

液化天然气 (LNG) 储罐倒罐技术分析

随着能源结构的变化,大力开发利用天然气资源成为我国能源发展战略的重点之一。在液化天然气(LNG)日益广泛应用的同时,LNG储存和运输的安全问题已经日益突显。由于LNG采取-162℃的低温储存,一旦储运LNG的低温压力容器储罐发生事故,引起LNG溢出气化,蒸发气体随气流或风力漂移,会在非常低的浓度(一般是体积的5%~15%)下起火爆炸,并且会迅速向蒸发的液池回火燃烧。如果对这种泄漏采取不正确的应急措施,低温储罐及其周围设施会因热辐射遭受严重破坏。因此研究LNG低温储罐的应急处置技术,如LNG储罐的倒罐技术,对防止和减少恶性和重大事故的发生,减轻事故危害将起到积极的作用。

1 LNG储罐失效可能性分析

LNG储罐一般分为子母罐和真空绝热罐两种类型。罐体上装有气相管、液相管、放空管、溢流管、压力表、安全阀、液位计、阀门、紧急切断装置等部件。LNG储罐发生失效的主要原因为:

- (1)储罐内容器破裂,低温液体流入罐体夹层,罐体外壳发生冷脆引起破裂或接管根部阀门破损。
- (2)储罐系统的管道、阀门、法兰等管件或密封部位失效。
- (3)储罐真空度丧失,且遇明火或强热源影响,内容器压力异常急剧升高,产生超压物理爆炸。
- (4)装卸过程中,装卸软管的脱落或破裂。
- (5)导静电接地装置失效或损坏。

这些装置失效,将会导致以下问题发生:大量沸腾气化的LNG气体与空气混合后,随气流或风力漂移,会在非常低的浓度下产生爆炸;发生溢出性泄漏的LNG液体,会使流经的地面、设备基础等因冷冻而强度降低,甚至导致坍塌事故,如遇积水会发生快速相态转变而发生爆炸;LNG如发生射流性泄漏,由于液体带压而喷射距离较远,发生泄漏后的射流或冷蒸气云,会使所接触的一些材料变脆、易碎受损。

由于继续盛装LNG的故障容器存在着重大安全隐患,因此必须将容器内的LNG尽快倒出,并经吹扫、置换合格后才能对容器实施维修。

2 LNG储罐的倒罐条件和要求

2.1 倒罐的可行性分析

储罐在使用过程中发生泄漏事故时,应对泄漏罐体进行分析,确认是否具有倒罐的可行性。

- (1)若罐体出现真空部分丧失、少量泄漏或滴漏现象,如在可控范围内,应安排进行倒罐处理。
- (2)若罐体真空丧失或根部阀断裂失效等原因引起大量泄漏,并产生一定量的液态积聚或产生蒸汽云团,则不再考虑倒罐处理。罐车与罐箱等移动式LNG容器在运输过程中发生泄漏事故时,应对罐体和行走机构进行事故状况分析,确认是否具有倒罐的可行性。
- (3)若行走机构仍可工作,罐体轻微受损,泄漏量较少或泄漏可控,应尽快将LNG罐车或装载LNG罐箱的车辆驶离交通要道和人群密集区后再进行倒罐处理。
- (4)若行走机构已经无法工作,罐体轻微受损,泄漏量很少或泄漏可控,应尽快疏散人群,控制一切火源,立即设定警戒区域,进行现场监督,阻止无关人员进入,做好消防灭火准备,并尽快进行倒罐处理。
- (5)若罐体真空丧失或根部阀门断裂等引起了大量泄漏,而阀门操作箱损坏已经不具备连接软管倒出液体的可能,则不再考虑倒罐。

2.2 受液容器的要求

常用的受液容器一般为移动式的LNG罐车或罐箱。当发生故障的储罐所处系统中有其他LNG储罐，或邻近20m范围内有备用储罐时，也可作为受液容器。

受液容器的容积应与需要倒罐容器的容积相当，以尽量减少倒罐次数，提高倒罐效率。当需要倒罐的容器内液体量较多时，应准备多台受液容器以确保连续高效的倒罐作业。受液容器最好应为经过预冷的空罐。

2.3倒罐作业的条件

(1)根据所需倒罐的LNG容器型号规格划定危险区域，做出明显标记和安全警戒线，禁止无关人员进入现场。配置干粉灭火器、移动式高倍数泡沫灭火系统或消防车，紧急疏散处于下风口的人群，清理可燃物和火种等。高倍数泡沫覆盖LNG表面，使之与空气隔离。如果现场泄漏的LNG已经失火，应采用干粉灭火器，灭火剂最好为碳酸钾，亦可用沙土扑救，忌用水灭火。必须在完全灭火并评估倒罐实施的可行性通过后，方可进行倒罐作业。

(2)倒罐作业现场应确保通风良好，必要时可采取强制通风措施增加空气流动，以便LNG迅速扩散；严禁明火和各种火源、火种，危险区域内禁止使用手机、对讲机等非防爆型可能产生静电火花的通讯设备，同时需保证倒罐现场救援通讯和对外通讯网络畅通。

(3)倒罐作业人员必须经过LNG容器操作专业培训，熟悉LNG的理化特性及应急倒罐操作程序。所有倒罐作业人员禁止携带任何通讯设备和打火机等火种，必须穿戴全套防护用品，使用防冻手套。入场作业前进行静电消除。

