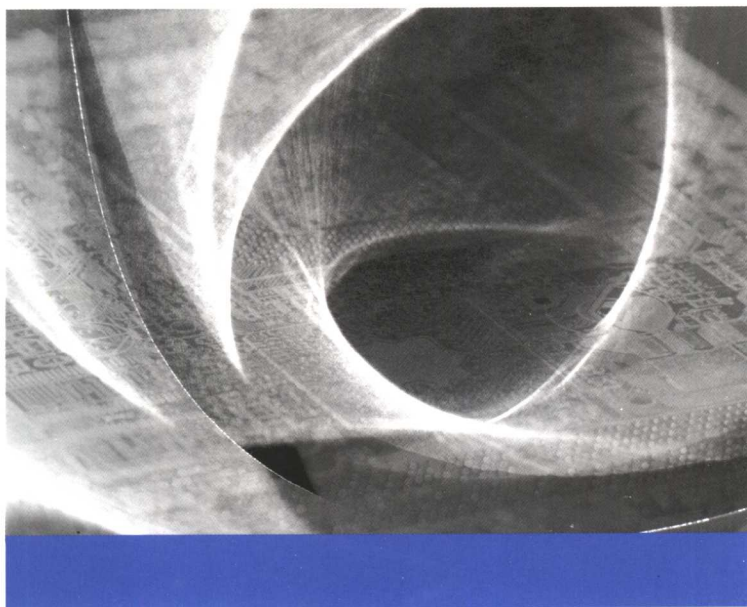


殷 勇 著

# 嗅觉模拟技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社

# 嗅觉模拟技术

殷勇 著



化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

嗅觉模拟技术/殷勇著. —北京: 化学工业出版社,  
2005. 3  
ISBN 7-5025-6689-9

I. 嗅… II. 殷… III. 嗅觉模拟 IV. Q811.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 013750 号

---

嗅觉模拟技术

殷勇 著

责任编辑: 张彦

文字编辑: 焦欣渝

责任校对: 宋玮

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$  字数 227 千字

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6689-9/TP·353

定 价: 38.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

---

嗅觉模拟技术属于新兴的多学科交叉技术。尽管 20 世纪 60 年代简单的嗅觉模拟（人工嗅觉系统、电子鼻）装置已出现，但其概念的形成却在 20 世纪 80 年代末。该技术在最近 10 余年发展速度很快，广泛用于食品分析、香精香料的质量鉴别、环境检测、医疗卫生等方面。

本书以构成嗅觉模拟系统的两大部分（传感器阵列和模式识别技术）为主线，以传感器与阵列融合技术、多元统计理论、神经网络、遗传算法为支撑，以气敏传感器的温、湿度补偿技术、样本筛选技术、测量信号的“指纹”数据提取技术等作为必要的技术补充，并结合一定的应用实验研究，深入而又系统地描述了嗅觉模拟的主要技术组成及相关理论。最后，简单概述了嗅觉模拟技术在食品分析、环境检测、医疗诊断、火灾探测等领域中的应用情况。

全书内容共分七章，并含有五个实用的 C 程序附录。内容包括：嗅觉模拟技术中的传感器与阵列；样本筛选与特征信息提取技术；常用的统计模式识别方法；人工神经网络模式识别方法；遗传算法与遗传神经网络；嗅觉模拟技术的应用等。

本书主要是根据本人的博士学位论文《人工嗅觉系统在农产品质量检测中的应用研究》（1999）和近年来的科学研究成果经过深化、推广以及对他人的相关研究成果综合整理而完成的。

由于嗅觉模拟技术还有许多待研究的内容，并随着传感器技术（主要是半导体金属氧化物传感器、电化学传感器、生物传感器等）、计算机技术、模式识别技术、微机械制造技术、应用数学理论的发展而发展。因此，这方面的技术还不很完善，相应的著作也非常少。所以，本书中的有关理论、方法仅供科技工作者参考，并希望通过共同努力，使该技术尽快达到较高的工

程实用化水平。另外，本书的一个显著特点是不苛求论述深奥的理论，而追求以简单的言语描述嗅觉模拟的思想所在与技术构成，为读者更好地了解和运用嗅觉模拟技术奠定了最为简明的基础。

本书在编写过程中得到了河南科技大学诸领导和同事的支持与帮助，在此一并致谢。

最后，应当指出的是，由于作者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，恳请同行批评指正，给予帮助和支持。

