

浅谈 LNG 接收站 BOG 的处理方法及分析

万松杨（江西省页岩气投资有限公司，江西 南昌 330096）

摘要：BOG 处理是接收站的关键工艺，是接收站的核心部分。BOG 是 LNG 接收站的关键之一，关系到接收站能否安全平稳经济的运行。为探究 LNG 接收站 BOG 处理方式的原理，对几种常见的 BOG 处理方式进行了总结，分析了再冷凝法、加压外输法、压缩为 CNG 三种方式的原理、优缺点和适用条件，并通过软件模拟了接收站的 BOG 再冷凝处理工艺，对模拟流程进行了简要分析，得出了冷凝一定量 BOG 所需的最小 LNG 流量。液化天然气接收站在运行期间会产生蒸发气（BOG），BOG 会使液化天然气接收站中的储罐处于不稳定的运行状态，同时造成天然气资源的消耗，还会引发液化天然气接收站的安全隐患。因此完成液化天然气接收站 BOG 的处理至关重要。本文对 BOG 的产生原因进行分析，深入的比较和分析再冷凝法、压缩法、直接输出法三种 BOG 的处理方法。

关键词：液化天然气；BOG 处理；天然气接收站

0 前言

液化天然气是通过天然气脱水、脱氢、脱酸后，净化、冷凝而成的甲烷液体。液化天然气需要存储在 -160°C ，0.1MPa 左右的低温储罐中。液化天然气接收站接收陆运及海运的天然气，同时可以将储罐内的液化天然气气化后输送至天然气管网。随着天然气能源需求量的增加，我国液化天然气接收站的建设正在不断的扩大规模与数量。尽管在建设标准规范、技术应用水平等方面，经过不断的探索与实践，有着明显的提升，但与国外发达国家相比，仍然存在着一定的差距，尤其是天然气接收站在将液化天然气接卸到储罐的过程中，容易产生 BOG，影响储罐的压力、导致储罐处于不稳定的状态。针对这一问题，需要进一步改进处理工艺，加强对 BOG 的处理措施，保障接收站的安全运行。

1 LNG 接收站总图平面布置

根据 LNG 的特性，风向条件、周边道路、相邻企业情况，确定设备设施与建筑物的相对位置，以我国现行规范、标准、工程建设标准强制性条文为指导，考虑防火、防爆安全间距要求。在具体场地的布置上尽量做到节省用地、节约投资和保护环境。

1.1 安全间距设置

在液化天然气接收站设计过程中，对安全距离的设置需严格按照国家标准 GB/T 50183 及 GB 51156 中的安全间距要求执行，以保证安全生产。安全防火间距分为外部设施与厂区内设施之间的间距以及站场内部各设施之间的间距，外部设施与厂区的间距主要包括建筑红线、场外道路以及高压电路、站场内部设

施之间的安全间距，同时兼顾相邻企业之间的安全间距等。内部设施之间的间距主要包括厂区内受储罐影响的工艺设置、建筑物、厂前区等之间的安全距离以及关键设施与点火源之间的距离等。比较常用的安全距离有两个储罐的距离为两储罐半径之和，气化器距站场围墙不应小于 30m；相邻气化器间距离不应小于 1.5m^[1]等。同时应该引起注意的是这些设置之间的距离必须按照 QRA 分析结果进行校核，保证在满足标准要求的前提下，还需满足 QRA 分析中关于热辐射安全范围、扩散范围等的计算结果。此外在站场安全距离设计时，因考虑到标准的更新以及新标准的介入对布置提出的新要求，目前新纳入被采用的标准是石油石化企业设计防火规范 GB 50160。

1.2 消防站设置

为了更好应对突发情况，对于消防站的设置，应根据当地消防部门提供的资料核实消防站的设置与厂区的距离，以使其在站场有效消防服务范围内，满足项目的消防需求，该距离一般以消防站接到报警后 30min 内能到达出事地点为基本要求，否则需在站场内配备 2 台重型消防车。消防车的一般布置在厂前区，该位置需保证在短时间内顺利到达火灾地点。

1.3 站场总图平面布置要点

LNG 接收站按照功能做分区布置，根据各单元不同功能，将液化天然气接收站分为码头区、LNG 储罐区、工艺装置区、公用工程及辅助生产区、槽车装车区、行政办公及生活服务区、火炬区和首站等。LNG 站场工艺的设置，根据满足外部市场的需求为目标设计工艺流程。接收站内分区布置时应充分考虑 LNG 工

艺流程的合理顺畅、设备和管道的布置合理、装置的安全操作、施工、检修和安装的方便,同时考虑安全生产、消防、后期扩建及综合投资等因素。

2 BOG 的产生原因

2.1 储罐内的自然蒸发

液化天然气接收站主要采用的储存设备为大型的天然气储罐。储罐外层主要采用混凝土材质,内部采用保冷层,提升储罐的绝热保冷性能。储罐自身会产生一定的自然蒸发量,这一自然蒸发量一般采用日蒸发率来测量。当储罐的装填率达到 90% 以上时,静置 24h 后,就可根据装填的液化天然气质量以及储罐的有效容积比,计算出日蒸发率。液化天然气的日蒸发率受到储罐内温度、压力、液化天然气自身组份以及外部环境的多种因素影响。

