

基于自然资源属性的新能源评价

——以湖南省为例

彭文彪, 刘俊峰, 张艳军, 张飞庆, 刘虹

湖南省核地质调查所, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年6月6日; 录用日期: 2022年7月7日; 发布日期: 2022年7月14日

摘要

2020年湖南省能源消费总量为 4.69×10^{18} J, 约占全国的3.2%, 化石能源占一次能源比重达85%, 煤炭占比为58%; 新能源消费量 0.06048×10^{18} J, 约占全国0.8%; 能源活动CO₂排放量约为 298×10^6 t。湖南省能源对外依存度高, 高碳化严重, 结构存在缺陷。能源体系脱碳是“双碳目标”必经之路, 绿氢是能源转型的最有前途的革命性的新能源。可再生能源转化为氢能, 形同氢矿开采, 绿氢是氢矿的根本。氢矿作为自然资源, 有限性特点显著。经过评价, 2020年湖南省氢矿资源量为 42.3×10^4 t·a⁻¹, 氢矿探明地质储量为 36.8×10^4 t·a⁻¹, 至2025年氢矿资源量为 89.2×10^4 t·a⁻¹, 氢矿探明地质储量为 77.7×10^4 t·a⁻¹, 氢矿资源储量约占全国的0.8%。湖南省新能源和氢能产业格局存在短板, 但发展空间巨大, 未来可期。把可再生的新能源视为氢矿来进行管理, 可更好地促进能源变革的顶层设计以及资源、能源的最优配置, 为能源、资源的可持续利用和有效保护提供依据, 现实意义重大。

关键词

可再生能源, 新能源, 绿氢, 氢矿, 储量估算

New Energy Evaluation Based on Natural Resource Attributes

—A Case Study of Hunan Province

Wenbiao Peng, Junfeng Liu, Yanjun Zhang, Feiqing Zhang, Hong Liu

Hunan Institute of Nuclear Geological Survey, Changsha Hunan

Received: Jun. 6th, 2022; accepted: Jul. 7th, 2022; published: Jul. 14th, 2022

Abstract

In 2020, the total energy consumption in Hunan Province was 4.69×10^{18} J, accounting for about

3.2% of the national total energy consumption. Fossil energy accounted for up to 85% of primary energy; and coal accounted for 58%. The new energy consumption was 0.06048×10^{18} J, accounting for about 0.8% of the national new energy consumption. The CO₂ emissions from energy activities were approximately 298×10^6 t. Hunan Province is highly dependent on external energy. The high carbonization of energy is serious; and the energy structure is defective. Decarbonization of the energy system is the only way which must be passed for achieving “carbon peaking and carbon neutrality”, while green hydrogen is the most promising revolutionary new energy in energy transformation. Converting renewable energy into hydrogen energy likes hydrogen mining; green hydrogen is the root of hydrogen ore. Hydrogen ore, as a natural resource, is significantly limited. As evaluated, in 2020, the hydrogen ore resources in Hunan Province was 42.3×10^4 t·a⁻¹; the proved geological reserves of hydrogen ore was 36.8×10^4 t·a⁻¹. To 2025, the hydrogen ore resources will reach 89.2×10^4 t·a⁻¹; and the proved geological reserves of hydrogen ore will be 77.7×10^4 t·a⁻¹. The hydrogen ore reserves accounts for about 0.8% of the national hydrogen ore reserves. The new energy and hydrogen energy industry pattern in Hunan Province has shortcomings. However, it has a huge space for development and is promising. Managing renewable new energy as a hydrogen mine can better promote the top-level design of energy reform and the optimal allocation of resources and energy and provide a basis for sustainable utilization and effective protection of energy and resources, and is of great practical significance.

Keywords

Renewable Energy, New Energy, Green Hydrogen, Hydrogen Reservoir, Reserve Estimation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

依赖于新技术和新材料，对太阳能、风能、生物质能、潮汐能、地热能、氢能和核能等类型的可再生能源加以开发利用，形成的能源也是新能源。新能源的显著特点是不含碳或含碳量很少，对环境影响小，分布广，可循环利用，是清洁能源和未来能源的方向，也是新一轮科技革命和产业变革竞争制高点。其中的氢能是一种极高能量密度与质量比值的能源，是最洁净的二次能源和最理想的可再生能源载体。随着绿氢制造、运输、储能等技术的革新，可再生能源(含绿氢)将掀起能源变革的新高潮，可为后疫情时代的经济和绿色复苏注入新动能。

