

基于声漫步法的森林公园声景喜好度评价研究

洪昕晨¹, 王欣¹, 段芮¹, 张皓¹, 池梦薇^{1,2}, 兰思仁^{1,2}

(1. 福建农林大学园林学院, 福建福州 350002; 2. 国家林业与草原局森林公园工程技术研究中心, 福建福州 350002)

摘要: 为探究森林公园中声景的客观物理量和人主观感受的心理量之间的关系, 根据声景生态学和心理物理学的相关理论, 通过声漫步法和语义差异法对森林公园中的地球物理声、生物声和人工声进行主观喜好度评价, 同时测量客观的物理指标, 通过对主客观数据进行拟合建立了森林公园声景喜好度评价模型, 并结合三者各自对应的评价模型构建了森林公园声景喜好度评价模型。在森林公园规划中, 可应用该模型将森林公园中的声级数据近似模拟为声景感受得分, 以仿真来访者的主观感受, 为森林公园建设和开发提供参考依据, 以为声景观资源的有效管理提供一定的理论参考。

关键词: 声漫步法; 森林公园; 声景生态学; 景观评价; 森林公园声景喜好度评价模型

中图分类号: X827 TU986.53

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2018)-06-0584-05

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2018.06.013

Evaluation of soundscape preference in forest park based on soundwalk approach

HONG Xin-chen¹, WANG Xin¹, DUAN Rui¹, ZHANG Hao¹, CHI Meng-wei^{1,2}, LAN Si-ren^{1,2}

(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China;

2. State Forestry and Grassland Administration National Forest Park Engineering Research Center, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: In order to find out the relationship between objective physical quantity of soundscape and psychological quantity of subjective feelings in forest park, a study, based on the theories of soundscape ecology and psychophysics, has been made to evaluate the subjective preferences of geophonies, biophonies and anthrophonies in the Fuzhou National Forest Park by using soundwalk approach and semantic difference method, and the objective physical indicators are measured at the same time. Then the evaluation model of each subjective preference in forest park is established by fitting the subjective and objective data. Thus, the evaluation model of soundscape preference in forest park can be built by combining the above-mentioned three corresponding evaluation models. In practical application, the sound level data in forest park can be approximately transformed into corresponding subjective evaluation scores of soundscape through the ESPFP model to simulate the tourists' psychological feelings, and to provide a reference for the construction and development of forest park. Hope this study being able to provide some theoretical guidance for the effective management of soundscape resources.

Key words: soundwalk approach; forest park; soundscape ecology; landscape evaluation; Evaluation of Soundscape Preference in Forest Park (ESPFP) model

0 引言

在体验时代的大背景下, 人们越来越倾向于亲近自然和感受自然, 而森林公园作为兼有游憩、疗养、避暑等多功能场所, 成为了人们的最好选择。

正如王籍诗中所提到的“蝉噪林愈静, 鸟鸣山更幽”, 由此可见森林公园中丰富的声景影响着来访者的听觉感受, 并能给予重要的康复作用^[1-2]。

在声景研究方面, 受访者能通过声漫步法识别和区分声景元素的特征, 并反映出相匹配的心理感受状态^[3]; 有报道称, 对于物理特征相同而语义状态具有差异的声音, 人会产生不同的心理反应^[4]; 时间和空间的变化会对声景感受产生重要的影响, 归因于空间能赋予人对声景的情感与行为倾向^[5]; 有研究通过视听样本的组合对受试者进行城市声景评价, 发现城市化高的视觉样本会降低声景感受得分^[6]; Aylor^[7]探究了松树林(针叶林)中声的特征,

收稿日期: 2017-12-21; 修回日期: 2018-01-25

基金项目: 国家林业与草原局森林公园工程技术研究中心开放课题 (PTJH1500217); 福建省社会科学规划项目(FJ2018B087)。

作者简介: 洪昕晨(1992-), 男, 福建古田人, 博士研究生, 研究方向为声景观理论与实践。

通讯作者: 兰思仁, E-mail: lsr9636@163.com

动物的交流信号能在丰富的叶声环境下得到提高；不同森林类型中的声景主客观数据具有良好的心理物理学特征^[8-9]。这些成果丰富了声景方面的研究，但对于基于声漫步法并通过主客观数据进行声景评价模型构建的研究尚鲜有报道。

