

常压储罐氮封量计算方法分析与比较

孙金 喻长连^[通讯作者] 徐洪敏 (中国化学赛鼎宁波工程有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 本文分别根据 SH/T3007-2014 和 API2000-2014 两本规范分别介绍了常压储罐氮封量的计算方法, 同时对两种方法的计算结果进行分析比较, 给出每种方法适用范围及所需安全监测措施, 为化工企业氮封系统设计提供理论依据。

关键词: 常压储罐; 氮封; SH/T3007; API2000

中图分类号: TE972

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 028-0097-03

Analysis and Comparison of Calculation Methods for Nitrogen Sealing Quantity in Atmospheric Storage Tanks

Sun Jin, Yu Changlian^[Corresponding Author], Xu Hongmin (China Chemical Sedin Ningbo Engineering Co., Ltd., Ningbo Zhejiang 315000, China)

Abstract: This paper introduces the calculation methods for nitrogen sealing quantity in atmospheric storage tanks based on the standards SH/T3007-2014 and API2000-2014, respectively. The calculation results of the two methods are analyzed and compared, with the applicable scope of each method and the necessary safety monitoring measures provided. This study offers a theoretical basis for the design of nitrogen sealing systems in chemical enterprises.

Keywords: atmospheric storage tank; nitrogen sealing; SH/T3007; API2000

目前石化企业的储罐大多储存易燃、易爆、有毒、易挥发的物料, 通常在储罐气相空间充入氮气或其他惰性气体, 隔绝空气, 以防止储罐内物料挥发出的气相与空气中的氧气充分混合形成爆炸空间, 从而有效避免储罐遇明火或雷击发生爆炸起火的危险, 提升储罐本质安全性。在储罐内充入氮气或其他惰性气体后, 不仅可以减少有毒有害液体介质蒸发, 降低物料损耗, 同时可以有效的将物料与氧气隔绝, 避免储存物料变

质, 影响产品品质。这种通过向储罐内注入氮气或其他惰性气体以隔绝空气、防止氧化或爆炸的技术手段, 通常被称为氮封。采用氮封保护的常压储罐, 其操作压力通常为 $0.2\text{kPa}\sim 0.5\text{kPa}^{[1]}$ 。

