

文章编号:1006-1355(2018)03-0124-04+136

空调噪声主观烦恼度实验研究

孙晓明^{1,2}, 邵志跃^{1,2}

(1. 上海市环境科学研究院, 上海 200233;
2. 上海城市环境噪声控制工程技术研究中心, 上海 200233)

摘要:随着社会的发展空调设备越来越普及,伴随而来的噪声扰民问题也日益突出。对城市居民区内空调设备噪声进行调查,通过现场采样获得噪声源,研究其声学特性与频谱特性,并通过实验室主观评价方法来研究其烦恼度情况。结果表明,空调低频噪声的响度与烦恼度呈线性关系,在45 dB(A)~50 dB(A)(60 phon~65 phon)范围内烦恼度值分布均较分散,所以在该范围内针对空调低频噪声采用A计权声压级不能很好得反映烦恼度情况,这也解释了在达标情况下居民仍投诉的情况。空调噪声的烦恼度情况与年龄、性别都有关。

关键词:声学;空调噪声;烦恼度

中图分类号:B845.2;O422.8

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2018.03.023

Experimental Study on Subjective Annoyance of Air Conditioner Noise

SUN Xiaoming^{1,2}, SHAO Zhiyue^{1,2}

(1. Shanghai Academy Environmental Sciences, Shanghai 200233, China;
2. Shanghai Engineering Research Center of Urban Environmental Noise Control, Shanghai 200233, China)

Abstract : With the development of society, air conditioning equipment is more and more popular. Meanwhile, the problem of disturbance of air conditioning noise is becoming more and more serious. In this paper, the noise situation of the air conditioning equipment in urban residential areas is investigated. Noise sources are acquired by field sampling. The acoustic characteristics and spectral characteristics of the noise are studied. The annoyance of the air conditioning equipment is studied by subjective evaluation in labs. The results show that the loudness of the low frequency noise of the air conditioners is linearly related with the annoyance. The difference of the annoyance at 60 phon (45 dB(A)) is large (2-5), indicating that using A-weighted sound pressure level is not reasonable for the evaluation of air conditioning noise. This conclusion can also explain why the residents still complain the air conditioning noise although the noise level is below the standard. Finally, it is pointed out that the annoyance is related to age and sex of the residents.

Keywords : acoustics; air conditioning noise; annoyance

伴随着人们生活水平的提高,空调系统在办公楼、商场以及住宅越来越普及。空调系统在夏日能给人们带来凉爽、舒适的办公、生活与娱乐环境,在冬季,尤其是在长江以南无暖气的地区基本是靠空调系统给人们带来温暖。空调带来舒适环境的同时也带来了噪声问题。在最近几年内,关于噪声的投诉率逐渐上升,而在夏天的投诉中,空调噪声投诉则是个“重灾区”。特别是在A声级达标的情况下,仍有大量投诉的情况发生。K Persson Waye研究指出A声级相同而其他特性不同的噪声对人的心理影

响可能会有显著差异^[1]。因此对空调低频噪声进行主观烦恼度实验研究非常有必要。

本文通过市场调研,选取9处典型的空调设备噪声进行现场录制采集,计算各频率段声能量分布,获得空调设备的频率特性情况。在实验室内采7级语义细分法对声样本进行主观烦恼度实验,全面获得空调噪声对人的烦恼度影响情况。

1 空调噪声源调查与采样

采集前期,对空调进行市场调研。根据市场上销量较好,占有市场份额较大的空调品牌(例:格力、美的、TCL、大金、日立等)进行现场采集。这9处空调噪声源涉及到不同的空调品牌、使用年限、输出功率等。

收稿日期:2017-09-07

作者简介:孙晓明(1988-),女,山东省蓬莱市人,硕士,主要研究方向为环境噪声与振动控制。

E-mail: sxm881125@163.com

采用 HEAD 手持式多通道信号采集仪对正常运转的空调设备噪声进行数字录音,以波形文件记录。每种声源采集 4 个样本,每个样本的采样时间 10 s,采样率 44 100 Hz,频率下限 0 Hz,频率上限 21 834 Hz。

