

· 车辆噪声控制技术专题 ·

风雨场中汽车乘员舱气动噪声声品质预测模型研究*

宗轶琦¹ 张昊¹ 许国猛¹ 杨易² 罗泽敏³

(1.扬州大学,扬州 225127;2.湖南大学,长沙 410082;3.广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院,广州 511434)

【摘要】为研究雨天行驶时汽车的声品质,对风雨场中汽车乘员舱气动噪声信号进行声品质客观参量计算和主观评价,并对二者进行了相关分析。采用基于改进鲸鱼优化算法的反向传播(IWOA-BP)算法,以响度、粗糙度、抖动度、语音清晰度、语言干扰度和声压级6个客观参数为输入,以主观评分作为输出,建立预测模型,并与传统的反向传播(BP)神经网络预测模型和鲸鱼优化算法-反向传播(WOA-BP)预测模型进行了对比。结果表明,BP、WOA-BP、IWOA-BP算法的平均绝对百分比误差分别为28.33%、6.35%和2.82%,证明了基于IWOA-BP算法建立的风雨场中汽车乘员舱气动噪声声品质预测模型精度更高,效果更好。

关键词:声品质 风雨场 气动噪声 心理声学参数 改进鲸鱼优化算法**中图分类号:**TB533.2 **文献标志码:**A **DOI:** 10.19620/j.cnki.1000-3703.20230918

Research on Prediction Model of Aerodynamic Noise Sound Quality of Automobile Cockpit in Wind-Rain Field

Zong Yiqi¹, Zhang Hao¹, Xu Guomeng¹, Yang Yi², Luo Zemin³

(1. Yangzhou University, Yangzhou 225127; 2. Hunan University, Changsha 410082; 3. Automobile Engineering Research Institute of Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou 511434)

【Abstract】To study the sound quality of vehicle in rainy day driving, objective parameter calculation and subjective evaluation were conducted for the sound quality of the vehicle cockpit aerodynamic noise signals in the wind-rain field, with a correlation analysis between the two parameters. Based on the Improved Whale Optimization Algorithm-Back Propagation (IWOA-BP) algorithm, six objective parameters including loudness, roughness, jitter, speech intelligibility, speech interference and sound pressure level as input, and subjective scoring as output were used to establish a prediction model, which was compared with the traditional BP neural network prediction model and the WOA-BP prediction model. The results indicate that the mean absolute percentage error of BP, WOA-BP and IWOA-BP algorithms are 28.33%, 6.35% and 2.82% respectively, proving that the sound quality prediction model of automobile cockpit aerodynamic noise in wind-rain field established based on IWOA-BP algorithm has a higher accuracy and a better effect.

Key words: Sound quality, Wind-rain field, Aerodynamic noise, Psychoacoustic parameter, Improved Whale Optimization Algorithm (IWOA) algorithm**【引用格式】**宗轶琦,张昊,许国猛,等.风雨场中汽车乘员舱气动噪声声品质预测模型研究[J].汽车技术,2024(5):51-57.

ZONG Y Q, ZHANG H, XU G M, et al. Research on Prediction Model of Aerodynamic Noise Sound Quality of Automobile Cockpit in Wind-Rain Field[J]. Automobile Technology, 2024(5): 51-57.

1 前言

近年来,随着汽车振动与噪声控制技术的发展,传统的针对汽车声压级的研究已无法满足消费者对汽车乘坐舒适性的要求,越来越多的研究人员通过研究汽车声品质来提高汽车乘坐的舒适性。汽车声品质是指人对特定环境下噪声的主观感受,可以通过对心理声学参

数的测量和计算量化体现。

目前,针对汽车声品质的研究方法大多是建立主观评价结果与心理声学客观参数之间的预测模型。张教超、Yoon等^[1-2]利用多元线性回归方法建立了客观声学参数与主观评价结果间的拟合模型,对汽车变速器和供热通风与空气调节系统(Heating, Ventilation, and Air Conditioning, HVAC)进行了声品质分析。申秀敏等^[3]利

