

# 浅析合成氨装置的节能效果\*

李书文

(中原化肥厂)

**摘 要:** 本文从设计数据与生产实际数据入手,初步分析了合成氨装置的节能效果并指出了现在能耗达不到设计值的原因。本装置采用的 ICI—AMV 工艺是一个全新流程,主要节能措施有:降低一段炉负荷,增大二段炉负荷;低能耗苯尔脱碳工艺;采用燃气透平驱动工艺空气压缩机;增设等压回收氢单元;选用适应低水碳比的转化触媒和适应低压合成的氨合成触媒;高位能热量的回收和利用。整个装置经考核和两年多的实践表明,这些节能措施是可靠的、行之有效的。

**关键词:** 合成氨; 节能

**中图分类号:** TQ113

中原化肥厂以中原油田天然气为原料的具有八十年代国际先进技术的大型合成氨—尿素联合装置。合成氨日产 1000 吨; 尿素日产 1760 吨。

该厂于 1987 年 9 月开工经考核结果表明: 合成氨吨能耗为 30.22 吉焦, 是设计值 28.82 吉焦的 105%, 是保证值 29.30 吉焦的 75%。大大降低了合成氨的成本。该厂合成氨装置的能耗之所以比我国七十年代引进的大型化肥装置中的合成氨装置的能耗降低了 28.30% (设计值), 是因为选用的 ICI—AMV 工艺是一个全新的流程。主要生产过程采用集散型 DCS 和 PLC 可编程序逻辑控制, 给正常生产和优化操作带来了良好的条件。具体来讲, 该厂的合成氨装置有以下几个方面的节能设施:

## 1 转化部分

1.1 对于一般转化炉的工艺条件, ICI—AMV 工艺首先采用了适用于低水碳比新型转化触媒, 使一段炉的水碳化能在 2.75 条件下操作, 减少了一段炉阻力和蒸汽消耗量, 还相应减少了转化气带的热量。并提高了一段炉出口的甲烷含量, 降低了一段炉负荷, 增加了二段负荷, 使一段炉转化反应所需热量大为减少。本流程与七十年代引进的大型化肥装置相比, 一段转化炉管吸收热量仅有 72%, 是转化部分降低能耗的措施之一。

1.2 充分利用一段炉和辅助锅炉烟气的湿热

\* 收稿日期: 1992-12-24

离开一段炉辐射段的烟气温度为  $1016^{\circ}\text{C}$ , 辅助锅炉烟气温度在  $735^{\circ}\text{C}$  以上, 两股烟气的湿热分别在一段炉对流段的盘管和辅助锅炉下游的盘管中得以回收, 总回收热量为  $261.20$  吉焦/时。

经过回收热量后烟气最终温度达到  $128^{\circ}\text{C}$ , (七十年代的为  $200^{\circ}\text{C}$  以上), 从一段转化炉烟囱排出, 使一段炉总的热效率达到  $92\%$ 。

## 2 低能耗苯菲尔脱碳工艺流程

脱碳系统采用了低能耗的苯菲尔脱碳工艺流程, 本流程为两段吸收一段再生, 并采用蒸汽喷射器和蒸汽压缩机来回收脱碳贫液中的潜热, 产生闪蒸蒸汽供再生用。除此之外, 工艺气的低位热能也利用的比较充分, 还设有一个水力透平, 其节能效果分述如下:

### 2.1 采用蒸汽喷射器和蒸汽压缩机从脱碳贫液中产生闪蒸蒸汽, 节省再生能耗

脱碳溶液从再生塔底部出来的温度为  $119^{\circ}\text{C}$ , 该溶液依次经过闪蒸槽 II 室的四个隔仓, 经四级蒸汽喷射器压闪蒸进入闪蒸槽 I 室, 用蒸汽压缩机进一步减压闪蒸到  $-0.15\text{ Mpa}$ , 闪蒸产生的蒸汽被喷射器和蒸汽压缩机送往再生塔底部, 作为溶液再生所需要的热量。在蒸汽压缩机不能投用的情况下可启用第五级喷射器而代替蒸汽压缩机。但第五级喷射器的吸入压力为  $0.11\text{ Mpa}$ , 其喷射效率仅有  $25\%$ ; 而蒸汽压缩机的吸入压力为  $-0.15\text{ Mpa}$ , 打气量为  $17/\text{时}$ , 功率能耗  $800$  千瓦, 相当于  $1.049$  吨/时的动力蒸汽所含的热量, 其“喷射”效率高达  $1621\%$ , 闪蒸蒸汽可提高一倍以上, 还可以克服溶液被稀释的缺点, 因此可见, 在最后一级闪蒸采用蒸汽压缩机是最佳的。

### 2.2 低位能热量的回收和利用

由低变来的低变气, 首先经过锅炉给水予热器温度降到  $177^{\circ}\text{C}$ , 回收热量  $17.62$  吉焦/时之后进入脱碳系统。而后依次经过低压蒸汽发生器、再沸器, 脱盐水予热器使工艺气温度分别下降到  $160^{\circ}\text{C}$ ,  $132^{\circ}\text{C}$  和  $95^{\circ}\text{C}$  之后进入吸收塔, 这一过程回收热量为  $24.67$  吉焦/时。另外, 从再生塔出来的二氧化碳还要经过脱盐水予热器, 被冷却到  $70^{\circ}\text{C}$ , 回收热量  $37.75$  吉焦/时。脱碳液冷却器的热量在冬季向全厂供采暖热水。整个脱碳系统热损失很少, 只有  $19.99$  吉焦/时。

### 2.3 设置了工艺冷凝液中压蒸汽汽提工艺

这个工艺的设置主要是用一个浮阀蒸汽汽提塔来处理系统中的冷凝液。从塔顶下来的工艺冷凝液与从塔底进来的中压蒸汽逆流接触, 将冷凝液中  $99\%$  左右的甲醇和  $98\%$  的氨汽提到中压蒸汽中, 使过热的蒸汽变成了饱和蒸汽, 降低了温度, 增加  $2.3$  吨/时的中压蒸汽量。而被汽提出来的  $\text{NH}_3$ ;  $\text{CH}_3$ ;  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Co}$  则随蒸汽进入一段转化炉转化管, 重新转化为合成气, 既没有能损失, 又节约了原料气, 还消除了环境污染。

汽提塔底部出来的经过汽提后的冷凝液, 先后经过冷凝液预热器, 燃料气预热器及燃烧空气换热器回收热量  $3.52$  吉焦/时后送往脱盐水装置。

### 2.4 水力透平的投用还可以节约 $0.36$ 吉焦/时左右热量。

由于上述几点, 苯菲尔脱碳系统每再生一标准立方米二氧化碳所需的总热量仅为  $2.85$  兆焦, 是传统的苯菲尔脱碳系统所需总热量  $4.6\sim 5.44$  兆焦的  $62\sim 52.4\%$ , 充分显示

