

# 中国煤炭制氢成本及碳足迹的研究

颜祥洲 (湛江南海西部石油勘察设计有限公司, 广东 湛江 524057)

**摘要:** 煤炭制氢为一种经常使用的制氢方式, 它所需的成本较低, 不过在反应中会释放很多的  $\text{CO}_2$ , 不能满足低碳发展需要, 应该同 CCS 技术融合。针对融合该项技术的煤制氢, 文章评估了其碳足迹以及生产成本, 得出以下的结论, 在结合 CCS 之后, 有效降低了碳足迹, 达到了  $10.52\text{kg CO}_2\text{ eq/kg H}_2$ , 并且提高了 49.8% 的生产成本, 为  $14.01\text{元/kg H}_2$ , 不过同别的制氢方式进行对比, 还有着突出的成本优势。所以在中短期之内, 应该普及煤制氢融合 CCS, 达到它的低碳发展; 以长远角度来分析, 需要把它看成过渡性生产氢气技术, 针对氢气供给结构, 让其朝着更为清洁的趋势调整, 为碳中和目的的达到提供有力的支撑, 总之通过下文的探究, 旨在能为有关人士提供借鉴。

**关键词:** 煤炭制氢; CCS 技术; 碳足迹; 生产成本; 生命周期评估法

## 1 研究背景

$\text{H}_2$  为相当关键的工业原料, 被大力推广于诸多领域, 例如石油精炼, 并且它是一种能源载体, 能够应用于发电以及储能等方面。在今后的转型中,  $\text{H}_2$  会起到关键的作用。在电池汽车方面通过对  $\text{H}_2$  的使用, 有助于发展低碳清洁交通系统。采取电解水制氢技术, 保存无法消纳的电力, 然后发电为电网提供充足的电力, 可以有效促使低碳化水平的提升。

伴随石油精炼等行业的不断进步, 中国在  $\text{H}_2$  制造以及消费方面已是主要的国家。无论是工业原料还是发电等,  $\text{H}_2$  都能够起到关键的作用, 所以, 政府相当注重氢能产业建设。估计到 2050 年的时候, 国内对于  $\text{H}_2$  的需求会达到  $6 \times 10^3$  万 t, 在终端能源消耗量中, 这所占到的比例大概有 10%。 $\text{H}_2$  制取方法较多, 例如电解水生产  $\text{H}_2$ 、煤炭制氢等。被资源以及生产成本等所影响, 在现今的  $\text{H}_2$  制取方面, 常常会使用煤炭制氢。

实际上, 在其过程中会排放很多的  $\text{CO}_2$ , 人们往往把其叫做灰氢制氢技术。基于碳达峰以及碳中和的背景, 在很大程度上会约束到煤炭制氢的发展。CCS 技术作为一种相当成熟的低碳技术, 通过对其的使用, 可以有效降低  $\text{CO}_2$  排放。煤炭制氢融合该项技术, 能够实现对“蓝氢”的转变, 让其可以满足低碳发展需要。对此, 煤炭融合该项技术之后, 减少了多少碳排放? 同别的制氢技术进行对比, 在成本上还存不存在竞争优势?

## 2 CCS 技术介绍

对于 CCS 技术来讲, 通常情况下它是把  $\text{CO}_2$  捕集以及封存的技术。基于对碳捕捉技术的使用, 将

所制造的  $\text{CO}_2$  进行分离, 然后借助碳储存方式, 送到同大气隔绝的位置, 例如深海。现如今该项技术还处于研发环节。CCS 有着这样的潜力, 即降低减缓费用, 达到对温室气体的减排。CCS 由于具备显著的成本优势、技术较为成熟, 进而得到了较好的推广。 $\text{CO}_2$  的捕捉能够用于大点源, 它会受到压缩、运送且封存海洋等地方, 另外应用在工业流程方面。对于  $\text{CO}_2$  大点源, 它往往涉及燃料以及能源设施, 天然气加工、燃料生产  $\text{H}_2$  的工厂。就技术封存手段而言, 一般包含以下几种, 首先为地质封存 (比如煤田); 其次为海洋封存, 将  $\text{CO}_2$  释放至海底; 最后是  $\text{CO}_2$  固化成碳酸盐。

