

大型 LNG 地上全容储罐的冷却技术研究

王良军¹ 刘 杨¹ 罗仔源² 柳 山² 赵春宇³

1.大庆石油学院 2.广东大鹏液化天然气有限公司 3.中海石油深圳天然气有限公司

王良军等.大型 LNG 地上全容储罐的冷却技术研究.天然气工业,2010,30(1):93-95.

摘 要 大型常压 LNG 储罐是 LNG 接收站中极其重要的单元设备,占有很高的投资比例,其正式启用时对调试工作的技术要求较高,而 LNG 储罐调试工作最关键和最危险的环节就是冷却。为此,详细介绍了国内 LNG 接收站常用 $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ 常压 LNG 储罐的冷却过程,分析了 LNG 储罐冷却前应具备的条件及注意事项,讨论了 LNG 储罐冷却过程中的压力控制、冷却介质(LNG)供应及流量控制、冷却过程的监控及冷却速率控制等调试技术,指出了冷却过程容易出现管线位移过大、法兰泄漏等问题,并给出了相应解决方法。研究成果对国内其他 LNG 项目具有借鉴意义。

关键词 LNG 全容储罐 调试 冷却 压力控制 流量控制 冷却速率控制

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.01.027

2006 年广东大鹏 LNG(液化天然气)项目第一期工程正式投产,标志着中国规模化进口 LNG 时代的到来^[1]。目前我国已经建成投产的 LNG 接收站项目有广东大鹏 LNG(2006)、福建 LNG(2008)和上海 LNG(2009)。大型常压 LNG 储罐是 LNG 接收站中极其重要的单元设备,占有很高的投资比例,而且对设计、施工及调试的技术要求较高^[2]。

1 LNG 储罐及调试概述

国内 LNG 接收站常见 $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ 地上全容式 LNG 储罐的建设周期一般为 3 a 左右(包含设计阶段)^[3]。在装置机械安装完工、电气和仪表系统调试完成后,进行 LNG 储罐的水压试验、除明水、气密试验、储罐干燥和氮气置换等预调试工作,之后才开始真正意义上的 LNG 储罐调试工作,其中最关键和最危险的环节就是冷却。完成冷却工作并建立一定的液位之后,再进行低压泵性能测试、液位仪表调试、控制系统测试和储罐蒸发率测试等调试工作,所有工作结束才意味 LNG 储罐可以真正投入运行^[4]。

为此,对国内 LNG 接收站常见的 $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ 地上全容储罐的冷却过程进行详细介绍。罐体结构及有关工艺管线如图 1 所示。

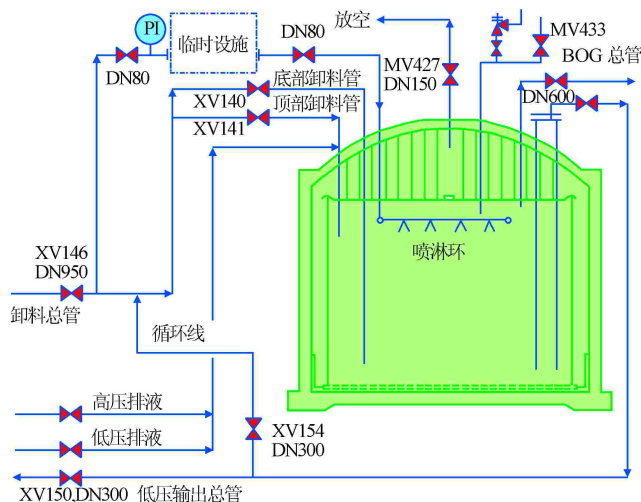


图 1 LNG 储罐结构及工艺流程示意图

LNG 储罐的冷却范围除了储罐本体还有 4 条相关液相管线:卸料总管(Unloading Line)、低压泵输出总管(LP Send out Header)、高压保冷循环管线(HP Drain)和低压保冷循环管线(LP Drain)。它们的冷却顺序为:卸料总管的冷却、储罐的冷却、低压泵输出总管的冷却、最后是高、低压保冷循环进罐管线的冷却。

LNG 储罐的冷却是 LNG 储罐调试工作中的最重

作者简介:王良军,1971 年生,高级工程师,本科;主要从事油气储运的技术研究与生产运营管理工作,现任广东大鹏液化天然气有限公司运营部管线运营总监。地址:(518048)广东省深圳市深南大道 4001^号时代金融中心 10 楼。电话:13352905171。E-mail:wang.liangjun@gdlnng.com

要环节,也是一项高风险的作业,由于新罐冷却期间可能会有天然气或 LNG 泄漏,处理不当就会发生安全事故^[5];另外,冷却过程中内罐罐体要收缩,如果冷却过程控制不好,极有可能破坏 LNG 储罐,几年的心血毁于一旦。

对于一个接收站来说,LNG 储罐冷却有两种方式:

