

# 次声防护的研究进展

徐灵活

(海军医学研究所, 上海 200433)

**摘要:** 文章综述了 70 年代以来次声防护的国内外研究概况。首先简要地给出了次声的特点及其对人体的影响, 然后着重阐述了次声标准和防护的国内外研究情况。在次声的防护上从物理防护和医学防护两个方面展开论述。其中物理防护上主要综述了近年来取得的在次声源控制和传播途径控制上一些有意义的新理论和新材料, 另外提到了次声场的个体防护; 医学防护上主要指出提高机体代偿能力在减轻次声损伤方面有重要意义。结合次声目前的研究状况, 文章最后探讨了今后次声防护研究急需解决的问题及其发展方向。

**关键词:** 次声; 防护; 材料

**中图分类号:** TB53

**文献标识码:** A

## Review of infrasonic protection

XU Ling-huo

(Naval Medical Research Institute, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** Research on infrasonic protection since the 1970s is reviewed in this paper. First, infrasonic characteristic and its effect on human are briefly introduced. The standards and progresses of infrasonic protection around the world are then described in detail. Both physical protection and medical protection are discussed. With respect to the physical protection, the paper summarizes some new theories and materials that are significant in the control of infrasonic sources and propagation of infrasound. Besides, protection of individuals from infrasound is also discussed. Regarding medical protection, it is pointed out that improving the human repay ability is important to reduce the trauma of infrasound. Finally, the paper raises some problems to be further studied in the future.

**Key words:** infrasound; protection; material

### 1 引言

次声是频率为  $0.0001\text{Hz} \sim 20\text{Hz}$  的弹性波。它与可听声一样, 由各种物体的机械振动产生, 通过各种弹性介质(空气、液体、固体)的分子作稀疏或紧密的交替波向四周扩散传播。由于其听阈较高, 故一般认为是听不见的。它具有以下几个特性: 次声波频率低, 波长较长, 能够绕射, 传播过程被介质吸收很少, 故衰减小, 传播距离远, 具有很强的穿透力<sup>[1,2]</sup>。

国内外环境卫生研究表明: 次声广泛分布于工业生产、建筑业和交通运输中, 次声的平均声强为  $108\text{dB}$ <sup>[3]</sup>。国外一些劳动卫生部门报告: 部分产业工人经常遭受高于  $90\text{dB}$  的次声作用; 高速公路上行驶的车辆中可产生高达  $120\text{dB}$  声强的次声波<sup>[4]</sup>。

次声主要通过生物共振作用使机体发生损伤<sup>[2]</sup>。国内外流行病学调查结果表明, 受低强度次声影响后, 主要表现为非特异性的应激反应及神经内分泌失调症状: 烦扰, 中耳压迫、耳痛、耳鸣以及头痛、恶心、呕吐、平衡失调、视觉模糊等<sup>[5]</sup>。也有报道次声使血压、心率、呼吸发生改变<sup>[6]</sup>, 高强度的次声则可导致严重的生理变化, 甚至死亡<sup>[7]</sup>。

### 2 次声标准

鉴于次声对人体的重要影响, 故制定次声允许暴露标准, 已成为目前的一项重要课题。然而由于对次声研究的不够深入, 还未形成各国公认的标准, 只是一些国家和个别行业提出了各自的一些标准。如瑞典<sup>[8]</sup>, 在  $2\text{Hz} \sim 20\text{Hz}$  的次声频范围内, 工厂内每天工作 8 小时的容许最大次声级为  $110\text{dB}$ ; 在挪威<sup>[8]</sup>, 次声被定义为  $4\text{Hz} \sim 31.5\text{Hz}$  之间的频带内, 工厂内每天工作 8 小时的容许最大次声级为  $120\text{dB}$ 。学者 Johnson<sup>[9]</sup> (1973) 从控制次声引起烦躁的角度出发, 提出了一个次声标准, 在这个标准