1 氮封系统的设置原则

常压储罐的氮封系统通常由压力变送器、氮封阀、前后切断阀、止回阀、旁路及相应连接管道组成^[4], 同时配备呼吸阀及泄压人孔, 图 1 及图 2 为两种典型

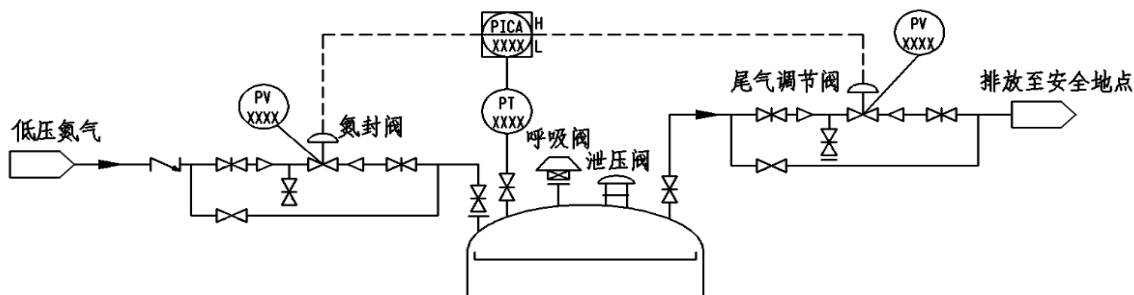


图1 先导式开关型调节阀氮封系统

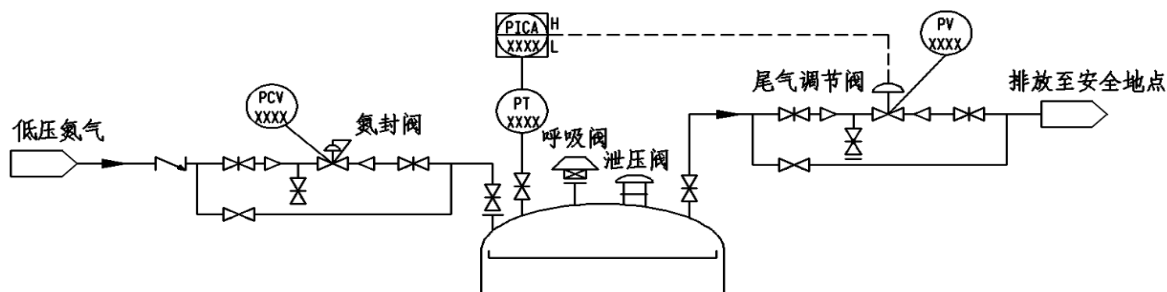


图2 自力式调节阀氮封系统

的氮封系统流程。根据不同的工作原理,氮封阀可分为自力式调节阀和先导式开关型调节阀。实际应用中当储罐向外泵送物料或环境温度突然降低时,储罐气相压力降低,低于氮封阀设定值时,氮气调节阀打开,通过氮气管道向储罐充入氮气;当储罐向外输送进料或环境温度突然升高时,储罐气相压力升高,高于氮封阀设定值时,氮气调节阀关闭;若罐内气相压力继续升高,达到尾气调节阀设定压力时,尾气调节阀打开,通过尾气管道向外排气,以维持储罐内气相压力平衡。当氮气补入量不足以满足储罐负压所需补入的气量,或是尾气管道不能及时排出储罐正压所需排出的尾气量时,可以通过呼吸阀有效的补入或者排出气体,时刻维持储罐微正压。当发生火灾时,大量的物料蒸汽可以通过泄压人孔迅速排出,有效防止储罐因超压导致筒体炸裂。

1.1 独立的氮封系统

推荐每台储罐设置独立的氮封系统,同时设置单独的流量监测仪表。当多台储罐共用同一套氮封系统时,若调节阀组发生故障或失效,氮气供应中断,则会使所有储罐同时失去惰性气体保护,从而扩大安全风险,提升发生火灾、爆炸或物料变质等事故的可能性。同时,共用氮封调节阀组,储罐之间通过氮封管线间接进行了气相连通,进一步提高了储罐联锁爆炸的可能性。单独的流量监测仪表可以随时监测每台储罐的氮气流量,方便企业统计分析每个用气点的数据。

1.2 氮封阀组应位于罐顶

在氮封系统的设计时,为了能及时准确测得储罐气相空间的压力,实时监测储罐运行状态,需将氮气调节阀的引压口设置在罐顶。氮封阀后操作压力通常为 0.2kPa~0.5kPa,为了减小氮封阀后流体阻力降,持续维持储罐在密闭条件下保持气相平衡,因此需将整个氮封阀组设置在罐顶。有条件的情况下尽量将氮气接入口靠近呼吸阀,这样通入的氮气可以有效稀释呼吸阀附近物料的蒸汽,降低呼吸阀排出的 VOCs 浓度,减少大气污染,但这样的设置势必会增加氮气的消耗量,因此在设计时通常会让氮封口和呼吸阀口保持 2m 左右的距离,这样既能有效稀释 VOCs 中物料浓度,又能减少氮气量的消耗。

2 常压储罐氮封量计算方法

根据中国石化安技【2018】33 号文《石油化工企业储罐区罐顶油气连通安全技术要求(试行)》的规定,氮封系统的供气能力需满足两方面需求:其一是补偿泵送操作过程中因储罐液体抽出造成的气体体积损失;其二是覆盖环境温度波动引起的罐内气体收缩效应所需的部分补气量^[2]。这里储罐液体抽出造成的气体体

积损失,应根据储罐最大出液量来确定,而外界温度降低引起储罐气体收缩的补气量则可根据国外标准 API2000-2014《Venting Atmospheric and Low-pressure Storage Tanks》和国内标准 SH/T3007-2014《石油化工储运系统罐区设计规范》进行计算。在实际工程设计中,必须综合考量诸如储存物料特性、储罐保温方式、储罐容量及储运工艺等多种因素。下面分别介绍两种规范计算由于温度变化引起氮气消耗的方法。

