

某油库丙烯泄放系统的核算

吴如凡 (南京金陵石化工程设计有限公司, 江苏 南京 210042)

摘要: 为了避免系统超压时发生爆炸或者造成设备损坏, 需要设置泄放阀, 可以将超压气体泄放至大气或者其余设备中。安全阀及火炬管路作为泄放系统常用的泄压设施, 其计算选型十分重要。本文通过两种方法, 一种根据标准 HG/T 20570.2-95 以及 SH3009-2013, 一种通过 Aspen Plus 软件的安全分析功能, 对某油库丙烯球罐泄放系统进行核算。Aspen Plus 作为一款强大的化工过程模拟软件, 集成了丰富的物性参数, 在相关工艺计算中极具优势。

关键词: 安全阀; 火炬管路; Aspen Plus; 安全分析; 工程设计

1 概况

某油库液态烃罐组现有 4 台丙烯球罐, 每台球罐容积为 1000m^3 , 罐顶设有 2 台安全阀, 2 台安全阀并联使用。由于球罐建设时间较早, 油库周边没有相关火炬设施, 因此安全阀出口直接排空。根据《石油化工防火设计标准》50160-2008 (2018 年版) 第 6.3.13 条“液化烃储罐的安全阀出口管应接至火炬系统。确有困难时, 可就地放空, 但其排气管口应高出 8m 范围内储罐平台 3m 以上。^[1]”目前, 油库周边园区已建设有高架火炬, 拟新建火炬管线将 4 台球罐放空线接至火炬燃烧, 对现有安全阀尺寸以及泄放管线进行核算。

2 计算参数

2.1 安全阀核算

介质: 丙烯; 球罐直径 D: 12.3m; 操作压力: 1.8MPaG; 设计压力: 2.2MPaG; 操作温度: 常温; 计算依据:《安全阀的设置和选用》HG/T 20570.2-95。

2.2 泄放管路核算

介质: 丙烯; 终点压力: 106kPa; 管线长度: 9820m; 弯头个数: 440; 计算依据:《石油化工可燃性气体排放系统设计规范》SH 3009-2013。

3 计算结果

3.1 安全阀核算

按照火灾工况计算安全阀的泄放量, 根据公式 (1)^[2], 对于无保温情况的泄放量:

$$W = \frac{2.55 \times 10^5 \times F \times A^{0.82}}{H} \quad (1)$$

其中: F 为容器外壁校正系数, 对于地上不保温罐 F 取 1; 在顶部设有大于 $10\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ 水喷淋装置情况下取 0.6, 在《石油化工防火设计标准》50160-2008 (2018 年版) 8.10 条“液态烃罐区消防”

中对于液态烃储罐着火罐以及邻近罐冷却水供给强度要求不小于 $9\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$, 在常规的消防设计中, 常取 $9\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$, 因此 F 取 1^[1]。A 为火灾浸润面积, 取半球面积 238m^2 。H 为泄放条件下介质的汽化潜热, 取 $240\text{kJ}/\text{kg}$ 。

计算得泄放量 W 约为 $94400\text{kg}/\text{h}$ 。

根据公式 (2)^[2], 最小泄放面积按照临界流动条件来下计算:

$$a = 13.16 \frac{W}{C \sqrt{X} \sqrt{P}} \sqrt{\frac{ZT}{M}} \quad (2)$$

其中: P 为火灾泄放压力, 取设计压力的 121%。气体泄放选用全启式安全阀, C 取 0.6。X 为气体特性系数, 取 332。Z 为气体压缩因子, 取 0.67。T 为泄放温度, 取泄放压力下对应的温度 63°C 。M 为气体分子量, 取 42。计算得最小泄放面积为 5400mm^2 , 安全阀喉径为 83mm, 根据安全阀选型标准, 取入口管径为 DN150, 排出管径为 DN200, 原有安全阀选型满足要求。

3.2 泄放管路核算

按照单台球罐火灾事故下的泄放量考虑, 由于弹簧式安全阀要求背压不大于设计压力的 10%, 此时核算管径非常大, 不经济。故本次计算按照波纹管背压平衡式安全阀考虑, 其背压按不大于设计压力的 50%。

泄放管线按照等温情况考虑, 根据公式 (3)^[3]:

$$\frac{fL}{d} = \frac{1}{Ma^2} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 \right] - \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (3)$$

