

噪声作用下的人脸面部情绪表情研究

闫靓¹, 周卉婷¹, 李争光²

(1.西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072; 2.浙江科技学院 建筑系, 浙江 杭州 310023)

摘 要:噪声使人烦恼。面部表情能够即时、客观地显现情绪状态。尝试以人在聆听噪声时面部表情特征的变化表征噪声的烦恼度,以期消除传统主观评价方法的诸多弊端。借助听音实验,采集了 30 位不同国籍听音者在聆听不同类型噪声时的面部视频、生理信号和个人烦恼度;对听音者面部关键动作单元(action units, AUs)进行提取、识别与分析,确定了听音者因噪声而烦恼时面部情绪表情的 AUs 组合表达;创设了融合(灰)色相明度变化的烦恼度评价量表,经网络调查验证有效。研究证实:以听音者面部(烦恼)情绪表情的特征变化客观评价噪声烦恼度是可行的;融入具象化元素的烦恼度评价量表能够有效避免理解偏差,提高评价效率。

关 键 词:噪声烦恼度;复杂情绪;表情;面部情绪表情;人脸识别

中图分类号:B845.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2758(2023)04-0654-07

烦恼是一种消极的复杂情绪^[1]。噪声烦恼度(简称:“烦恼度”)包含人对噪声的体验、态度和行为,反映了人对噪声的情绪认知^[2]。一直以来,学界多以基于调查或实验的主观方法测量烦恼度^[3-4],其本质上属于心理学中的“内省法”^[5]。虽然人类有能力借助语言自述情绪状态,但因“内省法”存在固有缺陷(如回想准确度低、潜在心理活动无法内省、意识到的心理活动未必能尽数精准报告以及存在不愿报告或虚假报告的情况),相关结果常受质疑(如客观性差、难再现、无法检验等等)^[6]。此外,噪声自身属性(令人讨厌的、不需要的声音)^[7]引发的负性情感定向作用(消极晕轮效应)会导致评价结果偏差^[4]。加之人类反应的个体差异性、时变性以及情感成分和交感神经系统活动的调节机制等,都使烦恼度的评价与预测深奥莫测,举步维艰。

了解、认识和评价噪声引发的情绪效应,对实现精准高效的噪声控制至关重要。从噪声刺激下的生理唤醒开始,听音者对声环境的需求和愿望在其感受噪声的过程中经自我比较,形成自我体验,最终显现为可观察的行为(或表情,如面部表情、姿态表情

和语调表情)。表情是情绪的外部表现,也是最有效的情绪显示器^[8]。面部表情是最自然的情感表达方式之一^[9],能够实现非侵入方式下的即时观测,具有可靠指示哺乳动物(包括人类)情绪体验的潜力。这种潜力不仅具有物种间的普遍性和特异性,还能适应个体差异。面部肌肉丰富细微的变化能够以“刺激-反应联结”(stimulus-response [S-R] connection)的形式表征情境中的刺激与个体情绪状态(类型/程度)之间的关系。不仅如此,人类观察者与生俱来的观察偏见使其总会将注意力集中于被观察对象的面部区域^[10]。这种“精准定位”的能力对实现高效的情绪识别和正确的心理评估十分有利^[11]。在噪声烦恼度研究中,如能将主观的情绪评估与客观的面部肌肉运动测量相结合,定会在最大程度上实现烦恼度的准确评价性^[12]。

于是,提出 2 点设想:①是否存在一种典型的面部表情与噪声引发的烦恼情绪相互对应;②当听音者出现“烦恼”情绪时,其面部肌肉的运动模式是否与噪声特性密切相关。若上述 2 种假设均成立,即可实现以客观的面部肌肉运动度量不同类型噪声作用下的听音者烦恼度,突破现阶段研究方法的圈囿,

