

舱室次声环境治理的模拟研究

罗志辉, 黄 锋

(海军医学研究所, 上海 200433)

摘要: 某装具在运行时产生的次声及低频声对作业人员生理、心理产生较大影响。在对该装具运行状态进行详细的声检测和数据分析的基础上, 并考虑到其产生的次声及低频声对作业人员的生理、心理变化特征, 提出相应的声场改善方案。从分析“原位共振法”在理论解析与工艺实施上的弊端, 以及实验与实际环境明显差异出发, 提出次声及低频声环境治理的一系列方案, 并由此筛选出隔振法进行试验。开展了隔声箱内壁有无吸声材料、试验舱隔振浮筑以及试验舱有无吸声等不同工况下的隔声与隔振性能的对比试验, 试验结果证明, 隔振法在 20~40 Hz 频段范围达到 15~20 dB 降噪效果, 获得了比较满意的治理效果。

关键词: 舱室; 噪声控制; 次声

中图分类号: TB533

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-03-0255-05

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.03.014

Simulation experimental study on improving infrasound field inside a cabin

LUO Zhi-hui, HUANG Feng

(Naval Medical Research Institute, Shanghai 200433, China)

Abstract: The infrasound generated from certain equipment has great physical and psychological influence on operating personnel. Through a detailed acoustic measurement and systematical data analysis, and by taking into account physical and psychological characteristics of the infrasound, an infrasound field improvement method is proposed. The proposed method is based on analyzing the theoretical defects of the "common position resonance method" which also leads to great discrepancy between experimental and actual states. The comparative experiments of insulation sound are carried out in different conditions, such as with and without sound absorption inside sound insulation cabin, float mounting of test cabinet, with and without sound absorption inside test cabinet. Testing parameters include sound level and acceleration. Experimental results show that the proposed sound insulation method achieves a 15~20dB noise reduction in frequency band from 20 to 40Hz, which meets well with the anticipated.

Key words: cabin; noise control; infrasound

0 引言

次声是一种频率在 20 Hz 以下的弹性波, 对机体的作用机制与可听声不同, 其基本原理是生物共振, 对机体的效应是全方位、多层次的。大量文献报道, 长期在次声环境下工作的人员, 可产生空晕症或醉酒样反应, 主要表现为头晕头痛、心悸目眩、恶心、烦躁、胸闷、腹泻、耳鼓膜移动、视觉模糊、记忆衰退、疲倦无力、工作效率低等。还可见到血压、心率、心电、脑电、血液生化以及听力等变化^[1,2]。检测结果表明, 装具发生器工作时各舱

室和岗位的线性声压级为 95.6~118.5 dB, A 计权声压级为 71.1~112.3 dBA, 次声级为 92~117 dB, G1 次声计权声压级为 97.8~125.0 dB, G2 次声计权声压级为 89.7~119.5 dB。其中多数岗位的次声级为 105~117 dB, 少数为 92~104 dB, 次声的频谱能量主要集中在 12.5、16、20 Hz。为此, 当装具发生器工作时, 作业人员的生理变化及主观反应十分明显, 因而, 降低次声、低频声强度, 改善声环境质量, 对提高作业人员的身心健康和工效颇显重要。

1 原理

根据实际研究舱体结构环境, 理论上分析可以通过下列途径来改善舱室内次声的声环境。

1.1 隔振

隔振的低限拟选在 10 Hz, 因而确定系统的固

收稿日期: 2014-02-27; 修回日期: 2014-05-27

作者简介: 罗志辉(1983—), 男, 江苏镇江人, 工学学士, 研究方向为室内声学。

通讯作者: 罗志辉, E-mail: 44881484@qq.com

有频率在 3 Hz 或以下。措施设计中需考虑以下几个方面:

(1) 采用“浮筏”结构,将舱内所有设备安装在同一刚性平台上,而对平台整体进行隔振处理。

(2) 采用低频大阻尼弹簧复合减振器或油阻尼减振器。

(3) 为降低系统的固有频率,拟考虑弹簧串联结构。同时为提高系统的稳定度,可在两弹簧之间加置一块钢板。

(4) 浮筏平台需考虑各向限位。

1.2 隔声

该环境产生的低频声包括空气声和结构声两方面。对 10 Hz 左右的低频声波,其波长约 30 余米。常用的隔声结构在低频点的隔声量十分有限,因此拟采用双层壁面真空结构,通过实验掌握真空层厚度与声波波长比值对隔声量的影响。由于双层真空结构的内舱不可能“悬浮”,内外胆之间某些部位会有连接,因此需要仔细考虑结构声的隔离。

