

噪声方向结构的主观评价研究*

傅立新

秦佑国 车世光

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

(清华大学建筑学院, 北京 100084)

摘要 通过对自由场、混响场和介于两者之间的声场以及自由场中不同入射方向等不同的方向性结构下噪声的响度和吵闹度的心理试验研究, 得到了不同方向结构噪声的主观感觉差异程度, 以及主观感觉所对应的声压级定量差值。在声级完全相同时, 主观感觉长混响声场响度要高 1—2 dB, 响度与吵闹度的正相关系数约 0.4。该研究为应用广泛的吸声降噪和室内声环境评价提供了理论依据。

关键词 混响, 方向结构, 吸声, 主观评价。

人的听觉因为双耳听闻有方位感, 人耳和人体的构造使人耳接收声波具有方向性。具有相同声压级测量值的不同方向结构的声场中, 人们主观感觉到响度、噪声信号、吵闹度的变化是本文研究的主要内容。吸声降噪广泛地应用于高噪声的工业厂房, 因为操作工人通常靠近机器, 采取吸声降噪措施前后, 在工人操作点处测量的声压级差值通常不大, 但主观反应却较明显^[1], 这常常成了对吸声降噪措施持不同意见者争论的焦点, 持慎重观点的人强调前者, 持积极态度的人强调后者。本文研究的实际意义之一就在于此。

1 研究内容和方法

在保持测试点处声压级测量值相同的条件下, 对自由场、混响场、和介于两者之间的声场, 以及自由场内不同入射方向等不同的方向性结构下噪声的响度和吵闹度^[3]的主观评价进行了试验研究。

试验的方法有 2 种: 1 种是用人工头在不同方向性结构的声场内录下噪声信号, 然后对所录信号加以编排, 让受试者通过耳机复听, 进行成对比较; 另 1 种是让受试者在短时间内更换不同的方向性结构声场, 直接听闻加以比较。声压级的测量采用 B&K 2230 精密声级计, 该仪器有“Random”和“Front”档的转换, 使得所用的自由场型传声器既可在自由场中也可在扩

散场中使用。测量是在受试者(或代表受试者的人工头)头部中心位置, 测量受试者(或人工头)不在时的声压级。所用人工头的性能已被详细地研究过^[2]。人工头录音方法参见图 1。

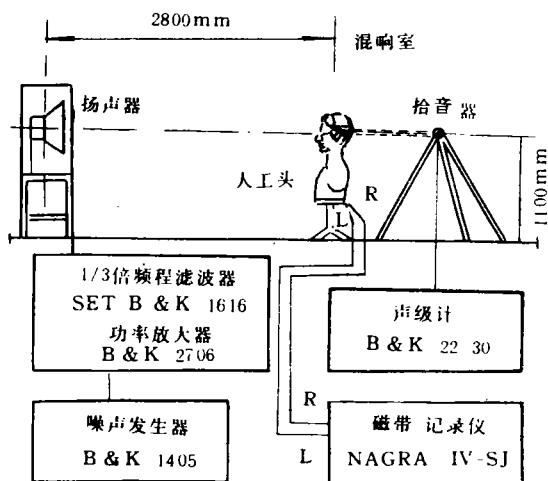


图 1 人工头录音比较法

在人工头方法试验中, 为了定量地得到 2 对比较信号的主观感觉差异^[4], 设置了响度可调装置, 让受试者在成对比较试听时, 先听第 1 个信号接着听第 2 个信号, 如果受试者主观认

* 国家自然科学基金项目

收稿日期: 1995-03-01

为 2 者响度上有差别,就自己调节直到认为 2 者一致。这时,从声级计上可读到调节的差值。

2 混响场与自由场

2.1 人工头方法主观评价

选择混响场(500 Hz 混响时间为 3.9 s)、自由场、以及介于 2 者之间的声场(简称中间场,500 Hz 混响时间为 1.2 s)等 3 种状态。声源为 1/3 倍频程窄带噪声、白噪声和粉红噪声,窄带噪声的中心频率为 125, 250, 500, 1 k, 2 k 和 4 kHz。

编辑后的试听带,采用成对比较法,每个

信号长 12 s,间隔 1—2 s,2 个对比信号组成 1 对。每对信号有 3 种录音方向(正前方,右前方,右后方)2 种顺序,共 6 个样本。受试者共 15 人,女性 7 人,年龄在 22—28 岁之间,听力正常,均为非声学专业大学毕业班学生或硕士研究生,正式试验前未受过训练。

