

浅析瓦斯气分液罐的计算方法

张 鹰 吴如凡 (南京金陵石化工程设计有限公司, 江苏 南京 210042)

摘 要: 某石化企业付煤化工瓦斯气线缺少分液罐, 易产生积液, 造成输送堵塞以管线振动。本文通过采标 SH3009 以及 API521, 对比同种工况、不同标准计算卧式分液罐尺寸差异, 并计算相同标准卧式分液罐以及立式分液罐尺寸差异, 结合生产实际, 给出建议。

关键词: 瓦斯气; 卧式分液罐; 立式分液罐; 选型计算

1 概况

某石化企业付煤化工瓦斯气线规格为 $\phi 273 \times 8$, 管线操作压力为 5~6 barg, 温度为常温, 管线输量约为 20 t/h。瓦斯气由厂区内多套装置提供, 其中两套主要装置的瓦斯气组分见表 1 所示:

表 1 瓦斯气组分 (体积分数 %)

A 装置				
甲烷	乙烷	丙烷	丁烷	氢气
20	10	10	10	50
B 装置				
甲烷	乙烷	丙烷	硫化氢	氢气
50	20	10	10	10

瓦斯管线末端每天切液量约为 2 t, 凝液主要成分为水, 现在瓦斯管线末端进入用户前增加瓦斯分液罐。分液罐进出口管线同瓦斯气主线规格一致, 分液罐配有安全阀, 用于事故情况紧急泄压至火炬系统。分液罐设置积液包以及凝液线, 用来收集并导出分液罐中收集凝液, 积液包需要用蒸汽进行外伴热。

本文讨论工况由于瓦斯气自身压力较高, 可以自压至下游凝液收集系统, 如若压力不够还需设置凝液泵。分液罐还需设置压力、温度以及液位测量仪表, 周围需设置围堰, 围堰内还需设置可燃和有毒气体检测仪表。

2 选型计算

2.1 依据 SH3009 进行卧式罐尺寸计算

《石油化工可燃气体排放系统设计规范》SH3009-2013 作为石化企业可燃气体排放系统管网以及火炬设施的工艺设计常用的参考规范, 其中涉及分液罐的相关核心计算公式如下^[1]:

卧式分液罐试算直径计算方法:

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

分液罐液滴沉降速度计算方法:

$$U_c = 1.15 \times \sqrt{\frac{(\rho_l - \rho_v) g d_l}{\rho_v C}} \quad (2)$$

液滴阻力系数相关系数计算方法:

$$C_{Re}^2 = \frac{1.307 \times 10^7 d_l^3 \rho_v (\rho_l - \rho_v)}{\mu^2} \quad (3)$$

卧式分液罐直径校核计算方法:

$$D_{sk} \geq 1.13 \times \sqrt{\frac{q}{V_c} + \frac{q_l}{\phi \times D_k}} \quad (4)$$

式中:

D_{sk} 为卧式分液罐的试算直径 (m); D_k 为卧式分液罐的假定直径 (m); a 为罐内液面高度与直径之比; b 为罐内液面截面积与罐总截面积之比; ϕ 为常数, 取 2.5~3; q_v 为入口气体的流量 (Nm^3/h); p 为操作条件下的气体绝对压力 (kPa); T 为操作条件下的气体温度 (K); d_l 为液滴直径 (m); ρ_l 为操作条件下液滴密度 (kg/m^3); ρ_v 为操作条件下气体密度 (kg/m^3)。

规范中采用的试算法, 即先假设一个直径 D_k , 然后算出直径 D_{sk} , 在根据判定公式不停的调整 D_k 直到满足要求。分液罐从原理上讲就是一个气液分离设备, 在实际工程运用中可以近似看做是重力场中的自由沉降过程。

式 (2) 中的 U_c 求得就是颗粒的自由沉降速度, 其中 C 类似计算管道阻力损失中的 λ , 颗粒在沉降过程中根据雷诺数 Re 的不同也分为层流区 (斯托克斯定律区)、过渡区 (艾伦定律区) 和湍流区 (牛顿定律区), 其中 C 就是 Re 的函数^[2]。

规范中根据式 (3) 求出 C_{Re}^2 然后查图表得出 C 的值, 这个类似于管道阻力损失计算中的莫迪图。

将原始数据整理并带入公式 (3) 求得 C_{Re}^2 约为 42000, 由于瓦斯气实际的组分未知, 将两股气

按照分子量求平均可得瓦斯气的密度约为 6kg/m^3 ，液体的密度按 1000kg/m^3 考虑，查图得 C 约为 0.8。将 C 带入式 (2) 求得液滴的沉降速度约为 1.27m/s ，根据规范液滴的直径按 $600\mu\text{m}$ 考虑，表 2 罗列几种规格的分液罐试算结果。

