

水电解制氢供需双扩背景下，电解槽有望迎来发展机遇

水电解制氢设备专题报告

氢能

投资评级：推荐（维持）

分析师：张锦

分析师登记编码：S0890521080001

电话：021-20321304

邮箱：zhangjin@cnhbstock.com

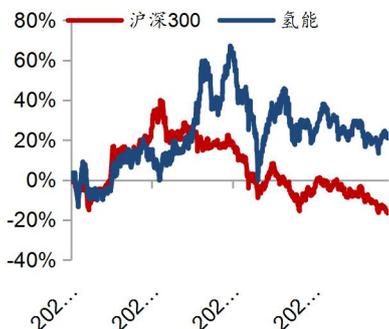
研究助理：张后来

邮箱：zhanghoulai@cnhbstock.com

销售服务电话：

021-20515355

行业走势图（2023年12月4日）



资料来源：wind，华宝证券研究创新部

相关研究报告

1、《融资渠道收紧资本开支放缓，板块有望边际反转—锂电板块三季度业绩回顾》2023-11-15

2、《进入汽车革命后半场，特斯拉+华为引智能化产业浪潮—新能源车行业专题报告》2023-10-12

3、《解决续航焦虑的最后一棒，快充进程加快催生材料新变化—动力电池行业专题报告》2023-08-17

投资要点

④我国绿氢供需规划持续扩张，水电解制氢设备有望迎来产业规模提升：从需求端来看，中国碳排放要求趋严背景下，工业领域对绿氢的需求将不断增大；各地绿氢制取政策持续推出，扩大绿氢生产规模、突破电解水制氢设备关键技术成为政策焦点。从供给端来看，我国电解水制氢项目多点开花，未来电解水制氢投产有望加速落地；投资规模扩张、产品规格升级、产品价格下行有望成为未来电解槽行业的发展趋势。在绿氢供给与需求双端的同时扩张下，我国电解槽行业有望迎来市场规模提升。

④我国四种技术类型的主流电解槽发展进程拆解：目前主流电解槽的主要性能要求为氢气纯度高，能耗低，结构简单、制造维修方便便宜且使用寿命长，材料的利用率高。我国主流的电解槽按水电解技术可分为 ALK、PEM、AEM、SOEC 四种类型，在产业成熟度方面 ALK>PEM>SOEC>AEM。细分来看，1) ALK 电解槽是目前电解水规模化制氢的首选，但是存在制氢效率低下、制取过程中存在污染且耗电量大的问题，并且 ALK 电解槽未来依然存在降本空间；2) PEM 电解槽目前处于商业化初期，相比 ALK 电解槽制氢效率更高，耗电量相对较低，且能利用风光发电进行氢能制取，但是由于 PEM 电解槽制作过程中使用大量贵金属，且单槽产氢规模依然较低，降低成本、扩大生产规模是未来 PEM 电解槽的发展趋势；3) AEM 电解槽的发展优势在于结合 ALK 电解槽造价较低和 PEM 电解槽效率较高的优点，能够以较低成本高效制取氢气，但是由于具有高离子电导率和强耐碱特性并存的阴离子交换膜研发难度较大，目前依然处于实验室环节；4) SOEC 电解槽目前处于走出实验室放大的阶段，800℃以上高温环境下 SOEC 制氢效率高于其他三种技术路径，但是由于 SOEC 的造价成本远高于 ALK、PEM，且 SOEC 与 SOFC 化学反应过程可逆，未来氢储能有望成为 SOEC 电解槽的应用方向。

④从市场成熟度来看，我国电解槽生产相关公司主要集中在电解槽整槽生产环节，且以 ALK、PEM 电解槽为主，AEM、SOEC 电解槽有望在 3-8 年内迎来行业发展期：1) 我国 ALK 电解槽产业技术较为成熟，国企卡位电解设备，凭借风光电项目资源优势拥有更强的拿订单能力，未来 ALK 电解槽制氢规模有望提升，单槽价格有望进一步下行；2) PEM 电解槽商业化步伐加速，膜电极、双极板等关键材料受到市场关注，未来国产替代化以及贵金属含量有望进一步下降，迎来行业规模效应；3) AEM 电解槽仅有少量 2.5-50kW 的 AEM 电解槽产品下线，目前在科研院所、电厂、化工等领域实现小规模应用；4) 现阶段国内企业 SOEC 电解槽制氢功率以千瓦级为主，集中在 2-25kW，由于 SOFC/SOEC 的可逆性极强，SOEC 厂商主要由 SOFC 厂商转型而来。GGII 预测 2030 后 SOEC 有望迎来行业发展期。

④风险提示：行业政策规划落地不及预期、行业技术应用落地不及预期

内容目录

1. 我国绿氢供需规划持续扩张，水电解制氢设备有望迎来产业规模提升.....	4
1.1. 政府端、企业端绿氢需求在未来 2-3 年内有望迎来大幅增长.....	4
1.2. 随着绿氢项目数量增长、单槽制氢能力提升，未来电解槽生产规模有望进一步扩大.....	8
2. 四种类型的电解槽及部件分析.....	10
2.1. ALK 电解槽：目前电解水制氢产业化的首选，未来存在降本空间.....	12
2.2. PEM 电解槽：性能相比 ALK 更优，未来制造成本有望进一步降低.....	13
2.3. AEM 电解槽：综合 ALK 的成本与 PEM 的性能优势，目前处于实验室阶段.....	17
2.4. SOEC 电解槽：制氢效率与造价双高，未来有望向氢储能方向发展.....	18
3. 我国电解槽相关公司梳理.....	21
3.1. ALK：市场竞争加剧，国企、集团型企业竞争优势逐渐显现.....	22
3.2. PEM：加快商业化步伐，膜电极、双极板等关键组件受到关注.....	23
3.3. AEM：目前尚处实验室阶段，仅有少量产品发布.....	25
3.4. SOEC：目前处于走出实验室放大的阶段，部分公司由 SOFC 转型而来.....	26
4. 投资建议.....	27
5. 风险提示.....	28

图表目录

图 1：2021-2023 年我国 CEA 成交价及成交量.....	4
图 2：2060 年工业用氢碳减排预测.....	4
图 3：水电解制氢电解槽的基本架构及工作原理.....	11
图 4：1MW ALK 电解水制氢系统的成本构成.....	11
图 5：ALK 电解槽小室工作原理.....	12
图 6：ALK 与 PEM 制氢未来市场与成本空间预测.....	13
图 7：PEM 电解槽及单体结构.....	14
图 8：质子交换膜成本下降曲线（美元/kW）.....	15
图 9：全球气体扩散层市场规模及增长率.....	16
图 10：1MW PEM 电解槽的成本构成.....	16
图 11：PEM 电解槽扩大生产规模带来生产成本的下降.....	17
图 12：AEM 阴离子交换膜工作原理示意图.....	18
图 13：SOEC 电解槽典型建设场景.....	19
图 14：制备 SOEC 电解室的原材料用量、价格和材料成本估算.....	20
图 15：基于组件的 SOEC 电解槽制造成本占比.....	20
图 16：ALK、PEM、SOEC 技术下生产 1Nm ³ 氢气所需要的单位固定资产投资.....	20
图 17：我国四种技术的电解槽企业数量及占比.....	21
图 18：生产电解槽及相关环节产品的企业数量（家）.....	21
图 19：电解槽企业地区分布（%）.....	22
图 20：电解槽企业融资阶段分布（家）.....	22
图 21：2023H1 电解设备中标企业情况（MW）.....	22
图 22：PEM 电解槽相关公司地域分布（%）.....	23
图 23：从事 PEM 电解槽相关环节产品生产的企业分布（%）.....	23
图 24：电解槽产业链及关键环节代表企业.....	27

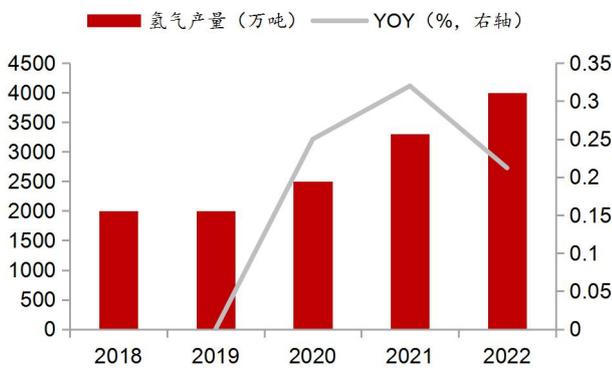
表 1：2023 年我国电解水制氢相关政策（截至 2023 年 11 月）.....	5
--	---

表 2: 2023 年 1-10 月我国部分签约/开工/投产绿氢项目.....	8
表 3: 主流电解水制氢技术路线对比.....	11
表 4: PEM 电解槽质子交换膜类型.....	14
表 5: 主流 PEM 设备催化剂.....	15
表 6: SOFC/SOEC 系统与 LIB 储能系统对比.....	21
表 7: 我国与 PEM 电解槽核心组件相关的企业 (部分)	23
表 8: 我国涉及 AEM 电解槽制造的相关企业 (部分)	25
表 9: 我国涉及 SOEC 电解槽制造的相关企业 (部分)	26

1. 我国绿氢供需规划持续扩张，水电解制氢设备有望迎来产业规模提升

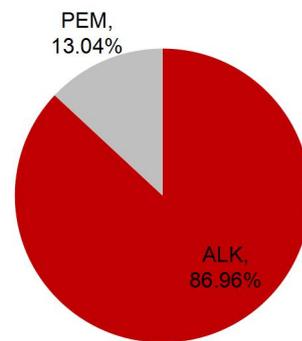
我国氢气产量持续扩张，2022年政策需求带动下电解水制氢设备需求持续提升。根据中国煤炭工业协会的数据，2022年我国氢气产量约4000万吨，同比增长21%。从产氢结构来看，可再生能源电解水制氢的绿氢规模依然偏小，煤制氢和天然气制氢合计占比约八成。但是2022年在政策带动下，电解水制氢设备需求快速提升，多家企业例如中国华电、国富氢能、奥扬科技、瑞麟科技、希倍优、中国宝武等发布电解水制氢装备新品，其中ALK电解槽由于产业链配套齐全、成本较低，成为2022年电解槽产品主要下线的类型。但是从长期来看，随着设备制造成本的下降和制氢规模的扩张，PEM设备有望开启替代进程。

图 1：2018-2022 年我国氢气产量及同比



资料来源：中国煤炭工业协会，华宝证券研究创新部

图 2：2022 年发布/下线电解水制氢设备类型占比

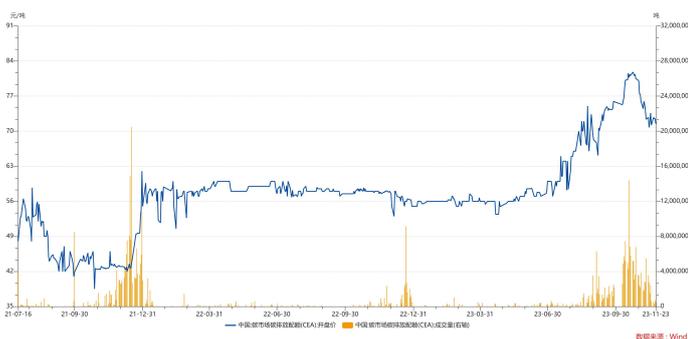


资料来源：全球氢能公众号，华宝证券研究创新部

1.1. 政府端、企业端绿氢需求在未来 2-3 年内有望迎来大幅增长

中国碳排放要求趋严背景下，工业领域对绿氢的需求将不断增大。近年来，我国通过设立碳市场、进行碳交易等方法实现企业碳排放的合规性和经济效益，其中碳排放配额（CEA）的收紧将导致企业碳排放成本的增加。在碳排放需求较高的工业领域，例如炼油、氨生产、炼钢等，氢不仅可以当作能源，也可以当作燃料实现大规模应用。根据艾瑞咨询的预测，至2060年我国工业领域预计用氢7.8亿吨，相当于减少53.07亿吨煤炭用量，从而减少月141.1亿吨的碳排放。而电解水设备制氢过程中无碳排放，更符合CEA成交价不断提升的趋势下作为工业用氢的来源。