为了保证舱内有足够的新鲜空气,必须安装进风通道和回风通道。因此,需要考虑进、回风通道的消声:原则上考虑消声通道的消声量应与隔声结构的隔声量相匹配,技术难度在于研究低频吸声性能较高的吸声材料或吸声结构,拟考虑共振吸声或抗性消声器结构,同时需注意消声器壁面的隔、吸声性能,在某些壁面粘贴弹性阻尼材料。

论证中发现,采用双层壁面真空结构的隔声法,无论是试验装置还是实船改造的工艺均难保证其隔声效果与理论计算相符。由于内外舱之间某些部位会有连接,因而在结构声的隔离上由于声桥等问题的出现将使总的隔声效果大打折扣。实际的舱室改造在结构制作中很难避免声桥效应,加上舱室通风管道和消声装置的建立将会给实际的工程改造增加难度与大量资金。根据上述分析,本实验研究决定采用隔振法。

2 试验方法与内容

2.1 试验装置组成

本试验主要目的是观察弹簧减振器及吸声结构对次声频的隔声、隔振效果。

模拟实验装置由打击机、隔声箱和实验舱三部分组成,声压级与加速度测点见图 1。

打击机固定在隔声箱顶部,击锤直接打击隔声箱顶部钢板,按试验要求调节打击速率。

隔声箱(外箱)采用 6.3#槽钢作支架,箱体由 3.5

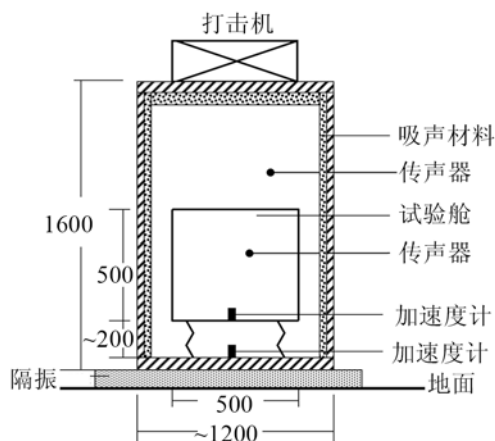


图 1 试验装置示意图(单位: mm)

Fig.1 Sketch of experimental device(unit: mm)

mm 厚钢板制成,外形尺寸为,高为 1600 mm,长宽均为 1200 mm。四个侧面和顶部内壁根据试验要求可铺设 100 mm 厚吸声玻璃棉毡。试验时隔声箱始终搁置在 JT-6 型多点式橡胶减振垫上(载荷范围为 300~600 kg,固有频率为 9 ± 2 Hz)。

试验舱(内箱)采用角钢作支架,箱体用 2 mm 厚钢板制成,外形尺寸为 500 mm×500 mm×500 mm。试验时试验舱用 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接或将其直接搁置在隔声箱底板上。

试验舱和隔声箱同一侧各留一个直径为 20 mm 测试电缆引入孔,两孔高低错开。测试电缆穿入后用硅橡胶密封。

2.2 试验内容和条件

2.2.1 隔声试验

隔声实验在以下条件下进行:

(1) 隔声箱内壁铺设 100 mm 吸声玻璃棉毡,试验舱搁置在隔声箱底板上。

(2) 隔声箱内壁铺设 100 mm 吸声玻璃棉毡,试验舱用三只 ZD-12 型弹簧减振器和隔声箱底板连接。

(3) 拆除隔声箱内壁吸声玻璃棉毡,试验舱搁置在隔声箱底板上。

(4) 拆除隔声箱内壁吸声玻璃棉毡,试验舱用三只 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接。

(5) 拆除隔声箱内壁吸声玻璃棉毡,试验舱内壁铺设 100 mm 吸声玻璃棉毡并用三只 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接。

2.2.2 隔振试验

隔声箱和试验舱内壁均不铺设吸声玻璃棉毡。进行以下条件的试验:

(1) 试验舱搁置在隔声箱底板上。

(2) 试验舱用三只 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接。

2.3 测试仪器与方法

2.3.1 噪声测量

噪声测量采用 Nor sonic840 型双通道实时分析仪(低频截止频率为 0.1 Hz)和 N1223 型低频电容传声器(1 Hz~10 kHz, ±1 dB)。两路传声器经 10 m 测量电缆分别吊挂在隔声箱和试验舱中间的弹性挂钩上。测量采样时间为 10 ms, 两路同时测量, 比较同一试验工况下试验舱内、外噪声值的差异。测量的声学参数是: 等效线性声压级、A 计权声级、最小值、最大值, 并进行 1/3 倍频程频谱分析。

2.3.2 振动测量

采用北京东方振动和噪声研究所 DLF-3 型双通道电荷电压滤波积分放大器和 9818 型压电加速度传感器。传感器分别置于隔声箱底板上和试验舱顶部。将积分放大器的电压输出连接到 Nor sonic840 型双通道实时分析仪的线性输入端进行 1/3 倍频程频谱分析。

3 实验结果

由表 1 所示, 模拟次声场的频谱能量主要集中在 8~50 Hz, 与某船装具发生器工作时声场测试结果很接近, 符合试验要求。

试验结果证明, 选择的低频隔振弹簧装置对消除或降低次声频波能量有明显效果。

3.1 隔声效果

隔声箱内铺设 100 mm 吸声玻璃棉毡, 试验舱搁置在隔声箱底板上, 隔声测试结果如表 1 所示。

隔声箱内铺设 100 mm 吸声玻璃棉毡, 试验舱用 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接, 隔声测试结果如表 2 所示。

拆除隔声箱内壁吸声玻璃棉毡, 试验舱搁置在隔声箱底板上, 隔声测试结果如表 3 所示。

拆除隔声箱内壁吸声玻璃棉毡, 试验舱用三只 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接, 隔声值见表 4。

拆除隔声箱内壁吸声玻璃棉毡, 试验舱内壁铺设 100 mm 吸声玻璃棉毡并用三只 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接, 隔声值见表 5。

图 2 是试验舱用 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接的情况下, 试验装置三种不同状态下隔声值的比较。

表 1 不同频率的隔声值(隔声箱内铺设 100 mm 玻璃棉毡, 不用减振器连接)(dB)

Table 1 Sound insulation values at different frequencies(100 mm of glass fiber blanket laid in sound proof box and no vibration absorber used for connection)(dB)

1/3 倍频程中心频率/Hz	打击速度 300 次/min		打击速度 400 次/min		打击速度 400 次/min	
	隔声值		隔声值		隔声值	
	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B
2	21.2	22.4	-1.2	21.5	22.1	-0.6
2.5	21.4	27.4	-6.0	26.7	31.4	-4.7
3.15	30.6	31.4	-0.8	35.0	36.5	-1.5
4	50.4	48.4	2.0	44.0	44.9	-0.9
5	66.4	63.7	2.7	64.3	63.8	0.5
6.3	52.6	56.0	-3.4	81.9	79.5	2.4
8	66.3	66.4	-0.1	73.8	70.2	3.6
10	82.4	81.3	1.1	83.4	76.3	7.1
12.5	80.5	77.9	2.6	98.8	89.0	9.8
16	85.7	85.0	0.7	93.1	91.3	1.8
20	96.5	81.2	15.3	104.8	89.2	15.6
25	106.6	88.9	17.7	116.4	98.1	18.4
31.5	112.0	92.9	19.1	115.2	97.2	18.0
40	103.6	88.3	15.3	108.4	92.1	16.3
50	99.2	99.4	-0.2	105.4	104.6	0.8

注: 测点 A 为试验舱外; 测点 B 为试验舱内

表 2 不同频率的隔声值(隔声箱内铺设 100 mm 玻璃棉毡, 用减振器连接)(dB)

Table 2 Sound insulation values at different frequencies(100 mm of glass fiber blanket laid in sound proof box and using vibration absorber for connection)(dB)

