

# 上行制气采用增氧间歇式气化节能减排的预测

张莉<sup>1</sup>,刘胜利<sup>1</sup>,丁瑶<sup>2</sup>,张凤葵<sup>3</sup>,黄璞<sup>1</sup>

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074;

2. 武汉工程大学化工与制药学院,湖北 武汉 430074;

3. 中国五环工程有限公司,湖北 武汉 430073)

**摘要:**针对我国目前上行制气能耗较大的现状,开发了上行制气采用增氧间歇式气化法工艺.以山东某有限公司技改前后为例对上行制气采用增氧间歇式气化的节能减排结果进行预测分析.技改前制气采用自然空气(79%的氮和21%的氧气)加入,技改后在满足 $(\text{CO} + \text{H}_2)/\text{N}_2$ 的需要基础上,上行制气入炉蒸汽中加入含90%氧气和10%氮气的量,直接弥补部分蒸汽分解时吸热反应的热量,使蒸汽长时间在高温条件下进行分解.预测结果表明:弥补了制气温度,提高蒸汽分解率和煤炭的利用效率,减少 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 的排放.

**关键词:**上行制气;增氧间歇式;节能减排;预测

**中图分类号:** TQ113.26+4

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2012.04.008

## 0 引言

我国67%以上的合成氨原料气是利用无烟块煤(自然块煤、人工型煤)制得的,现阶段我国中小型化肥厂每吨 $\text{NH}_3$ 的能耗在44~77 GJ之间,而国外先进的制氨工艺的能耗已降到每吨30 GJ左右<sup>[1-2]</sup>.从合成氨的能源消耗来看,原料煤消耗占55.8%、电耗占25.82%、蒸汽占17.27%、水占1.05%.按照当前的生产水平,平均每吨氨需消耗1 550 kg标煤.因此高耗能的合成氨工业及其巨大节能潜力应当引起人们的高度重视,而降低能源消耗最有效的措施就是提高煤炭的利用效率.

在合成氨原料气制备过程中,如何同时提高煤气热值与鼓风量是降低能耗<sup>[3]</sup>过程中的矛盾所在. $\text{C}$ 和高温蒸汽 $\text{H}_2\text{O}$ 反应生成 $\text{H}_2$ 与 $\text{CO}$ 要大量吸热, $\text{CO}_2$ 还原成 $\text{CO}$ 也要大量吸热.提高炉温,需增加鼓风量,鼓风量增大, $\text{N}_2$ 要大量进炉,由于空气中氧气的含量占20.94%,而不助燃的氮气占78.10%.在燃烧过程中,氮气带走了大量热量,导致炉温降低,为提高煤气热值必须减少风量.因此,采用富氧燃烧后既能提高炉温,又可减少20%~35% $\text{N}_2$ (空气)的进风量,减少了热能的流失,而使排烟温度下降50~100℃,一举两得地解决了技术难关.

上行制气采用增氧间歇式气化工艺改革现行煤气气化工工艺,降低煤耗,提高企业的经济效益,

建设“资源节约型和环境友好型”社会具有极其重要的作用.

## 1 工艺技术分析

### 1.1 优缺点分析

传统的上行制气采用的是空气与水蒸气为原料制取合成氨原料气,此工艺在生产中存在以下的弊端:

**a. 制气过程消耗热量大<sup>[4]</sup>.**由于空气中 $\text{N}_2$ 含量高达78%以及氢氮比的限制,制气过程中加入的空气量较少、热量产生有限,使蒸汽分解的吸热反应难以达到自热平衡.

**b. 制气阶段蒸汽分解率低,**造成大量蒸汽浪费,同时未分解的蒸汽会带走大量的热量导致制气各阶段能耗增加.

针对传统的上行制气过程中存在的问题,研发了上行制气采用增氧间歇式气化,保持原有上行制气加氮不变的基础上,在上行制气入炉蒸汽中增加90%浓氧空气,与传统的制气方法相比具有以下的优点<sup>[5]</sup>:

