

# 智能家居气味识别装置产品设计研究及实践

路奇<sup>a,b</sup>, 张煜<sup>a,b</sup>, 孙宇驰<sup>b</sup>, 徐迎庆<sup>a,b</sup>

(清华大学 a.美术学院 b.未来实验室, 北京 100084)

**摘要:** **目的** 探究不同结构的气路和气室设计, 对于气味识别装置的性能影响, 以及总结归纳关键设计参数, 为气味识别产品在居家环境的实际应用提供参考。**方法** 基于模块化的设计方法, 面向电子鼻家居应用设计了6种不同的气路结构, 之后开展电子鼻响应测试实验, 对比6种结构的性能差异, 并在实验结论基础上讨论电子鼻在不同家居应用场景下的部署模式和使用方式, 以及实验结论如何应用于实际产品设计过程中。**结论** 实验表明, 不同气室结构对电子鼻的响应性能有着显著的影响, 对家居场景中气味采集应用的气路设计具有指导意义, 从而帮助提升气味识别能力, 赋能家居功能创新和服务创新, 提升用户体验。

**关键词:** 气味识别; 电子鼻; 稳流结构; 智能家居

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)16-0027-10

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.16.003

## Design Research and Practice on Odor Recognition Devices in Smart Home

LU Qi<sup>a,b</sup>, ZHANG Yu<sup>a,b</sup>, SUN Yu-chi<sup>b</sup>, XU Ying-qing<sup>a,b</sup>

(a. Academy of Arts & Design b. The Future Laboratory, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**ABSTRACT:** This work is to investigate the impact of different structural air path and air chamber designs on the performance of odor recognition devices, as well as to summarize the key design parameters to provide reference for the practical application of odor recognition products in the home environment. Based on the modular design technique, six different air path structures were designed for e-nose home applications, followed by e-nose response test experiments to compare the performance differences of the six structures, and then the deployment mode and usage of e-nose in different home application scenarios were discussed based on the experimental results, as well as how the experimental results can be applied in the actual product design process. The results reveal that differing air chamber structures have a substantial impact on the response performance of e-nose, which has implications for the design of air paths for odor collection applications in home scenarios, potentially improving odor recognition capabilities, empowering home function and service innovation, and improving user experience.

**KEY WORDS:** odor recognition; e-nose; airflow stabilization structure; smart home

在信息技术高速发展的时代背景下, 稳定高效的环境信息采集技术为智能家居功能创新提供了可能。在众多类型的物理信息(如光、声、电磁波等)被广泛探测和利用的同时, 气味作为一种空间化学信息,

较少受到关注。实际上气味信息在家居环境中广泛存在, 例如食物与烹调气味、家居装潢气味、洗手间气味等。从这些例子中可以看到, 气味是家居安全、健康、舒适的风向标; 另一方面, 用户嗅觉感知与个人

收稿日期: 2022-04-10

基金项目: 自然科学基金面上项目(62172252); 清华大学国强研究院通用类重点研究项目(2020GQG0004); 中国博士后科学基金面上项目(2021M691801)

作者简介: 路奇(1991—), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为嗅觉计算、嗅觉界面设计、实体交互。

通信作者: 徐迎庆(1959—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为用户体验设计、触觉认知交互、文化遗产数字化以及自然用户界面设计。

喜好、情绪和记忆有着密切的联系<sup>[1-2]</sup>，设计家居气味空间对于满足用户更高层级的需求和提供更贴心的用户体验都至关重要。综上所述，气味识别技术在智能家居中具有巨大的应用潜力。

同时人们也应认识到气味识别的机遇与挑战并存，其中一个重点问题是家居的气味环境复杂多变，用户行为与住宅空间、设备、物品的相互作用导致气味的性质、传播状态等都在时刻变化，这给气味识别的准确率、识别速度、鲁棒性等技术指标带来了非常大的考验。相关研究表明，气味识别装置中的气路设计可以在该问题上发挥重要作用，本研究基于模块化的设计方法，面向电子鼻家居应用设计了6种不同的气路结构，设计并开展电子鼻响应测试实验对比这些结构的性能差异，在实验结论基础上讨论不同结构在家居气味识别应用设计中的不同适用性，为气味识别在智能家居场景中的应用提供参考。

## 1 研究背景与设计价值

### 1.1 气味识别家居应用

随着家居智能化程度的不断提高，具备感知能力、通信能力和智能信息处理能力的智能家居设备，开拓了室内普适计算与人机交互的许多新场景。气味作为一种化学信息，在智能家居设计中正在受到关注，目前主要的应用研究涉及以下几个方面。

1) 空气质量。室内空气质量监测主要包含PM<sub>2.5</sub>、CO<sub>2</sub>浓度、挥发性有机物(TVOCs)等指标，同时室内的各种异味，如垃圾异味、厕所异味、装修异味等，也非常影响人们的居住健康和体验。对这些气味进行监测和净化是家居基本的用户需求，目前已有相关研究使用气体传感器网络或电子鼻等技术进行实时的空气质量监测<sup>[3-4]</sup>，也有研究人员专注于研究室内空气质量的可视化体验设计<sup>[5]</sup>。此外，Amores等<sup>[6]</sup>开发了简易电子鼻以检测挥发性垃圾异味，可以部署在垃圾桶上。

2) 食品相关鉴定和检测。气味识别是食品科学中的传统研究方法，例如使用电子鼻识别蔬果蛋肉等食材的新鲜程度<sup>[7-9]</sup>，对食用油、红酒、果汁等液态食品进行品质检测<sup>[10-12]</sup>，分析菜肴风味的影响因素等<sup>[13-14]</sup>。现代人越来越重视饮食健康，包括食材选择、营养搭配和烹调方式等，因此食品气味识别在家居中具有广泛的应用前景。

3) 医疗健康诊断。中医诊察疾病的手法讲究“望闻问切”四诊，其中“闻”是指听声音+闻味道<sup>[15]</sup>，古希腊也有通过排泄物(呼吸、尿液、汗水)气味来判断患者健康状况的原始诊断手法流传下来<sup>[16]</sup>。有很多病症会让患者散发不同的气味，它们可能通过各类排泄物排出从而被闻到或检测到。目前已有很多研究使用电子鼻对这些VOCs进行检测，以实现疾病粗筛

