

电子书

探测城市燃气供应输配管网中的 燃气泄漏点



技术和方法

前言	4
简介	5
准确的燃气检测 —— 事关安全等方面	7
安全	8
环境影响	8
负面宣传	9
经济损失	9
压力下降	9
早期泄漏检测是关键	10
燃气检测的历史	11
防范于未然	12
徒步检查和驾车检查	14
巡检操作	14
识别天然气	15
确定具体泄漏位置	15
市场驱动力	17
工作效率	17
精度	17
最大程度地减少供气中断	17
个人责任	17
企业社会责任	17
降低成本	18
人体工程学	18
技术发展	19
取样	19
新取样方法	19

更简单的分析	20
更简单的定位	20
更先进的传感器技术	20
减少对其他气体的交叉敏感性.....	21
便于操作	21
更高的工作效率	21
更大的检测范围	21
单人使用	21
巡检工作文档电子化	21
多功能与单一功能	21
遥测	22

检测技术 — 概述 **23**

红外 (IR) 传感器	24
半导体传感器	25
可调谐二极管激光吸收光谱法 (TDLAS).....	26
火焰离子检测 (FID).....	28
其他检测方法	29

取样方法 **31**

漏点定位 **34**

展望:燃气供应和检测的未来发展 **35**

结论..... **37**

关于INFICON **39**

法律声明..... **40**

插图版权声明 **40**

联系信息 **40**

前言

准确的泄漏检测对燃气供应行业非常重要。燃气泄漏会引起爆炸、对环境造成破坏并浪费自然资源。公用事业公司在检测泄漏方面投入了大量资源，这在某种程度上是一个大范围的管网所不可避免的。

但如何选择最合适的泄漏检测技术会让人感到困惑。不同制造商使用不同的技术，这些技术具有不同的检测能力和使用限制。本文将解释这些差异和可作出的选择。

对于公用事业公司而言，选择一种适合自身情况的技术十分重要。否则，设备可能无法检测到管道中漏出的燃气，从而给人造成错误的安全感，使管网检查只是对时间的奢侈浪费。

简介

多年来，人们已研发出许多燃气检测技术。其中，有四项技术被广泛用于燃气管网泄漏检测——半导体、激光光谱法、火焰离子和红外传感器。此外，还有一些针对特定应用的其他技术。

半导体检测器的工作原理是检测燃气分子与材料结合时的电阻变化。此类检测器在暴露于高浓度气体后可能逐渐响应变慢或失去灵敏度并且对其他气体具有交叉敏感性。从积极的一面来看，它们价格低廉并且可以大量使用，使燃气公司能够大范围地配备这种检测器。

火焰电离检测器燃烧气体样本并检测在此过程中释放的离子。此类检测器准确、稳定，但可能十分麻烦，这可能会降低巡检人员的机动性，并对工作效率产生不良影响。

TDLAS(可调谐二极管激光吸收光谱法)是一种激光光谱法，可用于测量激光束的波长和光强度随气体含量变化而产生的变化。使用这项技术，可以从远处通过远程检漏仪或通过靠近泄漏点的吸气装置内置功能测量燃气和蒸气浓度。虽然这项技术可以准确检测是否存在燃气，但它通常被调谐为仅识别一种类型的气体，如甲烷。市面上最先进的系统配备了多个针对甲烷和乙烷进行调谐的传感器系统。

红外线(IR)传感器使用红外光穿透含有燃气

的检测腔，当光线穿过时，燃气会吸收红外光束中的部分能量。光强度的降低与气体浓度变化相对应。

红外和激光技术都以价格昂贵著称，过去只有高端设备才提供这种技术。近年来，这种技术的购买价格已大幅下降，其成本逐渐与半导体系统的成本大致相当，因为IR系统的运行和操作成本更低。激光系统通常更昂贵，但在泄漏点附近使用手持设备时，其灵敏度最高。



用于查找燃气泄漏的火焰离子检测器。

燃气检测的成功与否还取决于从地面上采样的方法。采样的高度要尽可能接近地面并保持一致,否则燃气会在大气中迅速消散。之前使用的采样探头往往会产生不同的结果,但如今凭借优良的探头设计,检测结果得到了显著的改进。



燃气检测的成功与否还取决于从地面上采样的方法。

准确的燃气检测 —— 事关安全等方面

寻找并消除燃气泄漏是燃气供应管网所有者的一项长期任务。燃气泄漏会引起爆炸，长时间暴露在泄漏的甲烷气体中可能对健康造成危害。此外，燃气泄漏不仅会给运营公司带来经济损失，而且还会因为媒体负面报道，损害公用事业公司的声誉。

近年来，又出现了另一种观点：燃气的主要成分甲烷泄漏会对全球气候造成威胁。从短期

来看，甲烷是一种比CO₂更强的温室气体，全世界的注意力都集中在优先解决甲烷排放问题，以满足未来几年的环境目标。

这意味着，在选择泄漏检测技术时，公用事业公司需要着眼于未来。基于过往记录和现行标准选择的解决方案，可能无法满足未来五到十年的要求。



天然气行业必须监测供气网的天然气排放。

安全

公用事业公司通过对其燃气管网进行定期巡检来检查泄漏情况，这些检查的主要目标是为了确保安全。如果泄漏的燃气集中在一个地方或大气中出现危险的燃气浓度，就需要立即予以关注。紧急处置工作会给燃气公司带来额外的支出并给公众带来不便。如果在积累到危险浓度之前能够找到燃气泄漏点，就可以制定计划并有序地进行维修，并最大程度地减少供气中断。



公共事业公司定期巡检以确保安全。

此外，在泄漏检测中添加的甲烷和化学物质可能对健康造成损害。每年，世界各地都会发生几起事故，造成人员受伤，甚至导致死亡。

环境影响

天然气的主要成分是甲烷。这种气体对环境有害，在20年内导致全球变暖的潜力是CO₂的80倍。

多年来，关于气候变化的争论主要集中在CO₂排放上，但现在这一情况逐渐发生了变化。甲烷在短期内比CO₂更强。但它的衰减速度更快，而且不会像CO₂那样长时间留在大气中。

控制甲烷排放，可以更快、更有效地解决全球变暖问题，从而有力推动了减少温室气体排放的举措。

人类活动产生的甲烷排放对全球变暖的贡献率约为30%。

在人为甲烷排放总量中，约三分之一来自能源行业，剩余三分之二来源于废物管理和农业。

能源行业出现的泄漏问题可以经济高效地解决，通常无需净成本，因为防止泄漏的气体是具有市场价值的贵重商品。国际能源署(IEA)表示，根据过去几年的平均能源成本，很大一部分来源化石燃料的甲烷排放是可以避免的，无需任何净成本。¹

¹ <https://www.iea.org/reports/driving-down-methane-leaks-from-the-oil-and-gas-industry>

大部分泄漏出现在石油和天然气生产和上游供应阶段。但即将出台的甲烷减排法规也将影响下游供应和公用事业公司。

为确保在整个能源行业应用有效的气体泄漏检测，有若干强有力的激励措施。欧盟最近通过一项新法规EU 2024/1787²，旨在减少甲烷排放。即使您在其他区域开展业务，并且业务所在地的司法管辖区尚未出台更严格的法规，您也不能掉以轻心。相关法规的出台只是时间问题。目前，已有100多个国家签署了《全球甲烷承诺》³，此协议旨在到2030年使甲烷排放水平比2020年时低30%。

