

LNG 接收站 BOG 气体处理工艺研究

张鹏飞 (江苏液化天然气有限公司生产运营中心, 江苏 南通 226400)

摘要: BOG 气体高效处理, 对 LNG 接收站降低能耗、安全稳定运行有重要作用。因此, 需要对 BOG 气体的处理工艺深入分析, 并将其有效应用于不同类型的 LNG 接收站中, 才能够最大程度发挥其积极作用, 达到节约能耗的目的。本文从 BOG 气体处理概述出发, 深入分析了 LNG 接收站 BOG 气体处理工艺分析, 并以某 LNG 接收站为例, 进一步探索不同处理工艺的优势特点, 以供参考。

关键词: LNG 接收站; BOG 气体; 处理工艺

LNG 接收站的应用, 不仅满足了各领域对能源的需求, 更避免资源过度浪费问题的发生, 优化能源结构的同时, 缓解了经济压力。LNG 接收站的核心内容是科学处理 BOM 气体, 为此, 合理选择处理工艺, 对接收站的安全运行具有积极的意义。

1 BOG 气体处理概述

尽管 LNG 接收站在存储与运输过程中采用的保护与冷藏方案较多。但在实际工作依然容易出现 LNG 挥发问题, 在挥发过程中产生的 BOG 气体较多, 导致资源浪费严重。BOG 是指 LNG 存储、运输中产生较多的热能, 在外界环境等因素的影响下, 在受热气化过程中将产生蒸发气体。比如, 一个装载 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的 LNG 储存罐, 标准的蒸发率为每天 0.06%。如果不能及时处理 BOG 气体时, 将对环境造成极大的危害, 同时是一种资源的浪费。为此, 做好 BOG 回收工作尤为重要。BOG 气体的回收处理一般选择建立在 LNG 接收站基础上, 采取再冷凝、直接压缩、燃料气利用等工艺。

2 LNG 接收站 BOG 气体处理工艺分析

2.1 再冷凝工艺

再冷凝工艺是将 LNG 接收站储罐中的 BOG 气体在压缩机加压的条件下, 在存储罐中的液下泵送出压力相等的 LNG。在此过程中应保证比例的合理性, 使其能够在冷凝器中直接进行换热。当完成加压工作后, 此时的 BOG 在 LNG 显冷的作用下冷凝, 随后经过二级泵加压, 通过气化器气化, 最终送入到高压输气管道内。在冷凝工艺中应用到的设备为再冷凝器, 冷凝器一方面是对 BOG 进行冷凝, 另一方面与 LNG 高压泵的缓冲入口缓冲罐作用相一致。有助于储存罐内液体高度不断升高, 符合高压泵实际需求。

2.2 直接压缩外输

直接压缩外输工艺的工作原理是指 LNG 储罐中

BOG 气体在压缩机的作用下直接加压到燃气管网需要的压力之后, 顺利进入外输管网, LNG 送汽化后即可通过储罐液下泵。直接压缩外输工艺是针对 BOG 压缩外输, 当储罐 BOG 供应充足到饱满状态, 但需求量不高时, 采用直接压缩外输工艺无法确保 BOG 气体压力稳定、安全。因此, 需要辅之以其他方式, 部分放空、与再冷凝工艺相结合的方式, 都能够达到储罐压力稳定性的效果。该种工艺所应用到的设备包括 LNG 储罐以及加热器, 还包括压缩机入口缓冲罐, 压缩机还包括外输增压 BOG 压缩机等。但该种工艺也具有一定的局限性, 即能耗消耗量较大^[1]。

