

# 大型 LNG 应急储备调峰装卸车区的消防设计探讨

杨丽娜（北京石油化工工程有限公司西安分公司，陕西 西安 710075）

**摘要：**介绍了液化天然气厂区装卸车区的组成，对装卸车区设置消防系统的种类以及消防计算进行了讨论，分析了水喷雾系统与水幕系统的区别，对固定消防冷却系统、固定式高倍数泡沫灭火系统的原理进行了解释，对大型 LNG 应急储备调峰项目装卸车区规划建设提供行之有效的指导意见。

**关键词：**LNG；储气调峰；装卸车区；水喷雾；水幕

随着城市化进程的发展，大型、特大型城市的不断涌现，致使天然气的使用规模也在不断扩大，同时大气污染防治、“煤改气”等政策的相继出台，城市居民供气的调峰问题也变得越来越重要。近几年，我国许多城市发生了因燃气供应紧张形成的“气荒”，虽然国家能源局表示这一现象的根本原因是天然气供需失衡，但也暴露出了城市供气体系缺失“调节阀”这一突出问题。加快建设城市液化天然气储配站来调节天然气供应，是解决供需失衡导致的“气荒”问题的重要途径。装卸车区作为 LNG 调峰项目必不可少的一部分，此区域特点是 LNG 泄漏点较多，火灾危险性较高，合理的消防设计显得尤为重要。本文主要对 LNG 储气调峰项目装卸车区的消防系统设计结合有关规范以及相关经验进行探讨。

## 1 LNG 火灾危险性分析

### 1.1 LNG 特性

LNG 属于液化烃，为甲 A 类火灾危险物质，需在  $-165^{\circ}\text{C}$  低温储存，气化后的天然气属于甲 B 类可燃气体，易燃易爆。火灾的特点是：火焰传播速度较快；质量燃烧速率大，约为汽油的 2 倍；火焰温度高、辐射热强，这使得易形成大面积火灾；具有复燃、复爆性，难于扑灭。

### 1.2 LNG 泄漏特性

LNG 泄漏到地面后，最初会剧烈沸腾蒸发，其蒸发的速率迅速衰减至一个固定值后，蒸发气沿着地面形成一个层流，从环境中吸收热量，逐渐上升扩散，同时将周围的空气冷却至零点以下，形成一个可见的云团。天然气形成的云团具有重气效应，它的扩散十分复杂，受多重因素影响。正是这种重气效应的存在，使得云团不易稀释和扩散，增加了燃烧和爆炸的潜在危险性。

## 2 消防冷却水系统的应用原理

喷射水滴以阻止有毒气体和可燃性气体泄漏带来的危害在工业上已得到应用。在 LNG 泄漏后，向形成

的云团中喷射水滴，能够大大降低 LNG 蒸汽的体积浓度，驱散积聚、流动的气体，稀释气体浓度，防止形成爆炸性混合物，从而降低燃烧和爆炸的危险性。作用机理：水滴通过机械作用向云团传递动量，并在云团周围形成一层壁垒，阻碍云团继续扩散；稀释了 LNG 蒸汽体积浓度；通过云团、小雾滴和空气之间的强化换热，提高了蒸汽的温度；LNG 蒸汽通过物理或化学的反应被小水滴吸收，这种吸收作用相对较小。

根据 LNG 气化后的特性操作时需要注意的事项：禁止水雾或水幕喷头对准着火点。由于 LNG 泄漏温度非常低，泄漏后的 LNG 接触到水后，水会增大气化速率因而会将火焰高度增大 6 倍，辐射热增大 3 倍，从而造成燃爆；禁止用直流水直接冲击泄漏部位，防止因强水流冲击加速 LNG 气化过程，引起经典积聚、放电或冷爆炸。

## 3 装卸车区的消防设计分析

下面以具体的实例来分析装卸车区的消防设计。

### 3.1 装卸车区的组成

#### 3.1.1 装卸车橇

卸车：LNG 槽车到达卸车台就位后，LNG 通过卸车增压器将槽车内的 LNG 分别通过支管汇集到总管，并通过总管输送到 LNG 储罐。

装车：来自 LNG 储罐的 LNG 经过罐内 LNG 装车泵增压至约 0.5MPa，经过 LNG 装车臂液相管线进入 LNG 槽车。

本装卸车区共设置装卸鹤管橇 10 座，装卸鹤管橇顶部设有遮阳屋顶，四周常开设计。

#### 3.1.2 装卸车排放罐

本装卸车区设置装卸车排放罐一座，容积为  $40\text{m}^3$ ，尺寸为  $\Phi 2.30 \times 8.70\text{m}$  的卧式罐，主要物料为 LNG 残液。

