
2023年氢能领域年度报告

编制单位：中国科学院大连化学物理研究所
低碳战略研究中心

编制时间：2023 年 12 月 25 日

目录

1 引言	1
2 主要年度进展	1
2.1 低碳清洁氢制备技术进展	1
2.1.1 电解制氢技术进展	1
2.1.2 电解槽制造规模扩张	8
2.1.3 新兴制氢技术进展	9
2.2 氢能储运技术及基础设施进展	11
2.2.1 氢能储运技术进展	11
2.2.2 基础设施发展分析	13
2.2.3 氢能贸易进展	15
2.3 氢能项目进展	16
2.3.1 全球	16
2.3.2 中国	19
2.4 氢能政策进展	21
2.4.1 氢能部署的策略和目标	21
2.4.2 标准、认证和规范	23
3 结论	25
参考文献	28

插图清单

图 2-1	上海氢晨科技 PEM 电解槽 I-V 曲线	6
图 2-2	2022 年全球氢能生产情况	16
图 2-3	全球低碳氢生产项目终端用途统计	17
图 2-4	全球合成氨低碳氢规划产能	18
图 2-5	全球合成甲醇低碳氢规划产能	19
图 2-6	中国氢气生产情况	19
图 2-7	中国氢气需求情况 ¹¹	20

附表清单

表 2-1	国外企业碱性电解槽产品参数对比	2
表 2-2	国内代表企业碱性电解槽产品参数对比	3
表 2-3	国外企业 PEM 电解槽产品参数对比	4
表 2-4	国外企业 SOEC 电解槽产品参数对比	6
表 2-5	国外企业 AEM 电解槽产品参数	7
表 2-6	中国部分碱性制氢电解槽厂商产能及规划	8
表 2-7	中国部分 PEM 制氢电解槽厂商产能及规划 ⁶	9
表 2-8	中国部分 SOEC、AEM 企业产能建设情况 ⁶	9
表 2-9	天然氢勘探与开发项目	11
表 2-10	吨级镁基固态储运氢车参数	12
表 2-11	我国氢气管线建设情况	13
表 2-12	我国天然气管道掺氢项目示范	14
表 2-13	氢及氢衍生品贸易示范项目（含规划项目） ⁷	15
表 2-14	氢及氢衍生品监管框架和认证体系 ⁷	23

1 引言

在全球气候变化及能源转型中，氢能因清洁、灵活、高效等优势受到全球瞩目。氢不仅是能源和能源载体，也是对冲高碳和高能耗工业的重要物质，在“双碳”背景下，清洁氢在助力不同行业实现碳达峰，推动能源转型方面将发挥越来越重要的作用。目前，全球累计有 40 余个国家和地区发布了氢能战略或草案，发展氢能逐渐成为全球共识。国际能源署（IEA）发布的《全球氢能展望 2023》报告显示，在经历了 2020 年的短暂下跌之后，2021、2022 年全球氢气市场规模实现了连续增长，达到 9500 万吨，电解水制氢规模同比增长 35%。然而，目前氢能产业还面临着成本高昂、技术不成熟等瓶颈，需要从产业发展全局出发，通过增加研发投入和技术创新，降低成本并提升氢能技术竞争力。此外，要加强政策支持和引导，拓展氢能应用领域，创造市场需求，充分发挥绿氢的环境价值，推动绿氢产业健康发展。

2 主要年度进展

2.1 低碳清洁氢制备技术进展

2.1.1 电解制氢技术进展

2.1.1.1 碱性电解水制氢

在碱性电解槽领域，国外碱性电解槽发展历史悠久，电极、隔膜等都经过了多次技术迭代。其中，挪威 Nel 和德国 Thyssenkrupp 等企业的产品最具代表性。Nel 公司的 A 系列碱性电解槽是世界上能效最高的电解槽之一，直流电耗 3.8-4.4 kWh/Nm³，采用复合隔膜，厚度 200-500 μm，面电阻约 0.25 Ω·cm²；催化剂采用雷尼镍高活性催化剂，有效降低过电位。^{1,2}电解槽采取模块化配置，单堆容量

¹ 能景研究·洞见 | 碱性电解槽“内卷”之下，仍可破局。2023-05-08。

<https://mp.weixin.qq.com/s/OFCC7UjRkVuSSMWKG-8Y8g>

² Nel. Introduction to Liquid Alkaline Electrolysis. 2022-02-09.

<https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/2-Intro-Liquid%20Alkaline%20Workshop.pdf>

可达 2.1 MW，负荷动态调节范围 15%~100%。制氢规模可以进行扩展，同时通过集群化控制策略，进一步提升电解槽的负荷动态调节范围，比如 A20000 电解槽，产氢量可达 19400 Nm³/h，负荷动态调节范围 1%~100%。

德国 Thyssenkrupp 公司基于氯碱电解技术和在工业大规模电解应用方面的经验，是国外少数以碱性电解槽为主的企业之一。电解槽采用零间隙技术，电极与隔膜之间几乎做到零距离，减小了溶液电阻；采用低压运行条件及方形槽结构，优化电解液流场、促进气泡流通，减小气泡电阻；采用模块化的解决方案，单元槽之间互相独立，有利于后期拆装检修。¹ Thyssenkrupp 的 20 MW 制氢模块，可以实现 4000 Nm³/h 的产能，制氢能耗 4.5 kWh/Nm³，负荷动态调节范围 10%~100%。

表 2-1 国外企业碱性电解槽产品参数对比

制造商	电解槽型号	直流电耗 (kWh/Nm ³)	氢气产量 (Nm ³ /h)	氢气纯度	运行负荷	工作压力 (MPa)
Nel Hydrogen (挪威)	A20000*	3.8 ~ 4.4	15520~19400	99.99%	1%~100%	0.1~20
John Cockerill (比利时)	DQ1000	4.0 ~ 4.3	1000	99.8%	40%~100%	3
Thyssenkrupp (德国)	20 MW module	4.5	4000	>99.9%	10%~100%	0.03
McPhy (法国)	McLyzer 800-30	4.5	800	-	适用于电网调峰需求	3
Sunfire (德国)	HyLink	4.31~4.62	2165	99.8%	25%~100%	3

* 单电解槽 2.1 MW，运行负荷 15%~100%。

我国目前主流的电解槽厂商大多源于中船 718 所，经过多次分支和创新，形成了多个品牌和技术路线。据势银 (TrendBank) 统计，国内已有一百五十多家企业布局或规划碱性电解槽的研发或生产，包括在碱性电解水制氢行业深耕多年的传统企业、近几年入局的新能源企业和装备制造企业、以及科研院校背景的氢能初创企业。新品发布方面，2022 年全年一共有 14 家企业发布了碱性电解槽新品，2023 年企业在新品发布方面的火热程度较 2022 年更胜一筹，“大标方”成为各家争抢的制高点。截止目前，已发布产品中最大单槽产氢量已达到 3000 Nm³/h。碱性电解槽的单体大型化迭代升级，正在加速发展。在制氢能耗方面，隆基氢能

新发布的 ALK Hi1 plus 产品，直流电耗满载状况下低至 4.1 kWh/Nm³，在 0.25 A/cm² 的电流密度下，更可低至 4.0 kWh/Nm³。北京华易氢元公司与清华大学能源与动力工程系联合研发出高温碱性电解槽，通过提高工作温度至 100~130℃，降低水分解能耗，直流电耗低至 3.7 kWh/Nm³@0.2 A/cm²，系统电耗低至 4.0 kWh/Nm³。

表 2-2 国内代表企业碱性电解槽产品参数对比

	派瑞氢能	考克利尔竞立	西安隆基		天津大陆
产品型号	CDQ 系列	DQ 系列	Hi1 系列	G 系列	FDQ 系列
氢气产量 (Nm ³ /h)	2000	1500	1000	3000	1000
运行温度 (°C)	95±5	90±5	90±5	90±5	90±5
氢气纯度	≥99.8%	≥99.8%	99.999% (纯化后)	99.999% (纯化后)	≥99.9%
氧气纯度	≥99.2%	≥98.5%	-	-	≥99.5%
工作压力 (MPa)	1.5~2.5	1.6	1.6	1.6	3.0
运行负荷	50%~100%	20%~115%	25%~115%	30%~110%	40%~100%
直流电耗 (kWh/Nm ³)	≤4.3	≤4.4	4.1~4.3	4.3~4.5	≤4.4

