

空气声中非线性声学研究

Research on Nonlinear Acoustics in Air Acoustics

刘 克

(中国科学院声学研究所, 副研究员 北京 100080)

李晓东

(中国科学院声学研究所, 博士生 北京 100080)

“世界是非线性的”。一切物理领域的问题都是非线性的。许多所谓的线性系统, 实际上均为非线性系统在小振幅下的近似。对非线性系统的深入研究, 将会揭示物理科学发展的新图景。同理, 一切声学问题也都是非线性的。非线性声学已发展多年, 并在水声和超声工程中得到广泛应用。本文就该学科的研究现状及其意义做一简单概述, 并就非线性声学在空气声中所涉及的一些问题提出学科所面临的任务, 展望其今后发展的前景。

一、非线性声学的研究现状及其意义

非线性声学可以说是一门既古老而又年轻的学科。“古老”是指其起源至少可追溯到 18 世纪中叶尤勒(Euler)所处的年代。“年轻”则是指该学科在近 30 年才得到迅速发展。目前, 非线性声学倍受国际声学界的关注。自 1968 年第一届国际非线性声学专业学术会议召开以来, 迄今已经举行了 13 次。1993 年 6 月在挪威召开了第十三届国际非线性声学会议, 来自美国、日本、俄罗斯、德国及中国等 14 个国家的学者提交论文 114 篇。第十四届国际非线性声学会议已决定于 1996 年在我国举行。在国际和一些国家的声学会议上, 非线性声学都有重要反映。发达国家中如此众多的学者投入此领域的研究工作, 说明了该领域所具有的极大吸引力; 而如此频繁地召开国际学术会议, 则又表明了声学界对该研究领域的重视程度。

形成这种局面主要有两方面的原因: 首先从基础研究角度而言, 非线性声学做为一个学科分支, 在物理学领域中占有特殊重要的地位。我们知道, 学科之间的相互渗透是当代科学发展的一大特点。在 20 世纪末叶, 人们长期的科学梦想在物理上正在实现。它的各个分支在发展中向统一的学说“收敛”。固体物理可从经典物理和声学借用概念, 而物

理声学则可从凝聚态物理吸取营养。各分支学者今天能以前所未有的深度按统一的物理学科交流思想。非线性声学在整个物理学界的非线性基础研究中扮演了这种促进“统一”的积极角色。如与光学相比, 声学中所能达到的非线性程度远大于非线性光学介质中所能达到的程度。声强在 10^{-3} 瓦/平方厘米时, 其非线性效应已很明显, 但在非线性光学中, 其强度达到 3×10^8 瓦/平方厘米时所观察到的非线性效应也不到声学的 0.01%。因此利用声学可进入到光学所无法获得的非线性物理的新领域。而用声学方法作为主要探头研究超流体液氦系统, 它极小的内摩擦更使非线性现象显得格外重要, 从而能获得研究其他物理系统(如等离子体系统)所难以得到的结果。正如《非线性声学理论基础》作者鲁登科(Rudenko)所强调指出的: 非线性声学的理论界线作为一个学科来说并不是很清楚的。其研究成果直接推动着整个物理学界的非线性基础研究的进展。

第二方面的原因, 则是非线性声学研究成果在现代科学技术发展中起着越来越重要的作用。过去多年来, 人们已把高强度声音的高声压及其所具有的辐射压、声流、空化和非线性效应广泛应用在现代国防、科研、航天航空及生产的领域中。就空气声中非线性声学而言, 这些效应及应用主要包括: 声音的致命效应、声疲劳、声与燃烧、热声致冷和热声发电、冲击波体外碎石、声悬浮和操纵、声发光、混沌效应及能源经济, 等等。近年来, 新的应用不断出现, 而且不限于超声, 从次声到特超声各频率都有。同时还发现了物理学还不能解释的新现象。现实使得人们要努力开展这方面的研究。从应用基础研究角度, 空气声中的非线性声学亦具有广阔的发展前景。

由上所述, 可以引用第十三届国际非线性声学会议论文集前言中的一段话来概括该学科研究的现状及其重要意义。即“非线性声学在过去 30 年中

已变成世界范围的研究领域。该领域包含了各种数学、物理最基本性质的基础。而声学方法、技术在现代化社会中极广泛领域的应用,则要求对声波在不同介质和环境中传播非线性特性,以及由声波和介质的非线性相互作用而引起的各种效应做出完全透彻的解释。”这同时也指出了该学科今后的研究方向。

