

合成氨氨回收尾气回收改造技术探索及经济效益分析

王喜军 何启德（甘肃刘化（集团）有限责任公司，甘肃 永靖 731603）

摘要：介绍目前国内合成氨生产装置的现状，在合成氨生产中，为了维持循环气中惰性气体的平衡，必须从合成系统的循环气中排放出一部分富集了惰性气体（Ar+CH₄）的循环气。这部分气体称为弛放气。此外，氨贮罐系统随着减压，也要释放出一部分气体，称贮罐气。弛放气和贮罐气总称为合成氨尾气。为减少资源浪费和环境保护，必须把尾气进行有效处理并加以利用。结合我公司实际情况，提出氨回收尾气回收改造理由，制定改造方案，并对生产工艺进行简介，分析该装置建成投运后产生的环境效益和经济效益，并对该装置目前在使用过程中存在的问题及改进方案进行了阐述。

关键词：氨回收；尾气；尾气压缩机；吸收塔；技术；环境效益；经济效益

目前国内化肥企业合成氨装置氨合成后的尾气回收，大多采用氨吸收法对尾气中的氨进行回收，生产约 20% 的氨水再进行解析处理或做为副产品销售。经氨吸收后所产生的尾气为含有约 3% 左右的氨以及一定含量的氢气、甲烷、氮气的混合气体，现工艺对该混合气体大多采用放空或做为燃料气进行燃烧处理，可对环境造成不利影响，热利用率较低，回收氨成本较高。甘肃刘化（集团）有限责任公司（以下简称“刘化公司”）是以天然气为原料年生产合成氨 40 万 t、尿素 70 万 t、甲醇 10 万 t 的氮肥企业，和国内许多合成氨化肥生产企业相同，合成氨生产中会产生很多气体元素，由于生产自身技术以及相应经济条件的限制，对合成氨中产生的气体利用效率较低，大部分气体都作为废气排放到大气，造成很大的资源浪费和环境污染。我公司氨合成氨回收岗位由氨吸收塔、有动力氨回收、无动力氨回收、氢回收四部分装置组成。其中氨吸收塔、有动力氨回收、无动力氨回收装置主要对液氨球罐气（液氨球罐容积 1#1000m³、2#400m³、3#400m³）进行回收，副产 20% 氨水；氢回收装置主要回收吹除气中的 H₂，同时副产 10% 氨水。经过氨回收后的尾气有一部分经减压后送原料气预热炉，做为燃料气用来预热天然气，多余尾气采取放空处理。随着我国科学技术的快速发展，合成氨生产中的废气利用问题日益受到公司领导层面的广泛关注，为了有效保护环境，提高能源利用效率，决定在现有回收装置基础上对尾气回收装置进行技术改造，现将改造的原因，内容，方案，改造情况及效果介绍如下。

1 系统改造原由、方案及内容

1.1 系统改造原由

我公司氨回收设置了多套氨回收装置，氨吸收塔、

有动力氨回收、无动力氨回收、氢回收四部分装置，投入了大量资金，但从根本上并没有真正解决氨回收尾气合理综合利用问题，尾气放空不仅影响环境，且浪费了有效资源。几年来，我公司结合生产实际情况，召开多次公司技术委员会周密部署、科学研究论证该项目改造技术方案，决定对氨回收尾气进行深度回收，进一步减少环境污染，达到节能降耗目的。

1.2 确定回收方案

经 3 个月夏天高温期现场采样分析，对氨回收岗位处理后的尾气体积最大量及组份如表 1 所示。

表 1 尾气体积最大量及组份

	CH ₄	H ₂	N ₂	NH ₃	合计
比例 %	32.17	38.63	26.07	3.13	100
体积 Nm ³ /h	1222.46	1467.94	990.66	118.94	3800