这些变化将彻底影响整个行业。例如，公共事业公司会要求巡检公司进行更可靠地泄漏检测巡检，避免发生事故。这意味着，我们必须时刻关注事态发展，为未来做好准备，努力满足更严格的要求并及时适应新的运营环境。

负面宣传

客户不满是企业不希望看到的情况。在当地社区因真正担忧健康和安​​全而情绪高涨时，报纸的负面头条几乎是必然的。

由于卫星图像在全球的普及，在全球范围的不同国家推广这一过程非常容易。如果媒体发现一家公司是污染源，那么当务之急是寻找问题的解决方法。为避免仓促寻找问题解决方案，建议提前采取行动，在绿色转型过程中发挥主导作用，并从积极宣传中获益。

经济损失

燃气漏损也会带来经济损失。这并不会直接影响燃气公司，而是会被视为经营成本的一部分并转嫁给客户。但这一成本必须有人来承担，而较高的成本会使供应商的竞争力下降。

压力下降

此外，泄漏会导致管道内压力下降。许多管网的供应能力已经达到极限，如果因燃气泄漏而导致压力下降，则可能意味着消费者端供应不足，这会让客户感到不满意，燃气公司的收入减少。

² https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401787

³ <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022/the-global-methane-pledge>

早期泄漏检测是关键

为了防止泄漏造成问题，应尽早发现泄漏。在欧洲，外部影响、腐蚀、制造缺陷和地层移动是最常见的泄漏原因。地层移动和外部影响(如挖掘)导致出现较大空洞或增加管道破裂的风险。另一方面，老旧管道腐蚀和制造缺陷而只会造成针孔大小的孔洞⁴。早期补救将最大限度地减少断气，保障可靠的运行。

同样值得注意的是，地表上逸出的少量燃气并不一定意味着管道漏点的泄漏很少，泄漏的燃气可以在地下广泛扩散，使我们在地表只能察觉少量的燃气。

为了检测到少量燃气，巡检设备需要具有高度的敏感性并且能够测量低浓度的燃气。泄漏的燃气不仅量少，其浓度在从管道到地面以及从地面到检测设备的过程中也会降低。

巡检人员必须记住的是，没有一台设备能够完成所有任务，解决任何问题。在每项任务中使用合适技术，以获取成功的泄漏检测结果；应用正确的巡检技术和方法；所选供应商提供培训和支持，并时刻关注最新事态发展。



准确的泄漏检测事关安全。

⁴ 欧洲天然气管道事故数据库，第11次报告

燃气检测的历史

最早被广泛使用的燃气检测设备是火焰安全灯。它由一个带有玻璃罩的煤油灯和一个防止火焰扩散的网状阻火器组成。这种网状设计可以防止灯周围的易燃气体点燃。高火焰说明存在甲烷，而低火焰说明氧气含量低。在整个19世纪和20世纪，人们都在使用火焰安全灯。此外，20世纪的煤矿工人在巷道中使用金丝雀来检测有毒的一氧化碳。20世纪60年代，随着Pellistor催化燃烧传感器的出

现，现代燃气检测应运而生。这是第一个用于易燃气体检测的固体器件。它的名称基于“颗粒”(pellets)和“电阻”(resistor)这两个英语单词的组合。该装置通过燃烧被测气体产生热量，使得用于确定燃气浓度的陶瓷颗粒的电阻发生变化。由于简单实用，Pellistor催化燃烧传感器至今仍非常流行并得到广泛应用。



人们广泛使用天然气为家用电器高效供电。

防范于未然

燃气管网可以通过被动性维护或预防性维护进行维护。对于被动性维护，天然气公司需要依靠普通民众告知他们闻到天然气的气味（或者更正确地说，天然气中的气味添加剂）。而对于预防性维护，运营商将进行管网检查，派遣工作人员或承包商带着检测设备按计划在管道铺设路线上。

设备中的传感器可以检测到的燃气浓度，要远低于人类鼻子闻到燃气加嗅剂时的燃气浓度，在欧洲，预防性措施显著减少了报告的泄漏次数：从20世纪70年代的每1000公里/年约0.75次泄漏，到2010年的0.15次泄漏，在过去40年中减少了5倍¹。这一方法通常可以减少整体泄漏，并更好地维护管网。此类检查经常在监管框架内进行并可能因管网的使用年份和位置、管道类型以及服务压力而有所不同。根据区域或公司法规，巡检人员需要在规定的时间间隔（如每年或更频繁）检查管网。时间间隔可能因管网而异，具体取决于系统使用年限、材料或周围环境条件等因素。检查必须有记录可寻，对检测到的每个泄漏点都要标注精确的日期和位置。通常情况下，这些信息会记录在某种数字系统(GIS)中，以便在管网上绘制泄漏图。但世界许多地方仍然在使用纸质地图系统。

¹ 欧洲天然气管道事故数据库(EGIG), 第11次报告



巡检人员沿管道敷设路线进行巡检。



徒步巡检可以进入所有需要监测的区域。

目前在欧洲生效的新法规使管网所有者承担更多责任,以定位、量化并记录泄漏情况,并将此作为持续改进计划的基础,以减少排放。²

现代检漏仪的设计应符合管道和危险材料安全管理局(PHMSA)³最新提案的要求,该提案规定检漏设备的最低灵敏度为百万分之五(ppm)。此项提案旨在确保检漏系统能够识别最小的气体泄漏量,从而提升安全性。

² 欧洲议会第2024/1787号条例(EU) (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32024R1787>)

³ 美国交通部(DOT)下属机构,负责确保通过管道和其他运输系统安全运输能源和其他危险材料。

徒步检查和驾车检查

管道巡检是为了在地面上尽可能靠近管道的位置检测是否存在天然气。徒步巡检能提供最准确的结果，这是因为直接在管道上方的地面位置取样，这种方式还可以让我们进入所有需要监测的区域。一名巡检人员每天可以步行约10至15公里(6至9英里)。车载巡检可以在一天内覆盖更远的距离，即30至50公里(18至30英里)，但准确性较低，而且无法进入难以到达的区域，例如位于前院的天然气管道，同时车载巡检也需要更大的资金投入。

在许多情况下，尽管行进速度较慢，但徒步检查的成本效益更高。如果设定的目标是在四年内完成覆盖整个管网的巡检，那就需要制定一些具有前瞻性的规划；也就是说，计算出需要多少巡检人员才能在这个时间内完成整个管网的巡检。巡检设备操作简单，只需较少的培训即可。

驾车巡检在短时间内可以覆盖大面积区域，例如邻区。此设备将检测车辆前方的一切情况以及车辆侧面的部分区域。借助高级软件综合考虑车速、风向、温度、空气湿度和其他

相关因素，以确定最有可能发生泄漏的位置。在某些情况下，驾车巡检非常有效。例如，如果正在追踪道路下方的天然气总管线，或在有众多停放和移动车辆的繁忙城市中寻找泄漏源时，驾车巡检就非常有效。在此情况下，巡检车的应急响应小组可以迅速了解最新情况，并决定是否需要进一步调查。