收稿日期: 2002-09-07; 修回日期: 2002-10-24

作者简介: 徐灵活(1977-), 男, 湖南衡阳市人, 实习研究员, 现从事声学防护研究。

里,还提出了一个不会引起任何不利的生理效应的上限。详见表 1,表中 A 曲线表示低于此声压级的次声不会引起任何不利的生理效应;B 曲线表示由于建筑物结构振动或中耳压力所产生的烦躁阈值;  
\* 表示响应级 45 方或噪度级 55L<sub>DN</sub>。

表 1 Johnson 建议的次声标准/dB

| 曲线 | 频率/Hz |     |     |     |     |     |     |
|----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|    | 0.2   | 0.5 | 1   | 2   | 5   | 10  | 20  |
| A  | 140   | 137 | 133 | 130 | 127 | 123 | 120 |
| B  | 120   | 120 | 120 | 120 | 120 | 98* | 80* |

前苏联医科院劳研所以低强度次声长期对人作用为基础,通过一系列卫生学、临床和生理学的研究,于 1981 提出了一个 8 小时的工业次声卫生标准。该标准建议在工人工作地点倍频程中心频率为 2Hz、4Hz、8Hz、16Hz 的次声不应超过 105dB<sup>[9]</sup>。

美国环保局认为:低于 130dB 的次声对人体不构成危害<sup>[2]</sup>。

Aliord 等认为,次声作用 2min~3min,人体可耐受的界限是 150dB<sup>[2]</sup>。

Slarve 认为 144dB 的次声作用 8min 不会引起人体的损害<sup>[10]</sup>。

在波兰<sup>[8]</sup>,已制定了专门的次声标准 PN-86/N-01388,见表 2。

表 2 波兰推荐的次声限值/dB

| 容许次声级    | 倍频程中心频率/Hz |     |     |      |
|----------|------------|-----|-----|------|
|          | 4          | 8   | 16  | 31.5 |
| 人体健康不受影响 | 110        | 110 | 110 | 100  |
| 保证正常工效   | 90         | 90  | 90  | 85   |
| 居住区、办公区  | 85         | 85  | 85  | 85   |

表 3 次声最大容许暴露强度/dB

| 暴露时间 | 倍频程中心频率/Hz |     |     |     |
|------|------------|-----|-----|-----|
|      | 1          | 5   | 10  | 20  |
| 1    | 145        | 138 | 135 | 120 |
| 8    | 136        | 129 | 126 | 123 |
| 24   | 131        | 124 | 121 | 118 |

有的学者认为:150dB SPL 以下,短时间暴露是安全的;低于 118dB,24 小时暴露也可能是安全的;150dB SPL 以下的脉冲次声对人是相当安全的;并提出了一个短时间内次声最大容许暴露强度的建议<sup>[11]</sup>,详见表 3。

声学技术

### 3 物理防护

与噪声的防护相似,次声的物理防护也可从以下三个方面来进行:

#### 3.1 在声源上减少次声的产生

当前,包括次声在内的噪声控制大多是产品设计完成后追加的,隔声、消声、阻尼等措施均是以不损害客体(即产品)的行为为原则的。但如果能在产品设计中考虑次声控制,就能在生产环节上解决次声问题。声源控制主要可从以下几个方面来控制:改进机械设计,改革工艺和操作方法,提高加工精度和装配质量。如在设计中选用发声小的材料来制造机器部件<sup>[12]</sup>。

声激波降噪研究在低频噪声有源消声方面取得了较大的进展,该研究进展在强次声源的控制上可能有一定意义。声激波是非线性声学中的一个重要物理现象,航空发动机进气道内部气流速度接近声速时,风扇产生的强噪声沿进气道向外逆流传播,会在喉部附近形成声学量间断——声激波,造成声能的很大衰减,达到很好的降噪效果。有学者设想利用这个现象来研制一种新型的在强噪声下使用的消声器——声激波消声器。该消声器的优点在于不需要专门的吸声结构或附加的吸声材料<sup>[13]</sup>。

