

氢能行业专题研究之三：制氢电解槽

超配

绿电制氢蓬勃发展，电解槽产业化进程加速

核心观点

全球能源向低碳转型，各国政策推动氢能发展。氢能是一种应用场景丰富的二次能源，具备清洁环保、热值高等特点，可大规模应用于交通、工业、建筑及储能领域。中欧美日韩等全球主要经济体很早就将发展氢能提升到国家能源战略层面，出台相应发展规划、路线图以及产业政策。随着全球可再生能源的全面平价和大规模发展，全球能源结构转型加速，绿电制氢产业也影响进入快速发展阶段。国家能源署（IEA）预计到2030年全球电解槽装机量有望达到260GW以上。

绿氢平价时代即将到来。目前化石燃料制氢生产成本约10-17元/kg。在电价0.3元/kWh条件下，每公斤碱性电解水制氢和PEM电解氢成本分别为22.8元和37.6元，当电价降至0.2元/kWh时，绿氢可与天然气制氢成本接近，电价降至0.1元/kWh时可与煤制氢平价。若考虑国内100元/吨碳交易成本，当电价为0.15元/kWh时，绿氢即可与煤制氢平价。随着技术进步和规模化生产，绿氢具备更大的发展空间。

电解槽需求爆发，产业化快速推进。2023年国内电解槽市场招标需求爆发，1-6月招标量超过815MW，已经超过2022年全年出货量。我们预计2023年国内电解槽出货2.3GW，对应电解槽市场空间42亿元，预计2030年电解槽新增需求47GW，对应国内电解槽市场空间将达到565亿元，至2030年国内电解槽累计装机将达到190GW；全球维度来看，我们预计2023年全球电解槽采购需求6.2GW，对应电解槽市场空间321亿元，预计2030年全球电解槽新增装机量138GW，对应全球电解槽市场空间将达到3822亿元，至2030年全球累计装机量将达到569GW。

未来电解槽行业将整体呈现三大趋势：1) 电解槽关键材料的国产化进程加速，更适用于可再生能源电解制氢的质子交换膜电解槽（PEM）的关键材料，包括催化剂、膜电极、气体扩散层等国产化进程加快；2) 各种技术路线的电解槽设备趋向于更低的电耗，更宽的负载工作范围，更大的单体规模，更高的电流密度以及更长的使用寿命，其本质在于提升电解槽产氢量同时降低单位制氢成本；3) 国内电解槽企业将凭借深耕已久的技术和价格优势，出海合作，开拓海外市场。

风险提示：全球氢能政策推进不及预期，绿氢需求不及预期，竞争加剧风险。

投资建议：关注当前产业链布局领先企业，推荐华电重工、隆基绿能、阳光电源、双良节能。

重点公司盈利预测及投资评级

公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘 (元)	总市值 (亿元)	EPS		PE	
					2023E	2024E	2023E	2024E
601226.SH	华电重工	买入	7.69	90	0.38	0.5	20	15
601012.SH	隆基绿能	增持	27.89	2115	2.53	3.15	11	9
300274.SZ	阳光电源	买入	118.4	1759	4.77	6.53	25	18
600481.SH	双良节能	增持	13.22	247	1.34	1.66	10	8

资料来源：Wind、国信证券经济研究所预测

行业研究 · 行业专题

电力设备

超配 · 维持评级

证券分析师：王蔚祺

联系人：徐文辉

010-88005313

021-60375426

wangweiqi2@guosen.com.cn xuwenhui@guosen.com.cn

S0980520080003

市场走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

相关研究报告

- 《氢能重大事件点评-欧盟碳关税切航运业减排 氢能船舶发展扬帆在即》——2023-04-19
- 《全国首台吨级镁基固态储氢车发布点评-新兴技术应用落地，持续关注商业化进展》——2023-04-17
- 《氢能专题研究之二：固态储氢——新兴技术优势凸显，从零到一前景广阔》——2023-04-04
- 《氢能专题研究之一：氢能重点产业链介绍》——2021-12-03

内容目录

全球碳中和推动氢能产业发展	5
全球能源向低碳转型，氢能为重要选择.....	5
各国政策推动绿氢产业高质量发展.....	6
绿氢平价时代即将到来	9
当前灰氢为主要来源，绿氢成本高但对环境最友好.....	9
多因素推动绿氢成本有望快速下行.....	11
电解槽需求爆发，产业化快速推进	14
不同电解水制氢技术路径介绍.....	14
碱性电解水制氢技术原理及市场现状.....	15
PEM 电解水制氢技术原理及市场现状.....	17
SOEC 电解水制氢技术原理及市场现状.....	20
AEM 电解水制氢技术原理及市场现状.....	22
电解槽需求爆发.....	22
电解槽供给侧产能加速提升.....	25
电解槽未来发展趋势.....	26
电解槽装机量及市场空间测算.....	28
相关企业梳理	29
电解槽企业梳理.....	29
电解槽部件企业梳理.....	31
投资建议：关注制氢产业链布局领先的公司	32

图表目录

图 1: 氢能全产业链图示.....	5
图 2: 2021 年氢气下游需求结构.....	6
图 3: 2060 年氢气下游需求结构.....	6
图 4: 2021 年全球制氢来源结构.....	9
图 5: 2021 年中国制氢来源结构.....	9
图 6: 电价、电解槽电耗的制氢成本平价曲线测算.....	12
图 7: 不同碳交易价格下灰氢制氢成本 (元/kg).....	13
图 8: 碱性电解槽结构示意图.....	15
图 9: 碱性电解槽工作原理.....	15
图 10: 碱性电解水制氢装置工艺流程图.....	16
图 11: 碱性电解水制氢系统成本构成.....	16
图 12: 电解槽成本构成.....	16
图 13: PEM 电解槽结构及原理图.....	18
图 14: PEM 电解水制氢装置工艺流程图.....	18
图 15: PEM 电解水制氢系统成本构成.....	19
图 16: PEM 电解槽成本构成.....	19
图 17: 质子传导型 SOEC 工作原理.....	21
图 18: 氧离子传导型 SOEC 工作原理.....	21
图 19: SOEC 电解水系统构成图.....	21
图 20: 2023 年不同电解水制氢设备企业中标量对比 (MW)	24
图 21: 2023 年不同电解水制氢设备企业中标均价对比 (元/W)	24
图 22: 2021-2030E 国内和全球电解槽出货量及预测 (GW)	25
表 1: 全球主要经济体近年氢能政策梳理.....	7
表 2: 美国 IRA 法案绿氢生产税收抵免条款.....	8
表 3: 全球各地区 2030 年绿氢生产及电解槽规模指引.....	8
表 4: 各种制氢方式的碳排放强度.....	9
表 5: 部分制氢方式对比.....	10
表 6: 电解水制氢成本构成比较 (电价 0.3 元/kWh)	11
表 7: 不同电解水制氢技术的比较.....	14
表 8: 部分企业碱性电解槽参数对比.....	17
表 9: 部分企业 PEM 电解槽参数对比.....	19
表 10: 国内 12 个兆瓦级 PEM 电解水制氢项目进展梳理.....	20
表 11: 国内 SOEC 企业与科研院所产品信息.....	22
表 12: 2023 年度 1-6 月电解槽招标情况.....	23
表 13: 2023 年度 1-6 月国内电解槽中标情况.....	23
表 14: 电解槽企业 2022-2023E 产能统计.....	25

表 15: 电解槽关键参数发展方向.....	26
表 16: 2022 年至今国内电解槽企业出海合作案例.....	27
表 17: 国内和全球电解槽装机量及市场规模测算.....	28
表 18: 电解槽相关企业梳理.....	29
表 19: 电解槽部件相关企业梳理.....	31
表 20: 相关公司盈利预测及估值 (2023. 7. 6)	32

全球碳中和推动氢能产业发展

全球能源向低碳转型，氢能为重要选择

氢能是传统化石燃料的理想替代。为应对全球气候变化，满足可持续发展的要求，世界各主要经济体均加快了低碳转型进程，目前已有超过 130 个国家及地区提出制定碳中和目标，多数国家将在 2030 年实现中期减碳并于 2050 或者 2060 年实现碳中和。在碳中和的大背景下，世界各国加速寻求清洁能源的开发和利用。氢能作为一种清洁环保、热值高、安全性好、应用场景丰富的二次能源，是传统化石燃料的理想替代，正逐步成为全球能源转型发展的重要载体之一。

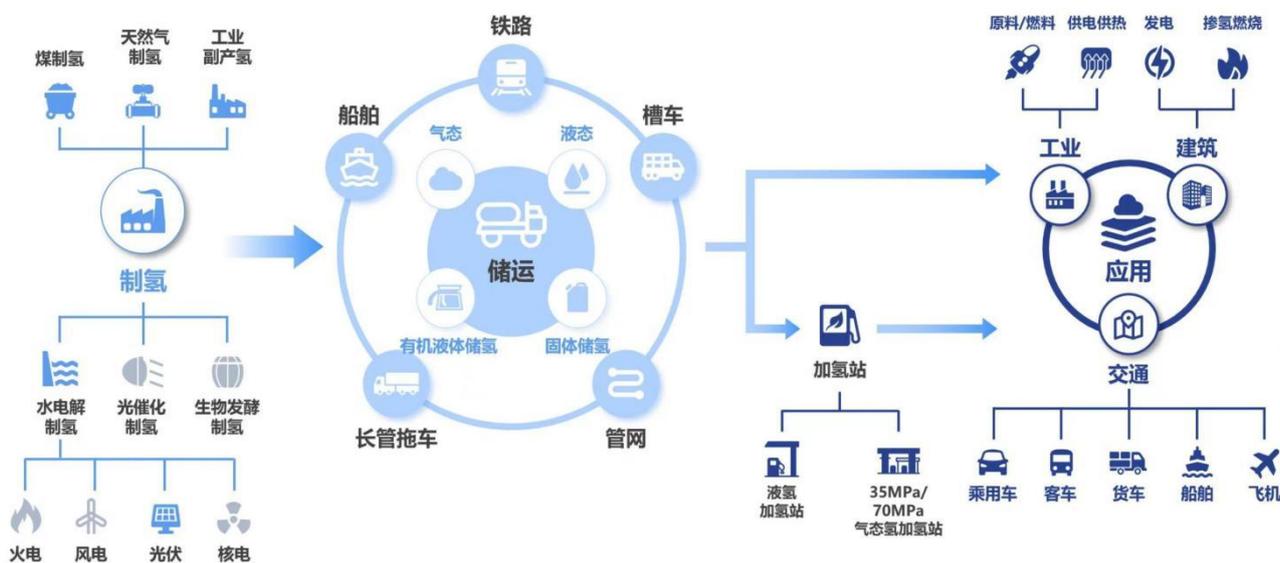
清洁环保：在氢的应用中，氢与氧反应只生成能量和水。氢在燃烧、燃料电池电化学反应过程中都不会生成化石能源使用过程中所产生的污染源和二氧化碳，可以真正实现零排放。

热值高：氢气热值高达 142 kJ/g，目前是常见燃料中热值最高的，约为汽油、天然气热值的 3-4 倍，焦炭的 4.5 倍，氢气的高热值意味着相同质量燃料消耗下，氢气能够提供更多的能量。

安全性好：氢气扩散系数是汽油的 12 倍，当氢气发生泄漏后极易消散，不容易形成可爆炸气雾，爆炸下限浓度远高于汽油和天然气。

应用场景丰富：目前氢能可广泛应用于交通运输领域、建筑领域、储能领域和工业领域。

图1：氢能全产业链图示



资料来源：Scale Partners，国信证券经济研究所整理

1) 交通领域方面，目前交通运输业产生的碳排放量约占全球碳排放量的 24%左右，燃料电池车具有零排放、续航里程长等特点，目前公路长途运输、铁路、航空及航运将氢能视为减少碳排放的重要替代燃料之一。

2) 建筑领域方面，氢能与建筑领域结合，是近年兴起的一种绿色建筑新理念。建筑领域需要消耗大量的电能和热能，目前热—电联产方式的综合效率可达 85%—

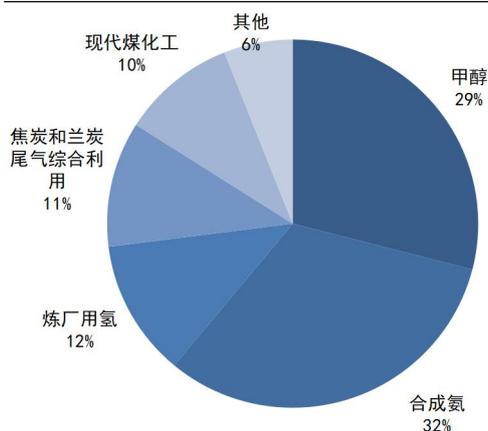
一氢燃料电池在为建筑发电的同时，余热可回收用于供暖和热水。在氢气运输至建筑终端方面，可借助较为完善的家庭天然气管网，以小于 20%的比例将氢气掺入天然气，并运输至千家万户。根据 Hydrogen Council 数据，至 2050 年 10% 的建筑供热和 8% 的建筑供能都将由氢能提供，每年可减少 7 亿吨二氧化碳排放。

3) 储能领域，氢能是大规模、长时间、长距离储能的优质媒介，同时可以配合其他储能方式灵活互补，也是最佳的能源互补方式。随着新型电力系统加速建设，需要更大规模、更长时间存储弃风弃电。例如，采用锂电+氢能储能方式，在短期储能场景下，锂电进行日级别的能源调峰，氢能进行季度级别的能源调峰，不乏一种优势互补的组合。