巡检操作

通过使用现代化设备，巡检人员可以相对容易地找到燃气泄漏点。他们沿着管道敷设的线路步行检测，当发现疑似泄漏点时，操作人员需要在地图上标注位置，确认是否存在燃气并测量其浓度。

操作人员还需要根据泄漏的严重程度对其进行分类，分类可能取决于泄漏的规模，也可能取决于漏点与公共区域的距离和管道状况等因素，而这决定了燃气公司处理泄漏的紧迫程度。

确定泄漏后，如果设备能够快速响应和恢复，后续操作就会更加轻松。之后便可以依次记录，继续进行巡检。响应和恢复缓慢的设备会影响流程并降低效率。

识别天然气

天然气主要由甲烷组成，这种气体也存在于自然环境中。为了将天然气与其他来源的甲烷加以区分，比如分解的有机物所产生的沼气等，检测设备需要识别只在天然气中出现的成分，该成分就是乙烷。天然气中的乙烷比例随天然气的来源而有显著变化。例如，北海天然气通常含有6-8%的乙烷，但在全球范围内，乙烷含量差异可能在0.2 vol%到15 vol%之间。燃气公司希望了解燃气管网中乙烷的典型浓度，因为乙烷含量较高会改变天然气的热值，这意味着，与纯甲烷相比，每立方米天然气将具有更高能量。

为了找到乙烷并验证检测到的气体实际上是天然气，操作人员通常会使用气相色谱仪。部分型号的检测设备内置这种功能，但也可以使用独立的气相色谱仪。另外，还可以用取样袋收集气体样本，然后送到实验室进行分析，但一般需要几天时间才能得到分析结果。市场上最先进吸气激光设备也具有双激光器：一个用于甲烷，另一个用于乙烷。

确定具体泄漏位置

当证实燃气存在后，操作人员在现场周围按照预定的样式钻出一排孔。然后从这些孔现场取样检测，确定燃气浓度最高的位置，这将用于标注维修工作时开始开挖的地点。

在这一点上，管网运营商需要能够证明已准确确定该位置。在错误位置开挖会造成大的损失和不必要的供气中断。

某些类型的设备可以通过路面材料的天然孔隙来抽吸气样，而最大限度地减少或消除钻孔的需要，这一点将在后面详细介绍。如果由于监测的原因而需要钻孔，则应在允许范围内最低限度地减少孔的数量。



从孔中进行气体取样，以确定最高浓度位置。

快速检测和修复燃气泄漏可以带来很多益处：准确的检测可以引导操作人员直接找到有问题的管道系统，从而减少对路面的破坏。减少挖掘可以减少对公众造成的不便。由于整体操作规模较小，因此可以迅速恢复客户端的供应，而节省的成本也可以反馈给客户。



减少挖掘可以减少对公众造成的不便。

市场驱动力

确保公众安全是所有燃气检测活动的重中之重，需要严格遵守相关法律法规。为满足这些要求，企业需要能精准确定燃气存在的设备。但这只是这项工作的一部分，公用事业公司也有其他优先事项需要检测设备制造商设法在不同程度上予以满足。

工作效率

公用事业公司希望巡检人员能够有效地覆盖他们的网络，携带所有必要设备，而无需返回车辆寻找丢失设备。

任何燃气迹象都应只与天然气有关，尽量减少错误警报的发生。检测设备需要响应迅速，这样巡检人员就不需要因为经过燃气气团15-20秒后才响起警报而返回。设备还需要在警报后快速恢复，以便巡检继续进行，或在精确定位经过泄漏位置时，给出直观响应。

精度

在了解管道泄漏已被发现的情况下，操作人员和公用事业公司需要保证安全。这需要有

足够的精度才能检测出少量的燃气，并且必须能够区分天然气和沼气，

最大程度地减少供气中断

如果能够凭借精确的检测，在燃气泄漏尚未扩大时发现，那就能减少所需的开挖工作，进而降低成本以及对公众的影响。如果任由泄漏点逐渐扩大，最终可能需要紧急抢修，这将增加断气影响和成本。

个人责任

在一些地方，巡检操作人员需要亲自签署表示某段管道安全的报告，这意味着操作人员在确保测量设备准确运行方面需要承担个人责任。

企业社会责任

一个有社会责任感的企业机构不应扰乱公共秩序、使人们面临危险或污染环境。此类行为会对公司声誉产生巨大损害并且需要很长时间才能恢复。

降低成本

更准确的检测减少了定位打孔的需求，即在管道上方钻一连串孔以确定泄漏点的做法。如果在开始钻孔之前能够更准确地定位，那么需要的钻孔数量就会减少，这能节省时间、减少对路面的破坏并降低修复成本——如果路面没有得到适当的修复，当地政府可能收取大额罚款。

人体工程学

操作人员的工作条件是另一个重要因素。在长时间的巡检工作中，操作人员需要便于携带的设备，才能始终保持警觉和高效。巡检工作记录的电子化能够减少对操作人员的干扰和中断。如果巡检期间所需的所有设备都便于携带，那么就可以由一名操作人员轻松完成检测工作。

在未来，设备人体工学设计可能更为重要。提高环境目标需要出台更加严格的法规，执行更多巡检工作以及增加泄漏检测工作量。



在长时间的巡检过程中，操作人员需要舒适且便于携带的检测设备。

技术发展

近年来,为了满足公用事业公司的要求,设备制造商已在进行一些技术开发。

取样

为成功维修,必须尽可能准确查明泄漏源并近距离检查。但对于初步调查,可以有效地使用远距离气体检测方法全面了解情况。

2024年发射的新卫星 MethaneSAT 和 Carbon Mapper¹ 从太空提供全方位信息。其旨在瞄准企业和政府迄今尚未意识到的隐藏的甲烷排放源。此类泄漏对环境极为有害。卫星监测的详细信息参见 *检测技术——概述*。在离地球更近的地方,无人机和飞机可以用作激光系统平台,以检测燃气是否存在。此类系统常用于监测大型设施,如油田和炼油厂。

公用事业公司通过安装在汽车或四轮摩托车上的系统,可以全面了解整个社区的情况。通过结合使用光谱学和高级软件来追踪泄漏源,以计算天气和大气条件对气体运动的影响。

手持激光指示器可用于检测无法触及的区域是否存在天然气,例如外墙高处或栅栏后。

为准确定位泄漏位置并为维修工作提供可靠数据,设备必须位于街道,尽可能靠近天然气从地下冒出的区域。

新取样方法

传统的燃气检测仪器带有一个地面探头,操作人员需要手持探头靠近地面来采集气样。但现在已经开发出许多新的配件能够更有效地采集燃气样本。例如一些仪器可以使用真空罩,通过路面材料的自然孔隙来吸收燃气,而不需要钻孔。

当真空罩压在路面材料上时,会形成一个气密空间。仪器中的取样泵会产生足够大的真空,使燃气穿过路面并将其输送到燃气传感器。整个取样过程需要10到20秒,比在路面上钻孔要快得多,而且不会损坏路面。

然而,由于设备主泵容量不同,并非所有设备都适用于这种取样方法。大多数设备会触发阻塞流报警并关闭泵以保护系统。另一个重要原因是,使用这种方法,即使在水泥砖或沥青道路等具有挑战性的材料上,高浓度天然气是非常正常的。一些传感器技术(例如半导体设备)可能会受到高浓度气体含量的影响,逐渐响应变慢或失去灵敏度。

