

Investigation on the Airport Noise Annoyance Threshold by Socio-Acoustic Surveys

Guoqing Di^{1,*}, Xiaoyi Liu¹, Zhengguang Li¹, Xiang Shi²

¹Institute of Environmental Pollution & Control Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China

²Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China

E-mail: dgq@zju.edu.cn, liuxiaoyi@zju.edu.cn, lizhgu@zju.edu.cn, sx2002day@163.com

Abstract: Surveys of community annoyance induced by airport noise exposure was carried out around Hangzhou Xiaoshan International Airport. The status quo of airport noise pollution was measured. The interpolation was used to estimate the weighted effective continuous perceived noise level ($\bar{L}_{WEPCN}$) in different areas around the airport, and the map of equal noise level contour was drawn. Noise annoyance induced by airport noise exposure was assessed by 764 local residents from 13 villages around the airport by socio-acoustic surveys. The membership function was used to calculate annoyance threshold $\bar{L}_{WEPCN}$. The results of the survey showed that the aircraft noise annoyance threshold $\bar{L}_{WEPCN}$ were both 72.4dB by using the descriptive rating scale and the number rating scale to survey. According to the results, two kinds of rating scale were rather consistent.

Key words: Airport noise; community survey; annoyance threshold; subjective annoyance

用社会声学调查法研究机场噪声烦恼阈值

翟国庆^{1,*}, 柳小毅¹, 李争光¹, 施祥²

¹浙江大学环境污染控制技术研究所, 中国 浙江 杭州 310028

²浙江科技学院, 中国 浙江 杭州 310023

E-mail: dgq@zju.edu.cn, liuxiaoyi@zju.edu.cn, lizhgu@zju.edu.cn, sx2002day@163.com

摘 要: 针对目前我国机场发展及噪声日益严重的现状, 以杭州萧山国际机场为例, 对飞机噪声污染现状进行了调查。采用插值法估算了机场周围不同位置处的计权等效连续感觉噪声级($\bar{L}_{WEPCN}$), 并绘制了机场噪声污染现状等声级线图。用社会声学调查方法, 对机场周围 13 个村庄共 764 名居民开展了飞机噪声主观烦恼问卷调查并获得居民对机场噪声的烦恼度数据。根据调查结果, 采用隶属度函数计算确定了机场噪声 $\bar{L}_{WEPCN}$ 烦恼阈值。结果表明, 采用描述性等级量表和数字等级量表调查获得的飞机噪声 $\bar{L}_{WEPCN}$ 烦恼阈值均为 72.4dB。由两种等级量表调查获得的结果较为一致。

关键词: 机场噪声; 社会调查; 烦恼阈值; 主观烦恼

1 引言

随着国际经济贸易的发展, 国内外航运量不断增加, 飞机噪声扰民现象备受关注, 机场噪声引发的环保投诉有增长趋势, 尤其是机场周围 5 公里内的居民。有研究表明, 机场附近居民噪声烦恼度与昼夜等效声级 L_{dn} 有关, 随着 L_{dn} 增加, 居民烦恼度不断升高^[1]。机场附近居民偏高的烦恼度与机场跑道增加、清晨夜间航班大幅度增多导致的噪声暴露量增加有关^[2]。不

同强度、不同时间段的飞机噪声暴露引发的烦恼度有较大差异, 感觉噪声级为 110-114dB 噪声引起的烦恼度是 74-79 dB 的两倍, 凌晨 1-2 点的噪声最易引起烦恼, 而早上 8-9 点最不易引起烦恼^[3]。不同人群对机场噪声的高烦恼率存在差异, 如韩国人对机场噪声的高烦恼率要明显高于日本等其他国家^[4,5]。有研究者调查了澳大利亚某机场噪声对周围居民健康、生活质量等的影响程度, 发现机场噪声易引起居民紧张^[6]。

本研究以中国杭州萧山机场噪声及周围人群为研究对象, 在对机场周围噪声进行布点监测基础上, 采用插值法结合地形图模拟计算绘制机场周围等声级线

基金项目: 国家自然科学基金 (10604048); 国家环保公益性行业科研专项 (200809142)

