

2022年中国电解水制氢设备行业概览

Overview of China's electrolytic water hydrogen production equipment industry in 2022

概览标签：电解水设备、制氢产业链、制氢技术、低碳能源、燃料电池

报告主要作者：孙搏文

2022/07

报告提供的任何内容（包括但不限于数据、文字、图表、图像等）均系头豹研究院独有的高度机密性文件（在报告中另行标明出处者除外）。未经头豹研究院事先书面许可，任何人不得以任何方式擅自复制、再造、传播、出版、引用、改编、汇编本报告内容，若有违反上述约定的行为发生，头豹研究院保留采取法律措施，追究相关人员责任的权利。头豹研究院开展的所有商业活动均使用“头豹研究院”或“头豹”的商号、商标，头豹研究院无任何前述名称之外的其他分支机构，也未授权或聘用其他任何第三方代表头豹研究院开展商业活动。

摘要

01

政策助力，促进下游市场对于绿氢的需求；完善绿氢及其周边配套设备（如光伏等可再生能源电站、加氢站及储氢瓶等）可再生能源电解水制氢设备获发展机会。

- 2022年3月国家发展改革委、国家能源局联合发布《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》建设以工业副产氢和可再生能源制氢为主的氢能供应体系，权力发展风光互补耦合发电制氢系统为中国实现“双碳”目标做贡献。

02

碱性水电解设备（ALK）、质子交换膜电解设备（PEM）为主流电解水制氢技术；目前碱性电解水技术占据市场主导地位，预计未来PEM技术会实现技术替代。

- 碱性电解水技术凭借成本低，技术成熟度高的优势，成为国内主流路线并占据主导地位。未来PEM设备将通过增加电流密度、提升电极面积、降低膜厚、优化设计PTL等方式降低单位制氢成本以实现对ALK设备的技术替代。

03

电解水制氢设备产业链上游为光伏及风电设备供应商和电堆集成供应商，中游为氢气设备制造及解决方案提供商，下游为制氢厂商。

- 光伏发电的发展为可再生能源电解水制氢降低成本的驱动原因之一；2021年我国新增光伏并网装机容量为5,488万千瓦，光伏上网电价逐渐接近平价为可再生能源电解水制氢发展打下基础。

04

随着中国氢气需求量的大幅上升以及可再生能源制氢占中国氢气制取来源比例的提升，未来中国电解水制氢设备市场规模将迅速增长，预计2050年市场规模将突破万亿元。

- 2016至2021年中国氢气产量稳定增长，预计2060年，中国氢气需求及产量将增加至1.3亿吨以上，成为未来中国能源消费市场中的主流能源之一。2050年，可再生能源制氢占比全面超越化石能源制氢达到70%，推动制氢设备市场规模突破万亿元。

“3060双碳”政策下，电解水制氢设备行业破浪前行

2022年3月23日，由国家发展改革委、国家能源局联合发布《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，为中国氢能发展注入活力。规划要求2025年中国可再生能源制氢量达到10-20万吨/年；2030年中国需形成完备的氢能产业技术创新体系及清洁能源制氢和供应体系；2035年中国需形成氢能产业体系，构建涵盖交通、储能、工业等领域的氢能应用生态。该规划将逐步推动中国氢气下游市场对于绿氢的需求，从而促进可再生能源电解水制氢设备行业的发展。

目录

CONTENTS

◆ 第一章：行业背景	04
• 我国绿氢发展政策	05
• 电解水制氢发展历程	06
• 风光互补耦合发电制氢系统	07
◆ 第二章：电解水制氢设备产业链综述	08
• 电解水制氢设备产业链	09
• 上游：光伏	10
• 上游：膜电极	11
• 下游：氢气需求	12
• 下游：氢气未来市场规模	13
◆ 第三章：碱性水电解制氢	14
• 制氢设备技术路径	15
• 碱性水电解制氢	16
◆ 第四章：质子交换膜电解水制氢	19
◆ 第五章：固体氧化物电解水制氢&阴离子交换膜电解水制氢	23
◆ 第六章：制氢设备未来发展趋势	27
• 电解水制氢设备发展趋势	28
◆ 第七章：技术迭代后的未来市场规模&制约因素	33
• 氢气供给	34
• 电解水制氢设备未来市场规模	35
• 制约因素	36
◆ 第八章：国内电解液行业重点企业（阳光电源）	38
• 阳光电源发展历程	39
• 可再生能源制氢发展历程&技术专利	40
• 可再生能源制氢解决方案	41
• 核心优势	42

第一部分：行业背景

主要观点：

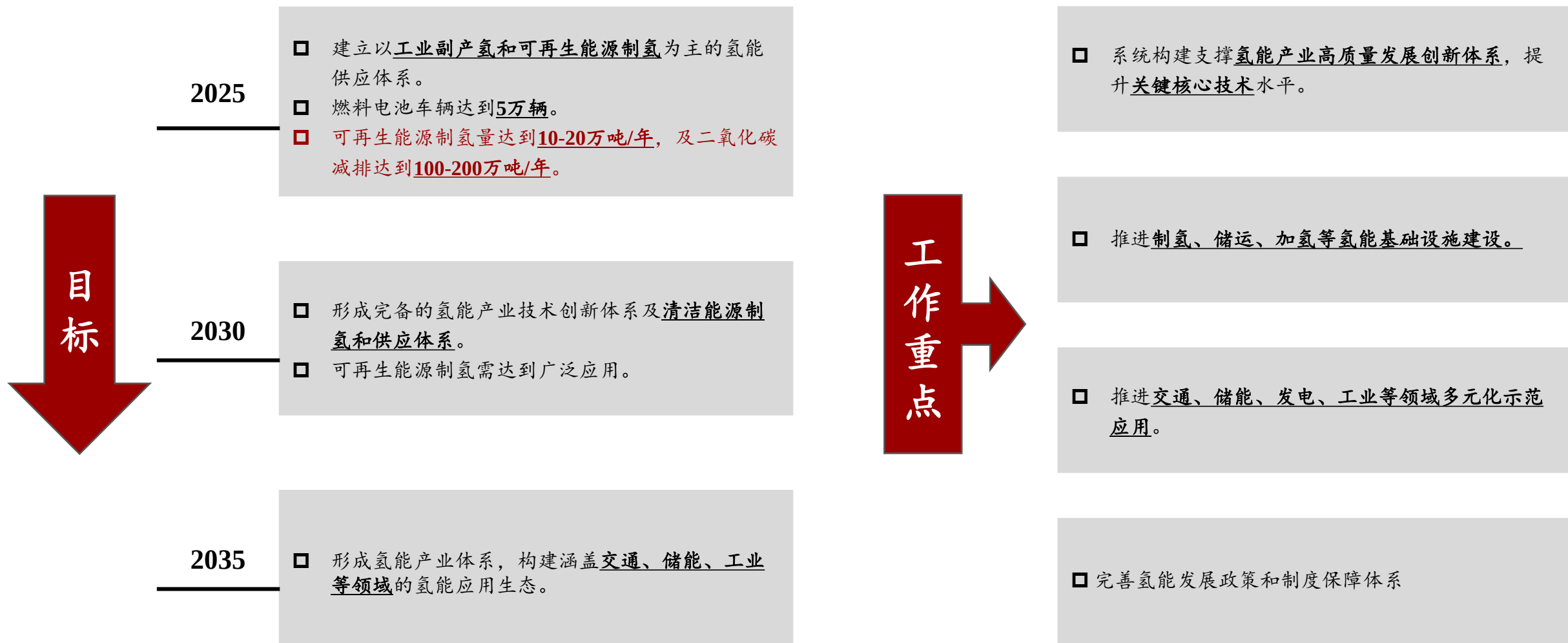
- 2022年3月23日，由国家发展改革委、国家能源局联合发布《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，确定了中国氢能定位、未来发展目标以及应用方向。
- 俄国科学家于19世纪末期发明电解水制氢设备，20世纪70年代开始，石油危机的冲击以及环保意识的出现，导致对能源使用理念开始产生变化，对氢能的开发和利用逐步获得重视，电解水制氢技术也开始逐步发展。

PTG（Power to Gas）技术通过风光发电搭配电解水制氢有效解决可再生能源消纳及并网稳定性问题；其电解水制氢环节为该技术核心环节；该技术生产的绿氢也将为中国实现“双碳”目标做出巨大贡献。



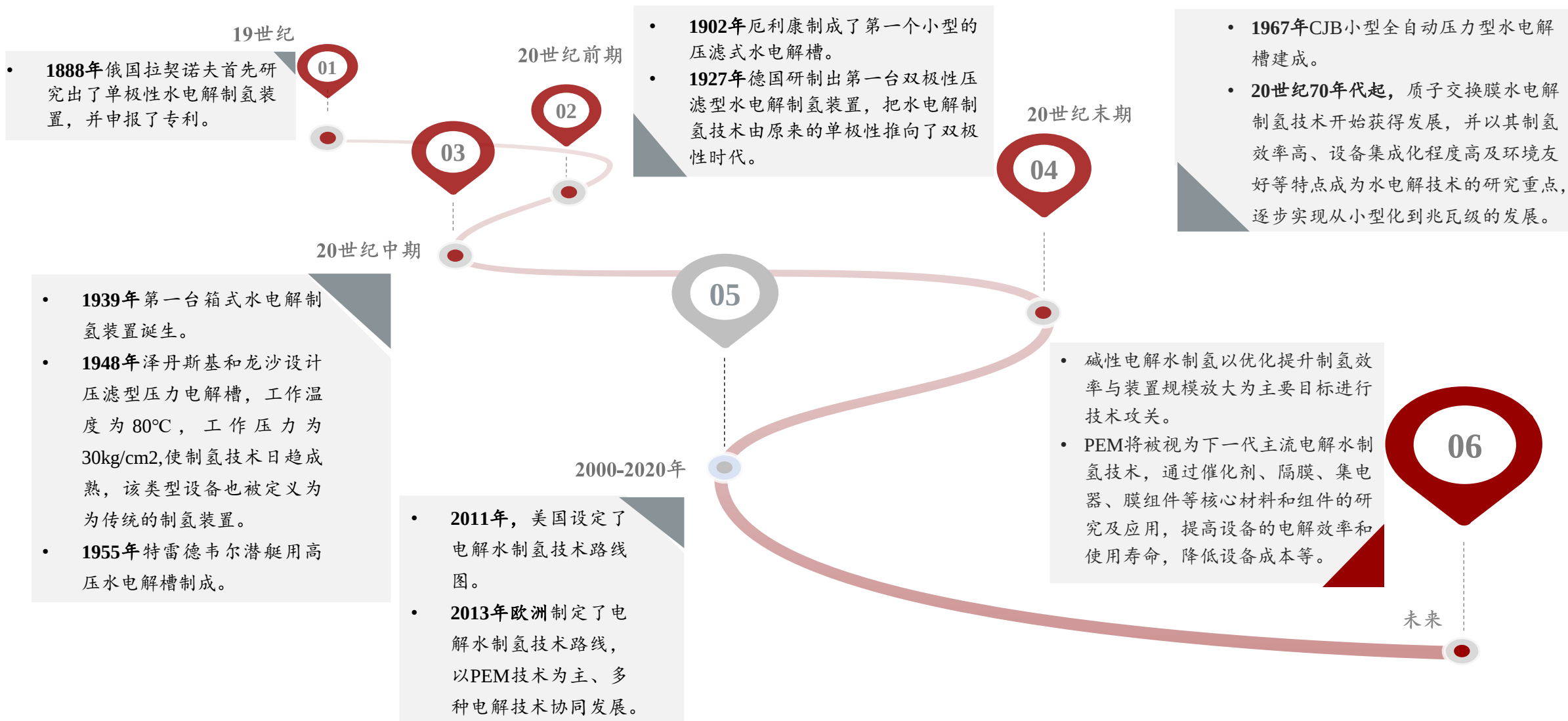
2022年3月23日，由国家发展改革委、国家能源局联合发布《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，确定了中国氢能定位、未来发展目标以及应用方向。

《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》



章节1.2 电解水制氢 发展历程

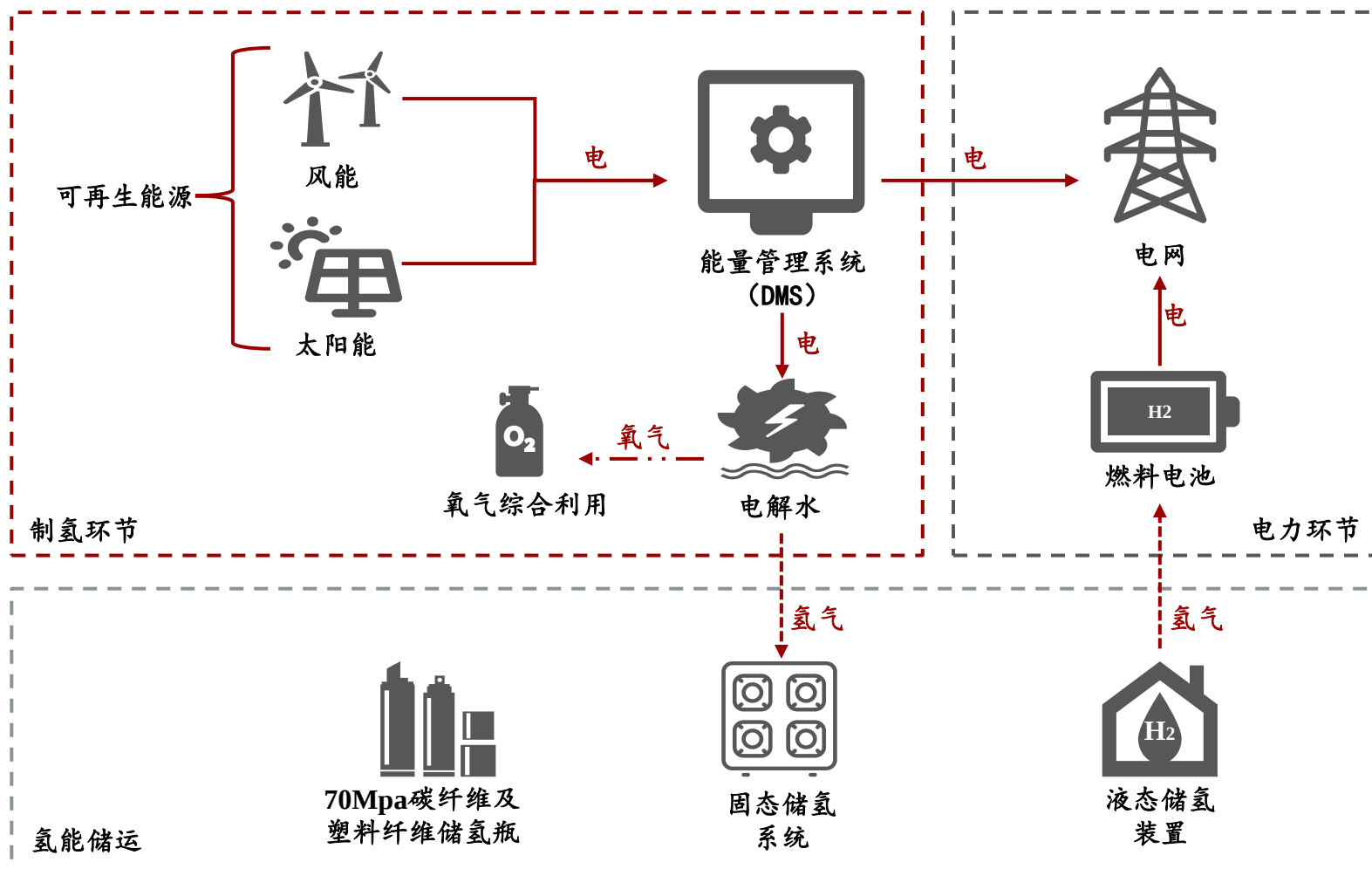
俄国科学家于19世纪末期发明电解水制氢设备，20世纪70年代开始，石油危机的冲击以及环保意识的出现，导致对能源使用理念开始产生变化，对氢能的开发和利用逐步获得重视，电解水制氢技术也开始逐步发展。



章节1.3 PTG技术

PTG (Power to Gas) 技术通过风光发电搭配电解水制氢有效解决可再生能源消纳及并网稳定性问题；其电解水制氢环节为该技术核心环节；该技术生产的绿氢也将为中国实现“双碳”目标做出巨大贡献。

风光互补耦合发电制氢系统实现风力、光伏发电优势互补



头豹洞察：

- 近年来，在“双碳”目标下，光伏、风电等新能源产业蓬勃发展，光伏、风电装机量保持持续增长趋势；但是由于发电与负荷的地理分布不均，远距离外送的技术制约加上可再生能源发电所固有的随机性、季节性和反调峰特性进一步增加了可再生能源调峰难度，加之风力和太阳能存在很大程度的不可预测性，导致弃风、弃水、弃光严重。
- PTG (Power to Gas) 技术，可有效解决可再生能源消纳及并网稳定性问题。PTG技术指的是通过太阳能、风能等可再生能源发电，产生的电力通过能量管理系统分配部分电力并入电网，剩下部分电力通过电解水制氢技术生成氢气和氧气，产生的氢气将存入储氢系统。氢能作为一种理想的能量储存介质，可以为多种能源之间的能量与物质转换提供解决方案。在电力供应不足的季节，则使用储存的氢通过燃料电池发电，提供电能。
- 电解水制氢为该套技术系统核心环节；风光发电配合电解水设备生产氢气，已经成为氢气生产中的碳排放问题的解决方案之一；其生产的绿氢也将为中国实现“双碳”目标做出巨大贡献。

第二部分：电解水制氢设备产业链综述

主要观点：

- 电解水制氢设备产业链上游为光伏风力发电设备供应商和电堆集成供应商，中游为氢气设备制造企业主要分为碱性电解水制氢、质子交换膜电解水制氢、固体氧化物电解水制氢和阴离子交换膜电解水制氢，下游为制氢厂商。
- 上游：光伏发电的发展为可再生能源电解水制氢降低成本的驱动原因之一；2021年我国新增光伏并网装机容量为5,488万千瓦，光伏上网电价接近平价为可再生能源电解水制氢发展打下基础。
- 上游：膜电极为质子交换膜水电解技术的核心部件，催化剂氧化铱的高昂价格是其成本较高的主要原因，降低催化剂成本是促进质子交换膜水电解技术发展的动力之一。
- 下游：预计2060年氢气及其衍生物占据中国终端能源消费比重约20%；同时中国氢气市场需求将增加至1.3亿吨以上，成为未来中国能源消费市场中的主流能源之一。
- 下游：预计2060年氢气及其衍生物占据中国终端能源消费比重约20%，平均制氢成本有望达到11元/kg左右，售价约12.4元/kg，供应端市场规模预计可以达到16,120亿元。

