

基于国家规范和理论计算的爆炸危险区域划分讨论

陶建勇

四川晨光工程设计院有限公司

摘要: 本文探讨了在中小型化工生产车间中,当单个设备使用易燃易爆介质时,按照《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058-2014(2018年版)进行爆炸危险区域划分可能对车间使用环境造成较大的影响。通过比较GB50058-2014和IEC60079-10-1:2020两本规范,以及利用典型画法和理论计算进行爆炸危险区域划分,本文旨在为实际工程设计提供指导。根据不同规范的划分方法,爆炸危险区域的范围和等级存在差异。在实际应用中,应综合考虑设备特性、工艺条件和安全要求,选择合适的规范和方法进行爆炸危险区域划分,以确保生产安全。

关键词: 中试小试生产车间;爆炸危险区域;释放源;稀释程度

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.09.069

一、概述

石油化工企业的生产过程具有连续性强、高温高压、有毒有害、易燃易爆等特点,一旦发生事故,将给国家和企业带来巨大的损失。因此,省、市安全监管部门对正在运行的石油化工企业进行安全诊断的审查显得尤为重要。我院受业主委托,对某新材料公司机氟生产车间进行安全诊断设计。在诊断过程中,发现非爆炸危险区域内有一台使用乙醇的设备R1301,需要进行该区域的防爆设计。

爆炸危险区域划分是预防爆炸事故的重要手段之一。目前,国内的标准规范主要依据典型的图例法进行爆炸危险区域的划分。这种方法主要是通过绘制地图上的危险区域图例来标明不同危险程度的区域范围。然而,由于缺乏相关的理论支持,图例法的准确性和适用性存在一定的问题。特别是在中小型车间中,由于空间布局和工艺流程的复杂性,单纯的图例法难以满足安全管理的需求。

为了解决图例法在中小型车间适用性不足的问题,我们引入了国际电工标准中的理论计算方法。这种方法主要基于燃烧化学和流体动力学的原理,通过数学模型对爆炸过程中的各种因素进行定量分析,从而计算出爆炸危险区域的范围。通过理论计算,我们可以更加准确地评估不同工艺流程和空间布局下的爆炸危险程度,提高划分的可靠性和针对性。

二、项目情况

R1301设备的泄漏介质条件:

环境压力10132Pa,环境温度25℃,释放源介质乙醇,乙醇摩尔质量46.07g/mol,容器压力0.3MPa,介质温度25℃,比定压热容2.19J/(g·k),爆炸下线3.3%~19%,临界压力6.38MPa,相对密度1.59,释放孔径2.5mm²,压缩因子0.789,摩尔气体常数8.314J/(mol·k),环境条件下的密度785kg/m³,房间长度24m、宽度10.5m、高6m。

三、国家标准的爆炸危险区域划分

1. 释放源的等级

释放源根据可燃物质释放频率和时长分为连续级、一级和二级。连续级为长期释放源;一级为正常运行时可能周期性或偶尔释放的源;二级为正常运行时不释放,偶尔短期释放的源。

2. 释放半径

根据《爆炸危险装置电力设计规范》的规定,绘制爆炸危险区域应考虑泄漏介质的相对密度和释放源距离地面的高度。其中,泄漏介质的相对密度对爆炸危险区域的范围具有显著影响。当泄漏介质的相对密度大于1.2时,以释放源为圆心,半径为15米的区域应被划定为爆炸危险区域。相反,当泄漏介质的相对密度小于0.8时,以释放源为圆心,半径为4.5米的区域应被划定为爆炸危险区域。同时,当泄漏介质的相对密度在0.8~1.2之间时,应根据实际情况灵活处理,综合评估并确定爆炸危险区域的范围。

此种方法简单清晰,易于执行,便于统一,但是没有考虑通风情况给爆炸危险环境范围带来的影响,在条款中:可根据实际情况确定范围,但由于没有明确的判断标准,设计人员很难执行。