尾气压力为 0.3MPa，温度为常温，为更有效合理利用尾气，经过对其组份分析，NH₃ 含量约占 3.13%，由于 NH₃ 可对气体净化工段钴钼加氢催化剂和转化催化剂产生不利影响，首先必须除去尾气中的氨，通过对比分析在不同压力下氨的吸收效率，采取先通过尾气压缩机加压，尾气压力由 0.3MPa 提高至 4.3MPa，然后在此压力下尾气进入氨吸收塔进行洗涤，副产 20% 氨水，使尾气中氨含量降至 100ppm 以下。经除 NH₃ 后的尾气中主要成分为 H₂、CH₄、N₂，可以直接并入天然气总管，与来自天然气压缩机的天然气混合后，送转化装置做为原料气使用，其中的甲烷可以在转化炉中进行反应转化为有效原料气（H₂+CO），氢气和氮气完全回收通过后工段做为氨合成原料气。

1.3 改造内容

本次改造本着改造成本尽可能最低的设计改造理念，充分利用现有的设备，考虑到压缩机投入成本较高，为节约投资，对闲置的 CO₂ 压缩机进行技术升级

改造,用做尾气压缩机,新增加主要设备有氨吸收塔、气液分离器、氨水冷却器、脱盐水储罐、脱盐水和氨水泵各2台及附属管线阀门等,如表2所示。

表2 设备性能及结构表

设备名称	规格型号
脱盐水储罐	立式罐,设计压力:常压,设计温度:40℃,全容积:10m ³ ,DN1200×5mm,H=2400,操作介质:脱盐水,材质304
吸收塔	编号:R150731,容器类别:二类,容积:10.6m ³ ,设计压力:4.84MPa,设计温度:90℃,耐压试验压力:(立式)6.05MPa,最高工作压力:4.84MPa,介质:氨水,主体材质:Q345R,容器净重:3910kg
气液分离器	编号:R150730,容器类别:二类,容积:2.1m ³ ,设计压力:4.84MPa,设计温度:55℃,耐压试验压力:6.25MPa,最高工作压力:4.84MPa,介质:NH ₃ 、H ₂ O,主体材质:Q345R,容器净重:1640kg
氨水冷却器	工作压力:管程2.2MPa,壳程0.4MPa,水压试验:管程3.0MPa,壳程0.45MPa,工作温度:管程入口75℃,管程出口35℃,壳程入口,30℃,壳程出口38℃,介质:氨水、水
1#、2#氨水泵	泵体 型号:HP50-2315-03,流量:25m ³ /h,扬程:30m,转速:1450r/min,功率:7.0kW,水压实验压力:9.0MPa,最大允许工作压力:6.0MPa,最大允许工作温度:70℃,材质:CS/304
	电机 型号:YB3132M-4GW,电流:15.2A,电压:380V,功率:7.5kW,效率:90%,频率:50Hz,转速:1450r/min,防护等级:IP55

1#、2#脱盐水泵	泵体 型号:301-1.5/4.7型高压往复泵,行程长度:50mm,流量:1.5m ³ /h,转速:260r/min,压力:4.7MPa,功率:5.5kW,柱塞直径:30mm
	电机 减速机:输入转速:1450r/min,输出转速:260r/min,电压:380V,输出扭矩:820Nm,速比:6.92
1#、2#压缩机	压缩机 型号:3Z-6.66/100型,排气量(吸入状态):400m ³ /h,转速:485r/min,工作压力:9.807MPa
	电机 型号:YB3355L2-12,电流:354A,电压:380V,转速:492r/min,功率:160kW,频率:50Hz,防护等级:IP55,防爆合格证编号:CJEX14.1228

2 改造后工艺流程简介

流程简介:

自合成系统的氨尾气首先经过分离器进行汽水分离,再经过尾气压缩机三级压缩以提高压力,尾气压力由0.3MPa提高至4.3MPa,经压缩后进入氨吸收塔自下而上与经1#、2#脱盐水泵加压之后的脱盐水和1#、2#氨水泵送来的循环氨水逆流相遇,在吸收塔内填料瓷环表面进行传质,其中大部分气氨溶解于脱盐水中被反复循环而吸收;氨溶解于水中制成氨水后所放出的热量在循环时氨水从吸收塔底部排出后通过氨水冷却器被循环水移走,再经氨水泵加压后返回吸收塔反复循环吸收,吸收塔液面由软水泵通过玻璃液面计或二次液位计来控制。经循环吸收后的合格氨水