4) 工业领域目前是我国氢能应用占比最大的领域。氢是重要的工业原料。氢气可代替焦炭和天然气作为还原剂，可以消除炼铁和炼钢过程中的绝大部分碳排放。绿氢制备合成氨、甲醇等化工产品，有利于化工领域大幅度降碳减排。

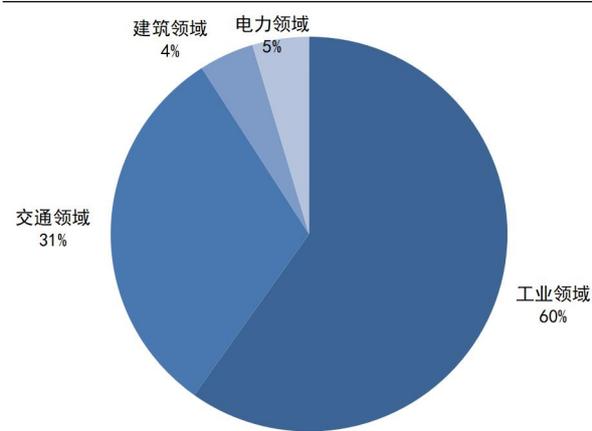
2021 年我国氢气产量达到 3300 万吨，从当前的终端需求来看，90% 以上用于工业领域，其中合成氨和合成甲醇对氢气需求合计占比超过 60%，炼厂用氢、煤化工等其他工业领域对氢气需求超过 30%。中国氢能联盟预计，在 2060 年碳中和情景下，我国氢气的年需求量将增至 1.3 亿吨左右，在终端能源消费中占比约为 20%。其中，工业领域用氢占 60%，约为 7794 万吨，交通运输领域占比 31%，约为 4051 万吨，建筑领域和电力领域合计占比约为 9%。

图2：2021 年氢气下游需求结构



资料来源：杨铮，田桂丽《我国氢气市场分析与发展前景研判》[J] 化学工业，2022 第 40 卷第 4 期：51-57，国信证券经济研究所整理

图3：2060 年氢气下游需求结构



资料来源：中国氢能联盟《中国氢能及燃料电池产业白皮书 2020》，国信证券经济研究所整理

氢能产业助力经济发展与能源安全。我国的能源结构是“贫油、少气、富煤”，2022 年我国石油和天然气两大能源对外依存度分别为 71.2% 和 40.2%，为全球第一大油气进口国。氢能的产业发展可带动相关能源行业转型升级、带动整体产业链发展，同时从能源结构上来讲，发展氢能可以降低对传统化石燃料的依赖。

各国政策推动绿氢产业高质量发展

目前全球氢能产业已经进入到快速发展阶段，欧美日韩等全球主要经济体已将发展氢能提升到国家战略层面，相应制定发展规划、路线图以及相关扶持政策以加快氢能产业化发展进程。

表1: 全球主要经济体近年氢能政策梳理

国家	时间	政策/名称	政策具体内容
中国	2022	《氢能产业发展中长期规划》	目标到 2025 年, 可再生能源制氢量达到 10-20 万吨/年。
	2023	《净零工业法案》	2030 年规划可再生能源发电总容量 1236GW 以上, 电解槽装机容量达 100GW 以上, 来自单一第三方国家的战略原材料年消费量不应超过 65%, 否则将无法享受补贴。
欧盟	2022	RepowerEU 计划	至 2030 年, 绿氢本土产量达 1000 万吨, 同时进口 1000 万吨绿氢, 以替代运输部门和工业领域的天然气、煤炭及石油。
	2022	碳边境调节机制 (CBAM)	欧盟引入碳边境调节机制, 对进口商品在制造过程中产生的碳排放征收碳关税, 产品覆盖钢铁、水泥、铝、化肥和电力及氢气, 该政策将从 2023 年 10 月起进入三年过渡期, 2026 年正式执行。
	2020	EU Hydrogen Strategy	规划至 2024 年安装至少 6GW 的电解槽, 并生产 100 万吨绿氢; 至 2030 年安装至少 40GW 电解槽和 1000 万吨绿氢产量。
	2023	《美国国家清洁氢能战略路线图》	划至 2030/2040/2050 年绿氢年产量分别达到 1000/2000/5000 万吨。
美国	2022	《通胀削减法案》(IRA)	根据不同制氢碳排放水平给予不同程度税收补贴优惠, 绿氢最高 3 美元/kg 的税收抵免。
	2022	《两党基础设施法》	计划提供 80 亿美元建设区域清洁氢中心, 10 亿美元开发水电解制氢技术, 5 亿美元支持制氢和再循环计划。
日本	2023	新《氢基本战略》	2030/2040/2050 每年氢气供应量为 300/1200/2000 万吨, 计划在未来 15 年内投资 15 万亿日元 (约合 1075 亿美元) 于氢能源项目, 同时规划到 2030 年电解槽装机容量达到 15GW。
	2021	氢能领先国家愿景	到 2030 年构建产能 100 万吨/年的清洁氢能生产体系。
韩国	2021	国家氢能目标	建立海外制氢基地, 通过进口满足绿氢需求。
	2020	绿色新政	目标 30 年构建 100MW 绿氢量产体系。
印度	2021	绿氢计划	宣布至 2030 年规划生产 500 万吨/年绿氢产能。
	2022	氢能任务草案	2030 年印度将建立每年 24GW 的电解槽生产能力和 100-130GW 的电解槽装机容量。

资料来源: 中国《氢能产业发展中长期规划》, 欧盟委员会, 美国《美国国家清洁氢能战略路线图》, 美国通胀削减法案, 美国《两党基础设施法》, 全球氢能, 势银《中国电解水制氢产业蓝皮书 2022》, 国信证券经济研究所整理

中国: 2022 年 3 月, 国家发改委发布《氢能产业发展中长期规划(2021-2035 年)》, 明确了氢能在我国能源绿色低碳转型中的战略定位、发展目标、重点任务等, 提出目标到 2025 年, 可再生能源制氢量达到 10-20 万吨/年, 各省市相应出台补贴优惠政策, 提出氢能产业规划以支持各地氢能产业发展。

欧盟: 欧盟于 2022 年提出 RepowerEU 计划, 规划至 2030 年, 本土绿氢产量目标达 1000 万吨, 同时目标进口可再生氢气 1000 万吨。2023 年欧盟再次提出《净零工业法案》规划到 2030 年电解槽装机容量达到 100GW 以上, 同时 CBAM 碳关税机制立法生效, 针对灰氢和蓝氢将收取碳关税, 使绿氢更具经济性

美国: 2023 年 6 月正式颁布了《美国国家清洁氢能战略路线图》, 规划至 2030/2040/2050 年绿氢年产量分别达到 1000/2000/5000 万吨。同时 IRA 法案给予绿氢最高 3 美元/kg 的税收抵免推进商用化进程。此外《两党基础设施法》也提供相应资金支持产业发展, 计划提供 80 亿美元建设区域清洁氢中心, 10 亿美元开发水电解制氢技术, 5 亿美元支持制氢和再循环计划。

表2: 美国 IRA 法案绿氢生产税收抵免条款

全生命周期碳排放 (kg CO ₂ /kg H ₂)	4-2.5	2.5-1.5	1.05-0.45	0.45-0
ITC—投资税收抵免 (%)	6%	7.5%	10%	30%
PTC—生产税收抵免 (\$/kg H ₂)	0.60	0.75	1.00	3.00

资料来源: 美国《通胀削减法案》, 国信证券经济研究所整理

日韩: 2023年6月发布了修订后的《氢基本战略》, 计划到2030/2040/2050每年氢气供应量为300/1200/2000万吨, 同时规划到2030年电解槽装机量达到15GW。韩国计划2030年构建百兆瓦级绿氢量产体系, 规划到2030年构建产能达100万吨的清洁氢能生产体系。2040年建立海外制氢基地, 通过进口满足绿氢需求。

印度: 2021年发布印度“国家绿氢计划”, 将在2030年前达成可再生能源制氢产能500万吨/年的目标, 努力使印度成为主要的绿色氢气出口国和生产地区, 并致力于到2030年建立每年24GW的电解槽生产能力, 2030年安装100-130GW的电解槽容量。

在各国政府政策积极推动下, 全球氢能行业有望迎来快速发展。中国氢能联盟预计在2030年, 中国电解槽装机量达到102GW, 可再生氢总需求量达到770万吨。而亚化咨询更是预测2030年国内电解槽装机量达到141GW, 国内绿氢产量达到1009万吨; 全球维度来看, IEA预计到2030年全球电解槽装机量达到260GW以上, 全球低碳氢产量达到3000万吨。

表3: 全球各地区2030年绿氢生产及电解槽规模指引

国家/地区	2030年氢能产业规模		来源
	绿氢年生产量 (万吨)	电解槽装机量 (GW)	
中国	770*	102	中国氢能联盟《中国2030“可再生氢100”发展路线图》
	1009	141	
欧盟	1000	100	RepowerEU计划, 《净零工业法案》
美国	1000	-	《美国国家清洁氢能战略路线图》
日本	-	15	新《氢基本战略》
韩国	100	-	氢能领先国家愿景
印度	500	100-130	国家绿氢计划, 氢能任务草案
全球	3000	260	IEA《World Energy Outlook2022》

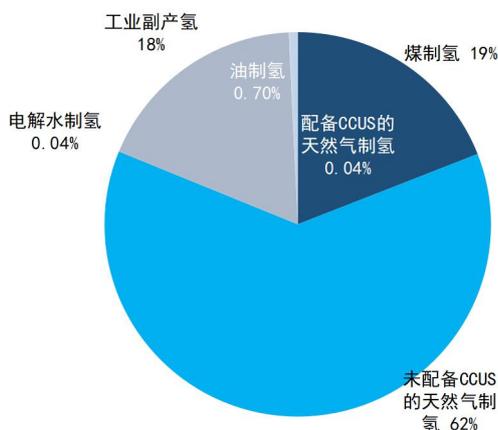
资料来源: 中国氢能联盟《中国2030“可再生氢100”发展路线图》, 亚化咨询, 欧盟委员会, 美国《美国国家清洁氢能战略路线图》, 全球氢能, 势银《中国电解水制氢产业蓝皮书2022》, IEA《World Energy Outlook2022》, 国信证券经济研究所整理。注: *代表需求量

绿氢平价时代即将到来

当前灰氢为主要来源，绿氢成本高但对环境最友好

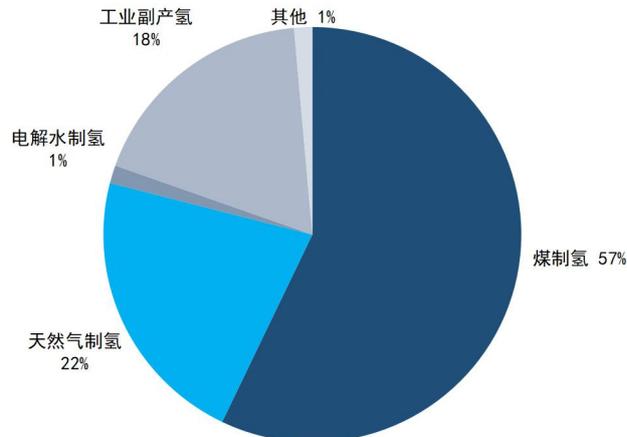
从制氢方式来看，主要制氢方式包括化石燃料制氢、工业副产氢和电解水制氢等三类。目前全球范围内主要依靠化石燃料制氢和工业副产氢，IEA 数据显示全球制氢来源中，天然气制氢占比达到 62%，工业副产氢占比达到 18%。中国目前是世界最大的氢气生产国，以煤制氢为主，占比达到 57%，其次为天然气制氢占比 22%，工业副产氢占比 18%，而电解水制氢占比仅为 1%。化石燃料制氢主要优势在于生产成本较低，工艺成熟，但在生产过程中产生大量碳排放。

图4：2021 年全球制氢来源结构



资料来源：国际能源署（IEA）《全球氢能回顾 2022》，国信证券经济研究所整理

图5：2021 年中国制氢来源结构



资料来源：中国氢能联盟研究院《中国 2030 “可再生氢 100” 发展路线图》，国信证券经济研究所整理

根据从制备来源及碳排放量划分，氢气可以分为灰氢、蓝氢和绿氢。化石能源制氢具有较高的碳排放，其中煤制氢碳排放最高，制取 1kg 氢的碳排放超过 20kg 二氧化碳，天然气制氢约为煤制氢的一半，这两种统称为灰氢。采用上网电力进行电解水制氢，由于目前我国电力大部分来自火电，因此碳排放很高，甚至超过煤制氢。可再生能源电解水制氢（绿氢）碳排放最低，接近于零。化石能源制氢加上碳捕集技术（蓝氢），碳排放强度会大幅度下降，但仍高于可再生能源制氢，且带来较高的碳捕集成本。

表4：各种制氢方式的碳排放强度

制氢方式	碳排放强度 (KgCO2/KgH2)
煤制氢（灰氢）	22-35
天然气制氢（灰氢）	10-16
石油制氢（灰氢）	12
煤制氢+CCUS（蓝氢）	3-5
天然气+CCUS（蓝氢）	1.5-2.4
可再生能源电解水制氢（绿氢）	<0.5

