

航空汽油储罐泄漏事故后果分析

董 韬 (中国民用航空飞行学院绵阳分院, 四川 绵阳 621000)

摘 要: 随着我国通用航空事业的不断发展, 航空汽油的需求量不断增加。航空汽油具有易燃、易爆特性, 一旦泄露, 容易发生起火和爆炸事故。本文针对池火灾和蒸汽云爆炸两种事故伤害, 运用点源模型和 TNT 当量法, 定量地对事故的损害范围进行分析, 建议应采用的措施, 对加强安全管理和做好航空汽油泄露的应急处置具有积极意义。

关键词: 航空汽油; 泄露; 池火灾; 蒸汽云爆炸

Abstract: With the continuous development of our country's general aviation industry, the demand for aviation gasoline continues to increase. Aviation gasoline is flammable and explosive, and once leaked, it is prone to fire and explosion accidents. In this paper, aiming at the two accident injuries of pool fire and steam cloud explosion, using the point source model and the TNT equivalent method, the impact scope of the accident is quantitatively analyzed, and corresponding safety measures are put forward. This has positive significance for strengthening safety management and doing a good job in emergency response to aviation gasoline leakage.

Key words: aviation gasoline; leakage; pool fire; UVCE

0 引言

航空汽油是一种用于飞机的高热值油品, 被广泛用于各类通用航空飞行器。常温常压下为液体, 挥发性较好, 且具有毒性。空气中油蒸汽浓度为 0.28% 时, 经过约 12min, 人就会感觉头晕不适; 浓度达 1.13~0.28% 时, 人就会急性中毒, 难以支撑; 浓度更高时, 会让人快速昏倒, 丧失意识。航空汽油易燃易爆, 一旦泄露容易造成严重后果。

1 研究对象基本情况

某航空加油站储罐区内设有 2 个 50m³ 储罐用于储存 100L 航空汽油, 航空汽油特性见表 1, 储罐区围堰中心线尺寸为 14.5m × 19.5m, 除去撬装加油装置基础及围堰中心线以内的围堰面积, 围堰内的有效面积为 170m², 围堰区高 0.3m。设某日其中一储罐破裂发生完全泄露, 泄露发生时储罐充装系数为 0.6。

对于易燃液体泄露引发的火灾, 大多数事故类型为池火, 对于泄露引发的爆炸, 大多数事故类型为蒸汽云爆炸。

2 池火灾

可燃液体泄露后, 如流到水面则将覆盖水面, 如流到地面, 则将顺着地形流淌, 形成液池, 在这种情况下若遇到火源, 将产生燃烧, 这就是池火。大多数池火都发生在开放空间, 开放空间池火灾油品燃烧向液池周围发出热辐射, 因缺少遮挡物, 人和物受到的热辐射强度较大, 故人或物受室外池火

灾损害的主要原因是热辐射^[1]。

通过池火灾事故的数学模型, 可以计算不同距离的人或物接受的热辐射大小, 之后根据相应的伤害准则评价人或物受到的影响。

2.1 液池直径

受地面状况, 坡度等因素影响, 油品泄漏形成的液池形状多种多样。在本文中, 泄漏的油品显然可达围堰内边界, 故以防火堤内有效面积作为液池面积, 据此可按式 1 计算等效的液池半径。

$$d = 2\sqrt{\frac{S}{\delta}} \quad (1)$$

式 1 中, d 为液池直径, m ; S 为液池面积, m^2 。

2.2 液面火焰高度

当液池半径大于 6m 时, 用 Brotz 公式计算, 可以求出火焰的最大高度, 用 Thomas 公式计算, 可以求出火焰的最小高度^[2], 本文采用 Thomas 公式来对火焰的高度进行计算, 见式 2。

$$H = 42d \left(\frac{m_f}{\rho_1 \sqrt{gd}} \right)^{0.61} \quad (2)$$

式中, H 为火焰高度, m ; m_f 为油品燃烧速率, 本文取 0.092kg/(m² · s)^[3]; ρ_1 为周围空气密度, 取值为 1.293kg/m³; g 为重力加速度, 取值为 9.8m/s²。

