

低频环境噪声对思维判断能力的干扰影响

朱艺婷¹, 翟国庆¹, 高婷婷¹, 洪友朋¹, 黄逸凡¹, 卢向明², 张邦俊^{1*}

(1. 浙江大学环境科学系, 杭州 310028; 2. 浙江省工业环保设计研究院, 杭州 310005)

摘要: 选取了 3 种典型的城市居住区设备低频噪声实样和声学仪器产生的白噪声, 使用剂量作业法, 分别测定了播放噪声和无噪声干扰 2 种环境下, 被试者的思维能力指数 (AYP) 和错误率。研究结果显示, 在噪声干扰的条件下, 多数被试者的 AYP 较无噪声干扰时有所下降, 错误率上升, 二者差异显著。多数被试人员在 3 种噪声实样对比组中的平均 AYP 和错误率变化较白噪声的对比组中较明显, 其中 AYP 差异达显著水平。由此认为低频成份是影响思维能力的主要频率成份。配对 *t* 检验和对实录样本的频谱分析结果表明, 室外空调机噪声样本的影响程度最大, 表明峰值频率在 50 ~ 300 Hz 频率段的低频环境噪声比其他噪声负面影响更大。

关键词: 低频噪声; 白噪声; 思维能力

中图分类号: X593; X121 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)04-1143-05

Impact of Low-frequencies Noise on the Ability of Thinking and Judgment

ZHU Yi-ting¹, DI Guo-qing¹, GAO Ting-ting¹, HONG You-peng¹, HUANG Yi-fan¹, LU Xiang-ming², ZHANG Bang-jun¹

(1. Department of Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China; 2. Institute of Industry EP & D, Zhejiang Province, Hangzhou 310005, China)

Abstract: Three typical low frequency noise samples which were collected from some associated facilities in urban residential areas and white noise which was produced by acoustic apparatus were selected to compare the competence of brainwork index (AYP) and error rate in noisy environment with those in quiet environment, using dosage exercise method. The result indicates that AYP is lower in noisy environment and the error rate is higher than that in quiet environment, and there are significant differences between them. The changes of most testees in groups that use three different low frequency noise samples respectively are more obvious than the group that uses white noise, and the AYP difference attains significant level. It indicates that low frequency components are the main frequency elements to affect the ability of thinking and judgment. By paired samples *t*-test and frequency spectrums analysis, the results show that the impact degree of air condition outdoor unit noise is highest, and noise samples which have a peak frequency between 50-300 Hz have a more negative impact on the ability of thinking and judgment than other environmental noise.

Key words: low frequency noise; white noise; ability of thinking and judgment

噪声对环境造成的污染已被广泛认识与研究。随着我国城市化进程的加快, 新建城市居住区出现大量高层建筑, 很多配套设备向环境辐射噪声, 其中相当一部分属低频噪声。低频噪声的产生、传播及其对人的影响具有一些与中高频噪声不同的特点。低频噪声对人们的工作、学习、睡眠等产生较大不利影响^[1~3]。而在一些存在低频噪声的场合, 即使等效 A 声级达标, 也使受干扰者感觉烦恼, 引起环保投诉^[4]。低频环境噪声的影响成为已我国城市噪声污染的一个新特点。

研究低频环境噪声对人的影响, 是目前声学工作者和环境科学工作者的一项重要工作。Broner 等^[5,6]的研究指出, 低声压级的低频噪声也会对人的行为产生明显不利影响, 尤其是在 20 ~ 150 Hz 的低频段中, 人们对噪声的某些主观反应是异常的。Persson 等^[7]认为, 暴露在低频噪声下一段时间后, 将对人的思维和

认知能力产生影响。Moller 等^[8]在丹麦进行低频噪声影响的问卷调查, 67% 的被调查者认为低频噪声环境下, 注意力难以集中, 思维能力下降。

本文采用低频成份较丰富的城市居住区设备噪声实样, 用剂量作业法, 进行了在不同频率成分的噪声影响下人的思维判断能力变化的研究, 并与白噪声条件及安静条件下的测试结果进行比较。

