

# 绿氢星辰大海，电解槽迎发展机遇

□ 锡创投 吴程浩

氢能兼具能源与化工原料属性，是连接新老能源的理想媒介。绿氢在制氢过程中完全没有碳排放，在现有的能源转型和气候变化的背景下，绿氢被认为是未来取代传统高碳能源的关键能源之一。氢能产业链中，绿氢制取有望率先爆发，带来水电解制氢设备市场需求快速提升，为绿氢领域确定性投资方向之一。

## ■ 发展氢能是国家实现“双碳”目标的最佳选择

氢能是二十一世纪的“终极能源”。氢能来源广泛，具有能量密度高、清洁安全、灵活高效、应用场景广泛、储运方式多样等优点，是推动传统化石能源清洁高效利用和支撑可再生能源大规模发展的理想能源载体，被誉为二十一世纪的“终极能源”，受到各国的广泛关注。

目前我国主要以灰氢为主，绿氢是未来的主要发展方向。根据中国煤炭工业协会的数据，2020年中国氢气产量超过2500万吨，其中煤制氢占62%、天然气制氢占19%、工业副产制氢占18%，而电解水制氢仅占1%左右。尽管传统化石原料制取的灰氢在中短期内仍将占据市场主流地位，绿氢作为理想的零碳排放可持续能源，随着政策的推进和技术的不断突破，有望逐渐取得更大的市场份额，成为未来低碳经济的主流发展方向。

氢能产业链较长，绿氢制取有望率先受益。氢能产业链涵盖氢气的制取、储存、运输、加氢以及下游应用等环节。随着国家政策的不断加码和绿氢制取技术的不断进步，绿氢制取环节的投资有望最先启动。

## ■ 四种类型的电解槽及部件分析

电解水制氢具有纯度等级高、与可再生能源结合紧密等特点，相比核能制氢、光催化制氢等仍处于实验室阶段的技术路线，是公认未来最有发展潜力的绿氢制备方式。

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碱性水电解系统为例，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。

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。

### (一) 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。

电解液方面，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。隔膜方面，PPS复合隔膜是主流ALK电解槽隔膜的使用材料，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平方米隔膜计算，单台电解槽的隔膜成本在48000元左右，国产替代与降本依然是未来研发的重点。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，制备工艺较为成熟，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。极板方面，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，占ALK电解槽成本20-30%，未来寻找成本低廉、密度较低且性能优良的极板材料是ALK降本方向。

### (二) 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。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，更适合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电解槽对于金属材料例如钛、铂、钽的依赖度更高，导致目前的PEM电解槽设备造价较高。

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。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，主要依靠进口。随着我国东岳未来、科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/平方米，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。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。根据GGII统计，阴极催化剂的Pt负载量一般为0.4-0.6mg/cm<sup>2</sup>，铂、钽、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。气体扩散层方面，阳极侧气体扩散层由抗腐蚀钛金属制成，阴极可以选用碳纸和碳布等碳基材料，或同样使用钛材。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。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。目前主流的PEM电解槽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。

(三) 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。

### (四) 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H<sub>2</sub>O，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，例如钢铁冶炼厂、化工合成工厂或者核能发电厂。目前SOEC发展瓶颈主要在于：关键材料性能提升：高温运行条件下保持良好的热稳定性和化学稳定性，同时保证材料易于加工、控制成本。

## ■ 氢气消纳潜在上亿吨量级，万亿电解槽市场启动

氢气消纳主要集中在化工、钢铁、储能和交通四大领域，从短、中期以及理论极限值分析来看，短期已立项规划的绿氢项目可带动百万吨氢气需求和百亿元市场空间，在绿氢全面渗透下，潜在的消纳空间高达亿吨，将催生氢气和相应设备的万亿市场规模，远期天花板高。

测算说明：(1)短期：以当前已落地或立项的绿氢相关项目作为指引测算，部分无明确规划项目的以绿氢渗透率估算，预计看向2-3年后；(2)中期：以30%的绿氢渗透率为假设测算，预计看向2030年；(3)理论极限：以绿氢全面渗透为假设测算。

领域	类型	绿氢潜在可渗透行业规模	使用绿氢对应产品规划量	短期规划对应绿氢量
化工	合成氨	6000万吨	805万吨	142万吨
	甲醇	8000万吨	479万吨	90万吨
	炼油	7亿吨	假设3%渗透	23万吨
钢铁	冶炼	18.9亿吨	740万吨	41万吨
储能		6000亿kWh	28万吨	28万吨
交通	商用车	839万辆	假设15%渗透	18万吨
潜在市场规模		短期	中期	理论极限
氢气需求规模/万吨		341	8964	30959
电解槽装机规模/GW		208	3646	6726
氢气市场规模/亿元		930	16277	30025
电解槽市场规模/亿元		490	7146	13451

表：绿氢理论消纳量及电解槽装机量测算

(来源：国金证券研究所)

## ■ 电解槽行业竞争格局、行业趋势如何？

### (一) 行业发展历史

电解槽行业的原有参与者：技术团队基本由中船718所沿革产生，技术同源性较高。目前实力最强的“老三家”：苏州竞立、天津大陆、中船718所，目前成为新入行业企业的黄埔军校其中：1)中船718所：1966年开始研发，1980年起逐渐应用于浮法玻璃、电子等领域，实现国产替代，2008年成立了派瑞氢能科技有限公司；2)苏州竞立：成立于1992年，2018年被比利时John Cockerill集团承接，考克利尔竞立成立；3)天津大陆：成立于1994年，为1992年北方到竞立的工程师不适应苏州的气候与文化环境创立。

电解槽行业的现有玩家：技术骨干多由行业的“老三家”中产生，技术同源性较高：1)行业热度增加：近两年光伏龙头如隆基、阳光，风电龙头如明阳等纷纷入局电解槽行业；2)单槽规模提升：研发以大型集成化为目标，不断有千方级产品下线，同等制氢量下实现降本；3)技术同源性高：行业新参与者的骨干多为“老三家”中的技术骨干，开发周期约8-10个月随产业成熟度提高，首台产品开发到下线可进一步缩短至3-5个月。

### (二) 竞争格局

最新电解槽出货量排名：派瑞氢能出货量排名第一，隆基氢能跻身第二，华电重工、航天思卓首次进入前五。TOP5厂商市占率合计为54%，同比2022年大幅下降25%，随着众多新厂商实现设备交付，市场集中度大幅降低。

### (三) 行业趋势

随着碳达峰目标期限临近，政府和企业层面都面临很大政策压力，加大了对绿氢项目的支持力度，绿氢项目建设提速，电解槽市场也因此迎来了红利期，但同时导致中国电解槽总产能快速上涨，已初步形成产能过剩格局。

预计未来几年电解槽市场将继续保持“量升价降”趋势，行业集中度下降的同时，电解槽厂商将更加专注于产品改进和增值服务。同时也将迎来电解槽厂商的集中出海潮，使中国电解槽行业进入海外扩张期。