可控声阻抗声衬研究在次声的有源控制上也有一定的意义。传统的声衬一般设计成微穿孔的蜂窝结构,这种声衬一般是针对一定噪声源设计的,只对一定频率的噪声源有效。可控声阻抗声衬则不同,它是通过在普通多孔声衬引入“偏流”,而从小孔中流出的气流为满足出口边界条件将产生涡流并吸收入射到界面上的声波能量从而大大地改善了普通声衬的吸声性能,Dowling 教授的研究组发现通过调节小孔气流速度,可以实现对声衬吸收频率以及吸收能量大小的控制。赵红武等在该声阻抗的自动调节研究方面取得了相当的进展<sup>[14]</sup>。

#### 3.2 在传播途径上降低次声声能

因许多实际条件的限制,从声源上降噪无法实现时,则须在传播途径上采取措施加以控制。传播途径上的控制主要通过吸声、隔声、消声、阻尼和共振等措施来进行,但目前的主要问题是材料缺乏,虽有很多材料对中、高频噪声有良好防护性能,对次声以及低频噪声有良好防护性能的材料却较少。但近年来在这方面还是取得了较大的进展:

3.2.1 对次声以及低频具有吸声作用的一系列吸声体研究<sup>[15]</sup>

表4 温度 26.4℃, 2mm 厚该材料不同频率下的损耗因子

| 频率/Hz | 100   | 63    | 40    | 25    | 16    | 10    | 6.3   | 4     | 2.5   | 1.6   | 1     |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 损耗因子  | 0.356 | 0.386 | 0.386 | 0.405 | 0.400 | 0.415 | 0.422 | 0.459 | 0.471 | 0.501 | 0.533 |

如表面吸声体,它的吸声系数理论极限为50%,此时入射声能的25%被反射,剩下的25%被透射。在表面吸声体背后一定距离上平行地放置一硬墙壁全反射面就构成一谐振吸声系统,由于墙面的反射,可以显著地增强该系统的吸声本领。计算表明,当选用适当的表面体参数以及表面体与墙的间隔,使整个系统在整个低频波段上的吸声系数大于55%并不困难,这时,在低频波段内的一些区域上,吸声系数可高达90%以上。电磁感应式表面吸声体很可能是一种实用的表面吸声体。动线圈式吸声体是一种现有的可行电磁感应式表面吸声体,仅用它作为单一吸声面就可以毫不费力地使整个20Hz~100Hz的低频波段上的吸声系数达到40%以上。

### 3.2.2 以SBR为基材的阻尼材料研究<sup>[16]</sup>

该材料克服了以往一些材料损耗因子对频率和温度的依存性缺陷,特别对具有较强穿透性的低频噪声具备有效衰减和隔音作用,其特性见表4。

### 3.2.3 原位共振材料研究<sup>[17]</sup>

它在低频段具有良好的隔音和吸声性能。此材料的特异之处在于它在一定的频率范围内具有负弹性常数,因而打破了传统“声波传播密度定律”的限制,在某些可调制的音频范围内实现了对声波的全反射。该材料在次声的防护上将有可能获得应用。

## 3.3 次声场个体防护

次声场的个体防护,是防止人员受次声伤害的关键,也是目前次声防护的重点。由于次声的特性,普通的耳塞等护耳器已不能有效地对其进行防护。作者所在的研究组所进行的“抗次声耳塞”的研制已基本完成(文章待发表),该耳塞能有效地减轻次声对人体的危害。另有学者指出<sup>[18]</sup>,用高强度的音乐声来“掩盖”次声,可使次声引起的症状有所缓解。

## 4 医学防护

机体全身的代偿能力能在很大程度上消除次声对人体的损伤,因此增强机体的抵抗力,提高机体适应的强度在减轻次声引起的不良作用上有重要意义。近年来研究表明:动物在给予复合抗氧化剂( $\alpha$ -生育酚、抗坏血酸和2,3-二巯基磺酸钠合剂)的条件下受次声作用后,脑各部的血管反应明显降低;咪

