电子鼻技术应用进展及在环境检测中的应用展望

董士霞[1]，耿奥博[2]

(1. 山东省济宁市兖州生态环境监控中心，山东 济宁　272100；2. 南京林业大学 材料科学与工程学院，江苏 南京　210037)

摘要：社会及科技日益进步与发展使人们早已不满足于仅仅依靠自身嗅觉的模糊感觉来臆测气味的特征，虽然人们亲自鼻嗅虽然简易方便，但是存在着巨大的偏差甚至有主观臆测的问题存在。随着嗅觉本人们的理解愈加深入，再伴随着传感器等技术的长足发展，电子鼻技术应运而生。电子鼻，仿生人类的嗅觉系统研制的一种智能电子仪器。其基本工作原理也与人类对气味的识别机制基本一致，首先传感器接收到气体从而发出信号，产生的信号经过处理与传输，最后通过自带的模式识别系统对气味做出判断。本文简述了电子鼻的基本原理及结构组成，总结了近年来电子鼻技术在食品工业、化工能源、烟草工业、医学医药、公共安全及环境监控等各个领域的研究与应用进展。结合电子鼻在其他领域中的使用与研究方法，提出了电子鼻技术在环境监控的应用可能性以及今后的发展趋势及方向。随着传感器科学、计算机科学、材料科学、仿生学以及生物学的发展，电子鼻也必将向着高度集成、微型智能和专业高效的方向发展。

关键词：电子鼻；气味；环境监测；生态

中图分类号：X85　　文献标识码：A　　文章编号：1008－021X(2020)01－0048－02

DOI:10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2020.01.021

Application Progress of Electronic Nose Technology and Its Prospect in Environmental Detection

Dong Shixia[1]，*Geng Aobo*[2]

(1. The Center of Ecological Environment Monitoring，Jining　272100，China；
2. College of Materials Science and Engineering，Nanjing Forestry University，Nanjing　210037，China)

Abstract: The growing progress of society and the rapid development of science and technology have made people not satisfied with the olfactory ambiguity alone. Although the human sense of smell is convenient and accessible，deviations and subjective speculations are existed. Electronic nose is an intelligent electronic instrument designed and simulated by human olfactory system. The principle of basic working is to imitate the recognition mechanism of human odor. First，the sensor arrays receive and generate signals which are then transmitted. At last，the processed signals are judged by the pattern recognition system. The article introduced the basic principle and structure of electronic nose，summarized the research and application advances of electronic nose in various fields such as food，chemistry，energy，tobacco，medicine，public safety and environmental monitoring in recent years. The application possibility and future development trend of electronic nose technology in environmental monitoring are put forward. With the development of sensor science，material science，computer science，bionics and biology，electronic nose will also develop towards the direction of integration，miniaturization，intelligence and specialization，and there will be electronic nose products suitable for wood industry.

Key words: electronic nose; smell; environmental monitoring; ecology

社会及科技日益进步与发展使人们早已不满足于仅仅依靠自身嗅觉的模糊感觉来臆测气味的特征，人类嗅觉虽然方便易操作，但是存在着巨大的偏差甚至有主观臆测的问题存在。人的感觉系统对各种气体的敏感性不高，且没有定量判断能力。随着人们对嗅觉理解不断深入以及传感器等技术的不断发展，为了解决人们上述问题，人们研发出了能感知并判别气体种类、浓度的智能设备－－电子鼻[1]。

电子鼻，即人工嗅觉系统，是模仿生物嗅觉的一种电子系统，主要依据气味来识别判断物质的类别与成分。

在电子鼻技术中，最关键的便是电子鼻设备，其主要构成分三部分：顶空进样器，将装有样品的顶空密封瓶上方气体通过顶空吸入到带有传感器阵列的主机中；气体传感器阵列，带有分析样品气味的气体作用于传感器阵列，产生瞬间响应，响应强度逐渐变强再变弱，最后达到稳定状态；信号处理系统，也被称为模式识别系统，由气体传感器阵列所获得的气味信息，要经过预处理并进行特征提取，再利用软件进行各种统计分析。

1982 年，英国研究者 Persuad 和 Dodd 使用三个 SnO_2 气体传感器模拟哺乳动物嗅觉系统对戊基醋酸脂、乙醇、乙醚、戊酸、柠檬油、异茉莉酮等有机气体进行类别分析，这是电子鼻最早应用[1]。然而随着电子鼻技术随着不断地发展进步，其应用范围也不断的扩展。迄今，电子鼻已经在食品医疗、烟草制药、化学化工、能源环保等领域受到了广泛地应用。