二、学科所面临的研究课题

非线性声学在水声和超声工程中得到应用已有多年,这方面已有不少论述和讨论。在此,就空气中非线性声学所面临的研究课题做一论述。

目前该研究领域主要有两大课题:

1、对现存的非线性声学理论加以创新、补充、完善,使之成为完整的理论体系。

该领域中还有若干理论问题没有解决。其中大振幅驻波理论尤为引人注目。非线性声学起始于大振幅声波。比较完整的无损媒质中的简单波传播理论在 1860 年左右就基本形成。20 世纪以来,耗散及频散等各种性质、效应也得到了充分研究。借助于伯吉斯(Burgers)方程对损耗介质中大振幅声波的详尽研究,行波理论已经成熟。但对于复合波情况,亦即大振幅声波在有界空间的性质的研究,由于缺乏强有力的数学工具及现代化的实验研究设备及手段,发展极为缓慢。尽管已有不少理论与实验研究论文,但相互之间常有相悖。理论研究没有突破性进展,实验研究也没有更大的创新。完整的理论体系始终没有建立起来。而在空气声中非线性声学的基础研究中,复合波理论更加重要,因为大多数高声强场产生于有界空间。此外还有声散射声、辐射压力等基础理论问题尚待解决。过去有些应用理论的提出主要是依赖大规模的、以实际应用为主的实验,微观理论模型正确与否并不清楚。这就需要运用现代化的实验研究手段对这些微观理论模型予以肯定或否定,使之构成完备的应用基础理论。

(上接第 14 页)

作为新学科发展的对策和长远规划,第一,必须积极加强相关学科之间的交叉,迅速在我国现有的科研条件下开展实验空间化学的研究;第二,国家科委、中国科学院及国家教委等相关科研单位的决策机构应对这一新的学科予以关心和支持,以期

2、发展技术应用与相应的物理分支结合,建立交叉学科的非线性新理论。

随着现代科学技术的新进展,各领域研究方向及范围不断加深扩大。对新的和比以前复杂得多的问题,只凭过去的经验和根据这些经验而作的猜测是不能解决的,必须从基本上对这些问题进行研究。开拓非线性声学新领域的必要性也就摆在了人们面前。如热声学是当今物理学界的研究热门之一。过去的热声转换,其声压级基本上处于线性声学范围内,而现今热声学的发展,已能使热声原动机内的声压振幅达到环境压强的 1~10%。这就需要创立非线性热声理论以解决高声级下热物理机制问题。1993 年在挪威的第十三届国际非线性声学会议上,许多研究论文也只是报导了新的实验现象和结果,而没有相应的理论予以解释。新现象、新问题需要新理论的提出。

三、学科研究的发展前景

非线性声学做为非线性科学一个不可缺少的组成部分。在物理学领域中占有特殊重要的地位。因此,重视和发展非线性声学的研究,是基础研究中一个具有战略性的问题。其发展前景涉及到现代国防、科研、航天航空及国民经济的重要领域。该学科在基础研究上的成果,将会促进其他学科,包括材料科学、能源经济、空间科学、医学等的大发展。空气声中非线性声学的研究,将为大功率超声应用、空气动力性噪声、声音的致命效应、声疲劳、燃烧不稳定性、热声致冷和热声发电、冲击波体外碎石、声悬浮和操纵、声发光、孤立子、混沌等高声强引起的效应和应用提供理论依据和研究手段。其产生的社会及经济效益将是不可估量的。非线性科学做为交叉学科,已被列入中国科学院 1995~2010 年的重点发展规划之内。可以预言,空气声中的非线性声学,在 21 世纪将继续蓬勃发展,成为一门颇有生命力的前沿学科。

(责任编辑 肖庆山)

在我国跨世纪的发展时期建立起一个世界影响的实验室,并以此作为争取诺贝尔奖的重要领域;第三,请求国家基金委等相关机构对这一新学科的发展予以扶植和支持,以争取我国在这一新学科中的有利地位。

(责任编辑 王宏章)