3. 绘制爆炸危险区域范围

乙醇罐运行正常时不泄漏,故无连续和一级释放源。仅在异常情况下,罐底法兰密封面或阀门阀杆密封处可能产生二级释放源。释放源泄漏的地方是罐体底部的法兰密封面或者是活动阀门的阀杆密封处。在常温条件下,乙醇气体密度大于空气,因此,根据国家标准《爆炸危险装置电力设计规范》,以乙醇罐法兰为中心,半径15米的区域应被划分为爆炸危险二区。

四、理论计算的爆炸危险区域

泄漏介质的释放面积是决定爆炸危险区域大小的重要因素之一。当易燃易爆介质发生泄漏时,泄漏面积的大小直接决定了释放出的气体量和扩散范围。较大的泄

漏面积会导致更大的爆炸危险区域，因此对于设备的密封性的可靠性要求更高。

其次，介质在设备内的压力和密度也对爆炸危险区域的大小产生影响。一般来说，较高的介质压力和密度会增加气体释放的量和速度，从而扩大爆炸危险区域的范围。因此，对于高压和密闭的设备，应特别注意安全防护措施和通风稀释效果。

此外，通风稀释效果也是影响爆炸危险区域大小的关键因素之一。良好的通风系统可以有效地将泄漏出的气体稀释到安全浓度以下，从而降低爆炸风险。因此，在涉及易燃易爆介质的生产场所中，应合理设计和配置通风系统，确保足够的通风风量 and 风速，以降低爆炸风险。

1. 释放孔径

释放孔径是影响危险区域范围的关键因素之一，对于易燃易爆介质的扩散和安全风险具有显著影响。当易燃易爆介质通过孔径释放时，其扩散范围和速度直接受到孔径大小的控制。较小的孔径会导致介质以较为集中的方式释放。在这种情况下，介质扩散的范围相对较小，扩散速度也相对较慢。由于介质释放较为集中，局部区域的介质浓度容易升高，增加了爆炸或燃烧的风险。

相反，较大的孔径会导致介质更广泛地扩散。扩散范围较大意味着介质能够快速分散到更大的区域，降低局部区域的介质浓度。然而，过大的孔径也可能导致安全风险的范围增加。在某些情况下，过大的孔径可能导致介质迅速扩散到原本安全的区域，从而增加了安全风险的范围。因此，在选择孔径大小时，需要综合考虑介质的性质、压力、温度以及环境条件等因素。

正确评价释放孔径对于防止危险区域的形成和扩散至关重要。在实际应用中，为了确保安全，需要根据具体情况综合评估，以确定适当的孔径大小。总之，合理识别释放孔径的大小是确定爆炸危险区域的重要组成部分，释放源孔口面积推荐值参考见IEC60079-10-1:2020。

2. 释放速率

首先，我们要明白什么是释放速率。简单来说，它描述的是物质从容器中逸出的快慢。在危险环境中，如易燃易爆介质，这种逸出可以形成高速喷射流或低速扩散流。而这两种状态，直接决定了危险的影响范围。

想象一下，当易燃易爆介质如乙醇在容器内积聚，如果其压力不高于临界压力时，泄漏后的情况会是怎样？由于乙醇的高挥发性，一旦泄漏，它便会迅速蒸发，形成乙醇蒸汽。但此时的容器内压力较低，这导致乙醇蒸汽的扩散速度相对较慢。因此，在这种情况下，

危险区域的扩散范围会相对较小。然而，如果容器内的压力高于临界压力，情况就会发生变化，更高的压力意味着乙醇泄漏后会产生更高的蒸汽压力和更快的扩散速度。此时，乙醇蒸汽会像被一只无形的手推动，迅速扩散到周围的空气中，这种快速的扩散意味着更大的危险区域。

3. 通风稀释

当介质泄漏时如果通风风量充足，气体扩散到大气中，可降低其在局部区域的浓度。这种稀释作用可以有效降低爆炸风险，因为气体浓度越低，达到爆炸极限的可能性就越小。

风量越大，气体的扩散速度越快。这意味着在更短的时间内，气体能够被稀释到更低的浓度。通过控制通风风量，可以减少在危险浓度范围内的滞留时间，从而降低爆炸事故发生的可能性。因此，对于涉及易燃易爆介质的生产场所，应充分考虑风量的影响，通过合理的设计和布局来确保有足够的通风风量，以满足气体扩散和稀释的需求。