全球有 134 个国家已设定了在本世纪中叶前后实现碳中和[1] [2]。2020 年 9 月 22 日以后，我国多次作出“双碳”目标的宣示，开启了碳中和之门。2021 年 10 月 24 日，中共中央、国务院发布了《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》(中发〔2021〕36 号)(以下简称《意见》)和《2030 年前碳达峰行动方案》(国发〔2021〕23 号)(以下简称《方案》)，我国实质上踏上了到 2050 年全球变暖限制在 1.5℃ 的征程。2022 年 3 月，国家发展改革委、国家能源局陆续发布了“双碳”目标“1+N”政策体系中的《“十四五”新型储能发展实施方案》(发改能源〔2022〕209 号)、《“十四五”现代能源体系规划》(发改能源〔2022〕210 号) [3]和《氢能产业发展中长期规划(2021~2035 年)》[4]，为“十四五”及后期推动能源变革，构建清洁低碳安全高效能源体系、实现双碳目标规划了方向和路径。

非化石能源和新能源的大力开发利用是“双碳”目标必经之路。可再生能源在现有经济技术条件下可以转化为氢能，这一过程形同开采氢矿，作为矿产品的氢能像其它矿产品一样可以储存和再利用，这

中间,氢矿很好地粘合了能源和资源。而自然资源的有限性特点显著,其规模和容量有一定限度。如何评价氢矿资源储量,值得探讨。

2. 湖南省新能源发展

2.1. 能源消费及结构

能源是经济社会发展的重要物质基础,也是目前碳排放的最主要来源。

根据 BP 世界能源回顾 2021 [5]资料,2020 年中国能源消费总量 145.46×10^{18} J, 占全球能源消费总量的 26.1%, 同比增长 2.1%, 比北美、欧洲地区消费总量均高。

湖南省深居内陆,能源禀赋先天性不足,缺煤无油少气不适宜核电,又处于能源输送末端,能源对外依存度超过 80%。

《湖南省能源发展报告 2020》[6]显示:2020 年消费的化石能源中煤碳 0.117×10^9 t; 成品油 13.30×10^6 t; 天然气 3.84×10^9 m³, 三项合计折合标准煤为 0.107×10^9 tce; 全社会用电总量 192.9×10^{12} W·h; 其中一次能源生产总量为 2.303×10^6 tce。

全省能源消费总量为 0.16×10^9 tce, 合 4.69×10^{18} J, 约占全国 3.2% (图 1)。

以上数据表明,化石能源占一次能源比重达 85%, 煤炭占比为 58%, 湖南省对高碳化能源依赖严重。



Figure 1. Comparison chart of global, China and Hunan energy consumption in 2020

图 1. 2020 年全球、中国、湖南省能源消费对比图

2.2. 新能源发展

2020 年湖南省新能源装机量为 11.44×10^9 W (表 1), 风能和太阳能(PV)装机量同比增长分别为 56.7% 和 13.6%, 是 2015 年 4.43 倍和 23.0 倍; 生物质能(2015 年以后才开始发展)装机同比增长 6.5%, 新能源发展势头较好。

包括风能、太阳能和生物质能在内的新能源发电总量为 16.8×10^{12} W·h, 占全省发电量的 10.7%。

湖南省地热能有浅层地热、中深层水热型地热和深层(干热岩)地热 3 种类型。浅层地热主要用于供暖(制冷), 主要有地下水地源热泵、地理管式地源热泵、地表水水源热泵和污水水源热泵系统等 4 类; 中深层(水热)地热主要用于洗浴和供暖, 有温水、温热水和热水等 3 类; 深层(干热岩)地热能目前尚难以利用。浅层地热年可利用热量相当于 0.431×10^{15} J; 水热型地热年可利用热量相当于 0.001×10^{15} J; 干热岩年可利用热量相当于 0.695×10^{15} J, 以上合计年可利用热量为 1.127×10^{15} J, 合 0.384×10^9 tce [7]。

新能源中风能占 58.9%；生物质能占 23.2%；太阳能占 17.9%；地热能占 1.8% (图 2)。

包括风能、太阳能、生物质能和地热在内的全省新能源消费量 $0.06048 \times 10^{18} \text{ J}$ (图 3)，约占全国 0.8%，与湖南省经济社会发展水平(GDP 排第 9，人口排第 7)不相适应，差距明显。

Table 1. New energy installed capacity and power generation growth in Hunan Province in 2020

表 1. 湖南省 2020 年新能源装机量与发电量增长表

新能源类型	2020 年装机量	同比增长率	2015 年装机量	增长率	发电量	能源消费量
	10^9 W	%	10^9 W	%	$(10^{12} \text{ W}\cdot\text{h})$	(10^{18} J)
风能	6.69	56.7	1.51	443.0	9.9	0.03564
太阳能(PV)	3.91	13.6	0.17	2300.0	3.0	0.0108
生物质	0.84	6.5	/		3.9	0.01404
合计	11.44				16.8	0.06048

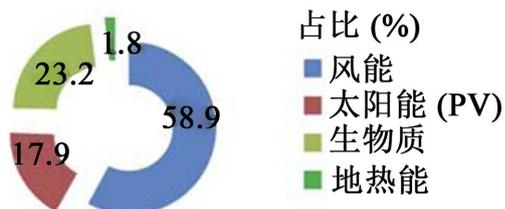


Figure 2. Comparison of new energy consumption types in Hunan Province in 2020

图 2. 2020 年湖南省新能源消费类型对比图



Figure 3. Comparison of new energy consumption in the world, China and Hunan Province in 2020

