

# 火炬的优化设计

窦世山 王洪军 宋丰来 李明 江航

(中国石油天然气集团公司华东勘察设计研究院 山东胶州 266300)

**摘要** 结合某厂  $40 \times 10^4$  t/a 催化裂化装置所设火炬,对火炬及火炬头的优化设计进行了初步探讨,提出了设计火炬中应注意的主要问题,供有关设计人员参考。

**关键词** 火炬 火炬头 优化设计

**中图分类号** TE68

火炬是石油化工厂/炼油厂的重要设备。一般催化裂化装置为考虑开停车及事故状态时,能将系统中的易燃、易爆、有毒气体烧毁并安全地排放至大气,而设置一火炬。虽然目前有一种炼油厂消灭火炬的说法,但真正做到这一点还要做许多工作,且火炬在事故状态还需要设的,所以针对目前国内外状况,在火炬尚未消灭前,搞好火炬的优化设计还是很重要的。

火炬作为辅助设施,其安全性和可靠性经常被忽视,直到出了问题,火炬的合理设计才能够引起重视。火炬是防止任何未完全燃烧气体排放至大气的最后一道防范措施。火炬设计的关键是燃烧效率,影响燃烧的因素有:长明灯、点火系统、喷射蒸汽、火焰脉动等。

更复杂、高效的火炬设计使得燃烧更彻底、更完全,前提是两个重要因素要保证:安全性和可靠性。一个安全可靠的火炬系统必须做到:不管天气条件如何,都能日复一日、年复一年毫无问题地运行。

某炼化总厂  $40 \times 10^4$  t/a 催化裂化装置所设火炬由华东勘察设计研究院自行设计,火炬头直径  $\phi 370$  mm,火炬高度  $H = 80$  m,用三股(底部、中部、上部)蒸汽辅助无烟燃烧,如图1所示。设长明灯一套,电点火系统一套,采用塔架结构,该火炬已投运三年多,运行较好,证明设计是合理的。该火炬正常情况下,能无烟燃烧,但当废气最大排出量(即事故状态:气压机不开)时,燃烧将不完全而产生黑烟。

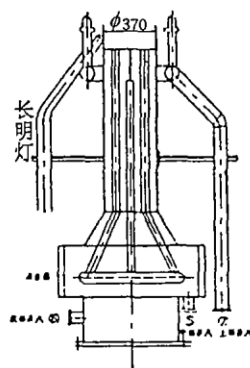


图1 火炬头简图

## 1 长明灯设计

不管刮风或下雨,火炬长明灯都以  $269$  m/s 的火焰速度点燃废气,为阻止喷射的火焰、令人讨厌的气味或可能使人窒息的辐射,长明灯必须经

得起  $<110\text{m/s}$  速度的暴风雨的袭击。如果熄灭了,它们必须很容易地重新点燃。

如果火炬长明灯用一简单的喷嘴,它很容易被风熄灭。如果长明灯使用一个大直径的开口,并伴有风幕,火焰熄灭问题将可解决。一个有效的风幕至少要长明灯火焰的  $1/3$  长,当废气点燃时,风幕有助于阻止火焰在大风中吹灭。长明灯风幕设计是相当重要的,但经常被忽视。使用风幕能在各个方向保护长明灯。不使用全风幕保护长明灯,操作火炬是危险的,即使长明灯火焰没有被风吹灭,它可能偏离火炬头而没有用了。为了阻止长明灯火焰被风吹灭,长明灯的数目应随火炬头直径的增加而增加,大火炬设置好几个长明灯的目的是不管风向如何,都能点燃火炬,长明灯数目和大小应根据火炬头尺寸、结构和废气热量级别确定<sup>[1]</sup>。

图1所示火炬头长明灯未设风幕,因而有时长明灯被熄灭,这也是作者过去所忽视的地方,建议以后设计火炬时增加风幕设计,确保火炬的操作安全。

## 2 点火系统设计

可靠的储能点火器能节省维持火焰燃烧的油气。伴随非电容充电点火系统的发展,高能气体点火器已发展起来,这种技术过去应用于航空发动机中。

以前,有的装置使用信号枪或燃烧的油布通过滑轮和绳索或别的原始的、危险的方法点燃火炬。今天遥控点火是火炬点火的最可靠系统。方法是将一定量的空气、可燃气体混合起来,采用相当可靠的电火花点燃混合油气,产生一前峰火焰,通过一直径  $\phi 25\text{mm}$  的管子传递到火炬头长明灯,既安全又快速。文中所列举的火炬即是应用这种点火方式,既先进又可靠,从开工到现在一直运行良好,未出现任何问题,也得到厂方的肯定。

