

危险气体泄漏监测系统的设计探讨

刘存玉

(淄博职业学院制药与生物工程系, 山东淄博, 255314)

摘 要

探讨了设计危险气体泄漏检测系统时应考虑的主要因素, 包括气体种类、物化特性、常见泄漏点和受体点、通风和空气流动等, 以及必要的设计规范。

关键词: 危险气体 泄漏 检测系统 设计

在许多化工、制药等生产或经营企业, 存在有毒有害, 或易燃易爆的危险气体。在这些场所, 危险气体的泄漏是客观存在的潜在安全隐患。因此, 有必要在有关装置安装危险气体泄漏检测系统。对给定的工艺装置, 需要安装的检测器数量和位置决定于许多因素, 设计时一般要从以下几个方面进行。

1 确定需要检测的气体

国家和地方有关法规、消防和建筑规范, 以及工业安全标准等都对在某些类型的装置和设施安装气体检测器有具体要求^[1]。但这些法规和规范仅覆盖一部分应检测气体, 大多数情况还必须使用其他指标来确定哪些气体和设备的哪些部位需要监测。其中需考虑的最重要因素是气体的实际危害, 即毒性或爆炸性危险。

对有毒气体, 应当以 LC_{50} (半数致死浓度)、STEL (短期暴露浓度限值)、最高容许浓度, 以及IDLH (立即危害生命健康浓度) 为基础进行危险性评价, 气态物质的生理性警示性质 (如嗅觉阈值) 也应考虑。特别是允许暴露浓度限值低于其嗅觉阈值的物质 (如砷化氢) 危险性更大, 因为人们无法在其泄露达到危害浓度之前感知其存在。注意, 无论暴露限值还是警示浓度都只是实验测定的平均值, 对不同人群会有差异, 因此基于这些数据设计检测系

统时, 必须留出较大裕量^[2]。

易燃或可燃气体的主要危害是其泄漏或溅出所导致的爆炸危险, 气体的闪点或爆炸下限越低, 越应对其进行检测。对闪点低于室温的易燃可燃物质, 都应安装泄漏检测装置, 因为其泄漏后能立刻气化, 并可与空气形成爆炸性混合物。注意有些可燃气体同时也是有毒气体, 其允许暴露浓度低于爆炸下限, 例如甲醇的短期暴露浓度限值约为 250ppm, 远低于其 6% (即 6000ppm) 的爆炸下限。在有人员出现的可能泄漏区域, 一般应把它们主要作为毒害性物质, 而不是爆炸性物质进行评价。

在有些情形, 对不燃性或无毒气体 (如氮气) 甚至也要进行检测, 特别是当这些气体有可能泄漏进入封闭性区域时, 因为这类泄漏能增加缺氧危险, 可造成现场人员窒息。

2 识别潜在危险点

潜在危险点可分为两大类:

(1) 泄漏点, 就是危险气体能泄漏出的位置。

(2) 受体点, 即危险气体能对人员、财产或设备造成威胁的位置。

尽管大多数装置具有众多泄漏点和受体点, 但这两大类危险点并不总是处于同一场所。例如, 潜在泄漏点可能位于临近的工厂。

对泄漏点的识别,需查阅所有危险区域分类图、工艺安全管理和风险管理平面图等资料。利用这些资料,设计者应仔细评价工厂的气体存放和贮存区,以及气体分配、加工、通风和废气处理系统。对通过汽车、火车槽罐或钢瓶等承运的气体和高蒸气压液体的所有运输路线也应包括在评价范围内。

一般来说,气体检测器的安装位置应靠近潜在泄漏点。常见泄漏点有泵和压缩机密封和法兰、膨胀节、垫片、压缩固件、焊接不良点、装卸区、液体和气体存放区、取样点、径流区(如污水井、含油废水处理区)、管路分配歧管(如阀门歧管箱)等。

在对人员造成损害或伤害可能性大的位置,即使附近无具体泄漏点,也应进行检测。这些位置包括气体可能蓄积的区域(如地下电缆室),以及任何贮存、处理、运输或加工高毒或高度易燃可燃气体的区域。

受体点的识别应当从审阅装置布局图或平面布置图开始,对人员流动或定期聚集可能性大的区域(包括疏散和出口路线)要加以注意。

用于检测受体点的气体检测器应安装在泄漏点和受体点之间。常见受体点包括分析仪器遮护亭、有工作人员的设施、开关装置保护箱、内燃机遮护亭、封闭空间、附近社区和设施等。

3 建立设计目标

工艺装置的潜在危险点识别之后,下一步必须确定检测系统应当具有怎样的响应程度。通常,气体检测系统的启动响应按严重程度分如下等级:

- (1)告知或通知;
- (2)启动排风控制;
- (3)工艺停车;
- (4)疏散和紧急响应。

检测器安装数量一般根据响应等级确定,而响应等级决定于潜在泄漏的危险性,以及人所能达到或想要达到的干预程度。

对有毒气体,短期暴露浓度限值、最高容许浓度等毒性指标是决定气体泄漏危险性的关键因素。然而,还要考虑其他物质以及任何可能的副反应产物

的存在。例如,在足够湿度下,三氟化硼水合生成氟化氢,后者危害性比前者稍小。而在有些情况,副反应产物反而比泄漏气体毒性更高。

在安装有贵重设备或装置的场所,还应考虑泄漏气体的化学性质。高度反应性气体(如氟和氟化氢)不但能造成人身伤害,还会造成财产的严重损失,因为它们能迅速与其接触的任何表面发生反应。一般要使这些气体的检测点尽可能靠近泄漏点。

有时对要检测的某些气体的特性不理解或了解甚少(例如在半导体工业常常有新的工艺气体出现),则设计时应尽可能保守一些。

易燃可燃气体泄漏危害一般来自其引起的火灾或爆炸,而不是泄漏本身。泄漏气体的浓度达到LEL,并且有点火源存在,就可能引起着火或爆炸。即时点火一般能引起着火,而延迟点火由于能使燃料-空气混合气团生成,往往能引起所谓的蒸气云爆炸。

由于蒸气云爆炸比着火造成的破坏范围更广,因此爆炸的潜在损失就是衡量易燃-可燃气体泄漏危险性的一个重要指标。以下四个因素决定蒸气云爆炸的潜在破坏性:

(1)封闭程度。一般来说,在封闭区的爆炸比非封闭区的爆炸产生更高的过压,因此破坏性更大。

(2)加速距离。火焰前沿加速距离或面积越大,引起的破坏性越大。实验证明,要达到破坏性速度,火焰前沿需要的加速距离约为5.5m。这也为在危险区域安装检测器的间距和位置提供了额外参考依据。

(3)拥挤程度或障碍物数量。小的障碍物如管子、钢件、结构钢、工艺设备等能促进燃烧蒸气云内的湍流,从而使爆炸引起的过压增加,也因之使破坏力增加。注意,爆炸还能将这样的障碍物转变为类似于榴霰弹片和飞弹的抛射体,进一步对人员和设备造成威胁。

(4)燃料数量和混合程度。燃料越多、与空气混合的越好,火焰前沿造成的破坏力越大。

设计时应考虑报警系统响应不及时的可能后果、误报警成本,以及有无操作人员监视仪表。在快

速响应很关键但误报警成本高的场合,许多采用在“圈定区域”安装多个监测器的布局,并预先设定一组监测器必须全部响应;或者采用“表决”布局,其中一组监测器中的三分之二必须有响应。在人为干预不能企及的远距离装置中,常通过安装多重监测器来获得充分冗余。

4 确定气体监测器的安装位置和数目

上述几个步骤为如何大体确定监测器的安装数量和位置提供了方向,再通过对被监测物质物理特性的评价就可对初步设计加以细化。

蒸气密度是确定气体传感器安装位置的关键指标。比空气重的气体,包括高蒸气压液体的蒸气,趋于下沉并沿地面流动,并常在坑和沟槽这样的低洼处聚集而不易扩散。所以与轻于空气的气体相比,应将更多的感应器安装在非封闭区域来检测这些物质。

用于检测比空气重的气体的感应器,应安装在近地面位置,一般在地面以上 0.5—0.7m,或安装在气体可能聚集的低洼处。相反,用于比空气轻的气体的感应器通常应安装在危险点上方。

在封闭装置中,一般将用于低密度气体的感应器安装在顶部或天花板上。对和空气同密度的气体,通常将感应器安装在处于或接近于人呼吸的高度。

当检测缺氧情况时,应考虑能对空气产生置换的气体的密度。例如,在氢气钢瓶贮藏室,安装在接近天花板位置的氧感应器会首先检测到泄漏的发生(氢气上升把天花板附近的氧气“挤出”)。

当评价蒸气密度时,不应忽略泄漏温度。液化的比空气轻的气体,如液化天然气,在刚刚溅出时的表现通常类似于比空气重的气体,但很快随着蒸气的被稀释和温度的升高而开始上升。与此类似,有些被加热了的比空气重的气体,如硫化氢,刚泄漏时将上升,但当冷却下来密度变得比空气大时就开始下沉。