了苯菲尔系统的节能效果。

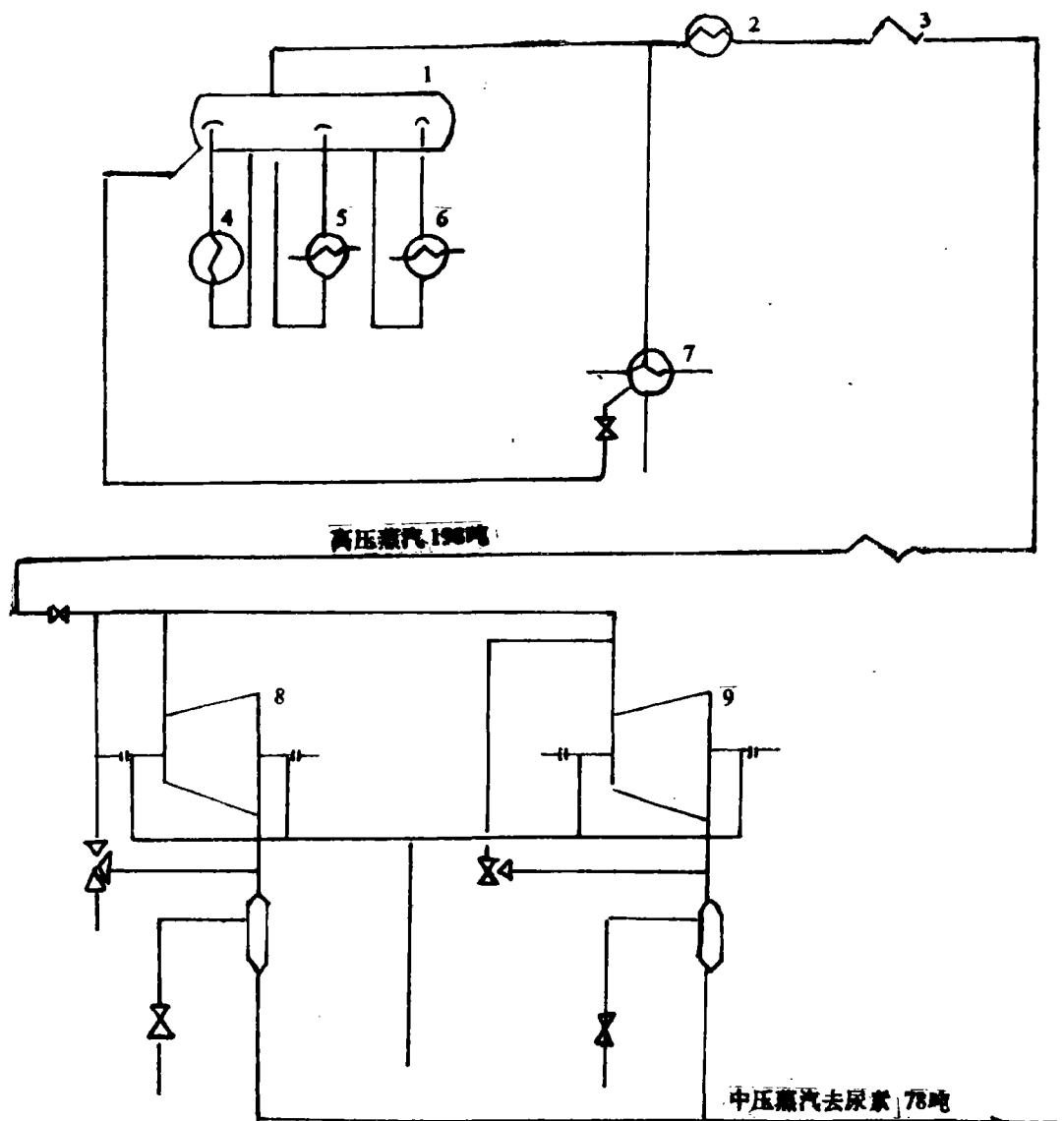
### 3 采用燃气透平驱动工艺空气压缩机

工艺空气压缩机是由燃气轮机驱动,就空压机的轴功率而言,空压机轴功率为 8800 千瓦,是七十年代引进大化肥空压机的轴功率 7437 千瓦的 118.3%,其效率并不高;但是由于该厂的燃气透平是通过乏气放空阀,一段炉燃烧空气阀和一段炉对流段乏气排放阀与一段炉、辅助锅炉,鼓风机及烟气导向叶片组成的一个联合系统。含有 16% 氧的乏气温度在 500℃ 以上直接用一段炉的燃烧空气、热量被完全利用,此项就使装置总能耗降低 5.2%,另外燃气轮机应用使有大化肥设置两台快装锅炉(70 吨/台)得以取消,这主要是在一段炉蒸汽升温,化工投料及二段加空气之前需要大量的蒸汽而无来源,工艺空气压缩机所用中压蒸汽透平就需要 50 吨/时,单辅助锅炉和废热回收产生的蒸汽是平衡不了的。而在此开车阶段工艺空气压缩机不需蒸汽,反而利用燃气轮机的乏气除供一段炉辐射段做燃烧空气外,还可利用此乏气加热一段炉对流段盘管回收废热、增加产蒸汽量。第三、燃气轮机用纯天然气做燃料时需用 3500 标准立方米/时天然气,而当合成系统转入正常后,燃气轮机的燃料还可利用后系统来和低热值高压力的驰放气来代替部分天然气做燃料,使燃气轮机所用燃料天然气下降到 2000 标准立方米/时,节约下来的天然气可用作原料气,多产合成氨。

