

合成氨工艺节能改造措施 及对企业经济效益的提高分析

温振民（山西天脊潞安化工有限公司，山西 长治 047100）

摘要：化肥是现代农业的重要内容，它的生产经常涉及到合成氨工艺，而这同样对无机化工十分重要。随着绿色观念逐渐深入人心，合成氨相关的节能改造也更加受人关注。本文将围绕着合成氨工艺及节能改造措施分析及经济发展展开论述，从合成氨的生产特点入手进行分析，从原料气的制取、净化以及氨的合成对其工艺流程做出分析，并结合实际情况探索合成氨生产耗能高的原因，研究合成氨的技术改造要点，以期为相关工艺技术优化革新提供帮助。

关键词：合成氨工艺；节能改造措施；经济发展

近年来，我国经济步入新的发展阶段，各行业都在转型升级，相比发展的速度更加重视发展的质量，环保技术就是其中的重要部分。在化工行业，氨作为关键原料，参与了多种产品的生产制作，企业也在不断加强对合成氨工艺的研究投入，提升合成氨的生产效率和质量。但是就目前的发展情况来看，在节能改造方面，还有很长的一段路要走，这对于存在较为严重的污染问题和耗能问题的化工行业相当重要，需要企业加强对合成氨技术节能改造的科学认识，加强资金投入。

1 合成氨制造特点

生产合成氨需要包括转化到最终合成等工序在内的复杂制造过程，要求生产期间所用机械设备和相关管道必须是适配型号和产品，生产工艺流程也要选择得当，确保系统达到良好的整体封闭性。合成氨的生产制造要求非常严格，一个细微环节的失误都会给最终的整体效果造成很大不利影响。如果生产期间没有做好维护与管理，或者需要停较长时间的车，还要为开车再次耗时费力。所以，合成氨生产过程要求保持高度的连续稳定性，提高以此提升能源效率。要达到这个目的，单靠引进一两台节能设备或细枝末节的改进措施达不到预期效果，只有整个系统全方位提升能效才能实现。合成氨生产期间对包括温度、压力以及纯度等生产工艺要求也很高，这些主要掌握不好，会直接威胁到生产过程的连续稳定性。生产合成氨的工艺流程相当复杂，进而使制造过程也相应提高了复杂程度。

2 合成氨的具体工艺流程

目前国内的合成氨工艺主要包括三个流程，即制备和净化原料气和最终的安全合成过程。其具体

流程图如图 1。

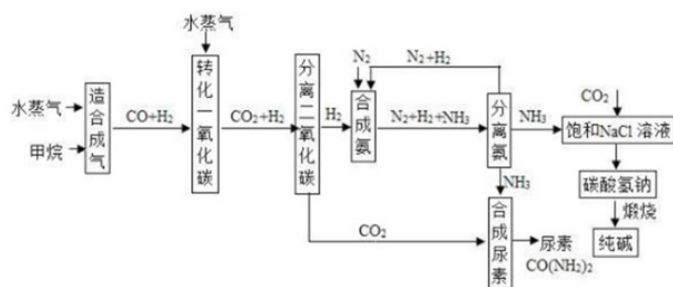


图 1 合成氨的具体工艺流程

2.1 制备原料气

氮气与氢气是生产合成氨的主要原料气，期间氮气直接在空气中提取，即通过降温的物理作用让空气实现液化。比如，深度冷冻就能达到液化空气的目的，因为空气里的氧气和氮气成分存在各不相同的沸点，利用精馏工艺就能成功分离提取氮气。在温度持续上升过程中，由于氮气比氧气具备更低的沸点，所以它会先于氧气外溢出来。同时氮气也可以利用化学形式制备，空气条件下使碳发生燃烧，收集产生的混合气，再利用适用工艺分离其中的二氧化碳，最终得到所需氮气。

相比之下，制备氢气可供选择的原料要更多，象煤炭，天然气，焦炉气以及重质油等都很适用。工业生产中的通行做法是为水蒸气和原料提供高温环境，它们相互反应生成合成气，内含一氧化碳及氢气等，是为造气过程。如果采用的是包括煤炭等在内的固体原料，须使其发生燃烧生成合成气。

2.2 净化原料气

制备完成的原料气总成分里面通常掺杂有无用气体，所以必须实施净化。这个环节在整个合成氨生产工艺流程中的作用相当重要，它对最终的生产

效果有决定性影响。这是一个复杂的制造流程，需要经历变换，脱去碳和硫以及气体精制等环节。

2.2.1 变换一氧化碳

如果利用煤炭制备原料气，其中的一氧化碳成分含量极高，在进行合成氨生产时必须脱除。原理是把一氧化碳和水蒸气放在一起，通过化学反应产生氢气和二氧化碳。因为二氧化碳的去除方法较之一氧化碳操作简便易行，这样只要把二氧化碳去除干净后就能得到所需氢气。这个过程的能耗很大，是节能改造期间需要重点关注的环节。