或预防工作<sup>[17]</sup>。

4) 场景和活动理解。家居活动的监测和理解可以让智能家电、服务机器人为用户提供更高级的功能和更贴心的服务，同时持续监测家庭活动还可以自动检测紧急情况，例如老年人的异常状况或身体变化，以便及时发现问题。然而已有的活动监测技术通常基于视频监控，或需要用户佩戴加速度计、陀螺仪等监测设备。这些技术的主要问题是具有侵入性，前者侵犯用户隐私，后者增加身体负担，导致用户不愿在家中使用时使用这些技术。相比之下，通过气味感知技术来监测人类活动可以在一定程度上消解这种侵入性问题，因为气味识别装置通常是固定在某一位置，且即便获取了气味感知数字信号也无法从中“看”到或“听”到家庭中发生的事件。目前基于气味信息的家居活动理解已经可以识别单空间中活动人数<sup>[18]</sup>、判断与气味有相关性的活动内容等(如沐浴、如厕、烹饪、锻炼等)<sup>[19-20]</sup>。

传统气味识别与分析一般在化学实验室中使用专业分析仪器进行，对于家居场景，气味识别首先需要做小型化、廉价化、便捷化，电子鼻技术为这一应用场景提供了可能性。目前市场上电子鼻产品的技术形态以金属氧化物半导体传感器阵列为主，利用阵列对气味的交叉响应特性，能够实现多种气味检测<sup>[21]</sup>。这类电子鼻主要由传感器阵列与信号采集处理系统构成，具有布局灵活、灵敏度高等优点，能够满足家居场景中的多种气味采集和识别需求。

### 1.2 室内气体环境与电子鼻结构设计

世界现存的有气味分子数量庞大，能被人类嗅闻的绝大多数气味是多种物质的混合物，且不同组分的浓度都会对最终嗅觉感受造成影响，也就意味着实现精准的气味识别本身就是极困难的任务。同时，气味的挥发受到温湿度、扩散空间、用户行为的广泛影响；气味的扩散则遵循流体力学定律，在家庭环境中会受到各种动力条件如自然风、电器风(风扇、空调、抽油烟机)等、人为动作等的影响。考虑以上这些因素，在家居中保证稳定的气味识别条件对于其落地应用非常关键。因此，对于电子鼻等气味识别技术，优秀的进出气采样系统对稳定采样、减轻干扰和加快采样速度都有重要作用。

此外，由于电子鼻的应用场景丰富，其产品或模组经常需要被部署到不同的应用环境中。在实际应用中，为了排除环境干扰，实现更快的气味收集以及脱吸附，通常会使用气泵(或风扇)来实现对电子鼻的主动供气，将待测气体抽进部署了气体传感器的气室当中实现检测，并通过气泵(或风扇)更新气室内的气体环境，使气体传感器回复待检测状态。不同的气室结构会影响气体传感器表面的气流环境，进而决定气体传感器的使用表现。当前的研究认为气体传感器

的响应会受到气流速度、传感器与进气口夹角、腔室体积的影响<sup>[22-26]</sup>。因此气室结构是影响电子鼻实际测试性能表现的重要因素。它是直接接触、贮存待测物的部件, 易被污染。并且不同应用场景的结构需求存在差异, 如快速采样、快速脱附等。

### 1.3 研究内容与价值

本文的主要研究问题是气路和腔室结构设计会对电子鼻的各项性能指标产生怎样的影响。基于模块化设计方法, 构建 6 种气路结构, 用于对比测试进出气方向、气体流速、均匀性等参数与电子鼻各项性能指标的相关性, 了解结构与气流对于电子鼻的响应特性影响, 为产品设计原则提供参考。在实验结论总结基础上, 讨论了智能家居中电子鼻在不同应用场景下的部署方式和使用方式, 并且讨论实验结论如何应用于实际产品设计过程中。

以上实验和设计讨论能够在外形、结构设计方面为电子鼻在智能家居中的应用前景提供有力支持。设计师和产品开发人员可以参考本文提供的模块化气路结构设计制作相关产品; 实验中得出的各种数据和分析结论, 可以帮助设计师或用户根据实地场景的空间、应用形态快速决策, 设计最适合的气路结构。提升气味识别在家居应用中的可靠性、准确性和便捷性, 从而赋能家居功能创新和服务创新, 提升用户体验。

## 2 模块化电子鼻稳流结构设计

在气味采集领域, 电子鼻方案越来越受到重视。电子鼻通常指集成了若干不同类型的气体传感器与信号采集处理模块的集成气味采集装置, 它利用单一气体传感器对不同气体会产生差异化的响应信号这一特点, 使每个气体传感器成为一个气味检测的“维度”, 得到一个气味数据多维空间, 以此来实现不同气味的“指纹谱”检测。文中使用由嗅场科技提供的电子鼻开发板进行稳流结构方案测试实验(见图 1), 其共搭载 21 通道各类型气体传感器, 这些传感器通道具有不同的气体响应特性, 工作相互独立, 为平行关系。

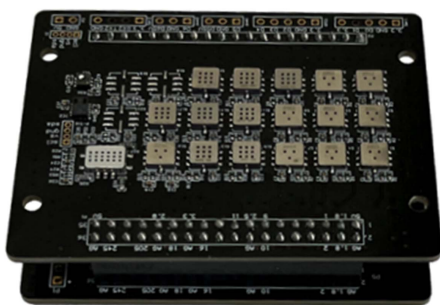


图 1 电子鼻开发板  
Fig.1 E-nose demo board

文中设计了如图 2 所示的几种构成气室的模块。气室的结构包括以下几个维度: 空间大小、进气位置、

出气位置、内部结构。其中, 气室空间大小与气室换气速度相关, 通过使用图 2 中的支撑结构件, 可以调整气室体积。进气与出气位置极大地影响了气室内部的气流环境, 有顶部和侧面开孔两种选择。而气室空间内部结构决定了气室内部气流的再分布, 因此设计了导气框与遮挡框 2 种模块来使气室内部的气流分布更为均匀。这 2 种模块可以配合支撑件, 根据需要放入气室的不同高度。

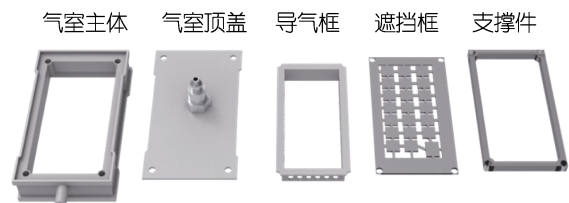


图 2 气室模块组件模型示意  
Fig.2 Schematic diagram of the air chamber module assembly model