章节2.1 电解水制氢设备 产业链

电解水制氢设备产业链上游为光伏风力发电设备供应商和电堆集成供应商，中游为氢气设备制造企业主要分为碱性电解水制氢、质子交换膜电解水制氢、固体氧化物电解水制氢和阴离子交换膜电解水制氢，下游为制氢厂商。

产业链上游



产业链中游



产业链下游

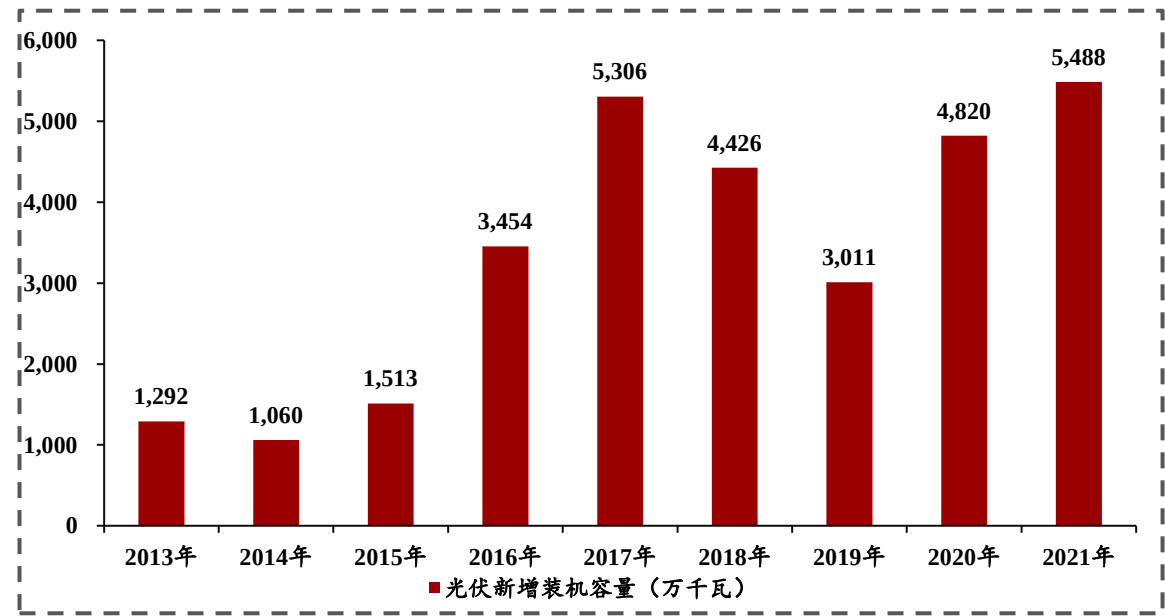


来源：公开资料、头豹研究院整理

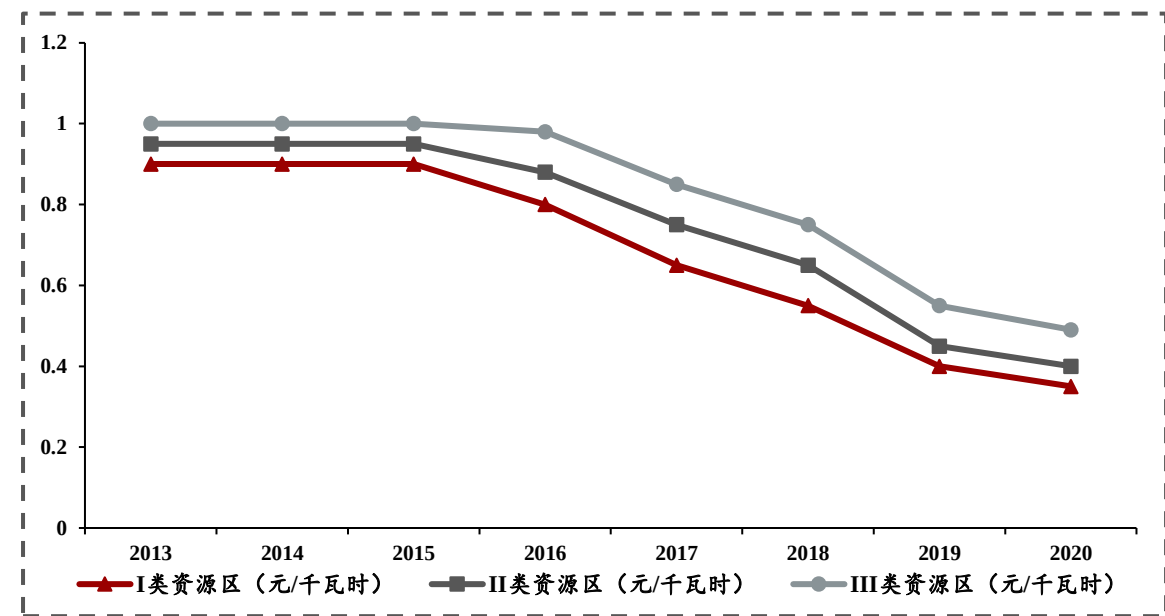
章节2.2.1
 上游：光伏

光伏发电的发展为可再生能源电解水制氢降低成本的驱动原因之一；2021年我国新增光伏并网装机容量为5,488万千瓦，光伏上网电价接近平价为可再生能源电解水制氢发展打下基础。

2013年 -2021年中国光伏新增装机容量



光伏发电上网电价大幅降低，已逐渐实现平价



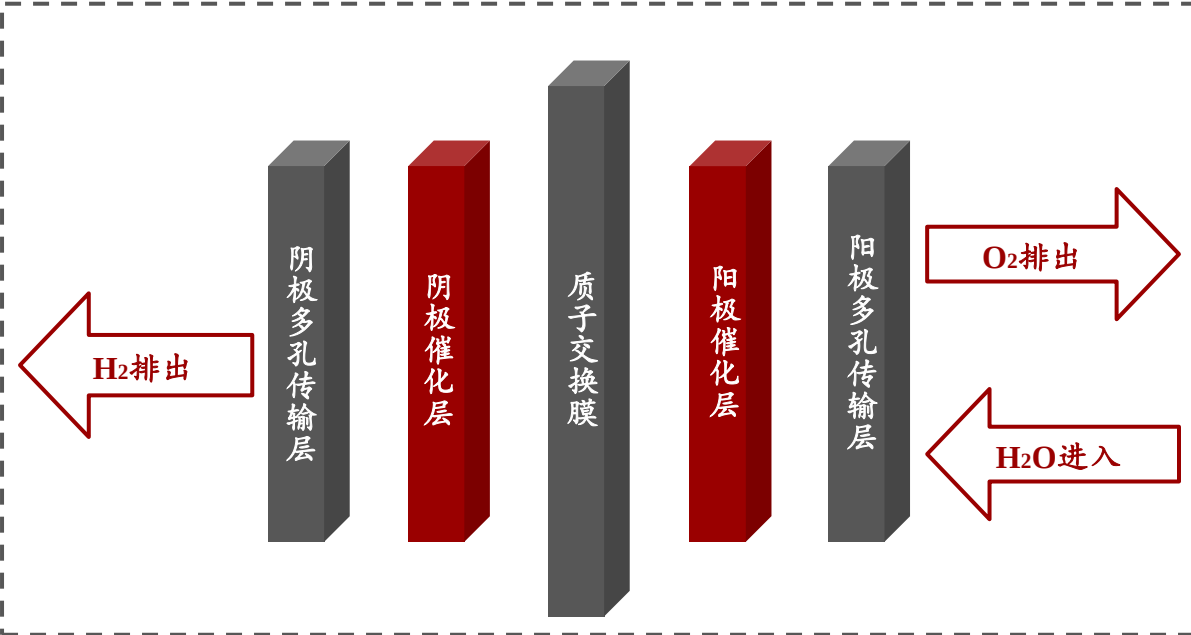
头豹洞察：

- ❑ 2013年至2021年间随着光伏驱动政策的持续加码、技术优化以及国内光伏企业的大规模扩产，中国光伏累积装机容量不断提升；2021年我国新增光伏并网装机容量为 5,488万千瓦，达到历史新高。截止2021年底中国光伏累计装机容量达到30.738万千瓦。
- ❑ 2013年至2020年光伏发电上网电价大幅降低；III类资源区光伏发电上网电价从0.9元/千瓦时下降至0.35元/千瓦时。2020年II类资源区和I类资源区光伏发电上网电价分别为0.4元/千瓦时和0.49元/千瓦时。在III类资源区光伏发电已经逐渐实现平价。
- ❑ 光伏发电良好的发展趋势为可再生能源电解水制氢发展提供坚实的基础。未来光伏上网电价的持续下降，将成为电解水制氢成本降低的主要原因之一。

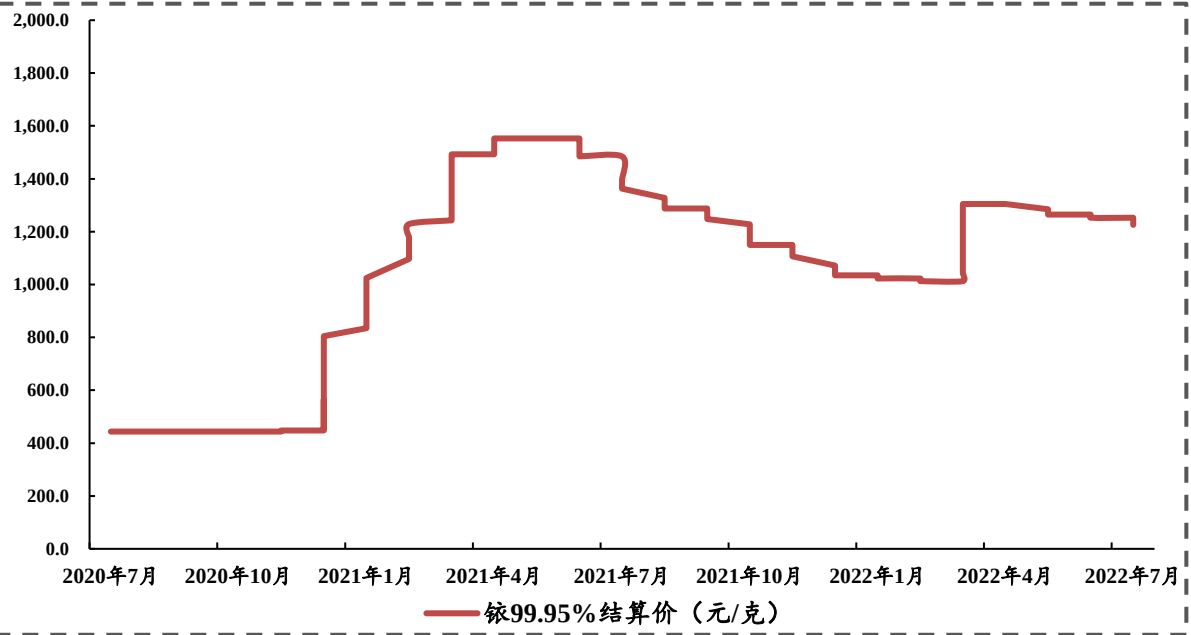
来源：国家能源局、公开资料，头豹研究院整理

膜电极为质子交换膜水电解技术的核心部件，催化剂氧化铱的高昂价格是其成本较高的主要原因，降低催化剂成本是促进质子交换膜水电解技术发展的动力之一。

PEM电解水制氢核心部件膜电极组成结构



膜电极阳极催化层核心催化剂氧化铱原材料金属铱价格高达1,226元/克



头豹洞察：

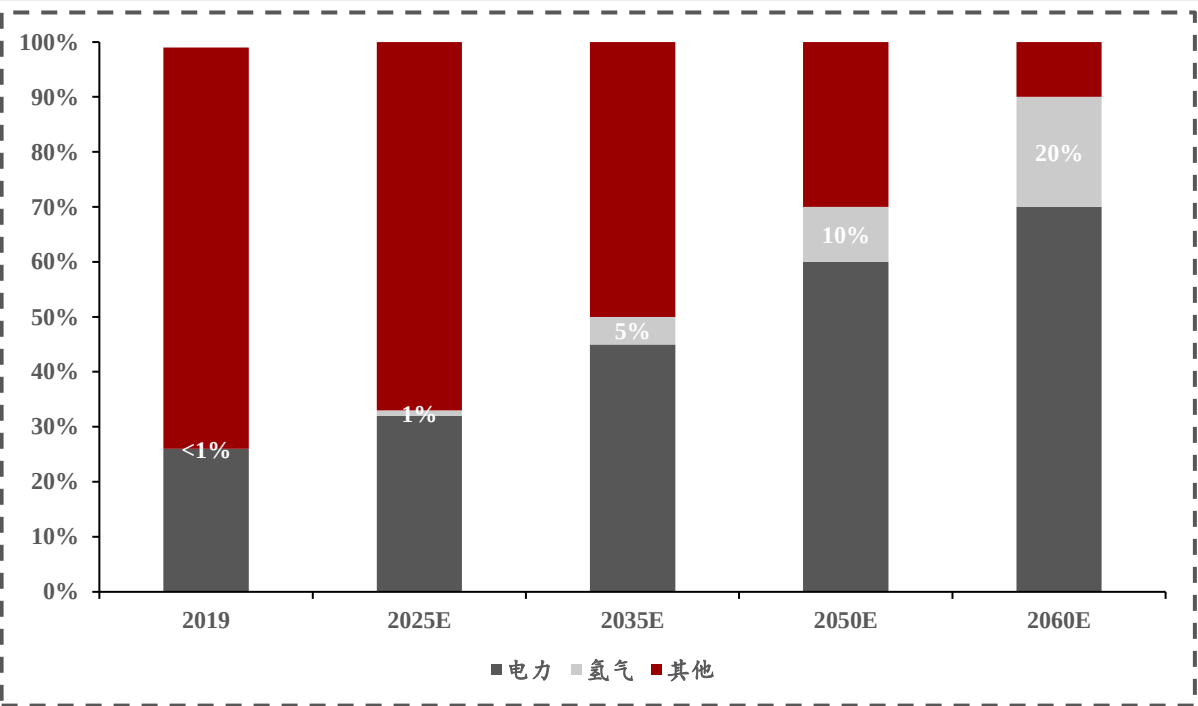
- ❑ 膜电极作为质子交换膜水电解技术的关键核心部件，对于水电解制氢的性能、效率、寿命和成本起着关键性的作用。膜电极一般由质子交换膜（PEM）、阴极阳催化层（CL）和阴阳极多孔传输层（PTL）组成。氧化铱通常被认为是PEM水电解中阳极催化层中最先进的催化剂，具备稳定性高，有较高的耐腐蚀性的优势。缺陷是铱的拥有量较少，导致铱基催化剂价格昂贵；而且铱的生产非常集中在少数国家，大约每年铱产量的85%在南非。2020年底开始金属铱的价格就开始持续上涨，并稳定在高位，截止2022年7月15日金属铱的价格依然维持在1,226元/克。
- ❑ 目前主要采取三种策略来降低催化剂成本：1、制造二元或多元金属铱和钌的氧化物的动机是提高稳定性，固有的动机是稀释贵金属含量，或促使这些方案相结合；2、使用高比表面积的载体分散活性催化剂以减少附载量；3、通过采用替代的制备方法和催化剂结构，如核壳型结构和薄膜结构，来降低高成本催化剂的附载量。