作者

2005年1月

# 目 录

---

第一章 绪论	1
第一节 嗅觉模拟技术简介	3
一、人的嗅觉机理	3
二、嗅觉模拟技术原理	5
三、嗅觉模拟技术中的主要相关技术	6
四、嗅觉模拟技术的发展史	12
第二节 应用及发展前景	12
参考文献	15
第二章 嗅觉模拟技术中的传感器与阵列	18
第一节 气敏传感器的选型原则	18
第二节 常用气敏传感器的检测原理简介	19
一、金属氧化物类气敏传感器	19
二、质量型气敏传感器	22
三、电化学型气敏传感器	22
四、导电聚合物气敏传感器	22
第三节 气敏传感器的工作条件与特性	23
一、工作条件	23
二、主要特性参数	24
三、基本特性	25
四、材料及敏感膜对气敏传感器性能的影响	29
第四节 气敏传感器及阵列的响应模型	29
第五节 气敏传感器阵列的构造方法	30
一、初始阵列的确定	30

二、最终阵列的确定 .....	31
三、阵列构造举例 .....	34
参考文献 .....	39
<b>第三章 样本筛选与特征信息提取技术 .....</b>	<b>40</b>
第一节 样本筛选的必要性 .....	40
第二节 常用的样本筛选技术 .....	42
一、用模式分类方法筛选样本 .....	42
二、用稳健回归方法筛选样本 .....	43
三、用离群判别法筛选样本 .....	43
第三节 特征信息提取技术 .....	44
一、问题的提出 .....	44
二、一些基本概念 .....	44
三、测量信息获取技术 .....	45
四、测量信息中异常数据剔除技术 .....	47
五、特征提取技术 .....	48
第四节 气敏传感器测量中温、湿度的补偿方法 .....	56
一、基于知识的温、湿度补偿思想 .....	57
二、基于知识的温、湿度补偿方法 .....	57
参考文献 .....	60
<b>第四章 常用的统计模式识别方法 .....</b>	<b>61</b>
第一节 KNN 法及其改进法 .....	61
一、基本的 KNN 法 .....	61
二、KNN 法的改进 .....	62
第二节 Fisher 判别法 .....	63
一、Fisher 判别法的基本思想 .....	63
二、Fisher 判别法的数学描述 .....	63
第三节 主成分回归简介 .....	65
第四节 偏最小二乘法 .....	66
一、基本原理 .....	67
二、计算方法推导 .....	67
第五节 聚类分析法 .....	69
一、相似和距离 .....	69
二、系统聚类法 .....	70

三、一次形成分类法 .....	71
四、映射分类法 .....	72
参考文献 .....	73
<b>第五章 人工神经网络模式识别方法 .....</b>	<b>74</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>74</b>
一、神经网络的研究简史、现状与特点 .....	74
二、前向神经网络模型 .....	76
三、前向神经网络非线性函数逼近理论 .....	80
<b>第二节 BP神经网络学习算法 .....</b>	<b>83</b>
一、基于批处理方法的BP学习算法 .....	83
二、基于递推最小二乘法的BP学习算法 .....	84
<b>第三节 RBF神经网络学习算法 .....</b>	<b>86</b>
一、常用学习算法概述 .....	87
二、一种基于高斯核的RBF神经网络学习算法 .....	88
<b>第四节 自组织人工神经网络 .....</b>	<b>93</b>
一、基本思想与学习原理 .....	93
二、学习算法 .....	95
参考文献 .....	96
<b>第六章 遗传算法与遗传神经网络 .....</b>	<b>98</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>98</b>
一、遗传算法的研究历史与发展方向 .....	99
二、遗传算法的基本特征 .....	100
<b>第二节 遗传算法的基本理论 .....</b>	<b>102</b>
一、基本的遗传操作方法 .....	102
二、遗传算法的理论基础 .....	104
三、遗传算法的收敛性 .....	107
<b>第三节 遗传算法的关键参数与算法的基本步骤 .....</b>	<b>108</b>
一、关键参数的确定 .....	108
二、算法的基本步骤 .....	110
<b>第四节 遗传算法的物种形成与小生境技术 .....</b>	<b>110</b>
<b>第五节 遗传算法的欺骗性问题 .....</b>	<b>111</b>
<b>第六节 基于遗传算法的LBF神经网络 .....</b>	<b>111</b>
一、二进制编码的遗传神经网络 .....	112



