

行业报告：氢能产业深度报告（1）

2024年7月30日



中航证券有限公司
AVIC SECURITIES CO., LTD.

电解槽专题：氢风徐来 百花绽放，朔源而上 千树结果

行业评级：增持

分析师：曾帅 SAC：S0640522050001

分析师：王卓亚 SAC：S0640523110001

股市有风险，入市需谨慎

氢能（气）是可用于化工、冶金、能源、交通等多领域的“终端原料”，是理想的绿电储能媒介。当前国内氢需求主要来自化工、冶金、石油炼化以及陶瓷、玻璃制备等传统工业领域，供热与动力用氢占比较低。未来5年、甚至更长时间内这一格局仍将保持。而全球氢气主要来源于化石燃料制氢，低碳氢源(绿氢+蓝氢)占比难以突破1%。在全球降碳减排的趋势下，在传统领域的低碳氢源替代、交通和电力等新兴应用领域需求崛起的推动下，以及低碳制氢成本的下降，全球低碳氢源用量和产量有望迎来迅速增长，其中可再生能源电解水制绿氢为低碳氢源的主要构成。

目前全球绿氢推广存在着制氢标准认定、专利壁垒、制氢成本高等障碍。主要氢能参与经济体欧盟、美国、中国、日本均未统一氢能类型的认定标准，而欧盟对制氢绿电认定的要求更高、更严苛。全球氢能专利主要由欧盟与日本主导，美国专利占居前但份额出现下滑，韩国和中国已崭露头角。全球制绿氢的成本存在较大下降空间，而且由于风光资源、产业政策、制氢产业成熟度等因素存在地区差异，未来跨区绿氢贸易存在较大市场空间。

电解槽是绿氢生产的核心设备，全球电解槽行业发展迅速，中国市场已成为全球的主导。据IEA统计，至2022年底全球累计装机1.4GW，其中中国与欧洲累计装机量均占30%、美国与加拿大合计占比约10%、其余地区占比约30%。结合各国发布的低碳制氢项目推测，电解槽装机量的上升空间广阔，预计2030年全球电解槽累计装机量将在175~420GW之间。全球电解槽装机量在近三年迎来快速发展，2023年全球累计装机量有望突破2GW，其中中国、欧洲地区的累计电解槽装机量全球领先。

电解槽技术路线包括AWE、PEM、AEM、SOEC等，其中AWE和PEM的技术成熟度和商业化程度较高。AWE技术路线的电解槽凭借成本优势装机量大幅领先于其他技术路线。SOEC和AEM处于商业化初期，目前海外技术成熟度优于国内。海外市场SOEC已经进入商业化初中期阶段，国内市场SOEC目前尚处于研发示范阶段在产业化进程上还与国外存在着较多差距，比如单体系统规模最大为百千瓦级、无法多次启停等。AEM电解技术仍处于研发阶段，其单体容量、性能瓶颈均尚待验证。全球范围内仅欧美部分厂商率先取得突破。

AWE产业链总体国产化程度较高，PEM产业链核心部件有较大的国产替代空间。AWE电解槽产业链的极板、密封垫片、制氢电源等环节已完全实现国产化，而隔膜属于国产化程度较低的关键零部件。国内装备企业主要使用的PPS隔膜由日本东丽垄断，而新一代的复合隔膜还处于商业化验证阶段。PEM电解槽产业链的核心部件和材料，比如PEM用膜、催化剂、气体扩散层等进口依赖度均较高。国内对于PEM产业链核心环节的融资热度较高，东岳未来氢能、科润新材料等企业在国内实现PEM用膜等部件的量产，有望引领国内PEM产业链的国产替代。

全球主要电解槽厂商纷纷计划扩充产能，而且出现风电、光伏、石化、氢燃料电池等企业跨界进军电解槽行业。中国是当前全球电解槽的生产重镇，总体产能规模遥遥领先。据高工氢电，2023年全球电解槽名义产能58GW，其中中国38GW、占比66%，中国电解槽厂商以AWE技术路线为主、约占全球AWE产能的70%左右。欧洲PEM和AWE技术造价相近、两路线并进，装置产能仅次于中国。据Bloomberg NEF在2024年发布的最新预测，到2024年底国外PEM制氢装备商家的产能将是中国的10倍以上，但我们预计实际落地会低于预期、且低于中国产能投放速度。

- 1) 中国和欧盟的碳中和政策推动国内与海外电解水制氢市场快速发展，尤其是中国电解槽行业供需双旺。
- 2) 国产碱性电解槽的技术成熟度、产品稳定性和成本控制等方面已全面领先世界，资本助力产能释放加速，未来加强出口、抢占海外市场将成为必然选择。因此欧美市场可能短期内担心中国装备企业的竞争而推动贸易保护、关税壁垒，但长期看中外合作将有助于推动行业健康、快速发展，因此构建海外合作渠道也成为衡量企业全球竞争力的重要参考项。但若缺少中国供应链支持则海外市场的成本无法快速降低至可实现“平价制氢”、最终作茧自缚，否则将错过风光配储的绝佳机会。若短期遇到严苛的海外贸易壁垒，相对产能过剩也会带来国内价格体系震荡。
- 3) 中期内主要的氢能应用场景为化工和冶炼行业的灰氢、蓝氢市场绿氢替代和波动能源消纳制氢，氢能交通运输原料供给和民用冷热电联供等场景尚需时日。
- 4) AWE和PEM的技术成熟度和成本优势均远高于AEM和SOEC技术路线，因此中期内AWE槽与PEM槽优势会扩大。设备采购价格、预期的产能利用率(开机小时数)、运行维护成本等设备制造商可以优化的方面至关重要，而电价因素同样不可忽略。
- 5) 氢能汽车产业大约中期以后会进入蓬勃发展期，同时居民管道气掺氢的比例也会大幅提升，届时对于城市内“分布式”制氢的需求将增加，低成本、小标方的PEM槽或将面临需求增长的临界点。
- 6) 随着技术成熟度不断提高，容量、功率、产氢能耗等与电解槽设备运营成本密切相关的指标将持续优化，设备性能将在不断新增的示范项目、商业化项目中持续验证与提高。
- 7) 产能过剩的问题也需要得到重视，但短期内以大型化工/冶炼企业为主的模式会筛选掉产品力不足、研发与服务能力差的企业。
- 8) 主要原材料和零部件均已实现国产，PPS隔膜和复合隔膜的国产化将加速，PEM槽的全氟磺酸酯与PEM膜、贵金属催化剂等上游环节均存在较高对外依赖，产业即将突破、实现快速降本。同时，贸易壁垒预计主要出现在主机环节，上游原材料面临的贸易壁垒压力相对较小。
- 9) 投资主线发展主线：国内示范项目带动电解水装备主机厂发展——>>主机出口、寻求海外合作伙伴——>> 国产核心零部件与关键材料替代进口——>>国内氢气运营商大发展——>> 气体运营商出海、启动全球化布局。

表：电解槽相关上市公司

股票代码	股票名称	总市值(亿元)	年初至今涨幅	EPS (元/股)				PE				归母净利润(百万元)			
				2023A	2024E	2025E	2026E	2023A	2024E	2025E	2026E	2023A	2024E	2025E	2026E
000852.SZ	石化机械	51.1	-13.2%	0.1	0.2	0.2	0.4	53.4	35.6	22.3	15.3	92.0	147.3	230.6	333.6
03899.HK	中集安瑞科	133.8	1.3%	0.6	0.7	0.8	1.0	13.0	10.8	9.1	7.5	1114.0	1332.6	1592.7	1936.3
601226.SH	华电重工	54.8	-28.6%	0.1	0.3	0.3	0.4	58.8	18.8	15.2	12.4	97.5	288.2	364.0	451.4
600475.SH	华光环能	82.8	-15.7%	0.8	0.9	1.0	1.1	11.1	10.0	8.7	7.8	741.2	827.2	954.5	1064.4
0189.HK	东岳集团	109.7	20.0%	0.3	1.0	1.2	1.4	21.9	7.1	5.6	4.7	707.8	1518.3	1941.3	2485.0

1. 氢能优势与氢源

2. 电解槽技术分析

3. 电解槽两大疑问

4. 重点公司

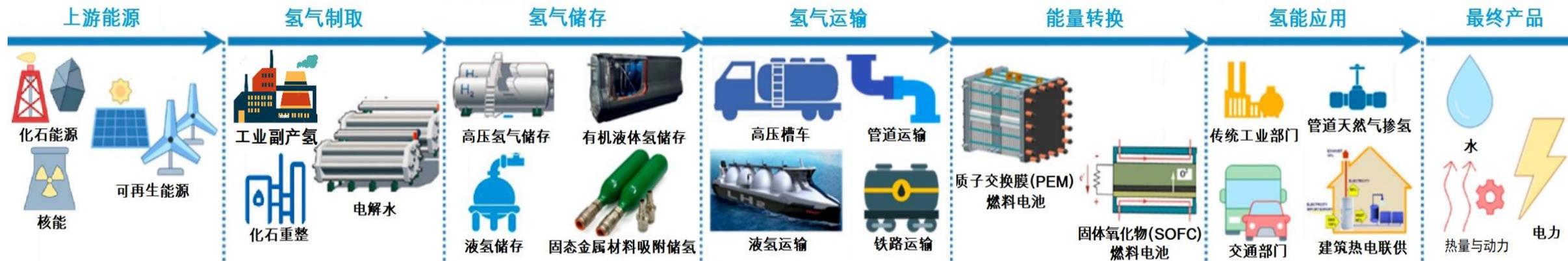
1.1 氢的应用：可以同时打通工业、民用能源、交通动力多领域的终极能源

氢能的直接应用场景分为四类：1) 化工原材料，如用于制备甲醇和合成氨。2) 工业辅料，包括不参与主流程的化学反应的，如食品加工业/陶瓷/玻璃的生产过程抗氧化保护气、冷却气；参与主流程的化学反应的，如氢能炼钢时除了加热外还用于还原反应、夺走铁矿石中的氧和碳等元素。3) 燃烧做功或制热的原燃料，包括燃氢发动机的燃料、民用天然气掺氢等，炼钢用的氢气同时起到还原剂和燃料加热的功能。4) 电化学反应的原料，燃料电池汽车和社区热电联供是主要应用场景，通过燃料电池实现放电、同时产生50~80°的水可以用于供热。**氢在能量和原料两方面属性决定了应用场景多元，制取来源多元、可打通绿能与碳能则将促进其成为下一代能源载体，成为终极能源。**

氢能产业链主要环节包括传统/清洁能源、氢的制/储/运、氢化学反应/能量转换装备、氢应用装备(加氢设备与燃料电池)、工业/民用/交通部门的氢能利用环节。目前各领域、各环节氢能推广的最核心逻辑是“成本由谁承担”和“全球/国家碳中和政策”两方面。因此我们预计在未来的3年内，氢能应用的推广速度排序依次是：工业原材料>工业辅材>民用燃气>商用车+专用车+工程机械等场景>热电联供>乘用车。**未来氢能核心推广的动力将从政策(如财政补贴)推动逐步转向经济性(包括直接运营成本和碳税成本等)驱动。**

工业原材料环节的应用占比最高，替代主要来自于“绿氢替代灰氢”。这方面的国家双碳政策有助力、但经济性指标则更重要，因此在其原主业上行周期、即石油或煤炭处于价格高位或上涨周期内更容易转嫁成本、推动新技术更迭；燃料电池汽车推广更依赖于政策驱动和财政补贴，尤其是在商用车/专用车/工程机械上推广会更顺利，同时兼顾了谁买单(企业)、更安全(室外作业和停放)、更经济(固定路线或区域作业可以就近安排加氢站)，这几点也正是国内推广燃料电池乘用车的痛点。

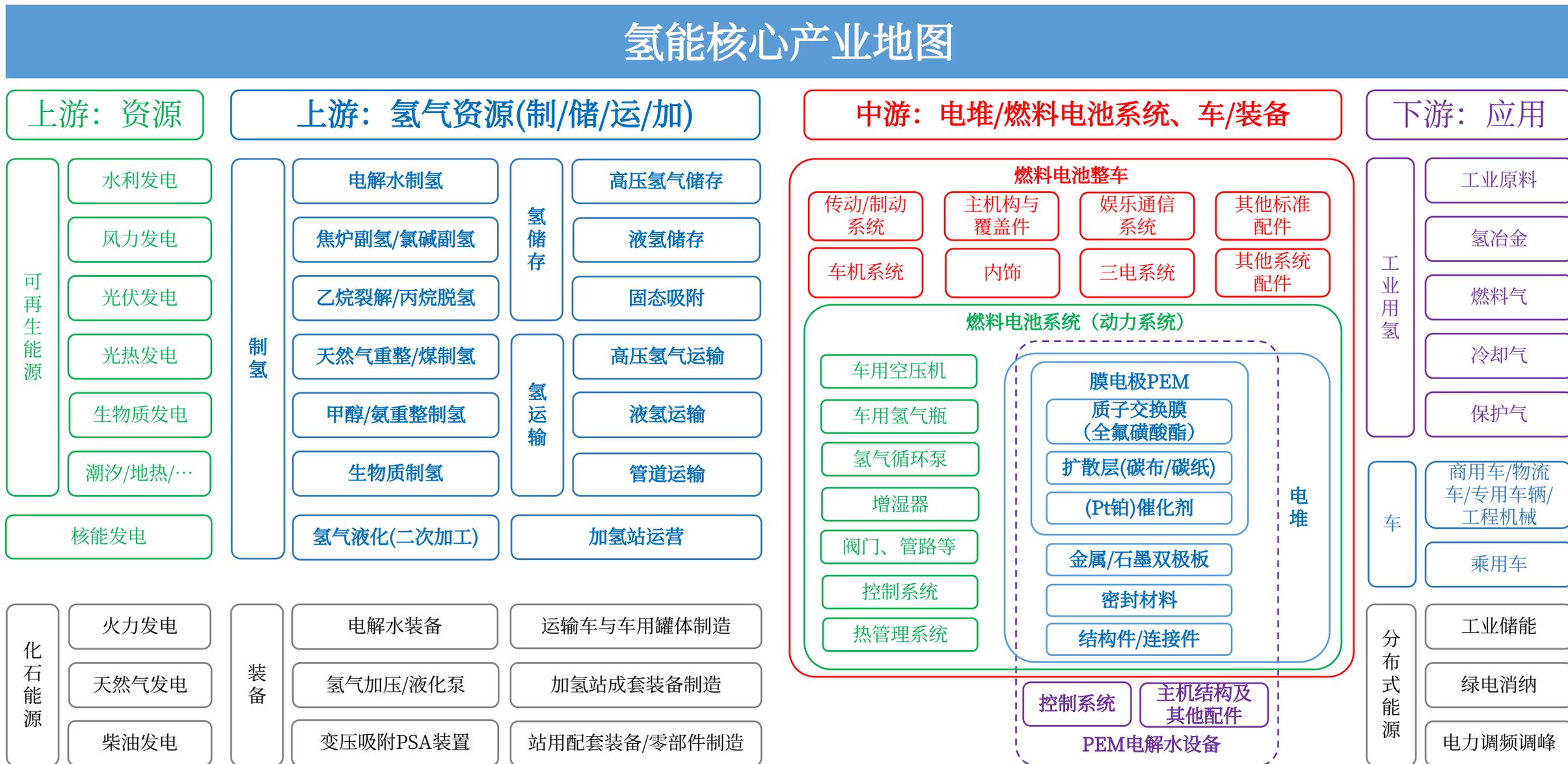
图1-1：氢气/氢能产业链概况



资料来源：《Cost-Economic Analysis of Hydrogen for China's Fuel Cell Transportation Field》，中航证券研究所

1.1 氢的应用：氢能产业链梳理

图1-2：氢能核心产业地图



资料来源：中航证券研究所总结

备注：核能发电是否清洁能源存在争议，因各国家/地区法规而异

1.1 氢的应用：传统领域与新领域对低碳氢源需求强劲，2030年全球低碳氢源需求量将突破6900万吨

分应用行业看，现阶段氢气主要应用于工业和石油炼化领域。2022年全球氢气约56%用于工业领域(合成氨、制甲醇、炼钢等)、约43%用于炼化，而交通领域使用占比仅0.04%。除了传统领域的氢需求随经济增长与产业转移而增长外，氢在交通、电力、建筑等领域的新应用是全球氢气需求增长的另一主要动力。

在全球经济低碳转型和低碳氢源成本下降的推动下，绿氢化工、氢能冶金渗透率有望提升，此外交通、电力、建筑等新兴应用领域对低碳氢源的使用量也有望提升。而2022年全球低碳氢源的总产量不足100万吨。据IEA预测，在碳中和背景下2030年全球氢气需求将达1.5亿吨，2022~2030年CAGR为6%。细分到炼油、合成氨、制甲醇等三大氢气应用领域，2030年低碳氢源的使用占比将分别达到20%、15%、20%。

图1-3：2030年全球工业和石油炼化领域对低碳氢源的需求将超过1400万吨

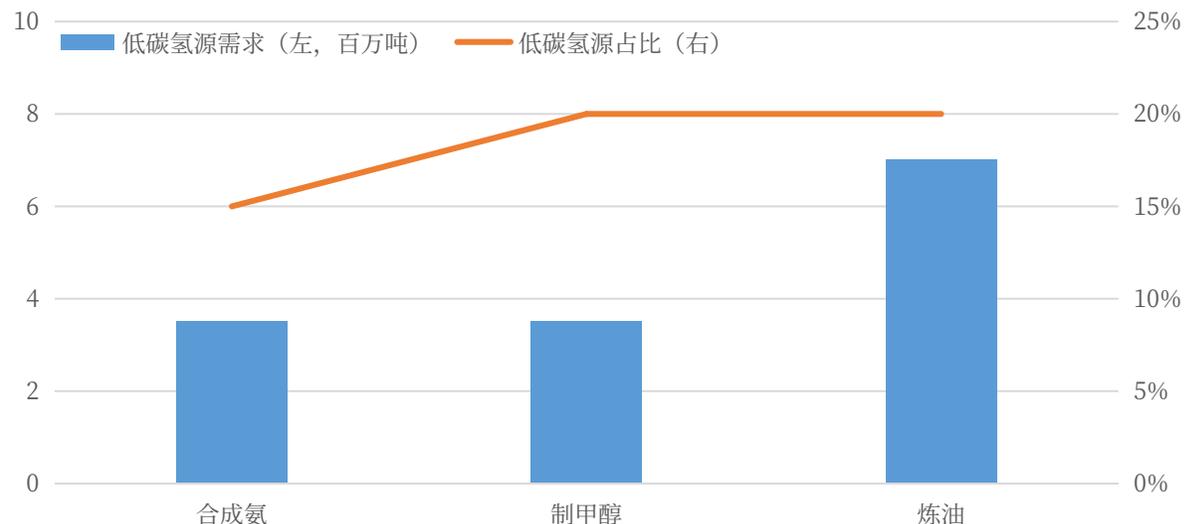


图1-4：2022年全球氢气主要应用于炼油和化工

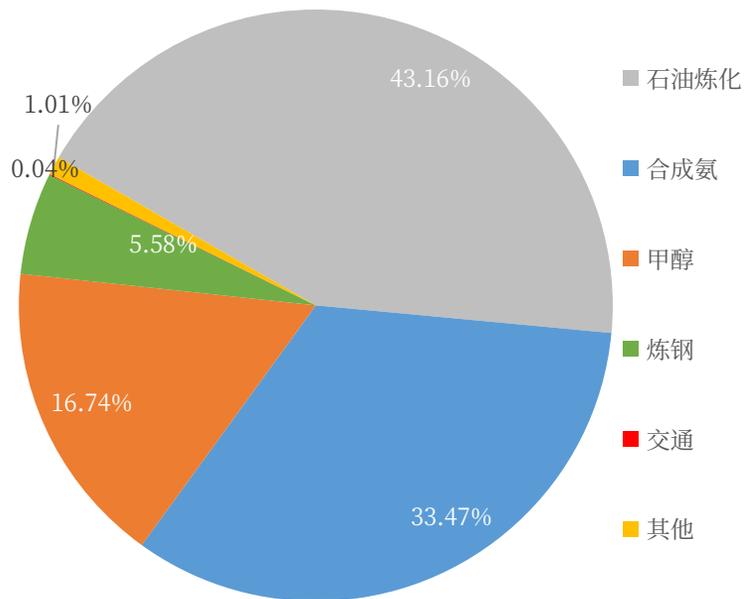


图1-5：2020年中国的氢气主要被用作化工原材料

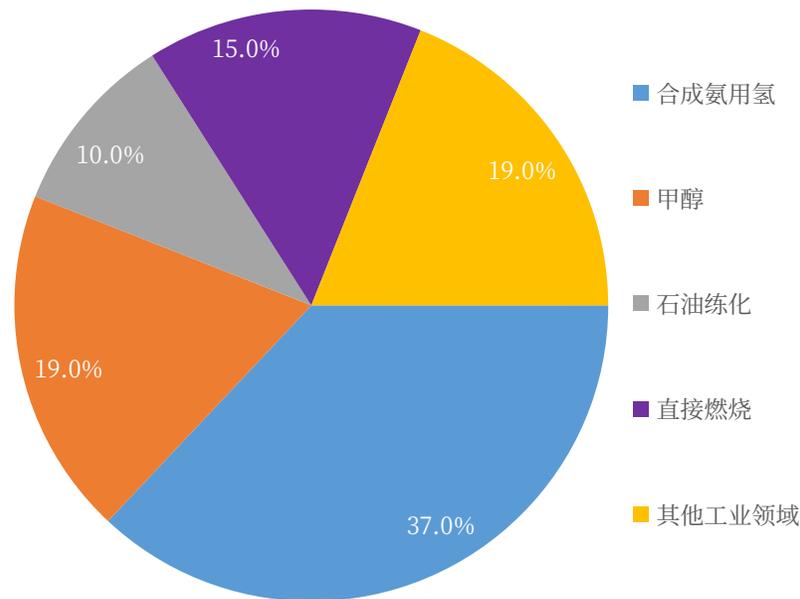
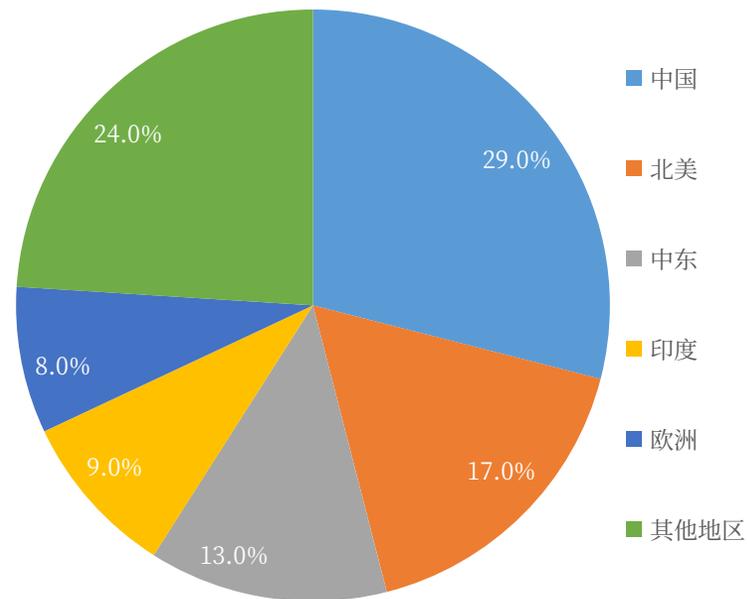


图1-6：2022年各地区氢气使用占全球比重情况



资料来源：IEA，中国氢能联盟，中航证券研究所

1.2 氢的推广：传统领域与新领域对低碳氢源需求强烈，高成本为氢能推广的三大阻力之一

目前氢能发展面临成本高企、专利壁垒、全球标准认定不同及由此延伸的贸易壁垒三大瓶颈，也对应未来主要成长动力。

分地区看全球氢应用，中美处于引领地位、能源产地/消费地紧随其后，未来全球氢应用增量亦将出现在这些经济体(国家/地区)。2022年中国、北美、中东、印度、欧洲、其他地区的氢气使用量分别占比29%、17%、13%、9%、8%、24%。中国+北美+欧洲合计占比仅约54%，明显低于风电、光伏、储能等其他新能源产业，未来有提升的空间。但目前中国、美国、欧盟对绿氢的认定标准未统一，包括网电参与制氢是否认可为绿氢、生物制氢如何计算节能标准等。欧盟委员会最近公布了《新电池法案》的配套动力电池碳足迹规则征求意见稿，对于绿电的认定标准界定可能与其所在国家的电网绿电比例相当，按此标准将间接否定我国绿电和绿证交易的碳足迹追溯认定功能。未来不排除其他行业会受到类似限制的可能。

未来氢的总需求和制氢减排需求提升后，成本控制将成关键且依赖中国。据IEA预测，2030年全球氢需求的1.5亿吨中，低碳氢源的产量将突破6900万吨、占氢气总产量46%，其中蓝氢和绿氢产量分别为1800万吨和5100万吨、占比12%和34%。细分到炼油、合成氨、制甲醇等三大氢气应用领域，2030年低碳氢源的使用占比将分别达到20%、15%、20%。现阶段低碳氢源尚未形成大规模生产，蓝氢对地质条件或原材料供应的要求苛刻、产能存在上限，而绿氢放量不受地质条件和原材料限制，但现阶段制绿氢成本高、缺少经济性。据彭博新能源财经，欧美电解设备的系统成本约1200美元/kW，而中国只需300美元/kW、成本比欧美低75%，未来氢能最重要的推动力量仍然将依赖中国实现设备和气体制备两方面降本。

图1-7: IEA预计2030年全球氢气需求量将达到1.5亿吨

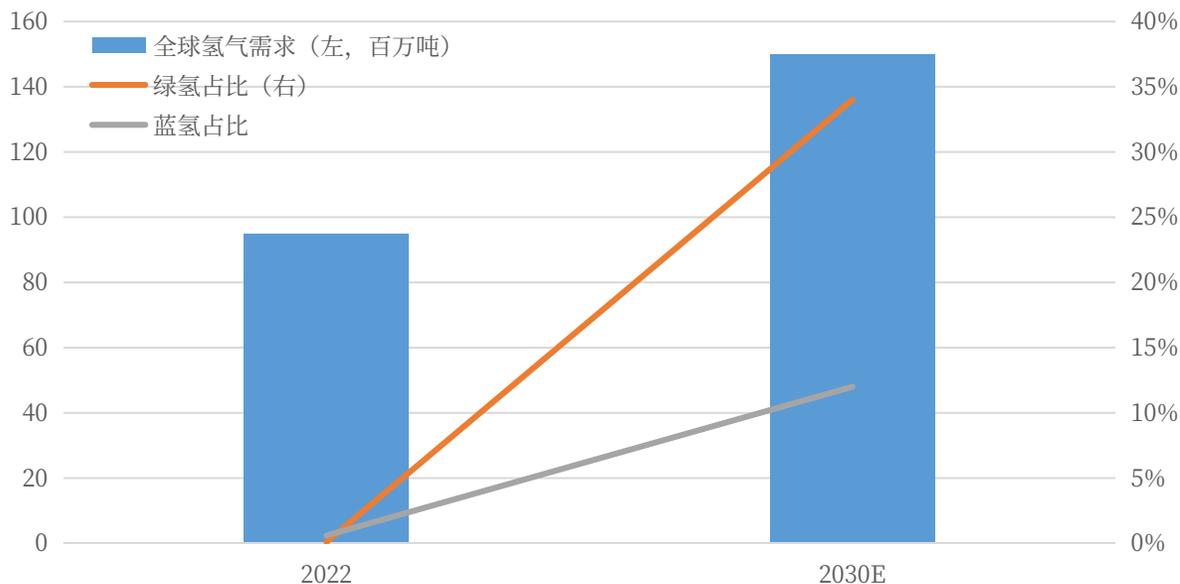
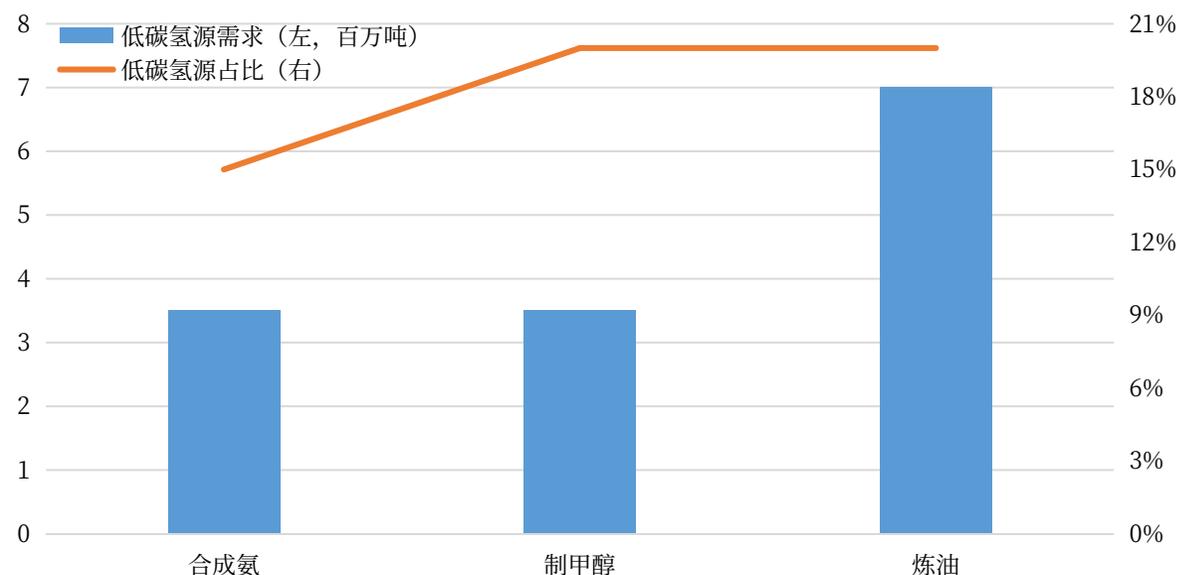


图1-8: 2030年工业和石油炼化领域对低碳氢源的需求将超过1400万吨



1.2 氢的推广：发展顺序先后不同，专利壁垒成为三大阻力之一

全球氢能专利主要由欧盟(德国、法国、荷兰)与日本主导，美国专利占比居前但份额出现下滑，韩国和中国则崭露头角。2011~2020年间欧盟、日本、美国、韩国、中国的电解水制氢国家专利占比分别为28%、24%、20%、7%、4%。在制氢、储运、终端应用等领域，欧盟、日本、美国地区均居于前三位，在制储用三大环节欧日美的合计占比分别67%、78%、74%。韩国和中国紧随其后，在各环节的专利合计占比均10%上下。相对优势指数表现上，欧、日在各环节均位居前两位。美、中在各环节的相对优势指数均小于1，但韩国则在终端应用领域较突出。

欧美日韩的头部企业和研究机构主导了氢能国际专利申请。其中在成熟技术基础上的工艺改进由欧美化工企业主导，日韩车企则在气候中和驱动型专利创新中领先。法国的专利优势在于研究机构而非企业。

图1-9：2011-2020年间全球主要地区和技术领域氢国际专利份额和技术优势

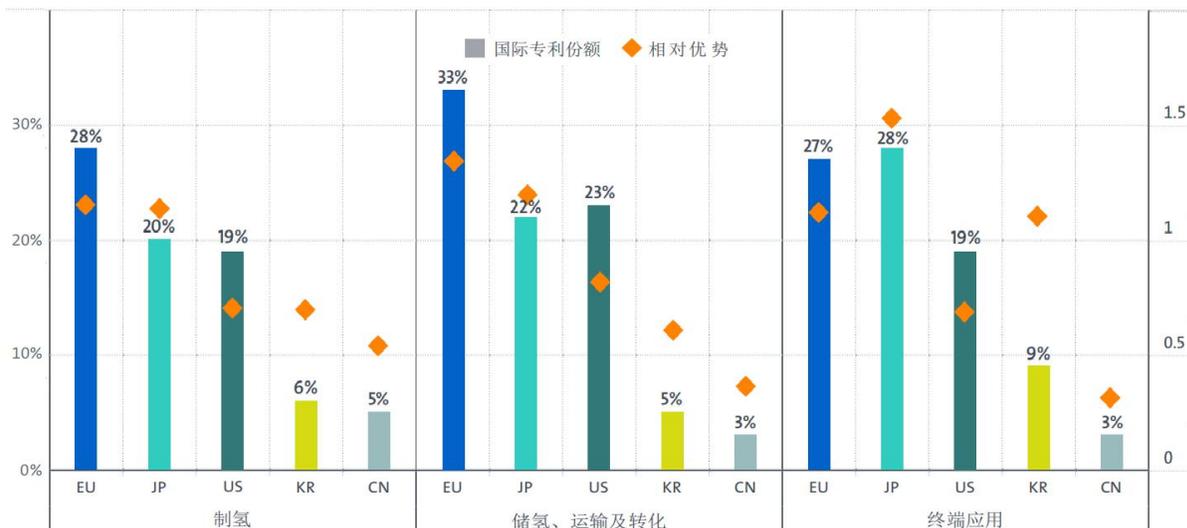
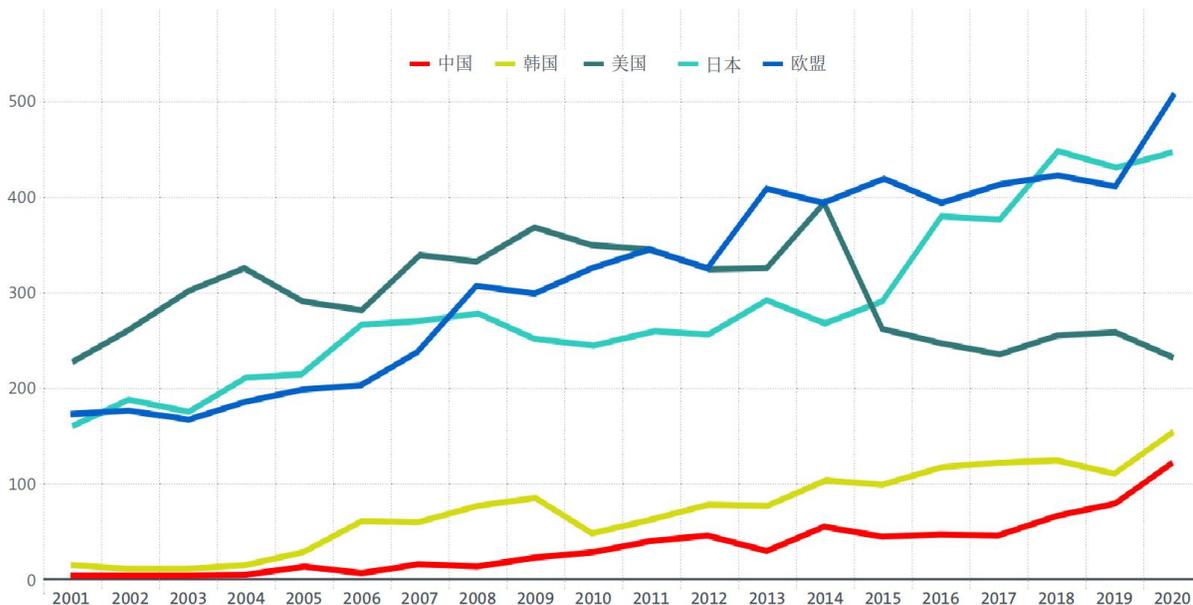


图1-10：2001-2020年世界主要地区氢能专利申请趋势



资料来源：IEA，中航证券研究所

备注：相对优势等于某地区在特定技术领域专利占比与所有领域专利占比的比值，相对优势>1则代表该地区在特定领域的专业化程度

表1-1：2011-2020年成熟技术改进型和气候中和驱动型的顶级国际专利格局

分类	主要企业/机构	制氢领域		氢储存、运输与转化		终端应用领域	
		技术改进	气候中和	技术改进	气候中和	技术改进	气候中和
成熟技术改进型TOP4	法国液化空气	174	44	94	50	18	21
	德国林德气体	155	48	87	40	9	23
	美国空气产品	61	20	30	13	2	8
	德国巴斯夫	34	34	23	11	2	13
气候中和驱动型TOP4	日本丰田汽车	12	48	114	50	2	528
	韩国现代汽车	1	16	44	14	-	319
	日本本田汽车	7	48	48	16	-	200
	日本松下	5	128	2	1	-	6
研究机构TOP3	法国原子能和替代能源委员会	10	109	21	11	1	7
	法国石油研究院	48	30	4	8	1	30
	法国国家科学研究中心	3	30	4	12	1	7