**a. 节省原料煤和蒸汽的消耗,**弥补了制气温度,相应减少了吹风时间,减少原料煤消耗所产生的 $\text{CO}_2$ 和硫化物气体的排放.

**b. 充分发挥有效碳的作用,**提高蒸汽分解效率,相应的减少蒸汽的消耗.

**c. 采用增氧间歇式气化制气时,**气化层炉温

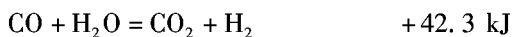
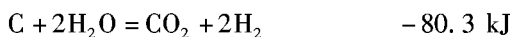
收稿日期:2011-12-26

作者简介:张莉(1965-),女,湖北武汉人,副教授,硕士.研究方向:水污染控制工程、清洁生产、循环经济.

提高,一氧化碳和氢气等有效气体成分含量增加,二氧化碳生成量减少,提高了半水煤气质量。

## 1.2 反应原理

在上行制气过程中发生的反应主要有:



在上行制气过程中,根据半水煤气中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$  等主要气体成分和上行出口气体温度调节增氧空气的加入量,稳定气化床温度,提高蒸汽分解率,充分提高有效碳和蒸汽的利用效率<sup>[6]</sup>。

## 1.3 工艺流程说明及节能减排分析

入炉蒸汽中添加含量大于 90% 的由 VPSA 制氧装置提供的浓氧空气,经加压大于 0.6 MPa 压力后,首先进入氧气缓冲罐稳定压力,经调节阀进入增氧空气总管,由总管分别去支管上双切断阀后,去各台造气炉上行制气后入炉蒸汽管混合,再去抽引加氮空气,当蒸汽、氧气、加氮空气 3 气混合后,经氧浓度分析仪通过增氧气化控制站和调节阀随时控制入炉氧气浓度的变化,使之在蒸汽分解时消耗热量缓慢下降,优化各台造气炉稳定运行。

上行制气过程中增加  $\text{O}_2$  的浓度,一方面可以提高  $\text{O}_2$  扩散推动力,另一方面可弥补制气过程中炉温的下降。由于原料煤在高体积分数的条件下助燃,提高了炉温,使蒸汽与炽热的碳层分解反应时产生的有效气体中  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$  的体积分数增加,相应的  $\text{CO}_2$  含量减少提高了半水煤气的质量,因而增加了煤气产量。富氧在煤气炉中起到催化剂的作用,提高氧化层温度,稳定还原层的温度,促进  $\text{CO}$  与  $\text{H}_2$  的生成,促进  $\text{CO}_2$  还原成  $\text{CO}$ ,减少鼓风机进风量 30% ~ 60%,每吨煤产生  $\text{H}_2$  与  $\text{CO}$  的总发热量可以增加 50% ~ 100%。煤气的热值提高一倍,对由于煤气燃烧炉温偏低而影响生产的窑炉起到关键的作用,由于燃烧温度上升,炉温容易控制在理想状态,生产率也得到大幅度提高。

## 2 应用效果预测

下面以山东某有限公司为例来分析技改后节能减排效果。因该公司搬迁后还未投入运行,只能依据公司提供搬迁前生产数据来预测上行制气“增氧间歇式气化”节能减排的效果。

### 2.1 技改前上行制气现状

技改前在上行制气过程中,直接加入空气,根据氨合成氢氮比的需要调整空气量,空气中的氮气进入水煤气,形成半水煤气。其成分见表 1。

表 1 半水煤气成分表

Table 1 Composition table of semi-water gas

| 成分  | $\text{H}_2$ | $\text{CO}$ | $\text{CO}_2$ | $\text{N}_2$ | $\text{O}_2$ | $\text{CH}_4$ | $\text{H}_2\text{S}$ | 合计  |
|-----|--------------|-------------|---------------|--------------|--------------|---------------|----------------------|-----|
| w/% | 47           | 30          | 7             | 14.5         | 0.5          | 0.85          | 0.15                 | 100 |

