

LNG 接收站投产过程分析

田小富（中石油江苏液化天然气有限公司，江苏 南通 226001）

摘要：目前天然气作为一种清洁低碳能源得到了大量的使用，LNG 接收站在天然气供应环节中扮演着重要角色，所以越来越多的企业开始投建 LNG 接收站。LNG 接收站投产是整个投建过程最重要部分，如何保证新建 LNG 接收站顺利投产运营，对于企业来说显的尤为重要。本文通过对 LNG 接收站投运过程的分析，优化投产方案，以达到减少 BOG 火炬燃烧、投产时间缩短等的目的。

关键词：LNG 接收站；预冷；储罐；外输管道

接收站建成初期，管线和设备都处于常温状态，为了防止冷态的 LNG 直接进入管线和设备造成热冲击，必须按照要求对管线和设备进行预冷。常规 LNG 接收站主要包括卸料系统、储存系统、外输系统、BOG 处理系统等。

1 投产过程

1.1 点燃火炬长明灯

在接收站投产初期，火炬系统为了处理预冷产生的蒸发气需要提前投用，但为火炬长明灯供应燃料气的燃料系统需要在外输建立或者 BOG 压缩机投产之后才能投用，无法满足投产初期火炬长明灯对燃料气的需求，则需要使用其他气源作为临时燃料气来满足投产初期火炬长明灯的使用需求。通常火炬厂商建议安装 LPG 钢瓶作为长明灯燃料气，但是一般使用容量为 118L 的 LPG 钢瓶，高架火炬每支长明灯耗气量约 $3\text{Nm}^3/\text{h}$ ，地面火炬每支长明灯耗气量约 $2\text{Nm}^3/\text{h}$ ，所以一瓶 LPG 能够满足高架火炬一支长明灯燃烧 8h 或地面火炬一支长明灯燃烧 12h。投产时可根据长明灯的品种与数量，同时为保证火炬系统的安全可靠，建议配备 5+ 天的用气储备量。

除了使用 LPG 作为燃料气，还考虑使用 LNG 槽车卸料方式，配备合适能力的空温汽化器。一辆装载 20t 的 LNG 槽车可以满足高架火炬长明灯燃烧 9330h/支或地面火炬长明灯燃烧 14000h/支。则一辆 LNG 槽车可满足整个投产过程火炬长明灯燃料气的需求，使用 LNG 槽车作为长明灯燃料气相比使用 LPG 操作过程相对较少，而且火炬系统运行更可靠。

1.2 卸料管道的预冷^[1]

目前 LNG 接收站卸料管道的预冷方式主要有两种，一种是直接采用船上 LNG，使用船上气化器将 LNG 气化，气冷却卸料管道；另一种是先使用低温氮气将卸料管道冷却至一定温度，再采用船上 LNG 冷却

或直接进液。

使用 LNG 冷却方式不需要另外增设临时设施，初期投资较小；冷却后不用置换氮气，操作相对简单。但是由于接收站的冷却需要严格控制冷却速率，因此首船在港口停留时间较长。如果冷却中出现异常情况，船停留的时间可能超过合同签订时间，则需缴纳滞港费。

使用液氮冷却方式首船进港后，所需时间较短，其后可以直接冷却 LNG 储罐。冷却时，如卸料管道出现问题，不需要置换，可以直接进行修复，安全性要高。但是前期建设时就要决定使用液氮冷却，卸料管道需要安装液氮调温器，并需要在多处安装临时放空管件，增大了前期投资。同时，接收站附近需要设置氮气液化站，确保可以连续提供大量液氮。此外，要精确控制预冷时间，避免在首船进港前目标温度到达后，增大了液氮的使用量，或者首船进港后，卸料管道还未冷却到目标温度，应影响 LNG 船滞港时间。

