

氢能与碳捕集、利用与封存产业协同发展研究

王伟杰, 彭勃, 李顺, 刘琦, 贾冀辉

(中国石油大学(北京)非常规油气科学技术研究院, 北京102249)

摘要：氢能是未来最具有发展潜力的二次能源, 对发展低碳经济的作用显著, 但是利用化石能源制氢, 获得氢气的同时会排出大量CO₂

, 这严重制约氢能的发展。碳捕集、利用与封

存 (CCUS) 是一种CO₂

减排技术, 氢能与CCUS技术耦合, 有利于氢能与CCUS产业的协同发展。本文从国家层面系统调研了全国氢能产业发展的政策以及规划, 对氢能发展政策与CCUS技术激励政策进行了对比分析。在我国典型区域, 根据氢能发展规模分析了该区域氢能的CO₂

排放规模; 同时结合典型区域CCUS技术的减排潜力, 对氢能与CCUS技术的源汇匹配情况进行了评估, 并分析了两者协同对地方经济及就业的影响。在技术层面, 对氢能技术链条中碳排放特征进行了分析, 对氢能与CCUS技术耦合的可行性进行了讨论, 并提出了氢能与CCUS技术耦合优化的建议。通过政策协调、技术耦合、不同层面的推广与示范, 氢能和CCUS技术在未来的能源产业可以实现协同发展。

近年来关于氢能的研究逐渐引起了世界各国的关注。氢能作为一种绿色的低碳能源, 具有独特的优势: 首先, 氢元素在地球上的储量极其丰富, 据估算, 地球上的海水

有 1.3×10^{18} t, 其含氢量为 1.51×10^{17}

t[1]; 其次, 氢能的能量密度高, 其燃烧热值远高于烃类和醇类, 较高的能量密度还可用于储能, 氢能能量密度比锂电池高, 能够解决可再生能源的储能问题。

氢能的主要来源是可再生能源和化石能源的转化。我国的氢能主要通过化石能源转化获得, 严格意义上我国氢能还不能被认为是清洁能源。氢能通过化

石燃料转化过程中会排放大量温室气体CO₂, CO₂排放的问题将严重制约氢能的发展。

碳捕集、利用与封存 (CCUS) 技术是一种大规模直

接的CO₂

减排技术, 被认为是未来应对全球气候变化、控制温室气体排放的重要技术之一。CCUS技术是在碳捕获与封存(CCS)技术基础上发展起来的新技术, 它把捕集到的CO₂

进行提纯, 继而投入新的生产过程中, 实现循环再利用[2-3], 并产生一定的经济效益。近些年在CCUS技术的发展和示范过程中, 美国、日本、欧盟等国家和地区都已经成为CCUS的坚定支持者, 为CCUS的发展提供了技术和立法支持[4]。目前我国对CCUS技术的发展还未形成具体的统一文件。根据我国的能源结构以及能源发展状况, 为了更好地推动我国CCUS技术的发展, 需要把CCUS技术和氢能技术相结合, 以促进共同发展。

本文将传统化工能源重整获得氢能和CCUS技术相耦合, 从氢能发展政策和CCUS技术激励政策角度进行对比提出了相关的建议。在典型区域计算并评估了氢能的CO₂

排放规模和CCUS技术减排潜力, 另外还分析了氢能和CCUS技术协同发展下产能释放规模及其对地方经济和就业的拉动情况。在技术层面, 对氢能和CCUS技术耦合的可行性进行分析并提出了耦合优化建议。

1 氢能发展政策和CCUS激励政策

1.1 氢能发展政策

从全球视野来看, 世界各国都在投入大量资金, 组织科研力量, 制定发展规划, 积极推动氢能产业发展。美国、日本、韩国、欧洲等国家和地区出台了相应的氢能产业发展规划[5]。我国无论是从完成《巴黎协定》的承诺考虑, 还是为了更好地发展国民经济, 提高人民生活水平, 改变和调整我国能源结构, 发展氢能产业都势在必行[6]。发展氢能对于推进我国能源革命和经济低碳转型都有重大意义, 它既有利于应对全球气候变化, 也能够满足国内保障能源安全、发展低碳经济的内在需求, 具有多方面协同效应[7]。

2019年以来, 我国越来越重视氢能产业的发展, 国家和地方纷纷出台了一系列涉及氢能领域的发展政策。特别是2019年的政府工作报告, 首次把氢能写入其中, 体现了国家对发展氢能的重视程度和决心。2019年内在国家层面发布的