受试者对每对比较信号的主观感觉响度和吵闹度差异分别作出判断,以判断混响时间长的、信号响度大者为正,反之为负。以“0”—“1”表示“相同”至“很明显”的差异程度。每对信号的样本空间为 90,采用心理试验统计方法加以处理。评价结果见表 1。

表 1 不同混响特性的主观感觉差异程度

频率(Hz)	自由场与混响场		中间场与混响场		自由场与中间场	
	响 度	吵闹度	响 度	吵闹度	响 度	吵闹度
125	0.49	0.32	0.12	-0.11	-0.07	0.03
250	0.43	0.20	0.00	-0.07	0.40	0.23
500	0.31	0.15	0.04	-0.09	0.18	0.04
1 k	0.33	0.15	0.03	-0.11	0.29	0.14
2 k	0.32	0.09	0.07	0.00	0.27	0.21
4 k	0.12	-0.04	-0.25	-0.29	0.39	0.22
粉红噪声	0.24	0.19	0.10	0.04	0.20	0.07
白噪声	0.09	0.13	0.19	0.14	0.31	0.25

受试者能够比较一致地判断出混响时间长的信号主观响度大一些,明显程度约 0.3 左右。混响时间短的 2 信号相比的主观感觉差异比混响长的信号要明显一些。关于吵闹程度的判断,基本趋势与响度判断相一致。但敏感程度不如响度。

宽带噪声的判断比窄带噪声有更好的一致性。从判断结果可以看出,125 Hz 信号由于录音偶然误差,高频部分由于人工头反射使直达声加强的影响,响度和吵闹度出现负值。主观评价的方差较大,不论是单个受试者对同一组信号的 6 次判断,还是不同个体评价结果的平均值,都比较离散。以 1 kHz 为例,响度判断平均值为 0.33,机误为 0.035,置信度为 95.7%的置信区间为 0.23—0.44;吵闹判断平均值为 0.15,机误 0.051,置信区间为 0.00—0.30。

对响度和吵闹度判断的相关性用个人相关累积的皮尔森相关系数分析。结果表明,相关系数均为正值,中间场与自由场比较在 0.50 左右;混响场与中间场比较,相关系数为 0.4 左右,混响场与自由场比较中,只有 0.2 左右,说明当被比较信号混响特性相差太悬殊时,往往因为掺入个体主观理解的成分太多而影响结论的一致性。

从混响场、中间场和自由场两两比较的结果看,对于响度判断,混响时间长的信号总是一致地比混响短的信号响度要大一些,按照成对比较法的理论,受试者对同声级信号比较,感觉混响时间长的信号响度大的结论是成立的。被比较的 2 信号混响时间短时,主观判断差异与混响时间差异关系比较明显,而当 2 信号混响时间都较长时,这种对应关系则不太明显。

2.2 主观感觉对应的声级差

这里只选择右前方录音信号以代表一般情形, 1 对信号编辑为先后颠倒 2 种顺序, 受试者共 15 人, 样本空间为 30。样本种类与前面相同。

将混响时间短的信号声级调大为正, 反之为负, 主观评价对应声级差结果见表 2。

表 2 混响特性主观感觉差异对应的声级差(dB)

频率 (Hz)	自由场与 混响场	中间场与 混响场	自由场与 中间场
125	1.9	0.3	-0.1
250	1.9	0.7	1.2
500	2.4	0.8	1.0
1 k	1.4	0.4	1.6
2 k	0.4	0.4	1.1
4 k	-0.8	-0.9	0.7
粉红噪声	0.9	-0.9	0.02
白噪声	-0.7	-0.3	0.04

从表 2 数据可以看出, 主观判断趋势与表 1 一致, 即感觉混响时间长的信号响度大, 中频部分对应的声级差相当于 1.5—2.0 dB。混响时间差异越大, 对应的声级差也越大。

不同受试者判断值之间的离散性较大, 主要因为人对声音的暂留记忆很短, 难以准确定量描述。如 1 kHz 中间场与自由场比较, 平均值为 1.65 dB, 机误为 0.175, 则置信区间为 1.30—2.18 dB。为了清楚录音误差和系统误差的影响, 对信号之间的客观声级差也作了测