1.2 氢的推广：各国资源与应用场景差异大，标准不统一以及因此带来的贸易壁垒为氢能推广三大阻力之一

主要氢能参与经济体欧盟、美国、中国、日本均未统一氢能类型的认定标准。主要体现在：

- 1) 在碳排放核算环节方面，欧盟、美国均以原料到运输环节为核算范围，即涵盖原材料获取、运输，氢气生产、现场储运、运输至终端环节等全生命周期。而中国、日本则以原料到生产为核算范围，即涵盖原料获取、运输、氢气生产、现场储运环节，但不包括氢气运输至终端环节，核算范围相对宽松。但是，日本对于境外生产氢气的碳排放核算，则要求涵盖长途运输环节。
- 2) 在碳排放强度方面，欧盟、美国、中国、日本给定的范围分别是不超过3.4、4、4.9、3.4kgCO₂ /kgH₂。
- 3) 不同于欧盟和中国，将绿氢/可再生氢的生产方式定义为可再生能源电解水制氢。美国和日本仅依据制氢的碳排放做出具体划分，但在生产方式的定义上较为宽泛。美国的制氢方式包括但不限于蓝氢、乙醇和甲醇等氢载体燃料制氢、可再生能源电解水制氢、核能制氢等。日本对于制氢方式无明确规定。
- 4) 在制氢电源认定方面，欧盟规定较为明确、更为严格。对于网电的使用，需要在可再生能源比例超90%的地区，或者在低碳排放限制地区签订可再生能源购电协议。中国则将制氢电源划定为可再生能源，但未限制使用网电或提出配备绿证等要求。美国、日本对于制氢电源无具体要求。

表1-2：国际上主要发布的关于氢能类型认证的碳排放标准

地区	发布机构	发布时间	法规/标准出处	氢及氢基能源划分及碳排标准	电源	范围
欧盟	欧盟委员会	2023年	可再生能源指令(RED II)	可再生氢(非生物源): ≤3.4kgCO ₂ /kgH ₂	1) 直接连接可再生能源发电机; 2) 可再生能源比例超90%的地区电网供电; 3) 在低二氧化碳排放限制的地区签订可再生能源电力购买协议后采用电网供电。	原料到运输
美国	美国能源部	2023年	清洁氢标准指南	清洁氢: ≤4kgCO ₂ /kgH ₂	无	原料到运输
中国	中国氢能联盟团体标准	2020年	低碳氢、清洁氢与可再生能源氢的标准与评价	低碳氢: ≤14.5kgCO ₂ /kgH ₂ ; 清洁氢: ≤4.9kgCO ₂ /kgH ₂ ; 可再生氢: ≤4.9kgCO ₂ /kgH ₂	1) 低碳氢: 不要求消耗能源为可再生能源; 2) 清洁氢: 不要求消耗能源为可再生能源; 3) 可再生氢: 可再生能源 (含网电供电)	原料到生产
日本	日本经产省	2023年	氢能基本战略 (修订版)	低碳氢: ≤3.4kgCO ₂ /kgH ₂	无	原料到生产

资料来源：赛迪研究院，能景氢能，中国电力网，中航证券研究所

1.3 氢的来源：当前以灰氢为主，与中长期氢源的低碳转型需求存在矛盾，给低碳氢源带来发展机遇

制氢来源多元，短期看重副产氢，长期大力发展绿氢。氢气制取的四大路径为化石燃料制氢、工业副产氢、化工原料制氢、电解水制氢。按照属性分类亦可分为灰氢、蓝氢、绿氢以及更细分类下的黄氢、粉氢、橙氢等。据IEA统计，2022年全球氢气供需平衡、总量9500万吨左右，其中化石燃料制氢产量占比超80%、是现阶段全球主流制氢方式。而电解水制氢和配套CCUS的化石燃料制氢等低碳氢源在全球产量占比不足1%。

在各国政策激励下，氢源低碳化将成为制氢行业趋势，有望带来潜力大的商业机会。化石燃料制氢的单位碳排放量较高，其中煤制氢的碳排放量为天然气制氢的两倍以上(IEA数据)，与全球可持续发展愿景相悖。全球产氢地区集中，产氢量CR5合计约70%，由高至低依次为中国(30%)、美国、中东、印度和俄罗斯。海外以天然气制氢为主，而中国因“富煤贫油少气”以煤制氢为主，中国改变制氢结构将面临较大压力和机遇。

图1-12: 2022年全球(左)制氢来源以天然气制氢为主、2020年中国(右)则以煤制氢为主

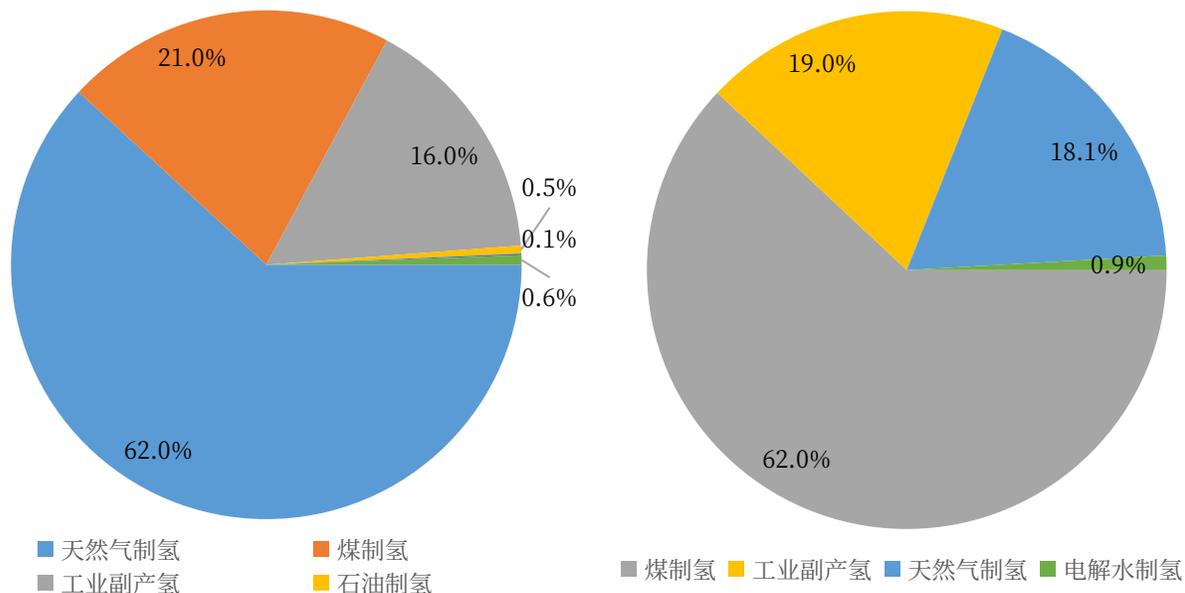
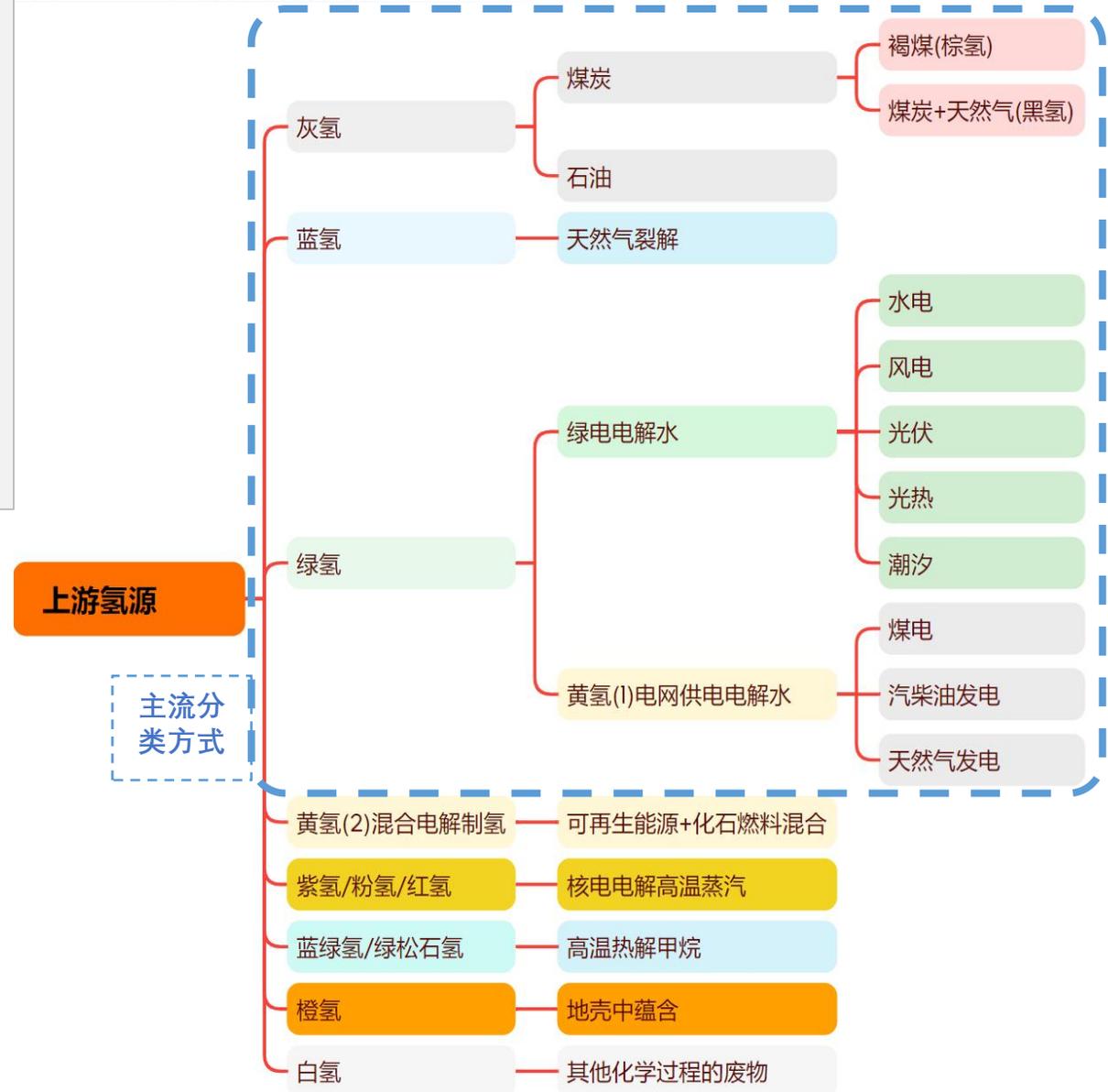


图1-11: 氢气按来源分类



资料来源: IEA, 中国煤炭工业协会, 华经产业研究院, 中航证券研究所总结 备注: 不同国家对灰氢、蓝氢、绿氢、黄氢等定义差异较大, 本文选取比较常见的定义。

1.3 氢的来源：各类制氢技术中绿氢未来降本空间大

目前全球各国制绿氢成本普遍偏高。全球超80%的氢气来源为化石燃料制氢(煤制氢、蒸汽甲烷重整、石油制氢等)和工业副产氢(焦炉气制氢、丙烷脱氢、氯碱制氢等)，而原产地与使用地距离较远、成本等原因导致可再生能源电解水制氢、核能制氢等产量占比较低。可再生能源制氢的LCOH(每公斤氢气的生产成本)较高、氢气产量较低，是其现阶段不具经济性的关键原因。碳排放为0的可再生能源电解水制氢、核能制氢成本在4.95~9.49美元/kg之间，目前普遍高于化石燃料制氢和工业副产氢、甚至为数倍，但是碳排放强度相比其他技术成熟路线更低。

在全球碳中和转型背景下，作为化石燃料制氢和工业副产氢的主要生产商，石化企业积极投资于绿氢项目以进行低碳转型。其中不乏中石化、BASF、Linde、SABIC等行业巨头。在高额投入、高研发强度等因素的推动下，可再生能源制氢产业的降本和规模化发展潜力有望释放。

据IEA模拟和预测，2030年的绿氢LCOH在每公斤1.5美元~每公斤4美元之间，预测主要基于资本支出、运营成本的假设进行推算。资本支出假设：1) 电解制氢系统420-615美元/kW，2) 光伏电站320-1025美元/kW，3) 陆上风电站840-2840美元/kW。运营成本假设：1) 电解制氢系统13-18美元/kW，2) 光伏电站8-23美元/千瓦，3) 陆上风电站为22-73美元/kW。不同地区LCOH差异主要来源于不同地区可再生资源条件和与之相关的电解槽利用率。不同地区制绿氢LCOH的差异除地理条件因素影响外，实际上各地区氢能政策和补贴力度、投资运营成本、氢能产业链成熟度、人工成本、市场效率、基础设施完善度等存在着差异。因而不同地区实际的制绿氢差异成本程度更大，将催生绿氢国际贸易的机会。

表1-3: 不同制氢工艺的成本对比与主要玩家

制氢方式	蒸汽甲烷重整	石油制氢	煤制氢	焦炉气副氢	丙烷脱氢	氯碱副氢	核能电解水制氢	可再生能源电解水制氢
TRL	技术成熟	技术成熟	技术成熟	技术成熟	技术成熟	技术成熟	—	部分技术路线已成熟
制造方式	将CH ₄ 转化为H ₂ 、CO、CO ₂ 、水蒸气等混合气体	基于石油脑、重油等	将煤转化为可燃气体	基于焦炭	基于丙烯制乙烯	基于氯碱	用核电作为电源电解水	通常用风光等可再生能源作为电源电解水
全球供应量(万吨, 2022年数据)	5890(天然气制氢产量)	47.5	1995	1520(工业副产氢产量)			—	9.5
单位碳排放(kgCO ₂ /kgH ₂)	9.26	—	22	—	—	—	0	0
LCOH制氢成本(美元/kgH ₂ , 2021年数据)	1.35	—	1.48	1.19(2018数据)	—	1.3(2018数据)	4.95	5.61~9.49
当前主要国内玩家	中石化、中石油	中石化、中石油	国家能源集团、中石化	美锦能源、中石化、中石油	金能科技、卫星石化、中石化、中石油、巨正源股份	滨化股份、中石化、中石油	东华能源与中核集团合作项目	中石化、中石油、中海油、国电投、国家能源集团等石化和能源企业
当前主要国际玩家	德国林德、美国空气产品、法国液化空气、荷兰壳牌	德国林德	日本iwatani、日本川崎重工等	德国巴斯夫、沙特SABIC、美国埃克森美孚等化工、石化企业			Bloom Energy和Xcel Energy在美国Prairie Island核电站的合作项目	德国林德、美国空气产品、法国液化空气、荷兰壳牌、德国BASF等化工、石化企业

资料来源：《Uncovering the true cost of hydrogen production routes using life cycle monetisation》，IEA，各公司官网等，中航证券研究所总结

日本、韩国以及欧洲部分地区能源供不应求且可再生资源条件较贫乏，还需考虑他们的电力系统脱碳需求，因此自身绿氢产能不足，未来存在较大的绿氢进口需求。

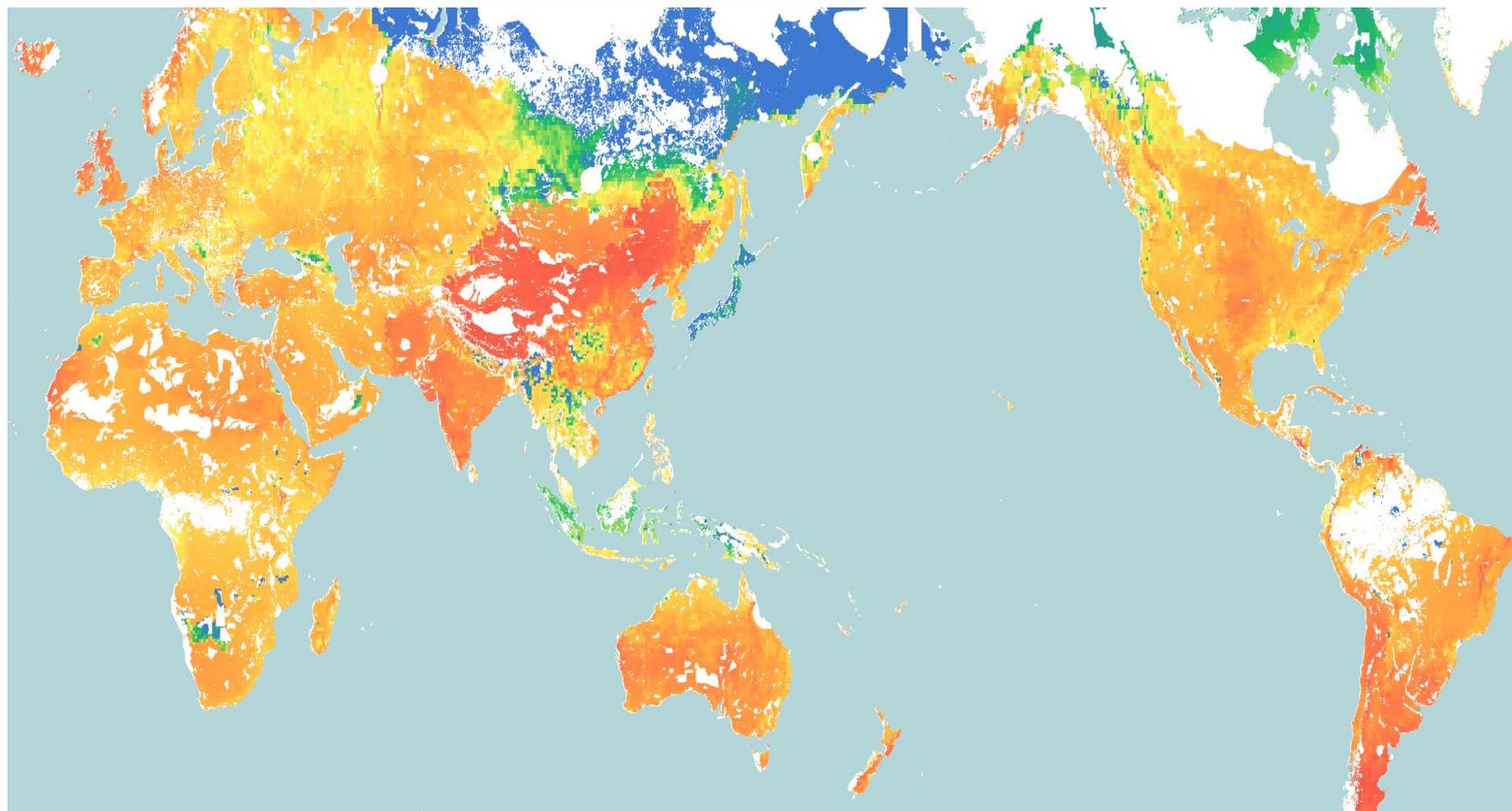
美国和加拿大拥有丰富的风能和太阳能资源，并有望通过政策补贴吸引资金投入绿氢产能来成为绿氢出口国。

南美和中东地区拥有丰富的可再生能源资源导致其绿氢产能远大于自身需求，规模化生产绿氢成本相对较低。

澳大利亚风光资源丰富，扩张低成本绿氢产能潜力较大，而且距离日韩等氢能需求增长迅速的亚洲国家的地理区位较近，有望复制传统资源出口路径实现氢能出口。

中国和印度有望实现国内绿氢自给自足，但需要解决国内各地区绿氢供需错配的问题。供需错位叠加大的制绿氢LCOH差异，需要大量规划建设输氢管网和港口资源，以促使氢能长距离贸易成为趋势。据国际氢能理事会预计2030~2040年间全球长距离氢能贸易量将达1亿吨/年。

图1-13：2030年全球可再生能源制氢的LCOH预测地图



资料来源：IEA，中航证券研究所

备注：LCOH的定义为每公斤氢气的生产成本，包括制氢项目运营过程中的资本支出和运营成本。

Levelised cost of hydrogen (USD/kg)



当然，制氢成本与最终用氢价格之间仍有较大差异。其中储运成本、财政补贴等因素影响可能更大，因此我们也关注储运技术和储运成本，这部分研究成果会在后续的报告呈现。

1. 氢能优势与氢源

2. 电解水制氢技术分析

3. 电解槽两大疑问

4. 重点公司

2.1 水电解制氢技术发展史

图2-1: 海外与国内电解槽技术发展史

1789	1820	1888	1900	1924	1925	1927	1939	1948	1962	1988	1996	2001	2017	2020	2023
荷兰化学家Troostwijk与Deimann合作了最早的电解水制氢原理	法拉第首次发现电解水的原理(1834年才发表著作)	俄国拉奇诺夫取得第一台单极性电解槽的专利	施密特发明了第一台工业电解槽, 后来由瑞士欧瑞康公司推广。	Noeggenrath获得了第一台压力电解槽的专利, 压力可达100 bar	美国工程师雷尼发现雷尼镍, 用镍和金属硅以1:1混合、用氢氧化钠浸泡反应后形成多孔结构催化剂。	挪威Norsk Hydro(NEL前身)制造的世界第一台大型压滤式电解槽在挪威诺托登安装, 产氢量10000m ³ /h、用于化肥生产试验。	世界第一台大型箱式电解槽在加拿大安装, 产量规模为17000m ³ /h;	Zdansky推出第一台高压工业电解槽, 压力提高到30kg/m ³ , 由Lurgi公司制造。	杜邦公司改良了质子膜, 于80年代推出民用PEM氢气发生器。	挪威NEL在全球最早推出非石棉隔膜电解槽	美国Proton On Site公司为航空航天和海军开发PEM电解槽, 成为全球PEM电解槽行业的龙头。	挪威NEL的第一个加压电解槽推出市场。	挪威NEL收购Proton On Site, 获取领先的PEM电解技术。 美国康明斯收购加拿大水吉能Hydrogenics	法国GTT集团收购德国Areva H2 Gen公司(Elogen)。美国Plug Power公司收购GINER ELX, 获得PEM电解水技术。 西门子能源从西门子拆分上市。	7月7日蒂森克虏伯氢能业务板块新纪元公司在法兰克福证交所上市, IPO总额约5.26亿欧元。

国内电解槽产业起步较晚, 尤其是PEM电解槽国产替代进度较慢, AWE电解槽已实现国产化

20世纪50年代初	1976-1978	20世纪80年代	1988	1992	1994	1996	20世纪90年代	2002	2007	21世纪10年代中后期	2017	2019	2021	2024
基于从前苏联引进的技术, 哈尔滨联合机械厂推出常压电解槽。	许俊明课题组开发出中压电解槽, 并应用于核潜艇等场景。	国内冶金和电子行业从德国、美国等地采购电解水装备。	济南市化青蓝教授开始研究PEM电解水技术, 但始终未能形成盈利。	以副总工程师许俊明为首的中船718所18位工程师南下, 在当地政府支持下创立苏州苏氢(后改名为苏州竞立)。	部分南下的原中船718所工程返回天津成立天津市大陆制氢设备有限公司。至此形成中船718所、苏州苏氢、天津大陆在加压AWE电解槽行业三足鼎立的格局。	国内与美国Teledyne公司合作研制出一款规格为130Nm ³ /h的大型电解槽HP130。	第一批苏联引进的常压电解槽企业基本上已经退出市场, 进口设备也基本上被国产设备所替代。	四川新光硅业(2014年破产)筹建的国内第一条民用工业多晶硅生产线, 采用了国产电解槽设备。自此, 国内的多晶硅行业基本全部采用国产电解槽设备。	医药器械公司赛克赛斯开发并研制了四代PEM电解水技术, 产品获得欧洲CE认证, 并出口美国、英国、韩国、日本等20多个国家。	国内开始研究和布局离网绿电制绿氢技术和场景。	国内成功研制出规格为1000Nm ³ /h的电解槽。	考克利尔在中国设立了合资公司, 同时建立了其在第一个制氢设备工厂。	中石化资本与Cummins合资成立康明斯恩泽, 将Cummins领先的PEM制氢技术进行本地化生产。	3月26日亿纬氢能发布全球首台100 KW AEM电解槽。 4月无锡德林海发布22MPa级1Nm ³ /h AEM电解槽。

2.1 电解水制氢：四种技术路线对比—AWE和PEM的技术成熟度较高，设备成本是商业化差异的主要根源

经过200多年的发展，全球电解水制氢的技术路线已经发展出AWE(ALK)、PEM、SOEC、AEM四大技术路线。其中AWE商业化程度非常高、PEM其次，而SOEC、AEM尚处研发和示范阶段。国内电解水技术后起直追，经历引进到自主创新、再到全面国产化降本历程，有望引领全球。

- AWE碱性电解水技术已发展数十年、最早工业化，其优点可使用非贵金属催化剂、成本较低，且国产化程度高，但在快速启停和低电压启动等方面表现不佳、不适合风光等间歇性电能直驱运行。国内AWE技术目前单体设备制氢能力强于海外同行，但其他指标仍有一定差距。
- PEM质子交换膜电解水技术具有电流密度大、氢气纯度高、响应速度快、转换效率高等优点，但需要在强酸性和高氧化性的工作环境下运行，因此更依赖铂、铱、钌等贵金属催化剂、成本过高。海外PEM技术的领先优势较明显，国产设备从性能指标到原材料“卡脖子”两方面都处于劣势地位。未来降低主要材料成本与贵金属用量、提升国产化比例是PEM规模化、商业化发展的关键。
- AEM阴离子交换膜电解水为前沿技术，能结合AWE低成本与PEM简单、高效的双重优势，可使用非贵金属催化剂、无钛部件，对双极板等零部件要求不高，可实现快速启停，降本空间较大。但目前AEM膜存在化学、机械稳定性的问题，影响寿命曲线。
- SOEC固体氧化物电解水技术在高温下制氢效率高，可使用镍等低成本催化剂材料，但运行温度高需要高温热源、启停不便、性能衰减较快，耐久性为SOEC目前的首要问题。如果利用工业生产中高品质的余热，SOEC的系统效率有望达到85%。

未来全球电解水制氢的快速降本，将依赖中国设备厂家和材料供应商的努力，否则商业化、燃料电池汽车的普及等将遥遥无期。

图2-2：不同技术路线电解槽工作原理图

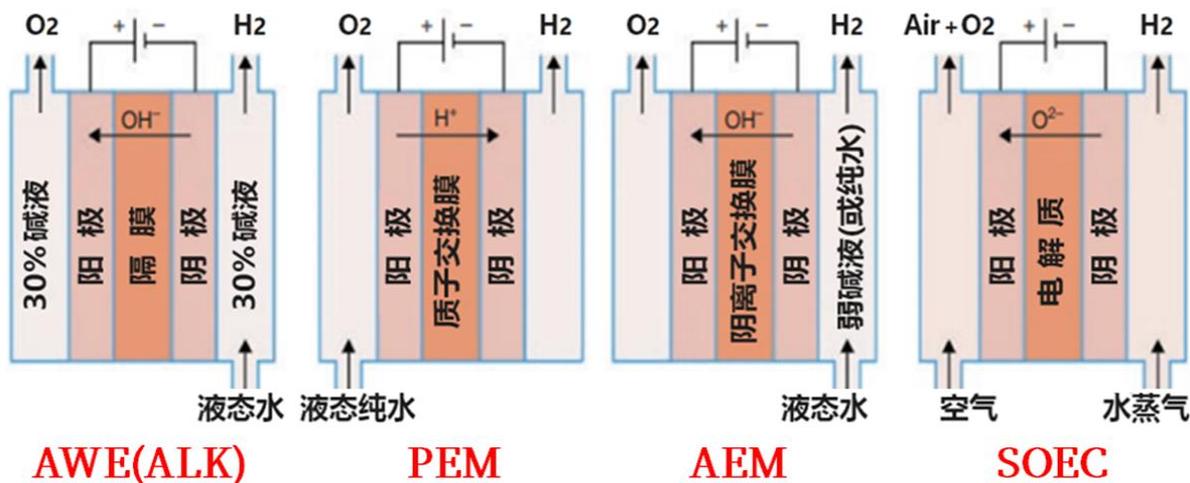


表2-1：2023年国内外4种制氢电解槽路径前沿技术指标

技术类型	AWE(ALK)		PEM		AEM	SOEC
	国内	国际	国内	国际	国内外	国内外
性能指标						
单槽制氢量 (Nm ³ /h)	3000	1000	250	600	5	50
额定制氢电耗 (KWh/Nm ³)	3.8	3.8	4.5	4.5	4.8	3.5
电流密度 (A/m ² @1.8V)	3300	4200	15000	20000	4000	--
负荷调节范围	25%-110%	10%-100%	10%-120%	5%-125%	--	--
催化剂铱载量 (mg/cm ²)	--	--	1	0.3	--	--

2.1 电解水制氢：四种技术路线对比—AWE和PEM的技术成熟度较高，设备成本是商业化差异的主要根源

表2-2：电解水制氢的四种主要工艺路线比较

	AWE	PEM	AEM	SOEC
电解质/隔膜材料	30%KOH碱液, 聚苯硫醚(PPS)/复合膜	纯水/海水(液体), 全氟磺酸酯膜(固体)	水或低浓度碱液、阴离子交换膜	水、固体氧化物膜
催化剂体系	Ni基	Pt/C、Pd(阴极), IrO ₂ 、Ru、TiO ₂ (阳极)	Ni合金、Pt基等	钙钛矿型Ni/YSZ, BSCF
扩散层	镍网	镀铂Pt多孔钛(阳极)、碳纸(阴极)	泡沫镍(阳极)、碳布(阴极)	镍网、泡沫镍
双极板	镀镍Ni不锈钢	镀铂Pt钛	镀镍Ni不锈钢	镀钴Co不锈钢
电流密度(A*cm ²)	<0.8	1~5	0.2~2	0.2~0.5
直流能耗(KWh/Nm ³)	4.2~5.5	4.3~6.0	4.5~5.5	3.0~4.0
工作温度	70~90°C	50~80°C	40~65°C	600~1000°C
产氢纯度	>99.8%	99.99%	99.99%	99.99%
相对设备体积	1	~1/3	/	/
系统效率(LHV)	50~70%	52~70%	52~67%	74~85%
工作压力	0.1~3MPa	3~8MPa	/	0.1MPa
负荷弹性	15~110%	0~160%	5~100%	20~120%
冷启动时间	<60min	<20min	<20min	>600min
使用寿命	>6万小时	5~8万小时	>0.5万小时	<2万小时
操作特征	需控制压差, 原料气需脱碱	快速启停, 仅水蒸气	快速启停, 仅水蒸气	启停不便, 仅水蒸气
可维护性	强碱腐蚀强	无腐蚀性介质	无腐蚀性介质	/
环保性	碱液, 排放前需环保处理	无污染	无污染	/
技术成熟度	历史最长, 低成本、技术成熟, 可完全商业化, 处于加速期	商业化初期, 投产项目规模不大	研发和示范阶段, 个别公司尝试商业化	研发和示范阶段, 个别公司尝试商业化
海外主机厂家	德国蒂森克虏伯, 法国McpHy, 美国Teledyne, 美国康明斯(收购水吉能), 挪威NEL(自研), 挪威Hydrogen Pro	德国西门子, 美国康明斯(收购水吉能), 挪威NEL(收购Proton), 英国ITM Power	德国Enapter等	丹麦Topsoe, 德国Sunfire, 美国Bloom Energy, 日本电装, 英国Ceres Power
国内主机厂家	派瑞氢能、考克利尔竞立、石化机械、阳光氢能、隆基氢能、三一氢能、华电重工、凯豪达、中电丰业	派瑞氢能、石化机械、阳光氢能、赛克赛斯、长春绿动、中电丰业、大连物化所、卡沃罗、国富氢能、淳华氢能、融科氢能等	亿纬氢能、上海翌晶氢能、未来氢能、中电绿波、稳石氢能、无锡德林海、清能股份等	派瑞氢能、上海氢程(应物所)、北京质子动力、北京思伟特、武汉华科福赛、浙江氢邦科技等

资料来源：势银，艾邦氢能技术网，北极星氢能网，氢能与燃料电池，碳索氢能，高工氢能，各公司官网，中国石化，中国科学技术大学，中航证券研究所

2.2 电解槽国际专利分布：日欧美总量/AWE/PEM专利数领先，中国AWE电解槽产能布局领先

欧盟(尤其德国、法国、荷兰)在电解槽专利申请数量方面表现突出，并积极布局电解槽产能，特别是在AEM和SOEC的电解槽产能布局上领先(但行业总规模较小)。美国热衷于扩大PEM和SOEC电解槽产能，但在专利申请数量方面表现较弱于欧盟和日本。中国在专利申请数量方面表现较弱，但积极扩充电解槽产能、尤其是AWE电解槽产能。日本在专利申请数量上居首，但缺少电解槽制造能力，专利持有占优的企业似乎并未承担应有的社会责任。

欧、日头部企业的电解槽专利申请数量合计占全球比例21.7%。日本旭化成、松下、东芝、住友、旭硝子等多家企业保持了专利申请数量领先和多行业布局优势，其中旭化成在专利申请总数、及AWE和PEM专利数方面均居全球首位。除了意大利的迪诺拉侧重AWE技术外，丹麦托普索、德国西门子与博世等欧洲著名企业更注重PEM和SOEC技术。

图2-3: 2011~2020年和未来至2025年的全球电解槽规划产能分布情况

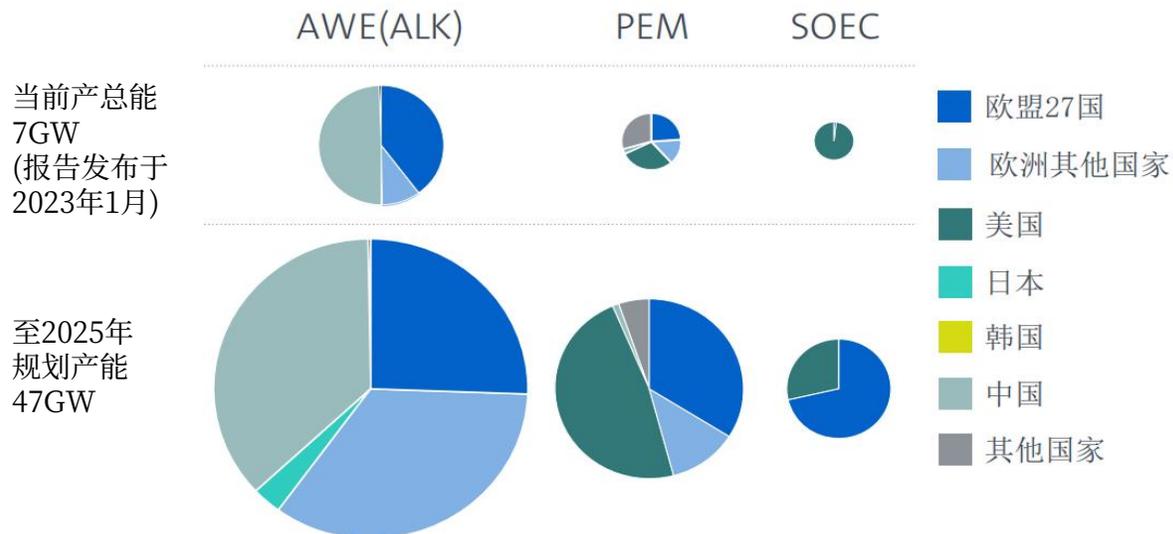


图2-4: 全球电解槽专利占比情况(2011~2020)

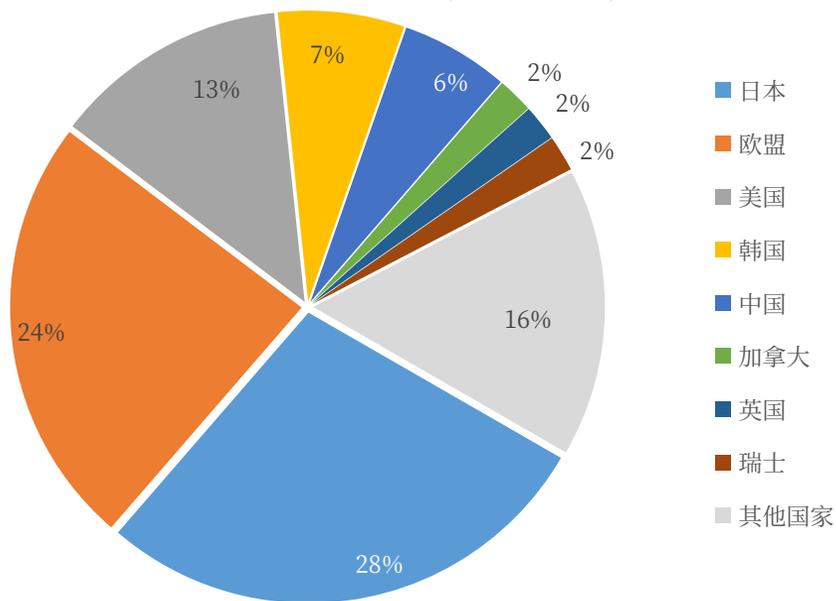


表2-3: 全球Top9电解槽专利申请数量企业，其中日本和欧洲的企业较多(2011~2020)

