

关于不同制氢工艺与成本的调查分析

盛建军 (嘉峪关市甘肃宏汇能源化工有限公司, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘要: 本文旨在探讨化石能源重整制氢工艺, 包括煤炭、天然气、焦炉煤气、氯碱尾气、丙烷脱氢等, 并对电解水制氢工艺的成本、未来发展趋势进行深入分析, 以及分析电解水制氢在未来发展的前景。

关键词: 制氢; 成本; 转化; 电解水制氢

0 前言

氢能被认为一种可持续发展的清洁能源, 它的来源十分广泛, 资源丰富, 有望在未来取代化石能源。然而, 要将氢作为能源带给人类, 存在三大挑战: 如何大规模、低成本地获取氢能; 如何安全可靠地储存和使用; 以及如何实现广泛、经济的应用。由于这个原因, 在学术界进行了大量的研究。

作为一种高热值资源载体, 氢能可以有效取代燃油, 氢能的热量密度高达 (140MJ/kg), 比原油高出 3 倍, 比煤高出 4.5 倍, 同时还可以达到零污染的目的。2050 年, 《我国氢资源及燃料电池发展白皮书》预测, 我国的氢能产品将大幅提升, 10% 的能量消耗由可再生能源替代。此外, 由于我国拥有丰富的“绿氢”资源, 3 亿 t 的能力储备已经可以达到国内的自给自足, 而且在 2050 年达到千万吨级的绿色电能生产, 进而彻底改善国家的能源战略。

1 制氢工艺现状调查分析

氢能已经被广泛地运用于各个行业, 尤其是军事、能源、农业和饮食行业。它已经被证明是一种必要的能源, 并且对于这些行业的发展至关重要。

目前氢气主要由三种主流制取路径: ①以煤炭、天然气为代表的化石能源重整制氢; ②以焦炉煤气、氯碱尾气、丙烷脱氢为代表的工业副产气制氢; ③电解水制氢。此外还有其他制氢方式包括生物制氢、太阳能光催化分解水制氢、核能制氢等, 但仍然处于试验和开发阶段, 尚未形成工业化应用。

据统计 2019 年中国的氢能源总产量达到了 3342 万 t, 其中, 煤炭生产的氢能源总产量为 2124 万 t, 所占的比例为 64%, 而工业生产的氢能源总产量为 708 万 t, 所占的比例为 21%, 而天然气生产的氢能源总产量为 4606 万 t, 所占的比例为 14%, 而电解水生产的氢能源总产量为 50 万 t, 所占的比例为 1%。根据 Hydrogen From Renewable Power 2017 的数据, 在全球的氢能源生产过程中, 48% 的能源是通过天然气重新利用而生

成的, 30% 的能源是通过石油生成的, 18% 的能源是通过煤炭生成的。4% 为电解水制氢。

工业制氢技术有多种选择, 其中烃类蒸汽转化法是目前最常用的, 它具有规模灵活、能耗物耗低的优势, 可以有效地利用烃类、重油或煤气、水电解、甲醇和氨分解等多种原料, 实现高效、可靠的氢制备。重油或煤气化法制氢, 虽然原料廉价, 但需要建设大型全分装置以及脱硫等配套装置, 投资高。这里重点介绍蒸汽转化制氢工艺和电解制氢工艺。

1.1 烃类蒸汽转化制氢

当前, 全球范围内烃类蒸汽转化制氢的关键技术基本保持一致。自 20 世纪 60 年代初国内首套制氢装置投产, 到 20 世纪末, 大多数制氢都采用传统工艺流程。通过使用催化剂, 我们可以将轻烃转化为 H_2 、 CO 和 CO_2 。这些物质通常来自于天然气、焦炉煤气、液化石油气和石脑油。采用转化催化剂, 反应条件为温度 $460\text{--}900^\circ\text{C}$, 反应压力为 $1.5\text{--}3.0\text{MPa}$, 水碳比 (摩尔比) 为 $2.5\text{--}5$, 得到含 H_2 在 $70\%\text{--}80\%$ (体积)、 CH_4 在 $3\%\text{--}8\%$ 、 CO 在 $7\%\text{--}8\%$ 、 CO_2 在 $10\%\text{--}15\%$ 左右的转化气, 转化气再经变换、脱碳提纯等工序, 得到合格的工业氢。

1.2 工业副产气制氢

工业副产气制氢为生产化工产品的同时所得氢气, 主要有焦炉煤气、氯碱化工、轻烃利用、合成氨醇等工业副产气制氢。目前我国排空的工业副产氢产量约为 450 万 t。其中, PDH 以及乙烷裂解副产氢约为 30 万 t; 氯碱副产氢约为 33 万 t; 焦炉煤气副产氢约为 271 万 t; 合成氨醇等副产氢约为 118 万 t。国内工业副产氢呈现向下游利用发展的趋势, 实现下游产品多元化。