2.3 功耗分析

与直接压缩工艺相比, 再冷凝工艺的节能效果较好, 单位重量的流体在泵与压缩机的作用下, 所获得的机械能转为流体动能、位能以及静压能损失如下: ①位能与流动阻力的损失比于静压能、动能要低很多; ②气体流速高于液体的流速。气体动能值高于液体, 单位重量的气体将从压缩机内获得更多的动能; ③如果进出口压力相等时, 同一种物质气体的密度低于液体密度, 气体静压的能项数值高于液体。单位重量气体从压缩机内获得的静压能高于液体从泵内获得的静压能。因此, 在外界条件相等的情况下, 采用泵加压的方式能够节省功耗。与此同时, 相较于直接压缩工艺, 再冷凝工艺的能耗消耗较大。液体密度通常与压力的联系较小, 但气体密度在进口压力不断增大情况下, 单位重量气体所能够获得的静压能也随之减小。压缩功率不断降低。此时, 进口气体压力不断降低的同时, 泵与压缩机的功率差异也将进一步增加, 能够展示泵的节能效果。通常情况下, 泵功率将随进出口压差增大、线性也随之增大, 压缩机功率也将逐步增加, 增大幅度高于泵的大小。所以, 泵的节能效果也受到进出口压差的影响。

2.4 再冷凝工艺节能分析

当冷凝器的操作压力越来越低时, LNG 第二级泵进口压力随之变小, 节能效果也更加明显, 但降低操作压力通常受到 LNG 过冷程度的影响, 因此, 合理控制过冷程度尤为重要, 需要避免过冷程度过小, 避免对操作造成影响。工程中所应用到制冷器操作的压力取值在 0.8MPa (G) 左右。外送输气管道压力较高时, 进出口压差也越大, 节能效果也更好。外送输气管道压力与 LNG 接收站功能定位关系密切。LNG 接收站分为大型 LNG 接收站, 当前在我国沿海城市应用较为广泛, 规模一般在 3000kt/a 左右。LNG 接收站一般接收并气化 LNG 的对外供气, 因此也称为气源型接收站。小型的 LNG 接收站主要作用是事故应急调峰, 当管道发生输气事故时, 借助 LNG 储罐以及气化器可以对外临时供气, 确保网管的稳定性和安全性, 因此也将该类型的 LNG 接收站称为调峰型接收站。对于气源型接收站来说, LNG 储罐规模较大、数量也较多, BOG 的气体量大, 通常采用远距离管道输送, 因此, 外送输气管道的压力一般较高。调峰类型的接收站 LNG 储罐规模小, 外送输气管道的压力也较小。无论是气源型接收站还是调峰型接收站再冷凝工艺的节能效果都要高于直接压缩工艺^[2]。

2.5 优化分析

BOG 的处理工艺类型较多, 通常情况下都需要在卸料的过程中使用。对实际经验进行总结, 最终得出再冷凝工艺与直接压缩外输工艺有效配合具有积极意义, 不仅灵活性较强, 且具有良好的节能效果。对于再冷凝工艺与直接压缩外输工艺混合使用的方法, 优势主要体现在能够降低能源消耗量。再冷凝工艺的具体优势体现在能耗节约率大, 对 LNG 冷能可以进行充分的利用。但同时也具有一定的弊端, 具体体现在作业流程相对复杂, 在设备投入方面需要有一定的成本。在实际操作时应保证设备能够长期处于工作状态下, 一旦中途停止, 将发生能耗急剧下降的问题。而对于直接压缩外输工艺来说, 实际应用中所投入的设备较少, 工艺流程相对简单。弊端则在于能耗消耗极大。但将两者结合起来后, 不仅能够提高处理效率, 应用也较为灵活, 借助 LNG 冷能甚至可以达到 0 排放的效果。以某 LNG 接收站为例, 每小时的 BOG 处理量为 8t, 借助再冷凝技术, 一年内所需要的费用较低、且能耗也较低。从中可以看出, 在冷凝处理工艺在作业时间不断延长的情况下, 效果也更加明显。但同时,

