

火炬系统中排放管网与放空罐参数分析及系统优化详解

张 领 (辽宁华正工程设计有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 火炬设施是石油化工企业安全稳定运行的最后一道保障措施, 通过某石油化工企业火炬设施的计算和参数选取, 介绍了火炬系统排放总管、火炬气放空罐、火炬高度的计算方法, 为火炬系统的设计提供了思路。

关键词: 火炬系统; 排放管网; 放空罐; 参数; 系统优化

0 引言

我国的能源工业伴随着改革开放和经济发展经历了一轮又一轮的变革, 截至 2022 年中国千万吨及以上炼油厂已经增加至 33 家, 成为世界第一炼油大国。2022 年中国总炼油能力超 9.8 亿 t, 美国总炼油能力约在 9 亿 t/a, 中国炼油能力已经超过美国领跑全球。大型石油化工企业及炼化一体化企业生产装置多、生产流程复杂、产品及原料种类多样, 全厂性排放系统作为炼化企业运行安全的最后一道防线, 在生产装置运行过程中接收装置排放的各种可燃性排放气, 在装置开停工及各种事故工况下承担装置紧急排放的任务。全厂性排放系统的设计水平高低、直接决定了石化生产企业能否长周期安全稳定高效运行, 本论文将从几个角度重点解析石化企业全厂性排放系统设计中的要点。

1 放空管网

放空管网主要是承担各装置放空气的收集功能, 在设计过程中放空系统的分级和管径的确定是设计的要点, 根据排放气的组分、放空温度、装置的放空背压不同、全厂性排放管网一般按压力可分为低压排放系统 (排放背压一般设定为 50kPa)、高压排放系统 (排放背压一般设定为 200kPa), 有些企业还会根据装置排放的需要设置超低压排放系统。

根据排放介质的不同, 一般分为烃类火炬排放系统、酸性气排放系统、含氨排放系统等。

根据排放的温度不同, 还分为热火炬和冷火炬排放系统。

放空管网管径的大小主要由放空气的体积流量决定, 国内现行规范中《石油化工可燃性气体排放系统设计规范》SH3009-2013 对多套工艺装置可燃性气体排放量叠加原则作出了如下要求:

全厂最大排放量不考虑所有装置同时最大量排放;

每个排放系统在同一事故中的最大排放量, 按影响系统尺寸的某个装置的最大排放量的 100% 与其余装置的排放量的 30% 之和计算 (体积流量), 但不应低于该系统中两个不同装置最大单点排放量的总和。

例如国内某企业的高压排放系统的放空量统计表如下:

装置名称	排放量	分子量	排放温度	允许背压	体积流量	备注
	t/h		°C	MPa·g	10 ⁴ Nm ³ /h	
25 万 t/a 气分装置	128.63	42.00	47.00	0.40	6.8604267	停电
150 万 t/a 渣油加氢 装置	84.17	4.19	150.00	0.30	45	停电
50 万 t/a 汽油加氢 脱硫醚化 装置	33.88	60.59	84.65	0.35	1.2525367	停电、 停水
15 万 t/a 异辛烷装 置	109.33	58.12	57.40	0.35	4.2134691	停电、 停水

140 万 t/a 柴油 加氢改质 装置	59.56	15.35	200.00	0.35	8.6907622	
-------------------------------	-------	-------	--------	------	-----------	--

根据规范中要求的叠加原则, 该系统的最大排放量应为 $57.39 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$ 。在得到了排放气的总排放量之后即可以对放空气管网的管径进行计算, 在工程设计领域中已经普遍采取了使用流程模拟软件进行模拟分析的方式进行排放管网管径的计算, 如 PIPE PHASE、FLARE NET 等模拟软件。

本文中主要针对《石油化工可燃性气体排放系统设计规范》SH3009-2013 中给出的计算方式进行阐述。

根据《石油化工可燃性气体排放系统设计规范》SH3009-2013 中的要求, 应从火炬头开始反算全厂可燃性排放气体系统管网各装置边界处的各节点的排放背压, 各节点的排放背压应低于该点的允许背压, 管道摩阻损失采用下式计算:

$$\frac{fL}{d} = \frac{1}{M_a^2} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 \right] - \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 \quad (1)$$

