

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.04.04

引用格式: 王朋飞,姜重昕,马冰. 国内外氢能发展战略及其重要意义[J]. 中国地质调查,2021,8(4): 33-39. (Wang P F, Jiang C X, Ma B. Hydrogen energy development strategy and its important significance at home and abroad[J]. Geological Survey of China,2021,8(4): 33-39.)

# 国内外氢能发展战略及其重要意义

王朋飞,姜重昕,马冰

(中国地质调查局地学文献中心,北京 100083)

**摘要:** 为应对世界气候变化并丰富能源供给手段,实现碳中和目标,世界主要发达国家和地区均在2020年制定了本国的氢能战略,将发展氢能产业提升到国家能源战略的高度,旨在2030—2050年间完成CO<sub>2</sub>减排目标。详细介绍了世界各国的氢能发展战略、发展氢能为解决能源安全和生态安全中起到的作用、氢能制取的技术路线以及发展氢能带来的经济效益和社会效益,并着重介绍了地质工作在国家氢能战略部署和实施中的作用,主要包括:①要保证充足的制氢原材料供给,需要大力勘探开发天然气、页岩气等化石能源;②为封存制氢过程中产生的CO<sub>2</sub>,地质工作者需要对储层和盖层开展详细的地质勘查;③在发展大规模地质储氢中发挥作用,如地下盐穴储氢、废弃油藏储氢等。结合国情,我国应大力发展从煤气化制氢到CO<sub>2</sub>管道运输,再到CO<sub>2</sub>驱油及地质封存的一体化产业链,实现经济和社会的双收益。可为我国加速推进氢能战略部署提供借鉴。

**关键词:** 氢能; 碳中和; 煤制氢; CO<sub>2</sub>驱油

**中图分类号:** TK91; TE122.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2021)04-0033-07

## 0 引言

我国提出了力争2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和的总目标。能源消耗在我国碳排放中占比90%以上,其中煤炭占比达76.6%<sup>[1]</sup>,显示出我国能源结构不合理,化石能源消费占比过高的问题。这就要求我国必须加快推进能源供给侧结构性改革,不断优化能源供给结构,满足经济社会发展和对能源的多元化需求。在目前已知的能源结构中,氢能具有来源广泛、安全可控、高效灵活、低碳环保等诸多优势,可以同时满足资源、环境和可持续发展的要求,被誉为21世纪最理想的清洁能源<sup>[2]</sup>。氢能具有远距离输送、可大规模存储和“氢-电”互换的特征,可以有效地耦合传统化石能源和可再生能源系统,构建现代化的能源体系。因此,氢能在能源结构中的地位已经成为国际减排的风向标<sup>[2]</sup>。发展氢能对于减少温室气体排放意义重大,一旦市场化成熟且用氢成本可控就可以实现经

济效益、社会效益和生态效益的“多赢”局面<sup>[3-4]</sup>。

本文围绕世界各国的氢能发展战略、发展氢能对解决能源安全和生态安全的作用、氢能制取的技术路线以及发展氢能带来的经济效益和社会效益进行了详细的介绍,并着重介绍了地质工作在氢能发展中的作用,旨在为我国加速推进氢能战略部署提供借鉴。

## 1 发达国家的氢能发展现状

### 1.1 发达国家的氢能战略

为应对世界气候变化及能源结构调整的需求,欧美发达国家如美国、加拿大、德国、法国等均在2020年制定了本国的氢能战略,将发展氢能产业提升到国家能源战略的高度,旨在2030—2050年间完成CO<sub>2</sub>减排目标及能源结构调整<sup>[5-8]</sup>。其他发达国家如韩国、荷兰、挪威、葡萄牙、西班牙、新西兰等也于2020年发布了氢能战略以应对国内的能源需求压力<sup>[5]</sup>。

美国的氢能战略主要服务于能源安全和经济增长<sup>[5]</sup>。加拿大的氢能战略旨在构建净零排放的未来：国家经济将由电力和低碳燃料驱动,预计两者将满足超过 60% 的能源需求,其中氢能对能源密集型产业和难脱碳产业的减排起着重要作用<sup>[6]</sup>。德国计划通过开发氢能技术的国内市场为经济创造新的价值链,并开展国际能源政策合作以确保氢能市场的平稳运行和足够的氢能进口,具体目标是到 2030 年将氢能发电水平提高到原有的 200 倍,达到 5 GW<sup>[8]</sup>。法国的氢能战略为到 2030 年利用氢能实现 6.5 GW 的发电容量,并使绿氢/低碳氢(在制取过程中不产生碳排放的氢能称为绿氢,在制取过程中产生较低碳排放的氢能称为低碳氢)占工业部门所用氢能的 20% ~ 40%<sup>[9]</sup>。