在这一年内如果发生设备停止工作时, 也将导致巨大的经济损失。因此, 将再冷凝工艺与直接压缩外输工艺相结合的方式, 能够有效提高 BOG 处理的灵活性, 节能效果也更好。当供气的气源相对稳定时, 可以采取再冷凝工艺, 但当再冷凝设备停止运行时, 则应将其转为直接压缩外输工艺, 防止 BOG 发生放空问题而发生资源浪费和污染。

3 LNG 接收站 BOG 气体处理实例分析

3.1 BOG 工艺对比

以沿海城市 LNG 接收站为例。LNG 接收站采用的 BOG 处理工艺主要有四种工艺形式, 分别为 BOG 直接压缩工艺、再冷凝液化工艺、间接热交换再液化工艺以及蓄冷式再液化工艺。其中, 直接压缩工艺与再冷凝液化工艺是该 LNG 接收站采用的最主要的工艺模式。BOG 直接压缩工艺中的 BOG 加压后将直接进入外输管网中, BOG 加压完成后将直接进入再冷凝器内, 与过冷 LNG 混合后可形成液态形式, 最终进入到气化器内输出。直接压缩工艺与再冷凝工艺对比如表 1 所示。

表 1 直接压缩工艺与再冷凝工艺的对比表

BOG 处理工艺	优点	缺点
再冷液化工艺	能耗低	设备多、流程复杂
直接压缩工艺	设备少, 流程简单	能耗高

3.2 BOG 能耗对比

该 LNG 接收站利用软件对气源型 LNG 接收站、调峰型 LNG 接收站分别采用再冷凝液化、直接压缩工艺进行模拟计算。其中, 气源型 LNG 接收站依据设计参数进行模拟, 从最终得到的模拟数据图中可以得出, 气源接收站和调峰型 LNG 接收站的 BOG 再冷凝工艺的节能效果都要高于直接压缩工艺。针对所获得的气源接收站和调峰型接收站的能耗进行分析, 可以得出实际的生产工艺中压缩机的效率低于泵的效率。BOG 处理工艺的能耗在比较过程中, 压缩机直接影响了能耗的高低。所以, 输送单位质量流体过程中, BOG 再冷凝工艺低于 BOG 直接压缩工艺能耗。再冷凝器的节能效果受到多种因素的影响, 一般可以采用单一变量法对不同变量的节能效果所产生的影响进行分析。因此, 该接收站以气源型 LNG 接收站的参数为基础进行模拟实验。深入分析外输量对节能效果的影响、外输压力对节能效果的影响以及再冷凝器压力对节能效果的影响。①外数量对节能效果的影响, 通常情况下, 外数量对节能效果的影响较小。但同时, 如果外数量

较大时,BOG 的量也将随之增加,BOG 再冷凝液化工艺总结能量也相对较高;②外输压力对节能效果的影响。当外输压力不断增加时,BOG 再冷凝液化工艺的节能量将不断减少。如果再冷凝器的压力不断减小时,再冷凝器入口 BOG 温度也将随之升高。冷凝 BOG 的 LNG 用量逐渐增加,物料液化工艺的节能量将增加。其原因在于外输压力增大时,BOG 直接压缩工艺压缩机内的比焓量的增加量高于 BOG 在冷凝液化工艺中的高压泵比焓量。此时的 BOG 直接压缩工艺能耗增加量高于 BOG 再冷凝液化工艺能耗增加量;③再冷凝器压力对节能效果的影响。物料比进入到再冷凝器的 LNG 和 BOG 质量比也称 LNG 流量为将 BOG 全部冷凝液体的最小流量。再冷凝器压力对 BOG 再冷凝液化工艺能耗以及节能影响来看,当再冷凝器的压力升高时,低压泵与压缩机的压力也逐渐升高,BOG 再冷凝液化工艺消耗的能量也随之增加,BOG 再冷比增加,如果 LNG 接收站的外数量较小时,操作较为困难,所以在实际的生产过程中,应将冷凝器的压力控制在 0.8MPa (G) 左右。

