

郑学志 编著

油 罐 灭 火 技 术 基 础

烃加工出版社



YOU GUAN MIE HUO JI SHU JI CHU

PDG



44345

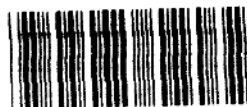
200471435

油罐灭火技术基础

郑学志 编著



00311625



44345

烃加工出版社

内 容 提 要

本书为适应现代石油化工工业及有关部门油罐防火、灭火工作的需要，在总结国内并吸收国外先进灭火技术的基础上，同时结合作者多年从事消防设计研究工作的经验编写而成。

本书对储存不同品种油类的拱顶油罐、浮顶油罐及非金属油罐的灭火技术基础知识作了详细介绍。

2153/28

油罐灭火技术基础

邦 学 志 编著

·
烃加工出版社出版

海丰印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

·
787×1092毫米 32开本 3⁷/₈印张 84千字 印1—2,150

1990年7月北京第1版 1990年7月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-121-5/TE·015 定价：1.70元

前 言

油罐是储存易燃液体和可燃液体的重要设备，广泛用于石油、石油化工、冶金、航空及交通等工业部门。

油罐最容易引起火灾，也是发生防火的重点。因此，必须对油罐灭火技术进行重点研究，以达到先发制灾的目的。

本书为适应现代石油化工工业的发展需要，在总结国内并吸收国外先进灭火技术的基础上，同时结合作者多年从事消防设计研究工作的经验编写而成。

本书对储存不同品种油类的拱顶油罐、浮顶油罐及非金属油罐的灭火技术基础知识作了详细介绍。

本书承蒙高级工程师徐承恩、蒋永琨和原继增审稿，在此致以谢意。

本书难免有不妥之处，敬希读者指正。

作者 1989.1.20

目 录

前 言

第一章 石油及石油产品燃烧特性	1
1-1 石油及石油产品的主要特性	1
1-2 石油及石油产品的燃烧原理	1
1-3 油罐内油品燃烧特性	4
1-4 油罐火灾热辐射的特性	9
1-5 含水原油及重质石油产品燃烧特性	11
1-6 非金属油罐油品燃烧特性	14
第二章 油罐火灾的对策	17
2-1 油罐火灾的概况	17
2-2 油罐选型与防火安全	18
2-3 拱顶油罐必备的安全设备	20
2-4 对着火油罐顶盖破坏的预防	26
2-5 油罐火灾的对策	28
第三章 储存轻质油品的拱顶油罐灭火技术	32
3-1 空气泡沫灭火剂的种类及性质	32
3-2 拱顶油罐低倍数空气泡沫液上喷射灭火系统的设计	38
3-3 低倍数空气泡沫液下喷射灭火系统的设计	47
3-4 低倍数空气泡沫半液下喷射灭火系统的设计	57
3-5 中倍数空气泡沫液上喷射灭火系统的设计	60
3-6 烟雾灭火系统的设计	63
3-7 干粉灭火系统的设计	69

第四章 储存重质油品的拱顶油罐灭火技术	78
4-1 水雾灭火系统的设计	78
4-2 压缩空气灭火系统的设计	81
第五章 浮顶油罐灭火技术	87
5-1 浮顶油罐灭火特点	87
5-2 浮顶油罐泡沫灭火计算	87
5-3 消防泡沫泵房的设计要求	90
5-4 浮顶油罐“1211”自动灭火设计	90
第六章 非金属油罐灭火技术	94
6-1 非金属油罐火灾特点	94
6-2 非金属油罐泡沫灭火计算	95
第七章 油罐消防冷却	96
7-1 拱顶油罐消防冷却设计	97
7-2 浮顶油罐消防冷却设计	102
7-3 高架水枪消防冷却系统设计	103
附录	105
附录1 油罐灭火计算实例	105
附表1 拱顶油罐低倍数空气泡沫灭火计算表	108
附表2 不同规格空气泡沫产生器的泡沫液量及储量	109
附表3 不同规格空气泡沫产生器配制泡沫混合液的用水量及储水量	109
附表4 拱顶油罐消防冷却用水量计算表	110
附表5 浮顶油罐低倍数空气泡沫灭火计算表	111
附表6 浮顶油罐消防冷却用水量计算表	112
附图 I 泡沫管径计算图	113
附图 II 拱顶油罐及浮顶油罐泡沫混合液计算图	114
附图 III 相邻油罐消防冷却用水量计算图	115