1　电子鼻的应用领域

1.1　食品工业

目前，电子鼻在食品工业中的应用非常广泛[2]，如新鲜度的检测，储存时间的预估判断，食品风味的评价等。电子鼻评价食物及饮品的风味不再需要经验丰富的专业人士进行测试，不仅降低经济成本和时间成本，同时还保证了客观性和准确性。

鲁小利等[3]在芝麻油掺伪检测中的应用研究中，研究并设计了一套电子鼻系统，并将基于生物嗅觉的模糊神经网络作为其模式识别算法。该仿生电子鼻系统应用于芝麻油掺伪的检测中在预测精度、收敛速度及运行时间上都取得了较好的效果，可为芝麻油以及其他农产品的在线动态监测及保真提供快速、有效的方法。

类似辨别真伪同样应用在调味剂中，比如何计龙等[4]在前期研究的基础上，应用电子鼻技术快速检测了台州地区生产销售的酿造食醋与配制食醋。研究表明：以食醋中特征香味物质

收稿日期：2019－10－27

作者简介：董士霞(1968—)，女，工程师，主要从事环境检测与监控。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

为参照,对检测结果进行主成分分析后,发现酿造食醋和配制食醋的落点在各自区域内而互不干扰,说明电子鼻能很好地区分台州市场上的酿造食醋和配制食醋。

张鹏等人[5] 分别对 1 - 甲基环丙烯不同处理时期苹果检测分析运用顶空固相微萃取 - 气质联用和电子鼻 2 种技术,对贮后货架期间 1 - 甲基环丙烯低温不同处理时期苹果的挥发性物质进行检测分析。电子鼻其结果与气质联用分析结果相一致。同时,随着贮后货架时间的延长,处理组间的差异越加明显,电子鼻区分效果也越好。因此,电子鼻对 1 - 甲基环丙烯低温不同处理时期苹果整体气味特征进行判别具有可行性。

杨春兰等[6] 利用电子鼻对 6 个贮藏时间 5 个等级的黄山毛峰茶进行检测,首先获取反映茶叶香气的原始特征向量,再通过主成分分析法(PCA) 提取出前 5 个主成分作为主特征向量,然后以主特征向量作为 BP 神经网络(BPNN) 的输入,建立黄山毛峰茶贮藏时间预测模型(PCA - BPNN) 。结果表明,该研究所建立的 PCA - BPNN 预测模型可用于检测黄山毛峰茶贮藏时间,且与以原始特征变量作为输入的 BPNN 模型相比,性能更好。电子鼻在食品工业的应用还有很多的实例,与此相关的论文还有很多[6] 。

1.2　化工能源

电子鼻在化学化工及石油能源领域都有广阔的应用[7] ,以及电子鼻与化学方法的互补使用进行综合检测[8] 等。MałgorzataBiniecka[9] 认为调查的气味不是一项容易的任务,需要在定制质量体系的背景下进行。到目前为止,一直十分注重测定挥发性气味的分数,嗅觉的组合(香味) 、化学物质所产生的味觉。可以由分析技术如气相色谱法(GC) 结合质谱等来实现。

在精细化工领域,电子鼻的应用很多。傅德锋等[10] 采用超快速气相色谱仪电子鼻对汽油样品分析。用主成分分析法(PCA) 对样品中的色谱峰进行数据处理并建立模型,对不同汽油标号进行归类和判定。结果表明,利用超快速气相色谱和电子鼻指纹分析技术,可以用于未知汽油样本的定性和汽油标号判定。

胡秋芳等[11] 通过嗅辨法和电子鼻技术对二甲胺溶液的气味进行识别检测,对 2 种方法的检出限进行比较。试验结果表明,二甲胺溶液在 25 T 下达到气液平衡的最优时间为 40 min,在此条件下嗅辨法对二甲胺溶液气味的识别临界浓度为 10 mg/L; Fox 4000 电子鼻检测二甲胺溶液气味的精密度良好,对二甲胺溶液气味的检出限为 2 mg/L,灵敏度高于嗅辨法。运用 PCA 分析法可成功区分二甲胺溶液的气味,区分能力优于嗅辨法。电子鼻技术进行气味检测灵敏度优于嗅辨法,结果更客观精确。

