

生产性噪声对工作人员脑认知影响的 ERP 分析

戚作秋, 王 宏, 常文文, 王翘秀
(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 为工业企业听力保护计划制定、人机工程学设计及劳动者烦恼度缓解等提供客观的生理依据, 分析了生产性噪声对工作人员脑认知的影响. 采集自愿者在 90 dB(A) 的稳态机械性噪声刺激以及安静状态下的脑电信号, 建立事件相关脑电位 ERP 中 N1(N100) 波的幅值脑地形图及 P2(P200) 波幅值的脑地形图, 对 ERP 信号进行时频分析. 结果表明噪声刺激与静音状态相比, ERP 在 N1 波的幅值明显减少, 而在 P2 波幅值变化呈相反趋势明显增加. 噪声刺激下被试额区导联的 N1 幅值显著减小, P2 幅值显著增加, 表明高声压级生产性噪声导致被试烦躁、注意力分散, 并干扰了认知能力.

关 键 词: 生产性噪声; EEG; ERP; N100; P200; 认知; 人机工程; 脑地形图

中图分类号: R 318 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)11-1590-06

Analysis for the Influence of Industrial Noise on Brain Cognition of Workers

QI Zuo-qiu, WANG Hong, CHANG Wen-wen, WANG Qiao-xiu
(School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China.
Corresponding author: WANG Hong, professor, E-mail: hgwang@mail.neu.edu.cn)

Abstract: The influence on brain of subjects from industrial noise is analyzed to provide objective physiological basis for the hearing protection planning, annoyance ease and ergonomic design in the industrial enterprises. EEG signals are recorded using 32-electrode-device from 10 college students under the condition of industrial noise and quiet. The signal data was preprocessed by SCAN software, including removing eye electricity, wake, filtering, segmented merger etc. The ERP for 500ms were analyzed and the N1 (N100) and P2 (P200) amplitude value of brain topographic map were mapped. The analysis results of ERP shows that amplitude of N1 decreased significantly while the amplitude of P2 raised distinctly on the contrary. High SPL industrial noise can lead to attention distraction, annoyance, emotional tension, and interference of cognitive ability.

Key words: industry noise; EEG; ERP; N100; P200; cognition; man-machine engineering; brain topographic map

噪声是指环境中所产生的不需要的、使人厌烦的声音. 噪声被认为是一种“感觉公害”, 它是由感觉来决定的. 噪声的种类很多, 按产生的来源不同可分为: 工业噪声、建筑噪声、交通噪声、社会生活噪声及自然界噪声等. 工业噪声对劳动者的危害最大, 工业企业随着生产规模的扩大, 机械化程度的提高, 产生的噪声也越来越大. 我国劳动保护部门在对国内钢铁、石油化工、机械、建材、电

子、纺织、铁路交通、印刷、食品、造纸等行业进行噪声声压级调查和测试后得出工业企业车间噪声大多在 75 ~ 102 dB(A) 之间, 还有少量车间或设备噪声高达 110 ~ 130 dB(A), 这 10 大行业车间噪声声级范围大部分都超过了我国的《工业企业噪声控制设计规范》(GB/T50087—2013) 及《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分 物理因素》(GBZ2.2—2007) 要求的 85 dB(A), 工业噪

声大部分属于高声压级的噪声,不仅影响听觉系统,过高噪声可导致永久性听阈位移,甚至导致噪声性耳聋,而且也能使人感到厌烦,导致精神压力增加,影响认知行为及工作效率等,甚至可能由于认知能力的下降(如注意力分散、反应迟钝等)导致安全生产事故的发生,造成严重的人身伤亡和财产损失^[1-3]. 因此,有必要针对生产性噪声的特点,采取科学的手段,分析生产性噪声对劳动者大脑的影响,提出有针对性的控制措施或保护计划等.