来源：Wind，公开资料，头豹研究院整理

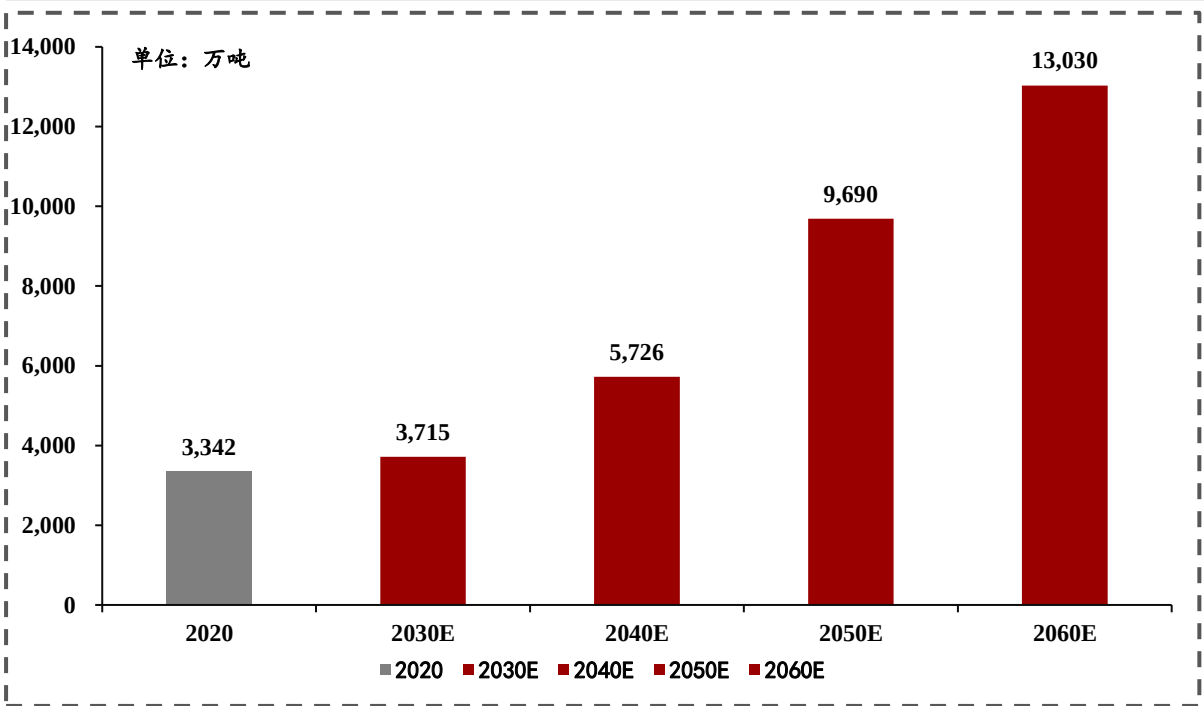
章节2.3.1
下游：氢气需求

预计2060年氢气及其衍生物占据中国终端能源消费比重约20%；同时中国氢气市场需求将增加至1.3亿吨以上，成为未来中国能源消费市场中的主流能源之一。

预计2060年氢气占据中国终端能源消费比重20%



2030年中国氢气年需求量将增加至3,715万吨，2060年则增加至1.3亿吨



头豹洞察：

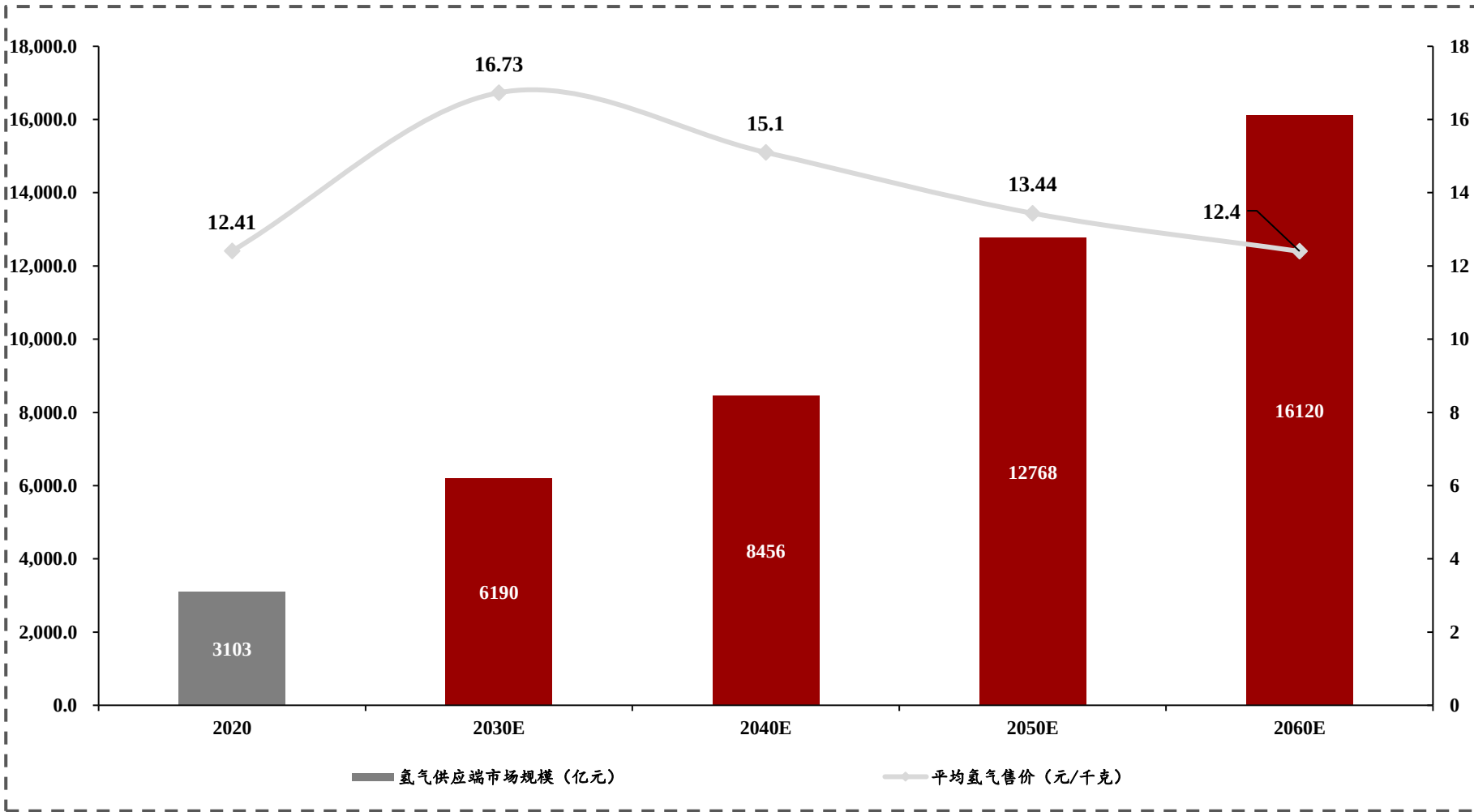
- 2019年中国电能占据终端能源消费比重为26%，氢气及其衍生物占据终端能源消费比重不足1%；预计2060年中国电能将占据终端能源消费比重70%左右，氢气及其衍生物占据终端能源消费比重约20%，氢气也将成为中国终端能源消费结构中占比第二的能源。
- 需求方面，2020年我国氢气需求量达3342万吨，对比同年产能2500万吨，供应缺口高达25%。预计未来我国氢气需求量将随着下游用用领域的扩张以及氢燃料电池汽车市场保有量的大幅度增长而逐年增长，2030年、2040年、2050年和2060年需求量分别为3,715万吨、5,726万吨、9,690万吨和13,030万吨。

来源：中国煤炭工业协会，公开资料，头豹研究院整理

章节2.3.2
下游：氢气未来
市场规模

预计2060年氢气及其衍生物占据中国终端能源消费比重约20%，平均制氢成本有望达到11元/kg左右，售价约12.4元/kg，供应端市场规模预计可以达到16,120亿元。

预期2060年氢气平均售价为12.4元/千克，供应端市场规模约为16,120亿元



头豹洞察：

- 2020年中国氢气平均售价为12.41元，产量为2500万吨，故供应端市场规模达3,103亿元。
- 预计2030年随着碳价的上升，以及煤制氢和天然气制氢搭载了CCUS技术导致成本上涨，中国氢气平均售价为16.73元，产量为3700万吨，故供应端市场规模达6,190亿元。
- 随后，随着可再生能源制氢的发展，制造成本及设备成本大幅下降，以及下游需求的急速增长；到2060年中国平均制氢成本有望达到11元/kg左右，售价回落到12.4元/kg左右，产量也将超过1.3亿吨，逐步达成市场供需平衡；故供应端市场规模预计可以达到16,120亿元。

来源：中国氢能联盟，《中国氢能源及燃料电池产业白皮书2020》，公开资料，头豹研究院整理

第三部分：碱性水电解制氢

主要观点：

- 按技术路径区分电解水制氢设备主要分为碱性水电解设备、质子交换膜电解设备、固态氧化物电解设备和阴离子交换膜电解设备；目前ALK技术占据市场主导地位，预计未来PEM技术会实现技术替代。
- 碱性电解水制氢电解槽成本组成主要为电解电堆组件和系统辅机，电价的降低和设备使用频率的上升为碱性电解水制氢的主要降本驱动因素。
- 碱性水电解制氢设备技术成熟度高；未来主要降本方式为延长设备使用时间、降低折旧成本；与可再生能源发电匹配度不高，可能成为未来限制其市场发展的主要原因之一。
- 碱性水电解制氢技术，技术成熟度较高在电解槽投资成本端的降本空间较小。未来主要降本空间为可再生能源制氢电力成本下降和单台制氢产量增加带来的固定成本均摊下降。

按技术路径区分电解水制氢设备主要分为碱性水电解设备、质子交换膜电解设备、固态氧化物电解设备和阴离子交换膜电解设备；目前ALK技术占据市场主导地位，预计未来PEM技术会实现技术替代。

四种电解水制氢技术路径比较

技术特征	碱性水电解（ALK）	质子交换膜电解（PEM）	固态氧化物电解（SOEC）	阴离子交换膜电解（AEM）
技术成熟度	已商业化应用	基本实现商业化应用	试验	研发
电解液	氢氧化钾(KOH)	PFSA膜	氧化钇稳定氧化锆(YSZ)	DVB聚合物载体与KOH或NaHCO3 1mol/L
电极/催化剂(氧侧)	镀镍穿孔不锈钢	氧化铈	钙钛矿(如LSCF、LSM)	高比表面积镍或NiFeCo合金
电极/催化剂(氢侧)	镀镍穿孔不锈钢	铂炭黑	镍-钪稳定的氧化锆	高比表面积镍
阳极多孔传输层	镍网	镀铂多孔金属钛	粗镍网或泡沫镍	泡沫镍
阴极多孔传输层	镍网	烧结多孔钛或碳布	无	泡沫镍或碳布
双极板阳极	镀镍不锈钢	镀镍钛	无	镀镍不锈钢
双极板阴极	镀镍不锈钢	镀镍钛	镀钴不锈钢	镀钴不锈钢
框架和密封	PSU,PTFE,EPDM	PTFE,PSU,ETFE	玻璃陶瓷	PTFE,硅
优点	技术成熟、成本低	电流密度高、体积小重量轻、无碱液带来的腐蚀、产品气体纯度较高	效率高，单机容量大，无腐蚀性电解液	系统简单易操作，电流密度高，可使用非贵金属催化剂，成本低
缺点	电流密度低、体积和重量大、碱液有腐蚀性	设备成本相对较高、催化剂成本高且稀缺	装置体积较大、技术处于试验阶段	寿命曲线不稳定、电极结构差、催化剂动力学慢，技术处于研发阶段

头豹洞察：

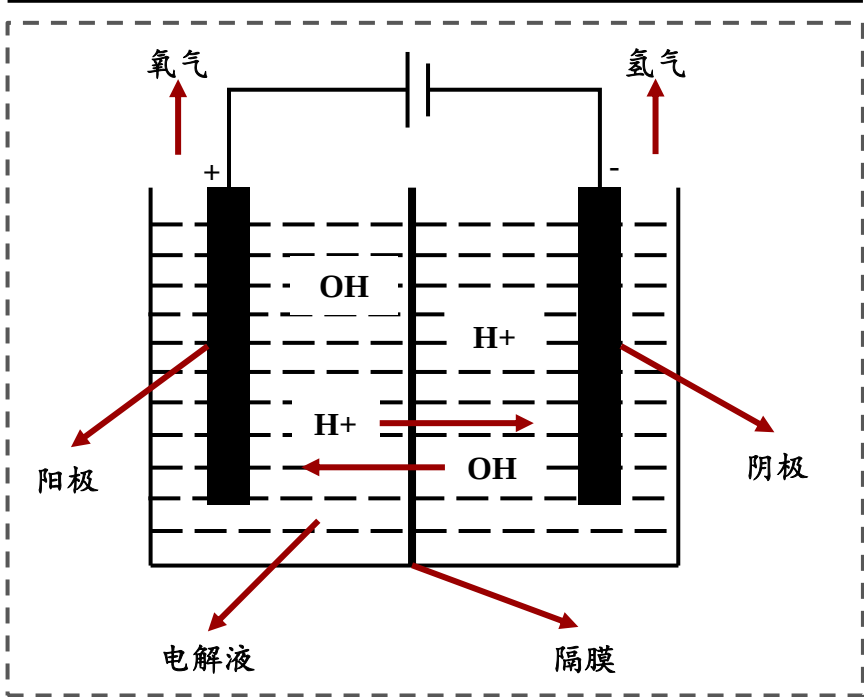
- ❑ 现阶段电解水制氢设备主要分为碱性水电解设备、质子交换膜电解设备、固态氧化物电解设备和阴离子交换膜电解设备。
- ❑ ALK技术凭借成本低，技术成熟度高的优势，成为国内主流技术路线并占据主导地位。
- ❑ 目前PEM电解水技术初步形成产业化并在部分地区建设示范应用，随着技术突破和成本下降，预计在2025-2030年形成规模化应用。因PEM技术与可再生能源发电的高度适配性以及更高的电解效率，PEM技术将逐步替代ALK技术，成为制氢市场主流技术路线。
- ❑ 此外，SOEC电解水技术和AEM电解水技术也具有发展潜力。SOEC电解水技术具有能量转化效率高且不需要使用贵金属催化剂等优点；AEM电解水技术拥有成本低，效率高等优势；但各自也有技术缺陷需被攻克，如电极结构差。目前两种技术路径均处在试验和研发阶段。

来源：国际可再生能源署(IRENA)，头豹研究院整理

章节3.1 碱性电解水制氢 (ALK)

碱性电解水制氢电解槽成本组成主要为电解电堆组件和系统辅机，电价的降低和设备使用频率的上升为碱性电解水制氢的主要降本驱动因素。

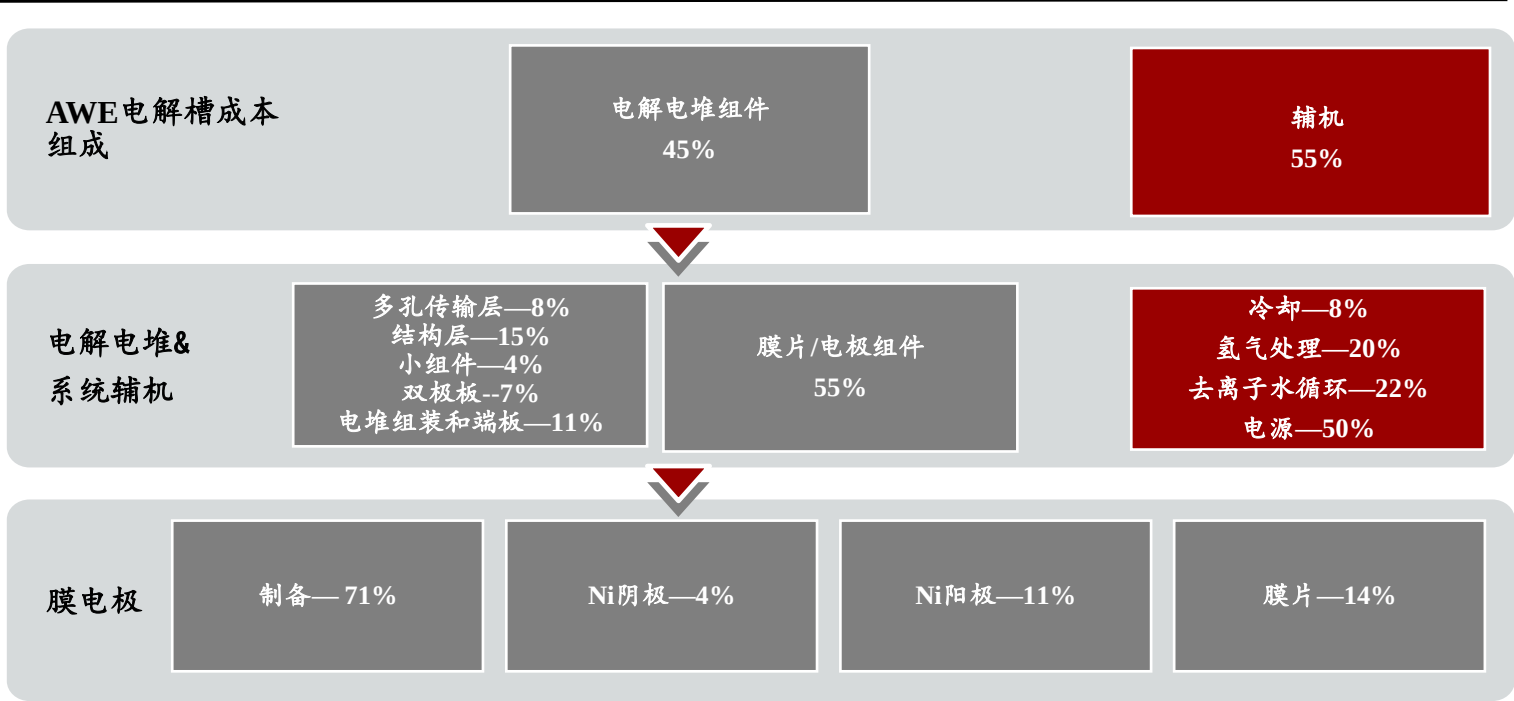
碱性电解水制氢电解槽结构示意图



头豹洞察：

- 碱性电解水制氢电解槽包括电极、电解液、隔膜。电解槽内装填 KOH 或 NaOH 溶液作为电解质，隔膜将槽体分为阴、阳两室。在一定的电压和温度（电解槽工作温度一般为70~90℃）下，电流通过电极和电解液，水电解，在阳极和阴极上分别产生氧气和氢气。
- 碱性电解水制氢电解槽主要成本构成为 电解电堆组件（45%）和系统辅机（55%），其中，电解电堆成本中 55%是膜片及电膜组件，电膜组件成本主要是制备成本占比71%；使用碱性电解水制氢的成本包括固定成本（设备折旧、人工、运维等），和可变成本（制氢过程的电耗和水耗）。电价的降低和设备使用频率的上升为碱性电解水制氢的主要降本驱动因素。

1MW碱性电解水制氢电解槽成本组成主要为电解电堆组件和系统辅机



碱性水电解制氢设备技术成熟度高；未来主要降本方式为延长设备使用时间、降低折旧成本；与可再生能源发电匹配度不高，可能成为未来限制其市场发展的主要原因之一。

碱性电解水制氢设备技术演进展望

碱性电解槽	2020	目标（2050）	重点研究方向	影响
额定电流密度	0.2-0.8A/cm²	>2A/cm²	隔膜	提升电解效率大约为10%以上， 电解效率提升意味着单位时间内可制造更多的氢气从而实现均摊固定成本的下降。
电压范围	1.4-3V	<1.7V	催化剂	
工作温度	70-90℃	>90℃	隔膜、框架、装置部件	
效率(LHV)	50%-68%	>70%	催化剂、温度	
电解槽单体功率	1MW	10MW	电极	
电极面积	10,000-30,000厘米²	30,000 厘米²	电极	提升氢气纯度至99.9999%以上从而降低单位制氢成本
电解小室压力	<3MPa	>7MPa	细胞膜片,帧	
氢气纯度	99.9%-99.9998%	>99.9999%	隔膜	
负载范围	15%-100%	5%-300%	隔膜	提升与可再生能源适配性
冷启动时间	<50 分钟	<30 分钟	绝缘(设计)	
电解槽能耗	47-66kWh/Kg H₂	<42kWh/Kg H₂	隔膜,催化剂	降低能耗5-25kWh/Kg H₂从而降低单位制氢成本
系统寿命	6万小时	10万小时	电极	延长设备使用时间4万小时左右从而降低折旧成本
最低资本投入/MW	270美元/kW	<100美元/kW	电极	
最低资本投入/10MW	500-1000美元/kW	<200 美元/kW	工厂平衡	

