

纪念应崇福院士诞辰 100 周年

关于表述空化场强弱术语的讨论

沈建中[†]

(中国科学院声学研究所 北京 100190)

摘要 声空化是声学中特别是超声学中一个极其重要的物理现象。然而, 尽管对于声空化的研究已经有着悠久的历史, 但仍然有一些极基础的理论问题有待解决。如何来描述或表征声空化状态的强弱程度, 就是这样一类的问题。该文对所谓的“空化强度”概念提出质疑, 并对影响声空化现象的一些因素做出分析, 相应地指出解决问题的一些建议, 以期人们对这个无论在理论研究和实际应用方面都有重要意义的问题深入研究。

关键词 声空化, 强度, 功率超声, 空化屏蔽

中图法分类号: O42

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2018)05-0831-03

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2018.05.032

Some words about how to describe the degree of the strength of the cavitation

SHEN Jianzhong

(*Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China*)

Abstract Acoustic cavitation is an important physical phenomenon in acoustics especially in ultrasonics. However, even there is a long history about acoustic cavitation research, some essential theoretical problems are still needed to concern. It is this kind of problem that how to describe the degree of the strength of the cavitation. The so called ‘cavitation intensity’ or ‘cavitation strength’ was argued by the author, and some aspects of acoustic cavitation were analyzed as well. Suggestions are proposed to deal with this important theoretical and practical problem for further research.

Key words Acoustic cavitation, Intensity, Power ultrasonics, Cavitation screened

2018-06-15 收稿; 2018-08-21 定稿

作者简介: 沈建中 (1945-), 男, 上海人, 研究员, 退休, 研究方向: 超声理论和应用。

[†] 通讯作者 E-mail: shjzh@mail.ioa.ac.cn

1 引言

声空化能够在局部的时间空间范围内产生高温、高压、高强电场、冲击波等非常极端的物理条件,并由此引发许多有着广泛用途的效应。例如,超声清洗已经普遍应用于许多领域和场合。大量的研究表明,超声清洗的重要机理与声空化有关。在超声清洗机理的理论研究中,在超声清洗工艺的优化实践中,在超声清洗机器和设备的设计制造中,如何来描述或表征声空化状态的强弱程度?这是一个很直接很基本的问题。人们自然而然地使用起“空化强度”这一专门的用语和名词,并且实施了多种不同的各有特色的测量方法。然而,各种测量方法所获得的结果往往不一致,它们不互相支持,甚至会有抵触。这些,由于种种原因,相当强烈地引起人们的困惑。“空化强度”究竟指什么?“空化强度”如何测量?在声化学领域,也存在类似的问题。这些困惑,长期未能得到解决。随着对声空化研究的深入和声空化应用的拓展,解惑的需求越加迫切。

早在几百年前,人们就注意到空化现象。当水在细窄的管道中间流动时,当水被螺旋桨搅动时,当水中有比较强的声波传播时,都会因水中局部区域的压力低于环境压力而产生空化现象。空化现象是指在液体中间形成局部气体或蒸汽空穴和伴随的空穴的生长和破灭的动力学过程的现象。声空化是指由声波的作用而导致的空化。

声空化是声学中特别是超声学中一个极其重要的物理现象。空化现象的非线性本质使得确切地描述它们具有相当的难度。尽管对于空化的研究已经有着极长的历史,然而由于空化现象本身的复杂性,对于如何来描述或表征声空化状态的强弱程度这样一个十分基本十分基础的理论问题,仍然没有得到有效的解决。

本文旨在指出解决这个问题的难点所在,抛砖引玉,希望有关部门支持这个有较大影响的、无论在理论研究和实际应用方面都有重要意义的基础性研究,能够解开这个谜团。

2 声空化的测量

按照国标《声学名词术语》^[1],空化是“液体中由于某种原因(例如强声波的作用)形成局部气体或蒸汽空穴及其成长和破灭的现象”。这里,“某种原因”、“气体或蒸汽”等对于我们所讨论的“空化强度”都有重要的影响。因为,首先,对于空化现象的

影响因素非常多,而不同的影响因素所产生的空化往往具有不同的性质^[2]。因此,空化的定义中使用了“某种原因”这个修饰词。其次,空化现象中的气泡,它可以是气体的、液体蒸汽的、气体与液体蒸汽混合的,甚至可以是真空的;而气体则可以是普通的空气,或空气中的某个或某些成分,情况多变。最至关重要是,以上这些因素,对空化现象强烈程度的判定,往往有着不同的规律。

下面,让我们分析几个常遇到的测量空化的强度的方法。

2.1 气泡的大小

用空化气泡的大小来描述空化的强烈程度是一个很自然的选择。测量气泡大小的方法有很多,其中,光学技术比较有优势。于是,有了利用光的Mie散射来测量超声“空化强度”的各种方法。但是,很不幸,空化状态的强弱并不直接与空化产生的气泡的大小相关。

超声空化所产生的气泡是成千上万的气泡群。描述一个气泡群特征的量大致有三个,即气泡的数量,最大气泡的大小和气泡大小的分布。然而,由于前面提到的各种原因,同样的超声功率在不同的条件下会产生在气泡的大小和分布上差别很大的气泡群。

研究表明,超声空化所产生的气泡的状态与空化核的状态密切相关。空化核是液体中存在的大小在纳米或亚微米级的微气泡。空化核在较强超声的作用下,发生迅速增大和收缩的运动或进入共振状态。空化核的大小和尺度分布,以及空化核中的物质,如真空、空气、液体蒸汽或其他气体,激烈地影响着超声空化所产生的气泡的状态。这里,有两点情况,其一,空化核的状态是未知的,很难测量的。其二,由改变空化核的状态而导致的超声空化产生的气泡的状态的变化,与超声空化的其他效应,比如清洗效果,并没有十分确定的关系。

