

典型制氢工艺生命周期碳排放对比研究

陈 馨

(中国石化集团经济技术研究院有限公司, 北京 100029)

摘 要: 氢能大规模发展需要解决“以何种方式制取氢气”的问题, 在实现“双碳”目标的背景下, 需要全面考察氢能产业链的碳排放情况。在相同的研究尺度下, 建立统一的核算边界, 采用统一的参数数据, 定量测算典型制氢工艺的生命周期碳排放情况。结果显示, 全生命周期视角下的CO₂排放量从大到小依次为甲醇制氢(煤炭为原料)、以火电为主的电解水制氢、煤制氢、甲醇制氢(天然气为原料)、天然气制氢、光伏发电电解水制氢、风电电解水制氢。煤制氢、天然气制氢的碳排放主要在氢气生产过程, 甲醇制氢的碳排放主要在甲醇生产过程, 电解水制氢过程虽清洁, 但电力隐含的碳排放不容忽视。

关键词: CO₂排放 生命周期 煤制氢 天然气制氢 甲醇制氢 电解水制氢

作为一种清洁高效的二次能源, 氢能在全球能源转型、实现碳中和目标中发挥着重要作用。2022年3月, 中国氢能产业发展首个顶层设计《氢能产业发展中长期规划(2021–2035年)》出台, 明确了氢的能源属性和战略地位。根据中国氢能联盟的测算, 2030年中国氢气需求量将达到3 715万t, 2060年将增至1.3亿t左右^[1], 氢能需求将大幅增长。

氢气在使用阶段的唯一产物是水, 但是氢气及制氢原料的生产过程将消耗燃料和电能, 产生碳排放。在碳中和的背景下, 氢能产业大规模发展必须以全生命周期低碳为目标, “以何种方式制取氢气”成为氢能大规模发展需要解决的关键问题。

当前虽已有研究给出不同制氢方式的CO₂排放数据^[2–4], 但主要侧重于制氢过程。对于全生命周期碳排放^[5], 不同研究的核算边界不同, 测算时使用的碳排放因子等参数取值不同, 致使研究结果不具有可比性。基于此, 本文在相同的研究尺度下, 建立统一的核算边界, 基于生命周期评价方法, 采用统一的参数数据, 定量测算典型制

氢工艺的生命周期碳排放情况。

中国制氢规模已居世界首位, 从生产原料来看, 煤制氢约占63.5%, 工业副产氢约占21.2%, 天然气制氢约占13.8%, 电解水制氢约占1.5%^[1]。当前主流的制氢方式如表1所示^[6], 本文选取煤制氢、天然气制氢、甲醇制氢、电解水制氢4种典型制氢方式开展全生命周期碳排放测算分析。

1 核算边界与模型构建

1.1 核算边界

考虑到氢气本身是一种环境友好型能源, 且没有后续的报废或处置阶段, 本研究核算边界确定为原材料的开采及加工阶段、原料运输阶段及氢气生产阶段3个部分, 不考虑制氢设备生产带来的碳排放(见图1)。在没有特殊说明的情况下, 本研究测算的碳排放仅考虑CO₂排放, 不包

收稿日期: 2022–11–28。

作者简介: 陈馨, 硕士, 主要从事供应链优化、“双碳”目标下炼化企业转型的技术路径研究等。

表1 现阶段主要制氢方式

分类	主要制氢工艺
化石能源制氢	煤气化制氢、天然气重整制氢
化工原料制氢	甲醇制氢
工业副产氢	焦炉煤气制氢、氯碱副产氢、丙烷脱氢、乙烷裂解
电解水制氢	碱性电解、质子交换膜电解（PEMEC）、固体氧化物电解（SOEC）
其他制氢方式	光解水制氢、生物质气化制氢、微生物制氢

