



氨气检测解决方案:比较总结

比较各种低浓度氨气的精准检测技术,以保障人员安全,助力工业风险管理



SAFEGUARDING PEOPLE, PLACES & THE PLANET.



引言

在工业领域，氨的危险性、毒性和易燃性众所周知。在生产厂和储存设施，若未检测到氨泄漏，将造成灾难性后果，包括意外但毁灭性的厂区爆炸、火灾以及人员伤亡，损害范围还可能波及周边社区。

接触

工业领域的许多气体不利于工人的健康。由于氨具有碱性和吸湿性，急性接触会导致眼睛、肺部和胃肠道黏膜以及皮肤受到腐蚀性损伤。长期接触可能使呼吸道受到持续性刺激，从而导致慢性咳嗽、哮喘和肺纤维化（引自美国毒物和疾病登记署《氨的毒理学概况》）。

全球范围内，已有超过700种化学物质制定了行业通用的接触限值。对于氨，美国职业安全与健康管理局建议工作场所的8小时接触限值为25 ppm，短期（15分钟）接触限值为35 ppm。由于全球各地的建议和法规各不相同，且随着新信息的不断涌现而定期更新，因此须向相关国家机构和/或组织确认具体限值后，方可正确使用。



氨气检测

衡量用于职业接触评估的传感器时，通常有多类竞品可供选择。对于许多工业卫生专家而言，工厂安全保障的最佳实践是采用多传感器分层方案，通过战略性布置检测点，构建一个高度安全的检测网络，以防范意外的气体泄漏。

为具体应用选择合适的传感器具有一定的难度，这需要充分了解传感器的运行环境（例如场所易受湿、温度波动或存在干扰气体影响），以及每类传感器的特定优势和局限性。在购买传感器之前，应评估并优先考虑若干性能指标，例如灵敏度、响应时间、选择性、标定要求以及检测限等。

下面将描述最常用的氨气传感技术及其工作原理和优缺点：

激光气体检测技术

红外光声（PAIR）和开路式激光（OPL）等检测技术均基于吸收光谱的专一性和定量性。具体而言，这类检测系统的物理工作原理是分子气体的红外吸收，利用了红外辐射中氨的吸收光谱特征。基于激光的解决方案应主要致力于对氨气进行有选择、灵敏且快速地检测；否则，成本相对较高的激光技术可能并非理想选择。这类技术具有较宽的动态检测范围，且不会因接触高浓度氨气而性能下降或出现耗损。

吸收光谱法基于监测气体引起的、具有独特特征的光谱强度衰减现象。这种现象发生在光辐射与分子物种相互作用时，用朗伯-比尔定律表述为在光程恒定的情况下，穿过吸收介质的入射光强度 (I_0) 会随溶液浓度 (I_c) 呈指数衰减，如图1所示 (引自美国环境保护局CLU-IN网站)。



图1 比尔吸收定律示意图

在激光红外仪器 (如下图所示) 中，将气样引入监测仪的测量室内，接受特定波长的红外光照射。如果样品中含有目标气体，目标气体将吸收一定量的红外光，吸收量与样品中该气体的浓度成正比。

本文针对一种潜在适用的氨气检测应用，研究了基于激光的光学检测方案和非光学检测方案。这两种不同的检测方案的基础分别是借助光电探测器的可调谐半导体激光吸收光谱 (TDLAS) (光学方案)，以及采用麦克风探测器的光声光谱 (PAS) (非光学方案)。

红外光声 (PAIR)

光声检测中，光声光谱法通过气体麦克风检测氨的存在，它的高灵敏度进一步提升了传统红外气体光谱法的选择性。该系统的基本结构如图2所示 (引自《单气体红外光声检测仪》，美国农业与生物工程学会)。

