

关于液氨泄漏产生冻伤伤害环境的模拟分析

岳 强

黑龙江省安全生产技术中心 哈尔滨 150040

摘 要: 液氨泄漏后,因储存时是带压储存,泄漏后会因为压力突变,放出热量,造成所在空间温度下降到冰点以下,可能造成人员被冻伤,为了确定低温空间范围和温度范围,防治冻伤危害的发生,采用 FLUENT 进行模拟,并针对情况提出相应的对策措施。

关键词: 液氨; 泄漏; 低温; 冻伤

引言

液氨储存最常用的方式为全压力储存,即液氨在储存时的温度与环境相同或相近,故液氨泄漏后,会迅速的蒸发,形成氨气,且是低温氨气,如液氨储罐设置在室内,发生泄漏会在室内形成低温环境。故本文针对此进行模拟,模拟液氨泄漏后的扩散范围及室内温度,以确定采取那些措施来预防冻伤危害的产生。

1. 模型建立

设定条件:液氨储罐采用 100m^3 全压力储罐,液氨储罐储存温度为 20°C ,液氨的饱和蒸汽压为 0.86MPa (表压),液氨密度为 $0.61 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$,充装系数为 85% 。裂口以上液位为 2.6m ,裂口形状为直径 150mm 的圆孔形。当液氨泄漏后,压力变为常压,常压下,液氨变为氨气,氨气温度为 -33°C ,假设泄漏点氨气温度恒为 -33°C ,压力为 1 兆帕。同时假定,液氨储罐设置在 $20 \times 15 \times 4\text{m}$ 的室内,靠房间左侧布置,室内环境温度为 20°C ;设置 1 个 $3 \times 2\text{m}$ 的窗户,距地面 1.2m ,距左侧围墙 7.5m ,为进风口,室外常年平均风速为 $3.1\text{m}/\text{s}$,进风口处速度选取室外常年平均风速;设置 1 个 $2 \times 1.5\text{m}$ 的门,为房间出口,靠房间右侧设置,此出口为气体出口。

1) 液氨储罐泄漏量

液氨泄漏量根据伯努利方程进行计算。

$$\text{伯努利方程: } Q_L = C_d A \rho \sqrt{\frac{2(P-P_0)}{\rho} + 2gh}$$

式中: Q_L — 液体泄漏速率, kg/s ;

C_d — 液体泄漏系数,常用 $0.6-0.64$;取 0.64 ;

A — 裂口面积, m^2 ;裂口面积为 0.01766m^2 ;

ρ — 泄漏液体密度, kg/m^3 ;取 $0.61 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$;

P — 容器内介质压力, Pa ;取 1.86MPa ;

P_0 — 环境压力, Pa ;取 $1 \times 10^5\text{Pa}$;

g — 重力加速度, $9.81\text{m}/\text{s}^2$;

h — 裂口之上的液位高度, m 。取 2.6m 。

则,计算的液氨泄漏速率为 $127.04\text{kg}/\text{s}$ 。

储罐内液体量为 $100 \times 610 \times 0.85 = 51850\text{kg}$,泄漏完时间为 408s 。

2) 氨气泄漏量

液氨泄漏液体的蒸发分为:闪蒸蒸发、热量蒸发、质量蒸发三种,其总蒸发量为这三种蒸发量的总和。当液氨泄漏到大气当中时,液氨由于泄漏瞬间变为常压,一部分液氨直接变为液氨蒸汽,发生闪蒸。大部分的液氨发生闪蒸后,剩余液氨将以雾滴形式形成蒸汽云团,另一部分没有被蒸发的液氨将在地面聚积,形成液池。液池吸收地面热量气化,这一过程称为热量蒸发。当热量蒸发结束后,液池表面气流的运动继续使液体蒸发,这一过程称之为质量蒸发。其中,闪蒸蒸发量大,质量蒸发在整个蒸发过程中所占比重很小,因液氨气化主要为闪蒸蒸发,故取闪蒸蒸发速率为泄漏速率。氨气蒸发速率为:

$$Q = W \times C(t - t_0)$$

式中: Q — 液体蒸发放出的热量, kJ ;

W — 容器内液体质量, kg ;取 51850kg ;

C — 平均比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;液氨取 4.6 ;

t — 储罐内液体温度;取 20°C ;

t_0 — 液体标准沸点, $^\circ\text{C}$;取 -33°C ;

