

# 超声喷泉的温度特性

李化茂<sup>1,2</sup>, 王耀俊<sup>2</sup>, 冯若<sup>2</sup>, 俞小青<sup>3</sup>, 谢锦平<sup>3</sup>

(1. 宁波职业技术学院-井冈山师范学院超声课题组, 宁波 315800;

2. 南京大学近代声学国家重点实验室, 南京 210093; 3. 赣南师范学院近代声学研究所, 赣州 341000)

**摘要:**文章研究了超声喷泉的温度特性。测量表明,自由喷射时超声喷泉内的温度上升速率随高度而增加,接近水平面高度时增加更快,邻近喷泉顶点时达到最大。若对超声喷泉进行聚束喷射,那么这种温度上升速率显著提高,并且采用全程聚束时高于半程聚束,锥形管聚束时高于柱形管聚束,但无论采用哪种聚束方式喷射,超声喷泉内的温度上升速率均在 1min 左右趋于饱和。

**关键词:**超声喷泉;温度特性;自由喷射;聚束喷射

**中图分类号:** TB559; **文献标识码:** A

## Temperature characteristic of ultrasonic fountain

LI Hua-mao<sup>1,2</sup>, WANG Yao-jun<sup>2</sup>, FENG Ruo<sup>2</sup>, YU Xiao-qing<sup>3</sup>, XIE Jin-pin<sup>3</sup>

(1. Ultrasound Group, Jinggangshan Normal Collge, Ningbo Vocation Institute, Ningbo 315800, China;

2. State Key Laboratory of Modern Acoustics, Nanjing University, Nanjing 210093, China

3. Gannan Teachers' College, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** In this paper, the temperature characteristic of ultrasonic fountain is investigated. The experimental results show that the rising rate of temperature in the fountain, when free-jetting, increases with the fountain height, and increases more rapidly at the height near the surface, and reaches the maximum at the near top of the fountain. And the rising rate increases rapidly when beam-jetting, and it is higher for fully-path jetting and cylindroconical tube beam-jetting than that for half-path jetting and cylindrical tube beam-jetting respectively, and whether what beam-jetting is adopted, the rising rate will tend to saturation after about 1 minute.

**Key words:** ultrasonic fountain; temperature characteristic; free-jetting; beam-jetting

## 1 引言

1991年, Fint 和 Suslick 在论文“空化的温度”中宣布,他们从实验中推测,功率超声作用下空化泡的有效温度范围是  $5075 \pm 156\text{K}$ 。事实上,在此前后,也有高于和低于该一温度的研究报道。不过,低于  $10^3$  这一量级的空化温度却很少有人提出<sup>[1~3]</sup>。虽然如此,由于单个空化泡的几何尺寸和平均寿命大多在微米或微秒的尺度内,所以,即便空化容器内不时含有大量的空化泡,并释放出它们的全部热容和机械能,也不足以将常温下相对浩瀚的宿主液体顿时汽化。然而,空化热效应的群体集中作用却在“超声喷泉的灼热现象”一文中得以充分、直观的表现,作者李化茂等还将此灼热现象成功地应用于高分子化合物板材的快速熔化实验中,甚至用于它们的水下焊接<sup>[4~6]</sup>。无疑,超声喷泉作为一种喷射式的超声空化场,有其特有的温度特性。本文对此进行了初步研究,现报告如下。

收稿日期:2001-05-17;修回日期:2001-11-17

作者简介:李化茂(1942-),男,江西大余人,教授,研究方向:超声空化及其效应。

声学技术

## 2 自由喷射的超声喷泉

如文献[4,5]所示超声喷泉,也称超声喷射空化水(场),是一类混响场。未对超声喷泉进行人为聚束、引导或反射等,任其在自然状态下喷射和回落,则称其为自由喷射的超声喷泉,这里简称为自由喷泉(以下同)。根据其灼热现象和迅速熔化高分子化合物板材的实验结果,作者曾经粗略地测量了超声频率 1.7MHz、声强(由超声电功率换算,以下同)约  $18\text{W}/\text{cm}^2$  时自由喷泉的相对温度分布<sup>[5]</sup>。近期对超声参数稍加变动,如 1.45MHz、 $3\text{W}/\text{cm}^2$  等,空化容器的直径由 5.0cm 改为 10.0cm 后,这种相对温度分布仍具有类似的特性。

## 3 聚束喷射的超声喷泉

### 3.1 半程聚束喷射

如图 1(a),在自由喷泉的实验基础上,并在同样的其他条件下,将略大于换能器端面直径的两根等高的柱形玻璃管和锥形玻璃管,先、后浸套在超声喷泉的上部,或曰上半程,并让其下方管口距离换能