*基金项目:国家自然科学基金项目(51875186,51975197)。

用反向传播(Back Propagation, BP)神经网络建立了声品质预测模型,该方法具有良好的非线性映射关系,但因为初始权值和阈值的不确定性,无法保证每次预测结果均相同,稳定性较差。此外,研究人员针对不同工况下的声品质进行了预测研究。孙利文^[4]等研究了全油门加速工况下车内噪声声品质情况。黄海波^[5]等研究了匀速行驶工况下的车内噪声声品质情况。杨易^[6]等研究了天窗和左、右侧窗不同开度条件下车内风振噪声声品质情况。综合上述研究发现,目前针对车内气动噪声声品质的研究方法无法达到理想效果,稳定性较差。此外,针对不同环境下的乘坐舒适性,黄娟^[7]等研究了不同海拔对列车乘坐舒适性的影响,但是对于汽车而言,受限于天气变化的影响,主要依靠风洞试验来模拟雨、雪等天气,而风洞试验成本很高,因此,本文使用实车道路试验的方法研究不同雨况下的车内噪声情况,采用数值模拟方法分析左前侧窗噪声分布情况,并使用基于改进鲸鱼优化算法(Improved Whale Optimization Algorithm, IWOA)的BP神经网络算法,建立声品质预测模型。

2 样本采集与噪声分析

2.1 样本采集

本文实车道路试验参照GB/T 18697—2002^[8],采用杭州亿恒科技有限公司生产的16通道SAVANT MI-7016数据采集器,如图1所示。传声器和前置放大器采用杭州爱华仪器有限公司生产的AWA14604和AWA14423。传声器的布置位置如图2所示,其垂向位置为座椅表面与头枕表面交线上方 0.70 ± 0.05 m处,水平位置为座椅的纵截面向右 0.20 ± 0.02 m处。小雨、中雨、大雨的降雨强度分别为 $>0\sim 2.5$ mm/h、 $>2.5\sim 8.0$ mm/h、 $>8.0\sim 16.0$ mm/h,本文记录某款轿车在无雨、小雨(2.5 mm/h)、中雨(8.0 mm/h)和大雨(16.0 mm/h)天气下车速分别为80 km/h、90 km/h、100 km/h、110 km/h和120 km/h时驾驶员左耳处噪声信号,共计20组。

2.2 数值模拟

本文研究的风雨场本质上是气液两相流场,因此,本文气动噪声声源产生的原因是气相与液相的相互作用以及车身表面与气相和液相流体的相互作用,主要表现为偶极子声源。使用Realizable $k-\varepsilon$ 湍流模型模拟无雨时的单向流流场,添加离散相模型(Discrete Phase Model, DPM)模拟有雨时的两相流流场。

为了研究噪声分布情况,在左前车窗表面选取若干监测点,如图3所示。



图1 SAVANT MI-7016采集前端



图2 传声器布置位置

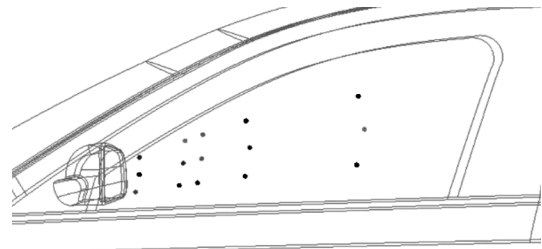


图3 左前车窗表面监测点

分析工况为车速110 km/h、小雨天气,瞬态计算时开启FW-H(Ffowcs Williams and Hawkins)模型,计算后取0.5 s数据,得到各监测点脉动压力谱,通过傅里叶变换,并将不同监测点在各中心频率处的声压级作平均,得到左前车窗平均声压级频谱如图4所示。

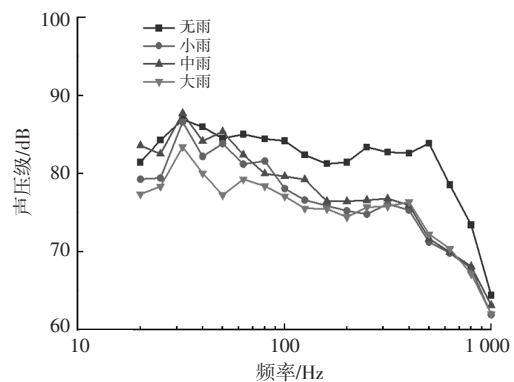


图4 左前车窗声压级频谱

2.3 主观评价

采用等级评分法对所收集的噪声信号进行量化打分,该方法简单直接,便于后续研究。等级评分标准采用国际常用噪声烦恼度主观评价刻度表^[9],具体评价标准如表1所示。评价人员为20位车辆工程专业的研究人员,依次对20组噪声进行2次打分。为了验证主观评价结果的准确性,使用斯皮尔曼(Spearman)等级相关系数来获取评价人员2次评价结果间的相关性,对2次评