二、十进制编码的遗传神经网络.....	116
第七节 基于遗传算法的 RBF 神经网络 .....	119
参考文献.....	120
<b>第七章 嗅觉模拟技术的应用.....</b>	<b>122</b>
第一节 酒类的鉴别.....	122
一、酒类香气质量的评定.....	123
二、酒的种类识别或质量分级.....	123
三、取样方法探讨.....	124
四、酒类质量的稳定性判别.....	125
第二节 水果、蔬菜浆质量检测.....	128
第三节 肉类物品新鲜度的判别.....	128
第四节 环境检测.....	129
第五节 医疗诊断中的应用.....	130
第六节 火灾探测中的应用.....	131
参考文献.....	132
<b>附录一 基于批处理的 BP 神经网络 C 程序 .....</b>	<b>133</b>
<b>附录二 一种基于高斯核的 RBF 神经网络 C 程序 .....</b>	<b>147</b>
<b>附录三 二进制遗传 LBF 神经网络 C 程序 .....</b>	<b>162</b>
<b>附录四 十进制遗传 LBF 神经网络 C 程序 .....</b>	<b>179</b>
<b>附录五 十进制遗传 RBF 神经网络 C 程序 .....</b>	<b>194</b>

# 第一章

## 绪论

1

绪论

嗅觉模拟技术是探索如何模仿生物嗅觉机能的一门学问。无论是高级动物还是低级动物，都具有对周围环境中的化学刺激——气味进行感知并作出适当反应的能力。随着社会的发展，人的嗅觉器官在日常生活中的重要性有所下降，但嗅觉在食品、化妆品、香料香气质量评定与生产过程控制、环境污染检测、战争毒气检测、能源、化工、交通、医疗等方面的重要性却与日俱增<sup>[1]</sup>。

仅以人类自身来说，其日常生活和生产活动都与周围的大气环境密切相关，大气的变化对人类有极大的影响。例如，空气中含有有毒气体，会给人类带来灾难；可燃性气体的泄漏会引起爆炸和火灾，使人们的生命和财产遭受损失。随着工业规模逐渐扩大，产品的种类不断增多，气体原料和生产过程中产生的气体种类和数量不断增多，环境污染已逐渐影响到人类的生存。因此，对人类生存和生产环境中的各种气体、气味进行准确的检测是必要的。

在气体、气味的化学成分定性、定量分析过程中，气相色谱仪、气相色谱-质谱仪等是经常被利用的分析仪器。这类设备结构复杂、操作烦琐，经常需要对被测对象进行预处理，导致测试周期加长，而且还存在着不能连续检测等缺点。另外，作为化学成分分析仪器，它们用于气体分析是卓有成效的，但是用于气味质量分析效果却不佳，甚至无能为力。例如，酒的香气质量是多种致香成分的综合反映，完全测出这些成分不仅非常复杂，还要花费很多时间和费用，有些成分含量极微，测试非常困难<sup>[2]</sup>。已有的研究结果表明，有许多气味，其组分的大多数处于气相色谱等仪器的检测范围之外，

并且气味分子的物化性质与嗅觉效应之间的关系仍然是一个“黑箱”或“灰箱”，仅用测量出的几种化学成分不能全面地表达被测物质的质量。

在工业产品各种气味的评定中，人的嗅觉仍是主要“仪器”。如人们依靠嗅觉判断酒类、饮料等食品的品质，鉴别香水、化妆品等化工制品的品质，在临床诊断、环境检测等方面也是经常依赖于人的嗅觉。但是，人类嗅觉存在着一些不足之处。一是人类对气味的反映相当主观，它受到性别、年龄、健康水平、认知水平以及环境条件等诸多因素的影响，因此嗅觉感官结果的可靠性难以保证。有人测量了几组结构相关的化合物嗅觉阈值：16位被测试者对47种气味阈值的平均值的系数相当低，只有0.28，而且个体阈值的重复性实验的可靠性也较低，平均值为4.0，被实验者之间两个数量级以上的差异也并不罕见<sup>[3]</sup>。二是在一些受污染的环境中，如毒气污染的环境中，人类嗅觉受到严峻挑战。三是人类嗅觉往往只能给出被测对象的主观描述，无法给出准确的定量结果。所以，人类嗅觉的应用还是很有局限的。