1 材料与方法

采用剂量作业表来测试人的思维判断能力, 测试在无噪声干扰及有噪声干扰的情况下分别进行, 使用的噪声源又分为实录的低频环境噪声样本和声

收稿日期: 2007-04-12; 修订日期: 2007-06-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10474084, 10604048)

作者简介: 朱艺婷 (1984 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境声学及噪声控制, E-mail: zhuyt0701@126.com

* 通讯联系人, E-mail: bjzhang@mail.hz.zj.cn

学仪器产生的白噪声 2 种,以对比分析低频噪声对人的思维判断能力的影响.

1.1 剂量作业法

剂量作业法以建立随意条件反射为基本原理^[9].反映在一定外界环境条件下大脑的兴奋与抑制的程度,以及思维能力的灵活性,在心理学和医学方面有较多应用^[10~12].

本研究所设计的剂量作业表,为一页横排的 A4 纸,由 8 个字母(A, B, C, E, H, K, N, X)随机组成,每个字母在表中出现 150 次,总计1 200个字母.分为 15 行,每行 80 个,设置字体大小为小 4 号.对被试者进行带抑制条件的测试,即每次测试前先指定 1 个字母,要求被试者在测试时从表中划去,另指定 1 个字母作为抑制条件.被试者在 2 min 内,从左至右逐行逐个阅字,遇到指定字母则将其划去,但若指定字母跟在抑制条件字母后,则不划去.

经预测测试,被试者在 2 min 内的阅字数约 500~600.为使多次重复测试时的难度基本一致,统计了前 8 行共 640 个字母中各种字母组合出现的频次,每次正式测试时,都以出现频次相近的不同字母作

为指定字母.

1.2 噪声样本的选择与调试

1.2.1 实录的环境噪声样本

当前城市居住区低频噪声干扰主要来自高层住宅配套设备所辐射的噪声.为此,本研究通过对大量高层建筑配套设备的调查和实测,确定了变配电房噪声,地下车库噪声,电梯井噪声,供暖供热系统中的锅炉燃烧体噪声和空气压缩泵噪声,中央空调系统中的冷冻机噪声、热泵通风机噪声、直燃机噪声和立式离心泵噪声,以及家用空调室外机噪声,排水供水系统中的排污泵噪声,通风排烟系统中的轴流风机噪声共 12 种设备噪声,进行实录与分析.使用双通道声学实时分析仪 VS302USB 对正常运转的设备进行数字录音,采样率44 100 Hz,辨析率 1 Hz,频率下限 0 Hz,频率上限21 834 Hz,以波形文件记录.又从 12 种声源中选择了变配电房、室外空调机和空调系统中使用的直燃机 3 种.采用 SpectraLAB 频谱分析软件对这 3 种噪声样本进行频谱分析,获取各样本的最大声压级及对应频率.3 种噪声实样频谱以及安静条件下室内背景声频谱见图 1.

