

# 大型LNG储罐预冷过程研究

王 曰

中交城市能源研究设计院有限公司 辽宁 沈阳 110000

**摘要:** 天然气是一种高效、无污染的一次能源,在当今世界总能源消耗总量中排名第二。液化天然气(简称LNG)是指压缩空气中,通过经预处理、加冷至溶解点以下后所产生的气体,对气体的可长距离运输、储存等方面提供了便利条件,其中LNG产业链,已经成为影响世界燃气供应的关键因素。随着全球能源需求量的持续增加以及LNG产业链的快速发展,小型LNG储罐已无法满足LNG储存和运输的需求,而对于大型的LNG储罐,则因为其在运输、方便生产管理和减少基础建设投资的优点,将形成必然趋势。因此正确做好储罐产地预冷的前期准备冷却控制,和对产地预冷的LNG量计算,及安全措施的正确执行是大中型LNG储罐产地预冷工作能够成功进行的关键保障。

**关键词:** LNG; 接收站; 储罐; 预冷

## 1 储罐预冷技术概述

### 1.1 储罐预冷目的

LNG罐在开始接触高温物质之前,就需要事先进行充分的冷冻,即称为产地预冷作业。当LNG罐的各种管路及其对罐本身,都进行加氮或置换后再进行干燥之时,就完成了该罐的产地预冷作业。而产地预冷的目的,主要是为了检验并测量各罐和管道的高温特性,例如:①检测物料在高温下的质量情况;②检测罐和管路之间的焊接特性;③测试管路冷缩度和管托的工作温度变动情况;④考核低温阀门的密封性状况;⑤确保罐的操作温度达到和处于正常运行情况,以便投入运行;⑥对紧固枪机的连接部件有步骤的加以冷紧,以便获得良好运行情况。

### 1.2 储罐预冷方法

LNG储罐产地的预冷,按照预冷技术不同一般有LNG产地预冷、液氮预冷,以及液氮+LNG产地预冷三种预冷方式。LNG产地预冷技术指通过使用国外的LNG生产的冷却设备对储罐进行产地预冷,这种预冷技术主要通过BOG置换产地预冷和LNG深冷二种方法实现,这些技术在新投产LNG接受站的储罐产地预冷中使用普遍。液氮产地预冷技术是通过液氮产生的冷却装置对罐进行产地预冷,这种预冷技术在小型LNG罐产地预冷中有较广泛运用。液氮气+LNG的综合产地预冷工艺技术则是指使用液氮气体和LNG设备的冷却器对储罐加以综合产地预冷,利用液氮气体完成罐的预冷却作业和管路的冷紧检查,再利用LNG设备将罐内的氮气以置换,并冷至-160℃并重新建立液位高度。

### 1.3 三种预冷工艺的分析

LNG产品的预冷特点是:产品预冷深度可控,不会

造成储罐材质的低温损伤;产品高温稳定性较好。但其缺点:产生的BOG温度较高,在没有使用的条件下需要直接排放气体或火炬;产品价格一般昂贵。适用范围:多用干接受站的大型LNG罐及管道产地预冷。固氮产地预冷特点:价格最低;没有BOG排放燃烧。缺陷:高温时可能会导致储罐材质损伤;当储罐达到低温的待供料状况时,温度波动范围较大。适用范围:中小型储罐采用较多。

液氮+LNG综合了预冷特性:产生的BOG气体很少;造价较低;产地与预冷深度均可控,不易引起储罐材质的低温损坏,且稳定性较好。缺陷:预冷时间较长;必须购买二种冷剂;BOG无法循环利用。应用领域方面:在各类LNG储罐的预冷系统中均有使用。液氮+LNG的预冷却技术,是在冷至-120℃以前先用液氮完成罐的冷却工作以及管道的冷紧工作,随后再通过将LNG在罐中的高温下置换并冷至-160℃,从而在罐内形成相应的LNG自动控制。