第一章 石油及石油产品燃烧特性

1-1 石油及石油产品的主要特性

研究石油及石油产品燃烧时，首先应了解石油及石油产品的特性。石油中含有 85~87% 的碳和 11~14% 的氢，它是一种碳氢化合物。这样的组分就造成了石油燃烧的有利条件。

石油及石油产品的主要特性：

- (1) 发热量高；
- (2) 比重小于水；
- (3) 油气比空气重；
- (4) 纯净的石油产品是不良的导体；
- (5) 石油产品是不良的导热体；
- (6) 闪点低、易燃烧；
- (7) 油气与空气混合后容易形成易爆炸的混合物，爆炸极限较低；
- (8) 流动性能好；
- (9) 燃烧速度快。

由于石油及石油产品具有以上这些特性，就使其成为一种易燃和可燃液体。

1-2 石油及石油产品的燃烧原理

石油及石油产品的燃烧和其它物质燃烧一样。燃烧是一

种氧化的化学反应，与这种反应的同时不但产生大量的热也产生火焰。发生燃烧必须具备以下三个条件：

(1) 可燃物质 可以氧化的物质一般是可以燃烧的物质，因为燃烧是从氧化开始的，如果物质能被氧化，在一定条件之下就可能燃烧。

(2) 火源 一切具有适宜温度和足以将燃烧物质加热至发生燃烧所需的热量谓之火源，火源具有一定的温度和热量是发生燃烧必不可少的条件。

(3) 助燃物 即空气中的氧气，一般物质没有氧的助燃是不可能燃烧的。因此，要使物质燃烧就必需供给足够的氧，否则燃烧就会停止。例如燃烧1kg煤油需要14.8kg空气，而燃烧1kg汽油需要15kg空气。

石油及石油产品燃烧是由于它易于蒸发成气体并与空气混合形成易燃易爆的混合气体，达到燃烧浓度，遇火就着。

石油及石油产品的燃烧不仅是化学反应，同时还有物理变化，没有这种物理变化，燃烧将不会发生也不可能继续。

要使石油产品连续燃烧，不但需要供给足够燃烧用的空气，同时还要保证油品不断的蒸发，形成可燃的气体，二者不可缺一。只有空气、没有可燃的油气，燃烧不会发生。相反只有可燃的油气，没有空气，燃烧也不会发生。

燃烧油品表面所产生的热量促使油品蒸发和燃烧油层的温度不断升高。根据试验表明，油品在燃烧过程中，油品的表面温度可达到油品的沸点温度。

油品在燃烧过程中，因为油品不停的蒸发，而使油品性质发生变化。首先轻馏分蒸发，最后剩的为重馏分。例如原

油在燃烧时，它的比重、粘度、闪点、自燃点等，随着燃烧时间的增长而变化。见表1-1。

表 1-1 原油在燃烧过程中油品性质的变化

名 称	试 样	燃烧 1 h后	燃烧 2 h后	燃烧 3h 后
比 重	0.9069	0.9257	0.9331	0.9461
100℃时的 运动粘度 m^2/s	6.80	10.0	21.4	40.8
闪点,℃	102	138	148	162
自燃点,℃	113	150	180	215
含焦质数量 %	14.31	20.13	22.25	27.4

油品燃烧速度因品种而异，几种油品燃烧速度见表1-2。

表 1-2 油品的燃烧速度

油 品 名 称	燃 烧 速 度, cm/h
汽 油	30
煤 油	24
柴 油	18~20
原 油	12~15
重 油	10

当风速增大到 $8\sim 10\text{m/s}$ 时，油品燃烧速度可增大 $30\sim 50\%$ 。原油及重油含水时，燃烧速度也会增加。

1-3 油罐内油品燃烧特性

油罐内油品燃烧有着一定的规律性，分析这些规律性，有助于灭火。

1. 油罐内油气与空气混合形成易爆炸的混合气体

达到爆炸极限后，遇明火可使油罐发生爆炸。油罐爆炸后罐顶可能发生裂缝，顶盖局部或全部被掀掉。根据国内炼油厂的调查，大部分着火油罐是顶部受到破坏，其比例约占 76% ，整个罐顶被掀掉的情况较少，其中部分是沿顶部圆周方向崩开 $1/3$ 、 $1/4$ 和 $1/6$ 开口，只有 4% 的罐底受到破坏。