图 1：2021-2023 年我国 CEA 成交价及成交量



敬请参阅报告结尾处免责声明

图 2：2060 年工业用氢碳减排预测



资料来源：Wind，华宝证券研究创新部

资料来源：艾瑞咨询，华宝证券研究创新部

各地绿氢制取政策持续推出，扩大绿氢生产规模、突破电解水制氢设备关键技术成为政策焦点。根据各地政府官网政策的不完全统计，截至2023年11月，我国共有32项政策直接提及绿氢制取、电解槽设备建设等相关环节。例如《青海省氢能产业发展中长期规划（2022-2035年）》提到，要探索与可再生能源耦合发展的电解水制氢技术，构建以经济安全的碱性电解水制氢为基础，以PEM制氢技术为补充，以SOEC、AEM等前沿高效制氢技术为示范的制氢技术体系；开发大型高效PEM电解槽、PEM电解水制氢系统以及适应可再生能源的电解水制氢灵活控制技术，攻关MW级PEM电解水制氢系统、制氢运行控制与调度应用技术。《关于推动能源电子产业发展的指导意见》中也提到，要加快高效制氢技术攻关，突破电堆、双极板、质子交换膜、催化剂、膜电极材料等关键环节的关键技术。与2022年的政策规划相比，2023年的绿氢政策更进一步，落实到产业链的各个环节，直击电解水制氢设备的关键技术。

表 1：2023 年我国电解水制氢相关政策（截至 2023 年 11 月）

时间	政策名称	地区	主要内容
1月3日	《甘肃省人民政府办公厅关于氢能产业发展的指导意见》	甘肃省	1、利用本省铂族金属资源优势，开展电解水高效催化材料研发 2、支持贵金属生产企业扩大氢能相关催化材料产能
1月4日	《关于实施创新驱动发展战略大力发展战略性新兴产业的意见》	包头市	1、打造以明阳等为“链主”的风光制氢储能产业集群 2、以电解槽、隔膜、电极、氢压缩机、副产氢提纯装置等为重点，推动华电科工等装备制造企业加速落地，发展制氢设备产业 3、推动海卓动力、奥扬科技等项目尽快落地，发展氢能装备制造产业
1月11日	《四川省能源领域碳达峰实施方案》	四川省	1、氢能技术攻关。研究可再生能源制氢技术。研发可再生能源制氢耦合合成氨工艺技术。 2、研制70MPa级制氢加氢智能一体化装备。开展长寿命、低铂载量燃料电池膜电极制备技术攻关。
1月12日	《青海省氢能产业发展中长期规划（2022-2035年）》	青海省	1、开展电解水制氢，建设光储氢一体化多能互补示范项目 2、探索与可再生能源耦合发展的电解水制氢技术，构建以经济安全的碱性电解水制氢为基础，以高效灵活的质子交换膜（PEM）制氢技术为补充，以固体氧化物电解池（SOEC）、固体聚合物阴离子交换膜（AEM）、太阳能光催化制氢、电光催化制氢等前沿高效制氢技术为示范的制氢技术体系。 3、开发大型高效PEM电解槽、PEM电解水制氢系统以及适应可再生能源的电解水制氢灵活控制技术，攻关MW级PEM电解水制氢系统、制氢运行控制与调度应用技术 4、引进1-3家电解水制氢装置制造企业及相关零部件生产企业在省内落地，实现制氢核心设备的本地化生产
1月17日	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	全国	1、加快高效制氢技术攻关 2、突破电堆、双极板、质子交换膜、催化剂、膜电极材料等燃料电池关键技术
1月28日	《新乡市氢能产业发展中长期规划（2022—2035年）》	新乡市	1、以装备制造和材料研发为核心，形成高新区氢能产业园为主，多园区协同发展产业格局
1月30日	《西咸新区氢能产业发展三年行动方案》	西咸新区	1、引进培育上游制氢装备企业、推进氢能创新平台建设
1月30日	《江西省氢能产业发展中长期规划》	江西省	1、建设吉安氢能装备制造高地，依托井冈山经济技术开发区打

时间	政策名称	地区	主要内容
	划（2023-2035年）》		造“先进氢能装备产业园” 2、重点推进基于生物质超临界水气化制氢发电多联产技术和适应可再生能源波动性的质子交换膜（PEM）制氢技术研究，高效低成本碱性电解水制氢技术研发。 3、支持九江学院长江绿色氢能研究中心推进太阳能光催化制氢、光电化学产氢研究。支持江西理工大学推进基于生物质超临界水气化制氢发电多联产技术产业转化。
1月31日	《长沙市氢能产业发展行动方案（2023-2025年）》	长沙市	1、氢能技术率先突破，在制氢技术、膜电极等氢能产业链上取得突破。 2、打造一批重点企业，推进产业集群的发展。 3、与中南大学、湖南大学等研究机构合作，提升氢能装备制造水平。
2月7日	《深圳市促进绿色低碳产业高质量发展的若干措施》	深圳市	1、鼓励开展质子交换膜燃料电池催化剂、气体扩散层、质子交换膜、双极板，以及固体氧化物燃料电池阴极、阳极、密封材料、连接体等核心材料和零部件技术攻关 2、支持电解水制氢、光催化制氢、生物质制氢等关键技术研发。
2月9日	《武进区加快推动氢能产业发展的实施意见》	常州市武进区	1、加快氢气生产和提纯装备、氢气储运装备、燃料电池及相关配套装备等研发，在电堆、双极板、膜电极、质子交换膜、储氢罐阀等关键零部件或材料上实现突破，培育一批国内领先的新产品、新技术、新材料。
3月9号	《东营市氢能产业发展规划（2022—2025年）》	东营市	1、突破核心技术。规划期聚焦大容量碱性电解水制氢、PEM电解水制氢、氨裂解制氢、70MPa(IV型)车载高压储氢瓶、CCUS等技术和装备。 2、优先发展制氢产业链和氢能装备产业链。以胜利油田石化总厂、唐正能源公司为电解水制氢产业龙头企业，加快实施碱性电解水制氢、PEM电解水制氢项目。
3月14日	《2023年濮阳市氢能产业发展工作要点》	濮阳市	1、提升氢能装备制造能力，引进质子膜电解水制氢、高压气态储氢、压缩机、高压智能阀门等装备制造企业。 2、开展核心技术研发攻关，重点在大规模低成本制氢、储氢井、天然气管道掺氢输送等领域开展研发攻关。
4月24日	《自治区氢能产业发展三年行动方案（2023—2025年）》	新疆维吾尔自治区	1、培育制氢装备企业。发展电解水制氢装置、引进碱性电解水制氢设备和质子交换膜电解制氢设备企业落户，推进核心设备本地化生产，降低电解水设备的生产制造成本。
6月8日	《四川省重大技术装备首台套软件首版次推广应用指导目录》	四川省	1、引入制氢设备，如PEM水电解制氢系统。
6月20日	《平凉市人民政府办公室关于加快推进氢能产业发展的实施意见》	甘肃平凉市	1、培育氢能装备制造企业。积极引进行业龙头企业，重点实施碱性电解水制氢设备、质子交换膜电解制氢设备等项目。 2、大力发展氢气提纯技术，提升氢气品质，提高资源综合利用效率，大幅降低用氢成本。
6月28日	《北京市可再生能源替代行动方案（2023—2025年）》	北京市	1、大力推动电堆、双极板、催化剂、质子交换膜、膜电极、碳纸、空压机和氢气循环泵等核心领域氢能技术研发示范。 2、进适用于可再生能源制氢的新型电解水设备研制，加快碱性电解水、质子交换膜、SOEC等绿电制氢技术，氨及甲烷等电制燃料制备技术研发，持续加大质子交换膜、催化剂等产品研发投入，加快前沿技术迭代。

时间	政策名称	地区	主要内容
7月14日	《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》	甘肃省兰州市	1、大力发展氢能装备产业，重振“兰州制造”。集聚国内外优质资源要素，引进和培育一批氢能领军企业和研发机构
7月24日	《西咸新区促进氢能产业发展的若干政策措施兑现实施细则》	陕西省西咸新区	1、支持培育氢能产业链企业。对于新区氢能产业链企业采购区内其他企业生产的氢能相关产品的，按照产品采购额的10%给予支持，每家企业年度支持金额最高不超过500万元，期限3年；对于新落户的氢能产业链企业，连续12个月内累计销售额达1000万元（含）以上的，按照氢能相关产品年销售额的3%给予支持，每家企业年度支持金额最高不超过300万元，期限3年。
8月3日	《关于开展2023年促进氢能产业发展专项资金申报工作的通知》	河南濮阳市	1、氢能项目方面：对新建储运氢项目，给予设备实际投资总额10%补贴，单个项目补贴最高不超过600万元。本地企业转型制氢、氢能装备等产业，设备投资总额超过5000万元且于两年内建成投产的，给予设备投资额10%补贴，单个项目最高补贴额不超过1000万元。
8月4日	《湖州市氢能产业发展规划（2023-2035年）》	浙江省湖州市	1、到2027年，初步形成基础配套设施较完整。 2、大力推动碱性电解水制氢等主流技术装备国产化突破以及性能迭代升级。
7月19日	《氢能产业标准体系建设指南（2023版）》	全国	1、水电解制氢标准。重点针对可再生能源水电解制氢应用发展需求，统一技术、设备、系统、安全、测试方法等，包括：电极测试方法、催化剂测试方法、膜测试法、碱性电解槽、PEM电解槽、水电解制氢系统技术要求、水电解制氢系统安全要求等标准。
8月14日	《河北省新能源发展促进条例（草案）》	河北省	1、县级以上人民政府及其有关部门应当鼓励发展新能源电解水制氢，推动制氢关键核心技术创新，促进绿氢产业规模化发展。
8月14日	《浙江省加氢站发展规划》	浙江省	1、到2025年，基本形成以工业副产氢为主，电解水制氢、可再生能源制氢为补充的氢源保障体系
8月16日	《西安市氢能产业发展规划（2023-2035年）（征求意见稿）》	西安市	1.强化关键技术攻关。发挥本地科研院校的创新优势，开展绿氢制备、储运氢、加氢、燃料电池等领域关键技术、工艺的研发与应用，促进氢能产业高端发展。
8月23日	《濮阳市促进氢能产业发展扶持办法（2023年修订版）》	河南濮阳市	1、绿氢制备扶持。建立氢能制备、检测服务建设项目审批“绿色通道”，实行“一站式”行政审批。鼓励企业发展风电、光伏、生物质等绿氢。 2、支持氢能企业及产业项目落地。对研发能力强、制造水平高、产品质量优的氢能项目落户本市
9月1日	《包头市氢能产业发展规划（2023—2030年）》	内蒙古包头市	1、氢气制取。近期以可再生能源电解水制氢，和焦炉煤气、煤化工副产气等提纯制氢示范应用为主；中期扩大可再生能源电解水制氢规模，推动成为氢能供应主要来源。 2、建立产业集群，如：电解水制氢、PSA制氢系统关键材料、装备制造产业集群：以自治区风光制氢项目市场为依托，加快推进电解槽、隔膜、电极、氢气压缩机、副产氢提纯装置等制氢设备产业发展。
9月1日	《自治区氢能产业发展三年行动方案（2023—2025年）》	新疆维吾尔自治区	培育制氢装备产业。以本地市场需求为基础，发展电解水制氢装置，引进碱性电解水制氢设备和质子交换膜电解制氢设备企业落户，推进核心设备本地化生产，降低电解水设备的生产制造成本。
9月18日	《大东区支持氢燃料电池汽车产业高质量发展的若干政策措施（征求意见稿）》	辽宁沈阳大东区	1、积极发展光伏、风电等零碳制氢项目，给予最高30%，最多不超过500万元的投资奖励。

时间	政策名称	地区	主要内容
9月29日	《克拉玛依市支持氢能产业发展的有关扶持政策》	新疆克拉玛依市	1、支持绿氢制取示范项目建设，在2024-2025年期间，对落地克拉玛依且氢气产能大于5000吨/年的风光制氢一体化项目主体，按照其中绿电制氢的实际消纳量，经第三方认定后给予退坡补贴，2024年补贴3000元/吨，2025年补贴1500元/吨。
10月8日	《烟台市氢能产业中长期发展规划(2022-2030年)》	山东省烟台市	1、推动可再生能源电解水制氢示范项目，探索低碳、低成本制氢实现路径。远期(2026-2030年)以可再生能源电解制氢为主，大力推进规模化可再生能源电解水制氢应用
11月7日	《内蒙古自治区新能源倍增行动实施方案》	内蒙古自治区	1、加快引进一批掌握核心技术的新能源制氢、加氢、储氢装备制造企业和燃料电池研发生产企业 2、到2025年全区绿氢生产能力突破50万吨，绿氢产能在全国占比超过50%