企业	国家	AWE		PEM		SOEC		AEM		合计	
		专利数	占比	专利数	占比	专利数	占比	专利数	占比	专利数	占比
旭化成	日本	21	9.3%	17	4.0%	0	0.0%	0	0.0%	38	3.7%
松下	日本	4	1.8%	14	3.3%	15	4.6%	0	0.0%	33	3.2%
迪诺拉	意大利	20	8.9%	8	1.9%	0	0.0%	1	2.0%	29	2.8%
东芝	日本	7	3.1%	8	1.9%	10	3.0%	2	3.9%	27	2.6%
西门子	德国	3	1.3%	13	3.1%	8	2.4%	1	2.0%	25	2.4%
托普索	丹麦	0	0.0%	1	0.2%	19	5.8%	0	0.0%	20	1.9%
住友	日本	1	0.4%	3	0.7%	13	4.0%	0	0.0%	17	1.7%
博世	德国	0	0.0%	12	2.8%	3	0.9%	0	0.0%	15	1.5%
旭硝子	日本	6	2.7%	13	3.1%	0	0.0%	0	0.0%	19	1.8%
主要企业合计		62	27.6%	89	20.9%	68	20.7%	4	7.8%	223	21.7%
全球专利合计		225	100%	425	100%	329	100%	51	100%	1030	100%

2.3 AWE制氢：技术非常成熟、成本较低，但目前无法适应波动性电源、大标方设备正在全面验证

碱性电解水技术(AWE/ALK)，以30%(质量比)KOH(目前主流)或26%NaOH的水溶液为电解质，用隔膜(PPS膜或复合膜)将阴阳两极分离开，对两个金属(合金)电极通直流电、水分子分解生成氢气和氧气。在直流电作用下，在阴极，水分子被分解为氢离子H⁺和氢氧根离子OH⁻，其中H⁺得到电子生成氢原子、并进一步生成氢分子H₂；OH⁻则在电场作用下穿过多孔隔膜到达阳极、进而失去电子生成水分子H₂O和氧分子O₂。相应的阴极和阳极化学反应如下：



经百年的发展，AWE技术的主要优势在于技术成熟和成本较低，且超大规格产品陆续发布、更适用于大规模、连续制氢。但AWE技术在能耗、产气纯度和安全等方面存在不足。电阻高和电流密度低易导致生产效率偏低、隔膜孔径大易产生气体杂质、启停慢需要预热、不适应负荷波动较大的可再生能源、体积和重量较大难以小型化、碱液有腐蚀性且无害化处理提高成本等问题影响了其快速推广。

AWE电解槽的结构由两端板和多组长螺杆-螺母结构将数十甚至上百个电解小室串联紧固而成，每个电解槽小室结构主要为“极板-密封垫片-电极-隔膜-电极-密封垫片-极板”。AWE电解槽在设计上存在以下不足：1) **隔膜孔径较大，影响电解效率和气体纯度。**为减少对离子传输的阻碍、允许电解液更容易穿过隔膜并降低电解液电阻，满足较高的电流密度和流量操作要求。缺点是容易无法避免氢气和氧气的扩散，扩散后的氧气易在阴极被还原生成水、降低电解效率，同时还容易出现氢中氧和氧中氢的爆炸隐患。2) **无法快速启停响应。**因为必须时刻保持电解池的阳极和阴极两侧上的压力均衡，防止氢气、氧气穿过多孔隔膜混合，进而引起爆炸。3) **碱性电解槽工作温度为70~90℃，而槽温提升需要时间。**如果间歇式运行导致电解槽温度长期低于工作温度，会影响电解效率、提高能耗。因而AWE电解槽对于具有间歇性、波动性特点的可再生能源适应性较差。

图2-5: AWE电解水原理图

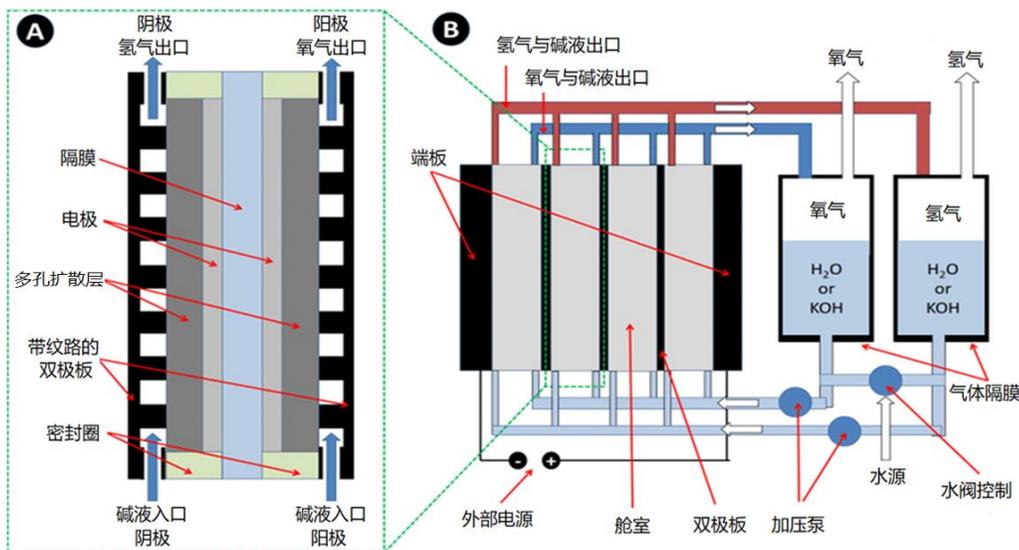
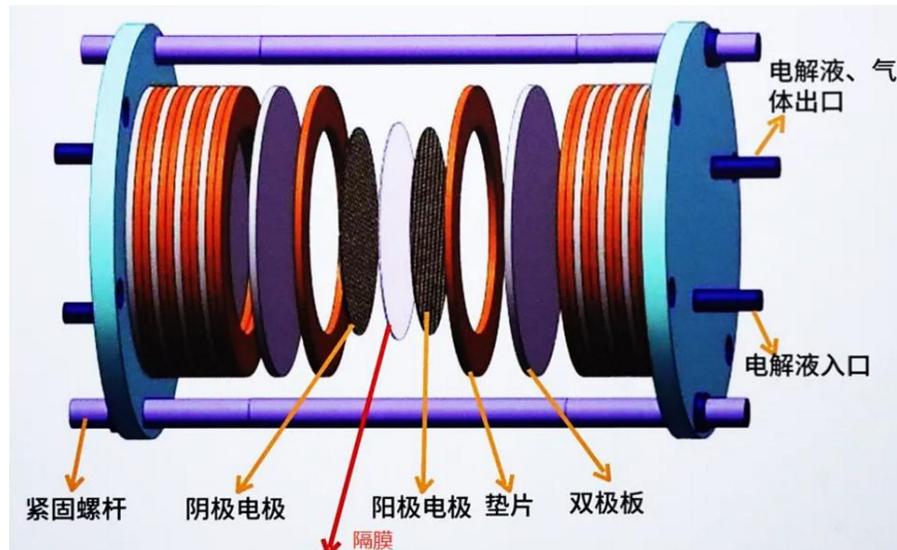


图2-6: AWE电解槽结构图



2.3 AWE制氢：国内AWE技术渊源深厚，产业链已实现国产化并具备成本优势

国内较早引进了碱性电解水技术，并不断改进和演化：

- 1) 20世纪50~70年代国内AWE电解槽单槽产氢量较低、能耗较高，使用的隔膜和电极分别以石棉隔膜、镍网电解为主。
- 2) 70~90年代国内AWE单槽产氢量突破200Nm³/h，以拉杆式圆柱形结构为主，取得PPS隔膜、优化密封垫片，直流电耗降到4.8KWh/Nm³等成果。
- 3) 21世纪至今AWE主流单槽产氢量达1000Nm³/h，并取得2000、3000Nm³/h单槽产量的突破，电耗降低至4.2KW/h，寿命长达20年。

从技术演进历程和竞争格局方面看，国内AWE技术的源头主要为中船718所，与苏州苏氢、天津大陆并称“老三家”，由这三家开启技术演化和传播，也由此诞生了中电丰业、扬州中电、隆基氢能、凯豪达等排名靠前的玩家。

隔膜、电极与催化剂是最关键的材料和零部件，国产化进度相对是最慢的，一旦全面突破后将大大加速国产电解槽出海抢占全球份额。目前其他赛道如化工催化剂、电镀、冶金电极、纺织等领域的企业跨界较多，而电解槽企业主动向上游发力亦不罕见，都将推进关键材料与核心零部件的国产化。

结构与流道设计、电性能、结构件加工成本等因素亦会成为未来电解槽企业构筑竞争力的重要方面，需要研发团队经历长期的时间积累。由于国产产业链和人才体系不断完善，助力不少其他领域的装备企业得以快速切入AWE电解水领域。因此如今风电、光伏、石化等企业跨界布局电解槽产业，AWE电解槽产能和厂家数量快速增长，电解槽行业格局快速变化。

另外，也需要多关注终端用户或气体运营商向上游延伸的企业，能够得到大客户(同时也是大股东)的示范项目支持、得以迅速迭代产品，如石化机械、华电重工、中集安瑞科等。

国内AWE电解槽企业在大标方、高电密、低功耗等方面的研发已经全面领先于欧美日，在未来国内各示范项目陆续落地、工程经验不断积累和关键材料国产化推进的背景下，未来国产装备在该领域的领先优势将更加明显。未来装备全面出海、寻求欧洲大企业的OEM合作可能会加速。不重视供应链中国化的欧美企业也将逐步失去竞争力。

图2-7：国内碱性电解槽技术传播路径

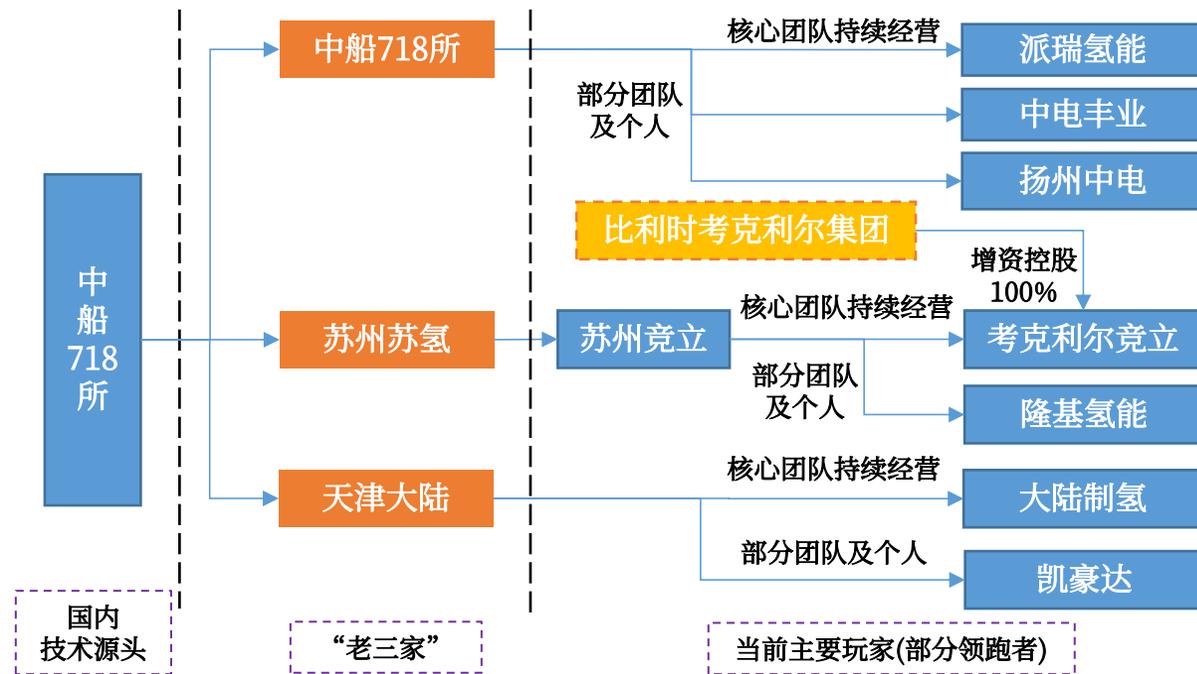


表2-4：国内电解槽出货量排名

排名	2021	2022	2023
1	考克利尔竞立	考克利尔竞立	派瑞氢能
2	派瑞氢能	派瑞氢能	隆基氢能
3	赛克赛斯	隆基氢能	考克利尔竞立
4	中电丰业	天津大陆	华电重工
5	天津大陆	中电丰业	航天思卓
6	凯豪达氢能	凯豪达氢能	天津大陆
7	淳华氢能	HydrogenPro	中集集电
8	/	华易氢元科技	双良新能源
9	/	赛克赛斯	中电丰业
10	/	国富氢能	长春绿动

2.3 AWE制氢：此路线电解槽国产化较为顺利，隔膜、电极与催化剂最为关键

图2-8：AWE电解槽电堆的成本构成

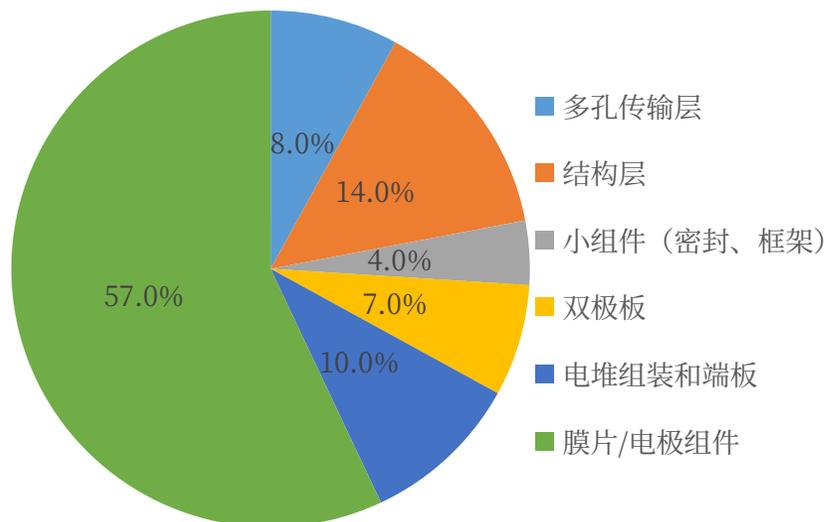
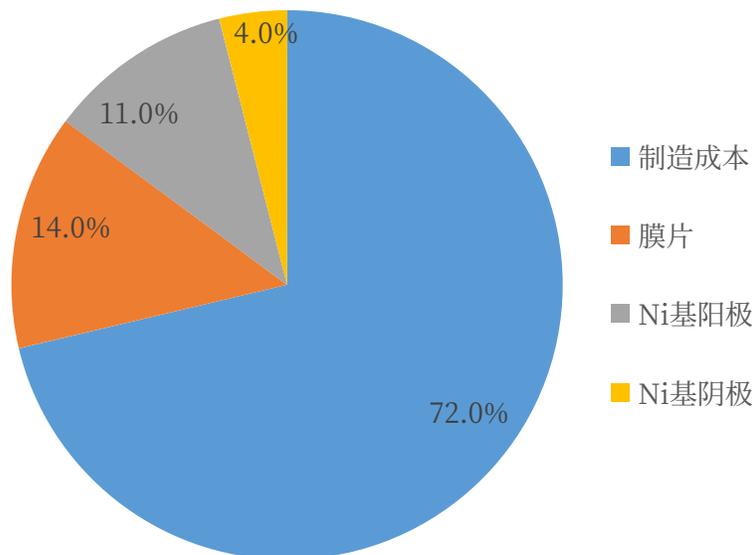


图2-9：AWE电解槽膜片/电极组件成本构成



AWE电解槽系统由电解电堆(主机)和辅机设备两部分构成。以1MW级别的AWE电解槽系统为例，辅机和电堆的成本占比均约为50%。

1) 辅机设备包括：电力系统/制氢电源，包括电源、变压器、整流器等，将交流电转化为稳定的直流电源，成本占比30%；气体分离与干燥纯化设备，将氢气、氧气、碱液分离并进行气体提纯，成本占比30%；其他设备，包括冷却干燥系统、补水系统、碱液系统等，发挥保证碱液、水的稳定供应，降温或冷却气体，监测气体纯度和系统运行等作用，成本占比约40%。

2) 电解电堆包括：膜片/电极组件，成本占比57%；多孔传输层，主要为泡沫镍板或镍丝网等材料与结构，成本占比8%；极板，也称双极板，成本占比7%，常用铸铁金属板、镍板或不锈钢金属板；结构层(极框)，与极板共同实现对电解小室的结构支撑，成本占比14%；电堆组装，成本占比10%，包含端板、及拉紧螺杆、铜排等零件；另外还有垫圈密封件、框架等小组件，成本占比4%。

其中，膜片/电极组件的制备工艺占其成本的72%，主要是在电极网上涂布催化层；而膜片/电极组件的隔膜、镍基阳极和镍基阴极，分别占成本比重14%、11%、4%。催化剂涂覆是关键工艺，目前主要为催化剂供应商掌握，通常为外协加工方式。

3) AWE电解小室(Electrolytic cell)的核心零部件包括极板、极框、隔膜和电极(片)：

极板的主要作用是传导电子，需要电解电流分布更均匀、并减少接触电阻和增加电流密度，以降低制氢能耗。目前电解槽主要采用双极压滤式结构，同一块极板在外加电场的作用下一面带正电、另一面带负电，分别作为阳极区和阴极区的极板。

极框位于极板外部，设置有气道孔和液道孔，主要作用包括引导碱液从外部进入小室，并分流阴极区电解液和阳极区电解液。

隔膜的主要作用是在允许电解液离子通过的同时防止氢气和氧气混合。第一代石棉隔膜已被淘汰；第二代隔膜包括PBI、PPS(聚苯硫醚)，其中国内以PPS隔膜为主流、正在推进国产化；第三代隔膜包括PPS+无机层涂覆的复合膜等，目前正在大量商业化验证；未来研发重点涵盖聚四氟乙烯树脂改性石棉隔膜、聚醚醚酮纤维隔膜、聚砜纤维隔膜等。

电极和催化剂层决定制氢效率。根据法拉第定律，在电极界面发生化学变化的物质的质量与通电电量成正比。增大电流密度的关键是提高某个单元电压下催化剂表面发生的电化学反应的速度，这取决于催化剂的两个特性，即催化位点的数量和催化位点的本征活性。电极结构形式主要为纯镍网、泡沫镍、镍毡等，通过热喷涂、离子喷涂、气体动力喷涂(冷喷涂)、滚涂煅烧法等工艺将催化剂附着在电极基材上，目前主流AWE均采用镍基催化剂、最常用热喷涂雷尼镍，催化剂活性越高通常成本越高，在特殊应用场景下也会增加含量极低的钌或铱等贵金属催化剂以提高催化效率。

2.3 AWE制氢：关键材料基本国产化，隔膜环节国产替代空间较大

AWE电解槽已基本实现国产化，但产业链部分环节进口依赖度仍较大。极板、密封垫片、制氢电源等环节已经完全实现国产化，但在具体市场格局上存在差异。密封垫片由国内2~3家企业占据大部分市场份额，主要企业包括氟达氢能、科赛新材等。极板主要采用委外加工的形式。

AWE电源是沟通电网与电解槽、将交流电转变为直流电的设备，成本占比较高，挑战在于面对不同能源场景、电网特性、电解槽规格各异的场景下，保证电氢耦合效率。阳光电源、国电南瑞等传统电源企业已有布局，2023年以来英特尔、雷动智创等制氢电源企业分别获得近亿元和千万元级别投资。

隔膜属于国产化程度较低的关键零部件。国内电机水装备企业主要使用的PPS隔膜由日本东丽占据主要市场份额。而新一代的复合隔膜还处于商业化验证阶段。2023年以来，国内的中科氢易、刻沃刻科技、碳能科技等复合隔膜企业，获取多轮千万级或单轮亿元级别投融资。

表2-5: AWE电解槽产业供应链现状和主要的供应链企业

关键零部件	供应链现状	供应链企业
电极	国产化率高，以传统镍基电极为主；部分企业正积极布局多元合金、贵金属等新型电极，暂未实现大规模商业化应用	保时来、莒纳科技、扬州玉峰、德清恒川、盈锐优创、力焱电极、图灵科创、辉瑞丝网等
隔膜	国产化率偏低，PPS隔膜市场日本东丽占据主要份额；复合隔膜市场，国产膜技术还需进一步商业化验证	PPS隔膜：东丽、天津凯瑞、天津津纶、德阳科吉、苏州纳磐等； 复合隔膜：爱克发、碳能科技、中科氢易、刻沃刻科技、元泰能材、蓝拓氢能等
极板	完全国产化，电解槽设备企业多委外加工	翌嘉(天津)金属、江苏氢骐科技、常州瓦思特能源、济南章力机械等
密封垫片	完全国产化，2~3家企业占据大部分市场份额	氟达氢能、科赛新材等
制氢电源	完全国产化，多为传统电源企业布局	阳光电源、国电南瑞、中车时代、英特尔、科瑞变流、天马电源等

资料来源：势银《氢能与燃料电池蓝皮书(2023)》，碳索氢能，高工氢电，中航证券研究所

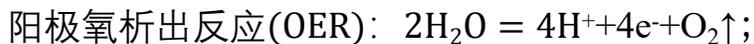
表2-6: 近两年AWE电解槽产业供应链的投融资情况

公司	主营业务	获投时间	获投轮次	获投金额	投资方
中科氢易	复合隔膜	2023.02	种子轮	千万级人民币	麟阁创投领投，夯邦资本、华源资本、中信逸百年跟投
		2023.07	天使轮	数千万人民币	国家电投、麟阁创投联合领投
		2023.11	Pre-A轮	数千万人民币	高榕资本领投，招银国际、雄韬股份、阳光照明、崖州湾创投跟投
刻沃刻科技	复合隔膜	2023.02	天使轮	千万级人民币	险峰长青
		2023.11	Pre-A轮	数千万人民币	线性资本领投，险峰长青跟投
大陆制氢	AWE电解槽	2023.06	/	1亿人民币	东方江峡产投、招银国际
英特尔	制氢电源	2023.07	A轮	近亿人民币	朝希资本领投，深高新投、小禾创投等参与投资
碳能科技	复合隔膜	2023.09	A2轮	1亿人民币	朱雀资产领投，联想之星、力鼎资本跟投
力焱电极	催化电极	2023.11	增资扩股	/	涌铎投资
莒纳科技	催化电极	2023.11	Pre-A轮	1亿人民币	长江创新领投
泰氢晨	AWE电解槽	2024.1	Pre-A轮	1.5亿元	高榕资本领投，博裕资本跟投
明阳氢能	AWE、PEM电解槽	2024.2	A轮	超亿元	高领创投领投
保时来	碱性电极	2024.2	股权融资		三一氢能
通微新能源	碱性隔膜	2024.3	Pre-A轮	数千万元	青松基金领投，明德投资、险峰长青跟投
国富氢能	AWE、PEM电解槽、储运	2024.3	IPO	/	公开发行
绿萌氢能	AWE电解槽	2024.3	天使轮	/	海鸥股份
毅镁科技	AWE电解槽	2024.5	A轮	千万元	知能资本
雷动智创	制氢电源	2024.6	A轮	千万元	保定高新创投、当看同创
隆基氢能	AWE电解槽	2024.6	A轮	数亿元	朱雀投资、厂发信德、青岛涌氢、隐山资本、陕西基金等

2.4 PEM制氢：技术日渐成熟，设备成本偏高、但更适用于波动电源，规模化降本能力需要验证

PEM电解水技术，将水分子电离为OH⁻和H⁺、通过质子交换膜(PEM膜)传输H⁺，生成氢气、氧气和可循环使用的水，不需要添加液体电解质，可以避免AWE使用强碱性液体电解质，实现洁净排放。由于PEM槽的阳极处于强酸性和高电压环境、阴极处处于强碱性环境，阳极的非贵金属容易被腐蚀、并容易与PEM膜中的磺酸根离子结合进而降低H⁺传导能力，因此更依赖难加工的钛合金和铂、钯、钌、铱等贵金属，导致成本过高。

与AWE的碱性环境电解水不同，PEM的阳极产生强酸环境、发生氧析出反应，同时在阴极发生氢析出反应的原理有所不同：



相比于AWE电解槽，PEM电解槽在设计和结构上有以下优势：1) PEM槽的隔膜比较薄，阳极/阴极/隔膜采用零间距结构，内阻较低；2) PEM以纯水为反应物、清洁排放，且质子交换膜隔离了氧气、因此氢气纯度较高，后端仅需脱离水蒸气、无需增加其他气体提纯/反应装置；3) 压力调控范围大，输出压力可高达数兆帕，提供高压氢气，减少压缩空气的功耗；4) 可适应快速变化的能源输入、尤其波动性的风光绿电，具备宽负荷工作能力；5) 可在较高电流密度(>2000mA/cm³)工作，利于降低成本。

PEM电解槽的不足同样明显：1) 当价格过高，按照相同功率或产氢量的采购成本达到AWE槽的近3倍，源于行业规模小、采用贵金属、单体功率和产氢量规格小等原因；2) PEM槽若适应绿电的波动性，则全天平均功率仅约30~50%、产能利用率较低，若采用储能电池则投资额度会明显增加，若引入网电则没有利用好PEM技术优势；3) 全氟磺酸酯膜的国产化进度慢于AWE的PPS膜国产化进度；4) 减贵金属研究尚不充分。

图2-10: PEM电解水原理

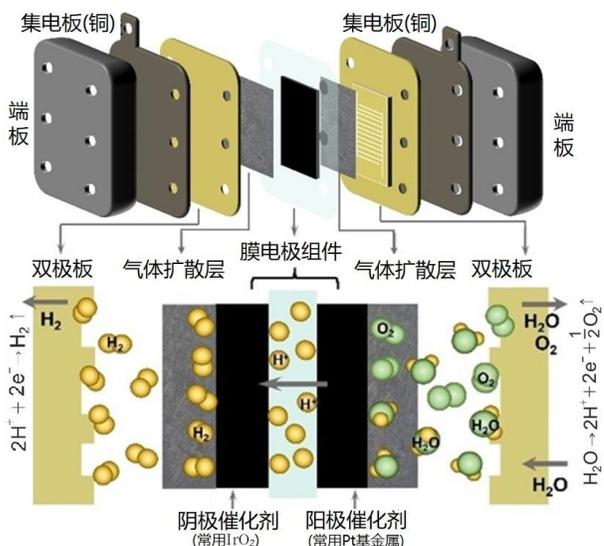


图2-11: PEM电解槽结构

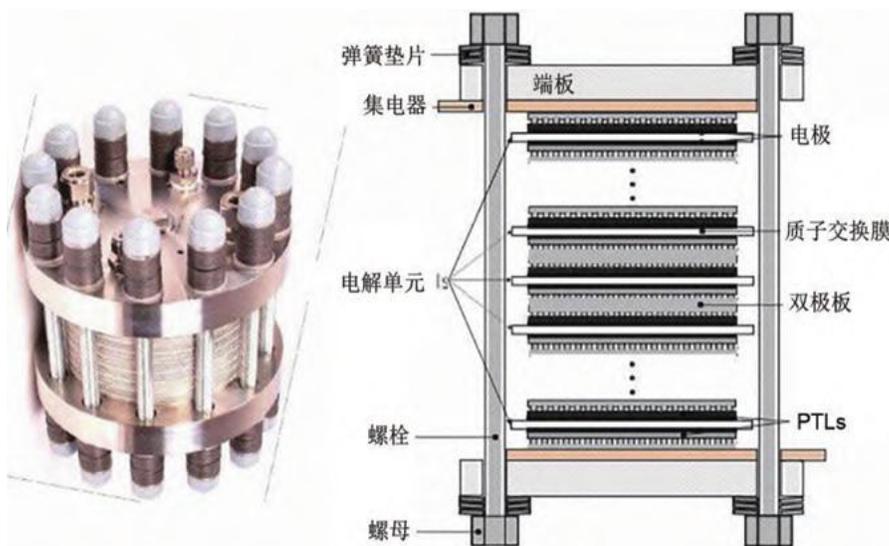
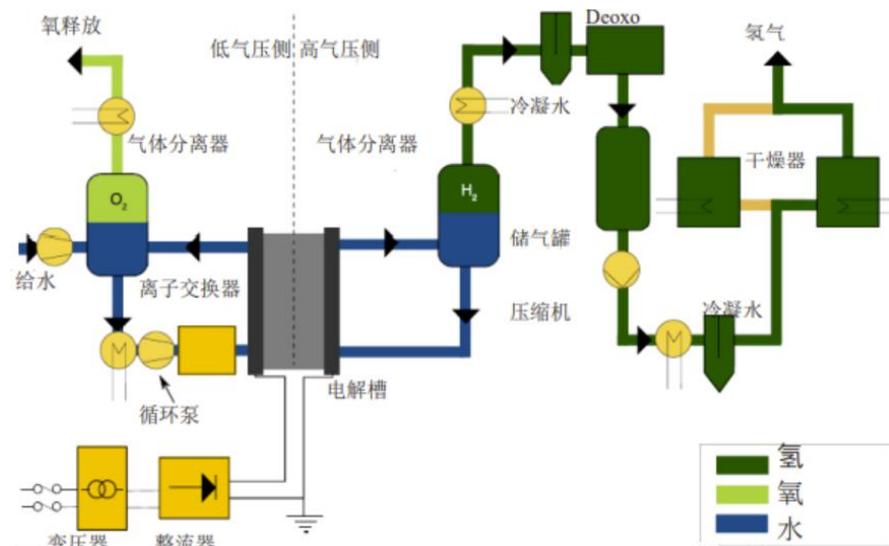


图2-12: PEM电解槽系统结构原理



2.4 PEM制氢：此路线电解槽构成中全氟磺酸酯质子交换膜、催化剂与膜电极最为关键

PEM电解槽系统也由电解电堆(主机)和辅机设备两大部分构成。以1MW级别的PEM电解槽系统为例,电堆和辅机成本占比分别为60%和40%。

1) PEM电解槽系统的辅机设备与AWE槽系统相似、甚至部分可以通用,电源、即电力系统,成本占比50%;去离子水循环系统,包括氧气分离器、循环泵等,为电解槽提供达标的去离子水,成本占比22%;氢气处理设备,即氢气纯化设备等,对生产的氢气进行干燥和纯化,成本占比20%;冷却系统,包括换热器、冷凝泵、冷凝器等,负责电解槽热管理,成本占比8%。

2) PEM电解槽电堆成本构成为:双极板53%、膜电极24%、气体扩散层/多孔传输层(钛毡、碳毡)17%、电堆组装和端板3%、小组件(密封件、框架等)3%。

其中,膜电极(MEA)由阴极和阳极催化剂直接喷涂在质子交换膜上构成,其制造成本大约站42%,其构成中质子交换膜29%、铱Ir基催化剂21%、铂Pt基催化剂8%。与AWE相似,PEM槽的催化剂涂覆也是关键工艺,但Pt和Ir等贵金属催化剂用量高、总成本占比明显更高。

3) PEM电解小室的结构为“双极板/阴极扩散层/阴极催化剂/质子交换膜/阳极催化剂/阳极扩散层/双极板”,核心材料包括质子交换膜、阳极/阴极的催化剂+扩散层、双极板:

双极板作为电解小室的支撑结构;气体扩散层的作用是确保气体/水传输和电荷传输;催化剂的配比与电流、电压、温度的适配调节控制制氢速度和效率;质子交换膜(PEM)用于传导质子(正电荷)、隔离氢气和氧气、为催化剂层提供结构支撑,对于电解槽的性能起到重要作用。

PEM电解水过程会构建强酸+强碱环境,因此上述材料均需要具备耐腐蚀性能。同时阳极处于高电位,双极板和阳极扩散层通常以耐腐蚀性最强的工业金属钛基材料为主、甚至需要在双极板表面制防腐涂层;气体扩散层由基底层和微孔层两部分组成,其孔径和孔结构会影响性能,阳极扩散层为防腐还涂覆Ir或Pt贵金属涂层,而阴极扩散层以碳毡为主;催化剂只有少数贵金属基电催化剂(Pt和IrO₂)能够在PEM槽的工况环境下表现出合理的催化活性和稳定性,铂基金属作为阳极催化剂参与析氧反应、IrO₂材料作为阴极催化剂参与析氢反应;PEM膜工作时需要持续承受高压(>3MPa)、低负荷运行和频繁启停的运行环境,对材料机械性能要求极高,目前主流采用全氟磺酸酯材质。

未来技术方向均在追求高性能与低成本的匹配。双极板需要开发新型材料和表面处理工艺,以降低表面涂层贵金属的用量或进行替代;双极板和扩散层的结构都需要结合电解槽工艺特点进行定制优化开发;催化剂领域力求减少Ir和Pt贵金属的用量、甚至寻找非贵金属基催化剂替代物,在极端的年份贵金属回收产业亦会体现投资价值;PEM膜可以通过降低膜厚度、提高离子传导率以降低膜阻与电解能耗两方面降本。

图2-13: PEM电解槽电堆系统的成本构成

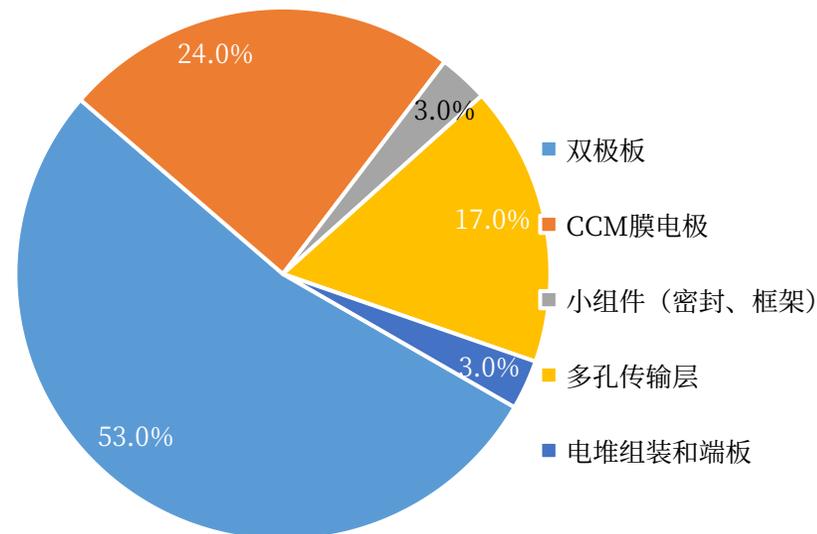
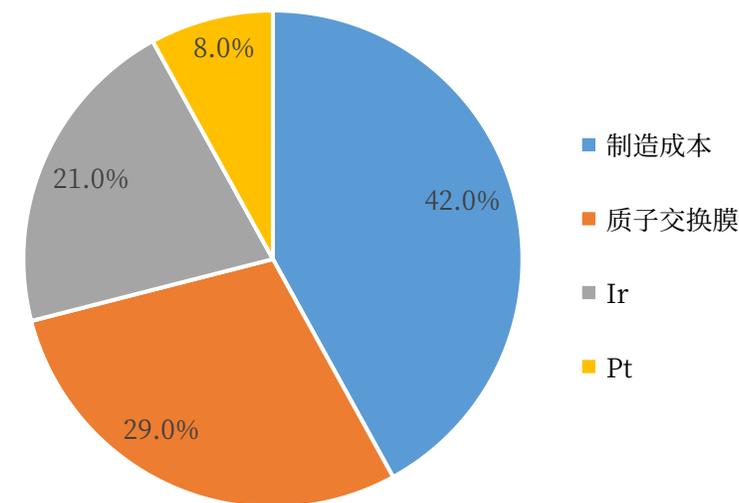


图2-14: PEM电解槽CCM膜电极成本构成



2.4 PEM制氢：此路线电解槽国内与国外的差距正在缩小，核心材料的进口依赖度仍较高

目前PEM电解槽主要有四类玩家：一是建立初期就定位为PEM电解水的独立企业，这类企业若错过快速发展期后，将面临被并购或被淘汰的局面；二是燃料电池企业转型，原主业订单不足和融资有余力都是驱动力，但客户与销售渠道差异大；三是AWE槽企业或其他领域装备厂家业务扩张，作为技术储备而发展PEM槽技术，若新旧业务的客户重叠度高则可能快速发展，未来可能成为主流；四是氢气终端用户或气体运营商向上游拓展业务，自主发展和并购均为选项。后两股势力未来影响不容小觑。国产装备全面崛起后将对供应链带来积极影响。

国内外PEM电解槽在前沿技术指标上的差距在缩小，除了国内在催化剂铱载量上领先外，国内PEM电解槽的单槽制氢量、电流密度、负荷调节范围等海外更先进的领域将被陆续反超。随着PEM电解槽向大标方、高电密、低成本等方向发展，对核心部件PEM膜、催化剂、气体扩散层、双极板等提出新的要求，国产供应链迎来弯道超车的机会。而国内核心部件在技术和制造能力上存在差距较大，PEM产业链的进口依赖度明显高于AWE，因此PEM产业链的新技术研发得到重视，各环节均有望规模国产。