涉及氢能产业发展的主要政策见表1。

表 1 2019 年氢能产业相关政策

Tab.1 Relevant policies for the hydrogen energy industry in 2019

时间	政策	主要内容
1月4号	柴油货车污染治理攻坚战行动计划	积极推广应用新能源物流配送车，鼓励各地组织开展燃料电池货车示范运营建设加氢示范站
2月1号	鼓励外商投资产业目录(征求意见稿)	把整个氢能产业链均纳入鼓励外商投资范围
3月6号	绿色产业指导目录(2019版)	燃料电池装备制造、氢能利用设施建设和运营等2项被列入清洁能源产业
3月16号	政府工作报告	继续执行新能源汽车购置优惠政策，推动充电、加氢等基础设施建设
5月15号	2019年新能源汽车标准化工作要点	加快车载氢系统、加氢枪等标准的修订
6月28号	关于继续执行车辆购置税优惠政策的公告	自2018年1月1日至2020年12月31日，购买新能源汽车免征车辆购置税
9月19号	交通强国建设纲要	科学规划建设城市停车设施，加强充电、加氢、加气和公交站点等设施建设，全面提升城市交通基础设施智能化水平
11月15号	关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见	推动氢能产业创新、集聚发展，完善氢能制备、储运、加注等设施和服务

由表1可见，这些政策涉及氢能产业的上游制氢、中游储氢、下游应用的整个产业链条的工作。有关氢能产业基础

设施建设的指导政策也在多个文件中提到，另外还有30多个省市出台了地方关于推动氢能产业发展的指导政策。上述一系列中央和地方的氢能指导政策都体现了氢能产业发展的迫切性，从这些政策中可以看见氢能发展的动力以及前进的方向。这些氢能政策的发布也在一定程度上推动了氢能产业链的快速发展，相关补贴政策的支持也体现了国家和政府部门对氢能产业的重视。

1.2 CCUS激励政策

氢能产业发展政策已经步入正规，并且正在大踏步前进，但是关于CCUS技术的政策还处于初期阶段[8]。2006年以来在国家层面发布的涉及CCUS技术的政策文件有20多项，但是专门针对CCUS技术的专项政策很少，而且缺乏具体的落实方案。2006年发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中提出了“开发高效、清洁和CO₂

近零排放的化石能源开发利用技术”，要求为CCUS技术的建设提供发展的契机。2007年国务院发布的《中国应对气候变化国家方案》中指出，将发展CCUS技术作为CO₂

减排的重点领域，提出“大力开发煤液化以及煤气化、煤化工等转化技术、以煤气化为基础的多联产系统技术、二氧化碳捕获及利用、封存技术等”。同年发布的《中国应对气候变化科技专项行动》强调，加强对CCUS的技术研发，推动其技术示范，这为推动CCUS技术研发提供了政策保障。2011年《国家“十二五”科学和技术发展规划》中将重点探索CO₂

捕集、利用与封存等方向的前沿技术写入其中，体现了国家对CCUS技术发展的重视。这些指导性文件都涉及CCUS技术的发展，并在一定程度上规范着CCUS项目，但尚未建立起专门针对CCUS技术的法律法规。现阶段国家仍以宏观引导和鼓励为主，加强技术储备，政策文件主要以激励政策为主，加强示范项目建设。2009年5月17号《中国CCUS发展路线图（2019版）》及“国家能源集团公司CCUS技术路线及发展规划”的发布，为CCUS技术的发展指明了方向。

