

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2017.20.008

变压器噪声暴露对 SD 大鼠听力及应激状态的影响研究*

易 星¹ 刘兴发² 石琳钰¹ 邹 游¹ 戴梦源¹ 陶泽璋¹ 肖伯奎¹ 张建功² 陈始明^{1Δ}

(1 武汉大学人民医院耳鼻咽喉头颈外科 湖北 武汉 430060; 2 中国电力科学研究院 湖北 武汉 430070)

摘要 目的:探究短时间内低声级强度低频的变压器噪声暴露对 SD 大鼠听力及应激状态方面的影响。**方法:**选取 90 只 SPF 级健康无听力障碍的(雌雄各半)SD 大鼠作为实验对象,随机分为实验 A、B 组和对照 C 组,A、B 组分别给予声级上限为 65 dB SPL、60 dB SPL(频谱范围:100~800 Hz)的变压器噪声,噪声暴露时程为 8 周,每日噪声给予时间为 22 点至次日 8 点,C 组在相同条件下饲养,不给予噪声暴露。噪声暴露结束后,通过 DPOAE(畸变耳声发射)、ABR(听性脑干反应)检测、耳蜗铺片及毛细胞计数对 SD 大鼠听力学状况进行评估;通过血清中促肾上腺皮质激素(ACTH)、血清皮质醇(CORT)对 SD 大鼠的应激状态进行评估。**结果:**在变压器噪声暴露的 8 周内,各组大鼠生长状况良好,体重均呈正常生理性增长,组间无明显差异($P>0.05$);在变压器噪声暴露 8 周后,对 A、B、C 三组大鼠的听力学指标进行两两比较,组间均无明显差异($P>0.05$),对大鼠血清中促肾上腺皮质激素(ACTH)、血清皮质醇(CORT)的含量进行三组间比较,组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**连续暴露于声压级上限 65/60 dB SPL,频谱范围为 100~800 Hz 的变压器噪声下 8 周(10 小时/天)对 SD 大鼠听力未产生明显影响,未引发 SD 大鼠应激状态。

关键词:变压器噪声;SD 大鼠;听力学;耳蜗铺片与听毛细胞计数;应激

中图分类号:R-33; Q68; R764.43; TB53 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2017)20-3836-06

Effects of Transformer Noise on Auditory Function and Stress State in SD Rats*

YI Xing¹, LIU Xing-fa², SHI Lin-yu¹, ZOU You¹, DAI Meng-yuan¹,TAO Ze-zhang¹, XIAO Bo-ku¹, ZHANG Jian-gong², CHEN Shi-ming^{1Δ}

(1 Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan, Hubei, 430060, China;

2 China Electric Power Research Institute, Wuhan, Hubei, 430070, China)

ABSTRACT Objective: To determine the effect of short-term transformer noise on auditory function and stress state in SD rats.

Methods: 90 healthy SD rats (half male and female) with normal hearing were randomly divided into experimental group A, B and control group C. The experimental groups were exposed to the recorded transformer noise for 8 weeks (10 hours per day, 10:00 pm~8:00 am). Group A was exposed to the pressure level 65 dB SPL at Max (noise spectrum: 100-800 Hz), and group B was exposed to the pressure level 60 dB SPL at Max (noise spectrum: 100-800 Hz), control group C were maintained under the same conditions, without noise stimulation. The indexes of auditory function and stress state of SD rats were determined and compared among the three groups after an 8 weeks' noise exposure. **Results:** In the 8 weeks of transformer noise exposure, the rats showed normal physiological growth, and there was no significant difference ($P>0.05$) among group A, B and C. After noise exposure, indices of the auditory function (distortion product otoacoustic emission, DPOAE; auditory brainstem response, ABR) and the counting and observation of cochlear hair cells of the groups were compared, and no statistically significant difference was observed ($P>0.05$). In addition, there were no significant differences in the ACTH and CORT content changes among the serums of three groups ($P>0.05$). **Conclusions:** Continuous exposure to transformer noise (sound pressure level 60/65 dB SPL at Max, noise spectrum: 100~800 Hz) for 8 weeks (10 hours/day) had no significant effect on the auditory function of SD rats, and never started the stress state in rats.