资料来源：各政府官网，华宝证券研究创新部

1.2. 随着绿氢项目数量增长、单槽制氢能力提升，未来电解槽生产规模有望进一步扩大

我国电解水制氢项目多点开花，未来电解水制氢投产有望加速落地。根据中国拟在建项目网、中国采购与招标网、北极星氢能网、氢能聚焦以及各地政府官网的不完全统计，截至2023年10月，新签约电解水制氢项目41个，开工在建项目41个，投产项目8个，制氢规模约为120.12万吨、66.98万吨、3.5万吨，由于电解水制氢项目从备案到投产建设周期约为1-3年，因此2025年后我国电解水制氢供给有望大幅增加。

表 2：2023 年 1-10 月我国部分签约/开工/投产绿氢项目

(预计) 开工时间	(预计) 投产时间	项目	省份	城市	投资额度	制氢规模 (万吨)	项目进度	电解槽供应商
2023年12月1日	2027年6月1日	乌兰察布10万吨/年风光制氢一体化示范项目	内蒙古	乌兰察布市	205亿元	10	签约	/
	2024年12月1日	中能建巴彦淖尔乌拉特中旗绿电制氢制氨综合示范项目	内蒙古	巴彦淖尔乌拉特中旗	23.15亿元	1	签约	中集安瑞科
2024年5月1日	2026年8月1日	中船通辽市50万千瓦风电制氢制氨一体化示范项目	内蒙古	通辽市	21.5亿元	2.26	签约	/
2023年	2024年	翌晶能源辽宁营口500MW风光氢储一体化示范项目	辽宁	营口市老边区	十亿元以上	1	签约	翌晶氢能
	2024年8月1日	鄂尔多斯库布齐40万千瓦风光制氢一体化示范项目	内蒙古	鄂尔多斯杭锦旗	29亿元	1.5	签约	亿利氢田
2023年	2026年	华秦新能源产业园二期项目	陕西	榆林市	16亿元	4	签约	/
2024年6月1日	2025年12月1日	中国电建满洲里风光制氢一体化项目	内蒙古	呼伦贝尔市满洲里市	100亿元	6	签约	/
2023年	2024年	中能建巴林左旗绿色氢基化工基地示范项目	内蒙古	赤峰市巴林左旗	50亿元	2	签约	/
		中能建甘肃酒泉风光氢储及氢能	甘肃	酒泉市	76.25亿	1.7	签约	/

(预计) 开工时间	(预计) 投产时间	项目	省份	城市	投资额度	制氢规模 (万吨)	项目进度	电解槽供应商
		综合利用一体化示范项目			元			
2023年12月20日	2024年12月20日	中能建兰州新区绿电制氢项目	甘肃省	兰州新区	12.3亿元	2	签约	/
2023年初	2024年底	乌兰察布兴和县风光发电制氢合成氨一体化项目	内蒙古	乌兰察布兴和县	41亿元	2.57	签约	/
	2023年底	三一重能乌拉特中旗风光氢储氨一体化示范项目	内蒙古	巴彦淖尔市乌拉特中旗	42.7亿元	3.6	签约	/
		远景通辽风光制氢氨醇一体化项目	内蒙古	扎鲁特旗	98亿元	30	签约	/
		微电站(夏县)绿氢能源科技有限公司绿氢制造储存项目	山西	运城市夏县	138亿元	20	签约	/
		国能阿拉善高新区百万千瓦风光氢氨+基础设施一体化低碳园区示范项目	内蒙古	阿拉善盟	50亿元	14	签约	/
2023年9月26日		吉林松原氢能产业园(绿色氢氨醇一体化)项目	吉林	松原市	296亿元	11	开工	/
		华能风光制氢一体化项目	内蒙古	兴安盟	/	2.21	开工	/
		大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目	吉林	大安市	63.32亿元	一期3.2	开工	长春绿动
		河北鸿蒙张家口风电光伏发电综合利用(制氢)示范项目	河北	张家口康保县	174亿元	9	开工	派瑞氢能
2023年1月28日		大连洁净能源集团海水制氢一体化项目	辽宁	大连市普兰店区	30亿元	1	开工	阳光电源
		中电建赤峰风光制氢一体化示范项目	内蒙古	赤峰市高新技术产业开发区	35亿元	1.86	开工	/
2023年3月17日		伊宁光伏绿电制氢源网荷储一体化项目	新疆	伊宁市	81.46亿元	2	开工	/
		国际氢能冶金示范区新能源制氢联产无碳燃料项目	内蒙古	包头市达茂旗	400亿元	30	开工	南通安思卓
		新疆俊瑞吉木萨尔规模化制绿氢项目	新疆	昌吉回族自治州	11.9亿元	1.44	开工	/
	2023年6月29日	鄂尔多斯纳日松40万千瓦光伏制氢示范项目	内蒙古	鄂尔多斯纳日松镇	23亿元	1	投产	派瑞氢能
	2023年6月30日	新疆库车绿氢示范项目	新疆	库车市	30亿元	2	投产	考克利尔竞立

资料来源：氢能聚焦、北极星氢能网，华宝证券研究创新部

投资规模扩张、产品规格升级、产品价格下行有望成为未来电解槽行业的发展趋势。从2023年签约的绿氢项目来看，氢产能在1-9万吨之间的项目占比56%，氢产能在10万吨以上的项目占比11%。其中两个项目的氢气年产能达到30万吨，分别是内蒙古扎鲁特旗的远景通过风

光制氢氨醇一体化项目和包头市的国际氢能冶金示范区新能源制氢联产无碳燃料项目。规格方面，根据隆基氢能测算，1台2000Nm³/h电解槽相较于2台1000Nm³/h电解槽，可节约占地面积30%，减轻重量20%，降低CAPEX约20%。随着未来电解槽技术的不断提升，主流电解槽产品从1000Nm³/h规格向2000Nm³/h规格升级，水电解制氢技术从ALK向PEM/AEM/SOEC演进，单槽建设成本有望降低，制氢效率有望提升，从而带动产品价格的下行。

表 1：2023 年 1-9 月我国下线电解槽规格向 1000Nm³/h 及以上提升

类型	时间	发布企业	单槽制氢规模	单槽电耗情况
			Nm ³ /h	kWh/Nm ³
ALK (15 家)	1 月 9 日	盛氢制氧	1000	4.6
	1 月 10 日	中集集电	1200	4.3
	1 月 18 日	中集氢能	1200	4.2-4.55
	2 月 14 日	隆基氢能	1000	4.0-4.3
	3 月 1 日	绿萌氢能	500	4.2
	3 月 15 日	华光环能	1500	4.2
	3 月 31 日	华商厦庚	1000	4.0-4.5
	5 月 4 日	华泰新能源	1000	4.087
	5 月 8 日	山东汉德	1300	/
	5 月 24 日	宝石机械	1200	4.2
	5 月	航天科技	1000	/
	6 月 11 日	上海电气	2000	4.15
	7 月 12 日	爱德曼	1000	4.4
	8 月 15 日	中石油	1200	/
	9 月 12 日	隆基氢能	1200、1500、2000、3000	/
PEM (8 家)	9 月 16 日	龙蟠科技	1000	/
	4 月 15 日	国富氢能	/	/
	4 月 15 日	嘉庚创新实验室	320	3.87-4.3
	6 月 6 日	亿华通	100	4.19
	7 月 10 日	淳华氢能	/	/
	7 月 12 日	氢辉能源	50	4.55
	7 月	氢盛能源	250	/
	8 月 16 日	重塑能源	100、250	/
SOEC(2 家)	8 月 25 日	东方锅炉	兆瓦级	/
	4 月 25 日	翌晶氢能	0.79、1.58、3.16	3.16
AEM (2 家)	6 月	思伟特	2.77	3.6
	2 月 16 日	稳石氢能	0.58	4.3
	8 月 15 日	中电绿波	10	/

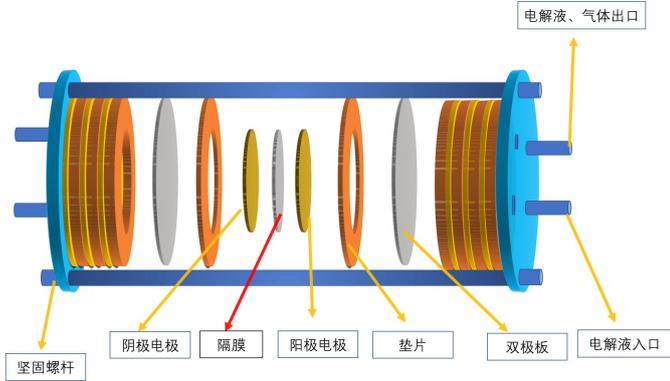
资料来源：索比氢能，华宝证券研究创新部

2. 四种类型的电解槽及部件分析

水电解制氢主要发生场所为电解槽，电解槽将水在直流电的作用下电解成氢气和氧气。根据 IRENA 的统计，以 1MW ALK 水电解系统为例，电解槽在整个电解水制氢系统中的成本约占 45%。电解槽的每个电解小室分为阳极小室和阴极小室，阴极小室产生氢气，阳极小室产生氧气。目前市场对电解槽的主流性能要求为氢气纯度高，能耗低，结构简单、制造维修方便便宜

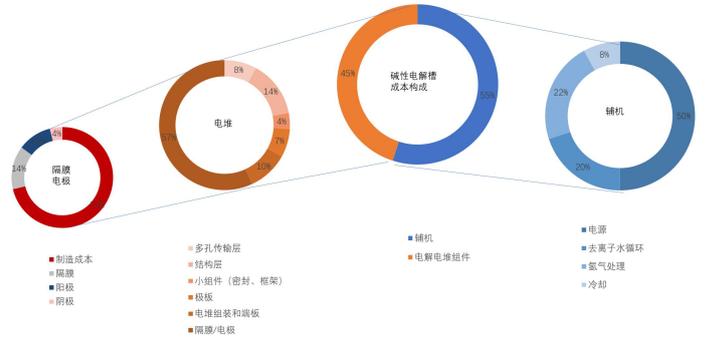
且使用寿命长，材料的利用率高。电解槽主要部件和材料包括电极、隔膜和电解液，其中电极主要由金属材料构成，约占电解槽成本的 57%。

图 3：水电解制氢电解槽的基本架构及工作原理



资料来源：碳能科技，华宝证券研究创新部

图 4：1MW ALK 电解水制氢系统的成本构成

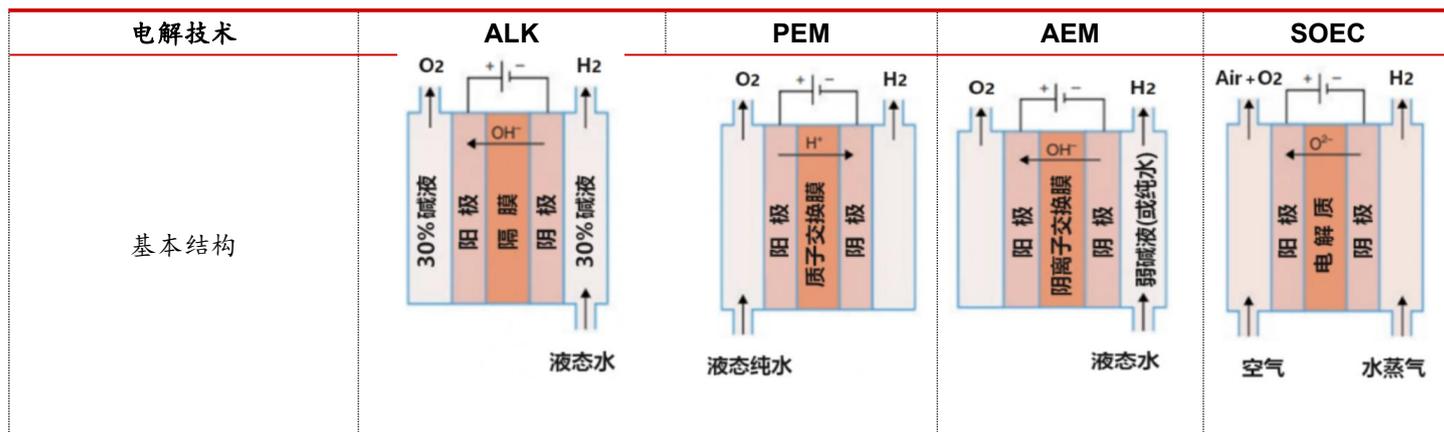


资料来源：IRENA，华宝证券研究创新部

主流的电解水制氢技术包括碱性水电解 (ALK)、质子交换膜电解 (PEM)、高温固体氧化物电解 (SOEC) 以及固体聚合物阴离子交换膜电解 (AEM) 四种。在我国，ALK 水电解技术已经完成商业化，产业链整体比较成熟，PEM 技术目前处于商业化初期，受益于各地政策规划，未来行业规模与产业链国产化趋势有望进一步加强；SOEC 与 AEM 技术目前大部分处于研发与示范阶段，仅有少量产品试点商业化。