图 3. 2020 年全球、中国、湖南省新能源消费对比图

2.3. 碳排放

能源领域碳排放是全社会碳排放的重要组成部分。2020 年中国能源活动 CO_2 排放量为 $9.8993 \times 10^6 \text{ t}$ ，是全球碳排放最多的国家，占全球 CO_2 排放量的 30.7%，在全球大部分地区下降趋势下，同比仍然增长 0.6%，比北美和欧洲地区 CO_2 排放量之和还要高(图 4)。

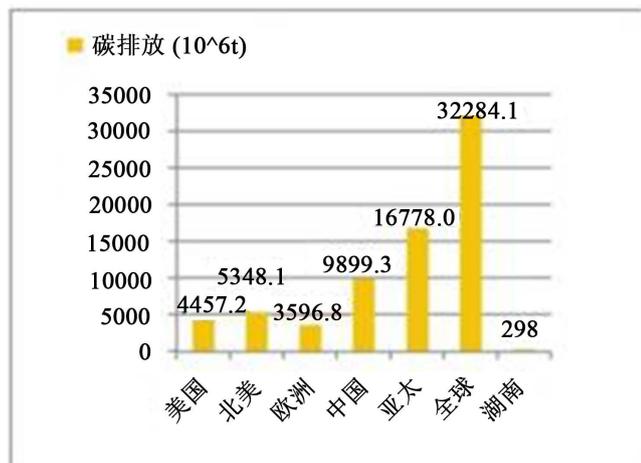


Figure 4. Comparison of global carbon emissions, China and Hunan Province in 2020

图 4. 2020 年全球、中国、湖南省碳排放量对比图

报告显示, 2020 年湖南省能源活动 CO₂ 排放量约为 298 × 10⁶ t。其中, 煤炭 CO₂ 排放量占比最高, 达 78%; 石油 CO₂ 排放量占比居中, 为 19%; 天然气 CO₂ 排放量占比最低, 仅为 3%。湖南省能源活动 CO₂ 排放量占全国的 3.0%。

2.4. “十四五” 新能源展望

“十四五” 是碳达峰的关键期、窗口期。根据《“十四五” 现代能源体系规划》, 全国到 2025 年, 非化石能源消费比重有望提高到 20% 左右。

同期, 湖南省电力装机 80.0 × 10⁹ W, 新能源装机占比 33%, 其中风电 12.0 × 10⁹ W; 光伏 13.0 × 10⁹ W; 生物质能 1.5 × 10⁹ W。风电、光伏将成为湖南省主流能源, 成为“十四五” 期间能源消费增量主体。按照新能源装机量增长率估算, 至 2025 年, 风电发电量 17.8 × 10¹² W·h; 光伏发电量 10.0 × 10¹² W·h; 生物质发电量 7.0 × 10¹² W·h。加上地热能(浅层地热能若增长 5 倍), 全省新能源消费总量估算为 0.12761 × 10¹⁸ J。主要措施包括积极有序发展新能源, 推动抽水蓄能发电, 促进风电、光电与储能融合, 开展浅层地热能集中供能试点, 推动能源与科技融合发展等。

3. “双碳” 目标必经之路

根据世界资源研究所(WRI)发布的报告[8], 全球共有 79 个国家的碳排放 2010 年及以前就实现了达峰(德国、俄罗斯、法国、英国、巴西、澳大利亚、加拿大、意大利、美国等), 根据各国的达峰承诺, 还有 4 个国家(日本、韩国、马尔他和新西兰)碳排放在 2020 年前达到峰值, 另外 4 个国家(中国、新加坡、马绍尔群岛和墨西哥)预计在 2030 年前达到峰值。

政府间气候变化专门委员会(IPCC)关于到 2050 年将全球变暖限制在 1.5℃ 的时间表表明: 到 2030 年 CO₂ 排放由 2010 年的水平(33615.4 t)下降 45% (15127.0 t), 到 2050 年达到净零排放。

根据国际可再生能源机构(IRENA)报告[9], 可再生能源和能效技术主导全球新增发电能力市场, 达成共识的是以可再生能源和能效技术为基础的能源转型是到 2050 年全球变暖限制在 1.5℃ 的唯一途径。

IRENA 的分析表明, 脱碳贯穿于整个能源转型的解决方案, 主要途径包括(括号内为碳减排贡献率): 终端电气化(20%)、能源效率(25%)、绿氢(10%)、生物能与其他碳捕获与储存(BECCS)相结合(14%)、碳捕获(CCS)与碳储存(CCU) (6%)以及可再生能源(25%)。2050 年的情景表明, 电力将成为主要的能源载体,