式中等式左右两边同时含有两个未知数, 用试算法求解。假设选用 DN450 管线, d 为管线内径, 取 0.46m。L 为当量长度, 取 18819m。P₂ 为管道出口压力, 取 106kPa。f 为摩阻系数, 根据公式 (4)^[3]:

$$f = 0.0055 \left[1 + \left(20000 \frac{e}{d} + \frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (4)$$

求得 f 为 0.017。Ma 为管线出口马赫数，根据公式 (5) [3]：

$$\text{Ma} = 3.23 \times 10^{-5} \frac{q_m}{p_2 d^2} \left(\frac{ZT}{\text{kM}} \right)^{0.5} \quad (5)$$

其中： q 为质量流量，取 94400kg/h。 Z 为平均压缩因子，取 0.81。 T 为排放气体温度，取 63℃。 k 为绝热指数，取 1.15。 M 为气体分子量，取 42。求得 Ma 为 0.32，带入 (3) 式中，求得 P_1 为 890kPa。判定条件如下：出口马赫数 $\text{Ma} \leq 0.7$ ， $P_1 \leq 1150\text{kPa}$ 。假设成立，故泄放管线最小为 DN450。

4 Aspen 安全分析

4.1 安全阀核算

Aspen 软件中有安全分析模块，可以直接对安全阀各种工况下的选型进行计算，由于集成了海量的物性参数，十分方便。软件中采用火灾工况，预先设置好操作压力、温度等参数。

据 API520，选用基于“Homogeneous Equilibrium Method”的 HEM 方法，该方法适用于单相及两相流，对于喷嘴直径大于等于 4 英寸的孔流有较好的模拟效果。计算方法选用 Wetted (API)，参数设置见表 1：

表 1 计算参数设置

Calculation Parameters	Value
Wetted Area Exponent	0.82
Drainage&Firefigting	Absent
Calculate Latent Heat	Yes
Latent Heat kJ/kg	231.4
Initial % Vaporized mol%	0.00
Final % Vaporized mol%	10.00
Sensible Heat	Exclude

表 1 的参数与公式 (1) 的各项参数相对应，其中初始和最终汽化含量使用的是软件默认的缺省值，并且在计算中不考虑介质的显热。球罐的参数设置见表 2：

表 2 容器参数设置

Vessel Parameters	Vessel 1
-------------------	----------

Specify Equipment Dimensions?	True
Exposed Area [m ²]	222.18914065313
Vessel Type	Sphere
Head Type	Hemispherical
Diameter [m]	12.3
Vessel Tan/Tan [m]	12.3
Liquid Level [m]	10
Elevation [m]	2.5
Maximum Flame Height [m]	7.62
Additional Area %	15
Calculate F Factor?	
Environment Factor F	1
Insulation k [Kcal/m/h/°C]	<empty>
Insulation Thickness [mm]	<empty>
Relieving Flow [kg/h]	92743
Heat Input [kJ/h]	21459637

除了容器的直径和高度，球罐的液位也是一个计算参数，本次计算液位取球罐储存的高液位，大约为 10m。参数中额外面积以及最大火焰高度均采用软件中的缺省值，得出泄放量为 92700kg/h，与公式 (1) 计算出泄放量 94400kg/h 接近，偏差不到 2%。

最后得到安全阀的尺寸参数，见表 3：

表 3 安全阀尺寸

Vessel Parameters	Vessel 1
Calculated Orifice [cm ²]	33.53
Selected Orifice [cm ²]	41.161P
Fraction of Full Lift	1
Rated Capacity [kg/h]	113829
Capacity Used [%]	81.4
Orifice Designation	4 P 6
In/Out Flanges	300×150

Discharge Coefficient (Kd)	0.975
----------------------------	-------

可以看到软件计算出的泄放面积为 33.53cm^2 ，这与公式 (2) 计算出的 54cm^2 数值相差较大，两者比值约为 0.62。这是因为 API520 对于安全阀泄放过程中的流动状态有单独的判定条件，流体根据背压的不同分为临界流与亚临界流，正常安全阀背压都小于临界流动压力。

而 HG/T 20570.2-95 则是根据劳动部颁发的《压力容器安全技术监察规程》中的规定，公式 (2) 对于全启式安全阀需要除以流量系数，这个流量系数对于全启式安全阀正好是 0.6。可以判断，HG/T 20570.2-95 计算出安全阀喉径可能偏保守，选择的安全阀参数偏大。

