

# 基于模拟计算的油库储罐泄漏事故疏散距离研究

杨代玢 刘小汇 蒋 依 (湖南安全生产科学研究所有限公司, 湖南 长沙 410007)

**摘要:** 通过 PHAST 软件进行油库储罐进行事故后果模拟, 对油库储罐物料泄漏的火灾爆炸、中毒事故应急响应过程中确定疏散距离进行研究, 为制定应急预案提供参考。

**关键词:** PHAST 软件; 储罐; 疏散距离

## 1 引言

油库中储罐由于监控仪表失效、人员操作失误、腐蚀等原因造成物料泄漏, 导致火灾爆炸、中毒事故的发生, 事故发生后很短的时间内, 能够准确地确定疏散距离, 将需要进行疏散的群众或员工从危险区域疏散到安全区域非常重要。

疏散距离的确定主要依据是事故发生后人体的伤害程度, 油库中储罐物质泄漏, 可能会导致重大事故后果, 不同事故类型对人体的伤害形式不同, 火灾事故对人体的伤害主要为火焰灼伤、热辐射, 其中不直接接触火焰时主要伤害形式为热辐射; 爆炸事故对人体的伤害主要为冲击波; 有毒物质泄漏导致人员中毒。本文分别对油库甲醇储罐的火灾事故、爆炸事故和中毒事故疏散距离的确定进行研究, 为制定应急预案提供参考。

## 2 油库储罐泄漏火灾事故疏散距离确定

油库储罐易燃液体泄漏时, 根据点火源存在的情况, 可能会发生闪火、喷射火和池火, 火灾事故对人体有热辐射伤害, 不同辐射热强度对人的伤害见表 1。

表 1 不同热辐射强度造成的伤害

热辐射强度 kW/m <sup>2</sup>	对人的伤害
37.5	1% 死亡 (10s); 100% 死亡 (1min)
25.0	重大烧伤 (10s); 100% 死亡 (1min)
12.5	1 度烧伤 (10s); 1% 死亡 (1min)
6.3	在 8s 内裸露皮肤有痛感; 无热辐射屏蔽设施时, 操作人员穿上防护服可停留 1min
4.7	暴露 16s, 裸露皮肤有痛感; 无热辐射屏蔽设施时, 操作人员穿上防护服可停留几分钟
1.58	长时间暴露无不适感

按照以上标准, 发生事故后, 应将周边人员疏散至热辐射强度为小于 1.58kW/m<sup>2</sup> 范围外。

以油库甲醇储罐为例, 假设甲醇储罐有效容积为 2000m<sup>3</sup>, 储存温度为常温, 储存压力为常压, 平均风速为 5m/s, 大气稳定度为 D。使用 Phast 模拟计算甲醇储罐发生小孔泄漏、中孔泄漏、大孔泄漏、罐体破

裂发生火灾的疏散距离, 计算结果见表 2。

表 2 甲醇储罐泄漏火灾事故模拟疏散距离

事故情景	下风向疏散距离 m				热辐射强度	对人体的影响
	小孔泄漏 (5mm)	中孔泄漏 (25mm)	大孔泄漏 (100mm)	罐体破裂		
喷射火	/	7.6m	23.5m	-	1.58kW/m <sup>2</sup>	长时间暴露无不适感
早期池火	7.8m	25.1m	82.2m	-		
晚期池火	7.9m	25.6m	83.8m	600		

## 3 油库储罐泄漏爆炸事故疏散距离确定

油库储罐易燃液体泄漏延迟点火时, 可能会发生爆炸事故, 爆炸是剧烈的能量释放过程, 其危害形式主要有 3 种: 冲击波、热辐射和爆炸碎片。而热辐射和碎片伤害与热辐射造成的危害性相比一般较小, 因而在爆炸事故中通常主要考虑冲击波的危害。在爆炸冲击波的危害阈值主要考虑超压, 我国尚无相关标准规定爆炸冲击波对人的伤害阈值, 本文采用 DNV 公司爆炸超压伤害阈值标准, 即爆炸超压值小于 10kPa 的范围内, 人员是安全的。

使用 Phast 软件模拟计算上文甲醇储罐发生小孔泄漏、中孔泄漏、大孔泄漏、罐体破裂发生爆炸的疏散距离, 计算结果见表 3。

表 3 甲醇储罐泄漏爆炸事故模拟疏散距离

事故情景	下风向疏散距离 m				超压值	对人体的影响
	小孔泄漏 (5mm)	中孔泄漏 (25mm)	大孔泄漏 (100mm)	罐体破裂		
爆炸	-	-	-	275.306	10kPa	安全

## 4 油库储罐泄漏中毒事故疏散距离确定

### 4.1 初始疏散距离确定

北美地区多个国家针对危险货物运输联合制定了《应急救援指南》(Emergency Response Guidebook), 对初始隔离区和防护区的确认方法做出了规定, 初始

