

油品储运中氮封储罐的氮气降耗措施研究

陈士臣 辛 真 (中海油石化工程有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 本文简要介绍了常压储罐氮封系统的设置方式, 通过计算氮封储罐的补氮速率、分析比较, 得出结论。当氮封储罐在平面布置、气相联通、储罐选型、保温及安全附件等方面采取一系列措施后, 可降低常压氮封储罐的补氮速率, 重点分析了储罐保温的影响。

关键词: 常压储罐; 氮封; 补氮速率; 氮气损耗

1 引言

随着经济的发展, 国家越来越重视安全生产和环境保护。近年来修订的《石油库设计规范 (GB 50074-2014)》、《石油化工储运系统罐区设计规范 (SH/T3007-2014)》、《石油化工企业设计防火标准 2018 版 (GB 50160-2008)》等标准规范, 均对储罐氮封系统的设置提出了新的要求。

2 常压储罐氮封系统

常压储罐氮封系统是指以氮气作为保护气体充入常压储罐顶部的一种保持储罐微正压的保护系统, 隔绝储罐内的介质与外界空气接触, 防止所储存的物料挥发、氧化或者吸水变性等, 同时也能起到保护容器安全的作用。如图 1 所示, 常压储罐氮气保护系统包含氮气源、氮气管线、氮封压力阀组、氮气管线压力检测、储罐内部压力检测等。

为响应《大气污染防治行动计划》, 满足有关规范、法规新提出的储罐氮封设置要求, 各石油化工企业开始针对 2014 年之前建设的未设置氮封的化工轻质油品储罐、轻石脑油储罐或者储存温度超过 120℃ 的重油固定顶罐等逐个排查, 对其逐个进行改造, 储罐新增氮封系统。目前不少企业遇到氮气消耗超出预估的共性问题。

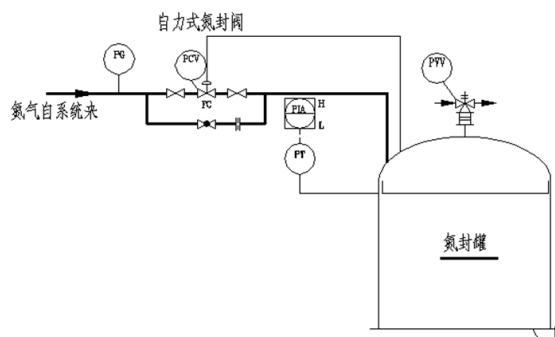


图 1 常压氮封系统设置流程图

影响储罐氮封系统氮气消耗量的因素很多, 比如罐容、储存液体性质等。其中最主要影响因素是大气温度降速度和液体出罐流量, 我们俗称储罐的

“小呼吸”、“大呼吸”。当大气温度降低或液体出罐时, 罐内气体压力低于氮封阀设定的压力值时, 氮封阀打开向罐内补入氮气, 高于此设定值时, 关闭氮封阀, 停止向罐内继续补入氮气。

下文将从不同氮封级别的补氮速率计算入手分析氮气的消耗量, 并从储罐平面布置方式、气相联通、储罐选型、保温及安全附件等方面讨论如何降低储罐的氮气损耗措施。

3 节氮措施

本文以某大型项目 10000m³ 的己烷固定顶储罐为例, 计算氮封用气量。己烷在 37.8℃ 时的饱和蒸气压为 37kPa, 闪点为 -22℃, 属于甲 B 类可燃液体。根据《石油化工储运系统罐区设计规范》: “储存沸点不低于 45℃ 或在 37.8℃ 时的饱和蒸气压不大于 88kPa 的甲 B、乙 A 类液体时, 若采用固定顶罐应设置氮气保护系统”^[1]。

实际设计过程中, 由于《石油化工企业设计防火标准》对罐区平面布置的要求, 甲 B 类可燃液体用内浮顶罐存储比用拱顶罐存储, 其储罐间距要小 0.2D (D 指储罐直径), 更节省土地。笔者会采用内浮顶储罐储存己烷, 无需固定顶罐加氮封的形式。本文旨意在于通过以此分析常压氮封储罐补氮量计算过程, 研究降低氮气损耗的措施。

