

煤制氢工艺能效分析及发展前景

秦光书

中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司 内蒙古 鄂尔多斯 017209

摘要: 氢能是 21 世纪最具发展潜力的清洁能源, 多个省市将氢能发展列入到“十四五”发展规划, 本文介绍了氢能的发展利用现状和氢的主要来源, 介绍了煤制氢的工艺技术路线, 详细介绍了及其特点。文中对以 Shell 炉粉煤气化为气头的煤制氢工艺路线的能源转化效率进行了计算, 煤制氢具有能源转化效率高, 成本低, 工艺路线成熟、原料煤储存丰富的优势, 氢能利用将成为今后非常重要的洁净能源, 对于我国煤多, 石油和天然气资源相对较少的能源结构现状, 以煤制氢是我国煤炭清洁利用的有效途径, 面对当前能源结构调整的关键时期, 煤制氢工艺路线可以作为我国发展氢能主要的来源之一, 具有较好的发展前景。

关键词: 煤制氢, 煤气化, 能源效率, 氢能, 低碳

氢能是 21 世纪最具发展潜力的清洁能源 [1], 在清洁发展和能源转型的大背景下, 已有陕西、吉林、河北、山东等多个省市将氢能发展列入到“十四五”发展规划。经统计 2020 年中国已建成加氢站 88 座, 按照《节能与新能源汽车技术路线图》规划, 到 2025 年, 我国计划燃料电池汽车规模达到 5 万辆, 建成加氢站至少 300 座, 《中国氢能产业基础设施发展蓝皮书》提出, 到 2030 年建成 1000 座。在氢能的来源方面, 经过近几十年科学技术的不断发展, 电解水制氢、光解水制氢、生物质制氢等制氢工艺取得明显进展 [2], 但化石燃料制氢仍然是当前工艺最成熟, 已经形成规模化生产的最主要的氢能来源。化石能源制氢主要包括天然气制氢、石油热裂解的副产物制氢和煤制氢等, 目前煤制氢在国内 H₂ 生产中占据主导地位, 且拥有成本优势 [3]。

现在煤制氢的工艺技术路线主要包括煤气化、CO 变换、酸性气脱除、氢提纯等工段, 可以生产出纯度大于 99.5%(V) 的 H₂。本文将从能源效率角度对以 Shell 炉煤气化为气头的煤制氢工艺路线进行能效分析。煤制氢的工艺流程见图一。

1 工艺能效计算

1.1 工艺介绍

Shell 炉煤气化工艺是目前世界上最先进、最典型的第二代煤气化工艺之一 [4]。磨煤生产线和热风炉系统采用一对一配置, 制粉干燥流程简洁, Shell 炉煤气化属气流床气化, 煤气化反应在高温加压条件下进行, 煤粉、氧气并流进入气化炉内, 在极为短暂的时间内完成升温、挥发份脱除、裂解、燃烧及转化等一系列物理和化学过程。一氧化碳变换采用耐硫宽温变换串耐硫低温变换工艺, 变换工艺冷凝液大部分用作变换炉段间降温用激冷水, 以节约变换反应所需的中压蒸汽, 有利于节能, 剩余工艺冷凝液经汽提后全部送煤气化工序使用。余热采用分等级回收方式, 高温工艺余热采用副产低压蒸汽的方式回收, 低温工艺余热预热除盐水回收热量。酸性气体脱除采用低温甲醇洗工艺, 低温甲醇洗工艺脱除酸

性气体属物理吸收工艺, 该工艺与其它工艺比较, 综合能耗低, 操作运行费用低, 吸收和再生具有很高的选择性, 易得到高 H₂S 浓度的酸性气, 可采用常规克劳斯法回收硫磺, 装置环保性较高。氢气提纯采用变压吸附氢气提纯工艺, 此工艺具有流程简单、投资少、能耗低、自动化程度高、产品纯度高、成本低等优点, 与深冷分离、膜分离等工艺相比, 更具有可靠性、灵活性及经济合理性。

