

# 2021 中国绿氢产业现状与发展前景 (简版)

2021年6月15日

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 一、 绿氢的定义及产业发展的意义..... | 1  |
| 1.1 绿氢的定义 .....       | 1  |
| 1.2 绿氢产业发展的意义 .....   | 1  |
| 二、 绿氢生产技术与生产成本 .....  | 2  |
| 2.1 绿氢生产技术 .....      | 2  |
| 2.2 绿氢生产成本 .....      | 3  |
| 三、 全球绿氢产业发展现状及趋势..... | 3  |
| 3.1 全球绿氢产业发展现状 .....  | 3  |
| 3.1.1 绿氢政策.....       | 3  |
| 3.1.2 绿氢制取技术.....     | 4  |
| 3.1.3 绿氢制取项目.....     | 5  |
| 3.2 全球绿氢产业发展趋势 .....  | 12 |
| 3.2.1 可再生能源量增长.....   | 12 |
| 3.2.2 绿氢能源项目增多.....   | 12 |
| 3.2.3 制氢成本大幅下降.....   | 12 |
| 四、 中国绿氢产业发展现状及趋势..... | 13 |
| 4.1 中国绿氢产业发展现状 .....  | 13 |
| 4.1.1 绿氢制取技术.....     | 13 |
| 4.1.2 绿氢制取竞争格局.....   | 14 |
| 4.1.3 绿氢制取项目.....     | 14 |
| 4.1.4 绿氢制取面临的挑战.....  | 16 |
| 4.2 中国绿氢产业发展趋势 .....  | 16 |
| 4.2.1 蓝氢是短期过渡.....    | 16 |
| 4.2.2 技术将逐渐成熟.....    | 17 |
| 4.2.3 成本将不断下降.....    | 17 |
| 五、 促进绿氢产业发展的策略建议..... | 17 |

资料来源 ..... 19

联系方式 ..... 19

免责声明 ..... 20

氢能未来网

## 图表目录

|  |    |
|--|----|
| 图表 1 三类电解水技术对比.....                    | 2  |
| 图表 2 碱性电解制氢生产成本.....                   | 3  |
| 图表 3 全球主要国家绿氢制取技术进展.....               | 5  |
| 图表 4 全球各国可再生能源发电趋势.....                | 12 |
| 图表 5 中国已掌握的绿氢制取技术.....                 | 13 |
| 图表 6 三种电解槽的经济指标.....                   | 14 |
| 图表 7 水电解制氢设备市场竞争格局.....                | 14 |
| 图表 8 国内可再生能源制氢项目及企业.....               | 15 |
| 图表 9 可再生能源耦合制氢应用示范项目.....              | 15 |
| 图表 10 2017-2023 年中国可再生能源制氢示范项目数发展..... | 15 |
| 图表 11 公众认为当前电解水制氢存在的主要问题.....          | 16 |

## 一、绿氢的定义及产业发展的意义

### 1.1 绿氢的定义

氢能作为一种新型能源，较传统化石能源而言，具有来源多样、清洁低碳、灵活高效的特点，可广泛应用于能源、交通运输、工业、建筑等多领域。

目前，欧洲对绿氢的定义有两种。定义一：绿氢是指相关温室气体排放强度（基于生命周期评价方法）低于规定阈值的可再生能源氢。定义二：绿氢是指被分配的相关温室气体排放强度为零（基于生命周期评价方法）的工厂在过去 12 个月氢气生产过程中温室气体平均排放强度不超过天然气蒸汽甲烷重整过程的可再生能源氢气。

2020 年 12 月 29 日，由中国氢能联盟提出的《低碳氢、清洁氢与可再生能源氢的标准与评价》正式发布实施。该标准运用生命周期评价方法建立了低碳氢、清洁氢和可再生氢的量化标准及评价体系，从源头出发推动氢能全产业链绿色发展。标准指出，在单位氢气碳排放量方面，低碳氢的阈值为  $14.51\text{kgCO}_2\text{e/kgH}_2$ ，清洁氢和可再生氢的阈值为  $4.9\text{kgCO}_2\text{e/kgH}_2$ ，可再生氢同时要求制氢能源为可再生能源。

由于中国超过 60% 的氢气来源于煤炭，所以国家能源集团以煤气化制氢碳排放量为基准来确定特定限值。以煤气化制氢的碳排放量  $29.02\text{kgCO}_2\text{e/kgH}_2$  为基准，结合我国氢气来源的实际，选取 2 个阈值（ $14.51\text{kgCO}_2\text{e/kgH}_2$  和  $4.90\text{kgCO}_2\text{e/kgH}_2$ ）将氢气划分为三大类，即非低碳、低碳、清洁。

### 1.2 绿氢产业发展的意义

一是发展绿氢是实现碳达峰和碳中和目标的必经途径。中国目前绿氢产量只占总体氢产量的 1%-3%，大部分还是蓝氢和灰氢，这样的现实状况无法实现碳达峰和碳中和目标，所以必须推动绿氢产业的发展，才能真正实现碳达峰和碳中和目标。

二是绿氢将可再生能源整合至终端实现深度脱碳。碳中和的世界将高度依靠电力供能，电力将成为整个能源系统的支柱，尤其是风能和太阳能为代表的可再生能源电力。在某些行业（如交通运输行业、工业和需要高位热能的应用），要想实现深度脱碳化，仅靠电气化可能难以做到，这一挑战可通过产自可再生能源的氢气加以解决，这将使大量可再生能源从电力部门引向终端使用部门。