根据所设计的模块, 构建了 6 种气室结构方案。方案 1: 顶端进气, 侧面出气气室, 内部没有部署结构。方案 2: 侧面进气, 顶端出气, 内部没有部署结构。方案 3: 顶端进气, 侧面出气气室, 内部部署导气框。方案 4: 侧面进气, 顶端出气气室, 内部部署导气框。方案 5: 顶端进气, 侧面出气气室, 内部部署导气框和遮挡框。方案 6: 侧面进气, 顶端出气气室, 内部部署导气框和遮挡框, 见图 3。

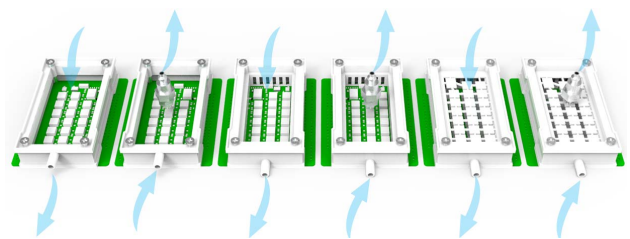


图 3 6 种气室结构及气流方向  
Fig.3 Six air chamber structures and air flow directions

在不同的气室结构与进出气位置下, 气室内部气体流场存在差异, 造成了待测气体分子在气室内部输运情况存在空间分布差异, 影响电子鼻中不同位置气体传感器的响应速度与灵敏度, 运用实验手段进一步分析了这种影响。

## 3 实验测试与数据分析

### 3.1 实验装置

测试装置包括电子鼻开发板、气室和隔膜气泵 3 部分构成, 见图 4。除电子鼻开发板外, 气室主体结构和导气框使用光敏树脂材料 3D 打印制作而成, 内部遮挡框和支撑件使用 1 mm 厚的亚克力板经过激光切割制作而成。为减少测试气味样品在气室结构上的残余, 使用 1 mm 厚的聚四氟乙烯板制作顶盖, 并使

用3 mm的镀镍螺丝与电子鼻紧密连接。气泵为卡默尔KVP04-1.1-12微型真空泵,其泵气速度为1.2 L/min。为避免气泵中残留气体影响重复测试的结果,通常选择将气泵置于整个气路的后端,作为抽气泵使用。

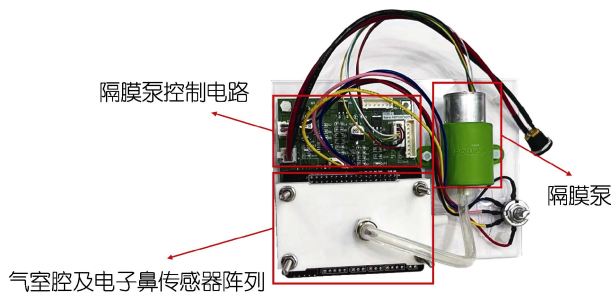


图4 测试装置  
Fig.4 Test device

### 3.2 测试流程

测试过程选取无水乙醇作为气味源,主要原因包括:电子鼻所采用的气体传感器阵列的大部分传感器均对乙醇分子有响应,可在同一组实验中获得更多传感器的响应值;无水乙醇是一种挥发性很强的有机溶剂,并且附着性较低,能够保证多轮数据的准确性。此次实验操作均在通风橱内完成,保证环境清洁,见图5。

在开始测试前,将传感器阵列置于通风柜内,确保环境基本保持恒温,空气清洁,并对传感器阵列通电预热24 h,保证预热稳定有效,使传感器处于活化

状态。数据采集频率为3 Hz,整个过程可以分为3个阶段:首先稳定基线,在上位机电脑上开始采集数据,在不接触样品、环境清洁的情况下持续收集60 s数据,获得稳定的传感器基线;之后涂气味源,在气室进气口固定位置处使用微量进样器点涂0.4  $\mu$ L无水乙醇,使无水乙醇自然挥发并被气泵吸入气室,过程持续约120 s,针对侧面进气顶端出气的气室结构,用空置顶盖在进气口旁搭建进样平台,保证与样品直接接触的材质为聚四氟乙烯,减少干扰,见图5;最后是脱附阶段,在保证通风的情况下持续720 s,使传感器恢复到初始基线状态,以进行下一次检测。对应用6种不同气室结构的电子鼻气味采集情况分别进行了5轮测试,以排除基线微弱漂移的影响。

### 3.3 数据分析

为了准确衡量不同气室结构的表现,选取了5个参数来进行表征,分别是响应率、响应信号上升沿最大斜率、最大响应电压与加入乙醇的时间差、基线回复速率、回复到基线电压与加入乙醇的时间差。通道2、9、10、13、19、20、21对乙醇的响应率低于10%,表明其对乙醇敏感程度有限,同时还有可能对其他非目标气体产生响应从而引入干扰,因此将这7个通道的数据剔除以优化结果分析的鲁棒性。剩余通道1、3、4、5、6、7、8、11、12、14、15、16、17、18测试结果见图6—10,其中CH为Channel缩写,用

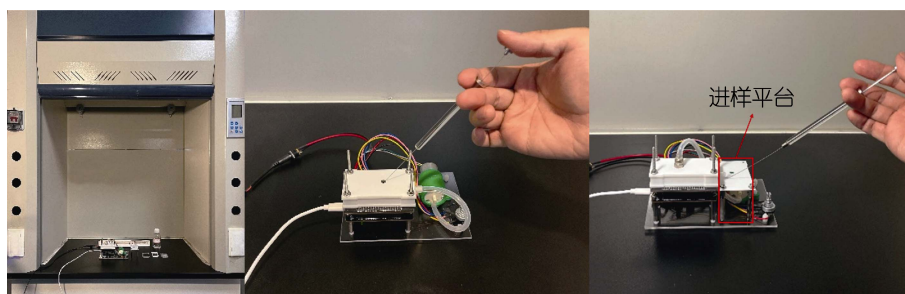


图5 检测环境及检测流程 (顶部和侧方进样)  
Fig.5 Detection environment process (top and side injection)

