

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2025.0619

车用尾气检测传感器的技术进展及展望

简家文, 邹 杰, 王 杰

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为减少尾气的排放, 汽车中大量使用了氧传感器及氮氧传感器。本文从测氧范围(窄域和宽域型)与核心部件结构(管式和片式)两个维度对氧传感器进行全面介绍; 基于氧传感器的极限电流工作机理, 详细阐述氮氧化物传感器的多腔工作模式, 并对比分析其两腔和三腔结构的技术特点; 同时, 还基于氮氧化物传感器多腔工作模式的特点, 提出了研发新型可燃气体传感器的思路。

关键词: 汽车尾气; 氧传感器; 氮氧传感器; 新型可燃气体传感器

中图分类号: TP212.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132(2025)06-0001-08

汽车作为重要的交通运输工具, 在为人类生活带来极大便利的同时, 因其尾气排放中含有的一氧化碳(CO)、碳氢化合物(C_xH_y)、氮氧化物(NO_x)等有害气体, 同样对环境 and 人类健康造成了严重威胁^[1-2]。为减少这些有害物质的排放, 各国政府不断制定更加严格的排放标准, 并要求汽车制造商采取有效措施来控制排放^[3]。其中, 对汽车尾气排放的监测以及对发动机燃烧状态的合理控制是解决环境污染、改善空气质量的关键技术之一。在车辆排放控制系统中, 氧传感器是最常用的传感器之一。它通过监测发动机尾气排放中氧气含量的高低来表征发动机的燃烧状态, 并将信号传递给电子控制单元(ECU); ECU则据此信号控制节气门或者喷油嘴的开度, 调整发动机中空气和燃油供给比例(简称空燃比, 记为 A/F , 其中 A 代表空气质量, F 代表燃料质量), 从而实现对发动机燃烧状态的精准调控, 以达到最佳的燃油燃烧效率, 并降低 CO 、 C_xH_y 、 NO_x 等有害气体的排放^[4-6]。

汽油燃料发动机的燃烧状态可分为以下几种: (1) 发动机中空气与燃料处于等当量比的理想燃烧状态(简称理想空燃比, $A/F=14.7$); (2) 空气过量的稀薄燃烧状态(简称稀燃, $A/F>14.7$); (3) 燃油过量的浓燃烧状态(简称浓燃, $A/F<$

14.7)。其中, 发动机处于稀燃状态时, 由于空气过量, 尾气中通常会存在未耗尽氧气, 其体积分数通常在3%~10%的范围内; 而处于浓燃状态时, 因燃料过量, 尾气中氧气浓度则极低。

近年来, 为实现燃料的高效利用, 部分发动机的燃烧被控制在空气过量的稀燃状态。然而这种状态下的过量空气会带来未参与燃烧反应的氧气, 而这些氧气在发动机高温燃烧时会与空气中的氮气发生反应, 生成 NO_x 尾气。若任其直接排入大气, 则会引发酸雨及光化学烟雾效应等问题, 对环境和人体造成巨大危害。因此, 为减少 NO_x 排放, 在稀燃发动机的排放控制系统中应用了选择催化技术(SCR): 在发动机排气管上采用 NO_x 传感器, 实时监测尾气中 NO_x 的浓度, 并将数据传递给ECU; ECU根据监测结果, 进而控制SCR装置向排气管中合理喷射尿素($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)。尿素在高温下水解产生氨气(NH_3), 在SCR装置中与尾气中的 NO_x 发生反应, 生成无害的氮气和水, 从而降低 NO_x 排放, 以满足排放标准的要求^[7-8]。目前, 随着排放标准的不断提高以及在线监测(OBD)技术的发展^[9-10], 部分车型已在SCR装置前后端均安装了 NO_x 传感器, 以实现 NO_x 浓度更全面的监测, 这也全面推动了 NO_x 传感器的大量需求。

收稿日期: 2025-06-19

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(62471267); 浙江省基础公益研究计划项目(LGG22F010017); 宁波市重点研发计划(2022Z093, 2022Z092)

第一作者: 简家文, 教授, 主要研究方向为敏感材料传感器、检测技术及仪表开发。E-mail: jianjiawen@nbu.edu.cn

因此, 本文将从工作原理、技术特点和应用场景等方面对氧传感器和 NO_x 传感器进行全面的介绍和分析, 同时还结合该类传感器的优点, 探讨其未来可能的发展趋势, 以期对今后的研究和应用有所指导。

1 氧传感器

汽车用氧传感器是一种能够实时监测汽车发动机燃烧尾气中氧气含量, 进而判定发动机空燃比状态的车用气体传感器。根据氧浓度测量范围, 可分为窄域型和宽域型两种常见类型。窄域型氧传感器是最早用于汽车排放控制的传感器之一, 其工作原理简单、成本低廉, 适用于基本的发动机燃油控制^[11-12]。宽域型氧传感器则具有更广泛的测氧范围和更高的精度, 能够满足更复杂的发动机燃油控制系统的需求。