## 二、绿氢生产技术与生产成本

### 2.1 绿氢生产技术

目前电解水制氢主要有碱性电解、质子交换膜（PEM）电解、固体氧化物（SOEC）电解这三种技术路线，根据各自技术特点以及商业化应用程度，碱性电解水制氢路线及 PEM 电解水制氢将是未来与可再生能源结合的主流电解水制氢工艺路线。

碱性电解。该技术已实现大规模工业化应用，国内关键设备主要性能指标均接近国际先进水平，设备成本低，单槽电解制氢量较大，易适用于电网电解制氢。

PEM 电解。该技术国内较国际先进水平差距较大，体现在技术成熟度、装置规模、使用寿命、经济性等方面，国外已有通过多模块集成实现百兆瓦级 PEM 电解水制氢系统应用的项目案例。其运行灵活性和反应效率较高，能够以最低功率保持待机模式，与波动性和随机性较大的风电和光伏具有良好的匹配性。

SOEC 电解。该技术的电耗低于碱性和 PEM 电解技术，但尚未广泛商业化，国内仅在实验室规模上完成验证示范。由于 SOEC 电解水制氢需要高温环境，其较为适合产生高温、高压蒸汽的光热发电等系统。

目前来看，碱性电解槽成本较低，经济性较好，市场份额较 PEM 电解槽高一些。不过随着燃料电池技术的不断成熟，质子交换膜国产化的不断加速突破，长期来看，PEM 电解槽的成本和市场份额将逐渐提高，与碱性电解槽接近持平，并根据各自与可再生能源电力系统的适配性应用在光伏、风电领域。

图表 1 三类电解水技术对比

| 指标       | 碱性电解（ALK）                                   | 质子交换膜电解（PEM）                             | 固体氧化物电解（SOEC）            |
|----------|---|--|--------------------------|
| 电流密度     | 1~2A/cm <sup>2</sup>                        | 1~10A/cm <sup>2</sup>                    | 0.2~0.4A/cm <sup>2</sup> |
| 工作效率     | 耗 4.5-5.5 度电/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> | ≦耗 4.0 度电/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> | 预期效率~100%                |
| 工作（环境）温度 | ≦90℃（0-45℃）                                 | ≦80℃（0-45℃）                              | ≧800℃                    |
| 产氢纯度     | ≧99.8%                                      | ≧99.99%                                  |                          |
| 设备体积     | 1   | ~1/3                                     | --                       |
| 操作特征     | 温度区间决定启停便利                                  |  | 启停不便                     |
|          | 洗脱雾沫夹带碱液                                    |  |                          |
| 可维护性     | 强碱介质腐蚀强                                     |  |                          |
| 环保性      | 石棉危害呼吸道                                     |  |                          |
| 产业化程度    | 充分产业化                                       | 特殊应用，商业化起步                               | 实验室材料基础                  |
| 单机规模     | ≦1000Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /h      | ≦10Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /h     |                          |

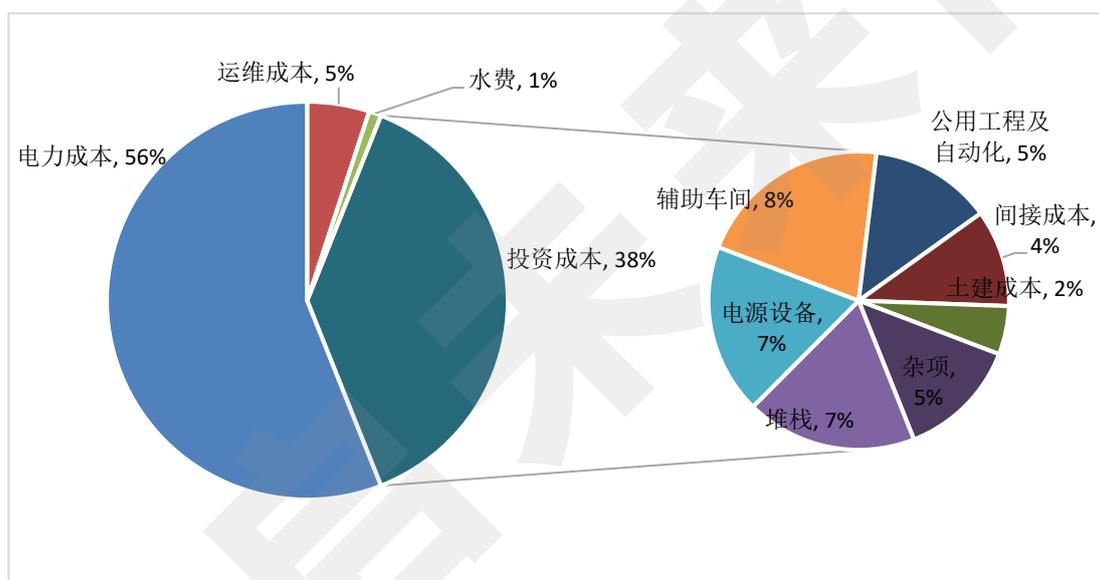
资料来源：能源内参，国联证券，氢启未来网分析

## 2.2 绿氢生产成本

电解氢成本主要受电力成本、电解槽投资成本影响，电解氢成本主要由 3 部分组成：（1）电力成本。依靠风电、光伏等可再生能源产生的电力，将水电解成氢气和氧气。（2）投资成本。主要为电解槽系统成本。（3）运维成本。因此，绿氢全生命周期成本=电力成本+投资成本+运维成本。