¹ <https://www.methanesat.org/> and <https://carbonmapper.org/>

更简单的分析

现在有些仪器内置气相色谱仪,使巡检人员能够在现场进行分析并确定可燃气体是来自管道泄漏还是自然产生的。

更简单的定位

设备通常自带GNSS(全球导航卫星系统)芯片,支持GPS、GLONASS、Galileo和北斗等系统,可以轻松跟踪路线并精准定位泄漏点,以便后续跟进。

更先进的传感器技术

非分散红外(NDIR)检测曾因成本高昂而仅限于高端设备,但近年来价格更加亲民,如果公共事业单位选择采用这种检测技术,那么巡检人员就可以使用了。



内置气相色谱仪,进行现场气体分析。

减少对其他气体的交叉敏感性

低交叉敏感性意味着仪器只有在检测到目标气体时才会发出警报，而不是对旁边经过的车辆尾气中的未燃烧的燃料也发出报警。

便于操作

现代化的检测设备更便于携带，操作人员可以始终携带仪器和所有必要的配件。



现代仪器可通过平板电脑或手机上的用户界面控制。

更高的工作效率

检测仪器的反应和恢复时间更快，可以减少操作人员的等待时间。

更大的检测范围

一些设备的测量范围达到1ppm到100%甲烷，这也有助于提高工作效率，这意味着操作人员只用一台仪器就能完成所有检测。

单人使用

如今的检测设备通常只需要一个人管理，旧系统则需要一个人专门操作仪器，另一个人专注于取样并记录数据。现代化仪器可以通过巡检人员胸前的平板电脑或手机上的用户界面进行控制，平板电脑还能显示地图，并通过蓝牙或数据线与检测设备连接。

巡检工作文档电子化

巡检结果，包括卫星定位数据，可以下载到地理信息系统(GIS)中以方便巡检工作记录，也可以通过蓝牙或数据线将检测结果实时传送到电脑上。

多功能与单一功能

当检测到可燃气体后，操作人员需要验证其是否是天然气，此时一般会使用气相色谱仪。以前会使用独立的气相色谱仪，但现在多功能仪器正变得日益普遍。此类仪器有一个以

上的传感器可用于执行多项不同的任务，比如检测燃气泄漏的红外传感器再加上一个分析燃气样品的气相色谱功能。

在一台仪器中配备多个传感器，可以减少前往维修车辆和实验室测试的次数，提高了生产率。配备多个传感器的仪器更加昂贵，并且需要更多校准。总而言之，公共事业公司非常欣赏这些仪器所带来的灵活性。

内置气相色谱功能可以在1分多钟内识别甲烷或乙烷并区分沼气和天然气(乙烷含量可低至0.5%)，气样中的天然气含量可低至0.1%。可以在现场进行分析，节省了大量时间。

部分仪器配备了传感器，可检测低浓度氧气以及一氧化碳和硫化氢等有毒气体，从而为在室内环境或检修孔中工作的巡检人员提供了保护。

在未来几年内，公用事业公司可能会开始将天然气与氢气混合在一起进行检测，这将在“*展望：天然气供应和检测的未来发展*”章节中进行详细介绍。氢气与碳氢化合物气体(如甲烷和乙烷)具有不同的特性，因此需要使用不同的传感器进行检测。如果发生这种情况，那么一般需要使用多传感器仪器。

遥测

近年来，遥测技术正变得日益流行，这使得巡检人员能够远距离扫描区域，检测气体泄漏，特别是在难以进入的区域，如围栏区域或高空设施。

他们可以通过调谐激光来识别目标气体，也可以使用红外图像传感器进行遥测，下一节将详细介绍这些技术。

如果从远处探测到燃气泄漏，在开始修复工作之前，操作人员仍需要靠近并使用常规的检测手段来确定其确切位置。

检测技术 — 概述

多年来,人们开发出多种燃气检测方法,随着时间的推移,这些技术的成本变得越来越低,使用也越来越方便。目前在管网巡检中使用三种主要技术来检测低浓度燃气,其分别是红外传感器、半导体传感器和激光光谱法。第四种常见技术是火焰离子检测,目前仍有许多企业在使用。然而,这是一种过时的技术,目前正在被其他三种技术所取代。这些技术检测大气中是否存在燃气的原理完全不同。

本部分将详细介绍这些技术,并简单介绍在该领域和相关领域所使用的一些其他技术。每种方法都有自己的优缺点,管网巡检人员需要根据具体情况来选择技术。

检测燃气是否存在的不同技术

- **红外线(IR)传感器**使用红外光穿透含有燃气的检测腔。燃气会吸收红外光束中的部分能量,而光强度的损失即代表燃气的浓度。
- **半导体传感器**根据存在的燃气浓度改变其电阻。为提高传感器反应速度和灵敏度,基体将被加热至高温。
- **可调谐二极管激光吸收光谱法(TDLAS)**发射特定波长的激光束,并测量反射光波长和强度。
- **火焰离子检测(FID)**基于在氢气火焰中燃烧时所形成的离子检测燃气。

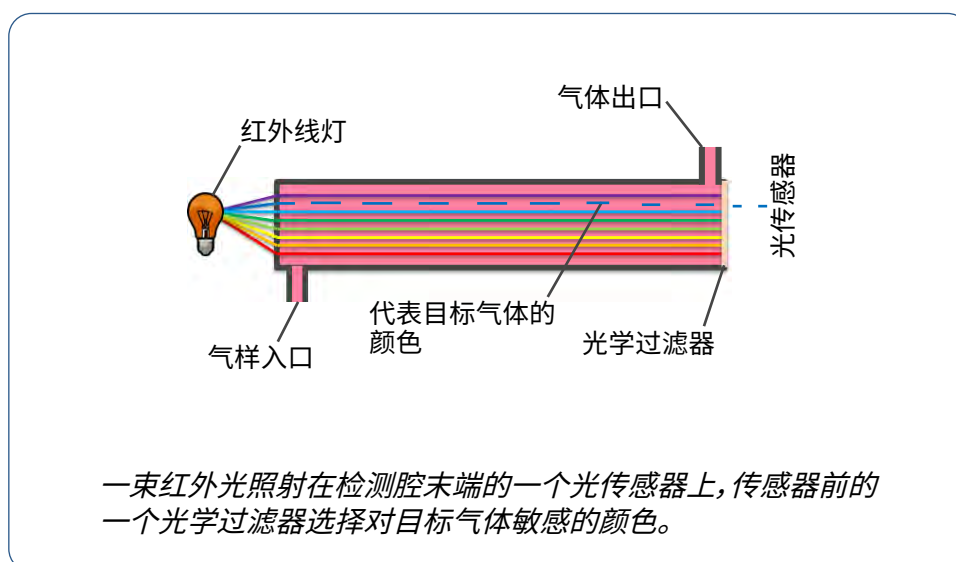
红外(IR)传感器

用于燃气检测的红外传感器被称为非色散红外线,简称NDIR。它由一个红外线光源、一个检测腔和一个红外线检测器组成。

红外线照射在检测腔末端的检测器上,传感器前的一个光学过滤器被调谐到对目标气体敏感的红外波长。当燃气进入检测腔时,

复,在报警后立即重新投入使用。其他技术可能需要在正常大气中暴露数分钟才能再次使用。

市面上最灵敏的红外检漏仪可在几秒钟内检测到百万分之几的浓度。



一些光会被燃气吸收。可以根据到达传感器的光线的减少,来确定气样中的燃气浓度。红外线技术的主要优势是速度和稳定性,尤其是在暴露于高浓度时和之后尤其明显。传感原理完全基于光穿透大气中的样品,不涉及化学反应。响应和恢复仅取决于检测腔中更换气体所需的时间。仪器在暴露后快速恢

