

浅析红外技术在可燃气体和火焰探测器的应用

林颢轩

洛阳智达石化工程有限公司

摘要：石油化工行业生产和储存中涉及大量火灾危险性较高的物料，一旦发生泄漏，极易发生火灾进而引发爆炸事故。对于厂区设置必要的可燃气体泄漏检测及火灾报警设施，是保证企业安全生产的有力措施。探测器种类众多，红外式探测器灵敏度高，适用性好，被广泛应用于石油化工厂区的火气系统中。

关键词：红外；可燃气体探测器；火焰探测器；安全监测；有效性

石油化工行业生产和储存中涉及大量火灾危险性较高的物料，泄漏引发火灾和爆炸事故的概率也相对较高。其原料和产品，包括工艺各种添加剂，催化剂、溶剂大部分都属于易燃易爆物质的范畴。特别在生产中，为达到工艺指标，保证产品质量，存在高压、真空、高温及深冷等复杂工况，较多易燃易爆的危险物料正常工况下已达到或超过了自燃点，此时操作或检修的失误均有可能发生泄漏。加之各石油化工企业及装置易燃易爆物质储量很大，同时装置和储运设施的日常的检修维护又可能要经常动火。一旦泄漏或发生火灾未能及时处置，后果不堪设想。只有配置先进、安全的监控探测设施，及早地检测事故隐患而采取有效措施，尽快地发现小型事故避免事故蔓延，才能确保企业的安全生产，才能使企业经济效益得到有效的保证。

1 红外式可燃气体和火焰探测器的检测原理

1.1 红外式可燃气体探测器的工作原理
红外式可燃气体探测器是依据郎伯比尔定律而工作的，根据不同波长的

红外辐射被各种气体吸收能力不同的原理，通过检测特定波段红外光在被测气体中的衰减，来确定气体的成分及浓度。根据以上检测原理，红外式可燃气体探测器又可分为点型红外可燃气体探测器和线型红外可燃气体探测器。

点型红外可燃气体探测器如图 1 所示，由发射组件、气体采样室、接收组件以及信号处理单元构成。发射组件能够发出特定波长的红外光，红外光通过气体采样室后，经过接收组件中的光学模块，最终由光敏传感器接收。当被测气体成分及浓度发生变化时，光敏元件的电压也随之变化，电压的变化与气体浓度成比例关系，该变化经由信号处理

单元的放大、转换，变为标准信号输出。

线型红外可燃气体探测器如图 2 所示，又称开路式红外可燃气体探测器，其工作原理及组成部件与点型红外可燃气体探测器相近，由发射组件、接收组件以及信号处理单元构成，因为开路设置没有固定的气体采样室，发射组件与接收组件之间的大气都可视为气体采样室。线型红外可燃气体探测器不同于点型红外可燃气体探测器，其发射组件和接收组件相隔较远距离成对安装，可对一定距离内可燃气体气云浓度进行检测。