因此,对气泡的大小和分布的测量,只是测量了空化状态的一个方面,代表不了对空化状态的强烈程度的测量。所以,它只能在绝大多数实验条件固定的情况下,比较某一两个因素对空化的影响。在不同的实验室之间测量所得到的结果缺乏可比性。

需要指出,在测量气泡大小的方法中,大部分是在认为气泡是球形的前提下实施的。实际上,超声空化所产生气泡的形状十分复杂。例如,有些气泡的形状像苹果,有些气泡像陀螺。而往往这些非球形的气泡,在声空化的一些效应中起着更大的作用。

2.2 空化噪声

声空化产生很强的很有特征的噪声。测量空化噪声来标定空化的强烈程度简单易行,已经得到比较多的应用。

但是,由于空化噪声与很多因素有关,因此,对空化噪声和空化噪声谱的测量,只是测量了空化产生噪声的能力。它也只是测量了空化状态的一个方面,代表不了对空化状态的强烈程度的测量。

例如,在声空化产生的气泡中,有瞬态空化气泡和稳态空化气泡之分。瞬态空化气泡在超声场的作用下,瞬间急剧地长大和坍塌,经过一个或几个周期反复溃灭;稳态空化气泡在超声场的作用下,可以维持很多周期的复杂形式的振动。瞬态空化气泡和稳态空化气泡所产生的空化噪声谱是有很大差别的。而声空化产生的气泡中,瞬态空化气泡和稳态空化气泡的分布是未知的,难以测量和估计的,有时甚至是时变的。

因此,对空化噪声的测量,也只能在绝大多数实验条件固定的情况下,比较某一两个因素对空化的影响。在不同的实验室之间测量所得到的结果缺乏可比性。

2.3 金属箔膜腐蚀和其他

超声空化使超声场中的金属箔膜产生腐蚀。观测金属箔膜在超声场中产生腐蚀的情况是测量超声空化时,估计空化的强烈程度和分布的传统方法。

金属箔膜腐蚀情况直接反映了超声空化的清洗能力,它在超声清洗中有着重要的地位。但是,与上面的两种方法一样,它只是测量了空化状态的空化腐蚀效应,并且只是测量了空化状态的一个方面,代表不了对空化状态的强烈程度的测量。因此,也只能在绝大多数实验条件固定的情况下,比较某一两个因素对空化的影响。在不同的实验室之间测量所得到的结果缺乏可比性。

测量空化状态的强烈程度的方法有很多,例如,染色法、碘释放法、荧光法等。他们依据空化所导致的不同效应和特性来实施测量,但有一个共同点,就是他们都只是测量了超声空化的某一个特定效应或某一个特定性质。因此,在不同的实验室之间测量所得到的结果缺乏可比性。这里不一一讨论分析了。

2.4 空化屏蔽

在一定的超声声强范围内,声空化的剧烈程度随着超声声强的增强而增强。但是,已经产生的空化气泡群将影响声波的传播过程,并抑制其他气泡的产生,从而抑制声空化的进一步拓展。当超声波强度足够大时,声空化的剧烈程度不再简单地随着

超声声强的增强而增强,形成所谓的空化屏蔽。空化屏蔽还有另外一层的意思。由于气泡对声波具有散射作用和吸收作用,声空化产生的气泡群会剧烈地加剧声波的衰减,从而会出现所谓的反常衰减。即超声波通过由它自己所产生的声空化气泡群后,超声波的声强出现异常,当超声波的声强超过某个数值时,较强的超声声强所透过的超声波的声强反而低于较低的超声声强所透过的超声波的声强。

空化屏蔽的复杂的非线性特征进一步加剧了声空化的剧烈程度的测量难度。

此外,气泡群的形状和空间分布对于判断声空化的剧烈程度影响很大,进一步加剧了测量声空化的剧烈程度的难度。

3 分析和讨论

对于上面的关于如何表征声空化的剧烈程度的讨论,有两个会影响表征手段的重要的事实需要补充说明。其一是气泡在运动过程中,往往存在着气泡内外的物质交换,而且这些物质交换是未知的,难以预测的。其二是气泡的变化速度是非常快的,而现有测量手段的响应速度大多远低于气泡的变化速度。

对声空化场的测量,对于声空化的剧烈程度的表征,无论从理论研究角度还是从实际应用角度,都具有重要的意义。人们已经做了大量的有成就的工作。然而,人们经常使用的名词“空化强度”,其确切的定义是什么?没有得到确切的回答。

声空化具有许多效应。在不同的应用对象和不同的应用场合,所利用的声空化效应是不同的。而针对所使用的效应设计相应的测试方法和判断准则,具有很好的适用性。但这样做,各自得到的只是一个片面的结果,缺乏通用性。

为此,本文提出以下两点建议供大家商榷:

(1) 能否组织专项研究,以形成一个表征声空化的剧烈程度的术语。该术语的定义是能使大家认可的而且符合声空化的物理内涵的定义。在这个前提下,该术语当然也不排斥使用现成的名词“空化强度”。组织专项研究如何得到经费支持?希望有关部门支持这个有较大影响的、无论在理论研究和实际应用方面都有重要意义的基础性研究。

(2) 建议慎用或避免使用“空化强度”这个名词。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3947-1996, 声学名词术语[S].
- [2] 应崇福. 超声学[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 507-511.