复。红外传感器的另一个优点是它对碳氢化合物(天然气主要成分)具有高度的选择性能。有些型号甚至可以区分沼气和天然气。

还有一些检测器可以完全消除因水蒸气、较重和较活跃碳氢化合物(污染空气或废气中的挥发性有机化合物)所引起的交叉敏感性。可以将仪器中的红外传感器与其他传感器

(如气相色谱仪) 结合使用, 以识别已检测到的气体类型; 还可以与毒性传感器结合使用, 提醒巡检人员注意潜在的危险环境。

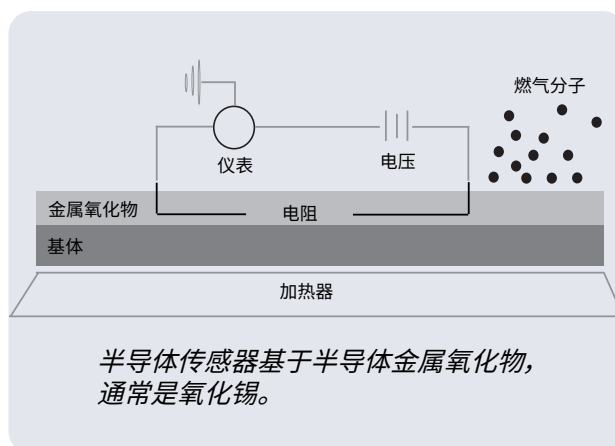
过去, 红外传感器的缺点在于它们的高成本。但近年来, 这项技术的成本已大大降低, 使其成为一项负担得起并且可以广泛使用的技术。传感器的稳定性使其使用寿命长达数千小时。这使得生命周期成本与半导体技术大致相似, 而性能却可与成本更高的激光系统相媲美。

半导体传感器

半导体传感器于20世纪70年代推出。这些传感器基于半导体金属氧化物, 其中最常见的是氧化锡。此类传感器体积小、价格便宜并且容易集成到设备中。

传感器材料由小颗粒组成, 只需相互接触就能形成一个半导体“薄膜”。如果存在燃气, 这些小颗粒之间的界面会受到影响。在环境空气中, 氧气被吸附到颗粒表面。氧气在靠近表面的地方捕获传导电子, 在颗粒之间形成一个低电导屏障。甲烷等还原气体可以与氧气发生反应, 使得捕获的电子被释放, 从而降低颗粒之间的屏障。这降低了半导体层的总电阻。可根据电阻变化计算燃气浓度。如果是甲烷, 大气中浓度达到1 Vol%的时候, 该电阻通常下降到初始状态的十分之一。

该半导体材料通常被加热到150摄氏度至400摄氏度之间以促进速度和灵敏度。



其反应速度通常很快, 但恢复可能较慢, 尤其是在暴露于高浓度后。如果仪器暴露在极高浓度下, 半导体层可能会永久损坏。在某些检漏应用中, 这可能会降低技术的实用性。

较长恢复时间也会影响巡检工作的效率, 因为巡检人员必须等待仪器恢复。为减少等待时间, 巡检人员有时会在服务车上准备一台备用仪器。备用仪器还可用于验证第一台仪器的读数。但使用两个仪器会增加巡检成本。半导体传感器通常与简易红外传感器集成在同一装置中。这主要是因为半导体传感器的测量范围有限, 因为其饱和度已经达到了几个体积百分比。标准红外传感器的测量范围与此重叠, 通常在1 vol%到100 vol%范围内测量。红外系统还用于测量潜在爆炸性环境, 因为半导体传感器被认为不适用于此类测量环境。也就是说, 此类仪器将两种不同的传感器技术合而为一, 在整个测量范围内提供读数。

虽然半导体传感器具有高度敏感性，但它有一个严重的缺点：对多种可燃气体都有反应。这样就很难知道一个读数是来自泄漏的天然气管道、附近的下水道还是与过往车辆尾气中的未燃烧燃料有关。

该传感器还对环境湿度变化有明显反应。尽管如此，这种测量方法现在仍然十分流行，这是因为其成本低于FID和IR。如上所述，传感器性能会逐渐降低，并且也可能因暴露而永久损坏。基于这些因素，需要定期更换传感器，这增加了拥有成本。在整个生命周期中，由于半导体传感器的使用寿命较短，半导体和红外仪器的成本大致相同。

除了用于燃气检测外，半导体传感器还安装在一氧化碳报警器、呼吸分析器和环境气体检测器中。

可调谐二极管激光吸收光谱法 (TDLAS)

光谱学是通过了解被研究材料发射、反射或透射的一系列波长辐射来分析各种材料的方法。在这种气体检测环境中使用的技术称为TDLAS，即可调谐二极管激光吸收光谱法。使用这项技术，通过从表面反射回探测器的光波长和强度的变化，指示大气中的气体含量。

它的工作原理与非分散红外(NDIR)仪器类似，即测量光线穿过气体时光强度减弱程度。与非分散红外(NDIR)仪器类似，它可以迅速恢复，并在燃气消失后立即恢复正常。这项技术的成本通常比非分散红外(NDIR)更高。

远距离操作是可调谐二极管激光吸收光谱法(TDLAS)的主要优势。采用这项技术的仪器常用于检测难以到达位置的气体泄漏，例如繁忙道路和围栏区域，在这些区域，仅需将激光束对准可疑气体云。该方法通过调整可调谐激光来识别目标气体。当激光束穿过燃气时，一些光会被吸收，该仪器将测量反射光并计算气体浓度。

其缺点在于，很难确定巡检人员与仪器指向的目标之间哪个位置存在气体。此外，气体云也可能从侧面漂移到激光束的路径中。

该技术常用于手持式探测器，但也可安装在汽车和四轮摩托车上。因此，激光束的发送器和接收器与汽车保险杠平行，以记录车辆行驶时激光束遇到的所有气体。此外，TDLAS传感器也可安装在无人机上，从而到达原本无法到达的区域。

TDLAS技术还可用于手持式仪器。在此类应用中，该技术与红外分析系统的工作原理类似，但光源更强，测量结果非常精准。许多激光仪体积大、重量重，但新型号越来越小巧紧凑。从巡检人员角度考虑当地法规和仪器的

安全分类,包括防爆保护和激光束强度,这一点非常重要。

这项技术的主要缺点是,TDLAS仪器通常只能检测甲烷。因此,很难区分沼气和天然气,因为两者都含有甲烷。激光仪通常未配备用于有毒气体的安全传感器,且无法显示泄漏量占LEL(爆炸下限)的百分比,因此不太适合在室内或密闭空间使用。

市面上有部分相当昂贵的激光仪,它们采用两个并行系统,一个用于甲烷,另一个用于乙烷。



因泄漏而引起燃气管道爆炸。

火焰离子检测 (FID)