量, 平均值见图 2。声级差以混响时间短的信号大者为正。

由图 2 可看到, 低频 125、250 和 500 Hz 自由场信号存在偏大的偶然误差, 约为 1.5 dB, 这是导致低频段判断值偏小的原因。高频段由于人工头指向性, 在自由场中右前方偏大, 因而也使得主观判断值向短混响信号一侧偏移, 产生一定系统误差。总之, 考虑上述因素, 以中频部分结果和中间场与自由场对比的结果较为准确。2 k—4 kHz 间的信号, 主观感觉程度对应的声级差要偏小, 这与人耳频率响应特性相符。

2.3 现场比较混响特性主观评价

将 2 个相连的隔声实验室处理成 1 个接近直达声场, 1 个接近混响声场, 让受试者在其中直接听闻客观声级相等的同一噪声信号, 对它们的主观感觉响度和吵闹程度作出判断。近混响场 500 Hz 混响时间为 3.3 s, 近直达场 500 Hz 混响时间为 0.35 s。

试听分 2 种方法进行, 第 1 种试听时, 受试者坐在椅子上, 面对声源, 头不动。第 2 种试听与第 1 种不同的是, 试听过程中要求受试者保持身体不动的前提下从一侧至另一侧摆动头部, 不同方向试听后得出综合印象。

以判断近混响场的响度和吵闹度大者为正, 反之为负。评价结果见表 3。

表 3 现场比较不同混响特性的主观差异程度

频率 (Hz)	第 1 种试听		第 2 种试听	
	响 度	吵 闹 度	响 度	吵 闹 度
125	0.33	0.20	0.38	0.18
250	0.32	0.19	0.30	0.02
500	0.30	0.24	0.43	0.35

这一对比实验结果表明, 主观感觉混响时间长的信号响度和吵闹程度均比混响时间短的信号要大, 明显程度约 0.4 左右。这与前面的结果是相吻合的, 但明显程度平均值高 0.1 左右。判断值的个体差异也较大, 如 1 kHz 响度判断为 0.62, 机误 0.041, 则 95.7% 的置信区间为 0.497—0.743, 因为现场因素多, 每次放

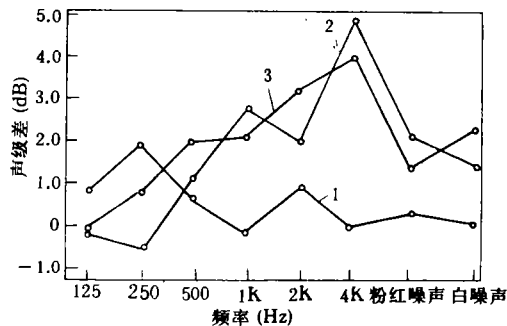


图 2 不同混响信号的客观声级差(dB)

1. 中间场与自由场
2. 混响场与中间场
3. 混响场与自由场

音存在偶然误差,导致结果波动较大。与人工头法相比现场比较方法基本上消除了系统误差。

2 种试听方法的结果基本一致,由 t 检验结果表明,一致性约为 60%。由于摆动头部只在面对声源的前半平面,因而使得直达声场中吵闹感觉程度反而有所增强,这是因人耳指向性引起的侧向加强效应所致。

响度和吵闹度的相关系数均在 0.4 左右,亦与人工头方法基本相同,2 者的正相关性是完全肯定的,但由于个体之间理解上的差异,数值上存在较大的波动。高频和宽带噪声的判断明显程度要比低频噪声信号大,在人工头系统中,由于它本身指向性的影响,未能判别出这一规律。

对 20 位受试者(男女各半)进行男女间差异程度的 t 检验分析,证明除中频个别信号差异性在 50%左右外,其余频带都比较一致。

3 水平面内方向变化引起的主观感受

3.1 人工头方法主观评价

在简易消声室里,用人工头系统记录下每一频带的正前、侧前、正侧、侧后及正后 5 个方向信号,以正前方信号为基准,将其它信号与之成对比较,对吵闹度与响度差异作出主观判断,以判别比正前方大者为正,差异程度以“0”—“1”表示“无差异”至“很明显”。

评价结果见表 4。1 kHz 以下各方向间无明显差异,2 kHz 以上和宽带噪声差异较明显,前半平面比正前方大,后半平面明显小于正前方,响度判断与吵闹度判断基本一致,后者在偏侧方向时判断值略高。

响度与吵闹度的相关系数基本是正值,只在低频时稍有例外,相关系数对高频和宽带噪声大致为 0.4 左右,关于吵闹度的判断会由于个体理解上的差异而造成更大的离散。

表 4 人工头法方向性差异主观评价(正前方为基准)