则,液氨蒸发放出的热量为 $1.26 \times 10^7\text{kJ}$ 。

蒸发量为 $W_1 = \frac{Q}{H} = 9197\text{kg}$

其中；H 为液氨的汽化热，取 $1.37 \times 10^3 \text{kJ/kg}$ 。

则液氨泄漏闪蒸蒸发速率为：

$$Q_1 = \frac{W_1}{t} = 9197/408 = 22.5 \text{kg/s}$$

3) 建模及计算

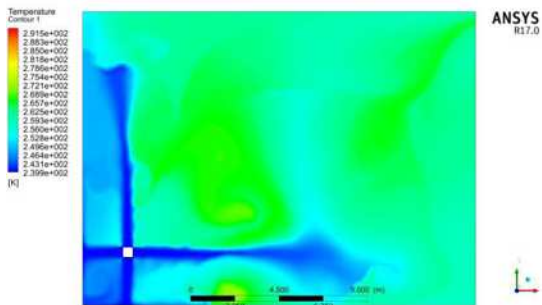
本模型针对液氨泄漏量最大情况下，采用 FLUENT 进行建模计算，其边界为 NH3-inlet, air-inlet, out-let, fluid domain 等，其边界参数分别为：

名称	速率	温度
NH3-inlet	22.5kg/s	-33℃
air-inlet	3.1m/s	20℃

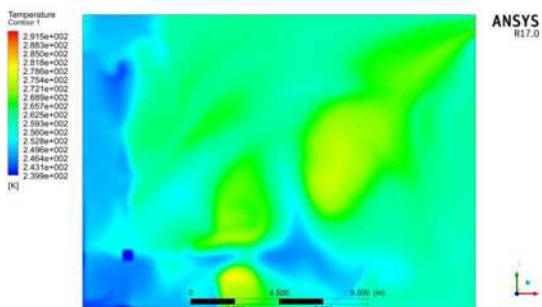
经计算，得出最终结果，对温度及范围进行统计和分析。

2. 模拟结果分析

对整个空间从高度上和宽度上选取平面，从高度上，分别选取 0.025m, 0.5m, 1.2m, 1.6m, 1.7m, 1.9m, 2.2m, 3.0m, 3.9m 平面；从宽度上，分别选取 0.001m, 2.7m, 5.0m, 7.5m, 10m, 13.5m, 14.99m 立面。在各平（立）面制作温度分布图。



0.025m

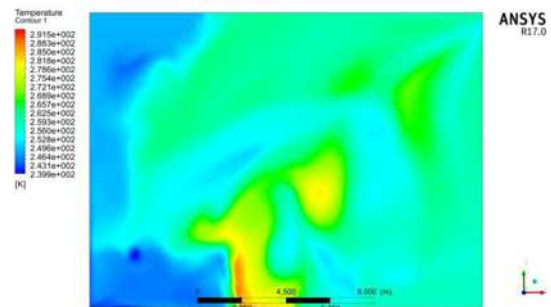


0.5m

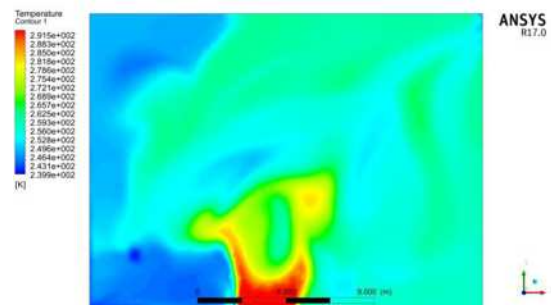
0.025 层面，泄漏点周围温度最低，温度范围为 240–250k，主要位置在泄漏点沿房间长度方向、室内左面沿墙处和室内左下角处，几乎占据本平面的 1/5 部分；随着距离泄漏点越远，温度逐渐升高，温度范围为 250–269k，主要位置在房间中部、后部及房间的右部，占房间的大部分，几乎占本平面的 4/5 部分；靠近进风口处温度最高，温度范围为

275–281k，主要位置在进风口附近，区域面积较小。

0.5m 层，泄漏点周围温度最低，温度范围为 240–253k，主要位置在室内左面沿墙处和室内左下角处，几乎占本平面的 1/5 部分；随着距离泄漏点越远，温度逐渐升高，温度范围为 251–275k，主要位置在房间中部、后部及房间的右部，占房间的大部分，几乎占本平面的 4/5 部分；靠近进风口处温度最高，温度范围为 275–281k，主要位置在进风口附近，区域面积较小。