资料来源：国家电投集团氢能产业创新中心《氢能百问》，中国电力出版社，2022 年第一版，国信证券经济研究所整理

从成本方面看，化石燃料制氢成本整体低于 15 元/kg。煤制氢成本主要受到煤价格波动影响，当煤价格为 750 元/吨时，测算得单位氢气成本约为 12.22 元/kg，考虑煤价于 400-1000 元之间波动，故煤制氢单位氢气成本区间为 9-15 元/kg。天然气制氢成本主要受到天然气价格波动影响，当天然气价格为 2.5 元/Nm³时，测算得单位氢气成本 12.8 元/kg。考虑天然气价格于 1.8-3.5 元/Nm³波动，天然气制氢单位氢气成本区间为 10-17 元/kg。

工业副产氢成本大致为 9-22 元/kg。根据《中国氢能产业发展报告 2020》，焦炉煤气制氢综合成本在 9.3-14.9 元/kg 左右，氯碱工业副产制氢的综合成本在 13.4-20.2 元/kg 左右。丙烷脱氢制氢综合成本为 14.0-20.2 元/kg，合成氨及合成甲醇技术路线制氢成本为 14.6-22.4 元/kg。

表5：部分制氢方式对比

制氢方式	煤制氢	天然气制氢	水电解制氢	氨分解制氢	甲醇裂解制氢
适用规模 (Kg)	900-1800	>450	0.18-90	<4.5	1.8-2.5
制氢成本 (元/Kg, 标况)	6.7-13.4	9.0-16.8	28.0-39.2	22.4-28.0	20.2-28.0
主要消耗 (标况, Kg)	煤: 81.7Kg 电: 4kWh	原料天然气 5.4 立方 燃料天然气 1.3 立方	除盐水: 9.2 公斤 电: 61.6kWh	电: 14.6kWh 液氨: 5.8Kg	电: 0.6kWh 甲醇: 5.8Kg
主要特点	技术成熟, 成本低廉, 污染大, 碳排放高	技术成熟, 存在一定程度的污染和碳排放, 但较煤制氢低。	技术较成熟, 清洁无污染, 无碳排放	储运方便; 反应温度较高; 液氨有一定毒性, 无碳排放, 无一氧化碳和硫等杂质。	运输安全方便, 存在一定程度的碳排放。

资料来源：国家电投集团氢能产业创新中心《氢能百问》，中国电力出版社，2022 年第一版，国信证券经济研究所整理，注：原文单位为标方，此处按照 0.089Kg/标方换算成公斤单位。

碱性电解水制氢当前成本大约为 24 元/kg。电解水制氢成本一般包括设备成本、能源成本（电力）、原料费用（水）以及其他运营费用。假设单套碱性电解槽制氢规模 1000Nm³/h，单套电解槽设备投资额为 750 万元，直流电耗 5.0kwh/Nm³，年工作时长 2000 小时，设备按照 10 年期折旧，土建及安装成本为 150 万元，我们测算当用电价格为 0.3 元/kWh 时，电解水制氢成本单位为 23.77 元/kg。

PEM 电解水制氢当前成本大约为 38 元/kg。我们假设单套 PEM 电解槽制氢规模 250Nm³/h，设备投资额参照大安风光制绿氢合成氨一体化项目 50MW PEM 电解槽中标均价，假设单套 250Nm³/h PEM 电解槽设备投资额为 750 万元，直流电耗 4.5kwh/Nm³，年工作时长 2000 小时，设备按照 15 年期折旧，土建及安装成本为 200 万元，我们测算当用电价格为 0.3 元/kWh 时，电解水制氢成本单位为 37.63 元/kg。

表6: 电解水制氢成本构成比较 (电价 0.3 元/kWh)

	碱性电解水制氢	PEM 电解水制氢
电解槽折旧费用 (元/kg)	4.20	11.20
土建与设备安装折旧费用 (元/kg)	0.42	2.24
人工与运维费用 (元/kg)	2.24	8.96
电费 (元/kg)	16.8	15.12
水费 (元/kg)	0.11	0.11
制氢单位成本 (元/kg)	23.77	37.63

资料来源:张轩、樊昕晔等《氢能供应链成本分析及建议》[J]《化工进展》,2022年第41卷第5期:2364-2371,国信证券经济研究所整理及测算,注:碱性电解槽制氢规模假设 1000Nm³,直流电耗 5kWh/m³,PEM 电解槽制氢规模按照 250Nm³,直流电耗 4.5kWh/m³;电价按照 0.3 元/kWh,设备运行时长按 2000h 测算。

多因素推动绿氢成本有望快速下行

从测算结果来看,电价、电耗、年运行时间、设备投资额是决定电解水制氢成本的关键。

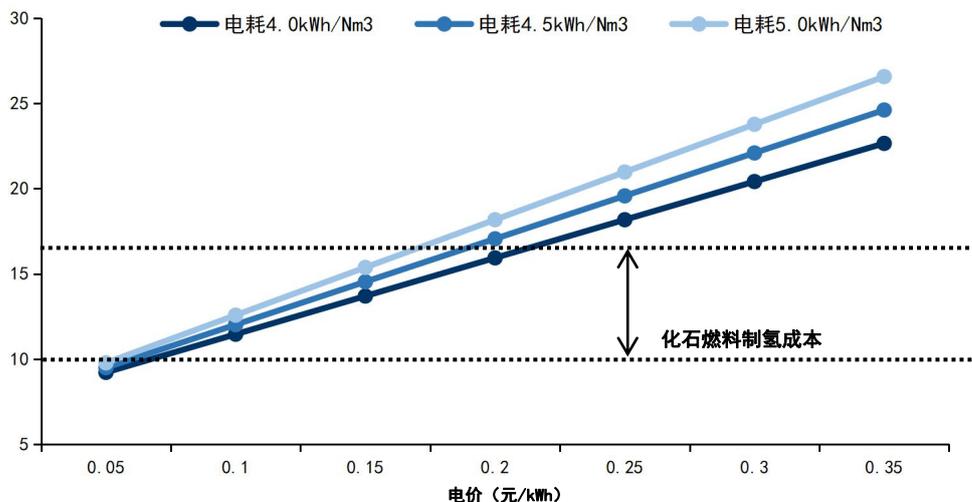
设备大型化与设备生产规模化:目前碱性电解槽装置制氢规模基本以 1000Nm³/h 为主,单套设备投资为 600-900 万元,同时电解槽整体呈现大型化发展趋势,目前国内已有 2500Nm³/h 碱性电解槽产品发布,随着电解槽设备大型化以及设备生产规模化,设备单位投资额有望下降,带动整体制氢成本下降。

电解技术进步:1) 电耗方面,目前国内碱性电解槽产品直流电耗多数为 4.5-5kWh/Nm³,根据我们测算,每降低 0.1kWh/Nm³的制氢直流电耗,可降低 1.2%-2% 的单位制氢成本。目前已有企业发布 3.87kWh/Nm³直流电耗的碱性电解槽产品,降低直流电耗带动制氢成本下降仍存在一定空间;2) 运行时长方面,根据国家电投测算数据,当电解槽工作时长从 2000 小时提升至 4000 小时后氢气成本有望降低 4.6%;3) 设备电流密度方面,提升设备电流密度带动产氢量提升可降低单位制氢成本。

可再生能源电价降低:以目前的电解水平,当可再生能源电价降至 0.2 元/kWh 时,电解水制氢成本将接近于化石原来制氢成本。

我们假设电解槽年运行小时数 2000 小时,单套 1000Nm³/h 电解槽设备投资成本 750 万元,当电耗为 4.5kWh/Nm³时且电价为 0.2 元/kWh 时,电解水制氢成本为 17.05 元/kg,整体接近于天然气制氢成本。当电耗为 4.0kWh/Nm³时且电价为 0.1 元/kWh 时,电解水制氢成本为 11.45 元/kg,整体可实现与煤制氢成本平价。

图6: 电价、电解槽电耗的制氢成本平价曲线测算



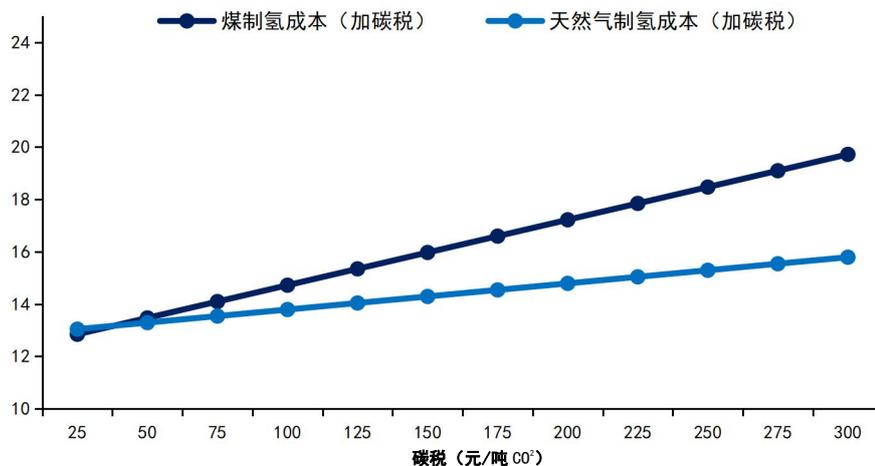
资料来源: 张轩、樊昕晔等《氢能供应链成本分析及建议》[J]《化工进展》, 2022年第41卷第5期: 2364-2371, 国信证券经济研究所整理及测算

碳交易价格增加灰氢成本, 提升绿氢的经济性。2023年4月25日, 欧盟理事会批准通过了碳边境调节机制(CBAM, 又称碳关税), CBAM是欧盟Fit for 55减排计划(到2030年, 欧盟温室气体排放量将比1990年基准至少降低55%)的关键措施之一, 旨在通过对不符合欧盟碳排放规定的进口产品征收碳关税, 2022年欧盟碳市场的平均碳价约为80欧元/吨CO₂。

美国方面, 2022年《清洁竞争法》(CCA)提出, 核定特定行业的平均碳排放量, 对美国本土生产商和进口商产品超出行业基准线的排放量收取55美元/吨CO₂的碳税。

国内方面, 目前仅发电行业纳入了全国碳市场, 目前碳价约55-60元/吨CO₂, 碳价相较于海外整体仍有较大上涨空间。我们预计在未来我国碳交易市场纳入行业范围扩大后, 碳交易价格有望提升, 目前煤制氢碳排放约为25-30kgCO₂/kgH₂, 天然气制氢碳排放约为10-12kgCO₂/kgH₂, 假设未来国内碳价达到100元/吨CO₂, 煤制氢成本将增加2.5-3元/kg, 天然气制氢成本将增加1-1.2元/kg, 当电价达到0.15元/kWh时整体可与煤制氢成本平价。因此, 碳交易价格上涨将进一步提升绿氢的经济性。

图7：不同碳交易价格下灰氢制氢成本（元/kg）



资料来源：张张轩、樊昕晔等《氢能供应链成本分析及建议》[J]《化工进展》，2022年第41卷第5期：2364-2371，国信证券经济研究所整理及测算

整体来看，电解制氢技术在降低成本方面极具发展潜力。中国氢能联盟在《中国绿色氢能发展路线图》中提到预计至2027年后，中国可再生能源电解水制氢成本将达到15元/kg，预计整体电解水制氢成本平价后，绿氢需求量将得到极大提升。同时中国氢能联盟预计至2050年，约有70%氢气由可再生能源电解水制取。

电解槽需求爆发，产业化快速推进

不同电解水制氢技术路径介绍

生产绿氢的核心在于应用高效的电解水制氢技术。水在直流电的作用下，会发生电化学反应，并分别在电解槽的阴极和阳极产生氢气和氧气。按照工作原理和电解质的不同，电解水制氢技术可分为4种，分别是碱性电解水技术（ALK）、质子交换膜电解水技术（PEM）、高温固体氧化物电解水技术（SOEC）和固体聚合物阴离子交换膜电解水技术（AEM）。

碱性电解水技术（ALK）：通常采用氢氧化钾（KOH）溶液作为电解质，采用多孔膜作为隔膜，采用非贵金属镍基催化剂。该技术最大优势为技术成熟，价格低，为主要的水电解技术，缺点在于工作电流相对较小，设备体积大，维护成本高的缺点。

质子交换膜电解水技术（PEM）：该技术用质子交换膜替代了碱性电解水中的隔膜和电解质，同时起到了隔离气体与离子传导的作用。其中质子交换膜厚度较薄，电阻较小，可以实现较高的效率和承受较大的电流，设备体积和占地面积小于碱性电解槽设备，操作较为灵活，目前缺点为缺点是需要使用昂贵催化剂和氟化膜材料，导致投资成本较高，且 PEM 电解水系统结构复杂。整体技术目前基本成熟，正在推进商业化导入

高温固体氧化物电解水技术（SOEC）：是一种高温电解水技术，操作温度为700-1000℃。其结构为氢电极、氧电极和一层致密的固体电解质（包括固体氧化锆等）组成。由于工作温度高，极大地增加了反应动力并降低电能消耗，可以达到很高的电解效率，但缺点是需要提供高温热源。

阴离子交换膜电解水技术（AEM）：是一种新的电解水技术，其能够将碱性电解槽中的低成本优势与 PEM 的高效率优势相结合。目前 AEM 膜还存在机械与化学层面的稳定性问题，且可能存在离子导电性较低，催化较慢等问题，整体技术目前还处在研发和示范阶段。

