

# 低沸点烃类液体空气泡沫灭火试验研究

张清林 秘义行 智会强

**摘要：**目前，我国低沸点烃类可燃液体储罐一般设置了空气泡沫灭火系统，但其灭火有效性未经试验验证。为研究空气泡沫对低沸点可燃液体的灭火性能，利用空气泡沫，对凝析油、石脑油、正戊烷等低沸点烃类可燃液体进行了一系列灭火试验，试验表明，空气泡沫难以彻底扑灭凝析油、正戊烷等低沸点可燃液体储罐火灾。

**关键词：**空气泡沫，灭火试验，凝析油，石脑油，正戊烷

## 0 引言

低沸点烃类可燃液体饱和蒸汽压大，属于灭火难度较大的液体。目前，该类储罐一般设置空气泡沫灭火系统，但迄今为止，国内外对该类液体还未进行过较大规模的灭火试验研究，对空气泡沫扑救低沸点可燃液体的灭火性能认识尚不深入。因此，相关规范均未对该类储罐泡沫灭火系统的设计做明确规定，如：美国 NFPA11《低倍数、中倍数、高倍数泡沫灭火系统》规定“沸点低于 37.8℃ 的易燃液体应采用较高的供给强度，适宜的供给强度应通过试验确定”；欧洲标准 EN13565(2)《固定灭火系统第 2 部分：泡沫灭火系统的设计、安装和维护》规定“沸点低于 40℃ 的易燃液体应采用较高的供给强度，适宜的供给强度应通过试验确定”；GB50151《泡沫灭火系统设计规范》规定“沸点低于 45℃ 的非水溶性液体，设置泡沫灭火系统的适用性及其泡沫混合液供给强度，应由试验确定”。

为研究空气泡沫对低沸点可燃液体的灭火性能，公安部天津消防研究所先后与有关单位联合开展了凝析油、石脑油、正戊烷等低沸点可燃液体储罐空气泡沫灭火试验。

## 1、凝析油空气泡沫灭火试验

### 1.1 凝析油组份分析

凝析油是从凝析气田的天然气凝析出来的液相组份，主要成分通常为 C5~C8 烃类混合物。本次试验所选凝析油为新疆塔里木油田牙哈凝析油，凝析油的组份见表 1，其中 C5~C8 占 89.28%，C4 以下组份占 6.5%，C5 以下组份占 30%。

表 1 试验用凝析油组分

序号	组份	质量百分数 (%)	摩尔百分数 (%)	序号	组份	质量百分数 (%)	摩尔百分数 (%)
1	C2	0.00	0.00	7	C6	26.41	27.64
2	C3	0.01	0.03	8	C7	29.37	26.43
3	iC4	0.05	0.08	9	C8	15.47	12.22
4	C4	4.11	6.38	10	C9	4.56	3.21
5	iC5	7.17	8.97	11	C10	1.63	1.03
6	C5	11.22	14.02	12	C11	0.00	0.00

### 1.2 试验条件

试验油罐为直径 3.5m、深 2.0m 的敞口罐，见图 1，罐壁上沿对称设置 2 个 PC2 型横式泡沫产生器，罐周设置冷却水环管，采用在环管上打孔的方式进行冷却。试验采用了 3 种泡沫灭火剂，分别为美国 Chemguard 公司 6% 型成膜氟蛋白泡沫液 (FFFP)、美国 Chemguard 公司 6% 型水成膜泡沫液 (AFFF) 及国产某品牌 6% 型水成膜泡沫液 (AFFF)。

### 1.3 试验结果

对凝析油进行了 5 次试验，其中 4 次使用表 1 所示的油品、1 次使用灭火试验残油。主要试验结果见表 2。从试验的情况看，用 1 个 PC2 泡沫产生器（泡沫混合液供给强度约为  $12 \text{ L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ ）2min 左右可基本控火，但只有用灭火试验残油的 1 次成功灭火，其它 4 次即使用 2 个 PC2 泡沫产生器（泡沫混合液供给强度约为  $24 \text{ L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ ）仍不能彻底灭火，而是在一侧罐壁处形成长时间边缘火，见图 2 和图 3。另外，由于可燃蒸气充斥于泡沫之中，使得泡沫也具有可燃性，见图 4。

