

煤气制氢产业碳排放及经济性研究

杨霖源 (甘肃宏汇能源化工有限公司, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘要: 煤气制氢是我国现阶段发展最为成熟的一种制氢技术,在推动制氢产业发展上发挥了积极作用。随着国家对制氢产业的高度关注和政策引导,煤气制氢产业的发展和经济价值成为了关注热点。本文基于煤气制氢的主要流程,构建起煤气制氢技术下的全生命周期评价模型,基于模型下对煤气制氢中煤炭开采、运输以及煤气制氢反应三个重要过程的碳排放和生产成本进行计算分析,明确导致煤气制氢成本增加的三大因素,即电力、煤炭以及天然气价格,并从我国煤气制氢产业发展较佳的代表性省份中选取广东、河北、山东、内蒙古进行煤气制氢成本计算对比,同时与国际代表国家煤气制氢成本进行对比,证实我国煤气制氢成本相对较低,总体控制在 7-12CNY/kgH₂ 范围内,但广东省因煤炭资源缺乏表现出成本较高特点。最后本研究结合经济性分析成果,提出了针对性建议,期望更好地带动国家煤气制氢产业发展。

关键词: 煤气制氢; 经济性; 发展建议

Abstract: Gas hydrogen production is the most mature hydrogen production technology in China at present, and has played a positive role in promoting the development of the hydrogen production industry. With the high attention and policy guidance of the country on the hydrogen production industry, the development and economic value of the gas hydrogen production industry have become a hot topic of concern. Based on the main process of gas hydrogen production, this paper constructs a full life cycle assessment model under the technology of gas hydrogen production, calculates and analyzes the carbon emissions and production costs of the three important processes of coal mining, transportation and gas hydrogen production reaction in the process of gas hydrogen production, and identifies the three major factors that lead to the increase in the cost of gas hydrogen production, namely, the price of electricity, coal and natural gas. Guangdong, Hebei, Shandong, and Inner Mongolia were selected from representative provinces with better development in China's gas hydrogen production industry to calculate and compare the cost of gas hydrogen production. At the same time, a comparison was made with the cost of gas hydrogen production in international representative countries, confirming that the cost of gas hydrogen production in China is relatively low and is generally controlled within the range of 7-12CNY/kgH₂. However, Guangdong province shows a high cost characteristic due to the lack of coal resources. Finally, based on the results of economic analysis, this study proposes targeted suggestions in the hope of better driving the development of the national gas hydrogen production industry.

Key words: hydrogen production from coal gas; Economy; Development suggestions

在生活水平持续提升和经济发展的影响下,人们对能源的需求量在持续增长,这使得化石能源被大量开发利用,引发了全球变暖、资源枯竭以及生物多样性下降等多种全球环境能源问题。为更好地保护生态环境,控制能源开发,世界各个国家都进入到了全新的能源开发进程中。氢气是近年来获得学界行业关注的新能源载体,其可由可再生能源、化石能源以及工业副产物等各种途径来制取,且在其制作生产中不会产生二氧化碳,是有效降低对能源依赖性的重要能源,同时也是控制碳排放的重要手段^[1]。

随着煤气制氢产业的持续发展和推广应用,关于

其碳排放与经济性却成为了热议点,煤气制氢的过程是否能够真正意义上提升经济效益成为争议点。本研究结合煤气制氢的运作过程,基于相关数据下进行碳排放与整体经济性分析,期望为煤气制氢产业的发展提供客观指导。

1 煤气制氢技术生命周期评价模型

本研究结合煤气制氢路线来进行全生命周期探索,主要围绕煤气制氢产业的每个生产单位的功能产品的投入成本、环境负荷情况,从清单分析、范围界定、影响评价等不同层面来进行针对性讨论。本研究以生产 1kg H₂ 作为核算单位,将其全过程消耗能量设

定为 Q ，结合二氧化碳排放量以及能量转化效率 E_η 来进行综合评价，其中能量转换计算公式为：

$$E_\eta = \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} \quad (1)$$

上述公式中：

Q_{out} 主要用于对流出能量进行表示；

Q_{in} 则主要用于对流入能量进行表示。

2 煤气制氢路线与清单核算

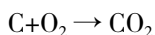
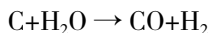
煤气制氢主要包括了煤炭开采、运输以及煤气制氢反应三个重要过程，其基本数据指标见表 1。