油罐顶被掀掉后，形成开放燃烧，油罐内下层油温均匀，基本上等于爆炸前油的原始温度，油面以上部分的油气层被爆炸点燃，火焰在油气层中以燃烧速度传播开来。

火焰加热罐内油面，使油品迅速蒸发，由于空气对流作用加强了燃烧，热的燃气因比重减小而形成上升气流，罐内形成局部低压，使周围空气被吸入与油气混合，促使燃烧加强，形成火舌。随着火势的增强，火焰对油面反馈热辐射也加强，造成罐内油品猛烈燃烧。但是，油罐在持续燃烧一段时间之后，燃烧速率增大逐渐变成稳定，随着油位的降低，燃烧速率会逐渐变小。

油罐内燃烧的油品液面的高低直接影响着罐壁的变形。罐内油面低，在油面以上的罐壁直接受到火焰的作用。当罐壁温度达到 600°C 以上，罐壁边缘强度降低，发生变形。例如直径 $20\sim 30\text{m}$ 的油罐，油面高 2m 时，油罐着火后 $5\sim 10\text{min}$ ，

罐壁就会发生变形。

2. 油罐内油品燃烧火焰的特性

着火油罐火焰是紊流型浮力扩散火焰，其突出的特点是，燃烧油罐的周围空气进入油罐主要是从油罐燃烧中心进入火焰，油罐直径越大，空气进入火焰的深度越大，火焰中存在有局部回流，上升的火焰及燃气流与下降的空气形成犬牙交错的锥状。

火焰中心处的温度最低，靠近罐壁处的温度较高。从油面到火焰底部随着高度增加温度迅速增大，到达火焰底部后有一稳定阶段，高度再增加，温度也随之下降。

(1) 火焰的高度

紊流扩散火焰的高度可按Thomas公式 (1-1) 计算：

$$I/D\alpha F_r^{0.2} \quad (1-1)$$

式中 I ——紊流扩散火焰高度，m；

D ——油罐直径，m；

F_r —— V^2/gD ；

V ——油蒸气的平均速度，m；

g ——重力加速度。

由公式 (1-1) 可知，油罐内燃烧油品的火焰高度取决于油罐直径和储存的油品种类，与风速无关。也就是说，油罐直径越大，储存的油品越轻，则燃烧火焰高度越高。经过多次试验证明，当油罐直径大于或等于2.7m时，敞口油罐油品燃烧的火焰高度与油罐直径 D 的关系如下：

汽油火焰高度约 $1.43D$ ；

柴油火焰高度约 $0.93D$ ；

乙醇火焰高度约 $0.76D$ 。

火焰的水平投影长度：

汽油燃烧火焰水平投影长度约 $0.7D$;

柴油燃烧火焰水平投影长度约 $0.5D$;

乙醇燃烧火焰水平投影长度约 $0.2\sim 0.3D$ 。

(2) 火焰的倾斜度

敞口油罐燃烧的火焰呈锥形，锥形底部就等于燃烧油罐的面积。锥形火焰受到风的作用就会产生一定的倾斜角度，这个角度大小与风速有直接关系，与油罐直径及所储存的油品种类无关。根据试验证明，在无风的条件下，火焰的倾斜角度为 $0\sim 15^\circ$ ；当风速等于或大于 4.0m/s 时，火焰倾斜角约为 $60\sim 70^\circ$ 。火焰倾斜角与风速的关系，可按公式(1-2)计算：

$$\alpha = 35.6\omega^{0.34} \quad (1-2)$$

式中 α ——火焰倾斜角度，度；

ω ——风速， m/s 。

(3) 火焰的温度

燃烧火焰的温度主要取决于燃烧油品的种类。一般石油产品的火焰温度在 $900\sim 1200^\circ\text{C}$ 之间。火焰温度高，热辐射强度大，直接威胁着邻近建筑物。根据试验测得：汽油火焰表面的热辐射强度约为 97200W/m^2 ；柴油火焰表面热辐射强度约为 73000W/m^2 ；乙醇火焰约为 68000W/m^2 。

