

液化天然气低温储罐吹扫干燥方法及应用研究

吴万斌（鄂尔多斯市水发燃气有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 017000）

摘要：本文以案例储罐为研究视角，给出了吹扫处理任务，明确了相关技术要求，梳理了吹扫干燥的技术内容：水压试验、参数控制、氧气置换、处理重点位置等；结合现有的技术问题，进行针对性改进，以此逐步改进与完善吹扫干燥技术体系，确保储罐吹扫技术更具操作性。

关键词：天然气；氮气；吹扫

0 引言

天然气具有一定清洁性，污染性不大，作为国家未来环保战略中的重要能源。经过液化处理的天然气，会减少能源体积，更加便于运输。多数情况下，在储罐内存储天然气，进行能源管理与运输。

文章以某单位的天然气储罐为视角，阐述其吹扫干燥的处理方式，分析技术不足，给出相应的整改方法，以此增加吹扫技术研究的客观性，有效揭示吹扫干燥的优化方向。

1 案例储罐概况

1.1 吹扫任务

案例储罐的规模如下：容量， 10^4 m^3 ；类型，“双壁”；罐体外侧选材类型，Q345R；罐体内侧选材类型是含量为9%的镍钢。在储罐安装完成、用于生产的间隔期内，需进行吹扫干燥处理。吹扫前，明确了吹扫任务，内侧吹扫区设为a区，具体包括“内罐”、“罐顶”两个位置。外侧需进行吹扫处理的设为b区，是以“夹层环形”区域为主。

1.2 技术规范

明确案例储罐的吹扫任务后，需参照具体的技术规范，进行吹扫处理，保证吹扫干燥的处理质量。如表1所示，是参照“GB/T26978”的相关内容，整理的吹扫干燥操作规范。其中，“氧气体积分数”假设为C，“标压条件下霜点温度”设为 t_0 。

表1 技术规范

吹扫处理区域	C/%	$t_0/^\circ\text{C}$
a 区	$C_a \leq 9$	$t_{0a} \leq -20$
b 区	$C_b \leq 9$	$t_{0b} \leq -8$

表1中， C_a 、 C_b 分别对应于a、b两区内的P值， t_{0a} 、 t_{0b} 分别表示a、b两个吹扫任务范围的 t_0 值。

2 吹扫干燥的技术内容

2.1 水压试验

储罐安装完成，须进行安装检查，确保安装达到规范。安装完成的储罐，需进行水压检测，方可进行

吹扫处理。如果水压检测、吹扫处理的间隔周期不长，会在储罐内聚积较多的水分子，以“水蒸气”、“游离水”为主要形态。在此种情况下，处理人员使用氮气，给予吹扫干燥处理时，会增加氮气用量。如果改用“空气+氮气”的联合技术方法，进行吹扫处理，是使用热干空气，先进行预备处理，在监测罐体内混合气体霜点温度处于 10°C 左右时，通入氮气吹扫，能够明显加快吹扫效率，有效控制氮气消耗量，减少吹扫成本。

2.2 参数控制

吹扫处理期间，需加强技术参数管理，改善预备处理的空气质量。

2.2.1 去油

在技术管理期间，应防止出现带油空气混入，保持储罐装置、管线各处的清洁性。必要时，在空压机输出位置加设过滤设备进行去油处理，形成完整的清洁体系。

2.2.2 加热

采取空气加热处理方式，“干燥+空气加热”的联合方法，以此增强吹扫能效，取得兼具“干燥”、“高温”双重特点的空气。

2.2.3 流量

一段时间范围内，通入储罐内部的干空气速度增加时，其温度达到霜点标准值的时间会减少。参照压缩机运行、吹扫成本控制等因素，合理控制干空气体积流量，将此参数设定为 $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

2.3 储罐吹扫方法

储罐吹扫共有两种形式：“持续处理”、“升压处理”。持续处理的技术方法，是固定压力条件，适当调整储罐氮气的通入、排出两个气阀，保证通入氮气、排出氮气处于相互平衡的关系。升压处理的技术方法，是闭合储罐输气的点位，持续增加储罐压力参数，在压力增加至目标值时，不再改变压力参数，给

予罐内气体混合的时间。罐内气体混合完成时,进行降压处理,进行多组的“升压、降压”循环操作,周期性测定罐内霜点参数。在吹扫处理中,可使用“持续法+升压法”的联合形式,保证处理质量。吹扫处理共有两个环节,以罐内霜点温度为“-5℃”为参照。前期是空气干燥环节,采取持续法进行吹扫处理,以干空气为处理媒介。后期使用氮气进行升压处理。前期处理是以a区为主,在a区的霜点温度达到要求后,再进行b区处理。