表 1 煤气制氢基本指标清单

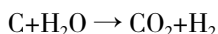
过程	能耗 (MJ/kg (H ₂))	碳排放 (CO ₂ /kg)	能量转换效率 (%)	成本 (CNY)
开采	2.2	0.12	N.A	0.07
运输	0.16	0.01	41	0.04
制氢反应	268.6	25	53.5	12.16
合计	270.96	26.0	53.0	12.3

注：N.A 表示数据不明确

根据表 1 来看，完成 1kg 煤气制氢，需要耗损 2.2MJ 煤炭，带来 0.12kg 的碳排放。而进入到煤炭运输阶段之后，即从煤炭开采区域运送到煤气制氢工厂，大距离大约为 200km 左右，此时需要消耗 0.16MJ 柴油，并因此产生 72600kg/CO₂/TJ 的二氧化碳排放因子，导致 0.01kg 的碳排放^[2]。煤炭送入到煤气制氢工厂后，需要经过输煤系统、棒磨机、煤浆泵等设备进行处理，使得煤炭能够研磨成水煤炭，再进行气化处理，这个过程的主要反应过程为：



即在煤气制氢的整个流程中，需要消耗 223.9MJ 煤炭、7.0MJ 的燃料气以及 3.8MJ 的电力，随后再将 CO 气体输送到转换单元中，进行 CO 转换反应，具体过程为：



CO 转化过程中，每个单元会排放 18.3kg 的二氧化碳^[3]。在经过甲醇洗工艺进行氢气分离处理后，可获得酸性气体，包括二氧化硫、二氧化碳、硫化氢

等，随后经由变压吸附工艺对氢气实施提纯处理，即可获得有着较高纯度的氢气。在整个过程中，需要耗损 3.12kWh 的电力，产生 2.5kg 的二氧化碳^[4]；随后将氢气集中输送到压缩机中，将其压缩成为 20MPa 存储，并在 25℃ 的条件下存放到储氢瓶中，本次需要消耗 6.3kWh 的电力，产生 5.1kg 的二氧化碳。

煤气制氢的整个过程中，产生的 99% 的能源消耗、二氧化碳排放和成本均来自于煤气制氢反应阶段。其中 71% 的二氧化碳排放均来自煤气制氢反应过程中 CO 转换和气化过程，其他的二氧化碳排放则源自于电力中的隐含碳。根据成本的构成情况来看，电力价格与煤炭的价格是导致煤气制氢成本受到影响的两大主要部分，根据地区能源价格计算，见表 2。

表 2 地区能源价格计算基数

能源	价格	能源	价格
煤炭 (CNY/t)	1100	甲醇 (CNY/t)	2.5
天然气 (CNY/m ³)	3.45	电力 (CNY/kWh)	0.3
柴油 (CNY/L)	5.5	液化石油气 (CNY/kg)	3.8

可根据不同品种能源耗损量实施统计，获得煤气制氢的成本估值结果，具体计算公式为：

$$C_{h-p} = 7.7C_c + 0.2C_n + 10.5C_e \quad (2)$$

上述公式中：

C_{h-p} 主要用于对煤气制氢整个流程中产生的成本进行表示；

C_c 主要用于对煤炭的实时价格进行表示；

C_n 主要用于对天然气的实时价格进行表示；

C_e 主要用于对电力实时价格进行表示。

在影响煤气制氢成本的不同能源品种中，电力价格、煤炭的价格以及天然气的价格表现出较为突出的地域性特征，其中煤炭价格对煤气制氢的总体成本影响最为突出，为此，结合不同地区的煤炭价格变化来看，从高到低依次分为：广东地区 > 河北地区 > 山东地区 > 内蒙古地区。其中广东省煤炭资源相对较为缺乏，而河北、山东和内蒙古均是煤矿资源丰富的地区，但因广东省是能源消费型省份，故也是煤气制氢的代表地区。