1/3 倍频程中心频率/Hz	打击速度 300 次/min		打击速度 400 次/min		打击速度 400 次/min	
	隔声值		隔声值		隔声值	
	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B
2	19.7	15.8	3.9	22.6	17.7	4.9
2.5	21.2	15.0	6.2	27.6	17.3	10.3
3.15	30.0	20.0	10.0	33.4	23.2	10.2
4	46.9	31.3	15.6	42.8	28.4	14.4
5	66.6	50.5	16.1	58.6	44.3	14.3
6.3	51.1	35.1	16.0	81.1	66.7	14.4
8	63.2	97.5	16.1	68.8	52.3	16.5
10	81.4	64.4	17.0	81.5	63.0	18.5
12.5	77.9	60.1	17.8	104.1	85.6	18.5
16	85.7	68.5	17.2	91.2	72.6	18.6
20	94.8	76.6	18.2	101.5	84.3	17.2
25	107.9	91.1	16.8	115.0	99.1	15.9
31.5	112.4	97.2	15.2	114.5	100.3	14.2
40	101.7	88.2	13.5	109.0	94.5	14.5
50	98.4	90.2	8.2	104.6	96.8	7.8

注: 测点 A 为试验舱外; 测点 B 为试验舱内

图 3 是隔声箱 5 面内壁铺设 100 mm 厚吸声玻璃棉毡时, 试验舱与隔声箱两种不同连接方式隔声值的比较。

3.2 隔振效果

(1) 隔声箱和试验舱内壁均不铺设吸声玻璃棉毡, 试验舱搁置在隔声地板上。加速度级隔振值见表 6。

表 3 不同频率的隔声值(没有铺设玻璃棉毡和使用减振器)(dB)

Table 3 Sound insulation values at different frequencies (without laying glass fiber blanket and using vibration absorber)(dB)

1/3 倍频程中心频率/Hz	打击速度 300 次/min		打击速度 400 次/min			
	隔声值		测点 A		测点 B	
	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B
2	24.5	31.1	-6.6	37.0	42.3	-5.3
2.5	27.7	35.4	-7.7	43.6	46.7	-3.1
3.15	33.1	41.4	-8.3	49.0	52.7	-3.7
4	49.4	53.4	-4.0	54.8	57.6	-2.8
5	68.6	72.4	-3.8	64.4	65.9	-1.5
6.3	57.1	61.5	-4.4	82.7	83.3	-0.6
8	65.4	71.3	-5.9	80.5	75.9	4.6
10	81.6	89.6	-8.0	86.0	81.2	4.8
12.5	84.7	84.1	0.6	105.1	92.4	12.7
16	93.9	94.3	-0.4	104.2	94.3	9.9
20	103.3	92.5	10.8	111.0	96.8	14.2
25	108.1	94.5	13.6	123.4	106.6	16.8
31.5	120.1	102.7	17.4	124.6	107.3	17.3
40	116.0	99.0	17.1	119.4	102.9	16.5
50	104.8	100.4	4.4	114.4	107.5	6.9

注: 测点 A 为试验舱外; 测点 B 为试验舱内

表 4 不同频率的隔声值(没有铺设玻璃棉毡,但用三只减振器连接)(dB)

Table 4 Sound insulation values at different frequencies (no glass fiber blanket laid, but using three vibration absorbers for connection)(dB)

1/3 倍频程中心频率/Hz	打击速度 300 次/min		打击速度 400 次/min			
	隔声值		测点 A		测点 B	
	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B
2	20.9	15.6	5.2	31.8	22.5	9.3
2.5	27.7	20.9	6.8	27.5	25.8	11.7
3.15	35.4	25.3	10.1	45.0	30.7	14.3
4	54.4	38.5	16.0	50.6	34.6	16.0
5	66.9	50.7	16.2	64.9	47.3	17.6
6.3	55.6	40.6	15.0	82.3	64.3	18.0
8	70.7	53.8	16.9	71.7	54.0	17.4
10	82.8	66.0	16.8	84.5	66.7	17.8
12.5	88.9	69.6	19.3	99.2	80.0	19.2
16	84.3	75.4	18.9	102.2	83.9	18.3
20	99.0	81.3	17.7	109.1	91.3	17.8
25	108.8	91.5	17.3	117.1	99.1	18.0
31.5	122.2	109.1	13.1	122.0	107.9	14.1
40	113.6	99.1	14.5	177.6	101.8	15.8
50	107.5	98.6	8.9	113.1	103.2	9.9

