

合成氨转化系统的节能改造

曾凤春¹, 张开仕²

(1. 四川理工学院化学系, 四川 自贡 643033; 2. 宜宾学院化学化工系, 四川 宜宾 644007)

摘要:针对目前国内天然气合成氨装置的转化系统普遍存在燃料天然气消耗过大、热能浪费严重等问题,对合成氨装置转化系统进行了一系列节能技术改造。工业运行结果表明:改造后的转化系统,生产每吨 NH_3 其燃料天然气消耗从 350 m^3 降至 200 m^3 ,生产能力从 6 万 t/a 提高至 9 万 t/a,基本克服了原装置的弊端。

关键词:转化系统;合成氨;燃料天然气;节能改造

中图分类号:TQ113.2

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2006)S1-0262-03

Energy-saving modification of transforming system in synthetic ammonia setting

ZENG Feng-chun¹, ZHANG Kai-shi²

(1. Department of Chemistry, Sichuan Institute of Science and Technology, Zigong 643033, China;

2. Department of Chemistry and Chemical Engineering, Yibin University, Yibin 644007, China)

Abstract: In view of the problems that the fuel natural gas consumption was too high and the heat energy severely wasted in the synthetic ammonia transforming system in China, a technological modification was adopted in a synthetic ammonia plant. The industrial results indicated that the new transforming system was able to decrease the fuel natural gas consumption from 350 m^3 to 200 m^3 in producing one ton of ammonia, and the producing capacity increased from 60 kt/a to 90 kt/a. So the disadvantages of the original process was converted on the whole after the modification.

Key words: transforming system; synthetic ammonia; fuel natural gas; energy-saving modification

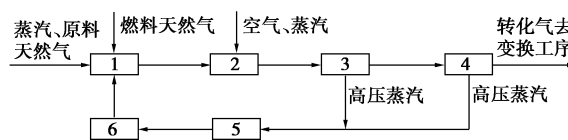
合成氨工业是投资大、能耗高的行业之一,其能耗约占全国总能耗的 4%,占产品总成本的 70%。以天然气为原料,合成氨的能耗主要是天然气的消耗,而最大的天然气消耗在转化系统,它包括原料天然气和燃料天然气 2 个方面。从原料天然气的消耗而言,各企业情况基本相同,都已接近理论用量。因此,转化系统的天然气消耗主要在燃料天然气上。从最简单的计算结果来看,一套 6 万 t/a 合成氨装置转化系统的吨氨燃料天然气消耗量在 350 m^3 左右,每年增加成本 1 547.7 万元。此外,由于燃料天然气的大量消耗,又大大提高了烟气排放量,对环境造成热污染。所以,这种旧式转化系统既不节能,又不利于环保。笔者综合多方面的因素,经与中国石化扬子石化设计院及外方技术人员会审后,决定对四川某化工集团 6 万 t/a 合成氨装置的转化系统进行节能技术改造,以期获得理想的节能效果。

1 原转化系统流程及不足

1.1 原转化系统工艺流程

天然气(主要成分为 CH_4)作为制氨原料,要求

其尽可能转化完全。同时,甲烷在氨合成过程中是一惰性气体,它会在合成回路中逐渐积累,对过程有害无利。因此,转化气中残余甲烷含量要求控制足够低,一般控制在 0.5% (体积分数) 以下。为了满足这种天然气转化率的严格要求,无论在国内还是国外,在以往的设计中,转化系统都采用天然气加压蒸汽二段转化流程,配有外热式一段转化炉和绝热式二段转化炉各 1 台、废热式锅炉 2 台等设备,使一段转化气中甲烷体积分数 $< 10\%$,二段转化气中甲烷体积分数 $< 0.5\%$ 。旧转化系统工艺流程示意图如图 1 所示。



1—外热式一段转化炉;2—二段转化炉;3,4—废热锅炉;
5—汽包;6—辅助锅炉

图 1 旧转化系统工艺流程示意图

经脱硫后的天然气,在压力 3.6 MPa、温度

收稿日期:2006-03-16

作者简介:曾凤春(1964-),女,大学,副教授,主要从事化学、化工方面的教学与科研工作;张开仕(1959-),男,教授,主要从事应用化学的教学与研究,通讯联系人,13118018292, zhangkaishi@126.com。

380℃的条件下配入中压蒸汽后达到一定的水碳比(约为3.5),进入外热式一段转化炉的对流段预热,然后送到装有镍催化剂的各反应管进行转化反应。转化反应所需的热源由管外燃料天然气的燃烧提供。一段转化气经输送总管进入二段炉,此时甲烷体积分数 $<10\%$ 。在二段转化炉中,按照氨合成所需氮氢比通入空气,也配入少量蒸汽,进入顶部与一段转化气汇合,在顶部燃烧一部分氢气产生大量反应热,满足残余甲烷的继续转化。离开二段炉的转化气温度为1000℃、压力3 MPa、甲烷体积分数 $<0.5\%$,接着进入废热锅炉,在其温度降至370℃后送往变换工序,锅炉产生的高压蒸汽回系统循环利用。