2.4 氧气置换分析

在储罐内通入氮气的过程中,需动态测定罐内氧气的占比,保证氧气含量处于规范要求,严防出现置换安全问题。通入氮气时,前期增加储罐压力,在压力参数为20kPa时,固定此压力条件,等待1h左右。在压力平稳后,让氮气、罐内气体相互混合,开启储罐放气阀,快速降压至1kPa。再将罐内压力升至20kPa,进行多次的升压、散气降压循环处理,以此有效置换罐内氧气。储罐内部的氧气含量 C_i ,置换处理后的剩余值表达式,如(1)式所示:

$$C_i = C_0 \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^i \quad (1)$$

(1)式中, C_i 表示第*i*次压力循环置换罐内气体后的氧气含量 C 值,%; C_0 表示初期罐内氧气含量,多数取值为21%; p_0 表示罐内最初的压力值,案例储罐初始罐内压力条件取101kPa; p_1 表示通入氮气后罐内压力值,此参数是与 Δp 之和, Δp 表示输入氮气期间罐内形成的相对压力,而 Δp 的取值为20kPa。当*i*=6次时, $C_i \approx 8\%$ 。在实际氮气置换期间,可能存在气体混合充分性不足问题,置换中的 C_i 实际值会高于理论预测值。

2.5 各区域的吹扫重点

2.5.1 a区吹扫处理共有六个技术流程

第一,干燥、置换处理期间,需动态监测储罐压力,使罐内压力保持在30kPa以内。第二,a区进行置换处理期间,需关闭排气阀,防止气体混入b区。第三,通入氮气之前,需测定氮气霜点,使其小于等于-60℃。置换气体时,需全部开启气体进口阀,确保氮气通入储罐内,增加罐内压力。第四,罐内压力的控制值为20kPa,此时需关闭通入氮气的阀门,静待1h,使氮气与罐内气体相互混合。在静待时间结束后,开启放气阀,降压处理。第五,首次吹扫处理时,需放缓吹扫速度。在完成2次氮气置换后,可适当调

整吹扫速度。第六,排除罐内气体的位置,测定氧气含量 C_i 值、输出氮气霜点 t_0 值,在两个参数符合技术规范后,方可进行其他处理。

2.5.2 b区吹扫共有四个技术环节

第一,在a区处理达到要求后,进行b区吹扫处理。第二,通入氮气,闭好其他气体阀门,调整b区压力。第三,20kPa为增压目标值,当b区压力达到此参数时,暂停氮气通入。等待罐内气体相互混合,静待1h左右,开启b区的排气阀,散出罐内气体。第四,合理把控吹扫速度,周期性查看b区内的 C_i 、 t_0 值。当测定结果与要求参数相符时,完成吹扫处理。

在储罐底部装好绝热管线,开启相应的通气阀门,从储罐底部慢速通入氮气,观察底部隔热区的阀门、底板各处情况。在储罐底部绝热层的输入路径,会出现输气堵塞问题,引起绝热层出现压力增长现象,引起储罐底部、储罐内部各处出现损坏问题。如果调压期间出现储罐损坏现象,需排查绝热层通气不畅的问题。如果绝热层未出现通气受阻问题,其吹扫处理共有三个技术操作流程。

第一,开启储罐底部的各个通气阀,进行绝热层气体的置换处理。第二,测定底部绝热层的 C_i 、 t_0 值。第三,在12h内测定结果并未出现较大异常时,关闭各阀门。

3 吹扫干燥的技术优化措施

3.1 技术问题分析

在案例储罐吹扫处理期间,a区整体的吹扫处理较为顺畅,在处理7d左右排出的氮气 t_0 值达到-20℃的要求, $C_i \leq 2\%$ 。以储罐冷却效果为控制目标,严防储罐地层出现较多的游离水,侧重处理绝热层。然而,储罐底部吹扫的效果不理想,持续进行15天处理中,液氮消耗量约为20m³/d,监测所得的气体霜点 t_0 ,并未发生较大变化,处置之前 t_0 为18.2℃,处理后 t_0 为14.1℃。对于储罐底部吹扫出现的技术问题,初步判断是底部绝热层的水含量较高,增加了液氮用量,削弱了吹扫效果。

第一,假设罐底板密封性不好,存有明显泄气点。可采取的排查方式:选择水压沉降试验法,观察罐底渗水现象。案例储罐在进行水压试验时,全面检查了储罐底板的渗水泄气情况,检查结果中未见异常,均符合密封性要求。底板泄气的质量问题,可排除。第二,储罐底部生产安装的各环节,正值案例储罐所在区域的多雨时节,空气中含有较多的水分子,极可能

混入绝热层,形成水分聚积现象,致使出现吹扫干燥欠佳的问题。经过实际检查发现,绝热材料的含水比例较高,极有可能是储罐底部吹扫效果不理想的原因。

3.2 技术优化方法

3.2.1 调整输入氮气的温度

技术优化期间,需加强吹扫流量控制。在储罐底部通入氮气的位置,增设一组加热设备,以 80℃ 为温控目标,调整氮气温度,逐步增强底部材料含水量的挥发能力,切实强化气体活跃性。增温处理的整改效果,如表 2 所示。