注: 测点 A 为试验舱外; 测点 B 为试验舱内

(2) 隔声箱和试验舱内壁均不铺设吸声玻璃棉毡, 试验舱用 ZD-12 型弹簧减振器和隔声箱底板连接。加速度级隔声值见表 7。

图 4 为试验舱和隔声箱两种连接状态隔振值的比较。

4 降噪效果及分析

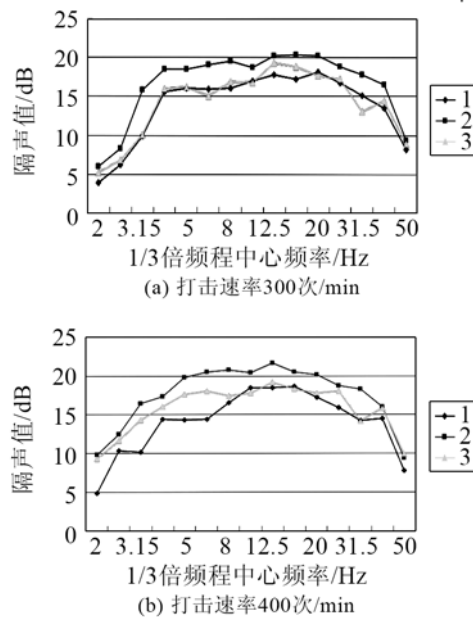
实船的声场环境中, 随着传播距离的增加和通

表 5 不同频率的隔声值(隔声箱无玻璃棉毡, 试验舱有 100 mm 玻璃棉毡并用三只减振器连接)(dB)

Table 5 Sound insulation values at different frequencies(no glass fiber blanket laid in sound proof box, but laying 100 mm of glass fiber blanket in testing cabin and using three vibration absorbers for connection)(dB)

1/3 倍频程中心频率/Hz	打击速度 300 次/min		打击速度 400 次/min			
	隔声值		测点 A		测点 B	
	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B	测点 A	测点 B
2	25.6	19.6	6.0	27.4	17.6	9.8
2.5	29.4	21.1	8.3	33.7	21.2	12.5
3.15	35.6	19.8	15.8	41.8	25.4	16.4
4	31.3	32.8	18.5	48.0	30.7	17.3
5	68.5	50.0	18.5	62.5	42.7	19.8
6.3	56.7	37.6	19.1	82.7	62.2	20.5
8	67.3	47.7	19.6	72.1	51.3	20.8
10	82.2	63.4	18.8	80.5	60.1	20.4
12.5	88.0	67.8	20.2	98.5	76.9	21.6
16	99.4	79.0	20.4	96.8	76.3	20.5
20	101.8	81.6	20.2	105.0	84.9	20.1
25	109.4	90.5	18.9	113.6	94.9	18.7
31.5	119.8	102.0	17.8	121.9	103.6	18.3
40	115.9	99.4	16.5	117.9	101.9	16.0
50	109.5	101.1	9.4	112.9	103.5	9.4

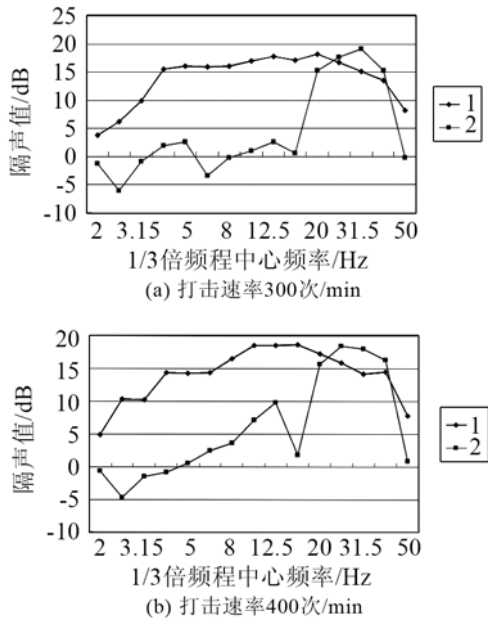
注: 测点 A 为试验舱外; 测点 B 为试验舱内



1—隔声箱 5 面内壁铺设 100 mm 厚吸声玻璃棉毡
2—试验舱 6 面内壁铺设 100 mm 厚吸声玻璃棉毡
3—隔声箱、试验舱内壁均不铺设吸声玻璃棉毡
图 2 试验舱用 ZD-12 型弹簧减振器, 试验装置三种状态下隔声值比较
Fig 2 Sound insulation values in three different states (vibration absorber used in testing cabin)

过舱壁传播后, 噪声频谱呈规律性变化, 次声能量无明显变化, 低频可听声有少量衰减, 中高频声能量衰减显著。

测量数据清晰表明, 本项试验的技术措施在 4~20 Hz 频段范围有 18~20 dB 的隔声效果。分析其



1—试验舱用 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接
2—试验舱直接搁置在隔声箱底板上

图 3 试验舱与隔声箱两种连接方式隔声值的比较(隔声箱内铺设 100 mm 玻璃棉毡)