2.1 SH/T3007-2014 计算方法

SH/T3007-2014《石油化工储运系统罐区设计规范》表 5.1.6 明确给出了不同容积储罐由于大气最大温降引起罐内气体收缩造成储罐吸量和因大气最大温升导致罐内气体膨胀呼出量^[1]。该表以储罐容积和储存物质的闪点为条件,列出了不同罐容储罐热吸入量和热呼出量。从表中数据可以看出,储罐的热吸入量仅与储罐中物料的闪点及储罐容积相关,当储罐容积与列表不一致时,可以采用内插法,求出储罐因温差变化所需的氮封量^[5]。此种方法计算简单、取值保守。

2.2 API2000-2014 计算方法

API2000-2014 则主要适用于储罐操作压力不超过 103.4kPaG 的常压储罐或低压储罐,根据储罐是否配备制冷系统,分别给出制冷罐和非制冷罐计算公式^[3]。对于非制冷常压储罐来说,由于气温降低引起的热吸入量计算公式如下:

$$V = C \cdot R_i V_{tk}^{0.7} \quad (1)$$

同时非标准附录 F 提供了三种级别的氮封量及不同级别氮封所需安全监测要求,具体详见表 1。

表 1 不同级别氮封量计算表及安全监测要求

氮封级别	氮封流量公式	安全监测要求
1 级	$V_1 = 0.1C \cdot R_i V_{tk}^{0.7} + V_{pe}$	①储罐气相设置压力低报警,且报警值应呼吸阀设定吸入压力值; ②罐顶气相设置氧含量分析仪,动态监测氧气含量;③呼吸阀自带阻火器,且阻火器为耐烧阻爆燃型阻火器,阻火等级 II A 级,耐火时间 ≥ 2h。
2 级	$V_2 = 0.2C \cdot R_i V_{tk}^{0.7} + V_{pe}$	①储罐气相压力低报警并连锁关闭出料阀; ②呼吸阀具有大气爆燃阻火功能,阻火等级 II A。
3 级	$V_3 = 0.5C \cdot R_i V_{tk}^{0.7} + V_{pe}$	①补气速率应能保证储罐压力处于大气压以上; ②储罐气相设置压力低报警并连锁关闭出料阀,且连锁压力大于大气压; ③至少应设计两套压力监测报警连锁系统。

式中: V_i —不同级别氮封流量, m^3/h ; C —储存因子, 详见表 2; R_i —储罐绝热消减因子, 当储罐无保温时, $R_i=1$; V_{tk} —储罐容积, m^3 ; V_{pe} —最大泵出量, m^3/h 。

表 2 储存因子 C

纬度	储存因子 C			
	蒸气压 $\approx 17\text{kPaA}$		蒸气压 $> 17\text{kPaA}$ 或未知	
	平均储存温度 (°C)			
	< 25	≥ 25	< 25	≥ 25
$< 42^{\circ}$	4	6.5	6.5	6.5
$42^{\circ}\sim 58^{\circ}$	3	5	5	5
$> 58^{\circ}$	2.5	4	4	4

3 工程案例分析与比较

以天津某项目甲醇储罐为例, 用不同计算公式计算不同操作工况下储罐所需氮封量。储罐为常压内浮顶罐, 储存温度为常温。储罐直径 16m, 罐壁高度 16m, 容积为 1000m^3 , 闪点为 12°C , 储罐最大泵出量为 $250\text{m}^3/\text{h}$, 20°C 时饱和蒸气压为 12.26kPaA , 储存因子 $C=6.5$ 。