以欧洲 100MW 规模绿氢电解装置为例，从该绿氢制备的全生命周期成本来看，可再生电力成本占据绿氢全生命周期成本的 56%，电解槽系统投资成本占据 38%。因此，电价水平以及电解槽系统初始投资成本的高低直接影响最终绿氢成本。

图表 2 碱性电解制氢生产成本



资料来源：国联证券，氢启示来网分析

## 三、全球绿氢产业发展现状及趋势

### 3.1 全球绿氢产业发展现状

#### 3.1.1 绿氢政策

近年来，随着技术的发展，以及应对气候变化带来的减排压力，绿氢逐渐得到了全球各国重视。目前，美国、日本、欧盟、德国等国家或地区陆续公布了绿色氢能发展战略。

早在 2002 年，美国就出台了《国家氢能发展战略》；目前美国加州已建成多个利用风能或光伏制氢项目，而业界也已将目光投向了海上风电甚至波浪能等可再生能源。

2020年12月25日，日本经济产业省发布了《2050年碳中和绿色增长战略》，业内称之为《绿色增长战略》。日本经济产业省将通过监管、补贴和税收优惠等激励措施，动员超过240万亿日元（约合2.33万亿美元）的私营领域绿色投资，针对包括海上风电、核能产业、氢能等在内的14个产业提出具体的发展目标和重点发展任务。

欧盟拟定的“绿色协议”中已将“清洁氢气”制定为“优先发展领域”，这一定义则包括了天然气制氢以及可再生能源制氢。

6月10日，德国联邦政府推出了《国家氢能战略》，成立了由内阁任命的国家氢能委员会。德国计划投资90亿欧元促进氢的生产和使用，努力成为绿氢技术领域的全球领导者。

### 3.1.2 绿氢制取技术

目前碱性电解水技术较为成熟。根据氢能与可再生能源网提供的数据，PEM电解水技术近年来在许多国家的开发中取得了长足的进步。欧盟、北美、日本涌现了很多PEM电解水设备企业，这些企业在某种程度上推动了PEM电解水的发展。如加拿大Hydrogenics公司于2011年在瑞士实施HySTAT<sub>tm</sub>60电解池的项目，为加氢站提供电解槽产品，每天可电解产生130kg纯氢。美国Proton Onsite公司在全球72个国家有约2000多套PEM电解水制氢装置，占据了世界上PEM电解水制氢70%的市场。

AEM电解水技术将传统碱性液体电解质水电解与PEM水电解的优点结合起来。目前该技术尚处于研发完善阶段，现阶段的研究集中于碱性固体聚合物阴离子交换膜与高活性非贵金属催化剂。当关键材料获得突破之后，工业规模的放大则可沿用PEM水电解与液体碱水电解的成熟技术。国外已有企业研制出AEM电解槽制氢相关设备，如意大利Acta SPA公司、德国Enapter公司。该技术研发机构主要有：美国国家可再生能源实验室、Proton Onsite公司、Northeastern University、Penn State University；意大利Acta SpA公司；德国Enapter公司；英国University of Surrey；中国科学院、武汉大学等。

目前SOEC技术国内外都处于实验室研发阶段，SOEC对材料要求比较苛刻。国内外科研机构正在下大力气进行技术攻关。代表性科研机构，主要有日本三菱重工、东芝、京瓷；美国Idaho国家实验室、Bloom Energy公司；丹麦托普索燃料电池公司；韩国能源研究所；中国科学院、清华大学、中国科技大学等。

图表 3 全球主要国家绿氢制取技术进展

| 公司                 | 国家  | PEM 电解槽 | 碱性电解槽 | 碱性阴离子交换膜 AEM |
|--------------------|-----|---------|-------|--------------|
| Nel Hydrogen       | 挪威  | √       | √     |              |
| ITM Power          | 英国  | √       |       |              |
| 蒂森克虏伯              | 德国  |         | √     |              |
| Areva H2Gen        | 法国  | √       |       |              |
| 康明斯（水吉能）           | 美国  | √       | √     |              |
| 西门子                | 德国  | √       |       |              |
| Enapter SRL        | 意大利 |         |       | √            |
| GreenHydrogen. DK  | 丹麦  | √       | √     |              |
| Giner ELX          | 美国  | √       |       |              |
| H-Tec Systems GmbH | 德国  | √       |       |              |
| iGas energy GmbH   | 德国  | √       |       |              |
| 旭化成                | 日本  |         | √     |              |
| McPhy              | 法国  |         | √     |              |
| Erredue SpA        | 意大利 | √       | √     |              |
| Next Hydrogen      | 加拿大 |         | √     |              |

资料来源：中国船舶七一八所，氢启未来网分析

### 3.1.3 绿氢制取项目

近年来，全球电解制氢项目的数量和装机容量增长很快，从 2010 年的不足 1MW，增至 2019 年超过 25MW。此外，项目规模也显著增加，2010 年后的前几年，大多数项目规模低于 0.5MW，而到 2017-2019 年，德国投运的规模最大项目为 6MW。2020 年 3 月，日本投运了一个 10MW 项目。另外，加拿大有 20MW 项目正在建设中。此外，数百兆瓦的电解制氢项目 2020 年后开始运营。

