

基于全生命周期评价的燃料电池汽车用氢的制氢路径

张真 苗乃乾 黎妍 云祉婷

山东氢谷新能源技术研究院, 山东济南, 250001

摘要: 在全生命周期评价方式下, 对燃料电池汽车用氢在天然气蒸汽重整制氢、现场天然气蒸汽重整制氢、焦炉煤气制氢、电解水制氢四种制氢路径的能耗和污染排放情况进行了分析, 发现在使用长管拖车运氢的前提下, 这四条制氢路径中能效最高、能耗和温室气体排放最低的制氢路径为焦炉工厂煤气制氢法。基于此进行分析研究发现: 如果和炼焦工业的距离比较远, 但是距离天然气资源比较丰富的地区近, 可以选择使用天然气蒸汽重整制氢的方式; 如果氢气运输的距离比较长, 那么采用天然气蒸汽重整制氢的方式会更加合理; 如果距离可再生能源非常丰富的地区比较近, 则可以选择通过可再生能源发电来使用工厂电解水制氢的方式进行氢能源的制作。

关键词: 全生命周期; 燃料电池; 制氢; 汽车

中图分类号: U473.4 **收稿日期:** 2023-04-10

DOI: 10.19999/j.cnki.1004-0226.2023.07.002

1 前言

为了减少对环境造成的污染, 新能源汽车得到了大力发展。其中燃料电池汽车因其污染物排放量非常低, 及高效率优势得到了社会广泛关注, 在未来发展中有着非常广阔的前景。燃料电池汽车在行驶过程中并不会排放污染物, 但是在氢燃料的生产运输过程中会产生能源消耗和污染。在生产氢燃料时可以通过煤制氢、天然气制氢、甲醇制氢、副产氢提纯、电解水制氢, 以及生物制氢等方式来获取燃料电池汽车所用的氢燃料。所以, 本文基于全生命周期评价的方式来对燃料电池汽车生命周期不同阶段下的能源消耗、污染物排放等进行了分析, 研究结论可为我国燃料电池汽车、氢能基础设施、氢

气来源等的分析研究提供参考。

2 全生命周期介绍

全生命周期主要包括了两个阶段, 一是上游燃料生产阶段, 二是下游燃料在车辆中的消耗阶段^[1]。本文中主要对能源的损耗和污染物排放两部分进行了探讨, 比如, 汽车燃料的生产, 一次性能源的开采、加工、运输, 车辆使用燃料的运输、存储和添加, 以及燃料电池汽车在行驶过程中的相关情况, 具体系统边界如下:

WTP: 一次能源开采、加工→一次能源运输、存储、分配→燃料加工、生产→燃料运输、存储、分配→PTW: 车辆行驶

多渠道采集基础数据, 建立了基础的冷源配备方案模型。目前经过越来越多的数据及算法的逐步完善, 联动调取沿途城市天气情况, 已基本完成了国内各大城市的冷源配备方案。本技术为用户极大地节约了不确定配送成本, 有效地降低了配送失败损失赔偿金。

冷链监管服务云平台包含一整套冷链物流运输的软件系统, 涵盖了冷链物流监管的各个领域, 通过软硬件相结合协同工作, 实现了冷链物流温湿度环境的实时远程监测、自动化调控、精准化控制, 使冷链运输温湿度环境持续保持稳定状态, 大大减少了药品、生鲜食品因冷链物流温湿度环境造成的损失, 保证了冷链物流运输

物品的品质。

参考文献:

- [1]叶斌, 黄文富, 余真翰. 大数据在物流企业中的应用研究[J]. 物流技术, 2014, 33(8): 22-24.
- [2]谢卫航. 试析冷链物流大数据下的实时监控优化[J]. 江西建材, 2017(23): 286-287.
- [3]吁洵哲, 梁宵, 黄喆, 等. 冷链运输温湿度远程监控系统[J]. 计算机产品与流通, 2017(11): 18-20.
- [4]任广见. 基于“大数据”的商业模式创新及启示[J]. 现代商贸工业, 2013, 25(20): 171-172.

作者简介:

蒋淑芬, 女, 1980年生, 工程师, 研究方向为大数据平台开发和维护。

3 制氢工艺方法

3.1 天然气工厂蒸汽重整制氢法分析

天然气工厂蒸汽重整制氢方法是先把天然气放置到 350~400 °C 的温度和 1.0~1.5 MPa 的压力条件下,然后利用脱硫剂对有机硫和硫化氢进行脱离,一般情况下有机硫和硫化氢脱硫后的比重要控制在 0.2×10^{-6} 以内;之后,再在水蒸气环境中对其进行预热处理,并添加一些催化剂把烃类物质转化为燃料电池汽车所需要的氢原始材料,然后利用变压吸附的方式获取纯度比较高的氢气。天然气工厂蒸汽重整制氢方法转化氢材料的有效率高达 70% 以上,并且在使用这些燃料过程中天然气占比在 99.8% 左右,而电能源所占比重不足 0.2%^[2]。一次能源与燃料的生产过程能源运输方式如表 1 所示,电能源的损耗为 100%。