Key words: Transformer noise; SD rats; Auditory function; Cochlear hair cells preparation and count; Stress

Chinese Library Classification(CLC): R-33; Q68; R764.43; TB53 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2017)20-3836-06

前言

随着经济社会的发展,居住与商业用电屡攀高峰,输变电工程的铺设越发深入到人们的工作生活环境中,人们对于输变

电设备所产生电磁辐射与噪声存在疑虑,常常因此阻挠或反对输变电设备的铺设工作。输变电工程关于环境噪声方面的问题主要集中在变电站噪声,而变电站噪声的主体就是变压器所产生的噪声。变压器噪声属于生活噪声范畴,正常运作的变压器

* 基金项目:国家电网公司总部科技项目(GY71-13-057)

作者简介:易星(1988-),硕士研究生,主要研究方向:听力学、鼻科学及头颈肿瘤基础研究,

电话:13545380995, E-mail: xingyi123321@163.com

Δ 通讯作者:陈始明, E-mail: shimingchen@163.com

(收稿日期:2017-02-27 接受日期:2017-03-19)

其产生噪声的频率多集中在 50~800 Hz,声级强度传递到居民室内多低于 70 dB SPL^[12]。然而,纵观噪声对动物影响方面的国内外研究,声强度低于 100 dB SPL 的噪声动物实验报道极少,时长 4 周以上的噪声动物研究也为数不多,相关的研究多集中在短时间内(一般不超过 8 周)较高强度(多高于 100 dB SPL)的各类噪声上,如 2002 年 Campen 等给予的噪声声级强度为 120 dB SPL,时长为 28 天^[3],2006 年 Coppola 等所研究噪声声级水平为 70~118.9 dB SPL,无明确时间^[4],2009 年 Terao 等给予噪声刺激强度为 100 dB SPL,刺激时间 20 天^[5],2010 年 Kraus 等采用的是 126 dB SPL 声级噪声,时长为 10 周^[6],Di 等关于机场噪声对 SD 大鼠的影响实验采用的噪声声级为 75 dB SPL 和 80 dB SPL,时长 36 天^[7]。

有鉴于以上,我们实地录制某地正常运行的民用变压器的噪声,试图在实验室条件下观察并探讨此类变压器噪声对机体听力及应激方面的影响,以明确较长时程(8 周)下低强度(不高于 70 dB)低频率的变压器噪声对于机体某些生理效应的影响。又鉴于变压器噪声暴露的长期伤害性以及其声级强度的不稳定性,无法通过招募人类志愿者的形式完成噪声生理效应研究,因此我们选择了在进化史上与人类比较相近且相关生理生化特性相对清晰的啮齿类动物进行实验研究。

1 材料与方法

1.1 噪声采集及噪声暴露方法

本实验所用声源为某变电站变压器(DFPS-1000000/1000,额定容量:1000 MVA,额定频率:50 Hz,冷却方式:OFAP)噪声实采样本。声样本采集点位于变压器风扇侧,距外立面 1 m、高 1.5 m 处,采集时设备正常运行,负荷稳定。采集设备为 Head 人工头双耳信号采集系统,采样后的数据采用 Artemis 10.0 噪声信号分析软件进行分析。采集到的变压器噪声级上限约为 76 dB SPL,频率在 100~800 Hz 内。试验时,播放装置为正十二面体声源(型号:OS003,北京声望声电科技有限公司)。每次给声前,用简易声级计(型号:AWA 6291,杭州爱华仪器有限公司)检测隔声装置内声环境情况,通过调整播放装置与实验大鼠的相对位置使大鼠活动范围内声强差值在 1 dB SPL 以内。

1.2 方法

1.2.1 噪声刺激梯度的选择及动物分组 在实地录制中,我们发现距离 220 kV 及其以上电压等级变压器外壳 1 m 处产生的噪声等级为 65 dB SPL~88 dB SPL,而据王勇^[8]等 2009 年报道,实际到达居民家中的噪声一般不高于 55 dB SPL,中国国家标准部发布的《GB50118-2010 民用建筑隔声设计规范》中也要求夜间居民室内噪声不得高于 55 dB SPL,与此同时,一般认为 35~40 dB SPL 等同于正常交谈声音,不会对机体产生影响,因此国际上公认的本底噪声为不高于 35 dB SPL。鉴于以上,我们前期选用了弱刺激较为敏感的豚鼠作为实验对象,选定 55 dB SPL 声级上限的噪声刺激作为第一期实验,前期结果证实间断暴露在声压级范围为 40.8~55 dB SPL 的变压器噪声 4 周(10 h/day),实验组豚鼠听功能、肝肾功能及免疫功能均未发生明显改变,机体未表现出明显应激状态^[8,9]。