唑衍生物—Ethymizok和T-5伍用,除具有直接抗氧化效应外,还可使内源性抗氧化系统活化,从而降低次声的损伤效应<sup>[18]</sup>。

近年来国外学者<sup>[19,20]</sup>在中、高频噪声防护研究中采取了噪声适应法,即先给予机体一个不足以引起损伤的噪声(预刺激)后,一定时间内再给予一个足以引起损伤的高强度的噪声,发现其受损伤的程度较未有先期暴露史者要轻许多。这个结果提示我们:在高强度次声暴露前,是否可以先给予一个预刺激(强度不足以引起损伤),从而达到减轻高强度次声的损伤效应?这个设想值得我们在今后的次声防护研究中深入探讨。

## 5 结 语

当前对次声的认识还很不深入,国内外防护的研究更是很少,次声的防护可说是任重道远。作者以为要对次声进行有效的防护,首先就必须深入地进行次声的生物学效应研究,尤其是要重视其对非听觉系统的损伤研究,明确次声损伤人体的具体机理,为制定次声的限量标准提供依据;其次在具体防护上,根据目前的具体情况,要着重解决次声场的职业人员的个体防护和医学防护问题,同时尽可能地在次声源和其传播途径上对其进行控制。值得指出的是,目前对次声具有良好防护性能的材料很少,因此必须加强这方面的研究,同时也要将一些对低频段噪声有良好防护性能的材料(如前所述)经一定的调整后应用到次声的防护上来。

### 参考文献:

- [1] 刑晓辉.次声对大鼠听觉系统作用效应的研究[J].国外医学.物理医学与康复学分册,1999,19(1):15-17.
- [2] 陈景藻.次声的产生及生物学效应[J].国外医学.物理医学与康复学分册,1999,19(1):9-14.
- [3] 魏志军,李玲,陈景藻,等.次声作用后大鼠记忆功能及隔内侧核和斜角带核胆碱能神经元表达的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2001,23(2):79-82.
- [4] 张术,黄维国.慢性次声暴露对豚鼠听阈及耳蜗毛细胞的影响[J].第四军医大学学报,2000,21(1):9-12.
- [5] 赵志刚,陈景藻,张李燕,等.次声作用后大鼠血浆中血管紧张素II含量的改变[J].中华物理医学与康复杂志,2001,23(2):83-85.
- [6] 杜宝东,刘淑芳.次声对人体及动物影响的研究进展[J].国外医学耳鼻喉科学分册,2001,25(2):99-102.

- [7] 谷嘉锦. 高声强次声和低频声的研究[J]. 噪声与振动控制, 1999, 19(2): 6-8.
- [8] 黄其柏. 家用电器次声及其声辐射特性的研究[J]. 噪声与振动控制, 1997, 17(5): 6-8.
- [9] 任引津. 职业病学进展(第二卷)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1986. 177-183.
- [10] Slarve RN, Johnson DL. Human whole-body exposure to infrasound[J]. Aviat Space Environ Med 1975, 46(4 Sec 1): 28-31.
- [11] 刘文魁, 蔡荣泰. 物理因素职业卫生[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 86-89.
- [12] 方丹群, 王文奇, 孙家麒. 噪声控制[M]. 北京: 北京出版社, 1986. 417-421.
- [13] 朱之犀, 黄振华, 陆柳. 声激波降噪研究[J]. 声学学报, 1993, 18(4): 272-279.
- [14] 赵红武, 孙晓峰. 可控声阻抗声衬控制系统设计及实验研究[J]. 声学学报, 1998, 23(5): 430-438.
- [15] 庄洪春. 对低频声波的吸声体[J]. 声学学报, 1991, 16(6): 415-426.
- [16] 李峰. 具有低频衰减性能的粘弹阻尼材料[J]. 噪声与振动控制, 1997, 17(5): 39-40.
- [17] Ping Sheng. locally resonant sonic material[J]. Science, 2000, 289(5485): 1734-1736.
- [18] 汤家骥. 次声武器杀伤因素的生物学效应及防护[J]. 人民军医, 1995, 5(总第 426 期): 4-6.
- [19] A. F. Ryan. protection from noise-induced hearing loss by prior exposure to a nontraumatic stimulus[J]. Hearing research, 1994, 72(1): 23-28.
- [20] Ger P. Acquired resistance to acoustic trauma by stand conditioning is primarily mediated by changes restricted to the cochlea, not by systemic response[J]. Hearing research, 1999, 127(1): 31-40.