鉴于传统感官评定和化学成分分析仪器的不足，研究和开发专门用于气体和气味检测的气敏传感器就成为工程技术人员奋斗的目标。到目前为止，气敏传感器的研究和开发已经取得了许多令人瞩目的成就，其中包括许多实用的气敏传感器。这些气敏传感器按照制作材料、制备工艺、工作原理和可探测的气体等划分为许多种类。其中比较成熟的气敏传感器有金属氧化物半导体传感器、固体电解质传感器、石英压电晶体传感器、声表面波传感器、导电聚合物传感器、L-B膜传感器等。

早期的气敏传感器研究，主要表现在提高单个气敏传感器的灵敏度和选择性方面，其应用领域比较单调，如简单混合物中某一种化学成分的检测、大气环境中有害气体的检测（如 $H_2S$ ）等。但是，人们后来认识到，单个传感器的应用仍是有限的，不能满足社会和技术进步的需要。因为在日常生活和生产实际中，经常遇到的不是简单的物质对象，而是由许多成分组成的复杂物质。如食品中挥发出的香气物质、香精香料的挥发物等，靠单个气敏传感器来检测这些挥发物的质量或成分是不可能的。所以，人们开始探索能否把多个传感器组合起来作为“嗅觉细胞”，构造出具有人的鼻子一样功能或部分功能的电子鼻（人工嗅觉系统），并希望它能对许多可能包含成百上千种化学成分的气味进行鉴别。这种电子鼻的鉴别或评定结果具有客观性，而且可靠、准确或比较准确。这样，对生物嗅觉功能的模仿——嗅觉模拟技术就成了研究的重要方向和热点。

实际上,只对一种气味分子有敏感响应的气敏传感器是不存在的<sup>[4]</sup>,一般均能对宽范围或多种类的气体分子产生响应,具有广谱响应特性。而这一特性正好满足:可用有限的传感器来构造能对多种成分物质进行鉴别的电子装置——人工嗅觉系统或电子鼻。人工嗅觉系统涉及材料、精密制造工艺、多传感器融合、计算机技术、应用数学以及各具体应用领域的科学与技术,并且与人类的嗅觉系统相比,它具有更强的信息处理能力、更高的分辨精度和结果的客观性。所以,许多发达国家已把嗅觉模拟技术列入优先发展的研究课题。

由于气敏传感器的敏感机理比较复杂(既有物理变化,又有化学变化),而仅从现有的材料和工艺方面很难改善其复杂的敏感特性。因此,如何利用现有的气敏传感器,如何借助于先进的模式识别技术来完成复杂气体或气味的定性、定量检测,食品、化工产品的质量评定等实际应用,就成了当前研究工作者的主攻方向。

## 第一节 嗅觉模拟技术简介

### 一、人的嗅觉机理

嗅觉是生物嗅觉系统对某种气体或挥发性物质的分子产生的一种生理反应。嗅细胞感受气味分子刺激而产生的微弱响应信号经嗅神经传送至嗅小球、僧帽细胞、粒状细胞层,最后传到大脑中枢<sup>[1]</sup>。图 1-1 示意了人的嗅觉对气味的感知过程。



图 1-1 人的嗅觉对气味的感知过程

#### (一) 嗅上皮和嗅细胞

嗅上皮位于鼻孔的上部,表现为一个暴露在外部环境中的气味敏感表面。嗅上皮中包含了感受器系统,在其上覆盖着一层黏液层(又称嗅黏膜)。对人而言,每个鼻孔中的嗅上皮的面积大概为  $2.5\text{cm}^2$ ,嗅上皮上包含了大约  $5 \times 10^7$  个感受器神经元——嗅细胞。每个嗅细胞上有数根直径约为  $0.15\mu\text{m}$  的嗅纤毛(或神经末梢)通过黏液层伸出,从而显著地增加了细胞的表面积。在嗅神经末梢的表面分布着蛋白质感受元,其作用如化学传感器

中的感受器，它们与空气中的气味接触，产生刺激反应，最终形成嗅细胞的感受结果。据悉，在神经末梢上分布着相对较少的蛋白质感受元（大约为100个）以保证感受细胞间具有部分的交叉敏感特性<sup>[5]</sup>。在整个嗅觉神经系统中嗅觉细胞不仅能够增强信号，而且能够产生下一级的信号，促使嗅感信号的传播。

