

人类对超声的听觉感知及应用前景*

诸国桢 赵润川 黄华鹏

(清华大学物理系 北京 100084)

1994年1月31日收到

摘要 本文对人类通过骨传导所产生的超声听觉感知,就以下四方面进行介绍: 1.感知的方法、频率和强度范围; 2.感知机理; 3.可能的应用; 4.值得研究的问题.

关键词 超声的听觉感知,超声的语言感知,生理和心理声学

Human ultrasonic auditory perception and its potential application

Zhu Guozhen, Zhao Runchuan, Huang Huapeng

(Department of physics, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract In this paper, we discuss the following four aspects of the human ultrasonic auditory perception, 1. The method for perception of ultrasound; the range of frequency and intensity; 2. The mechanism of perception; 3. The potential application; 4. The problem worthy to study.

Key words Ultrasonic auditory perception, Ultrasonic speech perception, physiological and psychological acoustics

1 引言

所有的声学教科书都认为人的听觉的频率范围是 20Hz 到 20kHz, 20kHz 以上的声波叫超声,是不能为人类所感知的;当然,这个范围可以因不同的人 and 试验条件而略有差异,例如,频率为 26 kHz 的超声可以通过空气传导引起人的听觉^[1].

如果把超声换能器和人的头部接触(即通过骨传导把超声振动传入听觉感受器官),可以感觉到一种尖叫声,本文作者从 60 年代以来常用这种办法来检验振幅在 μm 级以下的超声换能器的振动(因为,用光学显微镜已经看不到这样小的振动)。国外从 50 年代开始不断有超声通过骨传导引起听觉感知的报导^[2],但强度和机理问题仍未确定;90 年代在骨传导引起的听

觉感知方面有两个新的实验结果^[3]: 1. 人类可以感知超声频率的变化; 2. 被语音讯号调制的超声可以传递语音讯息,并且可以被聋人所感知;从而使这种现象可能用于恢复聋人的听觉。鉴于超声的听觉感知问题在机理方面和应用方面都值得进一步研究,现就下列四个方面,就作者所知加以介绍。

2 感知的方法、频率和强度范围

Pumphrey^[2]把超声换能器接触颞骨,发现人类可以感知超声,频率可达 100kHz,但没有强度的报导,以后的报导中所感知的最高频率为 108kHz^[4]。

超声传入人体的方式,多数是用超声换能器接触人的头部^[2-4],也可以接触锁骨和胸

* 国家自然科学基金,清华大学理学院基金资助项目

骨^[4],也可以通过水耦合到鄂骨^[5].

关于人的主观感觉,早期报导中都认为不能分辨超声频率的变化,有的说15kHz以上就听不出频率变化^[2],也有说像8—9kHz的声音^[4],直到90年代^[3]才有分辨超声频率的报导,测出人类可以分辨的频率变化为10%左右.

关于感知超声的强度和阈值,实验差别较大,按文献^[5]在用水和鄂耦合的情况下^[5],在50kHz测得水中的声压阈值是200Pa(声压级为140db,以 $20\mu\text{Pa}$ 为参考声压),换算成振幅当为 $2 \times 10^{-4}\mu\text{m}$.文献^[3]中用加速度来计量强度,在60—100kHz范围,正常人和聋人的阈值大约都是110db(参考加速度为 10^{-3}m/s^2),换算成50kHz时的振幅为 $3 \times 10^{-3}\mu\text{m}$.比文献^[4]要大一个量级.有一些实验是医学工作者做的,有的用电功率计量^[3];有的振幅大到危险的程度^[6],在25kHz换能器端部振幅为0.00148inch(合37.6 μm),这是超声加工所用的振幅,对人体是危险的,不知他的受试者是如何选的.

3 感知机理

曾经用听觉位移现象来证明人类感知的效果是超声而不是可听声^[5],所谓听觉位移现象,就是当超声换能器接触头部某一位置时变化频率,在某些频率只有某一只耳有感知;或者保持频率不变,改变换能器的位置,也会出现在某些位置上只有某一只耳有感知;作者用驻波模式的变化来解释听觉位移现象,有感知的耳蜗处于声波波幅处,没有感知的耳蜗处于波节处.由于声频的波长较长,在耳蜗间的距离不具备产生驻波的条件.听觉位移现象可以证明感知的效果是超声的作用,但作用的机理还不能确定,并不能排除超声的非线性效应或振型转换所产生的声频效应.

目前还没有直接的生理声学实验来证明人类接收到的是超声讯号.

关于感知器官也有两种说法,有些医生的实验^[4],对传音性耳聋患者,可以通过骨传导感知超声,而基底膜上毛细胞功能已丧失的患者

不能感知超声,因此认为,感知过程发生于基底膜.但M. L. Lenhardt更倾向于另一种说法^[3],即感知过程发生于前庭器官,根据有两条;一是他自己的实验结果是,聋人可以通过骨传导感知超声;二是有的实验证明,豚鼠的基底膜用药物破坏后,其前庭器官仍可接收8kHz以下的可听声^[7].

4 可能的应用

文献^[4]用音频调制的超声通过骨传导可以使人类产生音频感知,但他们并没有实际应用于改善聋人的听力.