还有的装置应用一种特殊的气体(如甲烷、乙炔)点燃火炬,方法是利用这种气体与空气混合,达到一定的比例(爆炸极限)后,爆炸起火,火龙在管内向上迅速传递到长明灯,从而点燃火炬。与前者相比较,这种方法去掉了火花器,节约了费用,可靠性也高,但需要较好的操作技术。这种技术在国内某装置上已得到应用,效果还是不错的。

冷凝液是现代点火方式有时失败的唯一最有影响的因素。混有油气的空气必须是干燥的,不然会产生冷凝液,要使用气液分离器分离出其中的冷凝液。潮湿的压缩空气充满管线产生的冷凝液会阻止长明灯点燃。因为燃烧也会产生水汽,为了去除前峰火焰产生的冷凝液,在点火器和长明灯之间安装排水阀,将冷凝液排出。这一点也要引起有关设计人员的重视,不得马虎。

## 3 用喷射蒸汽减少烟雾

火炬头引入蒸汽的作用是:底部蒸汽用来冷却火炬头,延长火炬的使用寿命;中部蒸汽利用引射原理带进空气,提高了燃气的动能级,利用蒸汽带入的一次空气与燃气进行预混,以此来改善火焰中的缺氧状况;上部蒸汽喷嘴均布于火炬头周围,喷出的蒸汽气团呈旋转状上升,带动火焰发生旋转、上升。喷入的蒸汽加剧了火焰的湍动,增加了火焰与空气的接触表面积,使燃烧更完全,此外,烃类在高温下分离出的游离碳还与水蒸汽进行水煤气反应,从而消除了炭黑。



大多数烃类燃烧时放出热量,没有辅助气体(例如水蒸汽),这些烃类燃烧产生很高的温度,燃烧效率也很高。石蜡组份内分子量  $\leq 20$  的烃类燃烧不产生烟雾,对于别的烃类注入蒸汽,燃烧时也不产生烟雾。

蒸汽喷射增强了湍流,提高了空气、废气的混合程度,使燃烧更完全。有人认为增加蒸汽用量

总能提高燃烧效率,这是一个误解.废气对蒸汽需要的比例是随废气出口的速度而变化的,出口速度大,需要蒸汽少,因为高速喷出的废气能带入更多的空气.

适宜的蒸汽流率取决于废气的分子量、热值、碳氢比率、饱和度等因素.

另一个影响火焰燃烧的因素是否正确安装.蒸汽管线安装的阀太大,部分开口可提供太多太快的蒸汽,反而将火焰熄灭.如果供给蒸汽管线的热胀冷缩也是应主要考虑的因素,火炬设计必须允许蒸汽管线及其它管线和筒体的热膨胀,否则火炬头蒸汽喷射环会被损坏,这方面的事故有的火炬已发生过.在这次火炬设计时充分考虑了这个问题,都预留了膨胀空间,未出现因膨胀引起的管线弯曲、零部件被顶坏等问题.

## 4 火焰的脉动

如果蒸汽压力小于  $0.7\text{kg/cm}^2$  (表压),预期的湍流或空气的进入没有足够的动力而无法无烟操作.反过来讲,太多的蒸汽将会冷却火焰,导致火焰的不稳定燃烧而熄灭.废气被热区重新点燃又在千分之一秒的时间内被熄灭,引起火焰的不稳定燃烧,结果低频噪声在几公里内都能听到.

蒸汽喷射的效率可用一铃形曲线来表示<sup>[2]</sup>,见图 2

这条曲线适合于所有气体/烃类的比率,它将随不同的气体组成而变化.对不饱和烃蒸汽如乙烯、丙烯、丁二烯,蒸汽流率将增加.对惰性组分如氮气、二氧化碳或水蒸汽,流率将减少.饱和烃类或别的气体如一氧化碳、氢气,也将减少蒸汽流率.

在某点,增加蒸汽提高燃烧效果,减少烟雾,因为所有废气都参与燃烧,超过合适的比率,无烟燃烧率将会很快下降.

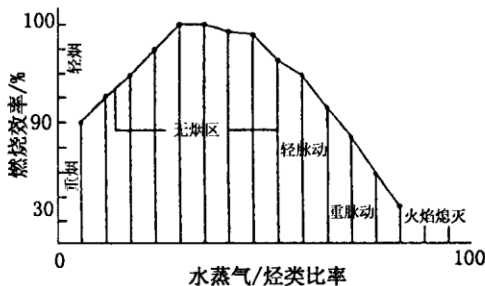


图2 蒸汽喷射的效率图

## 5 火炬头内径和安装高度

火炬的优化设计除前述的几个方面外,火炬头内径和火炬的安装高度也是两个重要的参数.