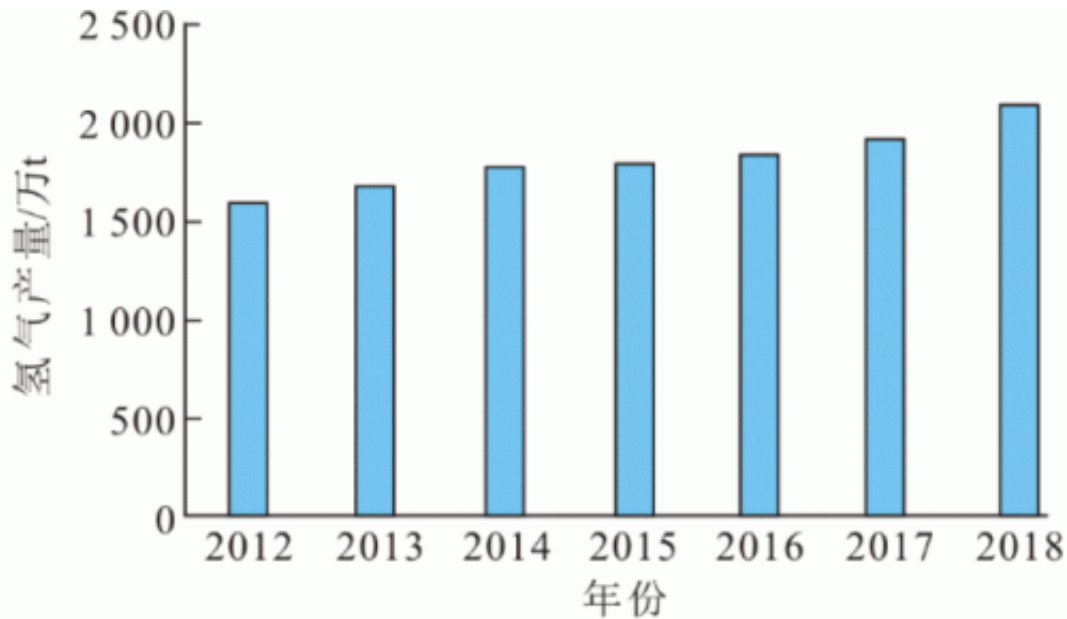
1.3政策对比分析

通过对氢能产业发展政策的解读，首先对现阶段发展CCUS技术面临的问题进行详细剖析，为CCUS技术的发展寻找前进的动力。其次在氢能产业技术指导政策的启发下，寻找氢能与CCUS技术的直接联系以降低生产成本。中央和地方出台的一系列指导政策为氢能的发展指明了前进的方向和发展的动力，而这正是CCUS技术发展过程中遇到的问题，现阶段发展CCUS的相关指导政策迟迟没有发布的主要原因就是缺乏动力支持，一方面是人们对于环境危机意识认识的不足，人们对CCUS技术的认可度低，甚至有些人认为全球碳排放是一个循环过程，有排放就有吸收，现阶段短暂的不平衡只是一段特殊的时期，经过一段时间的调节，碳排放就会回归到正轨上去；另一方面相关技术发展还不成熟，还不能解决碳捕集、封存等的成本问题。从上述氢能产业的政策中可以探寻CCUS技术发展的动力，研究是否可以把氢能的补贴应用一部分到CCUS技术的发展中，氢能产业方面的政策指导对于CCUS技术发展的借鉴意义就是研究实现氢能和CO₂

减排相联系的技术，加深氢能和CCUS技术的融合。通过以上分析可以发现，未来CCUS技术的发展道路还很漫长。

2典型区域氢能和CCUS技术的源汇匹配

氢能产业的发展规模在逐渐扩大。从全国范围来看，氢能产量在逐渐增加，2012—2018年全国氢能产量（图1）表明，氢能产业发展趋势良好。而且有关氢能的应用也在快速发展，特别是在燃料电池领域，正在经历一波飞速发展的阶段。目前，从中央到地方都出台了一系列鼓励新能源补贴政策，积极推动燃料电池的快速发展和普及。



资料来源：中商产业研究院

图 1 2012—2018 年全国氢能产量

Fig.1 The national hydrogen energy production in 2012—2018

在氢能产业基础设施建设方面，表现比较突出的是加氢站的建设。自2008年我国在北京建立第1座车用加氢站以来，加氢站的建设经历了一段低谷期，但2015年以后建设数量逐年增加，特别是在2019年就有30多个省市规划在近几年建设加氢站，香橙会研究院的具体统计结果如图2所示。由图2可见，截至2019年底全国累计建设加氢站61座。其中，广东建成17座加氢站，位列全国第1；上海建成10座位列全国第2；江苏和湖北均建成5座，并列第3。