表 3：主流电解水制氢技术路线对比

电解技术	ALK	PEM	AEM	SOEC
电解质隔膜	30%KOH 石棉膜/PPS 膜	质子交换膜	阴离子交换膜	钙基陶瓷膜
电极/催化剂	镍、钴、锰	铂、铱、钛、金	镍、钴、铁	钙钛矿等陶瓷金属
框架和密封	聚四氟乙烯、四氟乙烯等			陶瓷玻璃
电流密度/(A/CM2)	<0.8	1~4	1~2	0.2-0.4
直流电耗/(kWh/Nm3)	4.2~5.5	4.0~5.0	/	预期效率为 100%
氢气纯度	≥99.8%	≥99.99%	≥99.99%	≥99.99%
工作温度/° C	≤90	≤80	≤60	≥800
产氢压力/MPa	1.6	4	3.5	4
电解效率	60%~75%	70%~90%	60%~75%	85%~100%
单机规模/(Nm3/h)	2000	260	0.5	50
优点	技术成熟，成本低	安全无污染，灵活性高，技术成熟，成本低，能适应波动电源	使用非铂金属催化剂，能适应波动电源，安全无污染	安全无污染，效率高
缺点	存在腐蚀污染问题，维护成本高，响应时间长	质子交换膜等核心技术有待突破，成本高	交换膜技术有待突破，生产规模有待提高	工作温度过高，技术不够成熟
技术成熟度 (TRL)	8~9	8~9	2~3	5~6
产业化程度	充分产业化	初步商业化	实验室阶段	实验室阶段

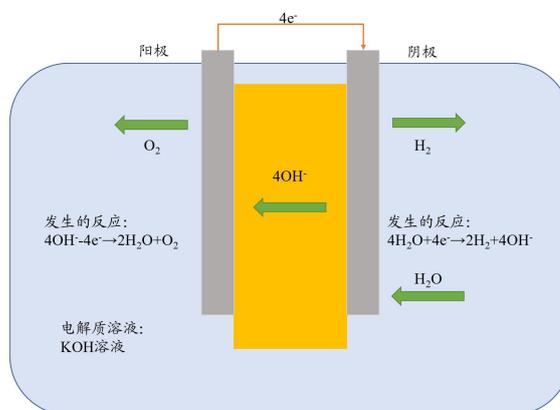


资料来源：艾邦制氢、美国能源部，华宝证券研究创新部

2.1. ALK 电解槽：目前电解水制氢产业化的首选，未来存在降本空间

ALK 电解水制氢技术是指在碱性电解质环境下电解水制氢的技术。与其他水电解设备相比，**ALK 电解槽的优势在于极板中不含有贵金属，造价相对较低且技术成熟**，而 ALK 电解槽的劣势在于要求电力稳定可靠，不适用风光等间歇性电能，氢气纯度相比 PEM、SOEC 等电解槽较低。ALK 电解槽主体由端压板、密封垫、极板、电板、隔膜等零部件组装而成，包括数十甚至上百个电解小室，由螺杆和端板把这些电解小室压在一起形成圆柱状或正方形，每个电解小室以相邻的 2 个极板为分界，包括正负极板、阳极电极、隔膜、密封垫圈、阴极电极 6 个部分。

图 5: ALK 电解槽小室工作原理



资料来源：势银《中国电解水制氢产业蓝皮书 2020》，华宝证券研究创新部

ALK 的电解液材料中，工业上多使用质量分数为 30% 的 KOH 溶液或质量分数 26% 的 NaOH 溶液。

PPS 复合隔膜是主流 ALK 电解槽隔膜的使用材料，但国产替代与降本依然是未来研发的重点。隔膜材料选择方面，最早 ALK 设备采用石棉隔膜，但是由于石棉隔膜存在毒性，目前已经被限制使用。目前国内主流隔膜为以聚苯硫醚（PPS）为基地的新型复合隔膜，具有尺寸稳定性好、耐蠕变、耐热等优势，且复合隔膜改善了 PPS 织物亲水性弱的问题。但是目前国内复合隔膜市场主要由东丽、AGFA 等厂商垄断，且每平方米价格在 400-900 元左右，按 1000 标方的电解槽所需 1200 平米隔膜计算，单台电解槽的隔膜成本在 48000 元左右。此外，聚四氟乙烯树脂改性石棉隔膜、聚砜类隔膜（PSF）等也有望成为新的隔膜材料选择。

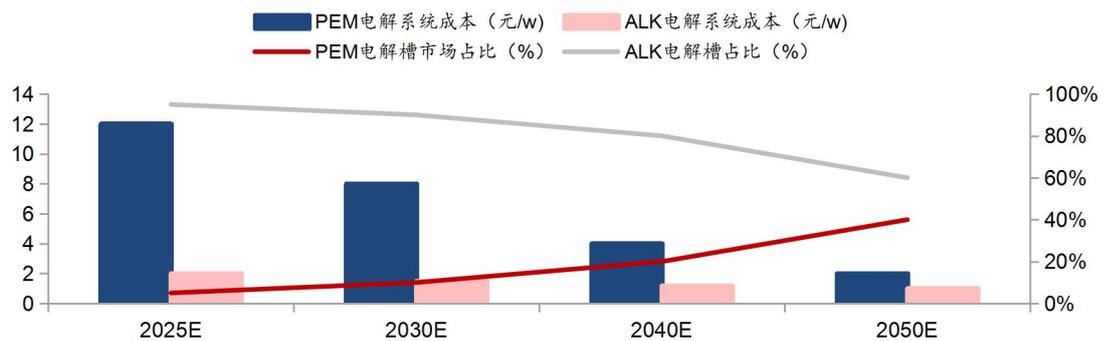
催化剂选择方面，国内目前的 ALK 电解设备生产商主要采用镍基催化剂，包括纯镍网、泡

沫镍或以纯镍网、泡沫镍为基底喷涂高活性催化剂。目前镍基催化剂的制备工艺较为成熟，镍网的幅宽能够满足大型碱性电解水制氢装置的应用，而且目数、厚度可以较好地控制。随着未来 ALK 电解槽制氢规模的进一步提升，镍网催化剂有望朝着有更大表面积，更多催化位点的雷尼镍催化剂方向发展。

极板的降本与轻量化也是未来 ALK 电解槽降本的发展方向。极板是 ALK 电解槽的支撑组件，起着支撑电极、隔膜以及导电的作用，也是整个电解槽中重复量最多的部件。在 ALK 电解槽中极板成本占 20%-30%，由主极板和极框组成，主极板表面布满凹凸状结构，与隔膜两侧的电极进行多点位接触，降低内部电阻。目前市场上根据主极板的凹凸状结构，分为乳突型极板和板网型极板。目前主流极板整体采用制造难度较高且容易短路的碳钢金属板材，部分企业研发出非金属极框，但尚未大规模使用。因此未来寻找成本低廉、密度较低且性能优良的材料来制作极板是 ALK 电解槽降低生产成本的另一重要举措。

与其他电解设备相比，ALK 电解水设备操作容易实现、成本投入低、使用寿命长，是目前水电解设备产业化应用的首选。根据中国电动汽车百人会《中国氢能产业发展报告 2020》，中短期内 ALK 电解设备依然是水电解设备市场的首选，占比约 60~95%，且随着未来水电解制氢技术的进一步成熟，ALK 制氢设备价格有望下降至 0.6~1 元/瓦。

图 6：ALK 与 PEM 制氢未来市场与成本空间预测

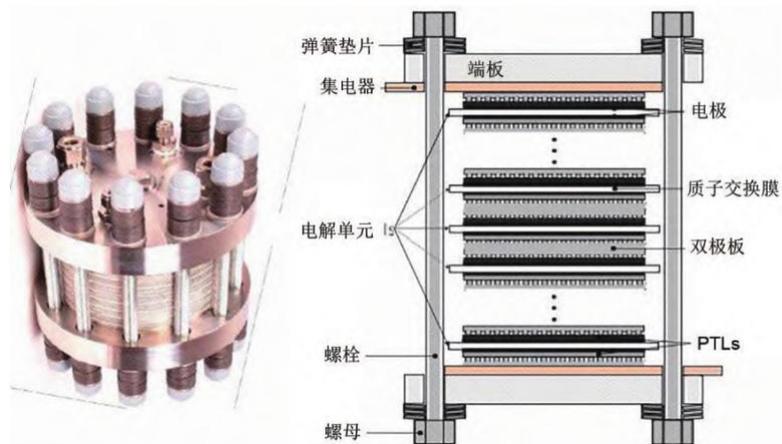


资料来源：中国电动汽车百人会《中国氢能产业发展报告 2020》，华宝证券研究创新部

2.2. PEM 电解槽：性能相比 ALK 更优，未来制造成本有望进一步降低

PEM 电解水制氢技术是指使用质子交换膜作为固体电解质，使用纯水作为电解水制氢原料的水电解制氢技术。具体而言，PEM 电解水制氢分为四个步骤：①水 ($2H_2O$) 在正极上发生水解反应，在电场和催化剂的作用下，分裂成质子 ($4H^+$)、电子 ($4e^-$) 和气态氧 (O_2)；② $4H^+$ 穿过含有磺酸基官能团的固体 PEM，在电场的作用下到达负极；③ $4e^-$ 电子通过外电路由正极传到负极；④ 到达负极的 $4H^+$ 得 $4e^-$ 生成 $2H_2$ 。PEM 电解水制氢设备由 PEM 电解槽和辅助系统 BOP 构成。与 ALK 电解槽相比，**PEM 电解槽具有电流密度大、氢气纯度高、响应速度快等优势，更适与风光储技术相结合。**但是由于 PEM 电解槽需要在强酸和高氧化性的工作环境下运行，因此 PEM 电解槽对于贵金属材料例如铱、铂、钛的依赖度更高，导致目前的 PEM 电解槽设备造价较高。

图 7: PEM 电解槽及单体结构



资料来源：徐滨等《质子交换膜电解水技术关键材料的研究进展与展望》，华宝证券研究创新部

PEM 水电解槽主要部件由内到外依次是质子交换膜、催化剂层、气体扩散层、双极板，其中扩散层、催化层与质子交换膜组成膜电极 (MEA)，是整个水电解槽物料传输以及电化学反应的主场所，膜电极特性与结构直接影响 PEM 电解槽的性能和寿命。

在 PEM 电解槽的运行过程中，质子交换膜提供了只允许水分子、水合氢离子通过的传输通道，将质子从电解槽阳极输送到电解槽阴极，在电解槽内部形成离子传递的通路。质子交换膜在 PEM 电解槽中具有以下三种作用：(1) 作为固态电解质，将阳极反应产生的质子传导至阴极去参与阴极 HER 反应，为质子的传递提供通道；(2) 隔绝阴极侧和阳极侧的反应产物（氢气和氧气），避免氢气和氧气的相互渗透；(3) 为阴极侧和阳极侧的催化剂层提供物理支撑。当前 PEM 电解槽中的质子交换膜根据含氟量的多少可分为全氟质子交换膜、部分含氟质子交换膜和非氟质子交换膜。目前 PEM 电解槽中所用质子交换膜多为全氟磺酸质子交换膜。