占终端能源消费总量的 50%以上, 全球电力消费将达到 $49,275 \times 10^{12} \text{ W}\cdot\text{h}\cdot\text{a}^{-1}$, 可再生能源占总电力供应的 90%, 绿氢及其衍生物将占最终能源使用量的 12%。

中国“双碳”目标必经之路也不外乎脱碳, 湖南省也如此。只不过中国推动能源转型的路径更加精确化、体系化。“双碳”目标“1+N”政策体系进一步完善, 行动方向更加清晰。“1+N”政策体系主要量化指标为非化石能源消费比重, 此外还有非化石能源发电比重、绿氢年产量和 CO_2 排放量等, 明确了要建立清洁低碳安全高效的现代能源体系, 指明了电力和氢能是现代能源的重要载体, 大力发展新型储能, 推动能源生产消费方式绿色低碳变革。

落基山研究所&能源转型委员会的研究报告[10], 设定了一个与 2050 年完成中国电力部门脱碳相一致的 2030 情景: 非化石燃料发电占比达到 53% (表 2), 高于“1+N”政策体系的设定, 更加乐观。

与“1+N”政策体系指标基本相当的预测包括: 国务院发展研究中心资源与环境政策研究所的报告[11]对能源革命十年展望(2021~2030) (到 2025 年非化石能源和天然气等清洁能源消费比重 $\geq 30\%$, 2030 年非化石能源和天然气等清洁能源消费比重 $\geq 40\%$)和中国社会科学院工业经济研究所与社会科学文献出版社 2022 年 4 月 10 日共同发布的《能源蓝皮书: 中国能源发展前沿报告(2021)》(到 2025 年非化石能源发电量比重约为 38%, 非化石能源发电装机占比将达到 52%)。

Table 2. Comparative analysis of China's "dual carbon" target and its realization path

表 2. 中国“双碳”目标及实现路径比较分析表

目标时段	主要指标	意见与方案	资料[3]	资料[10]	资料[11]	资料[4]
2025	非化石能源 消费比重	$\geq 20\%$	20%	/	$\geq 30\%$ (含天然气)	绿氢 $10\sim 20 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$
2030		$\geq 25\%$	25%	$\geq 53\%$	$\geq 40\%$ (含天然气)	/
2060		$\geq 80\%$	/	/	/	/

归根到底, 非化石能源消费比重和新能源发电比不断提升是“双碳”目标必经之路, 按照“1+N”政策体系的设定指标走下去, 可以实现可再生能源发电成为主体电源、新型电力系统建设取得实质性成效和碳排放总量达峰后稳中有降。

4. 新能源评价

4.1. 氢能与氢矿

氢气可以通过氢燃料电池或燃气轮机可转化为电能和热能, 是高能量密度的能源载体; 同时氢气也是重要的化工原料和还原气体, 被广泛应用于各个领域。

氢在物理与化学变化过程中释放的能量, 称为氢能, 作为能源(载体), 氢能主要利用其化学能。氢能在 21 世纪有可能在世界能源舞台上成为一种举足轻重的二次能源, 和电力一样, 都是现代能源的重要来源和载体, 氢能可通过一定的方法利用其它能源制取的, 而不像煤、石油、天然气可以直接开采。

根据氢能生产来源和生产过程中的碳排放情况, 可将氢分为灰氢(通过化石燃料燃烧产生的氢气)、蓝氢(制氢过程中增加 CCUS 碳捕捉、利用与储存技术产生的氢气)、绿氢(利用新能源制备出的氢气, 制氢过程完全没有碳排放), 其中的绿氢是最有前途的革命性的新能源。

根据国际能源署(IEA)的资料, 2020 年全球氢产量约为 $7000 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ [12] (其中: 灰氢占 23%; 蓝氢 75%; 绿氢 2%)。2020 年中国氢产量为 $3342 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ [13] (其中: 灰氢占 63.54%; 蓝氢 34.94%; 绿氢 1.52%)。IEA 预计, 按照可持续发展路线, 2040 年全球“绿氢和蓝氢”的需求将达 $7500 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

中国氢能源及燃料电池产业创新战略联盟预测和相关研究资料[13] [14], 在 2030 年(碳达峰情景下),

我国氢气的需求量将达到 $3715 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ ，在终端能源消费需求中占比约为 5%，到 2050 年氢气需求量将达到 $9690 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ (绿氢占比 15%)；在 2060 年(碳中和情景下)，我国氢气的需求量将增至 $13,000 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 左右(绿氢占比 76%)，在终端能源消费需求中占比约为 20%。

按照定义，矿物是指自然元素的单质和他们的化合物。氢的分布广泛，是地球的重要组成元素，按原子百分数计算，则占 17%，但自然界几乎没有单质纯氢存在，其地壳质量丰度为 0.14%，常见的含氢化合物主要有：水、石油、天然气、硫化氢、氨等。习惯上把江、河、湖、海的水体称为氢矿。从化合物中分离氢(氧化还原、化学重整、电解、光解、制氢 + CCUS 和生物等)无一例外都需要能源消耗。因此可用能源量来衡量氢矿生产能力，反之也可用氢矿储量来评价能源潜力。实际上，真正的氢矿为生产氢气的能源，绿氢才是氢矿的根本。