图, 并调查居民对机场噪声的主观烦恼, 采用隶属度函数计算受机场噪声影响居民计权等效连续感觉噪声级($\bar{L}_{WEPCN}$)的烦恼阈值。

2 研究方法

2.1 机场周围飞机噪声测量

根据萧山国际机场飞行周期, 参考《Method for describing aircraft noise heard on the ground》(ISO 3891-1978) 和国际民航组织文件《Convention on international civil aviation annex 16》, 对萧山国际机场噪声进行为期一周的监测。如图 1 所示, 共在机场附近村镇共设 39 个测点, 并用 GPS 卫星定位仪获得各测点经、纬度, 每天 24 小时连续监测, 记录每一次飞行事件的有效感觉噪声级 L_{EPN} 值, 并由式(1)计算一天或一周内全部飞行事件的平均有效感觉噪声级。

$$\bar{L}_{EPN} = 10 \lg \left[\left(\frac{1}{N_1 + N_2 + N_3} \right) \left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{EPN_i}} \right) \right] \quad (1)$$

式中, L_{EPN_i} 为某一次飞行事件的有效感觉噪声级, N_1 为白天的飞行次数(6:00 ~ 19:00), N_2 为傍晚的飞行次数(19:00 ~ 22:00), N_3 为夜间的飞行次数(22:00 ~ 6:00)。

根据一周的 $\bar{L}_{EPN}$ 计算各测点一周 $\bar{L}_{WEPCN}$ 值, 结果列于表 1。

2.2 机场周围飞机噪声等声级线绘制

参考中国北京首都国际机场飞机噪声评价中运用的一次飞行事件有效感觉噪声级 L_{EPN} 与距离的关系

$$L_{EPN} = \alpha \lg S + \beta \quad (2)$$

式中, S 为预测点至飞机航迹的垂直距离, α 、 β 为垂直于飞机航迹某一方向上的两个参数。根据已知的垂直于飞机航迹且距跑道中心线不同距离的两测点处同一次飞行事件 L_{EPN} 值, 利用式 (2) 确定垂直于飞机航迹两测点连线方向上的 α 、 β 值, 根据式(1)可进一步计算得到预测点处一周机场噪声 $\bar{L}_{EPN}$ 和 $\bar{L}_{WEPCN}$ 值, 并运用插值法确定 $\bar{L}_{WEPCN}$ 为 60 dB、65 dB、70dB、75dB、80dB 等值点的位置, 标在机场坐标图上, 将等值点连接得到机场周围噪声等声级线图(图 1)。

2.3 主观烦恼社会调查

本次机场噪声主观烦恼社会调查主要针对机场周围 6 公里范围内坎山镇、瓜沥镇等 3 镇 13 个村。共发

放调查问卷 1500 份, 回收 1252 份。回收问卷分类统计, 剔除无效数据, 得居民选机场噪声为最主要噪声的有效问卷共计 764 份。

Table 1. $\bar{L}_{EPN}$ and $\bar{L}_{WEPCN}$ at 39 noise monitoring points around the airport

表 1. 机场周围 39 个噪声监测点一周 $\bar{L}_{EPN}$ 和 $\bar{L}_{WEPCN}$ 值

测点	$\bar{L}_{EPN}$ (dB)	$\bar{L}_{WEPCN}$ (dB)
1#	96.6	85.2
2#	91.6	79.9
3#	88.5	77.0
4#	87.0	74.4
5#	97.0	85.7
6#	94.4	82.2
7#	93.4	80.7
8#	93.5	82.1
9#	88.8	77.4
10#	86.3	73.2
11#	85.7	72.4
12#	87.3	75.5
13#	83.6	68.4
14#	82.5	65.5
15#	92.5	77.9
16#	85.0	70.7
17#	89.8	76.2
18#	89.7	76.1
19#	96.5	82.6
20#	91.4	77.5
21#	89.3	75.1
22#	96.1	83.6
23#	93.4	80.1
24#	94.1	81.1
25#	88.5	73.7
26#	97.3	85.1
27#	92.1	79.1
28#	98.3	83.7
29#	93.3	78.8
30#	98.6	84.3
31#	94.4	80.1
32#	92.4	78.1
33#	89.1	74.6
34#	90.4	76.6
35#	80.5	65.1
36#	86.0	71.7
37#	85.9	73.5
38#	95.0	80.4
39#	86.8	72.2

调查对象为该区域内的居民。调查方式分为入户和户外调查, 采用一对一方式。要求被调查者填写具体家庭地址, 利用 GPS 定位其居住位置。

调查问卷内容主要采用《声学 应用社会调查和社会声学调查评价噪声烦恼度》(GB/Z 21233-2007/ISO/TS 15666:2003), 该标准中采用 ICBEN(International Commission on Biological Effects of Noise) 第 6 小组推荐的量表进行主观烦恼问卷设

计,即“请回忆一下过去几个月,当您正在家的时候,周围环境噪声使您感干扰、扰乱和烦恼的程度”,并用

描述性等级量表(一点没有、轻微、一般、严重、非常严重)和数字等级量表(0-10 数字)让调查对象作答。



Figure 1. The distribution of noise monitoring points around the airport and the map with equivalent sound level contour curves of $\bar{L}_{WEPCN}$. (The dashed in the figure is the runway centerline. The equivalent sound level contour curves from the inside to the outside followed by 80, 75, 70, 65, 60dB.)