表 4: PEM 电解槽质子交换膜类型

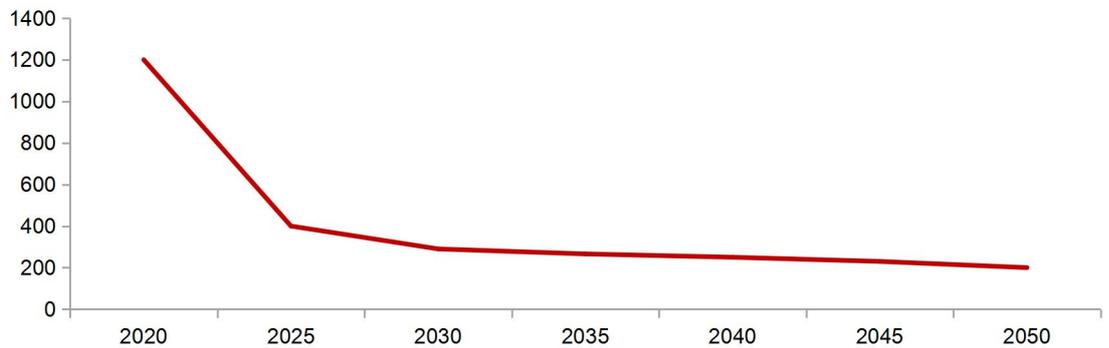
类型	全氟磺酸质子交换膜	非全氟磺酸质子交换膜	无氟质子交换膜	复合膜
结构	由全氟主链和带有磺酸基团的醚支链构成	氟碳基、碳氢化合物或芳香侧链	羟基，通常带有质子导电基团	修饰材料和全氟磺酸树脂构成的复合膜
优点	机械强度高，化学稳定性好，导电率较高，低温时电流密度大，质子传导电阻小	成本低，侧链结构中质子交换基团的接枝可提高质子电导率	成本低，环节污染小，机械导单强度高	机械性能改善，改善膜内水传功和分布，降低质子交换膜内阻
缺点	温度升高使质子传导性能变差，高温易发生化学降解，成本高	寿命短、稳定性差；常温下性能不及全氟磺酸质子膜	化学和热稳定性差；质子电导率低	制备技术要求较高
商业应用	杜邦 Nafion 系列、旭化成 Aciplex 膜、氯工程 C 膜	Balarard-BAM 3G 膜	DAIS-磺化苯乙烯-丁二烯/苯乙烯嵌段共聚物膜	Gore-select-PTFE 增强膜

资料来源：张艳红等《我国燃料电池汽车用于质子交换膜产业发展分析》，华宝证券研究创新部

随着国产替代化进程的加快，未来我国质子交换膜成本将进一步下降。随着我国东岳未来、利润新材等国内头部质子交换膜生产商的产能扩张进度加快，我国质子交换膜的进口依赖度将进一步下降。且根据 IEA 的预测，未来质子交换膜价格有望进一步下降至 500 元/平，成本下

降与生产可控将进一步提升我国 PEM 电解槽的生产能力。

图 8：质子交换膜成本下降曲线（美元/kW）



资料来源：IEA，华宝证券研究创新部

PEM 电解水制氢设备的双极催化剂不同。目前市场上主流的 PEM 电解槽催化剂，**阳极一般为二氧化铱、铱黑等铱基催化剂，阴极为铂碳催化剂**。虽然二氧化钌（RuO₂）和二氧化铱（IrO₂）对析氧电化学反应的催化活性较好，但 IrO₂ 的稳定性更好。目前 IrO₂ 是 PEM 电解设备阳极催化剂的主要材料。铂碳催化剂（Pt/C）是一种将铂负载到活性炭上的载体催化剂，属于贵金属催化剂的细分品类之一。根据 GGII 统计，目前 PEM 阴极催化剂的 Pt 负载量一般为 0.4-0.6 mg/cm²。

表 5：主流 PEM 设备催化剂

类型	名称	Ir%
阳极催化剂	100IRO	85
	100IROP-H	78
	100IROP-M	71
	100IROP-L	62
类型	名称	
阴极催化剂	40%Pt/C	
	50%Pt/C	
	60%Pt/C	
	70%Pt/C	
	50%Pt,Co/C	
	100%Pt	

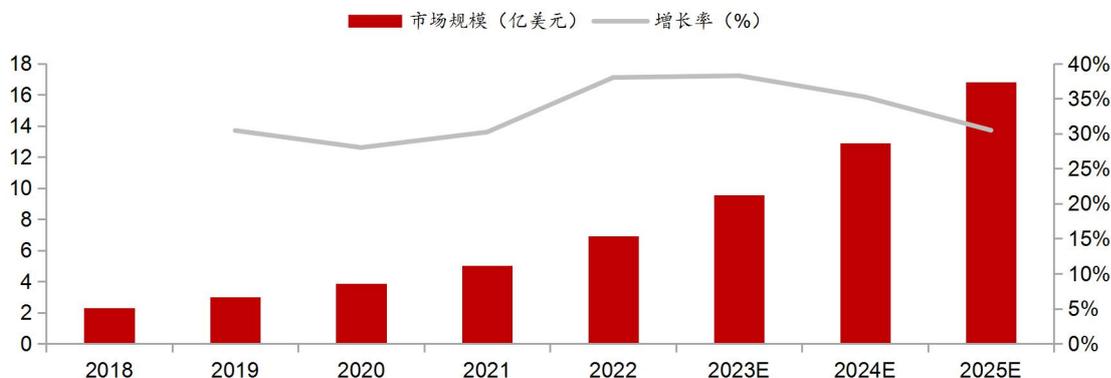
资料来源：济平新能源，华宝证券研究创新部

气体扩散层起着传递水、氢气、氧气、催化剂等材料以及提供机械支撑的作用，一般阳极侧气体扩散层由抗腐蚀的钛金属制成，比如粉末烧结钛片、纤维烧结钛毡、钛网等，其表面可以进行贵金属涂层处理，以降低接触电阻。根据 GGII 统计，目前市场上钛纤维毡每平的镀铂成本在 5000~15000 元不等。阴极可以选用碳纸和碳布等碳基材料，或同样使用钛材。随着未来 PEM 电解槽制氢规模的进一步扩大，气体扩散层的大尺寸生产能力、批量化供应能力以及降本能力将成为挑战。

根据美国 Avcarb 公司预测，2020 年，全球气体扩散层市场规模达到 3.84 亿美元，预计 2025 年将达到 16.83 亿美元，年复合增长率（CAGR）为 30.47%。目前全球气体扩散层的碳

纸技术仍掌握在日本 Toray、德国 SGL、加拿大 Ballard、美国 Avcarb 等少数外企手里，而我国以通用氢能为代表的国内气体扩散层企业正在加速这一环节的国产化。由于气体扩散层的成本主要由加工费用主导，若规模化生产将会带来大幅的成本削减。因此，扩散层大规模生产工艺是未来重点发展方向。

图 9：全球气体扩散层市场规模及增长率

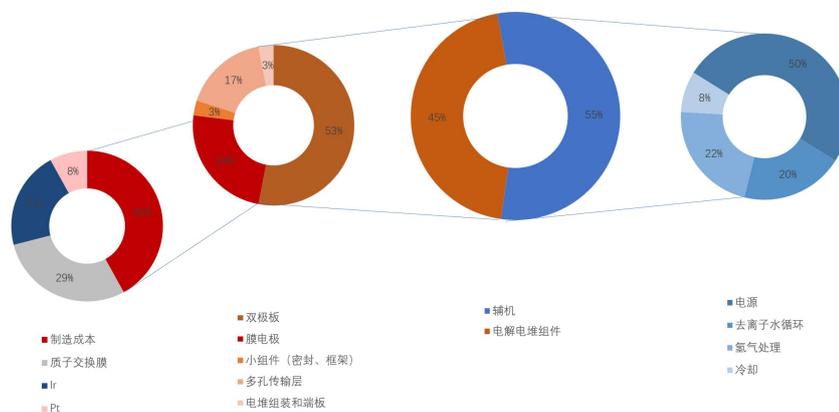


资料来源：Avcarb，华宝证券研究创新部

金属双极板是 PEM 电解槽的重要组件，约占电解槽 50% 左右的价格。金属双极板强度更高，具有更好的成形性、抗冲击性和较低的透气性，被广泛适用于 PEM 电解槽。目前主流的 PEM 电解槽的金属双极板通常为钛基双极板，表面镀有 Pt 或 Au 等贵金属涂层或进行其他表面处理。由于双极板在 PEM 电解槽中重复量较大，因此贵金属涂层的用量价格对 PEM 电解槽的成本影响较大。

铂、钛、铱等贵金属成为 PEM 电解槽扩产的主要瓶颈，降低贵金属使用率或开发替代材料是 PEM 电解槽的降低成本的未来发展趋势。电解水制氢的成本主要取决于电力成本、电解槽投资成本和运行负荷，其中电力成本对电解水制氢的敏感性影响最高，占 60%~70%。随着电力成本下降，设备投资成本的占比逐渐增加。电解槽作为整个系统的核心，其成本占系统成本的 45%。其中双极板占电堆成本的 50% 以上，膜电极成本约占 1/4，其中贵金属约占系统成本的 10%。未来 PEM 电解槽的扩产瓶颈可能不仅取决于贵金属的高成本，而是其供应可用性，因此需要尽量降低贵金属的使用量或开发替代材料。

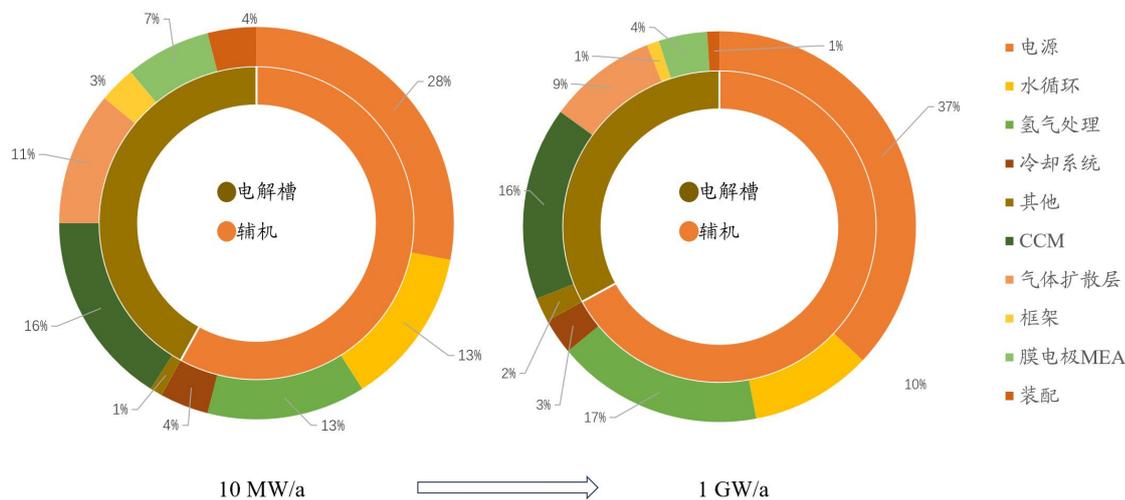
图 10：1MW PEM 电解槽的成本构成



资料来源：徐滨等《质子交换膜电解水技术关键材料的研究进展与展望》，华宝证券研究创新部

但是通过提高设备利用率，PEM 电解槽的生产可以产生规模效应，从而实现更快、更高的工艺产量与更低的生产成本。根据徐滨等《质子交换膜电解水技术关键材料的研究进展与展望》中的测算，当工厂制造规模从 10 MW/a 扩大到 1 GW/a 时，预计电解槽成本会降低 70%。因此从现存的技术角度来看，目前 PEM 设备生产商可以通过对关键材料性能和电解槽组件制造工艺的技术创新，提升 PEM 电解槽的性能，从而降低 PEM 制氢的设备成本。

图 11: PEM 电解槽扩大生产规模带来生产成本的下降



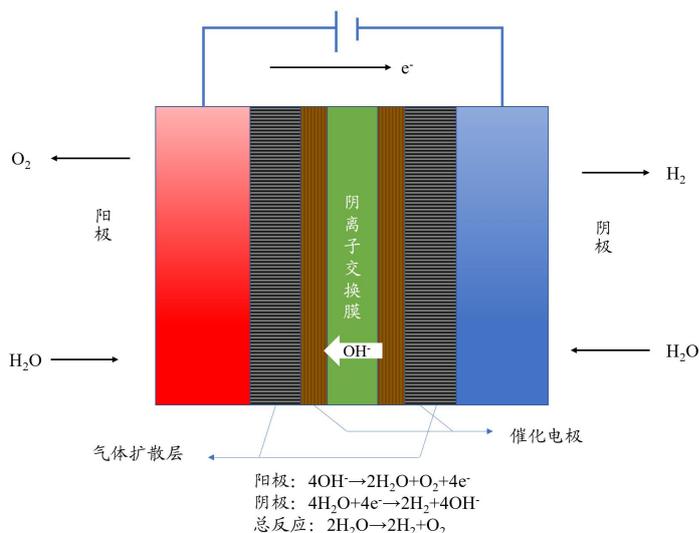
资料来源：徐滨等《质子交换膜电解水技术关键材料的研究进展与展望》，华宝证券研究创新部