(4)勘察现场LNG液体的组分和密度变化，确保与受液容器内为同一油田液体(受液容器是空罐的情况除外)，提出灭火、倒罐、堵漏等执行方案。

3 LNG储罐的倒罐作业方式和方法

3.1液体转移方式

目前国内将受损储罐内液体转移通常采用以下三种转注流程：压力差转注流程、外置离心泵转注流程和潜液泵转注流程。

3.1.1压力差转注流程

压力差转注的工作原理是根据管内压力差，管道内的流体介质会从高压端流向低压端。当故障设备内的压力大于受液罐内的压力时，分别打开故障设备的根部排液阀和受液罐体的上部进液阀或下部进出液阀，故障设备内的介质在压力作用下向受液罐内转移。如果受液罐内压力过大，可以根据现场情况判断是否需要打开受液罐的放空阀降压，以提高介质转移效率。

压力差转注流程简单，且操作起来比较方便，但转注效率受故障设备内的压力影响很大。通常排液时间较长，压力过低时无法正常排液。

3.1.2外置离心泵转注流程

外置离心泵转注的工作原理是通过打开故障设备的根部排液阀、受液罐上的进液阀和回流阀，形成离心泵的转注回路，启动离心泵将故障设备内的介质输送到受液罐内。转注过程中应密切注意受液罐的液位和压力，必要时可打开放空阀泄压，防止受罐液超压造成破坏。

外置离心泵转注流程相对较复杂，并且通常情况下为保障受液罐的安全不得通过泵向受液罐充液。用离心泵转注液体时排液速度快，对故障罐内的压力要求较低(满足泵的吸入净压力即可)。但是需要配备相应的外接电源或车载电源，泵工作前需要进行预冷，周围环境须满足防爆要求才能工作。

3.1.3潜液泵转注流程

离心式潜液泵的工作原理与外置离心泵基本相同。这种流程同样比较复杂，但可省去泵的预冷时间，排液速度快。通常潜液泵装卸流程无法将故障设备作为潜液泵的入口侧，不具备倒液功能。经过流程改造具备倒液功能后，还需要配备外接电源

或车载电源，周围环境须满足防爆要求才能工作。

3.2倒罐(储罐、罐车、罐箱)方法

目前倒罐的方法主要有三种：储罐对罐车(罐箱)倒罐、储罐对储罐倒罐和罐车(罐箱)对罐车(罐箱)倒罐。三种倒罐方法的优缺点对比见表1。

表 1 三种倒罐方法的优缺点

倒罐方法	优点	缺点
储罐对罐车(罐箱)倒罐	受液罐车(罐箱)可靠近故障罐进行倒罐，LNG 损耗量相对小	(1)受液罐车(罐箱)容积相对故障储罐容积小，倒罐过程中需要多次拆卸； (2)受液罐车(罐箱)通常不会单独预留倒液接口，倒液前需拆卸管线上的止回阀芯，影响倒罐效率
储罐对储罐倒罐	受液罐容积与故障罐容积相当，可一次性倒完，效率高	受液罐与故障罐距离远，倒罐过程中 LNG 损耗量大
罐车(罐箱)对罐车(罐箱)倒罐	受液罐车(罐箱)容积与故障罐车(罐箱)容积相当，可一次性倒完，效率高	受液罐车(罐箱)通常不会单独预留倒液接口，倒液前需拆卸管线上的止回阀芯，影响倒罐效率

其中储罐对罐车(罐箱)倒罐的操作方法如下：

(1)正确连接卸液液相金属软管及气相金属软管。系统有预留充装口的，直接将进液液相金属软管及气相金属软管连接到预留充装口上。无预留充装口时，应取出LNG进液管线上止回阀阀芯，取出后紧固并查漏；确认无泄漏后开始对管线、金属软管进行氮气吹扫(从放散阀处放空)。

(2)确认管线系统完全准备好后，微开LNG储罐出液阀和受液LNG罐车(罐箱)的进液阀开始对管线进行预冷(约10min左右，以管线外露部分结霜为预冷结束)。LNG储罐在必需增压时可根据现场指挥或LNG储罐供应商的服务人员指令进行LNG储罐增压，不得私自增压。

(3)开启受液罐车(罐箱)的顶部和底部进液阀，进行上、下同时进液并观察受液罐车(罐箱)内的压力变化。当受液罐车(罐箱)内压力过高，则打开气相管放散阀进行放散卸压。如需加快倒罐速度，可打开受液罐车(罐箱)气相放空阀，将罐内压力尽量降低到最低限度。

(4)受液罐车(罐箱)液位过高时，关闭进液阀、打开手动放散阀把出液管内液体通过放散阀放空。打开LNG罐车(罐箱)排气阀对金属软管进行卸压，等霜化完后拆下金属软管。

4结语

本文分析了LNG储罐及相关设备失效的可能性，特别对储罐在使用过程中罐体发生泄漏的情况进行了综合分析，确认是否具备倒罐的可行性。倒罐成功的前提是必须对倒罐进行可行性分析，同时提出了倒罐时受液容器的要求和现场必须具备的条件。对比分析了压力差转注流程、外置离心泵转注流程和潜液泵转注流程三种倒罐方法的优缺点，提出了LNG倒罐的具体操作方法。(文/石生芳 浦哲 左延田，上海市特种设备监督检验技术研究院)

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/news/159612.html>