

应崇福院士 90 生辰学术报告会论文

关于液体内大规模声处理中空化研究的几点思考——再论声空化工程

应崇福[†]

(中国科学院声学研究所 北京 100190)

摘要 再次强调了大规模液体中超声处理、以及为此目的研究声空化的重要性。提出了对这项应用中声空化行为的几点思考,重点是关于声空化的“强度”以及关于电动力和流体动力式两类产生空化系统所产生空化的不同特性。

关键词 大规模液体中超声处理, 声空化工程, 对空化行为的思考

Some thoughts on the behaviors of cavitation used in large-scale ultrasonic treatment in liquids—A second discussion of cavitation engineering

YING Chong-Fu

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Science, Beijing 100190)

Abstract Re-emphasizes the importance of large-scale ultrasonic treatment in liquids and the significance of the study of cavitation for the purpose. Presents some thoughts on some behaviors of cavitation related to such application, mainly on the concept of the cavitation “strength”, and on the differences in characteristics of cavitation bubbles from the two principal cavitation production systems—the electric-dynamic and the hydrodynamic.

Key words Large-scale ultrasonic treatment in liquids, Cavitation engineering, Thoughts on cavitation behaviors

1 引言

超声在人类和动物界中大量产生并在人类中大量研究,主要是因为它对人类的生活和某些动物的生活有着众多的用途,部分还是很重要的用途。也有少量超声是自然产生的,是自然界的现象,例如有“声子”的存在,

但绝大部分的超声是人为出现,是以应用为目的的。

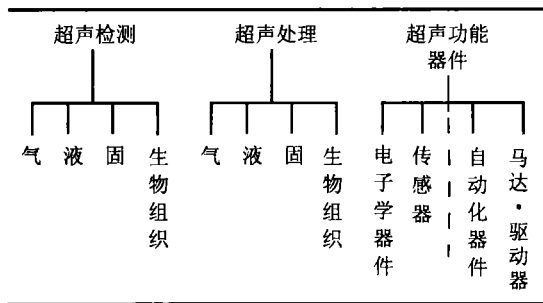
对超声的应用,大体可分作三大类:超声检测、超声处理和超声功能器件,如表1所示。本文将只涉及表中超声处理这大类应用的主要部分,即超声在液体中的处理应用,讨论它的应用现状进一步发展的需求和可能途径。

2008-07-28 收稿; 2008-08-12 定稿

作者简介:应崇福(1918 -),男,浙江宁波籍,研究员,中国科学院院士,从事超声学研究

[†] 通信联系人 E-mail: yysx@mail.ioa.ac.cn

表1 声的应用



2 液体中超声处理的主要内容、应用现状和进展阻碍

超声在液体中处理有哪些应用内容? 这里例举几个比较主要的项目。在当前,已经在生产规模应用的有超声清洗、超声乳化等少数项。在研究、探索方面突出的有声致核聚变,这个应用项目在十几年前曾经十分引人注目,但近来理论上对可能性逐渐淡化,实验上对个别结果有很大的争议,看来处理难度很大,短期内难以实现。

但是,超声在液体中的处理,在很大一个领域,在实验室里表现不凡,那就是超声对液体中的多种化学反应能起促进作用,以至于形成了一个独立的学科分支,称声化学。超声在实验室内能对成千近万的化学反应施加影响,这些化学反应包括无机的、有机的,也包括聚合和催化。施加影响是指,或者促进某些化学反应的速度,或者增加某些化学反应的产量,或者降低某些化学反应的条件要求,或者改变某些化学反应的趋向,或者在少数情况使原来相互不反应的化学体产生反应。

顺便提一下,超声在液体中对生物体也有促进作用,例如对酶。但这方面的事例不象声化学那么广泛,本文作者对此又很不熟悉,本文中可不谈论。

就声化学而言,超声对化学反应的促进作用,有很久的历史,最早的实验发现见于上世纪的卅年代。随后几十年里,实验效果不断扩大,作用机理逐步明确(热点说),“声化学”的名称最终确立。这样,声化学应当具有相当大

的影响力,至少应当引起化学界的重视。但情况似乎是,影响不如预期。

国外的有关工作者,多年前便有少数人提出,促进化学反应的超声应用,应当进展到生产领域。近些年来,这项呼声逐渐加强,并且有少数国家的科学家们着手研究实现的途径。认为应当把超声作用设备,从实验室规模“放大”到生产规模,这“放大”(scale up)两字成为这个领域中引用频率最高的名词之一。