虽然火焰离子检测(FID)是近几十年来最流行的气体检测仪之一,现在它正在被更现代的技术所取代。这些设备又大又笨重,对巡检人员的日常工作效率产生不利影响。更现代的气体检测设备更轻巧,操作起来也更方便。系统中采用的火焰也使该技术在严苛的防爆环境中使用更具挑战性。

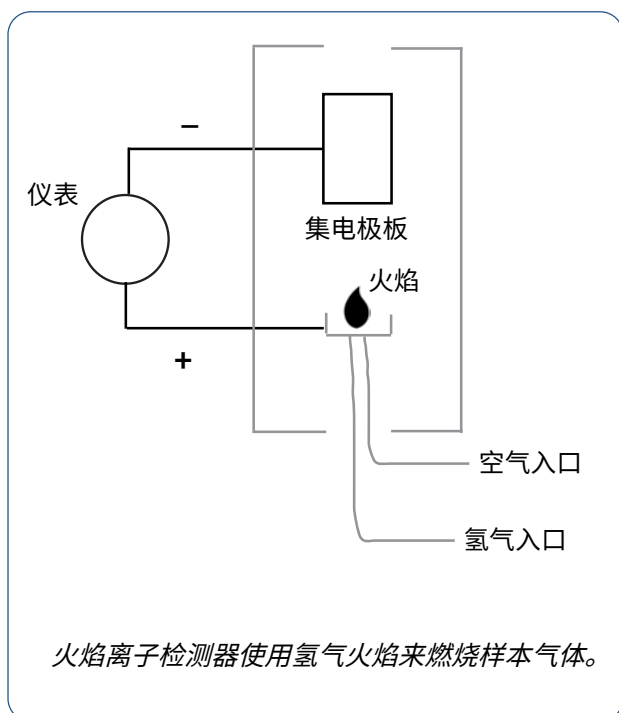
因此,这项技术仍用于众多企业中,并在多种应用中提供精准结果。但新开发的产品却少之又少,目前的产品系列可能是此类产品的最后一批。

FID系统使用氢气火焰燃烧样品气体。当甲烷等有机化合物燃烧时,会释放出离子。两个电极(一个正极和一个负极)在火焰周围形成一个检测这些离子的静电场。正电极通常在产生火焰的喷嘴中,而负电极由火焰附近的板或管组成。带正电的离子会被吸引到负极上,由此产生的电流与样品中碳氢化合物气体的浓度成正比。

这种仪器非常敏感,能够对存在的燃气迅速产生反应。但如前文所述,FID设备可能十分麻烦:操作人员需要携带一个用于燃烧的氢气瓶,而且经常还需要携带一个备用氢气瓶。与半导体传感器一样,它无法区分不同的碳氢化合物气体,尽管它的灵敏度和稳定性要比前者高得多。

另一个缺点是在高湿度或低氧气含量条件下,火焰可能会熄灭。

在最坏情况下,仪器火焰可能会熄灭,即气缸中的气体会在燃烧室外点燃并燃烧,形成明火,从而对巡检人员造成伤害。



其他检测方法

非分散红外(NDIR)、半导体、可调谐二极管激光吸收光谱法(TDLAS)和火焰离子检测(FID)是主流的燃气管网检查技术。除此之外,还有许多其他针对特定应用的燃气检测技术。

卫星监测是一项新兴且前景广阔的技术,可用于解决全球范围内的甲烷排放问题。2024年,两颗用于此目的卫星:MethaneSAT和Carbon Mapper发射升空。由于缺乏可靠数据,许多公司和政府此前一直低估了甲烷泄漏量,而之前的地球观测卫星也没有足够的仪器来检测甲烷。这两颗新卫星使用专门开发的质谱仪从太空检测甲烷排放。MethaneSAT提供广角视角,每90分钟绕地球一圈,并以200 x 200公里的区域为目标,提供整体视图,同时仍能确定甲烷浓度的极小差异。而Carbon Mapper卫星可以放大到50米以内,聚焦于特定区域。这两颗卫星均由非营利组织运营,并将公开其数据。

可以使用安装在飞机或无人机上的激光系统进行**空中监测**，这些系统能够扫描大面积区域，寻找漏气点。此类系统还可以配备能够区分多种气体的嗅探式系统，这通常用于查找大型设施(如炼油厂和沼气厂)泄漏。

空腔衰荡光谱法是一种能够检测极低浓度物质(含量低至ppb)的方法，该方法使用光腔内的激光束进行检测。光腔由两面或多面镜子组成，光束在其中来回反弹并逐渐衰减。衰减速度表明大气中存在吸收性气体。空腔衰荡光谱法有时与取样技术一起使用，需要驾驶带着设备的车辆驶过区域进行取样。之后，根据存在的燃气、风、大气条件和地理位置数据计算可能的泄漏位置。这项技术成本昂贵，但灵敏度高，即使在极快速度行驶时也能检测到泄漏。

高流量采样器使用风扇产生真空，将空气和气体吸入取样室，并使用合适的气体传感器对其进行分析。这些通常用于测量阀门和压缩机密封件等单个排放点。越来越多的法规建议或强制要求高流量采样器量化并报告系统或部件的总排放量。

超声波泄漏检测器主要用于检测设备是否泄漏，例如压缩机和计量站。它们通过检测25千赫兹至10兆赫兹范围内的超声波显示是否有高压气体泄漏到低压大气中。

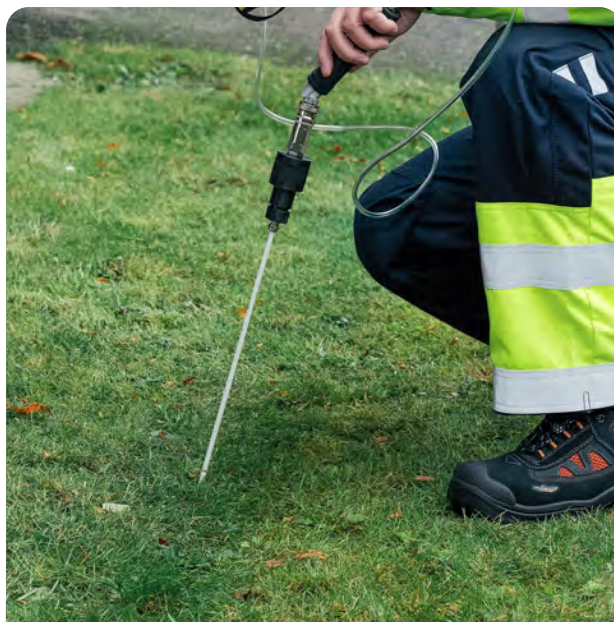
光学气体成像与热像仪非常类似，泄漏或不可见的气体火焰以彩色图像显示，图像越黄或越红，表明甲烷浓度越高。这类技术通常用于管道和生物甲烷厂等大型设施等复杂结构的泄漏检测和排放监测。

