

危险化学品装置外部安全防护距离计算要点分析

左春生

广东金泰达安全科技有限公司, 广东 广州 510220

[摘要] 危险化学品生产、使用、经营、储存企业构成重大危险源的装置, 构成一级或者二级重大危险源, 且毒性气体实际存在(在线)量与其在《危险化学品重大危险源辨识》中规定的临界量比值之和大于或等于1的需要用定量风险计算个人和社会风险值, 确定外部安全防护距离, 文章深入讨论了区域总体外部防护距离计算分析的具体实践过程、关注的要点以及实际作用, 提出了对策措施, 供同行业人员参考。

[关键词] 外部安全防护距离; 最坏事故场景; 防护目标; 定量风险评价

DOI: 10.33142/ucp.v1i6.15194

中图分类号: X91

文献标识码: A

Analysis of Key Points for Calculating External Safety Protection Distance of Hazardous Chemical Equipment

ZUO Chunsheng

Guangdong Jintaida Safety Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510220, China

Abstract: The equipment that constitutes a major hazard source in the production, use, operation, and storage of hazardous chemicals, constitutes a first or second level major hazard source, and the actual (online) amount of toxic gases is greater than or equal to the critical quantity ratio specified in the "Identification of Major Hazardous Sources of Hazardous Chemicals". It is necessary to use quantitative risk calculation to determine personal and social risk values and external safety protection distance. This article deeply discusses the specific practical process, key points of concern, and practical role of calculating and analyzing the overall external protection distance of the region, and proposes countermeasures for reference by professionals in the same industry.

Keywords: external safety protection distance; worst-case accident scenario; protection target; quantitative risk assessment

引言

随着我国经济社会与人民对幸福生活追求的发展, 危险化学品生产、储存装置与企业周边城区、居民区的安全防护距离越来越受到人民安全诉求的关注, 安全防护距离确定成为建设运营单位、监管部门关注的重点, 《危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法》(GB/T 37243—2019)、《危险化学品生产装置和储存设施风险基准》(GB 36894—2018) 颁布实施, 为设计单位、科研院所、安全评价技术服务机构安全防护距离确定提供了明确的方法、