1.2 红外式可燃气体探测器的优缺点
采用红外式可燃气体探测器因其

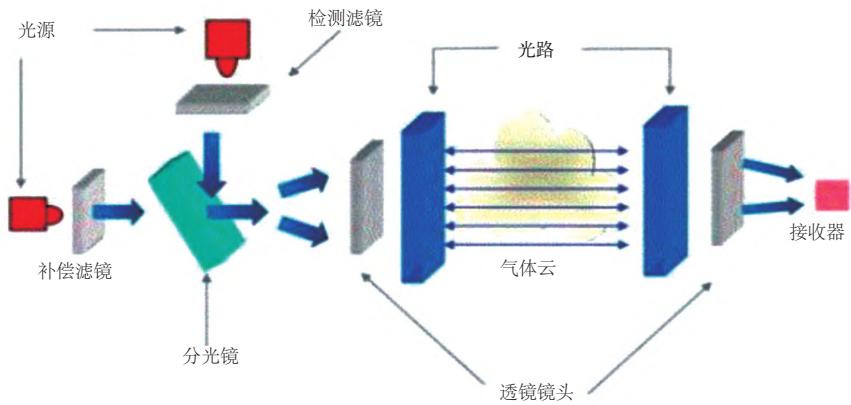


图 1 点型红外可燃气体探测器原理示意

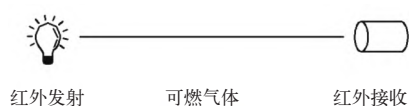


图2 线型红外可燃气体探测器原理示意

原理为光谱测量，没有介质接触及物质损耗，所以具有众多优点。首先便是寿命更长，功耗更低，其能耗约为催化燃烧式可燃气体探测器的三分之一，但寿命却增长了将近一倍。因为光谱测量并不产生化学反应，所以红外式可燃气体探测器即使在缺氧环境中依然能够正常工作，其传感器也不会因为与特定介质的化学反应出现灵敏度下降、中毒的情况。在高浓度可燃气体环境下催化燃烧式可燃气体探测器有烧坏的风险，红外式可燃气体探测器则完全规避了此问题，因此红外式可燃气体探测器通常具有更大的测量范围和更高的灵敏度。

线型红外可燃气体探测器依托于光谱检测原理，发射组件与接收组件可以间隔一定距离安装，因此具备大范围检测的能力。这样的检测方式适用于探测面积较大、距离较长的露天区域，虽然该类探测器探测精度偏低，但可以有效地减少点式可燃气体探测器的配置数量及配套电缆布设数量。

红外式可燃气体探测器并非完美，因为它们只能线性输出目标气体。如果红外传感器对其他易燃气体响应，则目标气体将是非线性的，其适用的可燃气体范围不及催化燃烧式可燃气体探测器。另外红外传感器会被高湿度所影响。在湿度很高的环境里，其检测结果准确性明显降低。

1.3 红外式火焰探测器的工作原理

红外式火焰探测器虽然与红外式可燃气体探测器同为红外式光谱检测，但其工作原理却大不相同，物质燃烧过程会产生各种光辐射，伴随着大量的烟雾和热量，光辐射中包含可见光和大气中不存在的不可见光，红外式火焰探

测器的工作就是识别明火发出的红外辐射，并发出报警。火焰能够同时在紫外和红外波段发射能量，波长约为 $0.18 \sim 5 \mu\text{m}$ 或更宽的范围，且具有特定闪烁频率 ($0.5 \sim 20 \text{ Hz}$)。这些波长一般从燃烧物质中发射出来不存在于其他非燃烧来源。

烃类燃烧产生的高温 CO_2 气体在 $4.4 \mu\text{m}$ 的波长辐射强度最大。而 $\leq 0.295 \mu\text{m}$ 和 $> 2.5 \mu\text{m}$ 波长的太阳辐射，因地球大气中臭氧、水汽和其他大气分子的强烈吸收，几乎不能到达地面^[1]。因此红外式火焰探测器的检测波长大部分选在 $2.5 \mu\text{m}$ 以上，检测此范围的红外辐射可以有效地剔除太阳光产生红外辐射的影响，减轻检测系统信息处理的难度。红外式火焰探测器的主要组件包含红外传感器、光学过滤器及信号处理器，火焰燃烧产生的红外辐射通过视窗进入探测器，经过光学过滤器聚焦在红外传感器上，传感器通过热释电原理可将接收到的辐射热转换成电信号，电信号在处理器计算处理后实现对火焰的识别和监测。

对于环境干扰严重的场合，可采用双波长红外式火焰探测器，即火焰探测器内由两个红外传感器，一个用于接收和分析火焰产生的红外辐射，一个用于检测环境光线、热体辐射的干扰，最后经过处理器对两个参数进行比对计算发出火焰报警信号。双波长及三波长红外式火焰探测器不仅能提高错误信号的免疫能力，还能提高探测器的灵敏度和响应时间。

1.4 红外式火焰探测器的优缺点

红外式火焰探测器采用光谱测量，光源来自被测火焰本身，因此红外式火焰探测器具有响应速度快、稳定性好的特点。同时红外式火焰探测器的适用范围更广，在点型感烟、感温不适宜的场合可采用红外式火焰探测器代替。如安装高度问题，规范中它的可安装高度

(20 m) 大于点型感烟探测器 (12 m)。另外在防爆等级、防护等级要求相对较高的场合及室外都可采用红外式火焰探测器；红外式火焰探测器相对点型感烟感温探测器它的探测面积也更大，可以有效减少探测器的配置数量及配套电缆布设数量。

红外式火焰探测器对声音电磁波及振动十分敏感，所以安装条件相对苛刻。另外单波长的红外式火焰探测器对于干扰光源的识别相对较弱，尤其是室外使用时。因此需要使用双波长或者三波长红外式火焰探测器来排除干扰光源，保证检测信号可靠性。