表 2 SH3009 卧式分液罐试算结果

Dk (m)	Dsk (m)	a	b	L (m)	判别结果	V (m^3)
1	0.68	0.8	0.85	3	1.006	2.35
1.1	0.6	0.61	0.64	3.3	0.97	3.13
1.2	0.58	0.5	0.5	3.6	0.93	4.07

从表 2 可知，当 D_k 取 1.0m 时，算出的 D_{sk} 不满足公式 (4) 判定条件。当 D_k 取 1.1m、1.2m 时，满足公式判定条件。SH3009 同时还指出，卧式分液罐内最高液面之上气体流动的截面积（沿罐的径向）应大于或等于入口管道横截面积的 3 倍，通过核算，满足条件。

2.2 依据 API521 进行卧式罐尺寸计算

《Pressure-relieving and Depressuring Systems》API STANDARD 521 作为国际上权威的泄压和减压系统设计规范，在其中的 5.7.8 章节中有关于分液罐的设计内容。关于分液罐尺寸的计算，API521 在其正文中只提及了两个公式，即公式 (2) 及公式 (3)。在附录 C.3 中，API521 举了算例，具体的尺寸计算也是采用的试算法^[3]。

首先，计算凝液所占卧罐的截面积：

$$A_{t,1} = \frac{q_l}{L} \quad (5)$$

其次，计算 30min 内产生凝液所占卧罐的截面积：

$$A_{t,2} = \frac{m}{\rho} \times 30 \times 60 \times \left(\frac{1}{L} \right) \quad (6)$$

然后，计算液滴沉降时间：

$$\theta_1 = \frac{h_{t,1} + h_{t,2}}{U_c} \quad (7)$$

最后，计算卧罐剩余空间通过气体所用时间：

$$\theta_2 = \frac{L(A - A_{t,1} - A_{t,2})}{V} \quad (8)$$

纵观整个计算可以发现，如果液滴沉降时间小于等于气体通过进出口所经历的时间，理论上就能达到预期的分离效果。由于规范中分液罐针对的是火炬分液罐，根据公式 (6) (7)，在计算过程中考虑了火炬 20~30min 紧急泄放产生的凝液量。本

文讨论的是瓦斯气分液罐，假设管线输送是连续均匀的，不需要额外考虑 30min 的凝液量。

与 SH3009 不同，API521 计算卧式分液罐不仅需要假设 D ，还要假设 L 。

表 3 罗列几种规格的分液罐试算结果。由计算结果可知，当 D 取 1m 左右时，即可达预期分液效果。凝液体积为 2m^3 ，如果取 0.8 的充装系数，可以得出分液罐容积为 2.5m^3 。

表 3 API521 卧式分液罐试算结果

D (m)	L (m)	AL1 (m^2)	A-AL1 (m^2)	θ (s)	Lmin (m)	V (m^3)
1.1	2.7	0.74	0.21	0.23	1	2.6
1	3	0.67	0.12	0.16	1.2	2.4
0.9	3.6	0.55	0.08	0.13	1.5	2.3

2.3 立式罐尺寸计算

无论 SH3009 还是 API521，相较于卧式分液罐，立式分液罐的计算规定都要简单许多。SH3009 规定立式分液罐的直径：

$$D_k = 0.0128 \times \sqrt{\frac{q_v T}{p U_c}} \quad (9)$$

API521 规定立式分液罐的直径：

$$D = \sqrt{\frac{q}{U_c \times 0.785}} \quad (10)$$

式 (9) 中 D 按照立式罐内气相空间的气体上升速度等于液滴沉降速度的 80% 推导而得，而式 (10) 中 D 则按照立式罐内气相空间的气体上升速度等于液滴沉降速度推导而得。按照立式分液罐内气相空间的高度应大于或等于分液罐内径且不小于 1m，最高液位距入口管底应大于或等于入口管直径且不小于 0.3m，即可求得 H 。

表 4 立式分液罐试算结果

标准	D (m)	H (m)	V (m^3)
SH3009	1.2	3.5	3.4
API521	1.0	3.3	2.4

3 利用 Flaresim 复核计算结果

Flaresim 是一款评估火炬系统的热辐射以及火炬扰动的软件程序，它不仅可以估算火炬系统周围热辐射温度分布，也能分析具有多火炬堆栈的多火炬口的复杂系统设计，管道火炬、音速火炬以及液体燃烧炉可以通过使用一系列设计法则来建模。软件中有一个 KO Drums 模块，以 API521 标准为依

