

文章编号: 1006-9941(2010)01-0055-03

# 高热剂含量对烟火药水下燃烧声辐射特性的影响

欧阳的华<sup>1</sup>, 潘功配<sup>1</sup>, 关华<sup>1</sup>, 范磊<sup>1,2</sup>, 郑磊<sup>1</sup>, 杨莎<sup>2</sup>

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094; 2. 解放军理工大学工程兵学院, 江苏 南京 210006)

**摘要:** 为探讨燃烧产物热量对声辐射特性的影响, 采用水声测试系统, 实验研究了高热剂含量不同的药剂水下燃烧时的声辐射特性。结果表明, 添加适量的高热剂时, 能够显著提高声能。当高热剂的含量为 25% 左右时效果较佳, 15 g 药剂水下燃烧时的声压级达到了 158.8 dB, 频率主要分布在 5 kHz 以下, 但当超过 25% 时声能开始下降。

**关键词:** 军事化学与烟火技术; 高热剂; 烟火药; 水下燃烧

**中图分类号:** TJ53

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.014

## 1 引言

水下声源包括水下爆炸声源、空气枪声源、电火花声源以及燃烧式声源等, 然而有关水下燃烧式声源的研究报道较少<sup>[1-2]</sup>。烟火药通常是几种物质的机械混合物, 能够自供氧<sup>[3]</sup>, 故没有空气参与时, 也能够在水下持续燃烧。早在 1995 年, 就有关于法国烟火集团拉克鲁瓦防御公司研制出的一种用于干扰鱼雷的“烟火-声发射器”声诱饵的报道<sup>[4]</sup>。文献[1]研究了不同配比的甲烷、氢气和氧气(燃烧形成的热量和燃烧速度不同)在水下燃烧时的第一峰值声压, 认为两者的配比能显著影响第一峰值声压。文献[5]在回顾前人研究的基础上, 对具有脉动燃烧效应的烟火药水下燃烧的声频特性进行了初步试验研究, 认为烟火药水下燃烧所辐射的噪声主要是由燃烧时产生的燃烧产物与水发生一系列的作用而形成。

目前, 直接研究影响水下燃烧式声源声辐射特性因素的文献鲜见报道。燃烧产物的热量作为其中一个主要因素, 其变化对所形成的声能的影响十分重要。为此, 本实验在文献[5]的基础上, 通过在基础配方中添加不同含量的高热剂(指能产生铝热反应的这一类烟火药剂<sup>[6]</sup>)获取了不同热量的燃烧产物, 并通过水声测试系统研究了其对噪声的影响。

收稿日期: 2009-6-09; 修回日期: 2009-07-20

基金项目: 国家部委基金资助项目(51305090302); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目资助(CX09B\_105Z)

作者简介: 欧阳的华(1983-), 男, 在读博士研究生, 主要从事军事化学与烟火技术研究。e-mail: oydh2010@yahoo.com.cn

## 2 实验部分

### 2.1 试样的制备

本试验以氧化剂高氯酸铵(AP)、可燃剂(Mg-Al 粉)以及粘合剂硝化棉(NC)为基础配方, 外加不同含量的高热剂组成的烟火药为反应体系, 各配方组成见表 1。将各组份混合均匀过筛后, 压制成密度为  $1.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、直径为 18 mm、质量为 15 g 的药柱, 每个配方各三发, 装于自行设计的壳体中, 用于水下燃烧试验。

表 1 各配方组成

Table 1 Compositions of formulas

No.	basic formulas /%	thermite /%	burning rate / $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
1#	100	-	2.28
2#	75	25	5.77
3#	50	50	5.44
4#	25	75	5.63
5#	-	100	7.69

### 2.2 实验仪器及装置

实验仪器主要有水听器(B & K-8104)、电荷放大器(B & K-2610, 1 mV/Pa)、信号采集分析系统等, 由它们组成的 20 Hz ~ 100 kHz 宽带水下噪声源校准测试装置, 装置示意图如图 1 所示。其中, 消声水池采用杭州应用声学研究所的消声水池, 其规格为: 50 m × 15 m × 10 m, 其内注满自来水, 燃烧药柱与水听器之间的距离即测试距离为 1.26 m (本研究给出的结果已折算为 1 m 处值), 药柱和水听器的水深为 3 m。

另外,本次测试的噪声频带声压级及噪声声压谱密度级的测量不确定度为:10 Hz ~2 kHz,  $U=2.0$  dB; 2 ~40 kHz,  $U=1.5$  dB。