3.3 改进措施

3.3.1 预冷处理

为改进该接收站再冷凝液化工艺措施,应注重再冷凝器的预冷工作。由于降低压缩机出口的压力将造成节能量的增加,此时物料比也随之增加,造成装置的操作难度较大。因此,为确保压缩机出口压力在降低的过程中确保物料比稳定,最大程度达到节能的效果。可以采取 BOG 在进入再冷凝器前做好预冷工作,通过加入 BOG 冷换热器设备的方式,将 BOG 和高压泵出口一部分的 LNG 进行换热,以预冷的方式,最大程度降低 BOG 的温度。BOG 和 LNG 都为高压物料,所以,在冷换气的选择方面,尽量选择传热效率高且价格相对便宜的换热器。U 型管换热器不仅满足上述要求,同时具有结构简单、承压能力强等特点,因而在实际的生产生活中应用较为广泛。冷换气入口位置的 LNG 流量设置在 4500kg/h。经过优化后,再冷凝器压力和压缩机能耗物料比如表 2 所示。

表 2 再冷凝器压力和压缩机能耗物料比

再冷凝器压力 工艺参数 /MPa	0.60	0.65	0.8
压缩机能耗 /kW	232.4	254.6	167.8
物料比	6.23	5.69	4.87

3.3.2 混合 BOG

该接收站采用的气源型 LNG 接收站通常以 BOG 再

冷凝液化工艺,依据 LNG 不同工况下的 BOG 的处理量:①卸船外输量最小的情况下,BOG 处理量为 21.2t/h;②当卸船的外输量最大时,BOG 处理量为 18.6t/h;③非卸船量较小时,BOG 的处理量为 6.8t/h。根据理论模拟得出卸船工况的 BOG 处理量高于非卸船工况 BOG 的处理量。由于下游用户的用气量并不相同,因此,接收站的外输量也将产生较大的波动,都是导致 BOG 再冷凝液化工艺操作难度较大的主要因素。随着 BOG 的处理量的不断加大,当下游用户的用气量较小时,BOG 在未完全液化的情况下,无法进入到火炬系统内,最终造成能源和资源的浪费。所以,根据在该接收站的具体特点采取 BOG 再冷凝液化和 BOG 直接压缩两种工艺相混合的方式,保证再冷凝器中的 LNG 接收站的流量长期保持恒定的状态。在未被冷凝的 BOG 在高压压缩机提到外输压力的情况下,能够完成气化的 LNG 混合外输。需要注意的是,在保证再冷凝器安全运行的过程中,应最大程度降低高压压缩机的入口流量,尽量节约总的能耗。

BOG 再冷凝液化工艺能耗低于 BOG 直接压缩工艺的能耗,因此,可以根据两种 BOG 处理工艺,在此过程中外输量的大小并不会对再冷凝器的节能效果,当外输压力增加时,再冷凝器的节能量也随之加大。当再冷凝压力不断增加的同时,再冷凝器节能量也随之减小,可将再冷凝器的压力控制在 0.8MPa 左右。通过实验得出 BOG 在进入再冷凝器前预冷的情况下,BOG 将降低再冷凝器的压力,有效节约压缩机能耗,节约率能够在 17.5% 以上。

4 结论

总而言之,对于 LNG 接收站来说,BOG 的处理通常采用的工艺有再冷凝工艺和直接压缩工艺。其原因在于两者的处理效率较高且操作相对简单,但与直接压缩工艺相比,再冷凝工艺节能效果更好,在大型 LNG 接收站中应用较为广泛。而直接压缩工艺则更适合在小型调峰型 LNG 接收站中使用,保障节能效果的同时,降低了投资成本。

参考文献:

- [1] 樊茵. 基于 WBS-RBS 的 LNG 接收站项目质量风险评估方法研究及应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023,43(04):4-6.
- [2] 彭廷建, 张超, 姜夏雪等. 基于大数据的 LNG 接收站再冷凝器喷淋量计算方法研究 [J]. 中国海上油气, 2022,34(06):177-181.