发达国家制定氢能战略的背景大都基于《巴黎协定》,战略目标是减少国家对化石能源的依赖,在能源消耗中增加氢能的使用占比,达成减排目标。由于氢能作为一种二次能源和工农业生产的重要原材料都是不可或缺的,因此发展氢能也可以满足促进国家经济发展的需求<sup>[9-11]</sup>。

1.2 氢能的相关立法

世界主要发达国家为了促进氢能在本国的发

展,纷纷对相关法律法规进行了修订来保证氢能战略的平稳实施。澳大利亚已准备在 2021 年由其联邦政府起草并颁布针对氢能长期发展的适应性法规<sup>[7]</sup>。美国目前主要依靠现有的国内和国际标准使用、分配和储存氢能,尚未出台国家层面的氢能法规,但一些州政府已经制定了氢能的相关法律。欧盟修订了相关能源法案来使氢能源战略平稳运行<sup>[5]</sup>。德国为使氢能战略能够顺利实施修正了与能源相关的法案,涵盖了制氢、输氢以及监管等多个领域<sup>[8]</sup>。法国于 2019 年 11 月 8 日通过了一项关于能源和气候的法律,其中包含了与氢能有关的若干条款<sup>[9]</sup>。

1.3 氢能的市场建设

除了目前在工业上的应用,氢能在许多领域都有长期的应用前景。一旦氢能的生产和利用成本形成相对于其他燃料的竞争力,那么交通、建筑和电力部门都有使用氢能燃料的潜在需求,具有巨大的市场潜力<sup>[12-14]</sup>。图 1 展示了到 2050 年全球氢能的使用潜力和市场份额。为使氢能在本国经济和社会发展中创造更大的效益,各国均出台了相应的法律法规来建立自己的氢能市场,如澳大利亚为建立氢能市场准备颁布相应的氢能市场法规<sup>[7]</sup>。

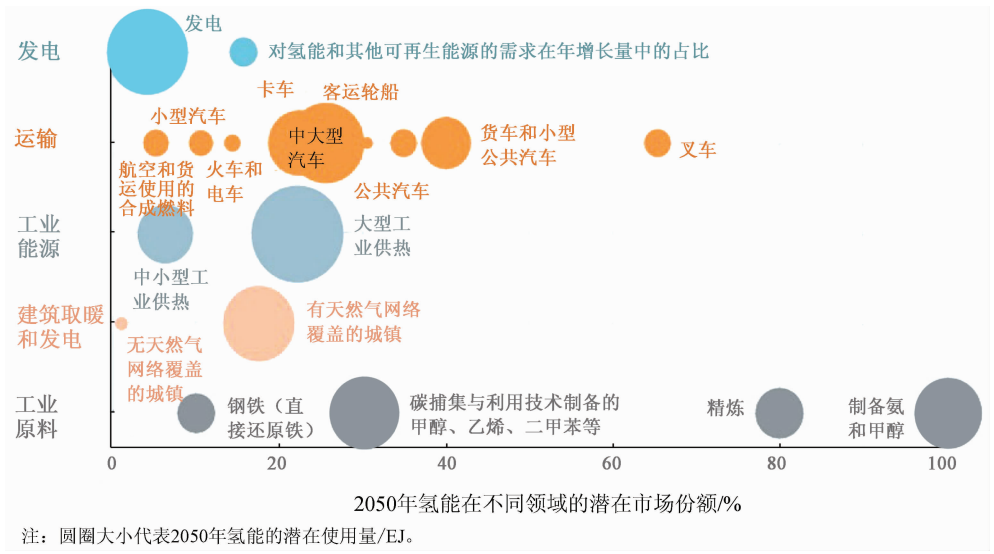


图 1 2050 年全球使用氢能的市场潜力<sup>[5]</sup>  
Fig. 1 Future global hydrogen market potential in 2050<sup>[5]</sup>