- 1) PEM膜依赖进口，国内外技术差距较大。2021年国内市场国外/内资企业的PEM膜市占率分别79%和21%。其中市占率最高的产品有科慕公司(原美国杜邦)Nafion膜市占率达76%，具备电阻小、化学稳定性强、机械强度高特点；陶氏XUS-B204膜、日本的旭硝子Flemion膜、旭化成Aciplex-S膜的性能均较接近Nafion膜，但缺少大量工程化实践，在国内市场开拓进度较慢、销量较少；而国产头部企业东岳集团(子公司东岳未来氢能)的市占率达约15%。
- 2) PEM槽的贵金属基电催化剂主要使用的Pt和Ir等贵金属，在国内的储量较少，需从南美、南非、俄罗斯等地区进口。且国内PEM催化剂在工艺、产能上还有差距，其中英国庄信万丰Johnson Matthey、日本田中贵金属TKK、比利时优美科Umicore等三家企业占据国内九成市场份额。国内中科科创、龙蟠科技、凯大催化、贵研铂业、中自科技、济平新能源等企业研制的催化剂产品均已进入批量测试或应用阶段，另外中石化与中石油下属的催化剂公司值得关注。
- 3) PEM槽的气体扩散层的进口依赖度较高。阴极扩散层材料碳纸基本由日本东丽Toray、德国西格里SGL和德国科德宝Freudenberg供应，而阳极的水浸与强酸环境要求使用钛合金材料。目前国内可以生产钛基扩散层的企业较少，仅在民用PEM槽领域取得应用突破，但工业级PEM槽的扩散层产品仍以进口品牌为主。国内动量守恒、玖昱科技、西安菲尔特等企业可提供钛纤维毡产品，而浙江菲尔特、铂瑞电极、亿海鑫等企业可提供带镀层的气体扩散产品。
- 4) PEM槽的双极板基本都为定制化产品，难点在于提升加工精度和降低成本。国内目前能设计并制造PEM槽双极板的企业相对较少。雄韬股份采用等离子体表面扩散合金化方法用铌代替贵金属镀层；上海治臻采用冲压工艺制备双极板；浙江菲尔特采用自创蚀刻工艺生产双极板，并完全实现国产化和批量生产。
- 5) PEM膜电极常用涂覆工艺，但预计未来会有电化学沉积等更多制备方法来改善质子传导率、贵金属利用率和电化学性能。国内已有鸿基创能、中科科创、苏州擎动、莒纳科技、大连物化所、武理工氢电、枞水、唐锋、氢辉等企业和科研机构布局，派瑞、阳光、赛克赛斯、长春绿动、淳华、清能等主机厂亦有布局。
- 6) 膜电极的降本主要在原材料的改性和国产化降本、自研独特的涂覆工艺两方面，因此PEM膜、电极、催化剂公司纷纷储备膜电极技术，电解槽公司也积极向上游渗透、以降低成本，独立第三方膜电极厂家的生存空间被挤压、被迫往上下游发展方向。

近几年国内PEM电解槽产业链的投融资热度较高，在膜电极、质子交换膜、气体扩散层、PEM电解槽等环节均有多家公司获取千万级及以上的投资。其中，质子交换膜和膜电极环节获得投资较多。

- 1) 质子交换膜：东岳未来氢能和科润新材料都开发出电解水制氢用产品。东岳未来已开启小批量商用，并规划建设50万平方米/年产线。科润新材料已经拥有成熟的工业制氢用质子交换膜产品，并建有年产能达20万平米/年的液流电池与制氢用质子交换膜混合产线。
- 2) 催化剂：国内企业济平新能源的PEM催化剂产能达1000Kg；中科科创与国内多家PEM设备商达成合作和产品交付；凯大催化、龙蟠科技研制的PEM催化剂产品均已进入批量测试或应用阶段；科学家型企业贵研铂业亦值得关注。
- 3) 气体扩散层：动量守恒、玖昱科技、西安菲尔特等国内企业可提供钛纤维毡产品的企业，其中西安菲尔特已与多家头部PEM设备商展开合作和产品测试；浙江菲尔特、铂瑞电极、亿海鑫等国产企业可提供带镀层的气体扩散产品，其中浙江菲尔特已建有500平方米/月产能的产线，未来将扩张至1万平方米/月。
- 4) 双极板：上海治臻采用冲压工艺制备双极板，并在苏州拥有燃料电池和电解水制氢用的双极板混合产线，年产能达到350片/年；金泉益具备7万片/年的PEM电解槽双极板产能；雄韬股份采用等离子体表面扩散合金化方法用铌代替贵金属镀层。

2.4 PEM制氢：此路线电解槽国内与国外的差距正在缩小，核心材料的进口依赖度仍较高

表2-7：PEM电解槽核心部件的国内外企业

环节	国外企业	国内企业
PEM电解槽	ITM Power, NEL(收购Proton), 西门子能源, 康明斯(收购水吉能), Plug Power, Elogen, 日立造船等	派瑞氢能、石化机械、阳光氢能、赛克赛斯、长春绿动、中电丰业、国富氢能、卡沃罗、淳华氢能、大连物化所、融科氢能等
质子交换膜	科慕Chemours(原杜邦)、旭硝子、旭化成、陶氏、索尔维 Solvay、艾杰旭AGC、富马 Fumatech	东岳集团(东岳未来氢能)、科润新材料、巨化股份、武汉绿动、国润储能、通用氢能、汉丞科技
催化剂	庄信万丰Johnson Matthey、田中贵金属TKK、优美科Umicore、贺利氏Heraeus、巴斯夫BSF	中科科创、龙蟠科技、凯大催化、贵研铂业、中自科技、济平新能源、中石化催化剂公司、合肥动量守恒、中石大新能源、擎动科技、武汉理工氢电、枞水新能源、氢电中科、青岛创启信德新能源
气体扩散层	贝卡尔特Bekaert、梅利夫MeliCon、吉凯恩GKN Sinter Metals	合肥动量守恒、玖昱科技、浙江菲尔特、西安菲尔特、惠同新材、通用氢能(碳基)、中钛国创、安泰环境、金通科技
双极板	● 双极板：德纳DANA、格雷伯Grabener、法因图尔Feintool；与涂层 ● 涂层：纳锋科技Nanofilm、毅湃Impact Coatings	● 双极板：雄韬股份、上海治臻、浙江菲尔特、金泉益、西安泰金、博远新能源、三佳机械、中钛国创、安泰环境 ● 涂层：常州翊迈、北京实力源、上海福宜、中科迈格、汇成真空
膜电极	巴拉德Ballard、西门子、Bloom Energy、庄信万丰Johnson Matthey、迪诺拉De Nora、戈尔Gore、3M、Kolon	● 专业化：鸿基创能、苏州擎动、大连化物所、武汉理工氢电、枞水新能源、氢辉能源、亿氢科技、中科科创、唐锋能源 ● 主机厂：派瑞氢能、阳光氢能、赛克赛斯、绿动、淳华氢能、清能股份

表2-8：PEM电解槽核心部件重点国产企业的进展

环节	国内企业	产能建设等具体进展
质子交换膜	东岳未来 科润新材料	电解水制氢用质子交换膜已通过国内下游龙头企业的技术验证，已开启小规模批量化采购并应用于商业化项目。正在规划建设年产50万平方米的电解水质子交换膜产线。 在工业制氢上，公司成熟产品主要有NEPEM-115、117系列膜。拥有3条质子交换膜生产线，现有总体产能30万平方米/年，其中液流电池与电解水制氢共用20万平米/年的产能。
催化剂	中科科创 济平新能源	先后推出了氧化铈、铈黑和铈钨黑等相关催化剂产品，并且已经具备了单批次公斤级的生产能力，且与多家质子交换膜制氢设备生产企业达成了合作和产品交付。 产品有PEM槽阴阳极催化剂和碱槽电极材料，其中PEM催化剂年产能可达1000Kg。
气体扩散层	西安菲尔特 浙江菲尔特	产品处于试验阶段且已经和多家PEM电解槽头部企业开展合作，对相关产品进行测试。 目前已建有500平方米/月的气体扩散层产线。未来随着质子交换膜制氢设备的应用推广，公司会将相应产线扩建至1万平方米/月。
双极板	治臻新能源 金泉益	苏州双极板生产基地产能350万片/年，为燃料电池和电解水制氢用双极板的混合产线。 具备150万片/年的燃料电池双极板产能和7万片/年的PEM电解槽双极板产能。

表2-9：2023年以来PEM电解槽产业链的投融资情况

融资企业	核心产品	时间	获投轮次	融资金额	投资机构
重塑股份	PEM槽	2024.03	IPO	108亿	
赛克赛斯	PEM槽	2023.07	B轮	数亿元	朝希资本领投，海通并购资本联合领投，铁泰基金等跟投
暗流科技	PEM槽、膜电极	2024.04	天使+轮	数百万	佛山汇智伟创科技投资有限公司
鸿基创能	膜电极	2024.05			涌铎投资、新鼎资本、凯鼎投资、远见资本
唐锋能源	膜电极	2023.10	C轮	3亿元	金浦智能、前沿投资、东风资管联合领投，陕煤秦岭科创投、上银国际、久奕投资、石雀投资跟投，高瓴创投和朗玛峰创投作为老股东持续追加投资
莒纳科技	膜电极	2023.10	Pre-A轮	近亿元	长江创新领投，东方嘉富、阳光照明跟投
涌氢能源	膜电极	2023.10	天使轮	数千万元	GRC富华资本独家领投
动氢新能	膜电极	2023.11	种子轮	千万级	邀问创投
清氢科技	膜电极	2023.09	种子轮	千万级	启迪之星创投独家投资
动量守恒	膜电极、催化剂、气体扩散层	2024.05	天使轮	千万级	当看同创资本
科润新材料	质子交换膜	2024.04	C+轮	1.4亿元	合肥市种子基金和合肥北城天使基金领投，长丰县氢能企业管理咨询中心(有限合伙)以及个人投资者共同参与投资
		2023.10	C轮	2.4亿	由老股东架桥资本领投，建信北京投资等联合完成
		2023.12	A+轮	数千万元	红杉中国领投，北汽产投、未势能源、宇通集团、通用技术资本、架桥资本盈鼎投资等联合投资
福氢氢能	质子交换膜	2023.10	A轮	数千万元	唐兴资本独家投资
		2023.05	天使轮	数千万元	金浦智能领投，金鼎资本、前沿投资、苏创投、苏高新股份等机构跟投
		2023.05	天使轮	数千万元	苏高新金控、苏州高新区科创天使基金及个人共同投资
上海碳际	气体扩散层	2023.05	A+轮	千万级	海望资本独家投资
		2023.01	A轮	数千万元	武岳峰资本独家投资

资料来源：能景氢能，国际氢能网，高工氢电，东方富海，新思界，势银《绿氢产业发展蓝皮书2023》，中航证券研究所

2.5 AEM制氢：结合了AWE和PEM电解槽的优点，制氢成本低、稳定性高，但仍处于研发阶段

AEM电解水技术基于AWE和PEM制氢技术发展起来。AEM制氢使用纯水或低浓度碱液作为电解质，水由阳极穿过AEM膜渗透到阴极，在阴极发生析氢反应产生OH⁻和氢气，OH⁻穿过AEM膜传导到阳极，并在阳极发生析氧反应。AEM电解槽与PEM电解槽结构相似，电解小室主要由阴离子交换膜、催化剂层、气体扩散层和双极板组成。AEM与PEM都可以实现高压制氢，以及实现动态响应，但AEM相较于PEM成本更低，主要体现在：1) 在弱碱性条件下工作，AEM可以使用价格低廉的非贵金属催化剂。2) AEM、多孔传输层、双极板的成本均低于PEM中的同类部件。



AEM主要优势在于：1) 无贵金属催化剂、未来商业化后可以实现低成本；2) 电流密度较高，能够在较低温度和压力下运行，拥有较高的电解效率；3) 良好的动态响应特性，未来适合大规模可再生能源制氢；4) 制氢稳定性高、制氢纯度较高，可以有效隔绝氢气和氧气；5) 较AWE电解槽体积小；6) 较AWE使用的碱液浓度更低，具有易处理、安全性高、降低运维成本等优点，可以实现绿色制造。

AEM核心部件AEM膜、催化剂的开发和应用尚未成熟，其中AEM膜的规模化和国产化难度最大，存在如下挑战：1) AEM膜的离子传导率较低，AEM膜的OH⁻离子传导率仅约PEM膜传导H⁺的一半；2) AEM膜的稳定性较低。AEM膜在长时间运行过程中，聚合物主链和有机阳离子基团易受OH⁻进攻而发生化学降解，降低了电解槽的稳定性和寿命。3) AEM膜需具备亲水性，对水分子的透过性较高，但可能导致水的损失和电解槽的效率降低。4) AEM膜需具备良好的阻隔气体性能，同时隔绝电子让化学反应涉及的电子通过外电路传递。

图2-15: AEM电堆结构

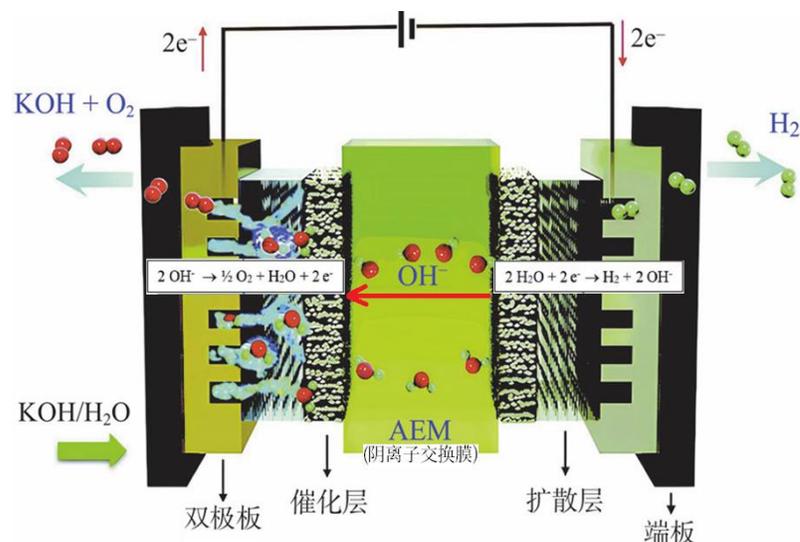


图2-16: AEM系统结构原理

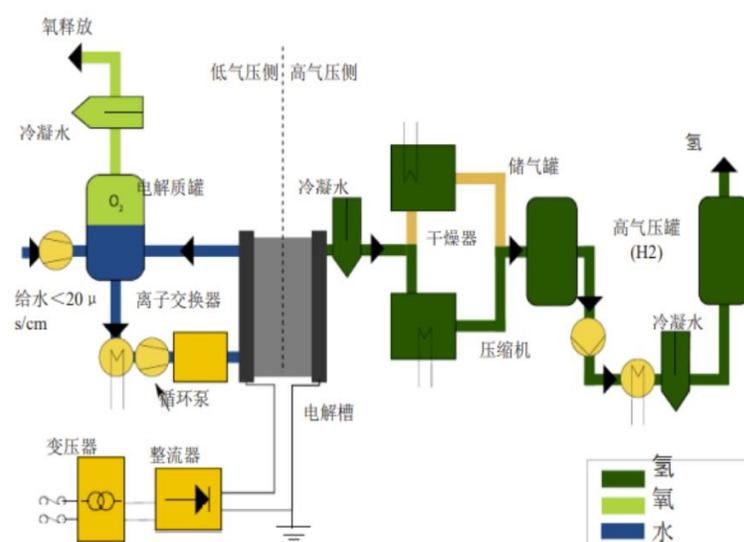


表2-10: AEM技术现状与未来关键性能指标

指标	2020年	2050年目标	研发重点
电压范围(V)	1.4~2.0	<2	电催化剂
工作温度(°C)	40~60	80	膜、电催化剂
电池压力(MPa)	<3.5	>7.0	膜
正常电流密度(A/cm ²)	0.2~2	>2	膜、电催化剂
电堆产氢功耗(KWh/Kg)	51.5~66	<42	电催化剂、膜
系统产氢功耗(KWh/Kg)	57~69	<45	氢厂平衡
负载范围	5~100%	5~200%	膜
电解效率	52~67%	>75%	电催化剂
H ₂ 纯度	99.9~99.999%	>99.9999%	膜
电堆生命周期(h)	>5000	100000	膜、电极
≥1MW电堆成本(USD/KW)	未知	<100	膜电极
≤10MW系统成本(USD/KW)	未知	<200	整流器

2.5 AEM制氢：国内与国外存在差距，但都未进入产业化阶段、国内未来引领行业概率大

AEM电解槽仍处于研发初期，大规格、高功率都尚待验证。全球范围内仅欧美部分厂商率先取得突破。欧盟FCH-JU于2020年启动AEM电解水制氢研发集群项目，其中由德国Evonik和Enapter等牵头的CHANNEL项目主要研究和开发2KW的AEM电解水系统，多个欧盟国家的企业和研究机构参与核心部件的研发。2023年5月德国Enapter推出全球首个MW级AEM电解槽；意大利Ansaldo Energia于2024年1月成功测试MW级AEM样机。2024年6月加拿大Cipher Neutron的AEM电堆上实现了94.36%效率，仅需41.75KWh电力就能产生1Kg氢气(不含净化损失)。

国内企业近两年发力明显。稳石氢能于2023年推出2.5KW和10KW级别的AEM电解槽系统；2024年3月亿纬氢能研制出全球首台100KW级别的AEM电解槽；清能股份在AEM膜上实现突破，在最新研制AEM槽实现42KWh制取1Kg氢气的超低能耗，并将铈和钛替换为低成本、储量丰富的材料。预计在2024年底，亿纬、清能、稳石等企业将推出国产MW级AEM电解槽。

核心材料与零部件方面，全球可靠的供应链屈指可数。仅德国赢创Evonik、加拿大Ionomr、亿纬氢能、清能股份等成功研制出阴离子交换膜。

表2-12：德国Enapter和Evonik企业牵头的AEM电解系统研制CHANNEL项目

研究机构/企业	主要职责
挪威Sintef研究所	整个项目的组织者和协调者
德国Evonik(赢创)	负责阴离子交换膜的开发和部分实地测试工作
德国Enapter	负责设计、制造和测试AEM电解设备，并提供AEM系统所需的相应辅助设备
挪威科技大学	负责阴极镍基材料的设计和开发
德国于利希研究中心	负责阳极镍基材料的设计与开发，并协助组装AEM电解设备
荷兰壳牌	作为项目顾问，负责项目的技术经济分析和未来的市场规模预测

表2-11：AEM重点关注企业

国内代表性企业和研究机构	主要进展
稳石氢能	<ol style="list-style-type: none"> 1) 基于对高强度阴离子膜的研究积累，对非贵金属催化剂性能不断的突破，于2023年推出首款2.5KW电解槽系统，同年推出10KW电解槽系统。 2) 2024年6月，基于对可控弹性支撑层、热固化催化剂和密封的突破，稳石氢能完成了单槽250KW测试验证。 3) 通过新技术、新工艺实施以及产能效应释放，据悉，稳石氢能将在2024年四季度完成单槽1兆瓦AEM系统并发布。
亿纬氢能	2024年3月26日，亿纬氢能100KW AEM电解槽产品发布，采用使用自主研发的膜电极体系。预计将于今年年底推出兆瓦级AEM电解槽产品。
清能股份	<ol style="list-style-type: none"> 1) 2024年2月，宣布在新型AEM膜上取得重大技术突破。 2) 2024年6月，通过不断革新技术，清能股份的科学家们已经验证AEM电解槽在实验室条件下以0.35A/cm²的电流密度和1.56V/cell的电压下稳定运行。在此次AEM的技术创新中，清能股份发明了一种新型电极结构（专利申请中），具有高比表面积和优异的稳定性。同时，将铈和钛从电解槽设计中剔除，替换使用低成本、储量丰富的材料。 3) 据悉，清能股份计划在2024年底推出新型兆瓦级高效率的AEM电解槽。
卧龙英耐德	2024年3月由德国Enapter和卧龙电驱合资设立，致力于AEM电解槽技术相关产品在中国区域的发展。
德林海零碳	是上市公司无锡德林海的全资子公司，2024年4月德林海零碳发布了“全球首创1Nm ³ /h 22MPa AEM电解槽”重要研究成果。
中科院大连化物所	2024年4月，中国科学院大连化学物理研究所在自支撑非贵金属OER电极设计及其在阴离子交换膜（AEM）海水电解应用研究中取得重要进展。
普发动力	2024年5月展出3KW AEM制氢系统，公司AEM制氢系统共3KW，30KW，200KW 3个系列，额定工况下能耗低至4.5KWh/Nm ³ ，适应波动范围20%~110%。

资料来源：艾邦氢能源技术网，氢能技术前沿，国际氢能网，各公司官网，Morningstar，中航证券研究所

2.6 SOEC制氢：与核电等余热充足行业联动可实现高能量效率、低制氢成本，但运行稳定性有待考验

SOEC原理是在高温条件(600-1000°C)下电解水制氢，按传导电荷的不同，可以分为氧离子传导型和质子传导型；按电堆结构，可以分为管式和板式结构。质子传导型SOEC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。简单理解，AWE和PEM完全依靠电能拆开氢氧键，SOEC依靠热能+电能拆开氢氧键。

质子传导型： 阳极氧析出反应(OER): $2\text{H}_2\text{O}(\text{水蒸气}) = 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2 \uparrow$; 阴极氢析出反应(HER): $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2 \uparrow$

氧离子传导型： 阳极氧析出反应(OER): $2\text{O}^{2-} = 4\text{e}^- + \text{O}_2 \uparrow$; 阴极氢析出反应(HER): $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow + \text{O}^{2-}$

SOEC技术的优势在于：1) 在高温环境下运行，粒子反应速度快、工作电压更低、能耗更低，可实现80%+的制氢能源转换效率；部分用于电解水的能量可通过热能获得，所以基于电力计量的表观效率可高于100%。2) 可以使用镍电极，成本较低。3) 具备与SOEF燃料电池逆运行的可能性，可同时作为燃料电池和电解槽工作。4) 运行时需要大量热量与水蒸气，因此更适用钢铁冶金、合成氨、核电站等余热废热充足的行业。

SOEC技术的劣势在于：1) 高温运行环境增加了设备运行和维护的难度。2) 高温环境对阴阳极材料的特性要求较高、材料成本大大增加，对材料的循环寿命可能有影响、需要定期更换电极等组件。3) 电化学过程中的材料形变、气体杂质影响电极活性、温差带来的热应力等问题影响SOEC的运行稳定性，整体技术成熟度较低、制造成本和运行成本较高，目前尚不具备大规模商业降本的条件。4) 高温环境难获得，只适用少数行业。

图2-17: SOEC电解水原理

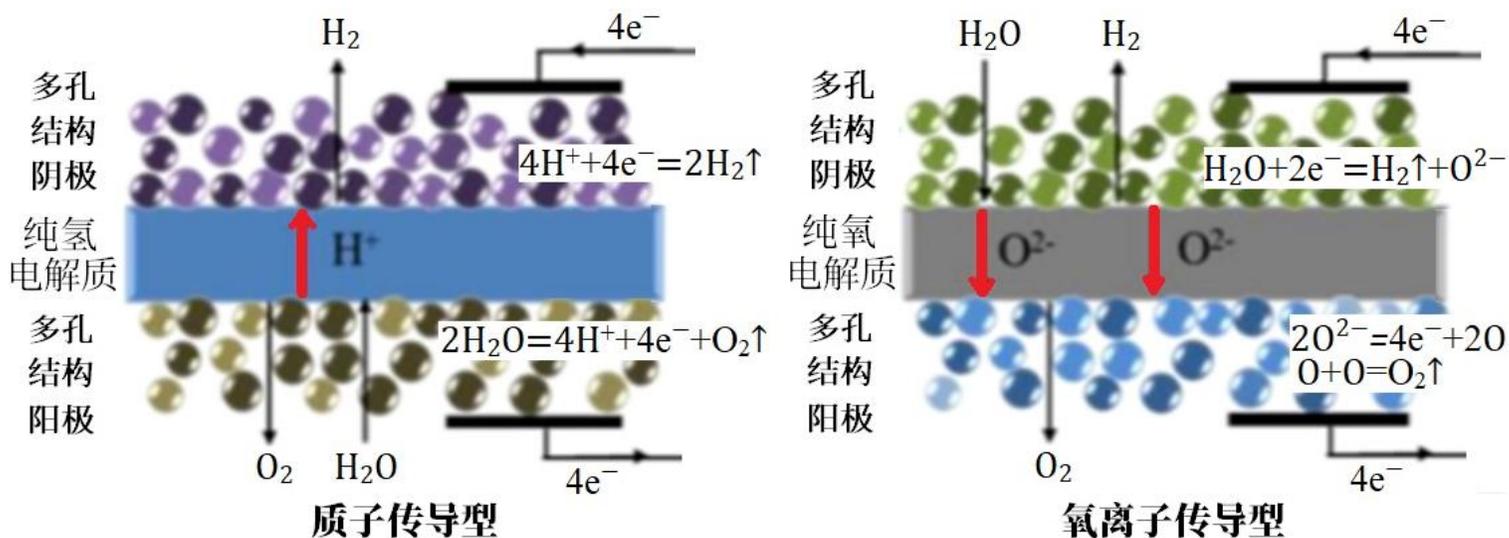
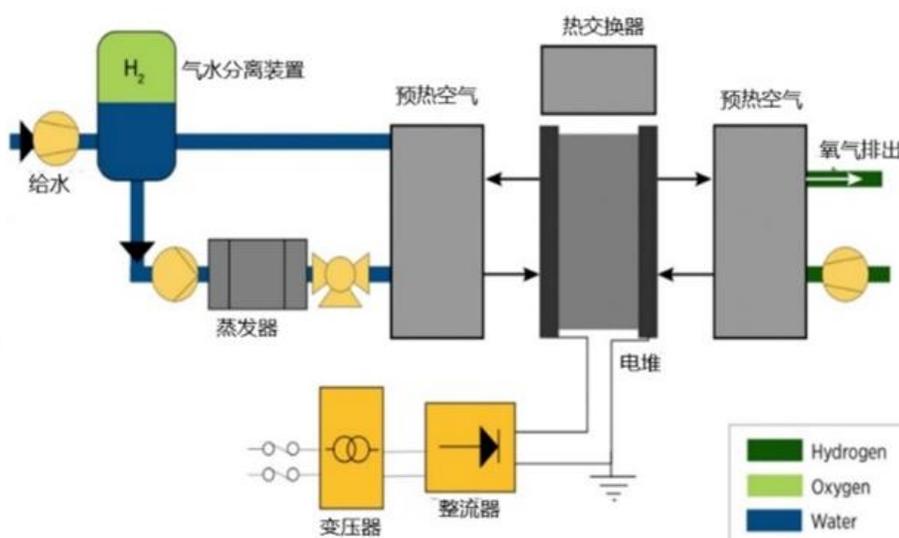


图2-18: SOEC电解槽系统构成及原理



2.6 SOEC制氢：与核电等余热充足行业联动可实现高能量效率、低制氢成本，但运行稳定性有待考验

SOEC系统也包括电堆和BOP辅助系统两大块。在BOP辅助系统中，蒸汽发生器、换热器、压缩机等较为关键。SOEC系统的核心是电堆，由连接体将单体电池——包括阳极、阴极和电解质组合而成，再加上密封材料来保证气密性。在高氧化性/还原性/高温环境下，SOEC对使用材料的化学稳定性要求均非常高。稳定性高、持久性好的耐衰减材料,是制约SOEC技术大规模推广的一个重要因素。

- 1) 电解质必须致密以防氢气和氧气接触、具备高离子导电性和低电子导电性。为了减少电解池的欧姆损失，电解质的厚度要尽可能减小。电解质材料常用导电陶瓷材料。其中具有优异的离子导电性和力学性能和一定成本优势的氧化锆(YSZ)已成为最常用的电解质材料。
- 2) 阴极和阳极的电极需要在高氧化性/还原性的环境中保持良好的电子导电率、具有合适的孔隙率、并与电解质的热膨胀系数匹配。另外，阴极(氢电极)与高温水蒸气直接接触、寿命有独特要求，因而通常选用镍、钴、铂、钯和金属陶瓷复合材料；阳极(氧电极)还需要在高温氧化环境下保持优良的氧离子导电率和催化活性，目前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)。
- 3) 连接体可以由金属或陶瓷材料制成。相比于制造成本高昂的陶瓷连接体，高铬不锈钢和铬合金等金属合金以其较低的成本、较简单的制造工艺被广泛用作连接体材料
- 4) 玻璃和玻璃陶瓷密封材料是目前研究最多的材料，属于硬密封材料，被认为是高温应用中最理想的密封材料。

图2-19: SOEC管式和板式电堆结构

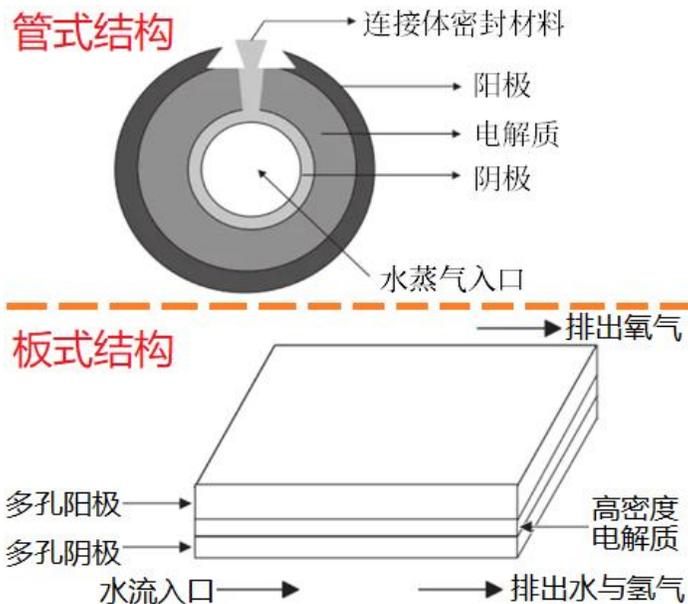


表2-13: SOEC各组件典型材料（氧离子传导型）

组件	典型材料	类型	优势	问题
氧电极 (阳极)	LSM	钙钛矿	与YSZ化学相容性好,催化活性高,化学稳定性好	离子电导率低
	LSC	钙钛矿	电导率高	Co热膨胀系数高,长期运行稳定性差
	LSCF	钙钛矿	电化学活性高,极化电阻低,稳定性好	Co热膨胀系数高,与YSZ相容性差
	LnBCO (Ln=La/Pr/ Nd/Sm/Gd/Y)	双钙钛矿	电子-离子混合导电材料,电导率高,催化活性好	/
	La ₂ NiO ₄	R-P型钙钛矿	氧扩散系数高,具有与电解质匹配的热膨胀系数	中温区的电子导电性较低
氢电极 (阴极)	Ni-YSZ	金属陶瓷	催化活性高、价格低	Ni的团聚、氧化
	SFM	钙钛矿	氧化还原稳定性优异	导电性差,催化活性低
电解质	YSZ	锆基氧离子导体	优异的离子导电性和力学性能	离子电导率会随温度的降低而大幅减小
	GDC	钕基氧离子导体	中低温离子导电性好	高温下Ce ⁴⁺ 会发生副反应
连接体	Crofer 22 APU	高铬不锈钢	抗氧化性好,热膨胀系数匹配,成本较低	/
密封材料	玻璃陶瓷密封材料	/	化学稳定性好,成本低	热循环性能差

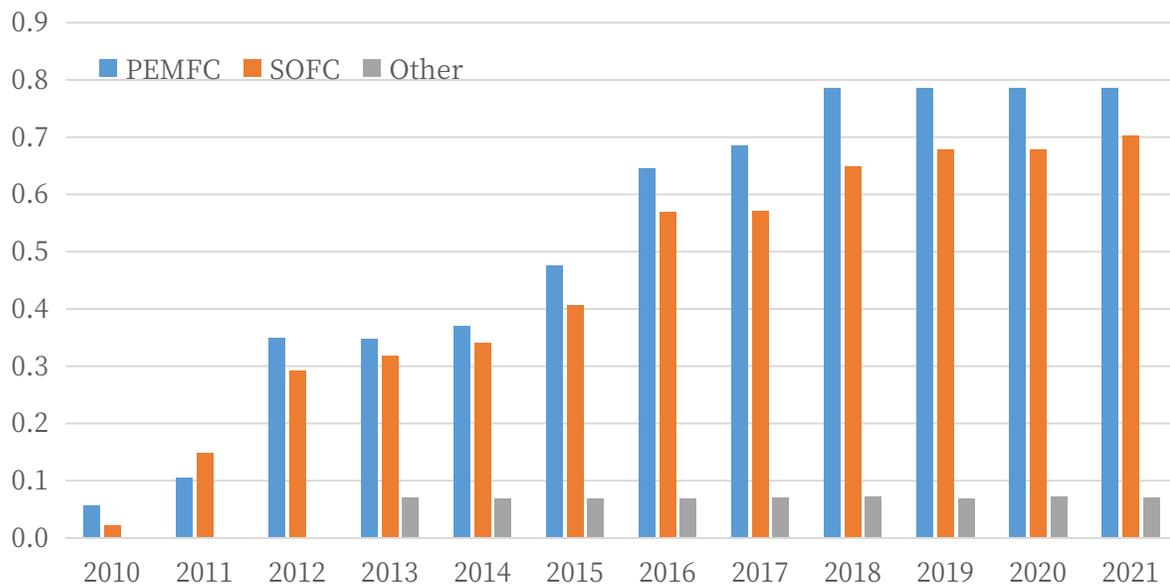
2.6 SOEC制氢：海外产业化进展快于国内，但距离规模化差距仍然很大

SOEC是SOFC的逆过程，都是在高温条件下运行，具备相似的单体电池和电堆结构。SOEC和SOFC对材料的常规要求有相似之处。2010~2021年间，欧洲在SOFC和PEMFC燃料电池路线的研发投入规模相近且基本保持同步、为SOEC的研制和开发铺垫基础。

海外市场SOEC已经进入产业化初期阶段，有突破的企业数量较少。海外代表性企业包括德国Sunfire，美国Bloom Energy、Fuelcell Energy和康明斯(子公司Accelera)，丹麦Topsoe等。Bloom、Fuelcell和康明斯都从美国能源部获得拨款用于研发SOEC技术，其中康明斯计划在2024年底前建成年产能94MW的SOEC电解槽工厂；德国Sunfire基于SOFC技术研制SOEC电解槽，并已于2020年在荷兰建成了2.4MW的SOEC电解水制氢示范项目；丹麦Topsoe于2023年12月公布其2.69亿欧元全球最大SOEC电解槽制造工程、获欧盟创新基金9400万欧元支持，预期SOEC绿电制氢能源效率超90%。

国内市场SOEC目前尚处于研发示范阶段。国内在小型SOEC电解槽测试上取得不错成果，但在产业化进程上还与国外存在着较多差距：1) 国内SOEC制氢规模最大为KW级别，而海外已突破MW级。比如质子动力与中核集团签约2KW的SOEC制氢系统，首次将SOEC应用于核电制氢示范项目。2) SOEC电堆的使用寿命与国际先进水平存在着差距。3) 产能存在不足。国内企业在国产SOEC电解槽的研制和应用上持续取得突破。质子动力已在青岛落地SOEC电池片及单电堆生产线，并与国家电网、中广核、中石油、东方电气、大唐集团等多个央企开展了科技项目和示范项目合作。思伟特与甘肃省山丹县在SOEC制氢系统和零部件产线建设和氢能项目示范应用上达成合作。上海翌晶于2023年4月建成SOEC电堆自动化产线，年产能可达100MW，并计划于甘肃武威建设年产能500MW的氢能装备产线。专业化零部件企业，潮州三环是国内SOFC领域的龙头企业，2015年收购了澳大利亚CFCL公司，获得其电堆和小功率SOFC系统技术基础。目前潮州三环已经成为全球最大的SOFC电解质隔膜供应商，是Bloom核心供应商。

图2-20: 2010~2021年欧盟对燃料电池技术示范、应用项目的累计拨款(亿欧元)



