

全新合成氨冷冻与储运设施的设计及经济性分析

曹爱珍 (山西潞安煤基精细化学制品有限公司, 山西 长治 047500)

摘要: 文章以某合成氨生产企业为例, 首先对常规氨冷冻与储运技术进行了介绍, 其次结合企业需求、现有技术, 对全新系统进行了设计, 在说明系统设置的前提下, 归纳了优化策略和注意事项, 最后对全新系统所具有经济性进行了分析, 内容主要涉及能耗、成本两方面。希望能使相关人员受到启发, 通过改进企业现有设施的方式, 为合成氨的生产及利用助力。

关键词: 合成氨装置; 储运设施; 冷冻系统; 经济效益

近几年, 合成氨技术在国内得到了十分广泛的运用, 期间有关人员先后对催化剂、合成工艺和节能设备进行了优化, 使得装置能耗被维持在较低水平。规模较大的合成氨企业, 通常会根据所选用技术对冷冻配置进行调整, 以期能够通过控制能耗的方式降低运行成本, 并达到节能减排的最终目标。在此背景下, 有关人员指出应对氨冷冻、储运所需设施进行优化, 本文所探讨内容的现实意义有目共睹。

1 常规氨冷冻与储运介绍

某企业计划将空分富余氮气、副产氢气作为原料, 利用 CASALE 对氨进行合成。对氨进行冷却的方式为水冷 + 氨冷, 通过氨冷冻的方式, 向合成回路输送冷凝氨所需能量, 同时在储罐区内布设三台氨球罐, 负责对成品液氨进行储存, 为成品提供低压且低温的环境。各台氨球罐均与循环冰机相连, 确保储存压力始终在理想数值上下浮动。

在很长一段时间内, 有关人员均选择以氨处于不同温度下所对应饱和蒸汽压为依据, 对氨储存进行配置, 所使用储罐类型以常温中压罐及低温常压罐为主。根据上下游要求、装置规模, 决定使用单一储罐或配合使用两种储罐, 若下游连接有尿素装置, 则需要将常温中压罐视为联合中间罐, 而低温常压罐所扮演角色为备用罐, 其作用是保证成品可得到及时且高效的储存。如果上游连有甲醇洗、空分装置, 通常更适合对低温常压罐加以使用, 这样做可使液氨低温性得到充分利用, 使总体能耗维持在较低水平。由于上游装置内部温度往往稳定在 -38°C 或是 -45°C 左右, 在流经上游装置时, 液氨通常能够快速蒸发, 并通过一段进口到达氨冰机内部, 确保低温氨所拥有冷量可被成品尽数回收。除特殊情况外, 均可以根据工艺流程、原料路线, 对分离产品的压力及不凝气具体含量加以确定。考

虑到氨库在占地面积、安全性还有经济性等方面所提出要求相对较高, 若单罐储量可达到 8000m^3 , 则需要优先选择低温常压罐, 以免在系统正式投运后, 由于储罐出现问题, 导致企业蒙受不必要的损失。

利用传统技术冷冻氨成品, 则需要先通过分离罐对氨成品进行减压, 再将减压后成品运往位于氨冰机入口处的分离器内部, 由第二蒸发器、甲醇洗负责对液氨进行过冷处理, 再通过泵送的方式, 将成品运往低温常压罐, 确保其能够被储存在 -33°C 左右的环境中, 以免性能发生改变。成品储罐装车期间和冷损所形成气氨, 通常能够被及时运往氨冰机入口, 如果冷冻系统处于停车状态, 则需要第一时间启动备用保安冰机, 由备用机负责维持储罐内部气压, 以免储罐所储存氨成品受到不必要的影

2 全新冷冻与储运设施说明

通过分析可知, 常规技术在冷冻氨、储运氨方面的表现已无法达到企业要求, 以常规技术为基础, 对全新冷冻与储运设施进行设计是大势所趋。有关人员结合实地勘测所掌握信息, 拟定了以下设计方案:

2.1 系统设置

合成反应器所提供合成气, 通常需要先对热量进行回收, 在经过循环水的冷却后, 被运往第一蒸发器内部, 由蒸发器对氨贮槽所贮存液氨进行蒸发, 蒸发期间所形成冷量, 可使合成气的温度下降到约 15°C 。蒸发所得气氨可经由分离器到达氨冰机入口。剩余液氨则被运往第二蒸发器, 由于蒸发器内温度仅有 -15°C , 液氨往往能够被快速蒸发, 与此同时, 合成气温度也会下降到 -8°C , 待合成气温度达到预设值后, 由分离器对其进行处理并获得最终成品。蒸发所气氨可经由分离器到达氨冰机