隔离区和防护区示意图见图1，当事故初期，专业人员未到达现场时，通过查表得到初始隔离距离，以泄漏点为圆心，初始隔离距离为半径画圆形成初始隔离区，该区域只允许少数消防特勤官兵和抢险队伍进入。防护区是在泄漏源下风向划定的区域，进入该区域的人员需要穿戴防护装备。图中的防护距离可以理解为疏散距离。

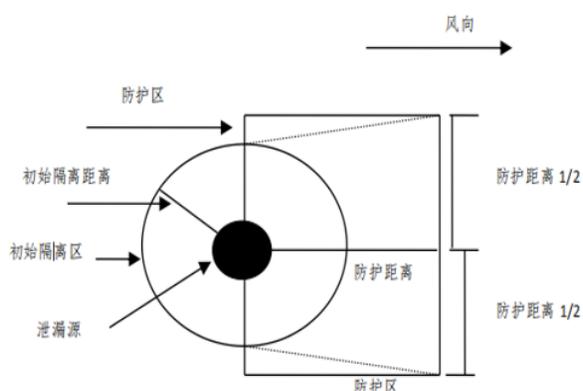


图1 初始隔离区和防护距离示意图

油库储罐有毒物质泄漏扩散达到一定浓度时引起周边人员中毒，有毒物质泄漏初期，在专业人员未到达现场前，可根据泄漏量大小来确定初始警戒区，目前，初始警戒区和防护距离的确定方法有以下两种：

#### 4.1.1 手册查询法

在《应急救援指南》(Emergency Response Guidebook)和我国国家危险化学品登记中心也编制的《常用危险化学品应急处置速查手册》中，为在事故初始救援阶段采取自我保护和公众保护应急措施时提供基本指导，其附录根据危险化学品种类、泄漏量、白天和夜晚情景制定了初始警戒区和疏散距离。

通过查询得知，甲醇泄漏时，在污染范围不明的情况下，初始隔离至少100m，下风向疏散至少500m，然后进行气体浓度检测，根据有害蒸汽的实际浓度，调整隔离、疏散距离。

#### 4.1.2 AIHA(美国工业卫生协会)法

美国工业卫生协会(AIHA)出版的污染空气的紧急反应计划指南对于采用现场实时浓度监测给出了一个详细的划分原则。首先给出了3个浓度范围。

ERPG-1: 是空气中最高浓度，低于该值就可以相信，几乎所有人都能暴露于其中达1h，除了轻微的、短暂的有害于健康的影响或明显感到令人讨厌的气味，而没有其他影响。

ERPG-2: 是空气中最高浓度，低于该值就可以相信，几乎所有人都能暴露于其中达1h，除逐步显示

出来的不可逆或其他严重的健康影响，或削弱他们采取保护行动的能力，而没有其他影响。

ERPG-3: 是空气中最高浓度，低于该值就可以相信，几乎所有人都能暴露于其中达1小时，会逐步显示出危及生命健康的影响。

通过查询得到甲醇的ERPG-1值为200ppm，ERPG-2值为1000ppm，ERPG-3值为5000ppm。其它如汽油的ERPG-1值为200ppm，ERPG-2值为1000ppm，ERPG-3值为4000ppm。

目前AIHA已公布160余种有毒化学品的ERPG值，对于没有ERPG值的危险化学品，他们还提出了替代的方案。AIHA法确定安全距离的程序如下：

① ERPG值已知：根据ERPG-3确定初始隔离距离，根据ERPG-2确定保护距离；② ERPG值未知：根据IDLH值或 $0.1 \times LC50$ 值确定初始隔离距离，根据 $0.01 \times LC50$ 值确定保护距离。其中，立即致死浓度(IDLH, Immediately Dangerous to Life and Health)是指人员暴露于毒性气体环境30min，尚有能逃跑，且不致产生不良症状或不可恢复性之健康影响的最大容许浓度。若空气中化学品浓度高于IDLH，必须要穿戴提供最高保护程度的自给式空气呼吸器，若空气中化学品浓度低于IDLH，则考虑使用较低层次的防护装备。LC50(Lethal Concentration): 指试验动物群在一定浓度的化学物质下，暴露一段时间(1~4h)后，观察14天，结果能造成50%试验动物群死亡之浓度。

以上两种方法仅适用于有毒物质泄漏初期，在专业人员未到达现场前的快速判断，根据确定的初始防护距离，可以疏散保护距离外的人员，禁止人员进入警戒区。然而，专业人员到达现场后，应根据仪器检测或根据计算机扩散模型计算等方法进行疏散距离的确定。

#### 4.2 专业人员到达现场后疏散距离的确定

专业人员到达现场后，应进一步细化安全区域，确定应急处置人员、洗消人员和指挥人员分别所处的区域。在该区域明确应急处置人员的工作，就有利于应急行动和有效控制设备进出，并且能够统计进出事故现场的人员。典型的应急事故现场的3个区域划分，如图2所示。其中热区是直接接近危险化学品现场的区域，只有受过正规训练和有特殊装备的应急处置人员才能在这个区域作业。暖区是进行人员和设备洗消及对热区实施支援的区域，只有受过训练的净化人员和安全人员才可以在该区工作。冷区内设有指挥所。