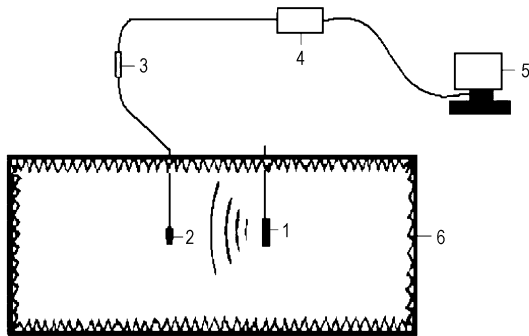


图1 试验装置示意图

1—烟火药, 2—水听器, 3—放大器, 4—信号采集系统, 5—计算机, 6—消声池

Fig.1 Sketch of experimental set-up

1—pyrotechnic composition, 2—hydrophone, 3—charge amplifier, 4—signal sampling system, 5—computer, 6—anechoic tank

## 2.3 测试方法

实验测试方法参照《声学水声换能器测量》(GB/T 7965 - 2002)<sup>[7]</sup>和《水下噪声测量》(GB/T 5265 - 85)<sup>[8]</sup>,采用1/3倍频程带宽,水听器采集到的信号经放大器,再由信号采集系统记录下来,以1  $\mu$ Pa为参考声压,在计算机中进行分析 and 处理。

## 3 结果与讨论

### 3.1 各配方水下燃烧的声压级

在试验条件相同的情况下,各配方在水中燃烧时所形成噪声的平均声压级结果见表2。

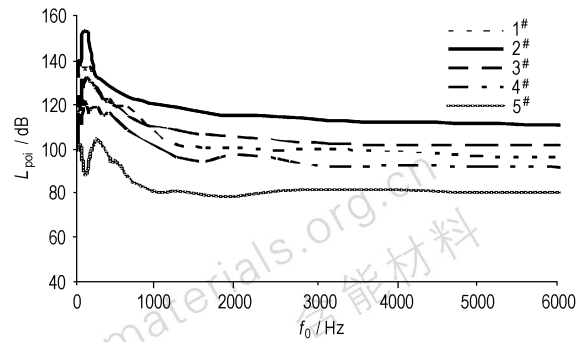
表2 各配方的平均声压级

Table 2	Sound pressure levels of formulas					dB
No.	1#	2#	3#	4#	5#	
sound pressure level	144.1	158.8	140.8	129.4	113.9	

由表2可知,各配方的声压级先上升,后下降,其中配方2#的声压级最高,其值为158.8 dB。

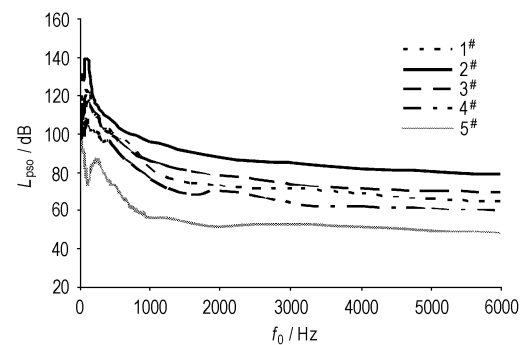
### 3.2 各配方水下燃烧的频谱图

分别以中心频率( $f_0$ )为横坐标,各配方的平均1/3倍频程频带声压级( $L_{poi}$ )和声压谱密度级( $L_{psd}$ )为纵坐标,可以得到相应的频谱图,如图2所示。



a. 1/3倍频程频带声压级谱图

a. The spectra of 1/3 octave sound pressure level



b. 声压谱密度级谱图

b. The spectra of sound spectra level

图2 高热剂含量不同的烟火药水下燃烧的频谱图

Fig.2 The spectra of underwater combustion for pyrotechnic compositions

图2a和图2b曲线在外形大体上基本一致,这主要是由于1/3倍频程频带声压级( $L_{poi}$ )和声压谱密度级( $L_{psd}$ )两者之间可以通过式(1)进行计算转化,即:

$$L_{psd} = 10 \times \log \left[ \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{poi}} \right] - 10 \times \log \Delta f \quad (1)$$

其中, $n$ 表示采样点数, $\Delta f$ 表示带通滤波器的有效带宽,对于1/3倍频程滤波器 $\Delta f=0.23 f_0$ 。

由表2和图2可以看出,烟火药水下燃烧所形成的声压级最高达到了158.8 dB,能量主要集中在0~5 kHz的低频段,与文献[5](声压级最高为50 dB,频率主要分布在0~2000 Hz)相比都有所增加。

烟火药水下燃烧的整个过程非常复杂,高温高压的燃烧产物进入水下时,由于速度剪切和汽-液相变等,会产生大量的气泡,而气泡又不断地碰撞、合并、破裂崩溃,产生强烈的噪声。因此,伴随烟火药水下燃烧产生的热量对声辐射特性具有一定的影响。比较表2和图2中的数据可知,随着基础配方中的高热剂含量的增加,1/3倍频程频带声压级、声压谱密度级以及声