创新噪声烦恼度评价体系与评估方法。

为此,本文主要开展了以下工作:设计并完成噪声作用下的听音者面部表情与生理信号采集实验,获得 10 种类型噪声作用下、30 位不同国籍听音者的面部视频影像(时长总计 9 360 s)、生理数据(心率值)与自报告烦恼度。随后,参考面部动作编码系统(facial action coding system,FACS)确定了噪声作用下听音者烦恼情绪的 AUs 组合表达。同时,创设了集视觉情感符号(emoji 表情符号)、明度变化的单色相(灰色)尺度与传统言语尺度和数字尺度于一体的烦恼度(五级)量表,依托自主开发的移动端应用程序^[13](凡响[®],Awesound[®])借助大规模网络调查对相关技术方法的有效性进行了验证。

1 融合听音者面部表情采集的噪声烦恼度评价实验

1.1 实验准备

1.1.1 声音的选取

目前,对噪声的分类方法主要有:按物理特性分类、按机能意义分类、按感觉特征分类、按情感色彩分类^[14]。通过对现有国家标准中噪声分类方法与各类噪声定义的全面搜集、整理与总结归纳,本文将噪声的物理特性与机能意义结合,综合声音的时、频域特征与来源,优化现有分类体系并借助网络资源,分类搜集了 368 段音频文件。从中选取了 10 段极具代表性且囊括噪声分类体系中所有类别标签的声音(经裁剪后时长均为 30 s)作为诱发听音者情绪的声刺激物(即声样本),见表 1。实验过程中,听音者聆听噪声的总时长为 300 s,最大等效连续 A 声级

表 1 各声样本参数及分类

编号	等效连续 A 声级 $L_{Aeq}/\text{dB(A)}$	来源	时域	频域
1	75.96	自然	非稳态	窄带
2	76.55	建筑施工	非稳态	窄带
3	63.65	工业厂界	稳态	宽带
4	76.90	交通	非稳态	窄带
5	71.52	建筑施工	非稳态	窄带
6	70.40	自然	非稳态	宽带
7	76.85	社会生活	稳态	窄带
8	70.08	自然	稳态	宽带
9	67.45	社会生活	非稳态	窄带
10	74.59	交通	稳态	宽带

不大于 97 dB(A),符合 GBZ/T 189.8-2007《工作场所物理因素测量 第 8 部分:噪声》的要求。

1.1.2 问卷设计

相比文字和数字,色彩和图形会带给人更加直观的认知体验与情绪共鸣^[15]。本研究尝试将色彩融入传统的烦恼度评价(描述词+数字)量表,创新问卷形式。具体做法如下:①调查适于表征“烦恼”情绪的色彩量表:a)探寻刻画烦恼情绪的单色色相;b)在 a)的基础上,构建“以明度变化表示感受程度”的评价量表。②实施在线调查,验证新量表的有效性。调查发现:77.69%的被调查者倾向于以“明度变化的单色相尺度”衡量烦恼情绪的(程度)变化;40.9%的被调查者认为“灰色”能够更好地映射“烦恼”情绪。据此,决定以深浅不同的灰色构建噪声烦恼度评价量表。

1.2 实验实施

1.2.1 实验流程

本研究及相关实验程序由上海精神卫生中心伦理委员会批准(批件号:2021-53),符合 NMPA/GCP 和《赫尔辛基宣言》。实验招募 13~52 岁之间、听力正常的听音者共 30 人(男 17 人,女 13 人;平均年龄 27.5 岁)。其中,中国籍 25 人,外籍 5 人。实验前,所有听音者均签署了实验告知书,明确告知其有权在身体不适时随时暂停或退出实验且本人同意研究者使用其个人肖像。实验中,听音者先佩戴耳机聆听纯音乐(1 min),熟悉环境,平复心情,实验员开启摄像机并记录心率。随后,随机依次播放 10 段声样本(两样本间设置 1 min 静默时间,以便填写问卷),待 10 段声样本全部播放完毕,结束视频录制和心率采集,回收问卷,结束实验(见图 1)。