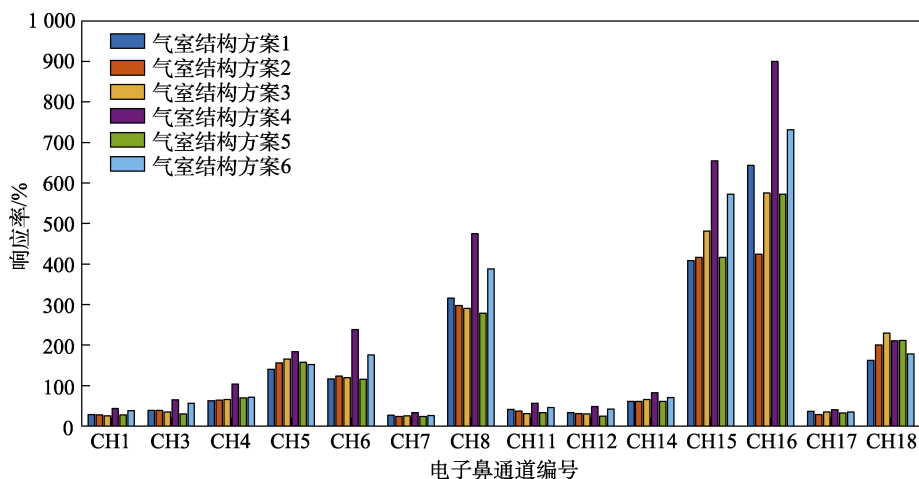


图6 响应率  
Fig.6 Response rate

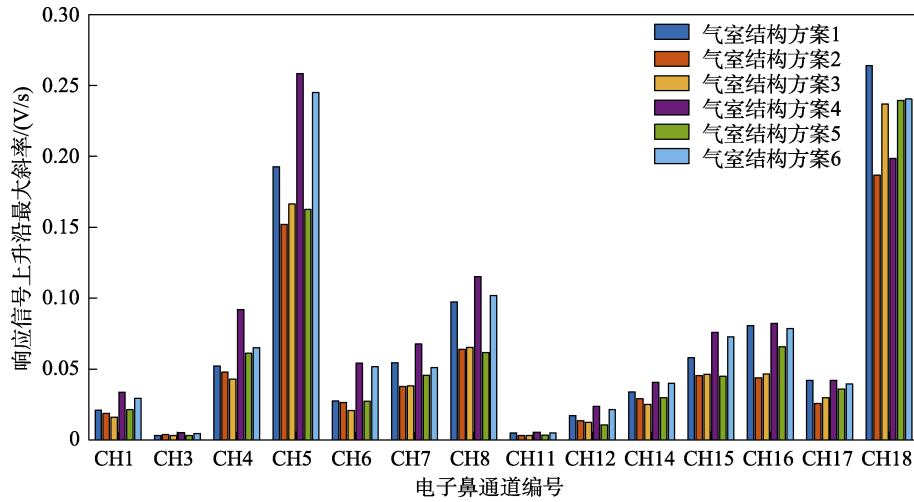


图 7 响应信号上升沿最大斜率  
Fig.7 Maximum slope of response signal rising edge

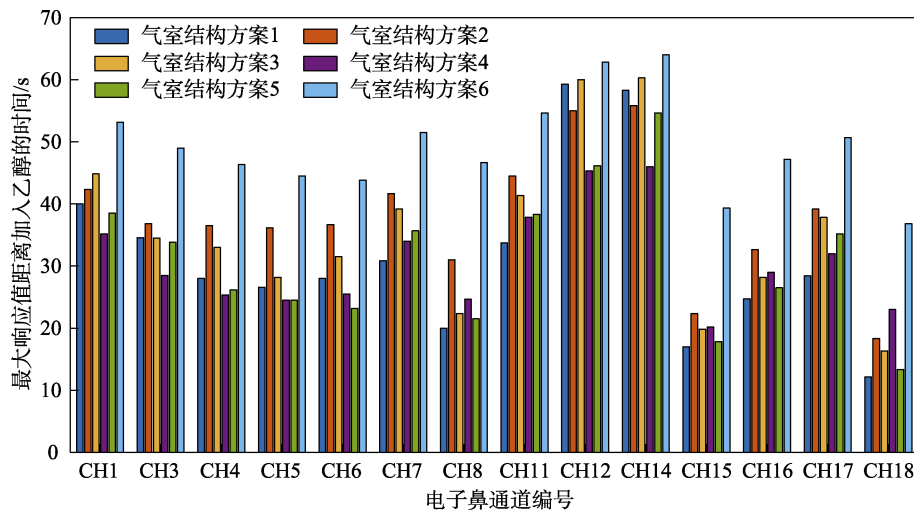


图 8 最大响应电压与加入乙醇的时间差  
Fig.8 Time difference between the maximum response voltage and the addition of ethanol

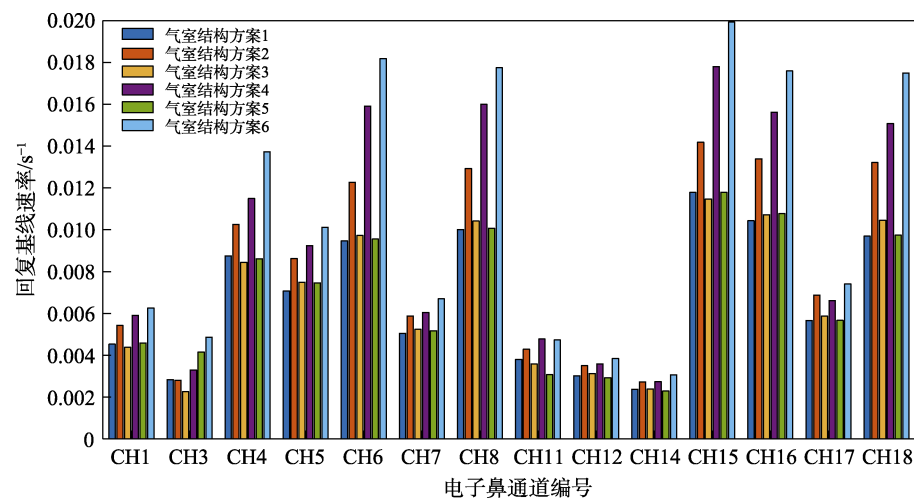


图 9 基线回复速率  
Fig.9 Baseline returning rate

于编号不同通道。其中响应率与基线回复速率采用计算公式如下。

$$\text{响应率} = \frac{\text{最大响应电压} - \text{基线电压}}{\text{基线电压}} \quad [27] \quad (1)$$