器端面约半高水深。温度计(为免除换能器端面开放电场对测温的影响,本文仍采用文献[5]所用的水银温度计)仅置于邻近喷泉顶部。这时的超声喷泉称为半程聚束喷射的超声喷泉,这里简称为半程聚束喷泉(以下同)。邻近喷泉顶点处的温度上升速率如图 1(b)所示,  $t$  表示温度计浸入喷泉内的持续时间,  $T$  表示温度读数。  $T_{fr}$ 、 $T_{hc}$  和  $T_{hcc}$  分别表示自由喷射、半程柱形管聚束喷射和半程锥形管聚束喷射时邻近喷泉顶点处的温度读数。其他说明同第 1 部分。由此可见,超声喷泉在半程聚束喷射时,其邻近顶点处的温度上升速率比自由喷射时快,采用锥形管聚束喷射时又比用柱形管聚束喷射时快,但均在 1min 左右趋于饱和。

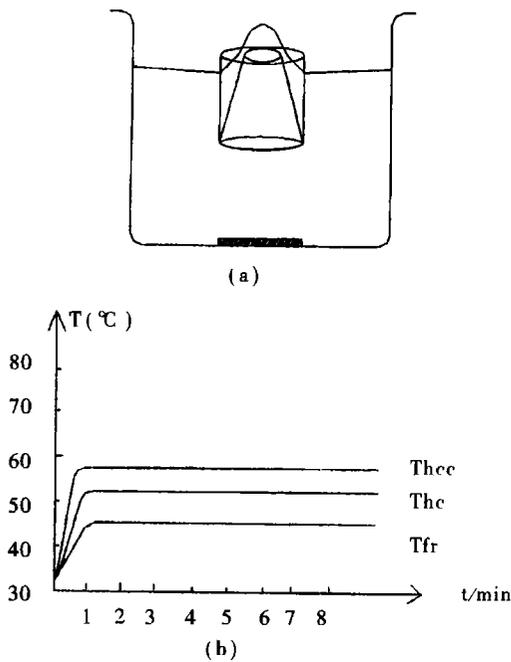


图 1 半程聚束喷射的超声喷泉(a)和温度上升速率(b)

### 3.2 全程聚束喷射

基本作法同上。如图 2(a)所示,不同的是仅将较长的柱形玻璃管和锥形玻璃管先、后浸套超声喷泉的全部,或曰全程,即让其下方管口圈套超声换能器的端面。这时的超声喷泉称之为全程聚束喷射的超声喷泉,这里简称为全程聚束喷泉(以下同)。其邻近喷泉顶点处的温度上升速率如图 2(b),其中  $T_{fr}$ 、 $T_{fc}$  和  $T_{fcc}$  分别表示自由喷射、全程柱形管聚束喷射和全程锥形管聚束喷射时超声喷泉邻近顶点处的温度读数。其他说明同第 3.1 部分。比较图 1 的半程聚束喷射情况,超声喷泉在全程聚束喷射时邻近喷泉顶点处的温度上升速率比自由喷射时加快更多,采用锥形管聚束喷射时也明显高于柱形管聚束

喷射,但也均在 1min 左右趋于饱和。

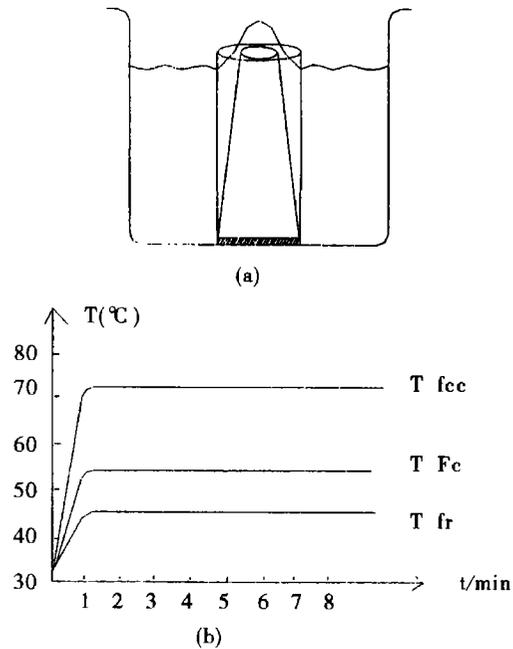


图 2 全程聚束喷射的超声喷泉(a)及温度上升速率(b)

## 4 结论和讨论

从上述实验可见,作为一种喷射式超声空化场来考虑和量度,超声喷泉内确有其固有的温度特性。自超声辐射端面起,沿着中轴线上行的测量结果表明,超声喷泉内的温度上升速率随喷泉高度而增加,接近静态水平面高度时增加较快,邻近喷泉顶点时最快。而就本实验中的自由喷泉而言,如环境温度较低,其最快的温度上升速率接近  $24^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。在等同实验情况下,聚束喷泉比自由喷泉的温度上升速率快,全程和锥形管聚束喷泉又分别比半程和柱形管聚束喷泉的温度上升速率快,而尤以全程锥形管聚束喷射时的温度上升速率最快,此时在邻近喷泉顶点处可达  $40^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。但不管超声喷泉是否聚束喷射,其测得的温度上升均在 1min 左右趋于饱和。超声喷泉的这种温度特性可以进一步说明,它是一类很具特殊意义的喷射超声空化场,其特殊性可能出于空化泡的密度因超声辐射力和聚束喷射的物理作用,而使大量空化泡的集中热效应和机械效应在喷泉前端更为突出,声能密度也因超声自由喷射和聚束喷射而沿喷射方向大有提高,因此增强了这种温度特性<sup>[4,5,7~9]</sup>。邻近喷泉顶点处测得的温度上升在 1min 左右趋于饱和的现象,可以认为是空化泡的最多聚集和最大的空化集中效应已经达到。温度上升速率在喷泉顶点处有所下降可解释为喷泉介