4.2. 评价体系

自然资源(包括矿产资源与能源)评价体系通常包括地质、经济、环境影响和社会影响评价。

地质评价：主要内容为矿产资源的数量和质量、开发利用的技术条件等的评价，是资源评价的基础和开发利用的重要决策依据。

经济评价：在地质评价基础上，主要内容为工业意义和经济效益评价，论证开发利用的经济可行性。

环境影响评价：主要分析资源开发利用各种有益和有害的因素，评价资源开发利用对生态环境的综合影响。

社会影响评价：主要分析资源开发利用对社会经济发展、资源供给、就业和环境问题带来的影响，评价资源开发利用对社会环境的综合影响。

就整个评价体系而言，落脚点在于地质评价，是本文探讨的重点。

4.3. 评价方法

4.3.1. 油气资源储量的基本概念

国际行业(SPE、WPC、AAPG 及 SPEE)规范 SPE-PRMS 和美国证券交易委员会 SEC 准则基本相似[15][16]，都将常规油气资源(油页岩、沥青、天然气水合物等非常规油气资源也可适用)储量分为三级，即：证实的储量(P1)、概算的储量(P2)和可能的储量(P3)。

《油气矿产资源储量分类》(GB/T19492-2020)，油气矿产资源分为地质储量和资源量两类，其中地质储量分为探明地质储量(探明技术可采储量、探明经济可采储量和剩余探明经济可采储量)、控制地质储量(控制技术可采储量、控制经济可采储量和剩余控制经济可采储量)和预测地质储量。

证实的储量和探明地质储量大体上一致，属于储量；其余的均为资源量。不管何种资源储量，均建立在地质可靠程度和开采技术经济条件的基础上，地质可靠程度越高、开采技术经济可行性越高，资源储量级别越高。

4.3.2. 氢矿开采技术经济条件

氢矿相当于气藏，与油气资源一样，既是自然资源，也是能源或现代能源的重要载体。氢矿是联系一次能源(化石能源、可再生能源)和能源终端用户的纽带。换句话说，氢矿更像一种粘合剂，本质上，它已经连结了能源和资源。

电解水制氢主要有四种技术路线[13][17]：碱性水电解槽(ALK)、质子交换膜水电解槽(PEM)、固体氧化物水电解槽(SOEC)和阴离子交换膜(AEM)。目前已有市场应用的主要为前二者，其中碱性水电解槽(ALK)国内较为成熟，技术成本低于国外水平。

根据索比光伏网的资料[18]，化石燃料制氢的成本较低(煤炭、天然气和石油制氢工业成本 10~15 元/kg)

与资料[19]基本一致(煤制氢和天然气制氢工业成本分别为 6.1~9.2 元/kg 和 8.9~19.4 元/kg), 而电解水制氢成本按低谷电(电价 0.3 元/kW·h)、大工业用电(电价 0.6 元/kW·h)和可再生能源弃电(电价 0.1 元/kW·h)分别为 20~22 元/kg、35~38 元/kg 和 10 元/kg。相比之下, 低谷电制氢成本价仍高于化石燃料制氢, 只有弃电制氢成本价低于或接近化石燃料制氢。可见, 绿氢成本下降驱动力主要在于规模化生产以及可再生能源电力成本降低。

理论上, 电解水制氢(298.15 K, 101.325 kPa), 电压 1.23 V, 产生 1 m³ 氢气需要最小电能消耗 2.95 kW·h [20], 即生产 1 kg 氢气耗电量 35.83 kW·h。实际上, 由于制氢效率的影响, 氢气转换率约 2.6~5.5 kW·h·Nm⁻³ [20] [21] [22] [23] 或 28.9~61.2 kW·h·kg⁻¹, 也有资料[24]认为氢气转换率为 56 kW·h·kg⁻¹。综合分析, 电解效率中间值取 75.5%; 氢气转换率取 4.1 kW·h·Nm⁻³ (表 3)。

Table 3. Comparison of performance indexes of typical electrolytic cells

表 3. 典型电解槽性能指标对比表

指标	碱性水 ALK	质子交换膜 PEM	固体氧化物 SOEC	中间值
电解质	KOH	固体聚合物 SPE	Y ₂ O ₃ /ZrO ₂	/
工作温度(°C)	70~90	70~80	700~1000	/
电流密度(A·cm ⁻²)	1~2	0.2~0.4	1~10	/
电解效率(%)	51~75	70~90	85~100	75.5
氢气转换率(kW·h·Nm ⁻³)	4.5~5.5	3.8~5.0	2.6~3.6	4.1