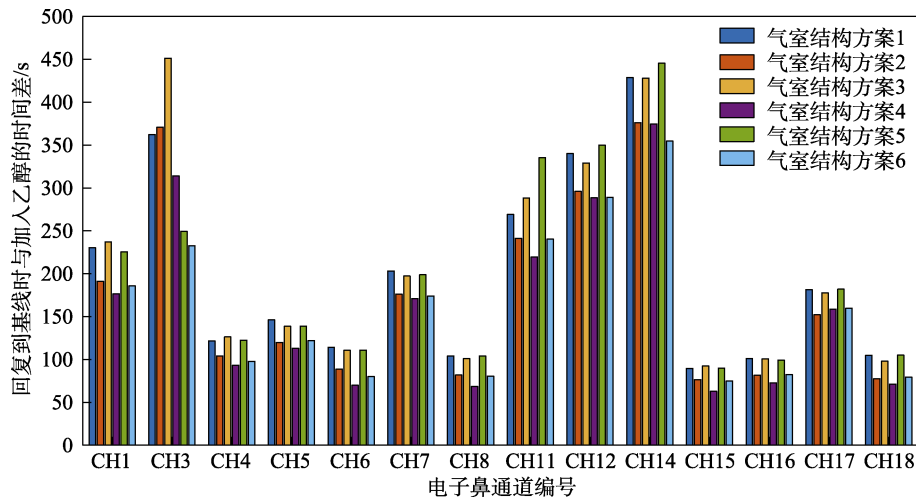


图 10 恢复到基线电压与加入乙醇的时间差

Fig.10 Time difference between returning to baseline voltage and adding ethanol

$$\text{基线回复速率} = \frac{1}{\text{回复至基线时间} - \text{最大响应电压时间}} \quad (2)$$

图 6 展示了应用 6 种气室结构的电子鼻相对乙醇的响应率,可以看出方案 4 的响应率最为突出。方案 6 的响应率同样很高,除了导气框还具有遮挡框结构。方案 4 和方案 6 都是侧面进气,顶端出气,方案 2 虽然也是侧面进气顶端出气,但是响应率表现并不好。显然导气框对电子鼻整体响应率的提升很有帮助。

从图 7—8 可以看出应用气室结构方案 4 的电子鼻响应率信号上升得最快,也能使电子鼻最快达到最大响应电压。而应用方案 6 的电子鼻虽然其响应率信号开始上升的也很快,但是需要较长的时间才能达到最大响应电压。因此在侧面进气顶端出气的情况下,遮挡板对气味信号响应速率有一定的负面影响。方案 1 进气方向与方案 2 和方案 6 相反,但是气味源可以直接散布在气体传感器正面,在响应信号的上升速率和达到最大响应电压的时间这 2 项指标上表现也很突出。

从图 9—10 中,在基线回复的速度上,可以看出应用了气室结构方案 2、4、6 的电子鼻,其基线回复速度比较快,用时较少。尤其是方案 6 (即侧面进气,顶端出气气室,内部部署导气框和遮挡框的方案)能够使电子鼻最快回复到基线水平。方案 2、4、6 的共性是侧面进气顶端出气,显然这种进气方式对于气室

的换气来说非常有帮助,同时配合遮挡板的方案对基线的回复最有利。

导气框的作用在于将进出气口处直径几毫米的气流尽可能散布开来,使气流尽可能均匀分布在气室各处。从测试结果来看,需要配合侧面进气顶端出气的方式才能使电子鼻的工作效果更好,更有利于提高对气味信号的收集。对比气室结构方案 1,虽然能够提高最大信号响应速率,但是从达到响应峰值的时间来看,不同通道气体传感器的响应并不均匀。因此尽可能使气室内气流分布均匀作为主动进气式电子鼻气室的设计原则,既可以提高电子鼻的各项响应性能,又因为气流分布均匀可以获得更可靠的各通道响应数据。而遮挡板给气室内部带来了扰动,在侧面进气顶端出气的情况下,能够加快气体传感器表面附近的气体迭代,基线回复效率更高。

对测试结果进行方差分析以准确表征应用不同气路结构的差异性。因为多个不同通道的气体传感器不属于同一类别,所以对酒精的响应值有所差异,但是在气路结构改变的影响下仍应服从同样的规律。为了量化地体现不同气路结构对电子鼻性能参数的影响,将每一个气体传感器通道在不同气路结构影响下的性能参数值以最大值为基准进行归一化,利用归一化数据进行方差分析,结果见表 1。

表 1 方差分析结果

Tab.1 ANOVA results

性能参数	气室方案编号 (平均值±标准差)						F	p
	1 (n=14)	2 (n=14)	3 (n=14)	4 (n=14)	5 (n=14)	6 (n=14)		
响应率	0.69±0.10	0.66±0.11	0.70±0.15	0.99±0.02	0.66±0.14	0.82±0.06	21.525	0.000
响应信号上升沿最大斜率	0.78±0.16	0.59±0.07	0.58±0.12	0.98±0.07	0.66±0.13	0.90±0.08	31.488	0.000
最大响应电压与加入乙醇的时间差	0.62±0.17	0.75±0.11	0.70±0.16	0.62±0.07	0.61±0.14	1.00±0.00	21.069	0.000
基线回复速率	0.67±0.10	0.80±0.11	0.67±0.11	0.89±0.07	0.68±0.10	1.00±0.00	33.143	0.000
恢复到基线电压与加入乙醇的时间差	0.96±0.07	0.81±0.04	0.97±0.04	0.74±0.08	0.95±0.12	0.77±0.09	25.332	0.000

结果显示, 对所选取的 5 个关键性能参数指标, 均有  $P < 0.05$ , 且  $F$  值均处于显著水平, 体现了不同气路结构确实对电子鼻性能有着显著影响, 并且均值数据符合前述分析结果。

## 4 基于模块化稳流装置电子鼻设计探索

### 4.1 电子鼻适用场景及使用方式

气室结构方案 2、4、6 的优势在于气体置换效率更高, 有效降低单次检测时间, 让检测流程更快速、便捷, 提升产品的使用体验; 针对家居环境中不同功能区、用户需求可模块化替换配件, 针对不同浓度、附着性的气体环境选择适宜的匹配方案, 符合家居复杂环境下气体检测的功能需求, 拓宽电子鼻的适用场景。

综合考虑家居特性、用户需求, 结合实验结果分析选用方案 4、方案 6 进行设计深化, 提出可能的应用场景。客厅茶几、燃气口等半开放空间, 采用固定、摆放式部署电子鼻, 长期、定时地自动检测气体数据, 防止食品腐败变质或易燃气体泄漏, 适用方案 4; 灶台、电烤箱等气味重、污染性强的空间, 采用固定、摆放式使用电子鼻, 快速、短期检测, 防止糊锅等安全问题, 适用方案 6; 新买的家具或刚装修好的房屋, 手持式使用电子鼻, 快速、即时检测, 及时获取污染物信息, 保障用户安全, 适用方案 4; 口气、人体排泄物等实时监测场景, 手持式使用电子鼻, 快速、即时获取用户健康数据, 预防疾病。详细对应关系见表 2。