2.3 热辐射通量

液池因燃烧而发出的总热辐射通量按式 3 计算。

$$Q = \frac{(0.25\pi d^2 + \pi dH)m_f \eta H_f}{72m_f^{0.61} + 1} \quad (3)$$

式中, Q 为总热辐射通量, kW; η 为效率因子, 0.13~0.35, 本文取平均值 0.24; H_f 为油品的燃烧热, 44170kJ/kg。

2.4 入射热辐射通量

应用较为广泛的池火热辐射模型主要有 Shokri-Beyle 模型、Mudan 模型和点源模型。Shokri-Beyle 模型将池火看做一圆柱形黑体辐射源, 向周围均匀地发出热辐射, Mudan 模型则在此基础上将风和大气投射系数纳入考量范围。点源模型将全部热辐射看做由液池中心的一个小球面放出的, 并对四周产生均匀而恒定的辐射^[4]。本文选用应用最广泛的点源模型, 故距液池中心点某处的入射热辐射通量按式 4 计算。

$$I = \frac{Q t_c}{4\pi d_1^2} \quad (4)$$

式中, I 为热辐射强度, kW/m²; d_1 为某点距液池中心点的距离, m; t_c 为热传导系数, 取 1。

上式展现了热辐射通量与目标所在位置和池火中心点距离的关系, 据此, 可以得出距液池中心点距离与热辐射强度的关系, 见图 2。

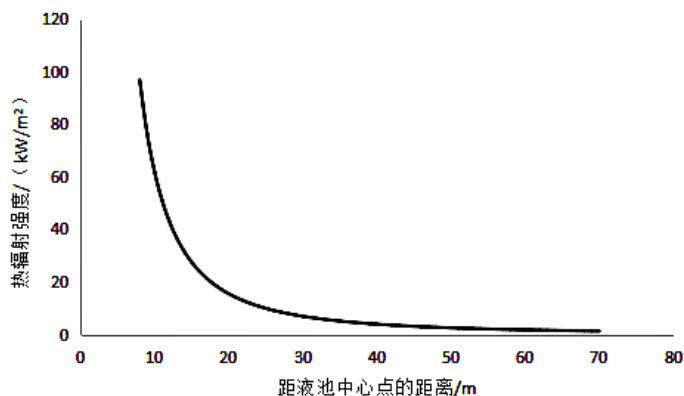


图 2 热辐射强度与距离的关系

热辐射强度与损害关系见表 1。

表 1 热辐射强度与损害关系

热辐射强度 (kW/m ²)	对设备的损害	对人的伤害	分级
37.5	严重损坏	1% 死亡 /10s 100% 死亡 /60s	A
25.0	钢结构形变, 无火焰时 长时间辐射可引燃木柴	重大烧伤 /10s 100% 死亡 /60s	B

12.5	有火焰时, 引燃木柴, 熔化塑料的最小能量	1 度烧伤 /10s 1% 死亡 /60s	C
4.0	30min 玻璃破裂	20s 以上感到疼痛, 可能烧伤	D
1.6	不受影响	无不适	E

根据表 1 的评价准则, 结合式 4, 得出表 2。

表 2 不同距离热辐射强度

热辐射强度 (kW/m ²)	37.5	25.0	12.5	4.0	1.6
距离	12.86	15.74	22.27	39.36	62.24

3 蒸汽云爆炸

汽油爆炸上限为 7.6%, 爆炸下限为 1.4%, 其临界点火能仅为 0.2mJ。空气比汽油蒸汽密度小, 因此油蒸汽一般沉降在低处, 并可沿着地表运动至较远距离, 遇到点火源被点燃, 在一定条件下, 火焰加速传播, 产生蒸汽云爆炸。其后果非常严重, 如 2013 年 6 月 2 日, 大连湾一石油厂发生爆炸起火, 导致 2 人失踪, 2 人重伤。2017 年 6 月 25 日, 巴基斯坦巴哈瓦尔布尔市一油罐车侧翻, 汽油泄露引发爆炸, 造成超过 190 人死亡。2019 年 5 月 25 日, 宁波北仑区一油罐发生蒸汽云爆炸, 造成 2 人死亡。

蒸汽云爆炸后果计算常用的主要有 TNT 当量法、TNO 模型, 两种方法各有优缺点。

TNT 当量法是用 TNT 当量来描述蒸汽云爆炸的能量, 然后将同等质量 TNT 炸药爆炸后产生的冲击波等同于蒸汽云爆炸产生的冲击波。是一种伤害范围评价方法, 其评价结果直观、可靠度高, 可用于爆炸危险分区, 也可通过进一步计算, 用于评价伤害范围内人的伤害程度和物的受损程度。TNT 的能量密度比蒸汽云高, 实际中其冲击波产生的压力要高于蒸汽云爆炸产生的压力, 结果比较保守, 但也比较安全, 本文采用 TNT 当量法来对蒸汽云爆炸事故后果进行评价^[5]。

3.1 TNT 当量计算

泄露油品产生蒸汽云的 TNT 当量计算见式 5。

$$W_{TNT} = \frac{\dot{a} A W_f Q_f}{Q_{TNT}} \quad (5)$$

式中, W_{TNT} 为所形成蒸汽云的 TNT 当量, kg; Q_{TNT} 为 TNT 的爆热, 为 4520kJ/kg; W_f 为油品的燃烧热, 44170kJ/kg; Q_f 为蒸汽云中的油品质量, 本