价差距较大的不予采用。最终得到的主观评价结果如图5所示。

表1 国际常用噪声烦恼度主观评价刻度表

等级	刻度	等级	刻度
极好	1	不满意	6
很好	2	差	7
好	3	很差	8
满意	4	坏	9
可接受	5	非常坏	10

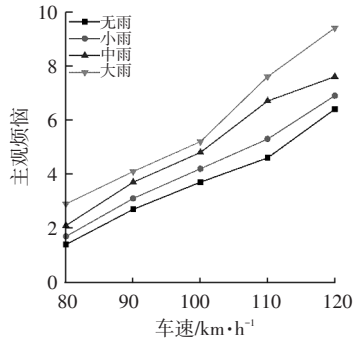
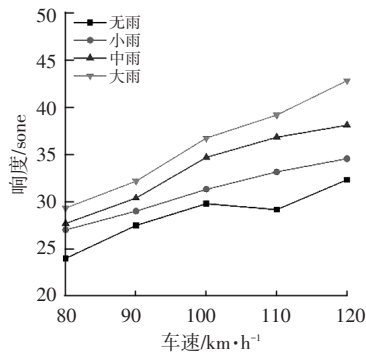


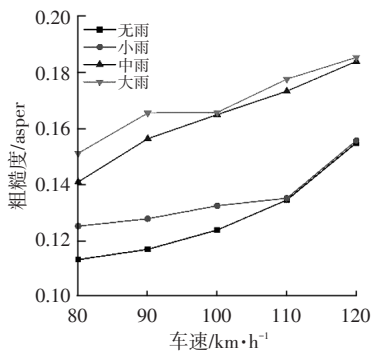
图5 主观评价结果

2.4 客观评价

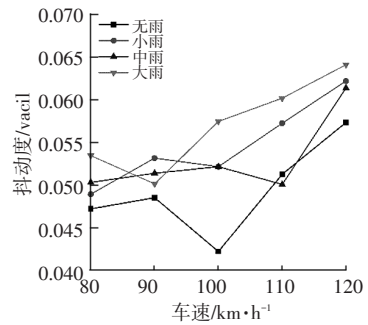
本文选择响度、粗糙度、抖动度、尖锐度、语音清晰度、语言干扰度以及声压级7个心理声学参数作为声品质客观评价指标,根据实车道路试验所得的噪声数据,导入MATLAB软件中可得到心理声学参数如图6所示。