根据我们前期的实验结果,本次我们选取 90 只健康无听觉障碍的(雌雄各半)SD 大鼠并随机分为 A、B、C 三组,A、B 组

为实验组,C 组为空白对照组(背景噪声组),每组 30 只(雌雄各半)。实验组分别给予声压级上限为 65 dB SPL(A 组)、60 dB SPL(B 组)的录制变压器噪声,噪声频谱范围为 100~800 Hz,暴露日程为 8 周,暴露时间段为晚 10 点到早上 8 点(10 小时/天),对照组除不给予噪声刺激外饲养条件相同。

动物生活条件如下:背景噪声低于 35 dB SPL(A),室内温度恒定(22±2℃),湿度控制在适宜范围(50%~60%),12 h/12 h 人工昼夜(8:00~20:00),自由饮食饮水。每 3 天清洗并更换垫料,保持实验室清洁。屏障环境下尽量消除动物日常生活中其他因素对实验结果的干扰。饲养过程及相关取材处理均在武汉大学人民医院动物实验中心屏障环境下完成。鉴于以下各个实验项目方法学上的时效性与复杂性,实际测试时均随机选取一定数量实验动物进行观察或检测。

1.2.2 畸变产物耳声发射(DPOAE) 于噪声暴露第 1 天及噪声暴露结束后第 1 天上午九点以耳声发射分析仪对实验大鼠进行 DPOAE 测试(型号:Celesta-503,Madsen,丹麦)。测试时,在本底噪声小于 25 dB(A)的隔声室内进行,以鼻环将实验动物头部固定,以自制固定器固定动物四肢,测试探头自外耳道内采集信号,严格按照仪器操作进行测试并记录实验结果。

1.2.3 听性脑干反应(ABR) 在本底噪声小于 25dB(A)的隔声室内,于噪声暴露第 1 天及噪声暴露后第 1 天上午进行 ABR 测试。按 55 mg/kg 的剂量对实验大鼠腹腔注射 1%戊巴比妥钠溶液,完成麻醉后进行听性脑干反应测试,选择 click 声作为刺激声,以引出可重复波 III 的最小刺激声强度为阈值,并如实记录实验数据。

1.2.4 血清 ACTH 及 CORT 含量测定 噪声暴露结束后予以禁食禁水,满 12 h 后心脏取血 1~2 mL,分离获得待测血清后使用 ELISA 试剂盒(武汉华美生物工程有限公司)对鼠血清中促肾上腺皮质激素(ACTH)、皮质醇(CORT)含量进行测定。

1.2.5 耳蜗毛细胞铺片观察与计数 各组动物取血完成后迅速处死并断头,取出听泡后分离出耳蜗,在 OLYMPUS 解剖显微镜下(TOKYO,297261)开放耳蜗鼓阶及前庭阶,经 0.5%硝酸银染色并固定后日光下曝光 2~4 h,其后于解剖显微镜下完成耳蜗基底膜分离与铺片。于 Olympus 光镜 400 倍视野下进行毛细胞观察与计数,摄影后以千屏医学影像图文分析系统对毛细胞状况进行分析,记录并统计每回基底膜的毛细胞缺失率(%)。

1.2.6 统计学分析 本实验统计分析采用 SPSS18.0 统计软件,实验结果以均数±标准差(即 $\bar{x} \pm s$)表示。外毛细胞缺失率采用 χ^2 检验,其余实验数据的方差齐性检验采取 Levene 检验,假设检验采用单因素方差分析法(One-way ANOVA),以 $P < 0.05$ 为有统计学意义。

2 结果

2.1 体重

噪声暴露期间,SD 大鼠的一般状况良好,正常进食水,活动自如。自暴露第一天起,每间隔一周称重一次,记录并比较各组大鼠的体重变化趋势。在噪声暴露的 8 周内,各组大鼠体重呈正常生理性增长,组间比较无明显差异($P > 0.05$)($n=15$)(表 1-1,1-2)。