因此，本研究首先通过声漫步法对森林公园中的不同声景元素(地球物理声、生物声和人工声)进行主观喜好度评价，并在声漫步过程中同时对等效 A 声级进行测量。然后根据主客观评价数据结果，通过心理物理学定律公式进行拟合分析。最后，建立了森林公园声景喜好度评价(Evaluation of Soundscape Preference in Forest Park, ESPFP)模型。

1 研究涉及的理论定律

1.1 声景生态学理论

声景生态学理论^[10]将能使人产生心理感受变化的声能量定义为声景。声景观产生于景观空间中，由地球物理声、生物声和人工声等 3 类声源组成、作用和影响。

地球物理声指非生命的纯自然因素产生的声景，通常作为背景声并与其他声景交互作用^[1]；生物声指生物个体或群体自身产生的声音，它的特点主要是复杂性和可塑性^[11]；人工声指人工设备和器械产生的声景，包括了负面噪声和具有乐理性的声景，它具有较强的事件性特点。上述 3 类声景之间的相互作用和影响营造了声景的空间格局^[12]。

1.2 与本研究相关的心理物理学定律

1.2.1 费希纳定律

在韦伯定律^[13]的基础上，Fairchild^[14]将物理刺激量与心理感受量通过对数函数关联起来，并确定了它们之间的转化关系，即费希纳定律：

$$\Delta s = k' \frac{\Delta I}{I + I_0} \quad (1)$$

式中， Δs 为感受强度的等增量或最小可觉差值， k' 为心理感受强度增量单位的常量， I 为原始物理刺激量， ΔI 为恰好达到感觉变化的物理刺激增加量， I_0 为感受系统的内在噪声。

通过对式(1)两边进行同时积分，得到符合费希纳定律的心理物理学转化公式：

$$s(I) = \int ds = k' \int \frac{dI}{I + I_0} = a + b \log(I + I_0) \quad (2)$$

式中， a 和 b 为常数。

1.2.2 斯蒂文斯定律

斯蒂文斯通过幅值估计法得到了倾向于指数函数的心理物理量转化的函数表达式，即斯蒂文斯指数定律^[14]：

$$s(I) = aI^p + b \quad (3)$$

式中， a 和 b 为常数， p 为由心理物理量决定的指数。

1.3 理论模型

根据上述的相关理论和定律^[1,10-14]，森林公园中的声景是地球物理声、生物声和人工声三者声源叠加和混合状态下产生的声能量，因此 ESPFP 模型应结合各声景元素的评价模型，并且根据重要性程度在模型中占据各自不同的权重。因此，森林公园声景的喜好度感受量 s 与各声元素喜好度感受量 s_n 的关系可表示为

$$s_{\text{ESPFP}}(I) = r_1 s_{\text{geo}} + r_2 s_{\text{bio}} + r_3 s_{\text{ant}} \quad (4)$$

式中， s_{geo} 、 s_{bio} 和 s_{ant} 分别为地球物理声、生物声和人工声的喜好程度心理感受量， r_n ($n=1,2,3$) 为声元素各自的权重值， I 为客观测得的等效 A 声级。至此，构建本模型的关键在于确定各声元素对应的数据拟合表达式和权重系数。

2 研究方法

2.1 研究区概况

福州国家森林公园坐落于福建省福州市区北部郊区，公园南部紧邻八一水库和福州市动物园，公园北部毗邻笔架山^[15]，研究区域位于园中的植物大观园内(如图 1 所示)。研究区域属于亚热带海洋性季风气候，年平均降雨量约 1 438.5 mm，平均风速为 $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，相对湿度为 75%，年平均日照时间为 1 848 h^[16]。



图 1 研究区域位置

Fig.1 The location of research area

2.2 确定权重集

采用层次分析法确定声景元素各自的权重值，将森林公园声景的喜好度作为一级指标，将各声景元素作为与一级指标对应的二级指标。

2.2.1 建立判断矩阵

对于评价体系中各递阶层上的评价元素进行两两比较，构建指向目标层的下一层次的比较判断矩阵 $P^{[17]}$ ：

$$P=(P_{ij})_{n \times n} \tag{5}$$

其中， $P_{ij} > 0$ ， $P_{ij}=1/P_{ji}(i, j=1, 2, \dots, n)$ 。判断矩阵 P 代表了因素 P_i 与 P_j 相对于其上一层元素重要性的比例标度，判断矩阵的值反映了各因素的相对重要性。共邀请 12 位长期从事城市公园和森林公园建设的专家，采用 9 分位比例标度对重要性程度进行赋值^[18]。