根据不同适用场景和检测对象, 用户可自行选择最适配使用习惯的部署模式, 根据产品特性可归纳 3 种主要方式: 摆放、固定和手持式。

1) 摆放式。适用于茶几或厨房等食品短期储存、使用微波炉或烤箱等不便于观察食物实时状态等短期使用场景, 将电子鼻放在靠近气味源的地方, 通过产品上的指示灯或屏幕等交互配件获取实时数据, 确保能准确地采集到数据, 定时查看或通过手机 APP 提示, 掌握食品新鲜度和烹饪进度。

2) 固定式。适用于燃气管路、灶台等有易燃气体泄露风险的使用场景, 可将电子鼻固定在气体易泄

露区域, 如管道连接处、灶台上方, 定时查看或设置报警功能, 保障家居环境安全。

3) 手持式。适用于新家具、新家等快速监测使用场景, 将电子鼻贴近家具或手持在新家每间屋中进行一次数据采集, 确保污染气体浓度不会超标, 保障用户健康; 甚至在烹饪过程中靠近厨具, 检测调料剂量, 为新手厨师做饭提供指导; 同时适用于用户身体健康检测, 在进气口呼气或在运动、排泄后靠近气味源快速监测, 预警疾病信号, 产品设计中需更多考虑使用体验, 如进气面平整便于清洁, 气口外加一次性过滤装置, 保障数据准确的同时, 提升短时间内不同使用者的满意度。

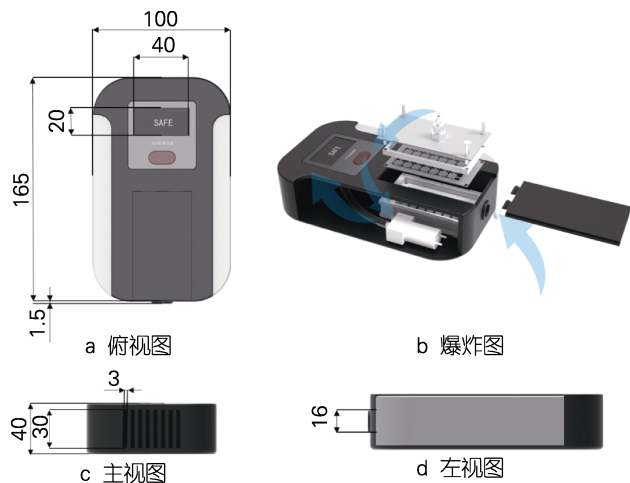
### 4.2 多模式产品设计构想

本研究提出了不同模块组合的适用场景和具体使用方法, 更便于设计师根据目标用户群的生活习惯或家居场景选用配件, 设计产品。气室空间结构紧凑, 相对于可能使用的电池、屏幕等配件重量更大, 便于结构设计师确定重心位置, 排布产品的内部构造; 传感器阵列电路板和全套气路配件均可通过螺丝固定在任意产品外壳上, 拆卸用外壳配件可设计成滑轨、卡扣等不同装配方式, 保证拆卸替换的便捷性。电子鼻气室是一种易污染的配件, 没有及时、有效地清洁可能会给未来的检测增加干扰, 影响数据的稳定性, 模块化、易拆卸、成本低的气室结构便于更换, 在传感器本体未损坏的情况下延长产品的使用寿命, 增加产品的利用率; 模块配件的设计方式适用于多种加工途径, 为需要特种材料的采集场景, 拓展了更多应用的可能。

根据 4.1 中归纳的使用方式, 电子鼻产品除了气味采集功能外, 还应具有屏幕或指示灯交互模块, 即时显示采集状态, 设计方案中使用带指示灯效果的按钮模块, 简化操作, 为了更便于用户远程查看采集情况、家居状态、记录数据并及时警报危险气体, 最好有 APP 联动手机, 拓宽电子鼻使用的物理空间, 给用户带来更便捷的使用体验, 在进气口处设置拆卸便捷、造价低的过滤装置, 设计模拟方案尺寸及爆炸图, 见图 11。气体流动方向见图 11(b), 通过气泵将待测气体抽入检测腔, 完成检测后在顶部的格栅处排出。

表 2 模块功能分析  
Tab.2 Module functional analysis

方案	主要特点	适用环境	检测模式	应用场景	使用方式
方案 4	响应率高, 达到最大响应值快, 基线回复速率慢	气体浓度低, 附着性弱	长期或即时检测	客厅、新房等	手持式、摆放式
方案 6	响应率低, 达到最大响应值慢, 基线回复速率快	气体浓度高, 附着性强	快速或短时检测	厨房等	固定式、摆放式



注：单位/mm

图 11 外壳尺寸三视图及爆炸图

Fig.11 Three dimension views and exploded view of outer case

针对家具场景设计的电子鼻需适配更多的部署模式，在不增加产品数量的前提下，同一个电子鼻需要具备手持、固定、半固定等多种使用方式。中扁平化的气室结构设计，更易适配方形的外壳结构，适配的外壳设计方式更广，结合前文提出的使用场景，模

拟手持式、摆放式产品使用方式，见图 12；同时为适配非专业的使用者，在快速、明确地响应主动进气方式有效提升检测效率的同时，本身也可作为一种交互信号，进一步降低使用门槛，减少学习新产品的时间。

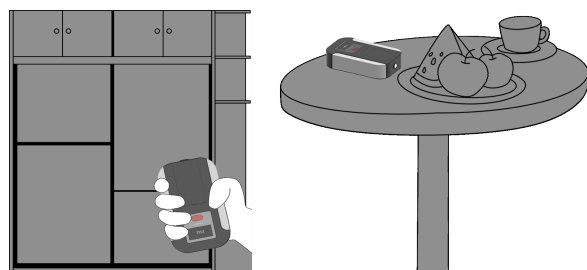


图 12 气味采集模块部署方式（手持式和摆放式）

Fig.12 Odor collection module deployment method (handheld and placed)

对手持式口气检测进行交互设计深化，设计手机 APP，进一步探索人机交互模式，APP 由智能检测、信息检索和个人中心 3 个主要功能组成，交互层级少，操作简单，见图 13。用户可选择用 APP 或产品