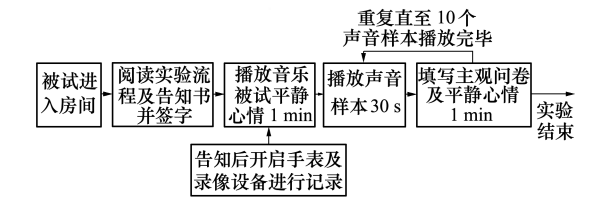


图 1 实验流程图

1.2.2 面部表情采集

将烦恼度研究中惯用的听音实验与心理学研究中的行为观察相结合,在听音者完成听音评价任务的同时录制其听音过程中的面部表情变化。

参考中国情绪图片系统^[16]制作方法,以 SNOY EX280 摄像机录制听音者在整个听音过程中的面部

表情。摄像机位于听音者正前方 4.5 m 处,镜头高度与其面部持平。听音者座位上方天花板安装 4 盏补光灯(其中 2 盏置于听音者正上方,另外 2 盏分置于听音者左右侧斜上方),以提供高强度的稳定照明(见图 2)。录制视频分辨率 1 920×1 080,帧率 25 frame/s。



图 2 实验现场

听音室(11.2 m×7 m×2.8 m)四周及顶部均铺设吸声材料,本底噪声符合 NC20(《Criteria for Evaluation Room Noise》)^[17]。室内温度 21~30℃,湿度适宜,布局布置参考 GB/T 13868-1992《感官分析:建立感官分析实验室一般导则》。实验中,声样本经 Artemis 软件和双耳耳机均衡器(HEADlab-compatible binaural headphone equalizers labP2)调制后,由动圈式高保真立体声头戴式耳机(SENNHEISER HD600)回放给听音者。

为了验证 Ekman 等人提出的:人在不同情绪状态下会呈现出可观测的生理反应^[18](如愤怒与恐惧时心率提升);实验中使用 HUAWEI-B5 手环同步采集听音者心率(采样频率 1 次/30 s),用以探索听音情绪的产生和变化与心率波动之间的关系。

2 实验结果与分析

2.1 听音者自报告烦恼度分析

定义 3 种参数,分析听音者依据图 1 量表判定并报告的个人烦恼等级(描述词):

1) 平均烦恼度 A_m :首先,依据以下规则对听音者个人判定并报告的烦恼等级进行赋值:“一点也不”(not at all)赋分值“0”,“轻微”(a little)赋分值“1”,“中度”(moderate)赋分值“2”,“非常”(very)赋分值“3”,“极度”(extremely)赋分值“4”;计算(全部听音者对)10 个声样本的个人烦恼度平均值,获得每个声样本的 A_m 。

2) 易感烦恼率 $P_{sensitive}$:某声样本的烦恼等级为“中度及以上(包括“中度”、“非常”或“极其”)”的结果占全部评价数据量的百分比;当 $P_{sensitive} > 50\%$ 时,即可判定该声样本“易致人烦恼”。

3) 烦恼度 A:根据“易感烦恼率”判定:当 $50\% \leq P_{sensitive} < 75\%$,对应声样本的烦恼度为“高”;当 $P_{sensitive} \geq 75\%$,对应声样本的烦恼度为“极高”;此外,声样本的烦恼度为“低”。据此,获得全部声样本的相关评价数据,见表 2。

表 2 声样本烦恼度分析结果

编号	平均烦恼度 A_m	易感烦恼率 $P_{sensitive}/\%$	烦恼度 A
1	0.66	12.50	低
2	2.56	93.80	极高
3	1.84	56.30	高
4	2.31	75.00	极高
5	2.81	90.60	极高
6	1.25	40.60	低
7	2.06	65.60	高
8	1.16	31.26	低
9	1.8	65.64	高
10	2.06	68.76	高

