

输气管线失效的闪燃火灾风险分析

王大庆

(大庆油田工程有限公司, 黑龙江 大庆 163712)

摘 要: 输气管线失效产生的闪燃火灾严重威胁到其所覆盖区域内人和建筑物的安全, 对闪燃火灾风险进行分析, 可为工作人员确定火灾辐射区域, 及时疏散人员提供参考依据。结合高斯模型推导了表征闪燃火灾风险的关系式。通过实例分析表明, 闪燃火灾危害范围与泄漏气体燃烧极限浓度、管线失效模式、风速以及大气稳定类别直接相关; 在相同风速下, 闪燃火灾危害范围随着泄漏孔径的增加而明显扩大; 而在相同失效模式下, 风速的增大却使燃气云在下风向的燃烧极限距离和半宽在减小, 可见低风速, 尤其是静风条件危害区域面积达到最大。此外, 地形地貌对危害范围的影响也不容忽视, 尚待进一步研究。

关键词: 输气管线; 闪燃火灾; 高斯模型; 燃烧极限浓度

文章编号: 1006-5539(2009)01-0028-03

文献标识码: A

1 闪燃火灾特性规律

输气管线失效发生泄漏扩散时, 附近大量的空气被卷吸到气体中, 形成易燃混合气云。当混合气云浓度处于燃烧极限范围内遇火源才能被点燃。若从发生气体泄漏到被点燃存在一定的时间延滞, 且不存在封闭空间或受局部约束的条件, 那么就会发

生闪燃火灾。

闪火是一种非爆炸性的燃烧过程^[1], 燃烧速度虽然很快但比爆炸要慢得多, 因此其危害后果主要是热辐射而没有冲击波, 即产生大面积的火灾直接烧毁财产和对人灼烧伤害。由于是延迟点燃, 在点燃处于燃烧极限范围内的混合气云之前, 混合气云已飘移一段距离, 因而通常将气体燃烧极限上、下限浓度之间的范围称为闪燃火灾的作用范围。闪火危

收稿日期: 2008-11-17

作者简介: 王大庆 (1980-), 男, 重庆潼南人, 助理工程师, 硕士, 毕业于西安石油大学油气储运专业, 主要从事油田地面工程规划工作。电话: (0459) 5903647。

害范围与易燃混合气云的大小直接相关, 而云团的大小则主要取决于扩散和泄漏条件。因此, 这里可以利用描述气体泄漏扩散的高斯模型来估算下风向任意点 (x, y, z) 处气体的浓度值。高斯模型浓度分布计算式如下^[2-3]:

连续泄漏:

$$C = \frac{Q_r}{\pi \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \quad (1)$$

其中: $\sigma_y = \gamma_1 x_1$, $\sigma_z = \gamma_2 x_2$

瞬态泄漏:

$$C = \frac{2Q}{(\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-ut)^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right]\right\} \quad (2)$$

其中: $\sigma_x = \sigma_y$

式中, C 表示下风向某点 (x, y, z) 处泄漏气体的平均浓度, kg/m^3 ; Q 表示气体泄漏率, kg/s ; u 表示平均风速, m/s ; σ_x , σ_y , σ_z 分别表示下风向、横风向和垂直方向上的扩散参数, m ; x 表示下风向距离, m ; y 表示横风向距离, m ; z 表示离地面的高度, m ; t 表示泄漏时间, s ; Q 表示时间内的泄漏量, kg ; α_1 , α_2 分别为横风向和垂直方向扩散参数回归指数, γ_1 , γ_2 分别为横风向和垂直方向扩散参数回归系数。

据实验研究表明, 浓度越稀, 火焰越低, 处于燃烧极限范围内的混合物, 其火焰平均高度约为 $1 \sim 2 \text{ m}$ 。因此, 在给定气体燃烧极限上、下限浓度值的条件下, 可直接利用闪燃火灾的二维轮廓来模拟其危害范围。于是结合高斯扩散方程和扩散参数计算公式^[3], 推导得泄漏气体在横风向和下风向扩散距离 (x, y) 的函数关系式:

连续泄漏:

$$y = \pm \sqrt{-2(\gamma_2 x_2)^2 \cdot \ln\left(\frac{G \gamma_1 \gamma_2}{Q_r} \cdot x_1^{\alpha_1 + \alpha_2}\right)} \quad (3)$$

瞬态泄漏:

$$y = \pm \sqrt{-0.2 \gamma_1^2 Q^4 x_1^{2\alpha_1} \ln\left[\frac{0.6 \gamma_2 \gamma_1 C^Q}{Q} x_1^{\alpha_1 + \alpha_2}\right] - (x - ut)^2} \quad (4)$$

2 闪燃火灾风险表征

火灾主要通过热辐射的方式对周围人和设备产生伤害, 伤害的程度取决于目标接受热辐射的多少。通常火灾的热辐射可以采用单点源模型、多点源模型或固体火焰模型来表征^[4], 例如输气管线失效后

果中最常见的射流火灾其热辐射就可以采用固体火焰模型来描述。但对于闪燃火灾而言, 考虑到泄漏气云在延迟点燃前已经发生漂移, 且闪燃火灾的特点是燃烧持续时间较短, 与射流火灾相比, 目标从火焰中所接收的热辐射剂量也是十分有限的。因此, 在风险分析中可不考虑闪燃火灾对外界的热辐射效应, 只需考虑其作用范围以内的热辐射伤害。通常可以保守地认为, 处于气体燃烧极限范围内的室外人员将全部烧死, 建筑物内将有部分人被烧死。在缺乏资料时, 可以认为室内的死亡概率为零。