1.3　烟草工业

矫海楠等人[12] 对烟竿、烟夹、烟筐、大箱 4 种装烟方式的烤后烟叶进行化学成分分析、电子鼻无损检测和感官评吸。结果表明,利用 PCA、LDA 能无损检测并显著区分不同装烟方式烤后烟叶的香气成分,烟夹烘烤与大箱烘烤差异最为显著。感官评吸也显示 4 种装烟方式以烟夹烘烤的烤后烟叶质量档次最佳,挂竿、烟筐次之,大箱烘烤最差,电子鼻分析结果与感官评吸结果相符合,利用电子鼻与感官评吸综合分析可更科学评价密集烤房不同装烟方式烤后烟香气质量,并且可以建立一种感官评吸与数理统计相结合的方法,对今后的评价做出科学指导。

龙章德等人[13] 采用感官评吸和电子鼻分析,对不同县区、不同部位单料烟品质进行评价,并采用偏最小回归分析(PLSR) 方法对二者进行相关性研究。结果表明: 基于烟丝电子鼻的主成分分析(PCA) ,单料烟按地域差异进行分类; 基于烟气电子鼻的 PCA 分析,单料烟按地域和部位差异进行分类,且分析结果与人的感官评定结果最接近,因此烟气电子鼻分析可作为鉴别原料烟叶的客观手段之一。

1.4　医学医药

庄柳静等[14] 在《基于植入式脑机接口的在体生物电子鼻研究进展》一文中写到,哺乳动物具有异常高灵敏的嗅觉系统,能检测到空气中极其痕量的气体分子,在缉毒、搜爆、反恐等社会防范方面发挥着重要的作用。利用哺乳动物的嗅上皮作为初级气味感受器,气味信息通过嗅球和嗅皮层修饰处理后,将植入式微电极阵列包埋于嗅球或嗅皮层记录其响应信号,通过对记录到的神经元信号进行分析解码,实现气味检测与识别。文章还介绍了在体生物电子鼻的原理、组成结构、技术实现、应用及展望等。与此相关的还有很多例子。

1.5　环境检测

A. C. Romain[15] 等人,自制了空气环境的恶臭监测的电子鼻系统,试验证实了电子鼻系统对于恶臭中会发出的有机及无机物质有检测作用,不过需要进一步的完善整套监测系统。

方向生等人[16] 在《电子鼻在环境监测中的应用与进展》指出,电子鼻是一种模拟生物嗅觉工作原理的新形仿生检测系统,通常由交叉敏感的气体传感器阵列和适当的模式识别算法组成,可用于检测、分析和鉴别简单或复杂气味。作为新近发展的检测方法,它具有通用、快速、多功能、使用简单、低成本、便携、可自动化和在线监测等优势。随着在线连续在线监测的需求越来越迫切,电子鼻也显示了其在环境监测中的应用潜力。文章首先介绍了电子鼻技术的概念、原理、发展历史等信息,在此基础上综述了电子鼻技术在大气、水、土壤和固体废物等环境监测中的应用与进展,并指出电子鼻在可定位在大样本初筛、突发污染应急快速筛查和污染源排放报警性监测等方面。

2　总结与展望

电子鼻实现了气味的客观化表达,使气味成为可以量化的指标,并不代表电子鼻就能取代传统的含量测定手段,这只是气味可以用于标准化质量控制的前提与尝试。在电子鼻的技术支撑之下,气味有望成为空气质量控制中新的可量化指标,进而完善现有技术标准。电子鼻的出现正好契合了对于人们居住环境量化空气质量等研究的思路。随着传感器科学、计算机科学、材料科学、仿生学以及生物学的发展,电子鼻也必将向着高度集成、微型智能和专业高效的方向发展。总而言之,电子鼻技术在各领域的应用实例足以使我们对于在环境保护和监控等相关领域中的使用提供了足够的信心。

参考文献

[1] Krishna Persaud, George Dodd. Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose [J]. Nature, 1982, 299(5881) : 352 - 355.

[2] Peris M, Escuder - Gilabert L. A 21st century technique for food control: Electronic noses [J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 638(1) : 1 - 15.

[3] 鲁小利,王　俊. 仿生电子鼻在芝麻油掺伪检测中的应用研究 [J]. 粮食与油脂, 2016, 29(6) : 75 - 77.