3.1 基本公式

参照规范 API2000-2014 的附录 F, 三种氮封级别的补氮速率计算公式如下, 不同氮封级别所需的安全措施不同。

$$\text{公式一: } \dot{V}_1 = 0.1C \times R_i \times V_{tk}^{0.7} + \dot{V}_{pe}$$

$$\text{公式二: } \dot{V}_2 = 0.2C \times R_i \times V_{tk}^{0.7} + \dot{V}_{pe}$$

$$\text{公式三: } \dot{V}_3 = 0.5C \times R_i \times V_{tk}^{0.7} + \dot{V}_{pe}$$

其中, $\dot{V}_1$, $\dot{V}_2$, $\dot{V}_3$ 分别为第一、二、三级的氮封补氮速率, m³/h; 由公式看, 级别越高, 补氮流量越大, 耗氮量较大。

规范要求对于采用第一级别补氮速率的储罐,

应采取以下安全措施：①设置储罐气相空间压力低限报警，设定的报警值不低于呼吸阀设定负压；②设置在线氧含量监测；③呼吸阀阻火器应为长时间耐烧型大气爆燃型阻火器，阻火等级为ⅡA，耐烧时间不低于2h。

对于采用第二级别补氮速率的储罐，应采取以下安全措施：①设置储罐气相空间压力低限报警，并联锁关断储罐出口线阀门；②呼吸阀应安装大气爆燃型阻火器，阻火等级为ⅡA型。

对于采用第三级别补氮速率的储罐，应采取以下安全措施：①补氮速率应能确保储罐压力保持微正压；②应设置储罐压力低限报警，并联锁关断储罐出口线阀门，且联锁压力应高于大气压；③压力监测报警联锁系统采用冗余设计。

3.2 参数取值

3.2.1 储存因子

公式中的C为储存因子，与物料的饱和蒸汽压、储存温度和项目所在地地理纬度相关。

本项目的己烷储罐项目所在地为广东省惠州市，处于北纬23.06度，年平均温度为25度左右。储存因子C值选6.5。

3.2.2 储罐绝热消减因子

R_i 为储罐绝热消减因子，与储罐所采用的保温（保冷）方式有关；

①当储罐无保温时：

$$R_i=1$$

②当储罐整体采用保温时：

$$R_i = \frac{1}{1 + \frac{h \cdot l_{in}}{\lambda_{in}}}$$

③当储罐部分采用保温时

$$R_i = \frac{A_{inp}}{A_{TTS}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{h \cdot l_{in}}{\lambda_{in}}} + \left(1 - \frac{A_{inp}}{A_{TTS}}\right)$$

其中， A_{TTS} 是储罐的总表面积（包含罐壁及罐顶），单位： m^2 ； A_{inp} 是储罐保温层面积，单位： m^2 ； V_{ik} 为储罐容积，单位： m^3 ； V_{pe} 为最大泵出量，单位： m^3/h ； h 是内部热传导系数，单位： $W/(m^2 \cdot K)$ ，对于典型储罐通常取 $4W/(m^2 \cdot K)$ ； l_{in} 是保温层厚度，单位： m ； λ_{in} 是保温层的热导率，单位： $W/(m \cdot K)$ 。

液态己烷的熔点温度为 $-89^\circ C$ ，沸点为 $68^\circ C$ ，在广东地区存储无需做保温。为比较储罐在不同情况的补氮速率，本文假定己烷储罐罐壁做厚度为

0.04m厚的保温层（罐顶不保温），保温材料为憎水型复合硅酸盐，热导率 λ_{in} 为 $0.06W/(m \cdot K)$ 。 $10000m^3$ 己烷储罐的直径为30m，罐壁高16.5m，储罐拱顶高3.6m。通过计算，拱顶面积约为 $746m^2$ ，罐壁面积约为 $1554.3m^2$ 。即储罐的总表面积 A_{TTS} 约为 $2300.3m^2$ ，储罐保温层面积约为 $1590m^2$ 。将已知参数代入储罐部分保温计算公式， R_i 计算值为0.349。