表7：不同电解水制氢技术的比较

项目	碱性电解水技术（ALK）	质子交换膜电解水技术（PEM）	高温固体氧化物电解水技术（SOEC）	阴离子交换膜电解水技术（AEM）
电解质	30%浓度 KOH 溶液	质子交换膜	陶瓷材料 YSZ（钇稳定氧化锆）	苯乙烯类聚合物（DVB）
运行温度（℃）	70-90	50-80	600-1000	40-60
电流密度（A/m ² ）	3000-6000	10000 以上	-	-
产氢压力（MPa）	1.6	4	4	3.5
直流电耗（kWh/Nm ³ ）	4.2-5.5	4.3-6	3-4	4.5-5.5
设备价格（元/W）	2-3（国内） 6-8（海外）	7-12	-	-
应用现状	成熟应用	商业化早期	研发和示范阶段	研发和示范阶段

资料来源：势银《中国氢能燃料电池产业年度蓝皮书 2022》，中国氢能联盟《中国绿色氢能发展路线图》，国信证券经济研究所整理

碱性电解水制氢技术原理及市场现状

电解槽整体结构方面，碱性电解槽主要由极板（双极板+极框）、催化电极、隔膜、密封垫等零部件构成。

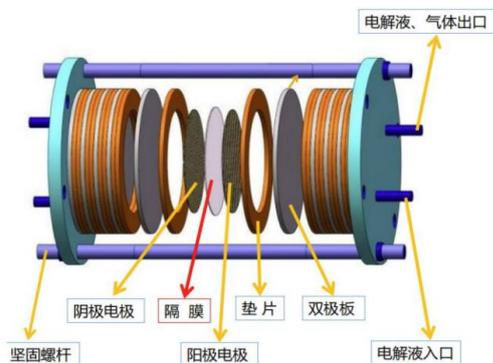
催化电极方面，目前碱性电解槽使用的电极大多为镍基材料，多以纯镍网、泡沫镍为基材并采用喷涂、滚涂、化学镀等工艺涂覆催化剂以提高电解效率，催化剂多选用雷尼镍为代表的镍基催化剂或者贵金属催化剂等。

隔膜方面，早期主要使用石棉隔膜材料，但是石棉在碱性电解液中的溶胀性与石棉对人体的伤害使得其逐渐被淘汰。目前，行业内广泛使用的隔膜为以聚苯硫醚（PPS）为基底的新型复合隔膜。其中 PPS 作为基底能够提供一定的物理支撑作用，同时 PPS 织物拥有耐热性能优异、机械强度高、电性能优良的特点。但同时 PPS 材料亲水性较弱，会造成电解槽内阻过大，因而目前对 PPS 进行改性，如涂覆聚合物和氧化锆形成复合隔膜增强其亲水性。

极板方面，极板是碱性电解槽的支撑组件，其作用是支撑电极和隔膜以及导电。国内极板材质一般采用铸铁金属板、镍板或不锈钢金属板，加工方式为经机加工冲压成乳突结构，和极框焊接后镀镍而成，其中镍材料在碱液中不易被腐蚀，乳突结构有支撑和输电作用。

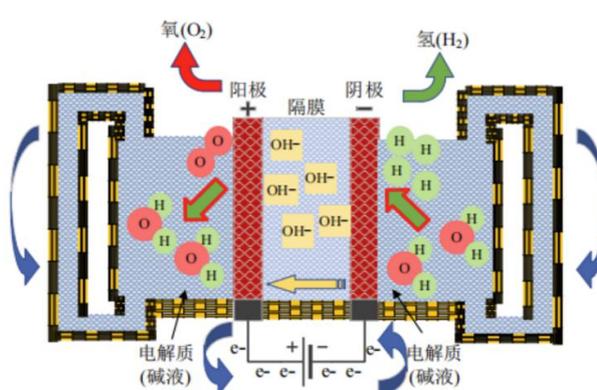
工作原理方面，碱性电解槽的通常以 30%浓度氢氧化钾溶液（KOH）或 25%浓度的氢氧化钠溶液（NaOH）作为电解质，在直流电的作用下，水分子在阴极发生析氢还原反应，生成氢气和氢氧根离子，氢氧根离子在电场的作用下穿过隔膜材料，到达阳极，并失去电子从而生成氧气和水。

图8：碱性电解槽结构示意图



资料来源：势银《中国电解水制氢产业蓝皮书 2022》，国信证券经济研究所整理

图9：碱性电解槽工作原理



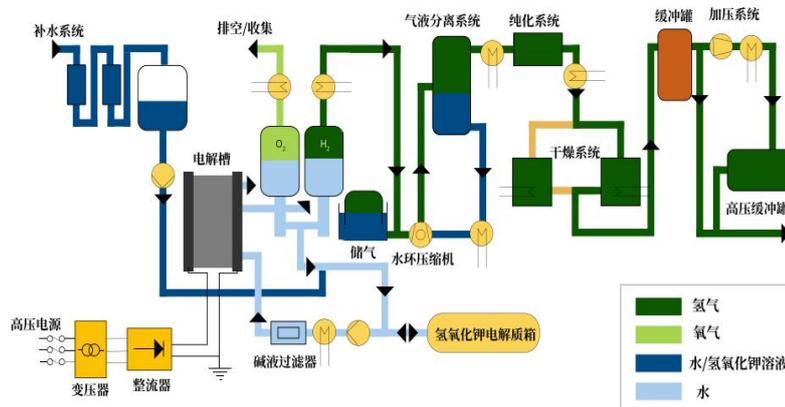
资料来源：国家电投集团氢能产业创新中心《氢能百问》，中国电力出版社，2022 年第一版，国信证券经济研究所整理

电解水制氢系统主要包括电解槽主体以及 BOP 辅助系统。BOP 辅助系统由电源设备（电源、变压器、整流器等）、气液分离&干燥纯化设备及其他设备构成。

一般在碱性电解水制氢系统成本构成为：电解槽（50%）、电气设备（15%）、气体分离与干燥纯化设备（15%）、其他设备（20%）。

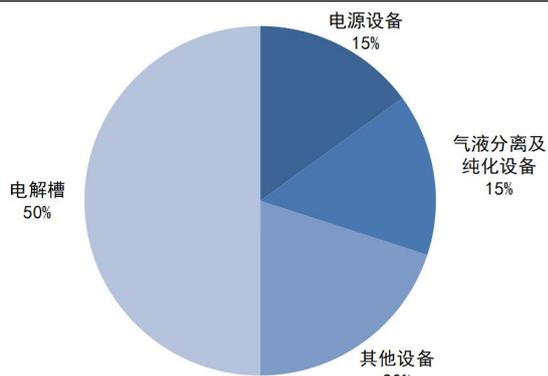
而在电解槽中，根据 IRENA 数据，膜片及电极组件（57%），电堆组装&端板（10%），双极板（7%），小组件（4%），结构层（14%），多孔传输层（8%）为电解主要成本构成。

图10: 碱性电解水制氢装置工艺流程图



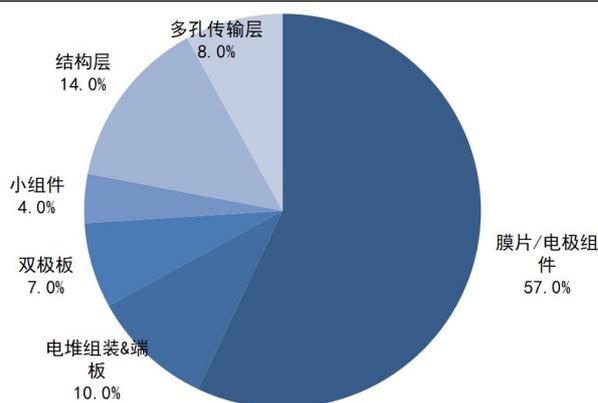
资料来源：IRENA《Green hydrogen cost 2020》，国信证券经济研究所整理

图11: 碱性电解水制氢系统成本构成



资料来源：Oxford Energy，国信证券经济研究所整理

图12: 电解槽成本构成



资料来源：IRENA《Green hydrogen cost 2020》，国信证券经济研究所整理

从各大公司目前发布的碱性电解槽相关参数来看，国内电解槽规模集中于1000-1500Nm³/h，目前碱性电解槽呈现大型化趋势，明阳智能与上海氢器时代最新发布的碱性电解槽产品最大产氢量均已达到2500Nm³/h。海外企业例如蒂森克虏伯单体最大产氢量已达4000Nm³/h（约20MW）。

电解槽大型化也将带动制氢单位成本降低，目前国内多数碱性电解槽直流电耗集中于4.2-4.6kWh/Nm³，直流电耗下降同样为电解槽产品发展的一大趋势，如隆基氢能推出的ALK Hi1 plus产品，直流电耗满载状况下低至4.1kWh/Nm³，明阳智能最新发布的产品最低直流电耗已达到3.87kWh/Nm³。

表8: 部分企业碱性电解槽参数对比

公司(相关上市公司)	最大单体电解槽规模 (Nm ³ /h)	直流电耗(kWh/Nm ³)
华光环能(600475.SH)	1500	≤4.2
华电重工(601226.SH)	1200	≤4.6
明阳智能(601615.SH)	2500	最低 3.87
双良节能(600481.SH)	1000	-
兰石重装(603169.SH)	1000	≤4.3
隆基氢能(隆基绿能, 601012.SH)	1000	最低 4.1
盛氢制氢(昇辉科技, 300423.SZ)	1000	4.6
亿利氢田时代(亿利洁能, 600277.SH)	1000	4.3-4.6
上海氢器时代(上海电气, 601727.SH)	2500	4.15
阳光氢能(阳光电源, 300274.SZ)	1000	-
宝鸡石油机械(中国石油, 601857.SH)	1500	4.2
天合元氢	1000	-
考克利尔竞立	1500	≤4.4
派瑞氢能	2000	≤4.3
天津大陆	1000	-
中集氢能	1200	4.2-4.55
希倍优氢能源	1400	4.8
国富氢能	1000	4.4
中电丰业	1200	-
蒂森克虏伯	4000	4.5
Sunfire	2165	4.2-4.6

资料来源: 华光环能、隆基绿能、明阳智能、亿利洁能、昇辉科技、兰石重装等公司公告, 阳光电源、双良节能、蒂森克虏伯、NEL、Sunfire 等公司官网, 全球氢能, 国信证券经济研究所整理

PEM 电解水制氢技术原理及市场现状

PEM 电解槽主要由膜电极(包含质子交换膜、催化剂、气体扩散层)、双极板、环氧树脂板和端板构成。膜电极是整个水电解槽物料传输以及电化学反应的主场所, 其特性与结构直接影响 PEM 水电解槽的性能和寿命。

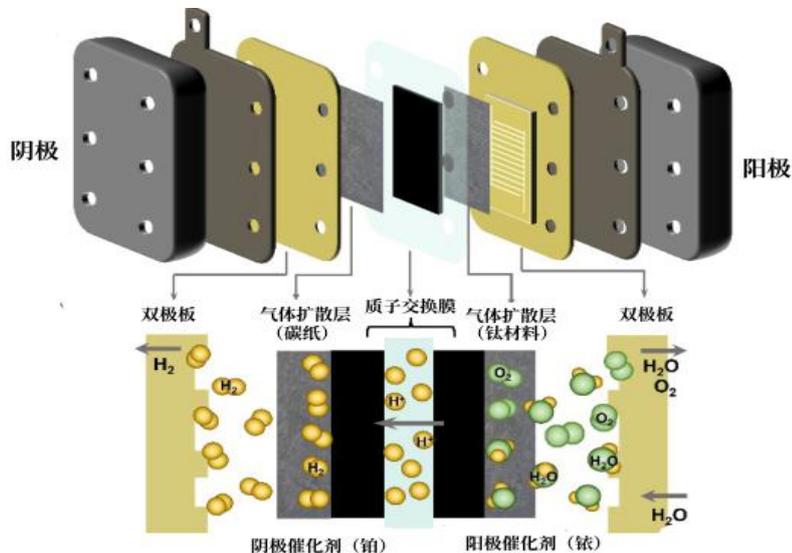
质子交换膜: 质子交换膜需具备高质子传导率、高气密性、高亲水性、耐酸性、极低的电子传导率等特性, 其质量直接影响电解槽的运行效率和使用寿命。目前质子交换膜大多采用全氟磺酸(PFSA)基聚合物。目前科慕 Nafion 系列膜是电解制氢中使用最多的质子交换膜, 国内的企业中, 东岳未来氢能和武汉绿动都已经开发出了用于 PEM 电解槽的质子交换膜, 正在尝试国产替代。

催化剂: 理想的催化剂具有抗腐蚀性、良好的比表面积、气孔率、催化活性、电子导电性、电化学稳定性以及成本低廉、环境友好等特征。PEM 电解槽的催化剂阳极和阴极所用的材料有较大的不同, 其中阴极催化剂主要以铂贵金属及其合金为主; 阳极催化剂则选用抗氧化、耐腐蚀的铈、钒等少数贵金属或其氧化物。