2.2.2 计算权重集

设 λ_{max} 为判断矩阵 P 的最大特征根，其对应的特征向量为 A ，对判断矩阵 P 的特征根进行求解。对权重向量进行归一化后，得到二级指标相对于一级指标的重要性权重向量集为

$$A=(A_1, A_2, \dots, A_n) \tag{6}$$

2.2.3 一致性检验

对一致性进行检验， $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$ ，其中 n 为判断矩阵阶数。 $CR=CI/RI$ 。 RI 为平均随机一致性指标， CR 为检验系数，要求 $CR < 0.10$ 才能通过检验^[19]。

2.2.4 权重集

根据计算得到评价指标的权重集 r ，其中 r_1 、 r_2 和 r_3 分别表示地球物理声、生物声和人工声的权重：

$$r=(r_1, r_2, r_3)=(0.443, 0.506, 0.051) \tag{7}$$

2.3 评价过程

本研究中的评价实验主要采用声漫步法 (Soundwalking) 和语义差异法 (Semantic Differential method) 进行森林公园声景主客观评价。作为声景研究的重要方法之一^[20]，声漫步法要求受试者对声景及案例的整体环境有比较专业的了解。而对于衡量评价者对声元素的主观评分尺度，语义差异法^[21]能够较好地通过言语尺度进行心理感受的测定并将受试者的心理感知定量记录下来。用于表示受试者对研究中所描述对象产生心理感受强度的反义形容词需要被优先确定。在此基础上得到语义差别量表，以准确把握受试者对森林公园声景的心理量强度大小。本研究根据评价模型的需求选择了“喜

欢的”和“讨厌的”这对反义形容词，以反映受试者对森林公园声景的喜好程度^[22-23]。在此基础上，将主观评价得分划分为 5 个等级，并通过“很喜欢”“较喜欢”“一般”“较讨厌”“很讨厌”5 个词来区分评价等级，并从“很喜欢”到“很讨厌”分别赋值 2、1、0、-1、-2。

从曾参与过声景评价实验并对研究区情况较了解的群体中^[24]，根据 GB/T10220《感官分析方法总论》^[25]挑选 18 位 20~35 岁、身体健康并且听力正常的人作为本次实验的受试者，其中男、女各 9 人。根据 GB/T14195《感官分析：评价员选拔与培训，感官分析优选评价员导则》^[26]和 GB/T16291《感官分析：专家的选拔、培训和管理导则》^[27]，对 18 位受试者进行了评价实验内容的培训，以避免个人因素对评价结果产生的偏差影响，培训内容包括声景元素分类、心理量表和喜好度含义等^[28-29]。

评价者在森林公园的主次干道和游步道进行声漫步并进行评价，每 5 min 记录一次主观得分，同时用 AWA6228+ 声级计进行同时长的等效 A 声级测试。

3 结果与分析

对每个声漫步测量段的主观评价得分进行加和并进行归一化处理，然后采用具有心理物理学意义的式(2)和(3)以及对照用多项式函数对上述归一化值和等效 A 声级进行数据拟合。

3.1 地球物理声主客观评价数据拟合分析

森林公园的地球物理声评价数据拟合情况如图 2 所示。

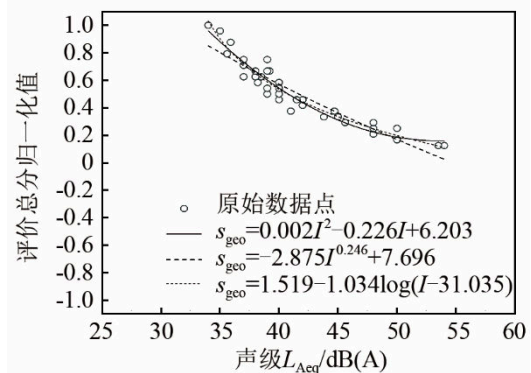


图 2 地球物理声的拟合结果

Fig.2 The results of geophonics fitting

从图 2 可以看出，受访者对地球物理声的喜好度得分较高，并且在物理量增大后也不会造成显著

的负面感受。这主要由于研究区域内具有良好的植被景观和水文景观，丰富了评价者对地球物理声的听觉感受。

对地球物理声的主客观数据结果进行拟合，结果表明多项式的拟合优度值为 92.8%，式(3)为 87.9%，式(2)为 93.4%，即地球物理声的评价结果相对更倾向于费希纳定律。因此，森林公园中地球物理声的喜好度感受量 s_{geo} 与客观测得的等效 A 声级 I 的关系可表示为：