2 氢能的经济效益和社会效益

2.1 经济效益

氢能对经济产生的影响是巨大的,如当制氢技

术成熟后各个国家的氢能进出口贸易会直接影响国家的外汇收入。为了应对气候变化,各个国家势必要开展大规模的制氢活动,但限于每个国家的资源条件和社会发展水平,制氢的成本和需求均存在着较大差异<sup>[10]</sup>,这会形成巨大的经济增长

潜力。

制氢成本因地区而异。目前欧洲和日本的制氢成本较高且政策支持力度较大,有可能成为大量进口氢能的国家,而美国、加拿大、澳大利亚等国的制氢工艺成熟、成本较低,更有可能成为氢能出口大国<sup>[5-9]</sup>。中国对氢能有着巨大的需求,但目前的氢能产量还无法做到自给自足,加拿大自然资源部规划的本国未来氢能贸易网络中已将中国列为主要氢能贸易出口对象之一<sup>[6,15]</sup>。

氢能不仅能够为国家带来巨额的外汇收入,还可以保障国家内需,使经济平稳运行。现今氢能相关的工业规模大,有许多来源和用途。在能源方面,全球每年对氢能的需求总量约为 3.3 亿 t 石油当量,超过了德国的初级能源供应量<sup>[5, 8]</sup>。图 2 展

示了 2015 年美国各工业部门对氢能的需求概况,其中对商用氢能的年需求量因行业而异。商用氢能的生产者可以提供液态或气态的氢能产品,其中气态高压氢的运输距离相对较短,可通过管式拖车出售,亦可以气体形式通过管道运输或以液体形式通过船舶运输,这与液化天然气的运输方式非常相似<sup>[5]</sup>。与传统化石能源相比,氢能势必会带来巨大的经济收益。除了能源和运输领域,氢能经济将减少国家对化石能源的依赖,把握新兴的碳中和市场机会。例如:公共事业规模的氢能发电与能源储存,钢铁及高级合金制造,水泥、化肥、化工生产,船舶、铁路和重型运输车辆使用的燃料,可再生能源发电的各种电气应用。在这些行业中推广氢能可以产生巨大的经济效益<sup>[15]</sup>。

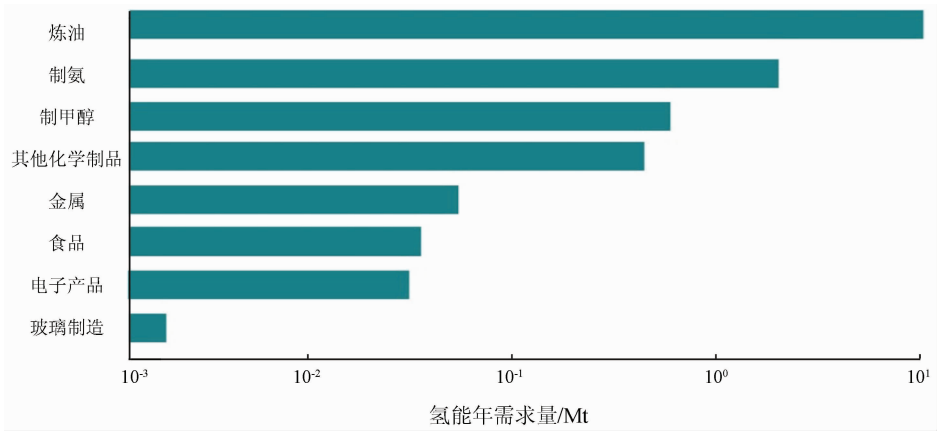


图 2 2015 年美国各工业部门的用氢需求<sup>[5]</sup>

Fig. 2 US industrial demand for hydrogen by different sectors in 2015<sup>[5]</sup>

2.2 社会效益

氢能的社会效益主要体现在对碳中和的贡献上,包括改善空气质量与居住环境、稳定气候变化等方面。大力推广氢能有助于缓解交通运输的能源需求紧张,促进社会和谐稳定发展。 $H_2$ 可以转化为  $CH_4$  与电力,为居民生活和工业发展提供动力,也可以转化为汽车、卡车、船舶和飞机的燃料,改变人们的出行方式<sup>[16]</sup>。