标准, 笔者根据近年来参与作业项目、审查项目, 阅读的标准文献, 总结归纳了常见问题, 以供同行业参考、探讨。

1 风险定量计算底图选取不合理

1.1 底图选取小, 风险曲线超出了地图范围

定量计算输出结果个人风险曲线超出了定量计算选取的底图, 输出结果无法在底图中直观显现。如下图1。

1.2 底图选取大, 风险曲线在地图上显示小

定量计算输出结果个人风险曲线在底图中显示不明显。如下图2。

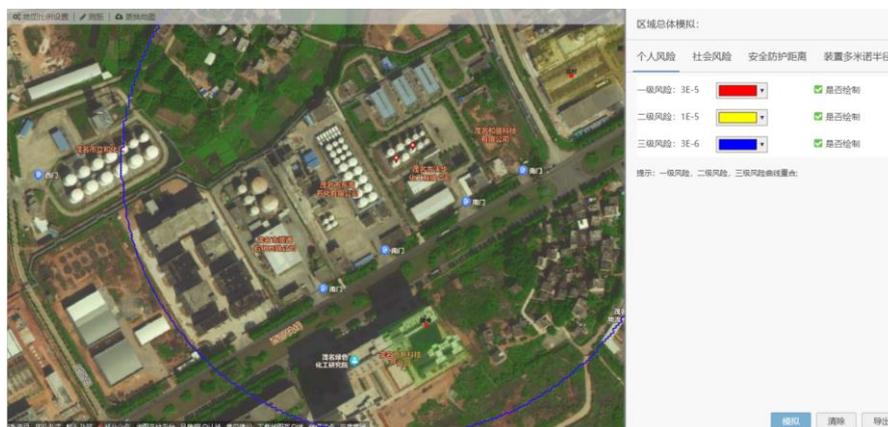


图1 个人风险等值线曲线图



图2 个人风险等值线图



图3 易燃液体泄漏事故情景

1.3 风险计算选图建议

- ①选用 Google Earth 上保存的最近一次拍摄的卫星地图。
- ②地图中应能完整显示厂区周边 1km 以内各防护目标, 涉及高毒以上气体的企业应能完整显示厂区周边 2km 以内的防护目标(无法正常显示结果时应选取更大范围地图); 化工园区或化工集中区应能完整显示园区周边 2km 以内的防护目标。
- ③图片格式应为 .jpg 或 .bmp 格式。
- ④地图应为垂直俯视图, 地图北垂直朝向图片上边缘。
- ⑤应由明确标示物显示实际距离。
- ⑥地图中应明确显示各敏感点位置并标注名称和区域范围。
- ⑦厂区(园区)尽量位于图纸中心位置。

2 易燃液体储罐泄漏爆炸场景模拟不合理

易燃液体泄漏(释放)应考虑发生失火场景。如图 3 所示, 乙酸乙酯槽车风险计算事故情景选择蒸气云爆炸, 属于场所模拟不合理, 计算结果导致危险化学品生产、储存装置外部防护距离扩大。

泄漏场景根据泄漏孔径可分为: 小孔泄漏(代表值 5mm)、中孔泄漏(代表值 25mm)、大孔泄漏(代表值 100mm)、

完全破裂(设备完全破裂或泄漏孔径大于 150mm)。

泄漏频率: 应确保使用失效数据与数据内在的基本假设相一致, 并且考虑减薄、衬里、外部破坏、应力腐蚀开裂、高温氢腐蚀、机械疲劳、脆性断裂等因素, 泄漏场景发生的频率小于 10^{-8} /年或事故场景造成的死亡概率小于 1%时, 在定量风险评价时可不考虑这种场景。

源项与气云扩散的计算是一个复杂的过程, 需要综合考虑泄漏物质的特性、扩散模型的选择以及气象条件等多种因素。通过科学合理的计算方法, 可以有效评估事故后果并为外部安全防护距离的确定提供依据。源项和气云扩散的计算需要考虑多种情形, 包括泄漏、闪蒸和液池蒸发、射流和气云扩散、火灾以及爆炸等。在选择源项和气云扩散模型时, 必须考虑泄漏物质的特性, 并确保模型及相关计算条件的科学性, 对于泄漏场景, 应对每一个泄漏场景选择适当的泄漏模型, 并根据设备(设施)实际情况确定泄漏位置和方向。例如, 当容器内同时存在气相和液相时, 应模拟气相泄漏和液相泄漏两种场景。此外, 泄漏方向一般设为水平方向, 与风向相同, 但对于地下管道, 泄漏方向则宜为垂直向上。在气云扩散过程中, 不同物质的扩散特性有所不同。例如, 乙醇泄漏后会以烟团形式扩散, 形成气云后在惯性力和外界风速的作用下上升变形; 而氯气

由于密度大于空气，其扩散属于重气云扩散，趋向于在靠近地面的空间扩散。此外，LNG 等重气泄漏时，其扩散过程会受到风速、泄漏高度以及障碍物等因素的影响。

池火 (Pool Fire) 是指液体燃料在地面上形成的燃烧现象。这种火灾通常由液体燃料泄漏后蒸发并被点燃引起，火焰在液体表面形成一个燃烧区域，即“池火”。池火的燃烧特性受多种因素影响，包括燃料类型、池火的直径、环境条件 (如风速和风向) 以及燃料的蒸发速率等。池火的主要危害在于其强烈的热辐射，这种辐射不仅可能对周围人员造成烧伤或死亡，还可能对设备和设施造成严重损坏。池火的热辐射强度与其直径、燃料类型和燃烧阶段密切相关。例如，对于烃类燃料，随着池火直径的增大，辐射分率会降低。此外，风速和风向也会影响火焰的倾斜角度和燃烧速率，从而改变热辐射的分布。池火的燃烧过程可以分为几个阶段：预热阶段、稳燃阶段和熄灭阶段。在预热阶段，火焰高度逐渐增长，温度升高；稳燃阶段，火焰达到稳定状态，燃烧速率趋于恒定；熄灭阶段则随着燃料耗尽而结束。在实际应用中，池火的危险距离计算非常重要。此外，泡沫灭火技术被广泛应用于池火扑救中，通过增加泡沫混合液供给强度可以提高灭火效率。