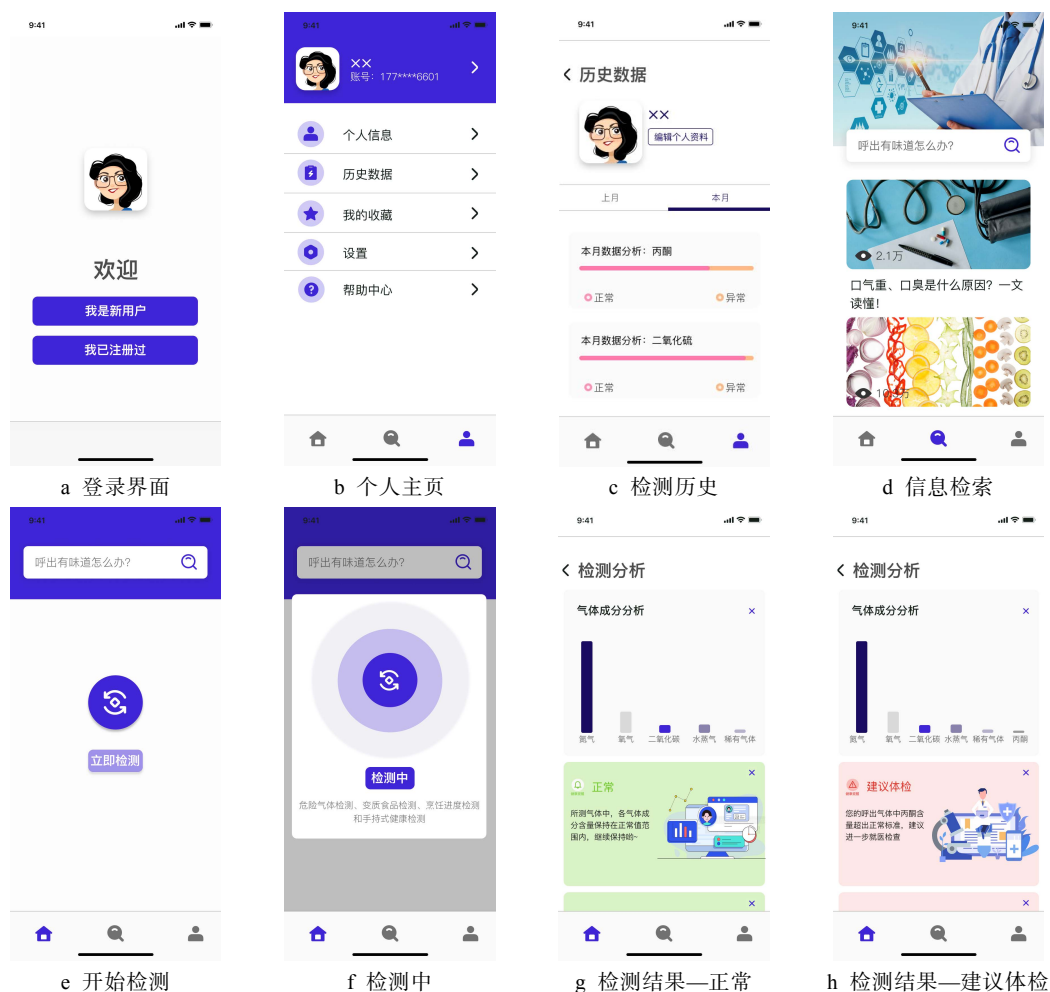


图 13 APP 交互界面

Fig.13 APP interactive interface



上的指示灯按钮开始检测, 向进气口吹气 3~5 s, 产品上的指示灯和屏幕会提醒用户检测完成。在 APP 上查看结果, 如检测到疾病相关气体浓度超标, 提示用户体检, 及时检查健康状况; 信息检索功能会根据检测结果推荐相关文章; 个人主页中记录历史检测结果和收藏文章, 便于用户查看自己健康状况的变化, 改善生活习惯, 见图 14。

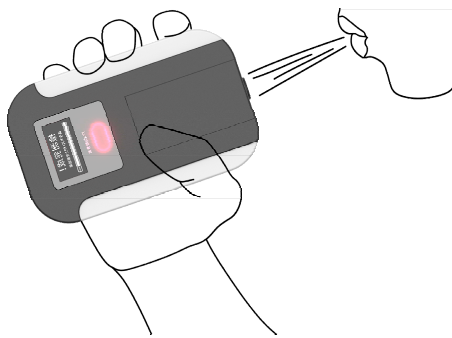


图 14 吹气方式  
Fig.14 Way of odo blowing

## 5 结语

气味识别在智能家居中具有广泛的应用潜力, 考虑到家居气味环境的复杂性, 相关产品的结构设计和部署方法对其性能表现和应用可靠性有较大影响。结合智能家居场景中气味识别装置使用需求, 基于模块化设计思想构建了几种气路配件, 可以对气室结构的尺寸、开口位置、内部结构等维度进行自由调整。使用所设计的几种气路配件构造了 6 种气室结构样例, 并对应用不同气室结构的电子鼻响应特性进行了实验测试, 发现了不同气室结构对电子鼻的响应性能有着显著的影响。对家居场景中不同功能区的气味采集设备的气室设计方案具有指导意义。预期可以在已有结构基础上, 通过增加曲面造型, 或将气室设计成圆形、椭圆形, 减少气室中的死角, 进一步探究气室结构对电子鼻数据的影响, 丰富气室结构相关的设计理论。

此外, 本研究基于以上实验结论进行了气味识别适用场景和产品设计构想等方面的讨论, 并针对呼气健康检测应用提供了产品设计案例参考。获得的若干结论可以拓宽电子鼻产品在智能家居中的应用范围, 使电子鼻能够适用更丰富的气味识别场景, 应对复杂多变的气体环境状况, 通过简单的结构拆卸、替换采集结构, 在外观造型、尺寸不变的前提下, 实现对不同流动状况气味源信息的采集分析, 为电子鼻产品融入未来智能家居生态提供了更多可能。

## 参考文献:

[1] ALAOUI-ISMAÏLI O, ROBIN O, RADA H, et al. Basic

Emotions Evoked by Odorants[J]. *Physiology & Behavior*, 1997, 62(4): 713-720.