#### 3.1.3 集液池

本装卸车区设置集液池一座，主要用来收集管

道、阀门等处泄漏事故中泄漏的液化天然气,尺寸为 $5.0\text{m} \times 5.0\text{m} \times 3.5\text{m}$ (高)。

### 3.2 消防系统的设计

#### 3.2.1 室外消火栓系统

根据《天然气液化厂设计标准》要求,液化天然气装卸区应设置室外消火栓,室外消火栓设计流量不应小于 $60\text{L/s}$ ,消防用水延续时间不应小于 $3\text{h}$ ,室外消防水量为 $648\text{m}^3$ 。

装卸车区四周消防管网成环状布置,环状管网的进水管不应少于2条,当某个环段发生事故时,消防供水管道其余环段应能满足100%的消防用水量要求。室外消火栓间距不大于 $60\text{m}$ ,切断阀门控制的消火栓数量不多于5个。

#### 3.2.2 固定消防冷却水系统

根据《石油天然气工程设计防火规范》要求,液化天然气储存总容量 $\leq 265\text{m}^3$ 时可不设置固定消防冷却水系统,因此装卸车排放罐不设置固定消防冷却水系统。下文主要针对LNG槽车装卸设施的消防冷却水进行分析。

##### 3.2.2.1 消防冷却水系统设置依据

现行国家标准规范上并未对LNG槽车装卸车设施设置固定消防冷却水系统作出要求,根据实际运行经验,装卸车区LNG泄漏风险较大,设置固定冷却水系统可有效降低危害的发生。

##### 3.2.2.2 水喷雾冷却系统与水幕冷却系统设置分析

固定式消防冷却水系统分为水喷雾冷却系统与水幕冷却系统。水喷雾冷却系统喷头设置在槽车装卸设施的上端,主要为消防冷却作用;水幕冷却系统喷头设置在槽车装卸设施的四周,主要为消防冷却与防火分隔的作用。

##### 3.2.2.2.1 固定式冷却水系统组成

固定式冷却水系统消防水量为固定式水喷雾系统由引入管、雨淋阀组、过滤器、喷头等组成。

##### 3.2.2.2.2 消防计算

##### 3.2.2.2.2.1 水喷雾冷却系统

表1 固定式水喷雾系统计算

| 项目   | 喷水强度<br>( $\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2$ ) | 保护面积<br>( $\text{m}^2$ ) | 连续供给时间<br>(h) | 安全系数 | 设计流量<br>( $\text{m}^3/\text{h}$ ) | 设计水量<br>( $\text{m}^3$ ) |
|------|----------------------------------------------------|--------------------------|---------------|------|-----------------------------------|--------------------------|
| 设计参数 | 9                                                  | 108.8                    | 6             | 1.05 | 58.75                             | 352.51                   |

设置参数LNG槽车装卸车设施上方设置水喷雾喷头,根据《水喷雾灭火系统技术规范》喷水强度为

$9\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2$ ,火灾延续时间 $6\text{h}$ ,每2个装卸车橇设置一套雨淋阀组,保护面积为 $108.8\text{m}^2$ (装卸车橇基础外沿),计算见表1。

根据《水喷雾灭火系统技术规范》要求,水喷雾系统用于防护冷却时,工作压力不应小于 $0.2\text{MPa}$ ,本系统最不利点喷头的工作压力为 $0.25\text{MPa}$ ,采用中速水雾喷头 $K=23.5$ ,喷水角 $120^\circ$ ,有效保护距离 $1.8\text{m}$ ,共设置28个带防尘罩的水雾喷头。根据实际喷头布置采用消防计算软件计算消防流量为 $17.8\text{L/s}$ ,平均喷水强度 $9.81\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2 > 9\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2$ ,满足要求。