1.1 窄域型氧传感器

窄域型氧传感器又名浓差型氧传感器或者开关型氧传感器, 其工作原理基于高温氧离子固体电解质钇稳氧化锆 (简称 YSZ), 利用该电解质两边氧分压差异产生的浓差电势形成高低电平开关信号, 从而实现对氧气的检测。其结构如图 1 所示, 主要由氧离子导电的钇稳氧化锆固体电解质、多孔的敏感电极 (常用 Pt, 面向汽车尾气) 及参比电极 (常用 Pt, 面向参比空气) 组成。

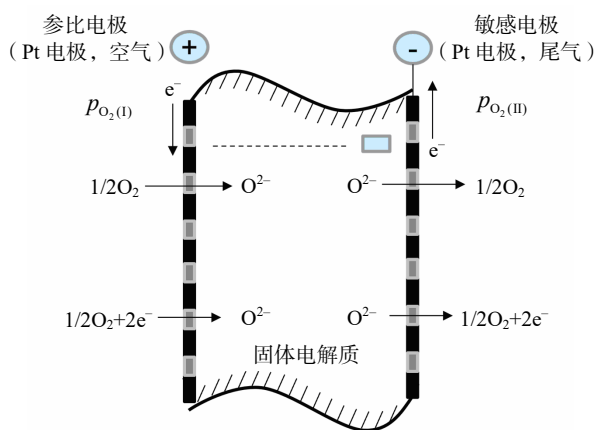


图1 窄域型氧传感器原理图

窄域型氧传感器对氧浓度敏感的机理如下：

(1) 参比电极一侧：空气中的氧气分子在参比电极表面解离为氧原子, 迁移至参比电极和固体电解质三相界面获得电子, 变成氧离子 (O^{2-}), 并

进入 YSZ 固体电解质, 即



(2) 敏感电极一侧：进入到 YSZ 固体电解质氧空位中的氧离子 (O^{2-}) 由于存在氧离子浓度差, 因此向 YSZ 固体电解质另一侧敏感电极扩散, 并在敏感电极侧失去电子, 还原成氧气 (O_2), 进入尾气中, 即



这样会带来氧离子 (O^{2-}) 在 YSZ 固体电解质中浓度的非平衡分布, 形成浓差电势, 其大小可根据能斯特公式 (3) 获得^[6,13]:

$$E = \frac{RT}{4F} \ln \frac{p_{\text{O}_2(\text{I})}}{p_{\text{O}_2(\text{II})}} \quad (3)$$

式中: E 为传感器浓差电势, V; R 为气体常数, $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$; T 为工作温度, K; F 为法拉第常数; $p_{\text{O}_2(\text{I})}$ 为参比空气中氧分压值 (一般为 20.6%); $p_{\text{O}_2(\text{II})}$ 为尾气中氧分压值。因此可通过浓差电势 E 的大小得到尾气中的氧分压值 $p_{\text{O}_2(\text{II})}$ 。

窄域型氧传感器的输出特性如图 2 所示。当发动机处于浓燃状态时, 尾气中氧分压 $p_{\text{O}_2(\text{II})}$ 极低, 此时氧传感器会输出近 1 V 的电压; 而当发动机处于稀燃状态时, 尾气中氧分压 $p_{\text{O}_2(\text{II})}$ 较高, 此时氧传感器则会输出近 0 V 的电压。因此, 通过窄域型氧传感器开关阶跃的输出电压变化, 即可判断汽车发动机的燃烧状况。

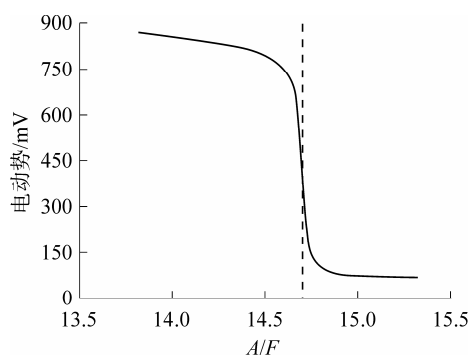
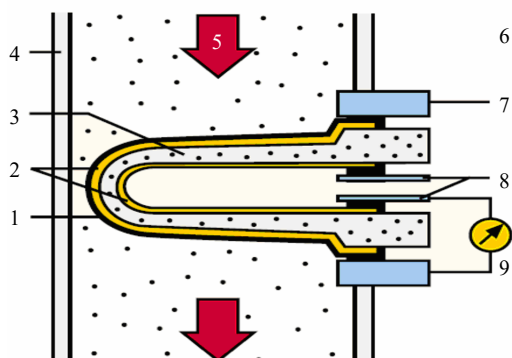
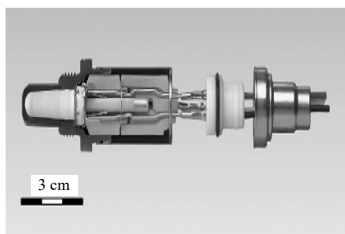