2 红外式可燃气体和火焰探测器的设置

2.1 红外式可燃气体探测器的设置

根据 GB/T 50493—2019《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》的要求，在生产或使用可燃气体的生产设施及储运设施的区域内，泄漏气体中可燃气体浓度可能达到报警设定值时，应设置可燃气体探测器。可燃气体探测器的检测点，应根据气体的理化性质、释放源的特性、生产场地布置、地理条件、环境气候、探测器的特点、检测报警可靠性要求、操作巡检路线等因素进行综合分析^[2]，选择可燃气体容易积聚、便于采样检测和仪表维护之处布置。

按照日本《一般高压气体安全规则》中 LPG 安全规则，关于“可燃性气体及有毒气体的泄漏检测报警器的布置”，室内布置的容易泄漏的高压气体设备，容易滞留可燃气体的场所，在这些设备群的周围以 10 m 间距设一个探测器的比例计算设置探测器的数量。在室外布置的容易泄漏的高压气体设备，容易滞留可燃气体的场所，在这些设备群的周围以 20 m 间距设一个探测器的比例计算设置探测器的数量^[3]。

英国石油和壳牌的探测器布点则

是以检测爆炸云为导向的方法,认为只有可燃气体云只有在积聚至一定体积时才能产生破坏性事故,因此其公司规定中是以破坏性爆炸云的直径作为布置依据,其公司规定中室内爆炸云团直径为5 m,室外则为10 m,可燃气体云团小于此直径时不足以产生爆炸超压所需的速度。

实际中,可燃气体的泄漏情况是十分复杂的,所以 GB/T 50493—2019《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》中结合国内外企业可燃气体探测器的布点和管理经验提出了可燃气体探测器的布置要求。

综合规范的要求,在实际设计中首先应确定释放源和被测介质,对于敞开式厂房或露天区域的释放源,可燃气体探测器按照水平检测半径10m布置;对于局部通风不良的半敞开厂房或封闭式厂房区域的释放源,可燃气体探测器按照水平检测半径5 m布置。当被测介质密度大于空气时,可燃气体探测器距地坪0.3 ~ 0.6 m 安装;当被测介质密度小于空气时,可燃气体探测器安装在释放源上方2.0 m 以内;当被测介质密度比空气略轻时,可燃气体探测器安装在释放源上方0.5 ~ 1.0 m;当被测介质密度比空气略重时,探测器安装在释放源下方0.5 ~ 1.0 m。当在大空间开放环境如装置外围使用线型红外可燃气体探测器时,其安装间距不大于100 m。

2.2 红外式火焰探测器的设置

根据 GB 50116—2013《火灾自动报警系统设计规范》的要求,对于火灾发展迅速,有强烈的火焰敷设和少量烟、热的场所,应选择火焰探测器^[4]。火焰探测器应布置在最有利的方位,应保证被测区域位于火焰探测器的探测距离和探测角度内,同时应避免探测区域内其他物体对于被测物的遮挡,综合考虑火焰探测器覆盖区域避免存在其他探测器死角。火焰探测器应避免阳光影响,同时避开正常操作的火、弧光及人工光

源。探测器应固定检测目标区域,不得使用旋转底座变换探测器角度巡检目标区域。

目前的红外式火焰探测器产品检测距离可达70 m,检测角度可达90° ~ 120°,如图3所示,实际布置时应根据场地中设备的分布情况选择合理的角度,提高覆盖率。需要注意的是,在检测角度的边际,检测效果会随距离变化急剧衰减;另外探测的检测距离与光辐射能量成平方反比,具体表现为能在10 m 的距离探测到0.1 m² 的探测器,如果装在20 m 的距离,则需要0.4 m² 的火源才能被探测。因此应避免盲目地采用极限角度或极限距离覆盖被测区域,会造成检测不准甚至无法检测的问题。

3 安全监测有效性评估

安全监测有效性评估是采用定量计算的方法,得出火焰、可燃气体等探测器的覆盖率,并对探测器布置设计进行验证、优化,以保障探测器满足工厂的使用环境需求,是预防危险事故发生及控制后果严重性的有效手段。安全监测有效性评估利用三维模型开展,结果精准,并且分析过程及结果直观可视,便于对结论进行优化。是进行安全监测系统功能安全完整性评估的先决条件,是安全监测系统有效性的的重要组成部分。安全监测有效性的常用技术有空间分析法和场景分析法^[5]。