资料来源：国际氢能网，中航证券研究所

表2-14: 国内外SOEC代表性企业的主要进展

企业名称	注册地	SOEC主要进展
Sunfire	德国	2011年收购了一家SOFC公司作为其后来发展的技术核心。基于一种Power-to-Liquid (PtL) 工艺，Sunfire于2020年10月在荷兰建成了2.4MW SOEC的项目示范，每小时产氢60公斤用于合成燃料的生产，其系统电能效率 (LHV H2 to AC) 目标是85%。
Bloom Energy	美国	2018年7月于纽交所上市；2024年3月与壳牌合作，开发大型SOEC电解槽；2024年4月获得美国能源部、财政部和国税局7500万美元政府补贴，用于扩大生产规模。
FuelCell Energy	美国	在2016-2020年间负责了一个美国能源部拨款300万美元的SOEC研发项目，并提前完成了下面的前三项实验室指标：(1) 电堆效率 (LHV H2 to AC) >95%；(2) 系统效率 (LHV H2 to AC) >90%；(3) 系统效率 (LHV, 以电能+热能计) >75%；(4) 单电池衰减速率≤1%/1000小时；(5) 电堆衰减速率≤2%/1000小时；(6) 开发子系统，使SOEC能与有间歇性的可再生能源相兼容。
Cummins 康明斯	美国	2021年9月，从美国能源部获得500万美元拨款，用于SOEC电堆自动化组装、生产的研发。该项目将利用康明斯现有成熟的热喷涂工艺，自动化生产以金属为基础的固体氧化物电堆，从而减少昂贵的烧结工艺，并将所需密封件数量减少50%。该项目为期三年，总预算716万美元，目标是开发60KW固体氧化物电堆自动化组装的标准样板，用于建立年产能94MW的SOEC电解槽工厂。
质子动力	中国	在2021年就已经与中广核集团签约了2KW SOEC制氢系统，首次将SOEC应用于核电制氢示范项目；2022年，其为国家电网“双创项目”提供了5KW SOEC制氢系统，用于用户侧电解制氢；到2023年底，该公司将至少有5套SOEC制氢系统示范项目投运。
思伟特	中国	2023年5月与甘肃省山丹县人民政府签署战略合作协议，双方将在SOEC制氢系统及关键零部件生产和产业落地方面开展深度合作，同时山丹县将支持思伟特开展氢能项目示范应用。
上海翌晶	中国	2023年5月与辽宁省营口市老边区人民政府就辽宁营口500MW风光氢储一体化示范项目举行签约仪式。

2.7 电解槽行业：全球需求快速增长，中国需求与供给都成为全球主导力量

全球电解槽行业发展迅速，目前中国市场已成为全球的主导。据IEA统计，2022年全球电解槽累计装机量700MW(同比+20%)，新增装机量约117MW，其中中国与欧洲累计装机量占比分别为30%和30%、美国和加拿大合计占比约10%、其余地区占比约30%。2018年国内累计装机量占全球比重不足1%，但自2021年开启突破式增长，据IEA预测，2023年全球累计装机量将突破2GW，中国累计装机量将达到1.2GW(实际当年招标量超过1.7GW)。截至2023年10月，IEA统计的制氢项目，预测2030年全球电解槽累计装机量至少为175GW，如果将尚处于早期阶段的制氢项目纳入统计，2030年的全球电解槽累计装机量将达到420GW。

国内电解槽市场发展迅速，设备厂家从百花争鸣走向“内卷”加剧。自2021年以来国产电解槽出货量保持高速增长。据势银预测，2030年国内新增装机量将突破50GW、2022~2030年CAGR为69%。国内电解槽制造商快速扩张，主要动力来自于电解槽“老兵”企业的产能扩张、其他领域装备龙头的外延扩张、终端用户或气体运营商等产业链相关企业的跨界进入，国内市场的本土设备供应商已经占据绝对主导地位，并且行业竞争变得更加激烈、已经出现“内卷”局面。从高工氢电发布的2022~2023年国内电解槽市场出货量榜单来看，行业变化较大：

1) 市场格局变化剧烈，2023年出货量CR5达54%、相较2022年下降了25pct。2) 2023年出货量Top10厂商名单有近半数出现变化、较2022年仅有5家企业留在Top10。其中派瑞氢能和隆基氢能两大国产厂商的排名进一步提升、稳居市场前列，而天津大陆和中电丰业则跌出前五、华电重工与航天思卓首次跻身前五，中集集电、双良新能源、长春绿动首次进入前十。3) 国外厂商在国内的影响力下降，2022年第一的苏州竞立(比利时考克利尔集团控股)在2023年滑落至第三、第七的挪威Hydrogen Pro跌出前十。

全球现有电解槽装机以AWE电为主，其次为PEM路线电解槽。据IEA统计，截至2022年全球AWE电解槽装机占比达到60%，PEM槽装机占比约30%，二者合计占比约90%，而AEM和SOEC路线装机占比合计约10%。亚洲(含中国)电解槽装机路线以AWE为主，而欧洲、北美、澳大利亚都以PEM为主。我们认为这与各地产业链的终端需求、所在国(区)的企业技术路线选择及成熟度与降本速度、碳中和政策及绿氢比例要求等因素密切相关。海外市场当前主要使用PEM电解槽，且以海外厂商为主。2023年海外AWE槽和PEM槽的规模分别为610MW和814MW、占比分别为43%和57%。其中海外PEM槽主要供应商为西门子能源、ITM Power、康明斯等，市占率分别为19%、16%、8%；AWE槽主要供应商为NEL、John Cockerill、Sunfire等，市占率分别为19%、17%、7%。

我们预测，中期内电解槽赛道上主要变化包括：

1) 中、欧、美、日全面推进，内需与出口两旺。2) 在碳税和碳关税没有落地、各国绿氢标准未统一的前提下，碱性电解槽的需求将占主导地位，预计在化工行业和中国市场占比将达到80~90%，在欧美日预计也将超过70%；PEM电解槽的成本高昂、使用于高附加值领域，比如绿电调峰和高纯度工况；3) 大容量设备占比将快速提升。4) 国产碱性电解槽的技术成熟度、产品稳定性和成本已全面领先世界，未来全球份额将迅速提升，主要原材料和零部件均已实现国产，PPS隔膜和复合隔膜的国产化将加速。5) PEM电解槽的PEM膜、催化剂、等原材料/零部件均存在较高对外依赖，亟需产业突破、实现快速降本，否则将错过风光配储的绝佳机会。

2.7 电解槽行业：海外市场PEM占比更高



图2-21：2018年以来全球分地区电解槽累计装机情况(MW)

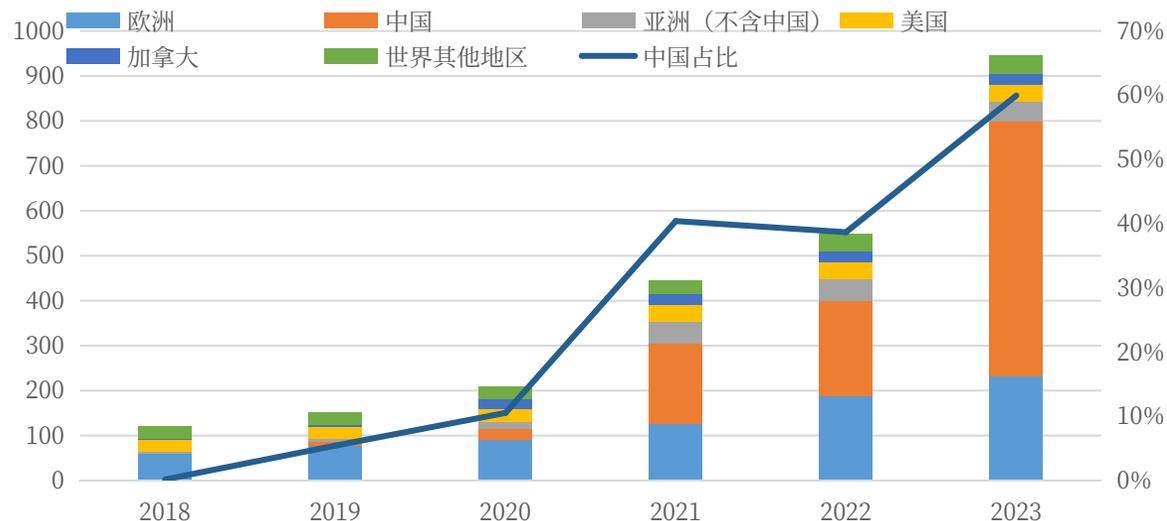


图2-22：2030年全球电解槽累计装机量预计175~420GW

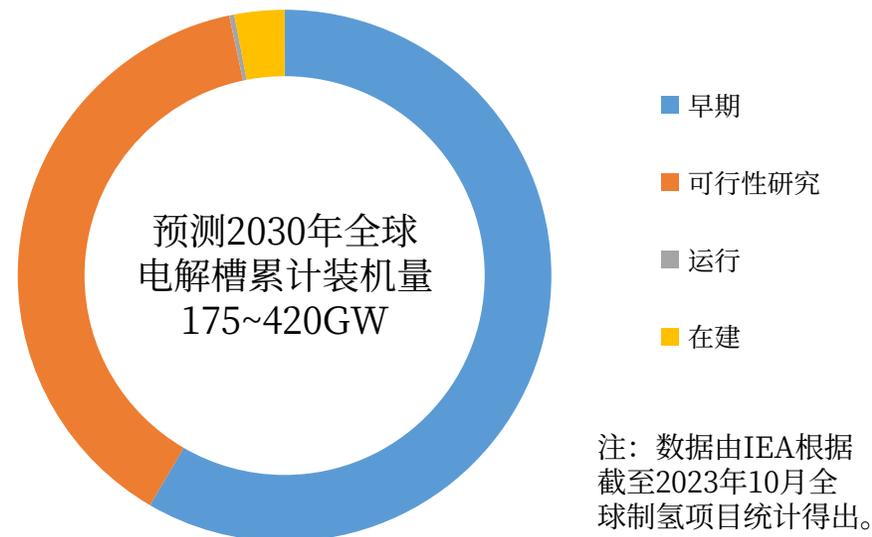
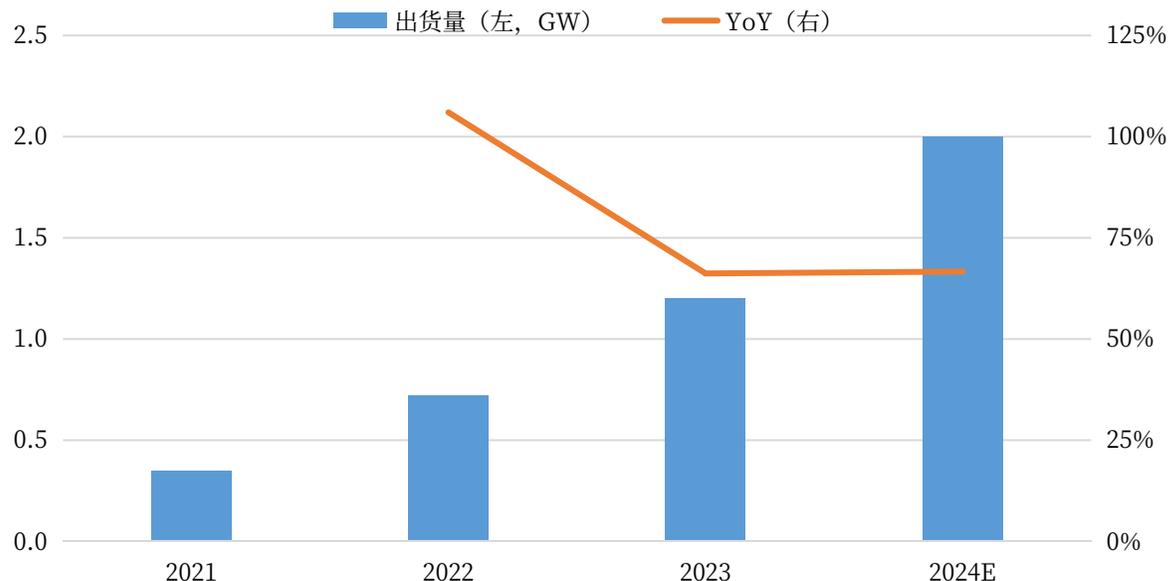


图2-23：2018年以来全球不同技术路线电解槽累计装机情况(MW)



图2-24：2021年以来的国内电解槽厂商出货量快速增长



资料来源：IEA，高工氢电，中航证券研究所整理

注：图2-21和图2-23的数据根据IEA数据库自行统计，仅用于反映趋势

2.7 电解槽行业：海外市场PEM占比更高，技术积累、政策驱动与特色需求并存

海外市场青睐PEM路线、PEM项目占比高，主要有产业积累、政策导向和应用场景等几大原因。

- 1) 海外PEM电解槽产业的历史积累久、全产业链各环节均培育出优势企业。20世纪50至60年代，GE成功研制初代PEM电解槽，应用于航天生命维持系统；1996年以来美国Proton Onsite与美国军工企业联合合作，为航空航天和海军开发PEM电解槽，成为全球行业龙头；最早推出非石棉隔膜电解槽和加压电解槽的挪威NEL公司，于2017年收购Proton Onsite，跃居为全球领先的PEM电解槽制造商；2019年康明斯收购加拿大Hydrogenics(水吉能)，实现向燃料电池与制氢装备业务扩张；还有德国西门子能源、英国ITM、美国Plug等企业在细分技术或市场上领先。这些企业的发展，也得益于美、得、日等国家的重要原材料供应商的突破，如杜邦和戈尔的PEM膜、庄信万丰与田中的催化剂，不用担心被“卡脖子”的企业可以放手发展最前沿技术。
- 2) 现阶段PEM制氢技术更能符合欧盟的碳中和政策。欧盟对于绿氢的可再生电力来源要求苛刻：在制氢工艺环节必须使用绿电；若制氢环节使用网电，则需要在可再生能源比例超90%的地区、或者是在低碳排放限制地区并签订可再生能源购电协议，即鼓励离网风光发的电作为最理想的制氢能源。而现有技术条件下，PEM电解槽更能适应可再生能源等波动电源。随着全球不同地区制氢标准逐步统一，全球合作降本带来柔性制氢、离网制氢等技术普及，叠加电解槽宽负荷运行技术的成熟，全球制氢项目所使用的电解制氢技术类型有望不再受到制氢标准的限制。
- 3) 欧美的应用场景较单一，设备规格偏小，技术相对成熟且成本不高。据《欧洲氢能市场格局报告》，截至2022年底，欧洲共有水电解项目97个、累计产能174.28MW、平均每个项目1.79MW，其中0.5MW以下的项目有67个。考虑到单个项目可能有多台设备组成，因此这些项目普遍规模应该单台设备小于1MW、制氢能力不超过200Nm³/h，相对技术成熟，总投资额也不高、在这些大型企业承受范围内。但若追求极致的成本控制，则采用大规格设备势在必行。

图2-25：2023年海外市场10MW以上制氢项目的电解槽厂商市占率

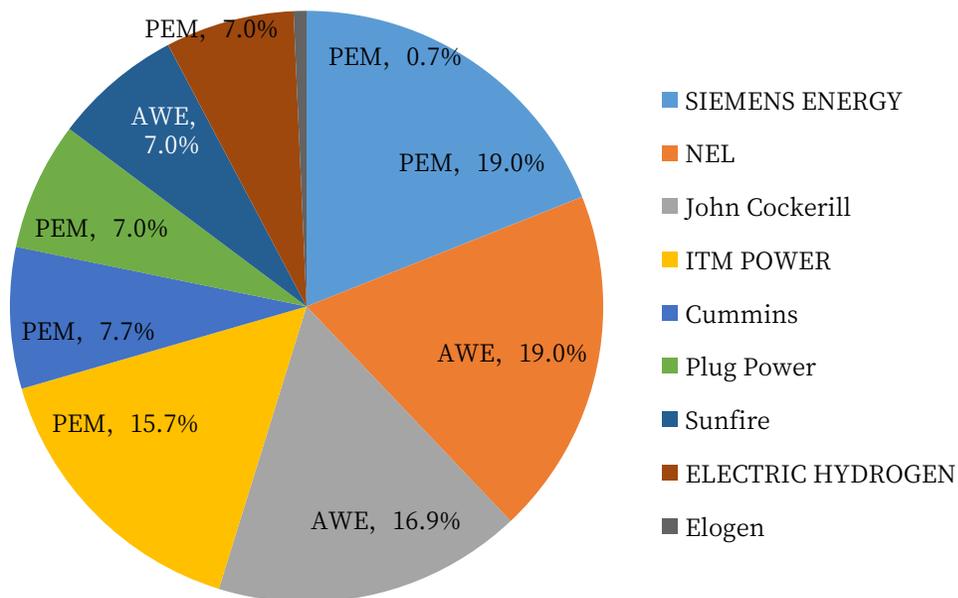
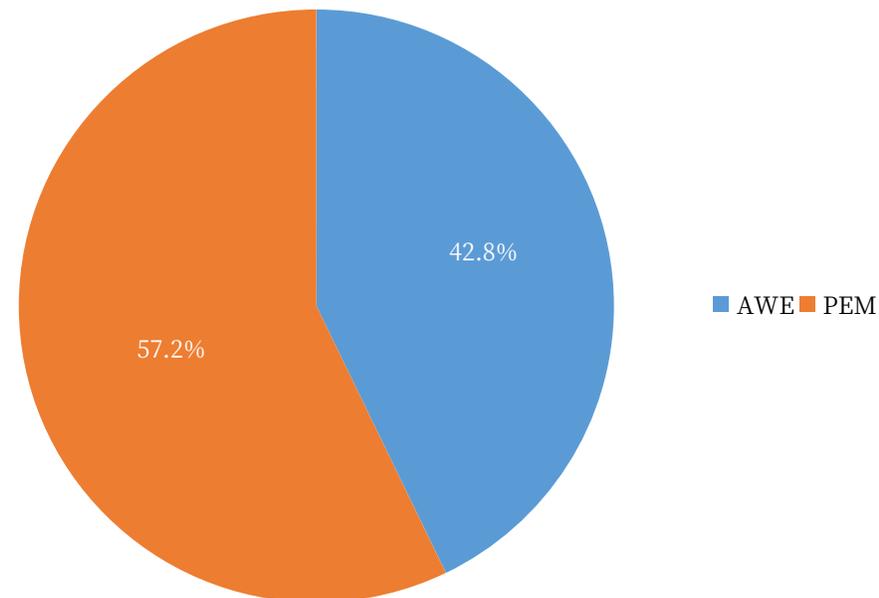


图2-26：2023年海外市场10MW以上制氢项目主要使用PEM电解槽



2.7 电解槽行业：全球格局变革，当前中国电解槽行业产能已经领先全球

全球主要电解槽生产商纷纷计划扩充产能，中国是当前全球电解槽的生产重镇，总体产能规模遥遥领先。据高工氢电，2023年全球电解槽名义产能58GW，其中中国38GW、占比66%，中国电解槽厂商以AWE技术路线为主、约占全球AWE产能的70%左右，派瑞氢能、隆基氢能、阳光氢能、双良新能源、石化机械等企业已经初具规模。欧洲PEM和AWE技术路线并进、电解槽产能仅次于中国，代表企业为蒂森克虏伯、西门子能源、NEL、John Cockeril、ITM等。美国电解水技术发展多年，核心材料是特点，代表企业为Plug和康明斯等领先的PEM电解槽生产商、以及科慕(原杜邦)和戈尔等材料供应商。

全球扩产，但中国装备被严重低估。在产能规划方面，据Bloomberg NEF在2024年发布的最新预测，到2024年底国外PEM制氢装备商家的产能将是中国的10倍以上，但我们预计实际落地会低于预期、且低于中国产能投放速度。据IEA预测，2030年全球电解槽产能有望达到155GW。随着越来越多不同地区新玩家的入局，电解槽产能的全球区域分布格局将更加均衡；届时中国产能约为39GW、占比将由2022年的50%降至25%，仍居全球之首，当然我们认为该预测对中国设备厂家的未来能力显然低估；欧洲产能将达到31GW、占比预计变化不大；美国、印度的产能预计分别达到31GW和9GW、占比20%和6%，量与占比均将大幅提升，但我们认为对这两个国家的预期过于乐观。

AWE电解水路线以高技术成熟度和低成本占得需求先手，供给将超前投放。2022年AWE电解槽产能规模随着需求高增长而加速投放，产能占比约73%、大幅领先其他技术路线。PEM技术成熟度逐步提高，但成本仍较高，2022年产能占比约15%。随着电解槽技术的进步与成熟，以及核心零部件和材料降本有序推进，AWE电解槽的产能占比在2030年预计降至54%，PEM、SOEC和其他路线电解槽的产能占比预计分别为25%、21%。

国内PEM电解槽产业起步较晚，但技术差距在缩小。最早可追溯至1988年的济南化工院，但由于无法盈利而无后续新产品开发。自2007年起，赛克赛斯、阳光电源等企业与国内科研院所共同推动国产PEM电解槽的商业化应用，相关产品陆续获得国内招标订单和国际认证、并出口海外多个国家。2021年中石化资本与康明斯合资成立康明斯恩泽、引进其领先的PEM制氢技术进行本地化生产。

图2-27：IEA预测PEM在未来占比将提升

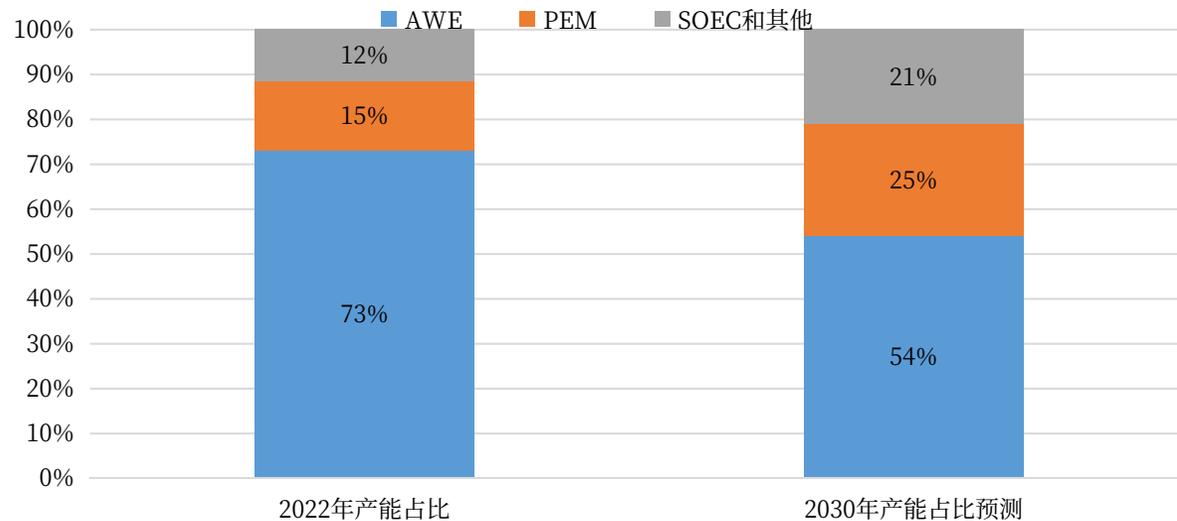
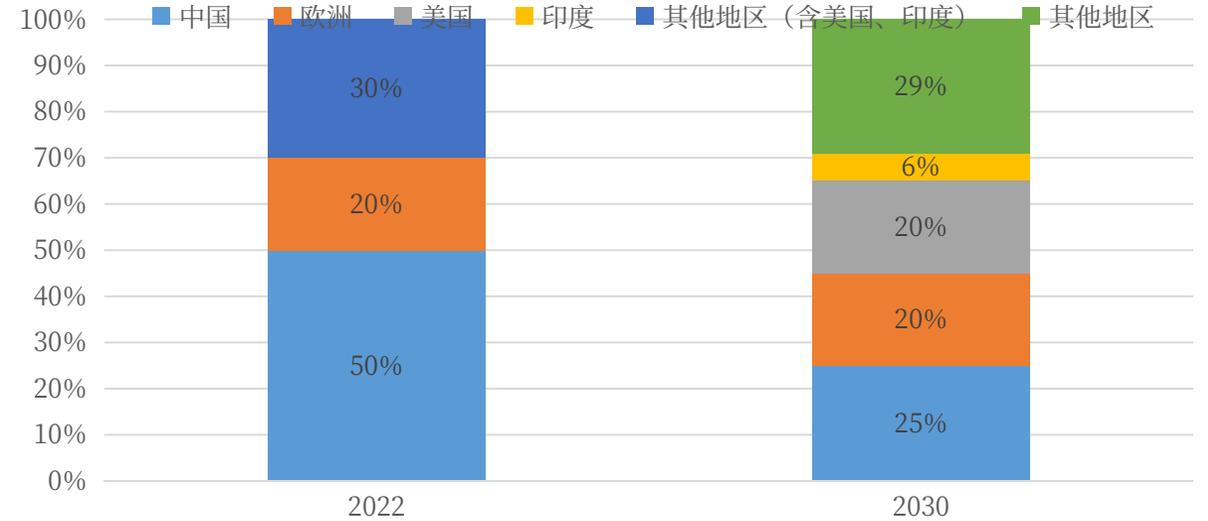


图2-28：IEA预测当前全球产能中心的中国未来比重会下降



2.7 电解槽行业：中国的国内需求由央企领衔，头部集中度高、AWE优势明显



国内电解槽行业发展处于加速期，头部企业集中度高、AWE路线优势明显。据香橙会数据，国内2023年全年电解槽招标项目32个，容量总计1695.5MW，超过2022年出货量的两倍。从中标结果来看，派瑞氢能、阳光氢能、隆基氢能的中标量占据前三，占比分别为20%、15.4%、14.9%，合计达50.4%。招标项目的技术路线大部分为AWE，部分大规模项目尝试AWE+PEM组合技术路线，少数项目采用PEM和AEM单一路线。具体到电解槽的招标量，由于技术成熟、成本较低，AWE占据主流，占比达到95.5%。据香橙会研究院测算，2023年国内AWE电解槽成本约为1200元/KW，PEM电解槽成本约为5000元/KW。

大容量规模项目成为2023年制氢项目招标主力。2023年50MW以下的项目数量较多、达23个，但合计容量占比仅为15.4%；有5个制氢项目的制氢规模达50~100MW、合计容量占比约18.9%；有4个制氢项目的规模在100MW以上、合计容量占比约65.8%。比如中国能建2023年制氢设备集中采购项目、国电投大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目等，容量分别为565MW和245MW，在全球均排名前列。

从招标业主来看，央企业主单一项目规模较大且数量多，贡献主要制氢设备招标需求。2023年央企业主招标项目15个、合计容量占比达75.7%；地方国企业主的招标项目数量5个、合计容量占比为16.1%；民营及其他业主的招标项目数量12个、合计容量占比为8.2%。

从近三年的电解槽出货量结构来看，AWE以低成本和技术成熟，适合大规模工业化制氢等优势，成为市场主要使用的电解槽类型。2021年~2023年，AWE电解槽的出货量占比维持92%以上。同时，随着国产PEM电解槽与国外技术差距快速缩小、以及产能规模的逐步扩大，PEM电解槽在国内的出货量呈上升趋势，2023年出货量占比达到7%。

图2-29：100MW以上大容量项目数量较少，但总容量占比超过65%

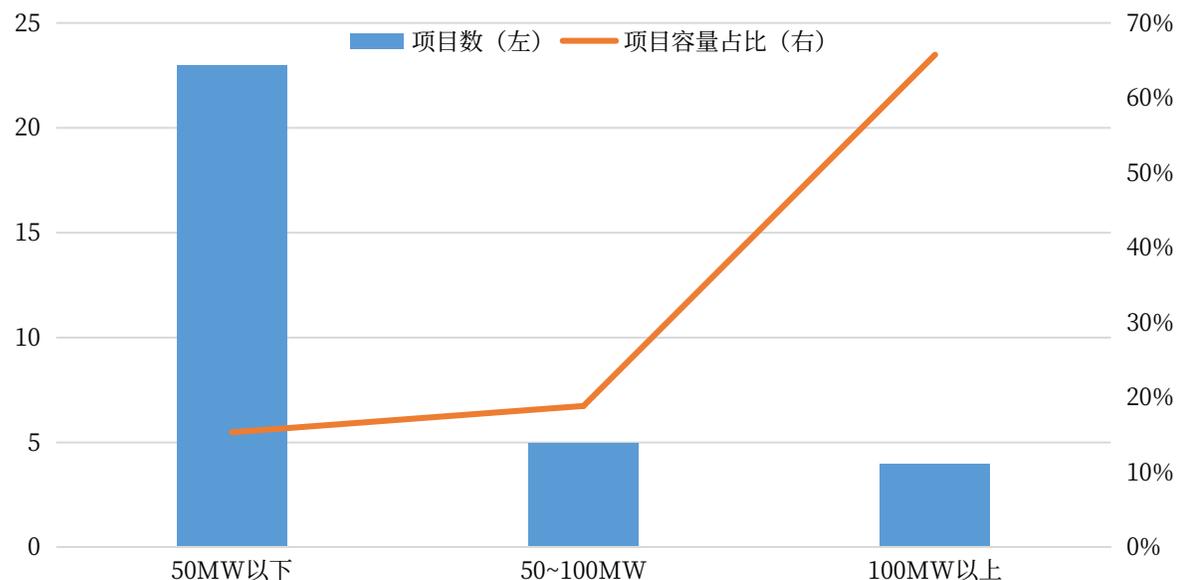
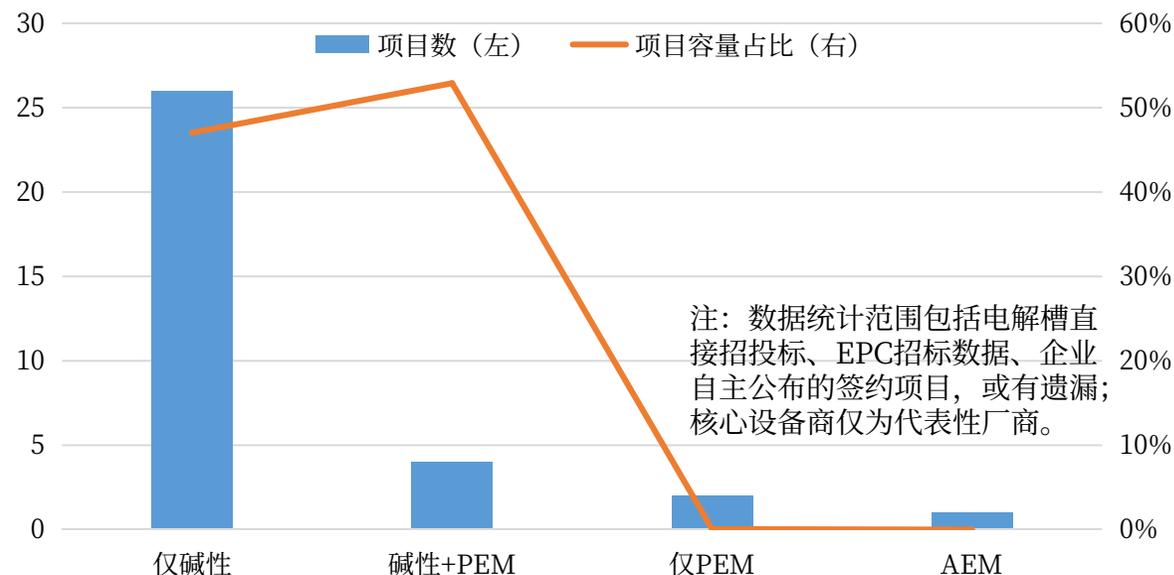


图2-30：2023制氢招标项目的技术类型



2.7 电解槽行业：中国的国内需求由央企领衔，头部集中度高、AWE优势明显



图2-31：2023年电解槽中标量CR3超50%

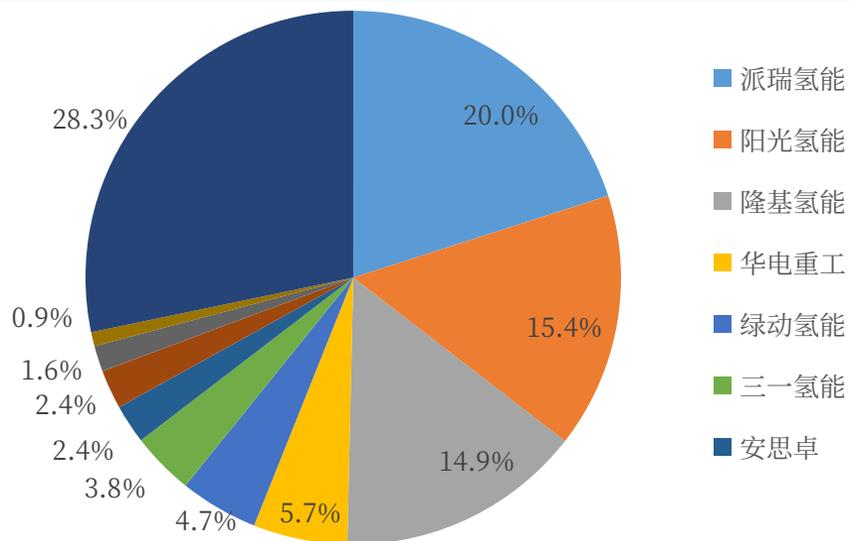


图2-32：Top10中标电解槽厂商的中标量情况

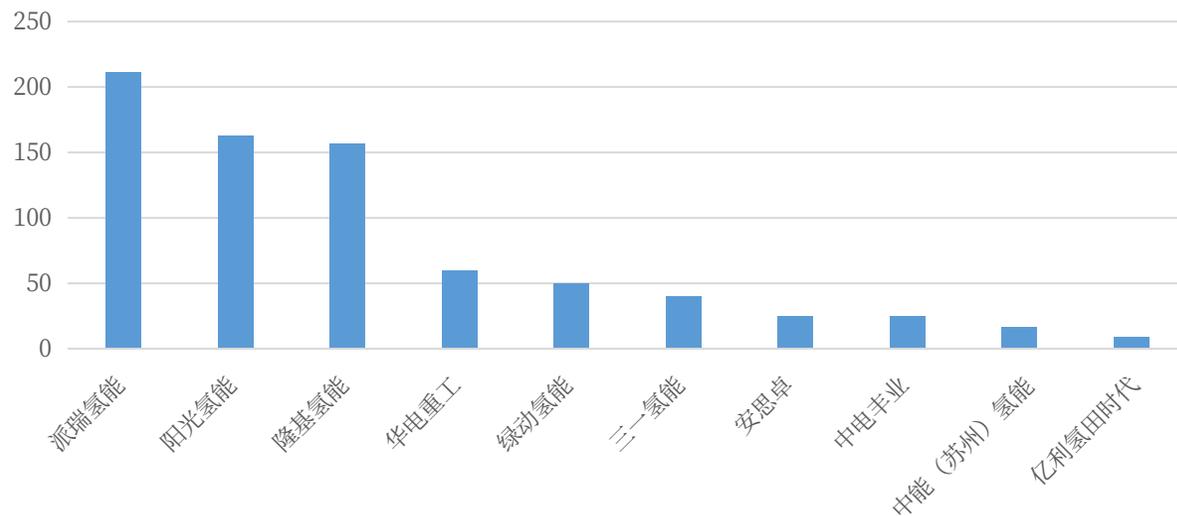


图2-33：央企和国企招标项目占比超过90%，其中央企占比超75%

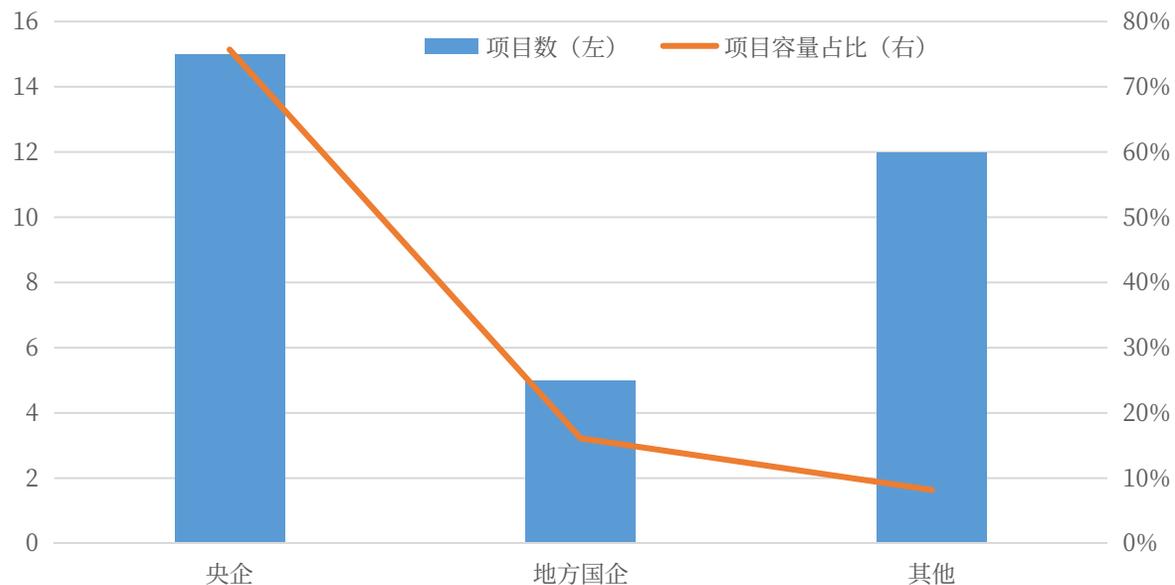
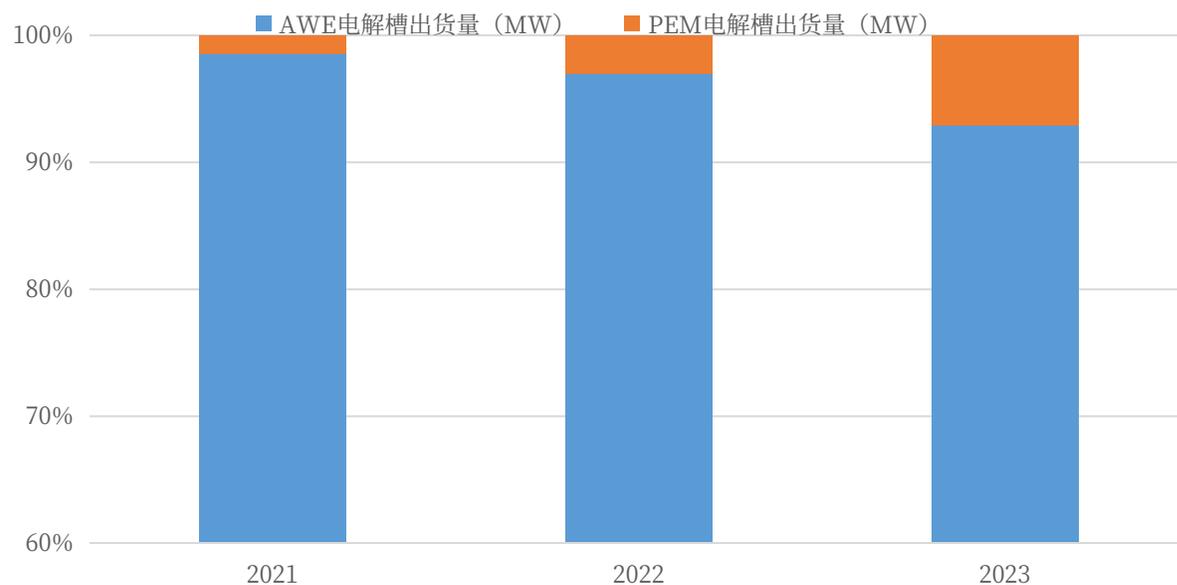