在推广氢能的过程中能够创造就业岗位,进而缓解就业问题带来的社会压力。另外氢能发电可以为社区家庭供暖,使取暖更低碳、更高效。在欧盟国家的家庭中,取暖和热水占能源使用的 79%,而目前用于供暖的能源主要为天然气。氢能提供了一个更高效的低碳替代品,并可以在已有的基础设施上运行,利用现有的气体传输网络即可用于电厂或家庭,部署和更新氢能设施的过程中还会带来

新的就业岗位。全球范围内,氢能产业正经历着前所未有的政治和商业势头,相关项目的数量也在迅速增加,这将对社会发展产生巨大的影响<sup>[17]</sup>。

3 氢能的制取路线

生产  $H_2$  的工业技术包括催化蒸汽重整(800 ~ 1 000  $^{\circ}C$ ),碳氢化合物(如天然气)或可再生燃料(如生物乙醇)的部分氧化(600 ~ 900  $^{\circ}C$ ),煤气化或煤与生物质、废塑料混合气化,电解水,热化学水裂解(约 900  $^{\circ}C$ )<sup>[5]</sup>。 $H_2$  的制取路线主要分为 2 大类:电解水制氢和通过化石燃料制氢<sup>[18-19]</sup>。化石燃料制氢是发达国家氢能的主要来源,占制氢总量的 90% 以上<sup>[5]</sup>。

3.1 电解水制氢

由于电解水制氢会消耗大量的水资源与电力,经济成本过高,因此发达国家一般不将电解水作为

主要的  $H_2$  生产方式,如美国只有 1% 的氢能是通过电解水生产的(图 3)。目前,澳大利亚、加拿大等国正在推广使用风能、太阳能等清洁能源发电,再将产生的电能用于电解水制氢,这种方法可以降低制氢成本。但风电站、太阳能电站需要建在海岸等水源充足的地区<sup>[5-7]</sup>,制氢的成本仍远高于化石燃料制氢。

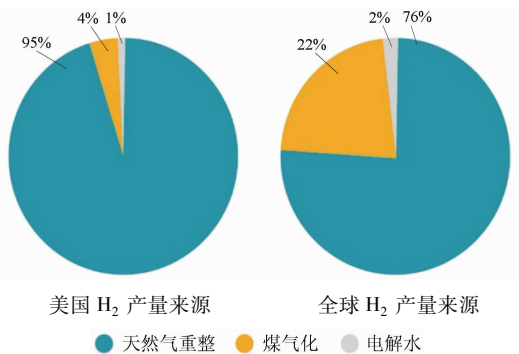


图 3 美国与全球氢能主要来源对比<sup>[5]</sup>

Fig. 3 Comparison of major sources of hydrogen energy between the US and the world

### 3.2 化石燃料制氢

目前,发达国家 90% 以上的  $H_2$  产量来自化石燃料,其中 95% 来自蒸汽甲烷重整 (Steam Methane Reforming, SMR) 工艺,4% 通过在煤气化过程中将天然气部分氧化制氢<sup>[5]</sup>。如美国每年生产超过 1 000 万 t 的  $H_2$  中约 60% 是在 SMR 氢生产设施中生产的,这已成为美国的主要氢能来源<sup>[5]</sup>。SMR 工艺是指天然气和水蒸汽在镍基催化剂上反应,将天然气中的  $CH_4$  分解为 CO 和  $H_2$ ,再进行水气变换反应,尽可能增加产物气体中的  $H_2$  含量<sup>[20-22]</sup>。

SMR 建立在已有的天然气管道输送基础设施上,是一种成熟的  $H_2$  生产技术,而我国作为产煤大国主要采用煤气化生产  $H_2$ <sup>[22]</sup>。SMR 和煤气化制氢的过程中都会排放大量  $CO_2$  (图 4),因此 2 种工艺都适合使用碳捕集与封存 (Carbon Capture and Storage, CCS) 技术或碳捕集、利用与封存 (Carbon Capture, Utilisation and Storage, CCUS) 技术减少碳排放(图 4)。煤气化和 SMR 工艺的成本在配备 CCS 或 CCUS 技术后仍然低于使用可再生能源电解水。配备 CCS 或 CCUS 技术的化石燃料制氢方法可实现  $CO_2$  捕集与减排的有机结合,增加清洁能源的使用效率,实现双赢。鉴于甲烷重整配备 CCS 技术具有巨大的经济优势,其在未来有机会成为成本最低的大规模制氢方法<sup>[23]</sup>。