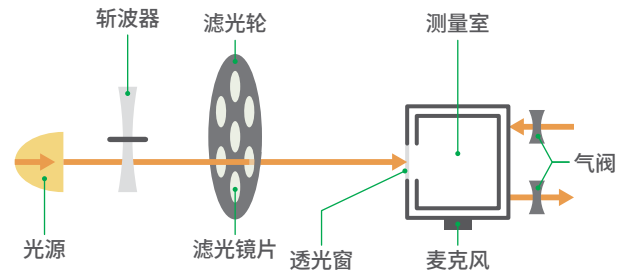
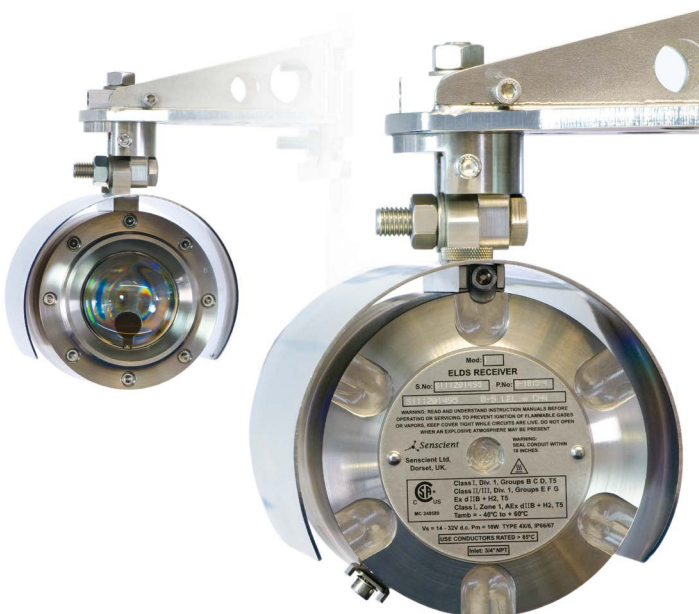


图2 光声气体检测仪工作示意图

钨丝灯发出的红外光首先在机械斩波器中进行调制，然后通过窄带光学滤光片，滤除目标气体特有“测量波长”以外的其他波长。在测量室内，目标气体分子吸收光线后被激发，以热能的形式释放出吸收的能量。经斩波器调制的脉冲光导致气样周期性地热胀冷缩，从而形成驻波或声波。由此产生的声学信号被超高灵敏度麦克风记录，并转换为与气体浓度相关的电信号。

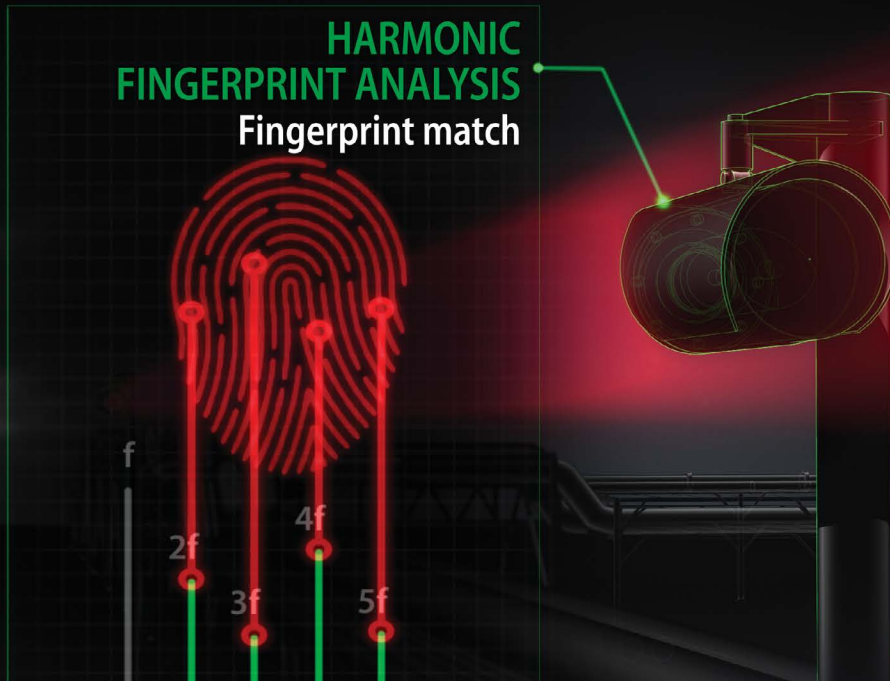
由于光学滤光片只会让待测气体的特定波长光线通过，因此压力脉冲就能表明气体的存在。若未出现压力脉冲，则表明气体不存在。因此，温度或压力的变化不会改变仪器的零点读数。此外，零点读数也不会受到红外光源或传感器老化影响，这是因为它基于真实零点读数，而非像传统红外检测那样基于两个读数之间的差值。

对于需要检测低浓度氨气的设备，特别是在存在交叉灵敏度问题的环境中工作时，光声红外监测仪是一个绝佳的选择，因为它能够精准、高效地监测多种气体。



HARMONIC FINGERPRINT ANALYSIS

Fingerprint match



可调谐半导体激光吸收光谱 (TDLAS)

另一项利用氨气光吸收效应的技术是激光式开路气体检测技术。这项传感技术采用增强型激光二极管光谱法 (ELDS) 通过测量发射器与接收器之间整个距离范围内的气体浓度 ($\text{ppm} \cdot \text{m}$) 来实现检测。吸收信号的分析采用傅里叶变换法。这种方法将信号从时域转换为频域。随后, 将所得的频率成分与预设模式 (谐波指纹) 进行比对, 以确认氨是否存在。激光式开路气体检测技术有助于减少干扰气体引起的误报, 且不易受水蒸气干扰, 因此在雨雾天等恶劣环境下能提供更高的可靠性和更优的性能。

传统红外传感技术

根据具体应用场景, 应考虑采用其他传感技术, 例如用于可燃气体检测的电化学 (EC) 传感器和催化传感器, 与激光传感器实现功能互补, 或直接替代激光传感器, 从而确保设施安全。与激光传感器相比, 这些传感器通常体积更小、单价更低, 但也存在各种局限性。

电化学 (EC) 传感器

电化学传感器的工作原理与电池相似。基本结构通常由透气疏水膜 (屏障层)、电解质、感应电极 (或工作电极)、对电极 (或辅助电极) 组成, 有时还包含第三个参比电极。

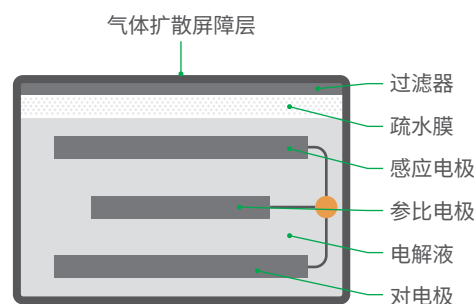


图3 电化学传感器基本结构

目标气体通过疏水膜进入传感器后, 经催化剂和电解质溶液的推动, 在感知电极上发生化学反应。该反应会释放电子, 通过测量传感器内部电子的流动来检测电流。因此, 电流与气体浓度成正比, 反应结果以百万分率 (ppm) 为单位表示。

电化学传感器能够以高时间分辨率 (通常为秒级) 对多种气相物质进行灵敏且选择性的分析, 与其他传感器相比成本也相对较低。体积小巧的特点使其能够灵活部署于各种场所。尽管如此, 它确实存在明显的局限性, 与其他工厂安全设备相比, 性能会受到环境条件的影响, 使用寿命也相对较短。

大多数传统电化学传感器的使用寿命为1~2年, 但在氨浓度较高或极端温湿度条件下, 实际使用寿命可能仅为数月甚至数周。由于难以预测传感器何时开始失灵, 因此可能需要频繁标定以保持电化学传感器读数的准确性。在严重污染的环境中, 传感器的性能衰减速度往往会更快。例如, 用于氨检测时, 电化学传感器的使用寿命与氨接触程度直接相关, 因为反应发生时电解液会被消耗。高温环境会加速电解液的蒸发, 从而降低传感器灵敏度并缩短使用寿命。

电化学传感器的另一个局限性在于对干扰气体（即非目标气体）的交叉灵敏度，这些气体也会被传感器检测到，从而导致目标气体的测量结果出现偏差。了解潜在干扰物对各类电化学传感器运行的影响至关重要。根据具体反应情况，这种干扰效应可能会导致测得的浓度比实际值偏低或偏高（引自《化学暴露评估》）。

XCell®电化学传感技术

梅思安XCell专利技术采用与传统电化学传感器相同的原理，但在物理设计方面做出了多项重大改进。

XCell传感器采用了一种独特的离子电解质液体，以替代普通的水基电解质。这种电解质具有抗蒸发特性，能够承受高湿度及温度剧烈波动（-40°C~+60°C）的极端环境。

与传统电化学传感器的另一个区别在于电极上催化剂的选择。不同于传统的电化学传感器，XCell使用的催化剂不会因气体反应而损耗。与氨气接触几乎不会影响传感器的使

用寿命。能够承受背景气体浓度，且不会缩短传感器的使用寿命。

此外，我们还优化了传感器的机械设计，以提升工作效率。传感器各组件的布局与位置均经过精心设计，旨在确保电解质、电极催化剂与目标气体能够在任何复杂的环境条件下均能发生高效的相互作用。

得益于这些增强功能，XCell氨气传感器拥有超过五年的预期使用寿命，并且享受三年保修服务。这些改进设计对于提升传感器性能和延长使用寿命至关重要，既能帮助工厂防范氨气泄漏，又能降低用户的保养成本。

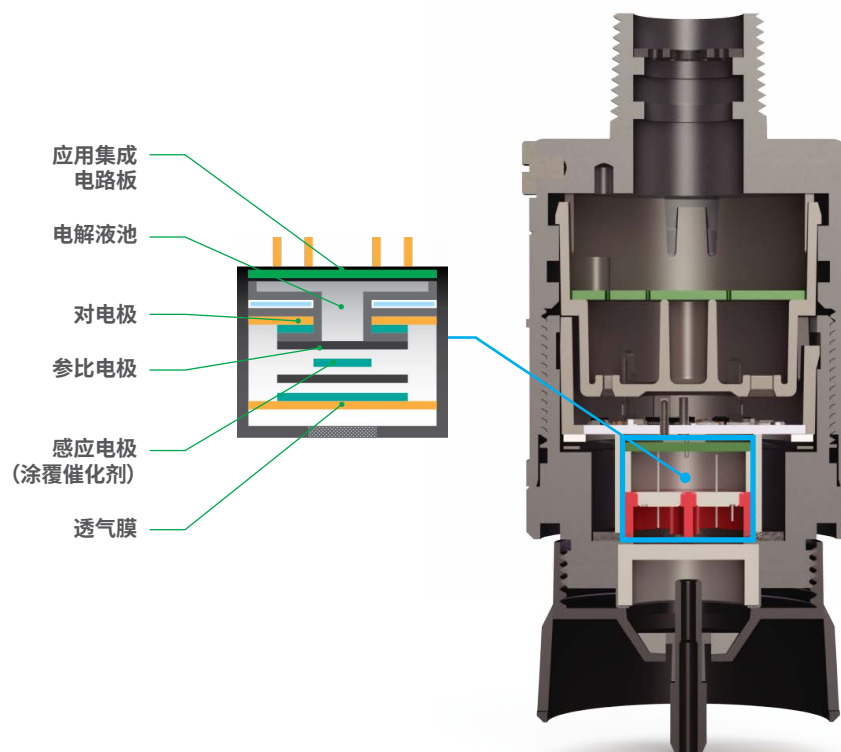


图4 XCell电化学传感器基本结构



催化传感技术

气体催化传感器的原理是借助催化燃烧测量空气中浓度处于爆炸下限 (LEL) 的可燃气体。催化剂 (即涂层线圈) 经加热后点燃目标气体。随着温度升高, 线圈的电阻值也会增加。标准惠斯通电桥电路采用两个线圈元件 (一个用于检测, 一个用于补偿), 将原始温度变化转换为信号, 从而指示可燃气体的存在。

传统上, 催化传感器使用寿命长, 且对温度、湿度、冷凝和压力变化不敏感。然而, 如果频繁或持续暴露于高浓度的被测气体, 它们也会发生传感器中毒, 导致使用寿命缩短。这类传感器的另一个局限性在于, 它们监测的是空气中各种可燃气体和蒸汽, 因此并非专门针对氨气。

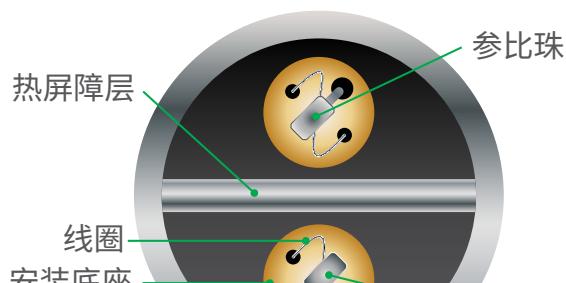


图5 XCell催化传感器设计示意图

XCell催化传感技术

XCELL可燃气体传感器的主要设计特点包括:

增加催化珠尺寸, 延长使用寿命:传统催化传感器中使用的催化珠尺寸较小, 在氧化反应过程中持续暴露于高温环境易损耗, 从而缩短传感器使用寿命。XCell可燃气体传感器采用一对表面积更大的催化珠, 不仅延长了使用寿命, 还提高了响应速度, 增强了对可燃气体的灵敏度。

防振抗冲击:许多催化传感器的设计缺乏必要的结构加固, 无法承受工业环境中常见的冲击和振动。如果没有适当的支撑, 珠体内部的细铂丝极易受损, 这不仅会缩短传感器的使用寿命, 还会影响可靠性。XCell 传感器采用坚固的机械支柱, 以稳定珠体及有效抵御机械应力, 从而解决了这一缺陷。

搪玻璃涂层确保长期零漂移:XCell可燃气体探测器采用一对催化珠, 其中一颗珠子经搪玻璃处理, 以保持惰性, 用作稳定的参考珠。搪玻璃涂层有助于消除对补偿电阻的需求——这些电阻可能导致工作漂移——从而提高了传感器的长期稳定性和准确性。

泄漏产生的超声波噪音
ULTRASONIC NOISE
generated by leak



气体泄漏
GAS LEAK

超声波气体泄漏检测 (UGLD)

超声波气体泄漏检测技术感应泄漏气体在空气中产生的超声波，从而检测出压力气体系统的泄漏。这意味着，超声波气体泄漏检测仪能够以声速检测到气体泄漏，检测半径可达28米（92英尺），具体取决于气体种类、泄漏规模和泄漏速率。与上述点式、开路式等气体检测方法不同，超声波气体泄漏检测仪无需等待气体积聚成危险的气团并接触检测器。一旦检测到泄漏，它们会立即发出警报。超声波气体泄漏探测器在检测泄漏时不受风向变化、气体稀释以及泄漏方向等因素的影响——这些因素在绝大多数户外燃气设施中都十分常见。

超声波气体泄漏检测技术的局限性是不适用于低压泄漏，且无法测定泄漏氨气的浓度。然而，由于响应迅速、保养需求极低且适应各种环境，因此它们仍是第一道防线的不错选择。

结论

在过去的二三十年中，氨气传感器技术取得了显著进步，其中包括在电化学（EC）传感器的化学体系中引入离子液体。其他氨气检测技术，如增强型激光二极管光谱（ELDS）开路式气体检测仪、光声红外监测仪以及超声波气体泄漏检测仪，均可与电化学传感器形成有效的互补。

随着检测技术的不断发展，结合多种传感方法以满足特定应用需求的做法已日益普遍。在评估设施的安全要求时，用户应考虑采用分层式气体检测策略，以实现全面覆盖。虽然没有任何一种单一技术能提供万能的解决方案，但在设计有效的氨气安全系统时，了解监测环境以及每种检测方法的各自优势和局限性至关重要。



参考文献

美国毒物和疾病登记署,《氨的毒理学概况》

Thomas Strahl、Johannes Herbst、Eric Maier、Sven Rademacher、Christian Weber、Hans-Fridtjof Pernau、Armin Lambrecht和Jürgen Wöllenstein,《基于激光的甲烷光声检测与光学检测的比较》,传感器与传感器系统杂志,第10期,25~35页,2021年

《开路技术: 远程测量(可调谐半导体激光器)》,CLU-IN网站,环境保护局,2021年

Duarte VIVEIROS、João FERREIRA、Susana O. SILVA、Joana RIBEIRO、Deolinda FLORES、José L. SANTOS等,《基于波长调制光谱学的氨气传感系统》,《光子传感器》,2015年,5(2): 109-115页

Li Hong、Zhang Chen和Xin Hongwei,《单气体红外光声检测仪在测量禽舍氨气方面的性能》,《农业应用工程》,美国农业与生物工程学会(2015)

Misti L. Zamora、Christopher Zuidema和Kirsten Koehler,《化学暴露评估》(2020年),约翰·威利父子出版社

我们的使命

MSA的使命是让整个世界上所有的人都安全工作,并让他们的家庭和周围的人们健康的生活。

MSA: 有危险,我们在。

注意:本公告仅为所示产品的一般性描述。在任何情况下,手册中所描述的产品使用 and 性能操作均不得由未经培训或不具资质的个人执行。相关人员在执行操作前,应仔细阅读并理解包括任何警告或注意事项在内的产品说明/用户手册。产品说明/用户手册涵盖了正确使用和保养产品的详尽信息。规格如有变更,恕不另行通知。

MSA 是 MSA Technology, LLC 在美国、欧洲和其他国家的注册商标。有关所有其它商标,请访问 <https://us.msasafety.com/Trademarks>。

梅思安(中国)安全设备有限公司

地址: 中国(江苏)自由贸易试验区苏州片区苏州工业园区瑞恩巷8号

总机: 0512-62898880 传真: 0512-62952853

5512-0511-CN / 06.2026

© MSA 2026



关注梅思安微信
更多信息等着您

服务热线: **4006-090-888**
MSAsafety.com.cn