气体扩散层方面: 阴极通常使用碳材料, 如碳纸、碳布和碳毡等, 阳极则主要用钛网、钛板和钛毡等钛材料。

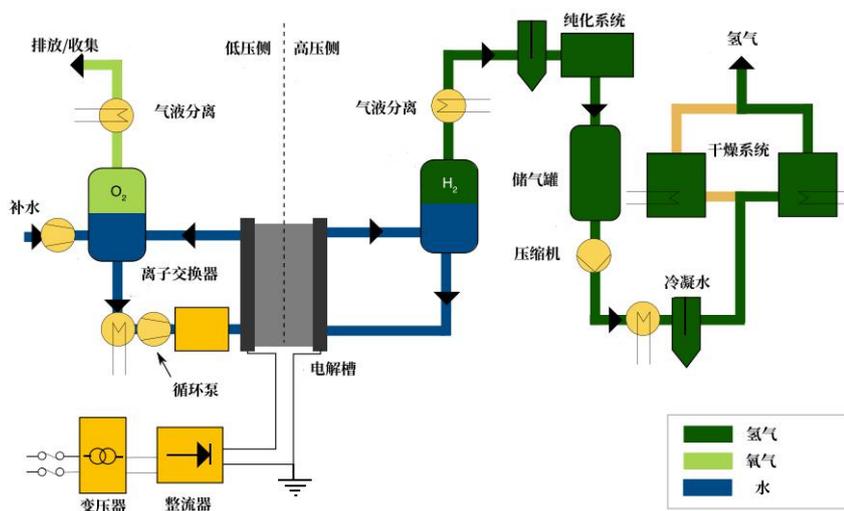
双极板：主要用于支撑膜电极和气体扩散层，同时汇流氢气和氧气并传导电子，双极板需具备较高的机械稳定性、化学稳定性和低氢渗透性。材质上基本选用钛材料，并涂抹含铂的涂层。

图13: PEM 电解槽结构及原理图



资料来源：Kexin Zhang, Xiao Liang, Status and perspectives of key materials for PEM electrolyzer, 《Nano Research Energy》, 2022. 9, 国信证券经济研究所整理

图14: PEM 电解水制氢装置工艺流程图

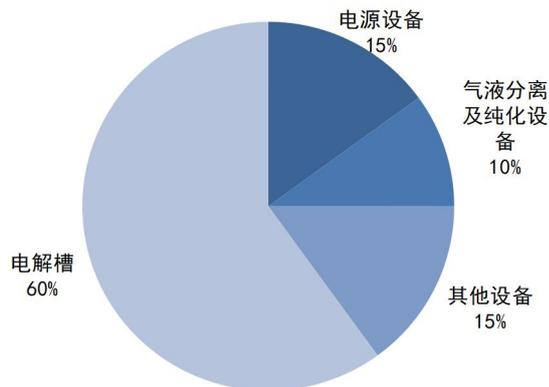


资料来源：IRENA 《Green hydrogen cost 2020》，国信证券经济研究所整理

PEM 电解水制氢系统成本构成来看，电解槽单位成本更高，电解槽/电源设备/气体分离&纯化设备/其他设备分别占比总成本 60%/15%/10%/15%。

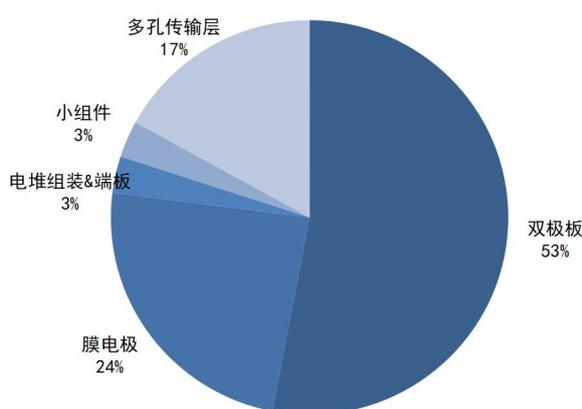
在 PEM 电解槽中，膜电极（24%），电堆组装&端板（3%），双极板（53%），小组件（3%），多空传输层（17%）为主要成本构成。

图15: PEM 电解水制氢系统成本构成



资料来源: Oxford energy, 国信证券经济研究所整理

图16: PEM 电解槽成本构成



资料来源: IRENA 《Green hydrogen cost 2020》, 国信证券经济研究所整理

从部分公司发布的 PEM 电解槽相关参数来看, 国内 PEM 电解槽规模集中于 50-200Nm³/h, 目前单槽最大规模已达到 400Nm³/h。海外 PEM 电解槽发展较为成熟, 整体规模较大, 例如康明斯单体 PEM 电解槽规模可达 500Nm³/h, 在国内 PEM 研发技术推进的情况下, 国内 PEM 电解槽技术参数逐步接近于海外领先企业。

表9: 部分企业 PEM 电解槽参数对比

公司(相关上市公司)	最大单体电解槽规模 (Nm ³ /h)	直流电耗 (kWh/Nm ³)
阳光氢能(阳光电源, 300274. SZ)	200	≤4.3
上海氢器时代(上海电气, 601727)	50	-
亿华通(688339. SH)	-	4.19
赛克赛斯	200	5
派瑞氢能	300	≤5.4
长春绿动	200	-
中电丰业	400	-
淳华氢能	60	-
国富氢能	200	-
ITM Power	400	-
康明斯(Cummins)	500	-
Ohmium	100	-

资料来源: 阳光电源、国富氢能、ITM Power Ohmium 等公司官网, 上海电气公司公告, 全球氢能, 高工氢能, 氢能前沿, 国信证券经济研究所整理

从国内目前 12 个兆瓦级 PEM 电解水制氢项目进展来看, 多数项目均以开工或投产, 项目大多为规模 1-2.5MW 的示范项目。2023 年国电投大安风光制绿氢一体化示范项目 PEM 电解槽招标规模达到 50MW, 超过了其他 11 个项目规模总和, PEM 电解槽应用规模正在扩大。从项目设备供应商来看, 目前主要包括康明斯、阳光氢能、长春绿动、中电丰业、赛克赛斯等。

表10: 国内 12 个兆瓦级 PEM 电解水制氢项目进展梳理

项目	规模	进展	设备供应商
国电投大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目	50MW	2023 年 3 月 20 日签订 50MW PEM 电解水制氢供货合同, 4 月 16 日公布电解水制氢设备招标结果	长春绿动
北元化工制氢设备采购项目	1MW	2023 年 2 月公布中标	赛克赛斯
吉电股份中韩示范区“可再生能源+PEM 制氢+加氢”一体化创新示范项目	2MW	2023 年 2 月投产	长春绿动
中石化中原油田兆瓦级可再生能源电力电解水制氢示范项目	2.5MW	2022 年 12 月 25 日投产, 2023 年 2 月 13 日成功装车	康明斯
中石化燕山石化项目 PEM 制氢示范站	1MW	2022 年 12 月投产	中国石化
国电投白城兆瓦级 PEM 电解制氢系统装备项目	1MW	2023 年 1 月投产	长春绿动 (电解槽), 中电丰业 (其他系统)
长江电力三峡坝区 PEM 制氢加氢一体站项目	1MW	2022 年 12 月投产	阳光氢能
金麒麟风力制氢项目	6MW	2022 年 11 月 11 日制氢系统启运发货	赛克赛斯
青海华德令哈 3 兆瓦光伏制氢项目	2.5MW	2022 年 11 月 3 日开工	/
宁夏京能宁东发电有限责任公司氢能制储加一体化项目	1MW	2022 年 7 月 16 日制氢系统启运发货	阳光氢能
国网安徽六安兆瓦级制氢综合利用项目	1MW	2022 年 7 月 6 日投产	中科院大连化物所、阳光氢能、中电丰业
三峡乌兰察布“源网荷储一体化”关键技术研究示范“制储运加”氢能综合示范项目	2.5MW	2020 年 10 月开工	康明斯
合计	71.5MW		

资料来源: 索比氢能, 国信证券经济研究所整理

SOEC 电解水制氢技术原理及市场现状

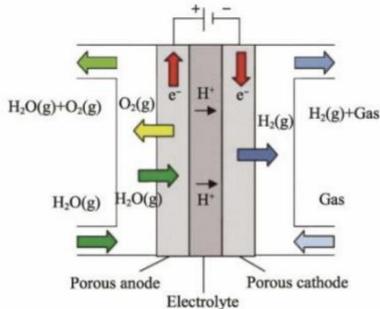
SOEC (高位固体氧化物电解) 相比常温电解水技术可以提供更高的能源转化效率。从技术原理上进行分类, SOEC 可分为氧离子传导型 SOEC 和质子传导型 SOEC。

质子传导型 SOEC 是在阳极侧供给高温水蒸气并发生氧化反应, 水分子失去电子后生成氧气和质子。质子通过电解质传导到达阴极后发生还原反应, 在阴极处生成氢气。

氧离子传导型 SOEC 从阴极侧供给水蒸气。水分子在得到电子后生成氢气, 并电离出氧离子。氧离子经过电解质传导至阳极后, 经氧化形成氧气。

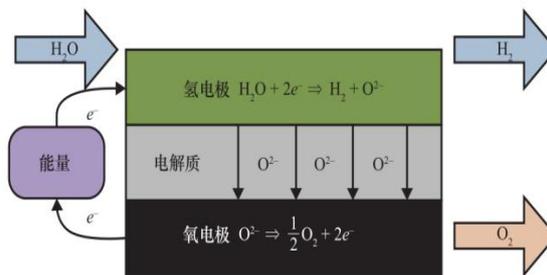
目前对 SOEC 电解水技术的商业化尝试主要集中于氧离子传导型 SOEC。由于质子传导型 SOEC 在技术层面和材料选择层面的要求更高, 目前的发展进度落后于氧离子传导型 SOEC。

图17: 质子传导型 SOEC 工作原理



资料来源：势银《中国电解水制氢产业蓝皮书 2022》，国信证券经济研究所整理

图18: 氧离子传导型 SOEC 工作原理



资料来源：势银《中国电解水制氢产业蓝皮书 2022》，国信证券经济研究所整理

SOEC 电解池核心组成部分为：电解质、阴极和阳极，多个电解池组装在一起成为 SOEC 电堆。多个电堆和气体处理系统、气体输送系统组成 SOEC 电解模块。多个 SOEC 电解模块与配电设备、其他辅助设备组成一个完整的 SOEC 系统。

SOEC 电解质通常选用钇稳定的氧化锆（YSZ）和铈稳定的氧化锆（ScSZ）等导电陶瓷材料。

阴极需要与高温水蒸气直接接触，在高温高湿下需要具备化学稳定性，同时需要与电解质材料具备类似的热膨胀属性，因而通常选用金属陶瓷复合材料，镍、钴、铂、钯是常见的 SOEC 阴极材料。

阳极需要在高温氧化环境下保持稳定，需要具备优良的电子导电率、氧离子导电率和催化活性，同时热膨胀系数也需要和电解质匹配，目前使用钙钛矿氧化物制备的导电陶瓷材料是最常见的阳极材料，其中最具代表性的是掺杂锶的锰酸镧（LSM）。

图19: SOEC 电解水系统构成图



资料来源：势银《中国氢能与燃料电池产业年度蓝皮书 2022》，国信证券经济研究所整理

企业 SOEC 产品方面，国内企业 SOEC 电解槽制氢功率以千瓦级为主，其中上海应用物理所产品制氢功率已达到 200KW。海外头部企业如 Sunfire、Bloom Energy 产品制氢功率已达到百 KW 级，目前整体 SOEC 技术处于研发示范阶段，整体运行寿命仍有待于提升。

表11: 国内 SOEC 企业与研究院所产品信息

企业名称	产品信息
上海应用物理研究所	产品制氢功率达到 202kW, 制氢规模达到 64Nm ³ /h, 直流电耗为 3.16kWh/Nm ³
清华大学核能与新能源技术研究院	研究利用核能高温气冷堆的余热结合 SOEC 制氢。SOEC 产品实现了 105h 的稳定运行, 产氢速率达到 105 (L/h)。
北京思伟特新能源科技有限公司	拥有 10KW 级的 SOEC 制氢系统样机, 系统产氢量达到 3.23Nm ³ /h, 耗电量 3.6kWh/Nm ³ , 系统效率大于 82%。
武汉华科福赛新能源有限公司	SOEC 电堆, 稳定运行时间超过 1040h; 在 800°C 工作温度下, 最大电功率达到 831W, 最大电解效率高于 97%, 产氢电耗在 2.86-3.35°C/Nm ³ 之间, 稳定运行电解功率高于 600W。
浙江氢邦科技有限公司	SOEC 千瓦级电堆研发成功并顺利运行, 拥有多种高温电解技术(电解纯 CO ₂ /电解海水/共电解水和 CO ₂)。
上海翌晶能源技术有限公司	产品规格包含 1KW/3KW/12KW。
Sunfire	电解模块制氢规模 45Nm ³ /h, 制氢电耗 3.3kWh/Nm ³ , 氢气纯度 99.99%, 主要应用于钢铁冶炼、油品冶炼。
Bloom Energy	电解模块制氢规模 87Nm ³ /h, 制氢电耗 3.5kWh/Nm ³ , 氢气纯度 99.99%, 主要应用于核能制氢。

资料来源: 势银《中国电解水制氢产业蓝皮书 2022》, 全球氢能, 国信证券经济研究所整理

AEM 电解水制氢技术原理及市场现状

AEM (阴离子交换膜电解水技术) 电解槽主要结构由阴离子交换膜和两个过渡金属催化电极组成, 一般采用纯水或低浓度碱性溶液用作电解质, 并使用廉价非贵金属催化剂和碳氢膜。因此, AEM 工艺具有成本低、启停快、耗能少的优点, 集合了与可再生能源耦合时的易操作性, 同时又达到与 PEM 相当的电流和效率。

虽然 AEM 可以同时兼具 PEM 和 ALK 的技术优势, 但由于处于发展初级阶段。首先, 由于 AEM 在工作过程中, 阴离子交换膜表面会形成的局部强碱性环境, 使得 AEM 在 OH⁻的作用下发生降解带来的穿孔会引发电堆短路, 影响使用寿命。