该工艺采用的一个循环制气时间为 135 s,采用 5.4 s 吹净回收,弥补半水煤气中的氢氮比的指标,减少了上行制气加氮空气中氧与原料煤氧化反应放出的热量。此过程虽然回收了部分煤气,但产生的吹风气中大量的  $\text{CO}_2$  气也进入合成氨原料气中,影响了半水煤气的质量。

### 2.2 技改后上行制气技术

针对原上行制取半水煤气的过程中存在的问题,技改后在保持原生产上行制气加氮过程不变,尽量减少吹净回收时间,增加上行制气加氮量。在满足半水煤气中氢氮比的需要基础上,上行制气入炉蒸汽中加入含 90% 氧气(其中还有 10% 氮含量),弥补蒸汽分解时吸热反应的热量,使蒸汽长时间在高温条件下进行分解,提高蒸汽分解率。

### 2.3 技改前后节能减排效果预测内容分析

根据企业提供的生产数据,技改前提供的 8 台  $\phi 2800 \text{ mm}$  造气炉,合成氨年产量为 100 000 t,吨氨原料煤耗为 1.32 t;技改后增设 1 000  $\text{m}^3/\text{h}$  变压吸附制氧装置,合成氨年产量为 120 000 t,吨氨原料煤耗为 1.25 t。因该公司搬迁后还未投入运行,只能根据该公司提供搬迁前生产数据,预测上行制气“增氧间歇式气化”的效果,其物料及热量平衡计算效果见表 2。

通过表 2 分析可得:技改前增氨折成原料煤量为 1.250 t/t,  $\text{CO}_2$  排放量分别达 855.83  $\text{m}^3/\text{t}$ ;硫化物的排放量为 10.53  $\text{m}^3/\text{t}$ ;技改后预测增氨折成原料煤量为 1.022 kg/t,  $\text{CO}_2$  排放量分别达 642.04  $\text{m}^3/\text{t}$ ,硫化物的排放量为 7.90  $\text{m}^3/\text{t}$ ;则技改后每年预测可以节约能源 27 360 t/a 万吨标煤;减少  $\text{CO}_2$  的排放量为 213.79  $\text{m}^3/\text{t}$ ;减少硫化物的排放量为 2.63  $\text{m}^3/\text{t}$ 。技改后使上行制气入炉的蒸汽、加氮空气及浓氧空气混合后含氧气浓度为 4.42% 增加至 8.04%,使上行制气时每吨氨增加了 110.05  $\text{m}^3$  的纯氧量,蒸汽在炉内气化层分解时,增加了 1 164 242 kJ/t 氧化反应热量,直接减少 9.49 kmol/t (170.82 kg/t) 氨蒸汽分解,一年可充分有效利用 20 520 t 蒸汽,可增产 16 962 t/a 合成氨量,充分发挥了有效碳和蒸汽分解的效率。由此可见,上行制气采用增氧间歇式气化技术取得了非常明显的节能减排效果。

表 2 节能减排效果预测对比

Table 2 Comparison on the effect prediction of energy saving and environment protection