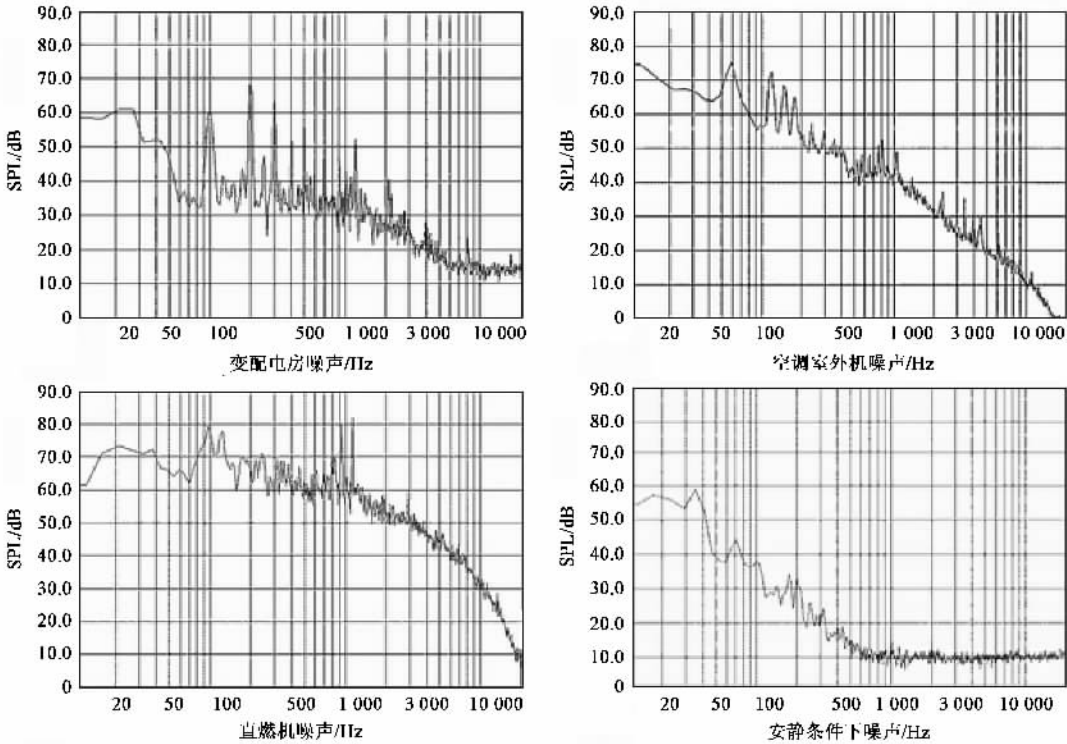


图 1 噪声样本及背景声频谱图

Fig.1 Frequency spectrum charts of the noise samples and background sound

由频谱图可知,这 3 种噪声低频成份均较丰富,可以看作低频噪声源^[13],但其频率特征又有一定的

区别.其中空调室外机噪声的峰值频率和次峰值频率介于 50~150 Hz,为低频;变配电房噪声的峰值频

率和次峰值频率介于 200 ~ 300 Hz, 也可视为低频; 而直燃机噪声虽低频成份丰富, 但其频谱所显示的峰值和次峰值, 带宽很窄, 而频率处于中频段.

1.2.2 白噪声

白噪声是用固定频带宽度测量时, 频谱连续并且均匀的噪声^[14]. 白噪声的功率谱密度不随频率改变, 由 SpectraLAB 软件中的 signal generator 功能直接生成.

为考察频率的影响, 播放时将 4 种声音样本的 L_{Aeq} 调整在 65 ~ 66 dB. 各声源频谱最大和次最大声压级及其对应频率、测试播放中的 L_{Aeq} 见表 1.

表 1 噪声频谱特性

Table 1 Spectrum characteristics of noise samples

声源	播放时 等效 A 声级/dB	声压级(dB) 及其对应频率(Hz)			
		最大 声压级	对应 频率	次最大 声压级	对应 频率
变配电房	65.2	70.0	205	64.0	301
直燃机	65.4	82.0	1 130	80.4	934
空调室外机	65.8	75.3	59	72.3	118
白噪声	66.1	—	—	—	—

1.3 被试者与实验设备

被试者共 12 人, 男女各 6 人, 年龄为 21 ~ 23 岁, 均为学生.

实验场地为 3 m × 4 m 的房间, 墙壁为 30 cm 厚砖墙, 窗户为双层隔声窗, 整个房间与外界隔声良好. 室内布置模拟办公室环境, 房间内对称安放 4 套办公桌椅.

实验设备主要有装有声信号处理软件 VS302USB 的计算机, 声音通过计算机由 AWA5510 十二面体无指向性声源播放, 声源悬挂于房间正中, 距天花板 0.7 m 处, 每位测试者距声源的距离相同, 均为 1.5 m.

1.4 实验过程

测试前先向被试者说明测试过程. 在正式实验前, 每位测试者进行 2 次预测试, 以熟悉实验方法, 从而减少因对实验方法不熟悉而引起的误判.