然而，如果通风风量不足，气体容易滞留在某一区域，形成高浓度区。在这种情况下，泄漏出的易燃易爆气体无法得到及时稀释，其浓度容易达到爆炸极限。一旦达到爆炸极限，遇到火源即有可能发生爆炸事故。因此，低风量或通风不足会增加爆炸风险，对人员安全和生产设备的完整性构成严重威胁。

除了风量之外，风速也是影响气体扩散和稀释的重要因素之一。风速对环境的影响主要体现在气体的搬运和扩散能力上。高风速有助于将易燃易爆气体迅速搬运到远离泄漏源的安全区域。在泄漏事故发生时，高风速能够将泄漏出的气体迅速带走，远离泄漏源。这样能够降低在局部区域形成高浓度区的可能性，从而降低爆炸风险。

此外，风速越大，气体的扩散范围越广。这意味着气体能够被更快地分散到更大的区域内，降低局部区域的浓度。这种快速扩散有助于减少在危险浓度范围内的滞留时间，从而减少发生爆炸的可能性。因此，在涉及易燃易爆介质的生产场所中，应充分考虑风速的影响。

4. 稀释程度

稀释程度是指通风将释放物质稀释到安全水平的能力。在易燃易爆环境中，稀释程度对于评估安全风险具有重要意义。通风可以将泄漏出的易燃易爆介质稀释到安全浓度以下，从而降低爆炸或燃烧的风险。因此，了解稀释程度对于制定有效的通风措施和安全防护方案至关重要。

稀释程度受到多种因素的影响，包括通风条件、释放物质的性质以及通风稀释效果等。在给定的通风条件

下,较大的释放量通常对应着较低的稀释程度。这是因为较大的释放量会导致介质在局部区域积聚,增加达到爆炸极限的可能性。因此,对于给定的通风条件,控制释放物质的量和速度是降低安全风险的关键措施之一。

另外,对于给定的释放量,较低的通风速率也会对应着较低的稀释程度。这是因为较低的通风速率会导致介质在局部区域停留时间较长,增加了达到爆炸极限的可能性。因此,在易燃易爆环境中,应通过合理的设计和配置,提高通风系统的通风速率,以降低安全风险。

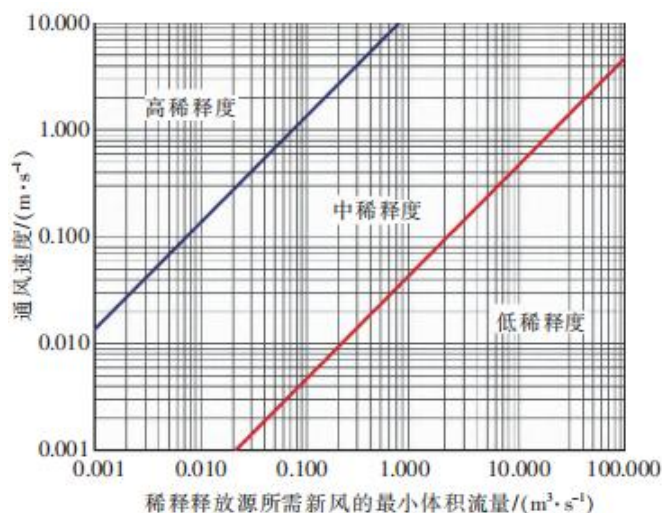


图1 通风稀释效果评估图

根据稀释程度的不同,可以分为高稀释度、中稀释度、低稀释度三类。高稀释度表示通风系统能够将释放物质迅速稀释到安全水平以下,中稀释度表示通风系统能够将释放物质部分稀释到安全水平以下,而低稀释度则表示通风系统无法将释放物质稀释到安全水平以下。在实际应用中,应根据具体情况选择适当的通风系统和措施,以实现高稀释度为目标,降低安全风险。

