

制氢站氢气储罐火灾危险分析及对策措施

苗香溢

天津世纪天源安全卫生评价监测有限公司

摘要：以某制氢站为例，采用喷射火伤害数学模型，计算、分析站内氢气储罐发生泄漏时，不同的热辐射入射强度造成的设备损害和人员伤亡情况，并根据该企业的特点提出日常管理中的对策措施。

喷射火是氢气储罐常见的火灾事故类型。本文以某氢气生产企业中的氢气储罐区为研究对象，应用喷射火伤害数学模型，评估其火灾事故可能造成的危险、危害程度及其后果，并根据此类企业特点给出相应的安全对策措施。

1应用案例简介

某公司有甲醇裂解制氢、气瓶填充混配等生产装置。其中制氢装置区域所在位置位于厂区北侧的中东部，由西向东依次布置有甲醇罐区、氢气充装区、甲醇裂解制氢区。

甲醇裂解制氢区，布置有 150m^3 /h的生产装置两套，装置内还包括两台有机热载体炉，该区域的南侧布置有 150m^3 的氢气储罐2个。甲醇罐区防火堤内由南向北依次布置有 40m^3 粗甲醇贮罐、 40m^3 精甲醇贮罐和 10m^3 甲醇贮罐各一个。防火堤外布置有卸料泵以及贮罐物料泵。厂区平面示意图，如图1。