除了上述追求“大标方”和低能耗的产品，部分企业针对碱性电解槽动态响应能力较差的不足，通过改进设计和材料，提升碱性电解槽与可再生能源的适应能力。2022 年 6 月，深圳市瑞麟科技有限公司发布单槽 500~1000 Nm³/h 碱性制氢系统，有别于传统碱性电解槽，该系统以高电流密度、高动态响应能力、宽负载工作范围为主要特性，额定工作电流密度高达 0.8 A/cm²，升降载速率达到每秒 5%~8%，可在 20 秒内实现负荷 10%~100%之间变化，工作负荷范围可拓展至 10%~110%，且直流电耗低至 3.8~4.6 kWh/Nm³。2023 年 7 月，爱德曼氢能源装备有限公司通过模块化设计，将制氢设备的负荷调节范围扩展到 5%~110%，冷启动时间降低到 10 分钟以内，同时通过复合隔膜和新型电极材料的优化，将直流电耗降低至 4.4 kWh/Nm³，最大电流密度可达 1.4 A/cm²@2V（对应直流电耗 4.8 kWh/Nm³）。12 月，三一氢能发布 S 系列 3000 标方方形电解槽，采用贵金属电极和复合隔膜，额定电流密度 1 A/cm²，最高可达 1.2 A/cm²，功率波动范围

10%~120%，单槽制氢规模 3000 Nm³/h，分离系统 10000 Nm³/h，纯化系统 20000 Nm³/h。由于我国碱性电解槽在成本上占有极大优势，碱性电解槽动态响应能力和电流密度的提升，有助于拓展碱性电解槽的应用领域，保持我国在电解水制氢领域的竞争优势。

2.1.1.2 质子交换膜电解水制氢

挪威 Nel Hydrogen 公司是一家全球性的专业氢能公司，提供从氢气生产技术到加氢站的氢能解决方案。2017 年通过收购 Proton Onsite 拓展其在美国和在 PEM 电解槽领域的业务，M 系列电解槽具有快速的响应时间和生产灵活性，可以在 5 分钟以内实现冷启动，数秒之内实现负荷调整，制氢功耗 4.5 kWh/Nm³。

美国 Cummins 公司的电解水业务为 2019 年收购的 Hydrogenics，同时提供碱性和 PEM 电解槽，但是产品重心主要放在 PEM 电解槽领域。Cummins 的 HyLYZER 系列 PEM 电解槽制氢直流电耗 3.6~4.5 kWh/Nm³，系统电耗不超过 4.55 kWh/Nm³，单堆容量 2.5 MW，负荷动态调节范围 5~125%。

除上述企业之外，英国 ITM Power、德国 Siemens Energy、美国 Plug Power、德国 Elogen 等企业也致力于 PEM 电解槽领域。在 PEM 电解槽的研发中，降低贵金属含量是一个重要的研究方向。2023 年 7 月，美国 H2U Technologies 公司展示了其开发的无铱质子交换膜 (PEM) 电解槽，制氢规模 200 kW，该系统验证了新型无铱催化剂的耐久性和性能。

表 2-3 国外企业 PEM 电解槽产品参数对比

制造商	电解槽型号	直流电耗 (kWh/Nm ³)	氢气产量 (Nm ³ /h)	氢气纯度	运行负荷	工作压力 (MPa)
Nel Hydrogen (挪威)	M2000 ¹	4.5	1968	99.9995%	10%~100%	3
Cummins (美国)	HyLYZER-4000	3.6~4.5	4000	99.99%	5%~125%	3
Plug Power (美国)	EX-4250D	4.5	1989	99.999%	- (60 sec 升至 最大负荷, 15 sec 减至最小 负荷)	4
Elogen (德国)	Multi MW System	4.3	2000	99.9%	0.1%~100%	3

Siemens Energy (德国)	Silyzer 300	4.66	3750	99.9999%	0%~100% (10%/s, 稳定运行负荷不小于 40%)	-
---------------------	-------------	------	------	----------	-----------------------------------	---

¹ 单电解槽 1.25 MW

相比碱性电解水制氢技术,我国涉及质子交换膜电解水制氢技术的企业起步相对较晚。2022 年之前,只有中国科学院大连化学物理研究所、赛克赛斯、派瑞氢能等少数企业或科研机构具备兆瓦级制氢设备相关技术。然而,进入 2023 年以来,PEM 电解槽新品发布显著提速。2023 年 4 月,嘉庚创新实验室(鹭岛氢能)发布自主研发的兆瓦级制氢装备,最大单槽产氢量 320 Nm³/h (1.44 MW),额定功率下电流密度 2.5 A/cm²、直流电耗 4.3 kWh/Nm³,电流密度降低至 1 A/cm² 时,直流电耗可低至 3.87 kWh/Nm³,材料国产化率超过 90%。6 月,亿华通发布 PEM 制氢系统和电解槽,额定功率 420 kW,电解槽电耗低至 4.19 kWh/Nm³,系统电耗低于 4.4 kWh/Nm³,负荷调节范围 5%~150%。7 月,上海氢晨新能源科技有限公司发布兆瓦级 PEM 电解槽,单槽额定产氢量 250 Nm³/h (1.25 MW),额定电流密度和电耗 4.3 kWh/Nm³@2.5 A/cm² (如图 11 所示)。同月,淳华氢能源科技(湖南)有限公司发布高压差 PEM 电解槽,压差可达 7 MPa,电流密度 2 A/cm² 以上,单层电压不超过 1.9 V (对应电耗不大于 4.5 kWh/Nm³),负荷调节范围 5%~150%,且可实现秒级启停和秒级动态响应。10 月,国氢科技发布单槽额定产氢量 400 Nm³/h 的电解槽(单槽 2 MW)。12 月,中国科学院大连化物所与中国华电所合作实现 3.0 MPa 单堆兆瓦级 PEM 电解技术商业化应用,额定产氢量可达 400 Nm³/h,并在电青海德令哈 3MW 光伏发电 PEM 电解水制氢示范站成功投用。从各家厂商公开的性能参数看,国产 PEM 电解槽的技术指标已经趋近于国际先进水平,甚至在部分指标上实现超越,关键材料的国产化率也在不断提高,但目前国产 PEM 电解槽及尚缺乏实际应用验证。

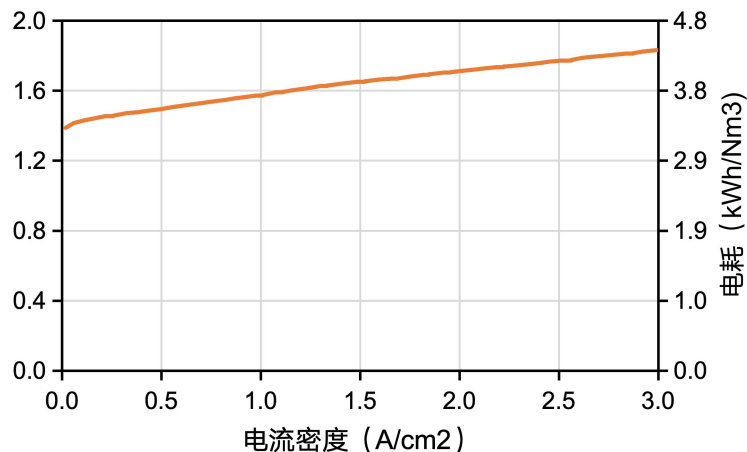


图 2-1 上海氢晨科技 PEM 电解槽 I-V 曲线

2.1.1.3 固体氧化物电解水制氢

德国 Sunfire 和美国 Bloom Energy 致力于开发固体氧化物电解槽 (SOEC)，利用高温电解提高电解效率。2023 年 4 月，Sunfire 制造的 2.6 MW SOEC 电解系统应用于荷兰鹿特丹的 Neste 生物燃料炼厂。该系统由 12 个电堆组成，单堆规模约 220 kW，操作温度 850°C，直流电耗 3 kWh/Nm³，系统电耗 3.6 kWh/Nm³，热启动时间小于 10 min。³ Bloom Energy 在美国 NASA 的 Ames 研究中心建立了一个 4 MW 的固体氧化物电解制氢系统，系统电耗 3.3 kWh/Nm³。⁴

表 2-4 国外企业 SOEC 电解槽产品参数对比

制造商	电解槽型号	直流电耗 (kWh/Nm ³)	氢气产量 (Nm ³ /h)	氢气纯度	运行负荷	热启动 时间	工作压 力 (MPa)
Bloom Energy (美国)	Bloom Electrolyzer™	3.3 (系统电耗)	534	99.9%	-	~ 10 min	0.004
Sunfire (德国)	HyLink	3	750	99.99%	5%~100%	< 10 min	0

³ Leigh Collins. Hot hydrogen | World's largest solid-oxide electrolyser successfully installed at Rotterdam biofuels refinery [EB/OL]. (2023-04-11) [2023-12-29].
<https://www.hydrogeninsight.com/electrolysers/hot-hydrogen-world-s-largest-solid-oxide-electrolyser-s-uccessfully-installed-at-rotterdam-biofuels-refinery/2-1-1432416>.