不过,试验发现,按照通常的做法,“放大”不是那么轻而易举。在通常的功率超声的范畴,有认为,处理规模大,需要的声功率便该大,而习惯上采用电力式换能器,便需要大功率的超声换能器和大功率的超声频电功率发生设备。这些装置制作起来成本高,使用起来开销大、维修难,使用性能还经常达不到小型实验时的水平。也有例外,据作者所知,国内有个别项目,取得了使用效果,不过这是很少数的例外,而且可能代价高。

另一方面,要在液体中处理,除可用电力式装置外,还有流体动力式的设备。半个世纪前在我国,簧片哨在超声处理液体中是常用的一种设备,在超声乳化、超声粉碎(包括水煤浆的制作)都有过很良好的表现。但基础研究缺乏,进展缓慢。近些年来,由于大规模处理的需要,流体动力式设备逐渐受到人们的重视,国外设计出了多种形式的流体动力式设备;据本文作者所知,国内也有用这类设备在两三个项目中取得实际效果。流体动力式设备目前的情况,简单说也许是,有时有效,但对其细节不明,对其使用的有效性缺乏预见性。应当说,要较透彻了解完善流体动力式设备,似乎还有一段路要走。

3 液体中大规模超声处理的理论基础——声空化工程

本文作者曾在文献[1]中提出,为了提高大规模处理的效果,从而减低声能消耗,并增加处

理产量,应当把研究重点从功率超声的求大转移到声空化的认识上来,这原因是,超声处理的主要作用机理是声空化。在有些情况下,可能另有声流等现象也起着作用,但声空化常是主要的操作者。这意味着在大规模处理时,要重点保证声空化的有利布局,而不是单纯地提高声功率的水平。这样,需要对声空化在应用中的产生、行为、作用有足够的了解。文献[1]中曾解释,所以把声空化的研究,分成声空化物理和声空化工程,是试图促进分工,分散负担。

可以看出,流体动力式空化发生器的看好,也提示声空化工程的重要性,在流体动力式声反应器中,声空化是更直接的登台角色。

4 对超声液体处理中空化研究的几点思考

上节提到声空化工程的意义。那么,声空化工程包括哪些内容?

对这个问题,本文作者并没有成熟的答案。根据自己已有的了解,国内外已有的资料也不足提供系统的粗略线索。按照本文作者一家之言的看法,对于大规模超声处理中的声空化,似乎存在不少的理解匮乏。或者说,本文作者的印象是,过去对于单个气泡的独立特征分析得比较完善,而对于声空化的应用特征,则较少系统地进行研究。苏联时代 Rozenberg 实验室的系列工作是少数例外之一。近年来则有少数国家,像印度,科学家们在开展类似活动。

很显然,声空化工程将不是少数工作者在短时间内所能完成,而将是许多人在今后较长时间内在实践基础上的成就积累。但这并不阻碍人们在液体中大规模处理的零散项目上取得可观的成功。个人认为;在目前,一方面可以在知识尚不完善的情况下选择适当的、估计比较容易的项目试行大规模处理,探索实用,另一方面需要众多有志之士一点一滴地参加建设声空化工程,为更重大的应用打基础。首先是搭起框架,以便随后逐点深入。在文献

[1]中,本文作者曾提出几点声空化工程的内容例;在这里,现再提出几点自己的有关思考。称作思考,是指观点或提法未曾经过严格的验证,有些是前人朦胧提过,有些则是自己独立提出,都有待进一步发展和科学检验。

4.1 关于声空化的“强度”

在液体内的超声处理应用中,人们一般首先关注反应器内是否有空化气泡存在。进一步则当采用电动式发生器时,检查一下当时的声功率或声强(实际上较常给出的是电的有关量)。在认识上则会注说有稳态空化和瞬态空化之分,更深入些则会提到空化气泡非线性振动所引起的一系列声辐射谱线,理论上还有时延伸到分岔现象或混沌现象。

本文作者认为,从应用角度看,这些指标不能突出空化气泡的一项重要特征——它的“作用才能”。实际上,有迹象表明,在应用场合,不同来源的空化气泡常表现出具有不同的这项才能。以声化学为例,有些对化学反应的促进作用可以在普通的清洗槽内获得,而对另一些化学反应则只有在使用变幅杆发生器时获得[2]。此外,应用文献中有时对比几种不同类型声化学反应器的应用效果。它们的实用效果常有差异,这原因也许是多样的,但其中一项重要原因可能是,不同类型声化学反应器所产生的空化气泡,其“作用才能”是不同的。