图2-34：国内电解槽出货以AWE槽为主，但PEM槽的出货量占比在提升



资料来源：香橙会，中航证券研究所

2.7 电解槽行业：国内2023年投标容量增长迅速，AWE为主流技术路线，AWE+PEM组合初次亮相



表2-15：2023年电解槽招投标项目汇总

项目名称	电解槽类型	规模(MW)	核心设备商	项目名称	技术路线	规模(MW)	核心设备商
中国能建2023年制氢设备集中采购招标	AWE+PEM	550(AWE) 15(PEM)	/	玉门油田可再生能源制氢示范项目(一期)	AWE	10	中能(苏州)氢能
国电投大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目	AWE+PEM	195(AWE) 50(PEM)	隆基氢能(AWE) 长春绿动(PEM)	内蒙古亿珂气体项目	AWE	9	亿利氢田
新疆俊瑞吉木萨尔规模化制绿氢项目EPC招标	AWE	200	/	黑龙江200MW风电制氢联合运行项目EPC招标	AWE	7.5	/
国能宁东可再生氢碳减排示范区一期项目	AWE	105	派瑞氢能	华能清能院AWE电解槽采购项目	AWE	6.5	中能(苏州)氢能
中能建兰州新区绿电制氢氨项目EPC	AWE	75	招标阶段	荣程集团1300Nm ³ /h光伏绿电制加氢一体化(一期)项目	AWE	6.5	派瑞氢能
大唐风光制氢一体化项目制氢EPC项目	AWE	70	/	国电投涞源县300MW光伏制氢项目	AWE	6	/
昌黎县30万m ³ /d可再生能源电解水制氢-450m高炉富氢冶炼工业化示范项目	AWE	60	派瑞氢能、隆基氢能	低碳院煤化工与新能源耦合技术示范制氢项目	AWE	6	阳光氢能
内蒙古华电达茂旗20万千瓦新能源制氢工程示范项目	AWE+PEM	55(AWE) 5(PEM)	华电重工	张家口东润清能察北光伏配套制氢示范项目	AWE	5	阳光氢能
鄂尔多斯市纳日松40万千瓦光伏制氢产业示范项目	AWE	55	派瑞氢能、隆基氢能	广汇能源绿电制氢及氢能一体化示范项目	AWE	5	/
鄂尔多斯市鄂托克前旗上海庙经济开发区深能北方光伏制氢项目	AWE	45	阳光氢能	深能库尔勒绿氢制储加用一体化示范项目	AWE	5	厚普股份
大连洁净能源集团海水制氢一体化项目	AWE	40	阳光氢能、隆基氢能	中核北方核燃料元件有限公司制氢项目	PEM	3	赛克赛斯
张家口风电光伏发电综合利用(制氢)示范项目制氢子项目	AWE	40	派瑞氢能	北元化工制氢电解槽成套装置设备采购项目	PEM	1	赛克赛斯
大冶市矿区绿电绿氢制储加用一体化氢能矿场综合建设项目	AWE+PEM	25(AWE) 2(PEM)	阳光氢能	东方电气海水直接制氢项目	AWE	1	苏州苏氢
华电潍坊氢储能示范项目	AWE	25	中电丰业	华中科技大学5Nm ³ /hPEM水电解制氢装置采购项目	PEM	0.025	赛克赛斯
中广核新能源宁东清洁能源制氢项目电解水制氢	AWE	12	隆基氢能	西湖大学AEM制氢电解槽采购项目	AEM	500NL/h	北京申乾
				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	PEM	-	石化机械
				清华大学深圳国际研究生院AWE水电解制氢设备采购项目	AWE	-	凯豪达
				合计		1695.5+	

资料来源：香橙会，中航证券研究所

注：数据统计范围包括电解槽直接招投标、EPC招标数据、企业自主公布的签约项目，或有遗漏；核心设备商仅为代表性厂商。

1. 氢能优势与氢源

2. 电解槽技术分析

3. 电解槽行业两大疑问

4. 重点公司

3.1 电解槽疑问之一：行业格局剧变，全球装备竞争仍“中必胜”？

全球电解槽行业开始快速增长，格局将发生剧烈变化，未来竞争格局如何演绎？

一、电解水制氢环节，中国需求快速增长、已经引领全球

- 1) 全球电解槽装机规模近年来快速扩大，中国在其中发挥着主导力量。据IEA统计，2022年全球电解槽装机量约为700MW，中国、欧洲的电解槽累计装机量占比分别为30%、30%，美国和加拿大的合计占比约为10%，其余地区占比约30%；
- 2) 中国电解槽装机量近三年迎来突破性增长。2023年全球电解槽累计装机量将突破2GW，中国的电解槽累计装机量达到1.2GW，占全球比重约50%。据IEA统计的制氢项目数据库，2018年中国累计装机量占全球比重不足1%，但自2021年以来，中国已投入运行的累计电解槽装机量在全球的占比快速提升。势银预测2024年国内新增电解槽装机量将达到4.8GW。中国不仅实现低基数背景下的高增长，更将获得成为全球领先者先机。
- 3) 全球电解槽需求潜力大，未来中国需求将持续引领全球。据IEA预测2030年全球电解槽累计装机量将至少达到175GW，若将尚处于早期阶段的制氢项目纳入统计，2030年全球电解槽累计装机量将达420GW。据势银预测，2024~2030年中国制氢电解槽需求将累计新增近139GW。中国将占比全球电解槽市场1/3以上的份额，将继续发挥举足轻重的作用。

图3-1：2018年以来全球分地区已投入运行的电解槽累计装机情况(MW)

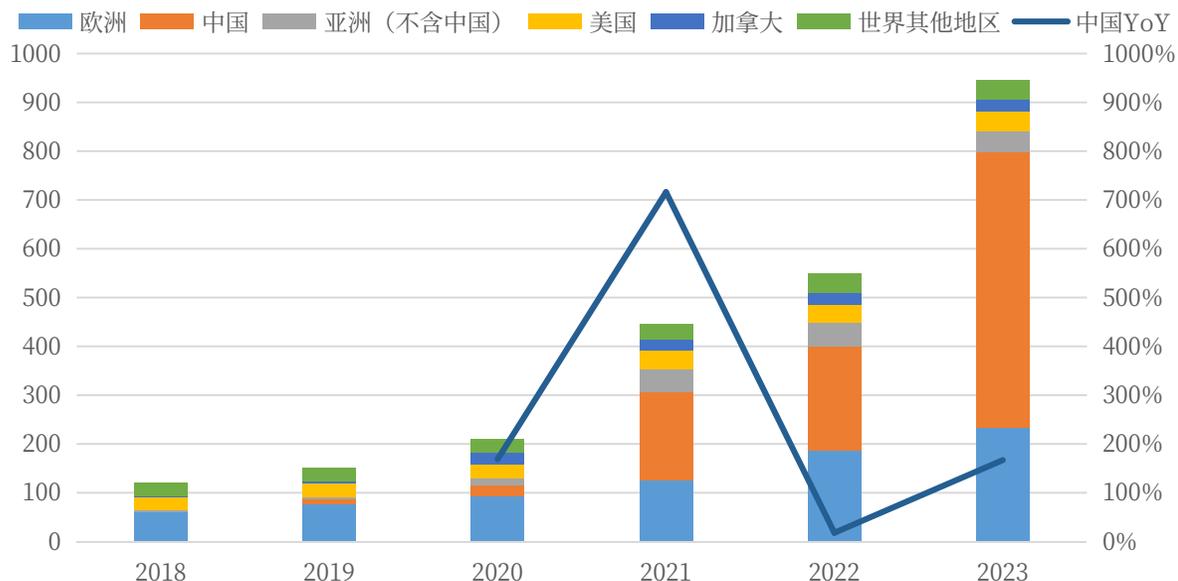
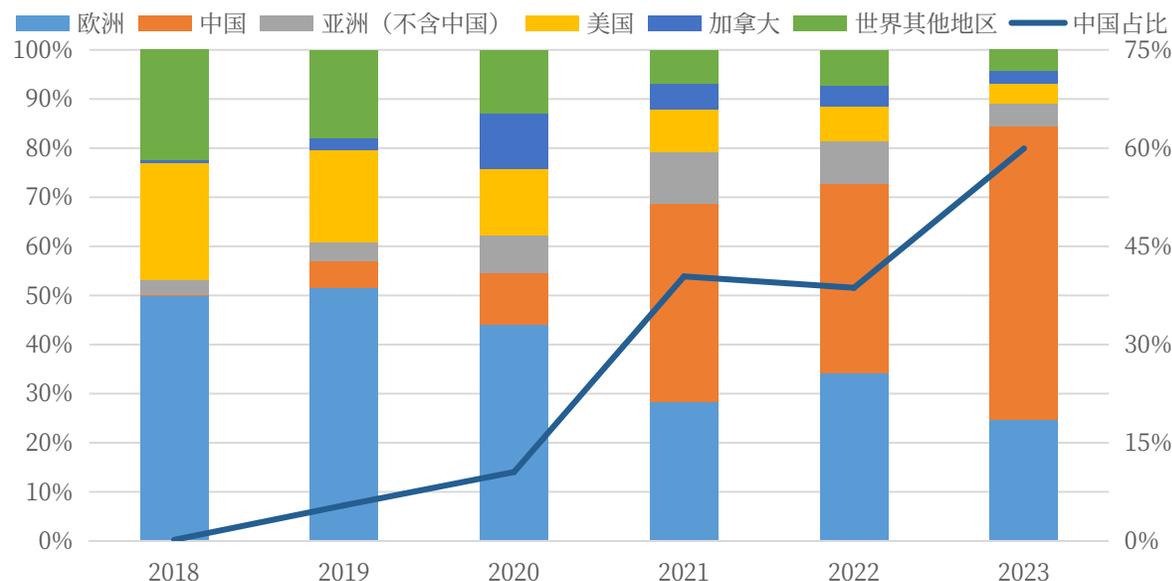


图3-2：2018年以来全球不同地区已投入运行的电解槽累计装机份额



3.1 电解槽疑问之一：行业格局剧变，全球装备竞争仍“中必胜”？

二、主机装备环节，中国供给快速崛起，海外玩家也在中国布局产能(以高工氢电数据为例)

- 1) 国内电解槽行业应用案例增多，国产装备厂家崛起势头明显。国外厂商在国内市场的影响力下降，2022年国内交付量第一的苏州竞立(比利时考克利尔集团控股)在2023年滑落至第三，而2022年第七的挪威Hydrogen跌出前十。国内应用案例增多、给与“试错”机会助力国产装备成长。
- 2) 国产厂家在投资热潮中全面崛起，群狼逐鹿竞千帆。市场格局变化剧烈、集中度也下降，2023年电解槽出货量CR5约54%、相较2022年下降了25pct。2023年出货量Top10厂商名单近半数出现变化、较2022年仅5家企业留在榜内，其中派瑞氢能和隆基氢能两大厂商的排名进一步提升、稳居国内市场前列，而天津大陆和中电丰业则跌出前五、华电重工与航天思卓首次跻身前五，中集集电、双良新能源、长春绿动首次进入前十。
- 3) 国内市场AWE槽占据主流。据IEA统计截至2022年全球AWE和PEM电解槽装机占比分别约60%和约30%，而SOEC等其他路线电解槽装机占比合计在10%左右。对比之下，据高工氢电统计，近三年国内市场AWE槽出货量占比超90%，虽PEM槽出货量占比逐年提升，但未超10%。
- 4) 国内电解槽市场从百花齐放走向“内卷”加剧，蓝海伊始、已隐含红海。主要体现在设备产能快速扩张、制氢性能不断突破、价格下降等。
 - a. “卷”产能。国内电解槽制造产能扩张主要来自于现有企业扩大、传统强者的外溢创投企业和产业链相关企业跨界进入者，产能扩张速度高于行业需求增速，由此竞争变得更加激烈。据高工氢电统计，2023年底国内电解槽总产能达38GW、同比新增超23GW，且AWE是主流。
 - b. “卷”技术。国内大规模制绿氢多为示范项目、多由央企牵头，主要是为了验证技术路线和培养国产产业链。国内大标方设备研发走在全球前列，并不断朝着高电密、低电耗、大标方等方向突破制氢性能上限，2023年国内多家设备商下线1000Nm³/h及以上规格的单体AWE槽、甚至少数厂商推出单体3000Nm³/h电解槽，且AWE槽新品的电耗多数低于4.5kWh/Nm³，还有数十家企业同时布局AWE、PEM等多条路线，但均需产业化验证。国内大型化、低能耗设备的可靠性与运营成本均有待绿氢项目商业化充分验证，由此确定各技术路线的竞争格局。
 - c. “卷”价格。国内厂商数量、产能快速扩张，但制氢项目和规模增长相对滞后。在短期供需错配下，降低单价成为竞争市场份额的重要手段。据金联创氢能，2021~2023年国内AWE槽和PEM槽的中标价分别下降约50%和27%，并预计2024年中标价将分别再同比下降约7%和24%。

三、原材料即将全面国产化，国产主机再添利器

- 1) 国产AWE电解槽的技术成熟度、产品稳定性和成本已全面领先世界。当前AWE产业链在电极、极板、制氢电源等主要环节已基本实现国产化，但在隔膜环节依赖进口。当前PPS隔膜的价格低于复合隔膜、产品稳定性得到充分验证，因此作为AWE隔膜的主流路线。国内PPS隔膜的进口依赖度较高、主要由日本东丽垄断，国产厂商天津凯瑞、天津津纶等具备批量化生产和供应能力。AWE用复合隔膜由比利时爱克发Agfa垄断，国产价格相较更低、但难点在于产品验证和测试，目前碳能科技、科沃克科技、中科氢易已经开始量产国产复合隔膜，与多家国内头部电解槽厂商验证产品。其中，碳能科技的量产级、表转化产线正式建成并顺利投产，产线一期建设产能20万平方米。势银的观点认为，没有在AWE槽上验证的隔膜不会被厂商直接使用、验证时间一般一周到几个月不等。随着PPS膜和复合膜的国产化，未来国产AWE的全球份额将加速提升。

3.1 电解槽疑问之一：行业格局剧变，全球装备竞争仍“中必胜”？

表3-1：国内外主要电解槽设备商的产能规划

技术路线	企业名称	2023年产能	2024年以后规划产能	国家
AWE	派瑞氢能	3GW	6GW	中国
AWE	隆基氢能	2.5GW	5~10GW	中国
AWE	天津大陆	1GW	1.6GW	中国
AWE	阳光氢能	1GW	3GW	中国
AWE	三一氢能	1.5GW	/	中国
AWE	航天思卓	2.5GW	/	中国
AWE	国富氢能	2.5GW	/	中国
AWE	苏州青骊骥	2.5GW	/	中国
AWE	华易氢元	1.5GW	/	中国
AWE	考克利尔竞立	1.5GW	/	中国
PEM	赛克赛斯	50MW	1GW	中国
PEM	康明斯恩泽	500MW	1GW	中国
PEM	长春绿动	100MW	1GW	中国
PEM	普拉格Plug	3GW	/	美国
PEM	ITM	2.5GW	5GW	英国
PEM	康明斯	1.6GW	/	美国
PEM	西门子	1.3GW	3GW	德国
AWE	考克利尔集团	2.5GW	8GW	比利时
AWE	蒂森克虏伯	1.5GW	5GW	德国
AWE、PEM	NEL	0.6GW	5.5GW	挪威
AWE	Hydrogen Pro	1.3GW	/	挪威
AWE	McPhy	0.3GW	1.3GW	法国
AWE	Sunfire	0.5GW	1GW	德国

表3-2：2023年国内AWE和PEM电解槽下线情况

类型	时间	发布企业	单槽制氢规模Nm ³ /h	单槽电耗情况kWh/Nm ³
AWE(24家)	3月1日	绿萌氢能	500	4.2
	1月9日	盛氢制氧		4.6
	2月14日	隆基氢能		4.0-4.3
	3月31日	华商厦庚		4.0-4.5
	5月4日	陕西华秦	1000	4.087
	5月	航天科技		/
	7月12日	爱德曼		4.4
	9月16日	龙蟠科技		/
	12月6日	尧景新能源		/
	1月10日	中集集电	1200	4.3
	1月18日	中集氢能		4.2-4.55
	5月24日	宝石机械		4.2
	5月8日	山东汉德	1300	/
	4月11日	华光环能	1500	4.2
	10月17日	中国能建		4.3
	10月17日	中国中车		
	10月30日	华易氢元		3.7
	1月	中电丰业	2000	3.66-4.78
	1月	苏氢氢能		4.4-4.3
	5月	三一氢能		/
	6月	宏泽科技		/
	6月11日	上海电气		4.15
	9月8日	双良绿电		/
	10月8日	奥扬集团	/	
9月12日	隆基氢能	1200、1500、2000、3000	/	
12月8日	三一氢能	3000	4.1-4.3	
10月31日	爱德曼	4000(并联)	/	
PEM(11家)	7月12日	氢辉能源	50	4.3
	6月6日	亿华通	100	4.19
	11月7日	氢辉能源	200	1
	7月	氢盛能源	250	
	8月16日	重塑能源	100、250	1
	11月8日	卡沃罗	250	4.3
	4月15日	嘉庚创新实验室	兆瓦级	3.87-4.3
	8月25日	东方锅炉	兆瓦级	/
	10月19日	清能股份	兆瓦级	/
	4月15日	国富氢能	/	/
	7月10日	淳华氢能	/	/
10月26日	蓝拓氢能	/	1	

资料来源：高工氢电，IEA，碳索氢能，中航证券研究所

3.1 电解槽疑问之一：行业格局剧变，全球装备竞争仍“中必胜”？

- 2) PEM产业链的核心部件和材料国产化全面提速、技术逐步成熟，将推动国产主机全面降本。质子交换膜、催化剂、气体扩散层等多个核心环节存在大的国产替代空间，亟需工程验证后大规模扩产、由此实现快速降本，否则将错过风光配储的绝佳机会。
- a. PEM膜：东岳未来氢能 and 科润新材料已拥有成熟产品或开启小批量商业应用，并在产能方面正在规划和建设年产50万平方米产线。
 - b. 催化剂：国内PEM催化剂市场被英国庄信万丰、日本田中贵金属、比利时优美科等企业垄断。中科科创、济平新能源等国内企业正与PEM设备商合作验证产品并实现单批公斤级的产能。多家企业在多条路线并进，未来有望打开PEM用催化剂国产替代的突破口。
 - c. PEM用气体扩散层：阴极扩散层使用的碳纸等基础材料为海外企业垄断。工业级阳极扩散层缺少国产替代产品。浙江菲尔特等企业加快技术探索，并筹备至少年产1万平方米的产线。

图3-3：当前AWE与PEM电解槽产业链国产化进程



表3-4：AWE和PEM产业链的国产化进展

产业链环节	国产化程度	企业	国产化进度
PPS隔膜	进口依赖度较高，由日本东丽垄断。目前东丽PPS隔膜约400元/平米，价格低于复合隔膜。	天津凯瑞	对外提供的隔膜产品主流规格为1.5米、1.7米、1.9米三种，产品厚度0.70-0.90mm
AWE复合隔膜	国产化程度较低，由比利时Agfa垄断。进口Agfa复合膜超300美元/平米，国产复合膜价格约700元/平米。	碳能科技	第三代复合隔膜首条量产级、标准化产线正式建成并顺利投产；一期建设产能20万平方米/年；复合隔膜幅宽突破2500mm。
		刻沃刻科技	2023年第三代复合隔膜K系列产品已经实现量产，并在各大客户的碱性制氢电解槽落地运行；目前正在积极扩充幅宽大尺寸隔膜产能。
质子交换膜	美国科慕公司Nafion系列膜垄断市场。2021年国内市场国外/内资企业的PEM膜市占率分别79%和21%。	中科氢易	复合隔膜厚度0.5mm；复合隔膜年产量可达30万平方米；在国内已拥有10多家合作伙伴
		东岳未来	质子交换膜已通过国内下游龙头企业的技术验证，已开启小规模批量化采购并应用于商业化项目。正在规划建设年产50万平方米的电解水质子交换膜产线。
PEM催化剂	国内Pt和Ir等贵金属储量少，需从南美/南非/俄罗斯进口。国产催化剂工艺、产能上有差距，其中庄信万丰、田中贵金属、优美科三企业占国内九成份额。	科润新材料	公司成熟产品主要有NEPEM-115、117系列膜。拥有3条质子交换膜生产线，现有总产能30万平方米/年，其中液流电池与电解水制氢共用20万平米/年的产能。
		济平新能源	PEM催化剂满产产能可达1000Kg/年。2022年12月济平新能源向清能股份交付了公斤PE电解催化剂。
气体扩散层	阴极扩散层材料碳纸由日本东丽、德国SGL和科德宝供应。工业级PEM槽的阳极扩散层产品仍以进口为主。	中科科创	先后推出了氧化铈、铈黑和铈钉黑等相关催化剂产品，并且已经具备了单批次公斤级的生产能力，且与多家质子交换膜制氢设备生产企业达成了合作和产品交付。
		浙江菲尔特	采用直径为微米级的钛合金纤维生产PEM用钛毡；目前已建有500平方米/月的气体扩散层产线，未来产线会扩建至1万平方米/月。

表3-3：2023年国内SOEC和AEM电解槽下线情况

类型	时间	发布企业	单槽制氢规模Nm ³ /h	单槽电耗情况kWh/Nm ³
SOEC(3家)	4月25日	翌晶氢能	2.5kW、5kW、10kW	3.16 (2.5kW)
	6月	思伟特	10kW	3.6
	10月30日	氢邦科技	1	3.6
AEM(4家)	2月16日	稳石氢能	2.5kW	4.3
	7月	亿纬氢能	10kW	/
	8月15日	中电绿波	10	/
	11月5日	泰极动力	100	/

资料来源：高工氢电，IEA，碳索氢能，国际氢能网，势银，氢能促进会，36氦，阳光工匠网，中航证券研究所

3.1 电解槽疑问之一：行业格局剧变，全球装备竞争仍“中必胜”？

表3-5：2023年以来国内电解槽企业的出海进展

国内企业	出海进展
派瑞氢能	与澳大利亚签订10兆瓦水电解制氢成套系统
	0.5MW集装箱式制氢加氢一体站在瑞典落成
	2套水电解制氢设备发运印度
	与马来西亚签署绿氢设备的组装和供应合作意向
	4套集装箱制氢加氢设备用于中东和北非
	将其加压碱性电解槽技术授权给瑞典科技公司Metacon进行电解槽生产。
国富氢能	中东地区5亿美元水电解制氢系统订单
	在巴西落地一座电解槽生产工厂
	中标阿布扎布制氢加氢一体站
	1GW氢能装备生产制造基地落地德国
考克利尔竞立	与东南亚两家知名企业签订销售合同
	和Technip Energies宣布成立合资公司RELY，并锁定GW级碱性电解槽订单
隆基氢能	与印度客户签署电解水制氢设备采购合同
	与澳大利亚客户签署电解水制氢设备采购合同
双良新能源	中标阿曼4000Nm ³ /h绿电智能制氢装备
明阳氢能	与泰国液化天然气经销商IBCLNG在曼谷签署合作协议，打造泰国首个商业绿氢项目。明阳氢能将为该项目提供制氢装备。
希倍优氢能源	与德国DCH GROUP正式签署了合作协议，DCH作为代理商将与希倍优氢能共同为德国、瑞士以及奥地利地区提供氢能装备。
清能股份	子公司HYZEC与英美资源集团启动PEM电解水制氢商业化合作。
天合元氢	与西班牙Arbro集团、韦尔瓦市政府正式宣布达成160MW绿氢项目的战略合作。预计2025年底开工建设。天合将为该项目提供完善的装备和光储氢解决方案，生产的绿氢提供给当地化工业，最终以绿醇和绿氨的形式通过韦尔瓦港口出口欧洲。

资料来源：国际氢能网，高工氢电，北极星氢能网，中航证券研究所

四、出口与跨国合作，道阻且长、行则至远

国内电解槽设备商出海需要面对不同国家与地区的标准差异、准入壁垒、本地化服务需求及本土企业的竞争。国内行业的技术成熟度提升与成本降低的速度均明显领先其他地区，尤其是短期内产能快速释放的能力、将助力国内设备商走出去，帮助全球行业降本和快速普及。

国内电解槽产业快速崛起，已开始面临贸易摩擦。7月1日《金融时报》报道，蒂森克虏伯、西门子能源、NEL、Hydrogen、Topsoe等20家电解槽制造商联名致信欧盟委员会，他们认为“中国对氢能公司的支持创造了不公平的竞争环境”，也希望欧盟的技术补贴倾向本土厂家。

国内电解槽厂商出海之路不会一帆风顺，寻求海外合作伙伴共赢将成为主要选项。2023年以来，国内电解槽企业持续取得出海进展，并开辟多元化路径来拓展海外市场：

- 1) 通过代理商等合作伙伴将设备出口给海外客户是国内电解槽厂商出海的直接途径。实现国内制造成本、效率优势与海外合作伙伴当地渠道、本土服务能力的结合。这种较弱的联系也容易导致贸易抵制。
- 2) 寻求与海外伙伴更为紧密的合作关系，也可能成为快速拓展市场、规避政策风险的更理想方式。国内设备厂家可以通过联合研发、双向技术授权、贴牌代工、股权投资、合资建厂(国内或海外)、双向合作开发制氢项目等方式，加强与海外市场潜在购买者的联系，为后续顺利打开海外市场铺垫基础。当前前沿技术的工程化应用验证非常重要，因此国内密集开工的大标方项目对于海外设备厂家而言也是罕见的机遇。派瑞氢能将AWE电解水技术授权给瑞典Metacon生产，加强技术交流和产品验证；国富氢能在巴西、德国建厂，本地化有利于规避贸易风险；考克利尔竞立与比利时Technip Energies成立合资公司，提前锁定GW级订单；明阳氢能、天合元氢分别在泰国、西班牙与当地企业合作开发制氢项目，并获得项目的设备订单。

3.1 电解槽疑问之一：行业格局剧变，全球装备竞争仍“中必胜”？

五、未来趋势预测

- 1) 中国和欧盟的碳中和政策推动国内与海外电解水制氢市场快速发展。尤其是中国电解槽行业供需双旺。国内应用场景增加、支撑了国内装备供应商的产品研发与迭代，由此在大标方、高电密、低功耗等方面创新在加速，也因此加速了核心零部件和原材料的国产化、支撑行业降本。
- 2) 国产碱性电解槽的技术成熟度、产品稳定性和成本已全面领先世界，在资本助力下国内产能释放将加速，未来加大出口力度、抢占海外市场将成为必然选择。若遇到严苛的海外贸易壁垒，相对产能过剩也会带来国内价格体系崩塌。
- 3) 国内技术成熟度提升与成本下降的速度过快，欧美市场可能短期内担心中国装备企业的竞争而推动贸易保护、关税壁垒(如欧洲近期)，但长期看中外合作将有助于推动行业健康、快速发展，因此构建海外合作渠道也成为衡量企业全球竞争力的重要参考项。且若缺少中国供应链支持则海外市场的成本无法快速降低至可实现“平价制氢”、最终作茧自缚，否则将错过风光配储的绝佳机会。
- 4) AWE和PEM的技术成熟度和成本优势均远高于AEM和SOEC技术路线，因此未来中期内AWE槽与PEM槽优势会扩大。
- 5) 主要原材料和零部件均已实现国产，PPS隔膜和复合隔膜的国产化将加速，PEM槽的全氟磺酸酯与PEM膜、贵金属催化剂等上游环节均存在较高对外依赖，产业即将突破、实现快速降本。同时，贸易壁垒预计主要出现在主机环节，上游原材料面临的贸易壁垒压力相对较小。

图3-4：2021年以来国内AWE和PEM电解槽的中标均价持续下降

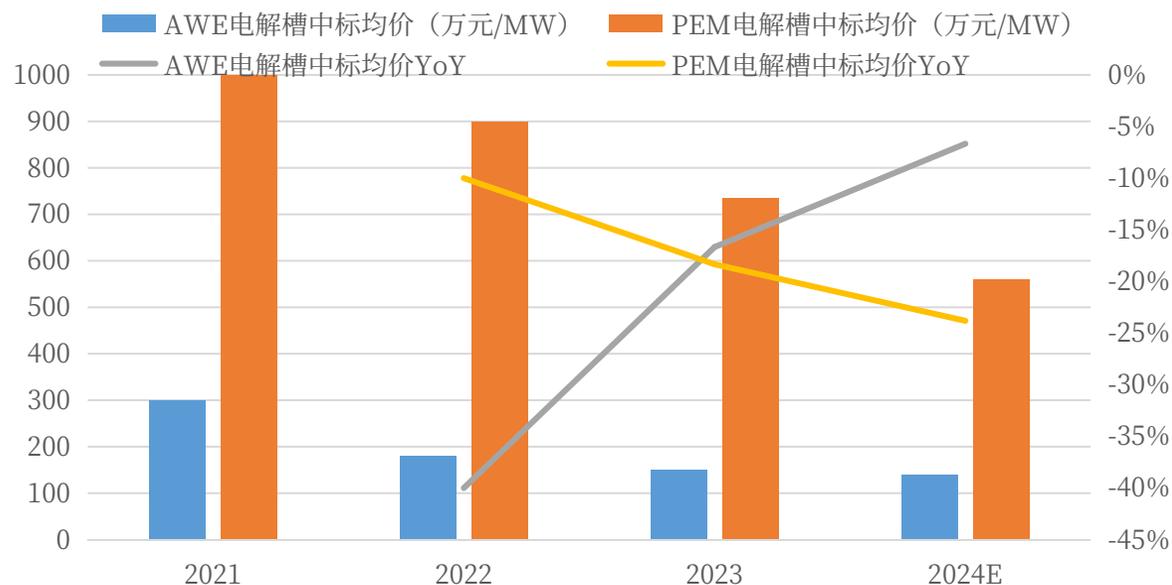


表3-6：2021-2023年国内电解槽市场出货量和订单量TOP厂商

排名	国内电解槽出货量			国内电解槽订单量	
	2021	2022	2023	2023	2024H1
1	考克利尔竞立	考克利尔竞立	派瑞氢能	派瑞氢能	派瑞氢能
2	派瑞氢能	派瑞氢能	隆基氢能	阳光氢能	阳光氢能
3	赛克赛斯	隆基氢能	考克利尔竞立	隆基氢能	天津大陆
4	中电丰业	天津大陆	华电重工	翌晶氢能	京电设备
5	天津大陆	中电丰业	航天思卓	华电重工	隆基氢能
6	凯豪达氢能	凯豪达氢能	天津大陆	/	/
7	淳华氢能	HydrogenPro	中集集电	/	/
8	/	华易氢元科技	双良新能源	/	/
9	/	赛克赛斯	中电丰业	/	/
10	/	国富氢能	长春绿动	/	/

资料来源：高工氢电，IEA，碳索氢能，金联创氢能，中航证券研究所

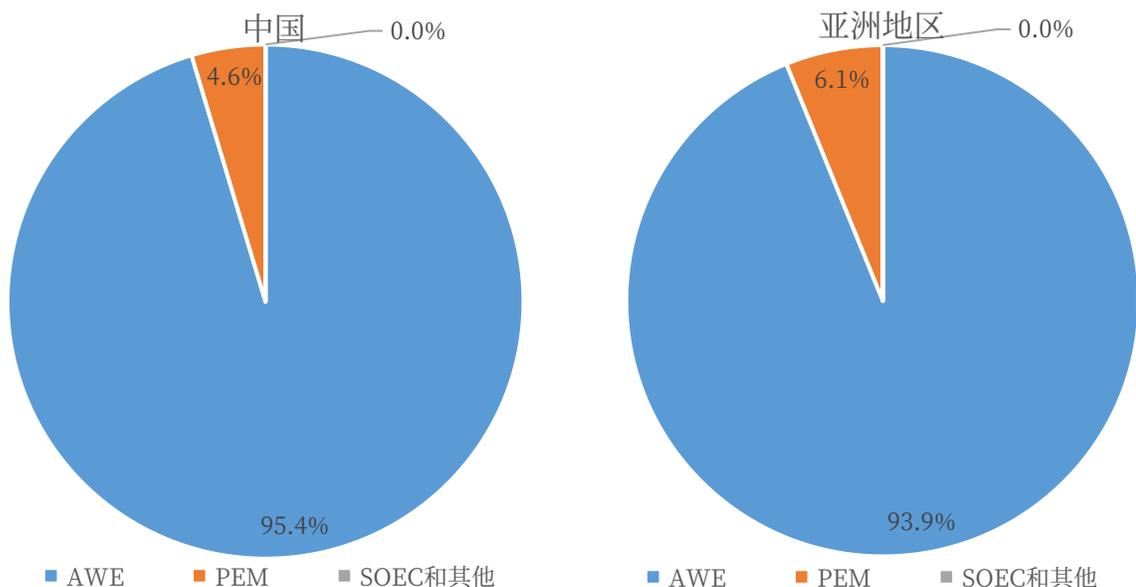
3.2 电解槽疑问之二：四大技术路线之争，AWE与PEM谁主沉浮？

电解槽四大技术路线，AWE与PEM已占绝对主流、竞争激烈，未来五年谁更占优势？

尽管近十几年AEM和SOEC电解水制氢技术路线出现，但经历200多年的发展、AWE电解水技术路线在过去多年将保持“C位”角色、以亚洲市场最为显著，其次为PEM路线、以欧美的应用为代表。据IEA，截至2022年全球AWE和PEM电解槽装机占比分别约60%和约30%，而SOEC等其他路线电解槽装机占比合计在10%左右，并预计2030年AWE、PEM和SOEC等技术路线的占比预计分别为54%、25%和21%。虽然近年来AWE、PEM、AEM、SOEC等技术路线不断取得新的突破，但现阶段AWE和PEM技术的成本优势和技术成熟度远高于AEM和SOEC技术路线，因此我们认为未来5年内的AWE与PEM槽优势会扩大、这一观点与IEA观点不同。在AWE和PEM电解槽二者之间，我们认为AWE技术在未来5~10年内将保持、甚至强化其“主流”角色，PEM也有大的发展机会。主要逻辑如下：