沸腾液体扩展蒸气云爆炸 (BLEVE) 或火球是一种在压力容器发生的严重爆炸事故，通常发生在液体被加热至远高于其常压沸点的情况下。当容器破裂时，过热液体迅速气化并释放大量能量，形成爆炸性冲击波和碎片，同时可能伴随火球的形成和热辐射的扩散。BLEVE 的主要危害包括冲击波、火球热辐射、抛射碎片以及可能的延迟蒸气云爆炸或闪火等。火球的热辐射是 BLEVE 中最主要的伤害因素，其影响范围通常比冲击波更广。此外，如果液体是可燃的，在外部火焰的作用下，释放出的蒸气云可能会被点燃，形成巨大的火球，进一步扩大事故的危害范围。在实际应用中，通过计算模型可以预测 BLEVE 的热辐射通量、火球直径和持续时间等参数，从而评估事故的潜在危害。

喷射火是指加压的可燃物质泄漏后，在泄漏口处形成射流并被点燃的现象，火焰通常具有较大的初速度和冲击力，能够迅速扩展到周围环境，并对人员、建筑和设备造成严重危害。喷射火的特性及其危害范围受到多种因素的影响，包括泄漏压力、泄漏孔径、风速以及燃料种类等。喷射火的火焰形状和热辐射特性会随着泄漏压力和孔径的变化而显著不同。例如，当管道压力增加时，火焰的最大温度、直径及高温影响区域也会相应增大。此外，喷射火的危险半径与泄漏孔径成正比，随着泄漏孔径的增大，火焰长度和热辐射强度也会增加。

蒸气云爆炸 (Vapor Cloud Explosion, 简称 VCE) 是一种常见的工业事故，通常由气体或易挥发液体的泄漏引发。当这些可燃物质与空气混合形成爆炸性混合物后，遇到点火源时会发生爆炸，产生强烈的冲击波、热辐射和

碎片作用，对周围环境和人员造成严重危害。蒸气云爆炸的发生需要满足几个条件：首先，必须有可燃气体或液体的泄漏，并与空气形成爆炸性混合物；其次，需要存在点火源；最后，混合物的浓度必须在爆炸极限范围内。此外，蒸气云爆炸还可能伴随其他类型的爆炸，例如沸腾液体扩展蒸气云爆炸 (BLEVE)，后者通常发生在压力容器破裂后，液体迅速汽化并被点燃。蒸气云爆炸的破坏力主要来自冲击波和热辐射。冲击波可以对建筑物、设备以及人员造成直接伤害，而热辐射则可能导致大面积的烧伤。例如，在一次液氨储罐泄漏引发的蒸气云爆炸中，模拟结果显示，爆炸冲击波的影响范围可达数百米，严重威胁周边区域的安全。

闪火是一种由易燃物质 (如气体、粉尘或可燃液体蒸汽) 与空气混合后迅速点燃并迅速蔓延的火灾现象。其主要特征包括高温、短暂的持续时间和快速移动的火焰前沿，通常在几秒钟内完成。闪火不会产生显著的破坏性压力，但其主要危害来自热辐射和火焰直接接触。闪火的形成通常需要三个条件：燃料、氧气和点火源。当这些条件同时存在时，可燃物质与空气混合达到适合燃烧的程度，便可能引发闪火，通常持续时间不到三秒。闪火在封闭空间中尤其危险，因为即使较小的火势也可能消耗大量氧气并产生大量烟雾，导致窒息死亡。此外，吸入闪火产生的热空气可能导致严重的肺部损伤甚至窒息死亡。

定量风险计算火灾、爆炸场景与物质特性、储存参数、泄漏类型、点火类型等有关，采用事件树方法确定各种可燃物质释放后，各种事故发生的类型及概率，图 4 易燃液体释放事件树分析如下。