表 1-1 噪声暴露下,各组大鼠(雌性)体重变化趋势比较:三组间差异不显著($\bar{x} \pm s$ g, n=15)

Table 1-1 Trends of weight changes (female) under exposure to noise($\bar{x} \pm s$ g, n=15)

Groups	A(65 dB SPL)	B(60 dB SPL)	C(control)
0 week	121± 8.8	124± 7.9	119± 7.6
1 week	167± 11.1	169± 12.1	173± 10.9
2 week	199± 13.3	196± 14.2	202± 14.1
3 week	247± 16.2	239± 16.9	242± 14.1
4 week	254± 15.8	259± 19.2	251± 17.3
5 week	269± 16.1	271± 15.9	268± 18.9
6 week	298± 20.2	291± 19.2	277± 19.5
7 week	311± 16.3	333± 17.8	325± 18.2
8 week	332± 18.6	341± 22.2	339± 19.9

表 1-2 噪声暴露下,各组大鼠(雄性)体重变化趋势比较:三组间差异不显著($\bar{x} \pm s$ g, n=15)

Table 1-2 Trends of weight changes (male) under exposure to noise($\bar{x} \pm s$ g, n=15)

Groups	A(65 dB SPL)	B(60 dB SPL)	C(control)
0 week	141± 7.6	149± 8.1	157± 7.5
1 week	198± 10.8	184± 11.1	188± 10.9
2 week	255± 12.3	249± 12.4	262± 13.9
3 week	304± 17.1	319± 18.2	302± 17.2
4 week	355± 20.6	366± 22.5	360± 19.3
5 week	393± 25.3	399± 26.7	403± 27.1
6 week	434± 28.3	444± 28.2	439± 30.8
7 week	479± 33.3	483± 31.2	476± 29.9
8 week	509± 36.5	511± 34.4	529± 29.1

2.2 畸变产物耳声发射(DPOAE)测试

噪声暴露 8 周后所有受检 SD 大鼠 DPOAE 引出率均为

100 %, 三组 SD 大鼠各频率 DPOAE 反应阈值进行两两比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)($n=8$)(表 2)。

表 2 噪声暴露 8 周后三组 SD 大鼠各频率 DPOAE 阈值测试结果($\bar{x} \pm s$ dB SPL, n=8)

Table 2 Results of the DPOAE threshold after 8 weeks' exposure to noise($\bar{x} \pm s$ dB SPL, n=8)

Groups	A(65 dB SPL)	B(60 dB SPL)	C(control)
1 K	38.9± 2.6	39.2± 4.1	39.2± 4.5
1.5 K	35.7± 2.8	36.2± 3.1	35.8± 2.9
2 k	35.3± 3.2	36.2± 2.9	36.3± 3.9
3 k	36.4± 3.1	36.6± 3.2	36.5± 2.7
4k	38.5± 2.2	38.9± 2.5	38.6± 2.1
6 k	37.8± 3.3	37.5± 3.5	37.9± 2.9
8 k	34.1± 3.3	33.8± 3.2	34.0± 3.5

2.3 听性脑干反应(ABR)反应阈

噪声暴露前及噪声暴露 8 周后,就 ABR 反应阈进行噪声暴露前后比较以及组间的两两比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)($n=16$)(表 3)。

三组 SD 大鼠在干扰结束后按一定比例处死并作耳蜗基底膜铺片显微观察,结果如图 1 所示,各组毛细胞均边界清楚,排列整齐,无明显细胞水肿,三组间无明显差异(放大倍数 400×)。

2.4 耳蜗形态学观察

表 3 噪声暴露前(DAY 1)及暴露 8 周后(DAY 56)ABR 反应阈的比较($\bar{x} \pm s$ dB SPL, n=16)Table 3 Comparison of the ABR threshold of DAY 1(before the exposure to noise) and DAY 56 (after the exposure) ($\bar{x} \pm s$ dB SPL, n=16)

Groups	A(65 dB SPL)	B(60 dB SPL)	C(control)
DAY 1	37.8 $\pm$ 2.3	36.5 $\pm$ 3.7	38.1 $\pm$ 3.8
DAY 56	36.9 $\pm$ 3.4	37.7 $\pm$ 4.2	37.7 $\pm$ 2.1