表 2 凝析油空气泡沫灭火试验结果

序号	试验油品	油品厚度 (cm)	灭火剂类型	泡沫混合液供给强度 ( $\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ )	试验情况 (s)
1	凝析油	20	美国 6% 成膜氟蛋白泡沫液	12.0/24.0	开启一个泡沫产生器，供泡 2min 时基本控火，但边缘火仍较大，之后开启第二个泡沫产生器，直至泡沫溢出油罐，仍有边缘火无法扑灭。

2	凝析油残油	第一次试验 灭火后的剩 余油品	美国 6%成膜氟 蛋白泡沫液	12.0	由于试验残油中较轻组份已经 基本燃尽，因此开启一个泡沫 产生器，供泡2min时实现灭火。
3	凝析油	20	美国 6%成膜氟 蛋白泡沫液	12.0/24.0	燃料为清罐后情况同试验 1
4	凝析油	20	美国 6%水成膜 泡沫液	12.0/24.0	情况同试验 1
5	凝析油	20	国产 6%水成膜 泡沫液	12.0/24.0	最终未灭火，灭火效果不如试 验 1、3、4



图 1 试验用油罐



图 2 进口泡沫灭火时形成的边缘火



图 3 国产泡沫灭火时形成的边缘火



图 4 灭火后清理出的泡沫的燃烧状况

## 1.4 结果分析

对于凝析油的系列试验，使用了质量较好的美国 Chemguard 公司的泡沫液，但试验表明，空气泡沫虽可控火，但难以彻底灭火，即使使用较大的供给强度和较长的供给时间，也难以扑灭储罐罐壁周围的边缘火。

从试验现象分析，灭火困难的原因主要是凝析油中的较轻组份的含量达到了一定的比例，使得凝析油的蒸汽压较高，空气泡沫不能有效覆盖。具体是那些组份使用空气泡沫无法灭火，还需通过其他试验来确定，为此进行了石脑油灭火试验。

## 2、石脑油空气泡沫灭火试验

### 2.1 石脑油分析

石脑油是由原油蒸馏或石油二次加工切取轻质液相馏分而得的一种中间体，其馏程依需要而定，如：作裂解乙烯原料时，进料为 35℃~210℃馏分；用于生产芳烃时，进料为 60℃~165℃馏分。根据凝析油试验结果，本次试验所选石脑油馏程为 40℃~168℃。

## 2.2 试验条件

试验按照 GB15308-2006《泡沫灭火剂》低倍数泡沫液灭非水溶性液体燃料火试验方法进行。油盘直径 2.4m、深 0.2m，采用压缩空气驱动泡沫液储罐，利用 1 支标准泡沫管枪供泡，泡沫枪流量约 11.4L/min，灭火剂为 6% 水成膜泡沫液。

## 2.3 试验结果

从试验情况可以看到，在 3.23L/min·m<sup>2</sup> 的供给强度下，供给泡沫 1min 控火，供给泡沫 3min23s 实现灭火。试验照片见图 5~图 6。



图 5 控火时的燃烧状况



图 6 灭火后的状况

## 2.4 结果分析

对于本试验所选的石脑油，按照 GB15308《泡沫灭火剂》规定的方法进行试验时，用空气泡沫可以扑灭其火灾。但因工程中所用石脑油的组分及各组分的含量不确定，不同石脑油的馏程不同，因此，本次试验并不能证明用空气泡沫可以扑灭其他石脑油火灾。所以，对于石脑油，空气泡沫的适用性及设计参数仍需试验确定。

本次试验所选用石脑油的初馏点为 40℃，因正戊烷(C5)的沸点为 36.1℃，据此，该石脑油中基本不含正戊烷(C5)及以下组份。综合凝析油和石脑油的试验结果，可初步判断正戊烷(C5)火灾难以用空气泡沫扑灭，为此，进行了正戊烷(C5)灭火试验。