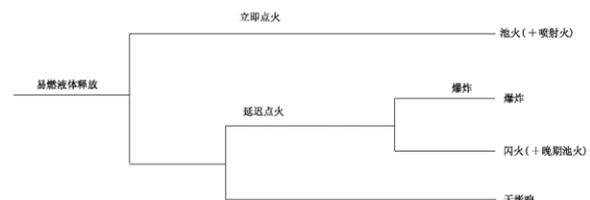


图 4 易燃液体释放事件树

爆炸是指要极短时间内，释放出大量能量，产生高温，并放出大量气体，在周围介质中造成高压的化学反应或状态变化，工艺过程常发生的爆炸灾害形式包括超压引起的设备爆炸、蒸气云爆炸和沸腾液体扩展为蒸汽爆炸等。蒸气云爆炸是指可燃物泄漏，积聚形成蒸气云，当浓度达到爆炸极限范围时，遇明火引发的爆炸。参与蒸气云爆炸的物料最常见的是低分子碳氢化合物，如 C2、C3、C4。不是所有的工艺生产装置的设备区及设备都是爆炸危险源。

爆炸源主要是与发生 VCE 爆炸有关的危险较大的设备，此类设备是安装在具有密集的工艺管道及设备区内，储有的爆炸危险物料 (C2、C3、C4 及热 C5 可形成蒸气云爆炸的物料) 超过 10t 的设备可确定为蒸气云爆炸危险源。

因此易燃液体泄漏事故模拟应选择失火场景进行个人风险、社会风险计算,绘制风险曲线图,判定外部防护距离。

3 一般防护目标三类防护目标选取不合理

危险化学品重大危险源辨识分级计算设定暴露人员校正系数 α 值时,根据危险化学品重大危险源的厂区边界向外扩展500m范围内常住人口数量按表1选取。其中不包括重大危险源所属企业厂界范围内的工作人员,包括该企业厂界外500m范围内本企业及临近企业职工宿舍楼里的人员。

表1 暴露人员校正系数 α 取值表

厂外可能暴露人员数量	修正系数 α
100人以上	2.0
50~99人	1.5
30~49人	1.2
1~29人	1.0
0人	0.5

有些单位在危险化学品生产装置、储存设施个人风险、社会风险定量计算时,防护目标只统计、计算企业及临近企业职工宿舍楼里的人员,未将企业当班人数统计计算。

危险化学品生产装置、储存设施防护目标分为:高敏感防护目标、重要防护目标、一般防护目标。在一般防护目标统计中尤其注意要将危险化学品生产装置、储存设施周边其他非危险化学品工业企业当班人数建筑统计计算。

4 外部安全防护距离定量计算输出结果

①输出的个人风险等值线必须为一个闭合图形。

②个人风险等值线范围内存在相应防护保护目标时,应采取措施降低个人风险至满足要求或对保护目标进行搬迁。

③若社会风险曲线落在不可容许区,该风险无论如何不能被接受,应立即采取措施降低其风险。

5 结语

定量风险分析(简称QRA)是量化评估风险的一种重要技术手段,目前已广泛应用于运输、建筑、能源、化工、航空、军事等诸多领域,甚至在项目计划和财务管理等方面也时有采用,在区域安全规划、安全评价及安全设施设计等方面尤为普遍,本文对日常参与项目过程中发现的不足予以指正,希望广大从事安全生产咨询、管理的同事避免出现同类错误,更好地服务于危险化学品生产装置、储存设施设计、日常安全管理,有效防控企业生产运行风险。

[参考文献]

- [1]张阳,李勇,辛保泉,等.石化装置定量风险分析风险场景泄漏频率的确定[J].风险评价,2022,22(8):25-27.
- [2]国家市场监督管理总局;中国国家标准化管理委员会.GB/T37243-2019 危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法[S].
- [3]张永光.环氧丙烷储罐泄漏事故场景的ALOHA数值模拟[J].化工管理,2022(11):36-39.

作者简介:左春生(1974.5—),本科,专业:化学工程与工艺,职务:副总经理,目前就职于广东金泰达安全科技有限公司。