

探究低温液化气体压力管道的超压分析与解决办法

冯奕帆（江苏省特种设备安全监督检验研究院常熟分院，江苏 常熟 215500）

摘要：低温液化气体的膨胀系数较大，在压力管道运输中会因为自身膨胀增加管道内部压力，从而出现管道超压情况，增大了压力管道运行风险，严重会造成安全事故问题，这就需要分析低温液化气体压力管道超压的原因，并针对性采取有效的解决对策，加强压力管道日常运维工作。基于此，本文从运行工艺、介质特性、装置等方面分析压力管道超压的原因，并提出相应的解决办法，旨在提升低温液化气体压力管道运行安全。

关键词：低温液化气体；压力管道；超压；解决办法

0 引言

管道输送作为我国工业领域介质传输的重要设施，在石油、化工、冶炼等领域应用十分广泛，并且随着工业生产规模逐渐扩大，也增加管道建设规模。其中，压力管道是较为常见管道类型，是石油化工领域介质重要的传输方式之一。为了提升天然气等气体传输效率，通常都是采用低温液化气体形式传输，想要维持气体在液体状态需要保持一定的压力和低温条件，近些年我国石油化工行业大力开展低温储罐、压力管道建设，但安全事故问题发生频率也随之增加，特别是低温液化气体压力管道超压问题，一旦不及时控制很可能造成安全事故。因此，探究低温液化气体压力管道超压分析有着重要意义。

1 相关概念阐述

1.1 压力管道

压力管道是指能够承受一定内压、外压条件下传输介质的管道。除了可以传输介质外，还具备分配、混合、计量、排放、控制、截流等作用。压力管道由管子、管件、垫片、螺栓、法兰、阀门、受压件、支承件等总配而成。其主要特点有：

①压力管道是系统整体，管道之间相互关联相互影响，某段管道损坏会直接影响其他管道正常运行；

②压力管道普遍具有长径比特点，容易失稳，相比压力容器，压力管道受压情况更加复杂。压力管道受到内压、外压的作用，内部流体介质非常复杂，缺少缓冲余地，相比压力容器，压力管道运行条件变化频率高，温度变化、压力变化等都会导致压力管道受压发生变化；

③压力管道组成件、支承件种类多，不同部件特性和技术标准均在差异；

④相比压力容器，压力管道更容易生成泄漏点；

⑤压力管道种类繁多，应用数量多。

1.2 低温液化气体

所谓的低温液态气体是指其正常沸点在 -238°F (-150°C) 以下的液体，常见的工业气体中低温液态气体有：液氧、液氮、液氩、液氢、液态二氧化碳、液态氦气以及液化天然气、液化石油气等。在使用低温液态气体应熟悉一般性和特定性的预防措施，他同时也应完全熟悉与液态气体体一起使用的设备的使用说明。

2 低温液化气体压力管道超压原因与解决办法

2.1 案例分析

某液化气站主要从事瓶装液化气、丙烷充装工作，是由炼油厂气体分馏车间提供原料气。原料气传输经过滤器过滤处理后，由储罐进入烃泵升压。降温升压完成后由压力管道直接传输至装瓶间。本案例所涉及的压力管道长度为1200m，瓶装间输送低压液化丙烷时出现压力异常升高情况。

液化气站装瓶间液化丙烷采用间接式充装方案，充装压力为1.2MPa，充装周期为1-2天。通过操控阀门控制原料线启闭，充装时开启阀门、充装完成后关闭阀门。针对可能出现的高压异常问题，液化气站是通过排放原料，开启去低压管网端阀门将其排放到炼油厂低压管网。由于是间歇式充装，在液化丙烷充装完成后关闭阀门，发现压力管道内压持续上升，偶尔会超出常规压力阈值，为了避免发生风险事故，需要人工开启去低压管网端阀门，将丙烷气体排放至低压管网泄压。

2.2 超压原因分析

通过对压力管道超压问题进行检测分析发现存在原料入口处阀门有内漏情况，管线中渗入低温液化丙烷。由于低温液化气体受热会快速膨胀蒸发，而压力管道内液化丙烷受热快速膨胀，管道内出现满液、满气状态，随着温度变化影响管道内压急速增大。如果

温度持续升高,则液化丙烷会继续气化膨胀,液化丙烷要比水盆故障率高几十倍,如果无专业设备无法继续压缩,而受到压力管道壁限制丙烷气被动压缩,这就导致压力管道内压持续升高。