[4] 何计龙,卢　亭. 电子鼻对酿造食醋与配制食醋的区分辨识 [J]. 中国调味品, 2016, 41(7) : 132 - 133.

[5] 张　鹏,李江阔,陈绍慧,等. 气质联用和电子鼻对 1 - MCP 不同处理时期苹果检测分析 [J]. 食品与发酵工业, 2014 (9) : 144 - 151.

[6] 杨春兰,薛大为,鲍俊宏,等. 黄山毛峰茶贮藏时间电子鼻检测方法研究 [J]. 浙江农业学报, 2016(4) : 676 - 681.

[7] 邓平晔,杨　颖,陈舜琼. 电子鼻在高档消费品品质检测中的应用 [J]. 现代科学仪器, 2009(3) : 116 - 120.

(下转第 51 页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

腐殖土用作矿坑回填虽然减少外运成本，但需经稳定化处理，且回填要求较高；若作城市绿化用土，也需要通过预处理，以达到腐殖土做绿化用土的标准—《绿化种植土壤》（CJ/T 340－2016）。

此外，腐殖土中含有较多颗粒较小的碎石、碎玻璃等无机物。例如，贵阳、东莞等南方地区，由于夏季降水量较大，大雨冲刷后腐殖土中有机质流失，残余较多碎石、碎玻璃，对腐殖土作绿化用土的观感和作用造成影响，可以通过对腐殖土进行干法或半湿法清洁，以去除无机物，提高腐殖土质量。

3　筛上轻质物利用

存余垃圾中的筛上轻质物包括塑料和织物等，其中以塑料为主要成分。目前废旧塑料再生主要工艺分为热熔造粒和制塑料棒。热熔造粒主要工艺过程包括破碎、清洗、熔融拉条、切断造粒及打包，工艺及设备较为复杂，对原料要求也较高。泉州某塑料分拣中心以垃圾回收站及分拣站中的废旧塑料为原料，通过人工分拣的方式，将塑料精细分类后进行熔融造粒，再生粒子出售至下游企业重新生产塑料制品，再生产品质量较高，销路良好。虽然与填埋场挖采的存余垃圾中废旧塑料的洁净情况有一定差异，但性能差异较小，填埋场塑料经适当干湿法清洗之后，即可进行资源化利用。

制塑料棒工艺较为简单，直接将混杂有废旧塑料、织物等的筛上轻质物破碎、挤压成型即可。再生的塑料棒可供下游企业生产铝塑板、下水道管材等。该工艺省去了热熔造粒环节，不仅减少配套设施，节省成本，降低二次污染，且对废旧塑料原料的清洁程度、质量及混杂程度要求都较低，原料特性更接近于填埋场存余垃圾中废旧塑料特性。因此，存余垃圾中的废旧塑料和化学纤维，可采用和参考该工艺进行处理和利用。

无论采用哪种资源再生工艺，清洁提质是目前废旧塑料处理及再生利用的关键。目前国内工厂都采用水洗方式清洁废塑料，虽然清洗水循环利用，但仍存在含盐量高、产泥量大的弊端，可采用干洗（包括砂洗和气洗）为主湿法为辅的多效组合洁净技术[10]，不仅可以大幅降低污泥产量，节约用水，干洗产生的腐殖土还可经处理后作城市绿化用土，实现资源多级利用。

4　建筑无机骨料利用

存余垃圾中建筑无机骨料主要包括砖石及混凝土。目前国内存余垃圾中建筑无机骨料的出路主要为回填。但这种方法仍然存在一些弊端，主要因为建筑无机骨料数量多、体积大，若全部采用回填的话会占据大量的土地资源；此外，部分建筑无机骨料中含有有害物质，回填会对地下水造成安全隐患。

存余垃圾中建筑无机骨料经污染去除及洁净后可进行资源再生利用，其方向包括铺路、制再生骨料及微粉、制再生建材（如再生混凝土、再生无机混合料、地面砖、透水砖等）以及一些新型再生产品等。新型再生产品例如水性涂料，通过将建筑无机骨料进行粉末功能化，并结合水性涂料制备过程，研发新型建筑无机骨料水性涂料[11]，可实现存余垃圾中建筑无机骨料的资源化及高附加值再生。

5　结论

存余垃圾虽然存在严重的二次污染，但潜在资源巨大，对存余垃圾实现分类资源化及高附加值再生利用，不仅达到治理污染的目的，还实现了固废的高效利用，节省了再生产品的原料。同时，对填埋场中存余垃圾进行开采利用，也是对填埋场及周边土地价值的释放，对社会、经济、资源、环保都具有重大意义。但国内针对存余垃圾的分类资源化及再生利用在实际工程中仍然存在一些问题，例如原料的清洁提质及预处理等。未来也需要不断研发新工艺、新技术，并进行集成与创新，达到存余垃圾高值化资源再生利用的目的，真正实现可持续发展。

参考文献

[1] 李礼平. 中国城乡建设统计年鉴 一、城市部分 1－1－15 全国历年城市市容环境卫生情况 [M]. 北京：中国统计出版社，2017：20－21.

