

合成氨工艺及节能改造措施

武楷淳（潞安化工集团太原化工新材料有限公司，山西 太原 030400）

摘要：合成氨工艺在一些化工制品生产当中是比较常见的，运用该项工艺的企业通常为高能耗企业，与当前的可持续发展理念不相符。本文通过分析合成氨工艺节能改造的现实意义，从而分析了合成氨工艺的基本流程与节能改造措施，促进相关企业的健康发展。

关键词：合成氨工艺；化工企业；节能改造

0 引言

随着党中央提出节能减排的目标之后，许多领域开始向节能降耗、降低成本的方向改进发展。在化学技术工艺加工生产当中，合成氨工艺必不可少，其也是产生能耗的主要部分，基于此，本文对合成氨工艺及其节能改造的路径进行了简要分析。

1 合成氨的简要概述

合成氨简单来说就是让氢与氮处于高温、高压以及催化剂作用的环境下，发生反应并合成为氨，这是一种无机化工的流程，目前，成品氨在许多行业发展当中都是必不可少的，大部分的合成氨会被用作氮肥，还有一部分则是被做成化工产品，氨已经成为工业、农业等领域不可或缺的原料^[1]。

2 合成氨节能改造的现实意义

从能耗的角度来看，合成氨的生产主要是分为燃料能耗以及原料能耗两种，而随着许多领域对氨的需求量日益增加，合成氨的工艺水平也逐步提升，同时，其工艺向节能方向的改进发展也是越来越明显。当前，节能是我国发展的重要课题，更是工业领域发展的一项重要“作业”，从现阶段的煤制合成氨工艺来看，都具有着高能耗的特点，合成氨的工业也成为高能耗产业之一，目前我国的合成氨工业生产当中，耗费 52GJ 才能够生产出 1t 的成品氨，而国外在这方面的能耗却只有我国的一半，可见合成氨节能改造已经是迫在眉睫^[2]。

3 合成氨工艺的主要流程分析

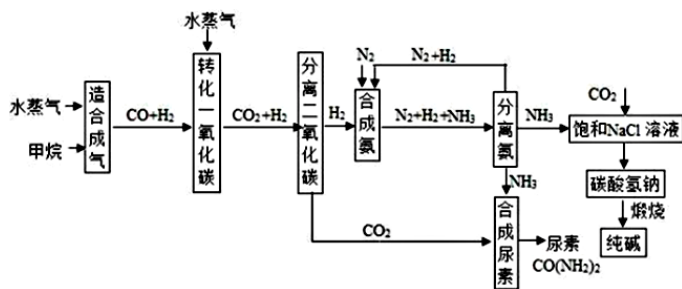


图1 合成氨工艺流程图

不同工业生产中的合成氨工艺存在一些差异，但从整体上来看其工艺的主要流程是相同的，主要是可分为三大步骤，分别为原料气的制取流程、原料气的净化流程以及氨的合成流程，围绕着这三项流程来具体分析，

探析其原理，再进一步实施改进。

3.1 原料气的制造获取流程

原料气的制造获取是整个合成氨工艺的第一个步骤，在该流程当中，主要是制取氢气、氮气等原料气，其原料气中氢气的制取一般是可以运用天然气与煤材料，还可以运用一些重质油工作原料来制取氢气，先是将这些原料和水蒸气同时放在高温的环境当中，在温度适宜条件下两者会发生化学反应而产生一氧化碳与氢气的合成气体，这个过程也叫做造气环节，对于固体原料，像是煤炭，可以采用气化处理方式获得合成气体，在制取氢气的过程中，主要需注意以下几点：

一是整个制取过程中都应当尽可能保证原料气制取温度达标，其温度应当要保持在化学反应充分实现的高温上，能够与水蒸气发生反应，这样才能够获得符合要求的合成气；

二是制取固体原料中的氢气时，要使用固体燃烧方式达到既定目标；

三是通过渣油类物质原料制取原料气时，一般是需运用非催化部分的物体，再配合上氧化法完成相应气体的制备；

四是原料为石油物质时，制备原料气可运用二段蒸汽环化法。原料气中的氮气制取则可将空气作为原料，运用液化处理的物理手段制成液态空气，采用降低温度液化处理方式，像是深度冷冻法，再根据空气当中氮气与氧气沸点的不同进一步提取分离出氮气。也可运用化学方法来提取氮气，原理是在空气中燃烧含有碳的物质，燃烧后的混合气体通过一定手段可以将空气中的二氧化碳去除，最后就可以获得纯度较高的氮气物质^[3]。