Fig.3 Sound insulation values of two different connection modes (laying 100 mm of glass fiber blanket in sound proof box)

表 6 不同频率隔振值(没有铺设玻璃棉毡和使用减振器)(dB)
Table 6 Vibration insulation values at different frequencies (without laying glass fiber blanket and using vibration absorber)(dB)

1/3 倍频程中心频率/Hz	测点部位		隔振值
	隔声箱底板	试验舱顶部	
2	62.7	57.8	4.9
2.5	65.6	62.6	3.0
3.15	73.5	64.8	8.7
4	79.8	69.7	10.1
5	87.4	77.8	9.6
6.3	93.9	84.3	9.6
8	100.2	91.9	8.3
10	107.5	99.0	8.5
12.5	113.7	109.3	4.4
16	120.0	120.3	-0.3
20	123.2	122.2	1.0
25	128.7	118.1	7.6
31.5	127.5	118.5	9.0
40	130.6	122.6	8.0
50	140.2	128.9	11.3

注：打击机打击速率为 150 次/min

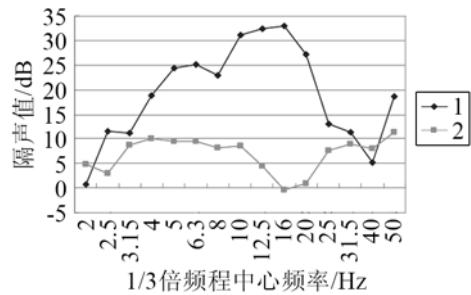
机理，提出以下基本结论：

- (1) 固体壁面和铺设的吸声材料有一定的降噪作用，特别在中、高频段，吸声材料效果相当明显。
- (2) 由表 6、7 结果对比表明，加装 ZD-12 型弹簧减振器对 4 Hz 以上的振动有明显的隔振效果。
- (3) 根据经典的隔声、隔振理论，相关措施的

表 7 不同频率隔振值(没有铺设玻璃棉毡但用三只减振器连接)(dB)
Table 7 Vibration insulation values at different frequencies (no glass fiber blanket laid, but using three vibration absorbers for connection)(dB)

1/3 倍频程中心频率/Hz	测点部位		隔振值
	隔声箱底板	试验舱顶部	
2	60.3	59.6	0.7
2.5	69.9	58.3	11.6
3.15	72.7	61.5	11.2
4	79.9	61.0	18.9
5	86.8	62.4	24.4
6.3	93.8	68.7	25.1
8	100.4	77.4	23.0
10	107.5	76.4	31.1
12.5	114.7	82.3	32.4
16	119.9	86.9	33.0
20	121.2	94.0	27.2
25	123.9	110.8	13.1
31.5	131.8	120.5	11.3
40	136.2	130.9	5.3
50	133.4	114.8	18.6

注：打击机打击速率为 150 次/min



1—试验舱用 ZD-12 型弹簧减振器与隔声箱底板连接
2—试验舱直接搁置在隔声箱底板上

图 4 试验舱和隔声箱两种连接状态隔振的比较
Fig.4 Vibration insulation values of two different connection modes

隔声、隔振效果均应随着频率的增加而有所提高。本次试验中，4~20 Hz 频段内减振降噪效果特别显著。据此，将会对实船的减振降噪提供一种新的思路和技术途径。

参 考 文 献

- [1] 陈景藻. 次声的产生及生物效应[J]. 国外医学: 物理医学与康复学分册, 1999, 19(1): 9-14.
CHEN Jingzao. The generation of infrasound and biological effects[J]. Foreign Medical Sciences: Physical Medical and Rehabilitation, 1999, 19(1): 9-14.
- [2] Shiraishi T, Miyashita K, Yamasumi Y, et al. Effects of long term exposure to infrasound on growth, activity and urinary 17-OHCS level in rats[J]. Journal Low Frequency Noise and Vibration, 1990, 9(1): 14-15.
- [3] 黄其柏. 家用电器次声及其辐射特性的研究[J]. 噪声与振动控制, 1997, 17(5): 6-12.
HUANG Qibo. Infrasonic radiation characteristics of the appliances[J]. Noise and Vibration Control, 1997, 17(5): 6-12.