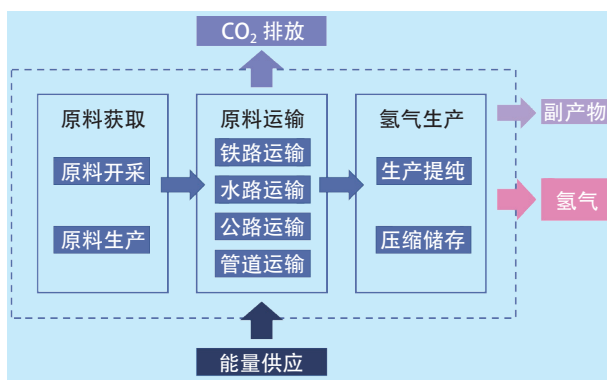


图1 生命周期碳排放核算边界

含CH₄、N₂O、CF₄、SF₆等温室气体。

1.2 模型构建

本研究对氢气全生命周期中两大主要的碳排放源进行了测算。

1.2.1 工业生产过程中的直接排放

工业生产过程中的直接排放分为两类，一是燃料，如煤炭、油品、天然气燃烧带来的CO₂排放量；二是采用碳质量平衡法核算出的工艺过程CO₂排放量。

燃料燃烧CO₂排放量基于分品种化石燃料燃烧量、燃料含碳量和碳氧化率计算，如式（1）所示：

$$E_{\text{燃料燃烧}} = \sum_i AD_i \times NCV_i \times CC_i \times O_i \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

式中， $E_{\text{燃料燃烧}}$ 表示燃料燃烧CO₂排放量，t； i 表示化石燃料的种类， AD_i 表示第*i*种化石燃料的燃烧量，t或m³； NCV_i 表示第*i*种化石燃料的平均低位热值，GJ/t或GJ/Nm³； CC_i 表示第*i*种化石燃料的单位热值含碳量，t/GJ； O_i 表示第*i*种化石燃料的碳氧化率，取值范围为0~1。

工艺过程CO₂排放量基于碳元素的质量守恒

计算，假定所有损失的碳元素都转换为CO₂排出，计算原料与产物的碳含量差值，如式（2）所示：

$$E_{\text{工艺排放}} = (\sum_r AD_r \times CC_r - \sum_p Q_p \times CC_p) \times \frac{44}{12} \quad (2)$$

式中， $E_{\text{工艺排放}}$ 表示工艺过程CO₂排放量，t； r 、 p 分别表示原料、产物的种类； AD_r 表示第*r*种原料的投入量，t； CC_r 表示第*r*种原料的平均含碳量，t/t； Q_p 表示第*p*种产物的产出量，t或Nm³； CC_p 表示第*p*种产物的平均含碳量，t/t或t/Nm³。

1.2.2 能源供应对应的间接排放

原材料的开采及加工阶段、原料运输阶段及氢气生产阶段都需要消耗电力、热力（蒸汽、热水）等，电力、热力的产生依赖于化石燃料燃烧，将带来隐含的碳排放。

能源供应隐含CO₂排放量基于电力、热力的消耗量和对应的碳排放因子计算，如式（3）所示：

$$E_{\text{能源隐含}} = E_{\text{电力}} + E_{\text{热力}} = AD_{\text{电力}} \times EF_{\text{电力}} + AD_{\text{热力}} \times EF_{\text{热力}} \quad (3)$$

式中， $E_{\text{能源隐含}}$ 表示能源供应隐含CO₂排放量，t； $AD_{\text{电力}}$ 、 $AD_{\text{热力}}$ 分别表示电力、热力的净投入量，MWh、GJ； $EF_{\text{电力}}$ 、 $EF_{\text{热力}}$ 分别表示电力、热力的碳排放因子，tCO₂/MWh、tCO₂/GJ。

当热力的投入量为各类能耗工质的投入量时，可以先将能耗工质的净投入量折算为标准煤，再计算CO₂排放量，如式（4）所示：

$$E_{\text{热力}} = \sum_s AD_s \times CE_s \times EF_{\text{标煤}} \quad (4)$$

式中， $E_{\text{热力}}$ 表示热力供应隐含CO₂排放量，t； s 表示能耗工质的种类； AD_s 表示第*s*种能耗工质的净投入量，t； CE_s 表示第*s*种能耗工质的折标准煤系数； $EF_{\text{标煤}}$ 表示标准煤的碳排放因子，tCO₂/t标煤。

