

# 次声在军事上的应用

牛兰杰<sup>1</sup>, 李京华<sup>2</sup>

(1. 西安机电信息研究所, 陕西 西安 710065; 2. 西北工业大学电子信息学院, 陕西 西安 710061)

**摘要:** 简要介绍了国内外在次声技术领域的研究历史和研究现状, 阐述了描述次声的物理量及能够接收次声波的次声传感器, 指出了次声在军事上的应用领域及关键技术。

**关键词:** 次声; 次声传感器; 次声侦察; 次声武器

**中图分类号:** TJ410.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-1194(2007)S0-0001-04

## Application of Infrasound to the Military Affairs

NIU Lan-jie, LI Jing-hua

(1. Xi'an Institute of Electromechanical Information Technology, Xi'an 710065 China;

2. Electronic Information college, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** The infrasound is a sound wave with a range of frequencies below that of human hearing. As a study field of acoustics, it is used on the forecasting nature disaster and detecting weapon launch widely. This paper introduces the study history and actuality of the infrasonic technology in domestic and foreign scopes, expatiates the physical parameter used to describe infrasound and the infrasonic sensor used to detect infrasound, indicate the application direction and the pivotal technology of infrasound on the military affairs.

**Key words:** infrasound; infrasonic sensor; infrasonic scout; infrasonic weapon

## 0 引言

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。通常, 人耳所能感受到的声音叫可听声, 它仅仅是自然界中存在的各种声音的很少一部分。人耳所能接收的频率范围为 20 Hz~20 kHz, 凡超过 20 kHz 的声音信号叫超声波, 而低于 20 Hz 的声音信号称亚声波或次声波。次声波是一种无形的、人耳听不见到的声波, 波长很长, 传播距离也比一般的声波、光波和无线电波都远。由于正常人耳听不到这些声音, 所以长期以来次声并没有引起人们的注意。但次声普遍存在于各种工业环境、交通环境、自然环境及生活环境中。

产生次声波的原因是多种多样的, 主要有两个方面, 一个是由于自然现象而产生的, 如: 火山爆发、

地震、台风、海浪拍击等都有次声产生; 二是由于人为因素而产生的, 如: 核爆炸、火箭发射、超音速飞机的飞行等都伴有次声波产生。次声波的测量表明在火箭腾空时, 可在几十公里外检测到高达 100 多分贝的次声波信号。

次声的特点主要表现为:

(1) 穿透能力强: 由于声波的穿透能力与频率成反比, 所以次声波具有极强的穿透力, 可以穿透大气、海水、土层、钢筋混凝土, 还能穿过建筑物、钢板、铁甲。

(2) 不易被吸收、传播距离远。由于次声波传播过程中衰减量极小。例如, 核爆所产生的次声可绕地球好几圈。

因此, 随着声探测技术在军事领域的应用和发展, 次声特有的特点在军事上的应用优势逐渐显现出来, 所以最近几年针对次声的研究引起了许多国家的重视。

\* 收稿日期: 2007-03-11

作者简介: 牛兰杰(1971-), 男, 河南南阳人, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 引信总体技术和微机电引信技术。

## 1 国内外研究历史及研究现状

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,它影响了气压计的读数。早在 20 世纪 30 年代人们已发现次声,但真正引起重视并开展研究是在上个世纪 50~60 年代。当时,美国和苏联应用次声技术探测对方进行的大气核试验。1963 年,随着两国核禁试条约生效,大气核试验被禁止,对次声现象的科学研究热情也随之降温。1996 年,联合国通过了全面禁止核试验条约。由此带来的一个后果是,开始有越来越多的科学家转向次声研究。该条约呼吁成立一个由 60 个次声探测站组成的全球次声探测网络,这一网络负责发现任何违反条约的行为。次声最早由法国科学家 Gavreau 于 1966 年提出,1972 年巴黎国际噪声专业会议正式确定次声的定义,并就有关次声的问题展开讨论。以后作为一门新兴学科,次声的研究逐渐在法、俄、美、英、日等国展开。