表 2 氮气增温处理的整改效果

时间 /d	1	3	6	9	12	15
整改前 $t_0/^\circ\text{C}$	12.3	15.6	21.2	10.3	8.1	6.2
整改后 $t_0/^\circ\text{C}$	18.5	17.7	15.9	14.2	14.1	14.0

在技术整改前,监测结果 t_0 处于 6.2℃ 至 21.2℃ 之间。在技术整改后,监测结果 t_0 较为平稳,介于 14.0℃ 与 18.5℃ 之间。由此说明:输入较高温度的氮气,有助于快速消耗罐底材料内部聚积的水分,间接改善吹扫干燥的处理效果。

3.2.2 增加吹扫中的氮气流量

保持 a 区压力、输入氮气温度处于固定状态,适当增加氮气吹扫流量,提高储罐底部输入气体的流动能力,整改效果如表 3 所示。

表 3 增加氮气吹扫流量的技术整改效果

时间 /d	1	2	3	4	5	6	7
整改前 $t_0/^\circ\text{C}$	6.5	6.2	6.1	6.2	6.3	6.2	6.2
整改后 $t_0/^\circ\text{C}$	6.5	4.9	3.5	1.5	0.6	-0.95	-1.52

在改变氮气流量之前,时间增加时, t_0 值在 6.1℃ 至 6.3℃ 之间浮动,温度变化不大。在增加氮气流量参数后,时间增加时, t_0 值从 6.5℃ 降至 -1.52℃,此时绝热层干燥处理效果较好。由此说明:增加氮气吹扫流量,能够有效改善罐底干燥处理效果。

3.2.3 其他问题改进分析

案例储罐管线进行吹扫时,含有“爆破法”、“间歇法”等多种形式。借助水压试验,能够有效排除管线内部的积水。利用爆破技术,成功排出管线内部聚积的水分,结合持续吹扫方式,增强管线水分的处理效果。储罐管线吹扫时,气化器输出点位的管线,对其进行吹扫处理时,气流方向与储罐内气体流向有差异。爆破口位置设计了一个法兰口,此口采取竖直向上的设计方法。由于管道内部设计了止回阀,在止回阀之前并未设计低点排液,致使止回阀与爆破口的间隔范围内,形成管线积水区,难以有效吹扫处理。管线爆破完成,需进行持续 2d 的管线吹扫处理,此时

霜点下降量较少。经过仔细分析后,在爆破口位置,向管线内部添加吸水用料,有效吸收管道内部的积水。采取此种吸水方法,能够有效处理管线内部的积水,使吹扫的霜点温度达到技术规范。高压泵输出点位的天然气管线,共设计了两个单独使用的止回阀,分别为“旋启式”、“轴流式”,均未设低点排液。在水压试验完成时,两组止回阀间隔区聚积了一定量的积水。参照轴流式阀门的组成特点,其底部相比管线略高,会在管线下方汇聚一个积水坑,致使积水滞留无法有效排除。在技术优化中,在轴流止回阀安装的管线下位置,设计一个小型孔洞,有效排除滞留积水。排水后,在排水口进行持续吹扫处理。管线内部排水完成后,采取黄金焊口的处理方法,修复小型孔洞,以此增强管线干燥效果。如表 4 所示,是小型孔洞技术方法的整改效果。

表 4 设计小型孔洞的技术整改效果

时间 /d	1d	3d	6d	9d
整改前 $t_0/^\circ\text{C}$	6.5	6.4	6.3	6.4
整改后 $t_0/^\circ\text{C}$	6.5	4.8	3.4	1.2

使用小型孔洞后,能够有效排出孔洞内部积水,减少水分带来的吹扫干燥影响。在排水完成时,选择焊口处理方式,修复孔洞,保持管线结构的完整性,给予吹扫干燥创设有利的技术条件。

4 结论

综上所述,储罐吹扫、干燥等处理操作,是保证储罐安全的关键技术。简单的氮气吹扫处理,会增加氮气消耗量,无法有效控制氮气消耗量。可采取热干空气吹扫处理形式,在霜点温度 t_0 达到规范值后,进入氮气吹扫流程,采取持续法、增压法的联合形式,适当增加氮气温度,调整氮气流量,以此获取更优异的吹扫效果。经过技术改进发现:氮气增温、流量增加、设计排水孔洞的技术优化方法,能够有效控制罐底、管线各处聚积的水分,合理减少氮气消耗量,保证储罐吹扫质量。

参考文献:

- [1] 张晋玮,金军.LNG接收站低温管道吹扫干燥难点及解决措施[J].上海煤气,2021(06):1-4.
- [2] 何乾伟.天然气管道干燥技术研究[D].成都:西南石油大学,2019:11-24.

作者简介:

吴万斌(1985-),男,汉族,甘肃庆阳人,本科,中级,研究方向:液化天然气。