### 4 低压合成氨工艺的应用

该厂选用的 ICI—AMV 低压合成氨工艺流程的核心是采用了 ICI74—1 型低温高活性小颗粒氨合成催化剂(粒度 1.4~2.8mm)和一个大直径三床层间接换热的径向合成塔。氨合成系统的循环量设计值为 553 千标准立方米/时,合成气入塔温度 329℃,出塔温度 414℃,压力降为 0.87MPa,合成塔出来的高位能热气流通过一个倒 U 型管废热锅炉付产 12.5MPa 的高压蒸汽 1.1 吨/时氨,之后经过气体换热器,水冷器,冷热交换器,第一氨冷器,第二氨冷器,氨分离器分离出产品氨。氨合成系统循环气氢氮比控制在 2.18,新鲜气氢氮比控制在 2.5,出塔气氮含量为 16.36%,入塔气氮含量为 4.12%,氮净值为 12.24%;这些氨 65% 在冷热交换器内分离出去(称热氨),送往闪蒸槽后,可直接用热氨送往尿素使用。这样做既可减轻机负荷、又可节省尿素能耗。

对于低压氨合成工艺的最大节能措施是因为氨合成压力降低后可大大降低合成气压缩机和冰机的轴功率,进而达到降低能耗的目的。



### 高位能热量回收利用简图

1—汽包; 2—蒸汽过热器, 此处蒸汽与转化气换热; 3—高压蒸汽过热器, 此处蒸汽与一段炉烟道气换热; 4—辅助锅炉; 5—转化废锅, 与转化气换热; 6—高变废锅, 与变换气换热; 7—合成废锅, 与合成气换热, 8—发电机透平; 9—冰机透平;

## 5 高位能热量的回收和利用

高位能热量是指温度在 400℃ 以上的工艺气, 烟道气和高压蒸汽。在 ICI—AMV 流程, 合成氨装置设计的蒸汽总量为 198 吨/时, 其中利用工艺气的湿热产生高压蒸汽的有: 工艺气体冷却器 (或叫转化气废热锅炉) 产汽 104.8 吨/时, 高变废热锅炉产汽 18 吨/时, 合成废热锅炉产汽 46.5 吨/时, 辅助锅炉产 28.7 吨/时。这 198 吨/时高压蒸汽还要再经过三个串联的高压蒸汽过热器过热后, 使蒸汽温度达到 530℃ 左右供给两台背压式高压蒸汽透平, 分别驱动氨压缩机和发电机回收高位能热量, 再送中压蒸汽管网。在这两台机组没有启动时可分别通过设在冰机和发电机汽轮机的两个减压站把蒸汽送到中压蒸汽管网。中压蒸汽除合成氨装置自用 120 吨/时左右外, 其余 78 吨/时送往尿素装置。其流向图如图 6:

上述这些设备中, 三台废热锅炉回收热量为 201.06 吉焦/时; 在一段炉对流段、二段炉和辅助锅炉下设置的三台高压蒸汽过热器回收热量为 128.96 吉焦/时; 氨压缩机和发电机利用高压蒸汽热能为 35.89 吉焦/时。另外, 该装置中设置了 85 发电机组后, 取消了七十年代引进的大化肥装置中的许多中压蒸汽小透平, 只保留了一个蒸汽小透平作为备用, 在夏季中压蒸汽有富余时启动投入运行。这一改进同样是节能措施之一, 并对稳定蒸汽管网和方便操作也提供了可靠条件。