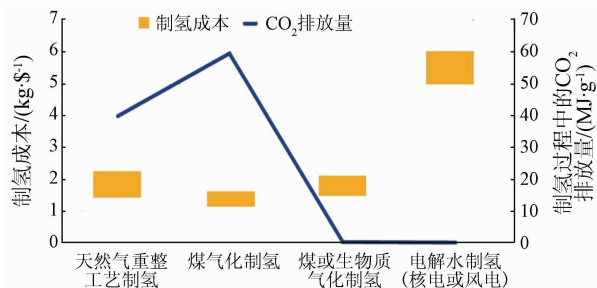


图 4 配备 CCS 的化石燃料制氢与电解水制氢成本 (美元) 对比<sup>[5]</sup>

Fig. 4 Cost comparison between fossil energy hydrogen production equipped with CCS and hydrogen production by electrolysis of water<sup>[5]</sup>

## 4 地质工作在发展氢能中的作用

地质工作在氢能战略中的作用主要体现在 3 个方面:一是勘探开发化石能源,保障制氢原材料的供给;二是要使用 CCS 技术封存制氢产生的  $CO_2$ ,需要对储层、盖层开展详细的地质勘查;三是在发展大规模地质储氢中发挥作用,如地下盐穴储氢、废弃油藏储层储氢等。

### 4.1 保证制氢原材料的充足供给

根据国际能源署的报告,到 2050 年化石燃料仍将是美国 (75%)、欧洲 (65%) 和日本 (85%) 的主要氢能来源<sup>[10, 23]</sup>。因此,加大对化石能源的勘探开发对保证充足的制氢原料尤为重要。由于我国天然气资源供需紧张<sup>[24]</sup>,仍需要大量进口天然气,将天然气用于制氢势必会增加制氢成本,因此通过天然气重整制氢并不适合我国,目前我国的主要制氢手段仍是煤气化<sup>[22]</sup>。

### 4.2 配备 CCS 技术制氢

如前文所述,SMR 和煤气化制氢的过程中会产生大量的  $CO_2$ ,此时便需要使用相关技术将  $CO_2$  封存起来,地质工作可以在这一环节大显身手。

目前地质封存  $CO_2$  的技术主要分为 3 类<sup>[22]</sup>:一是利用深部盐水层的构造封存  $CO_2$ ,使  $CO_2$  与深部盐水发生化学反应生成碳酸盐矿物,进而达到封存的目的;二是将液态  $CO_2$  注入到石油与天然气储层中进行驱油,在提高采收率的同时封存  $CO_2$ ;三是利用煤层封存  $CO_2$ ,继而提高煤层气的采收率。

将碳封存在地下,需要对地下储层的储集特性和盖层的完整性进行勘察与评价<sup>[1]</sup>。岩溶封存、海



洋封存等同样离不开系统的地质工作。全球 CCS 技术研究院的研究显示全球可通过 CCS 技术封存 CO<sub>2</sub> 的地质储量能够达到几十亿 t<sup>[25]</sup>。

4.3 地质储氢

氢能的广泛使用建立在有效的存储机制上。目前,H<sub>2</sub>通常以气体或液体的形式储存在小型的移动或固定容器中。一般来说,储罐更适合短期和小规模的氢能储存,而地质储存是大规模长期储存 H<sub>2</sub> 的最佳选择。盐穴、盐水含水层、枯竭的天然气藏或油藏都可以用于地质储氢,工程硬岩油藏也可以作为长期存储 H<sub>2</sub> 的目的层<sup>[26-27]</sup>。世界已有许多国家开展了针对 H<sub>2</sub> 的地下储存项目,但我国尚未开展 H<sub>2</sub> 地下存储方面的系统性研究。