1.3 参数设置

本研究使用统一的参数因子，如表2~表4所示。

2 不同制氢方式的生命周期碳排放计算

2.1 煤制氢

2.1.1 核算边界

煤气化制氢一般包括煤的气化、煤气净化、CO变换及氢气提纯等生产环节。核算边界确定为煤炭开采及洗选、煤炭运输和煤制氢气3个阶段。

表2 各类化石燃料相关参数

燃料品种	低位发热量	单位热值含碳量 (t/TJ)	碳氧化率, %
固体燃料	原煤	20.908 GJ/t	26.37
	其他洗煤	15.373 GJ/t	25.41
	焦炭	28.446 GJ/t	29.42
液体燃料	原油	42.620 GJ/t	20.08
	燃料油	40.190 GJ/t	21.10
	汽油	44.800 GJ/t	18.90
	柴油	43.330 GJ/t	20.20
	煤油	44.750 GJ/t	19.60
	其他石油制品	40.190 GJ/t	20.00
气体燃料	液化天然气	41.868 GJ/t	15.30
	天然气	389.310 GJ/万Nm ³	15.32
	焦炉煤气	173.854 GJ/万Nm ³	13.58
	高炉煤气	37.690 GJ/万Nm ³	70.80
	转炉煤气	79.540 GJ/万Nm ³	49.60
	其它煤气	52.340 GJ/万Nm ³	12.20

数据来源:《2005年中国温室气体清单研究》《2006IPCC国家温室气体清单指南》《省级温室气体清单编制指南(试行)》。

表3 碳排放因子

参数	数值	单位
$EF_{\text{电力}}$	0.583 9	t CO ₂ /MWh
$EF_{\text{光伏}}$	0.03	kg CO ₂ /kWh
$EF_{\text{风电}}$	0.01	kg CO ₂ /kWh
$EF_{\text{热力}}$	0.11	t CO ₂ /GJ
$EF_{\text{标煤}}$	2.772 5	t CO ₂ /t 标煤

数据来源:《企业温室气体排放核算方法与报告指南—发电设施(2021年修订版)》《全生命周期发电选择》《中国石油化工企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》、IPCC数据库。

表4 折标准煤系数

折标准煤系数
1kg 10.0 MPa 级蒸汽 = 0.131 429 kg 标煤
1kg 3.5 MPa 级蒸汽 = 0.125 714 kg 标煤
1kg 1.0 MPa 级蒸汽 = 0.108 571 kg 标煤
1kg 0.3 MPa 级蒸汽 = 0.094 286 kg 标煤
1 t 新鲜水 = 0.2429 kg 标煤
1 t 循环水 = 0.1429 kg 标煤
1 t 除盐水 = 3.2857 kg 标煤

数据来源:《国家统计局标准》《炼油厂能量消耗计算方法》。

2.1.2 数据与计算

1) 煤炭开采及洗选

煤炭开采及洗选主要消耗化石燃料及电力、热力等。根据《中国能源统计年鉴2020》^[7],2019年我国原煤生产量为384 633万t,开采及洗选过程中的能源消费量如表5所示。由式(1)、式(3),得到煤炭开采及洗选阶段的CO₂排放量为0.033 t CO₂/t煤炭。

表5 煤炭开采和洗选业能源消费量(2019年)

能源种类	消费量	能源种类	消费量
原煤	1 628.55 万 t	液化石油气	41.75 万 t
其他洗煤	1 297.11 万 t	其他石油制品	0.52 万 t
焦炭	48.92 万 t	焦炉煤气	1.04 亿 m ³
其他焦化产品	6.50 万 t	高炉煤气	25.03 亿 m ³
原油	0.22 万 t	转炉煤气	0.72 亿 m ³
汽油	4.95 万 t	其他煤气	1.42 亿 m ³
煤油	0.75 万 t	天然气	14.35 亿 m ³
柴油	152.60 万 t	液化天然气	13.45 万 t
燃料油	0.27 万 t	热力	705.50 万 GJ
石脑油	149.36 万 t	电力	1 026.76 亿 kWh
润滑油	1.01 万 t	其他能源	2.88 万 t 标煤
石油沥青	0.10 万 t		

2) 煤炭运输

煤炭运输方式包括铁路运输、水路运输、公路运输,占比为7:2:1,铁路运输分为内燃机车和电力机车,分别消耗柴油和电力,水路运输和公路运输均消耗柴油。煤炭运输阶段的碳排放取决于不同运输方式的碳排放和平均运输距离。根据式(5)、式(6)分别计算运输过程消耗的柴油总量和电力总量,相关参数如表6所示。

$$AD_{\text{柴油}} = (\omega \times T \times EE_{\text{内燃机车}})_{\text{铁路}} \times \alpha_{\text{内燃机车}} + (\omega \times T \times EE_{\text{轮船}})_{\text{水路}} + (\omega \times T \times EE_{\text{货车}})_{\text{公路}} \quad (5)$$

$$AD_{\text{电力}} = (\omega \times T \times EE_{\text{电力机车}})_{\text{铁路}} \times \alpha_{\text{电力机车}} \quad (6)$$