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,那里的计算机将从这些数据里找出潜在的收获物。科学家们需要从中识别,哪个是流星发出的次声,哪个是火山或者核设施发出的次声。

这些丰富的次声研究数据并非维也纳总部独享,全球任何地方的参与次声研究的科学家都可以从中获益。而且,次声研究的适用范围也并非仅限于监测潜在的核试验。

例如,美国“哥伦比亚号”航天飞机爆炸时,美国西部和加拿大的 10 个次声监测站记录了这场爆炸。一些目击者宣称,他们看到闪电击中了航天飞机或宣称看到航天飞机附近发生了流星爆炸。调查小组很快就否定了这些说法,因为根据次声监测站所提供的记录,当时既没发生闪电也没有流星爆炸。

上个世纪 60 年代末西方国家开始研制次声武器,所谓次声波武器,是一种能发射 20 Hz 以下低频声波即次声波的大功率武器装置。如法国的“声枪”,到 1982 年 Drewes 对次声武器系统进行了系统研究,所提出的“声波武器系统(Sonic Weapon System)”申报了美国专利,这是一套完整的声波武器系

统,它主要包括具有较高能量的次声发生系统、频率选择与相位控制系统和将声波聚焦的声透镜系统等三大组成部分。

上个世纪 90 年代,美军专门研制高功率微型次声发生器,并进行了战场模拟试验。1995 年底,美国曾对波黑塞军阵地秘密进行次声波攻击,据称,几秒钟就使塞军士兵昏倒、呕吐、陷入混乱。1998 年,美国可能开始研制一种作用距离可达到 200 m 的手持式次声手枪。在波黑战争中美军就曾使用次声发生器发射次声波,几秒钟后使对方大批人员丧失了战斗力。次声波武器已被列为未来战争的重要武器之一。我国对次声波的研究主要是在民用领域,如地震、气象、医疗等方面,1996 年,联合国通过了全面禁止核试验条约。该条约呼吁成立一个由 60 个次声探测站组成的全球次声探测网络,形成完善的全球次声监测网的监测功效,其中中国建了 2 个次声探测站,位于北京和昆明。

## 2 描述次声的物理量<sup>[1]</sup>

### 2.1 声功率

声源在单位时间内辐射的总声能量称为声功率,常用  $W$  表示,单位为瓦(W)。声功率是表示声源特性的一个物理量。声功率越大,表示声源单位时间内发射的声能量越大,引起的噪声越强。声功率的大小,只与声源本身有关。

### 2.2 声强

声强是衡量声音强弱的一个物理量。声场中,在垂直于声波传播方向上,单位时间内通过单位面积的声能称做声强。声强常以  $I$  表示,单位为(W/m<sup>2</sup>)。声强实质是声场中某点声波能量大小的度量,声场中某点声强的大小与声源的声功率、该点距声源的距离、波阵面的形状及声场的具体情况有关。通常距声源愈远的点声强愈小,若不考虑介质对声能的吸收,点声源在自由声场中向四周均匀辐射声能时,距声源  $r$  处的声强为:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (1)$$

式中,  $I$  为距点声源为  $r$  处的声强(W/m<sup>2</sup>);  $W$  为点声源功率(W)。若  $S$  表示包围声源的封闭面面积,声功率  $W$  和声强  $I$  的关系为:

$$W = \int_S I_n dS \quad (2)$$

$I_n$  是声强在微元面积  $dS$  法线方向的分量。

### 2.3 声压

目前,在声学测量中,直接测量声强较为困难,故常用声压来衡量声音的强弱。声波在大气中传播时,引起空气质点的振动,从而使空气密度发生变化。在声波所达到的各点上,气压时而比无声时的压强高,时而比无声时的压强低,某一瞬间介质中的压强相对于无声波时压强的改变量称为声压,记为  $p(t)$  单位是 Pa。声音在振动过程中,声压是随时间迅速起伏变化的,因为瞬时声压有正负值之分,所以有效声压取瞬时声压的均方根值。