1)接收第一船 LNG 时,对接收站内首批建成的储罐进行冷却,使 LNG 储罐达到使用条件,之后完成其他调试工作。这种冷却只能利用船上的 LNG 进行。

2)接收站已经投产,后续新建成的 LNG 储罐冷却所用的 LNG 则可以来自其他储罐,而且不影响接收站的正常外输和卸船作业。

笔者探讨的是第二种情况,且针对广东大鹏 LNG 项目新增的第三座 160 000 m³ 地上全容储罐的冷却和调试,所用的冷却介质 LNG 来自已经投产的 1 号或 2 号储罐。

2 冷却过程的前提条件及注意事项

2.1 LNG 储罐冷却前应具备的条件

1)LNG 储罐已经经过干燥,内罐、穹顶、内外罐夹层、罐底等空间已经进行氮气吹扫和置换,并保持正压的氮气环境。

2)BOG(蒸发气)处理系统已经投入运行。

3)其他在用 LNG 储罐低压泵外输运行正常。

4)储罐顶部的卸料总管与地面卸料总管已经同时被冷却。

5)即将冷却的 3 号 LNG 储罐与相邻的工艺系统之间安装隔离。

6)按照 PI&D 图的要求检查所有工艺阀门、氮气系统阀门、放空阀门、安全阀上、下游手阀、仪表的隔离阀状态。

7)LNG 接收站处于最小输出或零输出的循环模式。

8)火炬系统运行正常,长明灯已经点燃。

9)第一次冷却使用的临时设施(图 1 中临时设施)已经安装到罐顶。

2.2 注意事项

1)由于低温管道冷却时会收缩,从冷却开始到结束应密切监视其位置的移动,要特别注意那些非正常的移动及影响管道正常收缩的障碍。

2)如果管道或其中的管段发生非正常移动,必须马上停止该管段的冷却,直到问题解决,才能继续冷却。

3)在管道的冷却过程中,法兰连接处可能有泄漏,所以要定期检查阀门和法兰处有无泄漏,一旦泄漏要及时处理。

4)储罐在引入 LNG 冷却前必须保持微正压的氮封。

5)LNG 储罐必须在严格并且持续的监视下进行冷却,特别要严密监视储罐压力、冷却用 LNG 流量、内罐壁板和底板的温度。

6)在 LNG 储罐冷却初期,如果调试投产放空管线不能满足放空要求,可以打开就地放空阀门放空,以保证 LNG 储罐压力始终保持在设计范围内。

2.3 冷却用临时设施

冷却用临时设施的主要作用是把 LNG 引入储罐的喷淋环管,控制 LNG 流量进而控制冷却速度(此设施要在储罐调试完成后拆除),其主要是一段 DN80 的短管,包含一个单向阀、一台流量计、一个安全阀、一个手动流量控制阀、一个压力表,如图 2 所示。

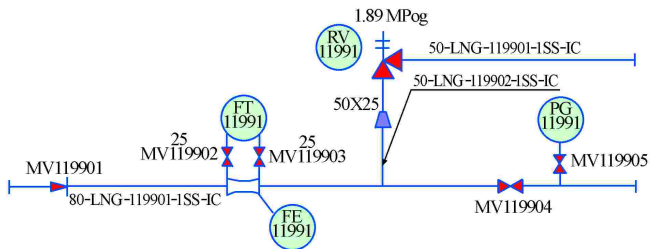


图 2 储罐冷却临时设施示意图

3 LNG 储罐冷却及相关调试

3.1 LNG 储罐冷却过程压力控制

冷却时 LNG 储罐内的氮气通过罐顶 DN150 的放空管线进行排放,储罐压力控制在 15 kPa,过一段时间排放出来的将是天然气。当氮气浓度降低到可回收的标准(体积分数为 15% 以下)时,储罐压力将由 BOG 系统来控制。如果罐内压力继续上升而超过设定值,还可以通过罐顶的就地放空(打开 MV433),直接排放到大气中。

3.2 冷却介质(LNG)的供应及流量控制

在 DN80 的冷却管线上安装一个临时设施,就可把 DN950 卸料总管内的 LNG 引入喷淋环管对储罐进行冷却。此流程参见图 1。

LNG 的流量将通过安装在罐顶的临时设施来控制,冷却过程要密切监控温降速率和罐内压力。

LNG 流量将周期性地增加以维持稳定的冷却速率。LNG 在冷却过程的实际供应情况如下(与理论计

算有一定偏差):

1)冷却开始时的 LNG 流量为 $4 \sim 7.5 \text{ m}^3/\text{h}$ (富 LNG, 密度约为 $465.0 \text{ kg}/\text{m}^3$)。

2)冷却结束时为 $27.0 \sim 33.0 \text{ m}^3/\text{h}$ (富 LNG), 储罐内压力控制在 23 kPa 以内, 温度降低速率为 $3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{h}$ 。