### （二）嗅觉产生的机理和特点

刺激蛋白质感受器的气味分子首先被黏液吸收，然后扩散到纤毛处，与嗅黏膜受体结合。气味分子与感受器反应，增加了嗅纤毛的通透性，改变了嗅黏膜电导，引起膜电位的变化。这样嗅细胞就产生感受器电位并导致嗅神经纤维产生神经冲动。嗅觉感受器能在几毫秒内对挥发物质起反应。

嗅觉响应（嗅黏膜上记录到的生物电反应）的振幅及嗅神经脉冲的发送频率在很大范围内均与刺激强度的对数成正比，跨度为2~3个对数范围。不同气味分子的嗅觉阈值相差很大，有些特别低，如每毫升空气中只要存在 $4 \times 10^{-14}$  mg的甲基硫醇就能被嗅出<sup>[6,7]</sup>。

对于一些嗅觉阈值低的物质，尽管在混合气体或气味中的含量很少，但这类微量或痕量物质在特定的环境中可以对嗅觉系统产生显著影响，甚至决定了复杂混合气体或气味的气味特征。很多食物的败味就是因为出现了这类功能强大的挥发性物质，如奶油变味时挥发出一种物质，该物质在水中的阈值低到 $0.01 \times 10^{-9}$ ，使得对气味的感受无法与气味的主要特征统一<sup>[8]</sup>。这一现象说明，进行气味识别时不能简单地根据各个气体成分的浓度来决定混合物的味道。

虽然有的感受器细胞可能只对狭小范围内的信息起反应，但至今还没有发现只对一种特定分子有敏感反应的嗅细胞。研究表明，尽管单个的嗅觉感受细胞的敏感性、选择性很差，嗅细胞的生存期平均只有22天左右，但人类嗅觉系统的功能却非常强大，嗅细胞从复杂背景中感受到的多维微弱信息经嗅神经、嗅小球、大脑中枢后续的神经处理后，可将系统的灵敏度提高3个数量级，消除信号漂移并能识别几千种气味<sup>[5]</sup>。嗅觉系统的专一性是通过将这些带有部分重合敏感特性的感受器细胞组合起来形成的<sup>[8]</sup>。

### （三）嗅觉信号的传递与处理

嗅觉感受器以每秒1~3个的低频率发送脉冲。大多数气体使脉冲数量增加，也有少数气体能抑制脉冲发生。强烈的气味可以显著增加脉冲的频

率,最大可增加 20 倍。电生理学的研究表明,在没有气味刺激时,僧帽细胞就有一种持续的“自发电位”。当受气味刺激时,就在这种背景脉冲上引起频率的增减<sup>[6]</sup>。

嗅觉信号沿着感受器神经元的轴突传送至嗅小球中的几千个神经纤维球中,经过某种处理后由嗅小球的传出神经元——僧帽细胞向神经中枢传送。嗅小球呈球状结构,其中包含了发生较高层次处理的神经纤维球。每个嗅小球大约有 25000 个传入神经元和 25 个传出神经元,这种神经结构通过对基本信号的高度整合提供了巨大的计算能力,从而也有很强的容错能力。

嗅觉信号由僧帽细胞直接或间接传到大脑的有关区域,进行进一步整合,产生嗅觉的基本反应和更复杂的条件反射。前文已指出,嗅觉系统与嗅细胞相比,其整体灵敏度提高了 3 个数量级以上,从而具有识别数千种气味的能力。这说明,嗅觉系统的识别能力是大量嗅细胞、嗅神经和大脑中枢共同作用的结果,对气味的辨别能力是一种整体效应。

## 二、嗅觉模拟技术原理

大多数物质的气味组成成分比较复杂,如草莓的香气成分达 150 种以上<sup>[9]</sup>,仅用单个气敏传感器是无法评定或鉴别的。于是,多个气敏传感器构成的阵列装置应运而生,利用多传感器的交叉敏感特性反应组成复杂的气味特征。图 1-2 示意了嗅觉模拟技术的原理。从功能上讲,气敏传感器阵列相当于人的嗅觉系统中的嗅觉感受细胞,数据处理器和智能解释器相当于人的大脑,其余部分相当于嗅觉神经信号传递系统。