2.2 听音者面部情绪表情分析

在探究与“烦恼”情绪相关的面部表情之前,首先,将人脸面部分为眉部、眼部、鼻部、嘴部及外轮廓。结合 FACS 中对 AUs 的描述,选择眉部:抬起眉毛内角(AU1)、抬起眉毛外角(AU2)、降低眉毛(AU4),眼部:上眼睑上升(AU5)、眼轮匝肌内/外圈收紧(AU6 及 AU7)、眨眼(AU43)、闭眼(AU45),鼻部:皱鼻(AU9),嘴部:拉动人中/嘴唇向上(AU10 及 AU11)、收紧嘴角(AU14)、拉动嘴角向下(AU15)、拉动下唇向下(AU16)、推动下唇向上(AU17)、撅嘴(AU18)、嘴角拉伸(AU20)、抿嘴(AU24)、嘴唇分开(AU25)的运动进行统计及分析。具体分析步骤如下:

1) 首先,对所采集到的 300 段视频进行图像配准,以消除头部偏转导致的无关抖动。采用 dlib 库中训练好的人脸关键点模型进行面部关键点提取,获得人脸轮廓 0~17 号关键点,眉部 18~27 号关键点,鼻部 28~36 号关键点,眼睛 37~48 号关键点,嘴部 49~68 号关键点(见图 3)。

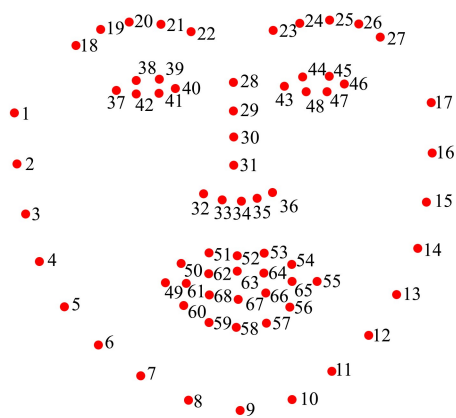


图 3 人脸面部图像处理中的关键点

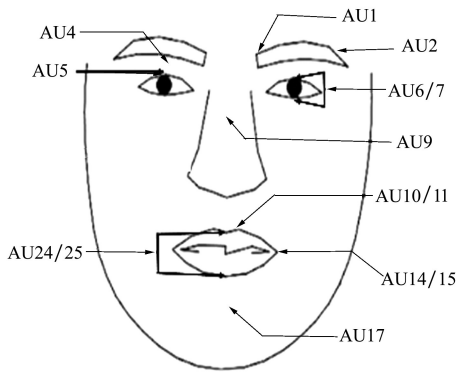


图 4 FACS 中各 AUs 的中心区域

2) 根据既有研究^[19-20]对 AUs 的区域划分(见图 4),确定其中心点与上述 68 个面部关键点间的对应关系,并对关键点的运动趋势进行了人工标注(见第 3 节)。

3) 接着,根据面部关键点的位置变化,辅以人工观察,判定并标注与烦恼情绪密切相关的面部 AUs。

4) 最后,统计每段视频中各 AUs 运动的次数。

3 烦恼情绪面部表情关键特征提取与有效性验证

现有面部情绪分析理论与计算方法均未涉及复杂情绪面部特征的描述与表征。烦恼是一种典型的复杂情绪。为了寻找“易感烦恼”噪声作用下听音者面部情绪表情的显著特征,构建基于 FACS 的烦恼情绪面部 AUs 组合。分析 30 位听音者在聆听“高”与“极高”烦恼度声样本(共 7 个)时的面部影像(时长总计为 6 300 s),具体做法如下:对面部变化区域进行划分并对其中涉及面部 AUs 的关键点进行运动状态变化的时间统计分析,完成关键表情特征的拣选、分类与重组。

