

基于可穿戴高精度湿度传感器的发声 与呼吸监测系统设计

张馨雨

山东科技大学艺术学院, 山东 青岛 266590

DOI:10.61369/ERA.2026020029

摘要 : 声乐演唱对呼吸控制与发声协调具有高度依赖性, 传统教学方式多依靠教师经验判断, 缺乏客观量化依据。围绕声乐训练中呼吸状态与发声过程难以实时监测的问题, 设计一种基于可穿戴高精度湿度传感器的发声与呼吸监测系统。该系统通过对演唱过程中口鼻气流湿度变化特征进行采集与分析, 实现对呼吸节律、呼气强度及发声持续状态的动态监测。系统结构包括传感采集模块、信号处理模块与数据分析反馈模块, 可为声乐训练提供客观数据支持。研究结果表明, 该系统在提升声乐训练科学性、规范发声习惯方面具有良好应用前景。

关键词 : 可穿戴设备; 高精度湿度传感器; 声乐演唱; 呼吸监测; 发声分析

Design of Sound and Respiratory Monitoring System Based on Wearable High-precision Humidity Sensor

Zhang Xinyu

Art College of Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590

Abstract : Vocal singing is highly dependent on the coordination of breathing control and vocalization. Traditional teaching methods mostly rely on teachers' experience judgment and lack of objective quantitative basis. Focusing on the difficulty of real-time monitoring of respiratory state and vocal process in vocal music training, a vocal and respiratory monitoring system based on wearable high-precision humidity sensor is designed. The system collects and analyzes the characteristics of the humidity change of the mouth and nose airflow during the singing process, and realizes the dynamic monitoring of the breathing rhythm, the intensity of exhalation and the continuous state of vocalization. The system structure includes sensor acquisition module, signal processing module and data analysis feedback module, which can provide objective data support for vocal music training. The research results show that the system has a good application prospect in improving the scientific nature of vocal music training and standardizing vocal habits.

Keywords : wearable devices; high-precision humidity sensor; vocal singing; respiratory monitoring; vocal analysis

引言

声乐演唱作为一门高度依赖生理控制的艺术形式, 演唱效果与呼吸方式、发声状态密切相关。现有声乐教学主要依托教师听觉判断与经验指导, 难以对演唱者呼吸与发声过程进行精确描述。随着传感技术与可穿戴设备的发展, 生理信号监测逐渐进入艺术训练领域。湿度传感器能够敏感反映气流变化特征, 为呼吸与发声监测提供了新的技术路径。围绕声乐演唱的实际需求, 探索高精度湿度传感器在发声与呼吸监测系统中的应用, 对于构建数据化、可视化的声乐训练模式具有重要意义。

一、声乐演唱中发声与呼吸监测的理论基础

(一) 声乐发声机制与呼吸控制特征

声乐演唱是一种以人体发声器官为载体的复杂生理活动, 其核心在于呼吸系统、发声系统与共鸣系统之间的协调运作。演唱过程中, 呼吸系统提供稳定气流作为发声动力, 声带在气流作用下产生

周期性振动, 进而形成基础声源, 共鸣腔对声波进行放大与修饰, 塑造音色特征。呼吸深度直接影响气息储备能力, 深而稳定的吸气有助于维持长音与连贯乐句的完成质量。气流输出的平稳程度决定了声带振动的均匀性, 对音高稳定与音质纯净度具有显著影响。若呼吸控制不足, 容易出现气息中断、音准波动及音色紧张等问题, 因此呼吸控制能力被视为声乐演唱的重要技术基础。