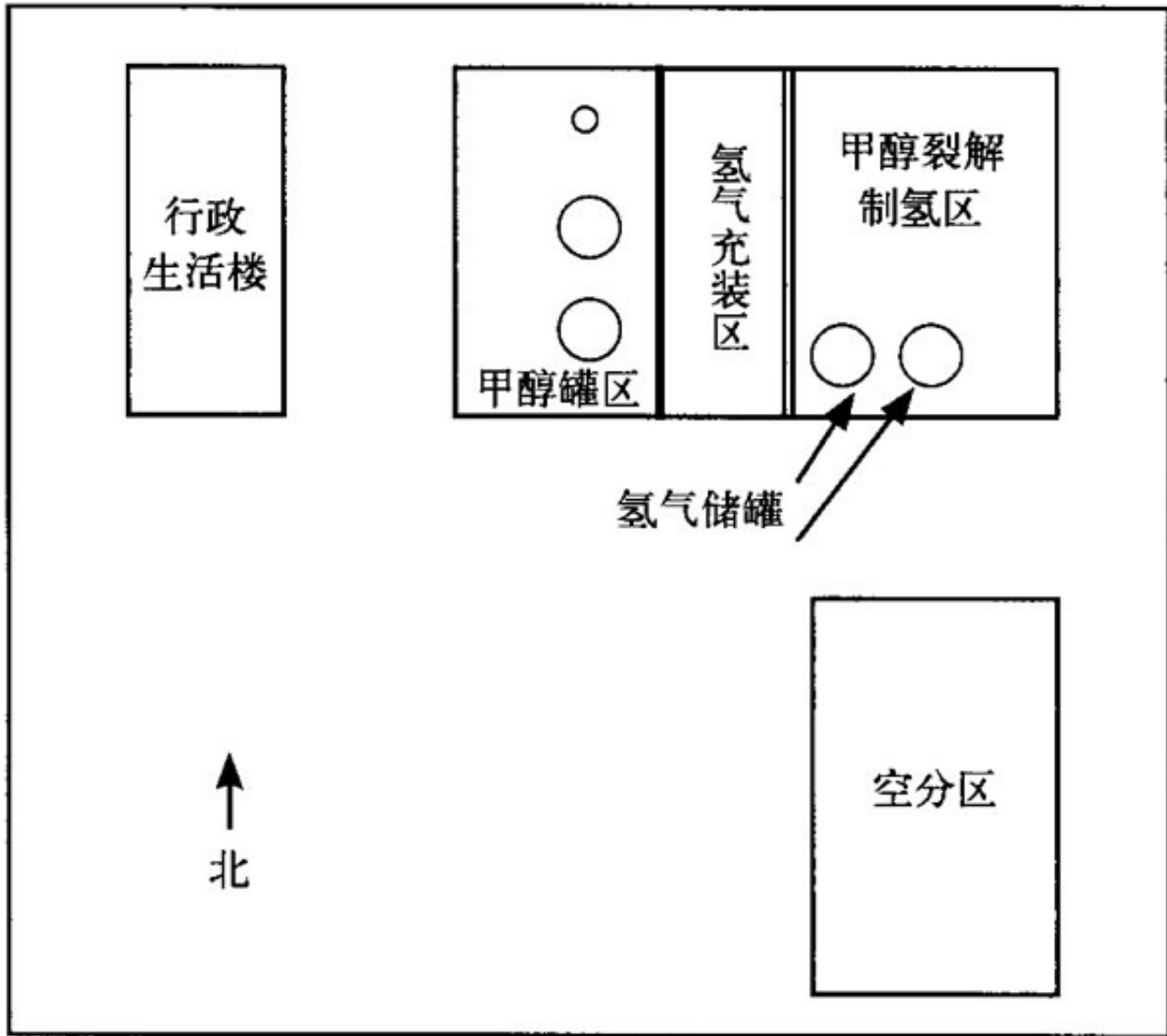


图1 某公司厂区平面图

2氢气储罐喷射火灾事故后果模拟分析

2.1有关参数的选取与计算

装置中氢气储罐 $V=150\text{m}^3$ ， $\Phi=3.4\text{m}$ ， $H=16\text{m}$ ，温度 $T=25^\circ\text{C}$ ，压力 $P=3.0\text{MPa}$ ，氢气绝热指数 $k=1.412$ ，氢气燃烧热 $H_c=120500\text{kJ/kg}$ 。

在操作温度、压力下氢气密度的计算(根据理想气态方程式)：

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{3.0 \times 10^6 \times 2}{8.314 \times 10^3 \times (273 + 25)} = 2.42\text{kg/m}^3 \quad (1)$$

式中：

P —压力, Pa;

M —分子量;

R —气态常数, $8.314\text{J/mol}\cdot\text{K}$;

T —绝对温度, K。

氢气储罐容器破裂泄漏示意图, 如图2。

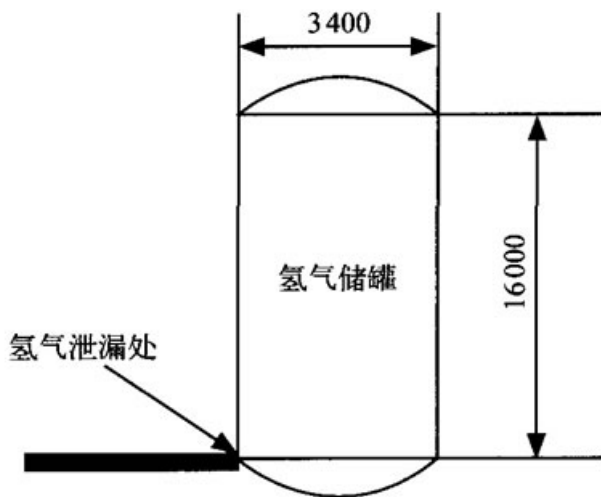


图2 氢气储罐容器破裂泄漏示意图

假设泄漏处为罐体连接管(管径DN50mm)

氢气储罐破裂泄漏面积的计算：

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times 0.05^2 = 0.00785\text{m}^2 \quad (2)$$

2.2 泄漏速度的计算

气体从裂口泄漏的速度与其流动状态有关。因此，计算泄漏速度时首先要判断泄漏时气体流动属于音速还是亚音速流动，前者称为临界流，后者称为次临界流。

当下式成立时，气体流动属音速流动：

$$\frac{P_0}{P} \leq \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (3)$$

当下式成立时，气体流动属亚音速流动：

$$\frac{P_0}{P} > \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (4)$$

式中：

P_0 —环境压力，MPa；

P —容器内介质压力，MPa；

k —气体的绝热指数，即定压比热 C_p 与定容比热 C_v 之比。

$$\begin{aligned} \frac{P_0}{P} &= \left(\frac{0.1013}{3+0.1013} \right) = 0.0327 < \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (5) \\ &= \left(\frac{2}{1.412+1} \right)^{\frac{1.412}{1.412-1}} = 0.53 \end{aligned}$$

经计算后判断，氢气呈音速流动，其泄漏速度为：

$$\begin{aligned} Q_0 &= C_d A \rho \sqrt{\frac{Mk}{RT} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (6) \\ &= 1 \times 0.00785 \times 2.42 \times \sqrt{\frac{2 \times 1.412}{8.314 \times 298} \left(\frac{2}{2.412} \right)^{\frac{2.412}{2.412}}} \\ &= 0.00037 \text{kg/s} \end{aligned}$$

式中：

C_d —气体泄漏系统，当裂口形状为圆形时取1.00，三角形时取0.95，长方形时取0.90；

A —裂口面积， m^2 ；

ρ —气体密度， 2.42kg/m^3 ；

M —分子量；

R —气体常数，取 $8.314510 \text{J/mol} \cdot \text{K}$ ；

T —气体温度， K 。

2.3喷射火热辐射强度的计算

点热源的热辐射通量按下式计算：

$$q = \eta Q_0 H_c = 0.35 \times 0.00037 \times 120500 \times 10^3 \quad (7)$$
$$= 15604.75 \text{ W}$$