入口处,经过压缩及冷凝处理后,气氨温度通常能够稳定在约 38℃,此时,便可将其运送到蒸发器内部,供蒸发器二次使用。通过分析可知,由 PSA 进行变压吸附并提纯所得氢气的纯度,往往能够达到约 99.9%。空分装置所提供氮气,通常不需要进入合成回路,便能够和氢气进行配比,同时由合成回路所产出液氨,只需由分离器进行处理,换言之,即使不对液氨进行常压闪蒸,所获得成品质量仍然能够达到行业标准。

由产品方案所提出要求可知,液氨成品所采取销售模式为直接销售,需要对其进行低压贮存。简单来说,就是低压分离所得过冷液氨直接被运往储罐,同时对分离罐通过闪蒸所得惰性气进行洗涤,将洗涤后惰性气运往气管网。这样做可避免冷冻回路中存在大量惰性气,氨冰机运行能耗自然能够得到有力控制。贮存液氨成品的储罐,其内部气压为 0.4MPa,一旦气压升至 0.45MPa,该储罐便会开启保安冰机,由保安冰机负责压缩、冷凝气氨,将经过处理的气氨运回储罐内部,同时将经过洗涤的不凝气运至对应的气管网。考虑到循环回路内部氨只需要向合成回路所连接蒸发器提供所需冷量,同时该回路不存在低压用户,因此,氨冰机入口通常不需要进行减压处理,压缩所得气氨在经过冷凝处理后,便可以被运回相应的氨贮槽,随着氨贮槽所积聚不凝气的增多,压力逐渐升高,待压力达到一定数值后,方可将其运往气管网并进行后续操作。

通过分析可知,本文所设计系统将冷冻系统、储运系统视为两个可独立运行的回路,相较于常规技术,该系统进行了以下变动:一是新增了分离器、循环冰机,其中,循环冰机仅供成品储罐使用。二是省略了输送成品的输送泵、常压分离器。

2.2 优化策略

对该系统加以使用时,共有以下三个问题需要引起重视:

首先,无论是对液相、还是对气相而言,空气所含氮气、氧气和二氧化碳均会增强液氨的腐蚀性,导致罐壁材料被严重腐蚀,进而影响其整体性能和使用寿命。在前期充装、中期排料和后期检修期间,储罐一旦出现被空气所污染、在没有彻底置换的前提下便投入使用等问题,其性能均会受到影响。另外,若焊缝附近存在焊接残余应力、操作压力所形成拉应力,则难以保证碳钢所处液氨环境各项指标达到要求,进而出现应力腐蚀破坏等问题。

其次,氨贮槽向外界排放惰性气的过程中,通

常会带出少量的氨,对氨进行补充时,有关人员需要保证操作流程及方法符合要求,以免由于补充不当,导致压缩机出现带液、超压或是其他问题。此外,由于液氨系统所配备安全阀与事故池相连,如果出现超压的情况,将致使大量氨水产生,有关人员应逐级对其进行提浓,同时将经过处理的氨水运往对应氨火炬,确保其能够得到二次利用。

最后,未来应以现有技术为基础,对氨合成装置、冷冻装置所适用的降耗节能技术进行优化,例如,针对高压富液提出高位能回收的方案,再例如,研发可另惰性气进行提氢的方案等。

2.3 注意事项

2.3.1 氨冷冻

氨冷冻的目的是向空分装置、甲醇洗装置提供所需制冷液氨,与此同时,通过压缩并冷凝的方式,使所返回气氨尽快转变为液氨。对氨进行冷冻的本质为能量转化,强调先将热能、电能转变成机械能,再将机械能转变成热能,确保热能可在氨等冷冻剂的影响下,快速对冷热进行交换,达到冷冻的效果。

具体原理如下:第一步,由压缩机对低压冷冻剂进行处理,通过绝热压缩的方式,促使其状态尽快转变成高压,再由冷凝器等压冷凝。第二步,经节流阀处理后,液化冷冻剂压力明显降低,同时其温度也有所降低,将压力和温度达到预设值的冷冻剂运往蒸发器内部。第三步,液化冷冻剂可通过吸收蒸发器热量的方式蒸发,随后,被运回压缩机进行二次利用。

这里要明确一点,由节流阀对液体进行节流降压的过程并不可逆。节流阀运行原理如下:气体平稳流经管道所安装针型阀到达针型阀后,气体压力快速降低,同时体积快速膨胀。一般来说,经过节流膨胀的气体,其温度和压力均会出现明显的下降,这也为后续的液化创造了良好条件。

2.3.2 氨储存

作为化工领域的重要原料及产品,氨已在该领域得到了极为广泛的运用。合成氨主要是指将氢、氮置于高压高温环境下,通过催化剂进行催化,最终获得的氨成品。其用途较多,国内 80% 左右的氨均被用来生产肥料,剩余氨成品则作为原料,被用来对其他化工产品进行生产。现阶段,对液氨进行储存的方式主要有两种,分别是低温、加压,要求有关人员以现场条件、当地气温为依据,对储存方式进行选择。一般来说,液氨对储存环境所提出温度要求较为宽松,即 -33℃ ~ +43℃ 间,在该温