在储罐绝热保冷性能良好的情况下,储罐内的温度和压力在较小的范围内波动时,通过储罐内的温度可以衡量内部压力。标准大气压下,液化天然气的沸腾温度范围为, -166°C 至 -157°C ; 在这一温度下,压力为 $1 \times 10^5 \text{Pa}$ 到 $2 \times 10^5 \text{Pa}$ 。在这一温度和压力范围内,BOG 的生成量,会随着温度升高而升高,随着压力的降低而增加。

在储罐内温度及压力处于一个较小的波动范围时,BOG 的生成速率与液化天然气自身的组份有很大的关系。液化天然气中甲烷的含量一般大于 75%,氮的含量小于 5%。由于甲烷与氮气的沸点不同,当温度升高后,甲烷会先于氮气蒸发,因此当甲烷组份高时,甲烷将由 BOG 处理系统回收。在冷凝过程中,氮气会比甲烷后液化,这时,BOG 气相中的氮气就会不断累积,引发 BOG 总量的增加。

2.2 容器和设备漏热

液化天然气储罐一般为双层的隔热结构设计,内外层之间会采用真空方式或填充惰性气体方式,达到隔热的目的。然而在储罐的储存及运输过程中,结构的保冷性能、外界温度及太阳辐射的变化,会造成储罐内外环境的温差,形成一定的热传导,导致储罐内液化天然气吸收热量,产生温度变化。这一温差导致的漏热,会影响液化天然气的状态,引发 BOG 的产生。

2.3 卸料装置的热量影响

天然气接收站在接收液化天然气时,会将液化天然气接卸到储罐中。这一过程中机械装置处于常温状态,会与液化天然气之间形成巨大的温差,导致液化天然气温度变化产生 BOG。这也是在液化天然气接卸

期间,BOG 的生成量远高于储存期间生成量的原因。

3 液化天然气接收站 BOG 的处理方法

3.1 直接输出处理方法

直接输出处理方法是指将储罐内产生的 BOG,直接通过 BOG 压缩机或回收装置,完成压缩或直接输送至管网。直接输出工艺的工艺方式较为简单,能够与 BOG 回收系统相连接,节约回收成本。但是直接输出工艺的限制要求较高,一是要求,接收站的外输管网压力较小,保持在 2MPa 到 3MPa 之间。二是要求接收站的 BOG 产生量可控,避免造成管网压力。一般这一方法只适用于小型的液化天然气接收站。直接输出处理方法也被称为加压外输处理。这种处理方法,处理的 BOG 不通过再冷凝器,也不消耗液化天然气的冷能。除了对压力以及 BOG 的产生量有限制以外,这种处理方法还需要液化天然气接收站周围有长期稳定的接收用户。

3.2 压缩处理方法

压缩处理方法与直接输出处理方法的区别在于,压缩处理对 BOG 进行了更深层的压缩,将其处理为压缩天然气 CNG。压缩处理方法的流程为,将 BOG 升至常温后,经过缓冲罐,然后通过压缩机的深层加压,生成压缩天然气 CNG,再由 CNG 槽车完成输出外运。相比较直接输出处理方法,将 BOG 压缩处理为 CNG,能够减少生产条件对处理方法的限制,整体处理工艺更为灵活,并且销售市场更为广泛。但由于 CNG 处理对于压缩机的开启及关闭操作要求较高、对于罐内压力的控制能力要求更高,因此不适用于一些不具备 CNG 处理及充装能力的液化天然气接收站。同时 BOG 的生成量受到外部影响较大的情况下,可能影响 CNG 的产出量,也不利于销售。

3.3 再冷凝处理

3.3.1 再冷凝的原理

再冷凝是将过冷的 LNG 对经过增压的 BOG 进行热交换,在再冷凝器中使 BOG 冷凝,由高压泵加压气化外输。BOG 再冷凝系统一般由 BOG 收集系统、回气系统、BOG 压缩机和再冷凝器组成。首先用液下泵对储罐中的 LNG 加压,同时用 BOG 压缩机对 BOG 增压。如图 1 所示,加压后的过冷 LNG 将分为两部分,流进再冷凝器的一部分与压缩后的 BOG 进行混合换热,经冷凝后与流经旁通的另一部分混合,增压后汽化外输。如果液化天然气的量不够,则无法实现 BOG 的冷凝,所以再冷凝工艺适用于天然气外输量大、外