##### 3.2.2.2.2.2 水幕冷却系统

设置参数LNG槽车装卸车设施四周设置开式喷头,参考《液化天然气接收站工程设计规范》喷水强度为 $2\text{L/s} \cdot \text{m}$ ,火灾延续时间 $3\text{h}$ ,每个装卸车橇设置一套雨淋阀组,保护周长为 $28.8\text{m}$ (装卸车橇设备外沿),计算见表2:

表2 固定式水幕系统计算

| 项目   | 喷水强度<br>( $\text{L}/\text{s} \cdot \text{m}$ ) | 保护周长<br>(m) | 连续供给时间<br>(h) | 安全系数 | 设计流量<br>( $\text{m}^3/\text{h}$ ) | 设计水量<br>( $\text{m}^3$ ) |
|------|------------------------------------------------|-------------|---------------|------|-----------------------------------|--------------------------|
| 设计参数 | 2                                              | 28.8        | 3             | 1.05 | 217.73                            | 653.18                   |

根据《自动喷水灭火系统设计规范》要求,水幕系统用于防火分隔时,工作压力不应小于 $0.1\text{MPa}$ ,本系统最不利点喷头的工作压力为 $0.25\text{MPa}$ ,采用开式喷头 $K=80$ ,喷水角 $120^\circ$ ,共设置30个的开式喷头。根据实际喷头布置采用消防计算软件计算消防流量为 $63.30\text{L/s}$ ,平均喷水强度 $2.2\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2 > 2\text{L}/\text{s} \cdot \text{m}$ ,满足要求。

水幕冷却系统的消防设计流量远远大于水喷雾冷却系统,雨淋阀组的数量设置方面是水喷雾系统的2倍,同样喷头的设计规格及数量均大于水喷雾系统。

##### 3.2.2.2.3 固定消防冷却水系统工作原理

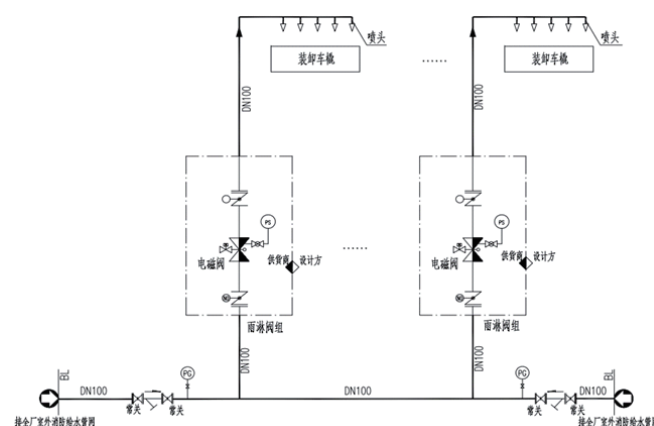


图1 固定消防冷却水系统原理图

在工作原理上水喷雾冷却系统与水幕冷却系统基本一致,固定消防冷却水系统工作原理见图1。

本套系统系统分别具有自动控制、手动遥控和现场应急操作三种开启雨淋阀的控制方式。

**自动控制:**当事故发生时,探测器将事故信号送至消防控制室火灾报警盘,发出声光报警信号,并指示事故地点,经延时后向雨淋阀发布动作指令(自动打开电磁阀),雨淋阀动作,同时雨淋阀组的压力开关将该系统启动的信号送至火灾报警盘,喷水完毕后手动关闭电磁阀。

**手动遥控操作:**当事故发生时,现场的手动报警按钮将事故信号送至火灾报警盘,经值班人员确认,在控制室遥控打开雨淋阀组的电磁阀,从而启动雨淋阀,同时雨淋阀组的压力开关将该系统的启动信号送至火灾报警盘,喷水完毕后手动关闭电磁阀。

**现场应急操作:**除控制室操作外,雨淋阀在现场操作柱可手动应急启动。

### 3.2.3 高倍数泡沫灭火系统

根据《天然气液化工厂设计标准》要求,对于LNG储罐总容量 $\geq 2000\text{m}^3$ 的液化天然气项目集液池应设置固定式局部应用高倍数泡沫灭火系统,并应与低温探测报警装置连锁。采用高倍数泡沫灭火系统优点:①LNG发生泄漏时,在集液池上方喷射高倍数泡沫混合液,有效防止LNG液体迅速聚集蒸发带来的安全隐患;②采用高倍数泡沫灭火能使大量的高倍数泡沫以密集状态对火灾进行封闭,阻隔燃烧区氧气来源,形成窒息,从而达到灭火的目的。