图2 窄域型氧传感器的输出特性曲线

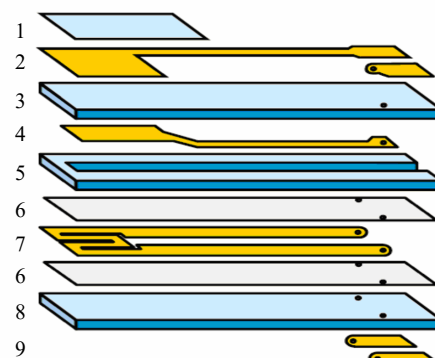
窄域型氧传感器是一项比较成熟的技术产品。最早的窄域型氧传感器采用管式结构 (图 3 (a)), 其管体用 YSZ 固体电解质构成, 管外多孔的 Pt 敏感电极与汽车尾气直接接触, 管内多孔的 Pt 参比电极则置于参比空气中。尽管这种设计在早期的发动机控制系统中发挥了一定作用, 但存在着结构复



1.陶瓷多孔保护涂层; 2.内外电极; 3.固体电解质层;
4.排气管; 5.尾气; 6.环境空气; 7.外电极引线;
8.内电极引线; 9.电压表。



(a) 管式结构



1.陶瓷多孔保护涂层; 2.外电极; 3.固体电解质层;
4.内电极; 5.参考气道; 6.绝缘层; 7.加热器;
8.固体电解质层; 9.连接触点。



(b) 片式结构

图3 窄域型氧传感器结构^[7]

杂、制造成本较高的问题,同时对传感器的尺寸和性能也形成了一定限制。

近年来,随着陶瓷多层流延制备技术的进步,窄域型氧传感器的结构逐渐演变为片式结构(图3(b))^[14]。在这种结构中,多孔Pt电极材料被共烧在平面YSZ固体电解质陶瓷基片的两侧。外侧的敏感电极与汽车尾气接触,内侧的参比电极则与参比气道的空气接触,同样能够实现如式(3)所示的浓差电势输出。陶瓷多层流延制备技术不仅大大地提升了传感器的批量制造量 and 产品一致性,还降低了其制造成本,同时片式结构也使得传感器体积更小。

1.2 宽域型氧传感器

宽域型氧传感器也称为“广谱氧传感器”,其结合极限电流型氧传感器和窄域型氧传感器于一体,是专为发动机稀燃控制技术而开发的一种可实现尾气中氧含量宽范围监测的氧传感器。此特性对于控制发动机处于稀燃状态、提高燃油燃烧效率至关重要^[15-18]。

1.2.1 极限电流型氧传感器

极限电流型氧传感器结构如图4所示,在YSZ固体电解质基片两侧均共烧有多孔Pt电极,形成

阴极和阳极。在阴极侧Pt电极上用开有小孔的“帽子”加以覆盖,由此形成测量腔和小孔扩散障。工作时,气氛中的氧气通过小孔扩散障进入阴极侧。当在阴、阳两电极间施加电压后,推动氧气在阴极侧得到电子变成氧离子。借助YSZ固体电解质特有的氧离子传导能力迁移至阳极侧,随后失去电子重新转化为氧气。该功能简称为泵电池,其具体电化学反应如下:

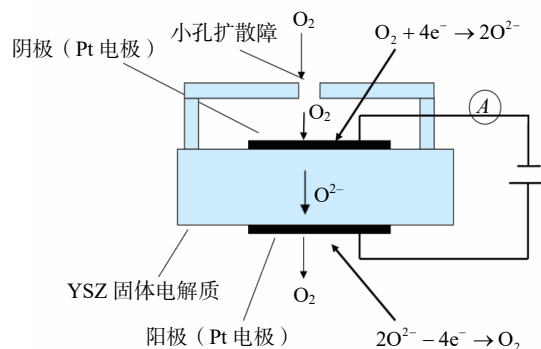
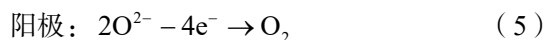
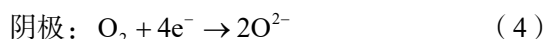


图4 极限电流型氧传感器

由于整个回路中存在载流子(包括固体电解质中的氧离子和外部导线中的电子)的定向移动,因

此会形成回路电流。当增大电压时,回路电流会随之增大;而当电压超过某一数值时,在不同待测氧浓度下,回路电流的输出会呈现出一系列基本平行的饱和平台(图5),这些饱和平台所对应的电流值被称为极限电流值 I_L ^[19-22]。根据饱和状态下的扩散方程及法拉第定律,可推导出极限电流值 I_L 与待测氧浓度 C_{O_2} 的关系^[23-26]:

$$I_L = -\frac{4FSD_{O_2}}{RTL} \times C_{O_2} \quad (6)$$

式中: F 为法拉第常数; S 为扩散孔面积; D_{O_2} 为氧气扩散系数; T 为工作温度; L 为扩散孔长度。当温度、扩散孔结构一定时,极限电流值 I_L 主要由待测氧浓度 C_{O_2} 所决定,因此能实现一个宽范围的氧浓度测量。