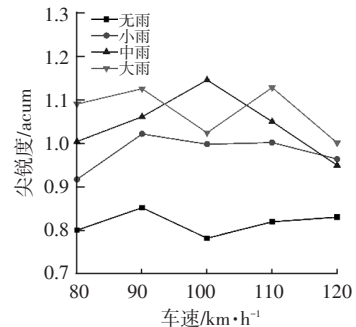
(a) 响度



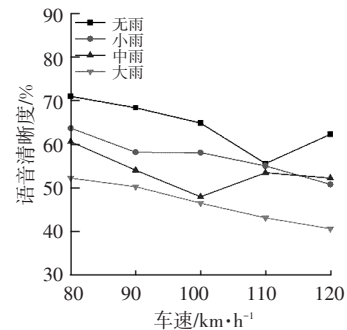
(b) 粗糙度



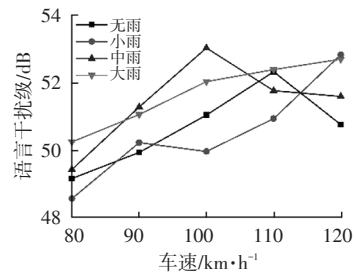
(c) 抖动度



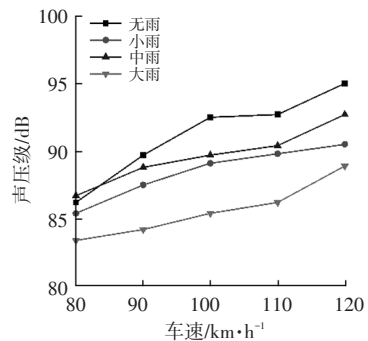
(d) 尖锐度



(e) 语音清晰度



(f) 语言干扰度



(g) 声压级

图6 声品质客观参数

2.5 相关性分析

为了提高声品质预测模型的准确性,需要进行心理学客观参数与主观评价之间的相关性分析,利用SPSS进行分析,结果如表2所示,响度、粗糙度、抖动度、语音清晰度、语言干扰级和声压级与主观评价之间均显现出显著性,且显著性 P 值均小于0.01,表明分析结果的偶然性小于0.01,意味着6个客观参量与主观评价之间的偶然性小于0.01,意味着6个客观参量与主观评价之间均存在正相关关系。尖锐度与主观评价间的相关系数为0.212,且显著性 P 值大于0.05,表明尖锐度与主观评价间没有相关性。

表2 主客观参数相关性分析

参数	相关系数	参数	相关系数
响度	0.942**	语音清晰度	0.912**
粗糙度	0.797**	语言干扰级	0.690**
抖动度	0.763**	声压级	0.749**
尖锐度	0.212*		

注:**表示 P 值小于0.01,*表示 P 值小于0.05。

3 基于改进鲸鱼优化算法的BP神经网络

3.1 基于鲸鱼优化算法的BP神经网络

人耳对声音的评级具有强非线性关系,因此,采用具有非线性映射能力的BP神经网络算法进行声音评价。BP神经网络不需要确定输入-输出映射关系的数学方程,仅通过自身的训练与学习即可根据输入值得到期望输出结果,已广泛应用于汽车噪声声品质的研究。但是,随着算法的不断发展,BP神经网络学习速度慢、泛化性差、不稳定等缺点逐步显现,因此,本文引入鲸鱼优化算法(Whale Optimization Algorithm, WOA)^[10]优化BP神经网络。作为一种新兴的群体智能优化算法,WOA因机制简单、参数少和寻优能力强,被越来越多的学者青睐。算法原理与鲸鱼捕食行为类似,鲸鱼捕食的目的是捕获猎物,一群鲸鱼在共同搜寻猎物时,必然存在某条鲸鱼先发现猎物,而后其他鲸鱼向其包围以抢夺猎物的情况,在WOA求解问题的过程中,一个解可以用一条鲸鱼个体表示,若干个解就可以用若干条鲸鱼个体表示,因此,WOA模型搜索问题解的过程可视为若干条鲸鱼个体不断更新位置,直至搜索到满意的解的过程。其流程包括包围猎物、发泡网攻击和搜索捕食3个阶段。

WOA算法优化BP神经网络具体步骤如图7所示:

- 初始化BP神经网络的权值和阈值。
- 初始化WOA参数,计算WOA算法的决策长度,选取均方误差作为优化目标函数。
- 设置算法停止准则,利用WOA算法优化神经网络权值和阈值参数。

d. 将优化后的权值和阈值赋给BP神经网络。

e. 对优化后的BP神经网络进行训练与测试,与优化前的BP神经网络对比分析。

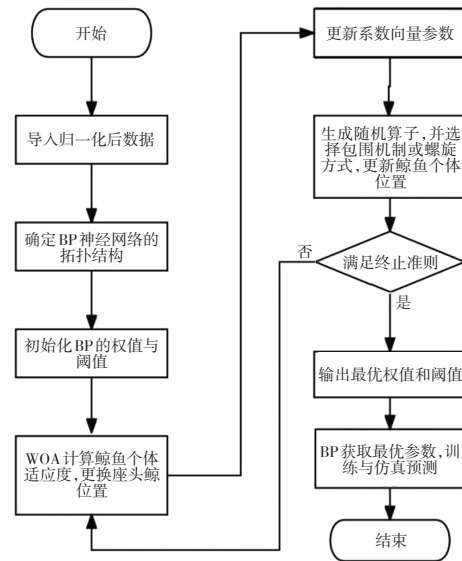


图7 鲸鱼算法优化BP神经网络

3.2 改进鲸鱼算法

鲸鱼算法同样存在一些缺陷,如在其指定的全局最优解为所有个体的寻优对象时易陷入局部最优解,以及种群初始化收敛速度慢。IWOA的提出,提高了算法的寻优能力,具体改进方法包括混合策略^[11]、混沌映射初始化种群^[12-13]和反向学习策略^[14-15]。