在预实验时, 使用双通道声学实时分析仪和录音设备在被试者耳边进行反采样, 对比分析反采样的频谱图和噪声实样的频谱图, 二者声学特征基本一致, 因此认为, 在实验过程中, 被试者双耳接受到的声音失真较小.

每位被试者均进行 4 组对比实验, 每组实验包含 2 次测试, 称为 1 个对比组. 每次实验有 4 人同时进行. 每一对比组中, 第 1 次测试时有噪声同时播

放, 第 2 次为安静环境下的测试. 4 个对比组实验分别使用变配电房、直燃机、室外空调机 3 种噪声样本和白噪声, 并依次编号为第 1 ~ 4 组. 每次测试间隔 5 min, 避免连续测试带来的疲劳.

2 结果与分析

2.1 思维能力指数及错误率

错误率^[12]是工作准确性指标. 思维能力指数 (AYP)^[12]是评价中枢神经系统功能状况的一个综合指数, 在限定时间内, 把被试者工作速度指标 (阅字数) 和工作准确性指标 (错误率) 结合起来, 综合评价思维能力. 错误率升高, 或 AYP 指数下降, 表明思维出现一定程度的抑制状态.

思维能力指数 AYP 和错误率 η 的定义式如下.

$$AYP = \frac{M}{t} \times \frac{n - a}{N}$$
 (1)

$$\eta(\%) = \frac{a}{M} \times 100\%$$
 (2)

式中, M 为完成测试时总的阅字数; t 为测试时间; N 为规定时间内应删除的字数; n 为正确删除的字数; a 为错漏数.

计算每位被试者在第 1 ~ 4 组中安静时的平均 AYP 和错误率, 以及分别播放 4 种声音样本时的 AYP 和错误率. 结果如图 2、图 3 所示.

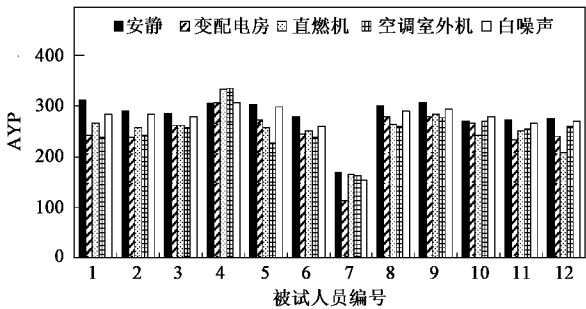


图 2 分别播放 4 种噪声及安静时 12 位被试人员的 AYP
Fig.2 AYP of 12 testees in quiet environment and conditions that four noise samples are broadcasted respectively

由图 2 可知, 12 名被试者中, 有 10 人 AYP 值在安静条件下高于另 4 种有噪声播放环境下的 AYP 值; 10 人中有 9 人在白噪声暴露下的 AYP 仅次于安静条件下的 AYP. 由图 3 可知, 有 11 人在分别播放 4 种噪声环境下错误率均高于安静环境下的错误率; 11 人中的 8 人在白噪声暴露下的错误率都低于分别播放另 3 种噪声的错误率. 播放白噪声引起的 AYP 下降和错误率上升的程度要小于其他 3 种噪声

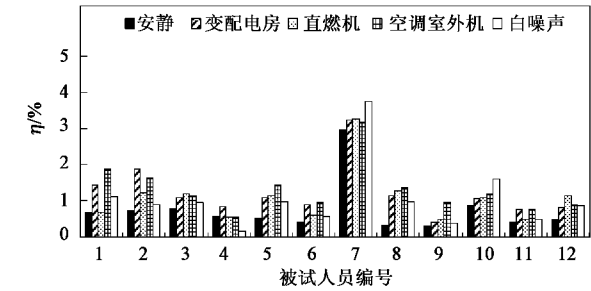


图 3 分别播放 4 种噪声及安静时 12 位被试人员的错误率

Fig.3 Error rate of 12 testees in quiet environment and conditions that four noise samples are broadcasted respectively