| 序号 | 计算项目                     | 技改前                    | 技改后        | 效果         | 单位                                |
|----|--------------------------|------------------------|------------|------------|-----------------------------------|
| 1  | 制氧装置供氧浓度                 |                        | 90         |            | %                                 |
| 2  | 入炉增氧空气浓度                 | 21                     | 33.47      | 12.47      | %                                 |
| 3  | 制氧装置供氧量                  | 0.00                   | 90.00      | 90.00      | m <sup>3</sup> /h                 |
| 4  | 入炉加氮增氧空气量                | 587.34                 | 697.39     | 110.05     | m <sup>3</sup> /t                 |
|    | 其中:O <sub>2</sub> 含量     | 123.34                 | 233.39     | 110.05     | m <sup>3</sup> /t                 |
|    | N <sub>2</sub> 含量        | 464.00                 | 464.00     | 0.00       | m <sup>3</sup> /t                 |
| 5  | 增加纯氧气量                   | 0.00                   | 110.05     | 110.05     | m <sup>3</sup> /t                 |
| 6  | 入炉混合气中 O <sub>2</sub> 浓度 | 4.42                   | 8.04       | 3.62       | %                                 |
| 7  | 碳层增加反应热量                 | 0.00                   | 1 164 242  | 1 164 242  | kJ/t                              |
| 8  | 增加半水煤气产量                 | 3 200                  | 3 652.3    | 452.32     | m <sup>3</sup> /t                 |
|    | 增加合成氨量                   | 120 000.0              | 136 961.9  | 16 962     | t/a                               |
| 9  | 增氨折成原料煤节省量               | 1.250                  | 1.022      | 0.228      | t/t                               |
|    |                          | 150 000.0              | 122 681    | 27 360     | t/a                               |
| 10 | 增氨折成节省蒸汽量                | 2.00                   | 1.829      | 0.171      | t/t                               |
|    |                          | 240 000                | 219 500.3  | 20 499.7   | t/a                               |
| 11 | 制气强度                     | 1 082.68               | 1 410.39   | 327.70     | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h |
| 12 | 气化过程总效率                  | 81.88                  | 97.07      | 15.18      | %                                 |
| 13 | 减少吹风时间                   | 27                     | 24.77      | 2.23       | s                                 |
| 14 | 减少 CO <sub>2</sub> 排放量   | 855.83                 | 642.04     | 213.79     | m <sup>3</sup> /t                 |
|    |                          | 1.03 × 10 <sup>8</sup> | 77 044 931 | 25 654 788 | m <sup>3</sup> /a                 |
| 15 | 减少硫化物排放量                 | 10.53                  | 7.90       | 2.63       | m <sup>3</sup> /t                 |
|    |                          | 1 263 207              | 947 653    | 315 554    | m <sup>3</sup> /a                 |
| 16 | 节省原料煤的效益                 |                        |            | 5 061.6    | 万元/年                              |
| 17 | 节省蒸汽的效益                  |                        |            | 409.994    | 万元/年                              |
| 18 | 合计                       |                        |            | 5 061.6    | 万元/年                              |
| 19 | 增氧氧成本                    |                        |            | 264.1      | 万元/年                              |
| 20 | 经济效益                     |                        |            | 4 797.5    | 万元/年                              |
| 21 | 投资回收期                    |                        |            | 3.75       | 月                                 |

注:单位 m<sup>3</sup>/t 指每吨 NH<sub>3</sub> 排放气体量,标准立方米,全文同。

### 3 结 语

上行制气采用增氧间歇式气化方法制合成氨原料气,有利于降低能耗,减少 CO<sub>2</sub> 的排放量。特别是当前煤价在上涨,CO<sub>2</sub> 温室气体排放将要实行花钱购买,国家和地方政府又有节煤奖励的政策形势下,上行制气采用“增氧间歇式气化”技术,对企业经济和社会环境效益是非常有利的,将带来良好的经济效益和环境效益。

#### 参考文献:

- [1] 李琦,角仕云.合成氨工艺设计的改进及能耗分析[J].云南化工,1995(1):37-41.
- [2] 孙宝慈.近两年大型合成氨装置运行和技术改造综述[J].大氮肥,2000,23(1):1-6.
- [3] 天然气化工编辑部.世界合成氨产能未来几年仍将增加[J].天然气化工,2009,34(3):43.
- [4] 张莉,丁瑶,吴鹏,等.增氧间歇式气化生产合成氨原料气的分析[J].武汉工程大学学报,2011,8(33):33-35.
- [5] 张凤葵.增氧间歇式气化的应用实践[J].全国煤气化技术通讯,2011(3):3-7.
- [6] 吴林南.送风强度对煤气发生炉气化层的影响.煤气与热力,1987,3(2):27-30.

[1] 李琦,角仕云.合成氨工艺设计的改进及能耗分析

(下转第 71 页)