[2] 李守天. 存量垃圾治理对策 [J]. 建材与装饰，2017（32）：176－177.

[3] 赵由才. 固体废物处理与资源化技术 [M]. 上海：同济大学出版社，2015.

[4] 陈善平，赵爱华，赵由才. 生活垃圾处理与处置 [M]. 郑州：河南科学技术出版社，2017.

[5] Zhao Youcai，Lou Ziyang. Pollution Control and Resource Recovery：Municipal Solid Wastes at Landfill [M]. United Kingdom and Cambridge：Elsevier Publisher Inc，2017.

[6] 王罗春，赵由才，陆雍森. 大型垃圾填埋场垃圾稳定化研究 [J]. 环境污染治理技术与设备，2001（4）：15－17.

[7] 李　华，赵由才. 填埋场稳定化垃圾的开采、利用及填埋场土地利用分析 [J]. 环境卫生工程，2000（02）：56－57，61.

[8] 方文君. 湖北荆门老垃圾填埋场废塑料的理化特性及其资源化途径研究 [D]. 长沙：中南林业科技大学，2014.

[9] 赵由才，柴晓利，牛冬杰. 矿化垃圾基本特性研究 [J]. 同济大学学报（自然科学版），2006（10）：1360－1364.

[10] 宋　楠，王罗春，周　涛，等. 废旧塑料无水清洁装置的设计及其清洗实验 [J]. 环境工程学报，2017，11（4）：2457－2461.

[11] 郑　毅，夏发发，林顺洪，等. 废弃红砖微粉填料制备环保乳胶漆及其性能研究 [J]. 中国环境科学，2019，39（2）：684－690.

（本文文献格式：耿晓梦，魏　然，伍　娜，等. 存余垃圾挖采筛分与资源化利用现状及发展趋势 [J]. 山东化工，2020，49（1）：50－51.）

（上接第 49 页）

[8] Jiang S，Wang J. Internal quality detection of Chinese pecans（Carya cathayensis）during storage using electronic nose responses combined with physicochemical methods [J]. Postharvest Biology and Technology，2016，118：17－25.

[9] Biniecka M，Caroli S. Analytical methods for the quantification of volatile aromatic compounds [J]. Trac－Trends in Analytical Chemistry，2011，30（11）：1756－1770.

[10] 傅得锋，沈卫东. 超快速气相色谱电子鼻分析技术在汽油标号判定中的应用研究 [J]. 刑事技术，2012（5）：18－21.

[11] 胡秋芳，王晓宁，廖　青，等. 二甲胺气味嗅辨法与电子鼻检测对比分析 [J]. 北京服装学院学报（自然科学版），2015（2）：16－22.

[12] 矫海楠，王传义，徐秀红，等. 不同装烟方式烤后烟感官评价与电子鼻综合分析 [J]. 江苏农业科学，2015（8）：290－292.

[13] 龙章德，林顺顺，田兆福，等. 基于电子鼻分析的原料烟叶鉴别 [J]. 食品与机械，2013（4）：35－39.

[14] 庄柳静，曹端喜，郭添添，等. 基于植入式脑机接口的在体生物电子鼻研究进展 [J]. 生命科学仪器，2014，12（3）：5－11.

[15] Romain A C，Godefroid D，Kuske M，et al. Monitoring the exhaust air of a compost pile as a process variable with an e－nose [J]. Sensors and Actuators B－Chemical，2005，106（1）：29－35.

[16] 方向生，施汉昌，何　苗，等. 电子鼻在环境监测中的应用与进展 [J]. 环境科学与技术，2011，34（10）：112－117.

（本文文献格式：董士霞，耿奥博. 电子鼻技术应用进展及在环境检测中的应用展望 [J]. 山东化工，2020，49（1）：48－49，51.）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net