下面以广东省、上海市和山东省为典型区域介绍我国氢能产业发展情况以及CCUS技术在这几个典型区域的部署情

2为主要研究对象，分析氢能产业与CCUS技术的源汇匹配情况。

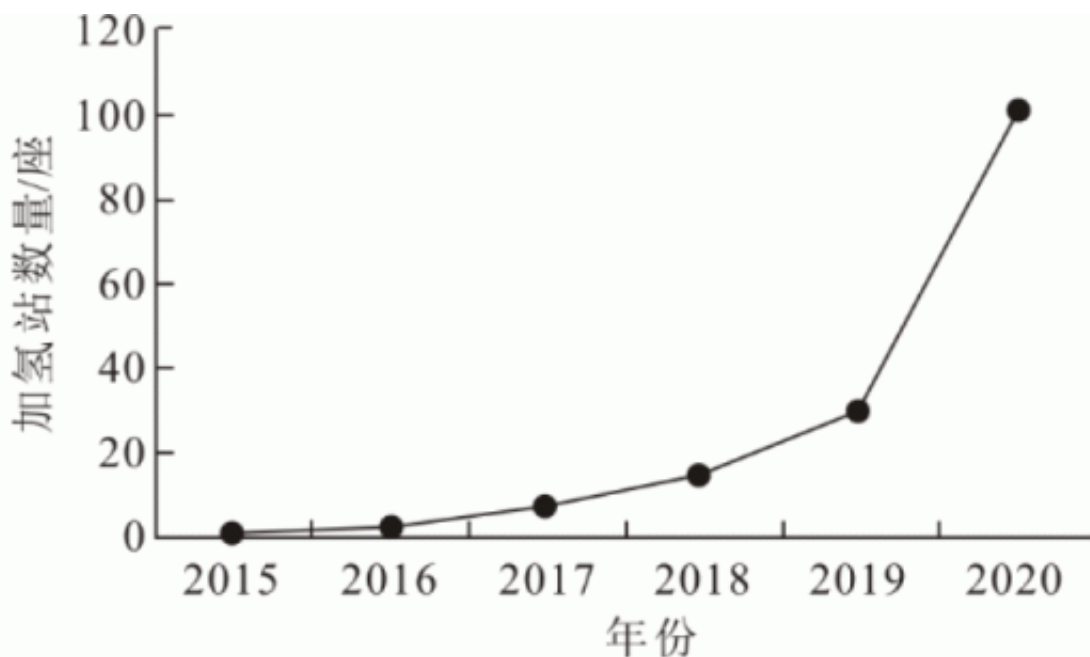


图 2 2015—2019 年全国加氢站数量及 2020 年预计数量
Fig.2 The number of hydrogenation stations in China in 2015—2019 and the estimated number in 2020

上海市氢能产业发展迅速，优势明显。作为国内主要的炼化基地之一，上海拥有充足的工业副产氢，氢能资源丰富。另外，作为国内发展氢燃料电池较早的城市，目前上海有23条氢燃料电池电堆产业链和11条氢燃料电池系统产业链。上海市在燃料汽车领域发展迅速，其氢能产业基础设施的建设也处于国内发展前列。从近期和远期来看，上海市氢能主要来源是工业副产氢和电解水制氢，近中期主要以工业副产氢为主，远期以电解水制氢为主。据测算，上海市炼化企业每年工业副产氢约为1.2万~1.7万t。根据制氢和排放CO₂的关系，假设工业副产氢生产中每吨氢气排放10t的CO₂，则每年CO₂排放量是12万~17万t，这是万吨级CCUS项目一年的减排规模。如果用于CO₂-EOR，就可以提高石油7%~15%的采收率，对地方经济的增长具有重大影响。

山东省在发展氢能产业方面也有比较突出的优势，作为能源和化工大省，山东省具有大量低成本的工业副产氢。据初步测算，山东省全年的氢产量约260万t，居全国首位[9]。以前大量的工业副产气被释放，既污染大气又浪费资源，通过发展氢能产业就可以实现废物利用。根据这些氢气的产量可以大致估计氢气的伴生气CO₂的年排放量约为2600万t。对于这些CO₂，如果通过CCUS技术处理，百万吨项目需要26个，十万吨项目需要200个左右。通过地质封存处理这些CO₂就可以极大地提高油田的石油采收率，根据相关数据建设百万吨级的CCUS项目可以增加五六千个工作岗位，建设二三十个项目就可以解决几万人的就业问题。