5 从煤制氢到 CO<sub>2</sub> 驱油

我国是世界第一大油气进口国,石油、天然气自给能力不强,2020 年的对外依存度分别为 73% 和 43%<sup>[24]</sup>。而我国 2020 年一次能源生产总量达 40.8 亿 t 标准煤,同比增长 2.8%,原煤产量 39.0 亿 t,同比增长 1.4%<sup>[22]</sup>。目前我国已在大力开展煤制氢,拥有全球 80% 的煤气化炉,年产 H<sub>2</sub> 总量约 800 万 t,约占全球 H<sub>2</sub> 总量的 12%<sup>[13,15]</sup>。同时,我国东部油田目前普遍面临油气采收率低、水驱油效果无法提高采收率等问题,通过在储层中注入 CO<sub>2</sub> 可以显著提高驱油效率,提高油气采收率<sup>[28]</sup>。中国东部油田拥有 130 亿 t 的石油地质储量,适合 CO<sub>2</sub> 驱油,在增加 19.2 亿 t 可采储量的同时埋存 50 亿~60 亿 t 的 CO<sub>2</sub><sup>[29]</sup>。目前,中石化胜利油田、延长油田以及中石油大庆油田、吉林油田均已开展了 CO<sub>2</sub> 驱油与封存工作,并取得了初步的成果<sup>[30]</sup>。以延长油田为例,现每年封存 CO<sub>2</sub> 超过 10 万 t,提高采收率 8% 以上<sup>[31]</sup>。因此,我国现阶段应大力发展煤气化制氢并搭配 CCUS 技术,建立从煤制氢到 CO<sub>2</sub> 管道运输,再到 CO<sub>2</sub> 驱油与地质封存一体化的全产业链(图 5)。这样不仅可以

减少我国的燃煤使用,增加清洁能源使用率,降低 CO<sub>2</sub> 排放及运输成本,提高 CO<sub>2</sub> 利用效率,在增加我国原油产量的同时一并达到了封存 CO<sub>2</sub> 的目的,而且能够创造许多新的就业机会,实现经济和社会的双收益<sup>[32]</sup>。

6 结论

- (1) 氢能对碳中和具有重大意义,是减排和除碳的典范之选,世界主要发达国家均很重视。我国应出台氢能战略,推进并保障生态安全和能源安全。
- (2) 在推广氢能的同时,若配备 CCS 增加碳汇,减少碳排放,这会是地质工作可以发挥作用的重要领域。
- (3) 配备 CCS 或 CCUS 的煤气化制氢是我国今后要大力发展的技术手段,尤其是对制氢后开展碳捕集与封存的地质工作要进行系统性的配套研究。
- (4) 由于国外针对地质储氢尚处于先期工程项目试点阶段,而我国尚未开展相关研究,今后势必要加强在地质储氢方面的投入与研究。
- (5) 我国应大力发展从煤气化制氢到 CO<sub>2</sub> 管道运输,再到 CO<sub>2</sub> 驱油及地质封存的一体化产业链,实现经济和社会的双收益。

参考文献 (References) :

[1] 黄俊鑫,焦方太. 高质量发展下能源消耗与碳排放耦合性研究[J]. 生态经济,2021,37(7):22-27,34.  
Huang J X, Jiao F T. Research on the coupling relationship between energy consumption and carbon emission in view of high-quality development of economy[J]. Ecol Econ,2021,37(7):22-27,34.

[2] 殷伊琳. 我国氢能产业发展现状及展望[J]. 化学工业与工程,2021,38(4):78-83.  
Yin Y L. Present situation and prospect of hydrogen energy industry[J]. Chem Ind Eng,2021,38(4):78-83.

[3] 符冠云,熊华文. 日本、德国、美国氢能发展模式及其启示[J]. 宏观经济管理,2020(6):84-90.  
Fu G Y, Xiong H W. The development model of hydrogen energy in Japan, Germany and America and its enlightenment[J]. Macroecon Manag,2020(6):84-90.

[4] Bianco E, Blanco H. Green Hydrogen: A Guide to Policy Making[R]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020.

[5] United State Department of Energy, Office of Fossil Energy. Hydrogen Strategy Enabling a Low-carbon Economy[R]. Washing-

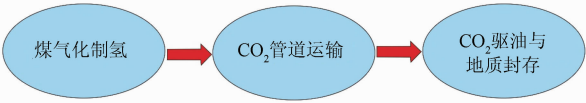


图 5 我国煤气化制氢、CO<sub>2</sub> 管道运输、CO<sub>2</sub> 驱油及地质封存产业链简图  
Fig. 5 Integrated industrial chain of hydrogen production by coal gasification, CO<sub>2</sub> pipeline transportation and CO<sub>2</sub> flooding and geological storage