（二）演唱呼吸气流特征与湿度变化关系

在演唱过程中，呼吸气流经肺部、气管及口鼻通道排出，携带人体内部的水汽成分，其湿度水平受到呼吸频率、气流速度及发声状态等多种因素的综合影响。吸气阶段气流湿度相对较低，呼气阶段湿度明显升高，不同演唱段落中持续时间与发声强度的变化会在湿度曲线上形成具有区分度的波动特征。声带振动方式及共鸣腔形态的调整进一步改变气流排出路径，使湿度变化呈现出与发声状态相对应的规律性特征。通过对湿度信号进行连续采集与分析，可以较为准确地反映演唱者的呼吸节律、呼气持续能力以及发声连贯程度，为呼吸与发声状态的客观评估提供稳定可靠的数据依据。

（三）声乐训练中客观监测技术的发展需求

传统声乐训练主要依赖教师的听觉判断与经验示范，对呼吸深度、气息稳定性及发声连贯性等关键技术要素缺乏清晰的量化描述，学习者在理解自身问题时容易受到主观感受影响，技术改进路径不够明确。随着声乐教学逐步向科学化、精细化方向发展，引入客观监测手段已成为教学模式转型的重要需求。传感技术能够将演唱过程中呼吸与发声相关的生理变化转化为可记录、可分析的数据形式，使原本依赖感知的技术要素具备直观的可视化特征。通过数据反馈，演唱者能够更清晰地认识自身呼吸控制与发声状态，教师也可据此进行针对性指导，从而提高教学判断的准确性与一致性。这类技术的应用有助于弥补传统声乐教学在客观评估方面的不足，为构建以数据支持为基础的声乐教学模式提供可靠理论支撑。

二、可穿戴高精度湿度传感器的系统设计原理

（一）高精度湿度传感器的工作原理与性能特点

高精度湿度传感器通过感知空气中水汽含量的细微变化，实现对湿度信息的连续采集与实时反馈。其核心由湿敏材料、电极单元及信号转换模块构成，当呼吸气流经过传感区域时，水汽分子与湿敏材料表面发生作用，引起材料电阻或电容参数的变化。该变化经电极单元采集后，通过信号转换模块转化为稳定的电信号输出，使湿度变化具备可测量性和可分析性，为后续数据处理提供基础条件。

在声乐演唱应用场景中，呼吸气流频繁变化且波动幅度较小，对传感器性能提出较高要求。高精度湿度传感器具有响应速度快、分辨率高的特点，能够有效区分吸气与呼气阶段的湿度差异，并对发声过程中气息强弱变化保持良好跟踪能力。其线性输出特性有助于保证数据的一致性，抗干扰设计能够降低环境湿度变化与外界气流扰动带来的影响，在连续演唱条件下仍可保持稳定工作状态，为发声与呼吸监测提供可靠的数据支撑。

（二）可穿戴结构在声乐监测中的适配设计

声乐演唱过程中，演唱者对身体协调性与自然状态具有较高要求，可穿戴监测设备的结构设计需避免对演唱动作造成干扰。传感器布置位置选择口鼻附近的气流通道区域，使其能够直接感知呼吸气流变化，减少环境空气对监测结果的影响。该区域既能

完整覆盖演唱时的主要呼吸路径，又不会对声音传播产生明显遮挡，有利于保证监测数据的真实性与有效性。

在结构实现上，可穿戴装置采用轻量化材料与柔性固定方式，使设备在长时间佩戴条件下保持良好的舒适性。贴合面部轮廓的设计有助于稳定传感器位置，避免因演唱过程中头部或面部动作产生位移，从而影响信号采集质量。柔性结构能够适应不同演唱者的面部特征，降低个体差异对监测效果的影响，为湿度信号的稳定采集与长期应用提供可靠硬件保障。

（三）发声与呼吸同步监测的信号采集方案

发声与呼吸同步监测的关键在于信号采集过程与演唱动作时间轴的精确匹配。系统在演唱全过程中对湿度信号进行连续采样，使呼吸气流变化以时间序列形式完整记录。演唱起始阶段，气息由吸转呼，湿度数值迅速上升，该变化特征可用于识别发声启动状态并判断起声是否平稳。湿度变化的起伏幅度与上升速率反映气息释放的控制情况，为分析演唱者起声质量提供客观依据。

