知识介绍

次声波的物理性质及其应用

张津铭　庞钧儒　李春燕

（中国农业大学理学院　北京　100083）

（收稿日期：2017－04－26）

摘　要：我们对次声波在不同介质中传播的物理性质进行整理，结合近年来相关研究成果进行分析，此外对产生次声波的声源进行整理，对其在次声监测等领域的应用进行综述，对产生次声波的多种方法进行整理. 较全面地刻画出次声波物理性质的真实图景，对引导人们以客观理性的态度认识次声波很有意义.

关键词：次声波　产生次声　次声声源　次声监测

1　次声波的物理性质

次声波的本质是机械振动产生的机械波，是一种频率极低的声波. 声波的传播需要介质，在气体和液体介质中传播时是一种纵波，而在固体介质中传播时可能混有横波[1]. 一般认为次声波是频率低于 20 Hz 但高于气候造成的气压变动的声波. 人可以通过身体感觉而非耳朵听觉来觉察次声. 次声波具有很多特性[2]，比如易衍射，频率低，能量衰减小，穿透能力强，由于声波的穿透能力与频率成反比，次声波具有极强的穿透力；此外次声波长较长带来的一个问题是聚焦困难等[1]. 次声波在不同介质中传播时体现出较大的差异，为了更全面地展示次声的特性，我们在大气、海洋、岩层 3 种不同条件下对次声波的这些性质进行刻画.

次声波在大气中长距离传播时[3]，具有较高的波速和较长的周期. 不仅具有声波的特性还会受到重力的影响，我们称这些扰动波为声重力波[4,5]. 次声波在大气中传播的一个特点是容易受到介质状态的影响，一方面大气分层引起波的折射，另一方面大气湍流导致波的散射，次声在大气中的衰减近似指数型[6]，其衰减量主要取决于大气的温度、压强和密度三大参数[7,8]. 此外大气次声波可以长距离传输能量，一定程度上对大气的动力学方面有影响.

岩石在变形破坏的时候会产生明显的次声波，硬度高的岩石会产生频率更高、幅度更大、持续时间更长的次声波[9]. 次声波在地下时可以看作以应力波的形式在地介质中传播[10,11]，当应力波传播到地面时会发生自由反射，使得地面受到激励，产生反复的振动，引起在空气介质中传播的次声波.

海水中声音在传播时受声源深度、海底密度、温度、盐度、海流的影响[12]，对次声波之类的远程波而言，海底密度对其传播的影响较小；贴近海底传播的声波会随着声源深度的增大而增大；海底密度、温度、盐度、海流的影响可以统称为海水中声速的分布，它们主要影响了声场的干涉结构，对声波能量的影响不大[13,14]. 近年来，海洋中次声频段的噪声分贝提高得很快，成为海洋噪声污染的主要问题.

2　次声波的声源

次声波的声源分类可以按照不同的分类标准进行分类，可以分为脉冲性的次声声源和连续性的次声声源[15]，也可以分为人工和自然两种声源.

脉冲性的次声波源如火山爆发、地震等，由各种频率、强度的单频谐振动波构成的脉冲波在在大气中经过长距离的传播，不同频率的波速度不同，最后很窄的脉冲波就会被展成持续一段时间的复杂波形. 连续性的声源如海浪，会产生振幅很小、持续时间很长的次声波. 这种次声波在微压计上很常见，一般具有 5 ～ 7 s 的周期，振幅小于 0.1 Pa，有的甚至

可以持续数天之久.

次声波也可以按产生的条件分为自然声源和人工声源.次声波与很多自然现象都密切相关[16],地震、海啸、火山爆发、雷电、台风、极光、陨星坠落等,此外新西兰湖底上升的天然气泡[17],冰川融化滑落的冰块,阿尔卑斯山间的焚风都可以作为次声波的自然声源.动物界中,不少动物也能产生并利用次声,比如大象、长颈鹿、蓝鲸、孔雀、鳄鱼等.人类活动也能产生次声.工业设备、汽车、火车、飞机、轮船、城市建筑群等等都是常见的人工次声源,甚至人体本身也能产生次声波.

一般环境中次声达不到人感觉的最小阈值,很难对人体产生影响.但是作为噪声时,次声影响还是不应被忽视,有科学家对居民区附近的风力发电机组表示出担忧[18];此外城市本身产生的次声,在夏季市内会产生波及非常广的次声波场,建筑之间的气流会互相影响产生低频共振,有可能影响人们的健康.