2.3. AEM 电解槽：综合 ALK 的成本与 PEM 的性能优势，目前处于实验室阶段

AEM 电解槽综合 ALK 和 PEM 电解槽的优势，目前主要处于实验室研发阶段。AEM 水电解技术是指采用成本比较低的阴离子交换膜作为隔膜，以低浓度的碱性溶液或者纯水作为电解液，使用非贵金属催化剂作为反应催化剂的制氢技术。AEM 电解槽的核心包括阴极材料、阳极材料和阴离子交换膜。与 ALK 和 PEM 技术相比，AEM 技术结合了两者的优势，但是目前阴离子交换膜无法兼顾工作效率与设备寿命，AEM 电解槽仍处于实验室研发阶段。

具有高离子电导率和强耐碱特性并存的阴离子交换膜是制约 AEM 电解设备发展的关键。AEM 交换膜是典型的有机阳离子聚合物，通过将氢氧根离子从阴极传输到阳极，并作为电化学反应产生的电子和气体的屏障，阻隔二者在电极间直接传递。但是阴离子交换膜在强碱环境中存在离子导电性与稳定性（包括耐碱稳定性和机械性能）难以兼得的问题。在工作过程中，膜表面形成的局部强碱性环境使得 AEM 在 OH⁻ 的攻击下发生降解，由此引发的膜穿孔会造成电池短路，使得 AEM 制氢装置不能够长时间运行。

图 12: AEM 阴离子交换膜工作原理示意图



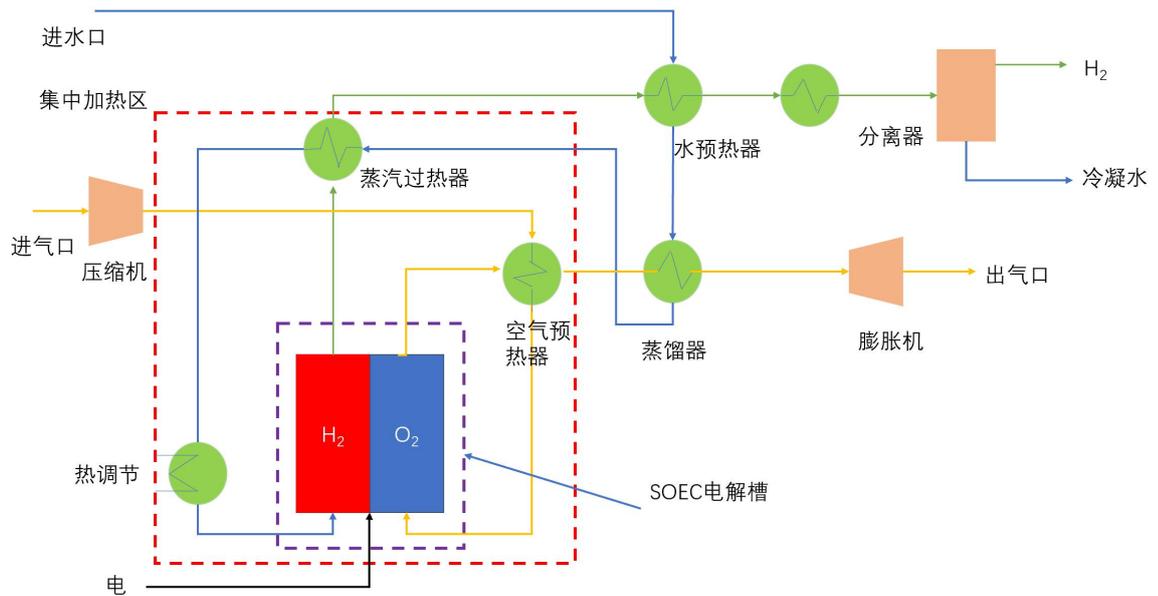
资料来源：马颖等《阴离子交换膜电解水制氢关键技术研究》，华宝证券研究创新部

随着政府专项项目以及相关企业研发计划的推进，我国 AEM 电解槽的商业化进程有望加速。宏观方面，2020 年我国推出了重点研发计划“碱性离子交换膜制备技术及应用”，对高性能碱性聚电解质膜及连续制备工艺、酸碱性双性膜及电解水制氢等方面开展了系统性研究；2022 年，科技部“催化科学”重点专项项目申报指南于“可再生能源转化与存储的催化科学”子项下设“阴离子交换膜电解水制氢研究”专项。产品方面，稳石氢能是目前全球唯一一家从膜到催化剂到膜电极、再到控制系统和系统集成，产研一体的 AEM 电解水制氢装备企业。中电绿波、亿纬氢能、未来氢能等公司也有相应的 AEM 制氢产品推出。随着 AEM 制氢低成本、高效率的优势随着关键技术的突破而逐渐显现，未来 AEM 制氢设备有望迎来大规模的商业化应用。

2.4. SOEC 电解槽：制氢效率与造价双高，未来有望向氢储能方向发展

SOEC 制氢技术是指在高温下电解 H₂O, 将电能和热能转化为化学能的过程。与其他电解槽相比，SOEC 电解槽的优势在于电耗低，适合产生高温、高压蒸汽的光热发电系统。此外，由于 SOEC 电解槽对热能的需求更大，因此 SOEC 适合建立在热能资源丰富或废热较多的地区，例如钢铁冶炼工厂、化工合成工厂或者核能发电工厂。

图 13: SOEC 电解槽典型建设场景



资料来源：氢能汇，华宝证券研究创新部

SOEC 电解槽制氢效率高，原材料不包含贵金属。SOEC 电解槽工作温度在 800-1000 摄氏度，因此在制氢过程中能量利用效率可突破 90%，高于 ALK、PEM 和 AEM 技术制氢。SOEC 电解质使用最多的材料为钇稳定氧化锆 (YSZ) 及其化合物，特别是在致密的氧化锆基陶瓷材料中掺杂 8mol% 的氧化钇，因为氧化钇稳定氧化锆电解质在较高温度(700-850℃)下表现出稳定而优异的性能。此外，YSZ 电解质具有高离子电导率(0.01~0.1 s/cm)，具有良好的化学和热稳定性。SOEC 采用的阴极材料为 YSZ 和镍(Ni-YSZ)组成的陶瓷金属。阳极材料为钙钛矿材料，即镧锶钴铁粉体 (LSCF) 和镧锶锰粉体 (LSM)。

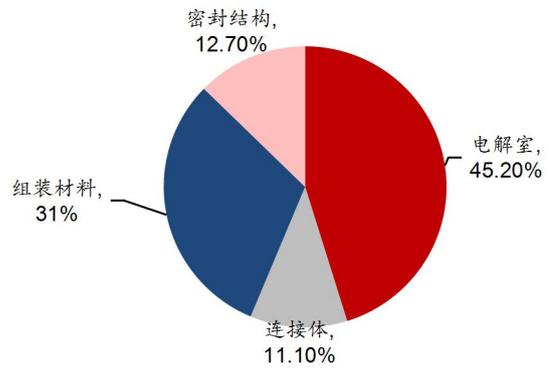
但是目前 SOEC 电解槽材料成本依然较高。根据宁波索福人的报价，按照 Anghilante R 在《Bottom-up cost evaluation of SOEC systems in the range of 10–100 MW》中有机溶剂混合物在电池片中的成本占比来折算，结合 FoB 成本占总原材料成本的 70%，与 15% 的废品率，估算 YSZ 电池单位电解室原材料成本约为 42.24 元，折合生产成本 277.94 元/kW。此外，SOEC 电解槽密封需要采用玻璃密封胶与银浆，根据 Solid Oxide Cell 的统计约为 243.13 元/kW，加上组装材料、人工等成本，预计 SOEC 电解槽的生产成本在 2354.42~3467.42 元/kW。

图 14：制备 SOEC 电解室的原材料用量、价格和材料成本估算

材料	价格 (元/kg)	用量 (g/cell)	材料成本 (元/cell)
LSCF	1152	2.8	5.42
YSZ	768	14.9	19.23
CGO	1440	2.6	6.29
NiO/CGO	768/1440	3.2	5.94
有机溶剂	-	24.5	5.36
总成本	-	-	42.24

资料来源：Solid Oxide Cell、Anghilante R 《Bottom-up cost evaluation of SOEC systems in the range of 10 - 100 MW》，华宝证券研究创新部

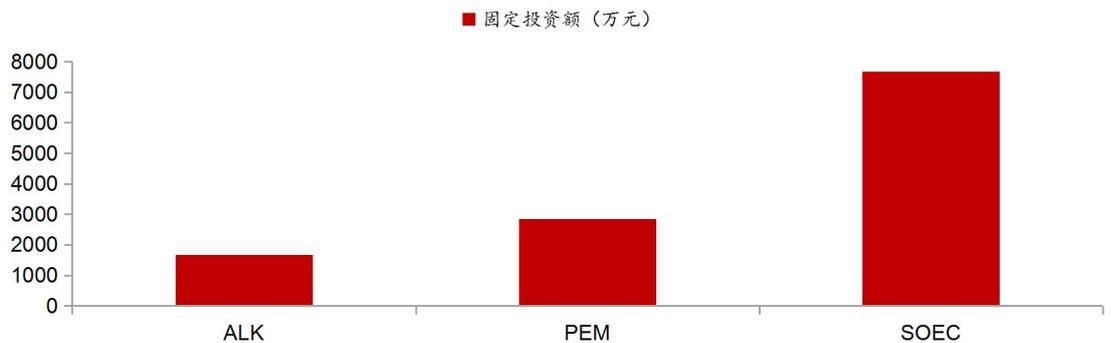
图 15：基于组件的 SOEC 电解槽制造成本占比



资料来源：Solid Oxide Cell，华宝证券研究创新部

结合固定资产投资成本后，与 ALK、PEM 相比，目前 SOEC 电解系统的综合成本较高，SOEC 电解槽制氢的大规模应用受成本限制较大。根据国际能源署 IEA 统计数据，2022 年 ALK 电解系统固定资产投资在 3500-9800 元/kW，PEM 电解系统在 7700~12600 元/kW，SOEC 电解系统在 19600~39200 元/kW。如果对 ALK 电解系统、PEM 电解系统和 SOEC 电解系统固定资产投资取低值，分别为 3500 元/kW、7700 元/kW 和 19600 元/kW。据此计算，生产 1Nm³ 氢气所需固定资产投资分别为 1674.67 万元、2842.71 万元和 7675.96 万元。

图 16：ALK、PEM、SOEC 技术下生产 1Nm³ 氢气所需要的单位固定资产投资



资料来源：IEA，华宝证券研究创新部

由于 SOEC 和 SOFC 的可逆性，未来 SOEC 电解槽应用场景有望拓展至氢储能。SOFC 是一种在中高温下直接将燃料的化学能高效、低碳、环保地转化成电能的发电装置。其反应过程为 SOEC 的逆反应，即消耗氢气释放电能。SOEC 与 SOFC/ReSOC 等技术的结合将 SOEC 的应用场景从制氢拓展到氢储能。综合日本经济产业省等研究机构的结果来看，在储氢时间约为 4 天以上时，可逆型 SOFC/SOEC 储氢系统相比于 LIB 充放电具有成本优势。目前国内可逆性 SOEC/SOFC 系统依然处于商业化的起步阶段，主要厂商例如质子动力等的相关产品的成熟度和量产能力还有待提升。

表 6: SOFC/SOEC 系统与 LIB 储能系统对比

	SOEC/SOFC 系统			LIB		
	2020	2030E	远期	2020	2030E	远期
输出部分（发电/放电）的设备成本（元/W）	37.59	17.06	10.66	1.00	0.50	0.50
蓄能部分（制氢/蓄电）的设备成本（元/Wh）	0.35	0.17	0.15	1.28	0.95	0.70
电解效率/蓄电效率	0.7	0.75	0.8	0.92	0.92	0.92
发电效率/放电效率	0.55	0.6	0.65	0.92	0.92	0.92
使用寿命（年）	5<	15	15	8	10	10