## 6 等压水吸收氨和等压回收氢的节能效果

ICI—AMV 流程采用了二段炉加入过量空气的技术, 新鲜气的氢氮比只有 2.5, 进入合成回路后氮气会多余出来, 为了将多余氮排放掉, 同时也为了排放掉合成回路中集存的甲烷和氩气, 本装置排放点就设在混合氢氮气入合成塔之前。但是在排放甲烷、氩气及多余的氮气时, 不可避免的要排入掉一些氢和氨, 这两种气体对合成工艺还是有用的, 因此就设置了等压水吸收氨的氨回收单元和等压回收氢的氢回收单元。氨回收单元每天可回收氨 26.5 吨。深度冷冻等压回收氢的低温技术在我国大型合成氨装置的应用还是首次。下面简单分析一下该单元的节能效果。

深度冷冻的氢回收是采用节流绝热膨胀制冷, 可将混合气体温度降低 -195℃, 而后利用各种气体在同一压力下不同的冷凝温度的特性, 将氢气与甲烷、氩气、氨分离开来。它的设计生产能力是: 处理驰放气量为 21148 标准立方米/时, 回收低热值的燃料气为 9268 标准立方米/时, 每天可使合成氨产量增加 73.5 吨, 节能效果也是非常明显的。

综上所述, 该厂的合成氨装置的节能措施是得力有效的, 效果也是显而易见的, 但吨氨能耗若能达到设计值 28.82 吉焦的话, 只相当于七十年代引进大型合成氨装置 (普通的凯洛格型) 设计吨氨能耗的 71.7%, 但为什么现在的能耗还达不到保证值呢? 大致有以下原因:

①天然气供应不足, 燃气消耗偏高。

②合成氨系统负荷绝大部分都在 80% 左右, 几项重要工艺指标达不到最佳的工艺条

件。

③合成废锅设计不合理,合成塔出口气的热量不能充分利用,装置考核时也只达到设计能力的 71.7%。

④主要节能运转设备发电机、水力透平,蒸汽压缩机没有正常运转起来;氢回收运行的不十分正常;热氨泵没有正常运行,加重了冰机负荷浪费了能量。

⑤全装置连续运行周期短,非计划停车次数多。

⑥有的重要仪表,调节阀还存在问题,浪费了部分能量。

⑦有的新技术还有待消化吸收,操作水平还需要继续提高。

要解决上述问题,首先是把该开的设备都开起来,消除系统中存在的缺陷;其次,要进一步消化吸收先进技术,提高操作水平;第三是尽快解决天然气供应不足的问题,提高系统负荷,以达到更好的节能效果。

### 参 考 文 献

- (1) 合成氨装置操作维修文件.
- (2) 袁一. 化工节能理论与技术.

## The Simple Analysis For the Energy Saving Effectiveness of Ammonia Plant

Li Suwen

(Zhong Yuan Chemical Fertilizer Complex)

**Abstract:** This paper analyzed initially the energy saving effectiveness of Ammonia plant of Zhong Yuan Chemical Fertilizer Complex, and pointed out the reason of that the energy consumption can't meet the design value with the aid of the design datas and the actual running datas. The ICI—AMV process adopted in this plant is a newly process. The main energy-saving measures as follow: Decrease the load of Primary Reformer and Increase the load of Secondary Reformer; Low energy consumption BENFIELE process; Process Air Compressor driven by Gas Turbine; Equilibrium-Pressure  $H_2$ -Recovery unit; Adopting low water / carbon ratio Catalyst and low pressure Ammonia synthesis Catalyst; Recovery and utilizing of high-level heat energy. It's proved that these energy-saving measures are reliable and effective through the performance test and two years running.

**Keywords:** ammonia plant, energy saving