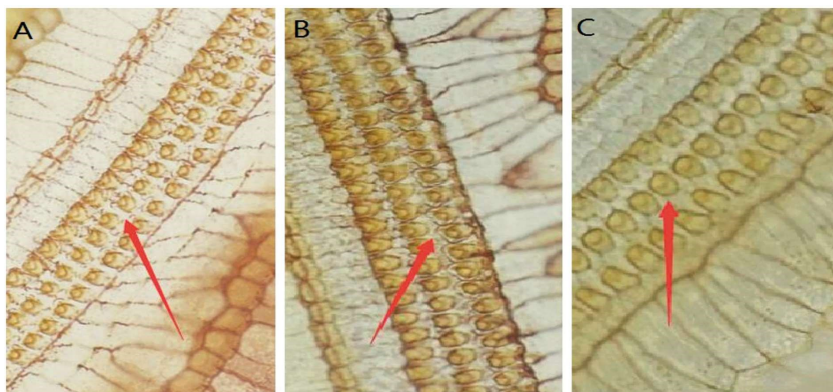
图 1 耳蜗听毛细胞形态学比较:如箭头所示,各组毛细胞均边界清楚,排列整齐,无明显细胞水肿,三组间无明显差异(放大倍数 400 $\times$)

Fig.1 Comparison of hair cell morphology in the cochlear (A, group A; B, group B, and C is group C). As showed by the arrow, each slice had a clear cell margin and neat cell arrangement without edema. There was no significant difference among the three groups (magnified 400)

2.5 听毛细胞计数

在 Olympus 光镜 400 倍视野下, 各组听毛细胞排列整齐,

均无明显缺失,对图像分析系统所得的缺失率(%)进行比较,组间无明显差异($P>0.05$),具体结果如表 4 所示。

表 4 噪声暴露 8 周后各组大鼠耳蜗外毛细胞的缺失率($\bar{x} \pm s$)Table 4 Miss rate of hair cell morphology in the cochlear after 8 weeks' exposure to noise in rats($\bar{x} \pm s$)

Groups	A(65 dB SPL)	B(60 dB SPL)	C(control)
Miss Rate	0.71 $\pm$ 0.16	0.64 $\pm$ 0.27	0.67 $\pm$ 0.21

2.6 应激系统

大鼠血清中促肾上腺皮质激素(ACTH)、皮质醇(CORT)组

间比较无明显差异($P>0.05$)(n=16),如表 5。

表 5 噪声暴露 8 周后各组大鼠血清中促肾上腺皮质激素、皮质醇的比较($\bar{x} \pm s$, n=16)Table 5 Comparison of ACTH, CORT in the blood serum among group A, B, C after the noise exposure for 8 weeks ($\bar{x} \pm s$, n=16)

Groups	ACTH(pg/mL)	CORT(ng/mL)
A (65 dB SPL)	1.67 $\pm$ 0.16	436.95 $\pm$ 9.81
B (60 dB SPL)	1.89 $\pm$ 0.19	478.64 $\pm$ 13.32
C (Control)	1.76 $\pm$ 0.23	444.34 $\pm$ 10.22

3 讨论

变压器是城市居民区变流站的主要设备之一,也是变电站噪声的最主要来源^[1,10]。在全球范围内,各大电力研究所都致力于对变压器所产生噪声进行合理性控制,以求最大限度的降低变电站安装受到的各方面阻力,然则近年来针对变压器噪声的环境投诉事件并未减少^[11]。一方面,是由于人们对居住环境的舒适性始终存在着较高要求,尤其是对于夜间的低频噪声忍耐度很低^[12];另一方面,计算声级时常使用的 A 计权网络表征有时并不能真实反映机体对于有些噪声的实际感受,尤其是低频噪声^[13-15]。因此,在电力工作者始终致力于变流站的变压器噪声

降低和优化且取得相当成果的情况下,以变压器噪声为主的输变电工程噪声仍是环保投诉的热点之一。这些投诉通常关注的是噪声之于机体神经生理方面的影响,诸如内分泌、精神情绪状况以及睡眠状况等^[16]。