在发声持续阶段，湿度曲线的稳定程度与气流输出均匀性保持较高相关性，可用于评估发声连贯性与气息支持水平。演唱结束阶段，气息逐渐回收，湿度数值呈现回落趋势，其变化过程能够反映呼吸收放的协调程度。通过对各阶段湿度信号特征进行分段标注与特征提取，构建适用于声乐演唱场景的同步监测模型，使系统具备对呼吸节律与发声状态的综合识别能力，为后续数据分析与教学反馈提供清晰、结构化的数据基础。

三、发声与呼吸监测系统的实现与数据处理

（一）演唱呼吸节律与气息强度的信号提取

在发声与呼吸监测系统运行过程中，高精度湿度传感器对演唱者口鼻区域的气流湿度进行连续采集，形成具有时间连续性的湿度变化曲线。吸气阶段气流湿度维持在较低水平，呼气阶段湿度数值明显升高，二者在曲线形态上呈现清晰区分。通过对湿度曲线波峰与波谷位置的识别，可以准确划分吸气与呼气的转换节点，从而获得演唱过程中较为完整的呼吸节律信息，为分析演唱者呼吸组织能力提供客观基础。

湿度信号在呼气阶段的峰值高度及变化斜率与气流输出强度密切相关，能够反映气息释放的力度与持续性。演唱过程中，稳定且适度的湿度峰值通常对应良好的气息支持状态，湿度波动幅度过大或峰值偏低则可能提示气息控制不足。通过对不同乐句和演唱段落中湿度参数的对比分析，可以评估演唱者在不同演唱情境下的气息调控能力，使呼吸控制水平具备量化分析依据，为声乐训练效果评估提供数据支撑。^[1-5]

（二）发声持续状态与湿度信号特征分析

声乐演唱过程中，发声持续状态与气息输出方式密切相关，不同音型及时值结构在湿度信号中呈现出明显差异。长音演唱要求气流保持均匀稳定，湿度曲线通常表现为持续时间较长且波动幅度较小的高值区间，反映出良好的气息支持与发声控制能力。若演唱过程中气息供给不足或控制不当，湿度曲线容易出现起伏

变化,数值逐渐降低,提示发声稳定性受到影响。这类变化能够为判断长音发声质量提供直观信号依据。

在快速音型或节奏变化较大的演唱段落中,发声与呼吸调节频率明显提高,湿度信号随之呈现节奏加快的波动特征。湿度峰值间隔缩短,变化幅度增大,反映出演唱者在短时间内频繁调整气流输出的过程。通过对不同演唱形式下湿度信号特征进行对比分析,可以区分发声稳定与不稳定状态,识别气息分配不均或发声中断等问题,使发声持续状态具备可分析的量化特征,为声乐训练中的技术诊断提供数据支持^[6-8]。

(三) 数据可视化与实时反馈机制设计

为提升系统在声乐训练中的应用价值,监测数据需以直观方式呈现给演唱者与教学者。系统将湿度信号处理结果转化为时间序列曲线、节律图谱及强度变化图,使呼吸与发声状态具备可视化特征。实时反馈机制通过屏幕或终端设备展示演唱过程中的气息变化情况,帮助演唱者及时感知自身呼吸控制效果。图形化信息有助于缩短主观感受与客观数据之间的认知差距,使声乐训练过程更加清晰可控,为技术调整提供直观参考。

四、系统在声乐演唱训练中的应用分析

(一) 不同演唱方式下的呼吸特征对比

声乐演唱方式的差异直接体现在呼吸控制与发声方式上。通过监测系统获取的湿度数据,可以对不同演唱风格下的呼吸与发声特征进行客观比较。美声演唱强调深层气息支持与持续稳定的气流输出,其湿度曲线通常呈现平缓且持续时间较长的高值状态,反映出气息供给的均匀性与发声稳定性;民族演唱在保持气息连贯的基础上,湿度变化节奏相对灵活,能够体现音色转换与语言咬字对气流调节的影响;通俗演唱更注重语感与情感表达,呼吸方式相对自由,湿度曲线起伏幅度较大,表现出较强的节律变化特征。系统监测结果为不同演唱方式的呼吸与发声技术特征提供了清晰的量化参考。