狗的敏锐嗅觉有时也会被用来检测有气味的气体，但狗需要一名技能娴熟的训练师。作为生物，它们也需要经常休息并可能得出不一致的结果，这限制了它们在长期工作中的作用。

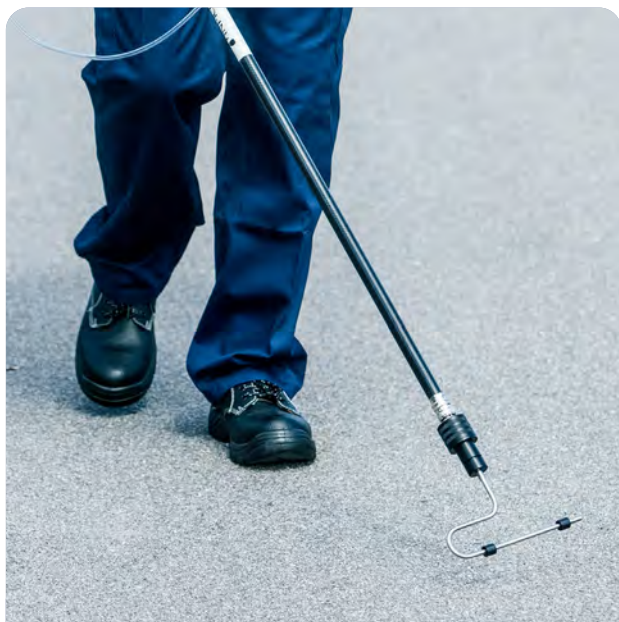
取样方法

燃气检测成功与否不仅取决于检测设备的灵敏度。选择一种有效的取样方法，确保进入传感器的样品能够真实反映从地表收集到的从地下逸出的燃气同样重要。

巡检人员需要确保他们有多种探头可供选择，以满足各类情况要求。在大多数情况下，需要选择互补的测量技术；没有任何技术可以满足所有情况下的所有要求。



连接到软管的管道是从地面取样的基本方法。



使用小表面探头进行检查时，由于难以保持一致高度，可能会导致结果不一致。

燃气会在大气中迅速消散，因此在远离地面的位置采集样本的效果要差得多，而且往往无法完全检测到泄漏。取样要尽可能地在靠近燃气管道的地面上采集。

简单的手持式探头或地面探头是最基本的地面取样工具。此类探头由一个连接软管和金属管组成，仪器内的取样泵从软管末端抽出气体。手持式探头的缺点是它只能覆盖一个非常小的区域，但可以用于准确定位泄漏点或进入角落和其他狭小空间。

为了覆盖更大的表面区域，有时会使用小表面探头。这种探头比简单的地面探头具有更广泛的覆盖范围，并且通常在地面上推动或拖动。然而，它的形状使其对风更敏感，而且一天中精确放置的位置不同，结果可能不太一致。

这种取样方法的进化版是地毯式探头。此类探头末端有一个带轮子的支架，支架上面有一块橡胶垫，橡胶垫能从一个相对较大区域

瞬间捕获空气，然后由传感器分析捕获的空气中是否存在燃气。这种方法可以确保与地面的距离一致。而柔软的垫子可以折叠，例如可以按照路边轮廓与路面贴合，还可以翻转并置于停放车辆等障碍物下面。

有时，探头系统末端会连接一个橡胶罩以便能够接触扣到地面，这样操作人员就能将探头从一侧移到另一侧，使其每次都能接触到地面，这样可以确保在这个周期内至少有两



地毯式探测器的末端有一个带轮子的支架，支架上面有一块橡胶垫。



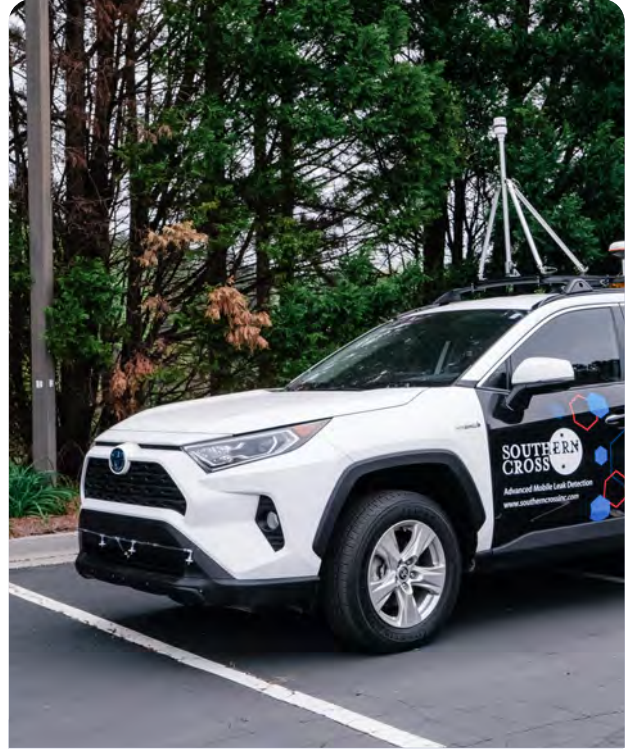
使用钟形探头进行巡检时，可以如同握住滑雪杆一样握住探杆，像北欧越野行走的方式向前移动。

次离地高度一致。或者操作人员可以如同握住滑雪杆一样握住探头探杆并对一侧进行取样，像北欧越野行走那样向前移动。

软表面探头设计用于在行走时在地面上平稳拖动，从而在不中断巡检人员步伐的情况下连续取样。



使用软表面探头可以在行走时取样。



车载泄漏巡检系统使用传感器和安装至车辆上的装置检测气体泄漏。

车载系统使用多根悬挂在车辆前面或验开路激光器分布，接近地面的软管进行取样。这些系统通常配备GPS、风力计和分析软件等辅助部件，从而提高性能和准确性。

漏点定位

在确定大致目标区域后，一般按照样式钻出一排孔，然后从这些孔中取样检测以接近最高浓度区域。在许多情况下，在孔内进行测量时需要更换仪器。部分设备允许用户全程使用同一仪器，节省了时间。

路面取样方法的进化版是真空罩，它可以形成一个与地面之间的气密空间，使用泵将气体吸入取样室。



真空罩与地面之间形成密闭空间，迫使地下的气体透过路面上升。



可借助排孔进行检测，以确定浓度最高区域的位置。

罩内产生的真空迫使地下的空气上升并穿过路面材料，包括柏油路面，甚至混凝土路面，这有助于确保准确标注燃气泄漏位置。燃气可以扩散到地下很远的距离，因此地上的最高浓度点与地下的最高浓度点可能不同，这取决于地面裂缝的位置。在强制流动的情况下，地下泄漏的燃气更有可能呈直线上升。透过地表材料直接抽吸气样可以显著减少或完全消除钻孔的需要。

展望： 燃气供应和检测的未来发展

天然气是一种经济且易于管理的能源形式，我们很有可能在未来很长一段时间内都会使用它。天然气易于供应并且使用简单。在以天然气为能源的家庭中，只需要使用很少的设备就可以将这种燃料转化为热量。在电力行业，天然气也是一种实用的能源。它能使燃气轮机快速升温、在寒冷的气候区提供有效的备用电源或作为风能和太阳能等间歇性能源的补充。

许多国家都有大量天然气供应基础设施，因此很容易延续目前的做法。现有的天然气储量相当大，预计至少可以持续60年，且价格便宜并在一段时间内相对稳定。它还是一种比其他两种化石燃料(石油和煤炭)更清洁的燃料，每单位能量的二氧化碳排放量更少。