以广州为中心的珠三角地区也是一个氢能产业发展比较快的地区。广东省拥有大量的化工能源企业以及氢气加工处理企业，这些企业都可以为氢能产业提供丰富且清洁的氢气资源。而且珠江口盆地作为我国重要的海底咸水层封存地区，在CCUS的地质封存中处于重要地位。根据《广州市氢能产业发展规划（2019—2030年）》可知，全市制氢资源量约占全省的10%，年制氢能力超过10万t，由此可以推算，广东省年制氢能力超过100万t。由《中国CCUS发展路线图（2019）》可知，预计到2030年的技术发展规模，陆地咸水层可以实现多个100万t项目示范，枯竭油田封存实现100t级示范，海底咸水层封存实现10万~30万t级工业示范。根据我国氢能及燃料电池产业创新战略联盟预测，截至2030年，可再生能源制氢将占据氢能产业的15%。如果为了节约成本只考虑当地就近封存处理，到2030年广东省的“灰氢”预计将占据55%，“蓝氢”占比为30%，“绿氢”占比为15%。从这些预期数据可以看出，预计到2030年，广东省“灰

氢”的占比将大幅度下降，与此同时“蓝氢”和“绿氢”的占比将升高。“蓝氢”占比的增加依赖CCUS技术的快速部署，CCUS的建设既增加了地方财政收入，又为当地提供了大量的就业机会。预计到2030年仅广州市的氢能产值将达到2000亿元以上，提供几十万个工作岗位。

通过对几个典型区域氢气产能和发展条件的分析，可以发现广东省的石油炼化企业和氢气销售企业在氢能产业发展中发挥着举足轻重的作用，上海的氢能依托长三角地区的炼化企业有大量的工业副产气[10]，这些企业可以为上海提供源源不断的氢能。山东省本地也有大量的氢气供应，可以实现就近利用。广东、上海、山东的氢能产业和CCUS的源汇匹配情况良好，两者的协同发展既可以在不降低经济发展速度的同时，提供较多的就业机会，也可以完成国家对各省市CO₂

减排的要求。目前氢气来源大多是通过化石能源获得，这个过程中CO₂

的排放问题一直制约着化石能源企业的发展，例如对于一些石化企业[11]、煤炭企业以及化工企业的产能都有一定的限制，同时还严重影响地方经济的增长。通过对这3个典型区域的氢能产业的分析，得出CCUS和传统化石能源重整制氢技术的结合，可以促进经济的低碳发展。

3 氢能和CCUS技术耦合可行性分析

氢能产业和CCUS技术可以在技术层面进行耦合，因为要想真正实现氢能的清洁，必须解决氢能产业发展过程中CO₂

排放的问题[12]。根据氢能产业发展规划可以把氢能的发展过程分为3个阶段，即初期阶段、中期过渡阶段以及最终阶段[13-14]。初期阶段就是现阶段，氢气主要以“灰氢”为主，它的来源是通过化石能源转化，例如煤炭、天然气、焦炉煤气、氯碱尾气等。生产过程中会有大量的CO₂

排放，该阶段的氢能还不能称为清洁能源。中期过渡阶段的氢气称为“蓝氢”，这个阶段是在初期阶段的基础上结合CCUS技术，实现碳中和，减少碳的排放，这个时期的氢能相对较为干净，但还不是氢能理想的状态。最终阶段的氢气称为“绿氢”[15]，氢气的来源是通过可再生能源获得，这个过程能实现完全的无碳化，100%绿色，是氢能发展的最终目标。从价格上来看，目前灰氢最便宜，蓝氢略贵于灰氢，绿氢最贵。考虑到成本和环保的要求，现阶段主要大力发展“蓝氢”，即实现氢能产业和CCUS技术的协同发展。

目前工业上制氢的方式有电解水制氢、煤制氢、天然气制氢、甲醇制氢、化工尾气制氢等[16-17]，其中工业尾气制氢占45%，煤制氢占41%，天然气制氢占10%，电解水制氢仅占4%，制氢方式主要还是以传统能源的化学重整为主。预计到2050年，电解水制氢将达到64%，煤制氢与CCUS技术结合的制氢方式将达到21%，工业副产氢和天然气重整制氢分别为8%和7%。这几种制氢方式优缺点比较见表2。

表 2 几种制氢方式比较

Tab.2 Comparative analysis for several hydrogen production technologies

制氢方式	优点	缺点	说明
电解水制氢	纯度高, 技术成熟, 无污染	成本高, 能量损失大	利用可再生能源发电制氢
煤制氢	技术成熟, 成本低, 可大规模生产	排放量多, 杂质多	目前最主要的制氢方式
天然气制氢	产量高	成本高	使用较少
化工尾气制氢	成本低, 原料来源广, 适合大规模工业生产	提纯工艺复杂	氯碱、焦炉煤气副产氢资源丰富