液氮定压热容是 LNG 的 1/2 左右，要维持相同的冷却速率，当显热利用率相同时，进液氮速率约是 LNG 进入速率的 2 倍，最终的氮气用量也约为 LNG 的 2 倍，但按照市场价格核算，使用液氮预冷相对于更经济些。

使用 LNG 预冷初期，船上气化器出口温度控制在 -20°C 。根据卸船管线的预冷情况，要求船上逐渐增大气化器出口流量，降低气化器的出口温度。在预冷过程中，卸船管线的平均冷却降温速率最好控制小于规范要求的 $8\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，并且确保在冷却过程中管线顶部和底部的最大温差控制在 50°C 以内。当卸船管道上的第一个靠近码头测的上表面温度计达到 -140°C ，同时在储罐区的卸船管道水平段末端的底部温度及保冷循环管道末端的底部温度约为 -100°C 时，卸船管线的冷却结束。气体冷却完成后，启动船上的喷淋泵对卸

船总管进行液体填充。

1.3 储罐的预冷

储罐进行预冷之前需要干燥堕化处理,在各个区的露点与氧含量满足后才进行预冷。在预冷卸料管道时,冷气通过储罐顶部进料进入储罐,因甲烷密度比氮气密度小,甲烷首先聚集在储罐顶部,利用活塞效应置换罐内氮气。置换期间需要将储罐压力控制在10kPa左右。当各个泄放口甲烷含量达到5%时,及时关闭泄放口同时打开储罐与BOG总管连通的切断阀,排放至火炬燃烧。

储罐预冷需要持续的冷能供应,所以在卸料管路充满液体以后通过储罐顶部专门用于冷却的环形喷淋管道对储罐进行缓慢预冷,产生的BOG进入火炬燃烧。冷却期间根据罐底的冷却速率,调整喷淋管线上的阀位和流量。冷却时,控制罐底的平均温降速度应控制为 $3\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。整个冷却期间,罐底的两个温度计的最大温差为小于 50°C 。储罐预冷期间,罐内低压泵及泵井同时被预冷。

罐底板平均温度降至 -150°C 后,全开预冷管线喷淋阀,待底板和罐壁温度平均温度都降至 -150°C 左右时,打开底部进料阀HCV旁路。当储罐伺服液位计开始变化直至液位达300mm后,逐渐打开底部进料阀HCV开始充液至5m。在储罐进液过程中,可以使用码头保冷循环管道中的介质可对低压泵出口管道进行预冷,当泵出口管道温度达到 -150°C 时,则预冷完成,调整铅封保位阀门,保证出口管道进行持续的保冷。当储罐进液完成或船方卸料完成,关闭所以储罐进料阀门,储罐开始静12h。

为了能够顺利储罐投产,利用合理的方法提前知晓储罐预冷用量,避免资源浪费,可采用非稳态导热方式进行储罐预冷计算,建立一维非稳态导热空间域和时间域的离散函数,运用热平衡法建立非稳态导热物体内部节点和边界节点温度的差分方程,计算任意一个内部节点在某一时刻的节点温度。利用得到的储罐罐体在不同时刻的温度分布值,计算通过罐体的热流密度,得到储罐罐体吸热量,实现预测储罐在预冷期间不同温降需要的LNG量。以储罐容积20万 m^3 为例,储罐内径42m,内罐高度40m,设定不同储罐预冷速度,得到预冷过程不同时段储罐所需LNG流量。

根据曲线显示预冷速度为 $2.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时LNG用量为846t,预冷速度为 $3.0^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时LNG用量为754t,速度为 $3.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时LNG用量为701t,那么预冷速度越快,需要流量越大,

但预冷介质总消耗量减少。

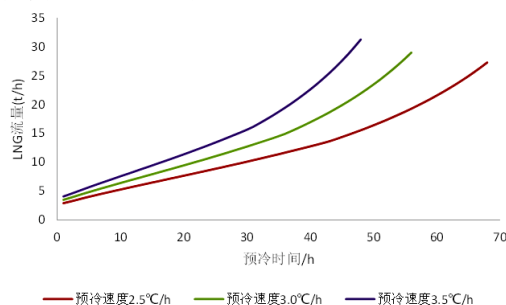


图1 不同预冷速度 LNG 流量变化图

1.4 建立气化外输系统^[2]