⁴ Bloom Energy. The World's Largest and Most Efficient Solid Oxide Electrolyzer [EB/OL]. (2023-10-19) [2023-12-29]. <https://www.bloomenergy.com/bloomelectrolyzer>.

我国 SOEC 行业尚处于研发示范阶段，产品寿命有待进一步提高。制氢设备目前尚未商业化运行，但小规模示范项目已逐渐开始。相关企业和研究机构包括中国科学院上海应用物理研究所、上海翌晶氢能科技有限公司、北京质子动力发电技术有限公司、浙江氢邦科技有限公司、北京思伟特新能源科技有限公司、武汉华科福赛新能源有限责任公司、中国船舶重工集团公司第七一八研究所和中国科学院宁波材料技术与工程研究所等。2023 年 2 月，中国科学院上海应用物理研究所 200 kW 高温制氢装置通过项目验收，制氢功率 202 kW，额定产氢量 64 Nm³/h，直流电耗 3.16 kWh/Nm³。4 月，翌晶氢能完成了国内首条 SOEC 电堆自动化产线下线，年产能达 100 MW。同时，还发布了 GenStack E 系列电堆，以 GenStack E2500 电堆为例，额定功率 2.5 kW，负荷调节范围 20~200%，热启动时间小于 1 分钟，直流电耗 3.16 kWh/Nm³，电池衰减 0.5%/1000h。⁵ 10 月，氢邦科技推出小型平管型 SOEC 高温电解系统，直流电耗 3.6 kWh/Nm³。

2.1.1.4 碱性阴离子交换膜电解水制氢

意大利 Enapter 公司是国际上少数成功生产出商业化 AEM 制氢设备的企业。2023 年 5 月，Enapter 发布了世界首个兆瓦级 AEM 电解槽，由 420 个制氢模块组成，单槽制氢规模达到 0.5 Nm³/h。

表 2-5 国外企业 AEM 电解槽产品参数

制造商	电解槽型号	直流电耗 (kWh/Nm ³)	氢气产量 (Nm ³ /h)	氢气纯度	运行负荷	工作压力 (MPa)
Enapter (意大利)	AEM Nexus 1000	4.8	210	99.9%	3%~100% (冷启动 30 min; 热启动 100 sec; 关机 3 min)	3.5

我国在 AEM 领域布局的企业相对较少，主要有深圳稳石氢能科技有限公司、北京中电绿波科技有限公司、惠州亿纬氢能有限公司和北京未来氢能科技有限公司等。2023 年 2 月，稳石氢能发布国内首款 2.5 kW AEM 电解槽，具有高效能、

⁵ 翌晶领航 | 国内首条 SOEC 电堆自动化产线下线及新品发布，
<https://mp.weixin.qq.com/s/Ou-yGw3BoTp9l0MU1zg9AQ>

快速启动和长寿命的特点，额定产氢量 0.6 Nm³/h，直流电耗 4.3 kWh/Nm³，压力 3 MPa，冷启动时间不大于 5 分钟，热启动时间不大于 60 秒，电解槽寿命大于 30000 小时。8 月，中电绿波发布了全国首台额定产氢量 10 Nm³/h 的 AEM 电解槽。该电解槽采用非贵金属催化剂，槽温 80℃，碱液浓度 10%，运行压力 3.2 MPa，电流密度可达 1.1 A/cm²，冷启动时间 16 分钟。

2.1.2 电解槽制造规模扩张

高工氢电产业研究所（GGII）数据显示，2023 年底我国电解槽厂商总产能激增至 38 GW，相比 2022 年增加 23 GW 以上，按当前厂商规划，预计 2025 年制氢装备总产能有望超过 65 GW。从区域分布看，我国电解水制氢设备厂商产能主要分布于江苏、广东和河北等省份，其中江苏省产能近 16 GW，是我国制氢装备产业的主要集聚地。考克利尔竞立、隆基氢能等电解槽头部企业均在江苏布局。从技术路线看，碱性制氢是目前国内外绿氢项目的主流路线，占比超过 93%，隆基氢能、派瑞氢能等头部厂商积极扩产以满足市场需求。

表 2-6 中国部分碱性制氢电解槽厂商产能及规划⁶

序号	技术路线	企业名称	2023 年产能（GW）	2024 年以后规划产能（GW）
1	碱性	派瑞氢能	3	6
2	碱性	考克利尔竞立	1.5	/
3	碱性	天津大陆	1	1.6
4	碱性	隆基氢能	2.5	5-10
5	碱性	阳光氢能	1	3
6	碱性	三一氢能	1.5	/
7	碱性	航天思卓	2.5	/
8	碱性	国富氢能	2.5	/
9	碱性	华易氢元	1.5	/
10	碱性	苏州青骊骥	1.5	/

⁶ GGII. GGII 数据: 2023 年底中国电解槽厂商总产能激增至 38GW [EB/OL]. (2024-01-07) [2024-01-07]. <https://mp.weixin.qq.com/s/P06aOUqQ1PTBKFFiZTytnA>.

注：按照“碱性 1 台套=1000 标方”测算；部分企业产能包括 PEM 制氢。

我国 PEM 制氢产业发展较慢，主要处于示范应用阶段，目前产能多在百 MW 级，规划产能最高达到 1 GW。2023 年 4 月，康明斯恩泽 PEM 制造基地投产，产能达到 500 MW，是国内最大的 PEM 制氢设备生产商。

表 2-7 中国部分 PEM 制氢电解槽厂商产能及规划⁶

序号	技术路线	企业名称	2023 年产能（MW）	2024 年以后规划产能（GW）
1	PEM	赛克赛斯	50	1
2	PEM	康明斯恩泽	500	1
3	PEM	长春绿动	100	1
4	PEM	卡沃罗	/	1
5	PEM	鹭岛氢能	200	/

SOEC 和 AEM 技术是电解水制氢的新型方式，相比传统的碱性制氢和 PEM 制氢，具有更高的效率和更低的成本。由于这两种技术的成熟度相对较低，目前还没有实现规模化的产能建设，相对于碱性制氢和 PEM 制氢还有一定的差距。2023 年以来，这两种技术迎来了快速的发展，吸引了行业的投融资关注，相关厂商加大了产品研发和示范应用的力度。

表 2-8 中国部分 SOEC、AEM 企业产能建设情况⁶

序号	技术路线	企业名称	时间	产能建设情况
1	SOEC	质子动力	2023.03	SOEC/SOFC 青岛生产基地暨电池片和电堆一期 MW 级产线投运。 预计 2024 年产能可达 10 MW。
2	SOEC	翌晶氢能	2023.04	下线首条 SOEC 电堆自动化生产线，年产能可达 100 MW。
3	AEM	稳石氢能	2024E	计划 2024 年开建首个超级工厂，预计 2025 年投产；计划 2026 年开建第二个超级工厂。

2.1.3 新兴制氢技术进展

海水直接电解制氢技术利用海上风电为清洁能源，将海水直接电解为氢气，为可持续、清洁的能源未来提供了一种可能。2023 年 5 月，中国工程院院士谢

和平领导的团队和东方电气公司联合开展的我国首次海上风电无淡化海水原位直接电解制氢技术中试获得成功，在真实海洋环境中稳定运行了 240 多个小时。2023 年 9 月，中国科学院大连化物所研究员王二东团队研发的直接电解海水制氢装置，连续稳定运行超 2000 小时，平均直流电耗 4.04 kWh/Nm³，实现标方级直接电解海水制氢装置长时间稳定运行，证明了直接海水制氢技术的可行性。

生物质的利用有可能生产出低排放的氢气，甚至在与 CCUS 结合时达到负排放。然而，其排放强度很大程度上取决于生物质供应链的上游排放。生物质气化是最成熟的技术。它通过高温和氧化剂（可以是水蒸气、氧气或二氧化碳）的存在下分解固体生物质的有机物质，产生合成气。日本和法国已经有运行中的示范项目，都使用污水污泥作为原料。此外，一些接近商业化规模的工厂也有望在近期投入运行。2023 年 2 月，SGH2 在美国 Lancaster 的项目达成了最终投资决策，该项目使用等离子体增强气化技术生产 4500 吨/年的氢气。Mote（一家美国公司）正在开发两个生物质气化项目，其中一个将 CCUS 与生产过程结合起来。美国的 Yosemite Clean Energy 和加拿大的 OMNI 也有处于开发阶段的项目。