2 空调噪声源特性

根据倍频程分析计算结果,利用声能量计算公式,计算各频段声能量占噪声总能量的比率。

$$\eta_{\text{低}} = \frac{E_{\text{低}}}{E_{\text{总}}} = \frac{P_{\text{低}}^2}{P_{\text{总}}^2} = 10^{0.1(L_{\text{低}} - L_{\text{总}})}$$

$$L_{\text{总}} = 10 \lg \left(\sum_i 10^{0.1L_{di}} \right)$$

用同样的方法可计算得到中频段和高频段的声能量占总声能量的比率^[5]。

表 1 空调设备噪声 1/3 倍频程声级能量分布

频率范围/Hz	能量占比/(%)	能量占比/(%)	能量占比/(%)
	20~200	200~2 000	2 000~20 000
样本 1	91.30	8.25	0.45
样本 2	93.62	6.01	0.37
样本 3	95.56	4.06	0.39
样本 4	72.95	25.43	1.62
样本 5	81.29	16.76	1.95
样本 6	86.42	13.04	0.53
样本 7	92.47	7.16	0.37
样本 8	96.95	2.74	0.30
样本 9	86.41	12.46	1.13

根据上表中的声能量分布图中,这 9 处空调噪声样本均是以低频占主导,其中低频段 20 Hz~200 Hz 的能量占比为 72.95 %~96.42 %,中频段 200 Hz~2 000 Hz 的能量占比为 2.74 %~25.43 %,高频段 2 000 Hz~20 000 Hz 的能量占比为 0.13 %~1.95 %^[2]。

俞鹏^[3]认为由于实际声源包含了低、中、高频带成分,不同频带间存在掩蔽效应。为了更好地分析空调低频声音频率特性与烦恼度的关系,排除各频带间的相互干扰。同时根据噪声传播规律,空调设备噪声从室外到室内主要是高频的衰减。本次实验采用低通滤波把大于 2 500 Hz 的信号滤掉,保留 20~2500 Hz 噪声源样本。

3 主观烦恼度实验

3.1 实验设备

实验采用 HEAD acoustics 公司 Artemis 3.0 软件,配以耳机回放系统 HPS IV 和可编程均衡器 PEQ IV,通过 Sennheiser HD 650 耳机进行高保真

回放。

3.2 实验信号与评价方法

采用 Artemis 软件将每个声音样本的响度分别调整为 50 phon, 55 phon, 60 phon, 65 phon, 70 phon, 75 phon 6 个社会生活中常见的等响度级水平,共计 54 个声音样本。

为了避免受试者猜测下一激励信号的给出规则,从而进行预测,产生预期误差,因此对信号播放顺序进行随机处理。首先,将等响度的信号按名称首字母顺序依次编号,再按响度从小到大将所有信号依次编号;然后,采用 MATLAB 软件生成一系列等量的顺序随机的编号,重新赋予前述信号;最后,按新编号从小到大的顺序确定信号的播放顺序。

表 2 实验声源播放顺序

响度/phon 声源样本	50	55	60	65	70	75
样本 1	38	43	48	20	2	5
样本 2	45	14	51	53	22	4
样本 3	37	41	24	47	17	35
样本 4	1	18	44	6	36	30
样本 5	31	50	7	26	54	39
样本 6	40	15	49	10	27	8
样本 7	52	13	29	12	11	28
样本 8	34	21	16	42	9	32
样本 9	33	3	23	25	19	46

本次实验采用语义细分法,根据研究,在处理心理判断问题时,7±2 是最佳的范畴数值,本实验评价时采用 7 级语义细分法^[4]填写试验问卷。

表 3 语义细分法评价赋值定义

程度描述词	毫不	很不	比较不	一般	比较	很	异常
赋值	1	2	3	4	5	6	7

3.3 评价成员与实验场所

招募听力正常的 40 位志愿者,其中青少年组 20 人,年龄在 11 至 13 岁,男女比例为 1.5 : 1;成年组 20 人,年龄在 20~50 岁,男女比例为 1 : 1.85。

未成年人组实验场所为隔声效果较好的教室,成年组实验场所为隔声效果较好的办公室,室内中央放置声回放设备。

4 实验数据处理与分析

4.1 有效性检验

由于受试者的身体状态、心理因素、注意力及关注点不同,评价结果往往会出现一定的误判或奇异值,需要对实验数据进行正确性检验,并从中剔除误判比例高的数据组。实验中将相关系数作为数据有



图1 青少年组烦恼度实验



图2 成人组烦恼度实验

效性的判^[5]。

根据参考语义细分法的特征,可信度较高的评价者的结果之间应存在较好的相似性,故可将所有评价结果的几何平均序列与各评价者的相关系数作为判断数据有效性的判据。通过计算未成年人组的相关系数为0.76~0.93。成年人组的相关系数为0.74~0.96。剔除数据量按一般主观评价中10%的经验值。根据总体的相关性,确定剔除未成年人组相关系数为0.76、0.77、0.79的三组资料,成年组中相关系数为0.74的一组数据^[6]。