下面以最主要的制氢方式工业副产气进行详细分析, 工业副产气主要包括焦炉煤气、丙烷脱氢、氯碱工业的尾气。2019年全国焦炉煤气产量约为1906亿m³ (标准状态下), 焦炉煤气中氢气体积分数约40%~50%, PSA氢气吸收率92%。按照2019年焦炉煤气产量估算, 我国每年焦炉煤气制氢约600万t。根据相关产能估算, 丙烷脱氢和氯碱工业的尾气每年制氢分别为2.3万t和106万t, 则工业副产氢年均760万t。根据氢气和CO₂排放量之间的关系[14], 通过工业副产气制氢的CO₂年均排放量为7750万t。这么多的CO₂还只是其中一部分, 如果把它们直接排放到大气中会造成严重的气候变化, 但是通过与CCUS技术耦合就可以很好地解决CO₂的问题。

CCUS常规的利用包括地质应用 (即CO₂)

比较好的地区包括松辽盆地、渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地、珠江口盆地、准噶尔-吐哈盆地等, 在这些地区可以建设多个CCUS示范项目。根据《中国CCUS发展路线图 (2019) 》, 到2030年将建设多个百万吨级项目, 这些CCUS项目与氢能产业可以匹配, 实现氢能和CCUS技术耦合。

4结论

- 1) 在政策方面, 氢能产业发展前期经历的鼓励补贴政策可以借鉴到CCUS技术的建设中, 另外氢能产业的基础设施建设对CCUS的发展也有借鉴意义。
- 2) 在典型区域的源汇匹配方面, 广东省、上海市、山东省这几个典型区域有丰富的氢能来源, 有条件大规模部署CCUS技术, 而且整个制氢-CO₂捕集-CO₂应用的过程都可以一体化就近完成, 既减少了碳排放, 又提高了经济效益和就业机会。
- 3) 技术性评估, 氢能产业的碳排放特征明显, 主要就是在制氢过程中大量CO₂排放, 这些排放的CO₂通过CCUS技术收集, 然后再通过一定的途径利用这些CO₂, 从而产生一定的经济效益。总体来看, 氢能产业和CCUS技术耦合在保障氢能产业快速发展的同时, 又促进了CCU

S在我国的部署，两者相辅相成共同发展。

[参 考 文 献]

- [1] 潘健民, 魏运洋, 李永峰, 等. 氢能的重要性和制氢方法浅析[J]. 环境保护, 2008(18): 59-61.
PAN Jianmin, WEI Yunyang, LI Yongfeng, et al. Analysis on the importance of hydrogen energy and hydrogen production method[J]. Environmental Protection, 2008(18): 59-61.
- [2] 秦积舜, 李永亮, 吴德彬, 等. CCUS 全球进展与中国对策建议[J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(1): 20-28.
QIN Jishun, LI Yongliang, WU Debin, et al. CCUS global progress and China's policy suggestions[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(1): 20-28.
- [3] 陈兵, 肖红亮, 李景明, 等. 二氧化碳捕集、利用与封存研究进展[J]. 应用化工, 2018, 47(3): 589-592.
CHEN Bing, XIAO Hongliang, LI Jingming, et al. Advances