甲烷等离子体裂解技术利用电能产生等离子体，使之达到高温，将甲烷分解为氢气和碳元素。2021 年，美国的 Monolith Materials 公司建成了第一座利用高温等离子体裂解技术生产氢气和固态碳（炭黑）的商业规模工厂。该项目的下一阶段，名为 Olive Creek 2，将于 2025 年开始商业化生产氢气，用于制造氨（20 万吨 H₂/年）。相比之下，甲烷催化裂解技术成熟度较低，其中甲烷在高温条件下（低于等离子体裂解的温度）在催化剂的存在下分解。澳大利亚 Hazer 公司正在建造一座年产 100 吨氢的示范工厂，并宣布在加拿大、法国和日本开发年产 2,500 至 10,000 吨氢的商业项目。芬兰 Hycamite 公司、美国 C-Zero 公司等也在推进相关的示范项目。甲烷热分解的技术成熟度更低，但加拿大 Ekona 公司也在对其进行示范。加拿大 Aurora 公司则在研究一种创新工艺，将微波加热应用于甲烷的热分解。

地下天然氢气的不断发现也引起了人们的广泛关注，被《科学》杂志评选为 2023 年度十大科学突破之一。天然氢优势在于它是一种能源，而非单纯的能量载体，从而消除了在其生产过程中使用化石燃料和电力的需求，可以减少排放，并避免能量转换损失。天然氢的生命周期碳排放取决于开采难度和杂质等因素的

影响，但初步研究表明，其碳排放可能低于 $1 \text{ kgCO}_2/\text{kgH}_2$ 。目前，有数十家公司参与了天然氢的勘探，但一些国家的监管框架仍然不完善，阻碍了项目的进展，只有少数国家已经开始了许可工作。天然氢的开发主要由小型公司牵头，但一些大型能源公司也开始对这项技术感兴趣，比如壳牌、BP 和 Chevron 也加入了一些合作项目。

表 2-9 天然氢勘探与开发项目⁷

国家	地区	开发商	状态
澳大利亚	约克半岛	Gold Hydrogen	已获得钻探许可，于 2023 年 10 月开始开采
澳大利亚	艾尔半岛	H2EX	已获得许可
澳大利亚	艾玛迪斯盆地	Santos	初步钻探以评估资源
法国	洛林盆地	La Française d'Énergie	提交独家采矿勘探许可申请
马里	布拉克布古	Hydroma	于 2012 年开始示范运营
西班牙	庇里牛斯	Helios Aragon	已获得钻探许可，预计于 2024 年开始开采
美国	亚利桑那	Desert Mountain Energy	提交钻探许可申请
美国	堪萨斯	Natural Hydrogen Energy	于 2019 年完成探索性开采
美国	内布拉斯加	HyTerra	完成钻探，待进行开采

2.2 氢能储运技术及基础设施进展

2.2.1 氢能储运技术进展

在储运氢领域，国际上已实现 70 MPa 的车载储氢 IV 型瓶、98 MPa 的站用储氢容器、52 MPa 大容积储氢瓶及管束集装箱的量产。⁸日本丰田公司研制的 70MPa 的 IV 型储氢瓶，质量储氢密度为 5.7%，已应用于 Mirai 系列燃料电池车。挪威 Hexagon 公司研制的 IV 型储氢瓶最高储氢压力可达 95 MPa。国际上能够提

⁷ IEA. Global Hydrogen Review 2023 [R]. Paris: International Energy Agency, 2023.

⁸ 氢能促进会. 未来将形成适宜不同运距的高效经济氢储运体系[EB/OL]. (2023-09-28) [2023-12-29].

<https://cn-heipa.com/newsinfo/6420232.html>

供商业化液氢装置的公司主要有 Praxair、Linde、Air Liquide 等。Praxair 液化装置单位能耗相对较低，约为 12.5~15 kWh/kg；Air Liquide 小型装置采用氨制冷氢液化流程，单位能耗约为 17.5 kWh/kg；未来能耗有望降低至 9~10 kWh/kg，目前，3 家企业均发布了 100~300 m³ 储量的可移动储罐产品。

我国的 35 MPa 和 70 MPa 的 III 型瓶技术较为成熟，IV 型瓶与国外先进水平还存在一定差距，主流储氢瓶生产企业如中材科技（苏州）、科泰克、天海工业、佛吉亚斯林达等正加紧推进 IV 型瓶产品的生产验证和产能建设。2023 年 9 月，中集安瑞科下线国内首台 30 MPa 碳纤维缠绕管束式氢气集装箱并实现批量生产，刷新了国内高压氢气运输装备运载量的新纪录，有望提升高压气氢的经济运输半径，并降低运氢成本。

我国液氢早期主要服务于航空航天等领域，液氢工厂数量和产量均落后于欧美国家。近年来，民用化进程加速，液氢装备国产化取得了重大突破。2019 年年底，中科富海 1.5 吨/天氢液化装置完成核心装备加工、制造，集成氢液化冷箱主体；2021 年 9 月，航天六院 101 所 2.3 吨/天氢液化系统顺利产出液氢；2023 年 3 月，中科富海 5 吨/天氢液化器大型卧式冷箱产品成功下线；2023 年 12 月，由北京中科富海低温科技有限公司牵头的国内首台民用 40 立方液氢罐车研制成功。目前，我国液氢发展的主要瓶颈是国产化设备的验证，以及进一步提升规模，降低能耗。

固态储氢方面，2023 年 4 月，上海氢枫能源技术有限公司联合上海交通大学氢科学中心发布吨级镁基固态储运氢车，具有安全性高、储氢密度高等优势。液态有机储氢材料也迎来项目示范，2023 年 6 月，瀚锐氢能液态有机储氢材料供氢示范站在广东佛山丹灶开工。

表 2-10 吨级镁基固态储运氢车参数⁹

类别		参数	备注
重量（吨）	整车	49	
	集装箱	33	储氢装置
	储氢量	1	下一代 1.5
	导热油	1	
体积（m）	集装箱	12x2.4x2.6	

⁹ 中国氢能联盟研究院．氢能产业观察（2023 年 5 月刊）．

储氢密度	质量	6.4wt%	单体理论值 7.6wt%
	体积	56 g/L	单体理论值 110 g/L, 下一代预计可达 70 g/L
吸放氢参数	吸氢	放热 250°C, 压力 1 MPa, 最大速率 108 kg/h	下一代 1.5 倍吸放氢速率
	放氢	放热 360°C, 压力 0.4~0.5 MPa, 最大速率 96 kg/h	耗电 13~14 度
成本	集装箱	300 万元	折合 3000 元/kg, 下一代 2000 元/kg
循环次数		>3,000 次	
氢气纯度		99.999%	
工作压力		≤1.2 MPa	

2.2.2 基础设施发展分析

在氢能基础设施建设方面, 全球已建成超过 5000 km 氢气长输管道, 其中 85%分布在美国和欧洲, 最高运行压力为 10.3 MPa。我国也在加快推动氢能长距离、大规模输送体系建设, 多条管道项目被提上日程。当前管道输氢/天然气掺氢管道项目主要由中国石油、中国石化、国家电投及其相关子公司承建, 天然气公司与城燃单位对管道掺氢项目的参与度明显, 市场集中度较高。2023 年 4 月 10 日, 中石化宣布“西氢东送”输氢管道示范工程被纳入《石油天然气“全国一张网”建设实施方案》。

表 2-11 我国氢气管线建设情况

管道	长度 (km)	直径 (mm)	压力 (MPa)	输氢能力	运营时间	备注
玉门油田输氢管道工程	5.77	200	2.5	1 万标立/小时	2022 年 7 月	甘肃省第一条中远距离纯氢管道, 连接玉门炼厂氢气加注站
巴陵-长岭输氢管道	42	-	4	4.42 万吨/年	2014 年 4 月	
金陵-扬子氢气管道	32	325	4	4 万吨/年	2008 年	基中 17km 在南京化工园区内架空敷设
济源-洛阳输氢管道	25	508	4	10.04 万吨/年	2015 年 8 月	国内目前已建管径最大、压力最高、输量最高的氢

						气管道
定州-高碑店氢气管道工程	164.7	508	4	10万吨/年	规划	国内目前规划建设的距离最长、输量最高、首条燃料电池级的氢气管道项目
通辽纯氢示范应用项目	7.8	323.9	1.6	10万吨/年	规划	
达茂-工业区氢气管道工程	159.07	610	6.3	10万吨/年	规划	二期 30 万吨/年
宁东基地首条入廊氢气输送管道	1.2	50	-	200 万标立/年	2022 年 3 月	
宝钢无取向硅钢产品结构优化标段三项目输氢管道	3.97	-	-	5040 吨/年	-	
乌兰察布陆上风电制氢一体化工程和输氢管道	400	-	-	10 万吨/年	规划	连接乌兰察布的制氢厂和中石化在北京的燕山石化