图 1. 机场附近噪声监测点分布及 $\bar{L}_{WEPCN}$ 等声级线图 (图中虚线为机场跑道中心线, 各等声级线由内至外侧依次为 80、75、70、65、60dB)

2.4 机场噪声主观烦恼阈值计算方法

利用模糊数学原理进行主观烦恼度研究在国内外均有应用^[7-10], 根据受声者给出的不同烦恼度等级, 按等间隔原则给出描述性等级量表主观烦恼度的隶属度函数

$$F_{\text{描述性等级}} = \frac{0}{\mu_1} + \frac{0.25}{\mu_2} + \frac{0.50}{\mu_3} + \frac{0.75}{\mu_4} + \frac{1.00}{\mu_5} \quad (3)$$

式中, $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$ 分别为对烦恼程度“一点没有”, “轻微”, “一般”, “严重”和“非常严重”的评价等级; 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 为各等级对应的隶属度。

根据不同烦恼度等级, 按等间隔原则给出数字等级量表的主观烦恼度的隶属度函数

$$F_{\text{数字等级}} = \frac{0}{\mu'_0} + \frac{0.1}{\mu'_1} + \frac{0.2}{\mu'_2} + \frac{0.3}{\mu'_3} + \frac{0.4}{\mu'_4} + \frac{0.5}{\mu'_5} + \frac{0.6}{\mu'_6} + \frac{0.7}{\mu'_7} + \frac{0.8}{\mu'_8} + \frac{0.9}{\mu'_9} + \frac{1.0}{\mu'_{10}} \quad (4)$$

式中: $\mu'_0, \mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_4, \mu'_5, \mu'_6, \mu'_7, \mu'_8, \mu'_9, \mu'_{10}$

分别为对烦恼程度“0-10”的评价等级; 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 为各等级对应的隶属度。

各中心声级的烦恼概率反映了受声者的心理反应信息

$$P_i = \sum \mu_j n_{ij} / \sum n_{ij} \quad (5)$$

式中: P_i 为中心声级 L_i 的烦恼概率; n_{ij} 为 L_i 声级下第 j 评价等级出现的频数; μ_j 为第 j 评价等级烦恼度的隶属度, 即隶属函数的值。环境噪声烦恼阈值(EL)由式(6)计算。

$$EL = \sum L_i P_i / \sum P_i \quad (6)$$

3 结果与分析

3.1 长期机场噪声暴露下被调查者主观烦恼阈值

在 764 份调查问卷中, 其中 340 份入户调查, 424 份户外调查, 统计调查对象年龄分布情况见表 2。

Table 2. The gender ratio and the age distribution among indoor and outdoor respondents**表 2. 户内、外被调查者的性别比、年龄分布情况**

入户调查			户外调查	
年龄段	男性	女性	男性	女性
20 岁以下	57%	43%	43%	57%
20~30 岁	39%	61%	45%	55%
30~40 岁	39%	61%	29%	71%
40~50 岁	53%	47%	67%	33%
50~60 岁	62%	38%	33%	67%
60 岁以上	75%	25%	50%	50%
总计	48%	52%	41%	59%

根据调查居民提供的家庭地址及 GPS 记录的经纬度值,在 Google Earth Pro 确定各被调查者所在位置,根据图 1 给出的机场周围等声级线图,确定被调查者机场噪声暴露强度(一周的 $\bar{L}_{WEPCN}$ 值)。

根据描述性等级量表和数字等级量表调查数据,统计被调查者主观烦恼数值,将不同机场噪声暴露强度下居民的主观烦恼值归于不同声级段,进行统计学方差分析检验($p < 0.0001$),并用隶属度函数计算得到不同性别人群、各计权等效连续感觉声级段的主观烦恼概率值(表 3)。

Table 3. The rates of subjective annoyance induced by different airport noise $\bar{L}_{WEPCN}$ -exposure**表 3. 不同机场噪声 $\bar{L}_{WEPCN}$ 暴露下的主观烦恼概率值**