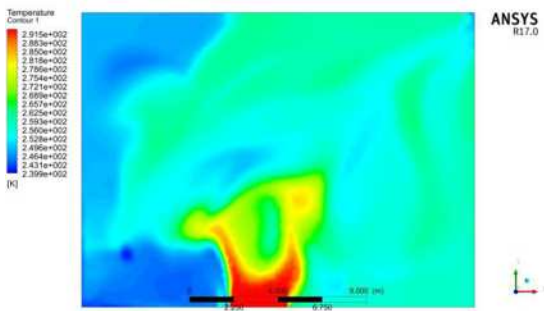
1.2m



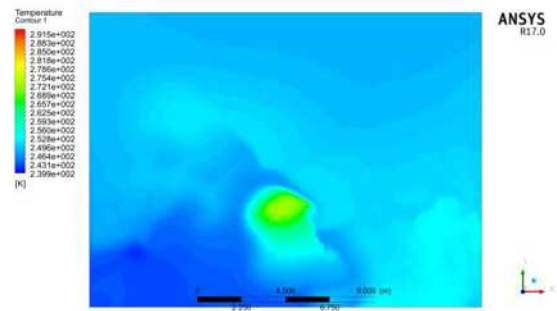
1.6m

1.2m 层，泄漏点周围温度最低，温度范围为 240–251k，主要位置在室内左面沿墙处和室内左下角处，几乎占本平面的 1/5 部分；随着距离泄漏点越远，温度逐渐升高，温度范围为 251–275k，主要位置在房间中部、后部及房间的右部，占房间的大部分，几乎占本平面的 4/5 部分；靠近进风口处温度最高，温度范围为 275–291k，主要位置在进风口附近，区域面积较小。

1.6m 层，泄漏点周围温度最低，温度范围为 240–251k，主要位置在室内左面沿墙处和室内左下角处，几乎占本平面的 1/5 部分；随着距离泄漏点越远，温度逐渐升高，温度范围为 251–275k，主要位置在房间中部、后部及房间的右部，占房间的大部分，几乎占本平面的 4/5 部分；靠近进风口处温度最高，温度范围为 275–291k，主要位置在进风口附近，区域面积较小。