头豹洞察：

- ❑ 碱性液体水电解技术是以 KOH、NaOH 水溶液为电解质，在直流电的作用下，将水电解生成氢气和氧气。
- ❑ 技术成熟较早，20世纪中期已实现工业化。
- ❑ 碱性电解槽以含液态电解质和多孔隔板为结构特征，隔膜为则多采用石棉绒制隔膜。提升碱性液体水电解技术效率的方式主要包括增加电流密度、降低隔膜厚度、提升催化剂的比表面积以及改进使用传输层(PTL)。
- ❑ 碱性水电解制氢设备未来主要降本方式为延长设备使用时间、降低折旧成本。
- ❑ 因启动或关闭速度慢，碱性水电解制氢设备很难与波动较大的可再生能源发电相匹配，可能成为未来限制其市场发展的主要原因之一。

来源：国际可再生能源署(IRENA)，头豹研究院整理

现阶段及2050年碱性电解水制氢系统成本拆分（单位:元/kW)

成本项			1MW	10MW	1MW（2050年）	10MW（2050年）
电堆	隔膜/电极组件	制备	289.9	241.9	263.1	236.7
		膜片材料	57.2	47.7	51.9	46.7
		Ni极阳极	44.9	37.5	40.8	36.7
		Ni极阴极	16.3	13.6	14.8	13.3
	电堆组装及端板		71.6	59.8	65.0	58.5
	双极板		50.2	41.8	45.5	41.0
	密封、框架		28.7	23.9	26.0	23.4
	结构层		100.3	83.7	91.0	81.9
	多扩孔扩散层PTLs		57.3	47.8	52.0	46.8
辅助系统	电气系统		437.8	365.3	397.2	357.5
	去离子水循环		192.6	160.7	174.8	157.3
	氢气处理及纯化		175.1	146.1	158.9	143.0
	气体冷却		70.1	58.4	63.6	57.2
电解系统			1592.1	1328.3	1444.4	1300.0

头豹洞察：

- ❑ 对AWE电解系统，电堆成本主要由电极、膜片等核心部件的成本驱动，占电堆成本的57%；碱性电解槽的双极板材料使用镀镍钢，材料便宜，设计及加工简单，占电堆成本的7%。
- ❑ 目前我国2022年碱性电解系统价格为1500元/kW，非常接近未来目标价格。根据国际可再生能源机构预测2050年的1MW碱性电解槽电堆部分的投资成本目标价格将小于100美元/kW；10MW碱性电解水系统整体的目标价格将小于200美元/kW。故现阶段AWE电解系统技术较为成熟，降本空间有限。
- ❑ 未来降本路径主要是可再生能源制氢电力成本下降带来的电耗成本降低和单台制氢产量增加带来的固定成本均摊下降。

来源：IRENA、公开资料，头豹研究院整理

第四部分：质子交换膜电解水制氢

主要观点：

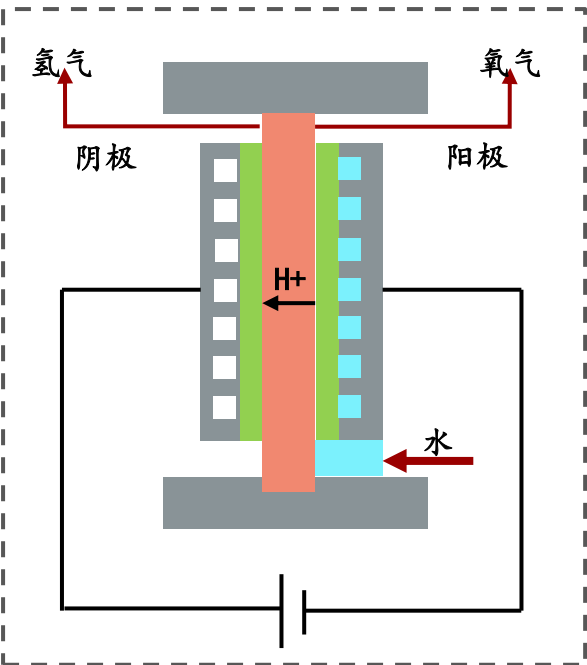
- 现阶段因设备成本较高，质子交换膜电解水制氢成本较高商业化进度缓慢；但降本潜力巨大，预计2050年质子交换膜电解水制氢的固定成本将下降75%甚至更多。
- PEM水电解制氢技术相比碱性水电解制氢技术具备技术优势；降低催化剂与电解槽的材料成本，特别是阴、阳极电催化剂的贵金属载量，提高电解槽的效率和寿命，是PEM水电解制氢技术发展的研究重点。
- 质子膜电解水制氢技术降本空间广阔，电堆寿命、电解槽投资成本、电解能耗效率和可再生能源电价的调整都会推进质子膜电解水制氢成本的下降；但是未来最主要的降本空间来自于规模效率。



章节4.1
质子交换膜电解
水制氢（PEM）

现阶段因设备成本较高，质子交换膜电解水制氢成本较高商业化进度缓慢；但降本潜力巨大，预计2050年质子交换膜电解水制氢的固定成本将下降75%甚至更多。

质子交换膜电解槽结构示意图

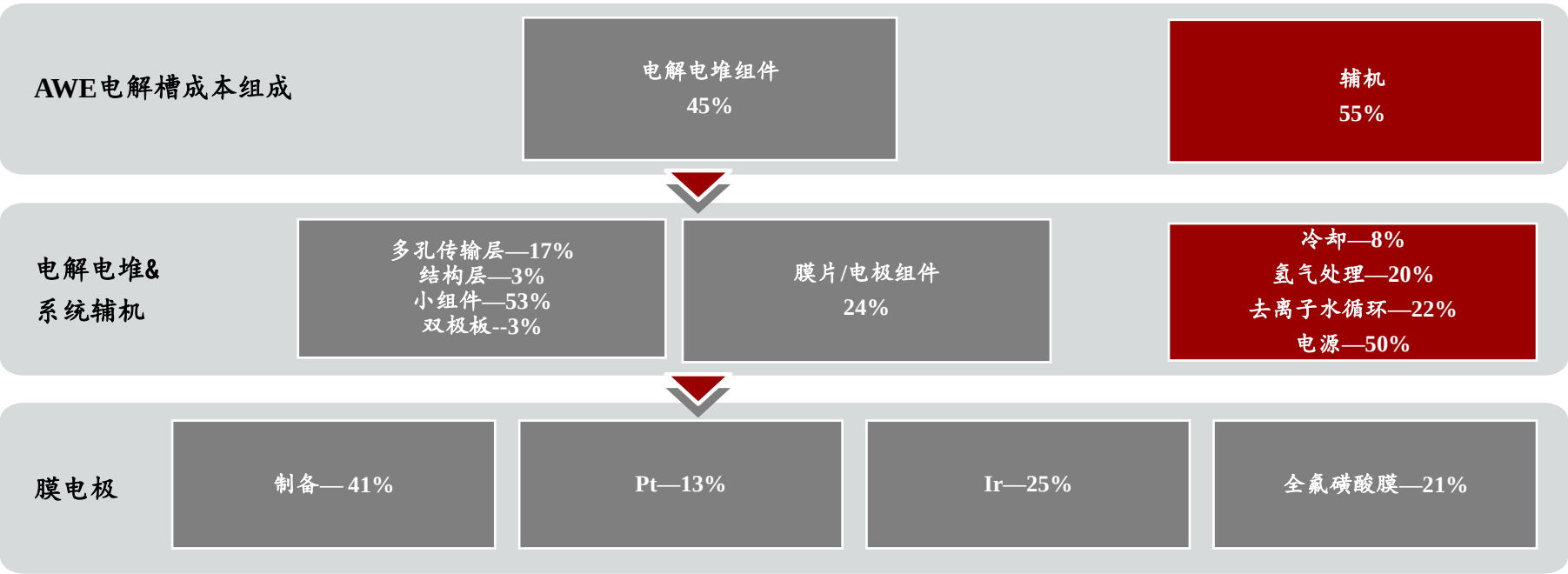


头豹洞察：

- ❑ 质子交换膜电解槽采用高分子聚合物质子交换膜替代了碱性电解槽中的隔膜和液态电解质，高分子聚合物有离子传导和隔离气体的双重作用。质子交换膜电解槽成本中45%是电解电堆、55%是系统辅机；其中电解电堆成本中24%是膜电极；膜电极成本由金属Pt、金属Ir、全氟磺酸膜和制备成本四要素组成。
- ❑ 现阶段质子交换膜电解槽制氢成本高于碱性电解槽，主要由于质子交换膜电解槽的高购置成本。按照中石化新疆库车绿氢示范项目的项目环境影响评价公示，项目总投资29.6亿元，其中建设投资26.5亿元；一套1000m3/h的ALK水电解制氢设备，投资强度约为5.7万元/Nm3.H2，但是中石化燕山分公司PEM制氢项目一套制氢规模仅为200Nm3/h的PEM制氢设备其投资强度就高达5.28万元/Nm3 H2。但PEM制氢设备可以依托技术进步促使关键材料成本下降以及电堆寿命大幅延长；预计2050年PEM制氢的固定成本将下降75%甚至更多。

来源：《质子交换膜水电解制氢技术现状与展望》，IRENA，公开资料，头豹研究院整理

1MW质子交换膜电解水制氢电解槽成本组成主要为电解电堆组件和系统辅机



PEM水电解制氢技术相比碱性水电解制氢技术具备技术优势；降低催化剂与电解槽的材料成本，特别是阴、阳极电催化剂的贵金属载量，提高电解槽的效率和寿命，是PEM水电解制氢技术发展的研究重点。

质子交换膜电解水制氢设备技术演进展望

PEM电解槽	2020	目标（2050）	重点研究方向	影响
额定电流密度	1-2A/cm²	4-6A/cm²	设计、膜	提升电解效率大约为20%以上， 电解效率提升意味着单位时间内可制造更多的氢气从而实现均摊固定成本的下降。
电压范围	1.4-2.5V	<1.7V	催化剂、膜	
工作温度	50-80℃	80℃	对耐久性的影响	
效率(LHV)	50%-68%	>80%	催化剂	
电解槽单体功率	1MW	10MW	MEA、PTL	
电极面积	1500cm²	>10,000 cm²	MEA、PTL	提升氢气纯度至99.9999%以上从而降低单位制氢成本
电解小室压力	<3MPa	>7MPa	膜、复原催化剂	
氢气纯度	99.9%-99.9999%	99.9%-99.9999%	膜	
负载范围	5%-120%	5%-300%	膜	提升与可再生能源适配性
冷启动时间	<20分钟	<5分钟	绝缘性(设计)	
电解槽能耗	47-66kWh/Kg H₂	<42kWh/Kg	催化剂、膜	降低能耗5-25kWh/Kg H₂从而降低单位制氢成本
系统寿命	5万-8万小时	10万-12万小时	膜、催化剂、PTLs	延长设备使用时间4-5万小时左右从而降低折旧成本
最低资本投入/MW	400美元/kW	<100美元/kW	MEA、PTLs、BPs	
最低资本投入/10MW	700-1400美元/kW	<200美元/kW	整流器、水净化	

来源：国际可再生能源署(IRENA)，头豹研究院整理

头豹洞察：

- ❑ 质子交换膜（PEM）电解技术，电解槽的负载范围为5%-120%，冷启动时间小于20分钟，因此相较于碱性水电解制氢设备可以更好的匹配可再生能源。
- ❑ 通过质子交换膜传导质子并且隔绝电极两侧气体，较好的克服碱性液体电解槽的缺陷。同时，PEM 水电解池的结构也有助于降低欧姆电阻，提高电流密度，效率和安全性明显高于碱性液体电解槽。
- ❑ 目前提升 PEM 水电解技术效率、降低成本的方式主要包括增加电流密度、提升电极面积、降低膜厚、优化设计PTL以及双极板和优化设计膜上的电极以减少使用电催化剂的数量。
- ❑ 虽然过去5年PEM电解槽成本已下降了40%，但是投资和运行成本较高仍然是PEM水电解制氢技术待解决的主要问题。

现阶段及2050年质子膜电解水制氢系统成本拆分（单位：元/kw）

成本项			1MW	10MW	1MW（2050年）	10MW（2050年）
电堆	隔膜/电极组件	制备	443.0	348.9	110.8	99.7
		质子交换膜	87.4	68.8	21.8	19.7
		Ir	68.6	54.1	17.2	15.4
		Pt	25.0	19.7	6.2	5.6
	电堆组装及端板		78.0	61.4	19.5	17.6
	双极板		1378.0	1085.2	344.5	310.1
	密封、框架		78.0	61.4	19.5	17.6
	多扩孔扩散层PTLs		442.0	348.1	110.5	99.5
辅助系统	电气系统		1588.9	1251.3	397.2	357.5
	去离子水循环		699.1	550.6	174.8	157.3
	氢气处理及纯化		635.6	500.5	158.9	143.0
	气体冷却		254.2	200.2	63.6	57.2
电解系统			5777.8	4550.0	1444.4	1300.0

头豹洞察：

- ❑ 对PEM电解制氢系统，电堆成本高昂主要由双极板等核心部件的成本驱动，现阶段双极板成本占电堆总成本的53%。
- ❑ 贵金属催化剂用量及资源供给是PEM 电解槽发展应解决的首要问题。现有Ir产量仅支持全球每年装机量5.4~5.7GW/年。因此，降低Ir金属载量或开发非Pt系（Pt，Ir）催化剂是PEM电解槽获得大规模应用的前提。
- ❑ 根据国际可再生能源机构测算，对1MW碱性电解槽电堆，现阶段投资成本为400美元/kW，2050年的目标价格将小于100美元/kW；对于10MW碱性电解水系统，现阶段的投资成本约为700-1400美元/kW，2050年的目标价格将小于200美元/kW。

来源：IRENA、公开资料，头豹研究院整理

第五部分：固体氧化物电解水制氢&阴离子交换膜电解水制氢

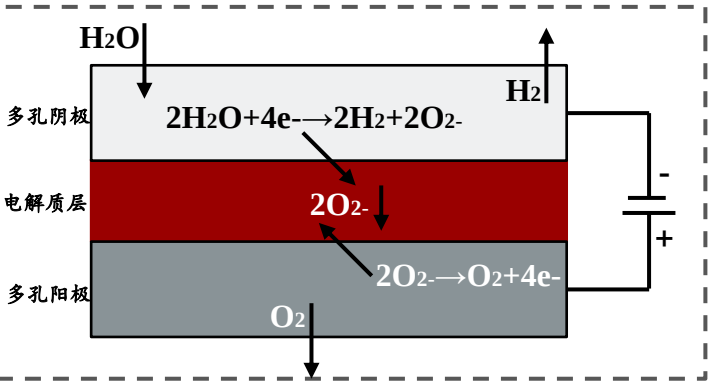
主要观点：

- 固态氧化物电解（SOEC）水制氢有望实现高效率的水蒸气电解，且随着规模化，技术突破；未来固态氧化物电解水制氢系统成本有望大幅降低。
- 凭借转化效率相较低温电解水制氢技术更高且耗电量更低的优点，固体氧化物水电解技术（SOEC）也有望成为未来技术的发展方向，特别是在大型化、成规模的应用场景中。
- 阴离子交换膜（AEM）电解水制氢具备发展潜力；但目前AEM膜存在化学稳定性以及机械稳定性的问题，需要在膜、催化剂、离子交换高分子、电解质进料和辅助设施（BOP）材料的开发和机理研究上有重大突破。

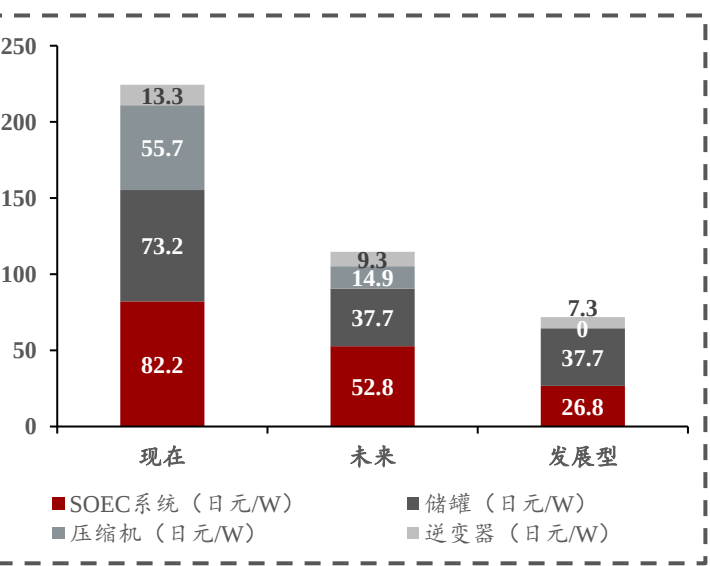
章节5.1
 固体氧化物电解
 水制氢（SOEC）

固态氧化物电解（SOEC）水制氢有望实现高效率的水蒸气电解，且随着规模化，技术突破；未来固态氧化物电解水制氢系统成本有望大幅降低。

固体氧化物电解水制氢结构示意图



固体氧化物电解水制氢成本构成变化趋势



固体氧化物电解水制氢成本构成

	现在	未来	规模生产
生产规模 (MW/年)	15	150	>150
寿命 (年)	10	15	15
SOEC模块 (日元/W)	28.5	17.9	6.5
BOS (日元/W)	12.6	8.5	6.9
SOEC系统 (日元/W)	41.1	26.4	13.4
压缩机 (日元/W)	55.7	14.9	-
高压储罐350atm (日元/W)	73.2	-	-
球形储罐atm (日元/W)	-	37.7	37.7
鼓风机 (日元/W)	0.4	0.4	0.4
热交换器 (日元/W)	0.8	0.8	0.8
加热器 (日元/W)	0.1	0.1	0.1
逆变器 (日元/W)	12.0	8.0	6.0
制氢系统成本 (日元/W)	183.3	88.3	58.4

头豹洞察：

- 当前阶段，SOEC制氢系统成本主要由SOEC系统（SOEC模块和附带设备（BOS: balance of system）的总和）、压缩机、储罐和逆变器构成。
- 对于当前技术中的压缩机和高压罐，可通过将目前加氢站使用的圆柱型高压罐改为低压球形储罐来降低储存压力（350atm降至30atm），进而降低整个系统的成本。随着未来技术突破，可以通过电化学对氢气加压；因此在发展型中，系统在加压条件下进行水蒸气电解，且采用电化学法对氢气加压，从而排除了压缩机的成本。预计未来SOEC制氢系统成本有望从193.3日元/W下降至58.4日元/W。
- 未来，技术的成熟会促使SOEC设备使用寿命延长至15年生产规模也将扩张至150MW/年。设备等固定成本的降低及生产规模和使用寿命的增长，未来SOEC单位制氢成本也会有显著的下降。