- [2] CHANES L, BARRETT L F. Redefining the Role of Limbic Areas in Cortical Processing[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2016, 20(2): 96-106.
- [3] TAŞTAN M, GÖKOZAN H. Real-Time Monitoring of Indoor Air Quality with Internet of Things-Based E-Nose[J]. *Applied Sciences*, 2019, 9(16): 3435.
- [4] POSTOLACHE O A, DIAS PEREIRA J M, SILVA GIRA O P M B. Smart Sensors Network for Air Quality Monitoring Applications[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2009, 58(9): 3253-3262.
- [5] KIM S, LI Mu-yang. Awareness, Understanding, and Action: A Conceptual Framework of User Experiences and Expectations about Indoor Air Quality Visualizations[C]// *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM, 2020: 1-12.
- [6] AMORES J, MAES P, PARADISO J. Bin-Ary: Detecting the State of Organic Trash to Prevent Insalubrity[C]// *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*. New York: ACM, 2015: 313-316.
- [7] GREEN G C, CHAN A D C, GOUBRAN R A. Monitoring of Food Spoilage with Electronic Nose: Potential Applications for Smart Homes[C]// *2009 3rd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. London: IEEE, 2009: 1-7.
- [8] 李佳婷, 王俊, 李园, 等. 基于电子鼻的鸡蛋新鲜度检测[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(4): 300-305, 188.  
LI Jia-ting, WANG Jun, LI Yuan, et al. Detection of Egg Freshness Using Electronic Nose[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(4): 300-305, 188.
- [9] 惠国华, 厉鹏, 吴玉玲, 等. 基于电子鼻系统的水果腐败过程表征方法[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(6): 264-268.  
HUI Guo-hua, LI Peng, WU Yu-ling, et al. Characterization Method of Fruit Decay Procedure Using Electronic Nose System[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(6): 264-268.
- [10] SIHOMBING Y A, ALFARANDI RITONGA M. Detection of the Cooking Oil Aroma by Using a Gas Sensor in an Electronic Nose System[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 1811(1): 012105.
- [11] LOZANO J, ARROYO T, SANTOS J P, et al. Electronic Nose for Wine Ageing Detection[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2008, 133(1): 180-186.
- [12] RASEKH M, KARAMI H. E-Nose Coupled with an Artificial Neural Network to Detection of Fraud in Pure and Industrial Fruit Juices[J]. *International Journal of Food Properties*, 2021, 24(1): 592-602.
- [13] 潘治利, 于如梦, 黄忠民, 等. 不同部位牛肉对杏鲍菇牛肉菜肴品质的比较分析[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(6): 264-273.

- PAN Zhi-li, YU Ru-meng, HUANG Zhong-min, et al. Comparative Analysis of Quality of *Pleurotus Eryngii* Beef Dishes Treated by Different Parts of Beef[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(6): 264-273.
- [14] 步营, 李月, 朱文慧, 等. 不同烹饪方式对海鲈鱼品质和风味的影响[J]. *中国调味品*, 2020, 45(1): 26-30.
- BU Ying, LI Yue, ZHU Wen-hui, et al. Effects of Different Cooking Methods on Quality and Flavor of Sea Bass[J]. *China Condiment*, 2020, 45(1): 26-30.
- [15] 张华敏, 刘寨华. “闻诊”命名源流考[J]. *中医药学报*, 2017, 45(1): 6-8.
- ZHANG Hua-min, LIU Zhai-hua. A Textual Research on the Naming Origin of "Smell Diagnosis"[J]. *Acta Chinese Medicine and Pharmacology*, 2017, 45(1): 6-8.
- [16] WILSON A D. Future Applications of Electronic-Nose Technologies in Healthcare and Biomedicine[M]. London: IntechOpen, 2011.
- [17] 范蕴非, 陈曦. 呼出气挥发性有机物传感器在疾病诊断中的研究进展[J]. *中国公共卫生*, 2019, 35(8): 1099-1104.
- FAN Yun-fei, CHEN Xi. Progress in Researches on Application of Exhaled Volatile Organic Compound Sensors in Disease Diagnosis[J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2019, 35(8): 1099-1104.
- [18] FONOLLOSA J, RODRIGUEZ-LUJAN I, SHEVADE A V, et al. Human Activity Monitoring Using Gas Sensor Arrays[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2014, 199: 398-402.
- [19] OYABU T, NANTO H, ONODERA T. Odor Sensing Characteristics of a Lavatory in a General Domicile[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2001, 77(1-2): 1-6.
- [20] DANG Chi tai, SEIDERER A, ANDRÉ E. Theodor: A Step towards Smart Home Applications with Electronic Noses[C]// Proceedings of the 5th international Workshop on Sensor-based Activity Recognition and Interaction. New York: ACM, 2018: 1-7.
- [21] RÖCK F, BARSAN N, WEIMAR U. Electronic Nose: Current Status and Future Trends[J]. *Chemical Reviews*, 2008, 108(2): 705-725.
- [22] TAN S L, COVINGTON J, GARDNER J W. Velocity-Optimized Diffusion for Ultra-Fast Polymer-Based Resistive Gas Sensors[J]. *IEE Proceedings - Science Measurement and Technology*, 2006, 153(3): 94-100.
- [23] 童敏明, 吴国庆, 刘晓文, 等. 风流对催化传感器动态响应的影响[J]. *工矿自动化*, 2010, 36(3): 34-38.
- TONG Min-ming, WU Guo-qing, LIU Xiao-wen, et al. Influence of Air Flow on Dynamic Response of Catalytic Sensor[J]. *Industry and Mine Automation*, 2010, 36(3): 34-38.
- [24] SEDLÁK P, KUBERSKÝ P, MÍVALT F. Effect of Various Flow Rate on Current Fluctuations of Amperometric Gas Sensors[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2019, 283: 321-328.
- [25] HIRANO S H, HAYES G R, TRUONG K N. USmell: Exploring the Potential for Gas Sensors to Classify Odors in Ubicomp Applications Relative to Airflow and Distance[J]. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2015, 19(1): 189-202.
- [26] 马宏伟, 徐武德, 杨旭辉, 等. 基于 Fluent 的气敏特性测试室设计与流场分析[J]. *自动化与仪器仪表*, 2018(11): 168-171.
- MA Hong-wei, XU Wu-de, YANG Xu-hui, et al. Design and Flow Field Analysis of Test-Room for Gas Sensing Characteristics Based on Fluent[J]. *Automation & Instrumentation*, 2018(11): 168-171.
- [27] 梁宏增. 流速和湿度对气体传感器及电子鼻的影响研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- LIANG Hong-zeng. Study on the Impact of Gas Flow Rate and Humidity on Gas Sensors and Electronic Nose[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011.

责任编辑: 陈作