

火炬管网压力降计算

孙 琰, 杨宏泉

(中石化宁波工程公司工艺室, 浙江 宁波 315800)

摘要: 安置火炬排放系统, 排放管网的压力降计算, 是火炬系统设计的关键。

关键词: 火炬管网 压力降 计算分析

1 概述

在石化炼油等大型装置中, 为了及时处理生产中排放的易燃、易爆有毒气体, 并能处理开停车和事故时释放的大量气体, 保证装置安全正常运行, 往往都配套建设了火炬排放系统。

该系统的设计计算是化工设计的重要内容, 主要包括确定排放负荷和计算排放管网压降。排放管网的压力降计算, 是火炬管网管道直径选择和泄放装置选型的基础, 是火炬系统设计成败的关键。但由于火炬排放介质(工艺气体)的可压缩性, 介质压力在管道中是随着流经管道长度的变化而不断变化的, 其密度也随之不断变化, 所以介质压降和流速之间不能用简单流体阻力函数关系表达。

通常对单根火炬管道可采用常规的可压缩流体管道压降计算方法, 以管道入口处为计算压降的起点, 通过多次反复迭代试算可以计算出终点压力和管道压降; 而真实装置的火炬管网, 往往会有多个装置同时泄放, 这样由于互相间的影响(各股物流交汇处的压力必须相等), 若仍以常规压降计算方法沿流体流动方向进行计算, 会使本来就很繁琐的试差计算变得更加困难, 有时甚至无法进行计算。这一直是火炬排放管网设计的难点, 过去国内多采用半经验办理论的方法进行设计, 与实际情况易出现偏差, 给装置的运行带来隐患; 近年来国外学者研究出了一种基于出口压力的改进设计方法, 国外工程公司在实际设计中多采用此种方法并且效果良好。以下结合笔者实际工程设计经验, 对此方法进行介绍。

2 计算方法

2.1 计算原理

根据等温流动方程, 对于可压缩流体, 有如下关系式

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 = M_1^2 \left[\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) - \frac{fL}{D} \right] + 1 \quad (1)$$

由于 $M_1 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right) M_2$, 代入(1)式得:

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 M_2^2 \left[\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) - \frac{fL}{D} \right] + 1 \quad (2)$$

整理得:

$$\frac{fL}{D} = \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 \right] / \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 M_2^2 + \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \right] \quad (3)$$

根据气体马赫数 M 的定义可知:

$$M = \frac{u}{u_c} = \left(\frac{W}{PA} \right) \times \left(\frac{ZRT}{KM_g} \right)^{1/2} \quad (4)$$

摩擦系数 f 可查莫诺图或由下式确定(需要迭代计算):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \lg \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (5)$$

$$Re = \frac{WD}{A\mu} \quad (6)$$

计算出 f 后, 结合式(3)(4)在给定泄放介质参数和泄放管道直径 D 、长度 L 的情况下, 可求得 $\frac{p_2}{p_1}$ 。

在火炬管网中由于末端压力往往是一恒定值(即出口压力 p_2 为已知值), 所以用上述公式即可求出入口压力 p_1 和压差。

另外, 在式(3)的基础上以 $\frac{p_2}{p_1}$ 对 fL/D 作图, 可得图一。利用该图可以进一步简化计算过程, 快速求取结果。

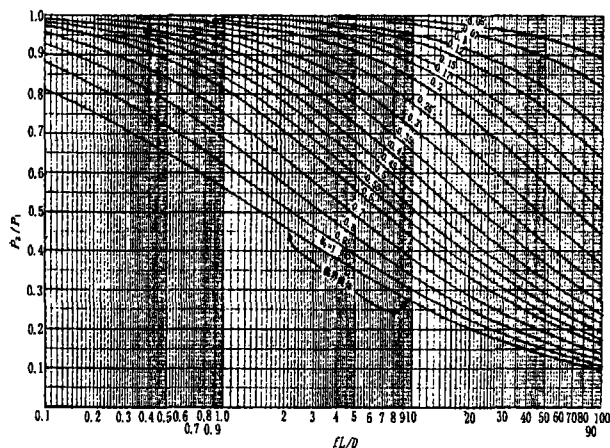


图1 气体等温流动算图

当为多股物流泄放时, 混合后相关物性参数可由下式确定:

$$Mg = \sum W_i / \sum (W_i / Mg_i) \quad (7)$$

$$K = \sum K_i W_i / \sum W_i \quad (8)$$

$$T = \sum T_i W_i / \sum W_i \quad (9)$$

$$\mu = \sum X_i \mu_i M_i / \sum (X_i M_i)^{0.5} \quad (10)$$

式中各符号含义如下:

A-管道截面积, m^2 ; f -摩擦系数; D -管道直径, m ; u -气体流速, m/s ; L -管道当量长度, m ; u_c -当地音速, m/s ; M -气体马赫数; ε -管道粗糙度, m ; Mg -气体分子量; μ -泄放介质粘度, cp ; P -气体压力, Kpa ; A -泄放介质密度, Kg/m^3 ; R -通用气体常数, $8314J/(kmol.K)$; Re -雷诺准数; T -泄放温度, K ; W -泄放介质质量流量, Kg/s ; Z -气体压缩因子。下标 1 表示泄放气体管道的特性参数; 下标 i 表示第 i 股泄放气体的特性参数。

2.2 计算步骤

火炬排放管网压降计算的步骤如下:

(1) 根据火炬排放管网连接情况,绘制管网简图,合理分段标注每个节点代号,以利于逐段分析计算;

(2) 确定各段火炬排放管流量 W 、泄放温度 T 、分子量 M_g 及绝热指数 k ;

(3) 根据常规方法估算各段管径 ($D=0.5945\sqrt{\frac{W}{pu}}$);

从火炬管网出口处或压力恒定处开始,根据公式 $\left(\frac{W}{P_2 A_2}\right) \times \left(\frac{ZRT_2}{KM_g}\right)^{1/2}$ (4) 计算出出口流体马赫数 M_2 。由于泄放气体的流速达到当地音速时,会发生气阻现象,从而引起管道震动和流体噪音,所以为了保证火炬气的安全排放的,应使 $M_2 < 0.7$;

(5) 根据公式 (5) (6) 计算 fL/D 值,然后再由式 (3) 或图 1 求得 P_2 ,进而由末端压力 P_2 计算得到起点压力 P_1 和该段管道压力降 ΔP ;

(6) 将下游管道的入口压力作为上游管道的出口压力,重复步骤 (3)~(5),逐段计算至所有泄放装置,求取管网各部分的压力降;

(7) 根据计算得到的各泄放装置的出口压力与泄放装置的 MABP(max. allowed back pressure) 校核所有泄放装置(通常为安全阀)的设计选型;

如果安全阀允许背压(MABP)小于该点处的压力,则应放大该泄放装置后管道尺寸减小背压;或改变安全阀型式使背压满足安全阀允许背压的要求;如果安全阀允许背压远大于该点处的压力,则可适当缩小该泄放装置后管道尺寸以节约投资;如果安全阀允许背压接近但大于该点处的压力,则表明该管道尺寸合适,满足要求。

应该指出,在设定各管段管道内径时,有一个经济权衡问题。一般对于较长的主管道应尽量减少其直径,以降低投资。在计算时对于不同管段可设定不同管道直径,进行多方案经济核算,在满足系统性能要求的前提下,优先选择投资最少的方案。

3 计算实例

现某烯烃厂有一火炬排放管网如图 2 所示。E 为火炬装置,高 76 米,管径 30"。该系统内有 4 个泄放点,分别为 A、B、C、D。各泄放点泄放量、泄放条件和管网各管段编号及长度分别见表 1、2(为了简化计算,假定泄放气体的绝热指数 $k=1$,压缩因子 $z=1$,这样结果是偏于安全的)。现对该管网管径和泄放装置背压进行校核计算,计算过程和结果如下:

表 1 火炬排放系统泄放条件

泄放点	A	B	C	D
泄放量 $W/(Kg \cdot hr)$	45360	31680	27360	54360
泄放压力 $Kpa \cdot G$	2070	760	540	2140
泄放温度 K	338	322	444	355
介质分子量 g/mol	40	60	55	80
MABP $Kpa \cdot A$	307	176	154	314