3　次声监测

科学家们首次探测到次声现象是在 1883 年.当时,印度尼西亚的卡拉卡托火山的喷发,发射出一种波及全球的、人耳听不到的声波,甚至影响了气压计的读数.20 世纪 30 年代人类首次发现次声波.第一次次声研究热潮兴起于 20 世纪中叶,当时次声研究主要被应用在核武器方面.随着 1963 年《部分禁止核试验条约》的签署,各国次声监测研究的热情有所下降,并转向非致命次声武器的军事研究.次声研究再次进入公众视野源于 1990 年的《全面禁止核试验条约》.条约倡导在世界各地建立 60 余个次声监测站点,希望将其构建成为一个全球次声监测系统.这些监测站除监控核试验之外,也为研究人类活动和自然现象中的次声发挥了重要的作用,更引发了人们对次声更广泛的研究.实际上,次声武器并不是人们研究次声最重要的方面,恰恰相反,次声研究最重要的意义之一是保证《全面禁止核试验条约》[19]的效力.

次声监测技术随核爆炸试验一起发展,根据各类参考文献和相关报告,目前世界上开展核爆炸次声探测技术研究的国家有:美国、法国、俄罗斯、英国、中国、澳大利亚和日本等,其中美国对核爆次声探测技术的研究工作最为深入.

次声监测已被联合国列入全面核禁试条约的国际监测系统.次声波远距离传播和实时检测是众所周知和公认的一种非常有效、既经济又实用的方法,可以及时发布公报能为现场核查提供依据.最新的次声监测系统提供一个独立的爆炸发生指示[20],它与其他系统的结合将大大地提高鉴别核爆炸事件准确度.它可以快速侦察,能在几小时之内反应,及时报告用来支持其他测量.一个周密设计的次声系统可以定位事件在 100 km 之内,并且有极低的出错率.它主要对大气层核爆炸,尤其是陆地上空的大气层爆炸进行检测.此外,水声系统和次声系统的结合,那么监测发生在海洋上空的核爆炸的效果也将更好.迄今为止,全球已建立了 24 个次声监测站.监测站使用一套专业次声麦克风来检测受检声音的强度、频率以及来源.监测站以每秒 20 次的频率把检测数据自动地发回位于维也纳的全面禁止核试验条约组织总部.全球次声监测网络中,我国有两个次声站,分别位于北京和昆明.

近年来,我国已经建成近距离和远程次声监测站包括北京、杭州、广州、昆明、兰州等固定监测站和若干临时监测站.其他机构也在建造各自的次声监测站中.2015 年中国计量院建立次声源标准装置有助于我国次声传感器研制水平和环境次声监测水平的提升,为次声防护和应用提供技术保障[21].

4　人造次声的方法

(1) 爆炸产生法[22,23]

将压缩空气、高压蒸汽或高压燃气有控制地以脉冲式突然放出,利用高速排出的气体激发周围媒质的低频振动,形成所需要的次声波.爆炸所释放出来的能量约有 50% 形成冲击波,冲击波衰减后又产生次声波.

(2) 振动产生法[24,25]

利用扬声器式次声产生器.其工作原理与扬声

器相似，采用特殊的振动膜片，膜片振动可产生一定频率的次声波. 但要产生一定强度的次声波，除要求较大的振幅外；还必须使振动膜面积足够大，其周长大致要与次声波波长相当.

(3) 频率差拍产生法[26]

采用两个不同频率的声波发生器同时工作，利用它们非线性频差来获得需要的低频次声波. 其中有一种方法是利用压电晶体产生两束频率稍有差异的超声波，两者作用产生高频和次声波，高频声波是两者频率之和，次声波是两者频率之差，高频声波在空气中很快衰减，次声波则直达目标.

(4) 气流产生法[27,28]

气流声源可以说是一种通过一定气动过程将高压或高速气流能量转化为声能的声源. 利用气流调制以产生声音是一个比较有效的方法. 它采用动态控制风扇叶片转动的方式产生低频次声波，气流声源在次声频段仍然可以具有较好的性能，效率较高.

5　总结

次声波距离人们的日常生活并不遥远，甚至可以说次声波无处不在. 次声波具有很多独特的性质，比如能量衰减小、穿透能力强等，在不同的介质中它的一些性质也会发生有趣的变化. 虽然它可以说是一种微弱噪音，但是它同时又承担起维护和平的重任. 目前人们对次声波的认识还有待进一步地加深，对次声波的应用也有待进一步地发展，存在很大的潜力.