1.3 水电解法制氢工艺

采用水电解技术来制氢, 其原理就是将一定量的直流电加到容器内, 使得溶剂与金属离子之间的相互作用, 从而产生出氢气与氧气。根据理论, 只需 1.229V

的电压即能完成水电解^[1],但是,考虑到氧与氢的化学反应,以及电解液的特性,结合实践经验,生产 1Nm^3 的氢所消耗的电量是理论值的2倍。另外由于水电解的原理,会导致大部分的能源消耗,通常生产 1Nm^3 的氢气至少需要 5kWh 以上电量。从当前的电力价格上来看,电解水制氢成本是比较高的。

根据隔膜材料的差异,电解水可以大致划分为三类:碱性、质子交换膜、以及固态氧化物。其中,碱性电解水的应用早已普及,可以大范围地生产出氢气;而PEM则正处于初级阶段,尚未被广泛应用;而SOE则仍然是一个研究的重点。其电解效率也由原来的70%提高到。

1.3.1 碱性电解槽电解制氢原理

一个碱性电池包含了一个电池、一个容器、一个电池、一个负载。这个容器的核心部件是一个电池,它能够物质转化为可以被吸收的物质。这个容器的中心部件是一个容器,它能够吸收20-30%的物质,并将物质转化到容器中。两个负载是一个金属合金,它能够物质转化到容器中,并将物质转化到容器中。当电解槽处于 $70-100^\circ\text{C}$ 的环境中时,其所处的压力范围可以是 $100-3000\text{kPa}$ 。此时,两个水分子会受到电解槽的影响^[1],变化形成氢离子和氢氧根离子,而这些离子会通过一个具有多个孔隙的横隔膜,最终抵达另一个,并且会因缺少两个电子而形成一个水分子以及 $1/2$ 个氧分子。

由于其结构简洁、操作容易、成本低廉,碱性电解槽在大型氢气生产中被广泛应用。

1.3.2 聚合物薄膜电解槽电解制氢原理

PEM电解槽,也称为PEM Electrolyzer^[1],是一种利用离子交换原理的先进电池,它的第一台被通用电气公司在1966年开发成功,当时它被用于太空探索,而日本也开始深入探索这一领域。PEM电解槽采用双电极驱动,其中包括高效的质子交换膜,以及高效的电极催化剂,使得它具有更高的稳定性、更低的能耗,而且无须使用任何电解液,相对于传统的碱性电解槽,更加安全、稳定。

1.3.3 固体氧化物电解槽电解制氢原理

自1972年以来,固体氧化物电解槽的发展迅速,目前仍处于研发和改进的阶段。由于它们可以在高温环境中运行,因此可以利用热能来取代电能,这样可以提高效率,同时降低成本。

目前,电解制氢技术的发展趋势是,采用碱性电

解槽技术,具有结构紧凑、操作简易、成本低廉的优势,可有效地满足大型化学反应的需求^[2-3]。

2 不同工艺制氢的成本对比

2.1 煤制氢成本

通过采用先进的煤制氢技术,我们可以实现更加可靠、更加有效的生产,同时这种生产方法的成本更加优惠,经测算,当原材料的价格达到 800元/t 时,生产的氢气的总量大概在 1.13元/m^3 。

2.2 天然气制氢成本

蒸汽重整制氢已被证明是一种非常有效的制氢技术,它的效率和可靠性都得到了大幅提升,而且,当天然气的价格达到 2元/Nm^3 的情况下,蒸汽重整制氢的成本在 1.35元/m^3 左右,中国的天然气储备极其稀缺,其中的硫元素含量较高,而其后续的加工成本也比国际上更高。

2.3 化工副产品制氢成本

化工行业的副产氢是一种重要的能源来源,其中包括煤气燃烧、氯碱化工、汽油加工和生产合成氨醇。目前,中国的工业副产氢总产量大概是 450万t 。经测算,化工副产制氢成本约为 1.6元/m^3 。

2.4 电解水制氢成本

在电解水制氢过程中,我们会面临许多挑战。这些挑战可能会导致我们的生产效率降低,并且可能会增加氢气成本。因此,我们需采取有效的措施来降低生产成本,并确保我们的生产过程顺利进行。

根据2020年的数据,我国化石能源制氢的比重达到了67%,但是电解水制氢的比重仅有3%。目前,市场上的碱性电解水制氢技术的制氢效率可达到 $5^\circ/\text{m}^3$,使得电费成本在制氢总成本的占比高达85%,这也就意味着,制氢的经济性会受到电价的影响。按照平均工业用电价格 0.6元/kWh 核算,电解水制氢的总成本大概在 $40-50\text{元/kg}$ 之间。

3 电解制氢装置可行性分析

3.1 政策利好

《“十四五”工业绿色发展规划》重点关注氢能,包括:大力提升氢能技术的创新能力,完善氢能的基础设施,促进氢能的可持续使用;实施能量电解制备氢气示范项目,引导氢能作为可再生能源的一种,投入到钢材、混凝土、建材等过程中;大力发展氢能源燃气轮机、超高压氢气发动机、高效率氢燃料电池等新能源装置,以促进氢能的可持续使用;深入探索资源的绿色开发与应用,以促进氢能的发展,并将其作