$$P_T = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \quad (3)$$

式中,  $P_T$  是  $T$  时间内的有效声压,  $p(t)$  为某一时刻的瞬时声压。通常所说的声压,若未加说明,即指有效声压,若  $p_1$ 、 $p_2$  分别表示两列声波在某一点所引起的有效声压,该点迭加后的有效声压可由波动方程导出,为

$$P_T = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} \quad (4)$$

声压是声场中某点声波压力的量度,影响它的因素与声强相同。并且,在自由声场中多声波传播方向上某点声强与声压、介质密度  $\rho$  存在如下关系:

$$I = p^2 / \rho v \quad (5)$$

### 2.4 声压级、声强级与声功率级

通常用对数值来度量声音,分别称为声压级与声强级。

$$\text{声强级: } L_I = 20 \lg \frac{I}{I_0} \text{ (dB)} \quad (6)$$

$$\text{声压级: } L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ (dB)} \quad (7)$$

式中,  $p_0$  为基准声压(听阈声压),  $2 \times 10^{-5}$  Pa。  $I_0$  为基准声强,  $2 \times 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>。与上类似,某声源的声功率级定义为:

$$\text{声强级: } L_w = 20 \lg \frac{W}{W_0} \text{ (dB)} \quad (8)$$

声强级式中  $W_0$  为基准声功率,为  $10^{-12}$  (W)。

声压级、声强级和声功率级的单位都是分贝。分贝是“级”的单位,是无量纲的量。由声压与声强的关系可以得出,以空气为介质的自由声场中,常温带下某一点的声压级与声强级近似相等。

## 3 次声传感器介绍

次声传感器就是能够接收次声波的传声器。由于次声信号的低频特点,对传感器的特性要求有所不同,通常有多种换能类型的传感器可用作次声传感器,只要有足够低的下限频率。目前它的种类很多,常见的有:电容式、电动式、光纤等。次声波也可以直接用微气压计纪录。下面主要介绍两种常用的次声传感器的性能指标。

### 3.1 光纤麦克风(光纤声音传感器)<sup>[2]</sup>

由以色列 Phone 公司生产的光纤麦克风(光纤声音传感器),能够在复杂的环境中,例如强电磁和放射性的领域中使用。由于 FOM 是一种无源器件并且不含电子或金属成分,它对电磁干扰反应不起任何的作用。FOM 基于独特的光纤传感器技术,一个光束通过光纤被传送到硅膜上,声音信号引起薄膜振动改变被反射的光的特征,然后被转换为电信号。光纤麦克风它具有低于 1 Hz 和高达 10 000 Hz 的频率响应范围。而且 FOM 具有高的信噪比,谐波失真(THD)的频率带宽,其性能指标如表 1 所示。

表 1 光纤麦克风(光纤声音传感器)的性能指标

极性的模式	全方位
频率响应范围	0.5~10 000 Hz ; 10~10 000 Hz
信噪比	>63 dB @ 1 kHz; 94 dB SPL
灵敏度	500 mv/Pa
最大声压力	120 dB SPL
电压电流	9 - 12 V DC 80 mA
应用温度	-40 °C ~ +85 °C ; -55 °C ~ +120 °C
湿度	Up to 95% @ 40°C (1 000 h)
无故障运行时间	>100 000 h

### 3.2 CC-1T 型次声电容传感器<sup>[3]</sup>

电容式次声传感器体积小、灵敏度高、频率响应好,可以直接与记录器或信号实时模/数转换器联结,使用方便。目前,国内多数次声观测站采用电容式次声传感器。该传感器频率响应为劲度控制,系统的高频限由系统的劲度(弹性的倒数)控制,其下限频率很容易做得很低,甚至为零赫兹。其换能元件为质量非常轻的薄膜,灵敏度可以做得非常高。传感器只对声波敏感,而对振动不敏感,具有很好的抗干扰性能。同时,由于其劲度可以很低,即膜片的张力可以很低,膜片可以工作于弹性区,不会因为外界影响(如温度,时间等)改变其弹性,这样,即可以

确保传感器的系统劲度恒定,从而确保其长期稳定性。

特性:

(1)灵敏度高:可测量 0.01~100 Pa 的声压,4 mV/Pa,(放大器增益为 $\times 1$ 时)。

(2)头电容:( $180 \pm 2$ ) pF。

(3)放大器增益: $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$  三档。

(4)频带宽:覆盖整个次声频范围,从 10~0.001 Hz 以下。

(5)输出电压大:为 400 mV/Pa(在 $\times 100$ ),可直接 A/D 转换。

(6)动态范围宽:最高声压级大于 108 dB,可完整接收强弱差别大的次声信号。

(7)稳定性好:采用双层保温措施,后腔真空保温和外加树脂保护,零漂小,可长期持续有效地工作。

(8)一致性好:头电容 CO、膜片张力的第一共振频率  $f_{01}$ ,和电路均为可调,达到性能一致。

(9)外形尺寸  $\varphi 80 \text{ mm} \times 220 \text{ mm}$ ,1.6 kg,便于携带和安装。

(10)膜片质量小:4  $\mu\text{m}$  厚,振动灵敏度 $\rightarrow 0$ ,对振动不敏感。

(11)配套完整:可以直接与电脑构成次声测量系统,加上三点阵便可得到次声波到达时间、最大波振幅及其周期、波速、波向以及实时三维动态谱。

## 4 次声在军事上的应用

### 4.1 次声武器<sup>[4]</sup>

由于次声对人体有明显的不良影响,足够强的次声波可导致人员伤亡,甚至是结构破坏,如一定强度的次声可使人头痛、极度疲劳、恶心、呕吐。在次声的作用下会破坏人体的神经系统、心脏、肺、肝脏的功能,次声对人体肌体的基本作用原理是生物共振,只要声压级达到一定程度,体内各器官就会发生共振。共振的结果是各部位出现不同程度的不适,导致器官变形、移位、甚至器官破裂。

次声武器正是利用次声对人体的不良影响来打击敌人的有生力量。次声武器大体可分为两类:

(1)“神经型”次声武器。次声频率和人脑阿尔法节律(8~12 Hz)很接近,所以次声波作用于人体时便要刺激人的大脑,引起共振,对人的心里意识产生一定的影响,轻者感觉不安、头昏、恶心,重者使人

神经错乱,癫狂不止,休克昏厥,丧失思维能力。

(2)“器官型”次声武器。当次声波频率和人体内脏器官的固有频率(4~18 Hz)相近时,会引起五脏六腑产生强烈共振。轻者肌肉痉挛,全身颤抖,呼吸困难,重者血管破裂,内脏损伤,甚至迅速死亡。

次声波武器的特点在于:

a. 突袭性。次声波常人听不到、看不见,传播迅速;

b. 作用距离远。次声波的频率低,传播时介质对它的衰减小,所以传播距离远;

c. 穿透力强。传播介质对此声波的吸收极小,所以次声波具有很强的穿透能力。一般的可听声波,一堵墙即可将其挡住,而实验表明,次声波能穿透十几米的钢筋混凝土,钢板、装甲。所以无论敌人是躲藏在掩体里,还是在坦克中,或深海的潜艇里都难以逃脱次声武器的袭击;

d. 次声波在杀伤敌人的同时,不会造成环境污染,不破坏对方的武器装备,可作为战利品,取而代之。

目前已有的次声波武器有次声弹和次声枪,它们均由次声发生器、动力装置和控制系统组成。

### 4.2 侦察探测

由于次声波在介质中传播时,能量衰减缓慢,隐蔽性好,不易为敌方察觉,所以军事上常用次声波接收装置来探测目标和侦察敌情。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。一套完善、可靠、实时的监测系统能及时发布公报并为现场核查提供依据。最新的次声监测系统和先进的分析方法能有效地监督全球核试验。它可对大气层核爆炸,尤其是陆地上空的大气层爆炸进行检测和定位。此外,水声系统和次声系统的结合,对于发生在海洋域上空的核爆炸可产生有益的协同作用。

用次声侦察核爆炸可在三方面提高大气监测能力。首先,它提供一个完全独立的爆炸发生指示;第二,它能迅速侦察、鉴别并在几小时之内给出报告;第三,一个周密设计的次声系统其定位精度为 1 000 t 当量的爆炸在 1 000 km 远处探测,并且有极低的误警率。