1.2 原转化系统存在的不足

原转化系统在设计上存在明显的不足之处:

①一段转化炉负荷过高、水碳比过大,致使所需热量增多,燃料天然气消耗增大;②一段转化炉为外热式,不但体积庞大、结构复杂、价格昂贵,而且转化过程所需的热量完全由管外天然气燃烧提供,即直火加热使大量天然气作燃料消耗掉,造成了能源的极大损失;③二段炉出口气体温度为1000℃,而后续变换工段要求的温度仅为370℃,富余很大的热量,原转化系统将它通入锅炉产生蒸汽,是对热能的严重浪费;④流程长、动力消耗高、系统调节能力差。

2 新转化系统流程及优点

2.1 旧转化系统改造原理

转化炉的作用是将天然气转化为氨合成所需的原料气,并使最后残余甲烷的体积分数 $<0.5\%$ 。对于二段炉高温出口气体提供的热能,在满足自身所需之后还有较大富余,可以用来作为一段炉转化所需的热源,从而避免燃料天然气的消耗。目前,列管/浮头型换热式转化炉已研制成功,并在一些新建小氮肥厂中得到应用。天然气在此炉转化所需热源由高温气体换热供给,而不是燃烧天然气的直火加热。因此,将一段炉由外热式改为换热式,就能达到节约燃料天然气的目的。但受甲烷深度转化的热量消耗和氢氮比的限制,二段炉高温出口气体的富余热量是有限的,不可能完全满足一段炉的需要。所以,原外热式一段炉不能淘汰,再与一台换热式转化炉并联使用,实现系统的半自热式平衡。这样,就可在保证二段炉甲烷深度转化指标的前提下,通过合理分配2个一段炉负荷达到燃烧天然气消耗最少的目的。

2.2 新转化系统工艺流程

根据上述原理分析,对原转化系统作如下技术改造:在原外热式一段炉外并联1台3万t/a的列管/浮头型换热式转化炉,再与二段炉串联;将传统的二段炉高温出口气体进入废热锅炉产生高压蒸汽的流程改成作为换热式转化炉转化反应的热源;设置废热锅炉回收余热,更新二段炉炉头和混合器;对后续系统和控制系统进行配套改造。改造后转化系统工艺流程示意图如图2所示。

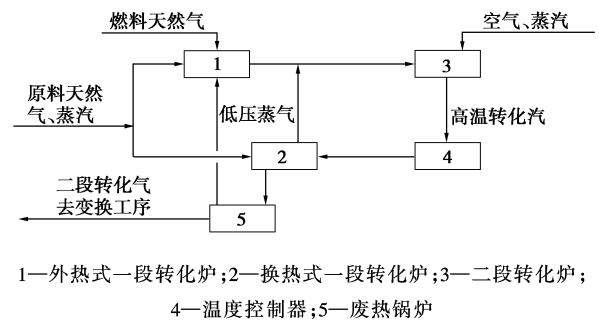


图2 新转化系统工艺流程示意图

从脱硫工段来的原料天然气与中压蒸汽混合,使水碳比为2.7后分成2路进入转化系统:一路去外热式一段炉的对流段预热,再去装有镍催化剂的管内进行转化反应,所需热源由管外燃料天然气的燃烧反应提供;另一路经对流段预热后进入换热式一段炉的管内,在镍催化剂的作用下,借助于管外来自二段炉高温转化气所提供的热能,进行转化反应,然后与外热式一段炉转化气混合送至二段转化炉。混合转化气进入二段炉顶部,与适量空气混合,并发生空气与氧的燃烧反应,以供残余甲烷进一步转化所需的热量。二段炉出口高温转化气经与换热式转化炉管内的一段转化气换热后,温度降至620℃左右,再进入废热锅炉温度降为370℃后送至变换工序。锅炉产生的低压蒸汽回系统循环利用。

2.3 新转化系统的优点

与旧转化系统和其他蒸汽换热式转化系统相比,新转化系统具有以下明显的优点:①充分利用了二段炉出口高温气体的余热作为换热式转化炉转化反应的热源,大量减少了燃料天然气的消耗,从而大幅度节约了能源;②可灵活调节换热式一段炉和外热式一段炉的负荷,让较多的天然气转移到换热式一段炉转化,进一步降低燃料天然气的消耗;③并联了一台换热式转化炉,使转化系统生产能力大大提高;④在二段炉出口高温气体管路上,设有温度调节与控制装置,可有效地避免换热式转化炉超温,造成