来源：《高温固体氧化物电解水制氢技术》，公开资料，头豹研究院整理

凭借转化效率相较低温电解水制氢技术更高且耗电量更低的优点，固体氧化物水电解技术（SOEC）也有望成为未来技术的发展方向，特别是在大型化、成规模的应用场景中。

固态氧化物电解水制氢设备技术演进展望

固体氧化物电解槽	2020	目标（2050）	重点研究方向	影响
额定电流密度	0.3-1A/cm²	>2A/cm²	电极电解液、电极	提升电解效率
电压范围	1.0-1.5V	<1.48V	催化剂	
工作温度	700-850°C	<600°C	电解液	
效率(LHV)	75%-85%	>85%	催化剂	
电解槽单体功率	5kW	200kW	所有部分	
电极面积	200cm²	500cm²	所有部分	提升氢气纯度、降低成本
电解小室压力	0.1MPa	>2MPa	电极电解液、电极	
氢气纯度	99.90%	>99.9999%	电极电解液、电极	
负载范围	30%-125%	0%-200%	电极电解液、电极	提升与可再生能源适配性
冷启动时间	>600 分钟	<300 分钟	绝缘(设计)	
电解槽能耗	35-50kWh/Kg H₂	<35kWh/Kg H₂	电极电解液、电极	降低能耗
系统寿命	<20,000 小时	8 万小时	所有部分	延长设备使用时间、降低折旧成本
最低资本投入/MW	>2000 美元/Kw	<200 美元/kW	电极、电解液	
最低资本投入/10MW		<300 美元/kW	所有部分	

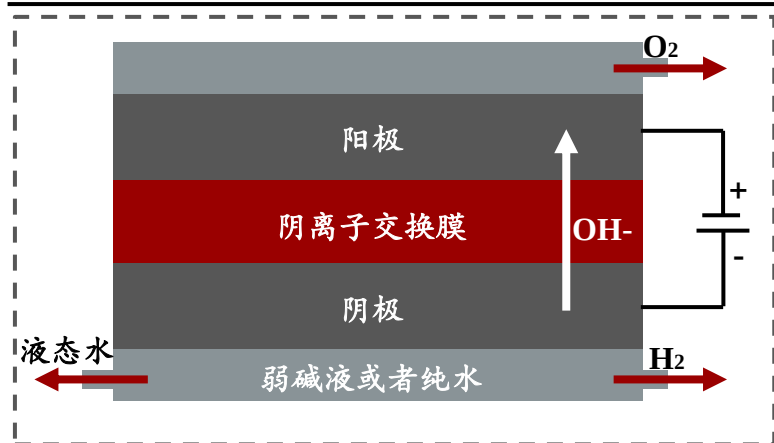
头豹洞察：

- ❑ 固体氧化物水电解技术（SOEC）采用固体氧化物作为电解质材料，可在400~1000°C高温下工作，良好的动力学表现使得电解槽可以使用相对便宜的镍电极，而且对电力需求也会减少，因为分离部分的能量可以通过热能提供。
- ❑ SOEC 技术制氢能耗约为 35-50kWh/Kg H₂，较碱性电解槽和 PEM 电解槽 降低约30%，转化效率 提升约25%左右。此外SOEC具备将可逆燃料电池SOFC用于可再生能源的存储，形成电-氢气-电的制氢、储氢和发电的系统的能力。
- ❑ 目前SOEC发展缓慢的主要原因是设备耐久性不佳，由于水电解过程中的热化学循环导致材料降解速度加快从而导致系统使用寿命的降低。现阶段一些SOEC示范项目的规模仅达到1MW，仍未实现商用。提升固体氧化物的性能、耐久性和降低操作温度是未来的研发重点。

来源：国际可再生能源署(IRENA)，头豹研究院整理

阴离子交换膜（AEM）电解水制氢具备发展潜力；但目前AEM膜存在化学稳定性以及机械稳定性的问题，需要在膜、催化剂、离子交联高分子、电解质进料和辅助设施（BOP）材料的开发和机理研究上有重大突破。

阴离子交换膜电解水制氢结构示意图



Enapter阴离子交换膜电解水制氢设备实物图



Enapter阴离子交换膜电解水制氢设备公开技术参数

名称	参数
产氢率	500NL/hr (1.0785kg/24hr)
输出压强	40bar
氢气输出纯度	~ 99.9%
干燥后输出氢气纯度	>99.999%
标准条件下的操作功耗	15W
标准电源	AC 200-240Vac, 50Hz/60Hz
耗水量	0.4L/hr
进水电导率	<20μS/cm (25°C)
进水压强	1-4bar
环境温度	5-45°C
环境湿度	20-95%,非冷凝
模块尺寸	W*D*H=482mm*594mm*310mm
模块重量(无水)	50kg
控制和监测	由Enapter能源管理系统全自动监控，通讯协议

头豹洞察：

- ❑ 阴离子交换膜（AEM）电解槽的潜力在于将碱性电解槽的低成本与PEM的简单、高效相结合。该技术能使用非贵金属催化剂、无钛部件，并和PEM一样能在压差下运行。
- ❑ 目前AEM膜存在化学、机械稳定性的问题，影响寿命曲线。此外，AEM膜的传导性低，催化动力学慢和电极结构较差也影响着AEM的性能。性能的提升通常是通过调整膜的传导性，或通过添加支持性电解质（如KOH、NaHCO3）来实现，但这又会降低耐久性。在PEM中，OH-离子的传导速度要比H+质子慢三倍，因此AEM将面临更大的挑战，需要研制更薄或具有更高电荷密度的膜，同时对BOP辅助系统也提出了较高的要求。
- ❑ 现阶段AEM的研发重点为膜、催化剂、离子交联高分子、电解质进料和辅助设施（BOP）材料的开发和机理研究。

第六部分：制氢设备未来发展趋势

主要观点：

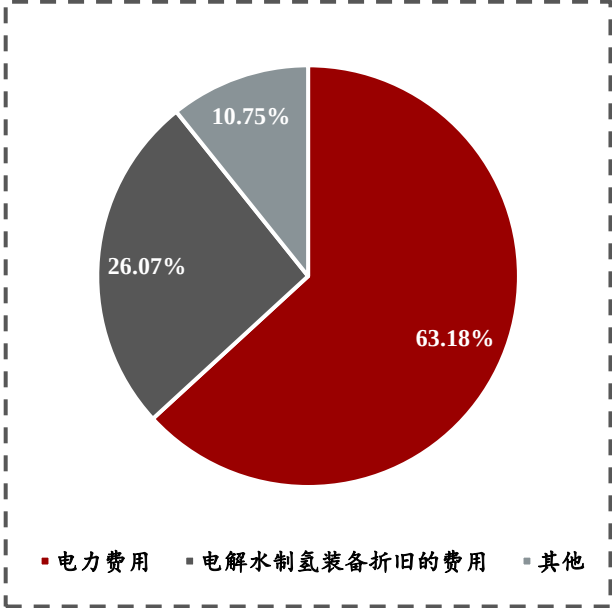
- 现阶段可再生能源电解水制氢设备主要由设备成本和电耗成本构成，这两项成本占比总和达到总成本的90%。电耗成本在电解水制氢成本中占比最高，AWE、PEM电解水分别约为81.32%、63.18%。
- 碱性水电解槽制氢技术单位制氢成本对于电价敏感性极高，质子膜电解水制氢技术单位制氢成本对于电价敏感性略低于碱性水电解槽制氢技术。目前部分可再生能源发电成本较低的地区，AWE制氢具备一定的经济性。
- 可再生电解水制氢设备单位制氢成本可通过延长电解槽工作时间实现大幅度降本，质子膜电解水技术单位制氢成本降幅最高可达49.9%。
- 在固定成本单一变量降低的前提下，PEM电解水制氢难以具备一定的经济性。当电价，电解槽工作时长，设备固定资产投资成本同时下降时，PEM电解水制氢将与煤制氢+CCS技术相比具有竞争优势。
- AWE电解水制氢有望在2025至2035年间实现与煤制氢+CCS技术平价。2035年之后PEM电解水制氢和AWE电解水制氢技术均在成本端对煤制氢+CCS技术实现竞争优势。2050年质子膜电解水制氢技术设备成本几乎触底，因制氢效率等其他因素，PEM电解水制氢技术相比AWE电解水制氢技术略有优势。

现阶段可再生能源电解水制氢设备主要由设备成本和电耗成本构成，这两项成本占比总和达到总成本的90%。电耗成本在电解水制氢成本中占比最高，AWE、PEM电解水分别约为81.32%、63.18%。

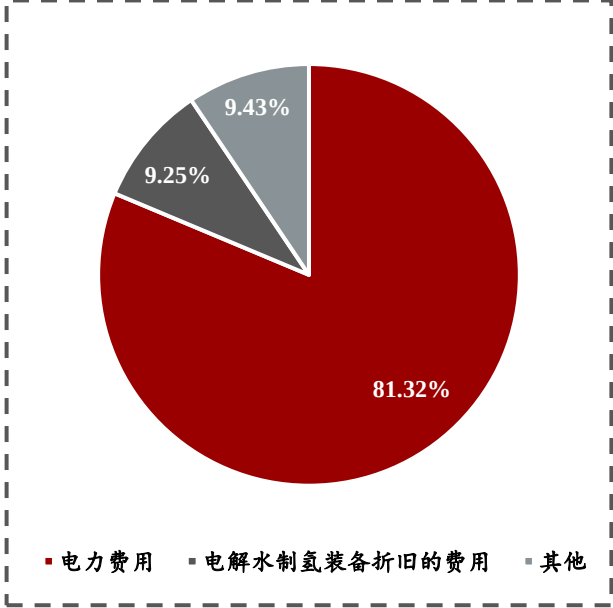
AWE、PEM电解水制氢成本计算假设

成本项	AWE	PEM
电解槽成本（元/kW）	1592.1	5777.8
设备折旧期（年）	20（直线折旧，无残值）	
原料水（t/kg H ₂ ）	0.009	
冷却水（t/kg H ₂ ）	0.009	
水价(元/t)	5	
电耗(kWh/kg)	56.18	50.56
电价（元/kWh）	0.35（2020 年光伏电站指导价@I类资源区）	
每年工作时间	2000h	
人工及运维费用（元/年）	78	115.56

PEM电解水成本占比



AWE电解水成本占比



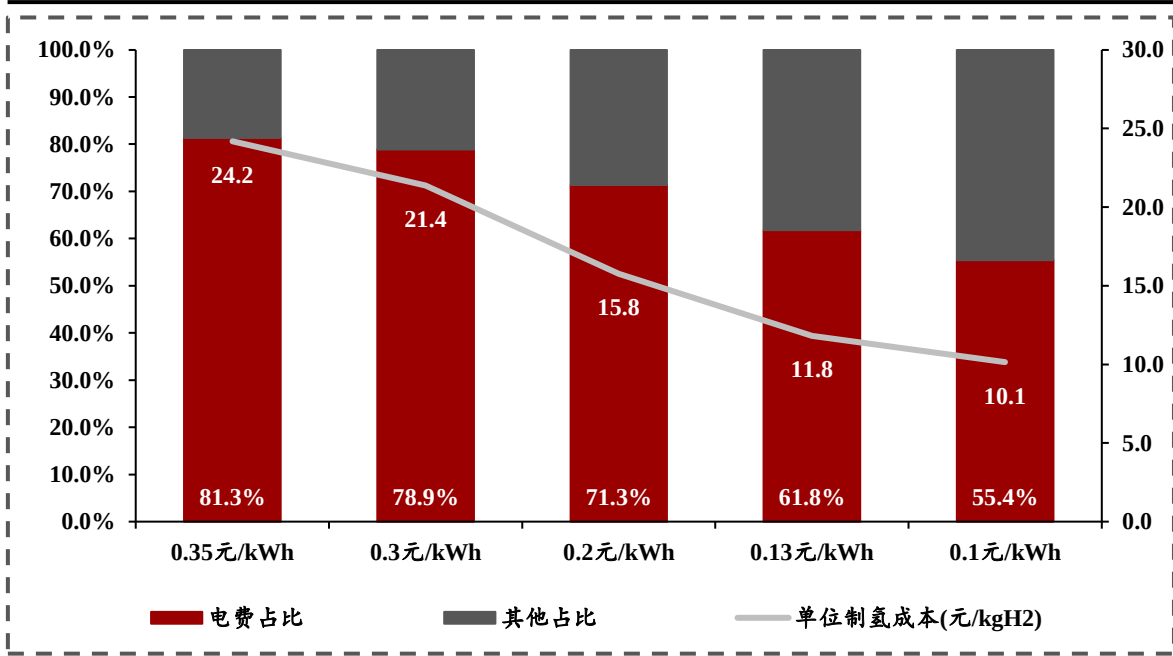
头豹洞察：

- 制氢成本分为固定成本和可变成本，固定成本包括设备折旧、人工、运维等，可变成本包括制氢过程的电耗和水耗。在现有条件及假设下，AWE、PEM 电解水制氢成本分别为24.18元/kg H₂、28.01元/kg H₂。相比煤制氢，天然气重整制氢等现阶段主流制氢工艺在成本端上暂无竞争力。
- 电耗成本是现阶段电解水制氢降本的关键因素之一。电耗成本在电解水制氢成本中占比最高，AWE、PEM电解水分别约为81.32%、63.18%，其次为折旧成本，AWE、PEM电解水分别约为9.25%、26.07%，这两项成本占比均达到总成本的90%。

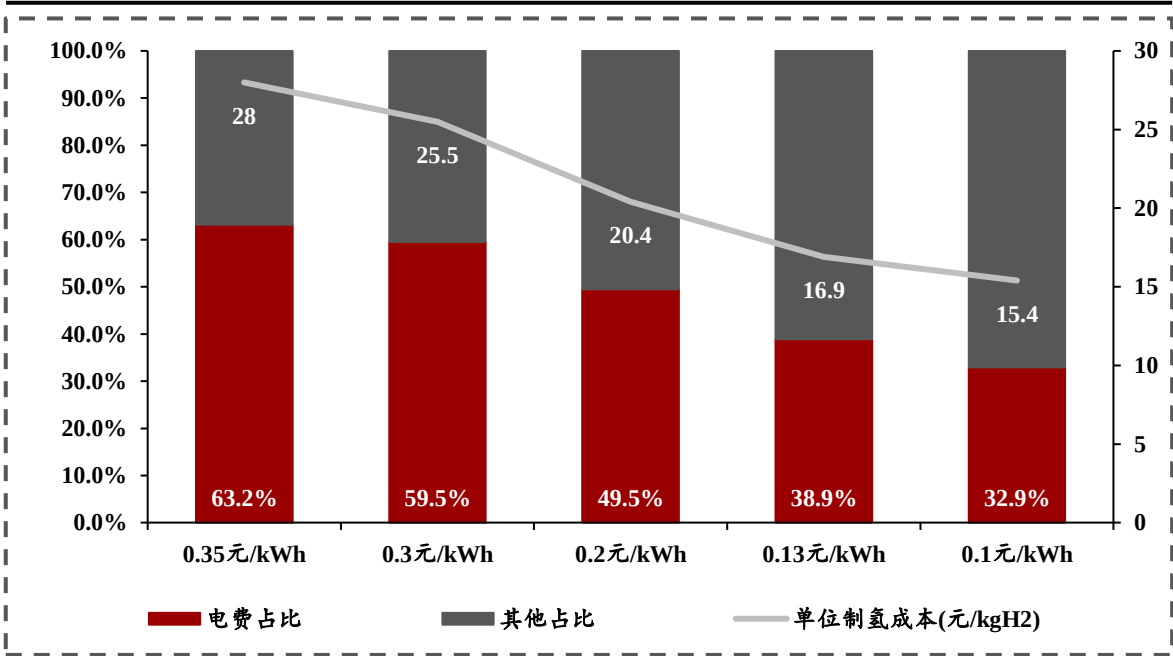
来源：IRENA、公开资料，头豹研究院整理

碱性水电解槽制氢技术单位制氢成本对于电价敏感性极高，质子膜电解水制氢技术单位制氢成本对于电价敏感性略低于碱性水电解槽制氢技术。目前部分可再生能源发电成本较低的地区，AWE制氢具备一定的经济性。

AWE电解水制氢成本对电价的敏感性



PEM电解水制氢成本对电价的敏感性



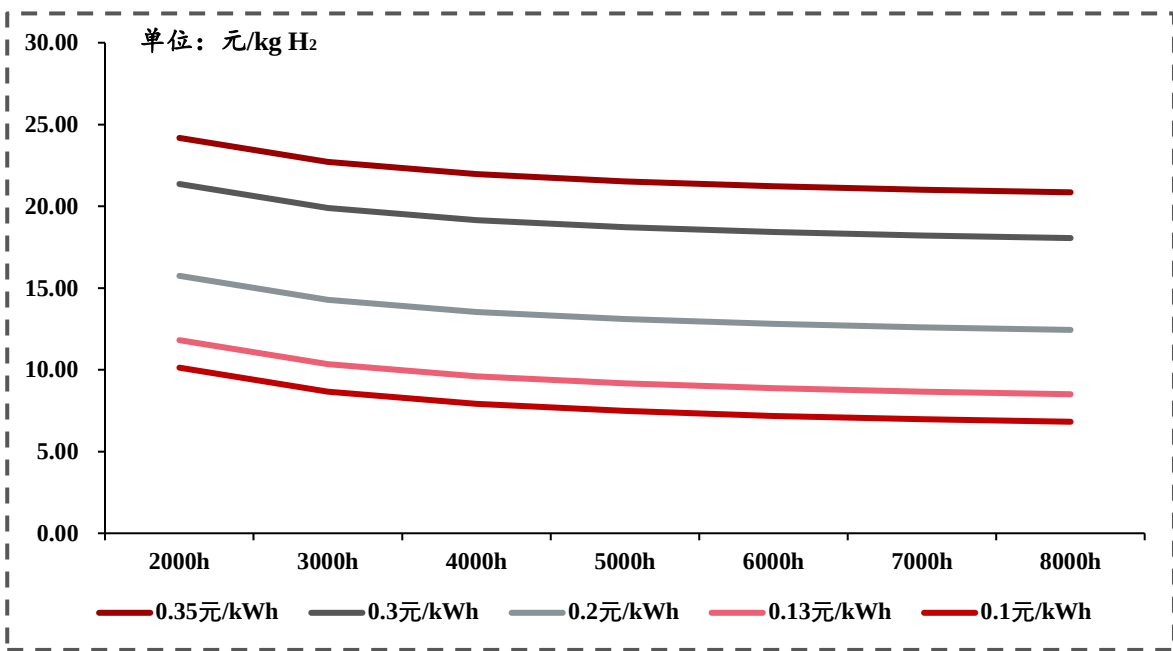
头豹洞察：

- 现阶段碱性水电解槽制氢技术单位制氢成本对于电价敏感性极高，当电价为0.35元/kWh时，电力费用成本占比高达81.3%，单位制氢成本为24.2元/kg H₂；当电价为0.1元/kWh时，电力费用成本占比为55.4%，单位制氢成本下降58.08%为10.1元/kg H₂，相比现阶段主流制氢工艺（煤制氢）具备一定竞争优势。
- 质子膜电解水制氢技术单位制氢成本对于电价敏感性略低于碱性水电解槽制氢技术，当电价为0.35元/kWh时，电力费用成本占比高达63.2%，单位制氢成本为28元/kg H₂；当电价为0.1元/kWh时，电力费用成本占比为32.9%，单位制氢成本下降45%为15.4元/kg H₂，单位制氢成本任然没有显著低于现阶段主流制氢工艺（煤制氢）的单位制氢成本。