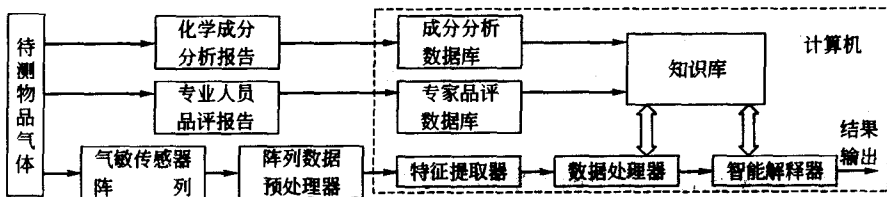


图 1-2 嗅觉模拟技术的原理

嗅觉模拟系统至少在以下几个方面模拟了人的嗅觉功能<sup>[1]</sup>:

① 将性能彼此重叠的多个气敏传感器组成阵列,模拟人鼻内的大量嗅觉感受器细胞,借助精密测试电路,得到对气体瞬时敏感的阵列检测器;

② 气敏传感器的响应经滤波, A/D 转换后,应用特征信息提取技术将对研究对象而言的有用成分和无用成分加以分离,得到多维有用响应信号的

数据处理器；

③ 利用多元数据统计分析方法，神经网络方法和模糊方法等将多维响应信号转换为感官评定指标值或组成成分的浓度值，得到被测气味定性、定量分析结果的智能解释器。

为了实现对人的嗅觉功能三个方面的模拟，人工嗅觉系统至少由两个主要部分组成。

### （一）气敏传感器阵列

气敏传感器阵列相当于初级嗅觉神经元，由具有广谱响应特性、高灵敏度、对不同气味/气体灵敏度不同的气敏元件组成。通常，气敏传感器阵列可以由多个分立气敏传感器元件组成，也可以采用集成工艺制作专用的传感器阵列<sup>[10]</sup>。单个气敏传感器与传感器阵列在性能上有质的区别：单个气敏传感器对气味/气体的响应可用强度来表示，而气敏传感器阵列除了各个传感器的响应强度外，还形成多维空间中的响应模式；在环境条件一定的情况下，阵列上的响应模式与其激励是一一对应的，而这正是嗅觉模拟技术能对多种气味和气体进行辨识的关键所在。显然，传感器阵列的选取并不追求高选择性，而相反利用了气敏传感器所固有的交叉敏感特性，使传感器阵列所确定的多维空间能够蕴涵更多有用的信息。

### （二）模式识别单元

模式识别单元相当于动物和人类的大脑，它运用一定的模式识别算法或数据处理方法完成气味/气体的辨识。在嗅觉模拟技术中，常用的模式识别算法有最小二乘法、聚类方法、主成分分析法、偏最小二乘法、人工神经网络法、模糊逻辑法等。

## 三、嗅觉模拟技术中的主要相关技术

嗅觉模拟系统是通过气敏传感器阵列、信号预处理单元和模式识别单元等来实现对人的嗅觉功能的模拟。因此，嗅觉模拟技术的发展集中在气敏传感器技术、信号预处理技术和模式识别技术三个方面。

### （一）气敏传感器技术<sup>[3,11~19]</sup>

在传感器的研究开发活动中，气敏传感器是最为活跃的，因为气敏传感

器与人类的生活、生产活动关系最为密切。下面介绍几种目前应用广泛的气敏传感器：

### 1. 金属氧化物半导体气敏传感器

自1962年金属氧化物陶瓷气敏传感器问世以来，半导体气敏传感器已成为世界上产量最大、应用最广的传感器之一。通过在半导体内添加少量Pt、Pd、Au等贵金属催化剂以及改善制作工艺、改变工作温度等手段，可以在一定程度上提高传感器的灵敏度和选择性。例如掺Au的 $\text{WO}_3$ 传感器对空气中的微量 $\text{NH}_3$ 很敏感；掺S，对R-113( $\text{CCl}_2\text{CClF}_2$ )和R-134a( $\text{CH}_2\text{FeF}_3$ )的灵敏度将大大提高。利用薄膜技术、超粒子薄膜技术制造的金属氧化物气敏传感器具有灵敏度高（可达 $10^{-9}$ 级）、一致性好、小型化、易集成等特点。