根据 SH/T3007-2014 要求, 单台储罐氮封量由两部分组成, 一部分为泵抽出储罐内储存的液体所需补充的氮封量, 为 $250\text{m}^3/\text{h}$; 另一部分为因环境温度降低引起的氮气补充量, 通过查 SH/T3007-2014《石油化工储运系统罐区设计规范》中表 5.1.6 为 $169\text{m}^3/\text{h}$, 由于氮封压力为 0.35kPaG , 该工况接近于大气压力条件, 因此单台储罐所需的氮封量为两者之和, 约等于 $419\text{Nm}^3/\text{h}$ 。此种计算方法可简单估算储罐所需氮封量。

按照 API2000-2014 计算, 泵抽出储罐液体所需补氮量为 $250\text{m}^3/\text{h}$; 因气温降低引起气体的收缩量, 这里我们采用单一变量法, 计算不同操作工况下所需补氮量。若储罐为全保温时, $R_i=R_{in}$, 计算公式如下:

$$R_{in} = \frac{1}{1 + \frac{h \cdot l_{in}}{\lambda_{in}}} \quad (2)$$

根据项目统一规定, 储罐保温厚度为 $l_{in}=0.08\text{m}$, 储罐内部传热系数 $h=4\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 保温材料导热系数为 $\lambda_{in}=0.041\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 计算得出 $R_{in}=0.114$ 。若储罐仅为罐壁保温时, 计算公式如下:

$$R_{in} = \frac{A_{imp}}{A_{TTS}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{h \cdot l_{in}}{\lambda_{in}}} + (1 - \frac{A_{imp}}{A_{TTS}}) \quad (3)$$

经计算得: 储罐总表面积 (罐壁 + 罐顶) $A_{TTS}=1065.09\text{m}^2$, 罐壁面积 $A_{imp}=803.84\text{m}^2$, $R_i=R_{in}=0.331$ 。

根据公式 (1) 及表 1 中公式计算出储罐在无保温、全保温和半保温条件下, 采用不同安全监测措施时, 储罐所需氮封量, 具体详见表 3:

表 3 不同工况下氮封量

	无措施氮封量	1 级氮封量	2 级氮封量	3 级氮封量
无保温	1766	427	603	1133
半保温	584	308	367	542
全保温	201	270	290	350

4 结论

通过比较两种规范的计算结果可以得到如下结论:

①通过 SH/T3007-2014 计算储罐所需氮封量和 API2000-2014 计算的半保温储罐结果相近, 若储罐采用保温则可以大大减少储罐由于温度骤降引起的补氮量, 因此工程实践中, 若工厂无法提供大量瞬时氮气, 则可以通过增加储罐绝热层的方式减少氮封量, 进而降低运行成本。

②根据 API2000-2014 附录 F 要求, 若储罐安装了阻火呼气阀, 有效阻止外界火焰通过管道进入储罐, 提高了储罐的本质安全性, 则可以适当减少氮封量。

③比较不同安全监测措施下储罐所需氮封量, 得出: 对于全保温和半保温的储罐, 不同级别的氮封量差距不大, 因此企业可根据自己实际生产情况设置储罐安全监测措施; 对于无保温储罐, 3 级氮封量为 1、2 级氮封量的 2~3 倍, 因此企业可以通过安装阻火呼气阀的方式有效减少氮封量; 2 级氮封安全监测措施为储罐常用做法, 同时较 1 级安全措施减少了氧含量分析仪的安装, 因此推荐企业采用此种方法。

参考文献:

- [1]SH/T3007-2014. 石油化工储运系统罐区设计规范 [S]. 北京: 中华人民共和国工业和信息化部, 2014.
- [2]中国石化安技【2018】33 号文. 石油化工企业储罐区罐顶油气连通安全技术要求 [S]. 北京: 中国石油化工集团公司, 2018.
- [3]API2000-2014. Venting Atmospheric and Low-pressure Storage Tanks[S]. Washington, DC: American Petroleum Institute, 2014.
- [4]王洪昌. 常压储罐氮封系统设计 [J]. 山东化工, 2021, 50 (10): 174-176.
- [5]田甜. 常压储罐氮封系统供气量计算方法探讨 [J]. 山东化工, 2018, 47(9): 95-98.

作者简介:

孙金 (1989-), 女, 汉族, 山东巨野人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 石油化工行业储运设计。