本文主要通过混合反向学习策略对鲸鱼算法进行改进,结合透镜成像反向学习策略和最优最差反向学习策略,在初始种群位置迭代后,将当前种群个体按照适应度排序,取适应度较大的前一半个体,计算其反向种群,将反向种群与原鲸鱼种群进行比较,保留适应度较优的个体,并引入较优的反向种群因子,以加强算法的全局寻优能力,增加算法的成熟性。

4 基于IWOA-BP算法的声品质预测模型

本文选择响度、粗糙度、抖动度、语音清晰度、语言干扰度和声压级6个声品质心理学客观参数作为输入,以声品质主观评分作为输出,使用IWOA-BP算法反映客观输入与主观输出的关系。训练样本为某轿车在不同雨况和车速条件下采集到的20个噪声信号,每个信号通过计算分析得出6个心理学参数及1个主观评价参数。

4.1 样本预处理

不同样本的单位不同,本文将客观参量与主观评

价参数进行归一化处理,使其数据大小均保持在[0,1]范围内,以满足神经网络输入、输出的要求,避免出现饱和。

4.2 确定BP神经网络结构和训练参数

BP神经网络结构可分为前馈型与反馈型两种,其中前馈型网络结构的特征是从输入层到隐含层,再到输出层的逐层传递信息,非线性映射关系和泛化能力较好。因此,本文选取的是1个输入层、1个S型隐含层和1个输出层的3层BP神经网络结构。输入层为6个心理声学客观参量,节点数取6;输出层为声品质主观评价参数,节点数取1;隐含层的节点数根据试凑法计算获得,如图8所示,最终确定最佳的节点数为5,其相应的均方误差为0.015。

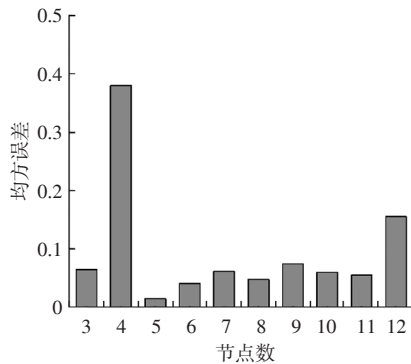


图8 隐含层节点数对应均方误差

此BP神经网络反向传播训练函数为Traingdx函数,权值学习函数为Leamgdm,性能函数为均方误差(Mean-Square Error, MSE)。设置训练步数为1 000步、学习速率为0.01、动量因子为0.01、训练最小误差为0.000 01、显示频率为25,表示每训练25次显示一次结果。

4.3 WOA优化设置

WOA优化BP神经网络主要是对权值和阈值进行优化,主要优化流程为:

a. 参数设置。设定初始种群数量为 $n=20$,最大进化代数数为 $l_{max}=30$;优化的自变量数量为 $N=i_n h_n + h_n o_n + o_n$,其中 i_n 、 h_n 、 o_n 分别为BP神经网络结构的输入层、隐含层和输出层的神经元数量。

b. 调整适应函数。计算WOA的决策变量函数,以均方误差作为适应度函数,算法迭代过程中,适应度越小,均方误差越小,预测结果越精确。均方误差计算公式为:

$$e_{ms} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y_i - x_i)^2 \quad (1)$$