3.3 补氮速率

3.3.1 计算结果

本项目己烷罐区具有装船功能，码头装船船型为3000~5000吨级，本罐区 V_{pe} 最大泵出量 V_{pe} 为 $350m^3/h$ ，储罐容积 V_{ik} 为 $10000m^3$ 。本项目储罐按第二级要求的安全措施，设置储罐气相空间压力低限报警；呼吸阀应安装大气爆燃阻火器，阻火等级为ⅡA型。上述做法也是常压储罐氮封系统的普遍做法。以上数值代入下列公式：

$$\dot{V}_2 = 0.2C \times R_i \times V_{tk}^{0.7} + \dot{V}_{pe}$$

经计算，1台 $10000m^3$ 己烷储罐补氮速率，即补氮流量为 $V_2=867m^3/h$ 。

3.3.2 结果分析

本文考虑几种不同保温情况下，分别计算补氮速率，列表如下：

表1 补氮速率计算表

	保温层厚度, m	罐壁保温	罐顶保温	R_i 计算值	补氮速率, m^3/h
10000m ³ 己烷储罐	0.04	是	-	0.349	867
	0.06	是	-	0.349	826
	0.08	是	-	0.349	803
	0.04	是	是	0.036	674
	不保温	-	-	1	1270

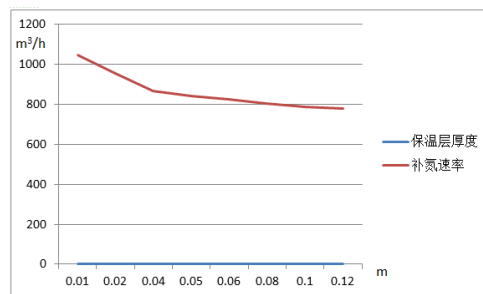


图2 不同保温层下氮封速率曲线

当储罐罐壁及罐顶都保温时，补氮速率为 $V_2=674m^3/h$ ，这与只做罐壁保温相差不大。除储存介质温度特别高的情况下，会特别要求罐顶保温。为减轻罐顶荷载，罐顶一般不做保温。而当储罐不做保温时，补氮速率为： $V_2=1270m^3/h$ ，显然不保温的补氮速率显著增大。由图2计算值曲线图：只做罐壁保温时，保温层厚度达到0.04m时为曲线拐点，

之后再增厚,补氮速率计算值下降趋于平缓。可见,保温层厚度取 0.04m 较为经济。

3.3.3 经济分析

1 台 10000m^3 己烷固定顶储罐保温层厚度为 0.04m 时,补氮速率为 $867\text{m}^3/\text{h}$;无保温层时,补氮速率为 $1270\text{m}^3/\text{h}$,比有保温层时增大 $403\text{m}^3/\text{h}$ 。假定一年中,补氮速率下折算的补氮时间为 1500h,装船时间也为 1500h,一年耗氮量约 $60.5 \times 10^4\text{m}^3/\text{h}$ 。炼厂的制氮成本约 0.5 元/ m^3 ,则每年在制氮上需多花成本约 30.25 万元。经测算,1 台 10000m^3 固定顶储罐保温层施工加材料费约 121 万元。此工况下,储罐保温施工后,可实现节约用氮,4 年即可收回成本。

4 节约用氮分析

4.1 储罐布置方式

API2000 规定,补氮总管应按各储罐所需补氮速率之和设计;如果共用一个氮气总管的多个储罐是相互独立的,且任一储罐的罐容均不超过总罐容的 20%,氮气总管的补氮速率可降低 50%。可见,为节约用氮,储罐布置时,应尽量将同品种、同类型和相同储存方式的储罐布置在一起。