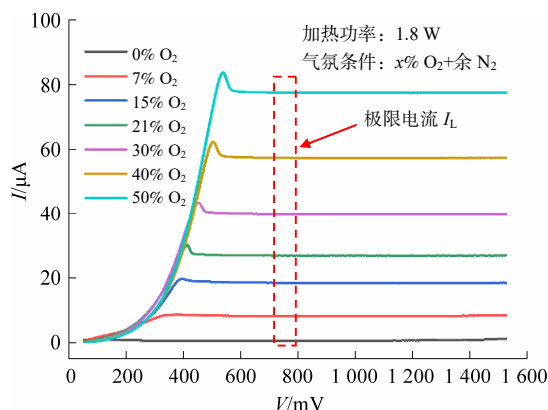


图5 极限电流型氧传感器的输出特性曲线

1.2.2 λ 氧传感器

将窄域型氧传感器与极限电流型氧传感器相结合,形成 λ 氧传感器结构,如图6所示^[27],其工作原理如下:汽车尾气通过扩散孔扩散进入测量腔,由于测量腔中的氧气浓度与参比气腔(一般为空气)中的氧气浓度存在差异,此时的窄域型氧传感器会输出浓差电势。该浓差电势经电压比较器与450 mV固定电压进行对比后,会产生相应的正负输出电压,此电压被施加在极限电流型氧传感器的泵电池上,进而形成泵电流。泵电流的作用是向测量腔泵入/泵出氧气,力争保持测量腔中氧浓度的恒定,使得窄域型氧传感器输出的浓差电势稳定在450 mV附近。该泵电流的正负、大小与测量腔的泵入或者泵出方向及泵氧量成比例,进而与汽车尾气中的氧浓度直接相关。在汽车领域通常引入过量空气系数 λ (如式(7)所定义)来表征汽车尾气

中的氧浓度,此参数是一个跟发动机燃料种类无关且能够有效反映发动机燃烧状态的参量。

$$\lambda = \frac{A/F_m}{A/F_t} \quad (7)$$

式中: F_m 为燃料测量值; F_t 为燃料理论值。

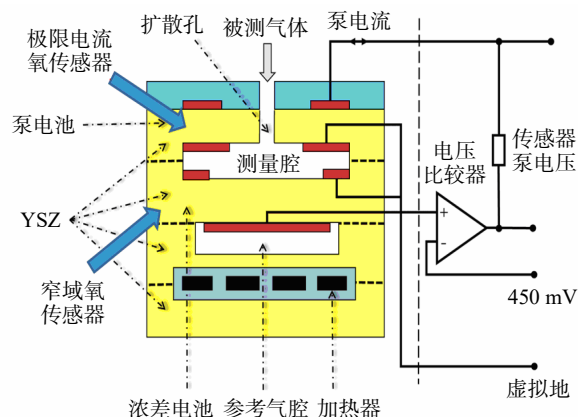


图6 λ 氧传感器的结构

因此, λ 氧传感器输出特性呈现为如图7所示的曲线,泵电流 $I_{p,mean}$ 信号与过量空气系数 λ 呈单调递增关系,能够保证 λ 在0.7~2.6的较宽范围内实现对发动机燃烧状态的监测,因此也称为宽域型氧传感器。基于此,ECU可以根据 λ 氧传感器泵电流 $I_{p,mean}$ 的输出值实现对发动机从 $\lambda < 1$ 的浓燃到 $\lambda > 1$ 的稀燃全区域连续控制。

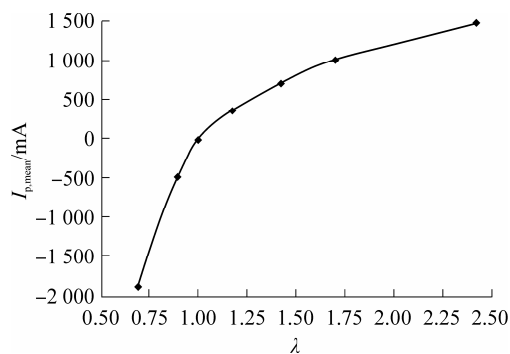


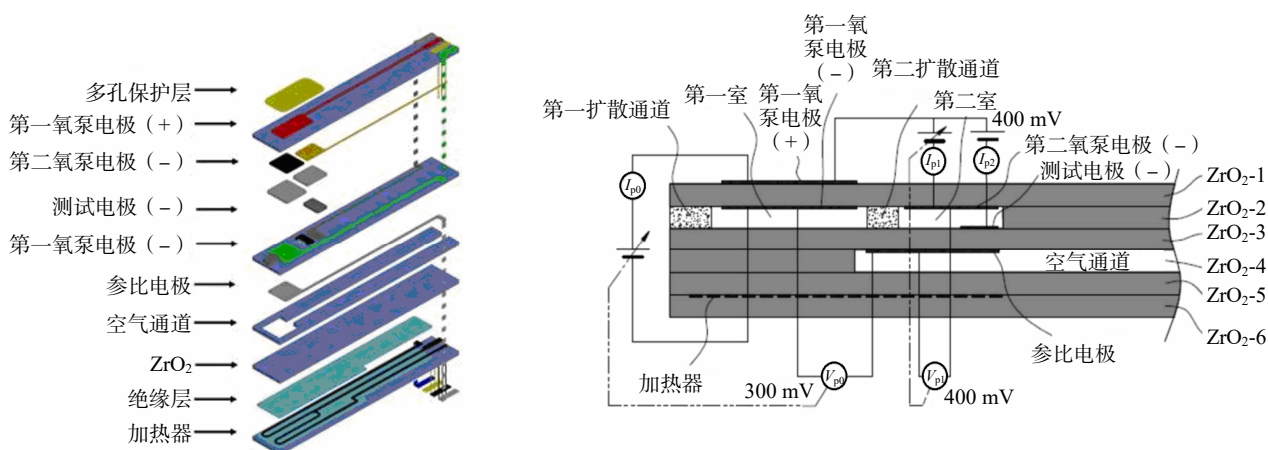
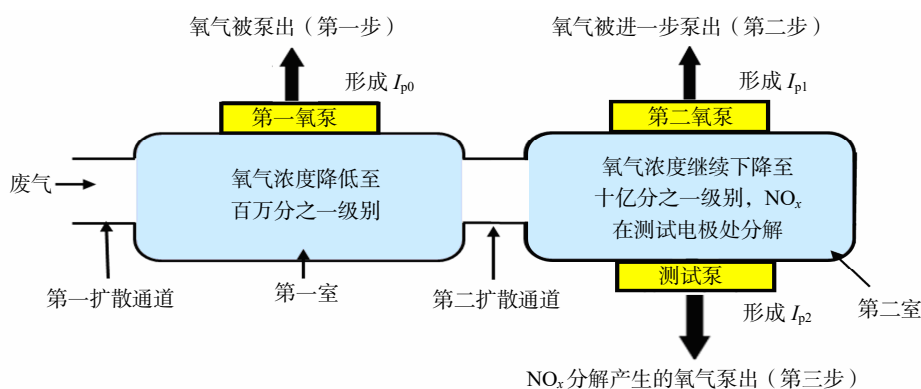
图7 λ 氧传感器的特性曲线^[28]

2 车用 NO_x 传感器

车用 NO_x 传感器主要为电流型,其工作原理与宽域型氧传感器类似,且根据腔室数量分为两室结构和三室结构。

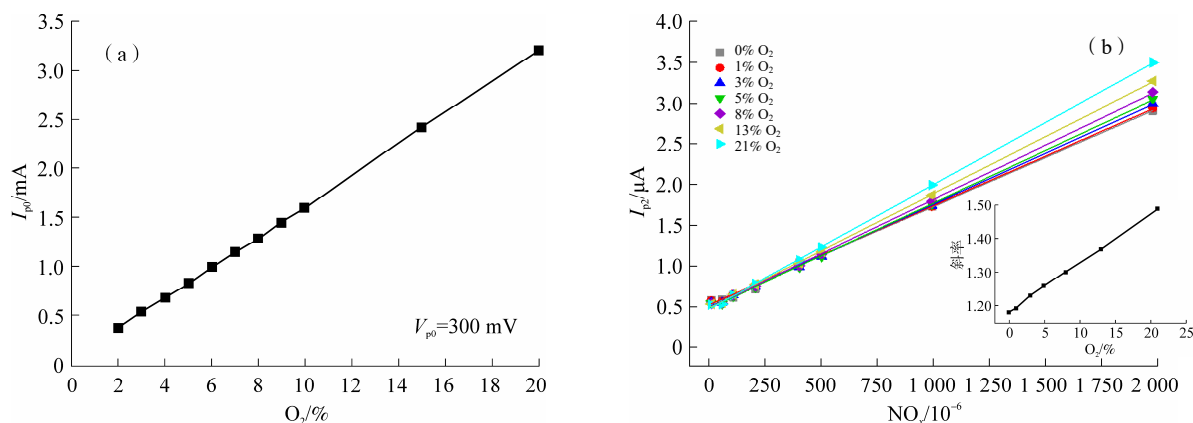
2.1 两室结构

图8为两室结构的电流型 NO_x 传感器,其原理如图9所示。第一步,稀燃发动机尾气中的氧气和

图8 两室结构的 NO_x 传感器结构图9 两室结构 NO_x 传感器的工作原理

NO_x 气体通过第一扩散通道扩散至第一室。在第一室泵氧电压 V_{p0} 作用下, 氧气被第一氧泵泵出室外, 使得第一室内氧气浓度低至百万分之一级别。与极限电流传感器原理一样, 此过程中的第一氧泵泵氧电流 I_{p0} 与尾气中的氧浓度成正比。由于第一室中的第一泵氧电极为对 NO_x 具有催化惰性的铂金合金, 因此 NO_x 在此处几乎不发生分解, 而是通过

第二扩散通道扩散至第二室。第二步, 在第二室泵氧电压 V_{p1} (一般 $V_{p1} > V_{p0}$) 作用下, 本就浓度极低的氧气被第二氧泵进一步泵出室外, 使第二室内的氧气浓度继续下降至十亿分之一级别。第三步, 在极低的氧浓度环境中, 结合第二室内测试电极是对 NO_x 具有催化活性的铂铈合金测试电极, 在两者共同作用下, 第二室内的 NO_x 在测试电极处发生分

图10 NO_x 传感器的输出特性

解反应并释放出氧气,且在第二室测试泵氧电压 V_{p2} 作用下泵出室外,形成泵氧电流 I_{p2} ,因此,该泵氧电流 I_{p2} 值与尾气中的 NO_x 浓度成正比^[29-32]。通过上述原理,此类车用 NO_x 传感器可同时实现尾气中氧浓度和 NO_x 的测量,其输出特性如图 10 所示(其中,图 10(b)中插图为各 O_2 浓度下, I_{p2} 与 NO_x 浓度拟合的斜率变化曲线)。

2.2 三室结构

在两室结构中,泵氧电极与测试电极位于同一腔室,不可避免地会出现相互干扰。因此,在两室结构基础上,人们提出了更独立、相互干扰更小的三室结构,如图 11 所示。三室结构将第二泵氧电极与测试电极分开,分别置于第二室与第三室中。其中,第一室和第二室的泵氧作用与两室结构一样,区别在于第二室中的 NO_x 通过第三扩散通道扩散至第三室。在泵氧电压 V_{p2} ($V_{p2} > V_{p1}$) 的作用下,

NO_x 则在第三室测试电极处发生分解反应。由于此时第三室内几乎不存在游离氧,产生的泵氧电流 I_{p2} 仅由 NO_x 分解的氧气产生,因此泵氧电流 I_{p2} 值与尾气中的 NO_x 浓度呈现出更佳的线性关系。

3 新型可燃气体传感器的设想

通过上述宽域氧传感器和氮氧传感器工作原理分析,可知基于 YSZ 氧离子固体电解质、极限电流型测氧原理和多腔结构可以实现宽范围、高精度的氧浓度测量。因此我们提出了如图 12 所示基于双极限电流型氧传感器结构的可燃气体传感器原理设想,即由 YSZ 固体电解质陶瓷层、Pt 负电极 (Pt 负电极 1 和 Pt 负电极 2) 和共享 Pt 正电极构成 2 个反应腔 (反应腔 1 和反应腔 2)、2 个测量腔 (测量腔 1 和测量腔 2) 和 2 个扩散通道 (扩散通道 1 和扩散通道 2)。其中,YSZ 固体电解质陶

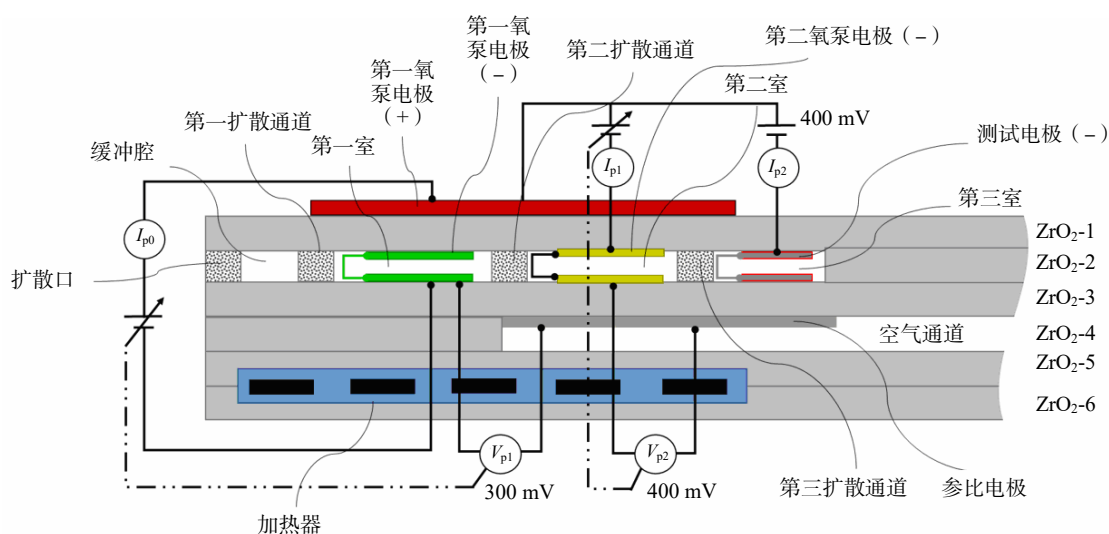


图 11 三室结构的 NO_x 传感器

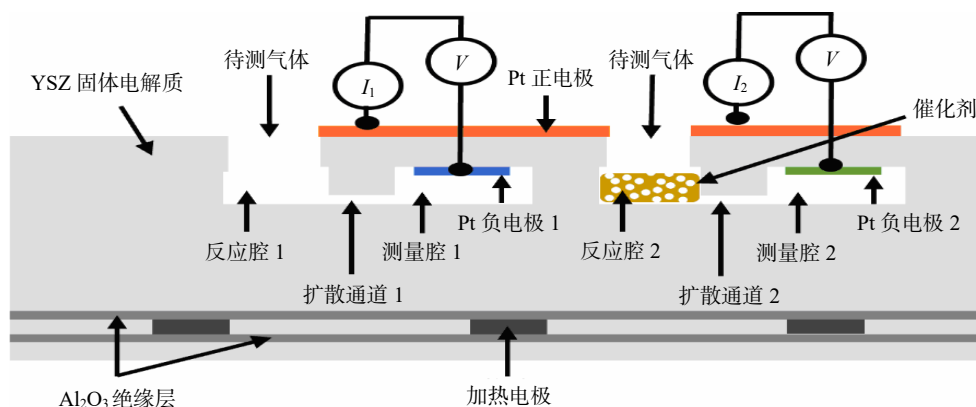


图 12 设想的可燃气体传感器原理及结构图

瓷层、扩散通道 1、Pt 负电极 1 和 Pt 外正电极组成参考氧泵电池,YSZ 固体电解质陶瓷层、扩散通道 2、Pt 负电极 2 和 Pt 外正电极组成测量氧泵电池。此外,在反应腔 2 内封入有针对性的可燃气体催化剂。由绝缘层 (Al_2O_3) 包裹的加热电极及加热器镶嵌于传感器底部的 YSZ 固体电解质陶瓷层之间,通过加热电极给加热器施加合适电压,可以给整个传感器提供合适的工作温度。

基于上述结构,设想的工作机理如下:在适当工作温度下,空气中待测可燃气体分别同时进入反应腔 1 和反应腔 2。由于反应腔 1 内不含可燃气体催化剂,因此不会发生催化燃烧反应,也不会消耗空气中氧气,所以未发生变化的空气经扩散通道 1 进入测量腔 1 内。此时,对参考氧泵电池施加电压 V ,使其处于极限电流测氧工作方式,即可得到待测气中的氧气浓度所对应的极限电流 I_1 。但是反应腔 2 内因存在针对性可燃气体的催化剂,会发生催化燃烧反应并消耗空气中氧气,而剩余气体经扩散通道 2 进入测量腔 2。对测量氧泵电池施加相同的电压 V 后,即可得到剩余气体中的氧气浓度所对应的极限电流 I_2 。通过可燃气体与消耗氧气的关联度,形成如下关系:

$$C_f \propto \Delta C_{\text{O}_2} \propto K(I_1 - I_2) \quad (8)$$

式中: C_f 为可燃气体浓度; ΔC_{O_2} 为空气中氧气浓度的变化量; K 为系数。

因此,在该传感器中只需根据被测可燃气体的种类(例如甲烷、氢气、一氧化碳等),选取针对性的燃烧催化剂,放置在反应腔 2 内,同时将该反应腔控制在合理温度,即可实现对不同可燃气体的选择性催化燃烧。通过双极限电流型氧传感器检测燃烧前后氧气浓度变化量,便可得到不同可燃气体的浓度。目前,多腔结构车用 NO_x 传感器已经可以实现 3 a (或者 10 万 km) 的质保,基于这种高质量、长寿命 NO_x 传感器开发的新型原理和结构的可燃气体传感器稳定性值得期待,但该新型传感器的实际应用仍有待在工作中逐步实现。

4 结语

借助 YSZ 固体电解质特有的氧离子传导能力,基于浓差电势和极限电流原理,人们采用不同的结构(管式和片式及两腔和三腔)已开发出一系列窄

域、宽域车用氧传感器,以及结构更为复杂的车用氮氧传感器,为汽车尾气管管理提供了丰富的气体传感器种类。同时,此类传感器的设计理念不仅为我们探讨其未来发展趋势提供了思路,也启发我们提出了研发新型可燃气体传感器的新思路。

参考文献:

- [1] ALIRAMEZANI M, KOCH C R, SECANELL M, et al. An electrochemical model of an amperometric NO_x sensor[J]. *Sensors and actuators B: chemical*, 2019, 290: 302-311.
- [2] 马云. 汽车尾气污染的危害及其控制对策[J]. *北方环境*, 2013, 25(3):61-62.
- [3] 崔亮, 倪红, 戴春蓓, 等. 国五国六汽车尾气颗粒物的生态毒性分析[J]. *环境科学学报*, 2020, 40(4):1483-1490.
- [4] RAMAMOORTHY R, DUTTA P K, AKBAR S A. Oxygen sensors: materials, methods, designs and applications[J]. *Journal of materials science*, 2003, 38(21): 4271-4282.
- [5] 沈建明, 胡元云, 徐鑫, 等. 浅谈汽车四线片式氧传感器[J]. *传感器世界*, 2019, 25(7):12-17.
- [6] 石敏, 刘宁. ZrO_2 基固体电解质氧传感器的研究现状及发展趋势[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2003, 26(3):388-393.
- [7] 李松峰, 张春化, 李阳阳, 等. 柴油车选择性催化还原和氨逃逸催化研究进展[J]. *长安大学学报(自然科学版)*, 2022, 42(1):97-114.
- [8] 戴佳伟, 吴锋, 姚栋伟, 等. 基于反应动力学模型的 SCR 催化剂氨存储特性研究[J]. *内燃机工程*, 2017, 38(2): 54-58, 66.
- [9] TAKEUCHI T. Oxygen sensors[J]. *Sensors and actuators*, 1988, 14(2):109-124.
- [10] RIEGEL J, NEUMANN H, WIEDENMANN H M. Exhaust gas sensors for automotive emission control[J]. *Solid state ionics*, 2002, 152:783-800.
- [11] MASKELL W C, STEELE B C H. Solid state potentiometric oxygen gas sensors[J]. *Journal of applied electrochemistry*, 1986, 16(4):475-489.
- [12] RAMAMOORTHY R, SUNDARARAMAN D, RAMASAMY S. Ionic conductivity studies of ultrafine-grained yttria stabilized zirconia polymorphs[J]. *Solid state ionics*, 1999, 123(1/2/3/4):271-278.
- [13] 何锐, 刘光葵, 孙尧卿. 氧传感器及其在汽车中的应用[J]. *传感器技术*, 1999, 18(3):1-4, 15.
- [14] RIEGEL J, NEUMANN H, WIEDENMANN H M. Exhaust gas sensors for automotive emission control[J].