式中: m 为测试的样本数量, x_i 为第 i 个真实值, y_i 为第 i

个预测值。

c. 鲸鱼算法不断优化权值和阈值,均方误差最小时,鲸鱼算法停止训练,将此时的权值和阈值赋给BP神经网络算法。

4.4 IWOA优化设置

改进鲸鱼算法主要流程如下:

a. 使用Tent混沌映射策略对搜索空间中分布相对均匀的 n 个个体进行初始化。

b. 按照数值大小将种群进行重新排列,将函数值最小的位置设为最优位置。

c. 通过自适应阈值和权重进行相关参数更新及种群位置更新。

d. 挑选一个最差个体和一个精英个体进行混合反向学习,更新全局最优位置及适应度值。

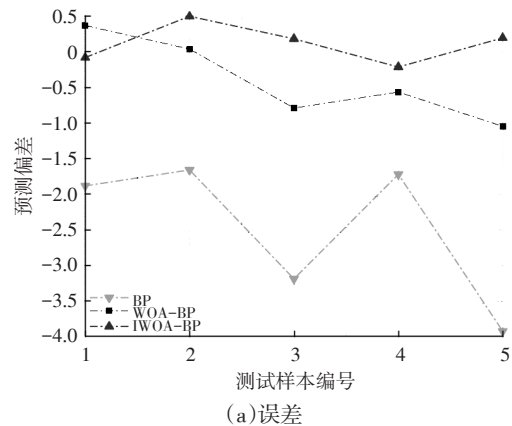
4.5 计算结果分析

根据相关性分析获得的结果,以响度、粗糙度、抖动度、语音清晰度、语言干扰度和声压级作为输入,主观评分作为输出。表3所示为采用不同优化方法时BP模型测试集的预测值与实际值的对比结果。分析可知,IWOA-BP预测模型的拟合效果更好。

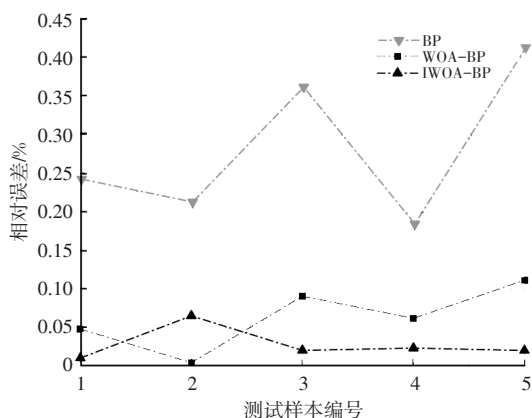
表3 不同BP模型预测结果

样本号	1	2	3	4	5
实际值	7.6	7.6	8.7	9.1	9.4
BP	5.75	5.98	5.55	7.42	5.52
WOA-BP	7.97	7.64	7.91	8.53	8.35
IWOA-BP	7.52	8.10	8.88	8.89	9.59

图9所示分别为BP、WOA-BP和IWOA-BP预测模型的实际误差和相对误差,表4所示为3种预测模型的平均绝对误差(Mean Absolute Error, MAE)、MSE、均方根误差(Root Mean Squared Error, RMSE)以及平均绝对百分比误差(Mean Absolute Percentage Error, MAPE),可以看出IWOA-BP模型预测风雨场中驾驶室噪声声品质的计算精度最高。



(a)误差



(b)相对误差

图9 不同BP优化模型实际误差与相对误差

表4 不同BP优化模型误差分析

项目	MAE	MSE	RMSE	MAPE/%
BP	2.437	6.775	2.603	28.33
WOA-BP	0.562	0.435	0.660	6.35
IWOA-BP	0.234	0.074	0.272	2.82

5 结束语

本文通过实车道路试验,对采集的噪声样本进行分析,得到了7个声品质客观参量和1个主观评价参量,并对主、客观参量进行相关性分析,建立了以响度、粗糙度、抖动度、语音清晰度、语言干扰度和声压级作为输入,主观评价作为输出的IWOA-BP模型,对风雨场中汽车乘员舱气动噪声声品质进行预测,结果显示,IWOA-BP预测模型的平均绝对误差、均方误差、均方根误差、平均绝对百分比误差均优于传统的BP预测模型和WOA-BP预测模型的计算结果,证明了IWOA-BP模型预测结果的准确性。

参 考 文 献

[1] 张教超, 强登科, 莫诗婕. 变速器声品质评价方法研究[J]. 汽车零部件, 2021(7): 61-64.
ZHANG J C, QIANG D K, MO S J. Study of Transmission's Sound-quality Evaluation Method[J]. Automobile Parts, 2021 (7): 61-64.