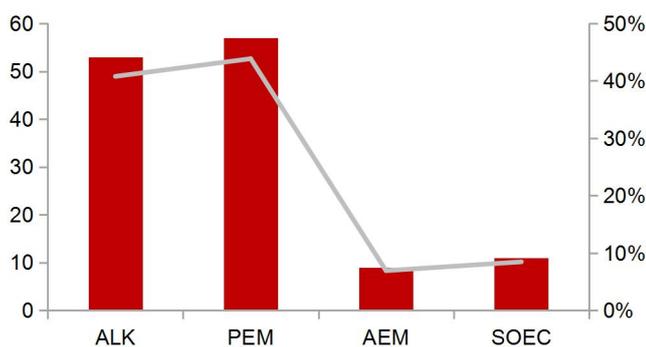
资料来源：Alpatent《高温水蒸气电解制氢（SOEC）技术及成本评估》、松永健太郎《使用固体氧化物电解池的制氢系统及电力储存系统》、日本科学技术振兴机构低碳社会战略中心《固体氧化物燃料电池系统-基于要素技术构造化的定量技术方案和科学-技术路线图》，华宝证券研究创新部

注：假设 SOFC/SOEC 系统为平板型 220kW SOFC/1.5MW SOEC，LIB 系统为 10MW/40MWh，电力成本为 0.6 元/kWh

3. 我国电解槽相关公司梳理

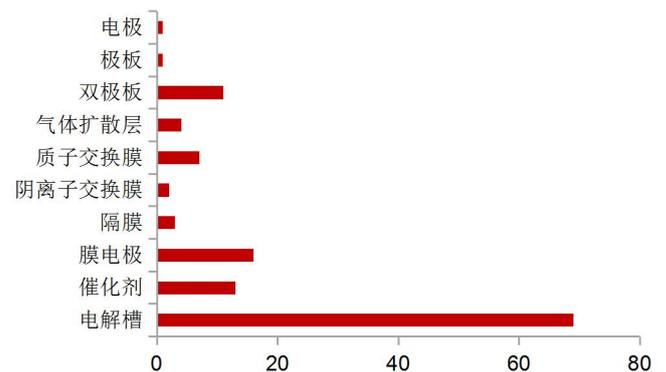
我国电解槽生产相关公司主要集中在电解槽整槽生产环节，且以 PEM、ALK 槽为主。根据氢能汇、北极星氢能网、氢云链等机构的不完全统计，目前全国有超 100 家公司从事电解槽及相关材料的生产，其中 ALK、PEM 电解槽生产企业占比约 86%。从产品类型上看，从事电解槽整槽、膜电极、催化剂、双极板等产品生产的企业较多，而隔膜、气体交换层等环节受制于生产成本、技术等方面的因素，生产的企业较少。从地域分布来看，超 50% 的公司集中在我国华东、华南地区，而西北、华北部地区虽然风光氢储规划项目较多，但本地企业的竞争力较弱。从融资轮次来看，不同的公司所处阶段差异较大，天使轮、A 轮、IPO、上市公司数量较多，呈现出两头集中的趋势。

图 17：我国四种技术的电解槽企业数量及占比



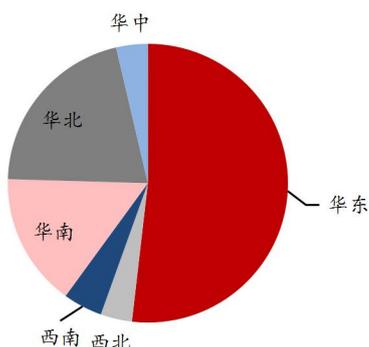
资料来源：根据氢能汇、北极星氢能网、氢云链、IT 桔子、各公司官网等不完全统计，华宝证券研究创新部

图 18：生产电解槽及相关环节产品的企业数量（家）



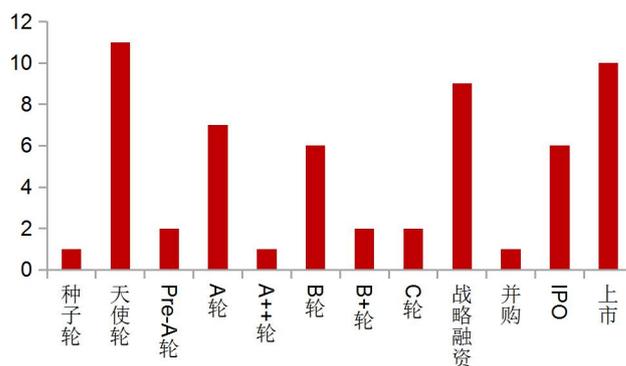
资料来源：根据氢能汇、北极星氢能网、氢云链、IT 桔子、各公司官网等不完全统计，华宝证券研究创新部

图 19: 电解槽企业地区分布 (%)



资料来源: 根据氢能汇、北极星氢能网、氢云链、IT 桔子、各公司官网等不完全统计, 华宝证券研究创新部

图 20: 电解槽企业融资阶段分布 (家)

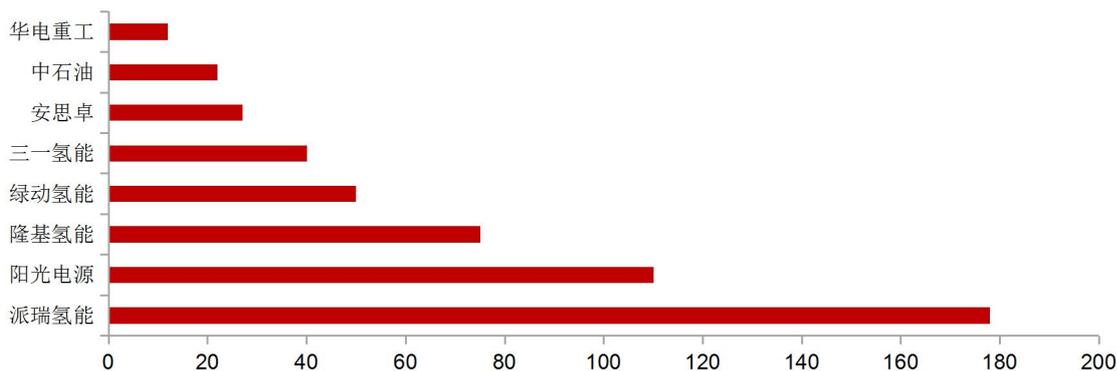


资料来源: 根据氢能汇、北极星氢能网、氢云链、IT 桔子、各公司官网等不完全统计, 华宝证券研究创新部

3.1. ALK: 市场竞争加剧, 国企、集团型企业竞争优势逐渐显现

我国 ALK 电解槽产业技术较为成熟, 国内已有派瑞氢能、隆基氢能、双良集团等家企业宣布下线 2000Nm³/h 及以上的单体电解槽。根据氢云链的统计数据, 从 2023 年上半年电解槽订单量来看, 行业前三派瑞氢能、阳光电源、隆基氢能市场份额为 64%, 与 2022 年行业前三考克利尔竞立、中船派瑞、隆基氢能占据 72% 的市场份额相比有所下降; 从中标金额来看, 上半年碱性设备的系统成交价格约为 749-2000 元/kW, 且主要分布在 1350-1500 元/kW 范围内, 对比 2022 年价格下降约 15%-20%, 这说明 ALK 电解槽行业竞争逐渐加剧。从企业性质来看, 国企卡位电解设备, 凭借风光电项目资源优势拥有更强的拿订单能力, 集团型企业例如阳光、隆基等凭借产业链资源与市场能力也斩获大量订单。

图 21: 2023H1 电解设备中标企业情况 (MW)



资料来源: 氢云链, 华宝证券研究创新部

相关公司动态:

- **中石油部署氢能产业链, 实现化石能源的清洁开发利用。** 根据中石油 2022 年社会责任报告, 2022 年中石油开展 4 个氢提纯项目前期研究, 其中四川石化项目已建成投用, 新增高纯氢产能 1500 吨/年, 总产能达 3000 吨/年。2023 年 8 月 15 日, 中石油首套 1200 标方碱性水电解制氢系统在宝鸡成功发布, 并顺利起运交付用户吐哈油田公司, 该套制氢系统电解槽额定产氢量为 1200 立方米, 工作压力 1.6 兆帕, 工作温

公司名称	所属地区	融资轮次	涉及环节
喜玛拉雅氢能	华南	A 轮	催化剂、膜电极、双极板
鸿基创能	华南	B 轮	膜电极
唐锋能源	华东	C 轮	膜电极
中自科技	西南		催化剂
贺利氏	华东		催化剂
优美科	华东		催化剂
光明特派	西南		催化剂
氢电科技	华中	A 轮	质子交换膜、膜电极
亿氢科技	华东	股权融资	膜电极
治臻新能源	华东	IPO	双极板（金属）
金泉益	华南		双极板（金属）
泰金新能	西北	A 轮	双极板（金属）
博远新能源	华东		双极板（金属）
云帆氢能	华东	天使轮	双极板（金属）
三佳机械	华东		双极板（金属）
中钛国创	华东		双极板（金属）
上海弘枫	华东		双极板（石墨）
华熔科技	华东	A 轮	双极板（石墨）
弘竣新能源	华东		双极板（石墨）
嘉裕碳素	华南		双极板（石墨）
玫昱科技	华东		气体扩散层（钛毡）
国科领纤	华东	天使轮	气体扩散层（碳纸）
东岳未来	华东	IPO	质子交换膜
清能股份	华东		膜电极、双极板
汉丞科技	华东	股权融资	质子交换膜
科润新材料	华东	C 轮	质子交换膜
武汉绿动	华中		质子交换膜
清驰科技	华北	天使轮	质子交换膜
擎动科技	华东	并购融资	膜电极、催化剂
赛克赛斯	华东	B 轮	质子交换膜、膜电极
氢辉能源	华南	A 轮	质子交换膜、膜电极

资料来源：根据氢能汇、北极星氢能网、氢云链、IT 桔子、各公司官网等不完全统计，华宝证券研究创新部

相关公司动态：

- **融科氢能、中国电建签约共建全球最大 PEM 制氢项目。**2023 年 6 月 27 日，由融科氢能、中国电建昆明院及丰镇市人民政府在内蒙古丰镇市人民政府共同签署了年产 5 万吨绿氢暨氢能装备产线项目投资协议。根据丰镇市发改委介绍，该项目包括 3GW 风电、光伏发电制氢及液化氢，采用国际先进的 PEM 制氢技术，其为全球最大规模的新能源 PEM 制氢项目，项目总投资约为 330 亿元，每年可有效降低二氧化碳排放 750000 吨。将直接带动氢能装备制造产值 150 亿元，间接带动氢能上下游供应链产值可达 300 亿元。
- **唐锋能源主攻 PEM 电解槽膜电极核心技术，已完成 C 轮融资。**唐锋能源创立于 2017 年，是一家拥有燃料电池和电解槽“心脏”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。2023年1月19日，唐锋能源宣布完成近3亿元的C轮融资，本轮融资由金浦智能、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。唐锋能源产品有高性能低铂膜电极，其铂载量 $<0.25\text{gPt/kW}$ ，功率密度 $\geq 1.3\text{W/cm}^2$ ，运行时长可超过10000h，具有载量低、性能搞、使用寿命长等特点，也是国内第一款批量交付的合金催化剂膜电极产品。

- **东岳未来聚焦质子交换膜产品研发。**东岳未来是东岳集团的子公司，依托东岳集团氟硅材料产业园区和完整的“氟、硅、膜、氢”产业链和产业群配套支持，东岳未来聚焦氢能核心材料。东岳未来主营产品包括全氟磺酸膜、膨体聚四氟乙烯膜(ePTFE)、全氟磺酸离子交换树脂、全氟羧酸离子交换树脂等
- **中自科技布局 PEM 电解槽催化材料。**中自科技是尾气处理催化剂国产厂商之一，公司依托自身自有的环保催化剂技术优势向 PEM 催化剂行业拓展。根据公司 2023 年半年报，公司质子交换膜水电解槽用关键材料开发已经完成项目立项，目前实验室阶段所开发的析氧催化剂新鲜性能指标 $1.7\text{V}@1\text{A/cm}^2$ 、 $1.9\text{V}@2\text{A/cm}^2$ 可满足项目要求，电压增幅 $<20\mu\text{V/h}@200\text{mA/cm}^2$ ，产品可满足在 1-2 家客户的 PEM 槽中示范应用，实现催化剂公斤级/批次的产能目标。