- in research on carbon capture, utilization and storage[J]. Applied Chemical Industry, 2018, 47(3): 589-592.
- [4] 韩力, 谢辉, 李治. 碳捕获利用与封存技术发展探究[J]. 建材发展导向(下), 2020, 18(4): 57-59.
HAN Li, XIE Hui, LI Zhi. Research on the development of carbon capture and storage technology[J]. Development Guide To Building Materials, 2020, 18(4): 57-59.
- [5] 张长令. 国外氢能产业导向、进展及我国氢能产业发展的思考[J]. 中国发展观察, 2020(增刊 1): 116-119.
ZHANG Changling. The orientation and progress of foreign hydrogen energy industry and the development of my country's hydrogen energy industry[J]. China Development Observation, 2020(Suppl.1): 116-119.
- [6] 程一步, 王晓明, 李杨楠, 等. 中国氢能产业步入快速发展机遇期石化企业可大有作为[J]. 石油石化绿色低碳, 2020, 5(1): 1-9.
CHENG Yibu, WANG Xiaoming, LI Yangnan, et al. China's hydrogen energy industry enters a period of rapid development opportunities[J]. Green Petroleum & Petrochemicals, 2020, 5(1): 1-9.
- [7] 孟翔宇, 顾阿伦, 邬新国, 等. 2019 年中国氢能政策、产业与科技发展热点回眸[J]. 科技导报, 2020, 38(3): 172-183.
MENG Xiangyu, GU Alun, WU Xinguo, et al. Looking back on the hot spots of China's hydrogen energy policy, industry and technology development in 2019[J]. Science & Technology Review, 2020, 38(3): 172-183.
- [8] 周丽, 张希良, 金红光. 推动中国 CCUS 技术的政策建议[J]. 科技导报, 2013, 31(15): 11.
ZHOU Li, ZHANG Xiliang, JIN Hongguang. Policy recommendations to promote CCUS technology in China[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(15): 11.
- [9] 山东省能源局. 山东省人民政府办公厅关于印发山东省氢能产业中长期发展规划(2020—2030 年)的通知: 鲁政办字(2020)81 号[A/OL]. (2020-06-17)[2020-07-09]. http://nyj.shandong.gov.cn/art/2020/6/24/art_100_392_923_6761.html.
Shandong Energy Bureau. Notice of the General Office of the Shandong Provincial People's Government on the issuance of Shandong Province hydrogen energy industry long-term development plan (2020—2030) notice: LZBZ (2020) No.81[A/OL]. (2020-06-17)[2020-07-09]. http://nyj.shandong.gov.cn/art/2020/6/24/art_100392_9236761.html.

- [10] 张瀚舟. 上海市氢能发展总体技术路线选择[J]. 交通与运输, 2019, 35(4): 65-68.
ZHANG Hanzhou. Overall technical route selection of hydrogen energy development in Shanghai[J]. Traffic & Transportation, 2019, 35(4): 65-68.
- [11] 刘玲, 李坤. 石化业制氢过程中温室气体排放的识别与核算: 以烃类转化法制氢为例[J]. 石油学报(石油加工), 2014, 30(5): 878-884.
LIU Ling, LI Kun. Identifying and calculating greenhouse gas emissions from the process of hydrogen production in petrochemical industry: in the case of hydrocarbon conversion method[J]. Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section), 2014, 30(5): 878-884.
- [12] 罗佐县, 曹勇. 氢能产业发展前景及其在中国的发展路径研究[J]. 中外能源, 2020, 25(2): 9-15.
LUO Zuoxian, CAO Yong. Research on the development prospect of hydrogen energy industry and its development path in China[J]. Sino-Global Energy, 2020, 25(2): 9-15.
- [13] 李小兵. 绿氢时代大势所趋-深刻改变我国能源格局[N]. 化工要闻, 2020-02-05(2).
LI Xiaobing. The trend of the green hydrogen era profoundly changes my country's energy landscape[N]. Highlights of Chemical Industry, 2020-02-05(2).
- [14] 瞿国华. 我国氢能产业发展和氢资源探讨[J]. 当代石油石化, 2020, 28(4): 4-9.
QU Guohua. Discussion on development of hydrogen energy industry and hydrogen resources in my country[J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2020, 28(4): 4-9.
- [15] 毛宗强. 我国发展氢能的战略建议-从“浅绿”到“深绿”(上)[J]. 太阳能, 2009(2): 6-9.
MAO Zongqiang. My country's strategic proposal for the development of hydrogen energy-from "light green" to "dark green" (on)[J]. Solar Energy, 2009(2): 6-9.
- [16] 陈子瞻, 赵汀, 刘超, 等. 煤炭制氢产业现状及我国新能源发展路径选择研究[J]. 中国矿业, 2017, 26(7): 35-40.
CHEN Zizhan, ZHAO Ting, LIU Chao, et al. The prospect of coal to hydrogen industry and the path selection of new energy development of China[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(7): 35-40.
- [17] 鲍金成, 赵子亮, 马秋玉. 氢能技术发展趋势综述[J]. 汽车文摘, 2020(2): 6-11.
BAO Jincheng, ZHAO Ziliang, MA Qiuyu. Overview of the development trends of hydrogen energy technologies[J]. Automotive Abstracts, 2020(2): 6-11.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/207261.html>