- Solid state ionics, 2002, 152:783-800.
- [15] 曾佳, 黄海琴, 邹杰, 等. 一种基于高温宽域氧传感器湿度测量工作机理的研究[J]. 传感技术学报, 2021, 34(6): 742-748.
- [16] 章晓娟, 周坤, 谢建军, 等. 基于宽域氧传感器的空燃比分析仪设计与实现[J]. 传感器与微系统, 2017, 36(12): 80-83.
- [17] ISHIBASHI K, KASHIMA T, ASADA A. Planar type of limiting current oxygen sensors[J]. Sensors and actuators B: chemical, 1993, 13(1/2/3):41-44.
- [18] AKASAKA S. Thin film YSZ-based limiting current-type oxygen and humidity sensor on thermally oxidized silicon substrates[J]. Sensors and actuators B: chemical, 2016, 236:499-505.
- [19] USUI T, NURI K, NAKAZAWA M, et al. Output characteristics of a gas-polarographic oxygen sensor using a zirconia electrolyte in the Knudsen diffusion region[J]. Japanese journal of applied physics, 1987, 26(12A):L2061.
- [20] 尹春岳, 周明军, 文吉延, 等. 绝缘层烧结收缩率对氧传感器输出特性的影响[J]. 传感器与微系统, 2022, 41(7): 48-51.
- [21] 钱显威, 李雪宾, 周明军, 等. 氮氧化物气体传感器氧气干扰的补偿方法[J]. 传感器与微系统, 2022, 41(9): 34-37, 41.
- [22] 王佐硕, 邹杰, 王梓, 等. 电流型氮氧化物传感器输出特性分析及控制策略的优化[J]. 传感技术学报, 2022, 35(4):454-460.
- [23] 朱华. 车用 ZrO_2 基固体电解质氧传感器[J]. 汽车零部件, 2008(4):70-71, 53.
- [24] 武强, 刘其中, 褚雷阳. 极限电流型氧传感器的研究[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(6):46-48.
- [25] 简家文, 杨邦朝, 张益康. 汽车用氧传感器的工作原理及其应用[J]. 传感器技术, 2002, 21(3):55-57.
- [26] 杨邦朝, 简家文, 段建华, 等. 氧传感器的原理与进展[J]. 传感器世界, 2002, 8(1):1-8.
- [27] 杨斌, 王超, 肖建中. 一种宽域型氧气传感器的制备及其性能研究[J]. 传感技术学报, 2020, 33(12):1713-1717.
- [28] BOSCH. Technical product information of planar wide band Lambda sensor(4.9) Y 258 E00 015e[EB/OL]. [2025-05-22]. <https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/51865867208058251.html>.
- [29] 侯洁, 颜伏伍, 胡杰, 等. Urea-SCR 系统 NO_x 传感器的 NH_3 交叉感应研究[J]. 内燃机学报, 2014, 32(3):249-253.
- [30] 黄海琴, 谢光远, 王杏, 等. ZrO_2 基电化学 NO_x 传感器非活化电极浆料的研究[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2012, 35(1):41-43.
- [31] CHATTERJEE D, KOČÍ P, SCHMEIßER V, et al. Modelling of a combined NO_x storage and NH_3 -SCR catalytic system for Diesel exhaust gas aftertreatment[J]. Catalysis today, 2010, 151(3/4):395-409.
- [32] KOEBEL M, ELSENER M, KLEEMANN M. Urea-SCR: a promising technique to reduce NO_x emissions from automotive diesel engines[J]. Catalysis today, 2000, 59(3/4):335-345.

Technical progress and outlook for automotive gas sensors

JIAN Jiawen, ZOU Jie, WANG Jie

(Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Oxygen sensors and nitrogen oxide sensors are used in large numbers in automobiles in order to reduce tailpipe emissions. This paper provides a comprehensive introduction to oxygen sensors from the perspectives of both oxygen measurement range (narrow and wide range type) and core component structure (tube and chip type). Based on the limiting-current working mechanism of the oxygen sensor, the multi-cavity working mode of NO_x sensor is elaborated in detail, and the technical characteristics of two-cavity and three-cavity structure of NO_x sensor are compared and analyzed. Meanwhile, based on the characteristics of multi-cavity working mode of NO_x sensor, the idea of developing a new type of combustible gas sensor is also proposed.

Keywords: automobile exhaust; oxygen sensor; nitrogen oxide sensor; new combustible gas sensor

(责任编辑 章践立)