伴随着工业的蓬勃发展和劳动保护科学的发展,工业噪声对劳动者的危害也越来越引起重视. 噪声对劳动者的影响或危害程度不仅与噪声类型、强度、频率、接触时间等有关,还与人的主观感受有关,较为复杂. 关于噪声对人体健康的影响,如,对听觉系统、消化系统、神经系统、心血管系统等方面,国外的研究始于 20 世纪 60 年代,比我国的研究相对早些. 目前,对听觉损伤的评价主要采用等效 A 声级,而噪声对大脑功能的影响研究目前尚不成熟,噪声对劳动者认知行为、工作效率、烦恼度等的影响研究较少或仅限于主观评价上,缺少客观的方法. 噪声对人体的影响是一项跨领域的研究,利用生理指标来评价噪声对人体的影响能做到客观准确、采集方便等,是一种比较有前景的研究噪声影响的方法. 而脑电 (electroencephalogram, EEG) 因其较高的时间分辨率和精度,以及良好的理论基础,比较适合承担评价噪声效应的任务^[4]. 事件相关电位 (event-related potentials, ERP) 是一种特殊的脑诱发电位,通过有意地给刺激赋予特殊的心理意义,来反映认知过程中大脑的神经电生理的变化,也被称为认知电位^[5]. 有关噪声对大脑认知的影响研究很多,这些研究说明噪声确实能够影响大脑,而不论是 EEG 或是 ERP 都能够为大脑的认知研究提供科学的工具^[6]. 因此,本文主要基于脑电信号分析理论,采用了目前较为前沿的 ERP 分析技术,从客观上,探索生产性噪声对大脑系统的影响,为评价噪声对劳动者的影响提供客观的生理性依据,为工厂制定听力保护计划和人机工效学设计提供科学的手段和支持.

1 材料和方法

1.1 材料设备

1) 声源选择. 生产性噪声源取自某热电厂球磨机,现场通过录音设备录制,声音通过音响设备

调节,通过声级计确定声压级. 该球磨机噪声属于稳态噪声,现场测试实际声压级:测试点距离球磨机约 1.5 m 处,为 99.7 ~ 100.8 dB(A),3 m 处为 90 dB(A) 左右,工人为巡检方式作业,每次接触时间约 10 s,球磨机现场照片、原始信号时域及对其进行傅里叶变换获得的频谱如图 1 所示. 根据对该声源声压级的检测以及时域和频域分析可知,该球磨机的噪声属于机械性、稳态、中低频噪声,而工业企业的大部分噪声均属于此类噪声,具有代表性.

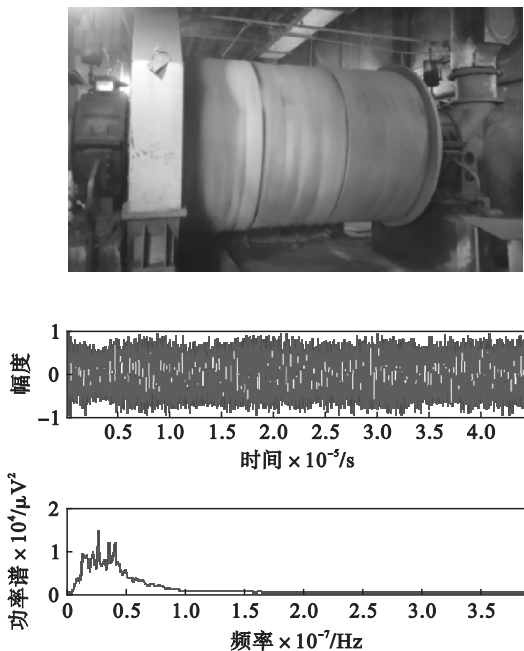


图 1 噪声源及时频分析图

Fig. 1 Figure of the noise source and the time/frequency spectrum

2) 被试选择. 本文的被试选择 10 名自愿者,男性,右利手,年龄 (29 ± 2.1) 周岁,经临床检查无神经系统疾病,临床脑电图均正常,无听觉系统疾病,听力正常. 被试均为自愿参加本次实验,被试在实验前已被告知实验内容及实验目的,实验前得到充分休息,实验在 9:00 ~ 11:00, 14:00 ~ 16:00 进行.