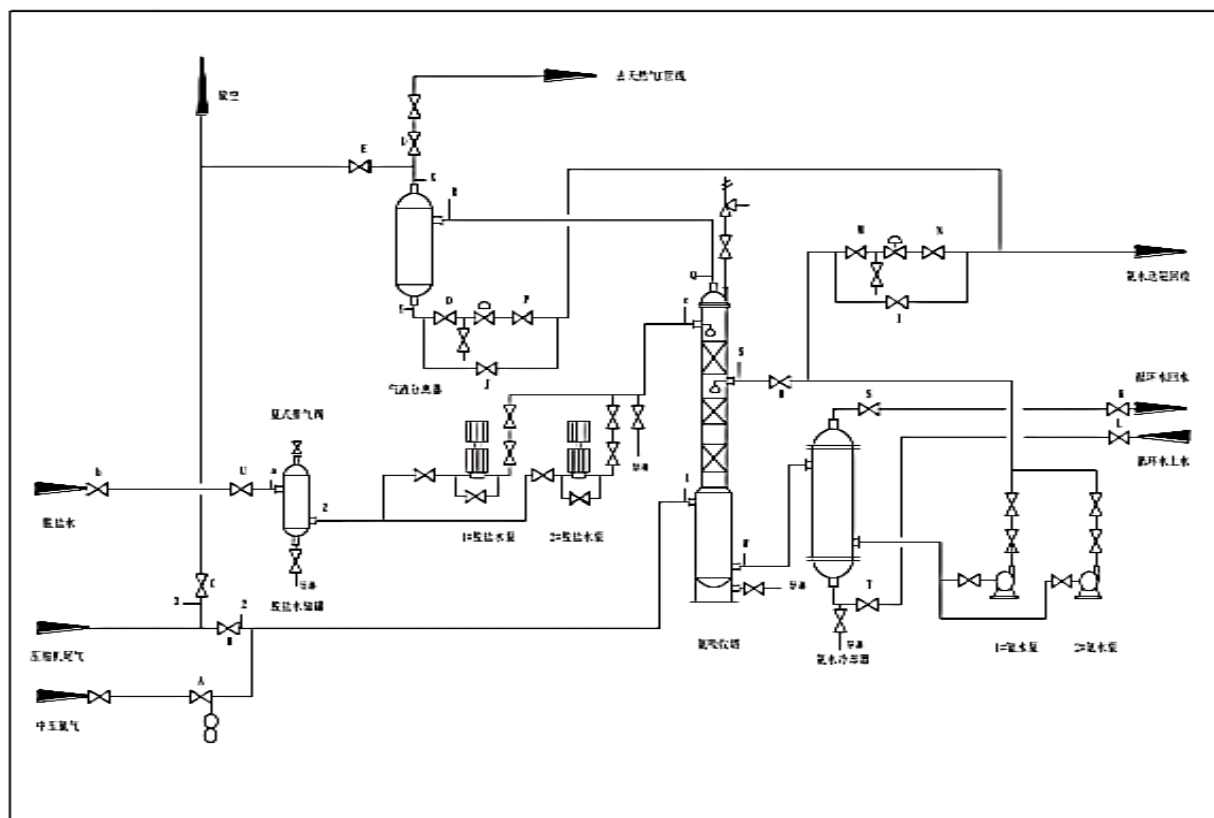


图1 工艺流程示意图

通过吸收塔及分离器出口调节阀排至合成氨水槽而贮存。工艺流程如图1所示。

吸收氨后的混合气由吸收塔顶部加脱盐水对气体中的氨进行吸收,除去气体中的氨,使出塔氨含量 $\leq 100\text{ppm}$,进入分离器分离掉水分后送往天然气总管C管线供转化气化炉系统使用,或通过塔后放空排放大气。工艺操作指标参数如表3所示。

表3 工艺操作指标参数表

序号	控制项目	单位	控制指标
1	吸收塔操作压力	MPa	3.6-4.2
2	氨水泵出口压力	MPa	3.6-4.2
3	脱盐水泵出口压力	MPa	3.6-4.2
4	吸收塔操作温度	$^{\circ}\text{C}$	≤ 75
5	水冷却器出口氨水温度	$^{\circ}\text{C}$	< 35
6	吸收塔液面	%	40-80
7	脱盐水槽液面	%	40-80
8	氨尾气分离器液面	%	20~40
9	氨水浓度	%	高浓度: 18, 低浓度: 8~12
10	吸收塔气体出口氨浓度	%	< 0.3
11	尾气压缩机入口压力	MPa	0.2-0.3
12	尾气压缩机出口压力	MPa	4.0-5.0