3. 燃烧油罐的油层高度

燃烧油罐火焰产生的辐射热是罐内油品加热的主要热源，传导与对流的作用相对较小，可以忽略不计。

燃烧油面接受火焰辐射热后，油表面迅速被加热到沸点温度，形成了一薄层高温层，同时产生油气，油气从油面向燃烧区扩散，这样就维持燃烧继续进行。高温层的厚度与油罐直径及容积无关。

随着燃烧时间的增加，被加热的油层厚度亦增加，在此油层中的温度基本相同。若油罐内油层很高，即使长时间燃烧，被加热油层当达到某一定值之后，基本保持不变。

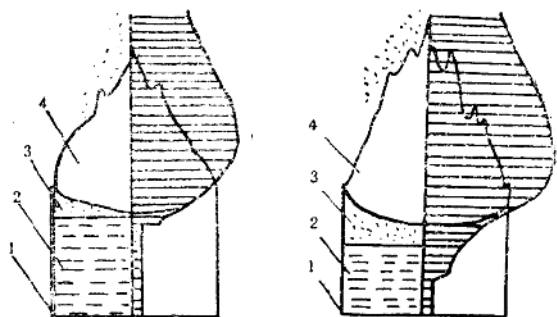
油面与火焰底面之间的中间层充满了油气，油气由油面上升扩散到层的顶部（即火焰的底部）穿透火焰与进入中间层的空气混合后形成预混层。预混层不断产生并燃烧上升，保持了火焰的稳定存在。

试验表明：随着油位的下降，中间层的厚度随着燃烧时间的增大和液位下降而增加。因此随着燃烧过程的发展，中间层对热辐射的衰减作用越来越大，对油面接受火焰的辐射热来说，中间层越来越明显地具有热屏蔽作用。当油罐为中、低油位时，油罐火灾发展的特点是：

（1）油罐火灾的初期 罐内油表面的被加热层的厚度很薄，油的蒸发率迅速增加，加热层向深部扩展，中间层厚度不大，热屏蔽作用甚小，此时火焰发展迅速。

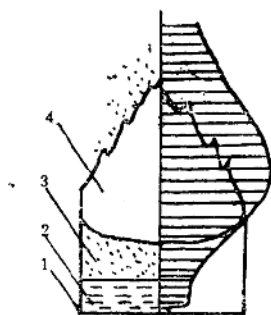
（2）油罐火灾的中期 经过很短时间的燃烧即过渡到中期，此时燃烧速率比初期大，但趋于稳定，火焰中的燃气流速大，中间层内负压也大，因此大量空气被吸入罐内形成激烈地犬牙交错的上下气流团，常会产生火焰的脉动和蘑菇状烟柱。加热层近于恒定温度向深部缓慢扩展，中间层厚度逐渐增加，空气、烟和燃烧产物进入中间层，使中间层成为灰色体层，并对油品有明显的热屏蔽作用，使罐内油品燃烧相对稳定。

（3）油罐火灾的晚期 中间层的厚度增大，燃烧油层变薄，油面所接受到的辐射热不仅不能使油面加热厚度增大，反而使油品的燃烧率下降，火焰高度及温度下降，辐射热反馈减小，使油罐火灾进入衰落期（见图1-1）。