式中:

f- 水力摩擦系数;

L- 管道当量长度 (m);

d- 管道内径 (m);

M_a - 管道出口马赫数;

P_1 - 管道入口压力 (绝压 kPa);

P_2 - 管道出口压力 (绝压 kPa);

其中水力摩擦系数按下式计算:

$$f = 0.0055 \left[1 + \left(20000 \frac{e}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (2)$$

式中:

e- 管道绝对粗糙度 (m);

Re- 雷诺数;

管道出口马赫数按下式计算:

$$Ma = 3.23 \times 10^{-5} \frac{q_m}{P_2 d^2} \left(\frac{ZT}{kM} \right)^{0.5} \quad (3)$$

式中:

q_m - 气体质量流量 (kg/h);

Z- 气体压缩系数 (取分段计算的平均值);

T- 排放气体的温度 (K);

k- 排放气体的绝热指数;

M- 排放气体的平均分子量;

在起点压力取 200kPa (绝压), 管道长度取 1330m, 气体排放温度取 200℃, 将数据带入计算公式, 由于规范提供的计算方式是等式两端均含有变量的试算公式, 在多次试算之后得到结果, 火炬系统的高压放空总管管径为 DN1100。

2 火炬分液罐

火炬一般分为高架火炬、封闭式地面火炬和开放式地面火炬, 由于封闭式地面火炬单体处理量较小, 且不能用于处理毒性为极度危害和高度危害的排放气体, 开放式地面火炬一般用于处理排放量非常大的排放气并需要很大的占地面积, 一般的石油化工企业不具备建设开放式地面火炬的条件, 大部分石油化工企业均采用高架火炬用于处理事故工况下的可燃气体紧急排放。

火炬系统一般由火炬气分液罐、火炬气水封罐、火炬塔架、火炬筒体、火炬头 (燃烧器) 火炬点火器以及配套的电仪系统组成, 其中火炬水封罐及分液罐的尺寸、火炬高度及消烟蒸汽量的计算是火炬工艺计算中的重点。

火炬卧式分液罐的尺寸计算公式如下:

$$D_{sk} = 0.0115 \times \sqrt{\frac{(a-1)q_v T}{(b-1)p\phi U_c}} \quad (4)$$

式中:

D_{sk} - 试算的卧式分液罐直径 (m);

a- 罐内液面高度与罐直径比值;

q_v - 入口气体流量, (Nm³/h);

b- 罐内液体截面积与罐总截面积比值;

p- 操作条件下的气体压力 (绝压), (kPa);

ϕ - 系数, 宜取 2.5~3.0;

U_c - 液滴沉降速度, (m/s)。

其中, 液滴沉降速度按下式计算:

$$U_c = 1.15 \times \sqrt{\frac{gd_1(\rho_l - \rho_v)}{\rho_v C}} \quad (5)$$

式中:

g- 重力加速度;

d_1 - 液滴直径, (m);

ρ_l - 操作条件下的液滴的密度, (kg/m³);

ρ_v - 操作条件下的气体密度, (kg/m³);

C- 液滴在气体中的阻力系数。

罐内液体截面积与罐总截面积比值 b 按下式计算:

$$b = 1.273 \times \frac{q_l}{\phi D_k^3} \quad (6)$$

式中:

q_1 —分液罐内储存的凝结液量, (m^3)。

罐内液面高度与罐直径比值按下式计算:

$$a=1.8506b^5-4.6265b^4+4.7628b^3-2.5177b^2+1.4714b+0.0297 \quad (7)$$

由上述数据可以知,经计算罐内液体截面积与罐总面积的比值 b 为 0.001,罐内液面高度与罐直径比值 a 为 0.032,液滴沉降速度 $U_c=6.985m/s$,设备长径比按 4 考虑得到设备的尺寸为直径 4.1m,筒体长度 16.4m。

3 火炬高度计算

火炬设计中火炬高度的计算是整个设计过程当中的核心,火炬高度的计算方法如下:

$$h_s = \sqrt{\frac{\varepsilon Q_f}{4\pi K} - (X - X_C)^2} - Y_C \quad (8)$$

式中:

h_s —火炬高度, (m);