2020 年，全球范围内宣布了惊人的 50GW 的绿色氢电解项目，而目前全球相关项目计划总量已达到 80GW。根据新能源网提供的数据，全球范围内正在开发的 13 个最大的绿色氢能项目——所有的项目都是吉瓦级的，它们总量达到了惊人的 61GW——由一些有史以来最大的风电场和太阳能阵列提供能量，总投资超过千亿美元。这 13 个绿氢项目具体如下：

#### （1）亚洲可再生能源中心（14GW）

位置：皮尔巴拉，西澳大利亚

电力来源：16GW 陆上风能和 10GW 太阳能，为 14GW 电解槽供电

开发商：洲际能源、CWP 亚洲能源、维斯塔斯、麦格理

计划的氢用途：绿氢和绿氨，出口到亚洲

氢产量：每年 175 万吨(可生产 990 万吨绿氨)

计划完工日期：2027-2028 年

预计成本：360 亿美元

开发阶段：澳大利亚联邦政府已授予 AREH “重大项目地位”，这将有助于该项目快速通过审批。

### (2) NorthH2 (10+GW)

位置：Eemshaven, 荷兰北部

电力来源：近海风电

开发商：壳牌、Equinor、RWE、Gasunie、GroningenSeaports

计划的氢用途：为荷兰和德国的重工业提供动力

氢产量：每年 100 万吨

计划完成日期：2040 年(2027 年 1GW, 2030 年 4GW)

预期成本：未说明

开发阶段：正在进行可行性研究，预计 2021 年 7 月完成。

### (3) 水仙-AquaVentus (10GW)

地点：德国赫里戈兰

电力来源：近海风电

开发商：27 家公司、研究机构和组织组成的联合体，包括 RWE、Vattenfall、Shell、E.ON、西门子能源、西门子歌美飒、Vestas、NorthlandPower、Gasunie 和 Parkwind

计划的氢用途：通过欧洲氢气网络进行一般销售

氢产量：每年 100 万吨

计划建成时间：2035 年 (2025 年 30MW, 2030 年 5GW)

预期成本：未说明

开发阶段：前期，项目 8 月份才公布。

#### (4) Murchison 可再生氢项目 (5GW)

位置：西澳大利亚 Kalbarri 附近

电力来源：陆上风能和太阳能

开发商：HydrogenRenewables Australia

计划的氢用途：示范阶段将为运输燃料供氢；扩展阶段将生产氢气，使之融入当地的天然气管道；最后，大规模的扩张将生产氢气用于出口亚洲，重点是日本和韩国。

氢产量：未声明

计划完工日期：2028 年

预计成本：10-120 亿美元

发展阶段：早期

#### (5) 北京京能内蒙古项目 (5GW)

位置：中国内蒙古鄂前旗

电力来源：陆上风能和太阳能

开发商：北京京能电力

计划的氢用途：未知

氢产量：40-50 万吨/年

计划完工日期：2021 年

预计成本：30 亿美元

开发阶段：在建中

#### (6) 太阳神绿色燃料项目 (4GW)

地点：Neom，沙特阿拉伯西北部规划中的未来城市

电力来源：陆上风能和太阳能

开发商：Air Products, ACWA Power, Neom

计划的氢用途：生产绿色氨 (NH<sub>3</sub>)，它将被运输到世界各地，并转换回氢作为运输燃料。

氢产量：每年约 24 万吨(每年可生产 120 万吨绿氨)

计划完成日期：未声明，但首批氨生产预计在 2025 年

预计成本：50 亿美元

开发阶段：前期，项目于 7 月宣布。

#### (7) 太平洋太阳能氢 (3.6GW)

地点：卡利德，昆士兰州，澳大利亚

电力来源：太阳能

开发商：Austrom Hydrogen，一家初创公司

氢产量：每年 20 万吨以上

预期成本：未说明

计划完成日期：未说明

计划的氢用途：出口到日本和韩国

开发阶段：前期，项目于 2020 年 6 月宣布。

#### (8) H2-HubGladstone (3GW)

地点：格莱斯顿，昆士兰，澳大利亚

电力来源：可再生能源，但无特别说明

开发商：The Hydrogen Utility (也称为 H2U)

计划的氢用途：将绿氢出口至日本等国

氢产量：未公布，但开发商称其将“每天生产 5000 吨绿氢”

预计成本：16 亿美元(不包括电力来源)

计划完成日期：尚未确定，但初步运营将于 2025 年开始

开发阶段：正在进行可行性研究，预计 2023 年批准。

#### (9) HyEx (1.6GW)

地点：安迪法加，智利

电力来源：太阳能

开发商：Engie 和 Enaex

计划的氢用途：绿氢，其中一半将用于 Enaex 的硝酸铵厂；其余将用于燃料、绿色化肥和出口市场。

氢产量：12.4 万吨/年(70 万吨绿氢)

预期成本：未说明

计划完成日期：2020 年(2024 年完成 26MW 试点项目)

开发阶段：前期，项目于 10 月宣布。

#### (10) 杰拉尔顿 (1.5GW)

地点：西澳大利亚州，杰拉尔顿

电力来源：陆上风能和太阳能

开发商：BP/ BP Light source

计划的氢用途：为国内和出口市场生产绿氢

氢产量：未公布，但每年约 100 万吨绿氢

预期成本：未说明

计划完成日期：未说明

发展阶段：正在进行可行性研究

#### (11) 大哥本哈根 (1.3GW)

地点：丹麦，哥本哈根地区

电力来源：海上风电优先

开发商：Orsted, Maersk, DSV Panalpina, DFDS, SAS

计划的氢用途：用于公共汽车和卡车，电子燃料 e-fuel(从绿色氢和捕获的二氧化碳中提取)用于海运和航空

氢产量：没有说明，但它将每年生产“25 万吨可持续燃料”。

预期成本：未说明

计划完成日期：2030 年(2023 年先行试点 10MW，2027 年 250MW)