(1) 油罐火灾初期

(2) 油罐火灾中期



(3) 油罐火灾晚期

图 1-1 油罐火灾初、中、晚期示意图

1—油罐；2—油品；3—中间层；4—火焰

4. 浮顶油罐燃烧火焰高度

浮顶油罐不同于拱顶油罐，浮顶油罐发生火灾往往首先发生在环形密封圈上的不严密处。由于密封圈一边紧靠罐壁

影响空气流动，所以在着火初期阶段燃烧速度缓慢，火焰不高，火势扩大缓慢，因而降低了对邻近油罐的热辐射。因此，对浮顶油罐初期火灾，若能及时灭火，就会减少火灾损失。

浮顶油罐开口的火焰高度可由公式(1-3)看出，火焰高度与油罐直径和油罐内油气空间大小的关系。

$$H_f/d = 40F_v^{1.5} \quad (1-3)$$

式中 H_f ——火焰高度；

d ——油罐直径；

F_v ——罐壁和罐顶之间油气空间的面积。

1-4 油罐火灾辐射热的特性

燃烧油罐的辐射热是造成相邻油罐火灾蔓延的主要原因。油罐之间火灾蔓延，一般不是燃烧油罐直接烘烤引起的，而是因相邻油罐受辐射热后排出油气被引燃后造成火灾蔓延。

辐射热通量与受热面至燃烧油罐的中心关系如公式(1-4)。

$$E = A(L/D)^{-n} \quad (1-4)$$

式中 E ——油罐周围相同高度任意位置所接受到的辐射热通量；

A ——由燃料品种和 L/D 的区域而决定的常数；

L ——测量点至油罐中心的距离；

D ——燃烧油罐的直径；

n ——由 L/D 的区域决定的衰减系数。

根据公式(1-4)实测后得出以下结论：

(1) 当高度相同时，无因次距离 L/D 越大，辐射热越小。

(2) 高度与辐射热的关系 当无因次距离 L/D 相同时, 位置越高, 辐射热越大。

(3) 风向风速与辐射热的关系 在无因次距离 L/D 及高度相同情况下, 一般下风向辐射热量大, 侧风向次之, 而上风向最小。风速与辐射热通量 E 关系是风速增大, 燃烧速度增大, 但风速继续增大, 燃烧速度趋向一个定值, 辐射热通量 E 随着燃烧速度加强而加强。

(4) 油罐直径与辐射热的关系是油罐直径越大, 辐射热值越大, 但到一定值后趋于平稳。

(5) 辐射热通量与油品燃烧的关系 油品燃烧热与辐射热通量有直接关系, 油品燃烧值越大, 辐射热值越高。当油品完全燃烧, 其热量以球面辐射的形式向外辐射时, 其比例关系可由公式 (1-5) 表示:

$$\frac{4\pi L^2 E}{\pi D^2 V \rho H_L} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 L 、 E 、 D ——见公式 (1-4);

V ——油品的燃烧速度;

ρ ——油品密度;

H_L ——油品燃烧热。

(6) 浮顶油罐环状火焰的辐射热通量与敞口油罐的比较。

根据试验证明, 环状火焰内外圆直径的无因次比值 $(D_1 - D_2)/D < 0.3$ 时, 它与辐射热通量的无因次比值 E_0/E 的关系可用公式 (1-6) 表示。

$$E_0/E = A[(D_1 - D_2)/D_1] B \quad (1-6)$$

式中 E_0 ——环状火焰的辐射热通量;

D_1 ——浮顶罐直径;

D_2 ——浮顶直径；

A、B——系数。

由公式 (1-6) 看出：环状火焰的辐射热通量较小，一旦浮顶沉没，其值急剧上升，与敞口油罐相同。

(7) 拱顶油罐壁和罐顶受辐射热通量的大小与油罐间距有关。当油罐间距为 $0.75D$ 、但不大于 20m 时，罐顶和罐壁的热通量与油罐大小的关系如下：

$$H/d > 0.5 \quad Q_c > Q_k$$

$$H/d = 0.5 \quad Q_c \approx Q_k$$

$$H/d < 0.5 \quad Q_c < Q_k$$

H——油罐高度；

d——油罐直径；

Q_c ——油罐壁的热通量；

Q_k ——油罐顶的热通量。

(8) 着火油罐对相邻油罐的热辐射强度与油罐间距和相邻油罐油面高度的关系见表 1-3。

(9) 油罐呼吸阀受热辐射强度，根据试验结果表明：呼吸阀受热辐射强度的大小与呼吸阀大小无关，与受热辐射的时间和油品自燃点有关，其关系式如公式 (1-7)。

$$q = 250 T_B t^{-0.35} \quad (1-7)$$

式中 q ——受热辐射最小强度；

T_B ——油品自燃点；

t ——受热辐射时间。

1-5 含水原油及重质石油产品燃烧特性

含水原油及重质石油产品的燃烧速度开始较低，而经过一段时间之后突然增大，增大到一定值后，趋向于稳定。含