3) 实验仪器. 本次实验脑电信号的采集、预处理以及刺激序列的编排等均采用 NeuroScan 脑电仪,该实验平台包括:刺激系统 (STIM2)、电极帽、脑电同步放大器 (NuAmps) 和脑电同步接收系统 (SCAN4.5). 声源的播放采用 SPA2340 型有源音箱;声压级的测量采用 ASV5910 声计量仪,声音的校准采用 AWA6221B 型声校准器;同时为保证环境条件的适宜,采用了 CENTER310RS - 232 型温湿度计对作业环境进行监测.

1.2 实验过程

实验前,将噪声刺激序列通过 STIM2 软件输入实验系统.通过音响设备将噪声的声压级调节至 90 dB(A),声压级通过声级计在被试耳部位置测试.被试佩戴好电极帽后,由实验员注射导电液,待所有导联导电良好后,由 STIM2 刺激系统产生噪声刺激序列,EEG 信号通过电极帽和 NuAmps 同步放大器转换为数字信号,存储至装有 SCAN4.5 脑电同步系统的 PC 机上,获得的脑电原始信号,利用 SCAN4.5 对 EEG 信号做初步的预处理.具体过程如图 2 所示.

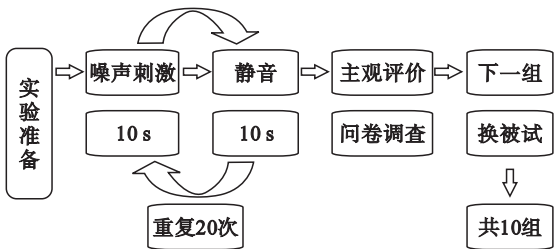


图 2 实验过程示意图
Fig. 2 Diagram for experimental process

1.3 实验记录

本次实验使用 32 导电极帽,遵循 10-20 导联系统国际标准,将电极定位在 Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, F8, F7, FT7, FC3, FCz, FC4, FT8, T8, C3, Cz, C4, T8, TP7, CP3, CPz, CP4, TP8, P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz, O2. 参考电极安放在左边乳突处.同时,记录左右眼的水平和垂直眼电 (HEOG, VEOG),如图 3 所示.用 NeuroScan 公司生产的放大器采集脑电信号,采样率为 1 000 Hz,电极阻抗保持在 5 kΩ 以下.

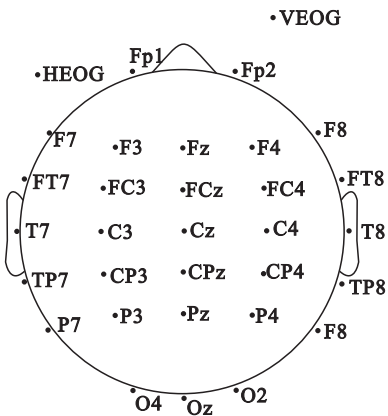


图 3 32 导电极帽示意图
Fig. 3 Schematic diagram of the conductive cap with 32 electrodes

1.4 方法

1.4.1 数据预处理

实验结束后,在 NeuroScan 软件进行合并眼电信号、DC 校正、去除眼电.利用 SCAN 软件实现事件分段、基线校正、伪迹去除、叠加平均、数字滤波(带宽 0.5~40 Hz)等离线数据预处理.同时对实验中出现的坏电极和脑电信号偏移比较严重的电极进行标记.拒绝 EEG 波形中漂移和噪声较大的部分,之后对 EEG 波形按照不同的刺激类型进行分段,分段间隔为刺激出现时刻的 0 ms 到刺激后 500 ms,即每一段能够得到 500 个采样点,之后完成对所有不同类型分段数据的总平均.