质,如水,在顶点处较少,其所含空化泡及其热容也较少的缘故。而温度计难以克服的升温惰性,即响应特性则决定了测温趋于饱和值所必要的时间(1min)使温度上升速率不易得到及时反应。当然,对超声喷泉温度特性的研究还应该在广域的超声参数条件下,以及对多种喷泉介质进行研究,以进一步明确这种特性的普适性和局限性,喷泉内三维温度特性的情况也未作研究或比较,也有必要继续进行。

**谢辞:**本研究由国家自然科学基金(19934001号)、中科院声场声信息国家重点实验室2001年度课题基金、江西省自然科学基金(19912008号)和赣南师范学院自然科学基金的资助。

#### 参考文献:

- [1] Fint E B, Suslick K S. The temperature of cavitation[J]. Science, 1991, 253:1398-1399.
- [2] Crum L A, Sonoluminescence[J]. Physics Today, 1994:22-29.

(上接第184页)

(3)等级打分法和成对比较法的结果有较好的一致性,可根据实际情况采取合适的方法。如果需要评价的噪声记录数目相当多,或需要知道评价参量值的范围,则应选择等级打分法;如果评价噪声记录数目不多,且只需了解噪声之间的相对排序,则宜选择成对比较法。

(4)对于试验车而言,同一路面,同一位置下,具有车速越高,响度、烦恼度、尖锐度及脉冲度增强的趋势;同一乘客位置,同一车速下,水泥路面、柏油路面和差路路面相比,在水泥路面上行驶时,车内噪声的主观听觉印象较好,响度和烦恼度最低;同一路面,同一车速下,前排乘客位置在听觉舒适性上不如

- [3] Suslick K S, Doktycz S J, Flint E B. On the origin of sono-luminescence and sonochemistry[J]. Ultrasonics, 1990, 28: 281-282.
- [4] Li H, Yi Y, Li Z. The heat phenomenon produced by an ultrasonic fountain[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 1997, 4: 217-218.
- [5] 李化茂,李宇华,冯若.超声空化场速熔高分子化合物的现象及其机制[J].声学技术,2000,19(4):226-227.
- [6] Li H, et al., Underwater ultrasonic welding of plastics[C]. Proceedings of 8th International Congress on Sound and Vibration(July 2-6,2001,香港)2969-2972.
- [7] Li H. Cavitation concentration[C]. Proceedings of the International Symposium on Hydroacoustics and Ultrasonics, Gdanisk-Jurata, Technical University of Gdanisk, Naval Academy in Gdynia.
- [8] Leighton T G., Bubble population phenomena in acoustic cavitation[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 1995, 2(2): S123-S136.
- [9] 钱祖文.非线性声学[M].北京:科学出版社,1992.208-209.

后排乘客位置。

#### 参考文献:

- [1] Hiroyuki Hoshino, Hiroyasu Katoh. Evaluation of wind noise in passenger car compartment in consideration of auditory masking and sound localization[J]. Sea Paper, 1999, 1:1125.
- [2] Rudolf Bisping, Soenke Giehl. A standardized scale for the evaluation of car interior sound quality. Sea Paper 971976.
- [3] Matthias Schneider, Michael Wilhelm. Development of vehicle sound quality—targets and methods[J]. Sea Paper 651283.

## 上海市声学学会建声噪声委员会组织召开声学材料产品应用技术介绍会

2002年9月6日下午,市声学学会建声噪声专业委员会会同市建筑学会与规划专业委员会和室内外环境设计专业委员会,联合召开了新型声学材料产品性能与应用技术介绍会,声学学会常务理事,建声噪声专业委员会主任章奎生教授代表两个学会、三个专业委员会主持了介绍会,来自本市建筑声学、环境声学、建筑设计及室内设计行业的近80多位专业技术人员出席了介绍会。会上首先由荷兰亨特建材集团公司对各类乐思龙金属吸声吊顶,金属墙面装修材料的产品性能及大量工程实例作了介绍;然后由德国科德宝无纺布公司对新型 Soundtex 无纺吸声布的吸声、防火、轻薄等特点与工程应用作了详细介绍,两家公司的多种声学装饰材料的展示和介绍受到与会设计、科研专业技术人员的欢迎,并表示学会专业委员会通过组织这样的活动沟通了企业与设计科研单位的联系,起到了很好的桥梁作用。

本刊编辑部