开发阶段：正在进行可行性研究，以期在 2021 年做出最终投资决定。

#### (12) H2Sines (1GW)

地点：塞内斯，葡萄牙西南部

电力来源：尚未确定，但可能是陆上风能和太阳能

开发商：EDP, Galp, Martifer, REN, Vestas

计划的氢用途：国内消费和出口

氢产量：未声明

预计成本：15 亿欧元(约合 18.4 亿美元)

计划完工日期：2030 年

发展阶段：正在进行可行性研究

#### (13) 罗斯托克 (1GW)

地点：德国罗斯托克

电力来源：海上风能等可再生能源

开发商：RWE 牵头的联合体

计划的氢用途：正在探索所有的途径

氢产量：未声明

预期成本：未说明

计划完成日期：未说明

发展阶段：早期

## 3.2 全球绿氢产业发展趋势

### 3.2.1 可再生能源量增长

全球可再生能源发电量逐步上升，将有力推动风电、光伏等发电成本持续下降，从而带动可再生能源制氢规模增长与成本减小。

图表 4 全球各国可再生能源发电趋势

| 国家 | 可再生能源发电趋势   |
|----|---|
| 美国 | 美国：美国可再生能源发展增长率处在上升趋势，截至 2017 年，风力发电是美国可再生能源最主要的发电来源，净发电量 2542.5 千瓦时。   |
| 欧盟 | 欧盟：欧盟计划在 2020 年之前实现 10% 的电网互联，2030 年温室气体排放较 1990 年减少 40%。2018 年 1 月 1 日，德国当日风力发电占可再生能源消费比重达 36.1%，较 2016 年高 3.8 个百分点。 |
| 印度 | 印度：2015 年，印度上调可再生能源发展目标，2022 年可再生能源发电装机容量目标提升至 1.75 亿千瓦。2013 年，印度可再生能源发电量占比 5%，2015 年为 6.26%，2016 年为 6.3%。            |
| 巴西 | 巴西：水电消费占总消费的 28%，占电力消费的 64%。目前，巴西风能发电装机容量超过 1000 万千瓦。   |

资料来源：氢启未来网分析

### 3.2.2 绿氢能源项目增多

全球最大的绿氢项目福岛氢能研究领域（FH2R）于 2020 年 3 月在日本启动，利用 20MW 的太阳能板和 10MW 等级的电解槽制氢，瞄准低成本绿色产氢。许多类似甚至更大规模的项目正在建设中。数个 GW 规模的项目处于不同的规划阶段，其中大部分在欧洲。

全球已宣布的绿色氢电解项目已达 51GW 并在不断增加，欧洲（25935MW）领先，其次是亚太地区/中东（22625MW），美洲（2930MW）。积压项目的迅速增加为未来十年全球制氢厂的推出提供了更大的可能性，尤其是在 2025 年以后发展步伐加快。

### 3.2.3 制氢成本大幅下降

国际氢能理事会预测，到 2030 年，澳大利亚、智利、北非和中东等拥有最佳资源的地区可再生能源制氢成本将出现最大降幅，可能降至每公斤 1.4 至 2.3 美元。到 2028 年，在资源最好的地区，由可再生能源制备的“绿氢”将和“灰氢”的成本持平，而在全球平均水平上，两者成本将在 2032 年至 2034 年间持平。

## 四、中国绿氢产业发展现状及趋势

### 4.1 中国绿氢产业发展现状

#### 4.1.1 绿氢制取技术

目前，国内外碱性电解水技术均较为成熟，而碱性固体阴离子交换膜（AEM）电解水技术国内外都处在研发完善阶段，SOEC 技术国内外都处于实验室研发阶段。国内 PEM 电解水制氢技术尚处于从研发走向商业化的前夕。中国科学院大连化物所从 20 世纪 90 年代开始研发 PEM 电解水制氢，在 2008 年开发出产氢气量为 8Nm<sup>3</sup>/h 的电解池堆及系统，输出压力为 4MPa、纯度为 99.99%。从单机能耗上看，国内的 PEM 制氢装置较优；虽然在规模上与国外产品还有距离，但国内主要研发单位如中科院大连化学物理研究所、中船重工集团 718 研究所、中国航天科技集团公司 507 所、淳华氢能等，已经在重点攻关，并即将走向商业化。高压气态储氢和液氢储氢技术国内已规模应用。高压气态储氢是现阶段经济、实用的储氢方案，70MPa 高压气态储氢 VI 型瓶已商业化应用。

图表 5 中国已掌握的绿氢制取技术

| 公司       | 国家 | PEM 电解槽 | 碱性电解槽 | 碱性阴离子交换膜 AEM |
|----------|----|---------|-------|--------------|
| 中船 718 所 | 中国 | √       | √     | √            |
| 天津大陆     | 中国 |         | √     |              |
| 苏州竞立     | 中国 |         | √     |              |
| 大连化物所    | 中国 | √       |       |              |
| 阳光电源     | 中国 | √       |       |              |
| 山东赛克赛斯   | 中国 | √       |       |              |
| 中电丰业     | 中国 |         | √     |              |