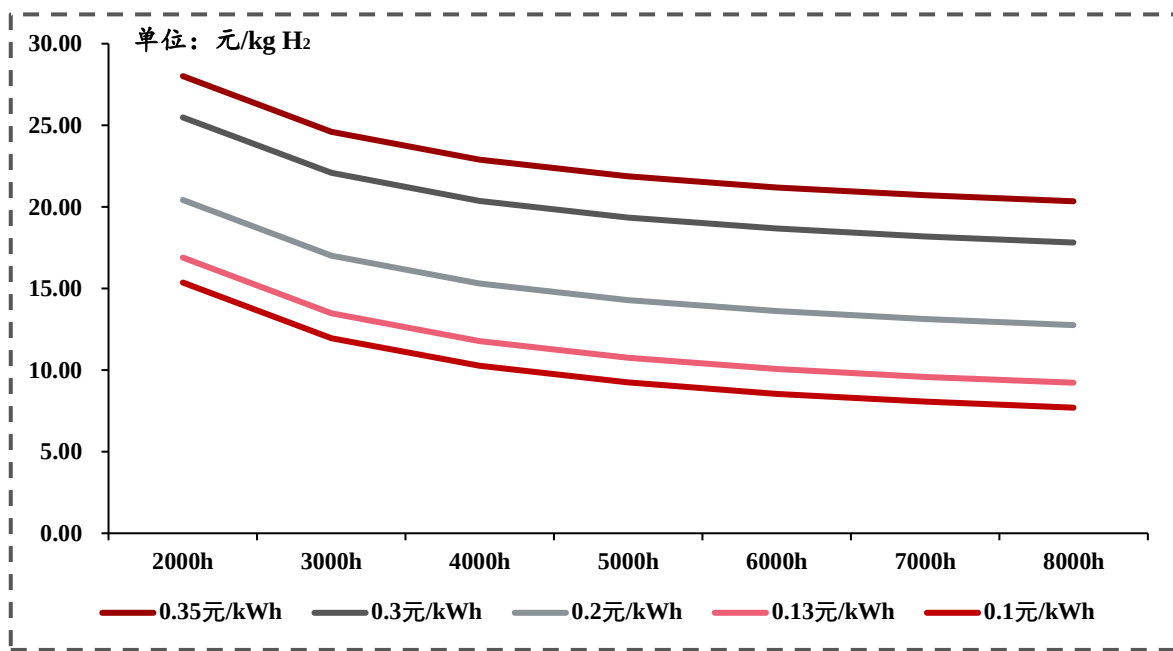
来源：IRENA、公开资料，头豹研究院整理

可再生电解水制氢设备单位制氢成本可通过延长电解槽工作时间实现大幅度降本，质子膜电解水技术单位制氢成本降幅最高可达49.9%。

碱性水电解槽制氢成本随工作时间增加而减少



质子膜电解水制氢成本随电解槽工作时间增加而减少



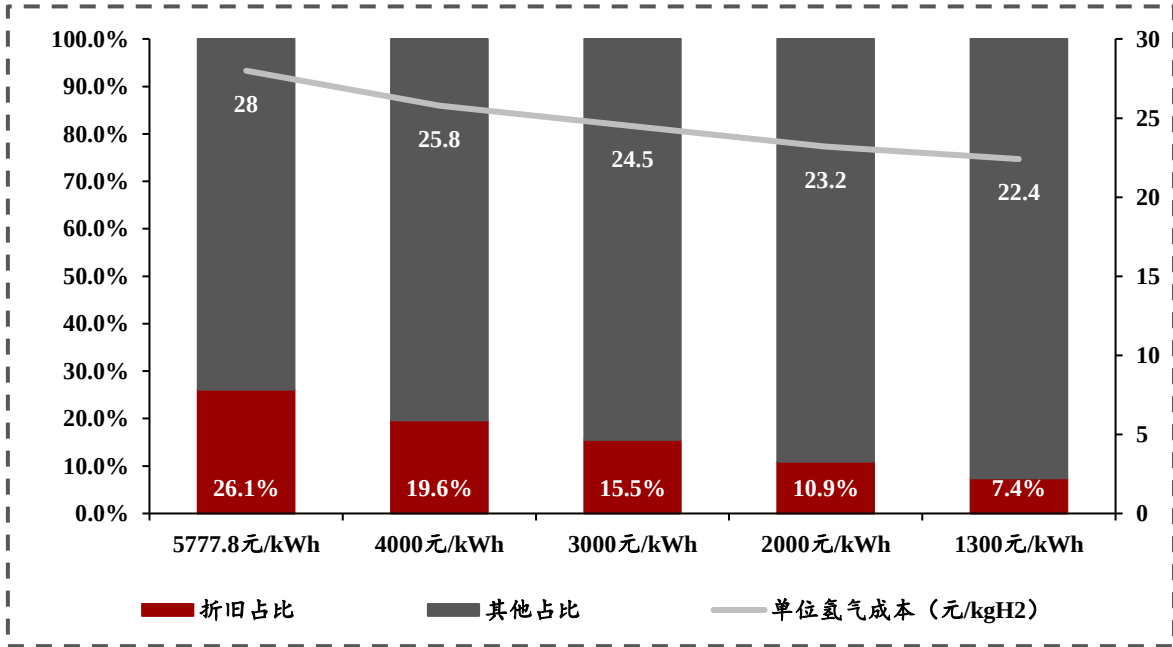
头豹洞察：

- 可再生能源电解水制氢成本和电价以及设备工作时间有关。当电解槽工作时间维持在2000小时，电价达到0.13元/kWh 和0.1元/kWh时，碱性水电解槽制氢成本将会达到11.82元/kg H₂和10.13元/kg H₂。质子膜电解水制氢成本将会达到16.89元/kg H₂和15.37元/kg H₂。
- 通过延长电解槽工作时间，生产更多“绿氢”可以作为摊薄电解槽等固定成本的有效手段。在不同电价条件下，随着电解槽每年工作时间的延长，生产的氢气更多，固定成本被摊薄后，单位制氢成本降幅明显。从2000h提升至8000h 后，碱性水电解槽单位氢气成本平均降低22.24%，质子膜电解水单位制氢成本平均降低38.07%，相较于碱性水电解槽，质子膜电解水的降幅更明显。

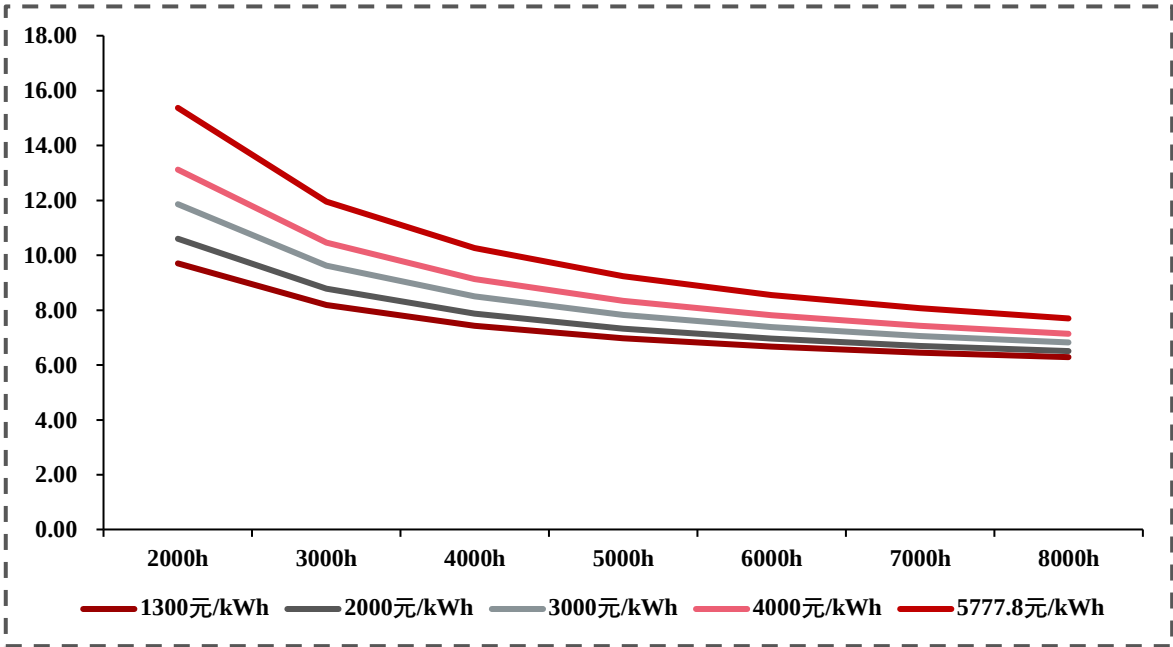
来源：IRENA、公开资料，头豹研究院整理

在固定成本单一变量降低的前提下，PEM电解水制氢难以具备一定的经济性。当电价，电解槽工作时长，设备固定投资成本同时下降时，PEM电解水制氢将与煤制氢+CCS技术相比具有竞争优势。

PEM电解水制氢对固定成本的敏感性



0.1 元/kWh电价时不同固定成本、运营时间下PEM制氢成本测算



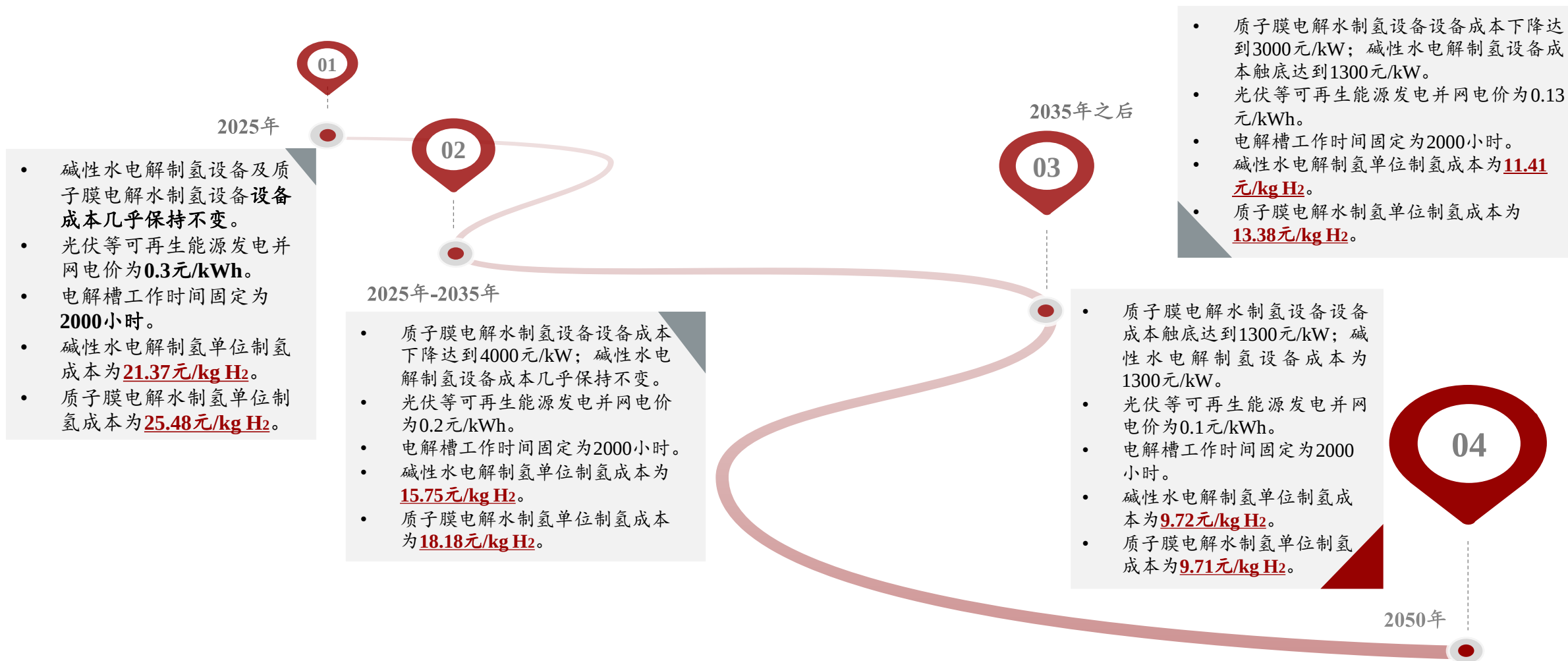
头豹洞察：

- ❑ PEM电解槽的固定成本在未来的降幅较大。但在固定成本单一变量下降的情境下，PEM制氢成本无法对煤制氢+CCS技术形成竞争优势。以现在的电价（0.35元/kWh），当固定成本为5777.8元/kW，折旧成本占总成本占比为26.1%，PEM电解水制氢单位制氢成本为28元/kg H₂；当固定成本为1300元/kW，折旧成本占总成本占比为7.4% PEM电解水制氢单位制氢成本为22.4元/kg H₂。
- ❑ 当电价降低为0.13元/kWh，固定成本为1300/kWh，制氢设备工作时间为2000小时时，PEM电解水制氢单位制氢成本为10.6元/kg H₂，与煤制氢+CCS技术成本相比具有较大竞争优势。

来源：IRENA、公开资料，头豹研究院整理

章节6.5 电解水制氢设备 发展趋势

AWE电解水制氢有望在2025至2035年间实现与煤制氢+CCS技术平价。2035年之后PEM电解水制氢和AWE电解水制氢技术均在成本端对煤制氢+CCS技术实现竞争优势。2050年质子膜电解水制氢技术设备成本几乎触底，因制氢效率等其他因素，PEM电解水制氢技术相比AWE电解水制氢技术略有优势。



第七部分：技术迭代后的未来市场规模&制约因素

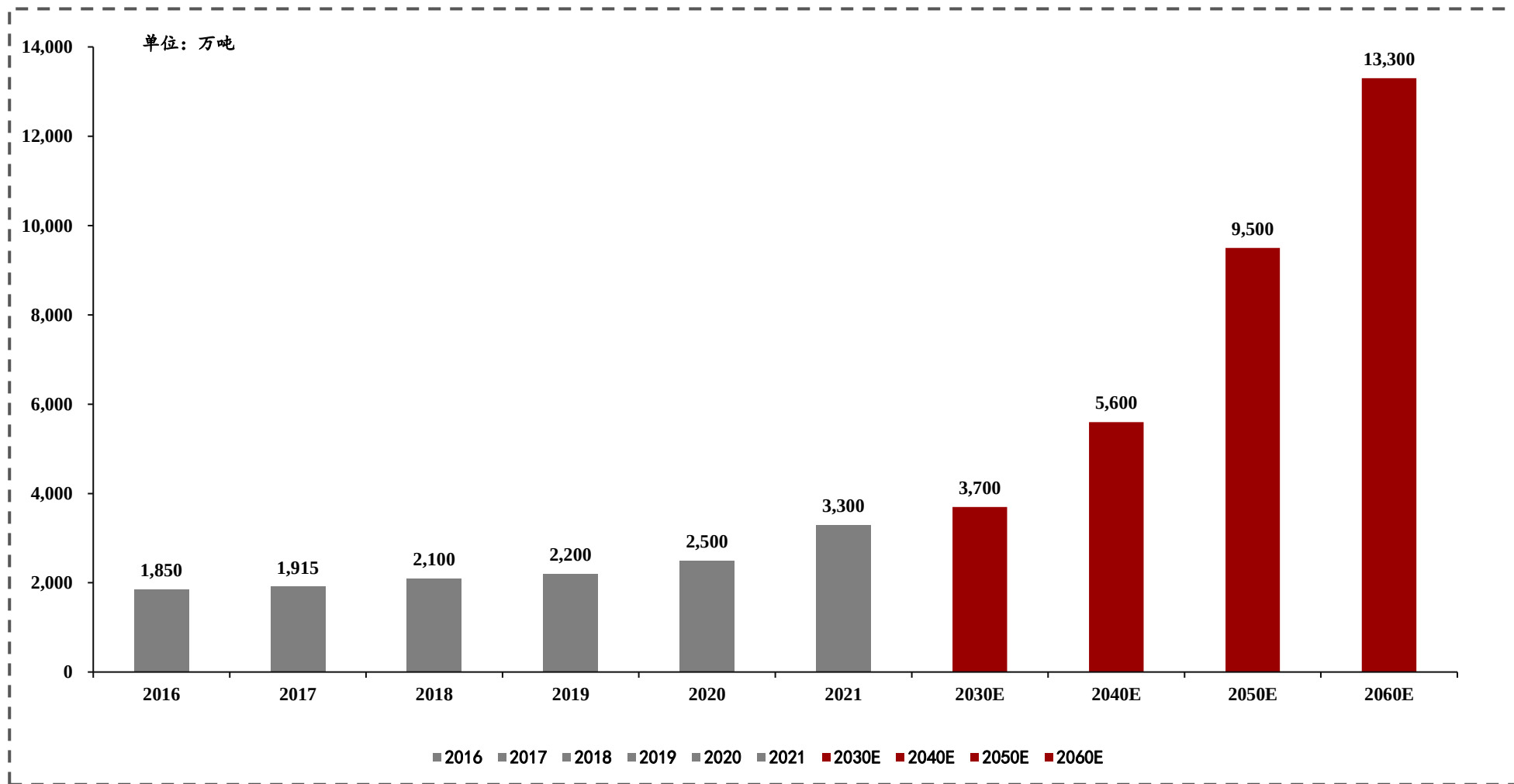
主要观点：

- 2016至2021年中国氢气产量稳定增长，2021年中国氢气产量3300万吨基本满足中国市场需求；预计2060年中国氢气需求及产量将增加至1.3亿吨以上，成为未来中国能源消费市场中的主流能源之一。
- 电解水制氢设备市场规模将随着中国绿氢需求的增长而快速增长，预计2050年中国电解水制氢设备市场规模将突破万亿元；2060年PEM电解水制氢设备市场规模将突破万亿元。
- 可再生能源发电和电解水制氢设备关系紧密，光伏组件及其原材料高昂的价格可能成为制约可再生能源电解水制氢设备发展的潜在因素。
- 国产设备制氢效率及部分性能大幅落后海外顶尖公司，促使未来国内下游制氢行业可能大量选择进口设备；或成为制约国内制氢设备发展的潜在因素。