表 1 一次能源运输组成情况

能源	运输方式所占比重, %					平均运输距离, km				
	海运	管道	铁路	公路	水运	海运	管道	铁路	公路	水运
原油	51.8	33.5	14.6	0	0	11 000	429	916	0	0
煤炭	0	0	70.5	10.2	19.0	0	0	641	179	1256
天然气	0	100.0	0	0	0	0	626	0	0	0
汽、柴油	25.1	0	50.0	10.0	15.0	7 000	0	900	50	1 200

3.2 天然气现场蒸汽重整制氢法分析

加氢站现场制氢法主要是利用小型天然气蒸汽重整设备进行原材料脱硫处理、一氧化碳变换处理、烃类蒸汽转化处理、变压吸附提纯的^[3]。在此过程中所需要消耗的天然气燃料为 99.8% 左右,而电能不到 0.2%,但是,这种天然气现场蒸汽重整制氢工艺并没有蒸汽对外输出回收利用流程,这样在进行能量转化过程中所获得的效率比较低,一般在 62% 左右。

3.3 焦炉工厂煤气制氢法分析

焦炉工厂煤气制氢方法中使用的焦炉煤气是炼焦生产中的一种副产物,氢气所占的比重为 54%~59%,借助变压吸附的方式获得纯度更高的氢气。变压吸附工艺使用中包括了六个流程,如冷冻精华分离、原料压缩、脱硫压缩、变压吸附脱碳烃、变压吸附制氢,以及脱氧等流程。在变压吸附工艺的支撑之下制氢的效率可以达到 60%~80%,而其中所需要消耗的原煤为 67% 左右,电能损耗则在 33% 左右。

3.4 电解水制氢法分析

电解水制氢工艺在制氢时,主要损耗的能源是电

能,其损耗率高达 100%^[4]。从我国的电力结构情况来看,如表 2 所示,电能输配损失率在 6.5% 左右,本文的分析是按照 72% 来进行电解水制氢效率分析的。

表 2 我国电力结构情况

发电方式	占比, %	发电方式	占比, %
燃煤	76.9	燃料油	1.8
水力	16.3	生物质	0.5
天然气	1.7	风能及其他	1.2
核能	1.9		

生产制作出的氢气在压缩机加压到 15 MPa 之后,可以在长管拖车中存储运输,这一存储过程需要消耗比较多的电能源,压缩效率会在 94% 左右。燃料电池汽车车载氢气钢瓶的压力一般情况下为 35 MPa 或 70 MPa,并且如果长管拖车从工厂到加氢站的运输距离按照 100 km 计算的话,气在被运输到氢站之后需要进行加压处理,这样才可以达到加注的要求,此过程也需要损耗一定电能。

在本文的研究中,能源消耗阶段使用的行驶工况是按照美国环境保护局所公布测试的工况来进行分析的,使用的车辆为丰田燃料电池汽车,该辆车每 100 km 所需要的氢气能耗在 1.12 kg 左右。

4 不同制氢路径下全生命周期评价能效和能耗

图 1 所示为不同制氢路径下燃料电池汽车的全生命周期能量消耗和能源消耗情况。在四条氢能路径中,工厂焦油煤气制氢在上游燃料生产阶段的能耗最高,超过了 45%;之后为工厂天然气蒸汽重整制氢工艺,以及天然气现场蒸汽重整制氢工艺,这两种工艺的效率分别为 44% 和 42%,工厂天然气蒸汽重整制氢工艺中使用的均是一些大型的制氢设备,所以其效率要比天然气现场蒸汽重整制氢工艺高出 9% 左右,但工厂天然气蒸汽重整制氢工艺需要将氢气运输到加氢站中,这样两者的总能效就比较接近^[5]。在发电效率和电解水低效率的干扰下,现场电解水制氢工艺在四条氢能路径中的能源消耗率将是最少的,仅为 19%。

现场天然气蒸汽重整制氢和工厂天然气蒸汽重整制氢,以及工厂焦炉煤气制氢的全生命周期中的总能耗比较相似,分别为 3.2 MJ/km、3.1 MJ/km,以及 2.9 MJ/km。另外,从中也可以发现电解水制氢法需要消耗大量的氢能源,全生命周期下总能耗会达到 7.1 MJ/km,主要是因为生命周期下的燃煤发电和电解水环节都需要消耗非常多的能源。