2.2.2 原料气脱硫脱碳处理

第一，脱碳处理。有两种适用方法，即化学与物理吸收法。脱碳处理是防止合成氨生产期间出现催化剂中毒，整个过程的重点是回收利用二氧化碳。二氧化碳回收回来后可用于制造碳酸氢铵，纯碱以及尿素，在防止环境污染的同时提升资源利用率；第二，脱硫处理。有两种适用方法，即干法和湿法。干法脱硫须加入固体脱硫剂，虽然效果非常理想，但是要实现脱硫剂再生具有极高难度，多应用于精脱硫。与之相比，湿法脱硫具备极低的再生难度。

2.2.3 精制原料气

利用脱硫脱碳处理净化完成的原料气虽然比较纯净，但是杂质并未完全消除，精制处理就是最后一道环节。精制原料气的目的就是确保合成氨过程不会污染催化剂。目前国内合成氨行业通行精制方法包括铜氨液吸收法，甲烷化法以及深冷液氮洗涤法三种。

2.3 合成氨

这个环节属于合成氨生产过程的最后一道工序，它的作业内容是施加特定条件，把氮气与氢气混合在一起进行化学反应。具体步骤有6个：①压缩气体并除去其中的油质，常规做法是氢氮气循环；②预热气体并合成；③分离出气体中的氮；④还没发生反应的气体进行循环；⑤把惰性气体排放除去；⑥回收利用产生的反应热。上面6个步骤的操作均须满足高温高压环境，而系统的整体性质是循环利用，对原料的利用价值做最大限度的挖掘，几乎不浪费任何材料，成本控制效果非常理想。

3 生产合成氨能耗过高的成因

3.1 低下的管理水平

生产合成氨的工艺流程过于复杂，原因在于生产过程中相关机械设备以及生产工艺之间存在着错综复杂的相互和影响作用。所以，合成氨生产企业还须在提高管理水平方面做文章。尤其要重点关

注如何提升企业管理的非消耗性能，怎样优化完善生产系统的操作规范，岗位职责，设备检测维护，相关基准等，上述因素对生产系统的连续稳定运行影响十分深远。

3.2 落后的技术应用

进行合成氨生产的多数中小企业技术应用非常落后，从设备操作到控制化学反应都无法达到理想效果，导致企业生产的整体质量迟迟得不到有效提升。

3.3 能源无法有效综合利用

生产制造合成氨的流程中很多企业无法实现高效的能源综合利用，能耗过高，资源浪费现象非常突出且长期存在。

4 生产合成氨的节能理论

从目前生产合成氨的效果来看，假设生产温度条件是25℃，压力为1.01MPa时，生产1t液氨能耗数据是21.28GJ，结合理论分析和计算方式合理调整，能把能耗数据降到接近20.15GJ，实际生产时的能耗需求量是50.53GJ，所以，从合成氨生产过程能耗的理论分析结果可以看出，实际生产过程的能耗确实过高，相关企业和人员还须加大研发力度，争取早日把生产过程能耗过高的问题彻底解决。

5 氨合成节能技改

5.1 背景

某合成氨生产企业2005年建成的A系列设施当年10月投入运行，合成氨塔内件为φ1800型号，有31.4MPa的设计压力和日产氨600t的设计产量，期间2010年曾在5月进行过触媒更换，后再未改动。鉴于合成补气含有太多CH₄惰性气体，且合成塔一直维持极低的单程转化率，致使数量庞大的工艺气循环只能于系统内部进行，带来数据偏高的运行压力和太重的水冷器荷载，导致合成氨出现过高的氨冷温度和系统低产，且消耗大量电能。该合成氨系统生产工艺已经调整过很多次，过高的能耗始终降不下来，无法保证生产需要，企业研究决定，撤掉原产于湖南的合成氨塔内件，代之以江苏南京生产的同类生产系统。

5.2 节能改造后的工艺流程

气体出自氨合成循环机，在油分器完成油水分分离进行三股形式划分，①合成塔零米副线经过K管口到达合成塔的内部，从合成塔上部放进接近5%的零米冷激气，把合成塔触媒入口调节成350–370℃的温度环境，满足操作工况要求；②合成塔一进气。从合成塔下侧面相关入口放进10%的环