$$s_{geo}=1.519-1.034\log(I-31.035) \quad (8)$$

3.2 生物声主客观评价数据拟合分析

森林公园的生物声评价数据的拟合情况如图 3 所示。

从图 3 可看出，生物声能产生较好的评价得分，在物理刺激量增大后仍然保持在评价一般等级以上，主要由于森林公园中栖息着种类繁多的鸟类和昆虫，营造了一种亲近自然的氛围吸引着评价者的注意力，但过于嘈杂时会降低评价者的喜好感受。

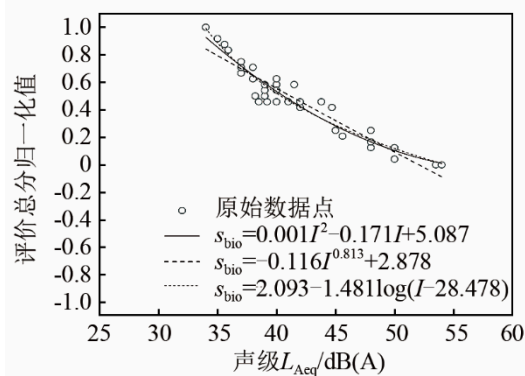


图 3 生物声曲线拟合结果
Fig.3 The results of biophonies fitting

通过对生物声的主客观数据结果进行拟合，结果表明多项式的拟合优度值为 90.9%，式(3)为 88.6%，式(2)的拟合优度值为 91.7%，即生物声的评价结果相对更倾向于费希纳定律。因此，森林公园中生物声的喜好度感受量 s_{bio} 与客观测得的等效 A 声级 I 的关系可表示为

$$s_{bio}=2.093-1.481\log(I-28.478) \quad (9)$$

3.3 人工声主客观评价数据拟合分析

森林公园的人工声评价数据的拟合情况如图 4 所示。

从图 4 可以看出，人工声产生了较差的评价得分，并且随着物理刺激量的上升，喜好度感受得分趋于下降，说明森林公园中的人工声降低了受试者的喜好度感受，主要归因于人工声具有事件性和突发性的特质并影响了其他两类声景。

通过对人工声的主客观数据结果进行拟合，结果表明多项式的拟合优度值为 90.5%，式(3)为 90.7%，式(2)为 88.4%。即人工声的评价结果相对更倾向于斯蒂文斯定律。因此，森林公园中人工声的喜好度感受量 s_{ant} 与客观测得的等效 A 声级 I 的关系可表示为

$$s_{ant}=-2.842I^{3.663}-0.330 \quad (10)$$

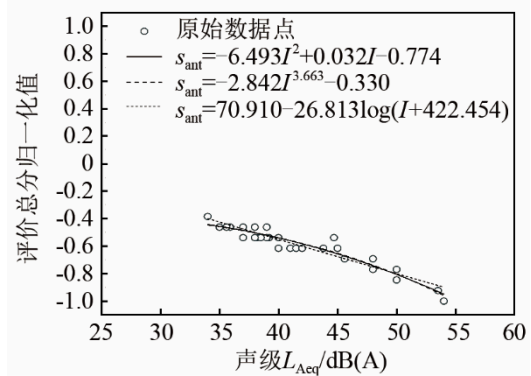


图 4 人工声的拟合结果
Fig.4 The results of anthroponies fitting

3.4 构建森林公园声景喜好度评价模型

由式(2)~(10)可以得到 ESPFP 模型的表达式为

$$s_{ESPFP}(I)=r_1s_{geo}+r_2s_{bio}+r_3s_{ant}=$$

$$1.715-0.458\log(I-31.035)-$$

$$0.749\log(I-28.478)-0.145I^{3.663} \quad (11)$$

式中， s_{geo} 、 s_{bio} 和 s_{ant} 分别为森林公园中地球物理声、生物声和人工声的主观评价归一化值， r_n 为声元素各自的权重值， I 为客观测得的等效 A 声级。

在森林公园规划中，可应用该模型将森林公园中的声级数据近似模拟为声景感受得分，以仿真来访者的主观感受，为森林公园建设和开发提供参考。

4 结语

人们常用“林海松涛”“林籁泉韵”等词汇描绘森林中的奇妙听觉体验。声景给予人良好的听觉体验，使人身心得得到放松。本研究基于声漫步法构建了一种适用于模拟森林公园的声景喜好度感受的模型(ESPFP 模型)，分析了对森林公园声景产生影响的各声景元素以及各自对应的物理刺激量和喜好度感受量之间的关系。得出的主要结论有：

- (1) 地球物理声能使评价者产生较好的评价得分，并且在物理刺激量增大后也不会造成显著的负面感受；
- (2) 生物声能产生较好的评价得分，在物理刺激量增大后仍然保持在评价一般等级以上；
- (3)

人工声产生了较差的评价得分,且随着物理刺激量的上升,心理量继续下降;(4)对于喜好度感受量与客观测得的等效 A 声级 I 之间的关系,地球物理声和生物声相对倾向于对数函数,而人工声倾向于幂函数;(5)综合森林公园中的各声景元素的模型得到森林公园声景喜好度评价模型(ESFPF 模型)。

声景的量化评估方法是未来景观规划与开发的新趋势。本研究在一定程度上完善了声景评价系统,希望能够为声景观资源的有效管理提供一定的理论指导,同时为构建声景优美、声色交融的景观环境做出贡献,推动打造一个健康舒适的人居环境。