表 2 各管段管径迹长度

管网管段	hE	gh	ig	ci	Di	fg	Af	Bf
管道内径 D/mm	750	450	300	200	200	450	250	150
管道当量长度 L/m	76	300	60	55	30	35	90	45
摩擦系数 f	0.011	0.012	0.013	0.014	0.014	0.013	0.0135	0.015

首先根据各泄放点泄放量求取各段管道流量 W ,并由公式 (7)~(10) 计算得各段泄放气的温度 T 和泄放气体分子量 M_g 列入表 3。由于为原有管网所以根据管道直径计算出管道的当

量长度,结果见表 3。

然后由式 (4) 求得火炬装置末端(即 A 点处)的马赫数:

$$M_2 = \left(\frac{44.1}{0.44 \times 10^5} \right) \times \left(\frac{1 \times 8314 \times 359}{1 \times 56} \right)^{1/2} = 0.23$$

由 (5) (6) 迭代求得火炬装置 hE 段流体摩擦系数 $f=0.011$,然后由已知的 $M_2(=0.23)$ 和 $fL/D(=0.011 \times 76 \div 0.75=1.11)$ 查图一得 $P_2=0.975$,从而得出火炬装置的入口压力 $P_1=100 \div 0.972=103 kpa$ 。再以此压力作为 gh 管段出口处的压力 P_2 ,求得 gh 管段出口处的马赫数 M_2 ,重复以上步骤,可求得 gh 管段入口压力 P_1 。照此方法对各段进行计算,可得各段入口压力和阻力降,计算列入表 2。将各泄放点计算得出的相应管段入口压力 P_1 与最大允许背压 P_b 进行比较(表 3)。

表 3 各管段阻力降计算结果

管网管段	hE	gh	ig	ci	Di	fg	Af	Bf
管道截面积 A/cm^2	4420	1590	700	310	310	1590	490	180
介质流量 W	Kg/hr	158760	158760	81720	27360	54360	77040	45360
	Kg/s	44.1	44.1	22.7	7.6	15.1	21.4	12.6
平均分子量 g/mol	56	56	69	55	80	46	40	60
平均温度 T/K	359	359	385	444	355	331	338	322
fL/D	1.10	8.00	2.60	3.85	2.10	1.01	4.86	4.50
P_2/P_1	0.971	0.435	0.905	0.888	0.988	0.929	0.867	0.754
管道出口压力 $P_2 \text{ Kpa} \cdot A$	100	103	237	262	262	237	255	255
管道入口压力 $P_1 \text{ Kpa} \cdot A$	103	237	262	295	295	255	294	338
管道出口马赫数 M_2	0.23	0.65	0.28	0.23	0.34	0.3	0.26	0.39

由表 3 数据可知,计算得出的各泄放点的管段入口压力 P_1 较接近最大允许背压 P_b ,说明在给定的泄放工况下,该火炬排放管网管径和系统阻力降能满足装置运行的要求。

4 讨论

根据流体压降理论可知采用等温流动方程会高估管道压降,而应用绝热流动方程会低估管道压降。上述计算方法是基于泄放介质在各管段中作等温流动的假设,实际上,由于泄放介质与外界的热交换和其非理想性,实际状态处于等温和绝热流动之间。对于实际火炬管网,由于其 $L/D > 10$ 和 f 一般大于 0.01,两种方程计算的偏差已经不大于 4%,所以采用本方法对火炬排放管网的压降进行计算,其结果误差不大且是偏于保守(安全)的,加之此种方法特有的简捷实用,所以可以广泛适用于对火炬排放管网的设计和安全泄放特性快速校核工作中采用。

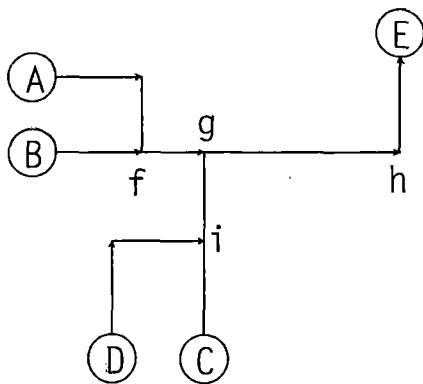


图 2 火炬排放系统简图