一致,可以认为铅与氧气的燃烧辐射光谱与反应进行的快慢及反应完全程度无关。光谱分布主要集中在近红外区750~900 nm范围内,可见光区比较少,最大峰值出现在776 nm处,与Nd:YAG激光器的最佳吸收光谱<sup>[7]</sup>基本一致。

图2 不同氧平衡下Zr-O<sub>2</sub>闪光灯的发光光谱图Fig.2 Spectra of Zr-O<sub>2</sub> flashlamp in different oxygen balance

## 3 结论

点火条件对铅在氧气中的燃烧特性有影响,点火电压越高,氧气量越多,铅条越细发火率越高。其中,铅条的尺寸影响较大。铅与氧气的燃烧辐射光谱与反应进行的快慢及反应完全程度无关。Zr-O<sub>2</sub>闪光灯的辐射光谱主要分布在近红外区的750~900 nm范围内,可见光区比较少,最大峰值出现在776 nm处。与Nd:YAG激光器的最佳吸收光谱基本一致,可以用作Nd:YAG激光器的泵浦源。

## 参考文献:

- [1] Woods C M, Spangler E M, Beckman T M, et al. Development of a laser ignited all secondary explosive DDT detonator [C] // Proceeding of the Eighteenth International Pyrotechnics Seminar, 1992. 973 - 983.
- [2] W. 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 华光译. 第二版. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 朱长星, 叶迎华, 沈瑞琪, 等. Zr, Mg 系烟火剂发光光谱特性研究[J]. 含能材料, 2005, 13(2): 118 - 120.  
ZHU Chang-xing, YE Ying-hua, SHEN Rui-qi, et al. Study of spectrogram character for zirconium and magnesium in pyrotechnic composition [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(2): 118 - 120.
- [4] 肖楠, 吴文健, 姜宗福. 烟火泵浦材料发光光谱研究[J]. 火工品, 2006, 110(4): 4 - 8.  
XIAO Nan, WU Wen-jian, JIANG Zong-fu. An investigation on pumping material's emission spectrum of pyrotechnic pumped laser [J]. *Initiators and Pyrotechnics*, 2006, 110(4): 4 - 8.
- [5] 潘功配. 高等烟火学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005.
- [6] 项汛. 用于固体激光器泵浦源的化学闪光灯研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- [7] 吕百达. 固体激光器件[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2002.

Emission Spectrum Characteristics of Zr-O<sub>2</sub> Flashlamp

YE Ying-hua, SHEN Rui-qi, XIANG Xun, HU Yan

(Chemical Engineering School, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Combustion characteristic of Zr-O<sub>2</sub> was studied. Emission spectrum of Zr-O<sub>2</sub> flashlamp was also tested. Results show that the higher the ignition voltage (22 V) is, the more the oxygen (0.7 MPa) is and the smaller Zr strip (0.3 ~ 0.5 mm) is, the higher fire ratio is. The spectrum of Zr-O<sub>2</sub> pyrotechnics is distributed from 500 - 900 nm, and it has stronger emission strength in near infrared region of 700 - 900 nm. The spectrum characteristics are almost the same in different ratios of fuel/oxygen.

**Key words:** applied chemistry; flashlamp Zr-O<sub>2</sub>; emission spectrum

(上接 218 页)

(2) 以某针刺雷管为例,进行了输出可靠性置信下限的大小样本对比试验研究,与大样本试验结果进行对比,表明该方法计算简单,适合工程应用,且精度较高,能满足高可靠性火工品的可靠性评估要求。

## 参考文献:

- [1] 周源泉, 翁朝曦. 可靠性评定[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [2] GJB376 - 87. 火工品可靠性评估方法[S]. 北京: 国防科工委军标发行部, 1987.
- [3] 孙新利, 余文力. 正态双边可靠性的一种工程近似计算[J]. 应用概率统计, 2001(4): 337 - 340.
- [4] HONG Dong-pao, WEN Yu-quan. Bilateral reliability assessment for initiating devices based on bootstrap [C] // Proceedings of the Seventh International Conference on Reliability, Maintainability and Safety. Beijing: China Astronautic Publishing House, 2007, 61 - 65.
- [5] Chao M T, Fuh C D. Bootstrap method for the up and down test on pyrotechnology sensitivity analysis [J]. *Statistica Sinica*, 2001, 11: 1 - 21.

## Approximate Lower Limit of Bilateral Reliability of Initiating Explosive Devices

HONG Dong-pao, WEN Yu-quan

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The bilateral reliability model for initiating explosive devices was studied in order to improve the assessment precision. The calculation method was proposed for the lower limit of bilateral reliability based on the classical two-rank approximate limit, and the simulation tests were conducted By Monte Carlo method. Results show that the precision is suitable for the requirements of reliability assessment for initiating devices when the amounts of samples are 20 - 30. And the feasibility and applicability is validated by tests with stab detonators compared with the other methods.

**Key words:** military chemistry and technique of pyrotechnics; system engineering; initiating explosive device; reliability assessment; bilateral reliability