ε —热辐射系数;

K —允许的火炬热辐射强度, (kW/m^2);

X —火炬筒体中心线至计算点的水平距离, (m)。

热辐射系数按下式计算:

$$\varepsilon = 5.846 \times 10^{-3} \times H_V^{0.2964} \times \left(\frac{100}{R_H}\right)^{1/16} \times \left(\frac{30}{D_R}\right)^{1/16} \quad (9)$$

式中:

H_V —排放气体的体积低发热值, (kJ/Nm^3);

R_H —空气湿度百分数;

D_R —火焰中心至受热点的距离, (m)。

其中,石油化工厂内部的各生产装置的允许热辐射强度按小于等于 $3.20kW/m^2$ 考虑,可得到火炬头高度应为 122m。

4 火炬头设计

火炬头是火炬设施中的核心设备,火炬燃烧器的设计应能够满足在各种工况(不同流量、不同组分)下安全稳定的无烟燃烧。并且噪声 ≤ 85 分贝。能够及时的处理生产装置事故状态下紧急放空时的排放量,在最大排放量下燃烧不脱火,又能保证最小量放空时不回火。

火炬燃烧器头部采用含 Ni 耐热合金 310SS,提高耐热耐蚀抗氧化性能,在 $1100^\circ C$ 时长期使用。火炬燃烧器与火炬筒体之间采用法兰型式连接。火炬燃烧器外表面喷涂有机硅耐热漆。为了保证适应火炬气排放

量的大范围变化,需设置用于稳定燃烧火焰的结构。在火炬燃烧器出口设置由耐高温合金(加涂高温陶瓷)构成的 S 型多孔聚火块,多个聚合块又形成一个稳火圈,聚火块(圈)是多种稳火装置的综合运用。其作用是在火炬头出口处建立一个高温燃气回流区作为点火源,从而保证火焰的稳定,由于每个聚火块上有孔,可在块后形成回流区,回流来的已燃热气与从小孔出来的混合气接触,靠分子扩散和湍流来输送点火能量,在小孔处形成“袖火”。同时对火炬燃烧器上部易损部件进行了高温陶瓷处理(聚火块、常明灯头、爆燃管等),使火焰与母材隔离。

5 分子封设计

为了防止火炬停用时空气进入火炬筒体内发生爆炸事故,火炬筒体内通入密封气体(氮气)。装置正常生产时火炬管网系统处于正压,空气侵入的可能性比较小。事故状态火炬气体的温度较高,停止放空后管网内气体急速冷却,火炬气体内的水分将发生冷凝作用,容易产生真空,引起空气从筒体顶端倒流入筒体内,形成爆炸性混合气体,从而可能产生回火,甚至发生爆炸。为了保护火炬筒体,火炬头处设置分子密封器。当无火炬气体排放时,向分子密封器充氮气,使其保持一定的正压。放空管道的起点处设置补密封气措施,在每次高温排放后,放空总管冷却出现真空前,通过补充氮气,防止由于真空渗入空气引起回火。分子密封器设有冷凝液排放口,保证无积液或雨水集聚。凝液排放至卧式水封罐。为防止冬季结冰,分子封排凝管线及内部均设置有蒸汽伴热设施。

分子密封器的结构在通用钟罩形式的基础上,采用空气漂浮及动力学设计,进行性能结构优化,使火炬密封氮气消耗最少,即能有效阻止空气倒流入火炬系统,并使火炬系统处于工作状态时,流动阻力最小。排液结构先进,可保证分子封根部死角不积液,确保该设备长期稳定工作。分子密封器设计压力 $0.35MPa$,设计氮气线速度 $0.01m/s$ 。

结语,火炬是全厂系统中保证生产装置安全稳定运行的关键装置,火炬的设计和计算每个环节都需要认证考虑,合理规划,尤其是火炬水封罐、分液罐、塔架结构及点火设施,更是重中之重。

参考文献:

- [1] SH 3009-2013. 石油化工可燃性气体排放系统设计规范(附条文说明)[S]. 中华人民共和国工业和信息化部,2013.