式中, $AD_{\text{柴油}}$ 、 $AD_{\text{电力}}$ 分别为运输过程消耗的柴油量和电力量,kg/万t煤炭、kWh/万t煤炭; ω 代表不同运输方式在中国煤炭运输中的占比; T 代表不同运输方式的平均距离,km; EE 为不同运输工具的单位油耗或能耗,kg/(万t·km)或kWh/(万

表6 煤炭运输碳排放计算基础数据

运输方式	类型	单位能耗	运输距离 /km
铁路运输 ^[8-9]	内燃机车 (8 013 台)	8.82 kg/ (万 t·km)	656
	电力机车 (13 841 台)	115 kWh/ (万 t·km)	
水路运输 ^[9]		21.50 kg/ (万 t·km)	1 255
公路运输 ^[9]		1848 kg/ (万 t·km)	179

t·km); $\alpha_{\text{内燃机车}}$ 、 $\alpha_{\text{电力机车}}$ 分别表示铁路运输方式中内燃机车、电力机车的占比。

由式 (1)、式 (3), 得到煤炭运输阶段的 CO_2 排放量为 $0.015 \text{ t CO}_2/\text{t}$ 煤炭。

3) 煤制氢气

煤气化制氢阶段 CO_2 排放量基于典型装置计算。某 $20 \text{ 万 Nm}^3/\text{h}$ 煤制氢装置处理原料煤 126.7 万 t/a , 原料碳含量为 74.32% , 能耗情况如表 7 所示。由式 (2)~式 (4), 得到煤制氢气阶段的 CO_2 排放量为 $18.45 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$ 。

表7 某煤气化制氢装置的能耗情况

能耗工质	消耗量
电力	131 476 548 kWh
新鲜水	433 594 t
循环水	72 230 765 t
除盐水	3 123 544 t
中压蒸汽 (4.0 MPa)	-439 180 t
低压蒸汽 (1.3 MPa)	-322 560 t
低低压蒸汽 (0.55 MPa)	-134 527 t

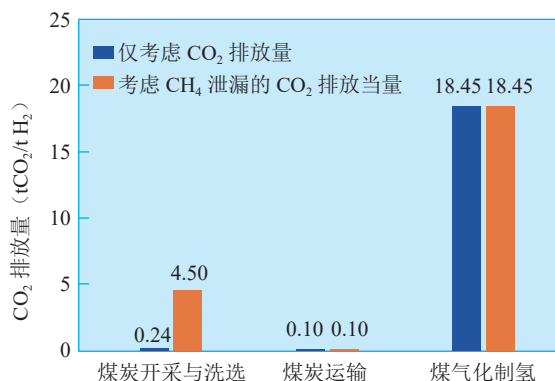
2.1.3 结果分析

仅考虑 CO_2 排放时, 煤气化制氢的生命周期碳排放为 $18.79 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$, 制氢过程为主要的碳排放环节。2015 年中国原煤生产量为 $94 410 \text{ 万 t}$, 人为及自然排放的 CH_4 总量为 $6 150 \text{ 万 t}$, 煤炭行业占比约 33% , 估算出 CH_4 的排放量为 $0.61 \text{ t CO}_2\text{e/t}$ 煤炭。考虑煤炭开采泄漏的 CH_4 后, 煤气化制氢的生命周期碳排放增长至 $23.05 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$, 如图 2 所示。