资料来源：高工氢电研究所，氢启未来网分析

从水电解槽经济指标来看，碱性槽在效率、使用寿命和成本上具有优势；PEM 槽在操作压力、负载范围、占地具有优势；考虑到成本和可靠性等因素，大规模制氢仍会在一段时间内以碱性电解槽为主。

图表 6 三种电解槽的经济指标

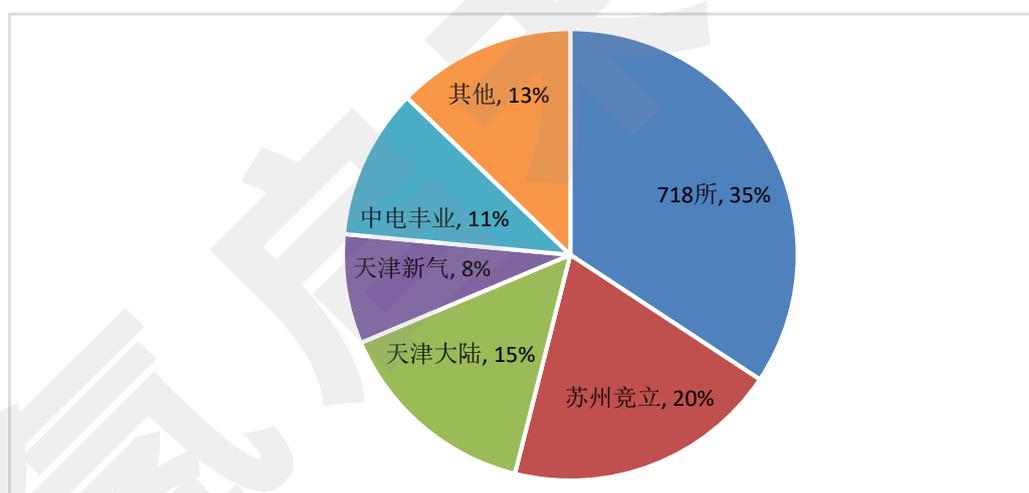
|                            | 碱性电解槽         |                |                 | PEM电解槽        |               |                 | SOEC电解槽       |               |                |
|----------------------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|
|                            | 今天            | 2030           | 长期              | 今天            | 2030          | 长期              | 今天            | 2030          | 长期             |
| 电解效率 (%，LHV)               | 63-70         | 65-71          | 70-80           | 56-60         | 63-68         | 67-74           | 74-81         | 77-84         | 77-90          |
| 操作压力 (bar)                 | 1-30          |                |                 | 30-80         |               |                 | 1             |               |                |
| 操作温度 (°C)                  | 60-80         |                |                 | 50-80         |               |                 | 650-1000      |               |                |
| 电解槽寿命 (操作小时数)              | 60,000-90,000 | 90,000-100,000 | 100,000-150,000 | 30,000-90,000 | 60,000-90,000 | 100,000-150,000 | 10,000-30,000 | 40,000-60,000 | 75,000-100,000 |
| 负载范围 (%，对应于额定负载)           | 10-110        |                |                 | 0-160         |               |                 | 20-100        |               |                |
| 设备占地 (m <sup>2</sup> /kWe) | 0.095         |                |                 | 0.048         |               |                 |               |               |                |
| 投资成本 (USD/kWe)             | 500           | 400            | 200             | 1100          | 650           | 200             | 2800          | 800           | 500            |
|                            | -1400         | -850           | -700            | -1800         | -1500         | -900            | -5600         | -2800         | -1000          |

资料来源：IEA 2019

#### 4.1.2 绿氢制取竞争格局

水电解制氢装置主要有水电解槽、氢(氧)气液分离器、氢(氧)气冷却器、氢(氧)气洗涤器等设备组成。我国制氢设备市场目前处于市场爆发前夕，企业产能饱和，即将扩产备战。碱性制氢设备竞争五强格局初现，但由于制氢需求尚未打开，格局变数较大。

图表 7 水电解制氢设备市场竞争格局



资料来源：高工氢电研究所，氢启未来网分析

#### 4.1.3 绿氢制取项目

近期，我国开展了 12 个风电制氢项目和 7 个光伏制氢项目，其中国家电投集团、国家电网、中国节能环保投资集团、上海电气等大型央企都参与了“绿氢”项目。

目前国内可再生能源制氢项目在河北张家口、甘肃兰州、宁夏宁东、内蒙古乌兰察布有

布局，氢气总产量达 41000Nm<sup>3</sup>/h。

图表 8 国内可再生能源制氢项目及企业

| 项目地点   | 项目名称      | 建设单位     | 氢气产量                    |
|--------|-----------|----------|-------------------------|
| 河北张家口  | 海珀尔望山制氢厂  | 张家口海珀尔公司 | 2000Nm <sup>3</sup> /h  |
| 河北张家口  | 沽源风电制氢站   | 河北建投公司   | 800Nm <sup>3</sup> /h   |
| 甘肃兰州   | 液态阳光      | 兰州石化公司   | 1000Nm <sup>3</sup> /h  |
| 宁夏宁东   | 宁东化工基地氢能园 | 宝丰能源集团   | 6000Nm <sup>3</sup> /h  |
| 河北张家口  | 尚义风电制氢站   | 国家能源集团   | 1200Nm <sup>3</sup> /h  |
| 内蒙古自治区 | 乌兰察布      | 国家电投集团   | 30000Nm <sup>3</sup> /h |