表 2-12 我国天然气管道掺氢项目示范

年份	项目/公司	公里数(公里)	管径(mm)	气量/年	掺氢比例/%	掺氢用途
2019	朝阳掺氢天然气管道示范项目	-	-	-	10	燃气锅炉
2023	张家口掺氢天然气管道示范项目	-	-	440 万标方	20	居民富氢灶具使用
2022 年 开工	中通辽隆圣峰规划建设示范工程	4.7	323.9	5000 吨	5~20	科技重大专项, 掺氢燃烧、氢气分离等多种终端用途
2023	宁夏银川宁东天然气掺氢管道示范	397	-	-	24	燃气管网掺氢试验平台

	平台					
2023 年 开 工	包头-临河输 气管道工程	258	457	12 亿 标方	10	具备掺氢能力的天 然气管网
2023 年 签 约	扎鲁特旗-乌 兰浩特氢混 长输管线	230	-	10 亿 标方	-	

在加氢站建设方面，交通联动工业成为加氢基础设施建设新模式，各地依托不同产业基础布局制氢加氢一体站。根据中国氢能联盟研究院的数据，2023 年，我国累计建成加氢站 428 座，其中在营加氢站 274 座。在营加氢站中，主要以 35 MPa 加氢站为主，占比超过 80%，35 MPa/70 MPa 混合站占比接近 10%；加氢能力以 500 kg/天到 1000 kg/天为主，占比约 50%，加氢能力大于 1000 kg/天的占比接近 40%，小于 500 kg/天约占 10%。目前，我国加氢站已覆盖全国 30 个省份，各地综合考虑本土资源禀赋及产业基础，推动加氢基础设施建设。宁东可再生氢碳减排示范项目配套 2 座加氢站完成中交，新疆首个离网光伏“绿氢制储加用”一体化项目在库尔勒投产。鄂尔多斯、长春等地风光制氢一体化站促进本地风光等可再生能源消纳，佛山天然气制氢一体站解决氢源成本高、供应难等问题。

2.2.3 氢能贸易进展

国际氢气贸易目前处于萌芽阶段，与实现净零排放所需的氢气贸易规模相差甚远。IEA 预计，到 2030 年，净零排放情景下，将有超过 20%的氢气和氢基燃料需求将通过国际贸易满足，而目前的氢气贸易仅限于少数几条连接比利时、法国和荷兰等工业区的氢气管道和一些试验性的海运项目。氨和甲醇是目前唯一的全球性的氢基燃料贸易品种，但主要用于化工行业，而非燃料用途。2021 年，全球约有 10%的氨需求和 20%的甲醇需求通过国际贸易得到满足。

表 2-13 氢及氢衍生品贸易示范项目（含规划项目）⁷

示范项目	载体	年份	贸易量
沙特阿拉伯-日本	氨	2020	40 吨氨
文莱-日本	LOHC	2020	102 吨氢

澳大利亚	液氢	2022	75 吨氢（非低碳氢）
沙特阿拉伯-韩国	氨	2022	2.5 万吨氨
阿联酋-德国	氨	2022	13 吨氨
智利-英国	合成汽油	2023	2600 L
沙特-日本、印度、中国等	氨	2023	规划

2.3 氢能项目进展

2.3.1 全球

2022 年，全球氢气产量 9500 万吨，制氢过程中的二氧化碳排放超过 9 亿吨。其中，7500 万吨（79%）来自专门的制氢工厂，其余 21%为混合气体，用于合成甲醇以及冶金。世界范围内，天然气是制氢的主要原料，占比约为 62%，煤制氢占比约为 21%，炼厂副产氢气约为 16%，电解水制氢、耦合 CCUS 的化石燃料制氢等低碳氢生产技术占比约为 0.7%，且主要来源于耦合 CCUS 的天然气制氢项目（图 2-2）。2022 年，电解水制氢产能不足 10 万吨，相比 2021 年增加了 35%，发展迅猛。

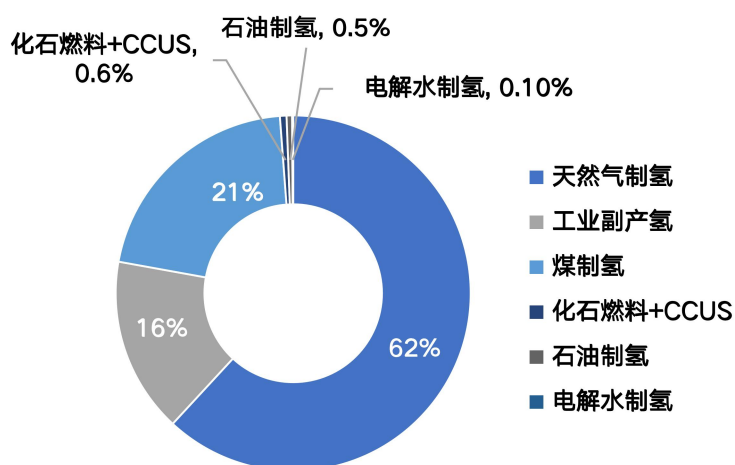


图 2-2 2022 年全球氢能生产情况

全球大规模部署氢气是应对气候变化的重要举措之一，具有重要的脱碳潜力。因此，低碳氢的生产备受关注。相比 2022 年，2023 年规划用于各种终端用途的低碳氢项目显著增加，广泛分布在工业、交通、建筑、能源等各个领域。如图

2-3 所示，交通领域项目数量达到 575 项，较 2022 年同期增加 30%，炼厂、合成氨、甲醇、钢铁等工业领域共计达到 923 项，相比 2022 年同期增加 60%，较 2021 年同期增加了两倍，说明在工业部门，低碳氢的规划显著提速。¹⁰

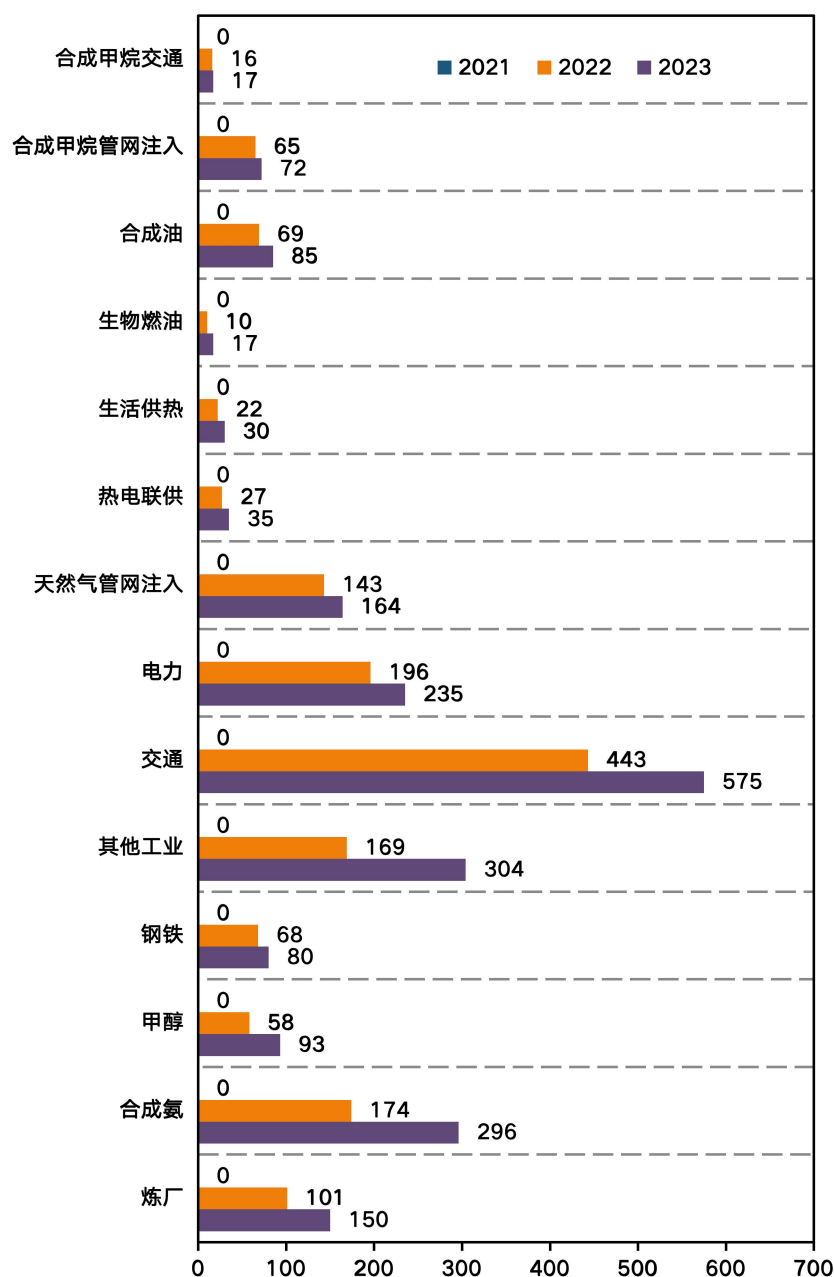


图 2-3 全球低碳氢生产项目终端用途统计

¹⁰ 数据库中大多数项目规划了多个终端用途，且未明确各个终端用户氢气的需求量。在本节的讨论中，旨在探讨不同部门规划项目的发展趋势，故本节统计终端部门的项目数量以及规划低碳氢产能时，凡是规划中涉及该终端部门的均考虑在内，项目数量及低碳氢产能存在重复统计。