- ton, DC; U. S. Department of Energy, 2020.
- [6] Natural Resources Canada. Hydrogen Strategy for Canada – seizing the Opportunities for Hydrogen [R]. Toronto: Natural Resources Canada, 2020.
  - [7] Department of Industry, Innovation and Science, Australia. Australia's National Hydrogen Strategy [R]. Sydney: COAG Energy Council Hydrogen Working Group, 2020.
  - [8] European Union. A Hydrogen Strategy for a Climate Neutral Europe [EB/OL]. (2020-07-08). [2021-6-20]. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/865942/EU\\_Hydrogen\\_Strategy.pdf](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/865942/EU_Hydrogen_Strategy.pdf).
  - [9] Pompili B, Le Maire B. National Strategy for the Development of Decarbonised and Renewable Hydrogen in France [R]. Paris: France governmene, 2020.
  - [10] IRENA. Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050 (2019 Edition) [R]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019.
  - [11] IRENA. Innovation Landscape Brief: Renewable Power – to – hydrogen [R]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019.
  - [12] International Energy Agency. World Energy Outlook 2018 [R]. Paris: International Energy Agency, 2018.
  - [13] 韩红梅, 杨铮, 王敏, 等. 我国氢气生产和利用现状及展望 [J]. 中国煤炭, 2021, 47(5): 59–63.  
Han H M, Yang Z, Wang M, et al. The current situation and prospect of hydrogen production and utilization in China [J]. China Coal, 2021, 47(5): 59–63.
  - [14] 中国电动汽车百人会. 中国氢能产业发展报告 2020 [R]. 2020.  
China EV100. China Hydrogen Energy Industry Development Report 2020 [R]. 2020.
  - [15] 中国氢能联盟. 中国氢能源及燃料电池产业白皮书 [R]. 2020.  
China Hydrogen Alliance. China Hydrogen Energy and Fuel Cell Industry White Paper [R]. 2020.
  - [16] He Wei, Dooner M, King M, et al. Techno – economic analysis of bulk – scale compressed air energy storage in power system decarbonisation [J]. Appl Energy, 2021, 282: 116097.
  - [17] Energy Transitions Commission. Better Energy, Greater Prosperity: Achievable Pathways to Low – carbon Energy Systems [R]. Energy Transitions Commission, 2017.
  - [18] 王奕然, 曾令志, 姜舒洁, 等. 天然气制氢技术研究进展 [J]. 石化技术与应用, 2019, 37(5): 361–366.  
Wang Y R, Zeng L Z, Lou S J, et al. Review of hydrogen production from natural gas [J]. Petrochem Technol Appl, 2019, 37(5): 361–366.
  - [19] Bazilian M, Bradshaw M, Goldthau A, et al. Model and manage the changing geopolitics of energy [J]. Nature, 2019, 569(7754): 29–31.
  - [20] 黄格省, 李锦山, 魏寿祥, 等. 化石原料制氢技术发展现状与经济性分析 [J]. 化工进展, 2019, 38(12): 5217–5224.
  - Huang G S, Li J S, Wei S X, et al. Status and economic analysis of hydrogen production technology from fossil raw materials [J]. Chem Ind Eng Progr, 2019, 38(12): 5217–5224.
  - [21] 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.  
Shen W, Yang W Y. Cost of hydrogen production from fossil energy and electrolyzed water considering carbon emissions [J]. Gas Heat, 2020, 40(3): 30–33.
  - [22] 张彩丽. 煤制氢与天然气制氢成本分析及发展建议 [J]. 石油炼制与化工, 2018, 49(1): 94–98.  
Zhang C L. Cost analysis and development suggestion for hydrogen production from coal and natural gas [J]. Petrol Proc Petrochem, 2018, 49(1): 94–98.
  - [23] 陆颖. 德欧氢能发展规划新动向 [J]. 科技中国, 2020(12): 99–104.  
Lu Y. The new trend of Germany – European hydrogen energy development planning [J]. Sci Technol China, 2020(12): 99–104.
  - [24] 杨宇, 何则. 中国海外油气依存现状、地缘风险与应对策略 [J]. 资源科学, 2020, 42(8): 1614–1629.  
Yang Y, He Z. China's overseas oil and gas dependence: Situation, geographical risks, and countermeasures [J]. Resour Sci, 2020, 42(8): 1614–1629.
  - [25] Global CCS Institute. Blue hydrogen [EB/OL]. (2021-04-13) [2021-6-20]. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/blue-hydrogen/>.
  - [26] 李建林, 李光辉, 马速良, 等. 氢能储运技术现状及其在电力系统中的典型应用 [J]. 现代电力, 2021, 38: 381–12.  
Li J L, Li G H, Ma S L, et al. An overview on hydrogen energy storage and transportation technology and its typical application in power system [J]. Modern Electric Power, 2021, 38: 381–12.
  - [27] 付盼, 罗森, 夏焱, 等. 氢气地下存储技术现状及难点研究 [J]. 中国井矿盐, 2020, 51(6): 19–23.  
Fu P, Luo M, Xia Y, et al. Research on status and difficulties of hydrogen underground storage technology [J]. China Well Rock Salt, 2020, 51(6): 19–23.
  - [28] 胡永乐, 郝明强, 陈国利, 等. 中国 CO<sub>2</sub> 驱油与埋存技术及实践 [J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(4): 716–727.  
Hu Y L, Hao M Q, Chen G L, et al. Technologies and practice of CO<sub>2</sub> flooding and sequestration in China [J]. Petrol Explorat Dev, 2019, 46(4): 716–727.
  - [29] 李阳. 低渗透油藏 CO<sub>2</sub> 驱提高采收率技术进展及展望 [J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(1): 1–10.  
Li Y. Technical advancement and prospect for CO<sub>2</sub> flooding enhanced oil recovery in low permeability reservoirs [J]. Petrol Geol Recov Efficiency, 2020, 27(1): 1–10.
  - [30] 李士伦, 汤勇, 侯承希. 注 CO<sub>2</sub> 提高采收率技术现状及发展趋势 [J]. 油气藏评价与开发, 2019, 9(3): 1–8.  
Li S L, Tang Y, Hou C X. Present situation and development trend of CO<sub>2</sub> injection enhanced oil recovery technology [J]. Reserv Eval Dev, 2019, 9(3): 1–8.
  - [31] 王维波, 汤瑞佳, 江绍静, 等. 延长石油煤化工 CO<sub>2</sub> 捕集、利用