低频噪声一般是指频率在 10~200 Hz (倍频程) 以内的声音,已被认为是一种特殊的环境噪声问题。低频噪声,频率低、声波长,传播能力相对于中高频噪声更强,不易得到控制,大量研究表明低频噪声影响人们的睡眠、情绪,进而对工作、学习状态产生相不利影响^[17-20]。变电站是城市居民区供电配套系统中的主要噪声源,而变电站噪声主要由站内的变压器运作产生^[8,21]。研究人员^[22]对传入居民室内的变压器噪声进行频谱特性分

析,其结果显示变压器噪声能量的 90 %处于低频范围内。本研究发现,连续暴露于声压级上限 65 dB SPL/60 dB SPL、频谱范围为 100~800 Hz 的变压器噪声下 8 周(10 小时/天)对 SD 大鼠听力无明显影响,未引起 SD 大鼠应激状态。

耳声发射是目前检测噪声性听力异常最为敏感的检测方式,通常可于听力结构性损伤发生前,或者纯音听阈测试尚未发现明显变化时,就表现出明显异常^[23]。本实验中,在噪声暴露的期间内,SD 大鼠的一般状况良好,可正常进食水,活动自如,中耳无感染,各组 SD 大鼠的 DPOAE 均可引出(各频率均为 100%),A、B、C 三组大鼠各频率反应幅值进行组间比较,各组间的差异均无统计学意义。

一般认为 ABR 的 III 波反应阈可以客观地反应听力的状况及有无耳蜗后病变^[24],本实验主要借助 ABR 反应阈值与 DPOAE 的检测结果进行相互验证。本研究结果显示,A、B 组 SD 大鼠噪声暴露前后 ABR 反应阈值并无明显变化,噪声暴露 8 周后两实验组 ABR 反应阈与对照组比较亦无明显差异,表明在声压级上限 65 dB SPL/60 dB SPL、频谱范围为 100~800 Hz 的变压器噪声暴露 8 周下,实验组动物听阈未发生明显变化,这一结果与 DPOAE 的测试结果相符。

本研究中,不同强度变压器噪声中暴露 8 周后各组 SD 大鼠耳蜗基底膜三层外毛细胞排列整齐,分离度好,未见明显细胞水肿、溶解等,静纤毛形态基本正常,未见明显倒伏、断裂、融合等状况,各实验组耳蜗基底膜三层外毛细胞缺失率与对照组比较差异也无统计学意义,说明在本实验变压器噪声暴露下,各实验动物耳蜗基底膜外毛细胞未发生可测的结构性损伤。

根据以上我们可以认为连续暴露于声压级上限 65 dB SPL/60 dB SPL、频谱范围为 100~800 Hz 的变压器噪声下 8 周(10 小时/天)对 SD 大鼠听力无明显影响。然而,外界刺激是否可引发机体发生变化取决于刺激的作用时间与作用强度两大因素,当作用时间或作用强度未达到阈值时,机体不会表现出可测的功能上或结构上的变化,即本试验所给予的噪声刺激或许未造成可检测到的听力学指标上变化,但并不能说明该噪声未对实验动物产生影响。相关文献表明,噪声及光照是实验动物管理与饲养过程中非常关注的外界因素,实验动物学认为,相对于听力学上发生变化,噪声更早也更容易引起机体应激反应^[25]。由此,我们可以通过进一步检测实验动物血清中 ACTH、CORT 含量的变化,以说明该噪声在未造成听力损害的情况下是否引发实验动物的应激状态。我们发现连续暴露于声压级上限 65 dB SPL/60 dB SPL、频谱范围为 100~800 Hz 的变压器噪声下 8 周(10 小时/天),实验动物血清中的 ACTH、CORT 含量与对照组相比较以及两实验组之间进行比较,差异均无统计学意义,表明该时长的该变压器噪声暴露未影响实验大鼠血清相关生化指标,即未引起实验大鼠出现明显应激反应。

综上,我们证实连续暴露于声压级上限 65 dB SPL/60 dB SPL、频谱范围为 100~800 Hz 的变压器噪声下 8 周(10 小时/天)对 SD 大鼠听力无明显影响,同时也未引发 SD 大鼠应激状态。本研究及前期豚鼠实验结果证明,正常运作的变压器所产生的噪声,即符合现行变压器噪声环境限制标准的噪声下连续暴露 8 周,不会影响啮齿类实验动物的正常生理效应,在动物实验角度上检验了现行的变电站噪声环境限制标准的合理性,