引起的变化程度。

对比 1~3 组的测试结果,有 6 人的 AYP 在播放空调室外机实录样本时最小,6 人的错误率达到最大;2 人的 AYP 在播放直燃机实录样本时最小,3 人的错误率达到最大;4 人的 AYP 在播放变配电房实录样本时达到最小,3 人的错误率达到最大。

安静条件和分别播放 4 种噪声样本条件下,12 名被试人员的平均 AYP 和错误率见图 4。5 种环境下的平均 AYP 按降序排列依次为安静、白噪声、直燃机、室外空调机、变配电房;错误率 η 按升序排列为安静、白噪声、直燃机、变配电房、室外空调机。

2.2 配对样本 t 检验

同一受试对象分别接受 2 种不同的处理或接受处理前后的变化,所得 2 组结果称为一对配对样本。对其进行 t 检验是根据配对样本均值之间的差异,检验 2 个总体均值是否相等。设定显著性水平 α 为 0.05,若统计结果显著性水平 $p < \alpha$,则认为 2 个配对样本总体差异显著,反之则认为差异不显著。

本实验以 12 名被试人员为一个整体,共设计 10

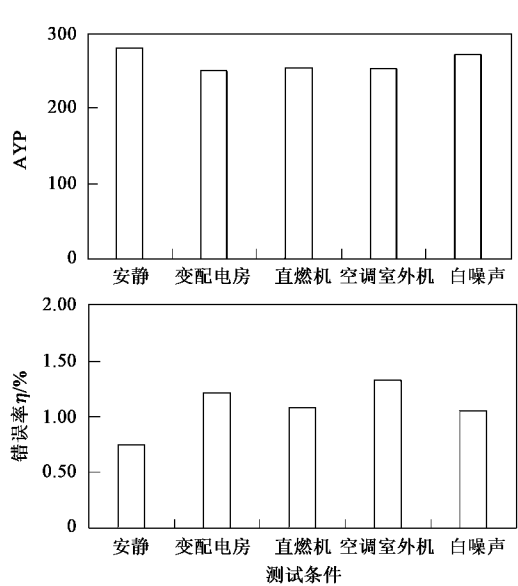


图 4 5 种测试条件下 12 人的平均 AYP 和错误率

Fig.4 Average AYP and error rate of 12 testees in 5 environmental conditions respectively

对配对样本,分别为:①安静条件下平均 AYP 与 1~4 组平均 AYP;②安静条件下平均错误率与 1~4 组的平均错误率;③第 4 组 AYP 与 1~3 组平均 AYP;④第 4 组错误率与 1~3 组平均错误率;⑤第 4 组 AYP 与第 1 组 AYP;⑥第 4 组错误率与第 1 组错误率;⑦第 4 组 AYP 与第 2 组 AYP;⑧第 4 组错误率与第 2 组错误率;⑨第 4 组 AYP 与第 3 组 AYP;⑩第 4 组错误率与第 3 组错误率。使用 SPSS 统计分析软件分析数据,结果如表 2 所示。

分析结果显示,安静环境下与存在噪声环境下, AYP 和错误率的双尾检验差异都达到极显著水平;第 4 组(白噪声)测试时,与 3 组播放噪声实样的平

表 2 10 对配对样本 t 检验结果

Table 2 The t -test results of 10 paired samples

配对样本	样本差异					<i>t</i> 值	自由度	双尾显著性概率
	均值	标准偏差	标准误	均值差异 95%置信区间				
				下限	上限			
1	24.35	17.16	4.95	13.44	35.25	4.91	11	0.00
2	- 0.42	0.24	0.07	- 0.577	- 0.27	- 5.98	11	0.00
3	21.04	17.04	4.92	10.21	31.87	4.28	11	0.01
4	- 0.15	0.34	0.10	- 0.37	0.07	- 1.53	11	0.15
5	- 23.78	14.61	4.22	- 33.07	- 14.50	- 5.64	11	0.00
6	0.16	0.43	0.12	- 0.11	0.43	1.28	11	0.23
7	- 18.98	23.08	6.66	- 33.64	- 4.321	- 2.85	11	0.02
8	0.03	0.33	0.10	- 0.18	0.24	0.32	11	0.75
9	- 20.35	26.20	7.56	- 37.00	- 3.70	- 2.69	11	0.02
10	0.27	0.41	0.12	0.01	0.52	2.26	11	0.04

均 AYP 差异显著,但错误率差异不显著($p > 0.05$);第 4 组(白噪声)与第 1 组(变配电房)测试、第 2 组(直燃机)测试的 AYP 差异都显著,错误率在这 2 组测试中虽有明显变化,但在统计检验中尚未达到显著水平;而第 4 组(白噪声)测试与第 3 组(室外空调机)测试的 AYP 和错误率均达到显著水平.