随着欧盟将航运业纳入碳排放交易体系，要求航运公司缴纳碳配额，给航运业带来了高额的税费压力，也促进了航运业的低碳转型。绿氨和绿色甲醇可以作为氢气的良好载体，储氢密度高，能够支撑长距离海上运输及跨境贸易，因此受到广泛关注。根据 DNV AFI 统计数据, 2023 年全年新增甲醇燃料船舶 138 艘 (不包括甲醇运输船), 几乎是 2022 年 35 艘订单的四倍。DNV 表示, 甲醇燃料船舶中占“主导部分”是集装箱船 (106 艘), 其次是散货船 (13 艘) 和汽车运输船 (10 艘)。同时, 2023 年是“氨燃料的突破年”, 共产生了 11 个氨燃料船舶订单, 还有更多订单正在酝酿中。

在项目规划方面, 由于氨分子中完全不含碳, 2021 年以来受到的关注更多, 是绿氢项目的热点, 截至 2023 年 10 月的规划产能相比 2022 年同期增加了 1.5 倍, 相比 2021 年则增加了 10 倍以上, 到 2030 年绿氨合成相关的低碳氢产能将达到约 3800 万吨。相比绿氨项目的爆发式增长, 绿色甲醇合成相关的项目在 2022 年之前增速相对缓慢, 较 2021 年之前规划产能增加 30%, 但之后规划产能显著提速, 目前规划项目相比去年同期增长 1 倍以上。按目前规划项目预计, 2030 年绿色甲醇产能将达到 300 万吨。

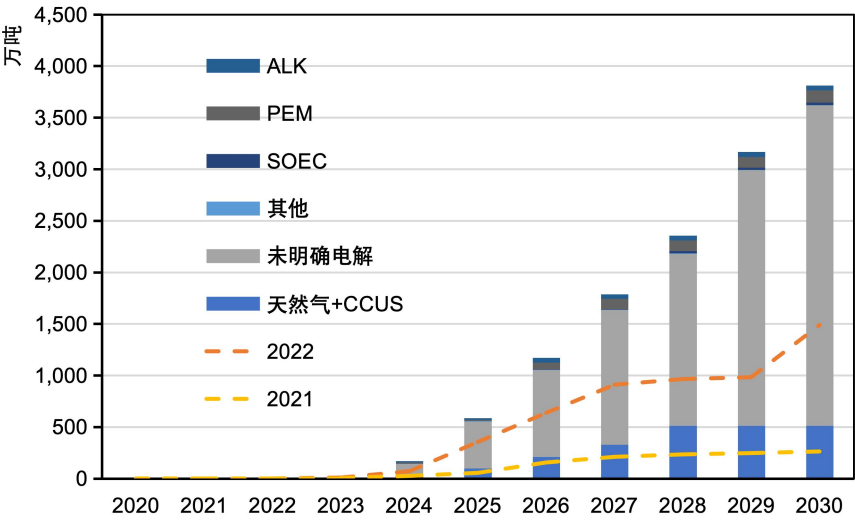


图 2-4 全球合成氨低碳氢规划产能

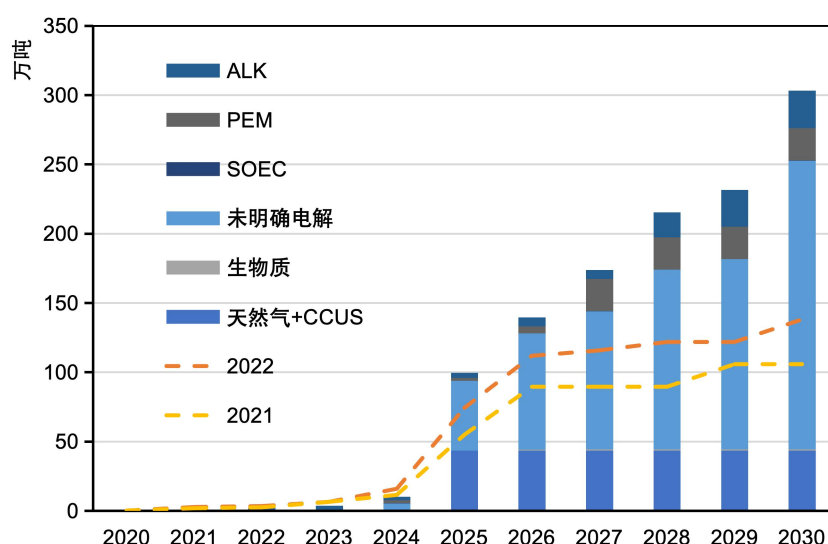


图 2-5 全球合成甲醇低碳氢规划产能

2.3.2 中国

双碳目标下，发展氢能已经成为能源行业减碳共识，中国氢气产量有望迎来快速增长阶段，氢气在终端消费中的占比也将逐渐提升。2022 年，我国氢气产量约 3533 万吨。其中，煤制氢约 1985 万吨，天然气制氢 750 万吨，工业副产氢 712 万吨，电解水制氢约 43 万吨。产能主要集中在西北、华北和华东地区。

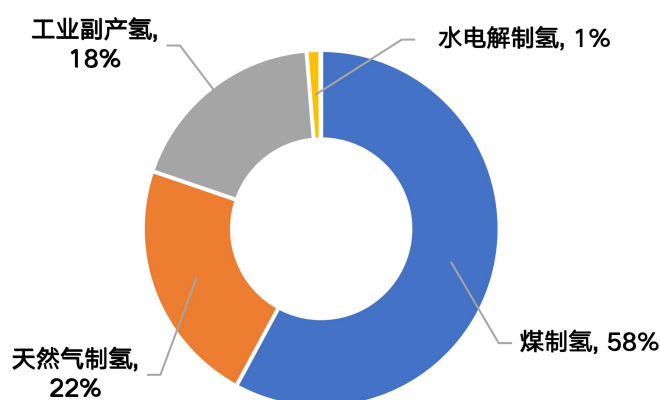


图 2-6 中国氢气生产情况¹¹

从终端消费来看，合成氨是我国氢气最大下游消费领域，需求 1107 万吨，占比 31%；生产甲醇氢气需求量为 925 万吨/年，占比 26%；石油化工氢气需求 823 万吨，占比 23%；其他用于供热等工业用途的氢气 675 万吨，占比约 19%；

¹¹ 氢能产业大数据平台。中国氢气生产与消费—氢流图(2022)年[EB/OL]. (2023-04-11)[2023-12-29].