表 3 与烦恼相关 AUs 及其中心点与关键点对应关系

AUs 分布 区域及编号		描述	中心位置关键点		运动方向
			左	右	
眉部	1	抬起眉毛内角	21/22	23/24	纵向(上)
	2	抬起眉毛外角	18/19	26/27	纵向
	4	皱眉(降低眉毛)	21/22	23/24	横向(窄)/纵向(下)
眼部	5	上眼睑上升	38/39	44/45	纵向
	6/7	收紧眼轮匝肌内/外圈	37~42	43~48	纵向
	43/45	闭眼/眨眼	38/39	44/45	纵向
鼻部	9	皱鼻	32/36		纵向(上)
嘴部	10/11	拉动上嘴唇/人中向上	51/52/53		纵向(上)
	14/15	收紧嘴角/嘴角向下	49/61	55/65	横向(宽)/纵向
	16/17	拉动下唇向下/上	57/58/59		纵向
	18/20	撅嘴/嘴角拉伸	49/61	55/65	横向
	24/25	嘴唇相互按压/嘴唇分开	51~53/57~59		横向(窄)

研究发现:听音者面部表情可分为习惯性面部表情及情绪引发的面部表情两类。前者为听音者在平静状态及整个听音过程中均出现的面部表情,包含张嘴(AU25),快速眨眼(AU45)等。习惯性面部表情具有显著的个体性差异性。而情绪引发的面部肌肉运动在听音者自报告不同烦恼度时,面部表情呈现明显可分的等级变化(见图5)。可见,利用听音者面部情绪表情的变化模式(即面部肌肉的具体的运动方式和幅度)评价噪声烦恼度是可行的。统计30位听音者在不同ANOYI等级的声样本影响下

各面部AUs的平均运动频次(见图6),发现眉部的AU1、AU2、AU4,眼部的AU6和AU7和嘴部的AU14及AU20随着声样本的ANOYI上升呈现出增长的趋势,由此推测,上述AUs对解释烦恼情绪具有普适性。结合FACS中用AUs对各类基本情绪的描述方法,将烦恼情绪下的面部运动定义为由眉毛内角(AU1)及外角(AU2)、降低眉毛(AU4)、眼眶收紧(AU6和AU7)、收紧嘴角(AU14)和嘴角拉伸(AU20)共同描述。