随着制氢和储氢技术发展的日新月异, 可再生能源制氢, 技术和经济变得越来越可行。汇丰银行前海证券发布了《China Green Hydrogen Ready for Prime Time》报告, 从外资研究机构的眼光分析了中国绿氢的发展[24], 报告认为, 电解槽成本即将显著下降和下一代太阳能电池技术(如异质结(HJT))的投用, 到 2024 年也可能进一步降低光伏发电成本, 绿氢成本的下降将使电解槽市场拐点临近。通过对绿氢规模的预测, 该报告得出了 2027 年电解槽总装机量将达到 120 × 10⁹ W 的结论。到 2025 年, 绿氢的平均热量成本(LCOH)将下降 38%, 下降幅度的 54%来自光伏电力 LCOH 的下降, 38%来自电解槽系统成本的下降。2022~2027 年间平均装机量达到 20 × 10⁹ W, 年均市场规模达到 255 × 10⁴ t 的绿色氢气, 占氢气总需求 7%。

氢云链数据库[25]显示了国内氢能和绿氢的热度。2022 年一季度新开工和开标的氢气项目超过了 40 项, 总产能超过了 70 × 10⁴ t·a⁻¹。在用于氢能应用的新增氢气产能中, 山西(5 × 10⁴ t)、广东和山东位居前三; 西部地区的绿氢产能占比达到了 80.68%, 产能主要集中在新疆(2 × 10⁴ t)、内蒙古和宁夏, 沿海地区的绿氢项目开展相对缓慢, 更依赖灰氢和蓝氢。

4.3.3. 评价指标

作为新能源的可再生能源资源总量无限, 但实际的开发利用量除了受技术制约外, 还受到市场引导。其成本、价格、资源使用费等市场参数对资源的利用也有指标作用。

参照《油气矿产资源储量分类》(GB/T19492-2020), 评价指标: 资源量和探明地质储量。

资源量: 相当于氢当量热值。

探明地质储量: 即现有技术 and 经济条件下可开采的氢矿量, 相当于氢等价热值。

4.3.4. 评价参数

评价需引用下列参数。

氢气密 ρ : 常数, 为 0.08988 kg·Nm⁻³ (273.15 K, 101.325 kPa)。

氢能量密度 ρ_e : 常数, 为 $143 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

氢气转换率 ER : 采用中间值, 为 $4.1 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{Nm}^{-3}$ 。

电解效率 η : 采用中间值, 为 75.5% 。

4.3.5. 算式

资源量计算公式:

$$W_{H_2} = E \times 10^{-9} / \rho_e \quad (1)$$

式(1)中:

W_{H_2} 氢矿资源量($\times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$);

E 新能源年消费量($\times 10^{18} \text{ J}\cdot\text{a}^{-1}$);

ρ_e 氢能量密度($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)。

探明地质储量计算公式:

$$WPR_{H_2} = E \times \rho \times 10^{-9} / 3.6 \times ER \quad (2)$$

式(2)中:

WPR_{H_2} 探明氢矿地质储量($\times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$);

E 新能源年消费量($\times 10^{18} \text{ J}\cdot\text{a}^{-1}$);

ER 氢气转化率($\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{Nm}^{-3}$);

ρ 氢气密度($\text{kg}\cdot\text{Nm}^{-3}$)。

或

$$WPR_{H_2} = E \times \eta \times 10^{-10} / \rho_e \quad (3)$$

式(3)中: WPR_{H_2} 探明氢矿地质储量($\times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$);

E 新能源年消费量($\times 10^{18} \text{ J}\cdot\text{a}^{-1}$);

η 电解效率(%)。

4.4. 评价结果与分析讨论

4.4.1. 评价结果

根据式(1)、(2)和(3), 计算的结果见表 4。

Table 4. Calculation table of hydrogen mineral resources and reserves in Hunan Province

表 4. 湖南省氢矿资源储量计算表

资源储量类别		湖南省		全国
		2020 年	2025 年	2020 年
资源量	W_{H_2}	42.3	89.2	5450
探明地质储量(式(2))	WPR_{H_2}	36.8	77.7	4740
探明地质储量(式(3))		31.9	67.4	4110

探明地质储量可采用式(2)和式(3)分别计算, 采用式(3)的值比式(2)小。由于电解效率区间值大, 中间值可能偏大, 计算值(WPR_{H_2})偏小, 推荐用式(2)的值(WPR_{H_2})。

2020 年全国氢矿资源量为 $5450 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 氢矿探明地质储量为 $4770 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。计算的 W_{H_2} 和 WPR_{H_2}

值与全国氢产量($3342 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)为同一数量级。水电未纳入可再生能源, 计算结果反映了可再生能源制氢潜力和能力。

2021年黄宣旭[23]在考虑包括水电在内的可再生能源基础上估算的氢矿资源量为 $36,350 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 高出计算的 W_{H2} 和 WPR_{H2} 值近 1 个数量级, 主要反映了可再生能源制氢潜力。