然而，二氧化碳排放及其对全球气候的影响会产生问题，有两种主要方法解决排放问题。第一种方法是，用通过处理污水污泥、食物垃圾等材料或从垃圾填埋场采集气体而产生的沼气或生物甲烷替代化石燃料气体。二氧化碳等副产品可以被采集、存储或转化为生化甲烷，从而进一步减少排放量。在向更广泛的绿色转型和努力提升能源系统弹性的过程中，预计未来几年沼气的份额将大幅增加(即使基数较低)。氢气是天然气行业脱碳的第二个关键因素。因此，一些地方正在进行试验，探索用氢气取代天然气的可行性。

氢气燃烧时除了水以外不会产生任何排放物，因此就环保角度而言，它是一种理想的燃料。只需进行少量改造，氢气就可以用于现有的输配系统。在全球范围内，将5-20%的氢气掺入天然气管网被认为是合理的，无需修改现有的基础设施部件，如热水锅炉、炉灶等燃烧器。世界各地已经启动了几项小型和大型试验，主要是在混合天然气管网上，但也有在供气管道中100%使用氢气的本地管网。

但自然界存在的氢气非常少，因此需要生产氢气。严格来说，氢气不是一种燃料，而是像电一样是一种能量载体，其能量必须来自其他来源。

水所含的氢气最多，但从水中生产氢气需要大量的能量。如果可以利用风能或太阳能等进行可持续生产，则可以构成低碳经济的基础。也许有一天，我们可以实现工业规模的氢气生产，但这是一个漫长的过程。

目前生产氢气的最简单方法是利用蒸汽甲烷重整(SMR)工艺从天然气制造出氢气，然后可以分离二氧化碳并将其储存在碳捕获和储存(CCS)设施中，例如在枯竭的油气田中。

管道中的氢气分子体积较小，比天然气更容易泄漏，因此仍然需要进行漏气检测。氢气还会导致钢变脆，这促使人们一直在努力用聚乙烯管取代钢管。一旦发生氢气泄漏，仍存在发生爆炸的风险，不过氢气对健康和环境



燃气供应中心。

的风险将成为过去。管网中的氢气看似有风险,但实际上,它是城镇燃气或煤气的主要组成部分,在过渡到天然气之前被广泛使用。城镇燃气由煤或石脑油制成,通常含49%的氢气、29%的甲烷、19%的二氧化碳和3%的一氧化碳。城镇燃气在一些亚洲国家仍然很常见。

燃气管网调查仍然很有必要。由于氢气需要的传感器与天然气所需的传感器不同,因此要逐渐开发新的仪器。公用事业公司可能在管道中混合使用天然气和氢气物,这意味着现有仪器将持续使用多年。

但有一点需要注意。未设计用于氢气的仪器可能会在测量混合气体时产生错误读数。此外,仪器的防爆等级可能不适用预计氢气含量较高区域。现在,投资能够满足未来需求的仪器是一项明智的经济决策。

结论

多年来,人们开发出很多燃气检测方法,其中有四种主要用于目前的燃气管网检查,分别是半导体、火焰离子、激光光谱和红外线检测器。前两种方法已经存在了很长时间并以化学过程为基础。红外线激光检测是一种不对燃气进行处理的非接触式技术:使用红外光照射气体样品并根据光传感器识别光强度变化。

由于无需使用红外线激光光谱法对燃气进行处理,因此该设备十分轻和小巧,能够轻松满足操作人员和公用事业公司对设备的许多要求,这些要求包括易于操作、便携性和便利性。

红外检测系统还可以集成传感器来确定气体类型,使巡检人员能够使用单一工具完成测量、检测(测量范围为0-100%)并报告的整个过程,从而提高了巡检工作的效率和生产力。

近年来,红外线技术的成本已大大降低。这项技术过去只在高端设备中使用,虽然现在情况已发生变化,但带有红外传感器的设备在价格上仍然无法与成本最低的燃气检测设备相媲美。因此,燃气公司通常会大量配备使用半导体传感器的检测设备,而只能为巡检人员配备少量的使用红外线传感器的检测设备。

这种做法可能并不节约,红外系统的运行成本较低,其传感器的使用寿命更长,因此,红外或半导体仪器的生命周期总成本大致相同。

此外,红外线传感器能在半导体传感器未显示存在燃气的地方检测到燃气。而未发现这些燃气会使燃气公司的成本逐渐增加。而且由于操作人员在巡检走过的线路上未发现存在的泄漏,也导致投入到巡检工作中的资源被浪费。

虽然在某些情况下,半导体和火焰电离检测器可能和红外线检测器一样好用,但鉴于现场存在的个别情况,公共事业公司最好使用已普及的最新技术。

当前技术都有自己的一席之地,没有任何技术可以满足所有情况下的所有要求。

关于INFICON

INFICON是泄漏检测仪器和设备开发、生产和销售领域的领军公司之一。INFICON泄漏检测设备在要求严苛的工业生产和质量控制过程中使用。INFICON泄漏检测仪适合各种各样的泄漏检测应用。INFICON的主要客户是RAC行业、汽车行业、半导体行业的制造商和服务公司，以及泄漏检测系统制造商。凭借其在泄漏检测领域的多年经验，INFICON现在还为公用事业市场提供支持。



目前，INFICON在泄漏检测技术方面已经拥有50多年的丰富经验。INFICON通过在科隆(德国)、巴尔策斯(列支敦士登)、林雪平(瑞典)、锡拉丘兹(美国)和上海(中国)的生产设施以及所有主要工业化国家的销售办事处和不断扩大的销售合作伙伴网络进行全球销售。2023财年，INFICON AG及其约1,600名员工实现了约6.74亿美元的全球销售额。INFICON的记名股票(IFCN)在瑞士证券交易所SIX Swiss Exchange交易。

法律声明

发行方:INFICON AB, Wahlbecksgatan 25, 582 13 Linköping, Sweden

电话:+46(0)13 355-900, 电子邮箱:reach.sweden@inficon.com

www.inficon.com

© INFICON 2024版权所有

插图版权声明

除非另有说明,所有插图均由INFICON制作。

封面照片	INFICON	第18页	INFICON
第5页	Southern Cross	第20-21页	INFICON
第6页	INFICON	第24-25页	INFICON
第7页	RachenStocker/Shutterstock.com	第27页	thaloengsak/Shutterstock.com
第8页	INFICON	第29页	INFICON
第10页	INFICON	第32页	INFICON/INFICON
第11页	yuratosno3/Shutterstock.com	第33页	INFICON/Southern Cross
第12-13页	INFICON	第34页	INFICON/INFICON
第15页	INFICON	第36页	MosistaPambudi/Shutterstock.com
第16页	INFICON	第39页	INFICON

联系信息

美洲地区:

INFICON
Two Technology Place
East Syracuse, New York 13057
USA
电话:(315) 434-1100
电子邮箱:reachus@inficon.com

欧洲和非洲:

INFICON
Bonner Str. 498
50968 Köln
Germany
电话:+49(0)221-56788-100
电子邮箱:reach.germany@inficon.com

亚洲地区:

INFICON
北京市朝阳区东三环北路8号
亮马河大厦1座1608室
100004
中国大陆
服务热线:400-800-6826
电子邮箱:reach.china@inficon.com