3 结论

(1)噪声环境中,人的思维能力指数 AYP 低于安静环境下,而错误率比安静时升高,二者差异极为显著($p < 0.05$).多数被试人员在白噪声环境下的 AYP 高于其他 3 种低频环境噪声下的 AYP,差异显著,错误率略低于其他 3 种噪声环境的平均错误率,但统计结果并未显示二者差异的显著性.由于每一对比组测试时 L_{Aeq} 基本一致,因此认为,低频成分是影响思维判断能力的主要成分.

(2)对 12 名被试人员在 5 种测试条件下的 AYP 和错误率 η 进行排序,AYP 最低的 3 种条件依次为变配电房、室外空调机、直燃机;错误率最高的 3 种依次为室外空调机、变配电房、直燃机.12 名被试人员中有 6 人在播放室外空调机噪声样本时,AYP 值达到最低,5 人的错误率达到最大,且与播放白噪声时的 AYP 和错误率均差异显著($p < 0.05$),可以认为影响程度最大.变配电房实录样本的影响程度其次,直燃机声音样本的影响程度相对最小.频谱分析的结果表明,室外空调机噪声样本的峰值频率介于 50 ~ 150 Hz 频率段,变配电房噪声的峰值频率则处于 200 ~ 300 Hz,而直燃机噪声的峰值频率处于中频段,因此峰值频率处于 50 ~ 300 Hz 频段的环境噪声比其他环境噪声对思维判断能力的负面影响更大.

参考文献:

[1] Lundquist P, Holmberg K, Landstrom U. Low frequency noise and annoyance in classroom [J]. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2000, 19(4): 175-182.

[2] Wayne K P, Clow A, Edwards S, *et al.* Effects of nighttime low frequency noise on the cortisol response to awakening and subjective sleep quality [J]. Life Science, 2003, 72(8): 863-875.

[3] Persson K, Bengtsson J, Kjellberg A, *et al.* Low frequency “noise pollution” interferes with performance [J]. Noise and Health, 2001, 4(13): 33-49.

[4] 翟国庆,张邦俊. 室内窄频带低频噪声烦恼度和治理对策研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2002, 29(1): 87-93.

[5] Broner N, Leventhall H G. The annoyance and unacceptability of higher level low frequency noise [J]. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 1985, 4(1): 1-11.

[6] Broner N, Leventhall H G. The annoyance and unacceptability of lower level low frequency noise [J]. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 1984, 3(4): 154-166.

[7] Persson K, Rylander R. Effects on performance and work quality due to low frequency ventilation noise [J]. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 1997, 205(4): 467-474.

[8] Moller H, Lydolf M. A questionnaire survey of complaints of infrasound and low frequency noise [J]. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2002, 21(2): 53-64.

[9] 张卿华,王文英. 人的神经类型测评研究[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993. 29-30.

[10] 王颖,吉秋阁. 学生睡眠与脑力工作能力的卫生学评价[J]. 现代预防医学, 2000, 27(2): 189-190.

[11] 刘宏成,李永春. 噪声对中学生大脑工作能力的影响[J]. 江苏预防医学, 2002, 13(3): 44-45.

[12] 祝丽玲,刘宝林. 医学生学日大脑工作能力指数评价[J]. 中国校医, 2000, 14(1): 23-24.

[13] 俞鹏,翟国庆,黄逸凡,等. 城市居住区设备噪声频率特性分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(4): 491-495.

[14] GB/T 3947-1996, 声学名词术语[S].