通风稀释效果可通过图1进行评估。释放气体达到爆炸下限的危险区域半径可通过图2进行估算。

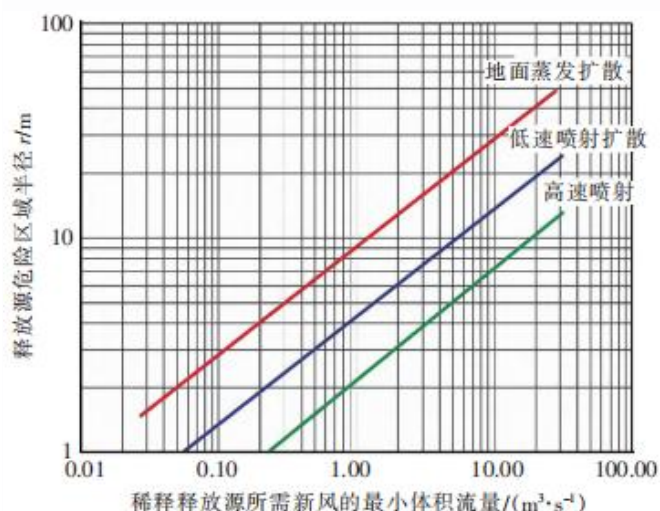


图2 危险区域半径估算图

五、爆炸危险区域等级和半径计算

多变指数 $n = MC_p / (MC_p - R) = 1.309 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$ (M —摩尔质量, kg/mol ; C_p —比定亚热容, $\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$, R —摩尔气体常数, $\text{J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$, 通常取 $8.314 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$)

$$\text{临界压力 } p_c = p_a \left(\frac{n+1}{n} \right)^{\frac{1}{n-1}} = 186235 \text{ pa}$$

由临界压力 < 储罐内压力

$$\text{释放质量 } q_m = 10^{-6} C_d S_p \sqrt{\frac{Mn}{ZRT} \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n+1}{n}}} = 0.872 \text{ kg/s}$$

释放流量 $q_v = q_m / \rho_g = 1.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (ρ_g —环境条件下气体密度, kg/m^3)

新风最小体积流量 $q_{v, \min} = q_v / \phi \text{ LEL} = 0.034 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\phi \text{ LEL}$ —爆炸下限)

单位时间内通风换气量 $q_{v0} = C \cdot V_0 / 3600 = 0.084 \text{ m}^3/\text{s}$ (C —通风换气次数, 次/h ; V_0 —室内空间体积, m^3)

通风速度 $V = q_{v0} / (B \times H) = 5.83 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (q_{v0} —单位时间内的通风换气量, m^3/s)

①释放源等级根据释放源所需新风的最小体积流量和通风速度,查图一,可以得出通风效果为中稀释度。在根据表二可查出,在R1301设备的释放区域为2区。②爆炸危险半径据图2,根据横轴参数和斜线对应的气体

释放源类型,可得出爆炸危险半径。在本项目中,气体的释放速率为 $0.034 \text{ m}^3/\text{s}$,释放源为中速扩散。由此可以得出,R1301以法兰为释放源,半径为 1 m 范围内为爆炸危险2区。

六、结论与展望

本文通过对爆炸危险区域划分方法的探讨和研究,提出了基于理论计算的划分方法,旨在解决中小型车间中图例法的局限性和不足。通过实验验证和对比分析,证实了理论计算方法在提高划分准确性和适用性方面的优势。展望未来,我们将进一步深入研究和完善理论计算方法,以适应更复杂的环境和工艺流程。同时,我们期望推动相关标准的制定和更新,促进爆炸危险区域划分的科学化和规范化,为石油化工企业的安全生产提供有力支持。

参考文献

- [1] 项云林. 北美爆炸危险场所新分类方法介绍[J]. 电气防爆, 2005, (3): 23~28.
- [2] 林少松, 陈华晖, 张晟, 陈少辉, 黄伟彪. 爆炸性粉尘环境的雷电防护技术要求[J]. 现代经济信息, 2018, (5): 67~69.
- [3] 顾保虎. 爆炸性气体环境场所释放源释放半径及区域类型的分析计算[J]. 电气防爆, 2019, 5: 34~39.