$\bar{L}_{WEPCN}$ (dB)	描述性等级量表			数字等级量表		
	女性	男性	全部	女性	男性	全部
80.0 以上	93%	83%	90%	89%	87%	88%
80.0-77.5	79%	82%	80%	76%	81%	78%
77.5-75.0	77%	69%	73%	79%	72%	75%
75.0-72.5	72%	75%	73%	76%	70%	73%
72.5-70.0	63%	63%	63%	60%	60%	60%
70.0-67.5	59%	61%	60%	61%	56%	59%
67.5-65.0	54%	53%	54%	54%	58%	56%
65.0-62.5	54%	50%	53%	55%	45%	51%
62.5-60.0	44%	63%	53%	48%	55%	51%

根据表 3 由式(6)计算得描述性等级量表评价 $\bar{L}_{WEPCN}$ 烦恼阈值为 72.4 dB,其中女性为 72.6 dB,男

性为 72.1 dB。数字等级量表评价 $\bar{L}_{WEPCN}$ 烦恼阈值男女均为 72.4 dB。可见,采用描述性等级量表和数字等级量表调查获得的飞机噪声 $\bar{L}_{WEPCN}$ 烦恼阈值比中国现行《机场周围飞机噪声环境标准》(GB9660-88)中的二类区域 $\bar{L}_{WEPCN}$ 75dB 限值小 2.6dB,即机场噪声 $\bar{L}_{WEPCN}$ 还未达到现行标准限值时,人们已感到烦恼。居民长期受机场噪声暴露后引起的噪声烦恼阈值在性别上基本无差异。

4 结论

在对萧山国际机场噪声进行监测与主观烦恼社会调查基础上,采用隶属度函数计算机场噪声烦恼阈值,结果表明采用描述性等级量表和数字等级量表调查获得的飞机噪声 $\bar{L}_{WEPCN}$ 烦恼阈值均为 72.4dB,比中国现行《机场周围飞机噪声环境标准》(GB9660-88)中的二类区域 $\bar{L}_{WEPCN}$ 75dB 限值小 2.6dB,即机场噪声 $\bar{L}_{WEPCN}$ 还未达到现行标准限值时,人们已感到烦恼。该烦恼阈值可为机场周围飞机噪声环境标准修订提供参考。

致 谢

感谢浙江省环境监测中心站对杭州萧山国际机场噪声监测提供的支持和帮助。

References (参考文献)

- [1] Sanford Fidell, The Schultz curve 25 years later: A research perspective[J], *Journal of the Acoustical Society of America*, 2003, 114(6), P3007-3015.
- [2] Mark Brink, Katja Wirth, Christoph Schierz, Georg Thomann, Georg Bauer, Annoyance responses to stable and changing aircraft noise exposure[J], *Journal of the Acoustical Society of America*, 2008,124(5), P2930-2941.
- [3] Ken Hume, Martin Gregg, Callum Thomas, Daniela Terranova, Complaints caused by aircraft operations an assessment of annoyance by noise level and time of day[J], *Journal of Air Transport Management*, 2003, 9, P153-160.
- [4] Changwoo Lim, Jaehwan Kim, Jiyoung Hong, Soogab Lee, Soojoo Lee, The relationship between civil aircraft noise and community annoyance in Korea[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2007, 299, P575-586.
- [5] Henk Miedema, Henk Vos, Exposure-response relationships for transportation noise[J], *Journal of the Acoustical Society of America*, 1998, 104, P3432-3445.
- [6] Deborah Black, John Black, Tharit Issarayangyun, Stephen Samuels, Aircraft noise exposure and resident's stress and hypertension: A public health perspective for airport environmental management[J], *Journal of Air Transport Management*, 2007, 13, P264-276.
- [7] Singh, A., Quek, C., Cho, S.-Y., DCT-Yager FNN: A novel Yager-Based fuzzy neural network with the discrete clustering technique[J], *IEEE Transactions on Neural Networks*, 2008, 19(4), P625-644.
- [8] Tang Xudong, Pang Yongjie, Zhang He, Zhu Wei, Fast image segmentation method based on threshold[J], *2008 Chinese Control and Decision Conference*, 2008, 1(11), P3281-3285.

- [9] Tetsuro Saeki, Shizuma Yamaguchi, Yuichi Kato, Kensei Oimatsu, A method for predicting psychological response to meaningless random noise based on fuzzy system model[J], *Applied Acoustics*, 2002, 63(3), P323-331.
- [10] Pan Zhonglin, Huang Youxing, Environmental noise subjective reaction and annoyance threshold in parks[J], *Journal of Acoustics*, 1993, 18(6), P463-467 (Ch).
- 潘仲麟, 黄有兴, 公园环境噪声的主观反应及烦恼阈值[J], *声学学报*, 1993, 18(6), P463-467.