2020年湖南省氢矿资源量为 $42.3 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 氢矿探明地质储量为 $36.8 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 至 2025 年氢矿资源量为 $89.2 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 氢矿探明地质储量为 $77.7 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。计算结果表明, 湖南省可再生能源制氢能力(潜力)仅为全国的 0.8%。湖南省“十三五”期间新能源增长迅速, 发展势头较好, 但总量较小。

4.4.2. 分析讨论

用氢当量热值和氢等价热值来评价氢矿的资源储量, 可以反映可再生的新能源制氢能力或潜力, 从一个侧面体现了新能源发展的强度。一直以来, 能源统计采用的标准煤来核算。现代能源体系里化石能源的戏分正在不断减少, 去碳、低碳化形成了潮流。如果有一天, 采用氢能来核算所有能源, 那将标志着一个全新的氢时代的到来。

根据氢云链的数据[26], 2021年建成投产的宝丰能源宁夏国家级太阳能电解水制氢综合示范项目(产能 $1.4 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)单台产能($1000 \text{ Nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$)和最大能力($2 \times 10^4 \text{ Nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$)是当时全球最大的绿氢工厂, 在建的新疆库车绿氢示范项目(产能 $2.0 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)单台产能($1000 \text{ Nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$)和最大能力($5.2 \times 10^4 \text{ Nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$)有可能成为绿氢新贵, 将于 2023 年 6 月建成投产。

目前, 湖南省制氢主要是蓝氢(岳阳和株洲), 氢能产品制造主要是燃料电池汽车, 氢能产业处于起步阶段。2020年起, 岳阳、株洲等 13 个地(州)市先后发布了氢能城市、氢能规划, 2021 年 12 月 27 日全省首座加氢站($500 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$)云港路加氢站在岳阳投营, 标志着全省进入氢时代。在建的岳阳枫桥湖加氢站和五凌电力汉兴株洲油氢电综合智慧能源站可能在本年度投营。2022 年 4 月 14 日, 湖南省发改委印发了《关于全省“十四五”风电、光伏发电项目开发建设有关事项的通知》强调了力争做到在“十四五”期间具备开发建设条件的风电、光伏发电项目应开尽开。在各方面利好的趋使下, 预计在省内可以形成氢燃料电池汽车“3(长株潭)+5(衡岳常益娄)”示范城市群, 新能源、氢能产业可以驶上快速车道。

氢云链[27]还报告了国内自 2020 年以来, 氢能产业政策关注方向逐渐从车端向氢端转移, 制氢(绿电+绿氢)成为了主旋律。内蒙古、山西、甘肃、吉林等地区为光伏制氢示范项目地区建设速度明显加速, 以内蒙古为代表, 2021 年 8 月份就优选了 7 个风光制氢示范项目(鄂尔多斯市 5 个, 包头市 2 个), 规划有光伏发电建设总规模 $1.85 \times 10^{12} \text{ W}$, 电解水制氢 $6.69 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

2020 年和 2025 年湖南氢矿探明地质储量规模, 分别相当于约 18 个和 39 个新疆库车绿氢项目。横向对比, 湖南省新能源和氢能产业格局均存在明显短板(尚处于蓝氢时代和发展初始阶段、新能源产业规模小、氢能产业尚处车端), 但发展空间巨大, 新能源或氢能产业大有可为。

5. 结论

新能源是能源转型的核心, 氢能是现代能源的重要载体, 氢能产业发展迅速, 氢能开发与利用正在引发深刻的能源革命。

可再生能源转化为氢能, 形同氢矿开采, 氢矿是联系一次能源和能源终端用户的纽带。氢矿作为自然资源, 有限性特点显著, 可以用氢当量热值和等价热值来评价氢矿的资源储量。

把可再生能源视为氢矿来进行管理, 可以促进能源变革的顶层设计以及资源、能源的最优配置, 为能源、资源的可持续利用和有效保护提供依据, 现实意义重大。

湖南省“十三五”期间新能源增长迅速, 但氢矿资源储量总体较小, 新能源和氢能产业格局存在短板, 但发展空间巨大, 新能源和氢能产业大有可为, 未来可期。只要坚持国家“1+N”政策体系的设定