镍催化剂烧毁和设备损坏;⑤换热式一段炉由二段炉高温转化气提供热源,实现了系统的半自热式平衡,不需要制氧装置和脱除过量氮气的净化分离装置,流程短、动力消耗低、投资少。

3 新旧转化系统统计数据比较及经济性分析

3.1 统计数据

改造后的新转化系统于 2004 年 3 月 5 日投入使用,至今运行平稳、安全可靠。通过抽样分析,对新旧 2 种转化系统的工艺指标和能源消耗进行了比较。工艺数据统计如表 1 所示,能源消耗与生产能力数据统计如表 2 所示。

表 1 新旧转化系统工艺数据比较

	一段转化气甲烷 体积分数/%	二段转化气甲烷 体积分数/%	二段转化气进废 热锅炉温度/℃
旧转化系统	9.80	0.41	1000
新转化系统	12.40	0.30	620

表 2 新旧转化系统能源消耗与生产能力数据比较

	燃料天然气 单耗/m ³	用电单耗/ kWh	蒸汽单耗/ t	生产能力/ 万 t·a ⁻¹
旧转化系统	350	216	0.0	6
新转化系统	200	202	0.6	9

由表 1 数据可知,新转化系统使天然气转化得更彻底,二段转化炉的热能得到较充分的利用。由表 2 数据可知,新转化系统的燃料天然气消耗大大降低,生产能力大大提高,电耗也有所减少,但新增了蒸汽消耗。

3.2 经济性分析

新转化系统使生产每吨氨的燃料天然气消耗下降至 200 m³、电耗下降 14 kWh、蒸气消耗新增 0.6 t,按天然气市价 0.737 元/m³、电价 0.38 元/kWh、蒸气价 54 元/t 计算,每年氨可减少成本 857.28 万元。另外,改造后使合成氨生产能力净增 3 万 t/a,按液氨市价 1 850 元/t 计,新增销售收入 5 550 万元/a,扣除综合成本 3 750 万元/a,新转化系统每年又新增收益 1 750 万元。旧转化系统改造以及后续系统配套改造的总费用 3 352.8 万元,此改造方案投资回收期年限为 1.3 年。

4 结语

新转化系统流程短、设备简单、操作方便、控制灵活,不但大幅度降低了燃料天然气的消耗,还提高了装置 50% 的生产能力,具有显著的节能效果和经济效益。燃料天然气消耗的下降,又减少了烟道气的排放,降低了对环境的热污染,实现了节能与环保的双重效益。■

汽车行业将大大受益于电池燃料技术进步

来自政府当局如交通运输部 (Department of Transportation, DOT) 和美国环境保护局 (Environmental Protection Agency, EPA) 日益增长的管理压力,美国正加速燃料电池技术的采用,以确保减少排放和高效燃料转换。加利福尼亚州燃料电池联盟 (California Fuel Cell Partnership) 等计划有望使电池燃料比预期更早地应用于商用车辆。

Frost & Sullivan 高级研究分析师 Vijay Shankar Murthy 表示:“电池燃料有望首先用于舰队车辆。这些电池燃料在舰队车辆上使用成功后,其他车辆如客车和卡车预计也会有使用电池燃料的趋势”。

电池燃料帮助我们减少对不断衰竭的利用氢的石化燃料储备的依赖,这些能效设备能够大大减少有害气体排放。这些电池能量来自电气化学转化,其中化学能量转化成电能,水是惟一的副产品,从而最大限度地减少了温室气体排放。

Murthy 指出:“有望用于汽车行业的电池燃料技术如

固体氧化物、质子交换膜 (proton exchange membrane) 和碱性电池燃料能够为各种汽车提供动力,如卡车、汽车和摩托车”。

这种技术的竞争主要来自于内燃机和电池。许多汽车公司已经开始投资与之相关的研究活动,以使车辆设计更好并由替代性燃料驱动的内燃机,因此这些车辆能够实现清洁排放。

同样,行业参与者正开发能够在高温条件下工作的功能更加强大的电池,使它们能够适用于汽车的应用。然而,对于电池燃料生产者来说,利用电池燃料技术的优势是至关重要的,而不是专注于竞争。

Murthy 解释说:“通过发现应对储氢问题的可行的解决方案,电池燃料生产商可显著受益,同时可减少膜电极组装 (membrane electrode assembly) 成本。对生产商来说,检测甲醇和乙醇的使用也有很大帮助,因为它们拥有丰富的氢并可作为替代性燃料的来源”。(新华美通)