在文献中有时会遇到这样的描述:“猛烈”的空化气泡。

个人认为,至少从应用角度,可以也需要,分辨不同来源声空化的不同“作用才能”,简要地可称作声空化的不同“强度”。显然,声空化的“作用才能”或“强度”应当是和声空化的基本物理量密切关联的,而且基本物理量可能不只一个,换言之,不同的作用可能涉及不同的基本物理量。但在目前草创阶段,也许先简单些用一个量来表达声空化的作用才能,将来有必要时再补充或修改。另一方面,有可能,那些不止一个的基本物理量是相关的。

现在有一个关键问题是怎样定义“强度”

这个概念。据间接了解,国外过去有几家公司分别采用不同的标准来标定声空化强度之类的量。近来,法国科学家们[3]另定了一个标计方案,他们的分析有一个特色是把上述标计量和相应声空化的声化学作用才能进行了对比。我国的科学家们曾试图把文献[3]的部分结果推广到低频段超声[4]。

法国科学家们的标计方案是个良好的开始,但显然还待改进。这里举几点有待继续探讨的问题例:(1)文献内部分解释还有待澄清,(2)应当有比变幅杆发生器所产生要更“强”的声空化,例见图1,(3)流体动力式发生器所产生空化,其表现或特征可能不同,(4)目前所用几种声化学剂量计,其性能没有经过对比。

关于“强度”可以另提一个关键问题,那

就是怎样控制声空化的强度,或者说,怎样产生不同强度的声空化。

4.2 关于电动力式和流体动力式两类空化发生器所产生空化的差异

前面谈到,为产生空化,当前多用两类发生器,一类是电动力式,一类是流体动力式。电动力式发生器在超声学中一向占据较重要的地位,主要是因为超声检测和超声功能器件几乎全用这个种类,但那里并非为了产生空化。当用到液体中大规模处理以产生空化时,如果单纯放大这类发生器的声功率,如前面提到会遇到些困难;除了成本高、维护不容易外,还有个问题是,所产生的声空化常停留在换能器附近,难以分散到广阔的液体空间去,以处理那里的大量流体。

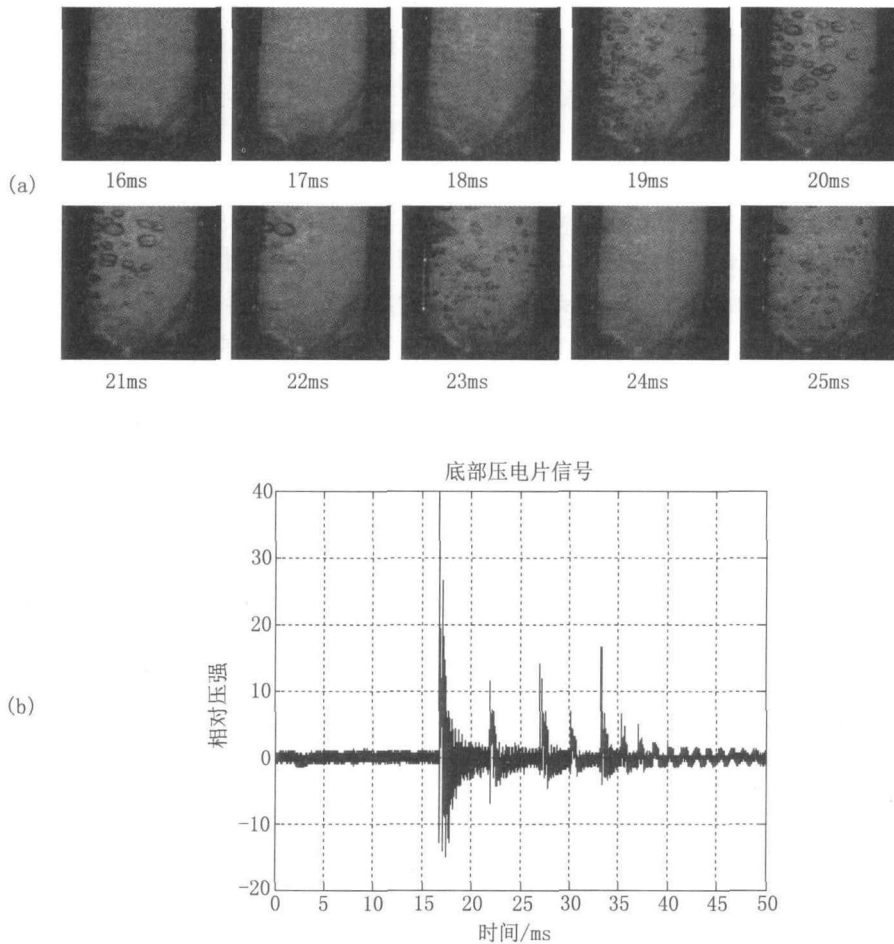


图1 我们观察到的多泡空化(a)及其所辐射的压强波(b)