目标, 搭建好新能源和氢能舞台, 因地制宜推动绿色低碳可持续发展, 为碳达峰碳中和贡献力量, 就可以实现绿色湖南、美丽湖南的愿景。

基金项目

本论文受湖南省地质院科技项目支持(编号 HNGSTP202108、HNGSTP202207)。

参考文献

- [1] 鲁成钢, 莫菲菲, 陈坤. 主要国家碳达峰、碳中和比较分析[J]. 环境保护, 2021, 49(17): 89-93.
- [2] 苏健, 梁英波, 丁麟, 张国生, 刘合. 碳中和目标下我国能源发展战略探讨[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(9): 1001-1009.
- [3] 国家发展改革委, 国家能源局. “十四五”现代能源体系规划(2021-2035 年) [EB/OL]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/P020220322582066837126.pdf>, 2022-03-22.
- [4] 国家发展改革委, 国家能源局. 氢能产业发展中长期规划(2021-2035 年) [EB/OL]. <https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/P020220323314396580505.pdf>, 2022-03-22.
- [5] BP p.l.c. Statistical Review of World Energy 2021. 70th Edition. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- [6] 湖南省能源规划研究中心. 湖南省能源发展报告 2020 [EB/OL]. <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20211009/1180547.shtml>, 2021-10-09.
- [7] 湖南省发改委. 湖南省“十三五”地热能开发利用规划[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/52d67c6b7175a417866fb84ae45c3b3566ecdd76.html>, 2016-11-04.
- [8] World Resources Institute (2017) Turning Points: Trends in Countries’ Reaching Peak Greenhouse Gas Emissions over Time. <https://www.wri.org/research/turning-points-trends-countries-reaching-peak-greenhouse-gas-emissions-over-time>
- [9] International Renewable Energy Agency (IRENA). World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf
- [10] 曹艺严, 陈济, 刘秉祺, Adair Turner, 朱思捷. 电力增长零碳化(2020-2030): 中国实现碳中和的必经之路 [EB/OL]. <http://www.rmi-china.com/index.php/news?catid=18>, 2021-04-08.
- [11] 国务院发展研究中心资源与环境政策研究所. 中国能源革命进展报告(2020) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2020.
- [12] International Energy Agency (IEA). 氢的未来——抓住今天的机遇[EB/OL]. https://iea.blob.core.windows.net/assets/6e6351dd-fd20-46a8-80ca-f2c7d8bd11b4/The_Future_of_Hydrogen_-_Chinese.pdf, 2019-06.
- [13] 中国氢能源及燃料电池产业创新战略联盟. 中国氢能源及燃料电池产业白皮书 2020 (节选) [EB/OL]. https://yhp-website.oss-cn-beijing.aliyuncs.com/upload/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%B0%A2%E8%83%BD%E6%BA%90%E5%8F%8A%E7%87%83%E6%96%99%E7%94%B5%E6%B1%A0%E4%BA%A7%E4%B8%9A%E7%99%BD%E7%9A%AE%E4%B9%A62020%E8%8A%82%E9%80%89_1632066740739.pdf, 2021-09-16.
- [14] 刘玮, 万燕鸣, 熊亚林, 刘坚. “双碳”目标下我国低碳清洁氢能进展与展望[J]. 储能科学与技术, 2022, 11(2): 635-642.
- [15] 方泽鑫, 张娜娜. SPE-PRMS 与 SEC 油气储量评估对比分析[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2020, 23(2): 94-98.
- [16] 康安. SPE 和 SEC 油气储量评估规范的更新对比[J]. 国际石油经济, 2010, 18(6): 61-64.
- [17] 徐硕, 余碧莹. 中国氢能技术发展现状与未来展望[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(6): 1-10.
- [18] 张喆. 一文读懂氢能应用[EB/OL]. <https://news.solarbe.com/202105/28/339348.html>, 2021-05-28.
- [19] 刘赞. 我国氢能发展现状与思考[J]. 中国国情国力, 2021(12): 8-11.
- [20] 李建林, 李光辉, 梁凡曦, 马速良. “双碳目标”下可再生能源制氢技术综述及前景展望[J]. 分布式能源, 2021, 6(5): 2-9.
- [21] 刘明义, 于波, 徐景明. 固体氧化物电解水制氢系统效率[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, 49(6): 868-871.
- [22] 东北证券. 氢能源行业研究: 氢储能潜力巨大, 产业化尚需时日[EB/OL]. <https://www.vzkoo.com/document/a66982ca2eb0c97cdeb0bc93f07d1256.html>, 2021-07-28.

- [23] 黄宣旭, 练继建, 沈威. “碳中和”背景下中国“氢矿”资源分析[J]. 油气与新能源, 2021, 33(3): 71-77.
- [24] 氢云链. 2027 年电解槽市场总规模 3960 亿? 外资研究机构如何看中国[EB/OL]. <http://mp.cnfol.com/48658/article/1649657690-140372430.html>, 2022-04-11.
- [25] 氢云链. 缺氢不用怕? 20 万吨/年, 绿氢占三分之一! 一季度氢气产能爆发[EB/OL]. <http://mp.cnfol.com/48658/article/1650613485-140394961.html>, 2022-04-22.
- [26] 氢云链. 经济验证开始, 绿氢规模如何突破? 盘点 2021 国内光伏制氢项目情况[EB/OL]. <https://www.zhihu.com/tardis/sogou/art/462763814>, 2022-01-28.
- [27] 氢云链. 光伏制氢提速! 国内超 42 个示范应用项目探索“绿电 + 绿氢”模式[EB/OL]. <https://www.zhihu.com/tardis/sogou/art/439713251>, 2021-11-30.