与封存(CCUS)工程实践[J]. 非常规油气,2021,8(2):1-7.

Wang W B,Tang R J,Jiang S J,et al. The engineering practice of CO<sub>2</sub> capture,utilization and storage (CCUS) in coal chemical industry of Yanchang petroleum[J]. Unconventional Oil & Gas, 2011,8(2):1-7.

[32] 马冰,贾凌雪,于洋,等. 地球科学与碳中和:现状与发展方向[J]. 中国地质,48(2):347-358.

Ma B,Jia L X,Yu Y,et al. Geoscience and carbon neutralization: Current status and development direction[J]. Geology in China, 48(2):347-358.

Hydrogen energy development strategy and its  
important significance at home and abroad

WANG Pengfei, JIANG Chongxin, MA Bing  
(Geological Documentation Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to cope with global climate change, enrich energy supply approaches and achieve carbon neutrality, a majority of developed countries and regions around the world have formulated their own hydrogen energy strategies in 2020, and promoted the hydrogen energy industry development to the height of national energy strategies, aiming at achieving CO<sub>2</sub> emission reduction goals between 2030 and 2050. The authors in this paper have elaborated on the hydrogen energy development strategies in each country, the role of hydrogen energy development in solving energy security and ecological security, and the technical route of hydrogen energy production and the related economic and social benefits. Besides, the role of geological work in the deployment and implementation of national hydrogen energy strategy has also been described in detail: ① Exploration and exploitation of fossil energy sources such as natural gas and shale gas should be enhanced to ensure sufficient sources of raw materials for hydrogen production; ② It's necessary to explore the meservoir and caproct syin the carbonarg produce; ③ Large-scale geological storage of hydrogen, such as underground salt caverns and abandoned reservoirs storage of hydrogen, has also play an important role. According to the national conditions, China should strive to develop the integrated industrial chain from hydrogen production by coal gasification to CO<sub>2</sub> pipeline transportation, and then to CO<sub>2</sub> flooding and geological storage, to achieve both economic and social benefits, which would also provide some reference for promoting hydrogen energy development strategy.

**Keywords:** hydrogen energy; carbon neutrality; hydrogen production by coal; CO<sub>2</sub> oil recovery  
(责任编辑: 魏昊明,刁淑娟)