### 2.1 碳捕集

CCS 技术包含两部分内容, 一部分是碳捕集, 另一部分是碳封存。在这之中, 碳捕集被推广在诸多的领域, 例如炼油。因为相关行业所产生的  $\text{CO}_2$  浓度较大, 并且有着较大的压力, 所以其捕集成本相对较低。但在燃煤电厂运用中, 其所产生的  $\text{CO}_2$  浓度则比较小, 所以不管是能源消耗还是费用, 都是相对高的。

目前运用的碳捕集技术还不能有效处理这一问题。针对碳捕集技术来看, 现阶段主要包含三种类型, 依次是燃烧前、燃烧后以及富氧燃烧。这三种技术都存在一定的优势及不足, 还有很多技术难题需要解决, 现阶段呈现出并行发展趋势。不管哪项技术获得了发展, 都将是未来发展的主流。针对燃烧前捕集技术来看, 它是基于 IGCC 技术之上, 对煤炭进行气化, 将其变为清洁能源, 然后燃烧之前, 将  $\text{CO}_2$  有效分离, 促使其不处于燃烧状态。与此同时,  $\text{CO}_2$  的含量及压力也会相应的增

加,所以就比较容易分离,这是现阶段运行费用最低的技术手段,有着较好的发展前景。它主要存在的问题是,原有的电厂还不能有效利用这一项技术,应建设新的IGCC电站,其建设成本相对较高。

就燃烧后捕集技术而言,一般被推广在传统电厂,该技术可以对烟气中含有的CO<sub>2</sub>含量实施捕集,其投入成本非常少。通常来讲,该项技术的分支也很多,例如经常会使用到的化学吸收。在这之中,该方法有着较大的发展空间,深受厂商的青睐,然而其设备运行能耗以及所需的成本费用都是非常高的。

实际上,以前电厂所产生的CO<sub>2</sub>含量比较少,且压力也比较低,不管运用什么样的捕集技术,都很难有效减少能耗及成本。若是燃烧前捕集的实施成本相对低廉,且使用所需费用较高的话,燃烧后捕集则与之相反。

## 2.2 碳封存

将CCS当成一个系统,开展碳捕集所需的费用达到了三分之二,而碳封存所需的费用仅有三分之一。由此可以看出,碳封存技术是比较成熟的,它包含三种技术手段,依次是海洋、油气及煤气层。相较于捕集技术的并行发展,碳封存技术的发展方向是非常明确的。

针对海洋封存技术而言,它包含两种潜在开展渠道,首先,利用管道及移动船,把CO<sub>2</sub>注入水体中,其次,利用固定管道以及建设在3km以下的沿海平台,对它进行沉淀,在这一位置的CO<sub>2</sub>是非常密集的,可以构成一个“湖”,有利于防止CO<sub>2</sub>分解于附近环境中。目前该项封存技术还在持续探索中。

就油气层封存来看,它包含两种形式,一种是废气封存,另一种是现有封存,值得一提的是,它们都是针对油气层的。对于废气油气层的研究,很多企业都不是十分看好。究其原因,现如今对于石油以及天然气,所能够达到的开采率通常情况下处于30%至40%的范围,只有技术获得进步,才能有效开采剩下的油气资源。因此,目前为止,并没有真正的废气油气田。

借助现有油气田,对CO<sub>2</sub>进行封存,这是日后技术的重要研究方向,该技术也叫做CO<sub>2</sub>强化采油,通常用CO<sub>2</sub>-EOR对其进行表示,具体而言,把CO<sub>2</sub>注入油气层中,充分发挥其驱油作用,如此不但能增加采收率,还能达到碳封存目的,不但可以增加