章节7.1 氢气供给

2016至2021年中国氢气产量稳定增长，2021年中国氢气产量3300万吨基本满足中国市场需求；预计2060年中国氢气需求及产量将增加至1.3亿吨以上，成为未来中国能源消费市场中的主流能源之一。

预计2060年中国氢气产量达1.33亿吨基本满足国内市场需求



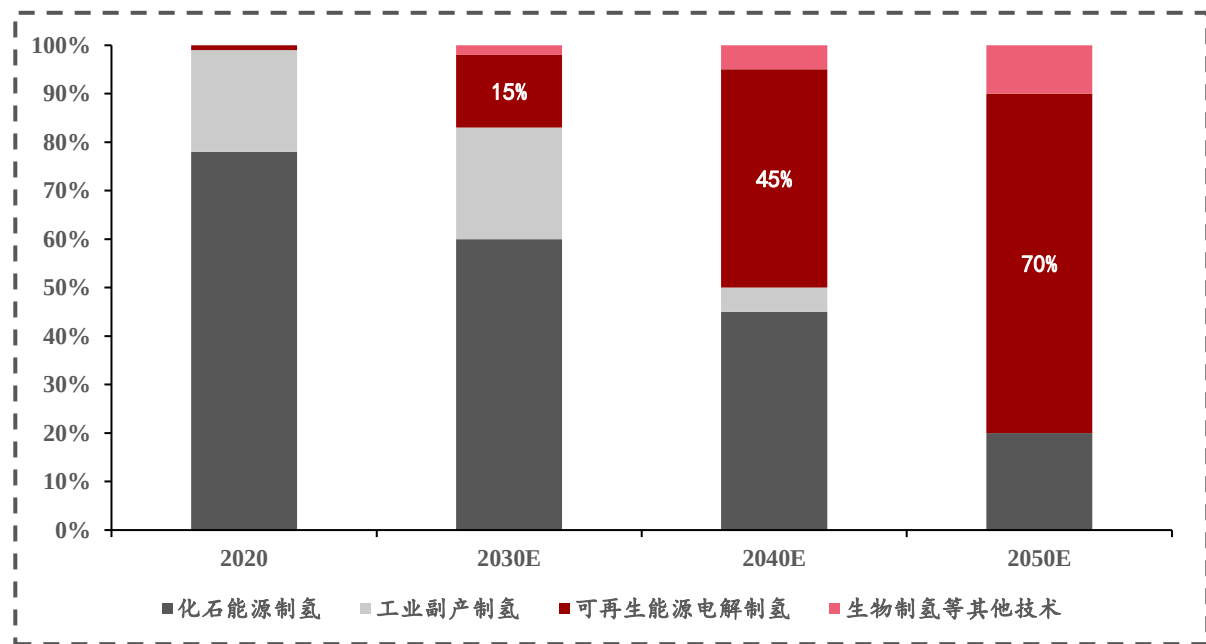
来源：中国煤炭工业协会，公开资料，头豹研究院整理

头豹洞察：

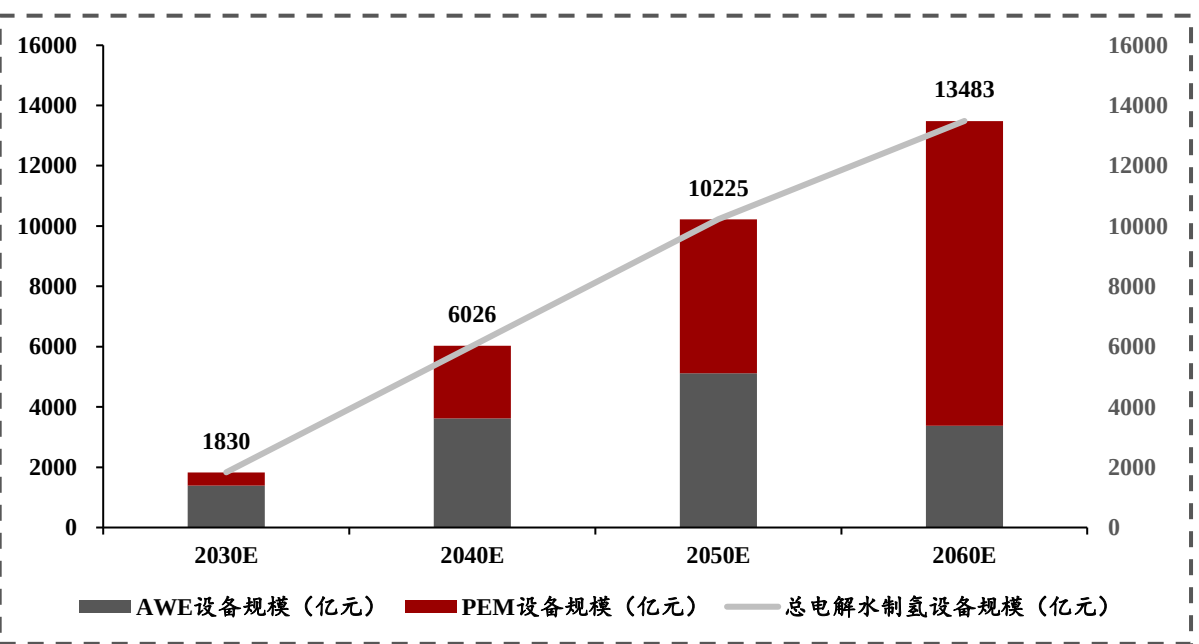
- 我国氢气年产量已逾千万吨规模，位居世界第一大产氢国。21氢气产量达3300万吨/年，同比大涨32%，成为世界最大产氢国，占2021年全球氢气产量的28%。预计未来氢气产量继续保持增长趋势，2030年、2040年、2050年和2060年产量分别为3,700万吨、5,600万吨、9,500万吨和1.33亿吨。
- 氢气的产量为未来可再生能源电解水制氢设备市场规模预测的关键因素。其他核心因素包括可再生能源制氢占比、单台设备年产能、质子交换膜电解水设备和碱性水电解制氢设备占比以及设备单价。

电解水制氢设备市场规模将随着中国绿氢需求的增长而快速增长，预计2050年中国电解水制氢设备市场规模将突破万亿元；2060年PEM电解水制氢设备市场规模将突破万亿元。

预计2040年可再生能源制氢占中国氢气制取来源45%，2050年达70%



预计2050年电解水制氢设备市场规模将突破万亿元，达到10,225亿元



头豹洞察：

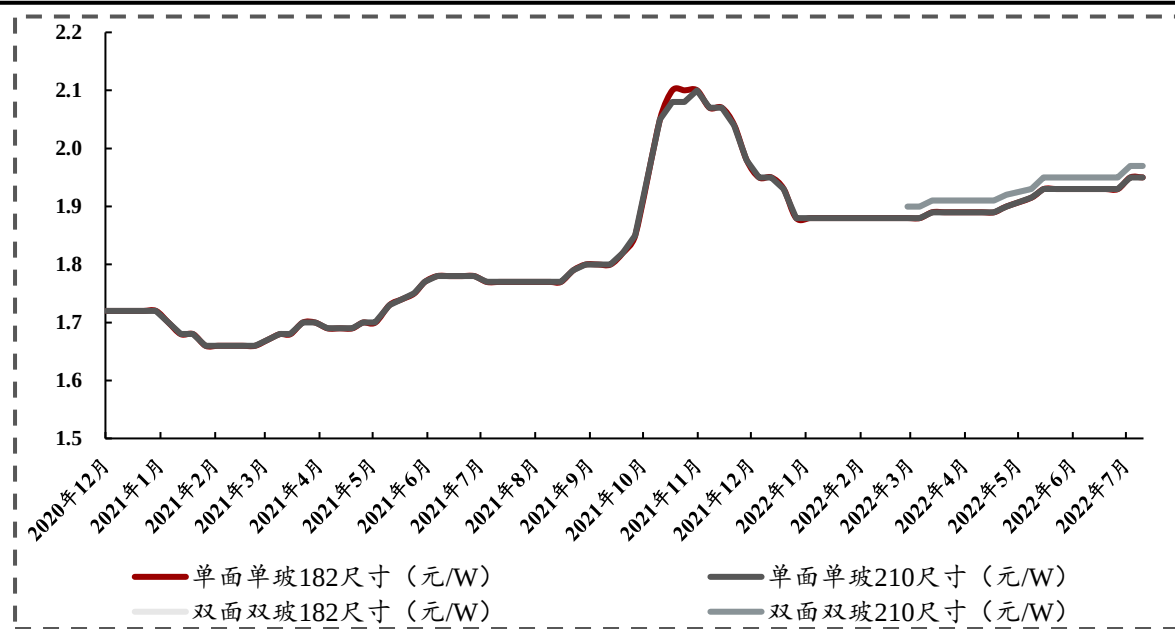
- ❑ 2020年国内化石能源制氢占中国氢气制取来源78%左右，可再生能源制氢占比不到2%；预计2040年可再生能源制氢占中国氢气制取来源45%和化石能源制氢占比持平；预计2050年可再生能源制氢占比全面超越化石能源制氢达到70%。
- ❑ 预计2030年可再生能源电解水制氢设备市场规模达到1,830亿元左右，其中AWE电解水制氢设备市场规模达到1,388亿元左右；预计2050年可再生能源电解水制氢设备市场规模突破万亿元，达到10,225亿元左右，PEM电解水制氢设备市场规模预计和AWE电解水制氢设备市场规模持平达到5112亿元左右。预计2060年可再生能源电解水制氢设备市场规模达到13,483亿元左右，由于设备成本触底，与可再生能源电源适配性高等原因PEM电解水制氢设备市场规模将大幅超越AWE电解水制氢设备市场规模达到10,112亿元。

来源：中国氢能联盟，公开资料，头豹研究院整理

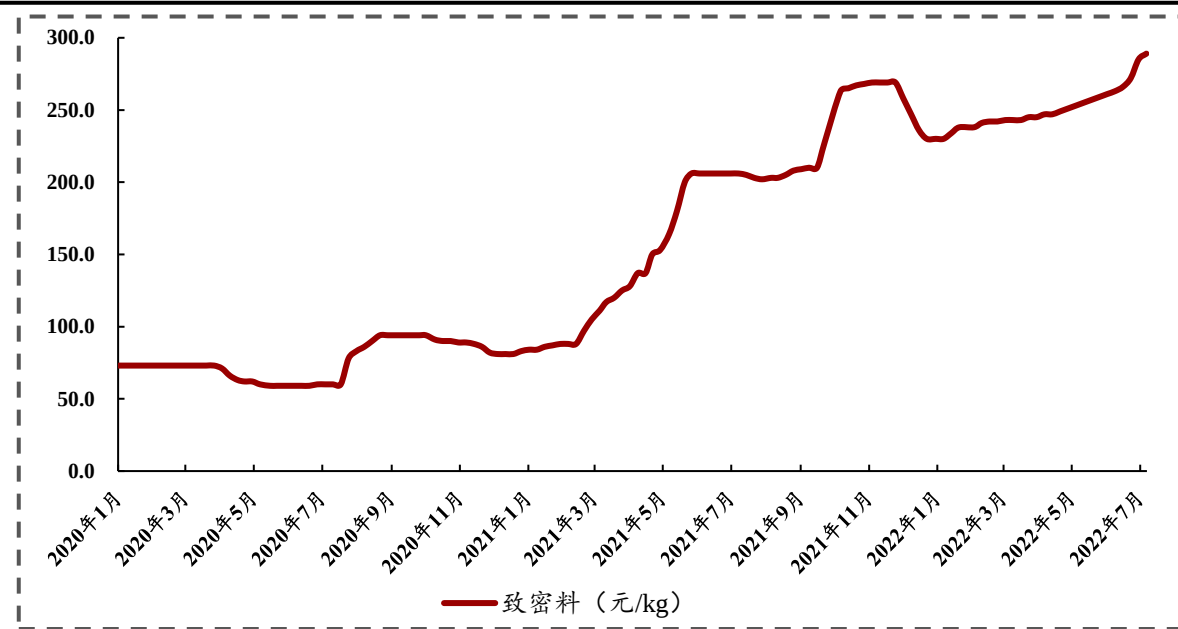
章节7.3.1 制约因素

可再生能源发电和电解水制氢设备关系紧密，光伏组件及其原材料高昂的价格可能成为制约可再生能源电解水制氢设备发展的潜在因素。

截至22年7月光伏组件价格为1.95元/W，同比增长10.17%



截至22年7月光伏组件原材料硅料价格为289元/kg，同比增长40.29%



头豹洞察：

- ❑ 光伏等可再生能源发电为可再生能源电解水制氢先决条件，近两年光伏组件及其原材料价格大幅上涨。光伏单面单玻182尺寸组件价格从2020年12月的1.72元/W最高上涨至2021年10月的2.1元/W；目前光伏组件价格为1.95元/W，同比去年增长10.17%。光伏组件原材料硅料（致密料）价格从2020年12月的73元/kg上涨至现在的289元/kg，涨幅高达295.89%。
- ❑ 光伏组件及原材料的上涨不仅影响光伏行业的发展，也会拖延光伏发电电价进入平价时代的时间。光伏电价最为PEM等可再生能源电解水制氢技术核心降本驱动，对于制氢设备发展有着举足轻重的影响。因此光伏组件及原材料的高额价格可能成为制约可再生能源电解水制氢设备发展的潜在因素。

国外PEM电解槽设备最大制氢效率等指标高于国内产品

	美国	美国	中国	中国
公司名称	Proton Onsite	Giner	718所	赛克赛斯
电解槽类型	PEM	PEM	PEM	PEM
代表产品	M系列	Allagash系列	纯水电解制氢设备	QLE/S-H 50-200
制氢速率Nm3/h	100-400	30-400	0.01-50	50-200
氢气纯度%	99.9998%	99.9995%	99.99%	-
平均功耗kWh/Nm3	4.53	-	-	5.0
输出压力bar	30	0-40	0-40	0-30
环境温度℃	10-40	-	-	5-50
有无腐蚀性	无	无	无	无
生产能力动态范围	0-100%	-	1-100%	-
特点	模块化	模块化	电解制氢效率可达85%以上	

来源：公司官网，公开资料、头豹研究院整理

PEM电解水制氢部件国产化率较低

电解槽部件	海外器械优势
电催化剂	PEM的阳极和阴极主要使用贵金属铂和铱作为催化剂。一方面国内铂和铱储量少，主要从南非、俄罗斯、南美等地进口。另一方面，国内铂和铱的催化剂制作工艺劣于Johnson Matthey、TKK等外国企业的工艺。
质子交换膜	目前国内出货的PEM电解槽中几乎全部采用进口质子交换膜，质子交换膜多为全氟磺酸膜，制备工艺复杂，长期被美国和日本企业垄断，如科慕Nafion™系列膜、陶氏XUS-B204膜、旭硝子Flemion®膜、旭化成Aciplex®-S膜等。质子交换膜价格高达几百至几千美元/m2。

头豹洞察：

- ❑ PEM电解水制氢部件国产化率低于碱性制氢部件国产化率，目前国内生产的PEM电解水制氢设备最大制氢速率为200Nm3/h，400Nm3/h制氢速率的PEM电解水制氢设备国内目前还在试验阶段。
- ❑ PEM电解水制氢设备中电催化剂和质子交换膜两大部件国内和国外的技术差距较大，大量依赖国外进口的部件。国内外技术差距将大幅增加制氢设备厂商的生产成本及不稳定因素（如贸易禁令、关税等）。
- ❑ 国产设备制氢速率较小，限制了国产PEM电解槽在国内的应用，未来国内制氢企业为满足日益高涨的市场需求可能大量选择采用进口设备来达到扩产需求。因此国产设备性能落后或成为制约国内制氢设备发展的潜在因素。