其次, AEM 电解槽缺少大标方产品, 也是制约其大规模商品化的难点。目前 ALK 电解槽单槽已经开始向 1000Nm³/h 以上迈进, PEM 电解槽 ≥50Nm³/h 的产品也已经处于示范期。但是 AEM 电解槽单槽产品还停留在 0.5—5Nm³/h 之间, 很难满足我国西北、西南等地区大型可再生能源电解水制氢综合示范项目的采购标准。

德国 Enapter 是市场上第一家完成商业化的 AEM 电解槽公司, 也是目前唯一一家完成规模化出货的公司。其在 2019 年开发了全球首款模块化商业产品 Electrolyser EL 2.1, 目前该产品已升级到 EL 4.0 版本, 在 2022 年 Q4 已交付 1,200 台以上 AEM 电解系统。中国的稳石氢能在 2023 年 2 月发布了自主研发 2.5kW AEM 电解槽新品和集成系统, 预计在年内量产出货。

根据 GGII 的介绍, 清华大学、吉林大学、山东东岳集团、山东天维膜技术有限公司进行了阴离子交换膜研制相关工作, 中科院大连化物所重点开展了催化剂的研发工作, 中船 718 所开展了 AEM 电解槽的集成与基础研发工作。北京未来氢能、深圳稳石氢能则在大力推进 AEM 的产业化。

电解槽需求爆发

国内制氢行业需求呈现爆发式增长。进入 2023 年以来, 绿氢产业蓬勃发展, 可再生能源制氢项目投资加快落地, 国内电解槽市场需求呈现爆发式增长。据索比氢能和香橙会氢能研究院数据统计, 2023 年 1-6 月国内共计 18 个电解槽项目(其中包括 16 个绿氢项目)招标, 招标规模累计超过 815.5MW, 其中碱性电解槽路线 701.5MW, PEM 技术路线 51MW, SOEC 技术路线 63MW, 国内 2023 年上半年电解槽招标需求规模已超过 2022 年出货量。

表12: 2023 年度 1-6 月电解槽招标情况

地区	招标项目	电解槽招标量
碱性技术路线		
库尔勒	深圳能源库尔勒绿氢制储加用一体化示范项目	5MW
保定	国电投涞源县 300MW 光伏制氢项目	6MW
张掖	华能清能院碱性电解槽采购项目	6.5MW
七台河	黑龙江 200MW 风电制氢联合运行项目	7.5MW
鄂尔多斯	深能北方光伏制氢项目	45MW
白城市	大安风光制绿氢合成氨一体化项目	195MW
宁东	国能宁东可再生氢碳减排示范区项目	105MW
潍坊	华电潍坊氢储能示范项目	35MW
哈密	广汇能源绿电制氢及氢能一体化示范项目	5MW
鄂尔多斯	鄂尔多斯市纳日松 40 万千瓦光伏制氢产业示范项目	35MW
张家口	张家口风电光伏发电综合利用（制氢）示范项目制氢气项目	40MW
大连	大连洁净能源集团海水制氢一体化项目	60MW
天津	荣程集团 1300Nm ³ /h 光伏绿电加氢一体化（一期工程）项目	6.5MW
秦皇岛	30 万 m ³ /d 可再生能源电解水制氢工业化示范项目	150MW*
PEM 技术路线		
榆林	北元化工制氢设备采购项目	1MW
武汉	华中科技大学质子交换膜电解水制氢及燃料电池设备系统采购项目	20KW
白城市	大安风光制绿氢合成氨一体化项目	50MW
SOEC 技术路线		
营口	辽宁营口 500MW 风光储氢一体化示范项目	63MW*
AEM 技术路线		
杭州	西湖大学 AEM 电解槽采购项目	500NL/L
1-6 月份招标总计		815.5MW

资料来源：索比氢能、香橙会氢能研究院，国信证券经济研究所整理。注：*30 万 m³/d 可再生能源项目电解槽中标规模按照 10h/d 运行时长估算得到；辽宁营口项目电解槽中标规模按照制氢规模 20000Nm³/h，制氢直流电耗 3.16KWh/Nm³ 估算得到。

企业中标量来看，派瑞氢能、隆基氢能、阳光电源中标量排名前三，分别为 256.5/170/125MW；企业中标均价来看，碱性技术路线均价多数位于 1.3-1.8 元/W，PEM 技术路线中，以长春绿动，赛克赛斯中标均价分别为 5.8 和 6.87 元/W。

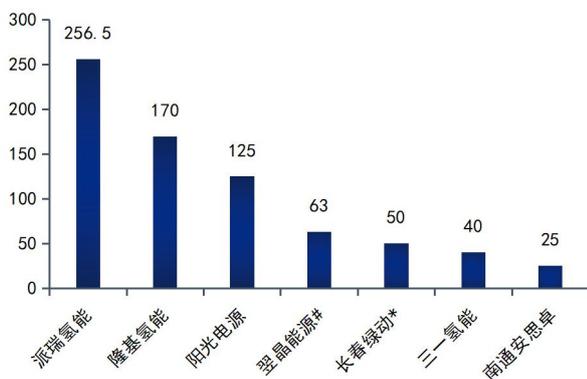
表13: 2023 年度 1-6 月国内电解槽中标情况

招标项目	中标规模	中标企业	中标均价（元/W）
碱性技术路线			
深圳能源库尔勒绿氢制储加用一体化示范项目	5MW	厚普股份	/
国电投涞源县 300MW 光伏制氢项目	6MW	河北工程公司	/
华能清能院碱性电解槽采购项目	6.5MW	中能氢能源	0.75
深能北方光伏制氢项目	45MW	阳光电源	2.00
大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目-标段 5	75MW	隆基氢能	1.40
大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目-标段 6	60MW	阳光电源	1.50
大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目-标段 7	40MW	三一氢能	1.44
大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目-标段 8	20MW	派瑞氢能	1.54
国能宁东可再生氢碳减排示范区项目-标段 1	25MW	南通安思卓新能源	1.37
国能宁东可再生氢碳减排示范区项目-标段 2	80MW	派瑞氢能	1.36
张家口风电光伏发电综合利用（制氢）示范项目制氢气项目	40MW	派瑞氢能	/
大连洁净能源集团海水制氢一体化项目-标段 1	20MW	阳光电源	1.66

大连洁净能源集团海水制氢一体化项目-标段 2	20MW	隆基氢能	1.80
30 万 m ³ /d 可再生能源电解水制氢工业化示范项目	150MW*	隆基氢能、派瑞氢能	/
荣程集团 1300Nm ³ /h 光伏绿电加氢一体化（一期工程）项目	6.5MW	派瑞氢能	/
鄂尔多斯市纳日松 40 万千瓦光伏制氢产业示范项目	35MW	派瑞氢能	1.40
PEM 技术路线			
北元化工制氢设备采购项目	1MW	赛克赛斯	6.87
华中科技大学质子交换膜电解水制氢及燃料电池设备系统采购项目	/	中石化石油机械	/
大安风光制绿氢合成氨一体化项目	50MW	长春绿动	5.8
SOEC 技术路线			
辽宁营口 500MW 风光储氢一体化示范项目	63MW*	翌晶能源	/
1-6 月份中标总计		748MW	

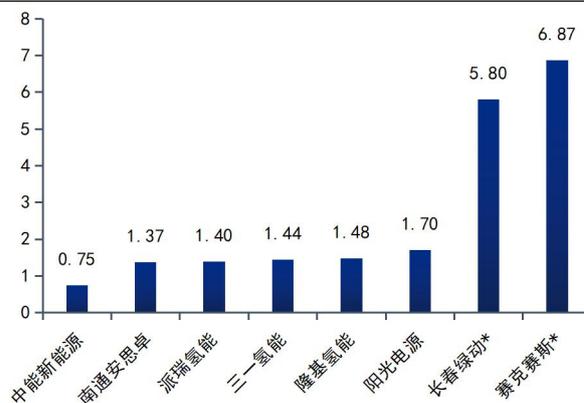
资料来源：索比氢能，香橙会氢能研究院，国信证券经济研究所整理。注：*30 万 m³/d 可再生能源项目电解槽中标规模按照 10h/d 运行时长估算得到；辽宁营口项目电解槽中标规模按照制氢规模 20000Nm³/h，制氢直流电耗 3.16KWh/Nm³ 估算得到。

图20: 2023 年不同电解水制氢设备企业中中标量对比 (MW)



资料来源：索比氢能，高工氢电、香橙会氢能研究院，国信证券经济研究所整理；备注：*为 PEM 技术路线，#企业 SOEC 技术路线，30 万 m³/d 可再生能源项目假设隆基氢能、派瑞氢能各取得 75MW 中标量。

图21: 2023 年不同电解水制氢设备企业中标均价对比 (元/W)

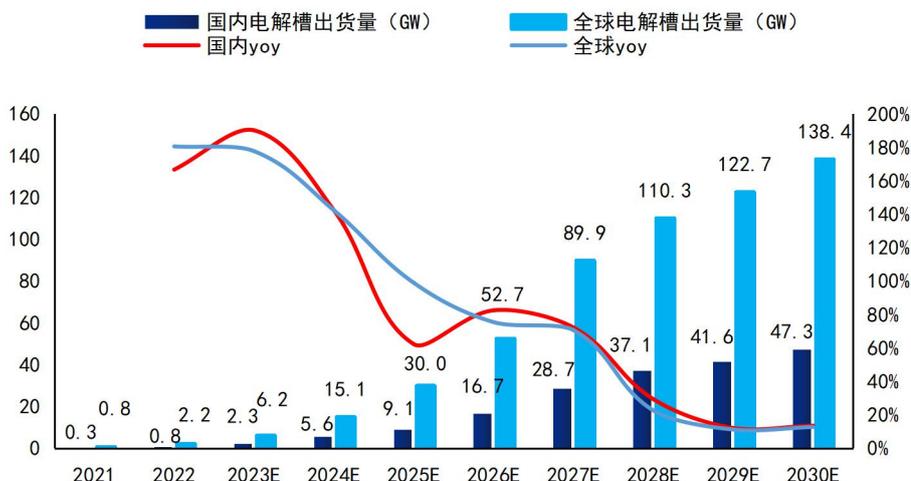


资料来源：高工氢电、香橙会氢能研究院，国信证券经济研究所整理；备注：*为 PEM 技术路线

电解槽出货量方面，根据高工氢电数据，2022 年国内电解槽出货量约 800MW。目前国内在建及规划的电解水制氢项目，制氢规模合计超过 19GW。

我们预计 2023 年国内电解槽出货量有望达到 2.3GW，同比增长约 190%，至 2030 年出货量有望达到 47.3GW，2023-2030 CAGR 约为 54%。全球电解槽出货量方面，我们预计 2023 年全球出货量达到 6.2GW，同比增长约 178%，至 2030 年出货量有望达到 138.4GW，2023-2030 CAGR 约为 56%

图22: 2021-2030E 国内和全球电解槽出货量及预测 (GW)



资料来源: 高工氢电 (GGII), 国信证券经济研究所整理及预测

电解槽供给侧产能加速提升

根据彭博新能源财经数据统计数据, 国内十余家企业 2022 年电解槽产能合计达到 7.7GW, 2023 年预计合计产能达到 12.6GW, 以碱性电解槽为主。

海外企业方面, 以考克利尔竞立, 蒂森克虏伯, HydrogenPro 为代表的企业企业研发生产碱性电解槽为主, 同时普拉格能源、ITM Power 等多家企业参与研发生产 PEM 电解槽, 海外十余家企业 2022 年合计电解槽产能达到 6.3GW, 2023 年预计合计产能达到 14.8GW。全球 20 余家企业 2023 年预计合计产能达到 27.4GW。

表14: 电解槽企业 2022-2023E 产能统计

公司	产能 (GW/年)		国家	电解槽类型
	2022 年	2023 年 E		
国内企业				
隆基氢能	1.5	2.5	中国	碱性电解槽
派瑞氢能	1.5	1.5	中国	碱性/PEM
阳光电源	1.1	1.1	中国	碱性/PEM
奥扬科技	1	1	中国	碱性电解槽
中电丰业	0.5	0.5	中国	碱性电解槽
国富氢能	0.5	1	中国	碱性电解槽
瑞麟科技	0.3	-	中国	碱性电解槽
凯豪达	0.3	0.5	中国	碱性电解槽
亿利氢田时代	-	1	中国	碱性电解槽
希倍优氢能源	-	0.5	中国	碱性电解槽
盛氢制氢	-	0.5	中国	碱性电解槽
国内合计	6.7	10.1		
海外企业				
考克利尔竞立	1	2.5	比利时	碱性电解槽
蒂森克虏伯	1	1.5	德国	碱性电解槽
HydrogenPro	0.3	1.3	挪威	碱性电解槽
Sunfire	0.3	0.5	德国	碱性电解槽

McpHy	0.1	-	法国	碱性电解槽
Green Hydrogen Systems	0.1	-	丹麦	碱性电解槽
Reliance Industries	-	0.5	印度	碱性电解槽
Nel	0.6	0.6	挪威	碱性/PEM
ITM Power	1	2.5	英国	PEM
普拉格能源	1	3	美国	PEM
Ohmium	1	2	美国	PEM
康明斯	0.6	1.6	美国	PEM
西门子	0.3	1.3	德国	PEM
海外合计	7.3	17.3		
全球合计	14	27.4		

资料来源：彭博新能源财经，国信证券经济研究所整理

电解槽未来发展趋势

从国产化进程角度来看，电解槽关键材料的国产化进程加速，更适用于可再生能源电解制氢的质子交换膜电解槽（PEM）的关键材料，包括催化剂、膜电极、气体扩散层等国产化进程加快。