Aspen 根据计算喉径可以直接进行安全阀选型，即为 41.161P 型安全阀。从表 3 中还可以得出安全阀进出口的压力等级、额定泄放量、容积效率以及泄放过程中物性参数，见表 4。

表 4 泄放过程物性参数

Pressure barA	Temperature [°C]	Mass Quality	Density [kg/m ³]	Integrand [m ² /s ²]	Summation [m ² /s ²]	Mass Flux [kg/h/cm ²]
27.63	64.34	1.000	66.81	0.0000	0.0000	0.0000
26.53	62.29	0.9928	63.65	-1695	-1695	1334
25.47	60.26	0.9866	60.67	-1707	-3402	1801
24.45	58.26	0.9812	57.85	-1719	-5121	2108
23.47	56.27	0.9765	55.19	-1730	-6851	2326
22.53	54.31	0.9724	52.68	-1741	-8591	2486
21.63	52.37	0.9688	50.30	-1750	-1.034E+004	2604
20.77	50.45	0.9656	48.05	-1759	-1.210E+004	2691
19.93	48.55	0.9627	45.92	-1768	-1.387E+004	2753
19.14	46.67	0.9601	43.90	-1775	-1.564E+004	2796
18.37	44.81	0.9577	41.98	-1783	-1.743E+004	2822
17.64	42.97	0.9556	40.16	-1789	-1.922E+004	2835
16.93	41.16	0.9536	38.43	-1795	-2.101E+004	2836
16.25	39.36	0.9518	36.79	-1801	-2.281E+004	2829

4.2 泄放管路核算

Aspen HYSYS 中集成了 Aspen Flare System Analyzer 可以对火炬管网进行模拟计算，火炬管网涉及厂区

多套装置、多个泄放源，计算相对复杂。本次设计不考虑管网之间的相互影响，仅对管线管径进行简单的校核。泄放管路建模如图 1 所示，包括安全阀、水封罐、分液罐、火炬以及泄放管路。

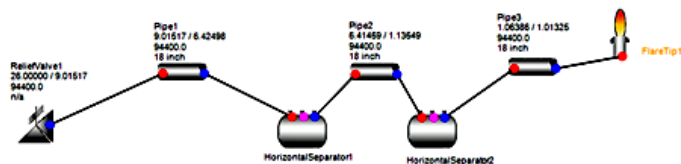


图 1 泄放管路模型

选取管径为 DN450，可以得出安全阀后背压为 9Bar，与公式 (3) 计算背压 8.9Bar 计算结果接近。图 2 为各节点压力曲线，各个参数一目了然。

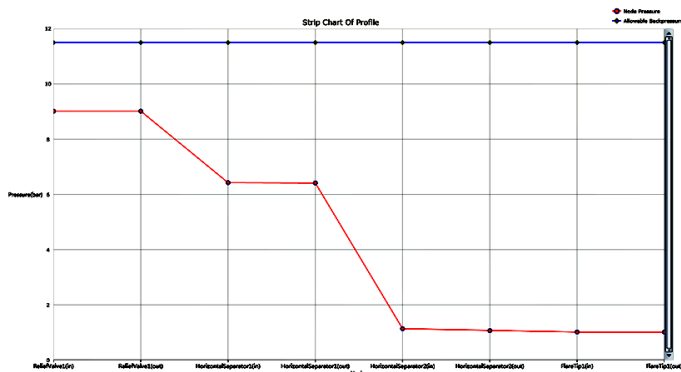


图 2 节点压力曲线

5 结论

本文通过核算某油库丙烯泄放系统，计算出丙烯球罐安全阀参数以及其泄放管线尺寸。从安全阀的计算结果可以看出国内规范与国外规范对于安全阀的计算选型存在差异，同一工艺设备如果依据的规范不同，计算的结果可能相差较大，这对工程设计人员对于规范的了解和掌握程度提出较高要求。Aspen 软件作为化工设计中常用的流程模拟软件，不仅拥有强大的流程模拟功能，其安全分析以及火炬管网计算能力也十分突出，对于提高工程设计效率以及工程计算精度帮助巨大。

参考文献：

- [1] GB 50160-2008 (2018 年版). 石油化工企业设计防火标准 [S]. 中国国家标准, 2018.
- [2] HG/T 20570.2-95. 工艺系统工程设计技术规定-安全阀的设置和选用 [S]. 中国化学工业部, 1996.
- [3] SH 3009-2013. 石油化工可燃性气体排放系统设计规范 [S]. 中国工业和信息化部, 2013.