3) LNG 储罐冷却到 $-152 \text{ }^\circ\text{C}$ 大约需要 600 m^3 的富 LNG, 放空量约为 94 m^3 , 储罐冷却共需 77 h , 之后 LNG 将通过底部卸料管供应。

3.3 冷却过程的监控及冷却速率控制

冷却速率为 $3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{h}$, 冷却用 LNG 最大流量不能引起温降速率超过 $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{h}$, 即使在最后的冷却阶段。(最后的冷却阶段是指所有底部温度传感器达到 $-120 \text{ }^\circ\text{C}$ 。)

为了监控冷却过程中储罐的温度梯度, 在储罐多处位置安装了温度传感器。内罐底部或罐壁任意两个相邻检测点的温度梯度不得超过 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 。内罐底部和罐壁表面的温度梯度不得超过 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。如果温度梯度超过上述数值, 应停止注入 LNG 到储罐, 直到温差在允许值内。

此过程中可能会出现由于温度传感器损坏而温度读数不准确的现象, 这时需根据实际情况进行判断并参考其他读数调整温度读数。

应调节冷却气体和 LNG 的流量以避免由于储罐内气体冷却太快引起压力骤降而产生局部真空。

冷却过程对接收站外输没有影响, 但是 LNG 卸船期间储罐冷却要暂停, 卸船结束后恢复冷却。

广东大鹏液化天然气有限公司第3座 LNG 储罐实际冷却曲线见图3。

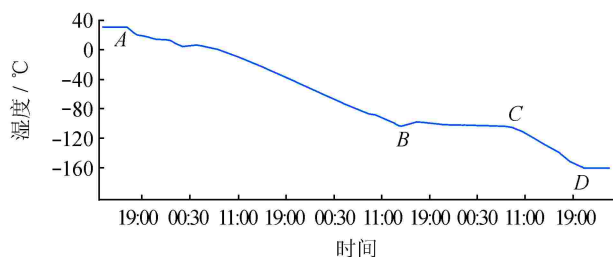


图3 LNG 储罐冷却曲线图

由图3可以看出: 储罐冷却用时 77 h (A 点到 D 点), 其中由于卸船冷却过程停止了 19 h (B 点到 C 点)。

3.4 其他调试工作

储罐冷却完成后, 应进行一系列试验, 主要包括低压泵调试、液位计调试、储罐输出测试、BOG 蒸发率测试、高液位连锁测试和储罐可靠性测试等。

4 冷却过程出现的问题及解决方法

1)冷却过程中管线位移过大、法兰泄漏。如高压排液管位移量达 25 mm , 卸料管线也出现了同样的问题, 并且法兰发生泄漏。对于管线的位移, 可以通过加固固定支撑解决, 或者切割钢结构, 以使管道有足够位移空间。对于泄漏的法兰用力矩扳手重新紧固一遍。

2)在设计高、低压保冷循环进罐管线 (HP DRAIN 和 LP DRAIN) 的冷却流程时, 没有与现场实际流程进行对照, 原设计冷却流程不可行。在现场对原流程进行了修改, 才把这两条管线冷却下来。

3)罐顶 DN150 放空管线不能满足放空要求, 冷却过程罐压持续上升, 最高达到 23 kPa , 通过暂停冷却和控制 LNG 流量, 并且打开就地放空阀门 (MV111433) 来降低罐压。就地放空时间大约 25 h , 直到氮气体积分数低于 15% , 把 BOG 系统投用才关闭就地放空阀门。

5 结论

1)冷却过程中应着重监测储罐压力、储罐 LNG 流量、罐壁和底板的温度等参数, 严格控制冷却速度在允许的范围内。

2)大口径 LNG 管线的冷却最好开始时用 BOG 进行冷却, 会使大口径管线均匀冷却, 从而减小管道的位移量。

3)编写、审核调试规程, 除了对介质特性、P&ID 图纸熟练掌握之外, 一定要与设备、管线的现场实际位置进行充分的对照。

4)LNG 接收站的正常外输对 LNG 储罐的冷却没有影响, 但是卸船对储罐冷却有影响, 冷却操作必须暂停。

参 考 文 献

- [1] 邢云. 构建中国液化天然气产业法规标准体系[R]//第二届中国 LNG 论坛. 上海: [出版者不详], 2009.
- [2] 章川泉, 杨晓东. 液化天然气储罐氮气吹扫干燥方案探讨[R]//第二届中国 LNG 论坛. 上海: [出版者不详], 2009.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20368-2006 液化天然气 (LNG) 生产、储存和装运[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [4] 王冰, 陈学东, 王国平. 大型低温液化天然气储罐设计与建造技术进展[R]//第二届中国 LNG 论坛. 上海: [出版者不详], 2009.
- [5] 孙标, 郭开华. 液化天然气重气扩散安全距离及影响因素[R]//第二届中国 LNG 论坛. 上海: [出版者不详], 2009.