文献^[3]的作者用可听声(300—3000Hz)去调制28kHz或40kHz的超声,并用滤波技术抑制调制讯号的下边带,使讯号中没有可听声分量,他的听力测试WIPI(Word Intelligibility by picture Identification),即给出一个单词,请受试者根据听到的单词,指出六幅图中的正确的一个)试验结果,对正常人的正确率为70%,对聋人的正确率为40%.这个实验显示出用超声恢复聋人听力的可能性.在机理问题上,作者更支持前庭器官接收超声的说法,因为他选试的聋人是完全失去听觉功的.虽然现在已有人工耳蜗商品,但是,如果能用超声感知原理,在不经手术的条件下恢复聋人的听力仍然是很吸引人的.

5 值得研究的问题:

(1) 目前仍没有直接证明,人类感知的是超声,而不是超声变换(由于非线性或其它传播原因)成音频的结果.

(2) 关于强度和阈值,没有标准的测量方法和相互一致的结果.

(3) 用音频调制的超声有可能使底膜功能丧失的聋人恢复听力,虽然目前的正确率不高,但这方面的努力是十分有意义的.

以上三方面的问题,在现代的实验条件下都是有可能做出结果的.

(下转第13页)

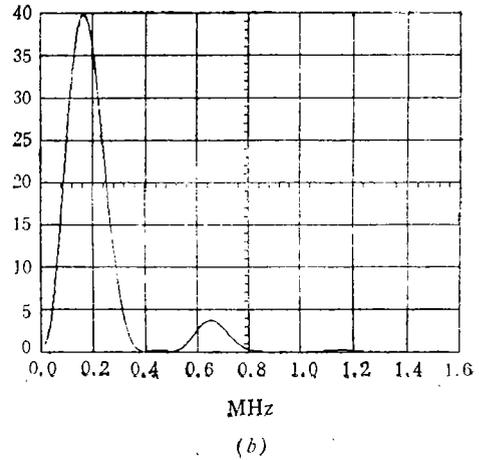
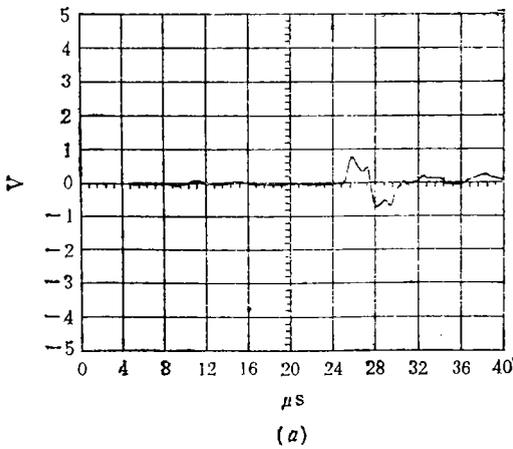


图5 介质为聚苯乙烯时中心频率为171kHz的一对换能器对穿的脉冲及其频谱
(a) 换能器的脉冲波形 (b) 换能器的频谱图

响,波形变成非正弦波。

从以上三个图形可以得到以下结论:

1. 厚度切变振动在介质中激励横波的同时,也产生一个微弱的纵波,纵波的位相与横波的位相正好相反,且随着频率的降低,纵波分量增大,换能器的信噪比变小。

2. 用2-2型压电复合材料制作的横波换能器,中心频率越高,其灵敏度也越高。这与表1中所列频率越低, k_{15} 越小相对应。

3. 三对换能器是在同一工艺条件下完成的,其相对带宽随着频率的减小而增加,说明压电片的特性阻抗随频率的减小而减小。这样,特性阻抗小的,与背衬匹配得好,相对带宽大。这也与表1所列数据相对应。

4 结论

本文初步探索了2-2压电复合材料的厚度

切变特性,并用这种材料制作出性能优良的横波换能器,证实了2-2压电复合材料用于横波换能器的有效性。

本工作只是初步从实验上探索了2-2压电复合材料的厚度切变特性,有关这方面的理论工作、以及如何利用压电复合材料中PZT相的分布来减弱纵波干扰,提高换能器的信噪比,将留待今后讨论。

致谢 声学所朱厚卿教授帮助作者对压电片的性能进行了测试;党长久同志帮助采集波形。谨表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 栾桂冬. 应用声学, 1989, 8(1): 21—25.
- [2] Smith W A, 1989 *Ultrasonics Symposium*, 755—766

(上接第43页)

参 考 文 献

- [1] Gavreau, V *Compt. Rend.*, 1948, 226, 2053—2054.
- [2] Pumphrey, R J *Nature*, 1950, 166, 571.
- [3] Martin I. Lenhart, Skellet, R. Wang, P. Clarke, L. M. *Science*, 1991, 253, 82—84.
- [4] Haeff, AV Knox, C *Science*, 1963, 139, 590—592
- [5] Deatherage, B. H. Jeffress, L. A. Blodgett, H. C. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1954, 26, 582
- [6] Bellucci, R. J. Schneicler, D. E. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.*, 1962, 71, 719—726
- [7] Cazals Y. Aran, J. M. J.P. Erre, A. Guilhaume *Science*, 1980, 210, 83