参 考 文 献

1　童娜. 次声的特点及其应用. 声学技术，2003(03)：199～202

2　赵选科，王莲芬，何俊发. 次声波及次声武器. 大学物理，2005，24(5)：57～59

3　马大猷. 声学手册. 北京：科学出版社，2004

4　谢金来，谢照华. 大气核爆炸次声波远距离传播和监测. 声学技术，1997(03)：3～5

5　宋杨. 大气长程声传播的数值研究：[硕士学位论文]. 武汉：武汉大学，2014

6　张娜，乔卫东. 次声波在大气中传播过程的衰减研究. 压电与声光，2013(04)：478～482

7　丁锋. 背景风场影响下大气重力波的传播特性研究：[硕士学位论文]. 武汉：中国科学院研究生院(武汉物理与数学研究所)，2001

8　周晨，王翔，赵正予，等. 次声波在非均匀大气中的超视距传播特性研究. 物理学报，2013(15)：230～240

9　朱星，许强，汤明高，等. 典型岩石破裂产生次声波试验研究. 岩土力学，2013(05)：1 306～1 312

10　魏建平，梁松杰，王云刚，等. 次声波监测煤岩动力灾害的可行性研究. 地球物理学进展，2016(02)：814～820

11　周铭. 不同形态泥石流地声与次声特性比较研究：[硕士学位论文]. 南宁：广西大学，2014

12　李文，李整林. 深海海底山对声波的反射和阻挡效应. 中国科学：物理学 力学 天文学，2016(09)：16～23

13　张海刚，朴胜春，杨士莪. 水中甚低频声源激发海底地震波的传播. 哈尔滨工程大学学报，2010(07)：879～887

14　李宁，陈建峰，黄建国，等. 各种水下声源的发声机理及其特性. 应用声学，2009(04)：241～248

15　周诗健. 大气中的次声波. 气象，1978(06)：24～27

16　Infrasonic Sources in the Environment: Oceanic, Atmospheric and Terrestrial Conference: Australian Acoustics 2004

17　Jolly A, Kennedy B, Edwards M, et al. Infrasound tremor from bubble burst eruptions in the viscous shallow crater lake of White Island, New Zealand, and its implications for interpreting volcanic source processes. Journal of Volcanology & Geothermal Research, 2016

18　Pilger C, Ceranna L. The influence of periodic wind turbine noise on infrasound array measurements. Journal of Sound & Vibration, 2016. 140

19　郝发辉.《全面禁止核试验条约》研究：[硕士学位论文]. 武汉：武汉大学，2012

20　程先友，青建华，庞新良. 核爆次声监测技术的研究现状与技术可行性分析. 核电子学与探测技术，2013(04)：455～457

21　刘旭红，史玉成. 中国计量院建立次声源标准装置. 中国质量报，2015-03-19(003)

22　仇克利. 气爆次声扫雷声源. 舰般科学技术，1991(1)：37～41

23　陆泽椽. 次声弹作用过程及其防护的仿真研究：[硕士学位论文]. 南京：南京理工大学，2006

学生创新园地

三维空间凸透镜成像坐标定位法

刘凯伦

（山东省青岛第二中学　山东 青岛　266061）

（收稿日期：2017－04－12）

摘　要：通过深入探究空间点和线段的凸透镜成像规律，概括总结创建出一新的成像方法“凸透镜成像坐标定位法”. 突破解决了传统几何光学“透镜成像作图法”所无法解决的一些难题，可精确定位每一像点在坐标系中的位置以及物体凸透镜成像的形状，画出三维空间物体跨越焦平面时的立体发散图像. 举例阐明了“凸透镜成像坐标定位法”的作图要点及注意事项.

关键词：凸透镜成像作图法　坐标定位法　坐标定位数据表

在几何光学的学习中，当使用“透镜成像作图法”作图时，往往会碰到两类问题无法解决：

一是，物点的两条特征光线接近平行时，无法确定像点的准确位置，图像严重变形；

二是，构成物体的某一线段接近或跨越焦平面时，无法画出它的光路图，得不到物像.

我们的目的就是要找出凸透镜成像更为有效的方法，解决上述难题.

1　建立凸透镜成像的数学模型

1.1　空间点的凸透镜成像坐标定位

首先，假设透镜为理想透镜. 建立直角坐标系.

如图 1 所示，把透镜光心置于坐标原点 O，光轴与 OX 轴重合. 设透镜焦距为 f，物点 S_0 的坐标为 (X_0, Y_0)，X_0 的范围从负无穷到零；其像点 S_0' 的坐标为 (X, Y).

24　Roman Vinokur, Wieland Associates. Acoustic Noise as a Non－Lethal Weapon. Sound And Vibration, 2004. 19 ～ 23

25　Yukio Takahashi, Yoshiharu Yonekawa, Kazuo Kanada etal. An Infrasound Experiment System for Industrial Hygiene. Industrial Health, 1997(35): 480

26　张江华，谭乃银，何焰蓝. 基于超声波的次声波产生方法. 四川兵工学报，2008，29(6)：136 ～ 138

27　荣左超. 次声活塞发声器机理及相关技术研究：[硕士学位论文]. 杭州：浙江大学，2013

Physics Properties of Infrasonic Waves and Its Applications

Zhang Jinming　Pang Junru　Li Chunyan

(College of Science, China Agricultural University, Beijing　100083)

Abstract: We organized the infrasound propagation in different medium physical properties; combining with the relevant research results in recent years was analyzed. In addition, the generation of the infrasound source, its application in the field of infrasound monitoring were reviewed, the variety of ways to produce infrasound. This article comprehensively depicts the true picture on physical properties of infrasound, to guide people to recognize sound very meaningful objective and rational attitude.

Key words: infrasound waves; the generation of Infrasound; infrasound source; infrasound monitoring