通风和空气流的存在也会影响检测器的安装位置,对密度和空气类似的气体尤其如此。例如,如果在厂房内有强的空气流,那么对比空气轻的气体的

检测,将感应器放在排气管出口位置比放在天花板位置更好。贮存和泄漏方式也会影响按蒸气密度确定的检测器布局。

液化气体和高蒸气压液体一般以溢出或喷泻的方式泄漏,随后开始蒸发。蒸发速率与积液的表面积、液体的沸点或蒸气压,以及从地面和环境传递的热量成正比。

一般情况下,蒸发速率越慢或蒸气越浓,就越应将感应器安装在靠近液体蓄积位置。同时,蒸发速率增加越快,就越要考虑主导空气或通风气流的影响。

加压贮存或运输的气体是以气体(或气-液两相)喷射的形式泄漏的。如果泄漏点或方向可以预测,则通常将检测器放置在射流路径上。否则,就应把检测器要么置于危险点周围多个地点,要么置于气体泄漏出来后很可能经过或沉积/降的区域(而且还要考虑主导气流或通风气流的影响)。

应当注意,比空气轻的气体刚刚泄漏出来常常是下沉的,原因在于喷射气流中有气溶胶存在,而且气体在压力下降时温度也降低。多数喷射出的气体会和周围空气发生相当程度的混合,并在开放空间距泄漏点不远处就能扩散到危险浓度以下。然而,长时间泄漏或在封闭、半封闭区域的泄漏仍会对安全造成严重威胁。

尽管室内泄漏常比室外泄漏更危险,但其行为却更易预测。研究表明,在无排风房间,气体能很快在泄漏点上方(或下方)达到均匀浓度。对室内泄漏,检测器的安装位置可主要依据蒸气密度和泄漏方式确定。注意,当在天花板附近有温度很高的空气时,就有可能出现一定程度的热分层现象。温暖、低密度的空气可降低气体向顶部的移动速度。

考虑机械通风的影响也很重要。在通风速率相当快的地方,例如等级 100 以上的洁净房间,安装在风筒上的传感器常能提供厂房、机房或操作间内空气的最真实状况。

有些情况必须将传感器安装在数个通风管中,因为通风系统设计规范要求考虑气体密度,例如在存在轻重气体混合物的地方,要求通风系统必须能

将处于高低位置的气体都能捕集到。

在通风速率较低的情况,应进行烟雾研究以便明确传感器确实能“看见”气体的泄漏,方法是将一股烟雾或其他易于看见的气体喷出,然后观察其在空气主流中的表现。

若通风管相互连接,且潜在泄漏点处于“上游”,或者空气是从外面靠近可能的泄漏点位置抽进来的,则有必要在空气进口管或其附近安装一个传感器。有些情况,如处理高毒气体时,为增加安全保障,还应检测呼吸区(在处于人呼吸高度的位置安装检测器)。

检测室外泄漏要复杂的多,因为在室外影响气体行为的变量比在室内多得多。有众多扩散模型可帮助设计者预测泄漏气体卷流的大小、形状和浓度^[3]。在空气扩散模型中,除包括气体性质和泄漏动力学外,一般还包括表面粗糙度等数据。气体在水面、覆盖面和草地上方的传播速度比在城市、森林和工业联合体内的传播速度要快。气象因素也有影响,因为在风和日丽的下午气体扩散最快,而在天晴风轻的夜晚气体扩散最慢。

对室外气体传感器的安装,一般应保证在所有正常泄漏情形,总有大于检测极限的泄漏气体经过检测器。检测器的检测极限一般是信噪比的三倍。

还应注意,由建筑物、工艺容器、管道阵列等产生的地形特征会显著改变泄漏气体的预测行为,因为大多数扩散模型是假定具有平坦表面。例如,“峡谷”(即两个大构筑物之间的区域)就趋于使气体卷流的浓度增加。相反,泄漏点下游的障碍物则趋向于通过增加湍流使气体卷流被稀释。

5 结语

气体检测系统能为危险气体的泄漏提供早期报警,因此是保证安全的第一个屏障,正确的设计和布局是系统发挥效能的关键所在。气体检测系统设计不但要解决感应器安装数量和位置问题,还要解决如何用其提供的真实时效数据来改善工厂总体安全状况问题。只有这样,才能使监测系统发挥最大效用。

参考文献

- [1] 冯肇瑞,杨有启. 化工安全技术手册. [M]:北京:化学工业出版社,1993:5-12.
- [2] Shelley, S A: Policing air toxics[J]. Chemical Engineering, 1991. 11: 30-32.
- [3] Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models, Center for Chemical Process Safety, New York, N. Y., 1996:2-6.

Discussion on Designing Hazardous Gas Release Detection Systems

Liu Cunyu

(Department of Pharmaceutical Manufacturing and Bioengineering,
Zibo Vocational Institute, Zibo 255314, Shandong, China)

Abstract: Major factors to be considered in designing gas detection systems, including types of gas, their physical and chemical characteristics, common release and receptor points, ventilation and air currents etc., as well as necessary rules of design were discussed.

Key words: hazardous gas; release; detection system; design

《四川化工》稿件征集中……

投稿邮箱:schgbjb@sina.com