4.2 罐顶气相线联通

同品种的氮封储罐经安全论证后,可联通罐顶气相线。此种情况下,当其中一个储罐进行物料泵送操作时,可通过储罐之间气相缓冲达到平衡,减少氮封阀的开启。API2000 中提到,若 5 个及以上储罐气相直接连通,计算补氮速率时,则可不考虑泵出量。

4.3 罐型选用

实践证明:储存同种物料,内浮顶罐与拱顶罐相比,至少可减少 90% 的油品蒸发损失。设计初期,各类需氮封的有特殊存储要求的液体化工品,尽量优先选用内浮顶储罐。其中,特别是甲 B、乙 A 类可燃液体,采用内浮顶储罐存储,可将储罐罐壁间距由 0.6D 缩小为 0.4D,大幅度节约了用地。氮封罐选用内浮顶型式,并做好内浮盘的高效密封,可减少温度升高造成的油品蒸汽呼出,减少补氮量。

4.4 罐体保温

本文通过对 1 台 10000m^3 己烷固定顶储罐的几种保温情况分别计算,结果分析表明,罐体保温层厚度适中情况下,对降低补氮速率起很大作用。

4.5 氮封罐配套安全措施

《石油化工储运系统罐区设计规范》要求,氮封罐的呼吸阀上应安装阻火器^[1]。若该阻火器为大

气爆燃阻火器,阻火等级为 II A 型时,由 3.1 中的公式二,“小呼吸”造成的补氮速率计算值相比安装普通型呼吸阀阻火器的储罐可降低 60%;若该阻火器为长时间耐烧型大气爆燃阻火器,阻火等级为 II A,耐烧时间不低于 2h,同时设置在线含氧量测量,由 3.1 中的公式一,“小呼吸”造成的补氮速率计算值,与安装普通型呼吸阀阻火器的储罐相比,则可降低 80%。

5 案例分析

某项目新建 3 台罐容为 10000m^3 苯储罐,项目所在地为广东省。苯为甲 B 类高度毒性的可燃液体^[1],储罐应做氮封并回收处理罐顶挥发气;苯的熔点为 5.5°C ,储罐罐壁做保温。己烷在 40°C 的饱和蒸汽压为 37.3kPa (a),苯在 40°C 的饱和蒸汽压为 24.4kPa (a),与己烷的蒸汽压相类似。查表,储存因子 C 为 6.5。苯具有装船功能,装船泵流量为 $350\text{m}^3/\text{h}$ 。为节约用地,且保证储罐本质上减少呼吸损耗,选用内浮顶罐型式。罐顶呼吸阀阻火器为大气阻爆燃型阻火器,阻火等级为 II A 型;储罐设置了气相压力过低报警,连锁切断储罐出料。将已知参数代入 3.1 中 V_2 计算公式,当保温层厚度为 0.04m 时,1 台 10000m^3 苯储罐补氮速率为 $867\text{m}^3/\text{h}$ 。本罐区共有 3 台苯储罐,经安全论证后,将罐顶气相联通,补氮量只考虑 1 台罐出料操作,即 3 台苯储罐补氮速率为 $1901\text{m}^3/\text{h}$ 。实际生产操作中,由于储罐气相联通,泵送作业时,联通的储罐之间先进行压力调整,实际发生补氮速率比计算值要低一些。

6 结论

为降低油品储运中的用氮量,常压氮封储罐应尽量采取以下措施:①储罐布置时,应尽量将同品种、同类型和相同储存方式的储罐布置在一起;②同品种的氮封储罐经安全论证后,可联通罐顶气相线。采用此种方式,可在计算储罐补氮速率时,酌情减少泵出物料造成的补氮量;③氮封罐选用内浮顶型式,浮盘和内浮顶罐壁之间采用高效密封,可减少温度升高造成的油品蒸汽呼出,减少补氮量;④罐体保温层厚度适中情况下,对减低补氮速率有很大的作用;⑤尽量完善氮封罐配套安全措施,配套安全附件级别越高,则安全性越高,可降低补氮的消耗量。

参考文献:

- [1] SH/T3007-2014. 石油化工储运罐区设计规范 [S]. 中华人民共和国工业和信息化部,2015.