<https://www.chinah2data.com/#/client/home>

交通、建筑与发电等领域占比<0.1%。

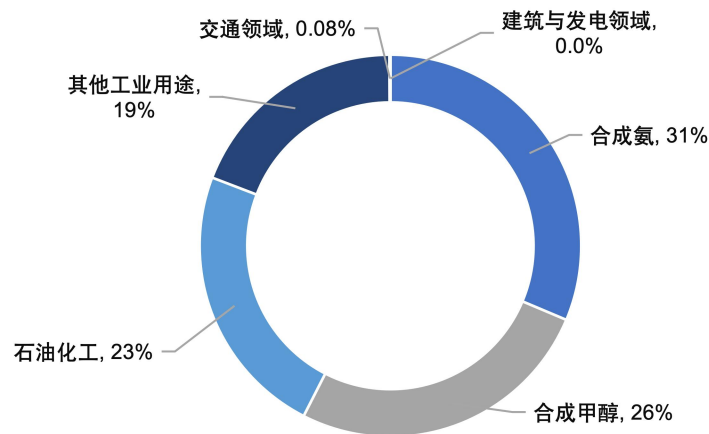


图 2-7 中国氢气需求情况¹¹

目前，中国的氢能产业已初具规模。2021 年，中国碳达峰碳中和“1+N”相关文件的发布、燃料电池汽车示范城市群启动、各级利好政策密集出台以及大中型央企积极布局、资本市场高度青睐等，都极大助推了中国氢能产业的发展。在供给方面，可再生能源制氢备受关注，绿氢规模持续扩大。应用方面，五大示范城市群燃料电池汽车推广、“氢进万家”示范工程、氢冶金示范、风光氢储一体化示范等项目推动氢能在交通、建筑、工业、储能领域的应用。

尽管当前大量绿氢项目面临着经济性、稳定性、寿命等诸多问题，我国绿氢项目发展火热程度仍持续高涨，主要原因是在国家能源战略转型背景下，国内以大型央企为代表的企业对氢能产业进行了全面的布局，产业链覆盖“制、储、运、加、用”等各个环节。中国石化、中国石油、中能建、国家电网、国电投、国家能源、三峡能源等央企国企积极部署绿氢示范项目，推动国内绿氢项目的发展。此外，众多地方政府政策将绿氢项目和风光项目指标进行绑定，鼓励企业在风光项目落地的同时配套绿氢项目，并在政策上对绿氢项目给予支持。

2023 年，我国两个万吨级绿氢项目投产。其中，中石化新疆库车绿氢示范项目于 8 月 30 日全面建成投产，年绿氢产能 2 万吨，就近供应中国石化塔河炼化公司。12 月 28 日，内蒙古鄂尔多斯纳日松光伏制氢示范项目 40 万千瓦光伏绿电成功并网，年绿氢产能 1 万吨，生产的氢气大部分用于绿氨合成，少部分用于加氢站。从国内规划项目状态看，2024 年有望迎来绿氢项目开工潮。然而，从新疆库车绿氢示范项目的运营情况看，碱性电解槽运行负荷波动范围过窄，难

以适应光伏发电的功率变化，是制约项目稳定运行的重要问题之一。根据中国石化报道，截止 2023 年 12 月 21 日，项目共运行 4200 小时，累计输送绿氢 2236 万 Nm³，平均小时输送量仅为设计输氢能力（2.8 万 Nm³/h）的 20%。¹²彭博新能源财经分析认为，电解槽设计和产品中使用的材料存在不足，导致其运行存在安全性问题，故只能以不到装机容量（5.2 万 Nm³/h）三分之一的效率运行。¹³因此，需要通过电解制氢系统的集成优化和运行，增强碱性电解槽的功率波动适配性，解决低负荷运行的问题。

甲醇作为国际公认的低碳清洁燃料之一，已经成为助推船舶领域实现节能降碳的重要技术路径，预计到 2027 年，新增绿色甲醇燃料需求将超过 600 万吨/年，航运公司也在积极寻求绿色甲醇供应伙伴。2023 年，国际航运巨头马士基与金风科技的全资子公司金风绿色能源化工签署了年产 50 万吨的长期绿色甲醇采购协议，支持首批 12 艘大型甲醇双动力船舶实现低碳运营。该协议是全球航运业首个大规模绿色甲醇采购协议，有效期将持续至 2030 年后。我国绿色甲醇项目受到了市场预期和需求的推动，以及传统产能的低碳转型的影响，投资规模快速扩大。

2.4 氢能政策进展

2.4.1 氢能部署的策略和目标

截至 2023 年 12 月底，全球已有包括中国在内的近 50 个国家和地区发布国家级氢能发展战略。在应对气候变化和能源危机双重压力下，欧美日韩等国家与地区进一步提高氢能发展目标，并积极向重点碳排放领域拓展。

氢能战略的发布是政府资助的最大驱动力，为氢能项目提供了各种形式的财政支持和激励措施。美国发布了《国家清洁氢能战略和路线图》，并根据最新的 CCUS、可再生能源和可持续航空燃料（SAF）生产税收抵免和项目资金，修订

¹² 华夏能源网. 30 亿绿氢项目利用率低惹争议，中石化回应暴露更多问题：实际利用率仅 20%[EB/OL]. (2024-01-02) [2024-01-03]. <https://36kr.com/p/2585505739530369>

¹³ Hydrogeninsight. World's largest green hydrogen project 'has major problems due to its Chinese electrolyzers': BNEF[EB/OL]. (2023-12-11) [2023-12-15]. <https://www.hydrogeninsight.com/production/exclusive-worlds-largest-green-hydrogen-project-has-major-problems-due-to-its-chinese-electrolyzers-bnef/2-1-1566679>

了其战略，为绿氢制备提供补贴。此外，日本、德国、韩国、法国等国家和地区也更新了现有的氢能战略。日本《氢能基本战略》（修订版）将氢能目标由 2017 年提出的 2040 年 500~1000 万吨调整为 1200 万吨（含氨）和 2050 年 2000 万吨（含氨）；德国新版《国家氢能战略》（2023 年）将 2030 年国内电解水制氢目标由 2020 年版的 5 吉瓦提高到至少 10 吉瓦，氢能需求量从 90~110 太瓦时提高至 95~130 太瓦时；同时持续拓宽氢能多元的氢能应用场景，日本将氢能应用场景拓展至钢铁、化工、航空等“难以减排领域”，并积极推动氢氨燃料在煤电领域应用；韩国新版氢能规划将氢能应用已扩展至钢铁和化工等重点碳排放领域。⁷ 法国公布《国家氢能战略》更新版草案，讨论了氢在工业部门的应用，并部署了首批氢能技术试点项目，支持工业去碳化和当地交通业的发展，确保法国在能源安全以及在氢技术创新和工业应用中的领先地位。

新的和更新的氢能战略显示了全球部署氢气技术的雄心壮志。根据政府公布的目标，到 2030 年，全球低排放氢气的生产量将达到 2800-3600 万吨，比 2022 年的目标增加了近一倍。其中，美国、印度、纳米比亚、阿联酋等国家对上述目标的贡献最大，分别为 1000 万吨、500 万吨、100-200 万吨和 140 万吨的低排放氢气。

我国的氢能政策方面，国家首个氢能标准政策《氢能产业标准体系建设指南（2023 年版）》出台，氢能“1+N”政策体系持续完善。氢能作为低碳能源、绿色产业、新型电力系统重要的一环，被写入包括《绿色低碳先进技术示范工程实施方案》《绿色产品指导目录》《新型电力系统发展蓝皮书》等多个文件。地方公开发布氢能专项政策 400 余项，针对项目投资、氢能产品等制定多元化的支持政策。大连给予加注能力在 1,000 kg/天及以上的加氢站 250 万元定额补贴，给予不超过 20 元/kg 的加注氢气补贴，进一步降低加氢站建设和运营成本。广东、吉林等地发布制氢加氢一体站政策，支持制氢在非化工园区开展，站内制氢规模最高可达 3,000 kg/天。克拉玛依推出对可再生氢及氢基产品（如绿氨、绿色甲醇）补贴政策，对于氢气产能大于 5,000 吨/年的风光制氢一体化项目主体可在 2024 年获得补贴 3,000 元/吨，2025 年获得补贴 1,500 元/吨。¹⁴

¹⁴ 中国氢能联盟研究院：氢能产业观察（2023 年 12 月刊）。

2.4.2 标准、认证和规范

2.4.2.1 绿氢标准和认证

制定和实施能够反映氢气的环境属性并确保其合规性的标准、监管和认证制度，对于促进低排放氢气的应用至关重要。这些制度可以为氢气的生产者、消费者和贸易者提供清晰和可信的信息，增强市场透明度和信任，降低交易成本和风险，激励低碳投资和创新。过去几年，各方利益相关者，在国际氢气和燃料电池经济伙伴关系（IPHE）的带领下，致力于制定一种通用的全球方法，用于核算氢气及其衍生物的全生命周期温室气体排放。IPHE 已经完成了《确定氢气的生产、转化和运输相关的温室气体排放的方法》的文件，这一文件将在制定国际标准的过程中发挥重要作用。国际标准化组织（ISO）计划在 2023 年底发布一个技术规范，随后在 2024 年底发布一个国际标准草案。这些标准将为氢气的环境属性的监管和认证提供技术指导和参考。目前有七个国家和地区性组织已经建立了氢气的监管和认证制度，另有六个国家宣布将出台相关的制度，但具体的合规性核算方法尚未确定。这些制度在范围、系统边界和资格标准等方面有一些共同点，但也存在显著的差异。2023 年 7 月，IEA Hydrogen TCP 启动了一个新的氢气认证任务，以处理认证协调的技术问题。