度范围内,液氨性能较为稳定,即使需要进行长时间的储存,成品质量仍然可以得到有力保证。

3 全新冷冻与储运设施经济性分析

3.1 能耗对比

新旧系统的区别并不仅仅体现在装置选用上,其运行成本和经济性也会受到一定程度的影响,应引起重视。利用常规技术对成品氨进行减压,极易出现氨冰机内存在大量惰性气的情况,透平气耗难以得到有力控制。在不改变蒸发器热负荷的情况下,对常规技术进行模拟所得结果表明,常规技术所用压缩机的轴功率极高,操作成本自然居高不下。本文所设计系统可显著降低压缩机的轴功率,无论是操作费用、还是制造凝汽器、透平器的费用,均能够得到有力控制。与常规技术相比,该系统能够将建设成本减少约 20%,常规技术需要借助氨冰机对储罐内部气压进行维持,而该系统创造性地引入了循环冰机,同时由循环冰机负责维持系统的正常运行,其成本自然较常规技术更低。

3.2 成本对比

低温常压罐多为双层拱顶结构,内壁材料以低温钢为主,规格为 16MnDR,储罐外壁为碳钢,内外壁间填充大量珠光砂及氮气,其中,珠光砂的作用为保冷,氮气的作用是确保珠光砂始终处于干燥状态,同时确保压力稳定。低温低压罐以球罐最为常见,整体材质为低温钢。对比各储罐制造成本可知,各方案建设成本大致相同,其中,拱顶罐的费用主要用于购入保冷材料、支撑及吊顶材料,球罐的费用则更多花费在安装、土建和购买辅材方面,与此同时,球罐对施工技术所提出要求更高,其占地面积也较拱顶罐更大。

各储罐建设成本见表 1,其中,球罐规模为 $3 \times 5000\text{m}^3$,拱顶罐规模为 $1 \times 15000\text{m}^3$ 。

表 1 各储罐成本对比分析

储罐类型	重量	材料成本	设备成本	安装成本	建设成本
球罐	1100t	730 万	1700 万	840 万	700 万
拱顶罐	950t	510 万	2200 万	670 万	430 万

结合运行情况可知,传统技术需要将液氨运往对应蒸发器内部,由液氨负责提供运行所需冷量,同时也可以指定位置取出所需热氨及冷氨成品。该企业的特点,主要是上游与冷氨用户相连,下游与合成氨装置相连,引入强调分级蒸发的全新冷冻方案,通常可使节能效果得到大幅提升,以众所周

知的凯洛格流程为例,该流程的重点是以常规冷冻流程为基础,新增对液氨成品进行提纯的步骤。考虑到氨冰机极易被用户负荷所影响,如果低温常压罐长期处于 -33°C 的运行环境下,装车、冷损给储罐造成影响将变得更加突出,由此而引起的问题,主要包括操作难度大、压力大幅度波动和操作流程过长,同时各台设备在运行期间极易出现运行中断的情况,导致后续环节无法按照预期计划推进。

由于本文所讨论企业选择利用氮气、纯氢对氨进行合成,氨冷冻只需向合成回路所连接两级氨冷运输运行所需冷量,更适合选用低温低压罐,该储罐具有操作简单和工况少的特点。同时球罐所对应操作压力的跨度较大,装车期间往往不会给冷冻回路造成干扰。在实际生产过程中,该企业选择在温度较高的夏季,将低温低压罐调整为正常值,除特殊情况外,均不需要开启循环冰机,耗能量可以忽略不计。加之该系统有效解决了冷冻回路内有大量惰性气存在的问题,氨冰机正常运行的耗能量,因此而大幅降低。对比分析各方案能耗及投资成本可知,本文所设计系统更符合企业现状和诉求,该系统不仅能够有力控制能耗,对其进行操作的难度也更小,由此可见,对该系统加以运用,可为企业创造更为可观的社会与经济效益。

4 结论

综上,本文以某企业为例,根据其所提出诉求,对氨冷冻、储运的系统进行了设计,在对比常规技术、所设计系统运行流程的前提下,分别从能耗和成本等方面,对该系统所具有优势进行了说明,指出该系统既能够保证运行效果,同时又可为企业创造更为可观的经济与社会效益。现阶段,该系统已正式投入运行,且所取得效果十分理想,未来可加大对其进行优化及推广的力度,为同类企业乃至整个行业的发展助力。

参考文献:

- [1] 蔡德华,李雁飞,周赛,等.尾气余热驱动的氨-盐吸收式制冷系统性能试验研究[J].制冷与空调,2020,20(6):6.
- [2] 龚志强,张晓如.浅析合成氨装置冷冻系统的工艺优化调整[J].石油石化物资采购,2020(19):1.

作者简介:

曹爱珍(1983-),女,山西长治潞城人,学历:本科,毕业于太原理工大学阳泉学院,现有职称:助理工程师,研究方向:化工。