3.2 原料气的净化流程

在整个合成氨的工艺当中，原料气的净化也是关键流程之一，通过上述制取方式若获得的原料气只是较为粗略的气体，在原料气当中残留着一些一氧化碳气体、二氧化碳气体、硫化物以及少量氧气，原料气的净化过程就是进一步获得高纯度原料气的处理过程，因此，原料气的净化处理要求也是比较高的，净化的目标就是将氢气与氮气以外的一切杂质去除，当然这种净化的杂质去除并不能够达到百分百，事实上从理论上来说也并没有获得百分百纯度原料气的方法。具体的合成氨原料气净化包含着以下几个步骤。

3.2.1 将原料气转换为二氧化碳

该步骤主要是为了去除一氧化碳，由于煤气化后会生成较多的一氧化碳，而合成氨的最终完成会得到大量水蒸气，那么可利用水蒸气与一氧化碳在反应后会变成二氧化碳与氢气，相比于一氧化碳的直接去除工艺，二氧化碳的脱除操作是较为简单的，同时其处理的成本也比较低，在这一过程中也体现出节能降耗，最终获得的氢气原料为进一步的合成氨做准备，去除一氧化碳也可以看作是原料气制取流程的一种延续，主要是由于在转化一氧化碳的过程中也能够获得一部分氢气。

3.2.2 原料气的脱硫脱碳处理

首先是原料气的脱硫处理，脱硫处理的目的主要是包括两点，一方面是为了提升后续合成氨的质量，另一方面则是由于硫物质含有一定毒性，若是不进行脱硫处理，后续进行合成氨工艺的过程中就会存在中毒危险，站在工业脱硫的角度来说，实际进行原料气脱硫的方法包括干法脱硫与湿法脱硫两种，其中干法脱硫的效果是比较好的，但这种方法的原理是使用固定脱硫剂来完成操作，脱硫剂消耗后是不能够再生的，因此需耗费较高成本，同时其实施的工艺也具有一定难度，因此不常被使用，只是会用在精脱硫过程中；湿法脱硫与干法脱硫的原理则是完全不同，这种方法主要是运用化学溶液来实现脱硫处理，湿法脱硫的成本不高，其脱硫剂是可再生的，一般多用于粗脱硫过程中，比如说低温甲醇洗是一种有效的气体脱硫净化方法，该方法主要是以冷甲醇作为吸收溶剂，可以有效去除原料气当中的酸性气体，达到脱硫的效果，在当前的合成氨工艺中得到了广泛应用。制取到的粗原料气除了一氧化碳转化生成了一定的氢气外，还包含着一定的二氧化碳、一氧化碳以及甲烷物质，其中以二氧化碳物质的含量最高，在氨合成催化剂的过程中，二氧化碳是一种毒物，为了避免氨合成催化剂出现中毒的情况，还需进行严格的脱碳处理，通常来说，原料气的脱碳处理方法有两种，其一是物理吸收脱碳，其二是化学吸收脱碳，整个脱碳处理的过程中，需注意进行二氧化碳气体的回收，回收的二氧化碳可以进行资源的再利用，有助于节约实际成本支出，也能够避免对环境造成污染，这也是体现出节能环保效果。

3.2.3 原料气的进一步精炼

经过去除一氧化碳、脱硫脱碳处理后的原料气，仍旧是存在着一些杂质，包括二氧化碳、一氧化碳、氧气以及水等，这些物质会对合成催化剂造成毒害作用，因此应当要开展精炼处理，最后才能够送到合成氨环节。目前，较常见的原料气精炼方法包括三种，分别为甲烷化法、深冷液氮洗涤法、铜氨液吸收法。

3.3 氨的合成流程

合成氨工艺当中最为关键的步骤自然是氨的合成，在该工艺流程当中，最终目的是为了获得高纯度的氨，主要是将上述提取以及净化处理的氮气、氢气等原料气充分混合，使其互相发生化学反应，最后会形成氨。通