接下来对剩余数据实行实验信度分析。在实际操作中,可以通过SPSS软件中的分析功能来计算实验结果的平行信度,其计算公式为

$$r_{para} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_x^2} \right)$$

式中: k ——评价人员个数; S_i ——第*i*名评价人员实验结果的方差; S_x ——为实验总分的方差。

大多数学者认为,任何测量的信度系数如果在0.9以上,则该测量的信度甚佳;信度系数在0.8以上便可接受,能作为有效数据;如果在0.7以上,则该测量方法应进行较大修订,但仍不失其价值;如果低于0.7,就需要重新设计。

通过SPSS软件计算,得出青少年组剩余数据和成年组剩余数据的Kendall系数为0.8。说明实验结果信度较佳^[7]。

4.2 烦恼度与响度、A声级的关系

从图3未成年人组烦恼度曲线图中可以看出,除样本6和样本4组在65 phon情况下出现较大落差外,其余7组不同工况下的空调低频声烦恼度随

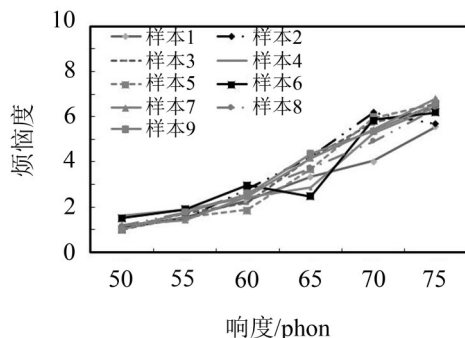


图3 未成年人组主观烦恼度实验结果

响度的增大而增大。

响度相同的情况下,每组的烦恼度值也不同,在50 phon、55 phon和75 phon烦恼度值较接近。烦恼度相对较大的是样本2这组,烦恼度相对较小的是样本5。

从图4成年人组烦恼度曲线图中可以看出,样本6组和样本4组的在65 phon情况下出现较大落差外,其余7组不同工况下的空调低频噪声烦恼度随响度的增大而增大。

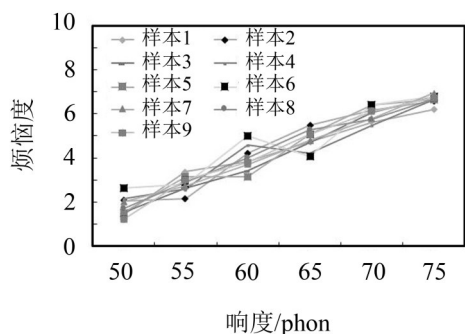


图4 成年人组主观烦恼度实验结果

烦恼度相对较大的是样本2这组,烦恼度相对较小的是样本5。

图5为总的主观烦恼度实验结果,发现烦恼度随着响度的增大而增大。转换成等A计权声压级、响度与烦恼度的关系,等A计权声压级小于41 dB(A)(55 phon),烦恼度则均小于4;等A计权声压级大于54 dB(A)(70 phon),烦恼度则均大于4(一般烦恼)。

根据《民用建筑隔声设计规范 GB50118-2010》“卧室、起居室(厅)内的允许噪声级中允许噪声级”中起居室(厅)允许噪声级为45 dB(A)的情况下并不是所有人的烦恼度为3(比较不烦恼),其烦恼度值为1.9~4.9,即从很不烦恼至比较烦恼,差异度较大。而在50 dB(A)(65 phon)时烦恼度差异也较大,烦恼度值为2.5~5.4,即从比较不烦恼至比较烦恼,差异度较大。

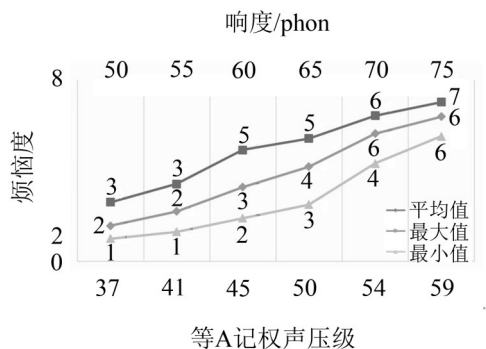


图5 总主观烦恼度实验结果

图6给出45 dB(A)情况下的主观烦恼度分布百分比,其中烦恼度值为3(比较不烦恼)占比最大为28.7%,烦恼度值为5(比较烦恼)占比也较高为20.7%。其余烦恼度值为1、2、4占比均小于20%,烦恼度值为6、7占比最小。总体上烦恼度分布比例较分散。