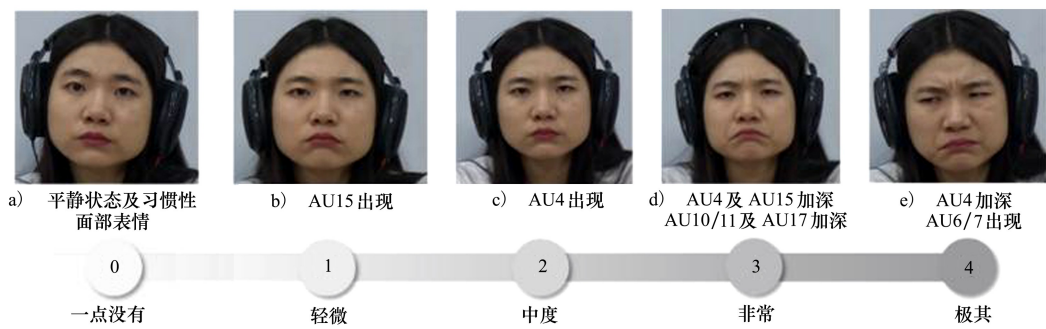


图5 烦恼程度尺度条对应面部情绪表情尺度

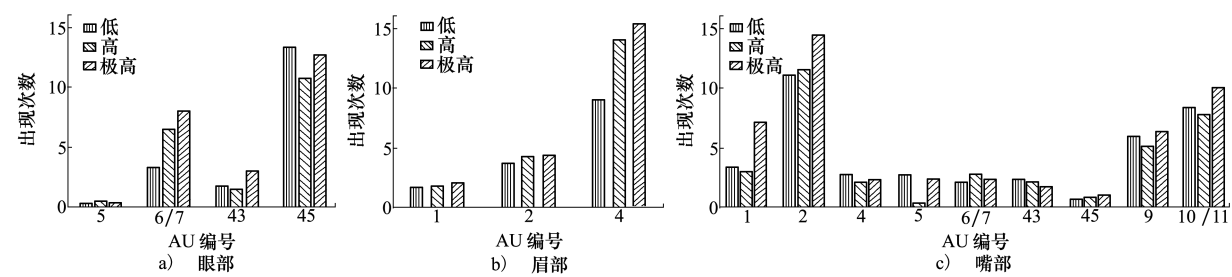


图6 不同ANOYI等级声样本影响下听音者面部AUs运动出现的平均频次

4 结 论

本研究践行了跨领域融合创新,获取了一个分析噪声刺激作用下听音者自然流露的面部情绪表情的数据集。其中,包括了30名听音者在聆听10段具有不同时频特征声样本时的面部视频及其对每段声样本的自报告烦恼度;以此为基础,借助面部表情识别技术并配合人工标注,对发生运动的面部区域(以面部关键点的多少表征)及运动程度(以面部关键点运动频率)进行分析统计,寻找与听音(烦恼)情绪紧密相关的面部AUs。本实验是对噪声烦恼度研究的理论创新与方法变革的初步探索与大胆尝

试,期望能够克服领域研究中大量主观因素对研究结论客观性的影响。诚然,面部情绪表情模型的正确构建和运动模式的精准识别,必须以全面、详尽、充分的数据收集和分析为基础。本文相关工作的完成,旨在促进建立集噪声特性、听音者生理数据、面部表情变化与自报告烦恼度于一体的研究型数据集和深入开展后续工作。为了实现合理严谨、科学可靠、灵活便捷、普适性强的噪声烦恼度评估,避免传统描述性评估技术流程繁琐、成本密集、耗时耗力的弊端,提高研究的信度和效度,尽量减少使用模棱两可的主观感受描述词与未经设计的心理反应量表,采用行为心理学的观点和方法,通过直接观摩、记录、分析听音者在声刺激作用下的面部表情反应,阐

释其情绪状态,用“看到的”而非“想到的”,评价“感觉”,预测“反应”,解释“情绪”,从实际出发开展包括烦恼度在内的一切噪声作用下的情绪效应研究。

参考文献:

- [1] GUSKI R, FELSCHER-SUHR U, SCHUEMER R. The concept of noise annoyance: how international experts see it[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1999, 223(4): 513-527
- [2] PETER L. Noise in cities: urban and transport planning determinants and health in cities: a framework[C]//*Integrating Human Health into Urban and Transport Planning*, Switzerland, 2018: 443-481
- [3] 闫靛, 陈克安. 声品质与噪声影响评价. 环境影响评价[J]. 2013, 35(6): 24-26
YAN Liang, CHEN Ke'an. Sound quality and noise impact assessment[J]. *Environmental Impact Assessment*, 2013, 35(6): 24-26 (in Chinese)
- [4] 韩广华, 樊博. 李克特式量表语义差异对科学测量的影响[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(20): 6-11
HAN Guanghua, FAN Bo. The effect of semantic difference of likert-type questionnaires on scientific measurements[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2017, 34(20): 6-11 (in Chinese)
- [5] FIELDS J M, JONG R G D, GJESTLAND T, et al. Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2001, 242(4): 641-679
- [6] 闫靛. 混合噪声烦恼度评价及特性研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2011
YAN Liang. Evaluation and characterization of annoyance of combined noise[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2011 (in Chinese)
- [7] DESCOVICH K A, WATHAN J, LEACH M C, et al. Facial expression: an under-utilised tool for the assessment of welfare in mammals[J]. *ALTEX-Alternatives to Animal Experimentation*, 2017, 34(3): 409-429
- [8] SWANSON G E, TOMKINS S S, KARON B P. Affect, imagery, consciousness: the positive affects[J]. *American Sociological Review*, 1963, 28(4): 661
- [9] NAKAJIMA K, MINAMI T, NAKAUCHI S. Interaction between facial expression and color[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 41019
- [10] LEACH M C, COULTER C A, RICHARDSON C A, et al. Are we looking in the wrong place? Implications for behavioural-based pain assessment in rabbits (*Oryctolagus cuniculi*) and beyond? [J]. *Plos One*, 2011, 6(3): e13347
- [11] KRISTA M M, AMY L M, EMANUELA D C, et al. Conceptual and methodological issues relating to pain assessment in mammals: The development and utilisation of pain facial expression scales[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2019, 217: 1-15
- [12] 石林. 情绪研究中的若干问题综述[J]. 心理科学进展, 2000, 8(1): 63-68
SHI Lin. A review of several issues in emotional research[J]. *Advances in Psychological Science*, 2000, 8(1): 63-68 (in Chinese)
- [13] 闫靛, 周卉婷, 范豪伟, 等. 声音诱发情绪反应测试与评价系统[简称:声音情绪测评]V1.0: 中国, 2022SR0398977[P]. 2021-09-09
- [14] 钟辰, 李国棋, 陆宏瑶. Soundscape 声音景观理论及声音分类法的研究[J]. 广播与电视技术, 2003, 30(12): 61-64
ZHONG Chen, LI Guoqi, LU Hongyao. Research on soundscape theory and sound classification[J]. *Radio & TV Broadcast Engineering*, 2003, 30(12): 61-64 (in Chinese)
- [15] 魏玮. 网络表情符号的情感表达探讨[J]. 科技传播, 2014, 6(13): 24-26
WEI Wei. Discussion on emotional expression of network emoticons[J]. *Public Communication of Science & Technology*, 2014, 6(13): 24-26 (in Chinese)
- [16] 白露, 马慧, 黄宇霞, 等. 中国情绪图片系统的编制——在 46 名中国大学生中的试用[J]. 中国心理卫生杂志, 2005, 19(11): 719-722
BAI Lu, MA Hui, HUANG Yuxia, et al. The development of native chineses affective picture system-a pretest in 46 college students[J]. *Chinese Mental Health Journal*, 2005, 19(11): 719-722 (in Chinese)
- [17] American National Standards Institute, Acoustical Society of America. Criteria for Evaluating Room Noise[S]. ANSI/ASA S12.2-2019

- [18] EKMAN P, LEVENSON R, FRIESEN W. Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions[J]. *Science*, 1983, 221(4616): 1208-1210
- [19] SHAO Z, LIU Z, CAI J, et al. JAA-Net: Joint facial action unit detection and face alignment via adaptive attention[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2021, 129(2): 321-340
- [20] LI W, ABTAHI F, ZHU Z, et al. EAC-Net: deep nets with enhancing and cropping for facial action unit detection[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2018, 40(11): 2583-2596

Study on facial emotional expression induced by the annoying noise

YAN Liang¹, ZHOU Huiting¹, LI Zhengguang²

(1.School of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;
2.School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Noise is annoying. Facial expressions indicate diverse emotions instantly, objectively and accurately. In this paper, the facial emotional expression is used to assess the noise annoyance to nullify the disadvantages of traditional evaluation methods. Firstly, by exploiting listening experiments, the facial videos, physiological signals and individual annoyance from 30 listeners with different nationalities were collected. Then, the facial action units (AUs) were extracted, identified and analyzed, and the AUs combination reflects annoyed emotion induced by the noise was confirmed. Furthermore, a novel evaluation scale embodying color and emotional symbols was proposed, which has been proven to be valid by the social surveys. The present study confirms that it is feasible to evaluate the noise annoyance more objectively by exploring the listener's facial "annoyance" expression. The innovative scale can avoid the understanding bias and improve the evaluation efficiency remarkably.

Keywords: noise annoyance; complex emotions; expressions; facial emotional expressions; face recognition

引用格式: 闫靓, 周卉婷, 李争光. 噪声作用下的人脸面部情绪表情研究[J]. 西北工业大学学报, 2023, 41(4): 654-660

YAN Liang, ZHOU Huiting, LI Zhengguang. Study on facial emotional expression induced by the annoying noise[J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2023, 41(4): 654-660 (in Chinese)