#### 3.2.3.1 泡沫站设计

##### 3.2.3.1.1 参数选取

泡沫混合液供给强度 $\geq 7.2\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ ,保护面积为集液池最大表面积为 $25\text{m}^2$ ,泡沫混合液连续供给时间 $\geq 40\text{min}$ 。泡沫混合液采用3%抗溶性水成膜泡沫液。当未知泡沫比例混合装置的混合比时,3%的型泡沫液应按混合比3.9%计算泡沫液用量。

##### 3.2.3.1.2 泡沫站设计计算见表3

表3 泡沫站设计计算

| 喷水强度 ( $\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ ) | 集液池表面积 ( $\text{m}^2$ ) | 连续供给时间 (min) | 泡沫混合液量 ( $\text{m}^3$ ) | 泡沫液量 ( $\text{m}^3$ ) |
|-----------------------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|-----------------------|
| 7.2                                           | 25                      | 40           | 60                      | 2.34                  |

泡沫混合液量=喷水强度 $\times$ 作用面积 $\times$ 连续供给时间 $=7.2\times 25\times 40/1000=7.2\text{m}^3$ ,泡沫液量

$=7.2\times 0.039=0.28\text{m}^3$ ;选用 $1\text{m}^3$ 囊式压力泡沫比例混合装置。

### 3.2.3.2 固定式高倍数泡沫系统设计

①高倍数泡沫发生器的设计流量 $=7.2\times 25/60=3\text{L}/\text{s}$ ,因此选用流量 $qv=4\text{L}/\text{s}$ ,发泡倍数为300~500的高倍数泡沫发生器。高倍数泡沫发生器应设置导泡筒,发泡网距离集液池不应小于 $1\text{m}$ ,且导泡筒出口断面距集液池设计液面的距离不应小于 $200\text{mm}$ ;②固定式高倍数泡沫系统工作原理见图2。

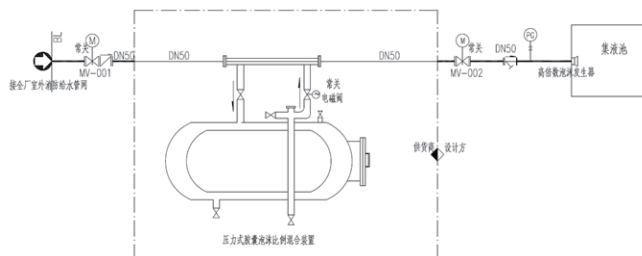


图2 固定式高倍数泡沫系统原理图

火警触发信号或低温探测报警信号由消防控制室传至泡沫站,同时打开电动闸阀MV-001/MV-002;火灾结束后,在消防控制室发送远程手动信号至泡沫站,同时关闭电动闸阀MV-001/MV-002。

### 3.2.4 灭火器

根据《天然气液化工厂设计标准》要求,按装卸鹤位数量,每处设置 $8\text{kg}$ 干粉灭火器(型号MF/ABC8)不少于2具,每座集液池设置 $50\text{kg}$ 干粉灭火器(型号MFT/ABC50)不少于1具、 $8\text{kg}$ 干粉灭火器不少于2具。

## 4 结语

①LNG槽车装卸车设施是否设置固定消防冷却水系统,可根据实际情况确定;②水幕冷却系统的喷头设置在装卸车橇的四周,对发生事故的装卸车橇起到一个隔离的作用,降低事故对其它装卸车橇的影响;水喷雾冷却系统的喷头设置在装卸车橇的上方,降低云团中的LNG蒸汽浓度,同时降低积聚爆炸的风险。水幕系统消防设计流量,雨淋阀组的数量以及造价也是考虑的因素之一。具体选用何种方式可评估确定;③根据厂区内液化天然气储罐总容积来考虑集液池是否设置固定式局部应用高倍数泡沫灭火系统。

### 参考文献:

- [1] 宋翠红.LNG泄漏危害及水幕紧急处理技术[J].天然气化工,2012(37):48-50.
- [2] 张伟方.LNG全冷冻式储罐区的消防设计方案探讨[J].工业用水与废水,2016,47(S3):70-74.