[2] YOON J, YANG I, JEONG J, et al. Reliability Improvement of a Sound Quality Index for a Vehicle HAVC System Using a Regression and Neural Network Model[J]. Applied Acoustics, 2012, 73(11): 1099-1103.

[3] 申秀敏, 左曙光, 何吕昌, 等. 车内噪声声品质的神经网络预测[J]. 声学技术, 2009, 28(3): 264-268.
SHENG X M, ZUO S G, HE L C, et al. BP Neural Network Prediction of Car Interior Sound Quality[J]. Technical Acoustics, 2009, 28(3): 264-268.

[4] 孙利文, 刘海, 王海洋, 等. 应用GA-BP神经网络对加速工况车内声品质研究[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(17): 340-345.
SUN L W, LIU H, WANG H Y, et al. Research on Vehicle Interior Sound Quality Based on GA-BP Neural Network[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(17): 340-345.

[5] 黄海波, 李人宪, 黄晓蓉, 等. 基于Adaboost算法的车内噪声声品质预测[J]. 汽车工程, 2016, 38(9): 1120-1125.
HUANG H B, LI R X, HUANG X R, et al. Sound Quality Prediction of Vehicle Interior Noise Based on Adaboost Algorithm[J]. Automotive Engineering, 2016, 38(9): 1120-1125.

[6] 杨易, 高骏, 谷正气, 等. 基于GA-BP的汽车风振噪声声品质预测模型[J]. 机械工程学报, 2021, 57(24): 241-249.
YANG Y, GAO J, GU Z Q, et al. Research on Sound Quality Prediction Model of Automobile Wind Buffeting Noise Based on GA-BP[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2021, 57 (24): 241-249.

[7] 黄娟, 何洪, 杨伟超, 等. 海拔对铁路隧道内瞬变压力及车厢内乘坐舒适性的影响[J]. 铁道科学与工程学报, 2022 (3): 608-615.
HUANG J, HE H, YANG W C, et al. Influence of Altitude on Transient Pressure and Ride Comfort in Railway Tunnel [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022(3): 608-615.

[8] 中国科学院. 声学 汽车车内噪声测量方法: GB/T 18697—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
National Development and Reform Commission. Acoustics—Measurement of Noise Inside Motor Vehicles: GB/T 18697—2002[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.

[9] 田建涛, 余志龙, 庞瀛洲. 工程机械噪声主观评价的等级评分法试验研究[J]. 工程机械, 2014, 45(9): 25-30.
TIAN J T, YU Z L, PANG Y Z. Test and Research on Classification Method of Subjective Evaluation for Construction Machinery Noise[J]. Construction Machinery and Equipment, 2014, 45(9): 25-30.

[10] MIRJALILI S, LEWIS A. The Whale Optimization Algorithm[J]. Advances in Engineering Software, 2016, 95: 51-67.

[11] 徐航, 张达敏, 王依柔, 等. 混合策略改进鲸鱼优化算法[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(12): 3397-3404.
XU H, ZHANG D M, WANG Y R, et al. Hybrid Strategy to Improve Whale Optimization Algorithm[J]. Computer Engineering and Design, 2020, 41(12): 3397-3404.

[12] 滕志军, 吕金玲, 郭力文, 等. 一种基于Tent映射的混合灰狼优化的改进算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50 (11): 40-49.
TENG Z J, LV J L, GUO L W, et al. An Improved Hybrid

- Grey Wolf Optimization Algorithm Based on Tent Mapping [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2018, 50(11): 40-49.
- [13] 张娜, 赵泽丹, 包晓安, 等. 基于改进的 Tent 混沌万有引力搜索算法[J]. 控制与决策, 2020, 35(4): 893-900.
ZHANG N, ZHAO Z D, BAO X A, et al. Gravitational Search Algorithm Based on Improved Tent Chaos[J]. Control and Decision, 2020, 35(4): 893-900.
- [14] 龙文, 伍铁斌, 唐明珠, 等. 基于透镜成像学习策略的灰狼优化算法[J]. 自动化学报, 2020, 46(10): 2148-2164.
LONG W, WU T B, TANG M Z, et al. Grey Wolf Optimizer Algorithm Based on Lens Imaging Learning Strategy[J]. Acta Automatica Sinica, 2020, 46(10): 2148-2164.
- [15] 张新明, 王霞, 康强. 改进的灰狼优化算法及其高维函数和FCM优化[J]. 控制与决策, 2019, 34(10): 2073-2084.
ZHANG X M, WANG X, KANG Q. Improved Grey Wolf Optimizer and Its Application to High-Dimensional Function and FCM Optimization[J]. Control and Decision, 2019, 34(10): 2073-2084.