资料来源：张家口市海珀尔望山制氢厂，氢启未来网分析

可再生能源耦合制氢应用示范项目稳步增长，基数规模不断扩大。据统计，2017 年我国可再生能源制氢示范项目数 7 个，2020 年为 25 个，预计到 2023 年将达到 60 个。

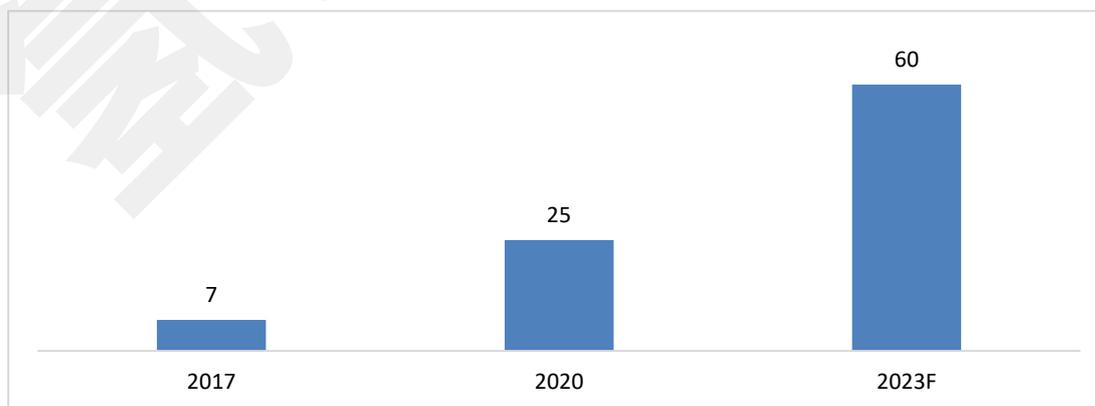
图表 9 可再生能源耦合制氢应用示范项目

| 领域   | 项目                    | 金额（亿元） | 参与企业                 |
|------|-----------------------|--------|----------------------|
| 化工   | 宁夏宝丰能源制氢示范项目          | 14     | 宝丰能源、718 所、苏州竞立      |
|      | 兰州新区液态阳光项目            | 1.4    | 中科院大连化物所、兰州新区石化产业投资等 |
|      | 京能电力风光氢储项目            | 230    | 京能电力                 |
| 现场制氢 | 张家口制氢加氢示范项目           | 1.1    | 张家口海珀尔               |
| 其他   | 山西首座氢储能综合能源互补项目       | 6      | 大唐山西发电、安瑞科           |
|      | 长岭县龙凤湖 200MW 风电制氢示范项目 | 0.58   | 长润风电、苏州竞立            |
|      | 河北沽源风电制氢综合利用示范项目      | 20.3   | 河北建设、McPhy           |
|      | 阳光电源-榆树市风电制氢综合示范项目    | 32.4   | 阳光电源、中科院物化所          |

资料来源：高工氢电研究所，氢启未来网分析

图表 10 2017-2023 年中国可再生能源制氢示范项目数发展

单位：个



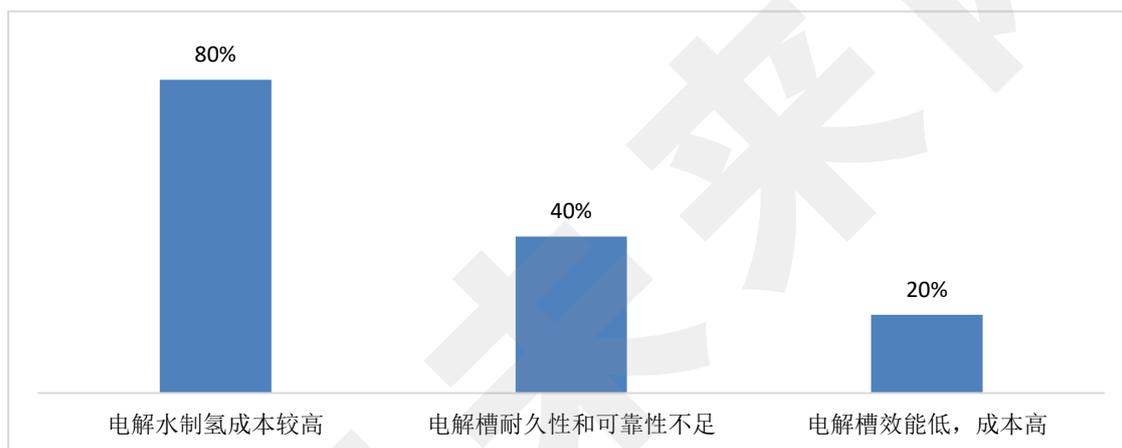
资料来源：高工氢电研究所，氢启未来网分析

#### 4.1.4 绿氢制取面临的挑战

电解水制氢具有绿色环保、生产灵活、纯度高等特点，可以满足高纯度的氢气需求。但缺点是能耗大，制氢成本是目前工业化制氢领域最高的，单位制氢成本是煤制氢的 4~5 倍。制氢成本受电价的影响很大，电价占其总成本的 70%以上。若采用市电生产，制氢成本约为 30-40 元/公斤。目前电解成本高是制约电解水制氢技术推广使用的最重要原因。但同时在我国三北地区，大量可再生能源电力如风电和光伏发电还存在不能并网的情况。由于电能不能大规模储存，弃风弃光会造成能源的浪费。因此，未来我国采用可再生能源进行电解制氢的潜力很大。