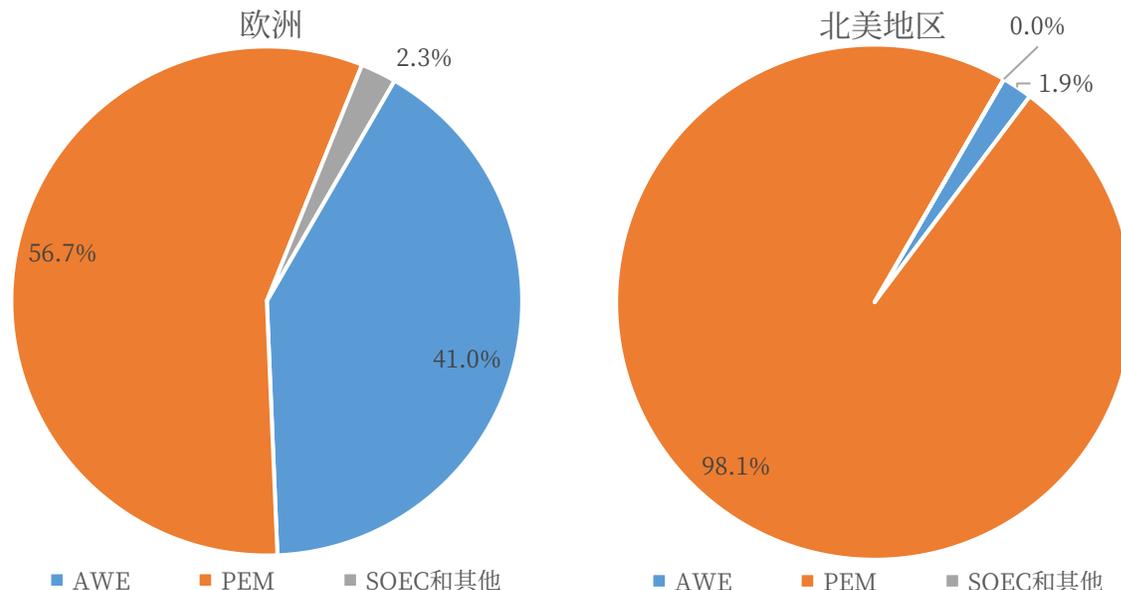
- 1) 从运行经济性、制造难度、投资强度等角度出发，稳定运行的AWE制氢经济性优势反而更明显，但PEM对于绿电和电价更有优势；
- 2) 如果电解水制氢在化工和工业等应用场景打开突破口，产业化应用成熟的AWE制氢更有希望得到快速推广；
- 3) AWE和PEM电解槽都在持续降本增效趋势，二者的制氢效率都会有不同程度的提升，但AWE设备的成本优势将保持领先。

图3-5：截至2023年底中国和亚洲地区的电解槽累计装机结构



资料来源：IEA，中航证券研究所

图3-6：截至2023年底欧洲和北美地区的电解槽累计装机结构



注：根据IEA数据库自行整理

3.2 电解槽疑问之二：四大技术路线之争，AWE与PEM谁主沉浮？

图3-7：电耗成本和折旧成本为制氢成本的两大构成（2022年）

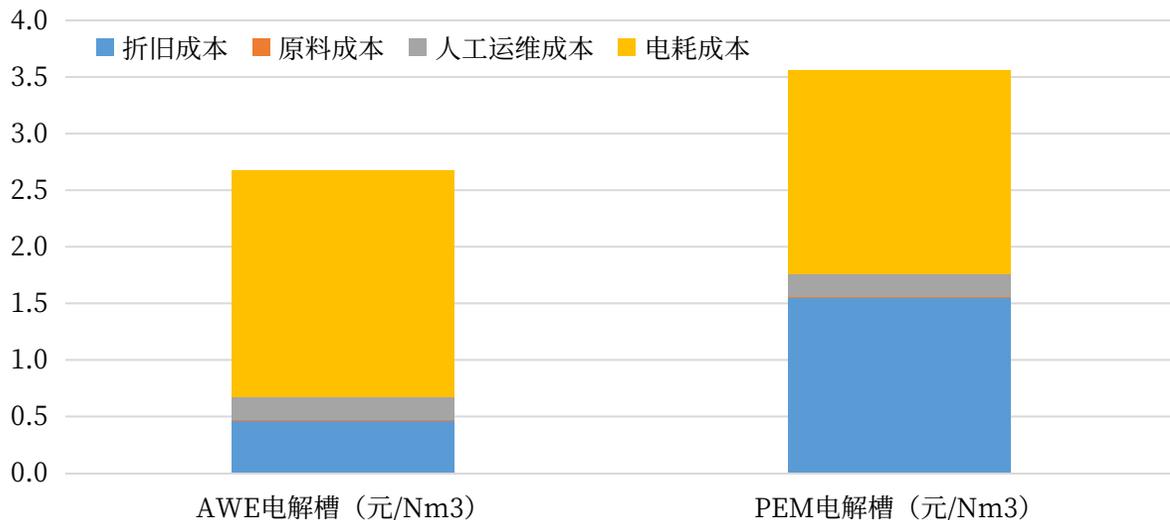


图3-8：制氢成本分析

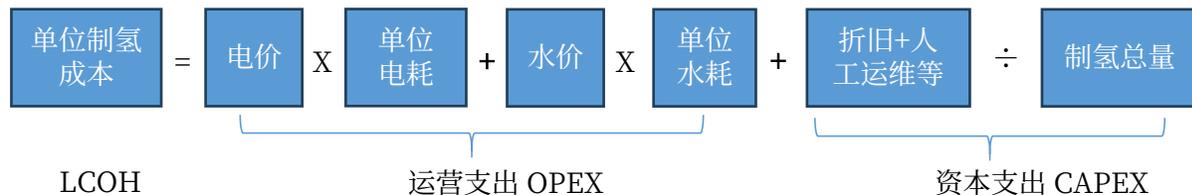


表3-7：全球AWE和PEM电解槽的价格预测

年份	AWE电解槽价格 (欧元/kW)			PEM电解槽价格 (欧元/kW)		
	海外	国内	国内/海外	海外	国内	国内/海外
2023年	955	232	24%	1202	1079	90%
2028年	668	161	24%	668	390	58%

降本为电解槽推广和商业化的必由之路，设备价格与能耗是重点。根据艾邦氢能源技术网，现阶段AWE和PEM路线的单位制氢成本分别为29.9元/kg和39.87元/kg，高于天然气、煤制氢的10~15元/kg成本。目前单位制氢成本由资本支出和运营支出两大项构成，其中设备的折旧成本和电耗成本为电解制氢成本的主要构成，而电解制氢成本与电价正相关、与设备的运行小时数负相关。降低电解水制氢成本可从以下方面着手：

- 1) 降低设备成本。①单体电解槽提升制氢规模。生产相同体积的氢气，大标方电解槽可以减少占地面积、建设成本和制氢设备的投资额。②提升设备和关键零部件、核心材料的国产化率，推动规模化生产，降低电解槽设备系统的制造成本。
- 2) 降低用电能耗和用水成本。提高电解槽的电流密度，降低电解系统的电耗，提高制氢项目的运维水平，以最大程度地降低平均电费和水费。
- 3) 提高设备的利用率。电解水制氢成本随着设备工作小时数增加而下降，提升电解设备的利用率可以降低制氢成本。
- 4) 设备重量轻量化、减少贵金属用量，降低制造和安装的难度与成本。

在设备降本方面，基于国内制造业优势、产业链国产化和规模化生产等，国内电解槽行业有望引领全球。据氢锐科技测算，全球AWE槽和PEM槽成本将继续下降；据氢锐科技，到2028年国内AWE电解槽和PEM电解槽价格将分别只有海外的24%和58%。

全球电解制氢系统的设备和安装将延续降本趋势。据Bloomberg NEF，2023~2025年国内AWE制氢系统的设备和安装成本将下降约21%，海外AWE和PEM系统的设备和安装成本将分别下降约19%和21%；国内AWE系统将保持低成本优势，在2025年仅为海外AWE制氢系统的41%。

3.2 电解槽疑问之二：四大技术路线之争，AWE与PEM谁主沉浮？

图3-14：国内AWE电解槽的制氢电耗和电密趋势

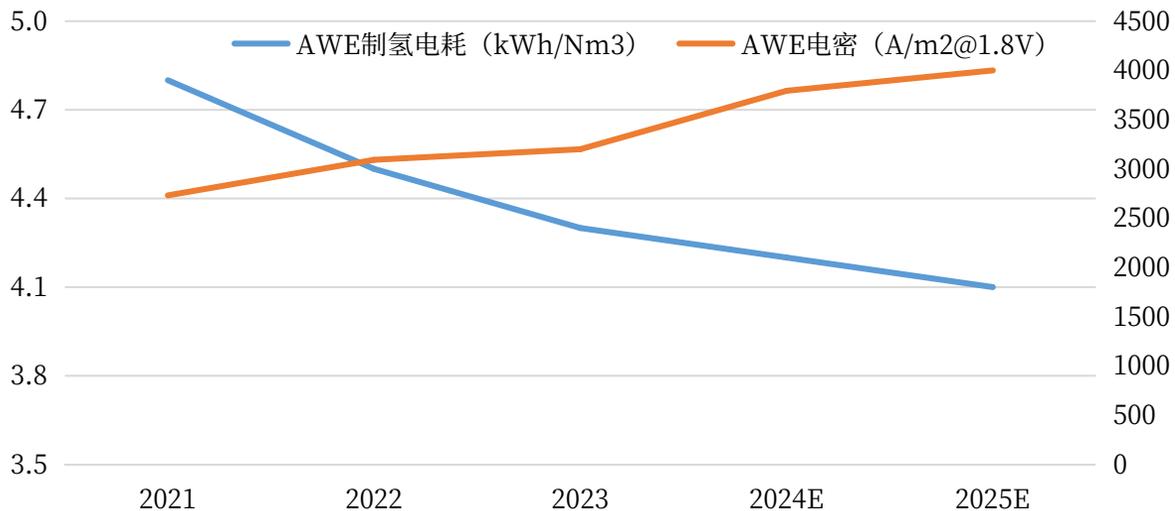
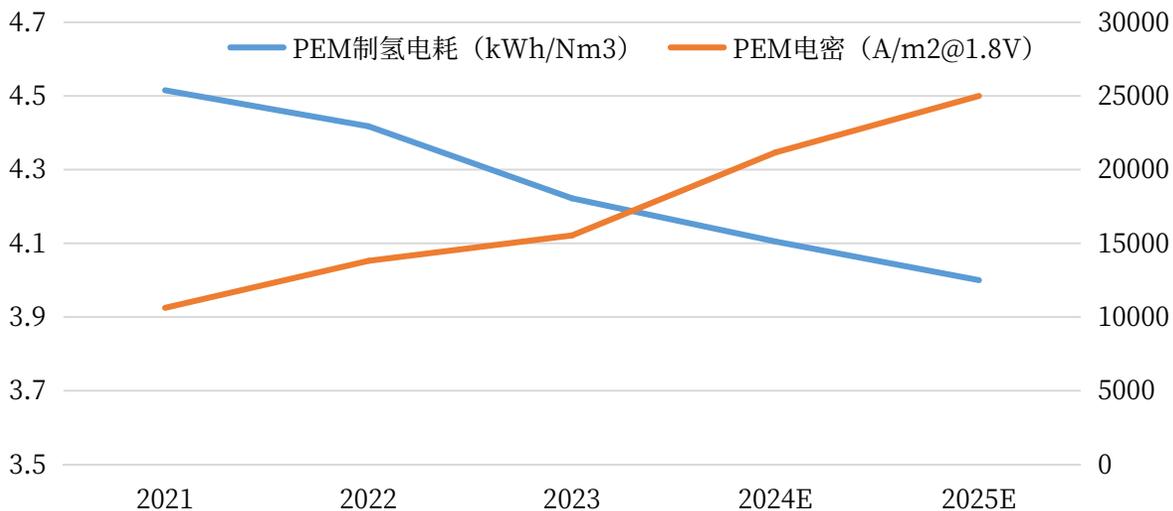


图3-15：国内PEM电解槽的制氢电耗和电密趋势



技术迭代方面，电解槽朝着大标方、高电密，低电耗，轻量化，宽负荷、快速响应、全控制等方向不断迭代：

- 1) 高电密、大标方：设备的大型化，可以在同等面积下能产生更多氢气、有效提高单体设备制氢量。电流密度主要与制氢催化剂活性、隔膜电阻等因素有关。随着高活性制氢催化剂的商业化应用，以及复合隔膜等新型核心零部件产业链的成熟，据能景氢研，1.8V电压下国产AWE电解槽的平均电流密度有望从2023年的3200A/m²提高至4000A/m²。国产PEM电解槽在性能上与海外存在差距，但随着国产电解槽设计经验的积累，以及催化剂和PEM膜等关键部件的优化。预计1.8V电压下国产PEM电解槽的平均电流密度有望提升至25000A/m²。
- 2) 低电耗：电耗成本在制氢成本中占比最大。降低制氢电耗可有效提高制氢的经济性。一般来说，在电压不变的条件下，提高电流密度，可以有效降低单位制氢功耗。据能景氢研，2023国内AWE电解槽的主要厂商额定制氢功率平均在4.3kWh/Nm³，预计到2025年AWE平均制氢电耗有望下降至4.1kWh/Nm³；国内PEM电解槽的平均制氢功耗有望在2025年下降至4.0kWh/Nm³。
- 3) 宽负荷：可再生能源具有波动性、随机性等特点，宽负荷运行甚至低负荷运行可提升电解槽的使用率和有效利用可再生电源。PEM电解槽拥有较宽的负荷调节范围(0%~160%)。相较之下，AWE电解槽由于含液态电解质和多孔隔膜的结构特征，为保证安全稳定运行，可调节负荷范围较窄。但据能景氢研，2023年国内AWE电解槽主要厂家的负荷调节范围在25%~110%，随着制氢技术的迭代预计到2025年AWE电解槽的负荷调节范围有望达到15%~110%。
- 4) 快速响应、全控制以及轻量化等：可再生能源负荷波动快，如果电解槽可以快速响应，有助于提高电能利用率。随着制氢规模的扩大，电解槽轻量化有助于减少占地面积和安装成本。

3.2 电解槽疑问之二：四大技术路线之争，AWE与PEM谁主沉浮？

图3-10：电解水制氢的单位成本与电费正相关，并随小时数增加而下降(元/Nm³)

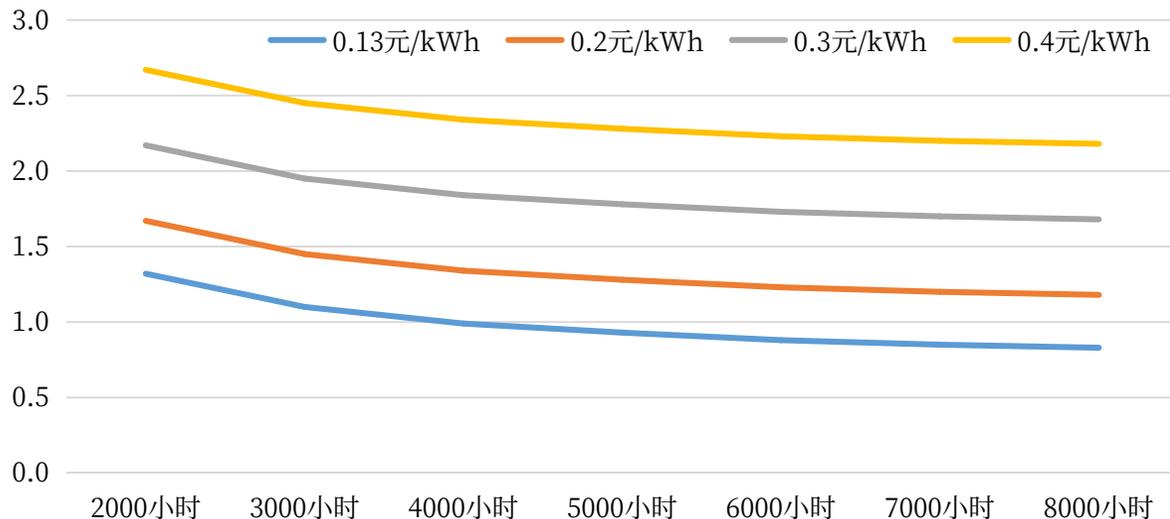


图3-11：国内AWE电解槽系统设备和EPC费用的降本趋势 (美元/KW)

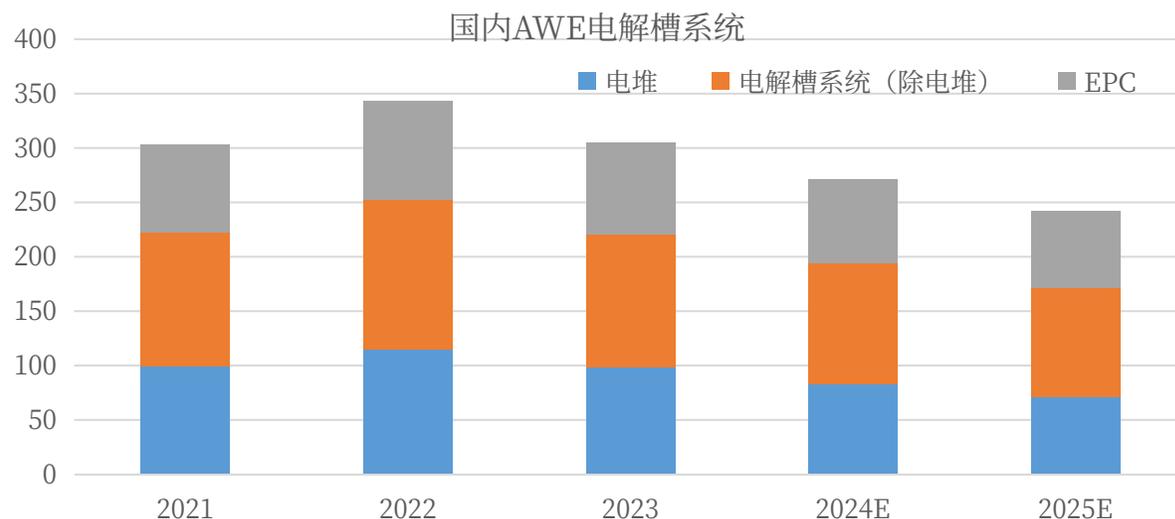


图3-12：海外PEM电解槽系统设备和EPC费用的降本趋势 (美元/KW)

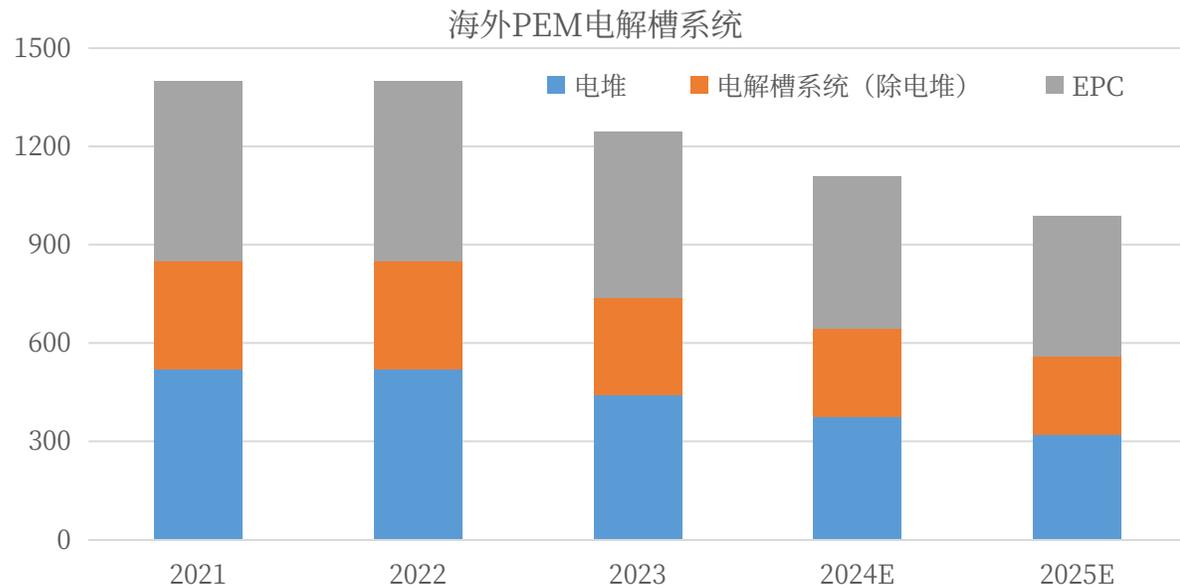
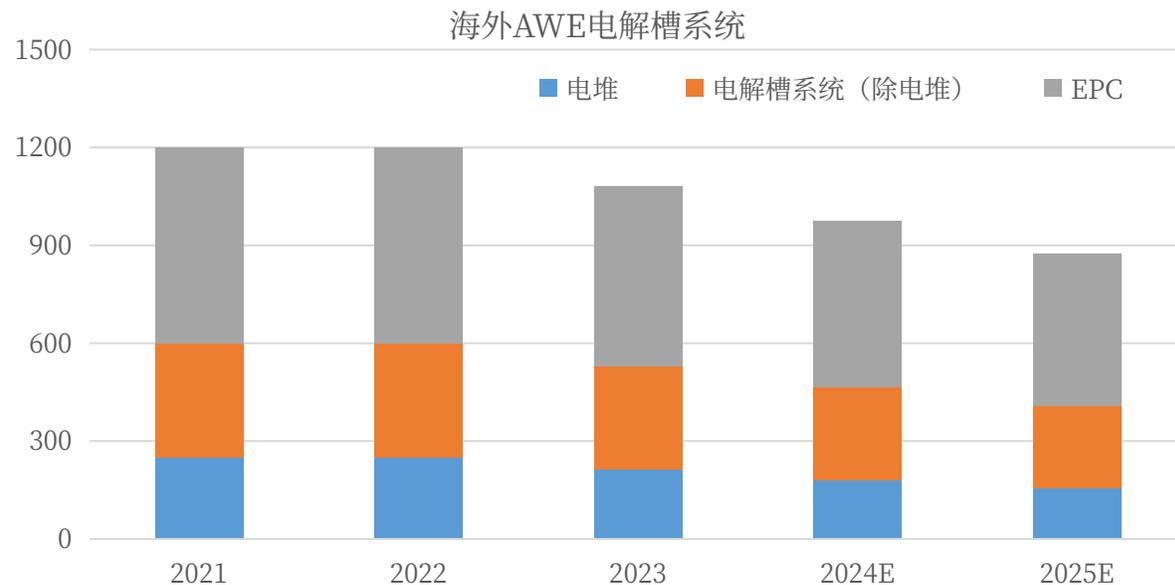


图3-13：海外AWE电解槽系统设备和EPC费用的降本趋势 (美元/KW)



3.2 电解槽疑问之二：四大技术路线之争，AWE与PEM谁主沉浮？

一、设备运行的经济性要求高，尤其是应用场景的特殊需求与电价因素

当前氢气的主要应用场景为合成氨/甲醇/炼钢等工业领域和炼化，基本均为流程工业。流程工业主要包括炼化、化工、冶金、建材、制药和食品加工等行业，通常为连续生产、伴随化学反应，普遍实现了高度自动化、并正在推进智能化、以期最终少人化。总之，流程工业企业会更青睐于连续生产、亦会对“产能利用率”极为敏感。因此，在绿氢替代灰氢的同时，能够保证生产设备24小时、满负荷运转，是用户追求的目标。

在AWE电解水生产过程中，尽管标称负荷范围为15%~110%，但低负荷时容易产生“氢中氧”或“氧中氢”的现象、导致安全隐患与产品纯度不足，因此通常希望系统运行负荷超过70%、甚至长期维持90~100%运行，由此亦可提高生产效率和降低能耗，前提是最好接入稳定电源、即网电。PEM技术的优势是0%~160%范围内稳定工作，因质子交换膜以水为溶剂只传导氢离子的特性，决定了氢气和氧气中一般只会混入水汽。由此PEM槽允许变功率运行，更适用于不稳定的绿电。但如果只用在在线绿电(风光实时发电)、会导致日内运行的功率波动过大，进而导致综合功率低于50%。目前PEM槽招标价格约5000元/KW，约为AWE槽的4.2倍，若日均运行功率PEM仅为AWE的30%~50%，则综合运营成本相差更大。而采用PEM技术希望利用风光波动电源、减少储能投资或网点接入而带来收益，显然得不偿失。

国内的电力价格大致有直接发电成本、国网费用以及峰谷价差等构成，因此离网绿电的成本将显著低于网电。如果为了提高PEM的利用率，“离网绿电+网电”和“离网绿电+离网储能”两种方式将纳入考虑。前者无需新增储能设备投资，但网电价格较高、且需要专门审批能耗指标；后者可以充分利用低价的绿电，但2~4h的储能投资金额较高、且仍难以满足全天候用电需求，即最终PEM槽仍然可能在夜间保持非常低功率运行、甚至停机。大型设备的频繁启停，或将带来寿命的折损、导致后期设备维护成本增加。若少了中国企业的规模化生产能力，行业整体降本、加速推广则无从谈起。

我们认为中期内电解槽的主要应用场景为配合工业原材料和辅料环节的应用，因此需要适应流程工业的连续生产需求，而不是单纯考虑消纳风光所发的电，因此可以实现大功率生产、连续生产的装备将更加适应未来需求。应用场景(石油炼化与煤化工的灰氢逐步转绿氢)方面国内也有非常大优势，将助力碱性槽快速推广。

二、生产成本与制造难度决定了技术成熟度和固定资产投资强度差异

- 1) 从膜材料、贵金属催化剂和电极材料角度观察，在同为国外供应商采购的情况下，AWE技术采用原材料价格显著低于PEM技术。
- 2) 国产化进度方面，AWE全产业链可以实现国产化，同时随着国内应用场景和示范项目增加而日趋完善，参考其他行业经验，一旦开启全面国产化的领域后成本会加速下降。相比之下，PEM膜、催化剂的涂覆工艺和少铂(钌、铱)化技术等，国内与国外差距较大。
- 3) 国内制造能力强大。不论是结构件、密封件等通用零部件供应能力，还是装配制造的熟练技工与机电工程师的数量，国内均占明显优势。在需求爆增或者技术、成本取得快速突破后，可以快速组织团队进行大批量生产。显然AWE技术更符合此类情况。
- 4) 应用场景有差异，决定了国内外技术路线的选择有区别。比如欧美项目采购的单体设备规模普遍小于国内，因此总的资本投入少、能够承受高单价。但随着众多流程工业项目因能源与原材料成本高企而迁出欧洲，未来亚洲落地的项目可能会提高AWE槽的采购比例。

3.2 电解槽疑问之二：四大技术路线之争，AWE与PEM谁主沉浮？

三、产品设计复杂，但AWE与PEM未来相互借鉴、相互融合的可能性也在提高

- 1) PEM需要减少贵金属使用，但AWE在达到一定规格后反而会需要(增加)使用一定的贵金属，以提高电解水的生产效率。
- 2) 电源、氢气提纯装置、压缩机、等辅机设备大部分可以通用，因此不论二者谁先放量，都会为另一技术路线带来系统降本效应。
- 3) 目前PEM主要为方形、AWE基本为圆形结构，未来大标方的PEM槽也会借鉴圆形结构。AWE为圆形结构，主要是考虑到气体流动的规律和电机与催化剂的工作效率，以及结构件的加工效率与精度；PEM为方形主要因为气流方向和PEM膜单价较高、需要提升膜的利用率。

从机械加工的角度出发，不同的电解小室串联堆叠的结构会对相邻的零件提出尺寸精度、表面粗糙度、平面度以及圆度等要求。铣床或加工中心的加工精度通常为0.02mm/1000mm，大型立式车床(大立车)的加工精度通常为0.02~0.03/1000mm。目前AWE槽大量采用直径2000mm、宽度100mm以下的圆环结构，采用加工中心的平面度可能达到0.04~0.05mm，而大立车的平面度可以控制在0.02mm以内；而目前PEM槽的普遍尺寸不超过800mm*800mm、可以使用加工中心进行大面积的插补加工，精度可以保证在0.02mm的整体平面度误差，但随着未来PEM槽的功率规格提高、则结构尺寸也会增加、整体平面度将达到或超过0.05mm。显然，当零件精度更高则更有利于控制整体装配精度。

综上，随着国产化程度提高，我们认为现阶段、以及未来5年内，AWE技术的降本会加速、国内和全球推广都将加速，当然也可能容易招致贸易壁垒、与国外同行的合作共赢可能成为必然选择；而PEM技术更适合在小型项目采用，或者在一个大项目中作为配套子项目与AWE搭配使用。

四、未来趋势预测

- 1) 未来5年主要的氢能应用场景为化工和冶炼行业的灰氢、蓝氢换绿氢，氢能汽车和民用冷热电联供等场景尚需时日。“电-氢-电”的储能模式和“电-氢-氨/甲醇/甲烷”的化工模式都有可能快速推广，“电-氢-热能/动力”的民用场景相对较慢。
- 2) 设备采购价格、预期的产能利用率(开机小时数)、运行维护成本等设备制造商可以优化的方面至关重要，而电价因素同样不可忽略。因此，AWE在大多数场景下的设备售价、连续开机与运行功率情况(网电充足条件下)、技术成熟度等方面都占有优势，在特殊的离网绿电项目上PEM设备可以发挥耐波动电源和低电价的优点。因此，我们认为未来与绿电相关(不论绿电比例占比多少)的电解水项目，80~95%的AWE槽+5~20%的PEM槽是理想商业模式，可以兼顾两条技术路线的优点。
- 3) 随着技术成熟度不断提高，大标方、高电密、低功耗等与电解槽设备运营成本密切相关的指标将持续优化，设备性能将在不断新增的示范项目、商业化项目中不断验证、提高。
- 4) 氢能汽车产业大约5年后会进入蓬勃发展期，同时居民管道气掺氢的比例也会大幅提升，届时对于城市内“分布式”制氢的需求将增加，低成本、小标方的PEM槽或将面临需求增长的临界点。
- 5) 产能过剩的问题也需要得到重视，但短期内以大型化工/冶炼企业为主的模式会筛选掉产品力不足、研发与服务能力差的企业。

1. 氢能优势与氢源

2. 电解槽技术分析

3. 电解槽两大疑问

4. 重点公司

4.1 需求引擎：中国石化

中国石化是中国最大的成品油和石化产品供应商，世界第一大炼油公司、第二大化工公司、拥有加油站总数位居世界第二。2023年营业收入3.2万亿元、同比-3.2%，归母净利润604.6亿、同比-9.9%。公司年产氢和用氢量均约445万吨，是全国最大的氢生产与利用主体，在氢能产业链涉及的关键材料和基本化学品方面具有优势。公司将氢能作为新能源的核心业务，努力构建规模最大、科技领先、管理一流的中国第一氢能公司。

公司氢能业务2050年发展愿景：①氢能交通领域，保持加氢站数量、加氢能力全国最大；氢气来源100%来自非化石能源；形成功能齐全、遍布全国的低碳交通能源供应网络，助力国家道路交通领域实现碳中和。②绿氢炼化：炼化企业用氢100%来自于蓝氢和非化石能源制氢，通过绿氢炼化助力中国石化高质量完成碳中和目标。

1) 在氢能产业应用投资全面开花，示范项目引领全国

在制氢端，中国石化新疆库车绿氢示范项目于2023年6月投产，作为国内首个万吨级光伏制氢项目，设计年产氢量达2万吨、产氢纯度99.9%，生产的氢气将就近供应中国石化塔城炼化。该项目将为国内绿氢工业化应用提供样板。

在储运端，2023年4月公司启动“西氢东送”输氢管道示范工程，起点是内蒙古乌兰察布，终点是北京的燕山石化，经过内蒙古、河北、北京等3省9县，全长400公里。管道一期运力10万吨/年，预留50万吨/年的远期提升潜力，是国内首条跨省区、大规模、长距离的纯氢输送管道。

在加氢站和氢能供给方面，公司目前是全球最大的加氢站运营单一企业，截至2023年底累计发展加氢站128座，供氢量占全国40%左右，2023年加氢量为3471万吨、同比+100%。结合“3+2”氢燃料电池示范城市群加氢站用氢需求，截至2023年末，已累计在11家企业成立氢燃料电池供氢中心，总供氢能力达2.9万立/时。2023年车用高纯氢产量为2112吨，同比+25%。

2) 结合自身优势，全方位投融资布局氢能产业链

中国石化通过设立子公司、合资公司、参股重点企业等方式全方位布局氢能产业链，并结合自身的资金、技术和资源优势，积极以现有业务体系为基础拓展氢能装备、材料、运营和服务等领域。此外，公司与法国液化空气、隆基、美锦能源等国内外知名企业在氢能等领域达成合作。

在制氢装备环节，子公司石化机械成功研制AWE和PEM电解槽等设备，与美国康明斯合作设立合资公司康明斯恩泽、引进先进的PEM制氢技术。全资子公司中国石化新星负责运营主要绿氢项目，并着眼于绿氢炼化、绿氢交通两大下游应用领域。

在储氢环节，公司通过参股中科富海、浙江蓝能布局低温制冷装备和长管拖车、高压管束集装箱等装备。

在加氢站环节，公司参股加氢站集成设备商海德利森、舜华新能源等公司，并与东方电气成立合资公司布局加氢站运营业务。

在基础材料环节，全资子公司中国石化(天津)负责生产加氢载体基础材料等催化剂产品。在氢能应用环节，公司参股燃料电池企业上海重塑。

图4-1：中石化营收、净利润及增速(亿元)

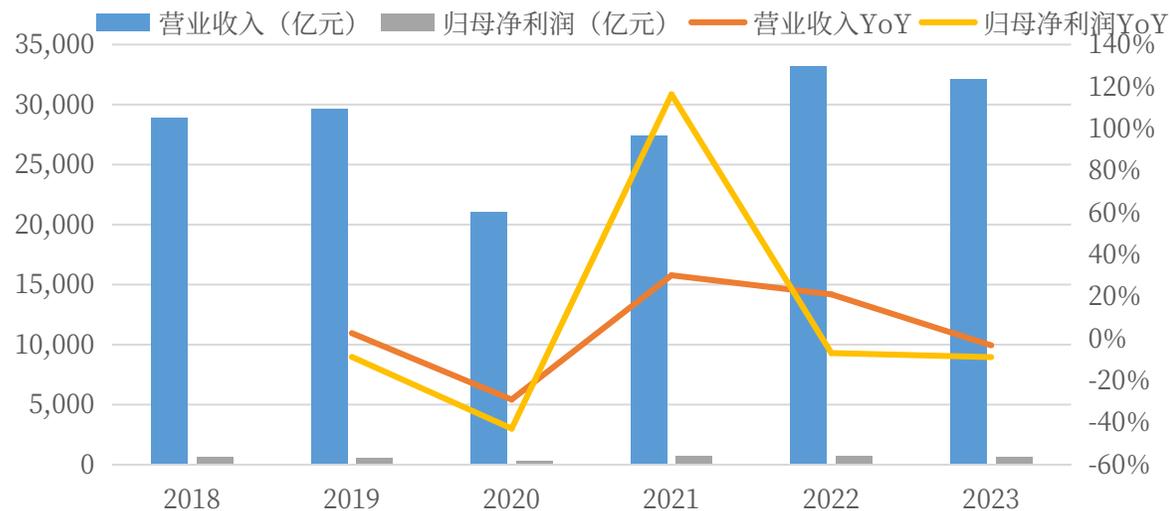


表4-1：中石化纯氢管道概览

项目	时间	状态	长度 (公里)	输氢量 (万吨/年)	管径	设计压力	地点
金陵-扬子氢气管道	2008年建成	已建成	32	4	325mm	4MPa	江苏省
巴陵-长岭输氢管道	2014年建成	已建成	42	4.42	457mm	4MPa	湖南省
乌兰察布陆上风电制氢一体化工程和输氢管道	2022年12月披露消息	推进中	400	10	/	/	内蒙古

表4-2：中国石化在氢能产业链的投资布局

产业链	制氢装备		制绿氢项目			储氢装备		加氢站装备		加氢站运营	燃料电池系统	催化剂材料	
公司简称	石化机械 000852.SH	康明斯恩泽 (广东) 氢能源科技	中石化新星 (内蒙古) 西氢东送新能源	中石化新星 内蒙古 绿氢新能源	中石化新星 新疆 绿氢新能源	北京中科富海	浙江蓝能氢能	北京海德利森	舜华新能源	东方电气石化氢能(江西)	上海重塑	中石化催化剂 (天津)	
主要产品/项目	AWE、PEM电解槽，加氢关键设备，制氢与加氢解决方案		PEM电解槽	乌兰察布10万吨/年风光制氢一体化项目	鄂尔多斯市风光融合绿氢示范项目	中石化库车绿氢示范项目	低温制冷装备、氢液化装置	长管拖车、高压管束集装箱	加氢站核心设备	加氢站核心设备	加氢站运营	32~220KW燃料电池系统	催化剂
投资主体	中国石化集团	中石化资本	中石化新星石油公司	中石化新星石油公司	中石化新星石油公司	中石化资本	中石化资本	中国石化恩泽基金	中石化资本	中石化销售公司(与东方电气联合成立)	中石化资本	中石化催化剂有限公司	
持股比例	51.10%	50%	100%	100%	100%	2.70%	/	12.90%	10%	49%	14.30%	100%	