2.2 天然气制氢

2.2.1 核算边界

天然气蒸汽转化制氢是当前大规模工业化应用的天然气制氢工艺, 主要包括天然气预处理、

图2 煤气化制氢的生命周期 CO_2 排放量对比

CH_4 等烷烃和水蒸气重整、 CO 变换及氢气提纯等生产环节。核算边界确定为天然气开采、天然气运输和天然气制氢 3 个阶段。

2.2.2 数据与计算

1) 天然气开采

根据文献资料^[10], 开采 1 MJ 天然气, 消耗 $0.044 9 \text{ MJ}$ 电力、 $0.027 1 \text{ MJ}$ 天然气、 $0.024 5 \text{ MJ}$ 渣油、 $0.008 9 \text{ MJ}$ 柴油、 $0.002 3 \text{ MJ}$ 汽油和 $0.008 9 \text{ MJ}$ 煤炭, 开采过程中的 CH_4 泄漏量占 CH_4 总提取量的 1.3% 。基于式 (1), 考虑 CH_4 泄漏, 天然气开采阶段 CO_2 排放量为 $7.35 \text{ t CO}_2/\text{万 m}^3$ 天然气。

2) 天然气运输

天然气主要通过管道运输, 碳排放主要来自燃料消耗和 CH_4 泄漏。根据文献资料^[11], $1 000 \text{ m}^3$ 天然气通过管道运输 1 km 消耗 $0.024 5 \text{ m}^3$ 天然气, 每千米损耗 $0.000 06\%$, 其中甲烷含量按 95% 计, 天然气的平均运输距离为 625 km 。基于式 (1), 考虑 CH_4 泄漏, 天然气运输阶段 CO_2 排放量为 $0.40 \text{ t CO}_2/\text{万 m}^3$ 天然气。

3) 天然气制氢

天然气制氢阶段 CO_2 排放量基于典型装置计算。依据某天然气制氢装置^[4] 的投入产出和能耗

情况,由式(1)~式(4),得到天然气制氢阶段的 CO_2 排放量为 $9.88 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$ 。

2.2.3 结果分析

考虑到天然气开采及运输过程中的 CH_4 泄漏,天然气制氢的生命周期碳排放为 $13.13 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$,制氢过程为主要的碳排放环节。

2.3 甲醇制氢

2.3.1 核算边界

甲醇制氢以来源丰富的甲醇和脱盐水为原料,在一定的温度、压力下,通过催化剂作用,同时发生甲醇裂解反应和 CO 变换反应,产出的转化气经冷凝、水洗后,塔顶气进入PSA装置提纯。

煤制甲醇是我国甲醇生产最主要的方式,产能占比达76%,天然气制甲醇产能占比约11%^[12]。本研究选取煤制甲醇和天然气制甲醇2种生产方式,核算边界分别为煤炭开采及洗选、煤炭运输、煤制甲醇、甲醇制氢4个阶段和天然气开采、天然气运输、天然气制甲醇、甲醇制氢4个阶段。受限于数据可得性,且运输过程的碳排放量相对较小,不考虑甲醇运输的碳排放。

2.3.2 数据与计算

1) 煤制甲醇

煤制甲醇阶段 CO_2 排放量基于典型项目计算。某20万t/a煤制甲醇项目年投入原料煤26万t,原料碳含量为76.61%,消耗电力6 089万kWh、新鲜水164万t、脱盐水79万t、中压蒸汽63万t。由式(2)~式(4),得到煤制甲醇阶段的 CO_2 排放量为 $4.26 \text{ t CO}_2/\text{t 甲醇}$ 。

2) 天然气制甲醇

天然气制甲醇阶段 CO_2 排放量基于典型项目计算。某10万t/a天然气制甲醇项目年投入天然气8 600万 Nm^3 ,消耗电力1 800万kWh、新鲜水90万t、循环水1 800万t、脱盐水31万t、3.85MPa蒸汽17万t。由式(2)~式(4),得到天然气制甲醇阶段的 CO_2 排放量为 $1.15 \text{ t CO}_2/\text{t 甲醇}$ 。

3) 甲醇制氢

甲醇制氢阶段 CO_2 排放量基于典型项目计算。某2 000 Nm^3/h 甲醇制氢项目年投入工业甲醇4 879 t,消耗电力195万kWh、新鲜水1.61万t。由式(2)~式(4),得到甲醇制氢阶段的 CO_2 排

放量为 $6.95 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$ 。

2.3.3 结果分析

在考虑煤炭、天然气开采过程 CH_4 泄漏的情况下,以煤为原料的甲醇制氢生命周期碳排放为 $45.40 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$,以天然气为原料的甲醇制氢生命周期碳排放为 $20.66 \text{ t CO}_2/\text{t H}_2$,如图3所示。甲醇生产阶段为主要的碳排放环节。