据，可以对分液罐进行简单的计算。将数据输入，得到结果如表 5 所示。

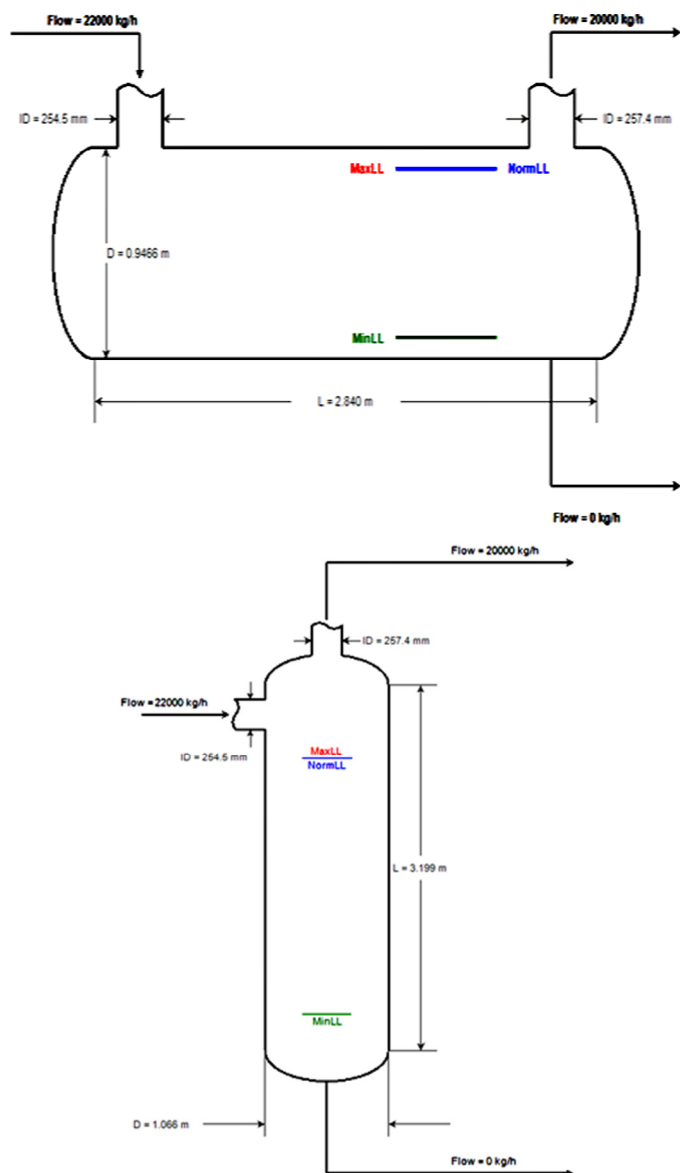


图 1 分液罐图形报告

表 5 Flaresim 试算结果

Gas Mass Flow	kg/h	20000	20000	20000	20000
Gas Actual Volume Flow	m ³ /h	3333	3333	3333	3333
Liq.Mass Flow	kg/h	2000	2000	2000	2000
Liq.Actual Volume Flow	m ³ /h	2.000	2.000	2.000	2.000
Calculation Type		Sizing	Sizing	Sizing	Sizing
Vessel Type		Horizontal	Horizontal	Vertical	Vertical
End Type		Ellipsoidal	Ellipsoidal	Ellipsoidal	Ellipsoidal
Initial Liquid Level	%	10.00	10.00	10.00	10.00

Max.Allowed Liquid Level	%	90.00	80.00	80.00	70.00
Liquid Holdup Time	s	3600	3600	3600	3600
Droplet Diameter	mm	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000
L/D Ratio		3.000	3.000	3.000	3.000
Capacity Ok		Yes	Yes	Yes	Yes
Diameter	m	0.9466	0.9799	1.066	1.123
Tan Tan Length	m	2.840	2.940	3.199	3.368
L/D Ratio		3.000	3.000	3.000	3.000
Droplet Diameter	mm	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000
Holdup Time	s	3600	3600	3600	3600
Liquid Level	%	90.00	80.00	80.00	70.00

可以看出，Flaresim 软件计算结果与 SH3009 以及 API521 手算结果相近。软件计算省去了复杂的试算过程，大大提高了计算效率。将计算结果输出为图形报告，如图 1 所示。

4 分析与结论

本文通过采用不同标准核算某石化瓦斯气分液罐，并用 Flaresim 软件进行复核，得出结论如下：

①对于卧式分液罐，采用 SH3009 计算所得尺寸比采用 API521 计算所得尺寸稍大，原因在于 SH3009 在判定卧式分液罐直径时考虑了气流二次带液的影响，其中判定公式（4）引入气液两相流理论，借助 Mandhane 相图加入临界流速一项，使得计算结果较 API521 大；

②对于立式分液罐，也有同样的结论。原因在于 SH3009 在计算气流速度时考虑 0.8 的折扣系数，使得结果偏大；

③相同条件下，卧式罐和立式罐的大小几乎一致，可以结合实际的工艺条件、管道安装现状以及占地情况的不同选择。

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 [S]. 北京：中国工业和信息化部，2013.
- [2] 夏清，陈常贵等. 化工原理（修订版）[M]. 天津：天津大学出版社，2007-1.
- [3] API STANDARD 521 SEVENTH EDITION. Pressure-relieving and Depressuring Systems[S]. JUNE 2020.