文取 5% 的泄漏量, 1072.5kg; α 为爆炸系数, 取地面爆炸为 1.8; A 为蒸汽云的 TNT 当量系数, 取 0.04。

3.2 伤亡区计算

死亡半径指在冲击波作用下, 该位置的人员肺出血而导致死亡的概率为 50%, 记为 R_1 。主要取决于参与爆炸的油蒸汽质量, 即油蒸汽的 TNT 当量, 按式 6 进行计算确定。

$$R_1 = 13.6 \left(\frac{W_{TNT}}{1000} \right)^{0.37} \quad (6)$$

重伤半径指在冲击波作用下, 在该位置的人员耳膜破裂的概率为 50%, 记为 R_2 , 此位置冲击波峰值超压为 44kPa^[6]。轻伤区半径指在冲击波作用下, 在该位置的人员耳膜破裂的概率为 10%, 记为 R_3 , 此位置冲击波峰值超压为 17kPa。重伤半径与轻伤半径均按式 7~ 式 8 计算确定。

$$\frac{\Delta p}{p_0} = 0.137Z^{-3} + 0.119Z^{-2} + 0.269Z^{-1} - 0.019 \quad (7)$$

$$Z = R \left(\frac{p_0}{W_{TNT} Q_{TNT}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

以上两式中, Δp 为冲击波峰值超压, R 为相应重伤或轻伤半径, m; p_0 为大气压力, 101.3kPa。

财产损失指冲击波作用下, 建筑物发生二级破坏的距离, 记为 R_4 , 按式 9 进行计算确定。

$$R_4 = \frac{K_2 W_{TNT}^{\frac{1}{3}}}{\left[\left(\frac{3175}{W_{TNT}} \right) + 1 \right]^{\frac{1}{6}}} \quad (9)$$

式中, K_2 为二级破坏系数, 本文取 5.6。

根据式 5~ 式 9, 可以计算得出蒸汽云爆炸的损害半径, 如表 3。

表 3 蒸汽云爆炸损害半径

R_1 (m)	R_2 (m)	R_3 (m)	R_4 (m)
12.3	35.17	63.2	38.7

4 结果分析

在本文的泄露事故模型中, 分析结果表明, 航空汽油泄露后其池火灾和蒸汽云爆炸影响范围和伤害后果均较大, 这是由航空汽油的高热值所决定的, 在泄露发生后, 一旦发生火灾, 抢险救援人员需立即撤退至 40m 开外, 同时, 为防止蒸汽云爆

炸造成严重后果, 应对周边至少 70m 范围内的无关人员进行疏散。

5 相关安全措施

①做好设备设施巡检及维护, 在罐区设置可燃气体探测报警装置。在日常巡查中注意观察油罐及附件的外观, 有无破损和油品渗漏;

②配备木制堵漏楔、外封式堵漏袋等应急处理工具, 以便在泄露发生时及时进行封堵, 尽量减小泄露量;

③考虑到航空汽油泄露时油蒸汽的毒性, 应配备防毒呼吸用具, 以保证应急处置人员的安全;

④根据相应计算方法, 完善应急预案, 确定泄露事故发生后人员的疏散范围, 通过学习和演练提高职工油品泄漏事故应对能力;

⑤加强库区防火管理, 火种不入库, 闲杂人员不入库, 工作人员进入库区必须穿戴工作服、工作鞋。

6 结语

通过对航空汽油泄露导致池火灾和蒸汽云爆炸的事故模型计算, 可以定量的对事故后果和影响范围进行分析, 为管理人员加强罐区安全管理, 制定事故应急处置方案, 采取针对性的隐患排查措施等提供参考, 有利于防止事故发生, 控制事故造成的损害, 提高管理人员的“本质安全”管理能力和管理措施的科学性。

参考文献:

- [1] 芦祖光, 李秀杰. 火电厂储油罐火灾事故模拟分析 [J]. 吉林电力, 2016, 44(03): 6-8.
- [2] 刘啸, 李更新, 庄营. 港口大型原油储罐池火灾事故后果分析 [J]. 水上消防, 2020(05): 14-17.
- [3] 苑静, 宋文华, 张茹, 谢树俊. 原油储罐池火灾状态下消防救援安全距离的研究 [J]. 消防科学与技术, 2009, 28(02): 124-126.
- [4] 王一. 储运设备内油品泄漏过程及池火灾事故的模拟研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2020.
- [5] 郭晓晓, 蔡治勇, 袁成天. TNT 模型对 LNG 储罐蒸气云爆炸模拟分析 [J]. 重庆科技学院学报 (自然科学版), 2013, 15(S1): 9-11+28.
- [6] 张振宇. 丁烯球罐泄漏事故后果定量模拟分析 [J]. 化工设计讯, 2020, 46(07): 84-85+142.

作者简介:

董韬 (1994-), 男, 汉族, 四川南充人, 本科, 中级安全工程师, 研究方向: 油储安全。