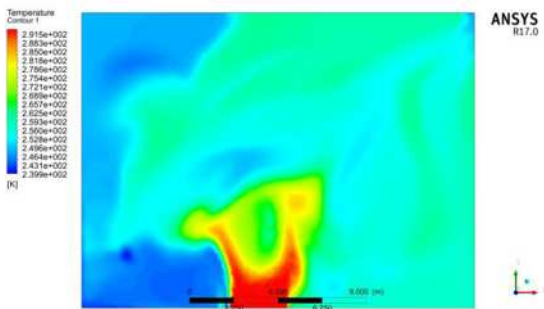


1.7m

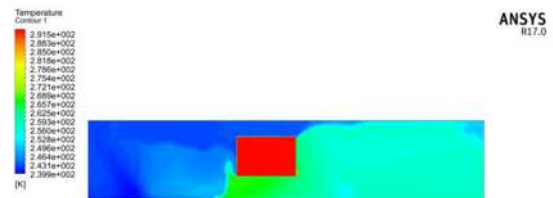


3.9m

3.9m层, 低温范围最大, 且温度较低, 温度范围为240~256k, 几乎占本平面的9/10部分。最高温在房间中间位置, 达到278k, 但范围较小。

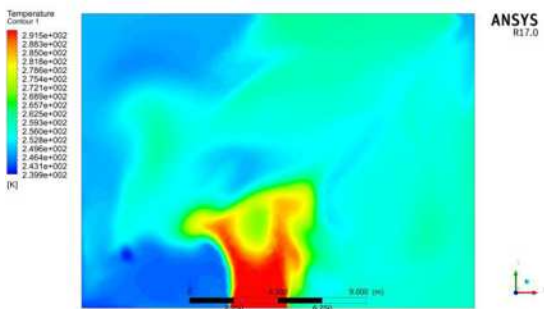


1.9m

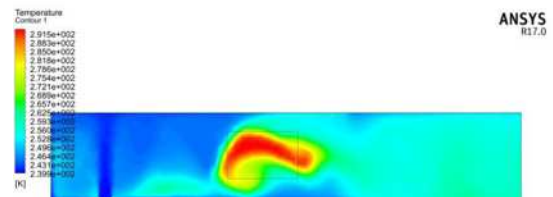


0.001m

1.7m层与1.9m层温度分布情况与1.6m层基本一致。

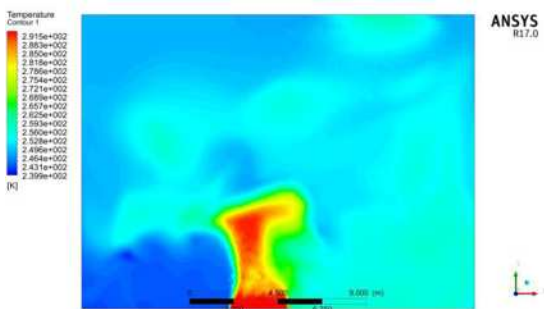


2m



2.7m

0.001m立面, 因靠近墙面, 故离进风口最近处温度最高, 能达到292k, 位置仅为进风口处; 泄漏点附近和房间顶部温度较低, 温度范围在240~250k之间, 主要位置在房间立面的左下、中、上部, 几乎占房间立面的1/3部分; 远离泄漏点温度逐渐升高, 温度范围在251~260k, 主要位置在房间立面的中部和右部, 几乎占房间立面的2/3部分。



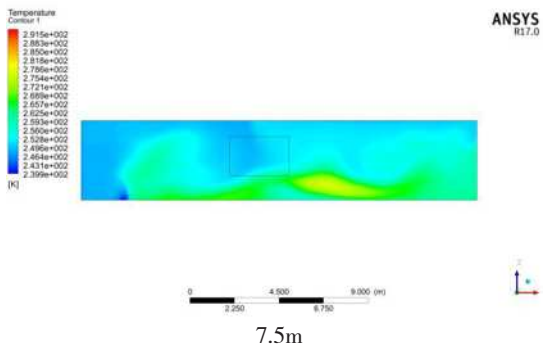
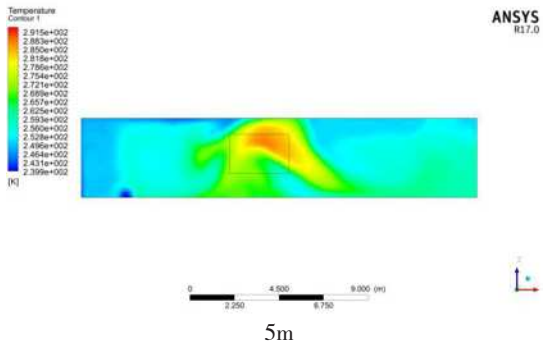
3m

2m层与1.6~1.9m层温度分布情况基本一致, 但低温范围比1.6~1.9层的范围扩大。

3m层, 低温范围比2m层进一步扩大, 进风口高温范围缩小。

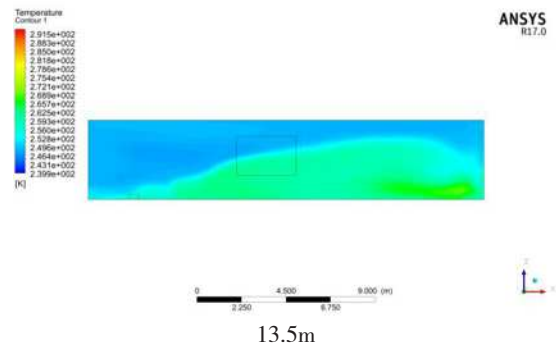
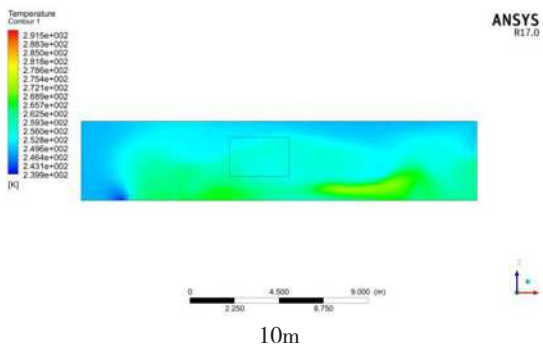
2.7m立面, 泄漏点附近和房间顶部温度较低, 温度范围在240~250k之间, 主要位置在房间立面的左下、中、上部, 中间的下部, 几乎占房间立面的1/2部分; 远离泄漏点温度逐渐升高, 温度范围在251~260k, 主要位置在房间立面的中部和右部, 几乎占房间立面的1/2部分; 进风口最近处温