但事物总是发展的。人们努力寻找分散声空化的方案,近来一个是试用多频声波。值得指出,多频声波的特效是我国科学家较早验证的[5],国外科学家则把这种组合用到液体内大规模处理中来,发现一方面可以控制声空化的分布,一方面还可以提高声空化的促进效率[5,6],这个方案正在试

验中。

因为较久较多使用电动力式发生器,人们对这类发生器所产生的声空化比较熟悉。

流体动力式发生器,由于结构简单,维护容易,在液体内超声处理,特别是大规模处理的应用中,受到重视,图 2 显示流动液体中阻流体产生空化群的两张照片(引录)。

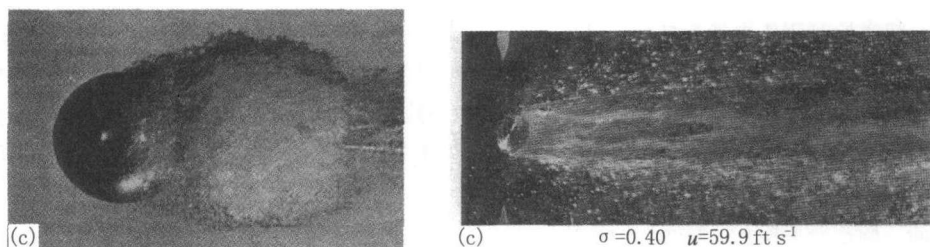


图 2 流动液体中阻流体产生的空化群(引录照片)

但是,应当注意,传统的流体动力式发生器,它们所产生的空化,性质并不全同电动力式发生器所产生的。目前估计,两种产生源至少有两点显著的差别:一是流体动力式产生空化的声压宽度,一般在 1 ~ 50ms 之间,远大于电动力式所提供的,二是前者产生空化的声压幅值,一般要小于后者所提供的。此外,不同类型的流体动力式发生器之间的空化性质差异,也常不清楚。从目前看,也许可以说,流体动力式发生器一般会有处理作用,但有多大还相当缺乏预见。

4.3 关于空化簇团和结构的影响

当声场加强,空化泡密度加大时,空化泡与空化泡会集结形成簇团,或组成一些结构,这些簇团或结构会影响空化的作用。对这些现象或其逆现象,目前有少许研究但不多,对它们的过程和影响还不是太清楚,值得探讨、了解和控制。

5 小结

本文再次强调了大规模液体内超声处理的重要性,以及着手研究处理中声空化的意义。对声空化工程的内容,继过去所举几个例^[1],提出了自己的几点思考。首先是注意到,声空化有迹象具有不同“作用才能”的特征,而不同的处理液体对象可能需用不同“才

能”的声空化。在目前,似乎可以粗略地采用单一的参量来表达这个“才能”,称之为声空化的“强度”。明确认识“强度”的概念,将有助于超声处理在实施时的预见性和选择性。怎样定义、标定和控制声空化的“强度”,已有了一些基础,更待进一步探讨。

本文思考的第二个重点是,在比较了两大类声空化产生系统—电动力式和流体动力式空化发生器—的应用近况后,考虑了两类系统所产生空化在性质上可能有差异,这些差异的特征以及其影响的大小,也亟待阐明。

参 考 文 献

- [1] 应崇福. 流体中的声处理应用和声空化工程,应用声学, 2006, 25(5): 261 - 264.
- [2] T. J. Mason, J. P. Lorimer. *Sonochemistry: Theory, Applications and Uses of Ultrasound in Chemistry*, Ellis Horwood, Chester, 1988.
- [3] J. Frohly, S. Labouret, C. Bruneel, et al. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2000, 108(5), part 1: 2012 - 2020.
- [4] Z. F. Liang, G. P. Zhou, S. Y. Lin, et al. *Ultrasonics*, 2006, 44: 115 - 120.
- [5] P. M. Kanthale, P. R. Gogate, A. B. Pandit, *Chem. Eng. J.*, 2007, 127: 71 - 79.
- [6] V. S. Moholkar, S. Rekveld, M. M. C. G. Warmoeskerken. *Ultrasonics*, 2000, 38: 666 - 670.
- [7] P. A. Tatake, A. B. Pandit. *Chem. Eng. Sci.*, 2002, 57: 4987 - 4995.