储罐内低压泵测试完成后,建立码头保冷循环,通过调整储罐进料管线上的CSP阀门控制卸料管线的压力,然后即可进行高低压输出总管的预冷。为了能够更好的控制好冷却速率,可以使用临时气化器先进行气冷。冷却过程,高低压输出总管上所有的阀门都处于全开状态,冷却速率只通过气化器入口和旁路的截止阀来控制,控制温降速度为 $8\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。当高压输出总管末端上表面温度计 -100°C ,认为高低压输出总管冷却完成,并通过高压排净总管返回至储罐流程,为高低压输出总管充液。整个充液过程中,调整高低压输出总管的压力维持在 $0.3\text{MPa}\cdot\text{G}$ 左右,之后压力充至 $1.1\text{MPa}\cdot\text{G}$,建立零外输循环。此时,码头保冷循环和零外输循环均已建立,保持整个LNG输出管网处于冷态。

零外输循环建立以后,按照厂商文件的要求,对高压泵及出口管线进行预冷。一般选择先预冷最末端高压泵及出口所有管线,保证整个高压泵系统管道得到充分的预冷。高压泵的预冷大约需要8.5个小时,泵进注液的速率不超过 $0.5\%/ \text{min}$,并在泵电机的下部轴承、电机的上部轴承位置需要静置30min,在泵底部轴承以下、泵的中部、电机中部以及泵井顶部法兰位置需要静置60min。泵的出口管线与泵井一起冷却,泵井冷却结束后,通过打开泵最小回流管线上的CSP阀对最小回流总管进行冷却。高压泵整个预冷结束后,对高压泵进行测试。由于再冷凝器没有投用,泵的最小回流和泵井放空都返回至储罐。

ORV是使用海水作为加热介质的。所以ORV预冷前要启动海水泵,调整ORV海水入口CSP的开度,确认海水分布器内海水缓慢平滑的流到LNG分配管束上,保证气化效果。首先确保下游外输管道已经具备通气条件,则通过调节ORV的入口调节阀的旁路阀的开度进行预冷,预冷温降速率控制为 $8\sim 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。当

入口管道末端的上表面温度达到 -120°C 后, 停止站内零外输循环, 切换流程后启动高压泵, 通过管道上的主阀对 ORV 入口管道进行 LNG 充填, 对下游外输管道进行加压。若外输管道已运行, 则接收站的高压外输天然气可直接输送至管网。如果海水温度较低, 限制了 ORV 的运行, 则可同步投运 SCV 进行外输干线的加压。

1.5 BOG 系统投用

在管道、储罐以及设备预冷过程中产生大量的 BOG, 一般新建 LNG 接收站 BOG 系统投运都放在最后, 试车期间产生的 BOG 直接放空火炬燃烧。常规接收站投用 BOG 处理系统时, 接收站已经建立了一定量的稳定外输。BOG 压缩机投用之前, 首先对再冷凝器进行投用, 主要包括再冷凝器的预冷、充液过程。通过再冷凝器底部低压排净管线 LNG 反向流动缓慢进行预冷, 预冷过程中手动控制全开顶部压力控制阀, 同时采用间歇式开关排净阀进行预冷, 防止再冷凝器预冷较快。当再冷凝器底部温度降至 -130°C 后, 表示预冷完成, 同样通过底部排净阀对其充液至 50%, 液位满足后关闭底部排净阀。