在一定程度上消除了居民在输变电工程安装过程中对于变电站深入居住区的抵触心理,也同时回答了在类似低强度环境噪声暴露下是否对机体生理效应产生影响这一问题。然则鉴于动物实验的局限性,作为人类在该时长该强度的变压器噪声下是否会发生相关生理效应变化,有待今后进一步探究说明。

参考文献(References)

- [1] 周贤土. 中小型变压器噪声[J]. 变压器, 2006, 43(11): 44-60
Zhou Xian-tu. Noise of Distribution Transformer [J]. TRANSFORMER, 2006, 43(11): 44-60
- [2] 王勇, 嵇正毓. 变压器噪声对居民室内噪声影响分析和控制 [J]. 环境监控与预警, 2009, 1(2): 44-45
Wang Yong, Ji Zheng-Yu. Impact of Transformer Noise on Indoor Residential Environment and Control Techniques [J]. Environmental Monitoring & Forewarning, 2009, 1(2): 44-45
- [3] Campen L E V, Murphy W J, Franks J R, et al. Oxidative DNA damage is associated with intense noise exposure in the rat [J]. Hearing Research, 2002, 164(1-2): 29-38
- [4] Coppola C L, Enns R M, Grandin T. Noise in the animal shelter environment: building design and the effects of daily noise exposure [J]. Journal of Applied Animal Welfare Science Jaaws, 2006, 9(1): 1-7
- [5] Terao A, Matsumura H, Satoh S, et al. Noise Induces Oxidative Stress in Rat[J]. European Journal of General Medicine, 2009, 6(1): 20-24
- [6] Kraus K S, Mitra S, Jimenez Z, et al. Noise trauma impairs neurogenesis in the rat hippocampus [J]. Neuroscience, 2010, 167(4): 1216-1226
- [7] Di G, Zhou B, Lin Q. Aircraft Noise Exposure Affects Rat Behavior and Serum Neurotransmitter Expression [J]. Noise Control Engineering Journal, 2010: 1-4
- [8] 张光伟, 易星, 肖伯奎, 等. 变压器噪声暴露对豚鼠旷场行为及听功能的影响[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2016, 24(1): 49-53
Zhang Guang-wei, Yi Xing, Xiao Bo-kui, et al. The Effects of Transformer Noise on the Behavior and Auditory Function in Guinea Pigs [J]. Journal of Audiology and Speech Pathology, 2016, 24(1): 49-53
- [9] 易星, 邹游, 戴梦源, 等. 变压器噪声暴露对豚鼠应激、肝肾及免疫功能的影响[J]. 现代生物医学进展, 2015, 15(34): 6610-6613
Yi Xing, Zou You, Dai Meng-yuan, et al. Effects of Transformer Noise on Stress, Hepato-renal Function and Immune Function in Guinea Pigs [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2015, 15(34): 6610-6613
- [10] Di G Q, Zhou X X, Chen X W. Annoyance response to low frequency noise with tonal components: A case study on transformer noise[J]. Applied Acoustics, 2015, 91: 40-46
- [11] Teoh C, Soh K, Zhou R, et al. Active noise control of transformer noise [C]// International Conference on Energy Management and Power Delivery, 1998. Proceedings of Empd. IEEE, 1998: 747-753
- [12] 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 Sciences, 2003, 72(8): 863-875
- [13] Leventhall H G. Low frequency noise and annoyance [J]. Noise & Health, 2004, 6(23): 59-72
- [14] Kjellberg A, Tesarz M, Holmberg K, et al. Evaluation of frequency-