(责任编辑 斛 畔)

修改稿收到日期为2023年11月28日。

《汽车文摘》征文

《汽车文摘》(月刊)于1963年7月3日创刊,由国有资产监督管理委员会主管、中国第一汽车集团有限公司主办,为中国汽车工程学会会刊。《汽车文摘》以“览全球汽车技术文献,指中国汽车技术之道”为使命,以打造“中国汽车前沿与创新技术传播与交流的重要平台”为愿景,致力于成为汽车领域最具影响力的综述类期刊。

目前,《汽车文摘》复合影响因子达1.187,并首次入选RCCSE中国核心学术期刊(A-),这反映出《汽车文摘》自2019年启动转型升级以来,期刊学术影响力稳步提升。

《汽车文摘》坚信“他山之石,可以攻玉”,深耕电动化、智能化、网联化、共享化和智能制造5大方向和10大领域,聚焦新能源与混合动力汽车、智能网联汽车、燃料电池、低碳与氨等零碳燃料、汽车安全、健康与舒适、碳达峰与碳中和、生命周期评价(LCA)与技术经济分析、智能制造、材料轻量化与一体化压铸、飞行汽车前沿与创新技术综述论文,揭示相关领域的新动态、新趋势、新技术和新进展,为广大科研和工程技术人员进一步发展这一领域提供新突破口、新出发点和新基准。

欢迎高等院校师生、研发工程技术人员、技术管理人员,充分发挥专业领域优势,深度挖掘国内外高影响力学术期刊与其他文献,形成某个技术领域的前沿综述。

《汽车文摘》选题范围:

电动化:混合动力关键技术;动力电池关键技术;先进充电技术;电驱动系统及电力电子技术;底盘及子系统线控关键技术;燃料电池动力系统设计与优化

智能化:新型电子电气架构;自动驾驶感知、决策与运动控制;智能新能源汽车测试评价方法与工具链;车辆智能安全技术

网联化:智能网联云控技术;车用通信及网络技术;车路协同技术;汽车人因、人机交互与智慧座舱;信息安全与功能安全;车联网融合(V2G)及应用

低碳化:汽车节能与排放技术;清洁能源动力系统技术;碳达峰、碳中和;氢燃料制储运加及安全管控技术;生命周期评价(LCA)、标准法规与技术经济分析;低碳与氨等零碳燃料

轻量化:新能源汽车新材料技术;混合材料轻量化设计;一体化压铸

共享化:区块链技术与移动出行;车辆大数据挖掘方法与应用案例

燃料电池:电池堆、电池系统与基础设施

智能制造:机器人与自动化控制、四大工艺、物流技术、设计-制造-服务

颠覆式出行:飞行汽车;未来低空智能交通体系及其关键技术

汽车安全:主被动安全与融合、智能安全、健康与舒适

《汽车文摘》发表论文的独特优势:

《汽车文摘》是国家级刊物、中国汽车工程学会的会刊、汽车领域唯一的综述期刊。《汽车文摘》不收版面费,4个月内即可发稿。

投稿要求:

1. 综述篇幅在10 000~15 000字(6~10页),图文并茂,图、表和公式非原创要求引用;
2. 请按科技论文要求撰写文章摘要,摘要中文字数在200±10字;
3. 文章必须附有公开发表的、体现本领域最新研究成果的、高影响力出版物作为参考文献,一般要求参考文献在20篇以上,一半左右为外文参考文献,且在文中标注文献引用出处;
4. 来稿保密审查工作由作者单位负责,确保署名无争议,文责自负;
5. 切勿一稿多投。

《汽车文摘》投稿网址: <http://www.qcwz.cbpt.cnki.net>

邮箱: autodigest@faw.com.cn

《汽车文摘》编辑部