火炬头直径的确定主要由流体速度,即通过火炬头的介质最大流量和预期的平均流量的体积比、大致时间、频率来决定.在短时间内,在最大流量下,速度允许达到  $0.4 \sim 0.5$  马赫,在正常情况下,一般要求维持在  $0.2$  马赫以下,才能稳定燃烧.火炬头出口直径可表示为:

$$D_{\min} = 2.523f\sqrt{W/(\rho \cdot V_c)}$$

式中  $D_{\min}$ ——火炬头最小直径(m);  $f = 1 \sim 2.58^{[3]}$ ;  $\rho$ ——操作条件下的气体密度( $\text{kg/m}^3$ );  $W$ ——气体的质量流量( $\text{kg/s}$ );  $V_c = \sqrt{KRT/M}$ ;  $K$ ——气体绝热指数;  $R$ ——气体常数,取  $8314 \text{ N} \cdot \text{M/KG 分子} \cdot \text{K}$ ;  $T$ ——操作条件下的气体温度(K);  $M$ ——气体的分子量.

火炬头安装高度主要取决于能否保证火炬头辐射热强度对人体及设备的安全.

安全的辐射热强度如下<sup>[1]</sup>:对人体  $q < 4000\text{kW/m}^2$ ; 对设备  $q < 8000\text{kW/m}^2$

火炬安装高度计算:

(1) 无风时

$$h_f = \sqrt{\frac{\epsilon Q}{4\pi q} - X^2} - \frac{h}{3} + h_t$$

(2) 有风时

$$h_f = \sqrt{\frac{\epsilon Q}{4\pi q} - (X - \frac{h}{3} \sin \varphi)^2} - \frac{h}{3} \cos \varphi + h_t$$

式中  $h_f$ ——火炬筒体高度(m);  $\epsilon$ ——热辐射率(取 0.20);  $\varphi$ ——火焰倾斜度;  $\varphi = \arctg(V_w/V_c)$ ;  $V_w$ ——火炬出口平均风速(m/s);  $V_c$ ——火炬出口处气体线速度(m/s);  $q$ ——火炬辐射热强度(kW/m<sup>2</sup>);  $X$ ——最大受热点至火炬筒体中心线的水平距离(m);  $h$ ——火焰高度(m);  $h_t$ ——最大受热点至地面的垂直距离(m);  $Q$ ——火炬放出的总热量(kW·h);  $Q = 2.78 \times 10^{-7} H_v \cdot G$ ;  $H_v$ ——气体低发热量(J/kg);  $G$ ——气体质量流量(kg/h)。

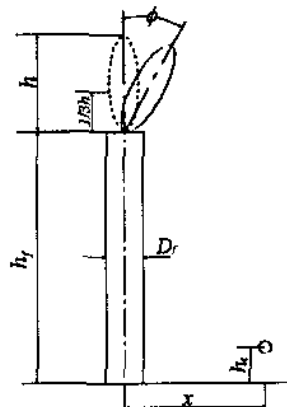


图3 火炬计算简图

上述的几个方面都是优化设计火炬的关键,本文旨在引起有关设计人员的重视。火炬设计是很复杂的问题,尤其是随着国家环保法规的制定,公众环保意识的增强,真正做到火炬适应性强,还要作大量的工作,如封闭式火炬,无可见光,无噪声,无热辐射,能产生最大的效率,具有更好的安全性,无烟燃烧等。虽然它们比塔架式火炬昂贵,但它们在操作上具有更大的潜力。

### 参 考 文 献

- 1 北京石油化工总厂. 轻柴油裂解年产量三十万吨乙烯技术资料. 北京: 化学工业出版社, 1979
- 2 Ashutosh Garg. Revamp fired heaters to increase capacity. *Hydrocarbon Processing*, 1994, (10): 67 ~ 80
- 3 陈二君, 王永祥. 11.5 万吨乙烯  $\phi 1000$ mm 无烟火炬头改进设计. 化工设备设计, 1992, (1): 8 ~ 11
- 4 梁基栋, 朴春子. SHJ9-89 石油化工企业燃料气系统和可燃性气体排放系统设计规范. 北京: 中国石化总公司北京设计院, 1989

## Optimizing design for flare stack in refinery

Dou Shishan Wang Hongjun Li Ming Song Fenglai Jiang Hang Shan Lianzheng  
(Huadong Prospecting & Design Research Institute CNPC. P. C 266300 Jiaozhou city, Shandong Province)

**Abstract** For the reference of relative designer, this paper gives a primary research on the design of flare stack and flare tip, and makes a summary on some way of reasonably designing flare stack, combined with a designed flare stack for a  $30 \times 10^4$  t/a FCCU in a refinery.

**Key words** flare stack flare tip optimizing design