压缩机首台启机时, 入口 BOG 温度和热值通常不满足要求, 可以通过出口排放火炬流程进行初期的置换。试车期间将再冷凝器顶部压力控制阀设为自动模式, 防止再冷凝器超压。首台压缩机启机, 厂商不推荐使用调温器, 经过较长时间, 入口温度才降要求值。非首台压缩机启机时, 使用调温器对压缩机入口气体进行降温, 很快入口温度能降到要求值。如果设计初期未配置调温器, 为了能满足 BOG 压缩机对 BOG 温度的要求, 还可采用卸船总管 TRV 旁路小开度对 BOG 管线进行喷液, 以达到降低 BOG 温度的目的。采用此方法需注意 TRV 旁路的开度与开关时间的控制, 避免 BOG 管线聚集大量的 LNG, 发生火雨现象。BOG 压缩机运行后, 通过手动调节液气比和底部旁路调节阀, 稳定再冷凝器液位和压力, 待其运行稳定后, 可将其控制阀设为自动模式。

接收站 LNG 气化外输稳定, BOG 处理系统运行稳定以及整个 BOG 系统压力稳定以后, 满足火炬熄灭的条件, 则可以对火炬进行熄灭操作。

1.6 高压长输外输管道投产

外输管道投产一般存在两种方式, 一种方式使用下游管网气源反向给新建管道充压, LNG 接收站内可以直接进行外输。另一种是站内先投产, 对整个新建

外输管道进行置换与充压, 等到甲烷含量与压力满足要求后, 打开界区阀门, 进行正常外输。

如果选择第二种方式, 首先做好外输管道投产所需要的工艺准备, 按照范围和投产程序的要求, 设置好相应的阀位, 保障投产过程的准确无误。确认外输管道已惰化, 露点低于 -20°C 。根据《输气管道工程设计规范 (GB50251-2015)》中要求, 置换过程中流速应不大于 5m/s 。按照不超过 5m/s 进行测算, 管径 $\Phi 1016\text{mm}$ 管道 LNG 量应控制在 0.5t/h/km 以内。置换时应采用分段进行, 末端处检测到甲烷含量达到 5% 时, 进行火炬燃烧, 当检测甲烷含量到达 90% 时, 认为置换合格。为保证管线置换干净, 分别间隔 5min 测量 3 次, 均超过 90% 后则完成置换。天然气置换氮气时, 保持零外输循环不变, 启动一台气化器, 通过入口 FCV 阀旁路控制天然气流量, 维持 LNG 流量在 0.5t/h/km 。置换过程中维持压力在 50kPa 。管线升压速度控制在不超过 1MPa/h , 并在压力达到 1MPa 、 3MPa 、 6MPa 及干线压力时稳压。稳压的时间内对外输管道进行检查, 重点加强管线位移的检测、焊缝质量的检查和阀门、法兰处泄露情况的检查。根据升压速度上限 1MPa/h 测算, 所需 LNG 的量最大不会超过 6.4t/h/km 。首先利用零外输循环, 逐步增加汽化器负荷, 升压至 1MPa 后稳压 4h。然后停止零外输循环, 启动高压泵进行加压, 加压至 3MPa 后稳压 4h, 再次加压至 6MPa , 稳压 4h。最后加压至输气干线压力稳压 4h。检查正常以后打开分输站计量撬阀门, 正常外输。

2 总结

LNG 接收站投产是一项多专业, 多变量的系统工程, 投产初期一定要对接收站每个流程充分理解, 并制定详细的投产方案。在现场严格执行投产方案的同时, 要灵活应用现有条件, 灵活处理发生的问题。本文通过详细的描述新建 LNG 接收到投产过程, 并提出创新方法, 优化投产流程, 为后续 LNG 接收站投产提供很好的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 庄芳, 赵世亮. LNG 接收站卸料管路预冷方案 [J]. 油气储运, 2012(31):108-111.
- [2] 田青燕, 薛祖昌. LNG 接收站试车过程 [J]. 油气储运, 2014, 33(5):49-54.

作者简介:

田小富 (1988-), 男, 汉族, 河北迁安人, 本科, 工程师, 研究方向: LNG 接收站工艺操作管理。