过混合气体来合成氨的过程可分为六步。

3.3.1 对原料气进行压缩

气体的压缩主要是运用到压缩机来完成，将其调整到合成所需的操作压力，并结合生产工艺的指标要求进行压缩，现在常运用离心式压缩机、往复式压缩机等，以离心压缩机为例，其不仅能够达到原料气的压缩标准，与以往的压缩机相比还具有保证原料气不带出油气的优点，省略了合成氨过程中的除油过程。

3.3.2 气体的预热及合成

合成氨的催化剂发挥作用需要一定的活性温度，因此，氢气与氮气的混合气体在经过压缩以后，还能够采用预热的手段将其温度提升到催化剂的活性温度标准，然后再将其送到催化剂层进行合成氨。实现氢氮混合气体预热的主要热量来源是氨合成过程中的反应热，而若是这种反应热量不足以维持合成塔的自热平衡，那么也可以采用其他方式提供热量，比如说可使用加热炉或是电加热器。

3.3.3 氨的分离处理

相应的混合气体在经过了合成塔处理后，还需进行氨的分离，这时其含氨量已经相对较低了，基本维持在10%~20%范围内，通过分离可得到液氨物质，从工业角度来说，目前的氨分离法主要是采用冷凝法，这种方法将混合气体中的氨分离出来，运用液氨和水作为冷却剂，最后再利用水冷器与氨冷器来分离出液氨，对其进行减压即可送到液氨贮槽当中。

3.3.4 未反应气体的循环处理

从合成塔出来之后的混合气体虽然经过了氨的分离处理，但其剩余气体当中仍旧存在着一些没有发生反应的气体，包括氮气与氢气，一般工业上会采用循环法合成氨对这些气体进行回收，重新与原料气一起进行压缩并送到氨合成塔当中开展处理^[4]。

3.3.5 排放惰性气体

合成氨的原料气当中，会含有部分惰性气体，包括甲烷以及氩。采用循环法合成氨的过程中，由于氢氮混合气体不断合成氨形成液氨，一些少量的惰性气体也会随着溶进液氨而被带出，但大多数惰性气体还是被残留在循环气体当中，这对于氨的合成是较为不利的。为了尽可能降低循环生产过程中惰性气体的含量，就需排放惰性气体，主要采用的方法是对循环气体中惰性气体含量较高的部分间歇性或连续性放空，一般可以选择在氨分离器使用之后放空，能够尽可能降低原料气的损失，放空气体当中的氢气与氮气也要进行再回收，还可运用液氮洗的方式来去除惰性气体，天然气制合成氨的过程中常会运用到液氮洗方式，其主要原理是甲烷、氩等气体可以溶解到液氮中。

3.3.6 反应热的回收利用

氨的合成过程会产生较多反应热，因此需要进行回收利用，上述提到反应热回收后可用于预热氢氮混合气体，除此之外，反应热也可用于加热锅炉给水。

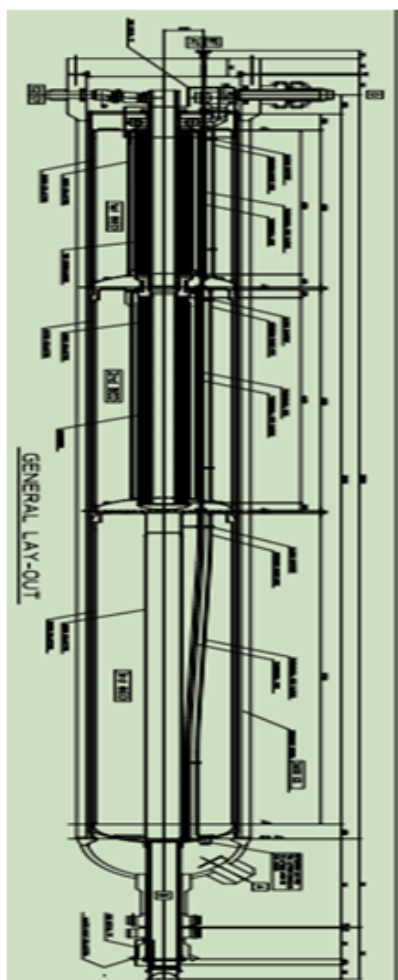


图2 合成塔内件

4 合成氨的节能改造措施分析

4.1 造气节能改造措施

传统的合成氨工艺生产过程中,往往会耗费较多的能源,虽然达到了生产要求,但其生产的成本也是颇高,会降低企业的经济效益,为此,应当要采用合理的节能改造措施。首先就是造气节能改造措施,指的是在造气阶段进行改进,具体来说措施可分为几种:

一是合理使用自动加焦机技术,该项技术运用于原料气提取过程中,与其他技术相比,不仅能够切实节省能源,同时还具有一定的环保特性,进一步压缩合成氨生产中的成本,也能够保证安全生产;

二是可运用煤气余热的集中回收技术,该技术特点就是对余热进行集中化的二次回收,避免余热白白浪费,也能提升整体的资源利用率,这也是节能改造的最终目的;

三是采用油压微机控制技术以及炉况监测技术,进行合成氨生产时运用该项技术有利于时间与资源的合理分配,还能对整个生产过程情况进行监督,对造气工段炉的周围环境进行监测,保证对问题的第一时间发现,对整体过程进行记录,提升实际生产的效率;

四是运用集中式的高效洗气塔,这种装置的作用是用来降低系统阻力,还能够减少使用冷却水;

五是运用吹风气余热回收技术,为了提升资源利用

率,采用吹风气余热回收技术可以集中回收燃烧炉的生产余热,也能够适当提升生产经济效益;

六是运用高效静电除焦油机,这种装置的特点是能够进一步提升脱硫的效率与质量,同时还能够间接延长压缩机的使用寿命。

4.2 废水循环利用改进措施

实际上工业合成氨当中,生产者为了尽可能降低成本,通常是选用碎煤作为原材料,但这种原材料也有着许多缺点,就是其转化为煤气水以后,还是有部分的焦油与粉尘难以彻底分离出来,这些物质会对后续合成氨的管道产生堵塞作用,也会增加一定的热损失,因此,从节能的角度出发,需要采用废水循环利用改进技术,循环利用水资源,减少水资源的浪费,也进一步提升产能,若是碎煤做原材料生产的过程中加上废水的循环利用,那么碎煤中的焦油以及粉尘等杂质可以与水进行融合,从而减少其合成氨过程管道堵塞问题发生,进一步提升合成氨工艺的生产效率与质量^[5]。

4.3 核心装置氨合成塔的节能改造

在合成氨工艺当中,氨合成塔可以说是最为核心的装置,因此在进行节能改造的过程中,也可从氨合成塔着手。主要是通过对其内件的改造以及控制塔内气体流向与温度来进一步提升各项设计参数值,包括合成塔氨净值以及氨合成塔压降值,进一步提升其生产水平,同时需注意优化气体在催化剂床层的均匀分布,还要尽可能简化装置的操作流程,提升可操作性与运行效率,降低实际消耗。

总之,许多合成氨工艺的能耗是十分严重的,因此对其工艺流程中的各项要点进行节能改进很有必要。在如今可持续发展战略和节能环保理念的推进下,合成氨产业的健康发展也必然离不开降低能源浪费、降低生产成本等方向。

5 结论

综上所述,合成氨工艺是较为复杂的一项生产工艺,氨在许多领域当中成为主要原料,而合成氨工艺本身存在着高能耗的特点,相关企业想要谋求发展,还需针对这一缺点实施工艺节能改进。由本文分析可知,合成氨的节能改造措施包括:造气节能改造措施、废水循环利用改进措施、核心装置氨合成塔的节能改造等等。

参考文献:

- [1] 陈行. 合成氨工艺及节能改造措施分析 [J]. 中国设备工程, 2021(07):120-121.
- [2] 康玉林. 合成氨工艺及节能改造分析 [J]. 化工管理, 2019(32):179-180.
- [3] 牛文勇. 合成氨工艺及节能改造分析 [J]. 化工设计通讯, 2019, 45(10):1+10.
- [4] 王英花. 浅析合成氨生产过程中的节能与降耗 [J]. 化工管理, 2019(23):53-54.
- [5] 王悠悠. 合成氨工艺及节能改造措施的分析 [J]. 化工管理, 2019(22):208-209.