3.1 空间分析法

空间分析法根据探测器参数及工厂的三维模型直接计算探测器的空间覆

盖率,并根据工厂的火灾分级提出优化方案及分析报告,如图4所示。空间分析法的主要步骤为首先确定被保护对象,然后根据被保护对象的火灾分级确定风险层,再根据探测器的布置情况(即数量、安装位置、监测范围)结合工厂模型计算探测器对于风险层的覆盖率,最后给出优化方案。

3.2 场景分析法

场景分析法根据探测器参数、工厂的三维模型、释放源的理化特性、泄漏频率和空气流动等参数综合计算探测器的空间覆盖率,并根据工厂的火灾分级提出优化方案及分析报告,如图5所示。场景分析法的主要步骤为首先根据工厂的环境条件及危险源种类对工厂进行区域划分(即明确分析区域即分析气体);然后明确分区内的环境参数(如平均温度、大气压力、风向和风速等数据)和泄漏参数(泄漏点、泄漏介质和泄漏量),以便确定分析场景,运用CFD 计算气云分布;再根据探测器的布置情况(即数量、安装位置、监测范围)结合工厂模型计算探测器对气云的捕获情况,从而得出探测器的覆盖率,最后给出优化方案。

3.3 分析方法的选择

红外式火焰探测器是依靠感应火源的能量辐射探测火焰的,能量辐射值与被测物体与探测器的距离有关,不受环境中的空气流动影响,因此红外式火焰探测器及其他类似原理的探测器不必进行CFD 流体分析,其安全监测有效性评估应采用空间分析法。