表 2-14 氢及氢衍生品监管框架和认证体系⁷

政府	名称	目的	产品	状态	标准
澳大利亚	原产地保证认证计划	自愿	氢气及氢载体	开发中	无适用标准，唯一要求是为生产的氢气实施排放核算方法
加拿大	清洁氢投资税收优惠	法规，获得税收优惠	氢，氨	开发中	氢（排放强度<0.75，0.75-2，2-4 gCO ₂ -eq/gH ₂ ） 氨（排放强度<4 gCO ₂ -eq/gH ₂ -eq）
丹麦	原产地保证认证计划	自愿	氢气，基于氢的燃料	实施	从可再生能源生产
欧盟	可再生能源指令 II	法规，计入可再生能源目标	氢气，基于氢的燃料	实施（认证计划开发中）	从可再生能源生产（或 <65 gCO ₂ -eq/kWh 的电力网电力），符合时间和地理相关性、可再生发电的附加性标准
法国	法国法令第 2021-167 号	法规，获得公共支	氢气	开发中	“低碳氢气”：<3.38 gCO ₂ -eq/gH ₂ “可再生氢气”：<3.38 gCO ₂ -eq/gH ₂ 且

		持项目			来自可再生能源
日本	基本氢能战略	法规, 获得公共支持	氢气, 基于氢的燃料	开发中	排放强度<3.4 gCO ₂ -eq/gH ₂
韩国	清洁氢认证机制	法规, 获得公共支持	氢气	开发中	排放强度<4 gCO ₂ -eq/gH ₂
印度	印度绿色氢标准	法规, 获得公共支持	氢气	开发中	从可再生能源生产, 排放强度<2 gCO ₂ -eq/gH ₂
意大利	源产地保证认证计划	自愿	电力和可再生气体 (包括氢气)	实施	从可再生来源生产
荷兰	源产地保证认证计划	自愿	氢气	实施	从可再生电力生产
西班牙	源产地保证认证计划	自愿	可再生气体 (包括氢气)	实施	从可再生电力生产
英国	低碳氢气标准; 认证计划	法规, 获得公共支持	氢气	实施 (认证计划开发中)	排放强度<2.4 gCO ₂ -eq/gH ₂
英国	可再生交通燃料义务	法规, 获得公共支持	氢气 (用于交通)	开发中	从可再生能源生产 (不包括生物能源), 排放强度<4.0 gCO ₂ -eq/gH ₂
美国	清洁氢生产标准; 税收优化	法规; 获取公共支持	氢气	开发中	按排放强度 (<0.45, 0.45-1.5, 1.5-2.5, 2.5-4 gCO ₂ -eq/gH ₂) 获取投资税收支持

2020 年 12 月 29 日, 中国氢能联盟发布了全球首个“绿氢”标准《低碳氢、清洁氢与可再生能源氢的标准与评价》(T/CAB 0078—2020), 该标准对标欧洲 Green Hydrogen Certification 项目, 按照生命周期评价方法对氢气生产过程中温室气体排放进行评价, 将氢分为低碳氢、清洁氢与可再生氢。其中, 低碳氢的碳排放强度不高于 14.51 kgCO₂-eq/kgH₂, 清洁氢则不高于 4.9 kgCO₂-eq/kgH₂, 可再生氢则在清洁氢的基础上, 额外要求制氢能源为可再生能源。然而, 由于我国目前的政策尚未按照碳排放强度进行补贴, 企业对清洁氢和可再生氢的认证还处于观望阶段。

2.4.2.2 运行及安全标准

除了环境属性之外，建立氢气价值链还需要制定一系列涵盖安全、技术兼容性和运行问题的国际标准，以保证氢气的质量、性能和可靠性。欧洲清洁氢气联盟在 2023 年 3 月发布了一份氢气标准化的路线图，全面梳理了氢气标准化的缺口、挑战和需求，以及加快和简化标准制定的建议。该路线图将帮助欧盟委员会向欧洲标准化组织提出氢气标准的需求。在氢气安全方面，欧洲氢气安全小组（EHSP）更新了欧盟氢气和燃料电池项目的安全规划和管理指南。该指南旨在帮助欧盟项目采用最先进的氢气安全实践，通过整合安全经验、专业知识和规划。此外，EHSP 还制定了一份新的文件，包含了从氢气事故数据库中获取的统计数据、经验教训和建议。

为了保证氢气的质量、性能和可靠性，各国和国际组织在制定和发布一系列涵盖安全、技术兼容性和运行问题的国际标准，特别是针对新的氢气应用领域。例如，美国的 SAE 国际宣布正在制定高流量、通用的氢气加注协议；国际电工委员会（IEC）发布了两个新的标准，用于测试挖掘机用燃料电池/电池混合系统和基于固体氧化物电池的电力-甲烷能源系统的性能，并修订了另外两个关于卡车燃料电池系统的安全和性能测试的标准；国际标准化组织正在制定五个与加注站和协议相关的标准。

我国国家标准委员会在 2023 年 8 月发布了一份涵盖氢气生产、储存、运输和终端使用的安全和运行方面的标准指南，旨在到 2025 年之前基本建立支撑氢能全链条发展的标准体系，制修订 30 项以上氢能国家和行业标准，打通产业链上下游的关键环节。

3 结论

氢能是一种清洁无碳、灵活高效、应用场景丰富的二次能源，对应对气候变化、优化能源结构、实现深度脱碳具有重要作用。为此，本报告系统梳理了氢能制取、储存、运输、应用等环节的主要技术、产业和政策问题，阐述了 2023 年度氢能主要技术、产业、政策的发展态势。

在技术方面，我国的 ALK 电解槽成本较低，在国际上占有显著优势。最新发布的电解槽电解能耗低至 4.1 kWh/Nm³，与国际先进水平相当，单槽规模高达

3000 Nm³/h，居世界领先水平。部分企业开始探索差异化发展路径，通过改进设计和材料，提升碱性电解槽与可再生能源的匹配能力。我国 PEM 电解槽处于产业化初期，存在关键材料和组件国产化不足的问题。2023 年以来，我国质子交换膜电解槽新品发布显著提速，技术指标已经趋近于国际先进水平，关键材料的国产化率也在不断提高，但目前国产 PEM 电解槽及尚缺乏实际应用验证。我国 SOEC 电解槽和 AEM 电解槽技术还不够成熟，特别是 SOEC 技术，与国际先进水平差距较大。除了电解水制氢技术之外，新兴制氢技术如海水直接电解制氢、天然氢勘探与开采等也在探索和示范阶段。

氢能储运技术主要有高压气态、低温液态、金属氢化物、液态有机氢载体等。我国氢能储运技术进展迅速，但在高压气态、液态等储运氢技术领域与国际先进水平仍然存在差距。目前，我国 IV 型储氢瓶、30 MPa 氢气集装箱已经实现生产验证，将推进产能建设。液氢装备国产化水平显著提升，民用领域进展迅速，但在装置规模和能耗指标上与国际先进水平还存在差距。我国固态储氢车实现吨级规模，相关项目示范在推进中。氢能基础设施方面，我国正在加快推动氢能长距离、大规模输送体系建设，加氢站建设也成果显著。氢能贸易主要依赖于氢能载体的转化和运输，日本、澳大利亚、沙特阿拉伯等国家积极推动跨境氢能合作，探索建立国际氢能市场。

在氢能项目进展方面，全球氢能项目规模持续扩大，涉及工业、交通、建筑、能源等多个领域，低碳氢项目受到政府和企业的青睐。我国氢能项目发展火热，央企、地方政府、民营企业等多方参与，绿氢项目规模不断增加。通过示范项目发现，碱性电解槽运行负荷波动范围过窄，难以适应光伏发电的功率变化，是制约项目稳定运行的重要问题之一，需要通过电解制氢系统的集成优化和运行，增强碱性电解槽的功率波动适配性，解决低负荷运行的问题。

在氢能政策部分，全球近 50 个国家和地区发布氢能战略，提出氢能发展的目标和措施，加大对氢能项目的资金支持和激励。我国氢能政策体系持续完善，在国家层面，出台了首个氢能标准政策《氢能产业标准体系建设指南（2023 年版）》；在地方层面，公开发布氢能专项政策 400 余项，制定了多元化的支持政策。此外，绿氢相关的认证标准和规范，对其未来发展至关重要。目前，各个国家发布的绿氢认证相关标准还存在比较大的差异，需推动建立协调一致的绿氢认证规

则。

参考文献

见脚注