从行业技术发展的趋势来看，电解槽未来发展的目标趋向于更低的电耗，更宽的负载工作范围，更大的单体规模，更高的电流密度以及更长的使用寿命，其本质在于提升电解槽产氢量同时降低单位制氢成本。为提升电解槽的提升性能，未来碱性电解槽企业重点研发方向包括隔膜，催化剂，电极等，PEM 电解槽企业重点研发方向包括质子交换膜，气体扩散层，催化剂等。

表15: 电解槽关键参数发展方向

电解槽关键参数	2020年	2050年目标	重点方向
碱性电解槽			
额定电流密度	0.2-0.8A/cm ²	>2A/cm ²	隔膜
电压范围	1.4-3V	<1.7V	催化剂
工作温度范围	70-90℃	>90℃	隔膜，配套设备，部件
电解效率	50%-68%	>70%	催化剂，工作温度
电解槽单体功率	1MW	10MW	电极
氢气纯度	99.9%-99.9998%	>99.9999%	隔膜
工作负载	15%-100%	5%-300%	隔膜
冷启动时间	<50分钟	<30分钟	绝缘（设计）
电解槽能耗	47-66kWh/kg	<42 kWh/kg	隔膜，催化剂
电解系统能耗	50-78kWh/kg	<45 kWh/kg	配套设备
使用寿命	6万小时	10万小时	电极
PEM 电解槽			
额定电流密度	1-2A/cm ²	4-6A/cm ²	质子交换膜
电压范围	1.4-2.5V	<1.7V	催化剂，质子交换膜
工作温度范围	50-80℃	80℃	耐久性
电解效率	50%-68%	>80%	催化剂
电解槽单体功率	1MW	10MW	膜电极，气体扩散层

氢气纯度	99.9%-99.9999%	>99.9999%	质子交换膜
工作负载	5%-120%	5%-300%	质子交换膜
冷启动时间	<20 分钟	<5 分钟	绝缘（设计）
电解槽能耗	47-66kWh/kg	<42 kWh/kg	催化剂，质子交换膜
电解系统能耗	50-83kWh/kg	<45 kWh/kg	配套设备
使用寿命	5 万-8 万小时	10 万-12 万小时	催化剂，质子交换膜，气体扩散层

资料来源：IRENA《Green hydrogen cost 2020》，国信证券经济研究所整理

从全球化趋势来看，国内电解槽企业有望出海拓展市场。国内碱性电解槽企业多数已在行业深耕多年，技术较为成熟，整体产品性能与海外产品差异较小。价格方面，根据彭博新能源财经数据，2022 年国内碱性电解槽平均价格约为 343 美元/kW，而西方国家碱性电解槽价格高达 1200 美元/kW，国内产品价格仅为海外产品 1/3，整体具有较高的产品竞争力。

从 2022 年至今的国内电解槽出海案例来看，如派瑞氢能、国富氢能、考克利尔竞立、瑞麟科技、中电丰业、隆基氢能等公司陆续与中东、东南亚、非洲、欧洲、美国等客户签订出口合作订单，整体展现了我国企业电解槽产品的高性价比优势。

表 16: 2022 年至今国内电解槽企业出海合作案例

时间	国内公司	海外合作公司	地区	合作内容
2023.6	隆基氢能	Vision Grid Energy	西班牙	双方将在西班牙开发绿色制氢项目，并持续提供可满足工业、交通和社区各类能源需求的技术解决方案。
2023.6	国富氢能	Sacotel Znshine	中东	国富氢能委托 Sacotel Znshine 在中东开发市场机会，并向中东项目客户销售电解水制氢系统及其他氢能全产业链装备，同时双方达成共识，联合为中东地区提供创新的氢能解决方案，在未来五年内，Sacotel Znshine 将助力国富氢能 5 年内获得不少于 5 亿美元的电解水制氢市场订单并共同开发绿氢市场
2023.6	国富氢能	阿布扎比国家石油公司	阿联酋	国富氢能将为阿布扎比国家石油公司制氢加氢一体站项目提供电解水制氢全套系统以及加氢站装备的解决方案
2023.5	国富氢能	南非客户	南非	国富氢能将在未来 5 年内每年将获得不少于一个 GW 的电解槽市场的订单，双方共同投资组建在绿氢（液氢）方面的公司，共同开发绿氢市场
2023.3	国富氢能	YDRO Soluções em Descarbonização Ltda	巴西	双方将在巴西成立合资公司，拓展巴西氢能市场，未来三年计划在巴西投资 3 亿美元—2023 年落地电解水制氢示范项目，2024 年在巴西落地一座电解槽生产工厂，到 2025 年提供不少于 50 套电解水制氢系统。
2023.3	瑞麟科技	埃及地方政府与企业	埃及	双方将在埃及成立合资公司，合资企业将由瑞麟科技控股，并具备 500MW 以上的高功率电解槽生产能力。合资企业除了为埃及提供能够适配全离网制氢的电解槽产品外，还将进军欧洲电解槽市场。
2023.3	考克利尔竞立	东南亚知名企业	东南亚	双方签订销售合同并达成长期友好合作关系
2023.1	国富氢能	TIJAN Petroleum Co	沙特	双方将在沙特成立合资公司，共同开发沙特氢能市场——计划在 2025 年底前，分 3 个阶段总计达成 5 亿美元的项目投资。
2022.10	派瑞氢能	世界某知名钢铁公司	-	与世界某知名钢铁企业集团签订 2 台 500Nm ³ /h 的制氢设备供货合同。
2022.8	派瑞氢能	澳大利亚公司	澳大利亚	此次中标的项目，派瑞氢能公司负责提供 10MW 电解水制氢成套系统，系统总体产氢量为 2000Nm ³ /h。
2022.4	派瑞氢能	美国某新能源公司	美国	签署 5MW 集装箱式制氢设备供货合同，首次向海外出口 5MW 的集装箱式制氢设备。
2022.4	派瑞氢能	马来西亚某气体公司	马来西亚	签署了包含了氢气压缩、充装系统、氧气纯化系统的 2MW 制氢设备供货合同。
2022.4	派瑞氢能	韩国某知名化工公司	韩国	签署了 1 套 PEM 制氢设备合同。

2022.4	派瑞氢能	印度某钢铁公司	印度	签署了1套100立方制氢设备供货合同。
2022.4	派瑞氢能	瑞典某能源公司	瑞典	签署了1套最大加氢能力200kg/天的制氢加氢一体化设备。
2022.3	中电丰业	西班牙某光伏公司	西班牙	签署了一项60Nm ³ /h碱性电解槽的出口协议。

资料来源：国富氢能，派瑞氢能，全球氢能，国信证券经济研究所整理

电解槽装机量及市场空间测算

国内方面，我们预计2023年国内电解槽出货2.3GW，对应电解槽市场空间42亿元。预计2030年电解槽新增需求为47GW，对应2030年国内电解槽市场空间分别为565亿元，至2030年国内电解槽累计装机将达到190GW。

全球方面，我们预计2023年全球电解槽需求6.2GW，全球碱性电解槽/PEM电解槽需求量比例分别为73%/27%，对应市场空间分别为187/133亿元，合计整体市场空间为321亿元。预计2030年全球电解槽新增装机138GW，其中碱性电解槽/PEM电解槽需求量为65/35%（此处不考虑SOEC比例），同时考虑中国企业对外出口碱性电解槽，全球碱性电解槽中国供应比例为60%，对应2030年碱性电解槽/PEM电解槽市场空间分别为1799/2023亿元，合计2030年全球电解槽市场空间为3822亿元。

表17：国内和全球电解槽装机量及市场规模测算

项目	2021	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2031E
国内电解槽装机量及市场空间											
电解槽总需求 (GW)	0.3	0.6	1.5	4	9	19	35	64	101	143	190
电解槽新增装机 (GW)	0.3	0.8	2.3	6	9	17	29	37	42	47	
碱性电解槽比例 (%)	100%	100%	95%	93%	92%	89%	88%	87%	86%	85%	
PEM 电解槽比例 (%)			5%	7%	8%	11%	12%	13%	14%	15%	
碱性电解槽单价 (元/W)	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	
PEM 电解槽单价 (元/W)			7.0	5.5	4.8	4.2	3.5	3.0	2.6	2.3	
碱性电解槽市场空间 (亿元)	6	13	34	73	107	175	278	333	344	402	
PEM 电解槽市场空间 (亿元)			8	22	35	77	121	145	152	163	
电解槽市场空间 (亿元)	6	13	42	95	142	252	398	477	495	565	
全球电解槽装机量及市场空间											
电解槽总需求 (GW)	0.8	1.7	4.0	10	25	55	108	198	308	431	569
电解槽新增装机 (GW)	0.8	2.2	6.2	15	30	53	90	110	123	138	
碱性电解槽比例 (%)	75%	75%	73%	70%	68%	68%	67%	66%	65%	65%	
PEM 电解槽比例 (%)	25%	25%	27%	30%	32%	32%	33%	34%	35%	35%	
海外碱性电解槽单价 (元/W)	7.0	6.5	6.0	5.6	5.3	5.0	4.7	4.3	4.0	3.5	
海外 PEM 电解槽单价 (元/W)	10.0	9.0	8.0	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	
全球碱性电解槽中国供应比例	35%	38%	42%	45%	48%	51%	53%	55%	57%	60%	
全球 PEM 电解槽中国供应比例	0%	0%	7%	10%	9%	11%	12%	13%	14%	15%	
全球碱性电解槽市场空间 (亿元)	32	79	187	392	688	1094	1682	1821	1808	1799	
全球 PEM 电解槽市场空间 (亿元)	22	50	133	332	657	1054	1695	1941	2007	2023	
全球电解槽市场空间 (亿元)	52	129	321	724	1344	2148	3377	3762	3815	3822	

资料来源：中国煤炭工业协会，国家能源局，IEA，国信证券经济研究所整理及预测。注：该市场空间测算不考虑 SOEC 部分份额

相关企业梳理

电解槽企业梳理

表 18: 电解槽相关企业梳理

相关公司	产品/业务	氢能领域进展
隆基绿能 (601012. SH)	碱性电解槽	子公司隆基氢能于 2021 年成立, 目前公司电解槽产品制氢规模为 1000Nm ³ /h, 直流电耗满载状态下可达 4.1kWh/Nm ³ 。产能方面公司 2022 年碱性电解槽产能 1.5GW。
阳光电源 (300274. SZ)	碱性/PEM 电解槽	子公司阳光氢能于 2021 年成立, 阳光氢能主要产品包括制氢电源、碱性水电解槽、PEM 电解槽、气液分离纯化设备等, 目前阳光氢能拥有 1000Nm ³ /h 碱性电解槽和 200Nm ³ /h PEM 电解槽产品。产能方面, 公司电解槽的产能已达 1GW, 另外有 2GW 产线等待建设投产中。
华光环能 (600475. SH)	碱性电解槽	公司成立于 2000 年, 氢能业务方面, 2023 年 3 月公司 1500Nm ³ /h 碱性电解槽成功下线, 公司目前已具备 500Nm ³ /h 以下、500-1000Nm ³ /h, 1000-2000Nm ³ /h, 多个系列碱性电解水制氢系统制造技术。产能方面, 公司已经形成了年产 1GW 电解水制氢设备制造能力。
华电重工 (601226. SH)	碱性/PEM 电解槽	公司成立于 2008 年。2020 年公司设立了氢能事业部并承接甘电投氢能利用研究课题, 签订 2 个气体扩散层供货合同。2022 年 7 月, 公司 1200Nm ³ /h 碱性电解槽和气体扩散层产品顺利下线, 同时公司积极推进 PEM 电解槽装备研发工作。
双良节能 (600481. SH)	碱性电解槽	2022 年 9 月公司首套 1000Nm ³ /h 制氢系统顺利下线, 目前电解槽最大产氢量 1200Nm ³ /h。产能方面, 规划 300 台制氢系统产线。
昇辉科技 (300423. SZ)	碱性电解槽	参股 30% 股权子公司盛氢制氢成立于 2022 年 5 月成立, 公司碱性电解槽产品囊括 100-1000Nm ³ /h 制氢规模, 2023 年 1 月公司完成佛山首套 1000Nm ³ /h 碱性电解槽下线, 2023 年 3 月, 公司与大连市普兰店区政府签订氢能项目战略合作, 将为普兰店区滩涂光伏离网制氢项目提供电解水制氢设备。
亿利洁能 (600277. SH)	碱性电解槽	公司旗下亿利氢田时代于 2022 年 8 月成立, 2022 年 9 月下线内蒙古首套 1000Nm ³ /h 碱性电解槽, 产能方面, 公司预计 2023 年底达到 1GW 电解槽生产规模, 2024-2025 年产能将达到 2.5GW。
明阳智能 (601615. SH)	碱性电解槽	公司于 2006 年成立, 2022 年 12 月公司单体产氢量 1500-2500Nm ³ /h 电解槽成功下线。
上海电气 (601727. SH)	碱性/PEM 电解槽	公司旗下上海氢器时代于 2022 年 12 月成立, 2023 年 6 月发布最大产氢量 2500Nm ³ /h 碱性电解槽产品。
兰石重装 (603169. SH)	碱性电解槽	兰石集团旗下兰石能源装备工程研究院 2023 年 7 月发布 1000Nm ³ /h 碱性水电解制氢装备, 直流电耗≤4.3kWh/Nm ³ , 目前已具备 100 台套/年产能。
龙蟠科技 (603906. SH)	碱性电解槽	2023 年 3 月龙蟠科技旗下江苏天蓝智能年产 1GW 制氢电解槽项目开工, 首款 1000Nm ³ /h 电解槽产品将于 10 月发布。
林洋能源 (601222. SH)	碱性电解槽	全资子公司林洋创业投资与舜华新能源于 2021 年合资成立清耀新能源。主要从事氢能业务。2022 年 11 月, 清耀新能源正式发布新产品“全自动并/离网 SAK1600 系列碱性电解水制氢装备”, 该设备产氢量可达 500Nm ³ /h。
中国石油 (601857. SH)	碱性电解槽	2023 年 5 月, 中国石油旗下宝鸡石油机械成功下线首套 1200Nm ³ /h 碱性电解槽产品。
航天工程 (603698. SH)	碱性电解槽	2023 年 5 月, 公司自主开发的 1000Nm ³ /h 碱性电解制氢系统正式下线。
亿华通 (688339. SH)	PEM 电解槽	2023 年 6 月, 亿华通发布 PEMPEM 电解槽和制氢系统, 电解槽电耗低于 4.19kWh/Nm ³ , 系统效率达 80%, 系统电耗低于 4.4kWh/Nm ³ 。