度最高，能达到 292k，但所占面积较小。



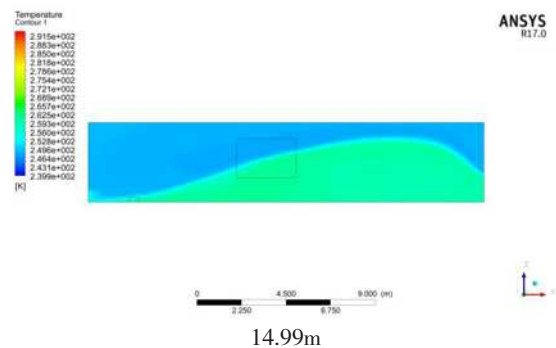
5m 立面，泄漏点附近和房间顶部温度较低，温度范围在 240–250k 之间，主要位置在房间立面的左下、中、上部，及屋顶处，几乎占房间立面的 1/4 部分；远离泄漏点温度逐渐升高，温度范围在 251–260k，主要位置在房间立面的中部和右部，几乎占房间立面的 3/4 部分；进风口最近处温度最高，能达到 288k，但所占面积较小。

7.5m 立面，泄漏点附近和房间顶部温度较低，温度范围在 240–250k 之间，主要位置在房间立面的左下、中、上部，中间的上部及屋顶处，几乎占房间立面的 1/3 部分；远离泄漏点温度逐渐升高，温度范围在 251–260k，主要位置在房间立面的中部和右部，几乎占房间立面的 1/2 部分；进风口最近处温度最高，能达到 292k，但所占面积较小。



10m 立面，泄漏点附近和房间顶部温度较低，温度范围在 240–250k 之间，主要位置在房间立面的左下、中、上部，及屋顶处，几乎占房间立面的 1/4 部分；远离泄漏点温度逐渐升高，温度范围在 251–260k，主要位置在房间立面的中部和右部，几乎占房间立面的 3/4 部分；进风口最近处温度最高，能达到 288k，但所占面积较小。

13.5m 立面，泄漏点附近和房间顶部温度较低，温度范围在 240–250k 之间，主要位置在房间立面的左下、中、上部，中间的上部及屋顶处，几乎占房间立面的 1/2 部分；远离泄漏点温度逐渐升高，温度范围在 251–260k，主要位置在房间立面的中部和右部，几乎占房间立面的 1/2 部分；温度最高处在房间立面的右下部，能达到 269k，但所占面积较小。



14.99m 立面，泄漏点附近和房间顶部温度较低，温度范围在 240–250k 之间，主要位置在房间立面的左下、中、上部，中间的上部及屋顶处，几乎占房间立面的 1/2 部分；远离泄漏点温度逐渐升高，温度范围在 251–265k，主要位置在房间立面的中部和右部，几乎占房间立面的 1/2 部分。

3. 结论及建议措施

作业人员接触低于 0℃ 的环境或介质（如制冷剂、液态气体等）时，当人员身体组织温度在 -3.6℃ ~ -2.5℃ 时，即可能发生组织冻结，造成冻伤。从总体来看，靠近泄漏点的空间温度较低，温度范围为 240–251k，随着距离泄漏点越远，

温度逐渐升高, 温度范围为 251–275k, 靠近进风口处温度最高, 温度范围为 275–281k。温度范围为 240–273k 空间范围较大, 且在各层(立)面均占大部分空间, 作业人员有被冻伤的可能。

防止人员被泄漏的液氨气化后被冻伤, 首先从根本上应防止液氨的泄漏, 液氨储罐属于压力容器, 储罐的设计、制造、安装和使用应严格遵守《固定式压力容器安全技术监察规程》的要求, 储罐、安全附件及仪表进行定期校验、维护, 确保储罐处于良好状态; 其次, 发生泄漏时确保泄漏量越小越好, 在储罐容易发生泄漏地点设置气体报警装置, 并设置紧急泄氨装置, 在有条件的情况下, 设置事故罐, 在发生泄漏时, 及时将储罐内液氨转移到事故罐内。设置喷淋系统, 喷淋系统与气体报警装置进行连锁, 发现泄漏时, 及时打开喷淋装置, 稀释泄漏的氨, 控制液氨挥发扩散; 再其次, 设

置远程控制系统和视频监控, 减少人员现场作业时间。作业场所设置卫生设施, 配备必要的急救药品。

参考文献

- [1] 基于 FLUENT 的办公室内污染物扩散浓度分布规律模拟计算 [D] (吉林建筑大学学报), 2019, 36 (5), 48–52.
- [2] 某化工企业的液氨泄漏事故后果模拟分析 [D] (广东化工), 2018, 19 (45), 27–28.
- [3] 国务院 特种设备安全监察条例[S] 国务院令 549 号.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 TSG 21–2016 固定式压力容器安全技术监察规程 [S].

作者简介:

岳强 (1978.11, 男, 汉, 河南省新乡市, 本科, 黑龙江省安全生产技术中心, 科员, 安全生产。