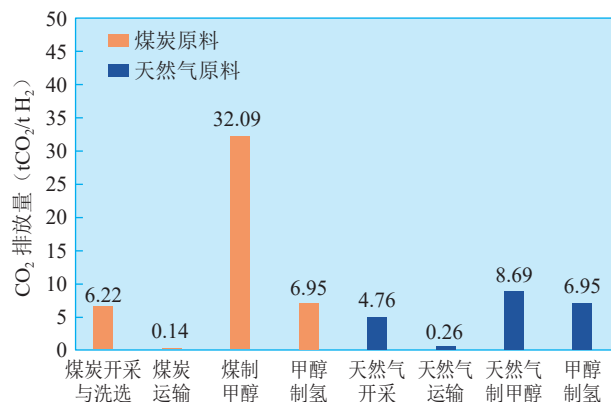


图3 甲醇制氢的生命周期 CO_2 排放量对比

甲醇制氢具有原料丰富、现制现用、无需 H_2 大量运输的优势。仅对比制氢过程,甲醇制氢相较于化石能源制氢具有更小的 CO_2 排放量。但当前甲醇的生产仍依赖化石能源,在绿色甲醇大规模合成技术未取得突破前,全生命周期视角下,甲醇制氢并不具备更低碳排放的优势。

2.4 电解水制氢

2.4.1 核算边界

电解水制氢整个过程只有电力消耗带来隐含的碳排放。生产1 t氢气,电解水消耗约9 t纯水和6万kWh电,纯水生产消耗的电力与之相比可忽略不计。因此,电解水制氢生命周期碳排放核算边界仅为制氢阶段。考虑到电力的不同来源,本研究计算当前电网供电、光伏发电、风电对应的结果。

2.4.2 数据与计算

电解水制氢 CO_2 排放量基于典型项目计算。某8 760万 Nm^3/a 电解水制氢项目年消耗电力53 000万kWh。由式(3)得到当前电网供电、光伏发电和风电对应的电解水制氢的 CO_2 排放量分别为39.74、2.04和0.68 $\text{t CO}_2/\text{t H}_2$ 。

2.4.3 结果分析

电解水制氢过程清洁，但电力隐含的碳排放不容忽视。2021年，中国电网71.13%发电量源自化石能源，若将当前电网电力用于制氢，生命周期碳排放是光伏电力的19.5倍，是风电的58.4倍，高消耗、高污染、高排放的问题更为严重。

3 对比分析

当前测算条件下，考虑到煤炭、天然气开采过程中的甲烷泄漏，典型制氢工艺的生命周期CO₂排放量从大到小依次为甲醇制氢（煤炭为原料）、以火电为主的电解水制氢、煤制氢、甲醇制氢（天然气为原料）、天然气制氢、光伏发电电解水制氢、风电电解水制氢，如图4所示。以火电为主的电解水制氢生命周期CO₂排放量是煤制氢的1.72倍，电解水制氢碳减排和大规模发展的关键在于风、光等可再生能源的发展。以煤为原料的甲醇制氢生命周期CO₂排放量是煤制氢的1.97倍，以天然气为原料的甲醇制氢生命周期CO₂排放量是天然气制氢的1.57倍，考虑到甲醇制氢过程本身的碳排放较小，发展关键在于绿色甲醇的获取。