## 3 正戊烷空气泡沫灭火试验

### 3.1 正戊烷性质

正戊烷沸点 36.1℃，相对密度(水=1) 0.626，饱和蒸气压 53.32 kPa (18.5℃)，燃烧热 3506.1 kJ/mol，闪点为-40℃，爆炸极限 1.7%~9.8% (V/V)。

### 3.2 试验条件

为深入研究空气泡沫对正戊烷的灭火性能，采用了直径为 2.4m，深度分别为 0.2m 和 0.8m 两种油盘，其中深度为 0.2m 的油盘不进行冷却，深度为 0.8m 的油盘采用环管上钻孔的方式进行冷却；对于深度 0.2m 的油盘，采用 1 支标准泡沫枪供给泡沫，深度为 0.8m 的油盘采用 2 支泡沫枪供给泡沫；灭火剂为 6% 水成膜泡沫液和 3% 氟蛋白泡沫液。试验按照 GB15308-2006《泡沫灭火剂》低倍数泡沫液灭非水溶性液体燃料火试验方法进行。

### 3.3 试验结果

对正戊烷共进行了 4 次试验，前两次为不加冷却水的深度 0.2m 油盘试验，后两次为施加冷却水的深度为 0.8m 油盘试验。主要试验结果见表 3 所示，部分试验照片见图 7~图 10 所示。从试验情况来看，在 GB15308《泡沫灭火剂》规定的试验条件下，使用空气泡沫无法彻底扑灭其火灾，在加高油盘、增加冷却水，并加大供给强度和供给时间的情况下，也无法彻底扑灭其火灾。

表 3 正戊烷空气泡沫灭火试验结果

序号	试验油品	油盘(直径 D, 高度 H (m))	泡沫混合液供给强度 (L/min·m <sup>2</sup> )	灭火剂	冷却状况	灭火情况
1	正戊烷	D=2.4 H=0.2	2.43	6%水成膜	无水冷却	控火时间 2min30s, 连续供给泡沫 5min, 最终未灭火,
2	正戊烷	D=2.4 H=0.2	2.43	3%氟蛋白泡沫液	无水冷却	控火时间 2min30s, 连续供给泡沫 5min, 最终未灭火,
3	正戊烷	D=2.4 H=0.8	4.9	3%氟蛋白泡沫液	对盘壁进行水冷却	连续供给泡沫 5min 未控火, 在停止供给泡沫 7min 后, 重新供给泡沫 10min, 仍无法灭火。
4	正戊烷	D=2.4 H=0.8	4.9	6%水成膜泡沫液	对盘壁进行水冷却	连续供给泡沫 8min 控火, 连续供给泡沫 24min 仍无法灭火。



图 7 预燃时的燃烧状况(试验 2)



图 8 停止供给泡沫后的燃烧状况(试验 2)



图 9 预燃时的燃烧状况(试验 4)



图 10 供给泡沫 24min 时的燃烧状况(试验 4)

#### 4 结论

利用空气泡沫对凝析油、石脑油、正戊烷进行了灭火试验研究,从具体试验分析可知,空气泡沫难以扑灭正戊烷火灾,亦难以扑灭含一定比例 C5(或 C5 及以下组份)的烃类液体火灾,具体 C5 含量达到多大比例会难以灭火,目前尚难确定,但从试验来看,当烃类液体中含 C5 及更轻组份的比例达到 30%(摩尔百分数)时,使用空气泡沫难以彻底灭火。

灭火试验表明,由于低沸点可燃液体易蒸发、饱和蒸汽压较高,靠普通泡沫的覆盖隔离作用难以完全阻止可燃蒸气向燃烧区的输送,即使使用较大的供给强度和较长供给时间也难以彻底扑灭其火灾。因此,目前设置泡沫灭火系统可能不足以对低沸点可燃液体储罐进行有效防护,该类储罐区的消防安全水平有待提高。

#### 参考文献:

- [1] NFPA11-2005,Low-,Medium-,and High-Expansion Foam[S].
- [2] EN13565(2)-2009, Fixed firefighting systems-Foam systems-Part 2:Design,construction and maintenance[S].
- [3] GB50151-2010, 泡沫灭火系统设计规范[S].

——本文发表于《中国消防协会科学技术年会论文集》(2011 年 9 月)