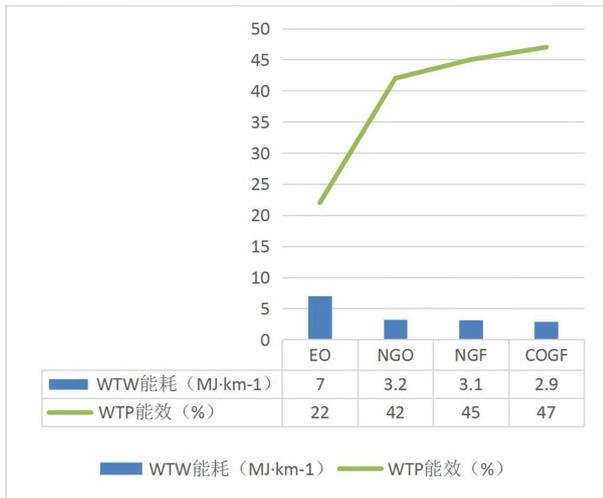


图1 不同氢能路径下燃料电气汽车全生命周期能耗和能效情况

注:EO为电解水制氢;NGO为现场天然气蒸汽重整制氢;NGF为天然气蒸汽重整制氢,长管拖车运输;COGF为焦炉煤气制氢,长管拖车运输。

另外,在我国电解水制氢路径制取的氢气并非全是绿氢,主要是因为我国电力结构中有70%左右是火电。现场天然气蒸汽重整制氢工艺所需要的机械设备规模比较小,制氢的效率并不高,天然气的消耗量要高于集中制氢工厂的方式^[6]。但是,现场天然气制氢中没有工厂氢气压缩和长管拖车运输流程,这样所需要消耗的燃油制品和电能就要比工厂天然气制氢少很多,煤和石油消耗量也就比较低。工厂焦炉煤气制氢中所需要煤能耗为83%左右,石油和天然气能源需要的损耗比较少。

5 焦炉煤气来源、可再生能源发电、氢气运输距离的敏感性情况

5.1 焦炉煤气敏感性

一般情况下每生产1t的焦炭可以伴生出430m³的焦炉煤气,但是,如果伴生的焦炉煤气可以直接作为制氢原料的话,在不考虑焦化和上游煤炭开采、运输、洗选等环节中损耗和排放情况,工厂焦炉煤气制氢路径通过长管拖车的方式将氢燃料运输到加氢站的话,按照100km来计算,新焦炉煤气制氢路径下实际能耗和排放量要比天然气蒸汽重整制氢明显低很多,能耗和排放分别为30%和27%,温室气体排放量的降幅分别为64%和62%。

5.2 可再生能源发电情况

我国电力结构中煤电所占的比重比较大,所以造成电解水制氢的能耗和排放比较高。据中国电力年鉴2019年内容发现,如果电解水制氢所使用的电能主要来源于可再生能源发电,并在发电周围建立工厂电解水制氢,这样长管拖车把氢燃料运输到加氢站的话,运输距

离如果按照100km来计算,这种方式下工厂电解水制氢全生命周期能耗要和现场电解水制氢相比低71.4%,温室气体排放量也要比之前低88.6%。相比之下天然气蒸汽重整制氢和焦炉煤气制氢相比,能耗分别降低37.3%、34.2%,以及31.2%,温室气体排放则分别降低73.5%、72.0%,以及59.8%。

5.3 氢气运输距离情况

利用工厂天然气蒸汽重整制氢和焦炉煤气制氢中使用的长管拖车将制氢后所得到的氢气运输到加氢站,如果运输距离按照50km、100km、250km的距离来计算,全生命周期下,距离为250km的两种制氢路径能耗要比50km的两种制氢路径能耗增加8.6%和8.9%,温室气体排放量分别增加了9.6%和13.8%,同时,天然气蒸汽重整制氢路径的能耗和排放要明显比天然气蒸汽重整制氢路径高很多^[7]。

6 结语

现阶段,我国氢能源的发展大多是在炼焦工业区域周围,通过焦炉工厂煤气制氢的方式来进行氢能源的制作;如果和炼焦工业区域相隔较远,但天然气能源比较充足,可以采用天然气工厂蒸汽重整制氢工艺;在工厂制氢的氢气运输距离比较远的地区,选择天然气现场蒸汽重整制氢方式;在可再生能源资源丰富的地方,选择可再生能源发电方式,并以此来进行工厂电解水的方式制氢。而这和本文的最终研究结果非常相近,对我国燃料电池汽车制氢路径的分析研究有着一定的参考价值 and 意义。

参考文献:

[1]陈青.“双碳”背景下广东氢燃料电池汽车产业高质量发展的思考[J].广东经济,2022(8):6-11.
 [2]OU Xunmin,ZHANG Xiliang,CHANG Shiyan.Alternative fuel buses currently in use in China:life-cycle fossil energy use,GHG emissions and policy recommendations[J].Energy Policy,2010,38:406.
 [3]陈青,杜娟.氢燃料电池汽车示范城市群政策比较及对策研究[J].广东经济,2022(8):12-19.
 [4]丁振森,王佳,姚占辉,等.多视角下中国氢能与燃料电池电动汽车发展研究[J].中国汽车,2020(9):32-37.
 [5]王小萍.燃料电池产业分析[J].电器工业,2020(9):20-25.
 [6]曹蕃,陈坤洋,郭婷婷,等.氢能产业发展技术路径研究[J].分布式能源,2020,5(1):1-8.
 [7]邵志刚,衣宝廉.氢能与燃料电池发展现状及展望[J].中国科学院院刊,2019,34(4):469-477.

作者简介:

张真,女,1980年生,硕士研究生,研究方向为氢能、新能源汽车相关政策和产业。