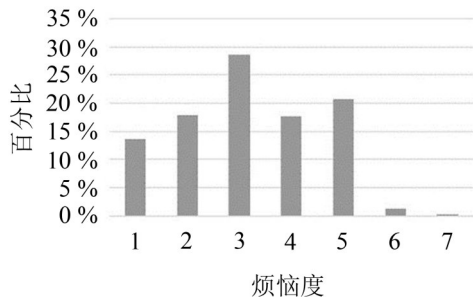


图6 主观烦恼度分布百分比(45 dB(A)/60 phon)

图7为50 dB(A)情况下的主观烦恼度分布百分比,其中烦恼度值为5(比较烦恼)占比最大为29.0%,烦恼度值为4(一般烦恼)占比也较高为20.4%,烦恼度值为3、6占比均小于20%,烦恼度值为7占比最小。总体上烦恼度分布比例较分散。

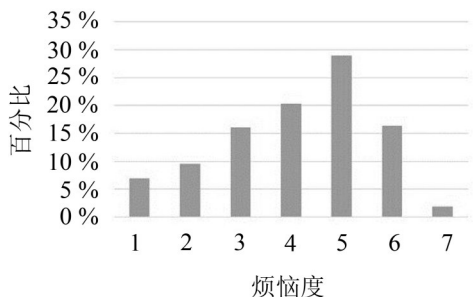


图7 主观烦恼度分布百分比(50 dB(A)/65 phon)

在A计权声压级45 dB(A)~50 dB(A)范围内烦恼度值分布均较分散,所以在该范围内针对空调低频噪声采用A计权声压级不能很好地反映烦恼度情况。

4.3 志愿者性别、年龄差异对烦恼度的影响

本文对不同性别、不同年龄的人群进行空调

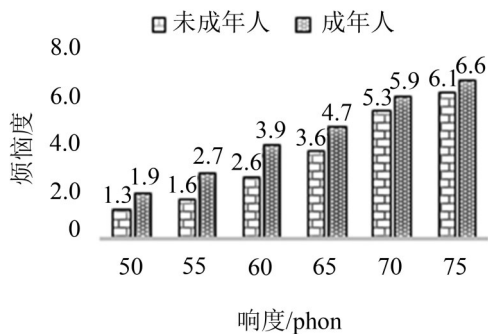


图8 不同年龄段的主观烦恼度实验曲线对比图

低频噪声烦恼度对比分析。

从图8中可以看出,未成年人组的烦恼度明显低于成年组,说明随着年龄的增大,烦恼度增大。50 phon和最大75 phon时的烦恼度相差最小为0.56~0.58,相差最大的是在60 phon时烦恼度为1.3。

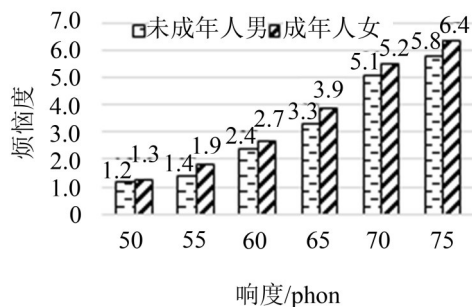


图9 未成年人组不同性别的主观烦恼度实验曲线对比图

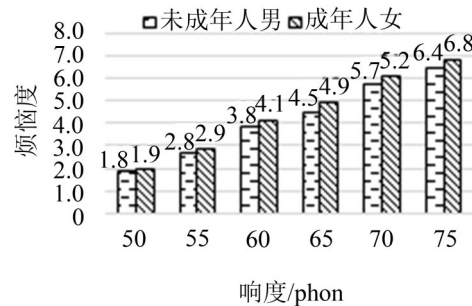


图10 成年人组不同性别的主观烦恼度实验曲线对比图

从图9、图10中可明显看出,未成年人组和成年人组中女性都对空调噪声的烦恼要明显大于男性。说明性别对于空调低频噪声的烦恼度的影响存在。

5 结语

本文针对空调设备噪声进行特性分析和主观烦恼度实验发现:

(1) 空调噪声低频特征明显,低频段声能量占主导。

(2) 响度在噪声主观感知中占据主导地位,对烦恼度的影响比较直接,与烦恼度呈线性关系。

(下转第136页)