经济效益,还能实现良好的减排效果。该项技术的发展相对较早,其发展速度也非常快,并且还获得了显著的运用成效,是我国未来的发展方向。基于煤层气封存技术来看,主要把CO<sub>2</sub>注进一定深度的煤层之内,对其进行置换处理,它存在着相应的甲烷气体,该项技术的经济性比较强。但是要保证煤层的深度,避免由于开采导致泄漏问题。

目前同加拿大取得了合作,构建了相应的示范工程,其虽然投资比较高,但也获得良好的效果。该项目的主要问题是,当CO<sub>2</sub>气体进入煤气层,会产生融胀问题,从而缩减煤气层孔隙,这会增加CO<sub>2</sub>的注入难度,导致无法注入,因此这项技术并不被认可。

## 3 碳足迹概念及其计算方法

### 3.1 概念

对于碳足迹来讲,它源自单词“carbon footprint”,通常情况下,指能源意识以及自身行为给自然界所带来的影响,简而言之,指“碳耗用量”。碳为一种自然资源,它的主要成分为碳元素,起源于石油以及煤炭等;使用越多的碳,就会产生更多的CO<sub>2</sub>。

针对制造企业,它的供应链通常包含了采购、制造以及运输等,无论是仓储还是运输,都会形成很多的CO<sub>2</sub>。对于温室气体来讲,它有着较多的排放渠道,例如食品加工以及消费、能源利用等,一般情况下,全部温室气体排放通过CO<sub>2</sub> eq来表征。

### 3.2 生命周期评估法

通常情况下会用LCA来表示生命周期评估,它是非常关键的环境管理工具,对于生命周期来讲,它为产品从获得原材料,通过制造、应用直到废弃的过程。根据有关的定义,LCA为用于评估和某产品有关的环境原因以及影响的方式,基于对存量记录的编制,针对产出以及投入,评估同二者相关的环境影响,结合存量记录以及分析结果来开展的。针对生命周期评估法,本文主要从以下方面进行介绍,也就是评估阶段、主要应用,以供参考。

#### 3.2.1 评估阶段

按照规范条文,包含这个阶段:

第一,目的和范围明确,有效明确研究目标和范围,以便能够同预期运用相符;第二,清单分析,编制投入与产出清单,其中涉及到资料材料以及运算,便于对投入和产出进行量化,这涉及到较多的内容,例如资源利用、水体污染排放;第三,为影响评估环节,结合具体的分析情况,对可能出现的

环境影响进行判断；第四，为解释说明阶段，把分析情况同相关结果实行合并，产生结论以及建议。

### 3.2.2 主要应用

处于生命周期不一样环节，找到优化环境问题的机会；选择评价指标，其中涉及到测量方法、环境标志的评估；市场营销战略，LCA的运用同ISO14001标准的落实息息相关。组织需要构建程序，以便对相关的环境因素进行识别，当明确目标指标时，需要综合考量重大环境因素。通过对LCA的使用，可以有效识别环境因素。不过在考虑时间与财务的情况下，用不着开展彻底的生命周期评估。

## 4 研究方式以及边界

此次研究选择LCA法，通过对Gabi软件的使用，求解在融入该项技术的前后，生命周期GHG排放量，其中涉及到较多的核算内容，例如CO<sub>2</sub>管道运输（200km）、原煤开采等。此次研究选取平准化成本方式，对煤制氢以及项目成本进行核算。融入该项技术之后的成本核算，具体方法见式子（1）。成本核算涉及到较多的范围，例如CO<sub>2</sub>管道运输、捕集以及压缩。此外，成本数据都是往年的人民币价格。

$$C_{H_2}^{withCCS} = C_{H_2}^{withoutCCS} + C_{ccs} * A_{H_2}^{CCS} \quad (1)$$

其中：

$C_{H_2}^{withoutCCS}$  表示没有融合CCS的煤制氢成本；

$C_{H_2}^{withCCS}$  表征已经融合该项技术的成本；

$C_{ccs}$  代表项目成本；在融合CCS之后，用  $A_{H_2}^{CCS}$  表示制造单位H<sub>2</sub>的CO<sub>2</sub>捕集量。