1.4.2 事件相关电位分析

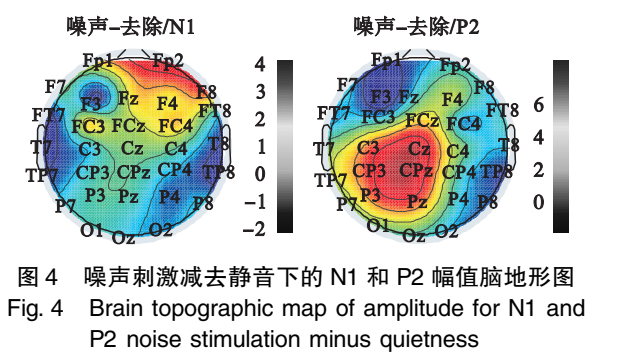
事件相关电位(ERP)是一种特殊的脑诱发电位.通常,ERP 的振幅很小,比 EEG 的自发电位小得多,常被淹没在 EEG 中.但是 ERP 有两个恒定参数,一个是波形恒定,一个是潜伏期恒定.利用这两个参数,可以通过叠加平均的算法来增加信号的信噪比,从而将 EEG 中的 ERP 提取出来^[5].20 世纪 60 年代,Sutton 提出了事件相关电位的概念,通过平均叠加技术从头颅表面记录大脑诱发电位来反映认知过程中大脑的神经电生理改变,因为事件相关电位与认知过程有密切关系,故被认为是“窥视”心理活动的“窗口”.ERP 按照潜伏期分为 N1 (N100), P1 (P100), N2 (N200), P2 (P200), P3 (P300)等^[5],生产性噪声对脑电信号的 ERP 分析较少,研究主要集中在对脑电功率谱的影响上^[7],本文采用了 ERP 分析技术,对各导联的 500 ms 内的 ERP 进行时域分析,分析了生产性噪声对人脑的 ERP 信号影响规律.

2 结 果

图 4 为噪声刺激和静音状态下的 N1 和 P2 波的幅值差地形图,其中左图为 N1,右图为 P2,从左图中可以直观看出,噪声刺激对 ERP 的 N1 波幅值影响最大的脑区主要集中在右前额区的 Fp1, Fp2, F8 等导联处;从右图中可以直观地看出,噪声刺激对 ERP 的 P2 波幅值影响最大的脑区主要集中在左顶颞部脑区的 Cz, CPz, Pz, C3, CP3, P3 等导联处.

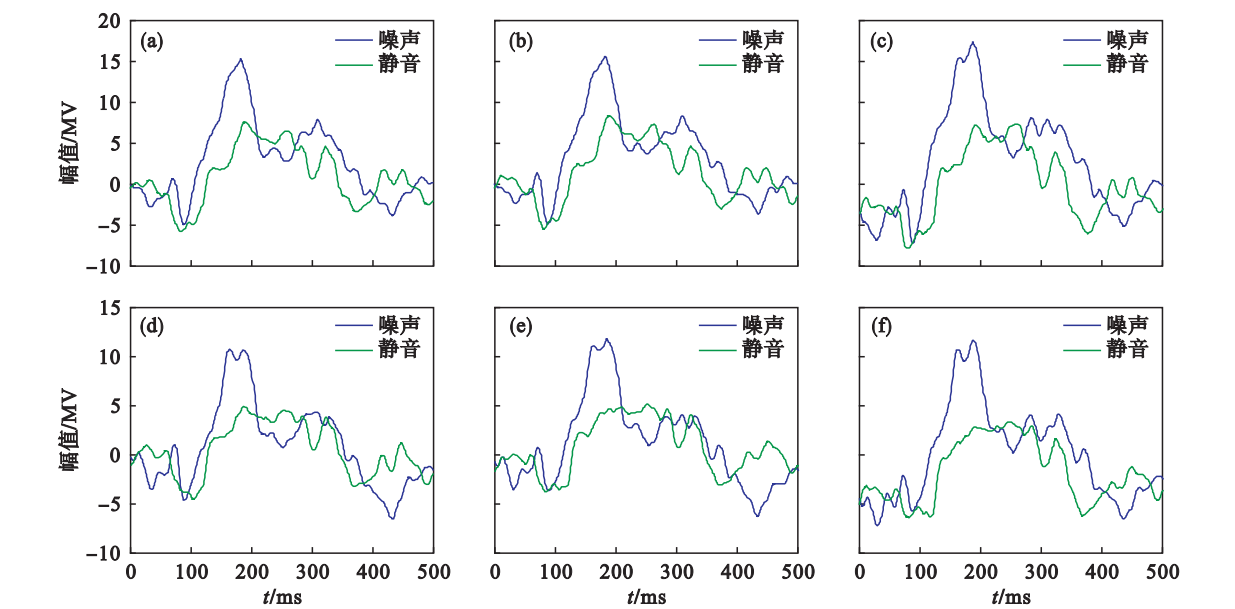
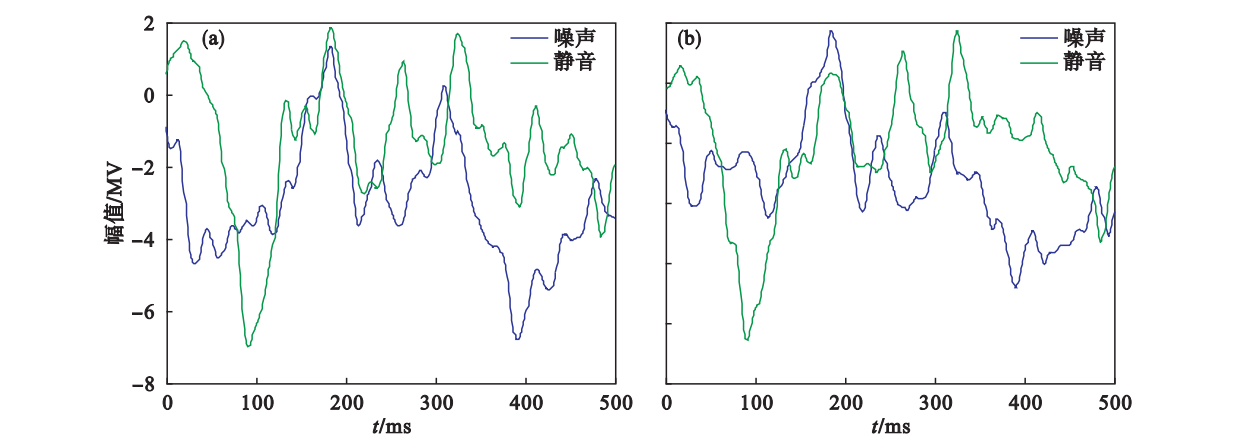
图 5 显示了 Fp1, Fp2 两个导联的 ERP 图,从图中可以直观、明显地看到噪声刺激下的 N1 幅值明显地较噪声去除状态下减小.