3 改造后的装置运行状况

氨回收尾气回收利用总投资约280万,包括工艺、设备及压缩机改造、电气、仪表、土建、安装费用等。于2018年4月开始进行设备改造及土建、工艺等专业施工安装,2018年10月进行系统吹除、试压、联动试车阶段,2018年11月投运,一次性开车成功,各项工艺指标均达到了设计值,装置运行安全稳定,达到了预期的改造效果。装置投用后实际回收尾气成分组成见表4所示。

表4 回收尾气成分组成

	CH_4	H_2	N_2	NH_3	合计
比例 %	28.8	42.3	28.8	60ppm	100
体积 Nm^3/h	662	972	662	0	2300

4 经济效益分析

本次改造本着改造成本尽可能最低的设计改造理念,充分利用现有的设备和管线,考虑到压缩机投入成本较高,为节约投资,对闲置的 CO_2 压缩机进行技术升级改造,用做尾气压缩机,新增加主要设备有氨吸收塔、气液分离器、氨水冷却器、脱盐水储罐、脱盐水和氨水泵各2台及附属管线阀门等。

由于受尾气压缩机打气量限制,目前可回收尾气量 $2300\text{Nm}^3/\text{h}$ 。装置投运后,通过全生产装置系统各工艺参数及实际取样分析核算,每小时节约天然气量 662Nm^3 ,每小时增加 H_2 量 972Nm^3 ,在不考虑节约氮

气效益的前提下,年产生经济效益约1200万,年运行成本约110万元。

5 系统改造项目存在的问题和改进措施及有关建议

由于尾气压缩机由闲置压缩机经过改造后用于该系统,根据目前实际运行情况,氨回收尾气已经完全回收,氨回收岗位基本消除了放空。但在夏季高温期,由于放空量较大,受尾气压缩机打气量能力限制,氨回收岗位尾气不能完全回收,部分尾气仍旧做为燃料气使用,造成资源浪费,下一步视情况将对尾气压缩机进行改造或更新。

由于没有可参考数据,氨吸收塔设计存在缺陷,副产出的约 $1\text{m}^3/\text{h}$ 氨水浓度偏低,约10%左右,下一步需对氨吸收塔进行改造,进一步提高氨吸收效率,提高氨水浓度在20%左右,降低解析负荷。

部分工艺方案需在实际生产过程中不断改造完善,使该装置配置更加合理规范。可以将尾气中的甲烷制作LNG产品、生产高纯度的氢气。

6 结束语

据了解该装置为国内合成氨行业首创,我公司大胆自主设计,设计思路明确,投资额较小,投用后装置运行稳定安全,环境效益和经济效益明显,完全值得在国内众多合成氨企业推广应用。

参考文献:

- [1] 董子旭. 合成氨装置尾气回收工艺的改造[J]. 西部煤化工, 2016(1):3.
- [2] 杨晓勤, 肖聪, 杨晓华, 等. 合成氨尾气综合回收副产液化天然气研究与实践[J]. 小氮肥, 2015, 43(9):3.
- [3] 张全明. 合成氨尾气全回收实现生产的清洁化[J]. 中氮肥, 2021(12):34.
- [4] 刘吉银, 杨鑫, 林华勇. 合成氨生产中的废水来源与回收利用[J]. 化工安全与环境, 2011, 21(40):18-19.
- [5] 吴萍, 汪宇安. 浅析合成氨尾气的回收及利用[C]// 全国中氮情报协作组第19次技术交流会, 全国中氮情报协作组, 2002.
- [6] 杨超, 梁红兵. 合成氨尾气的综合回收利用总结[J]. 化工设计通讯, 2015, 41(06):44-48.

作者简介:

王喜军(1976-), 男, 甘肃和政人, 工程师, 主要从事生产技术管理工作。

何启德(1975-), 男, 甘肃临夏人, 工程师, 主要从事安全环保管理工作。