频率(Hz)	侧前方		正侧方		侧后方		正后方	
	响度	吵闹	响度	吵闹	响度	吵闹	响度	吵闹
125	0.01	-0.01	-0.02	0.10	-0.24	-0.15	-0.20	-0.18
250	0.04	0.21	0.31	0.39	0.08	0.09	-0.06	-0.12
500	-0.01	0.14	0.02	0.16	0.01	-0.20	-0.04	-0.08
1 k	0.24	0.26	0.03	0.13	0.18	0.03	0.21	0.02
2 k	-0.28	-0.01	-0.31	-0.30	-0.35	-0.36	-0.38	-0.28
4 k	0.49	0.50	-0.16	-0.02	-0.54	-0.46	-0.40	-0.58
粉红噪声	0.03	0.02	-0.02	0.01	-0.48	-0.47	-0.46	-0.52
白噪声	0.02	0.20	0.02	0.12	-0.42	-0.43	-0.49	-0.52

表 5 方向性客观声级差和主观判断对应的声级差(dB)

频率(Hz)	侧前方		正侧方		侧后方		正后方	
	主观	客观	主观	客观	主观	客观	主观	客观
125	-0.38	0.56	-0.15	1.0	-0.52	0.01	-0.05	0.05
250	0.48	1.55	0.80	1.20	0.70	-0.80	-0.55	-3.8
500	-0.40	2.50	0.45	3.20	-0.25	1.90	-0.35	-1.30
1 k	0.55	3.60	1.20	4.50	0.20	3.90	0.60	1.70
2 k	-0.80	2.30	-1.30	1.10	-1.70	-2.00	-0.80	-1.90
4 k	1.10	5.80	-0.01	4.20	-1.90	-1.10	-2.00	-5.10
粉红噪声	1.60	3.30	0.80	2.20	-2.40	-0.90	-2.20	-5.30
白噪声	1.00	2.80	0.70	1.80	-2.50	-0.80	-2.60	-6.20

3.2 方向性主观差异对应的声级差

评价结果见表 5。高频和宽带噪声前半平面比正前方约高 1 dB，后半平面主观感受比正前方约低 2.5 dB。

从主、客观声级的对比来看，均存在同一规律，即前半平面客观声级比主观声级要高，后半平面则相反，客观声级比主观声级明显

低。即主观感觉对应的声级差绝对值总是小于客观声级差的绝对值，这正是人的双耳效应对客观方向差异的弥补作用。

3.3 现场比较方向性主观差异

在简易半消声室内，通过转椅改变受试者的方向，与 3.1 中人工头法进行了对比试验。主观评价结果见表 6。

表 6 现场比较方向性的主观感觉差异程度

频率(Hz)	侧前方		正侧方		侧后方		正后方	
	响度	吵闹	响度	吵闹	响度	吵闹	响度	吵闹
125	-0.18	0.0	0.01	0.14	-0.22	-0.18	-0.08	0.0
250	-0.02	-0.01	-0.2	-0.19	-0.30	-0.28	-0.35	-0.25
500	0.11	0.01	0.08	0.12	0.01	0.18	-0.20	0.01
1 k	0.09	0.14	0.22	0.28	0.19	0.21	0.07	0.19
2 k	0.10	0.16	0.04	0.06	0.0	-0.08	-0.12	-0.01
4 k	0.10	0.11	-0.24	-0.26	-0.6	-0.62	-0.70	-0.68
粉红噪声	0.03	0.0	0.11	0.01	-0.19	-0.25	-0.25	-0.38
白噪声	0.18	0.22	0.26	0.28	0.11	0.02	-0.24	-0.24

总的趋势与人工头法相一致，4 kHz 以上的高频才有明显的方向差异，程度不如人工头法明显。响度与吵闹的判断较一致，正相关系数在 0.6 左右，这主要是现场综合因素影响人的理解所致。

4 结语

从混响时间不同的声场比较结果看，人工头录音方法与现场比较法一致表明，在客观声级完全相同的情况下，主观感觉长混响声场响度大一些，更吵闹一些，但程度不很明显，大致为 0.3—0.4，相当于声级差 1—2 dB，响度与吵闹度的正相关系数约 0.4。

2 种方法对水平面内不同方向比较的主观评价结果也一致，2 kHz 以上的高频和宽带噪

声有较明显的差异，前侧方比正前方略大，程度约 0.2，相当于 1 dB 左右，后半平面比正前方面度要小约 0.5，相当于 2—2.5 dB 左右，响度与吵闹程度的正相关系数约 0.6。