(二) 声乐教学中发声问题的辅助诊断

在声乐教学实践中,气息不足、发声断裂等问题往往难以仅凭听觉判断准确定位其产生原因,教师在分析过程中更多依赖个

人经验与长期积累的听辨能力,判断结果容易受到演唱者音色特点、教学环境及主观感受差异的影响。发声与呼吸监测系统通过对湿度信号变化的持续采集,将演唱过程中气流输出状态以数据形式直观呈现,使呼吸支持与发声衔接情况具备清晰的可观察特征。

当湿度峰值长期处于较低水平或呈现频繁波动状态时,可反映出演唱者气息供给不足或气流控制能力较弱;当湿度曲线出现明显中断、骤降或不规则变化时,则提示发声连续性受到影响,往往与呼吸转换不当或气息分配失衡有关。教师结合系统反馈结果进行综合分析,能够更精确地识别学生在具体演唱段落中的技术问题,有针对性地引导其调整呼吸方式、气息支持策略与发声习惯,从而有效提升声乐教学的科学性、针对性与教学效果的稳定性。

(三) 演唱训练效果评估与长期监测应用

声乐训练具有明显的长期性与渐进性特征,演唱水平的提升往往通过细微变化逐步积累,单次课堂或阶段性表现难以全面反映学习成效。监测系统通过持续记录演唱者在不同训练阶段的湿度数据,能够完整呈现呼吸与发声状态的变化轨迹,使技术进步过程具备可追溯性。随着训练深入,湿度曲线稳定性逐渐增强、呼吸节律趋于规律,可作为气息控制能力改善的重要客观指标。长期监测结果不仅为演唱者提供直观的进步参考,也有助于教师依据数据变化调整训练内容与教学重点。通过量化方式评估声乐学习过程,可减少主观判断带来的偏差,推动声乐训练评价体系向更加科学、系统的方向发展。

五、结语

围绕声乐演唱中发声与呼吸监测的实际需求,提出了一种基于可穿戴高精度湿度传感器的监测系统设计方案。该系统通过对演唱气流湿度变化的精准采集,实现对呼吸节律与发声状态的动态分析,为声乐训练提供了客观数据支持。研究表明,该系统在提升声乐教学科学性、规范演唱发声习惯方面具有积极意义。随着传感技术与数据分析方法的进一步发展,其在声乐教育与表演训练中的应用空间将不断拓展。

参考文献

- [1] 童杨,孟粉叶,张勇,高玥,杨旭东,胡吉永.基于可穿戴柔性RFID传感技术的呼吸监测研究进展[J].传感技术学报,2024,37(06):941-950.
- [2] 郝英超.用于呼吸系统监测的鼻夹式传感系统研究[D].山东大学,2024.
- [3] 侯天远,朱剑锋,刘涛,辛毅.基于PVDF的可穿戴生理信号监测系统[J].压电与声光,2020,42(04):529-532.
- [4] 尹飞超,潘津津,李红利,焦学军,冯静达,吴大蔚.基于BCG的可穿戴式监测系统设计[J].无线互联科技,2022,19(07):75-79.
- [5] 袁懋结.腕式可穿戴多参数睡眠呼吸监测系统的研制[D].深圳大学,2020.
- [6] 辛峰.新型光纤F-P湿度传感器及信号解调方法研究[D].东北电力大学,2024.
- [7] 孙辉,沈兆坤,刘明强,胡洪林,黄运川.高精度模拟式温湿度传感器设计[J].机电技术,2024(01):74-78.
- [8] 纳芯微推出高可靠、高精度和低功耗的温湿度传感器[J].单片机与嵌入式系统应用,2023,23(07):95.