3 闪燃火灾风险的实例分析

已知某输气管线因腐蚀穿孔而发生连续性泄漏, 两种不同失效模式下的泄漏率 Q 分别为: 孔隙泄漏 ($d_r = 15 \text{ mm}$) 时, $Q_r = 1.78 \text{ kg}/\text{s}$; 大孔泄漏 ($d_r = 100 \text{ mm}$) 时, $Q_r = 75.60 \text{ kg}/\text{s}$ 。管内气体的燃烧极限范围为 $5.1\% \sim 14.6\%$, 换算成质量浓度在 $35.8 \sim 107.5 \text{ g}/\text{m}^3$ 之间。本地区大气稳定类别为 A 级, 根据式 (3) 计算得到不同失效模式、不同风速条件下泄漏气体连续扩散的等浓度曲线如图 1 所示。图 1 中曲线 1 和 2 分别表示气体的燃烧极限上限浓度和下限浓度线, 两条等浓度曲线之间形成的区域即为闪燃火灾危害区域。

4 结论

a 在相同风速条件下, 不同失效模式对应的闪燃火灾的轮廓尺寸呈明显不同, 随着泄漏孔径的增加, 危害区范围明显扩大。孔隙失效模式对应的闪燃火焰尺寸与大孔失效泄漏时的计算结果出现了数量级上的差别。

b 在相同失效模式下, 风速越大越有利于泄漏气体的扩散, 同时也加速了空气对泄漏气云的稀释, 从而使燃气云在下风向燃烧极限距离和半宽都在减小。可见在低风速, 尤其是静风条件下闪燃火灾造成的危害区域面积达到最大。

c 闪燃火灾危害范围预测的结果具有一定的实用性, 可为现场处置人员在确定警戒区、火源控制区以及人员疏散范围时提供参考依据。但是危险范围的预测又是一个复杂的问题, 除了泄漏气体燃烧极

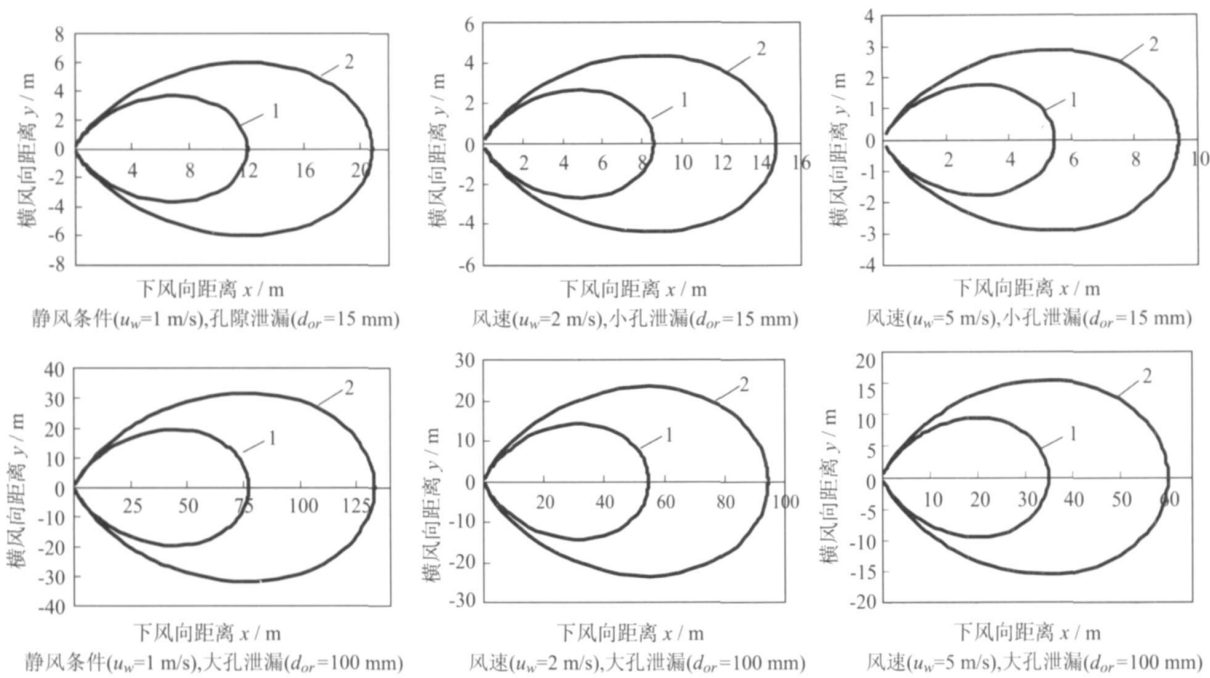


图 1 气体连续扩散等浓度曲线

限浓度、管线失效模式、风速以及大气稳定类别的影响外, 地形地貌对危害范围的影响也不容忽视, 尚待进一步研究。

参考文献:

[1] Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fires and BLEVE[M]. New York: AIChE, 1994. (5~6).

147-155 277-284 340-345
[2] Crowl D A, Louvar J F. Chemical Process Safety Fundamentals with Applications [M]. N J: Prentice Hall, 1990.
[3] 潘旭海, 蒋军成. 化学危险性气体泄漏扩散模拟及其影响因素[J]. 南京化工大学学报, 2001, 23(1): 20
[4] 王大庆, 高惠临, 董玉华. 天然气管道泄漏射流火焰分析[J]. 天然气工业, 2006, 26(1): 134-135