为的一种有效的能量来源,促进氢能的发展。

3.2 电解制氢发展前景

氢能技术的发展已经从传统的石油和天然气转变为更加环保的新型能源,其中包括了灰氢、蓝氢和绿氢三种类型。其中,绿氢因其完全不含碳排放,具有更大的发展潜力。相比之下,灰氢仍然是国内氢气生产的主要来源,但蓝氢已经成为灰氢转变的重要组成部分。

当前,我们可以通过使用化学燃料来生成氢气,这些燃料通常来自于化学燃料的生成。为了达到减少碳排放并取代化学燃料的目的,我们可以采取两种不同的方法:①开发新型的燃料,例如使用 CCUS 来生成新型的燃料,这种燃料可以大大降低 80% 的碳排放,并且可以成为未来燃料的一个重要方向;②随着可再生能源比例的不断增加,以及电力费用的大幅度减少,我们应该大力开展电解水制氢技术的普及。

尽管目前可再生能源的使用量还不够大,但 IRENA 的数据显示,目前只有 4% 的氢气从电解水中获得,而剩下的则大多数都依赖于煤、天然气和石油加工技术。“富煤、贫油、少气”的能源结构显示,目前我们的国家使用的燃料中,燃烧产生的氢气的比例已经高达 60%,但使用电解液产生的氢气的比率却只有 2%。尽管如此,我们还有很长的路要走,未来的发展潜力无限。

我国拥有大量的可再生能源资金,其中包括风电和核能。这两种新型的能源的总装机容量都位居世界第一。预计,2025 年,我国的核能和核能板块的总发电量将超过 16.5%。随着这些新型的太阳光板块的普及,我国的太阳光和太阳光板块的制氢技术也有望取得新的进步。据估计,在 2030 年,使用可再生能源进行氢化的成本会降至合理水平,而在 2050 年,这种方法会变得普遍。在 2060 年,全球的绿色氢化物年产量将超过 1 亿 t,并且会占全球年均氢化物消费的 80%。

制氢系统的核心部件之一就是电解槽,它负责完成氢的制备过程。此外,还有一些附属设备,如水泵、氢气收集器和氢能转换器。这些设备的功能各不相同,但都对氢的制备起着重要作用。根据我们的研究,我们可以得出结论:电解槽的成本大概占制氢系统的 40%~50%。根据最新的市场分析,电解槽的每个槽的售价约为 2500 元/W。但是,如果槽的尺寸变得更加宽敞,并且采用更加先进的生产工艺,比如改善生产

流程,或者对原材料的选择做出改变,这个售价可能会下降到 1300 元/W。这样一来,电解槽的售价就可能迅速下跌到 16.9 元/kg,达到与灰氢相同的水准。当上游原材料的定价实现公允时,将为氢能源的广泛应用奠定坚实的基础。

因此,绿色氢能的发展潜力巨大,是实现“双碳”目标的关键途径。

3.3 制氢工艺成熟

电解氢制氢技术历史悠久,目前在全球范围内都处于领先地位。目前,我们拥有一整套完善的电解氢设备,能够提供 2~200m³/h 的标准氢气。通过水电解制氢,不仅能够实现工艺的简易性、完全的自动化,而且还能够获得 99%~99.9% 的氢气,而且,这种制氢法的最大特色就是它的氢气含量低,而且不会出现 H₂ 或 O₂ 的污染,因此,它被广泛应用到那些需要大量氢能的环境保护领域,特别是随着加压水电解制氢技术的不断改进,它的应用将变得越来越容易。

3.4 电解制氢装置投资估算

目前,碱性电解水制氢技术已经取得了巨大的进步,它的槽体设计精巧,稳定性强,使用寿命长,操作简易,而且价格实惠,已经成为当今市面上的首选电解制氢技术。然而,碱性电解槽的制氢费用取决于它的制氢效率,制氢效率越高,费用也就越昂贵。当前,国内市面上的碱性电解槽的产量范围广泛,可达数十至数百万,每小时的产量可达数千万。然而,1000Nm³/h 的产量仍然处于最高水平,因此,这种产品的价格也会相应地介于 700 万~1000 万元之间。

4 结束语

由于国家对于碳减排的重视,以及对于新型能源的需求,以及对于节约资源、提升效率的要求,电解水制氢的应用正在迅速扩大。此外,由于其低廉的价格和先进的技术,它还可以满足大范围的应用需求。电解制氢的优势将充分体现出来。在综合考虑绿色发展,降低碳排放量的情况下,电解制氢规模越大,成本越低。电解制氢将是未来发展的趋势。

参考文献:

- [1] 丁福成,易玉峰.制氢储氢技术[M].北京:化工工业出版社,2007.
- [2] 李君,吴文龙,张洪阳,等.石化企业绿电制氢工艺路线分析[J].当代化工,2022,51(08):1876-1879+1884.
- [3] 李非凡,薛贺来,李黎明,等.传统制氢工艺的发展与展望[J].化学工程与装备,2022(04):210-212.