### 2. 有机半导体气敏传感器

利用有机材料如酞化氰制作气敏传感器已有很长一段时间。嗅觉模拟系统中使用有机材料传感器有以下潜在的优点：材料的选择范围广泛得多，而且与不同种类气味分子起作用的重要官能团可以嵌入活性材料，如导电聚合物（如聚吡咯和聚苯胺）和生物脂涂层就是两个主要的例子。这些传感器可以在接近室温下工作，典型的灵敏度在 $0.1 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$ （如导电聚合物化学电阻和SAW传感器）。况且有机材料比氧化物容易处理，使用的处理方法可以是电化学（电活性聚合物）、丝网印刷（酞化氰）和L-B法（脂涂层、酞化氰）等。

在国外，以英国学者的研究最为出色。Manchester大学科技学院的J. V. Hatfield和Warwick大学的J. W. Gardner两个研究小组将导电聚合物传感器应用于嗅觉模拟系统，并取得了成功。M. C. Lonergan等报道了在不同的有机聚合物绝缘相中掺入相同的炭黑导电相，这种炭黑有机聚合物薄膜沉积于金属铅上，从而构成了结构简单、功耗低和具有广谱特性的气敏传感器。由此构成的阵列可以识别同系物（如甲醇和乙醇）。

### 3. 固体电解质气敏传感器

这是产量仅次于金属氧化物半导体气敏传感器的一类气敏元件。主要测量对象是无机气体，如 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 等。传感器性能与固态电解质材料性质及传感器的使用温度都有关系，长期工作的稳定性也因材料的选择及使用温度的变化而变化。氧化锆氧传感器是固态电解质气敏传感器的典型代表，其特点是气敏选择性相当好、测量范围宽、精度也较高等。其主要用途可包括各种工业锅炉的废气监测、汽车尾气中有害气体的控制等。这类气



敏传感器的制作材料是快离子导体。目前,微机械加工制造技术已用于这类传感器的制造中,对应的产品又称作微离子气敏传感器。

#### 4. 质量型气敏传感器

这种传感器具有精度高、低驱动、低功耗、尺寸小和响应速度快等特点,是当前气敏传感器的一个重要发展方向。石英晶振型气敏传感器和声表面波气敏传感器是两个重要种类。石英晶振型传感器可以检测低含量有害气体、有毒物质和重金属离子。声表面波气敏传感器可以检测各种易挥发的微量或痕量有机气体和毒素。人们采用石英晶振气敏传感器已成功地检测空气中的污染气体:  $\text{NH}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{HCl}$  以及 TNT 等,灵敏度达到  $10^{-9}$  级。但是,质量型气敏传感器的功能优劣取决于外包涂层的选择性吸附层质量,涂层的厚度和涂覆技术也是决定传感器性能的关键技术。目前,这一类型的传感器存在着测试范围较小、受环境因素影响较大等缺点。

#### 5. L-B 膜传感器

L-B 膜技术是一种有机高分子单分子膜堆积技术,即在水气界面上将分子加以紧密排列,然后转移到固体载体上的技术。L-B 膜极薄(纳米级),用它作为传感膜的基质,加上识别系统,可研制出响应速度快、灵敏度高、性能优异的气敏传感器。这种传感器可在常温下使用,并能与平面硅微电子技术兼容,易于实现小型化、集成化。

随着微电子和薄膜、厚膜技术的发展,出现了加热单元、温度传感器、测量电极等集成一体的气敏传感器,且结构小型化使功耗大大降低。特别是近年来出现的用微机械加工技术制作的微型气敏传感器,结构从二维变成了三维,功耗有数量级的变化,从原来的几百毫瓦降到几十毫瓦,这种用微电子、微机械加工和薄膜技术制备的新一代气敏传感器称之为微结构气敏传感器。微结构气敏传感器有诸多独特优点:微型化,低功耗,工作温度可精确测定和控制,不受环境影响;批量生产成本低,一致性、可靠性高,并易阵列化;易于信号采集和处理及电路集成而实现智能化。因此,微结构气敏传感器将是气敏传感器研究的一个重要发展方向。

### (二) 信号预处理技术

信号预处理的方法应根据实际使用的气敏传感器类型、模式识别方法和最终识别的任务适当选取。通常认为,嗅觉模拟系统中某一传感器  $i$  对气味  $j$  的响应为一时变信号  $V_{ij}(t)$ 。由  $n$  个传感器组成的阵列对气味  $j$  的响应是  $n$  维状态空间的一个矢量  $V_j$ ,写成分量形式为: