

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2024.09.003

城市燃气泄漏检测设备氢适应性分析

闫松, 李文哲, 邸鑫, 胡彦
北京市燃气集团研究院

摘要: 燃气管道天然气掺氢是实现氢气大规模输送的有效方式, 但如何保证氢气在混合输送情况下精准快速的检测, 是其安全应用的重要问题。本文总结了催化燃烧、热传导等5种原理的现有燃气泄漏检测设备对氢气的敏感性和常规的氢气泄漏检测设备原理特点, 分析了当掺氢比达到20%时现有设备在不同场景下使用的影响, 并提出了下一步的需求方向, 为解决城市燃气管道掺氢泄漏检测提供方向。

关键词: 城市燃气; 掺氢; 泄漏; 检测

1 概述

发展氢能产业对于构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系, 实现“双碳”目标和经济高质量发展有着重要意义。将氢气以一定比例掺入天然气中, 然后利用天然气管道或管网进行输送, 是实现氢气大规模输送的有效方式^[1-2]。不同于甲烷等可燃气体, 氢气具有诸多特殊性质, 如密度非常小、点燃能低、扩散系数大且易对材料力学性能产生劣化等。氢气在制备、储存、运输、加注和使用过程中均存在泄漏、燃烧和爆炸的潜在风险, 因此, 氢安全一直是氢能应用和大规模商业化推广中亟须解决的首要问题, 而精准快速的氢气检测技术和设备是保障氢安全的重要前提。

氢气泄漏检测设备按原理可以分为电化学、半导体和催化燃烧等几种类型。目前市面上在用的氢检测设备基本均在纯氢环境下使用, 此类检测设备大部分对于甲烷等气体存在交叉敏感性, 目前没有专门用于天然气掺氢条件下的便携式泄漏检测仪器。本文主要分析了现有常用的甲烷和氢气泄漏检测设备, 在天然气掺氢情况下的适用情况以及未来的需求方向。

2 现有燃气泄漏检测设备氢适应性

目前燃气企业主要在用的泄漏检测设备原理, 包括催化燃烧、热传导、半导体、红外和激光等^[3]几种原理, 其中大多数气体传感器都对多种不是目标检测气体的气体敏感, 不同检测原理的传感器其受影响的敏感度水平也存在差异, 下面将简单介绍一下各种类型传感器的工作原理, 并简要分析其对氢气的敏感性。

2.1 催化燃烧法

催化燃烧型传感器的核心结构由检测元件和补偿元件配对构成测量电桥。当含有可燃性混合气体扩散到检测元件上时, 气体会在检测元件载体表面及催化剂的作用下发生无焰燃烧。这种燃烧导致载体温度升高, 进而使内部的铂丝电阻升高。这种电阻变化会打破电桥的平衡, 从而输出一个与可燃气体浓度成正比的电信号, 在电路板上产生的不平衡状态会转换成数字信号, 变成气体检测仪屏幕上的读数。

因为该方法是利用可燃气体在燃烧时产生的温度变化来转换为电信号, 因此氢气作为可燃气体会对甲烷泄漏检测仪器产生一定的读数干扰。

2.2 热传导法

热传导传感器的工作原理基于不同气体具有不同的热导率，这种传感器通常由一个加热元件和一个温度传感器组成。当没有气体存在时，加热元件和温度传感器之间的温度差很小，传感器输出的电阻值保持稳定。然而，当有气体存在时，气体会吸收加热元件的热量，导致加热元件的温度降低，从而使温度传感器输出的电阻值发生变化，主要是通过测量热敏元件电阻的变化量来实现分析被测气体的浓度大小。当待检测气体的热导率高时，热量将更容易从热敏元件中消散，电阻减小，通过对热敏元件电阻的测量便可得知气体热导率的变化量，从而分析出被测气体的浓度大小。

英国掺氢示范项目HyDeploy的研究结果显示^[4]，当天然气中混入20%氢气后，燃气置换百分比为50%时，热传导仪器数值显示为81%，这错误估计了管道中实际燃气的含量，为置換作业带来风险。这是因为氢气的热导率显著高于甲烷，使得热敏原件的热量降低的更快，因此导致了示数的偏大。

2.3 半导体法

半导体传感器原理主要基于半导体材料的特殊电学性质，其通常被制成一种特殊的阻抗器件，在一定条件（温度）下，被测气体到达半导体表面并与吸附在半导体表面的氧发生化学反应的过程中伴随电荷转移，进一步引起半导体电阻的变化，通过测量半导体电阻的变化实现对气体的检测。因而，所有能与该半导体发生氧化还原反应的气体都能成为干扰气，对测试浓度产生影响。

2.4 红外吸收法

红外吸收原理主要基于气体分子对特定波长的红外辐射的吸收特性，气体分子对与其红外吸收峰对应波长的红外光特别敏感，对该波长的红外光能量吸收最多，利用该特性可以实现对气体种类和浓度的检测。基于红外原理的甲烷检测设备一般对氢气不敏感，可以实现在掺氢环境下的甲烷检测，但如果混合气中存在其他气体时还需要进一步分析其干扰性。

2.5 激光光谱法

激光吸收光谱法通过测量气体对特定波长激光的吸收情况来确定气体的浓度。当激光穿过气体时，气体分子会吸收激光中的能量，导致其光强衰减，这种

衰减的程度与气体分子的浓度、光程以及激光的波长等因素有关。相对于红外吸收法其利用的是一段特定范围的红外线光谱，光谱宽度较广，而激光光谱法使用的是激光束，激光束具有高度的单色性，可以实现高精度的测量。

因为分子的光谱特性具有唯一性，该方法几乎不受其他类型气体的干扰，浓度测量更加准确。因此，燃气企业现有的激光检测设备可以在掺氢的条件下继续使用。

3 氢气泄漏检测设备

氢气泄漏检测设备主要有半导体法、电化学法和催化燃烧法等原理^[5]，还包括用于架空管道连接处的变色自熔硅胶带等。

半导体法和催化燃烧法与甲烷检测设备类似，其中半导体检测仪一般会使用硅烷类半导体对氢气检测会更有针对性和抗干扰性，催化燃烧的敏感材料一般包括二氧化钛、铂和钯金属等。比色型自熔硅胶带，接触到部件受损或密封失效时泄漏的高浓度氢气时，胶带颜色会由原来的浅色变成深黑色，可依据胶带颜色精确地辨识泄漏的位置与严重度，该方法适用于裸露的管道连接处。

电化学检测仪主要用在有害气体和氢气的检测中，当氢气进入检测仪内部时，它会与检测仪中的化学物质产生电化学反应，生成电流信号，根据电流信号的大小计算出氢气的浓度。市面上针对电化学氢气检测仪的测量范围一般为0ppm~1 000ppm或0~100%LEL，甲烷一般不会对其测量产生干扰，因此该原理的检测仪适合应用于查找具体漏点的泄漏检测场景中。

4 检测设备分析对比

通过以上分析可知甲烷和氢气各种原理的检测设备，有交叉敏感的也有单一敏感的，本文以掺氢比20%为例，分析总结了常见的几种传感器可以测量的浓度值范围和掺氢后的一些潜在的问题（如表1），为在掺氢环境下泄漏检测提供参考。

通过对比认为现有的基于催化燃烧法、热传导法和半导体法的甲烷泄漏检测设备其对氢气存在交叉敏

表1 现有传感器对比表

气体传感器原理	对甲烷敏感	对氢气敏感	检测量程	注意事项
催化燃烧法（甲烷）	是	是	0~100%LEL*	可能受其他可燃气体干扰给出不准确的LEL读数
热传导法（甲烷）	是	是	0~100%LEL 0~100%VOL	准确度取决于背景气体成分
半导体法（甲烷）	是	是	0ppm~10%VOL	可能被其他气体干扰产生数值的非线性变化
红外吸收法（甲烷）	是	否	0~100%LEL 0~100%VOL	对氢气不敏感
激光光谱法（甲烷）	是	否	0ppm~99 999ppm · m 0ppm~10 000ppm	对氢气不敏感
电化学法（氢气）	否	是	0ppm~1 000ppm 0~100%LEL	对天然气不敏感，响应变慢
自熔硅胶带	否	是	≤20ppm	只能用于裸露管道

*爆炸下限（LEL）

感，当掺氢比达到一定数值时，会对检测结果产生明显影响，影响程度需要通过实验研究进行进一步明确。红外吸收法、激光光谱法测量甲烷以及电化学法、自熔硅胶带测量氢气不受两种气体混合的影响，但也需要注意其他混合气体的交叉干扰性。

基于现有设备的原理，分析了掺氢后现有不同场景的泄漏检测工作所受到的影响程度见表2，其中，管道置換作业由于采用的是热传导原理类检测设备，掺氢后会导致读数增加产生不完全置換的情况发生，因此该场景下的检测设备需要修正或更换，具体的修正系数需要通过实验进一步确定。

表2 现有设备在不同场景下使用的影响

场景	对现有设备影响	建议
掺氢天然气微漏检测	影响较小，但需要增加氢气检测	激光（甲烷）+电化学（氢气）
掺氢天然气泄漏检测	有影响，掺氢后会对检测准确性造成影响，导致错误的高估或低估	修正后的催化燃烧（甲烷）或修正后的半导体（甲烷）+电化学（氢气）
管道置換作业	有影响，掺氢天然气会增加设备读数，导致不完全置換情况的发生	红外吸收（甲烷）+电化学（氢气）或新开发激光（氢气）
进入有限空间	无影响（对O ₂ 检测无影响）	现有设备

5 结论

通过梳理现有泄漏检测设备的原理，当掺氢比达

到20%的情况下，现有设备在城市燃气埋地管道上的适用性。

(1) 现有甲烷和氢气检测设备主要包括催化燃烧法、热传导法、半导体法、红外吸收法、电化学法和激光光谱法等几种原理，其中只有激光光谱法检测的气体具有唯一性，其他原理均存在一种或多种干扰气，但红外吸收法和电化学法甲烷和氢气不存在交叉干扰。

(2) 在掺氢天然气微漏检测场景下，现有设备可以正常使用；在掺氢天然气泄漏检测时，修正后的设备可以使用；在管道置換场景，热传导设备预计无法使用，需利用新的检测技术。

参考文献

- [1] 乔佳, 郭保玲, 马旭卿, 等. 城市燃气管网掺氢输送关键技术探讨 [J]. 煤气与热力, 2023, 43 (03) : 19~22.
- [2] 李敬法, 苏越, 张衡, 等. 掺氢天然气管道输送研究进展 [J]. 天然气工业, 2021, 41 (04) : 137~152.
- [3] 李茜璐, 唐柳怡. 混氢天然气在终端管网中应用的研究进展 [J]. 油气储运, 2022, 41 (04) : 381~390.
- [4] Hall J E, Hooker P, Jeffrey K E. Gas detection of hydrogen/natural gas blends in the gas industry-ScienceDirect[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2020.DOI:10.1016/j.ijhydene. 2020.08.200.
- [5] 张颖, 宿禹祺, 陈俊帅, 等. 氢气传感器研究的进展与展望. 科学通报, 2023, 68: 204~219.