### 1.4 储罐预冷工艺流程

为防止产地预冷初期液体氮气直接流入LNG罐中,液氮飞沫可能对机器产生伤害,采用液氮气化预冷工艺。采用通过一个外置自动气化装置和液氮罐车的汽化装置,调节控制器的高低来调节产地预冷介质流入LNG罐的流速,实现罐温的稳定可控。该方法通过液氮槽车运→与液氮气化机→间开工产地预冷线法兰的接头方式,联接液氮槽车所装运的产品预冷口。该气化装置还设有副线,用于控制气化装置的温度,从而很好的控制了开工冷却管线和冷却介质的温度,并实现了较好控制LNG储罐内的预冷温度。

## 2 LNG 储罐预冷架构

### 2.1 储罐参数化建模及网格生成

基于ANSYS Workbench框架的DM前分析功能,并且利用对其历史数据树的参数化构建功能,即可实现对大型LNG前全容储罐性数据化模板的快速建立。根据后续产地预冷仿真的需要,为储罐对应几何区域进行了边界命名,并完成后续的边界状态设定。通过Workbench Meshing功能,对几何分析高质量的六面体为核心网格,再进行网格单元尺寸选择,并确定以液化天然气罐的标准六面体为中心填充格子,最后通过使用脚本驱动的ANSYS Workbench,实现自动输出网格文件(\*.msh)。

### 2.2 预冷仿真分析模块

采用ANSYS Workbench框架下Fluent计算模块,在读取数据网格信息后自动分析模型中的网格信息,将原为液化天然气预冷系统仿真设计的所用模型、湍流模型、设置流程、边界条件设置等,转换为Fluent可调用的Scheme脚本代码,然后将脚本封装成仿真分析模块,并通过提供定制化界面从而使用仿真分析模块,从而实现了自动加载并连接至液化天然气储罐模型,之后再提交结果给求解器从而进行了数值计算化<sup>[1]</sup>。

### 2.3 系统基础框架模块

使用QT图形界面架构设计,集成ANSYS的Workbench框架、几何自动化功能、网格自动划分模块、仿真分析模块、后处理及报告模块和仿真数据库,是系统运行的基础,提供一个统一的、无缝集成的定制化用户界面。根据系统界面的设置,在系统后台可以通过驱动ANSYS及Workbench自动产生仿真流程,并驱动流程工况及结果;同时,在软件实施阶段所要求的输入输出数据以及所有功能模块,都进行了统一的、有效的管理。

## 3 预冷方案和数据分析

### 3.1 预冷前条件检查

在储罐引入LNG之前彻底检查,确保储罐和附属管线已做好预冷准备,按照工艺流程图进行阀门组对,做好各系统的导通和隔离。

LNG储罐经过干燥吹扫和氮气置换合格之后,便是预冷环节。LNG储罐的预冷与码头卸料管线冷却联系在一起。

### 3.2 预冷过程

将从船方带来的蒸汽气体(BOG)由离析臂引至码头卸料总管中,对离析管路进行高温的置换与预冷,将形成的BOG气体排至储罐中,以冷却离析管路末端,同时对储罐进行置换与初步产地的预冷。罐气压一般维持在十KPa以下,罐中原的高压下和BOG经过罐顶的环形放空

口放空,直到所排放空气的CH<sub>4</sub>浓度达到五vol%,再缓慢封闭罐顶的放空阀,由BOG管路上的阀门排出空气,罐气压采用BOG系统进行管理<sup>[2]</sup>。

随着LNG不断填充卸料管线,当LNG充满卸料管线末端到达罐顶开始进入储罐时,喷淋线的阀门缓慢开启少量开度,大约30%左右,具体要通过储罐的温度下降情况而调整阀门开度。LNG将通过储罐DN100喷淋管线进入环形喷雾管线,直到所有的温度监测点均达到-150℃以下,储罐预冷结束。通过上、下进液阀门及旁通阀门控制LNG流量,逐步建立液位。

### 3.3 LNG预冷

液体温度零下162℃,预冷时间比较短。缺陷在于LNG容易燃烧,泄漏后所导致的风险比较高。优势在于可以直接利用LNG液货船或者是接收站使用的储罐当中LNG进行预冷,预冷期间不会出现过冷问题,设备的安全性相对较高。对于大型的LNG储罐应用效果较好。