可燃气体探测器通过捕捉爆炸气

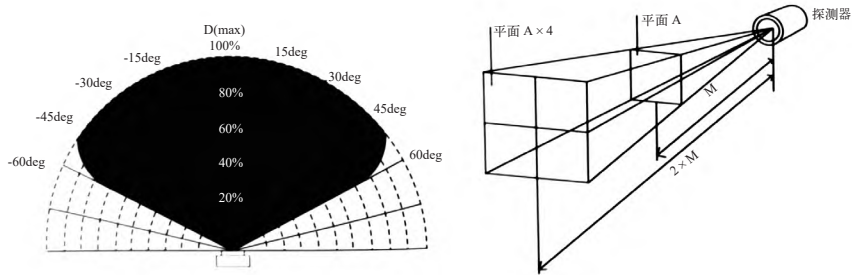


图3 红外式火焰探测器产品检测范围示意

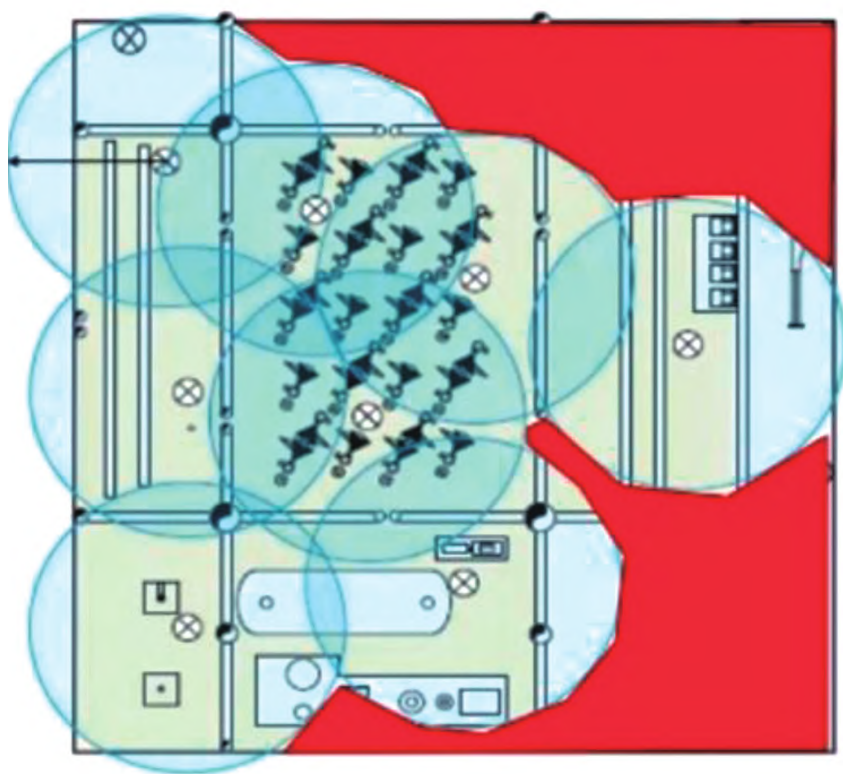


图4 空间分析法示意图

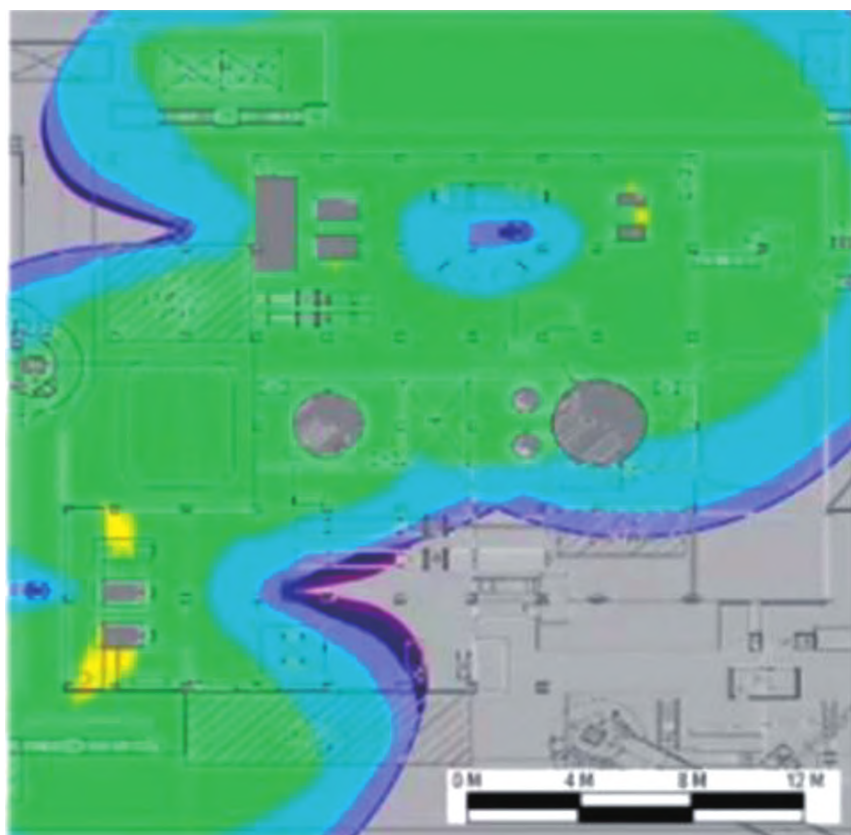


图5 场景分析法示意图

云才能探测气体泄漏，所以会受到环境风速、风向、泄漏点及泄漏量等因素，空气流动的影响，因此在分析中应考虑使用CFD模拟气云分布，其安全监测

有效性评估宜采用场景分析法。在室内、设备密集或空间狭小的场所，可燃气体探测器安全监测有效性评估也可采用空间分析法，但存在空气流动的场景中，空间分析法可能会产生错误的结论。

4 结论

随着科技的发展，石油化工企业的规模也逐步扩大，超级工厂在产生巨大经济效益的同时，厂内巨量易燃易爆物质的安全问题也愈发重要。燃气和火焰探测器作为工厂的安全防线已经通过无数案例证明了自身价值，而红外技术经过几十年的发展也拥有了优秀的可靠性。本文从红外技术的原理入手，介绍了红外式可燃气体和火焰探测器的设置原则及有效性验算。实际生产中通过合理的探测器选型及布置，依据规范进行安全监测有效性评估，就能为企业构筑一条稳固的安全防线。

参考文献:

- [1] 张斌斌.点型火焰探测器的原理及应用[J].品牌与标准化, 2011(10):41-42.
- [2] 李凤娟.气体检测器在石油化工行业中的应用设计[J].广东化工, 2016,43(19):158-159.
- [3] 中石化广州工程有限公司.石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准: GB/T 50493—2019[S].北京:中国计划出版社,2019.
- [4] 公安部沈阳消防研究所.火灾自动报警系统设计规范: GB 50116—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [5] 中国石油天然气管道工程有限公司.智能工厂安全监测有效性评估方法: GB/T 39173—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.