石化机械 (600028.SH)	PEM 电解槽	公司为中国石化旗下公司, 目前已有 PEM 制氢产品, 并于 2023 年 3 月中标华中科技大学《质子交换膜水电解制氢和氢燃料电池设备系统》采购项目。
威孚高科 (000581.SZ)	PEM 电解槽	公司目前已完成百千瓦级 PEM 电解水制氢示范线建设。
考克利尔竞立	碱性电解槽	考克利尔竞立由苏州竞立与约翰·考克利尔在 2019 年合资组建, 目前公司可提供最大规模 1500Nm ³ /h 的碱性电解水制氢系统。产能方面, 公司 2022 年拥有 1GW 电解槽产能, 预计 2023 年底达到 2.5GW。项目方面, 在 2023 年 6 月投产的中石化新疆库车 2 万吨光伏制氢项目中, 公司提供了 24 台 1000Nm ³ /h 碱性电解槽 (约合 120MW)。
天津大陆	碱性电解槽	天津大陆成立于 1994 年, 目前产品最大产氢量为 1000Nm ³ /h。2023 年 6 月, 天津大陆获得 1 亿元的融资 (投资方为东方江峡产投、招银国际等)。产能方面, 二期厂房建设完成后制氢装备产能可达 320 台套/年。
天合元氢	碱性电解槽	公司 2022 年 12 月首台 1000Nm ³ /h 碱性电解水制氢设备正式下线, 2023 年公司预计将建成 1GW 电解水制氢设备产能。
派瑞氢能	碱性/PEM 电解槽	中船派瑞氢能为中船七一八所旗下全资子公司, 为国内电解水制氢领域领先企业。产品方面, 目前公司最大碱性电解槽产氢量为 2000Nm ³ /h, PEM 电解槽制氢规模为 300Nm ³ /h。产能方面, 预计 2023 年公司电解槽产能 1.5GW。
国富氢能	碱性/PEM 电解槽	国富氢能成立于 2016 年 6 月, 目前公司电解槽最大产氢量 1000Nm ³ /h, PEM 电解槽最大产氢量 200Nm ³ /h。产能方面预计 2023 年达到 1GW。公司 2023 年 5 月与南非客户达成合作协议, 未来 5 年合计获得不少于 5GW 电解槽订单, 于 2023 年 6 月与 Sacotel Zshine 达成合作协议开发中东市场, 未来 5 年累计获得不少于 5 亿美元电解槽订单。
中电丰业	碱性/PEM/AEM 电解槽	公司 2007 年成立, 产品方面, 公司目前产品包括碱性电解槽 (1200Nm ³ /h)、PEM 电解槽 (400Nm ³ /h) 以及 AEM 电解槽 (产量为 50Nm ³ /h)。产能方面 2022 年已有 500MW 规模。
长春绿动	PEM 电解槽	长春绿动成立于 2021 年, 公司产品主要为 PEM 电解水制氢装备, 主要依托国氢科技前期技术储备, 公司目前已掌握质子交换膜、催化剂、双极板、膜电极等全产业链技术及生产工艺, 公司 2022 年 7 月推出了 200Nm ³ 的 PEM 制氢系统, 2023 年长春绿动签订大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目 PEM 制氢设备供货合同, 合同价格为 2.9 亿元。
赛克赛斯	PEM 电解槽	赛克赛斯成立于 2007 年, 长期深耕 PEM 制氢系统研产。现阶段赛克赛斯的电解水制氢设备已广泛应用于高端实验室、电子半导体厂、电厂氢站、制氢站、氢储能等领域, 全系产品通过 CE、Rohs 认证, 公司自主研发的 MW 级 PEM 制氢单电解槽对标进口品牌。
氢晨科技	PEM 电解槽	氢晨科技成立于 2018 年, 公司在制氢领域针对性开发了 PEM 电解槽产品, 单槽制氢能力可达 250Nm ³ /h。
清极能源	PEM 电解槽	清能股份成立于 2011 年, 公司分别开发 CE-A 系列大功率碱性电解系统和 CE-P 系列中等功率的 PEM 电解水系统, 产氢速率覆盖 1-200Nm ³ /h, 满足工业、化工、冶金、制氢加氢一体化站等场景的需求。

资料来源: 隆基绿能、阳光电源、华光环能、华电重工、双良节能、昇辉科技、亿利洁能、明阳智能、上海电气、兰石重装、龙蟠科技、林洋能源、中国石油、航天工程、亿华通、石化机械、威孚高科等公司公告, 国富氢能官网, 艾邦氢能源网, 索比氢能, 全球氢能, 高工氢电, 国信证券经济研究所整理。

电解槽部件企业梳理

表19: 电解槽部件相关企业梳理

相关公司	产品/业务	氢能领域进展
东岳集团 (00189.HK)	隔膜/质子交换膜	全资子公司东岳未来氢能成立于2017年, 目前是国内质子交换膜领军企业。产能方面, 2022年末公司公示年产500万平米全氟质子膜与2万吨ETFE环境影响评价征求意见稿, 计划建设年产350万平米燃料电池膜、50万平米水电解制氢膜。
泛亚微透 (688386.SH)	质子交换膜	参股公司江苏源氢新能源以膨体聚四氟乙烯(ePTFE)膜技术及涂布设备和工艺应用经验为基础, 在氢质子交换膜(PEM)、功能膜电极组件(MEA)和氢质子交换膜燃料电池(PEMFC)等关键材料及零部件方面产业布局。2022年8月江苏源氢新能源质子交换膜项目开工, 项目分两期建设, 达产后预计年产氢质子交换膜约650万平方米。
华电重工 (601226.SH)	质子交换膜	控股子公司深圳通用氢能成立于2018年, 致力于氢能关键材料气体扩散层、质子交换膜及催化剂的研发与批量化制造, 供应PEM电解水制氢和氢燃料电池领域。
武汉绿动氢能	质子交换膜	公司成立于2020年7月, 是国家电投氢能公司的全资子公司, 专注于质子交换膜、水电解膜、膜电极、电堆及燃料电池系统等。2021年12月, 武汉绿动年产30万平质子交换膜生产线正式投产, 产品已实现在大功率燃料电池电堆应用。
苏州科润新材料	质子交换膜	公司开发的全氟离子膜已在燃料电池、电解水制氢、等领域得到了广泛应用, 与上海电气、国网南瑞、大力电工、北京普能、国电投、等公司达成长期合作关系, 产品出口日本、韩国、加拿大、智利、德国、新加坡等多个发达国家。2023年2月完成C轮2.4亿融资的全部交割工作。C轮融资由红杉中国领投, 北汽产投、未势能源、宇通集团等企业联合投资。
威孚高科 (000581.SZ)	膜电极	公司全资子公司丹麦IRD公司在膜电极方面拥有多项专利技术, 产品可应用于PEM电解槽。公司PEM电解水制氢业务目前正按计划稳步推进研发与示范工程。
雄韬股份 (002733.SZ)	膜电极	参股公司武汉理工氢电科技成立于2018年3月, 是国内早期成功开发出CCM膜电极的企业之一, 主要产品包含车用和电站用燃料电池膜电极以及PEM电解水膜电极, 其车用膜电极功率密度达1.68W/cm ² , 铂载量≤0.5mg/cm ² 。产品大批量出口美国、德国、韩国等国际市场, 累计销售超200万片。
唐锋能源	膜电极	唐锋能源是一家拥有燃料电池和电解槽膜电极设计、材料、工艺、设备、测试评估等全套核心技术的高科技公司。目前该企业自主开发的产品功率密度≥1.5W/cm ² , 并通过了车规级的性能和稳定性验证。公司至今累计共销售近两百万片的膜电极产品, 国内外累计配套燃料电池电堆系统近6000套。公司在电解水制氢领域也完成了布局。
鸿基创能	膜电极	鸿基创能成立于2017年12月, 美锦能源参股。公司致力于质子交换膜燃料电池用自主化高性能催化剂涂层质子膜及膜电极的产业化, 是我国较早实现膜电极规模化生产的企业之一, 2022年6月, 鸿基创能膜电极及PEM电解水制氢项目在广州投产, 膜电极年产能500万片。
贵研铂业 (600459.SH)	催化剂	2022年6月, 子公司贵研新材料与亿华通签订战略合作协议。双方将在燃料电池催化剂产品研究开发及铂资源回收等领域积极寻求合作机会, 发挥各自在氢燃料电池开发、新材料技术方面的优势, 着力解决燃料电池铂成本高及资源短缺等问题。
武汉喜马拉雅	催化剂	武汉喜马拉雅成立于2019年, 目前公司铂碳催化剂日产能达到200g; 催化剂粒径2-3nm之间; 电化学活性面积可达90m ² /g; 量产铂碳催化剂主要包括40wt%、50wt%、60wt%、70wt%几种规格, 具有高活性、高稳定性、低成本优势。
中科科创	催化剂	公司成立于2015年, 依托中科院上海高等研究院人才队伍、技术优势而打造。中科科创现在拥有两大类燃料电池催化剂: 铂基类催化剂、铂镍碳类催化剂。目前主推的高载量Pt/C催化剂, 已经实现了公斤级规模化制备, 建立了300余家客户群体。
治臻股份	双极板	上海治臻新能源基于其领先的燃料电池金属双极板技术能力和制造能力, 布局PEM电解水制氢领域。目前治臻股份已自主掌握极板设计、模具设计制造、冲压、焊接、涂层、密封等关键技术与工艺, 产能方面, 治臻股份目前在苏州常熟的生产基地拥有350万片/年的双极板产能。

资料来源: 东岳集团、泛亚微透、华电重工、威孚高科、雄韬股份、贵研铂业公司公告, 索比氢能, 高工氢电, 氢能汇, 国信证券经济研究所整理。

投资建议：关注制氢产业链布局领先的公司

绿氢市场正处于蓬勃发展阶段，伴随绿氢成本下降迎来平价，可再生能源制绿氢需求将得到极大提升，制氢电解槽设备也将迎来产业化高速发展。

关注当前产业链布局领先企业，推荐华电重工、隆基绿能、阳光电源、双良节能。

表20：相关公司盈利预测及估值（2023.7.6）

股票代码	股票简称	投资评级	总市值 (亿元)	最新股价 (元)	EPS			PE		
					2022	2023E	2024E	2022	2023E	2024E
601226.SH	华电重工	买入	90	7.69	0.27	0.38	0.5	28	20	15
601012.SH	隆基绿能	增持	2115	27.89	1.95	2.53	3.15	14	11	9
300274.SZ	阳光电源	买入	1759	118.4	2.42	4.77	6.53	49	25	18
600481.SH	双良节能	增持	247	13.22	0.51	1.34	1.66	26	10	8
601615.SH	明阳智能	增持	381	16.75	1.52	2.02	2.58	11	8	6
600475.SH	华光环能	未评级	111	11.74	0.77	0.98	1.17	15	12	10
300423.SZ	昇辉科技	未评级	61	12.27	-	-	-	-	-	-
603169.SH	兰石重装	未评级	98	7.49	0.13	0.22	0.29	58	34	26
688339.SH	亿华通	未评级	71	60.12	-1.67	-0.59	-0.03	-	-	-
601727.SH	上海电气	未评级	712	4.57	-0.23	0.16	0.21	-	29	22
603906.SH	龙蟠科技	未评级	101	17.88	1.33	0.86	1.29	13	21	14
000581.SZ	威孚高科	未评级	165	16.41	0.12	2.38	-	137	7	-
600277.SH	亿利洁能	未评级	118	3.31	0.21	0.22	0.27	16	15	12
00189.HK	东岳集团	未评级	138	6.14	1.71	1.49	1.62	4	4	4

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理与测算

注：明阳智能、华光环能、昇辉科技、兰石重装、亿华通、上海电气、龙蟠科技、威孚高科、亿利洁能、东岳集团业绩预测为Wind一致预期

免责声明

分析师声明

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

国信证券投资评级

类别	级别	说明
股票 投资评级	买入	股价表现优于市场指数 20%以上
	增持	股价表现优于市场指数 10%-20%之间
	中性	股价表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	卖出	股价表现弱于市场指数 10%以上
行业 投资评级	超配	行业指数表现优于市场指数 10%以上
	中性	行业指数表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	低配	行业指数表现弱于市场指数 10%以上

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中所提及的意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路 125 号国信金融大厦 36 层
邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路 1199 弄证大五道口广场 1 号楼 12 层
邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街 6 号国信证券 9 层
邮编：100032