3.3. AEM：目前尚处实验室阶段，仅有少量产品发布

虽然 AEM 电解水技术结合 PEM 和 ALK 技术的优势，但是目前开发的阴离子交换膜仍然无法兼顾工作效率和设备寿命，且在电极材料中仍然会加入少量的贵金属，寻找高效的阴离子交换膜和低成本的非贵金属催化剂也是未来 AEM 电解槽大规模应用的研发重点。产品方面，国内研发产品多集中在 AEM 电解槽、阴离子交换膜和催化剂，其中亿纬氢能、稳石氢能、北京未来氢能、北京中电绿波等企业均已推出 2.5-50kW 的 AEM 电解槽产品，但是目前 AEM 制氢产品仅在科研院所、电厂、化工等领域实现小规模应用。

表 8：我国涉及 AEM 电解槽制造的相关企业（部分）

公司名称	所属地区	融资轮次	涉及环节
中电丰业	华北	股权融资	电解槽
航天思卓	华北		电解槽
中电绿波	华北		电解槽
亿纬氢能	华北		电解槽
未来氢能	华北		阴离子交换膜、金属双极板、催化剂、膜电极、电解槽
浙江菲尔特	华东	IPO	阴离子交换膜、扩散层（钛毡）、双极板（金属）
仁丰股份	华东		气体扩散层（碳纸）
稳石氢能	华南	A 轮	电解槽

资料来源：根据氢能汇、北极星氢能网、氢云链、IT 桔子、各公司官网等不完全统计，华宝证券研究创新部

相关公司动态：

- **中电绿波发布首台 AEM 电解槽。**2023 年 8 月 15 日，中电绿波正式发布国首台在线运行 $10\text{Nm}^3/\text{h}$ AEM 离子膜电解槽，该产品采用非贵金属催化电极，在槽温 80°C ，碱

液浓度 10%、运行压力 3.2MPa 的工况下电流密度达到 11377A/m²，最快冷启动时间 16min，其中的非贵金属触媒电极是基于其合作伙伴 Ionomr 旗下的 Aemion+® 薄膜。根据 Ionomr 介绍，该款 AEM 膜相比 PEM 膜或传统 AWE 膜具有性能方面的巨大优势，其成本也比 PEM 和碱性系统低 20%到 40%，并且可以高效、低成本制氢，在高温和强碱下的性能也非常稳定。

3.4. SOEC：目前处于走出实验室放大的阶段，部分公司由 SOFC 转型而来

现阶段国内企业 SOEC 电解槽制氢功率以千瓦级为主，集中在 2-25kW，电流密度 0.5-1.0A/cm²。SOEC 系统效率在 75%以上，部分企业可达 85%。GGII 预测 2023 年中国 SOEC 市场出货规模约 0.5 亿元，同比增长 60%以上，主要受益于示范项目的大型化；预计 2025 年国内 SOEC 出货量或将突破 2 亿元，并于 2030 年增长至 36 亿元，行业迎来快速发展期。从涉及公司来看，由于 SOFC/SOEC 的可逆性极强，且两者制备过程及所用材料基本一致，因此海内外 SOEC 厂商主要由 SOFC 厂商转型而来，且 SOEC/SOFC 海外产品成熟度高于国内。

表 9：我国涉及 SOEC 电解槽制造的相关企业（部分）

公司名称	所属地区	融资轮次	涉及环节
翌晶氢能	华东		电解槽
质子动力	华北		电解槽
思伟特	华北	天使轮	电解槽
氢程科技	华东		电解槽
中弗新能源	华东		电解槽
华科福赛	华中	股权融资	电解槽
氢邦科技	华东	天使轮	电解槽
华光环能	华东		电解槽
壹石通	华东	上市	电解槽
思伟特	华北	天使轮	电解槽

资料来源：根据氢能汇、北极星氢能网、氢云链、IT 桔子、各公司官网等不完全统计，华宝证券研究创新部

相关公司动态：

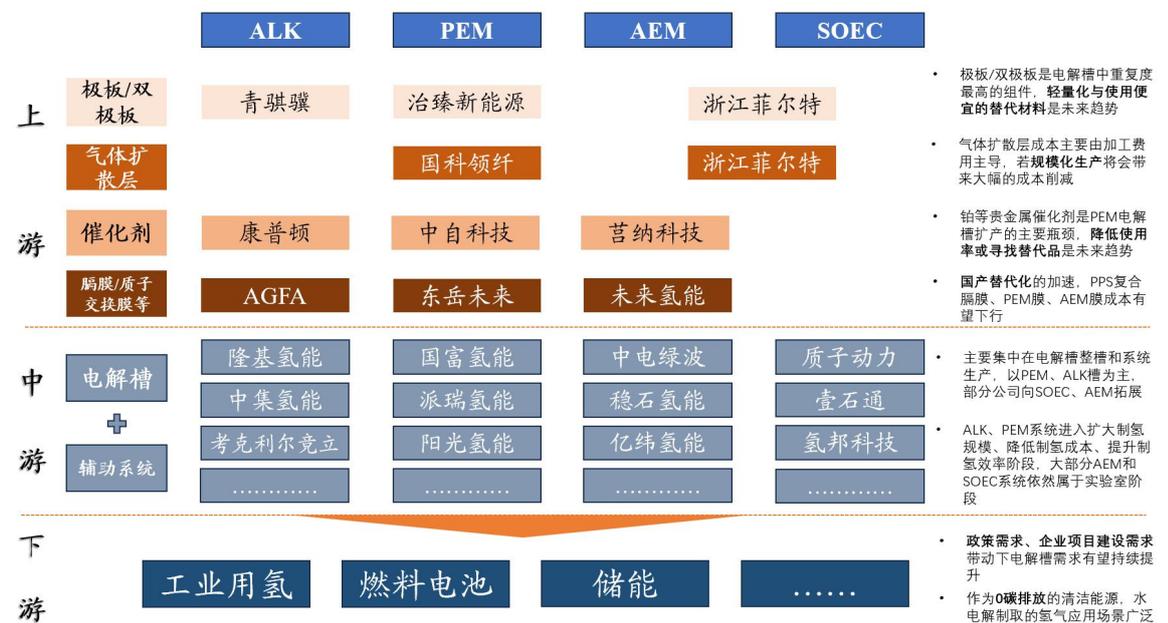
- **质子动力为国内 SOEC 领域龙头企业。**质子动力成立于 2019 年，同时布局 SOEC/SOFC 的电池片、电堆、系统全产业链的研发及产业化。产品方面，质子动力主要聚焦高温电解制氢(SOEC)及固体氧化物燃料电池(SOFC)产品的研发及产业化；团队深度掌握了 20x20cm² 单电池片技术（面积最大），2021-2022 年成功交付千瓦级 SOEC、SOFC 系统。制氢领域，公司深度掌握高温电解制氢(SOEC)关键技术，SOFC/SOEC 样机打造经验，经过多年的技术研发与积累，在国内氢能领域拥有多项成果。根据公司官网，质子动力的 SOEC 电解水制氢系统单位氢气能耗 4.2-4.5kWh/Nm³，功率范围 2kW-25kW，采用小批量、定制化的服务模式。
- **壹石通拟建设 1GW 固体氧化物能源系统（SOC）项目。**2023 年 9 月 19 日，壹石通公告拟由全资子公司壹石通研究院作为实施主体，预计总投资 12.1 亿元建设年产 1GW 固体氧化物能源系统项目。该项目拟选址建设在安徽省合肥市，预计总投资 12.1 亿元，其中固定资产投资 7.66 亿元，项目建设周期 3 年，达产后将形成年产 1GW 固体氧

化物能源系统的生产规模，包含固体氧化物燃料电池（SOFC）和固体氧化物电解池（SOEC）产品。本项目的出台标志着壹石通已经初步掌握 SOEC 电解质、阳极粉体、高性能阴极粉体的规模化和低成本制备能力，未来 SOEC 电解槽有望加速量产。

4. 投资建议

我国水电解制氢市场潜力巨大，电解槽作为关键设备在其中发挥重要作用，未来需求空间广阔。根据 TrendBank 预测，到 2025 年我国绿氢的需求量将达到 130 万吨，对应 2023-2025 年的电解水制氢设备出货量 17GW 以上。2022 年我国电解槽总出货量为 800MW 左右，根据我国各地项目规划，预计 2023 年全年我国电解槽出货量为 1.4-2.1GW，未来电解槽需求空间较大。

图 24：电解槽产业链及关键环节代表企业



资料来源：氢能汇、各公司官网，华宝证券研究创新部

具体而言：

- 1) 单槽制取规模不断扩张的趋势下，电解槽企业有望迎来规模效应，关注 ALK/PEM 整槽生产厂商的产品下线规模与下线价格。根据隆基氢能测算，1 台 2000Nm³/h 电解槽相较于 2 台 1000Nm³/h 电解槽，可节约占地面积 30%，减轻重量 20%，降低 CAPEX 约 20%。随着未来电解槽技术的不断成熟，单槽成本有望进一步降低，制氢效率有望进一步提升，电解槽企业有望迎来规模效应。
- 2) PEM 电解槽成本的降低离不开关键部件的贵金属替代与国产替代，关注双极板/催化剂/质子交换膜/气体扩散层等环节相关厂商的研发进展。目前 PEM 电解槽造价中贵金属占比较高，且关键部件例如质子交换膜等尚未形成稳定的产能与市场竞争格局，随着相关技术取得突破，未来 PEM 整槽的价格有望进一步降低。
- 3) AEM/SOEC 电解槽尚处商业化前夜，关注龙头企业的产品研发进展。与目前应用较为成熟的 ALK/PEM 电解槽相比，AEM 和 SOEC 电解槽各有优势，但尚未取得批量化的

产品下线，仅有中电绿波、质子动力等相关企业发布产品，随着未来关键技术（例如阴离子交换膜等）的不断突破或应用场景（例如氢储能等）的深入拓展，AEM/SOEC电解槽有望在中长期迎来大规模的商业化应用。

5. 风险提示

- 1、政策规划效果不及预期：各地氢能规划落地时间存在先后顺序，若不及预期则影响项目回收周期；
- 2、技术应用落地不及预期：当前电解槽投融资受技术成熟度影响，若不及预期则影响商业化进程；
- 3、本报告基于公开信息客观整理，提及的公司旨在对行业特征进行说明，不涉及覆盖与推荐；
- 4、本报告部分图表根据新闻资料整理，存在统计不完备的情况。

分析师承诺

本人承诺，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告，本报告清晰准确地反映本人的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体建议或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

公司和行业评级标准

★ 公司评级

报告发布日后的 6-12 个月内，公司股价相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为基准：

买入：	相对超出市场表现 15% 以上；
增持：	相对超出市场表现 5% 至 15%；
中性：	相对市场表现在 -5% 至 5% 之间；
卖出：	相对弱于市场表现 5% 以上。

★ 行业评级

报告发布日后的 6-12 个月内，行业指数相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为基准：

推荐：	行业基本面向好，行业指数将跑赢基准指数；
中性：	行业基本面稳定，行业指数跟随基准指数；
回避：	行业基本面向淡，行业指数将跑输基准指数。

风险提示及免责声明

- ★ 华宝证券股份有限公司具有证券投资咨询业务资格。
- ★ 市场有风险，投资须谨慎。
- ★ 本报告所载的信息均来源于已公开信息，但本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。
- ★ 本报告所载的任何建议、意见及推测仅反映本公司于本报告发布当日的独立判断。本公司不保证本报告所载的信息于本报告发布后不会发生任何更新，也不保证本公司做出的任何建议、意见及推测不会发生变化。
- ★ 在任何情况下，本报告所载的信息或所做出的任何建议、意见及推测并不构成所述证券买卖的出价或询价，也不构成对所述金融产品、产品发行或管理人作出任何形式的保证。在任何情况下，本公司不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的承诺或担保。投资者应自行决策，自担投资风险。
- ★ 本公司秉承公平原则对待投资者，但不排除本报告被他人非法转载、不当宣传、片面解读的可能，请投资者审慎识别、谨防上当受骗。
- ★ 本报告版权归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何组织或个人不得对本报告进行任何形式的发布、转载、复制。如合法引用、刊发，须注明本公司出处，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。
- ★ 本报告对基金产品的研究分析不应被视为对所述基金产品的评价结果，本报告对所述基金产品的客观数据展示不应被视为对其排名打分的依据。任何个人或机构不得将我方基金产品研究成果作为基金产品评价结果予以公开宣传或不当引用。

适当性申明

- ★ 根据证券投资者适当性管理有关法规，该研究报告仅适合专业机构投资者及与我司签订咨询服务协议的普通投资者，若您为非专业投资者及未与我司签订咨询服务协议的投资者，请勿阅读、转载本报告。