次声波不仅可用于核爆炸的探测,还可用于常规导弹爆炸落点定位并可进行常规弹头效果侦察。即利用次声接收站测量常规弹头爆炸产生的次声波到达时刻,对爆炸点进行定位计算,再根据爆炸点位

(下转第 8 页)

据有效。

根据(4)式进行合成,得

$$m(S_1) = m(S_4) = m(S_5) = 0$$

$$m(S_2) = 0.95 \quad m(S_3) = 0.05$$

因此,  $Bel(S_2) = 0.95$      $pl(S_2) = 0.95$

$$Bel(S_3) = 0.05 \quad pl(S_3) = 0.05$$

由(5)式得状态  $S_1$  到状态  $S_5$  的效能信度分别为

$$Bel_S(S_1) = Bel_S(S_4) = Bel_S(S_5) = 0$$

$$Bel_S(S_2) = 0.95 \quad Bel_S(S_3) = 0.05$$

则状态  $S_2$  为该系统效能评估的结论,即系统在特定作战条件下的效能较高。由此可见,证据推理方法能够起到证据积累的作用,而且专家越多,证据积累作用越明显,甚至可以接近于 1,对系统效能的判断也就比较准确。

## 4 结论

(上接第 4 页)

置估算打击效果。由于这种测量手段测量的物理量是次声波信号,因而,受外界条件的影响较小,安全性和可靠性较高,同其它测量手段相比最突出的优点是费用较低。

次声波探测装置与振动传感器结合还可用于探测各种迫击炮、榴弹炮等武器的位置,探测和定位距离最远可达 5 km。

由于火箭和导弹发射时可产生次声波,因此采用次声探测装置可以探测火箭和导弹发射,据报道探测距离可达几十公里。

## 5 次声在军事上应用的关键技术

研制次声波武器的关键技术有两个:

(1)高功率次声波发声技术

常用的次声发生器主要有四种①谐振管式次声发生器;②参数激励次声发生器;③压电晶体次声发生器;④爆炸产生次声。

(2)次声波聚焦技术

由于上述两个关键技术正处在进一步的研究阶段,所以真正用于战争的次声波武器还不多见。

用于侦察和监测的次声波探测系统关键技术有:

①次声在空气中传播特性研究;

在对 D/S 证据理论的数学原理进行分析的基础上,探讨了地空导弹武器系统效能评估的一般过程,最后实例检验了该模型。通过实例分析结论,可以看出该方法在分析地空导弹武器系统效能的过程中能够全面地考虑各种影响因素,又能排除影响较小的次要因素,很大地提高了评估精度。另外该方法原理简单、操作方便、使用灵活具有较好的推广应用价值。

## 参考文献:

- [1]张文修. 不确定性推理原理[M]. 西安:西安交通大学出版社,1996.
- [2]段新生. 证据理论与决策[M]. 北京:中国人民大学出版社,1993.
- [3]朱雪平. 防空兵作战效能分析[M]. 郑州:郑州防空兵学院,1999.

②次声探测器的空间阵形设计及空间增益改善技术;

③目标次声特性测试技术;

④目标次声信号检测及抗干扰技术;

⑤目标次声特征提取和目标识别技术;

⑥次声目标的跟踪定位技术。

## 6 结论

综上所述,由于次声波的特点,次声波对人类既是一大公害,同时又是人类可以利用的有力工具。我们应该最大限度地去防止次声波对人类造成危害,同时还要尽可能研究次声波、利用次声波,使它能够更好地造福于人类。

## 参考文献:

- [1]马大猷. 声学手册[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2]Backman O, kohler J. Sjoberg L. Infrasound-tutorial and review:Part 2[J]. Low Freq Noise Vib, 1983, (2): 176-210.
- [3]谢金来,陶中达,谢照华. 高灵敏度宽频带电容次声传感器[J]. 核电子学与探测技术,2003,23(5):14-17.
- [4]汤文辉,张若棋,曾新吾,等. 次声波武器[J]. 国防科技, 1999, (4):28-31.