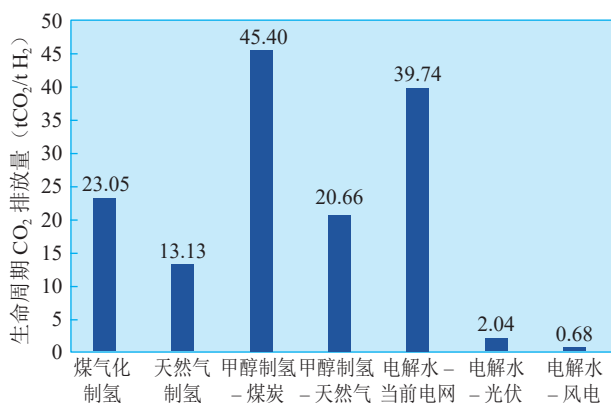


图4 典型制氢工艺生命周期CO₂排放量对比结果

4 结论

1) 基于全生命周期视角的碳排放测算结果显示，除可再生能源制氢外，当前主流制氢产业链在生产端均有大量的碳排放。

2) 全生命周期视角下，煤制氢、天然气制氢的碳排放主要在氢气生产过程，甲醇制氢的碳排放

放主要在甲醇生产过程。在当前生产条件下，相较于煤制氢、天然气制氢，以煤炭/天然气为原料的甲醇制氢并不具备碳减排的优势。

3) 风电制氢是最为清洁的制氢方式。电解水制氢中电力来源对碳排放具有很大影响，以火电为主的电解水制氢碳排放甚至远高于煤制氢。

4) 煤制氢工艺具有技术路线成熟、产量大、成本低的优势，在未来一段时间内仍是我国制氢的主流路径，碳捕集、利用与封存（CCUS）成为碳减排的关键技术。考虑到CCUS项目的投入会带来额外的物耗、能耗，开发CCUS相关的碳排放核算方法将为碳减排量提供重要的数据支持。

5) 我国氢能产业正步入快车道，应完善修订相关行业统一规范的碳排放统计核算体系及参数数据，项目审批时考察碳排放，避免发生“生产阶段多排放、消费阶段零排放”的现象。

参考文献

- [1] 中国氢能及燃料电池产业创新战略联盟. 中国氢能及燃料电池产业白皮书2020[R]. 北京: 人民日报出版社, 2021.
- [2] 沈威, 杨炜樱. 考虑碳排放的化石能源和电解水制氢成本[J]. 煤气与热力, 2020, 40(3): 30-33+43.
- [3] 姬存民, 陈健, 周强, 等. 天然气蒸汽转化制氢工艺二氧化碳排放计算与分析[J]. 天然气化工—C1化学与化工, 2022, 47(2): 103-108.
- [4] 田涛, 曹东学, 黄顺贤, 等. 石化行业不同制氢过程碳足迹核算[J]. 油气与新能源, 2021, 33(6): 39-45.
- [5] 谢欣烁, 杨卫娟, 施伟, 等. 制氢技术的全生命周期评价研究进展[J]. 化工进展, 2018, 37(6): 2147-2158.
- [6] 李建林, 李光辉, 马速良, 等. 碳中和目标下制氢关键技术进展及发展前景综述[J]. 热力发电, 2021, 50(6): 1-8.
- [7] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [8] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.

- [9] 张贤, 许毛, 徐冬, 等. 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.
- [10] 卜庆佳, 张媛媛, 李俊杰, 等. 天然气 / 煤制乙二醇路线碳排放与经济分析 [J]. 现代化工, 2022, 42 (8): 209-214+219.
- [11] 武娟妮, 张岳玲, 田亚峻, 等. 新型煤化工的生命周期碳排放趋势分析 [J]. 中国工程科学, 2015, 17 (9): 69-74.
- [12] 朱琼芳. 我国甲醇及其下游产品市场分析与展望 [J]. 煤化工, 2019, 47 (6): 52-57.

Comparative Study on Life-cycle Carbon Emissions of Typical Hydrogen Production Processes

Chen Xin

(SINOPEC Economics & Development Research Institute Company Limited, Beijing, 100029, China)

Abstract: The large-scale development of hydrogen energy needs to solve the problem of "how to produce hydrogen". In the context of carbon peaking and carbon neutrality goals, it is necessary to investigate the carbon emissions of hydrogen energy industry chain. In this paper, under the same research scale, a unified accounting boundary was established, and unified parameter data were used to quantitatively measure the life-cycle carbon emissions of four typical hydrogen production processes. The results show that the life-cycle CO₂ emissions from high to low in order are hydrogen production from methanol (coal as raw material), by water electrolysis (mainly using thermal power), from coal, from methanol (natural gas as raw material), from natural gas, by water electrolysis (using photovoltaic power), and by water electrolysis (using wind power). The CO₂ emissions of hydrogen production from coal and natural gas are mainly in the hydrogen production process, and the CO₂ emissions of hydrogen production from methanol are mainly in the coal-to-methanol or natural gas-to-methanol process. Although the process of hydrogen production by water electrolysis is clean, the CO₂ emissions embodied by electricity cannot be ignored.

Keywords: CO₂ emissions, life cycle, hydrogen production from coal, hydrogen production from natural gas, hydrogen production from methanol, hydrogen production by water electrolysis



欢迎订阅
《当代石油石化》