1.2 能量输入

煤制氢工艺技术路线的能量输入端主要包括原料煤的能量输入、耗能工质能量输入和燃料动力能量输入三部分。原料煤是国家能源集团神华神东马家塔煤矿原煤和部分为调节灰分比例的高硫煤, 耗能工质有新鲜水、循环水、除氧水、蒸汽等, 燃料动力有燃料气、电。各介质输入能量值见表一。

| 名称 | 数量 t | 折标系数 tce/t | 总热值 GJ | 备注 |
|-------------|----------|---------------|-----------|---------------------|
| 能量输入 | | | | |
| 原煤 | 494156 | 0.822 | 11904 | |
| 高硫煤 | 37151 | 0.667 | 727 | |
| 耗能工质 | | | | |
| 氧气 | 317313 | 0.4 | 3720 | 单位 kNm ³ |
| 新鲜水 | 1422 | 0.000214 | 0.01 | |
| 循环水 | 38800618 | 0.000143 | 163 | |
| 低压除氧水 | 296048 | 0.0131 | 114 | |
| 高压除氧水 | 928280 | 0.0131 | 358 | |
| 3.5MPa 蒸汽 | 83550 | 0.126 | 308 | |
| 动力输入 | | | | |
| 电 | 55781798 | 0.32 | 523 | 单位 kWh |
| 燃料气 | 5175 | 0.157 | 24 | |
| 合计 | | | 17841 | |

1.3 能量输出

煤制氢工艺技术路线的能量输出端主要包括氢气、酸性气、变压吸附尾气和余热产蒸汽。各介质输出能量值见表二。

| 名称 | 数量 t | 折标系数 tce/t | 总热值 GJ | 备注 |
|------------|---------|---------------|-----------|----|
| 能量输出 | | | | |
| 氢气 | 59840 | 4.095 | 7180 | |
| 酸性气 | 7216 | 0.178 | 38 | |
| 变压吸附尾气 | 159424 | 0.157 | 732 | |
| 1.1MPa 蒸汽 | 211430 | 0.109 | 673 | |
| 0.45MPa 蒸汽 | 93202 | 0.129 | 351 | |
| 合计 | | | 8974 | |

1.4 能源转化效率

能源效率为能源输出热值当量合计比能源输入热值当量合计,以 2000t/day 处理量的 Shell 炉煤制氢装置年度运行数据计算煤制氢工艺路线的能源效率,此工艺路线的整体热值当量能源转化效率为 50.30%。

2 分析及探讨

在传统的能源利用方式中存在两大弊端 [5]:一是燃料的化学能必需转化为热能后再转变为机械能或电能,机端效率只有 33% ~ 35%,利用率较低。二是传统化石能源的利用对人类生存环境造成严重污染。传统的燃煤火力电站的能源利用效率在 38% 左右 [6],氢燃料电池技术的发展将给人类利用能源带来革命性变化,氢燃料电池在能源转化过程中不受卡诺循环的限制,其热转化效率在 85% ~ 90%。目前技术水平下煤制氢的能源转化效率为 50% 以上,面对当前能源结构调整的关键时期,煤气化制氢 - 氢燃料电池的能源利用途径在能源利用效率上相比传统的燃煤发电具有明显优势。随着储氢技术和加氢站装备制造技术的快速发展,煤气化制氢 - 氢燃料电池的能源利用途径将会改变传统化石燃料的能源利用方式,对于我国能源结构转型和环境保护具有积极意义。

3 结论

氢能利用将成为今后非常重要的洁净能源,在“十四五”规划中将大力发展洁净的氢能系统。煤制氢具有能源转化效率高,成本低,工艺路线成熟的优势,综合考虑原料资源、技术水平以及经济实力等因素,对于我国煤多,石油和天然气资源相对较少的能源结构现状,以煤制氢是我国煤炭清洁利用的有效途径。对煤制氢过程中集中排放的高浓度 CO₂ 捕集,然后进一步进行封存或资源化利用,煤气化过程中产生的灰渣也可进行综合利用,可见煤制氢工艺路线可以作为我国发展氢能主要的来源之一,促进煤炭利用从高碳走向低碳的转化,具有较好的发展前景。

参考文献

- [1] 毛宗强. 世界氢能炙手可热 中国氢能蓄势待发 [J]. 太阳能, 2016,07:16-19.
- [2] 蔡文鑫. 制氢技术的发展及展望 [J]. 当代化工研究, 2017,08:1-2.
- [3] 李庆勋, 刘晓彤, 刘克峰等. 大规模工业制氢工艺技术及其经济性比较 [J]. 2015,40(1):78-82.
- [4] 吴治国. 煤气化原理及其技术发展方向 [J]. 石油炼制与化工, 2015,46(4):22-28.
- [5] 郭赛飞, 郑宝玉, 谷峙樾. 21 世纪最理想的能源 - 氢 [J]. 科学时代, 2015,04:48.
- [6] 岳建华, 毕春海, 岳涛. 提高火力发电厂能源转化效率的探讨 [J]. 热电技术, 2012,04:8-13.

作者简介:

秦光书,男,1981年8月,汉族,河北保定人,职务工艺主管,就职于中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司 学历本科,研究方向煤化工,邮箱 78206727@qq.com