资料来源：公司公告，金联创氢能，中航证券研究所

4.1 需求引擎：中国石油

中国石油(601857.SH)专注于陆地油气勘探、开采、运输与销售，2023年营收3.0万亿元、同比-7.0%，归母净利润1611亿、同比+8.0%。公司提出要做“油气电热氢”综合能源企业，计划到2025年新能源产能占国内能源供应能力的7%；力争到2035年新能源新业务与油气业务三分天下；力争到2050年新能源新业务产能占公司半壁江山。近年来，中国石油重点发力多元化制氢、低成本高效储运氢等内容，致力打造国内领先的氢能供应商、贸易商、服务商，发力氢能全产业链。

- 1) 制氢项目：在玉门油田、吐哈油田、喇嘛甸油田、新疆油田等地部署可再生能源制氢项目，2024年3月玉门油田投运首个规模化可再生能源制氢项目。
- 2) 制氢装备：全资子公司宝石机械于2023年5月下线1200Nm³/h AWE电解槽；下属石油化工研究院成功开发PEM电解槽，并批量化生产PEM电解水用催化剂，实现核心技术自主可控。
- 3) 储运项目：公司的管道设计/建设/运营经验丰富，规划和建设了国内数量最多的输氢管道，“一横一纵三支”北方氢能大管网计划正有序推进。
- 4) 加氢站投资与运营：油气企业均具有成熟的气液氢储运和危化品储运管理资质及完善的销售系统。截至2023年底公司累计建成21座加氢站、计划到2024年底加氢站数量达到50座。

表4-3：中国石油的输氢管道概览

类型	项目	时间	状态	长度	输氢量	管径	设计压力	地点
纯氢管道	济源-洛阳输氢管道	2015.8建成	已建成	25km	10.04万吨/年	508mm	4MPa	河南省
	定州-高碑店氢气管道	2021.6启动	推进中	164.7km	10万吨/年	508mm	4MPa	河北省
	玉门油田2022年水电厂氢气输送管道	2022.8建成	已建成	5.77km	1万标方/小时	200mm	2.5MPa	甘肃省
	山东100公里纯氢管网示范	2023.1披露消息	推进中	100km	/	/	/	山东省
掺氢管道	达茂一工业区氢气管道工程	2020.7启动	推进中	160km	一期、二期分别为10、30万吨/年	610mm	6.3MPa	内蒙古
	广东海底掺氢管道	/	推进中	55km	40亿立方/年	610mm	4MPa	广东省
	宁夏宁东天然气掺氢降碳示范化工程	2022.10	已建成	7.4km	/	/	/	宁夏
	陕宁一线掺氢示范项目	2022.9建成	已建成	97km	一期、二期分别为4.2、11.7万吨/年	323.9mm	4MPa	/

表4-4：中国石油投资的制氢项目概览

项目名称	项目进展	项目概况
玉门油田可再生能源制氢示范项目	2024年3月投运	建成了包含3套1000标准立方米/小时碱性电解槽和1套质子交换膜的制氢站，年产氢能力达2100吨。
吐哈油田绿电制氢项目	2023年9月投运	制氢试验装置的总负荷为6兆瓦，所耗电能均由吐哈油田120兆瓦“源网荷储”一体化项目所发绿电供应
喇嘛甸油田低碳示范区绿电制氢试验工程项目	2024年2月获备案	项目由大庆油田有限责任公司天然气分公司投资2710.7万元，新建1000Nm ³ /h制氢装置一套，配套建设制氢装置厂房，6kV供电线路和除盐水装置，产出的氢气通过新建厂区氢气管网输至喇二浅冷站外输气阀组进行掺氢试验。
中石油乌兰察布兴和县风光发电制氢合成氨一体化项目	2023年1月获批	该项目总投资41.39亿元，将建设风电350MW，光伏150MW；年制氢能力25700吨，用于合成氨、尿素
鄂尔多斯苏里格“风光气储氢一体化”示范项目	2023年5月入选内蒙古自治区第三批风光基地项目清单	/
中国石油蓝海新材料有限责任公司高端聚烯烃新材料项目	2024年1月环评公示	拟建设20万吨/年FDPE装置、5万吨/年乙丙橡胶装置10万吨/年POE装置、10万吨/年1-己烯/1-辛烯装置、2000Nm ³ /h电解水制氢装置及配套公用工程、辅助设施。
新疆油田风光气储氢一体化项目	2023年9月编制可行性研究报告。	建100万千瓦光伏发电，采用新能源发电+网电+多套电解槽模式制氢3.4万吨/年。

资料来源：公司公告，国际氢能网，中航证券研究所

4.1 需求引擎：国家电投

国家电投是国内同时拥有火电、水电、核电及可再生能源资源的综合能源央企集团。近年来，国家电投积极布局氢能产业，重点推进可再生能源发电与绿电制氢协同发展，推进可再生能源制氢装备及燃料电池相关技术的自主研发与产业化，稳步推进氢能技术创新和示范项目建设。目前，国家电投已形成了氢能技术创新、生产制造、市场开发的全链条产业能力。

吉电股份(000875.SZ)是国家电投旗下绿电公司，以新能源、综合智慧能源、氢能、先进储能及火电、供热、生物质能、电站服务为主营业务。公司的氢能业务主要布局：提供稳定的绿氢源、提供“氢基绿色能源”等应用端市场、以长春-白城打造“两大基地一条走廊”。

国氢科技是国家电投旗下实施氢能产业科技创新的平台，主要从事氢燃料电池研发与制造、多应用场景氢动力系统开发、先进制储氢技术研发、氢安全技术研发与检测检验平台建设等氢能产业技术创新，在浙江、湖北、吉林、山东、广东等地设立氢能生产基地。

国氢科技的产品涵盖制氢装备、氢燃料电池及其核心部件全产业链：1) 制氢装备方面，拥有长春绿动(PEM电解槽及核心材料)、武汉绿动(氢燃料电池、PEM电解槽及核心材料)等子公司，实现了高性能大型PEM制氢装备和材料的突破，下线“氢涌”兆瓦级PEM电解槽等产品，并将应用于大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目。2) 氢燃料电池及应用端方面，在华中和华东氢能产业基地，已拥有质子交换膜、膜电极、碳纸、气钛基双极板、电堆及系统等核心部件的生产线，并自主研发出“氢腾”系列氢燃料电池。

表4-5：国电投的制氢项目

项目名称	项目内容	项目进度
大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目	项目总投资约63亿元。新能源装机80万千瓦（其中：风电70万千瓦，光伏10万千瓦），3.2万吨/年制绿氢、18万吨/年制绿。	一期预计于2024年投产
“氢绿龙江”齐齐哈尔百万吨级氢能综合利用示范基地项目	总投资约359亿元，项目规划建设352.5万千瓦离网风电、16.4万吨/年制氢系统，年产30万吨绿色甲醇、40万吨绿色航煤。	2024年3月开工
梨树风光制绿氢生物质耦合绿色甲醇项目	年产20万吨精甲醇，生物质气化装置，43200Nm ³ /h的电解水制氢装置（其中碱液电解槽37套1000Nm ³ /h、PEM电解槽45套200Nm ³ /h）	计划2024年3月-2025年12月开工
大安风光制绿氢生物质耦合绿色甲醇项目	项目年制绿氢能力2.5万吨，年产20万吨甲醇，建设碱液制氢厂房及变电所2间共4800平方米，PEM制氢厂房及变电所1间2400平方米，安装碱液制氢设备3套+PEM制氢设备2套，制氢能力5400Nm ³ /h。	计划2024年12月-2025年12月开工
中国电力通辽风光制氢融合甲醇一体化示范项目	绿电制氢及生产绿色甲醇，建成5.9GW风电及0.7GW光伏，配套电化学储能(容量为新能源装机的15%，时长4h、100MW/400MWh)、制氢装置(设计制氢能力2.62万吨/年)、储氢设施、一套生物质气化装置、一套甲醇合成装置(30万吨级/年)、相应辅助设施等。	2024年3月可研报告编制、项目勘测服务招标
青海海西州德令哈市光氢储燃一体化示范项目	新能源绿电制氢，通过纯氢燃机发电实现电网调峰，规划建设新能源发电20GW、电化学储能65MW/65MWh、制氢2.6万Nm ³ /h、储氢57.6万Nm ³ 及1套38MW纯氢燃机联合循环发电调峰机组	2024年4月可研报告招标

资料来源：公司公告，高工氢电，中航证券研究所

表4-6：国氢科技氢能生产基地

地区	公司名称	注册时间	注册资本	产能产线
	宁波绿动燃料电池	2019.7	6000万元	华东氢能产业基地，制造燃料电池双极板、电堆、动力系统
浙江	宁波氢远能源材料	2019.12	3000万元	燃料电池金属双极板及配件的制造、加工、检测及销售
	宁波绿动氢能研究院	2020.9	5000万元	开展新兴能源技术研发，电池制造与销售
湖北	武汉绿动氢能能源	2020.7	8000万元	华中氢能产业基地，质子交换膜、膜电极、碳纸、电堆及燃料电池系统及电解水制氢关键设备的研发和生产。
吉林	长春绿动氢能科技	2021.11	8亿元	燃料电池质子交换膜、电解水先进制氢设备研发、制造。
山东	济南绿动氢能科技	2021.12	1亿元	黄河流域氢能产业基地，固定式供能燃料电池、空冷燃料电池、车用燃料电池系统等产品的中试生产和研发，年产1000台套固定式供能燃料电池、1000台套空冷燃料电池、1000台套车用燃料电池系统生产需求。
广东	佛山绿动氢能科技	2022.4	1亿元	建设华南氢能产业基地，开展膜材料碳纸、燃料电池、动力系统生产线和燃料电池关键技术及产品研发。年产30万m质子交换膜，可装备2万辆氢燃料电池汽车。

4.1 需求引擎：中国能建

中国能建是全球特大型能源电力集团，提供系统性、一体化、全周期的发电与基础设施方案和服务，2023年营收4060亿元、同比+10.8%，归母净利润79.9亿元、同比+2.1%。全资子公司能建氢能是中国能建氢能业务的平台公司，覆盖氢能制、储、运、加、用、研等全产业链各个环节。

- 1) 制氢项目：自2023年以来，中国能建至少签订了13个项目，总投资规模接近1500亿元。
- 2) 制氢设备：电解槽技术路径包括AWE和PEM电解槽，并布局海水电解槽。旗下的北京电力设备总厂于2023年10月下线1500Nm³/h的碱性电解槽，特点在于采用自研催化剂、能耗低、高效热启动等，并建成国内首座标8MW级碱性电解水制氢试验通用检测平台。
- 3) 储氢技术：能建氢能与北京大学开展技术合作，与佛山清德氢能源科技公司签约松原氢能产业园(绿色氢氨醇一体化)项目的安全低成本储氢关键技术开发合作项目，拟使用有机液态储运氢系统和固态储氢技术，以实现安全低成本的有机液态储运和固态储氢技术与项目场景结合的商业化。
- 4) 加氢站投资与运营：依托绿电制氢项目，中国能建已经参与及规划多座加氢站的建设。比如，完成了全国第一座商用液氢综合加能站的设计，并申报了国内首个商用氢气液化工程。中能建安徽院设计的安徽六安兆瓦级氢能综合利用示范站已于2022年7月正式投运。
- 5) 海外合作：中国能建基于自身能源工程服务优势，与多个国家或地区的企业签署氢能相关工程展开合作。2023年中国能建先后与沙特阿吉兰兄弟公司、摩洛哥盖亚能源公司、沙特阿尔朱美亚控股集团签署合作备忘录。

表4-7：中国能建绿色制氢项目情况

时间	项目名称	具体内容
2023.1	乌拉特中旗风光制氢制氨综合示范项目	总投资23.15亿元，建设210MW风电、50MW光伏、39MW/1h电化学储能，预计年生产绿氢1万吨、绿氨5.7万吨。
2023.3	甘肃酒泉风光氢储及氢能综合利用一体化示范项目	总投资约76.25亿元，拟建设年产1.7万吨氢、3.9万吨合成氨的氢能综合利用项目。项目分两期建设。其中，一期(本期)投资额39.2亿元，建设内容包含新能源255MW、年产绿氢7000t、年产液氢330t/a、年产合成氨9000~20000t/a，并配套建设300MW新能源上网竞配项目
2023.4	巴林左旗绿色氢基化工基地示范项目	总投资50亿元，主要建设年产2万吨电解水制氢设施、年产10万吨低压合成氨装置和综合加能站。2023年4月签约。
2023.5	石家庄光伏制氢及氢能配套产业项目	总投资32亿元，涵盖电解水制氢、综合加能站以及风电光伏等，并致力于推动氢能研究院的组建与运营及氢燃料电池汽车的推广。2023年8月备案。
2023.6	松原氢能产业园(绿色氢氨醇一体化)项目	总投资296亿，规划年产绿氢11万吨，绿氨/醇60万吨，配套建设电解槽装备制造生产线、综合加能站，设立氢能研究院，基本涵盖氢能全产业链条。项目一期建设内容包括：800MW风电光伏新能源、年产4.5万吨电解水制氢装置、20万吨级柔性合成氨装置和2万吨绿色甲醇装置。项目2023年6月获批，9月正式开工建设。
2023.7	中能建兰州新区绿电制氢氨项目	总投资12.3亿元，建设规模为电解水制氢生产能力15000Nm ³ /h，氢气产量8000吨/年(其中1650吨用于生产合成氨，6350吨外售)，合成氨产量9000吨年。项目2023年7月签约，11月EPC招标。
2023.8	中能建张掖光储氢热综合应用示范项目	总投资约44亿元人民币，一期项目以5MW自备光伏电站作为电源，离网发电全部用于电解水制氢，每年将约800万度电就地转化为高纯氢气150吨，二期建成后形成每年3000吨绿氢、2万吨绿色合成氨产能。2023年8月投运。
2023.9	中能建张掖绿氢合成氨一体化示范项目	总投资4.8亿元，建设4000标方每小时电解水制氢站、年产约1.6万吨合成氨工厂以及相关附属设施。2023年9开工。
2023.9	中能建双鸭山市百万吨级绿色甲醇生产基地项目	总投资168亿元，建设年产100万吨绿色甲醇生产基地，一期先行建设年产30万吨生物质气化耦合绿氢制绿色甲醇示范项目。2023年9月签约。
2023.10	中能建辽宁营口风电制氢复一体化项目	总规划拟投资104.6亿元，分两期，建设年产3.6万吨电解水制氢项目20万吨绿氢制绿氨项目。2023年10月签约。
2023.11	中能建赤峰市风光氨醇一体化及氢能配套产业项目	总投资266亿元，主要建设年产11万吨电解水制氢设施、年产48万吨绿色合成氨装置、年产12万吨绿色甲醇装置、年产100台套电解装备生产线。2023年11月签约。
2024.1	哈尔滨市双城区风光氨醇一体化项目	总投资300亿元，涵盖制氢、加氢、氢能化工、氢能装备全产业链条，2024年1月签约。
2024.3	绿色甲醇与绿色航煤一体化项目	总投资约120亿元、在吉林市投资建设年产20万吨绿色甲醇和10万吨绿色航煤，是融合氢能、生物质能、绿色化工等先进技术的一体化项目。

资料来源：公司公告，高工氢电，中航证券研究所

4.2 国产装备：石化机械

石化机械(000852.SH)控股股东为中国石化，主要经营油气开采高端装备、油气集输装备、氢能装备等，是中国石化下属主要装备制造基地。其中，钻头钻具、井下作业工具、固井压裂装备、修井装备处于国际先进水平，压缩机、钢管等油气集输装备为国内领先水平，钻井装备处于国内第一方阵。2019~2023年公司营收CAGR为6.3%，主要下游应用领域为油气服务业。基于技术、制造能力的优势和市场资源的积累，公司的油气服务设备业务有望受益于全球油服市场扩张、国内非常规油气开采力度加大，以及公司募投项目的逐步达产。

2021年氢能装备分公司成立，主要产品涵盖制氢、加氢、储运等关键环节装备的研制与服务，实现年产加氢装备25套的生产规模。氢能装备产品线包括AWE电解槽、PEM电解槽等制氢装备，及氢气压缩机、加氢机、站控系统等加氢设备，并能够提供氢储运、制氢等服务或解决方案。研发成果方面，公司投入运行国内首座氨制氢加氢一体站装备、试验完成90MPa液驱式氢气压缩机、试制成功输氢钢管。

公司2023年氢能业务亮眼，新增氢能装备订单6300万元、同比+209%。其中：1) 制氢设备方面，实现碱性和PEM电解槽制氢设备订单零突破；2) 加氢设备方面，建设8座加氢站、供应设备与提供后续服务，累计加氢量超过2000kg；3) 供氢设备方面，中标大排量隔膜式氢压缩机。

依托中国石化的赋能以及其在氢能全产业链的布局，叠加氢能产业规模增长潜力的释放，公司的氢能业务有望充分受益。

图4-2：石化机械营收构成(亿元)

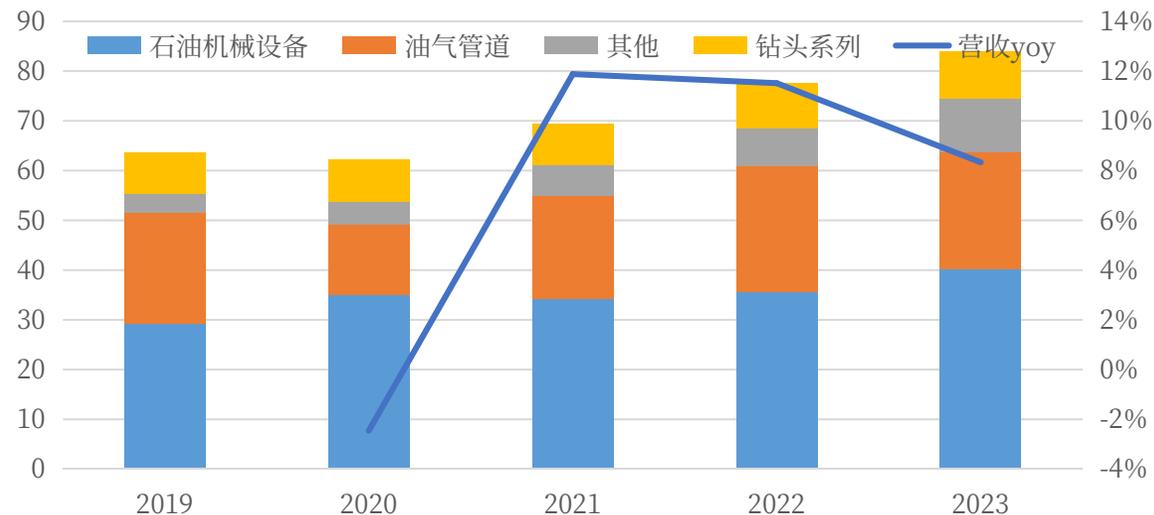


表4-8：石化机械氢能产品线、解决方案、研发成果

环节	产品	服务或解决方案	研发成果
储运	氢气压缩机	加氢站解决方案	试验完成国内首台90MPa液驱式氢压缩机
	加氢机	制氢加氢一体化解决方案	投入运行国内首座氨制氢加氢一体站装备
	站控系统	大排量充装解决方案	试制成功输氢钢管
	其他加氢站关键设备	车载供氢系统解决方案	
制氢	碱水制氢关键装备	兆瓦级PEM制氢解决方案	方形AWE电解槽
	PEM制氢关键装备	绿电碱水制氢解决方案	

4.2 国产装备：中集安瑞科

中集安瑞科依托核心的压力容器与温控技术发展成为清洁能源、化工环境、液态食品三大领域的领先企业，并通过收并购优质资产成为一家全球化经营的企业，海内外市场营收占比相当。公司2023营收236.3亿元、同比+20.5%，归母净利润11.1亿元、同比+5.6%，2019年~2023年营收和归母净利润CAGR分别约15%和5%，主要源于化工环境、液态食品业务的全球化扩张，以及清洁能源业务布局和运营的深化。

中集安瑞科的氢能产品线覆盖制、储、运、加、应用等全产业链环节。在石家庄、南通、廊坊、张家港、启东，中集安瑞科设有五大氢能装备生产制造基地。依托LNG&压力容器技术的延伸，产品线包括甲醇/焦炉煤气/电解水制氢装备、氢气管束运输车、氢气储罐、加氢站、III型和IV型车载储氢瓶及供氢系统、热电联供解决方案，基本涵盖各压力等级和应用场景。中集安瑞科与Hexagon Purus、鞍钢股份、大连物化所等多家细分龙头企业和研究机构合作。同时注重研发和自主突破，在加氢站的核心设备压缩机、制氢装备、储运氢装备等领域不断取得研发成果。

随着全球氢能产业的升温，近年来中集安瑞科氢能业务订单量倍增。2020~2023年公司氢能业务收入的CAGR达76.5%，2023年营收/新增订单分别7亿元(+59.0%)和8.3亿元(+36.7%)均创新高，订单构成以氢储运装备为主。未来公司在氢能业务有望持续受益于全球氢能产业景气度上行。

图4-3：中集安瑞科氢能业务的营收

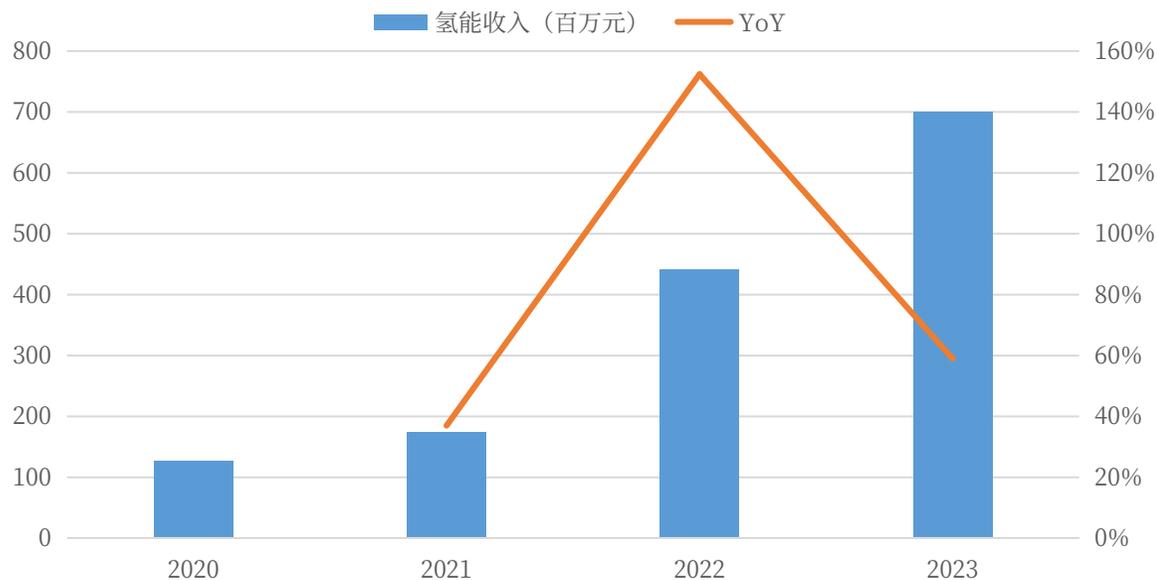


表4-9：中集安瑞科氢能业务的布局

环节	产品或工程服务	研发成果	外部合作
制氢	碱性电解槽； 焦炉气制氢示范项目	下线1200Nm ³ /h碱性电解槽； 下线撬装甲醇制氢设备	与鞍钢股份成立合资公司，利用焦炉煤气制LNG联产氢气
储氢	氢气管束运输车； 氢气储罐； III型、IV型车载储氢瓶	下线国内首台30MPa氢气管束式集装箱，99/103MPa站用储氢瓶组，并实现批量交付； 下线首台40立方米商用液氢罐车和40英尺液氢罐箱	与Hexagon Purus成立氢能合资公司，国产化全球领先的IV型车载储氢瓶，生产基地已于2024年3月完成建设。
加氢	加氢站； 加氢站的核心设备压缩机	在国内领先完成45MPa隔膜氢气压缩机研发	与大连化学物理研究所携手共同开展北京2022年冬奥会液态阳光加氢站示范项目。
用氢	氢能楼宇热电联供解决方案	/	/

4.2 国产装备：华电重工

华电重工(601226.SH)的主营业务为工程系统设计与工程总承包、及核心高端装备的研发/设计/制造，主要产品包括钢结构、工程配套装备等，下游领域涵盖电力、港口、煤炭、冶金、化工、建材、采矿等，近年来注重开拓风、光、氢等新能源领域的工程施工服务和设备销售。

公司的实控人电力央企华电集团，在制氢领域的装备和项目上不断取得实质性突破，截至2023年底至少布局8个大型制氢项目、总投资额近百亿元。华电集团以华电重工等为载体研制电解槽设备和关键材料，并应用于投资的绿电制氢项目。由此，华电重工以事业部、技术研发中心为载体，开展EPC总包、装备制造、技术咨询等业务，2023年氢能工程业务收入达5.1亿元、占收入比重达7.2%、毛利率13.1%。

- 1) 氢能工程方面，公司负责总包的青海德令哈PEM制氢项目、铁岭离网风电制氢项目、达茂旗风光储氢用一体化制氢项目均实现顺利产氢，并实现国内首创的高效率电解水制氢装置商业化应用。凭借在工程和装备制造领域的深厚积累，公司计划打造绿氢制、储、用产业链条。
- 2) 氢能装备与材料领域，公司拥有大标方AWE电解槽和兆瓦级PEM电解槽，以及可应用于PEM电解槽及燃料电池领域的气体扩散层、质子交换膜、及氢燃料电池分布式功能系统等产品。同时，公司的氢能装备和材料被应用于总包和外部的制氢项目，实现产业化应用。

依托能源大基地布局，以及能源央企加大氢能的投资力度，公司的氢能业务有望迎来快速突破。

表4-10：华电重工负责总包的代表性氢能工程项目

氢能工程业务	项目进展	项目主办方	项目内容
中国华电德令哈PEM电解水制氢示范工程	项目试运行期间，整套装置运行稳定、技术指标优良、各工况下产氢出力稳定，成品氢气纯度稳定超过99.999%，于2024年4月成功实现商业化运行。	中国华电	该项目为科技项目“高效可再生能源PEM电解水制氢装备开发”的工程示范与产业化项目，项目开发的PEM电解水制氢系统、适应PEM电解水活性控制系统、多端口变换器在青海华电德令哈西出口示范基地一期100万千瓦光储氢项目中得到了良好的示范应用
中国华电辽宁铁岭离网储能制氢一体化项目	顺利产氢并完成氢气充装，氢气纯度达到99.999%，是我国最大规模的风电离网制氢示范项目，于2024年4月正式转入商业运行。	中国华电	该项目研发了“大容量风电离网制氢一体化”技术，并被应用于国内首个25兆瓦离网风电制氢项目。该项目建设了25兆瓦风力发电机组、5毫瓦时储能电站和3套单机产量为1000标立方/小时的水电解制氢装置。
内蒙古华电包头市达茂旗20万千瓦新能源制氢示范工程	于2024年3月顺利产氢并完成充装，实现100%绿电制氢，氢气纯度超过99.999%。	中国华电	项目共建设风电12万千瓦，光伏8万千瓦，电化学储能2万千瓦时，电解水制氢12000标立方/小时，实现100%绿电制氢。其中，制氢设备采用全国领先的大容量碱性电解槽、质子交换膜（PEM）电解技术，包含了11套1000标立方/小时的碱性电解槽制氢设备和5套200标立方/小时的PEM制氢设备。

表4-11：华电重工的氢能装备、核心材料产品

核心材料、关键装备	产品介绍
碱性电解水制氢装备	2023年，公司自主研发的1000Nm ³ 和1200Nm ³ 级别的碱性电解槽成功应用于辽宁华电铁岭新台子一期25MW风电离网储能制氢一体化项目和内蒙古华电达茂旗20万千瓦新能源制氢工程示范项目，并顺利产氢。
PEM电解水制氢装置	华瀚-200型3.0MPa单堆兆瓦级PEM电解槽实现商业化应用，完成PEM电解槽双极板技术研究、流道仿真分析、模拟计算、PEM电解水制氢装置及系统开发。
气体扩散层	产品韧性好，高电导率、高传热性，MD与TD方向具有高抗拉强度的特点，部分指标达到国际先进水平，并通过了国内外多家下游企业的检测在国内外产品中处于相对领先水平，应用于氢燃料电池及PEM电解槽领域。
质子交换膜	产品具有更高的质子交换容量、较高的离子电导率、较低的电池内阻、更高的机械性能和耐久性，在不同湿度环境下具有更好的尺寸稳定性，同时通过提高膜的保水能力及传输水能力提高高温低湿环境下的性能输出，是国内少有的增强型全氟磺酸质子交换膜宏量制备产品，部分指标达到国际先进水平，应用于氢燃料电池及PEM电解槽领域。
氢燃料电池分布式供能系统	具有“大功率、高效率、智能化、长寿命、环境适应性强”的特点，氢电效率及热电联产效率高。整套装置采用撬装式设计，系统集成度高、结构设计模块化，为绿色建筑、新型基础设施、园区、孤岛等提供电力和热电联供服务，可满足多场景应用需求。

资料来源：公司公告，国资委，包头市政府官网，中航证券研究所

4.2 国产装备：光伏、风电巨头等进军电解槽行业

- ▶ 隆基氢能：隆基绿能(601012.SH)的控股子公司，是国内电解槽中标规模最大的厂商，2023年底已建成2.5GW电解槽产能，位居于行业首位，最新完成10亿元融资、投后估值100亿元。2023年隆基氢能的营业额已突破亿元。隆基氢能推出的多款产品实现了行业领先，国内示范项目规模化应用，并实现了海外订单突破。1) 产品方面：推出了业内首台3000Nm³/h的单体电解槽，刷新行业纪录，并能有效降低初始投资成本。2) 制氢解决方案：助力国内首个万吨级绿氢示范项目，并在石油炼化、合成氨、氢冶金等多个领域拓展业务。
- ▶ 阳光氢能：阳光电源(300274.SZ)的控股子公司，在国内制氢项目中标及签约市占率位居第二，2024年电解槽产能将提升至3GW。阳光氢能于国内率先提出柔性制氢概念，拥有PWM制氢电源、ALK和PEM电解槽、气液分离与纯化设备、智慧氢能管理系统等一体化系统设备的研发制造和交付能力，并开发了离网、并网、微网多模式下制氢系统解决方案。其柔性制氢系统适用于能源电力、工业、交通等多种应用场景，并已在吉林、宁夏、内蒙古、甘肃、湖北等多地风光可再生能源制氢项目中得到广泛应用。阳光氢能率先建成国内领先的20MW电解水制氢实证基地、可再生能源变功率制氢及氢储能发电实证平台、PEM电解制氢技术联合实验室、电解制氢关键材料研究中心、德国氢能研究所。
- ▶ 明阳氢能：明阳氢能逐步形成了化工、钢铁、储能和交通等领域的一站式氢能解决方案，制氢电解槽产品覆盖10-3000Nm³/h规模化应用场景。2024年3月其位于天津市滨海新区生产基地正式投运，主要生产500Nm³/h以下规格的制氢电解槽产品，年产能超过100MW。
- ▶ 三一氢能：控股股东为三一国际(0631.HK)。三一氢能致力于为全球客户提供GW级超大规模风光并网/离网制氢成套解决方案。三一氢能主营业务为制氢和加氢装备的研发、制造与销售，拥有的氢能装备系列包括碱性电解槽(500~3000Nm³/h)、PEM电解槽(200Nm³/h)和制加氢一体站。2023年10月，三一氢能中标大安吉电风光制绿氢合成氨一体化示范项目，获得8套1000Nm³/h电解水制氢系统的采购订单。
- ▶ 东方氢能：作为东方电气集团氢能与燃料电池产业发展的核心平台，全面布局氢气制备、储运、加注，氢燃料电池交通、发电等领域，产品包括膜电极、电堆、燃料电池发动机、电解槽及制氢、储氢、加氢等。其中，电解槽产品包含自主研发的MW级PEM水电解制氢电解槽。
- ▶ 华光环能(600475.SH)：主要业务领域为环保(固废处理为主)和能源装备及服务，包括工程服务、运营管理、环保装备、节能高效发电设备。在氢能领域，公司加快了多项布局，电解槽年产能达1GW，产品矩阵包括500Nm³/h以下、500-1000Nm³/h、1000-2000Nm³/h、1500Nm³/h碱性电解槽产品。其中，1500Nm³/h碱性电解槽的产氢压力3.2Mpa达到国内最高水平，填补国内千方级电解槽空白，并采用了新型隔膜材料，大幅提高了电流密度，同等产氢量下，设备体积大幅减小。此外，公司与中石化广州公司、中能建签署了合作协议，共同推动氢能尤其是电解槽系统的市场拓展。

- 全球经济衰退或复苏不达预期，国内外需求不振、相关的氢能下游行业需求减弱
- 主要经济体“碳中和”政策发生逆转或暂缓，影响绿电和绿氢产业投资
- 地缘冲突、逆全球化等不可抗力影响，导致主要企业供应链受阻、税收壁垒高筑、成本快速攀升
- 国际油、煤、气价格大幅下行，替代性能源的经济性不足，影响投资项目经济性指标
- 国内电解槽行业产能过剩，恶性竞争加剧影响行业整体盈利和未来研发投入
- 国内电解槽行业的主机或原材料技术成熟度提升不及预期，影响行业推广
- 核心零部件国产化低于预期、海外供应链断裂，影响全行业的设备交付进度
- 汇率波动影响，人民币贬值致进口原材料成本提高、影响企业盈利能力；人民币升值则导致出口失去竞争力
- 美国大选走向或对其贸易政策、能源政策产生较大影响



曾帅

新能源行业首席分析师

先后任职于中银国际证券、天风证券负责机械行业研究，2017年作为团队核心成员获得新财富最佳分析师（团队）机械行业第一名。在锂电装备、光伏装备、机器人与自动化等领域持续深度研究。曾先后就职于航天、医疗器械、钢铁等行业，热爱制造业，对科技和周期均有深入研究，建立了“中国制造业投资周期”研究框架。

SAC证书：S0640522050001



王卓亚

山东大学学士，武汉大学硕士，覆盖电力设备、氢能与绿色能源行业，2023年加入中航证券。

SAC证书：S0640523110001

我们设定的上市公司投资评级如下：

- 买入** : 未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅10%以上。
- 持有** : 未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅-10%-10%之间
- 卖出** : 未来六个月的投资收益相对沪深300指数跌幅10%以上。

我们设定的行业投资评级如下：

- 增持** : 未来六个月行业增长水平高于同期沪深300指数。
- 中性** : 未来六个月行业增长水平与同期沪深300指数相若。
- 减持** : 未来六个月行业增长水平低于同期沪深300指数。

分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，在此申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与，未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。风险提示：投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，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。

免责声明

本报告由中航证券有限公司（已具备中国证券监督管理委员会批准的证券投资咨询业务资格）制作。本报告并非针对意图送发或为任何就送发、发布、可得到或使用本报告而使中航证券有限公司及其关联公司违反当地的法律或法规或可致使中航证券受制于法律或法规的任何地区、国家或其它管辖区域的公民或居民。除非另有显示，否则此报告中的材料的版权属于中航证券。未经中航证券事先书面授权，不得更改或以任何方式发送、复印本报告的材料、内容或其复印本给予任何其他人。未经授权的转载，本公司不承担任何转载责任。

本报告所载的资料、工具及材料只提供给阁下作参考之用，并非作为或被视为出售或购买或认购证券或其他金融票据的邀请或向他人作出邀请。中航证券未有采取行动以确保于本报告中所指的证券适合个别的投资者。本报告的内容并不构成对任何人的投资建议，而中航证券不会因接受本报告而视他们为客户。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被中航证券认为可靠，但中航证券并不能担保其准确性或完整性。中航证券不对因使用本报告的材料而引致的损失负任何责任，除非该等损失因明确的法律或法规而引致。投资者不能仅依靠本报告以取代行使独立判断。在不同时期，中航证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告仅反映报告撰写日分析师个人的不同设想、见解及分析方法。为免生疑，本报告所载的观点并不代表中航证券及关联公司的立场。

中航证券在法律许可的情况下可参与或投资本报告所提及的发行人的金融交易，向该等发行人提供服务或向他们要求给予生意，及或持有其证券或进行证券交易。中航证券于法律许可下可于发送材料前使用此报告中所载资料或意见或他们所依据的研究或分析。