# (上接 125 页)

- based acoustic holography to radiation analysis of sound sources with arbitrarily shaped geometries[J]. J. Acoust. Soc. Am, 1992, 91(1): 533-549.
- [47] 商德江. 水声全息场的任意变换方法及源定位问题[D]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶学院硕士论文, 1994. 34-45.
- [48] Schenck H A. Improved integral formulation for acoustic radiation problems[J]. J. Acoust. Soc. Am, 1968, 43: 44-51.
- [49] Burton A J, Miller G F. the applicagon of integral equation methods to the numerical solutions of some exterior boundary value problems[J]. Proc Roy Londa, 1971: 323-332.
- [50] Wu T W, Seybert A F. A weighted residual formulation for the CHIEF method in acoustics[J]. J. Acoust. Soc. Am, 1991, 90(3): 395-402.
- [51] 王有成. 工程中的边界元方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995. 42-46.
- [52] 张胜勇, 陈心昭. 体积元边界点法及其在声辐射计算中的应用[J]. 振动工程学报, 1998, 11(4): 395-400.
- [53] 王秀峰, 陈心昭. 利用边界点法计算结构振动声辐射的近边界声场[J]. 合肥工业大学学报, 2000, 23(5): 607-610.
- [54] Zhao Xi Wang, Wu M R. Helmholtz equation least squares method for reconstructing the acoustic pressure filed[J]. J. Acoust. Soc. Am, 1997, 102(4): 2020-2032.
- [55] Wu S F, Jing you Yu. Reconstructing interior acoustic pressure filds via Helmholtz equation least-squares met hod[J]. J. Acoust. Soc. Am, 1998, 104(4): 2054-2060.
- [56] 佐藤知正. ホログラフイックソナー撮像方式[A]. 日本機械學會論文集(C編), 1983, 49(3): 401-409.
- [57] 中野光雄, ほか 3 名. 音聲二重ホログラフイ法にする音源探查に關する研究[A]. 日本機械學會論文集(C編), 1993, 59(7): 2107-2111.
- [58] Nitadirtk. An experimental undetrwater acoustic imaging system using multi-beam seanning[J]. Acoustical Imaging, 1978, 8: 249-266.
- [59] 张德俊等. 64×64 声全息方阵系统性能评价及水下近距离实验验证[R]. 第三届全国声学会议报告, 1982.
- [60] Jerry L S. A turiaic on underwater acoustic imaging[J]. Acoustical Imaging, 1979; 9: 599-630.
- [61] 何祚镛. 声学逆问题—声全息变换技术及源特性判别[J]. 物理学进展, 1996, 16(3-4): 600-612.
- [62] 程建政等. 编馨振动特性的声全息研究[J]. 声学学报, 2000, 25(1): 87-92.
- [63] 张谷香. 声场的空间变换[D]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶学院硕士论文, 1990, 57-62.
- [64] Metherell A F, Spinak S. Acoustical holography of none xistant wavefronts detected at a single point in space[J]. Appl Phys Lett. , 1968, 13: 22-28.
- [65] 竹田博. 音郷ホログラフイに關する研究(半球面ホログラムを用いる音郷ホログラフイの基礎理論)[A]. 日本機械學會論文集(C編), 1985, 61(8): 1991-1999.
- [66] Hildebr B P, Haines K A. Holography by scanning[J]. J. Opt. Soc. Am, 1969, 59(1): 1-8.
- [67] Cutrona L. J. , Leith E. N, Porcello L. J. , Vivian W. E. On the application of coherent optical processing techniques to synthetic aperture radar[J]. PIEEE, 1996, 54: 1026-1033.
- [68] 韦德 G. 声成像(照相机、显微镜相控阵和全息系统)(中译本)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981. 57-64.
- [69] 程建政, 张德俊. 提高声全息成像分辨率的有限频谱重建法[J]. 声学学报, 1997, 22(4): 303-308.