分析压力管道内压变化,假设 a 温度下,压力管道中的液化丙烷气体充满,此时压力管道内的压力为 p (p 为液化丙烷在温度 a 时饱和蒸汽压力),随着温度提升,即温度 a 提升至温度 A ,液化丙烷初始体积 t ,温度 A 条件下液化丙烷体积膨胀至体积 T (无管道束缚条件下)。通过分析丙烷气体温度由 $a \rightarrow A$ 的体积膨胀系数和液化丙烷气体温差即可获取无管道束缚条件液化丙烷膨胀体积 T 。体积 T 受到管道壁的束缚会向内压缩,从而提升压力管道内部压力。通过分析温度由 $a \rightarrow A$ 过程中的管道内部压力增大值即可获取压力系数,但由于在低压管道环境下丙烷气体不可压缩至液化,所以会不断向内管壁施加压力。 $a \rightarrow A$ 压力增大值与液化丙烷体积增加值为正相关,与压缩系数为负相关。体积膨胀系数、体积压缩系数二者相差较大,二者比值一般会超过 1.8。因此,影响管道内部压力的主要因素就是温度变化,也是导致超压的重要原因。

假设温度 $a=20^{\circ}\text{C}$,此时压力管道内液化丙烷为满液状态,结合文献可知在此条件下液化丙烷处在饱和蒸汽压状态,即温度 $a \rightarrow A$ 变化的压缩系数为 $2.33 \times 10^{-3} \text{MPa}^{-1}$,温度 $a \rightarrow A$ 变化的膨胀系数为 $3.52 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$,并以此计算出理论条件下温度由 21°C 升高至 25°C 时的压力值,数值如表 1 所示。通过表 1 分析可知,如果压力管道内液化丙烷处在满液状态下,随着管道环境温度提升,管道内压提升速度非常快,如果不及时泄压会超过管道压力承受阈值,严重可能会造成管道开裂、爆炸,引发严重的安全事故,造成极大的经济损失。

表 1 压力管道内部压力值 (MPa)

介质 / 温度	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C
丙烷	2.331	3.862	5.311	6.778	8.301

2.3 解决办法

2.3.1 更换阀口

液化气站导致低压管道环境温度上升的主要原因是由于来料阀口内漏导致升温造成的超压问题,压力管道长度为 1200m,液化丙烷气体运输路线较长,在

液化丙烷充装过程中,压力管道内充满了液化丙烷,仅凭借泄压无法彻底解决超压问题,并且在充装过程中时刻存在着风险。来料口阀门内漏是根本问题,保证来料口阀门性能是解决问题的关键。因此可以修理阀门解决内漏问题,如更换密封垫等,如果阀门已经使用多年,则建议更换来料口阀门可以消除超压风险隐患,减少原料气排放避免温度升高。

2.3.2 安装安全阀

安全阀可以起到压力管道保护作用,一旦检测到压力管道压力超标会自动开启泄压。过去很多石化企业对压力管道超压认识不足,设计层面上安全考量不足,导致压力管道安全防范工作不到位。结合行业提出的《压力管道规范》标准,由于液化气体在两端切断阀关闭的状态下,受到环境温度变化影响或伴热影响会产生气化膨胀效应,导致压力管道内部压力增加,要求在低温液化气体管道安装泄压装置。安全阀就是主流的泄压装置之一,将安全阀安装在管道末端。液化气站标准温度下管道内压力为 1.8MPa,压力管道理论承受最大内部压力为 4MPa,为了避免安全阀误动影响生产,可以将安全阀压力阈值设定在 2.0MPa,如果压力管道内部压力超过 2.0MPa,则安全阀自动开启泄压,无需人工操作,也可以保证泄压的及时性,保障压力管道和工作人员安全。

2.3.3 遮蔽阳光,加强通风

装瓶间温度提升主要是受到阳光辐射影响,由于液化气站丙烷是间歇式充装,在非装瓶时管道内介质不会发生气化,也就无法将管道内的热量随气体排出,一旦室内温度升高则管道温度也会升高。因此,在保证装瓶间通风良好的基础上,减少阳光辐射,特别是不能直射管道。加强通风也可以保持室内温度稳定,在通风不畅的条件下,可以在装瓶间安装离心机加强室内通风量。

2.3.4 完善日常管理制度

设立压力管道日常管理专业岗位,由专人负责压力管道的日常管理和维修,及时发现问题及时处理问题,并采用传感器等设备实时监控压力管道运行参数。此外,还要对各类阀门进行定期检测,确保阀门运行性能,避免出现内漏或失效等问题。

3 预防低温液化气体压力管道超压的措施

3.1 控制工艺参数

在满足低温液化气体压力管道工艺条件、允许使用参数的基础上,科学控制压力管道工艺参数是避免

产生超压问题的前提。应做到以下几点:

①严格控制管道运营最高压力和压力升降速率,如果压力过高会造成管道开裂、变形、爆炸,如果压力升降速度过快,会增加管道连接密封损坏率,增大管道内部应力,加速管道既有裂纹扩展。这就需要设定压力管道最高运行压力阈值,如超压则通过安全阀泄压;

②严格控制生产车间温度、管道温度、环境温度;

③控制腐蚀介质含量、管道应力荷载量。

3.2 巡回检查及维护保养

生产企业应根据低温液化气体生产、输送、使用工艺流程,以及管道、部件安装情况,划分好低温液化气体压力管道管理区域,派专人负责压力管道日常运维工作,制定管理策略,明确岗位职责,制定低温液化气体压力管道巡回检查制度,并将该项制度纳入到压力管道操作流程当中,由运维管理部门负责执行。低温液化气体压力管道巡回检查制度中应明确表明压力管道检查人员、时间、项目、部位、责任、巡检路线等,要求压力管道每个部件、每个项目均得到有效检查,并根据检查内容做好巡回检查记录。一旦发现超压等异常情况立即上报、及时处理。巡回检查与维护保养主要内容有:

①检查低温液化气体压力管道运行各项参数,各个部件运行表现情况,管道系统运行是否平稳;

②检查密封件是否存在泄漏问题,包括阀门、管件密封圈等,如果发现跑、漏、冒等情况及时清除;

③检查压力管道的保温层、防腐层是否完好,如果存在破损及时修复和更换;

④由于低温液化气体压力管道在输送介质时会处于高压、高速状态,介质在传输过程中会出现振动情况,也可能会受到外界因素干扰造成振动。针对振动问题应采用有效的防振措施,首先要隔绝外界的振动源,之后使用减振措施,发现有摩擦现象应采用相应的规避措施,主要包括管道间摩擦以及管道与相邻构件摩擦。如果是压力管道工艺问题造成的振动情况,则应对压力管道进行重新修正;

⑤检查管道支撑结构是否紧固、支架是否有腐蚀,保证管架性能完好;

⑥检查阀门动作机构润滑性能是否达标,受到低温液化气体影响和外部空气影响,阀门动作机构可能会出现锈蚀等问题,应定期清除表面铁锈,并涂抹润滑油,确保一旦检测到压力管道超压问题及时动作泄

压;

⑦检查压力管道安全保护装置运行状态,包括安全阀、爆破片、压力表等,确保导压管畅通、压力表灵敏、铅封完好。检查安全阀阀芯、弹簧中是否存在异物卡阻,拨动螺丝观察是否松动,相关零部件有无损坏,密封装置是否漏气,爆破片是否有质量缺陷等。采用定期检验方案,确保压力管道及其各个部件处在良好的运行状态。

3.3 加强运维人员专业培训

加强运维人员专业培训,建立岗位责任制度,通过安全技术培训、岗位操作培训等,提升运维人员专业能力,所有运维人员均应考取《压力管道操作人员》资格证后再上岗。

4 结束语

综上所述,低温液化气体压力管道是石油化工企业中应用十分广泛的介质传输装置。本文借助某液化气站案例分析了产生低温液化气体压力管道超压的原因,压力管道超压的根本原因就是管道内部温度增加,加速了低温液化气体气化膨胀,从而增加了压力管道内部压力。这就需要针对超压原因采取有效解决措施,同时要加强压力管道日常运维工作,预防超压问题的产生。

参考文献:

- [1] 戚伟鹏. 压力管道应力分析的内容及特点研究 [J]. 石油石化物资采购, 2020(28):100-102.
- [2] 白艳梅, 薄柯, 朱旭营. 冷冻液化气体移动式压力容器超压风险分析及控制措施 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2020(4):366-367.
- [3] 张鹏. 超低温储罐液化天然气储罐的应用及技术安全 [J]. 2021(5):122-123.
- [4] 魏秋华. 探究低温液化气体压力管道的超压分析与解决办法 [J]. 2021(12):222-223.
- [5] 张忠超, 李家雄, 刘文强. 浅谈 LNG 接收站低温压力管道在运行期间的全面检验 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021(11):422-423.
- [6] 熊从贵, 何静, 宋玲丽, 金琦. 冷库制冷压力管道“低温低应力工况”的判定 [J]. 化工设备与管道, 2022, 59(5):91-92.
- [7] 刘忠亮, 钱才富. 液化气体运输车 V 型支座的合理设计 [J]. 计算机辅助工程, 2016, 25(1):5.
- [8] 王滨, 高炳军, 翟兰惠, 等. 抽真空加热方式对低温储罐吊带结构强度的影响 [J]. 机械强度, 2018, 40(2):6.