压级都有所增加,然而随后却开始下降,这主要是因为随着高热剂含量的增加,产热量有所增加,燃速相应加快(各配方燃速见表1)。由 lighthill<sup>[9]</sup> 提出的  $V^8$  定律(即声功率与喷注速度的8次方成正比)可知,此时产物与水的作用有所加剧,由湍流而形成的声能相应增加。同时由于燃烧产物与周围介质水的温差加大,它们相互作用所形成的气泡以及周围液体之间的传热加剧,也加剧气泡之间的聚并与演变<sup>[10-11]</sup>;另外,张文平<sup>[12]</sup>通过对柴油机水下排气的研究也认为“排气温度增高,管口处气泡的体积脉动增强”。因此以上两者的综合作用,使得2#样品声压级比1#高。与此同时,随着高热剂含量的增加,相应的基础配方含量在下降,单位时间生成的气体(产气量)也就相应有所下降,使产物与水作用的程度减弱,所形成的气泡数量以及湍流都减弱,故当其下降到一定程度时,反而效果不好。在本实验中,当高热剂的含量超过25%时,就已经出现了下降,当全部是高热剂(5#)时效果最差。

#### 4 结 论

不同含量的高热剂对烟火药水下燃烧声辐射特性影响的规律为:随着基础配方中高热剂含量的加入,烟火药水下燃烧所辐射噪声的1/3倍频程带声压级、声压谱密度级以及声压级等有所上升,但是超过一定量(25%)时,则会有所下降。增加高热剂的含量能显著增加所辐射噪声的声压级等,但是并不是越多越好,还跟燃烧产物的其他性质(如气体流量)有关,所以在配方设计时,考虑添加适量的高热剂的同时还应

该考虑增加一定量的其他物质(如产气剂等)。

#### 参考文献:

- [1] Preston S Wilson, Janet L Ellzey, Thoms G Muir. Experimental investigation of the combustive sound source[J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 1995, 20(4): 311-320.
- [2] Askeland B, Hobæk H, Mjelde R. Marine seismics with a pulsed combustion source and pseudo noise codes[J]. *Mar Geophys Res*, 2007, 28: 109-117.
- [3] 潘功配, 杨硕. 烟火学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997: 92-94.
- [4] Massimo Annati. Anti-torpedo defence systems[J]. *Military Technology*, 1995(10): 10-16.
- [5] 欧阳的华, 潘功配, 关华, 等. 具有脉动燃烧效应的烟火药水中燃烧声频特性[J]. 含能材料, 2008, 16(5): 603-605. OUYANG De-hua, PAN Gong-pei, GUAN Hua, et al. Experimental study on acoustic frequency property of pulsating combustion underwater for pyrotechnic composition [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(5): 603-605.
- [6] 潘功配. 高等烟火学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2005: 295.
- [7] 国家标准汇编. GB/T 7965-2002. 声学水声换能器测量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [8] 国家标准汇编. GB/T 5265-85. 水下噪声测量[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [9] Lighthill M J. On sound generated aero-dynamically[J]. *Pro Rpy Soc*, 1952, 1107(211): 564-587.
- [10] Crabtree J R, Bridgwater J. Bubble coalescence in viscous liquids [J]. *Chem Eng Sci*, 1971, 26(6): 839-851.
- [11] Noel de Nevers, Wu J L. Bubble coalescence in viscous fluids [J]. *AIChE Journal*, 1971, 17(1): 182-186.
- [12] 张文平. 柴油机水下排气噪声实验和理论研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院, 1992.

### Effect of Thermite Content on Acoustic Radiation Characteristics of Pyrotechnic Composition Underwater Combustion

OUYANG De-hua<sup>1</sup>, PAN Gong-pei<sup>1</sup>, GUAN Hua<sup>1</sup>, FAN Lei<sup>1,2</sup>, ZHENG Lei<sup>1</sup>, YANG Sha<sup>2</sup>

(1. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China;

2. Engineering Institute of Engineering Corps., PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210006, China)

**Abstract:** In order to discuss the effect of combustion heat of the products on acoustic radiation characteristics, the underwater combustion for different thermite contents of pyrotechnic compositions were studied with underwater acoustics system. Results show that acoustic energy can be increased significantly by adding the proper content of the thermite, and the optimal thermite content is 25%. Fifteen gram pyrotechnic composition with thermite content of 25% can produce the sound pressure level as high as 158.8 dB, and the acoustic frequency is mainly 0~5 kHz, then the acoustic energy decreases with the increasing of thermite content.

**Key words:** military chemistry and pyrotechnic technology; thermite; pyrotechnic composition; underwater combustion

**CLC number:** TJ53

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.01.014