参 考 文 献

- [1] TUCKER D, GAGE S H, WILLIAMSON I, et al. Linking ecological condition and the soundscape in fragmented Australian forests[J]. *Landscape Ecology*, 2014, **29**(4): 745-758.
- [2] 吴硕贤. 园林声景略论[J]. *中国园林*, 2015, **31**(5): 38-39.
WU Shuoxian. Some comments on landscape soundscape[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2015, **31**(5): 38-39.
- [3] JEON J Y, HONG J Y, LEE P J. Soundwalk approach to identify urban soundscapes individually[J]. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2013, **134**(1): 803.
- [4] FASTL H. Neutralizing the meaning of sound for quality evaluation[C]//*Proceedings of the 17th International Congress on Acoustics ICA*, Italy, 2001.
- [5] BLESSER B, SALTER L R. Spaces speak, are you listening?[J]. *International Journal of Acoustics & Vibration*, 2009, **121**(4): 301-303.
- [6] VIOLLON S, LAVANDIER C, DRAKE C. Influence of visual setting on sound ratings in an urban environment [J]. *Applied Acoustics*, 2002, **63**(5):493-511.
- [7] AYLOR D. Noise reduction by vegetation and ground[J]. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1971, **51**(1): 197-205.
- [8] HONG X C, JIANG Y, WU S T, et al. A study on the difference of forest soundscape evaluation models based on geophonies[C]//*Proceedings of the 25th International Congress on Sound and Vibration, IIAV*, 2018.
- [9] 洪昕晨, 潘明慧, 袁轶男, 等. 一种适用于竹林空间的声景协调度评价模型[J]. *振动与冲击*, 2018, **37**(9): 234-238.
HONG Xinchun, PAN Minghui, YUAN Yanan, et al. An evaluation model apply to coordinate degree of bamboo garden soundscape[J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2018, **37**(9): 234-238.
- [10] ALMO F. Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications[M]. Berlin: Springer, 2014: 7-11.
- [11] GASC A, SUEUR J, JIGUET F, et al. Assessing biodiversity with sound: Do acoustic diversity indices reflect phylogenetic and functional diversities of bird communities?[J]. *Ecological Indicators*, 2013, **25**(1): 279-287.
- [12] BUCUR V. Urban forest acoustics[M]. Berlin: Springer, 2006: 35-36.
- [13] SCHREIBER W F. Fundamentals of electronic imaging systems:some aspects of image processing[M]. New York: Springer, 1993: 60-70.
- [14] FAIRCHILD M D. Color Appearance Models[M]. John Wiley & Sons, Inc, 2013, 19-25.
- [15] 兰思仁. 国家森林公园理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 51-53.
- LAN Siren. Theory and practice of national Forest Park[M]. Beijing: China Forestry Press, 2004: 51-53.
- [16] 洪昕晨, 池梦薇, 肖玥, 等. 基于模糊层次分析法的森林公园雨声景评价研究——以福州国家森林公园为例[J]. *江西农业大学学报*, 2017, **39**(1): 127-133.
HONG Xinchun, CHI Mengwei, XIAO Yue, et al. A study on the evaluation of the rain sound scenery of forestpark based on the fuzzy analytical hierarchy process: taking Fuzhou national forest park as a case[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2017, **39**(1): 127-133.
- [17] 洪昕晨, 张薇, 陈凯, 等. 基于 F-AHP 法的城郊型森林公园声景观评价研究[J]. *林业调查规划*, 2016, **41**(6): 58-63+71.
HONG Xinchun, ZHANG Wei, CHEN Kai, et al. Soundscape evaluation of suburban forest park based on F-AHP[J]. *Forest Inventory and Planning*, 2016, **41**(6): 58-63+71.
- [18] 郑秋露, 廖景平. 基于层次分析法的园林景观评价——以华南植物园龙洞琪林为例[J]. *西北林学院学报*, 2013, **28**(6): 210-216.
ZHENG Qiulu, LIAO Jingping. Landscape evaluation based on AHP: a case study of Longdongqilin at South China botanical garden[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, **28**(6): 210-216.
- [19] 洪昕晨, 陈凯, 朱里莹, 等. 基于 F-AHP 法的海岛型旅游区景观评价研究[J]. *湖北工程学院学报*, 2016, **36**(3): 67-70.
HONG Xinchun, CHEN Kai, ZHU Liying, et al. Landscape evaluation of island tourism area based on F-AHP[J]. *Journal of Hubei Engineering University*, 2016, **36**(3): 67-70.
- [20] DEICHMANN J L, HERNÁNDEZ-SERNA A, J. A D C, et al. Soundscape analysis and acoustic monitoring document impacts of natural gas exploration on biodiversity in a tropical forest[J]. *Ecological Indicators*, 2017, **74**(5): 39-48.
- [21] 章俊华. 规划设计学中的调查分析法与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 237.
ZHANG Junhua. Research and practice of planning and design [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005: 237.
- [22] YAMADA Y, NILSSON K. Soundscape-based forest planning for recreational the rapeutic activities[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2006, **5**(5): 131-139.
- [23] GYGI B, KIDD G R, WATSON C S. Similarity and categorization of environmental sounds[J]. *Percept & Psychophys*, 2007, **69**(6): 839-855.
- [24] 洪昕晨, 林洲瑜, 池梦薇, 等. 基于层次分析法的森林公园风声景评价研究[J]. *噪声与振动控制*, 2017, **37**(2): 127-130.
HONG Xinchun, LIN Zhouyu, CHI Mengwei, et al. AHP based evaluation of wind soundscape in forest park[J]. *Noise and Vibration Control*, 2017, **37**(2): 127-130.
- [25] GB/T 10220-2012, 感官分析方法学总论[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [26] GB/T 14195-1993, 感官分析选拔与培训感官分析优选评价员导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [27] GB/T 16291.2-2010, 感官分析选拔、培训和管理评价员一般导则第 2 部分: 专家评价员[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [28] 朱光汉, 王正玲. 传入人体的振动和环境振动的评价与标准[J]. *振动与冲击*, 1992, **11**(3): 66-70.
ZHU Guanghan, WANG Zhengling. Evaluation and criteria for vibration and environmental vibration introduced into human body [J]. *Journal of Vibration and Shock*, 1992, **11**(3): 66-70.
- [29] 洪昕晨, 林洲瑜, 张薇, 等. 基于应用层次分析法的森林公园叶声景评价研究[J]. *声学技术*, 2016, **35**(2): 91-94.
HONG Xinchun, LIN Zhouyu, ZHANG Wei, et al. AHP based evaluation of leaf soundscape in forest park[J]. *Technical Acoustics*, 2016, **35**(2): 91-94.