图 6 显示了 Cz, CPz, Pz, C3, CP3, P3 6 个导联处的 ERP 信号图,从图中可以直观地看到噪声



刺激下的 P2 波幅值明显增加。

图 7 分别显示了噪声刺激和噪声去除状态下的 N1 和 P2 的幅值分布脑地形图。图中可以直观地看出 N1 的幅值绝对值在噪声刺激时和噪声去除状态下均在额区和顶部脑区最大，而在颞部和枕部脑区较小，且 N1 幅值在噪声状态下相对较小。P2 的幅值在噪声刺激时和噪声去除状态下均在顶部脑区最大，而在额部脑区较小，且 P2 幅值在噪声状态下相对较大。



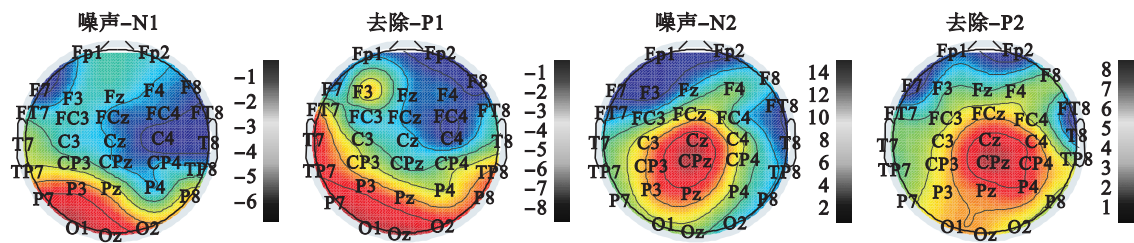


图 7 噪声刺激和静音状态下的 N1 和 P2 的幅值分布脑地形图
Fig. 7 Brain topographic map of amplitude for N1 and P2 noise stimulation and quietness