隙气,顺着外筒的环状空隙上升,到达冷却塔壁,对塔壁进行温度控制,在塔顶外排后成为2股,汇合热交换器热气,其中30–35%为G2和G4冷管供气;③热交冷气。进入热交换器上的冷气入口,和废锅出来的热气进行冷热交换,温度降到170–200℃之间,再到达合成塔。气体加热在热交换器进行,生成入塔气,再进行三股形式划分,第一,合成塔二进气。中心管口位于合成塔底部,气体由此进入后对出口温度进行控制;第二,合成塔轴向层负责出口冷激气和从环状空隙出来到一出气形成混合气,温度降到130–150℃,再经过G2管口向合成塔内部排放,对二段触媒入口进行温度调节,到达380–400℃,满足操作工况要求。上述第一和第三股气体到达合成塔内的层间和底部换热器管程,其内部的冷却气和出2号和3号床层发生反应的气体分别进行换热,使气体到达350–390℃的高度,顺着中心管向上升,到达催化床零米,零米副线对气体进行再调节,使温度达到适宜标准,再于1号催化床里继续反应,温度到达480–500℃,再到达层间菱形分布器,在此混合由G2管口出来的冷气完成温度调节,到达380–400℃,再顺着外向内沿,由径向到达2号催化床实施反应,温度到达450–470℃,再径向到达层间换热器壳程,与冷气发生温度调节到达380–400℃,顺着外向内沿,由径向到达3号催化床实施反应,温度到达440–460℃,再径向到达底部换热器壳程,与冷气发生温度调节到达300–350℃,再排出合成塔。

废热回收器回收出塔气后,以下进上出的方式到达热交换器的管道内部,以90℃的温度到达水冷器,温度降到40℃再到达一号冷凝蒸发分离器管道,再到达氨蒸发器管道和分离器实现氨分离,气体从导气管到达分离器底部再到达二号冷凝蒸发分离器管道,再到达氨蒸发器管道,气液分离后的出塔气体用压力调节阀控制将弛放气送往膜分离装置对原料气中的氢气进行回收送至新鲜气压缩入口进行利用,含较多甲烷气的非渗透气送至原料气管网由前工序处理后再次利用这样改造后不仅可以有效控制氨合成系统中的惰性气体含量确保氨合成反应正常进行又可以回收一部分氢气作为原料气使用,可以到达提产、增效、节能、环保的目的。出来后混合补油新鲜气体,由分离器完成氨分离,再到达氨蒸发器中心管到达上部冷凝器管道,二号冷凝蒸发器排放的气体一号冷凝蒸发器管道,对管内水冷热气再次冷却,使自身温度到达超过25℃,再由循环机重新循环。

5.3 节能技术改造结论

本次节能技术改造提供专业适用设备系统的是江苏南京的某生产企业,氨合成塔为一轴两径形式,经过合成氨生产企业试用,取得了圆满成功,该合成塔内件具有科学合理的设计方式和先进的技术应用。总结为下应用特点:①催化床有合理的温度层间分布,催化剂最大限度地发挥了活性作用,鱼鳞筒径向分布器和菱形分布器在设计制造方面达到了先进可靠的标准要求;②催化床能保证层间均匀的气流分布,合成塔具备很小的压降,因而达到降耗效果;③该系统能确保连续稳定性生产,实现灵活点温度调节,操作弹性大;④设计的换热器小体量,高效传热,能提高高压容器的空间利用率;⑤膜分离氢回收和非渗透气回收可有效提高原料气的利用率,降低吨氨消耗,减少气体排放量;⑥技改后大幅提升系统产量,满足满量生产要求。较之技改前日提升液氨产量35t,吨氨降低电耗15度,吨氨原料气消耗由原来的2950Nm³将至2830Nm³达到了为系统降压,缩减成本,提高生产效率的目的。

6 合成氨工艺及节能改造的经济效益

氨合成是化工生产的重要技术,在当前的工业发展环境下,节能降耗技术不断发展,氨合成生产中积极融入节能技术能够有效降低生产能耗,同时还能够有效降低氨合成生产的积极成本,提升工艺运用的整体经济效益。从宏观角度来看,氨合成生产行业积极运用节能技改技术实现节能降耗的整体突破能够有效优化生产技术的经济效果,为行业发展探索节能、经济的发展之路。

综上所述,合成氨生产具有相当的复杂性,对工序流程要求严格,对设备和管道性能要求高,因此在实际生产过程中,生产部门必须对合成氨工艺从原料气的制取到氨的合成整个流程的各个工序的要点都加强掌握。目前合成氨工艺仍存在耗能高的问题,这与管理水平、技术落后能源利用以及供应不充分等因素有关,相应的节能工艺改造也应当从这几个方面入手,结合具体生产实际对工序和技术进行优化革新,加强节能设计,完善管理机制,加强对能源的综合利用,以发挥合成氨工艺的最大优势。

参考文献:

- [1] 贺军. 合成氨工业节能减排的分析[J]. 工程技术, 2016(22):31–32.
- [2] 孟硕. 气头合成氨装置节能优化分析[J]. 石油石化节能与减排, 2018,3(02):29–32+58.