该区域是安全的，只有应急人员和必要的专家才能在这个区域。

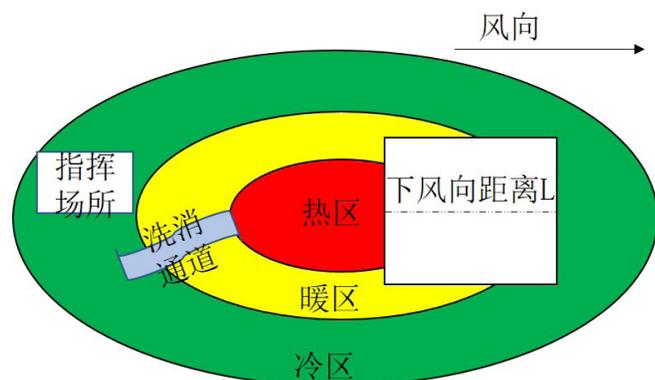


图2 控制区划分示意图

根据上述图示，上述区域内的民众均应疏散。疏散距离可以根据仪器检测或根据计算机扩散模型计算等方法确定，我国目前还没有制定相关的国家标准，国外一些机构制定了化学事故现场应急疏散的推荐性原则。因此，在化学事故应急中，确定是否需要人员疏散时，推荐采用如下原则：

美国环保总署在其风险管理方案 (RMP, Risk Management Program) 下，依据紧急规划与小区知情权利法案 (Emergency Planning and Community Right-to-Know Act) 所列出的 390 种剧毒化学物 (Extremely Hazardous Substances)，针对保护事故周围的民众，建议采用 1/10IDLH 为暴露限值，又称为关心浓度限值 (LOC, Level of Concern)，关心浓度限值指空气中有毒化学品，在一般人群短期暴露时，不会造成不可恢复性的健康影响的最大浓度。对于化学品事故来说，不管是周围群众还是应急处置人员，是很少会停留那么久的，往往最初 30min 是最重要的时间段。

对于那些没有 IDLH 的化学品，其 IDLH 则依下列毒性数据的先后顺序估计：①  $LC50 \times 0.1$ ；② LCL0；③  $LC50 \times 0.01$ ；④  $LCL0 \times 0.1$

其中，LDLO 指能导致死亡的最低剂量，LCL0 指经由呼吸，能导致死亡之空气中最低浓度。由于

LD50 或 LCL0 的单位是 mg/kg (分母是单位体重)，因此，应将 LOC 转换为空气中的浓度：

$$\text{mg/m}^3 = [(\text{LOC})70\text{kg}] / (0.4\text{m}^3)$$

式中，70kg 代表一位成人体重， $0.4\text{m}^3$  是 30min 内成人所吸进的空气量。

通过查询得知，甲醇的 IDLH 值为 6000ppm，采用 1/10IDLH 为暴露限值，使用 Phast 软件扩散模型模拟计算上文甲醇储罐发生小孔泄漏、中孔泄漏、大孔泄漏、罐体破裂发生中毒的危害区域，计算结果见表 4。

## 5 总结

油库储罐泄漏火灾爆炸、中毒事故疏散距离主要根据对人体的伤害程度来确定，计算机软件模拟的方法在事故发生初期就能使用，通过输入储罐、物料、气候等数据参数，可以计算出疏散距离，从而为人员疏散争取时间，减少人员伤亡。

需要注意的是，事故现场情况是变化的，疏散距离可能需要进一步调整。如有毒化学品蒸气在建筑物之间形成涡流，由于这种涡流与大气混合的机会较少，疏散距离需要调整；白天发生风向逆转、下雪天或近日落等情况下发生泄漏时，可能需要增加疏散距离；当存在某些情况时，空气中污染物混合，扩散缓慢，并更多吹向下风向，下风向疏散距离需要调整；另外，如果物质温度或室外气温上升时，对于液体泄漏可能要增大疏散距离。实际操作中应结合事故现场检测、勘察结果，对疏散距离进行不断调整，及时疏散周边可能受影响的人员，避免应疏散不及时造成人员伤亡。

## 参考文献：

- [1] AQ/T3046-2013. 化工企业定量风险评估导则 [S]. 北京：国家安全生产监督管理总局，2013.
- [2] 师立晨，多英全. 重大事故危害阈值的探讨 [J]. 中国安全科学学报，2020(11).

## 作者简介：

杨代玘 (1985-)，女，苗族，湖南邵阳人，工程师，本科研究方向，化工安全。

表4 甲醇储罐泄漏爆炸事故后果汇总

事故情景	下风向疏散距离 m				中毒参数值	对人体造成的伤害
	小孔泄漏 (5mm)	中孔泄漏 (25mm)	大孔泄漏 (100mm)	罐体破裂		
中毒	9m	41m	166m	578m	$6000\text{ppm} \times 0.1 = 600\text{ppm}$	当人员暴露在低于该浓度的环境中 1 小时时，除受到短暂的微弱不良健康影响，或恶劣的气味以外，不会有更严重的不良影响。