## 5 煤炭制氢碳足迹

没有结合CCS的煤制氢，它的碳足迹较高。以GHG排放组成来分析，处于煤制氢阶段，GHG排放贡献最为突出，所占到的比例有92.28%；接着是煤炭开采以及洗选，排放所占的比例是7.49%，对于煤炭运输这一环节，可不用考虑GHG排放。碳足迹涉及间接GHG排放，具体而言，处于气化制氢阶段，排放达到17.77kg CO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub>，这源于原料煤，通过捕集设施能够获取15.29kg CO<sub>2</sub>/kg H<sub>2</sub>，促使它将其86.04%，由此让融合CCS的碳足迹降低53.5%，降到10.52kg CO<sub>2</sub> eq/kg H<sub>2</sub>，不过仍旧为相对理想的排放水平。发生这样的现象，通常存在下述几点因素：

第一，对于煤制氢系统来讲，它耗用很多的电力，形成了许多的GHG排放；第二，通过对捕集设施的使用，无法实现对全部碳排放的捕集；第三，当进行煤炭开采时释放了很多的CO<sub>2</sub>以及甲烷。

## 6 煤炭制氢成本

在融合该项技术之前，制造成本是9.35元/kg H<sub>2</sub>。通过对CCS的使用，很大程度上能够降低GHG排放量，并且也明显提高了生产成本。处于煤生产H<sub>2</sub>环节，所排放出来的CO<sub>2</sub>浓度较大，项目成本较低，大概达到300元/t CO<sub>2</sub>，相比之下，比其他行业CCS项目成本低，例如煤电行业。在融合CCS技术之后，生产成本提高到14.01元/kg H<sub>2</sub>，大概提高了50%。在此次研究之中，当对项目成本以及制氢成本进行核算时，没有考虑CO<sub>2</sub>的使用。如果把CO<sub>2</sub>用在驱油方面，项目有着盈利的可能，从而容易反哺制氢工厂。

## 7 结论

为支持H<sub>2</sub>产业的进步，让行业决策人员掌握煤炭生产H<sub>2</sub>的经济性，以及了解温室气体排放情况，此次研究评估了在融合CCS的前后，煤炭生产H<sub>2</sub>费用以及碳足迹，获得了以下的结论。首先，对于煤炭气化制氢，它的GHG排放为22.66kg CO<sub>2</sub> eq/kg H<sub>2</sub>。在融合CCS之后，明显降低了排放量。不过因为煤炭制氢系统会耗用很多的电力，无法彻底捕集碳排放等因素，造成碳足迹还有着很高的水平，也就是10.52kg CO<sub>2</sub> eq/kg H<sub>2</sub>。其次，在融合该项技术之后，生产H<sub>2</sub>的成本提高49.8%，为14.01元/kg H<sub>2</sub>。但是同别的制氢方法进行对比，煤制氢还有着较大的成本优势。所以中短期之内，应该普及煤制氢融合CCS，达到它的低碳发展。另外，对于提纯制氢能力的增强，需要提高重视程度，在短期之内，尽可能提升H<sub>2</sub>供给水平。以长远角度来分析，针对煤炭生产H<sub>2</sub>技术，会把其看成过渡性制氢技术，加强开发以及推广电解水制氢，主动探索和示范有关技术，以便能够降低生产H<sub>2</sub>的成本，为实现其更大的发展做足准备，针对氢能供给结构，促使其朝着更为低碳的趋势调整，为达到碳中和的目的提供有力的支撑。

## 参考文献：

- [1] 张贤, 许毛, 徐冬, 樊静丽. 中国煤制氢CCUS技术改造的碳足迹评估 [J]. 中国人口 (资源与环境), 2021, 31(12): 1-11.
- [2] 许毛, 张贤, 樊静丽. 我国煤制氢与CCUS技术集成应用的现状、机遇与挑战 [J]. 矿业科学学报, 2021, 6(06): 659-666.
- [3] 李家全, 刘兰翠, 李小裕. 中国煤炭制氢成本及碳足迹研究 [J]. 中国能源, 2021, 43(01): 51-54.