

标准气体检测相关技术研究

游大力*

(山东特检标物技术有限公司, 泰安 271000)

摘要: 本研究全面探讨了标准气体检测技术的基本原理、关键技术和存在的问题,旨在为气体检测领域的技术进步提供理论支持和实践指导。研究首先详细介绍了气体的物理和化学检测原理,随后分析了传感器技术、气体混匀与配制技术的重要性,并针对传感器灵敏度不足和配制精度问题提出了具体的解决方案。研究发现,通过优化敏感材料、改进传感器设计和控制工作条件可以提高传感器灵敏度,而选择高精度配制设备、严格筛选气体原料和控制环境条件是提高配制精度的关键。本研究的结果对于提升标准气体检测技术的性能和可靠性具有重要价值,对相关领域的技术发展具有深远影响。

关键词: 标准气体; 传感器技术; 配制精度

0 引言

在当今社会,随着工业化和环境意识的提升,标准气体检测技术在各个领域的应用日益广泛,其重要性不言而喻。准确、高效的气体检测不仅对于保障产品质量、维护环境安全至关重要,而且在科学研究和技术创新中扮演着关键角色。然而,随着检测需求的复杂化和精细化,标准气体检测技术面临一系列挑战。本研究旨在深入探讨这些技术问题,从原理出发,逐步揭示检测过程中的关键技术和潜在难题,为行业内的技术人员提供有益的参考和启示。通过全面的分析和深入的研究,期望能够为标准气体检测技术的发展贡献一份力量,并推动相关领域的技术进步。

1 标准气体检测技术原理

标准气体检测的基本原理是通过特定的检测设备和方法,对气体的成分、浓度、纯度等参数进行准确测量和评价。

1.1 气体的物理检测原理

气体的物理检测原理主要基于气体的一些物理性质,如密度、压力、体积、温度等。这些性质可以通过物理方法进行测量,从而间接得到气体的成分和浓度信息^[1]。一是压力测量。通过测量气体在一定体积内的压力,可以计算出气体的浓度,这通常使用压力传感器或压力计来实现。二是体积测量。在恒定的温度和压力下,通过测量气体的体积,可以确定气体的量。这种方法通常用于气体的收集和定量。三是密度测量。气体的密度与其成分和浓度有关,通过测量气体的密度,可以推断出气体的组成。

1.2 气体的化学检测原理

气体的化学检测原理是基于气体组分与检测介质之间的化学反应,通过检测反应的产物或反应过程中的物理量变化来确定气体成分和浓度^[2]。一是光谱分析。利用气体分子对特定波长光的吸收或发射特性,通过光谱仪分析气体成分。例如,红外光谱分析可以用于检测气体中的特定官能团。二是电化学检测。通过气体组分在电极上的氧化还原反应,产生电流信号,从而测定气体浓度,常用于检测有毒气体和可燃气体。三是气相色谱。气相色谱是分析复杂气体混合物的常用方法^[3],该方法将气体样品注入色谱柱,不同组分的气体在色谱柱中的移动速度不同,从而实现分离和检测。

2 标准气体检测关键技术研究

2.1 传感器技术

传感器在标准气体检测领域扮演着举足轻重的角色,它是检测系统的核心组成部分,其性能的优劣直接关系到检测结果的准确性和可靠性。传感器通过将气体组分的浓度信息转换为可测量的电信号,为气体检测提供了必要的技术支持^[4]。在众多类型的气体传感器中,半导体式气敏元件、电化学传感器、红外传感器等是常见的几种。

半导体式气敏元件是一种利用半导体材料对特定气体敏感的特性来实现气体检测的传感器。这种传感器因其高灵敏度和快速响应特性而在气体检测领域得到了广泛的应用。当被测气体与半导体材料表面接触时,会引起材料表面电阻的变化,这种变化与气体浓度之间存在一定的关系。通过测量电阻的变化,可以准确得到气体的浓度信息^[5]。半导体式气敏元件的优势在于其结构简

* 通信作者: 游大力, 助理工程师, 研究方向为标准气体设备研发及检测。E-mail: 448204361@qq.com

单、体积小、成本低，且易于集成化和智能化。

电化学传感器是基于电化学反应原理，通过气体在传感器电极上发生氧化还原反应，产生与气体浓度成比例的电流或电压信号。这种传感器对有毒气体和可燃气体具有很高的灵敏度，适用于环境监测、工业安全等领域。电化学传感器通常具有较好的选择性，能够在复杂的环境中准确检测目标气体^[6]。

红外传感器利用气体对特定波长红外光的吸收特性来检测气体成分和浓度。这种传感器不受湿度、温度等环境因素的影响，具有很高的稳定性和准确性。红外传感器适用于检测多种气体，包括二氧化碳、甲烷、一氧化碳等，因此在工业过程控制、气体分析等领域得到广泛的应用。

在石油化工行业中，泄漏检测是保障生产安全和环境保护的重要措施。某大型石油化工企业采用了半导体式气敏元件、电化学传感器和红外传感器相结合的泄漏检测系统。该企业的生产过程中涉及多种易燃易爆和有毒有害气体，如乙烯、丙烯、硫化氢等。为了实时监测这些气体可能发生的泄漏，企业在关键设备和管道附近安装了半导体式气敏元件^[7]。

此外，红外传感器被用于检测生产过程中的二氧化碳、甲烷等气体浓度，以监控燃烧效率和排放情况。红外传感器的稳定性和准确性使得企业能够有效控制生产过程中的气体成分，避免环境污染和资源浪费。

2.2 气体混匀与配制技术

标准气体的混匀与配制技术是确保其质量和性能的核心环节，对于检测结果的准确性和可靠性具有决定性影响。在标准气体的制备和使用过程中，采用科学合理的混匀与配制方法至关重要。目前，常见的混匀技术包括热处理法、钢瓶滚动法、特殊充填法等，这些方法能够有效保证标准气体组分的均匀性和稳定性^[8]。

热处理法是通过加热标准气体容器，促进气体分子运动，加速混合过程，从而实现气体组分的均匀分布。这种方法特别适用于那些在常温下难以混合的气体组分，能够有效提高混合效率和质量。钢瓶滚动法是在封闭的容器内，通过物理滚动的方式，使气体在钢瓶内壁上产生摩擦，进而达到混匀的目的。这种方法简单易行，且不会引入额外的污染。

特殊充填法是一种更为精确的混匀技术，它通过特定的装置和控制流程，确保原料气体在充填过程中就达到较高的均匀度。这种方法适用于对气体混合均匀性要求极高的场合，能够满足精密检测的需求^[9]。

除了混匀技术，标准气体的配制也是一项技术要求极高的工作。在配制过程中，必须严格控制原料气体的纯度和配气准度。原料气体的纯度直接关系到最终标准气体的质量，因此选择高纯度的原料气体是基本要求。同时，配气准度要求精确的计量和混合比例，以确保标准气体的浓度符合预定的标准。

在某国家级环境监测实验室，为了确保大气污染监测数据的准确性和可靠性，实验室采用了特殊充填法和严格的配制流程来制备标准气体^[10]。

实验室选择了高纯度的原料气体，纯度达到 99.995% 以

上，确保了标准气体的基础质量。

特殊充填法应用：实验室使用特殊充填装置，该装置能够在充填过程中通过精确控制流量和压力实现原料气体的均匀混合。这种方法使得标准气体在充填进钢瓶时就已经达到了很高的均匀度。

热处理法辅助：对于一些难以混合的气体组分，实验室在特殊充填法之后，还进行了热处理，通过加热钢瓶，进一步促进气体分子的运动，确保混合均匀。

配制精度控制：在配制过程中，实验室使用高精度的计量设备，严格控制各组分气体的混合比例，确保最终标准气体的浓度误差在 $\pm 1\%$ 以内。

3 气体检测关键技术问题及解决措施分析

3.1 传感器灵敏度问题

传感器灵敏度是气体检测技术中的关键性能指标之一，它直接关系到检测系统能否准确、及时地检测到目标气体的存在和浓度。然而，在实际应用中，传感器灵敏度不足的问题普遍存在，这主要是包括以下几个方面的原因。

第一，传感器材料的选择和制备是影响气体检测灵敏度的根本因素。不同的传感器材料对特定目标气体的响应程度各异，一些敏感材料可能对目标气体分子的吸附能力较弱，导致即使在较高浓度的气体环境中，传感器输出的信号变化也相对微弱。这种情况下，传感器的灵敏度不足以满足精确检测的需求。此外，敏感材料的微观结构，如孔径大小、比表面积及表面特性，如表面官能团的种类和分布会显著影响其与气体分子的相互作用，进而影响传感器的灵敏度。

第二，传感器的设计和结构是决定灵敏度的重要因素。传感器的敏感区域如果过小，那么能够与之发生反应的气体分子数量将受到限制，这直接导致输出信号强度不足。因此，合理设计敏感区域的大小，增加活性位点，是提高灵敏度的有效途径。同时，传感器的封装形式、气室设计等也会对气体分子的扩散和与敏感材料的接触产生影响。例如，气室设计若不利于气体均匀分布，可能会导致局部浓度梯度，影响检测的准确性。

第三，传感器的工作条件，如温度、湿度、压力等，会对灵敏度产生显著影响。不当的工作条件可能会改变敏感材料的物理或化学性质，降低其活性，从而减弱对目标气体的响应。例如，温度过高可能导致敏感材料老化，而湿度过大则可能导致材料表面吸附水分，影响气体分子的吸附。此外，交叉敏感现象也是影响传感器灵敏度的因素之一，即传感器不仅对目标气体有响应，还对环境中的其他气体或因素产生响应，这会干扰检测结果，降低传感器的选择性。

为了解决传感器灵敏度不足的问题，建议采取以下措施。

第一，研究人员需要不断地探索 and 开发新型的高灵敏度敏感材料，以提高传感器对目标气体的检测能力。这些材料应当具备对特定气体的高选择性和强响应性。通过掺杂技术，可以在材料中引入其他元素，以改变其电子结构，从而增强对特定气体

的敏感性。此外，表面改性技术，如表面功能化处理，可以增加材料表面的活性位点，提高气体分子与材料表面的相互作用，进而提升传感器的响应性能。

第二，通过增加敏感区域的面积，可以增加气体分子与敏感材料接触的机会，从而提高检测灵敏度。同时，优化气室结构，如采用微通道设计，可以增强气体的流动性和分散性，提高气体分子与敏感材料的接触概率和反应效率。这些设计上的改进有助于提升传感器的整体性能。

第三，控制工作条件对于确保传感器在最佳状态下运行至关重要。这包括对工作温度、湿度、压力等环境因素的精确控制。通过维持恒定的环境条件，可以减少外部因素对传感器灵敏度的不利影响，确保传感器输出稳定可靠的信号。此外，适当的校准和维护也是保证传感器长期稳定运行的重要措施。这些方法可以有效提升传感器的灵敏度和可靠性，使其在标准气体检测中发挥更大的作用。

3.2 配制精度问题

在气体检测技术领域，配制精度是一个至关重要的指标，它指的是传感器或检测系统在制备标准气体或稀释气体过程中，所能达到的浓度准确度。这一精度的高低直接决定了检测结果的可靠性和准确性与否，是衡量整个检测系统性能的关键参数。

气体配制设备的精度和稳定性对于配制精度有着决定性的影响。如果设备本身存在设计或制造上的缺陷，或者在使用过程中性能波动较大，那么即使是经过精心设计的配制过程，也难以保证气体浓度的精确度。例如，气体稀释器若不能精确控制流量，就可能导致稀释后的气体浓度与预期的设定值存在偏差，这种偏差在严格的检测标准下可能是不可接受的。

同样，气体原料的纯度和稳定性在影响配制精度方面扮演着不可或缺的角色。原料气体中一旦掺杂了杂质，或者其浓度随时间出现波动，将直接影响最终配制的气体，导致无法达到高精度的标准。即使使用的配制设备再先进、再精确，这些内在的原料问题也会成为制约配制精度的瓶颈。因此，确保原料气体的纯净度和稳定性是制备高精度标准气体的前提条件。任何微小的杂质或浓度变化都可能对检测结果产生显著影响，从而降低整个检测过程的可信度。

针对配制精度问题，可以采取以下措施来提高配制精度。第一，选用高精度、高稳定性的气体配制设备是确保气体配制质量的关键。这些设备，如气体稀释器、混合器等，应当能够在大规模或长时间运行中保持流量的高度准确性和重复性。通过使用这些先进的配制设备，可以大大降低设备性能不足导致的配制误差。

第二，在气体原料的选择上，必须严格把控质量关，确保所选用的气体原料具有极高的纯度和稳定性。这是由于在气体配制过程中，原料气体的质量直接影响到最终产品的准确性和可靠性。如有必要应对原料气体进行预处理，如使用高效能的净化器来去除可能存在的杂质，以保障气体配制的纯度要求。

在配制过程中，应尽量保持实验室内的温度、湿度、压力

等环境条件稳定。若环境条件波动难以避免，则应采用实时监测和补偿措施，以消除或减小环境因素对气体配制精度的不利影响。通过这些措施，可以确保气体配制过程的精准度，为后续的气体检测提供准确的基础。

4 总 结

本研究围绕标准气体检测技术，从原理到实践，对关键技术和潜在问题进行了深入探讨。分析了传感器技术在气体检测中的应用，包括半导体式气敏元件、电化学传感器和红外传感器等，并探讨了提高传感器灵敏度的方法。同时，对气体混匀与配制技术的重要性及其对配制精度的影响进行了详细阐述，提出了提高配制精度的策略。通过分析发现传感器灵敏度不足和配制精度问题是气体检测技术中的两大挑战。为此，提出了相应的解决方案，旨在提高检测系统的性能和检测结果的可靠性。总体而言，本研究为标准气体检测技术的发展提供了理论支持和实践指导，对于推动相关领域的技术进步具有重要意义。

标准气体检测技术的研究将聚焦于以下方向：首先，研发新型传感器材料和技术，旨在提升检测灵敏度和选择性，以满足更严格的分析需求；其次，探究更高效的气体混匀技术，确保气体浓度的精确控制，提升标准气体的制备质量；再次，致力于智能化与自动化检测系统的开发，增强检测效率和数据处理的精确度；此外，将气体检测技术应用于环境监测、工业安全等新领域，拓宽其应用范围。最后，不断优化现有检测技术，降低运行成本，增强其在多样化环境中的适应能力。

参考文献

- [1] 李晋, 闫浩, 孟杰. 光子晶体光纤气体吸收光谱探测技术研究进展[J]. 光学精密工程, 2021, 29(10): 2316.
- [2] 黄政伟. 基于光声光谱法的变压器油中溶解气体在线检测技术[J]. 分析仪器, 2023, (05): 6-11.
- [3] 王琦, 王世超, 刘泰余, 等. 光声光谱多组分气体检测技术研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(01): 1-8.
- [4] 张潮海, 邹可园, 张晓星. 高压电气设备绝缘气体分解产物光学检测技术研究综述[J]. 高电压技术, 2023, 49(07): 2806-2815.
- [5] 万福, 罗智懿, 孙宏程, 等. 复杂环境下光学反馈拉曼光谱气体检测技术研究[J]. 光子学报, 2024, 53(11): 154-162.
- [6] 陈天天. 基于复合材料的大气污染检测及应用效果[J]. 化学与粘合, 2024, 46(05): 513-517, 527.
- [7] 李雪梅, 刘浩, 罗晓伟, 等. 氮气中二氧化氮气体标准物质的制备[J]. 低温与特气, 2024, 42(04): 38-45.
- [8] 冯忠彬, 范德军, 廖秋刚, 等. 氟化氢气体检测仪校准方法[J]. 化学分析计量, 2024, 33(08): 102-106.
- [9] 周晨, 马柳昊, 王宇. 基于外差相敏色散光谱技术的宽动态范围甲烷气体检测[J]. 中国光学(中英文), 2024, 17(04): 789-800.
- [10] 许子怡, 刘硕. 基于质谱和光谱分析的同位素气体检测技术研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2024, 61(13): 32-43.