吸声降噪实际工程中，直达场内声级下降不多，但混响时间变化往往较大，根据以上结论，可有相当于声级差 2 dB 左右的主观效果，加之水平面内方位变化，吵闹程度将下降，使主观感觉效果明显。

参 考 文 献

1 康健. 噪声与振动控制. 1988, (5): 20
2 徐勇, 王炳麟. 电声技术. 1991, (4): 32
3 Maurin Michel. Inter-Noise'85: 993
4 Warren R M. Acustica. 1977, 37(3): 334

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Study on the Subjective Assessment on a Noise Comprising Different Direction Components. Fu Lixin (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084), Qin Youguo and Ce Shiguang (Dept. of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, 16(5), 1995, pp. 1-5

It was found that in a sound field different people would have different subjective sensation levels, although a same level of real sound pressure was exerted on them. Psychological experiments were carried out on the loudness and noisiness of a noise in a free sound field, a reverberant sound field and an intermediate sound field between them, and a noise comprising different direction components in a free sound field, to give the degree of difference in subjective sensation levels in these cases and the corresponding difference in sound pressure levels. The results show that both loudness and noisiness were higher in a reverberant sound field than in a free sound field, with a distinct degree of about 0.3, corresponding to a sound level divergence of 1-2 dB. There was a positive correlativity of about 0.4 between loudness and noisiness. In a horizontal plane, the distinct divergence of sensation occurred at a noise in a wide range of frequency over 2 kHz. Subjective loudness and noisiness were smaller in a rear semi-plane than in a front one, with a distinct degree of about 0.6 and 2 dB, respectively. The results would be useful in noise reduction and the environmental impact assessment of indoor noise.

Key words: reverberant sound field, direction composition, noise reduction, subjective assessment.

Electrode Behavior in the Process of Magneto-Electrolysis for Industrial Wastewater Treatment. Zhu Youchun et al. (Dept. of Environ. and Resources Eng., Guangdong Univ. of Technology, Guangzhou 510090); *Chin. J. Environ. Sci.*, 16(5), 1995, pp. 6-9

For the sake of raising the electrolytic efficiency, reducing the energy consumption, and improving the characteristics of recovered deposit, the influences of applied magnetic field on the electrode process were studied by means of magneto-electrolytic tests and polarization curve determination for industrial wastewater containing copper. The

results indicate that during the magneto-electrolytic treatment of industrial wastewater the allowable current density was increased by over 100%, and the overpotential under the condition of tested current density was decreased by over 50%. Thus the cell voltage and the energy cost were decreased, and the metal deposit with excellent characteristics was obtained.

Key words: industrial wastewater, magneto-electrolysis, electrode behavior.

Production Process of Ferric Solution Based on the Catalytical Oxidation by Pyrolusite Tailings.

Tian Baozhen and Tang Hongxiao (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, 16(5), 1995, pp. 10-13

Pyrolusite tailings containing more than 32% of $\beta\text{-MnO}_2$ were found to be a catalytical oxidizer for the oxidation of Fe(II) to produce ferric solution. The kinetic characteristics and mechanism of Fe(II) oxidation reaction catalyzed by pyrolusite tailings were studied. It was found that the Fe(II) oxidation reaction proceeded at an extremely fast rate of 309 g/(L · h) and more than 80% of Fe(II) were removed within the first 15 minutes of the Fe(II) oxidation reaction. There was a saturated oxidation value of up to 0.49-0.73 g of Fe(II) per gram of pyrolusite tailings, depending on the content of MnO_2 in the pyrolusite tailings. The pyrolusite tailings and the resulting ferric solution were analyzed with the X-ray diffraction X-ray fluorescent spectrometry method and ICP, respectively. The results show that after the Fe(II) oxidation the pyrolusite tailings were corroded so that most of manganese species were reduced and entered into the liquid phase, and the remaining manganese and other elements entered into the sediment.

Key words: ferrous oxidation, oxidizer, catalytical oxidation rate, pyrolusite tailing.

The Output of Carbon by Plants and the Storage of Carbon in Soils of the Haihe River Basin in North China. Huang Yinxiao et al. (Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044); *Chin. J. Environ. Sci.*, 16(5), 1995, pp. 14-17

The results show that the output of carbon significantly varied with different crops and so did the