输管道压力高的大型场站,该工艺利用 LNG 本身的冷能,能耗较低,是目前全世界大型接收站主要采用的 BOG 处理方式(图 1)。

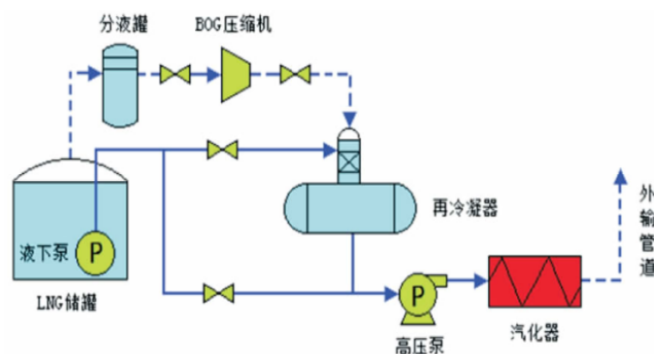


图 1 BOG 再冷凝工艺流程简图

3.3.2 再冷凝器

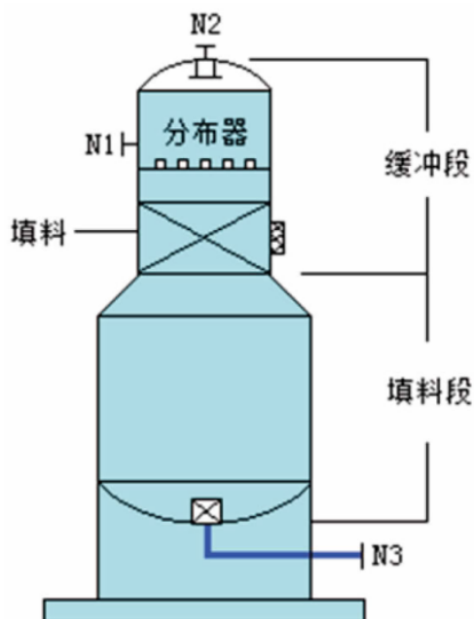


图 2 单壳单罐式再冷凝器结构简图

再冷凝过程中,再冷凝器为主要部分。再冷凝器是一种直接接触的换热设备,直接接触换热具有传热系数高、不易腐蚀设备、结构简单、投资小等优点。其基本原理是加压后的 BOG 经过气体分布器,在静态混合器中与过冷的 LNG 完全接触,经冷凝后排出。固定在管道中的静态混合装置可改变管道中流体的流态,实现 BOG 和过冷的 LNG 完全接触并冷凝。BOG 的流速不能过大,否则将无法维持内部液位和出口压力的平稳。BOG 再冷凝器的主要结构为气体分布器和静态混合器。气体分布器与 BOG 管道连接,为多孔介质构成。BOG 经过气体分布器时,微孔通道将使气

泡尺寸减小,数量增加,液体的紊流程度提高。静态混合器有机械搅拌、连续生产、无污染、分散性好、混合好等优点。20 世纪 60 年代,美国的凯尼斯公司首先将其应用于实际生产。

单壳单罐式再冷凝器分为填料段和缓冲段,目前较为常见。如图 2 所示,LNG 从 N1 流进再冷凝器,增压后的 BOG 从 N2 进入,LNG 经分布器均匀分配,与填料中的 BOG 混合,发生传热冷凝,冷凝后的 LNG 经缓冲段从 N3 流出,与流经旁通的 LNG 混合进入高压泵。中石油江苏 LNG 项目采用单壳单罐式再冷凝器(图 2)。

3.3.3 再冷凝的工艺控制

过冷的 LNG 将 BOG 由气相冷凝为液相,只需对进入再冷凝器的气液流量比进行控制,同时保持进出口物料平衡,就能保证再冷凝器运行稳定。控制进入再冷凝器的气液比,可分别通过控制内部液位高度、流入的 BOG 量和液体上方的气相压力实现,控制进出口物料平衡可通过控制出口压力和流入的气液比实现。

4 结语

液化天然气接收站产生 BOG 的原因多种多样。为了进一步的提升液化天然气接收站的运行稳定性、保障液化天然气储罐的存储安全,对于 BOG 可以采用直接输出处理方法、压缩处理方法,以及再冷凝处理方法。其中,再冷凝处理方法,能够实现连续生产,并且处理过程能耗较低,能够直接利用液化天然气自身的冷能、节约处理成本。同时,再冷凝处理方法能够突破压力、管道等多方面的处理限制,是更为先进、合理的 BOG 处理方法,值得进一步的推广及应用。

参考文献:

- [1] 熊金强.液化天然气接收站风险评价方法研究[J].石化技术,2020,27(07):245-246.
- [2] 吴建新,张清双,吴春豪,陆威.液化天然气接收站用深冷上装式球阀结构分析[J].阀门,2019(05):1-3+7.
- [3] 蒋雅君,杨其新,刘东民,盛草樱,赵菊梅.液化天然气接收站 LNG 工艺隧道喷膜防水应用技术[J].隧道建设(中英文),2018,38(11):1878-1887.
- [4] 王彦,信鹏,高萃仙.LNG 接收站蒸发气的发生与气量计算[J].油气储运,2010,29(5):363-364.
- [5] GB/T18443.2-2001.低温绝热压力容器试验方法[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2001.