根据煤气制氢的成本信息^[5]，结合公式 (2) 对不

同地区的煤气制氢成本进行计算分析,同时与国际煤气制氢代表性较强的国家进行对比,具体见图1。

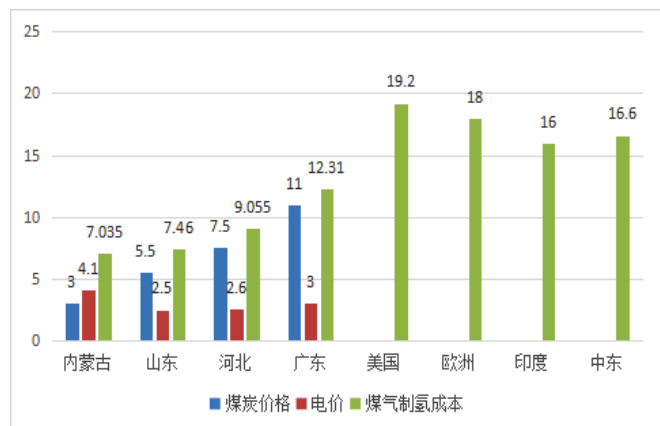


图1 我国代表省份与国际代表国家煤气制氢成分分析对比图

根据图1来看,我国广东省是我国代表省份中煤气制氢成本最高的地区,而内蒙古的煤气制氢成本最低,这主要是由于广东省相较于其他几个省份的煤矿资源相对缺乏,这使得广东省煤气制氢主要通过从其他地区购买煤炭来实现,导致煤炭的整体价格较高,增加了煤气制氢总成本。而内蒙古、山东、河北本身有着丰富的煤矿资源,故煤炭购入成本相对较低,煤气制氢成本也能够得到更好的控制。综合来看,我国煤气制氢成本在7-12CNY/kg H₂范围内。但与美国、欧洲、印度以及中东国家相比,我国煤气制氢总体成本普遍较低,其中美国的煤气制氢成本最高,这可能与缺乏煤炭资源有关。

3 煤气制氢产业的发展建议

根据本次煤气制氢的碳排放与经济性分析结果来看,我国煤气制氢总体成本较低,但表现出地区差异性特征,为此,要实现全国煤气制氢产业的共同发展,就必须基于总体成本上进行煤炭资源的调配,通过对煤炭价格的控制来实现对煤气制氢产业的带动。具体发展建议如下:

①对煤气制氢产业布局进行合理优化,形成基于全国发展板块下的规模化发展的产业体系。积极带动煤气制氢产业能够从基础较好的平川区域和煤炭资源优势区域集中布局,促使煤气制氢产业能够形成集群式发展^[6];

②积极推动煤气制氢产业进行智能化转型发展。国家可通过政策引导来鼓励煤气制氢企业能够积极引入大数据、云计算、物联网等新型技术手段,并将其与煤气制氢生产过程进行结合,通过智能化数据分析、

监测结果来全面了解煤气制氢生产过程的燃料变化情况,形成全新的煤气制氢生产转化监测体系,基于全新的数据体系下,构建起热利用效率更高、能耗更低、碳转化率更高的生产流程,以此来实现对碳排放的有效控制,同时达到整体成本得到减少的目的^[7];

③加快企业煤气制氢生产设施设备的优化升级。煤气制氢企业应当认识到煤气制氢碳排放和成本控制问题,结合煤气制氢生产工艺引入全新的自主开发组态气化炉,并加强对滤芯、过滤器反吹阀、碳回收设备等设备的更新,同时还可进入光纤测温技术,基于煤气制氢技术攻关下,总结出适宜我国煤气制氢产业发展的全新平稳运行煤气制氢生产设施设备体系,全面保障煤气制氢工艺流程的优化和成本的控制^[8]。

4 结论

在“双碳”战略的全面推进下,煤气制氢产业成为了未来新能源重点发展产业,为此,关注煤气制氢碳排放与经济性特点,对煤气制氢产业调整有积极意义。

本研究通过基于煤气制氢生产工艺进行碳排放与经济性分析,明确了我国煤气制氢产业发展优势,期望为我国煤气制氢产业的高质量发展提供参考。

参考文献:

- [1] 杜艳明,金建交,张晨韵,等.基于氢燃料电池汽车应用的制氢产业布局探讨[J].能源与节能,2022(05):39-42+217.
- [2] 闫雪清.焦炉煤气制甲醇、制天然气及制氢的分析比较[J].当代化工研究,2022(08):41-43.
- [3] 王盼.基于平准化成本的绿氢产业经济性研究[J].石油石化绿色低碳,2022,8(02):1-9.
- [4] 张庆生,黄雪松.国内外氢能产业政策与技术经济性分析[J].低碳化学与化工,2022,48(02):133-139.
- [5] 朱振涛,丁雯,杨梦,等.能源转型背景下电氢耦合项目的经济性研究现状与趋势[J].南京工程学院学报(社会科学版),2022,23(01):67-76.
- [6] 郭建刚,刘伟言.焦炉煤气制氢成本效益及敏感性分析[J].冶金财会,2022,41(09):51-54.
- [7] 武丽云.关于利用焦炉煤气发展氢能产业的思考[J].山西化工,2022,42(02):134-136.
- [8] 滕欣余,张国华,胡辰树,等.我国典型城市氢能经济性和低成本氢源探索分析[J].化工进展,2022,41(12):6295-6301.