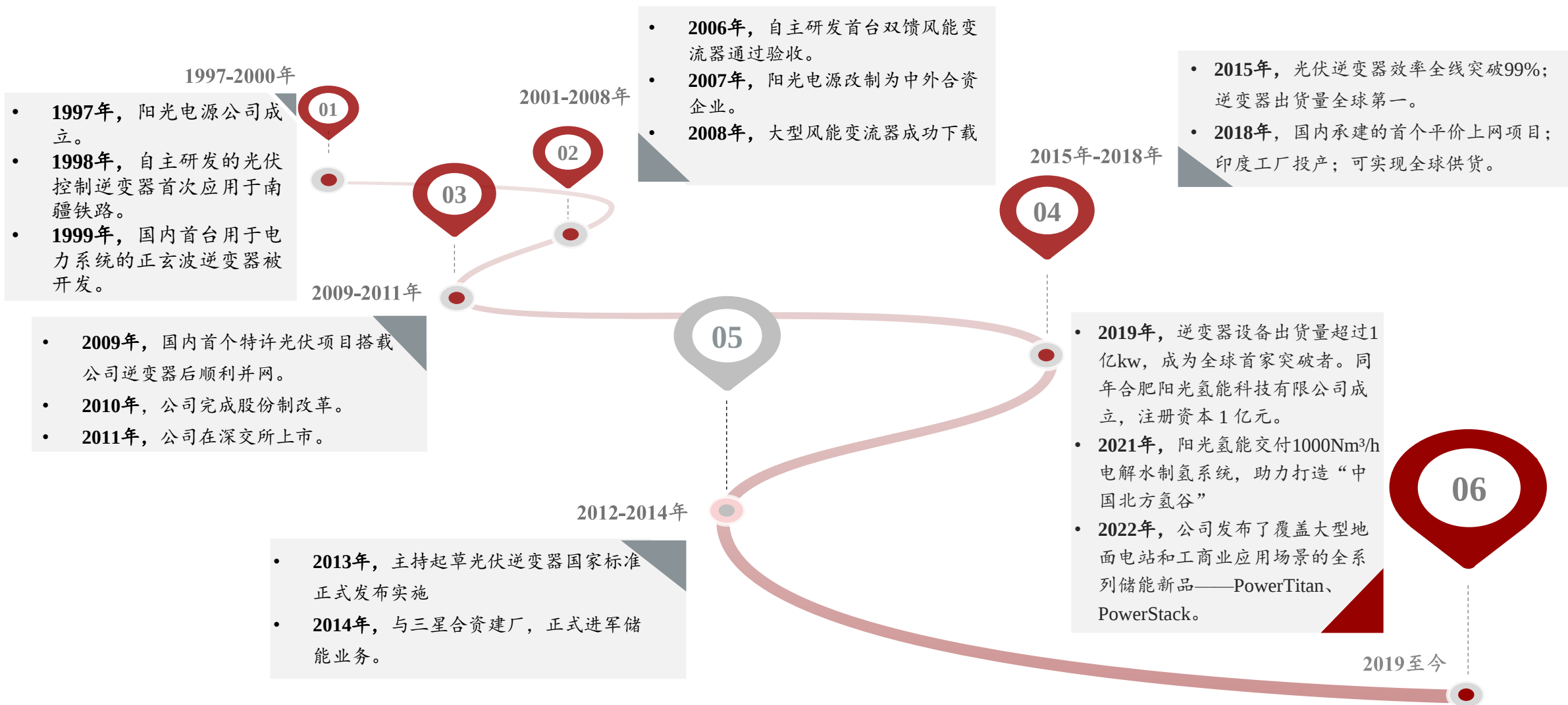
第八部分：重点关注企业（阳光电源）

主要观点：

- 阳光电源成立于1997年，专注于逆变器的自主研发与制造。公司依托逆变器产品以及在电力电子转化技术上的优势，逐步向储能、制氢设备等领域延伸。
- 阳光电源积极布局可再生能源制氢项目，兼顾设备制造和整体解决方案的提供；与中国科学院大连化学物理研究所合作建立PEM 电解制氢技术联合实验室，确保公司技术领先地位。
- 阳光电源积极布局可再生能源制氢项目，兼顾设备制造和整体解决方案的提供；与中国科学院大连化学物理研究所合作建立PEM 电解制氢技术联合实验室，确保公司技术领先地位。
- 阳光电源2021年首发的SEP50 PEM电解槽优势显著促使公司具备行业先发优势；除此，公司还具备制氢整体解决方案设计优势、主营业务盈利优势和管理层优势。

章节8.1 阳光电源 发展历程

阳光电源成立于1997年，专注于逆变器的自主研发与制造。公司依托逆变器产品以及在电力电子转化技术上的优势，逐步向储能、制氢设备等领域延伸。



阳光电源积极布局可再生能源制氢项目，兼顾设备制造和整体解决方案的提供；与中国科学院大连化学物理研究所合作建立PEM 电解制氢技术联合实验室，确保公司技术领先地位。

阳光电源可再生能源制氢项目发展历程

时间	事件
2019年6月18日	合肥阳光氢能科技有限公司成立，注册资本 1 亿元。（阳光电源 100%控股。）
2019年7月22日	山西省榆社县政府与合肥阳光新能源科技有限公司举行 300MW 光伏和 50MW 制氢综合示范项目签约仪式。此项目为阳光电源签订的首个光伏制氢项目。
2019年9月25日	阳光电源 200MW 光伏发电项目（一期）开工暨二期 500MW 光伏制氢项目签约仪式在山西省屯留区吾元镇举行。
2019年10月20日	阳光电源与中国科学院大连化学物理研究所于安徽合肥签订制氢产业化战略合作协议。双方将合作建立 PEM 电解制氢技术联合实验室。
2020年3月3日	阳光电源与吉林榆树市人民政府签订风电及制氢综合示范项目。项目总装机量 400MW，其中示范制氢 10MW。
2020年8月27日	阳光电源 1GW 风光储能项目、北方氢谷风光制氢试验项目签约。其中，阳光电源 1GW 风光储能项目，计划投资约 55.1 亿元；白城北方氢谷风光制氢试验项目，计划总投资 21 亿元。
2020年9月27日	山西运城市政府与阳光电源股份有限公司举行投资合作协议签约仪式。总装机 2GW 光伏电站和储能系统、光伏制氢、新能源汽车充电站等项目。
2021年3月28日	发布国内首款绿氢 SEP50 PEM 电解槽，功率 250kW。是目前国内可量产功率最大的 PEM 电解槽。

来源：公司官网、头豹研究院整理

部分阳光电源制氢技术专利

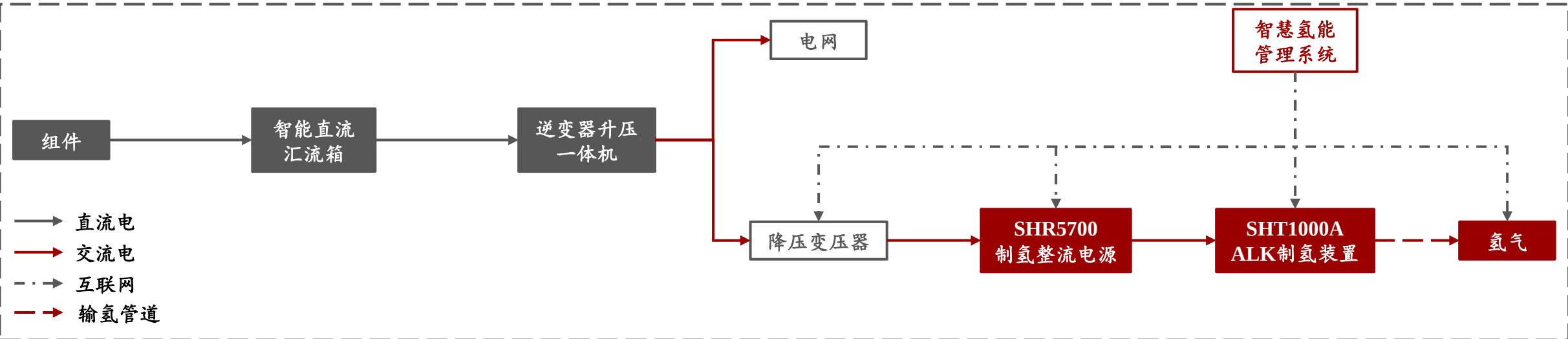
公开日	专利名称	专利类型
2021/1/12	直流耦合光伏离网制氢系统及其控制方法	发明专利
2021/8/27	一种供氢方法、供氢装置及供氢系统	发明专利
2021/9/3	一种可再生能源制氢和储氢系统及其控制方法	发明专利
2021/12/10	一种制氢系统及其控制方法	发明专利
2022/4/8	一种水电解制氢系统	发明专利
2022/4/8	制氢方法、制氢系统、制氢电解液的循环方法和循环装置	发明专利
2022/4/8	一种制氢纯化系统的控制方法及相关装置	发明专利
2022/4/8	电解槽设备及其气体回收装置、电解气体回收方法	发明专利

头豹洞察：

- ❑ 阳光电源积极推进制氢项目落地。先后在山西省榆社县、吉林榆树市、山西运城等城市等地方开展可再生能源制氢项目。公司将形成“风-光-储-电-氢”业务的全面发展格局，力争成为全球领先的绿氢系统解决方案及服务供应商。
- ❑ 阳光电源在研发端不断投入，专注于提升制氢技术水平，申请相关专利。目前公司拥有制氢技术相关专利包括水电解制氢系统、制氢方法、制氢系统、制氢电解液的循环方法和循环装置、制氢纯化系统的控制方法及相关装置、电解槽设备及其气体回收装置、电解气体回收方法等。

阳光电源提供制氢整体解决方案。其解决方案采用一体化集装箱式解决方案，降低初投资成本，且适应多种能源融合、多种模式接入和多种应用场景管理，并采用防、护、消、泄四位一体安全设计，全方位保障系统安全。

阳光电源交流并网制氢系统主要结构及流程



头豹洞察：

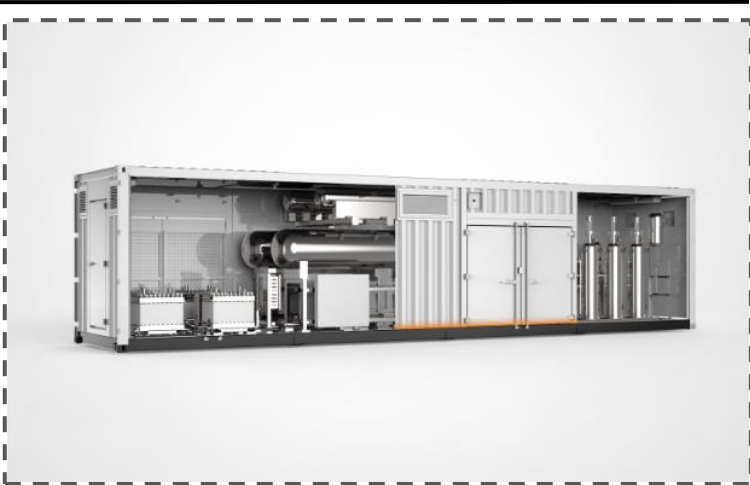
- ☐ 阳光电源交流并网制氢系统主要包括8个部分，分别为组件、智能直流汇流箱、逆变器升压一体机、电网、降压变压器、SHR5700制氢整流电源、SHT1000A ALK制氢装置和智慧氢能管理系统。公司该系统的代表示范项目为吉林白城风光制氢加氢一体化示范项目，该项目于2021年10月完工，项目由4MW光伏、6MW风电、1000Nm³/h制氢、1000kg/d(12h/d)加氢四个部分组成。该项目是利用光伏和风电制取绿氢的示范项目，通过阳光智慧氢能管理系统实现自发自用余电上网模式。该项目同时证明了阳光电源具备提供并建设可再生能源制氢解决方案的能力。
- ☐ 阳光电源交流并网制氢系统主要核心为智慧氢能管理系统，该系统主要功能为智能投切控制、并网点功率控制，提高能源利用效率；同时协调制氢系统与风光网系统之间的能量分配，使制氢系统高效运行。在制氢系统使用安全方面，这套智慧氢能管理系统拥有三级安全管控，保障制氢系统、场站安全运行；同时可以智能分析数据，及时定位故障和诊断原因，快速排除故障。

来源：公司官网、头豹研究院整理

章节8.4
核心优势

阳光电源2021年首发的SEP50 PEM电解槽优势显著促使公司具备行业先发优势；除此，公司还具备制氢整体解决方案设计优势、主营业务盈利优势和管理层优势。

阳光电源SHT200P PEM制氢装置



阳光电源SHT1000A ALK制氢装置



SEP50 PEM电解槽优势显著

SEP50 PEM电解槽优势	说明
体积重量	体积小；仅800多公斤，同等制氢能力碱性电解槽要10吨重
电耗	电流密度为1.5A/cm2，生产一立方米氢气仅耗电4.1kW，电压效率达86%
寿命	可达10年
可靠性	通过使用自主研发的自动控制系统，可以让设备以最优状态24小时运行
功率波动适应性	对波动性输入功率适应性强，能够在秒级内实现输出功率的浮动，可在10%-150%的宽功率输入范围内实现高纯氢输出

头豹洞察：

- **先发优势：**阳光电源率先进军可再生能源制氢，拥有先发优势，有望成为可再生能源发展新时代下的领军者。公司兼顾设备制造和整体解决方案的提供，可以从设备业务和服务业务同时盈利，甚至有能力参与部分产业标准、规范的指定。同时公司保证研发投入合作建立联合实验室确保电解水制氢相关技术积累及技术领先。公司首发的SEP50 PEM电解槽具备体积小、电耗低、寿命长、可靠性高和功率波动适应性强的优点。
- **制氢整体解决方案设计优势：**阳光能源提供的制氢整体解决方案采用一体化集装箱式解决方案，降低初投资成本，且适应多种能源融合、多种模式接入和多种应用场景管理，并采用防、护、消、泄四位一体安全设计，全方位保障系统安全。
- **主营业务盈利优势：**公司主营业务为光伏逆变器、电站业务、风电变流器和储能业务等。公司2021年全年营业收入241.37亿元同比上涨25.15%，毛利率和净利率分别为22.25%和6.56%。公司主营业务和可再生能源制氢息息相关，且优秀的盈利能力是公司在可再生能源制氢设备行业持续发展的保证。
- **管理层优势：**董事长曹仁贤先生是新能源发电领域的资深专家，担光伏行业协会副理事长，电源学会副理事长，合肥工业大学博士生导师。深厚的行业积淀有利于公司保持前瞻性行业洞察，及时更新迭代技术。

来源：公司官网、头豹研究院整理

方法论

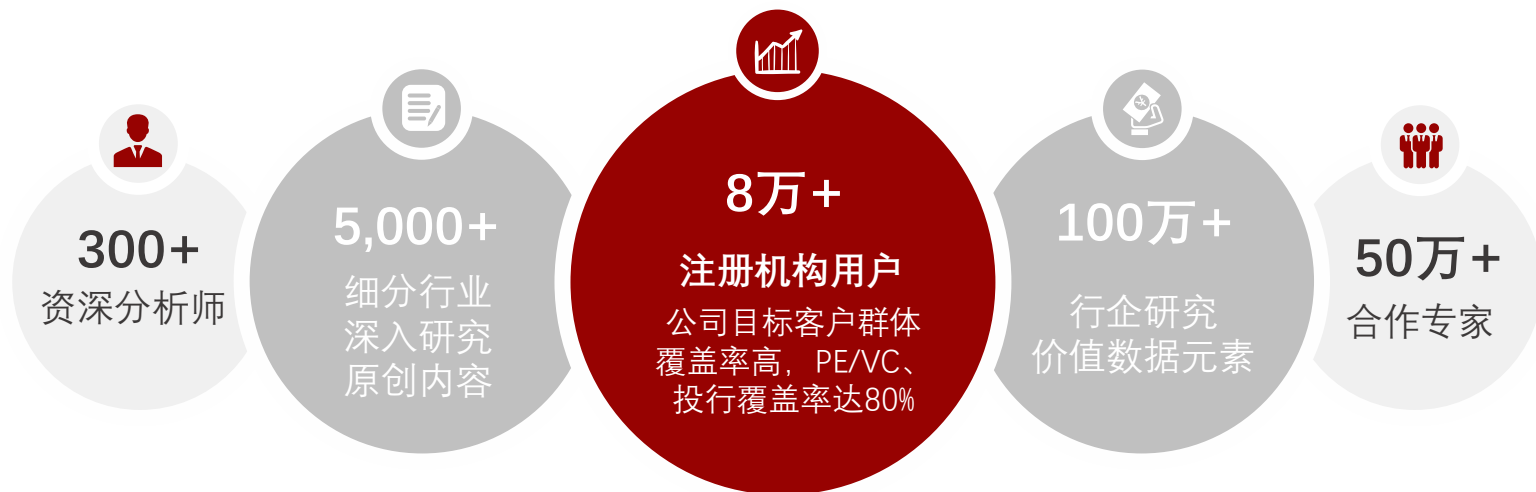
- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究19大行业，持续跟踪532个垂直行业的市场变化，已沉淀超过100万行业研究价值数据元素，完成超过1万个独立的研究咨询项目。
- ◆ 头豹研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业发展周期，伴随着行业内企业的创立，发展，扩张，到企业上市及上市后的成熟期，头豹各行业研究员积极探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业视野解读行业的沿革。
- ◆ 头豹研究院融合传统与新型的研究方法论，采用自主研发算法，结合行业交叉大数据，通过多元化调研方法，挖掘定量数据背后根因，剖析定性内容背后的逻辑，客观真实地阐述行业现状，前瞻性地预测行业未来发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。
- ◆ 头豹研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 头豹研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，以战略发展的视角分析行业，从执行落地的层面阐述观点，为每一位读者提供有深度有价值的研究报告。

法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复刻、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何证券或基金投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告或证券研究报告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告或文章。头豹均不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。

头豹研究院简介

- ◆ 头豹是中国领先的原创行企研究内容平台和新型企业服务提供商。围绕“协助企业加速资本价值的挖掘、提升、传播”这一核心目标，头豹打造了一系列产品及解决方案，包括：**报告/数据库服务、行企研报服务、微估值及微尽调自动化产品、财务顾问服务、PR及IR服务**，以及其他企业为基础，利用大数据、区块链和人工智能等技术，围绕产业焦点、热点问题，基于丰富案例和海量数据，通过开放合作的增长咨询服务等
- ◆ 头豹致力于以优质商业资源共享研究平台，汇集各界智慧，推动产业健康、有序、可持续发展



备注：数据截止2022.6

四大核心服务

研究咨询服务

为企业提供定制化报告服务、管理咨询、战略调整等服务

企业价值增长服务

为处于不同发展阶段的企业，提供与之推广需求相对应的“内容+渠道投放”一站式服务

行业排名、展会宣传

行业峰会策划、奖项评选、行业白皮书等服务

园区规划、产业规划

地方产业规划，园区企业孵化服务



研报阅读渠道

◆ 头豹官网：登录 www.leadleo.com 阅读更多研报

◆ 头豹小程序/微信小程序：搜索“头豹”，手机可便捷阅读研报

◆ 头豹交流群：可添加企业微信13080197867，身份认证后邀您进群

详情咨询



客服电话

400-072-5588



上海

王先生： 13611634866

李女士： 13061967127



深圳

李先生： 18916233114

李女士： 18049912451



南京

杨先生： 13120628075

唐先生： 18014813521