3 讨 论

根据噪声刺激和噪声去除状态下各导联时域 ERP 信号分析结果可知,高声压级生产性噪声刺激对被试各导联的 N1 和(或)P2 的幅值均有影响.高声压级的生产性噪声刺激导致被试大部分脑区的 N1 幅值减小,P2 幅值增加,且在额区和顶部脑区最为明显,且在大脑的额区脑区电极(Fp1,Fp2)对 N1 的影响最为明显,在额区电极噪声刺激对 N1 和 P2 的影响正好相反,即高声压级生产性噪声刺激减少了 N1 的幅值,增加了 P2 的幅值,在顶部脑区电极(Cz,CPz,Pz,C3,CP3,P3)对 P2 的影响最为明显.这些说明了噪声刺激对被试 ERP 产生了影响.

研究表明,噪声达到 90 ~ 110 dB 时被称为强噪声,会使人们感到强烈不适,生产性噪声刺激对被试 ERP 的影响分析较少,一些相关的研究都与本文有相同的结果.例如,Weisz 等^[8]的研究发现,当被试做视觉选择性注意实验背景音为无关人声时,被试受到干扰,N1 成分幅值较安静环境下显著减少.Takahashi 等^[9]的研究也表明 fMRI 的噪声在听觉认知实验中会造成 N1 幅值降低.大量文章表示 ERP 的早期成分 N1 的幅值可以反映注意力的变化^[10].Hillyard 等^[11]指出当注意力集中时,会导致 N1 幅值增加,而当注意力分散时,N1 幅值会减少.Poikonen 等^[12]研究表明,被试在听音乐期间,N1 幅值减小,而 P2 幅值增加,说明了注意力分散时 N1 幅值减小,P2 幅值增加.研究表明,P2 成分被认为个体开始注意到刺激.当个体的注意力分散时 P2 的成分比较大,从本文的结果中也说明了噪声刺激导致了注意力分散,P2 增加.Gebber 等^[13]研究表明噪声引起脑电图波形异常.

本文在每次实验结束后,立即对被试进行问卷调查.问卷调查的内容主要为烦恼度(不烦恼、烦恼、很烦恼)和注意力(无影响、受干扰、强烈干

扰),问卷调查结果显示:在实验噪声(90 dB(A))刺激下,被试均感觉到很烦恼、在噪声刺激开始的几个时段最为严重,后续几个时段有所适应.在实验噪声(90 dB(A))刺激下,均表示无法进行其他方面的想象,注意力完全被干扰.说明了噪声导致了注意力分散,干扰了大脑的认知行为.结合 ERP 分析,N1 幅值减小,P2 幅值增加,这些变化均表明了被试注意力分散,认知行为被干扰.

4 结 语

通过 ERP 分析,结合主观问卷调查可知:高声压级的生产性噪声刺激对 N1 和 P2 波的幅值均产生了影响,导致被试大部分脑区的 N1 波幅值减小,P2 波幅值增加,且在额区和顶部脑区最为明显,高声压级的生产性噪声刺激导致被试额部脑区 N1 幅值显著地减小,而在顶部脑区 P2 幅值显著地增加,结合主观问卷调查分析,表明高声压级的生产性噪声导致被试很烦躁,注意力分散,并干扰了大脑的认知行为.因此,有必要采取措施消除或降低高生产性噪声的产生,这不仅有利于劳动者听力保护,而且能够减少劳动者的烦躁情绪、避免劳动者注意力分散而导致安全生产事故发生,具有重要意义.

参考文献:

[1] Schomer P D. Criteria for assessment of noise annoyance [J]. *Noise Control Engineering Journal*, 2005, 53 (4): 125 ~ 137.
[2] Polyvios C E. Industrial noise and its effect on human hearing [J]. *Applied Acoustics*, 2002, 63 (1): 35 ~ 42.
[3] Toppila E, Pyykko I, Paakkonen R. Evaluation of the increased accident risk from workplace noise [J]. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2009, 15 (2): 155 ~ 162.
[4] Lin Y, Liu B, Liu Z, et al. EEG gamma-band activity during audiovisual speech comprehension in different noise environments. [J]. *Cognitive Neurodynamics*, 2015, 9 (4): 389 ~ 398.