问卷调查显示，公众认为当前电解水制氢存在的主要问题是制氢成本较高。

图表 11 公众认为当前电解水制氢存在的主要问题



资料来源：氢启未来网

在上游绿氢制取市场，重点企业有上海电力、节能风电、阳光电源、吉林电力、新天绿色能源、金风科技等。

## 4.2 中国绿氢产业发展趋势

### 4.2.1 蓝氢是短期过渡

虽然可再生能源电解水制氢是我国实现氢脱碳的终极之路，但从中国的国情来看，由于规模化、低成本的可再生能源电解水制氢产业尚未形成，因此已有规模化、产业化的煤制氢路线仍将长期存在，但是需要叠加 CCUS 技术（碳捕集和封存利用）将“灰氢”变为“蓝氢”，补充氢能的供应，“灰氢”+CCUS 技术近中期将帮助“绿氢”实现过渡。

#### 4.2.2 技术将逐渐成熟

目前，国内外碱性电解水技术均较为成熟，而碱性固体阴离子交换膜（AEM）电解水技术国内外都处在研发完善阶段，SOEC 技术国内外都处于实验室研发阶段。国内 PEM 电解水制氢技术尚处于从研发走向商业化的前夕。中国科学院大连化物所从 20 世纪 90 年代开始研发 PEM 电解水制氢，在 2008 年开发出产氢气量为 8Nm<sup>3</sup>/h 的电解池堆及系统，输出压力为 4MPa、纯度为 99.99%。从单机能耗上看，国内的 PEM 制氢装置较优；虽然在规模上与国外产品还有距离，但国内主要研发单位如中科院大连化学物理研究所、中船重工集团 718 研究所、中国航天科技集团公司 507 所、淳华氢能等，已经在重点攻关，并即将走向商业化。高压气态储氢和液氢储氢技术国内已规模应用。高压气态储氢是现阶段经济、实用的储氢方案，70MPa 高压气态储氢 VI 型瓶已商业化应用。

#### 4.2.3 成本将不断下降

目前，通过可再生能源发电制取“绿氢”主要面临成本高的问题。一方面，当前阶段以风电光伏为代表的可再生能源发电成本还比较高；另一方面，电解槽的能耗和初始投资成本较高，规模还较小。因此，未来提高“绿氢”经济性的有效途径将主要依靠可再生能源发电成本的下降，电解槽能耗和投资成本的下降以及碳税等政策的引导。

在碳中和目标下，绿氢将在工业、交通、建筑等碳排领域扮演重要深度脱碳角色。近 5 年绿氢将率先在供热和重卡行业得以应用，天然气管网中通过天然气掺氢用于建筑供热。此外，由于政府和民众在氢气基础设施建设方面的支持，绿氢最早可能于 2025 年在为重型车辆（如区域列车和重卡）提供动力方面具备竞争力。到 2030 年，部分可再生能源资源禀赋优势区域，绿氢成本可下探至与灰氢平价的水平，即达到 10-12 元/kg，这标志着氢能在重型运输领域极具价格竞争力的转折。到 2035 年后，绿氢或将作为极具竞争力的能源在主流工业领域和交通领域大规模推广应用。

## 五、促进绿氢产业发展的策略建议

针对绿氢产业发展中面临的关键核心技术尚未突破、总体成本过高等问题，我们提出以下建议：

一是加强绿氢用电的优惠政策支持。由于绿氢 56%的成本为电力成本，针对当前绿氢成本过高的现状，建议政府出台相关政策，给予绿氢制取用电一定的优惠。

二是加大绿氢专项研发资金投入。针对“绿氢”制取技术装备关键技术及材料研究和科技成果产业化应用设立科技专项，加大专项研发资金投入。支持行业企业突破“卡脖子”技术，赶超国际先进水平，实现“绿氢”制备技术完全自主化。

三是成立绿氢组织或联盟，针对绿氢难以攻克的共性技术，给予技术支持。

## 资料来源

本报告资料，除了来自行业问卷调查、专家深访、企业深访外，主要来自以下渠道，在此一并表示感谢！

1. 氢启未来网
2. 中国氢能源网
3. 电池中国网
4. 第一元素网，刘涛
5. 大成律师事务所
6. 北极星储能网
7. 中国工程科学，俞红梅 衣宝廉
8. 《世界能源展望 2019》
9. 电池网，国联证券
10. 《2020 中国氢能产业发展报告》
11. 香橙会研究院
12. 能源发展网
13. 赛迪顾问
14. 《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》
15. 光大证券研究所
16. 广证恒生，车百智库
17. 证券时报记者 韩忠楠
18. 天风证券
19. 罗兰贝格
20. 投资咨询网

## 联系方式

业务合作：调查研究、投资咨询、投稿、广告、机构合作、媒体、展会

氢启未来网（北京站）

网址：[www.h2weilai.com](http://www.h2weilai.com)

总机：010-64395356

010-67678964

邮箱: h2weilai@163.com

地址: 北京市朝阳区南湖东园 122 号楼博泰国际 B 座 801 室

联系人: 叶老师

## 免责声明

本报告内容仅为分析研究, 不构成投资建议。如果依此作出投资, 盈亏自负。