### 3.4 液氮

冷却到零下100℃。液氮可以从槽车通过低温管线直接送入到储罐的中心位置,同时启动进液的管线并打开储罐。在开始时以比较低的速率进液,借助内罐低、侧壁以及空间当中设置温度监测器,实现对整个过程的温度分析,同时按照降温的速率实现喷淋流量的调整。在进入储罐的液氮蒸发作为氮气之后可以从灌顶的N3罐口进行排出,排出的气体可以应用BOG回收系统进行冷却,并借助排放管线上借助调节阀的方式实现储罐的压力调整,并维持10KPa的压力。伴随着储罐温度的持续性喜爱将,其可能会导致储罐的部分液氮无法达到气化改变,此时可以直接接触到罐底,从而导致罐底的温度快速下降,在温度下降后可以适当的降低进液的速率。假设罐底的温度和侧温变化超过30℃,同时降低进液量操作后温度差异仍然无改变,此时便需要停止进液,在温度差降低之后再进液。预冷形成的蒸发气通过排放管可以直接送入到火炬进行燃烧,在内罐的蒸发氮气放空操作过程中,可以放置警示牌预防为先事故的发生。在储罐内部气体测点温度达到零下100℃到120℃期间,可以停止进液<sup>[3]</sup>。LNG置换冷却到目标温度。LNG可以借助进液管线进行引入,刚开始时排放气体涉及到天然气与氮气,其中氮气的含量相对较高,气体在进入火炬管线之后直接燃烧。此时需要定期做好排气口的气体成分分析。在内罐置换并合格之后,可以开启阀门促使内罐在气化之后天然气可以直接进入到储罐的夹层当中,通过排放口排出并燃烧,之后关闭阀门。



LNG储罐液化天然气储罐如图1所示

#### 4 预冷注意事项

4.1 预冷时间,密切注意罐内温度监测点的变化,并通过控制喷淋试验流速,以控制产地的预冷转速。防止急冷,防止因气温骤降而造成内罐壁部分出现过高的温度应力或破裂现象,并及时监测内罐下部的罐壁温度。

4.2 罐顶的外操须辨别管线内介质流动声音变化,判断卸料管线内LNG液体已经到达罐顶即将进入储罐,通知内操调整喷淋线阀门的开度,防止大量液体进入储罐气化不完全,温度骤降。

4.3 预冷过程中,法兰连接处极易发生泄漏。应定时巡检,查看有无泄漏。建议预冷期间法兰接头处暂不做保冷处理,宜检查并拧紧所有法兰接头螺栓<sup>[1]</sup>。

4.4 做好对火炬控制系统的检测,并严密注意火炬入口的水温和液位,一旦发现液位过高暂停运行,以防止产生火雨的现象。同时,留意长明灯,如果发现长明灯已经熄灭,可以马上重新点燃。

#### 结束语

预冷是LNG储罐安全工作的最后一个保护闸,应充分考虑到产地预冷的重要风险和风险,在一般储罐产地预冷工作完成后应放置2~3天,观测罐压是否平衡,检查各个系统的管道、阀门、法兰等部位是否存在渗漏情况,并且还要观测管道冷缩和管托的变形状况,是否有变形现象产生;针对施工性质和场地施工条件,适当改变预冷施工时间,并要注重确保工作人员的生命安全,作好应急预案准备。此外,产地预冷技术的使用受各地的天气、产品预冷方式、预冷温度等诸多条件限制,人们在选用产品预冷方式的时候,应全面考量上述相关条件,选用合适自身的最优产品预冷方法。

#### 参考文献

- [1]杨焯,王海成,郑玉宝,等大型工厂开工复产方案优化及问题处理[J].石油与天然气化工,2020(05):177-178.
- [2]薛峰,张国中,姜永胜等.LNG低温储罐预冷技术研究[J].天津科技,2018,45(5):30-33.
- [3]徐艳华,彭文山,李金娟等.大型LNG储罐预冷数值模拟[J].石油与天然气化工,2018,47(1):51-59.
- [4]陈栋,王亚倩.大型液化天然气储罐的发展研究[J].中国新技术新产品,2018(02):51-52.