式中：

q —点热源热辐射通量，W；

η —效率因子，取0.35；

Q_0 —泄漏速度，kg/s；

H_c —燃烧热，J/kg。

从理论上讲，喷射火的火焰长度等于从泄漏口到可燃混合气燃烧下限(LFL)的射流轴线长度。 N 点的划分可以是随意的，对危险评价分析一般取 $n=5$ 就可以了，某一目标点处的入射热辐射强度等于喷射火的全部点热源对目标的热辐射强度的总和。

射流轴线上某点热源 I 到距离该点 x 处一点的热辐射强度为：

$$I_i = \frac{q \cdot R}{n4\pi x^2} \quad (8)$$

式中：

I_i —点热源 I 至目标点 x 处的热辐射强度，W/m²；

q —点热源的辐射通量，W；

R —大气穿透因子，喷射火约为0.2；

n —点源数目；

x —点热源到目标点的距离，m。

为简化计算，可以假设所有的辐射是由一个点源释放的。

水平方向距离为 r 的地方接受到的热辐射强度为：

$$I_i = \frac{q \cdot R}{4\pi x^2} \quad (9)$$

由上式得，目标至火源中心间的水平距离为：

$$r = \sqrt{\frac{q \cdot R}{I_i 4\pi}} = \sqrt{\frac{15604.75 \times 0.2}{I_i \times 4 \times 3.14}} = \sqrt{\frac{248.48}{I_i}} \quad (10)$$

2.4火灾损失的计算

火灾通过辐射热的方式影响周围环境，当火灾产生的热辐射强度足够大时，可使周围的物体燃烧或变形，强烈的热辐射可能烧毁设备，造成人员伤亡等。

火灾损失估算建立在辐射通量与损失等级的相应关系的基础上。根据不同的入射通量，所得目标至火源中心的水平距离 r 计算结果，见下表。

表 入射能量人体伤害表

入射通量 (kW/m ²)	设备的损害	对人的伤害	目标至火源中心的水平距离 r (m)
37.5	操作设备全部损坏	1%死亡/10s 100%死亡/1min	2.57
25	在无火焰、长时间辐射下,木材燃烧的最小能量	重大烧伤/10s 100%死亡/1min	3.15
12.5	有火焰时,木材燃烧,塑料熔化的最低能量	1度烧伤/10s 100%死亡/1min	4.46
4.0	——	20s以上感觉疼痛	7.88

2.5事故后果分析

由上表可以看出，当氢气泄漏产生喷射火时

：入射通量为37.5kW/m²

时，目标至火源中心的水平距离2.57m范围内，能够造成设备全部损坏，10s内1%的人员死亡，1min内100%的人员死亡。入射通量为25kW/m²

时，目标至火源中心的水平距离3.15m范围内，在无火焰、长时间辐射下将造成木材燃烧，10s内人员重大烧伤，1min内100%的人员死亡。入射通量为12.5kW/m²

时，目标至火源中心的水平距离4.46m的范围内，有火焰时，将造成木材燃烧、塑料熔化，10s内人员1度烧伤，1min内100%的人员死亡。入射通量为4.0kW/m²

时，目标至火源中心的水平距离7.88m内的设备基本无损害，20s以上人员感觉疼痛。

一旦氢气储罐发生破裂，由于高压高速气流与罐体的摩擦产生的静电火花或其他明火将氢气点燃而产生喷火，其火焰的热辐射将会直接威胁其余氢气储罐，造成罐内气体的压力急剧升高，引发安全阀动作加剧火势，严重时还有造成储罐超压爆炸的危险。

如果火焰方向是朝充装及甲醇输送区方向喷射，喷射火将引起充装区、甲醇输送区发生火灾爆炸，加剧火焰的强度，造成二次火灾事故。

2.6安全对策措施

(1)对氢气储罐定期检验，安全阀、压力表等安全附件定期校验，在有效期内使用，确保其准确可靠。

(2)正确合理选用泵，定期加强泵的维护、检修工作，避免泵长期憋压和抽空运行。

(3)避免接触点火源(明火、烟头、电火花、静电火花、撞击火花、摩擦火花、雷击火花、高温表面、熔融物体、射频等)。

- (4)在爆炸危险区域内正确安装可燃气体报警器，并确保其准确可靠。
- (5)设计并安装好防雷防静电措施，选用与罐区相应的防爆电气设备，消除电气和静电火花。
- (6)加强安全管理，加大巡回检查力度，严格执行操作规程。
- (7)制定事故应急预案，定期演练，防患于未然。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/158188.html>