- weighted sound level measurements for prediction of low-frequency noise annoyance[J]. Environment International, 1997, 23(4): 519-527
- [15] Holmberg K, Landström U, Kjellberg A. Low frequency noise level variations and annoyance in working environments[J]. Journal of Low Frequency Noise Vibration & Active Control, 1997, 16(2): 81-87
- [16] Muzet A. Environmental noise, sleep and health [J]. Sleep Medicine Reviews, 2007, 11(2): 135-142
- [17] Smith M G, Croy L, Ogren M, et al. On the Influence of Freight Trains on Humans: A Laboratory Investigation of the Impact of Nocturnal Low Frequency Vibration and Noise on Sleep and Heart Rate[J]. Plos One, 2013, 8(2): e55829
- [18] Alimohammadi L, Sandrock S, Gohari M R. The effects of low frequency noise on mental performance and annoyance [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(8): 7043-7051
- [19] Bolin K, Bluhm G, Eriksson G, et al. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects [J]. Environmental Research Letters, 2011, 6(3): 329-346
- [20] Stansfeld S, Haines M, Brown B. Noise and health in the urban environment [J]. Reviews on Environmental Health, 2000, 15(1-2): 43-82
- [21] Moses A J. Measurement of magnetostriction and vibration with regard to transformer noise [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1974, MA10(2): 154-156
- [22] 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
Yu Peng, Di Guo-qing, Huang Yi-fan, et al. The analysis of noise frequency characters of facilities in urban residential area [J]. China Environmental Science, 2006, 26(4): 491-495
- [23] Bao J, Hanson T, Mcmillan G P, et al. Assessment of DPOAE test-retest difference curves via hierarchical Gaussian processes [J]. Biometrics, 2016
- [24] 刘志勇, 卜行宽, 邢光前, 等. 新生儿听力普遍筛查模式的初步探讨[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2001, 36(4): 292-294
Liu Zhi-yong, Bu Xing-kuan, Xing Guang-qian, et al. A preliminary study of a hearing screening model for newborn[J]. Chinese Journal of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, 2001, 36(4): 292-294
- [25] 赵晓雨, 刘淑红, 赵彤, 等. 强噪声对豚鼠认知功能和血清某些生化指标的影响[J]. 中国应用生理学杂志, 2016, 32(5): 385-389
Zhao Xiao-yu, Liu Shu-hong, Zhao Tong, et al. Effects of strong noise on cognitive function and some biochemical indexes in serum of guinea pigs [J]. Chinese Journal of Applied Physiology, 2016, 32(5): 385-389

(上接第 3835 页)

- [18] Guo CS, Xiao R, Bai YF. Effects of adiponectin on the cardiomyocyte apoptosis in rats induced by ischemia and reperfusion and the expression of the related protein[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2012, 28(7): 930-933
- [19] Qiu JX, He YQ, Wang Y, et al. Plumbagin induces the apoptosis of human tongue carcinoma cells through the mitochondria-mediated pathway[J]. Med Sci Monit Basic Res, 2013, 19: 228-236
- [20] 史兆章, 阙晓, 曾兆清. 去甲斑蝥酸钠对人肝癌 HepG2 细胞增殖的影响[J]. 山东医药, 2011, 50: 40-41
Shi Zhao-zhang, Kan Xiao, Zeng Zhao-qing. Sodium norcantharidin effect on cell proliferation of human hepatocellular carcinoma HepG2 [J]. Shandong medicine, 2011, 50: 40-41
- [21] 徐晓莉, 王钦, 罗佳. 去甲斑蝥酸钠对人胃癌 SGC-7901 细胞增殖的影响[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(5): 2074-2075
Xu Xiao-li, Wang Qin, Luo Jia. Effects of norcantharidin on proliferation of human gastric cancer cell line SGC-7901 [J]. China Journal of Gerontology, 2016, 36(5): 2074-2075
- [22] 李玉光, 吴纪珍, 刘红梅, 等. 去甲斑蝥酸钠注射液对非小细胞肺癌患者免疫功能的影响 [J]. 中国老年学杂志, 2015, 35(3): 1538-1540
Li Yu-guang, Wu Ji-zhen, Liu Hong-mei, et al. The Sodium norcantharidin injection effect on the immune function of patients with non-small cell lung cancer [J]. China Journal of Gerontology, 2015, 35(3): 1538-1540
- [23] 张恒, 李晓飞, 陈祥盛. 斑蝥素、斑蝥素酸钾、及斑蝥素酸钠作用胃癌细胞的研究[J]. 山地农业生物学报, 2011, 30(1): 52-55
Zhang Heng, Li Xiao-fei, Chen Xiang-sheng. Study of cantharidin and norcantharidin acid potassium, and cantharidin sodium gastric cancer cells [J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2011, 30(1): 52-55