

氢能产业研究：碳中和背景下的未来新蓝海

报告摘要

碳中和宏观背景下，氢能产业在长期具备良好发展前景。

氢能是一种无碳、高能量密度的优质二次能源，具有储量丰富、热值高、零污染、可存储等优点。我国 2021 年已成为全球最大产氢国，目前主要将氢气用作工业原料，未来将更多作为能源。相较传统化石能源和风光新能源，氢能分别具有清洁低碳和易于储运两大优势。发展氢能对保障国家能源安全和推广燃料电池具有重大意义，近年来相关支持政策密集出台。

多条制氢线路并存，煤制氢是当前主要方式，电解制氢是未来技术发展方向。当前主流制氢方式包括煤制氢、工业副产氢和电解制氢。其中煤制氢技术成熟、成本低廉，但污染较高；工业副产氢性价比高，可作为氢能规模经济化的过渡方式；电解制氢清洁环保，但当前成本较高，是未来的发展方向，有望通过降低电价、提升电解效率等方式实现平价化和规模应用。

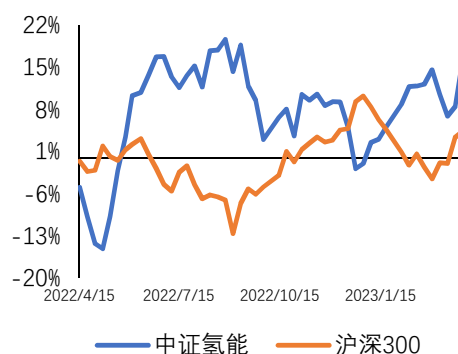
氢储运技术快速迭代，加氢站作为重要基础设施前景可期。高压气态储氢和深冷液化储氢是当前主要可行方式，长管拖氢适合短距、小规模、就地应用，管道输氢适合长距、大规模应用；低温液氢可节省提纯成本，适合远距离大容量运氢。高压加氢站作为重要基础设施，其核心设备国产化有望推动加注成本下降，促进氢能规模化、经济化应用，《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》提出 2035 年加氢站将达到 5000 座。

氢能下游应用广泛，氢燃料电池车是最具潜力方向，实现商业化后将有望打开庞大增量市场。氢能可广泛应用于储能、发电、汽车、航空、冶金、建筑供热等领域。氢燃料电池车是最具潜力的应用领域之一，其相较纯电车具备续航久、充电快、低温适应等优势，但目前综合成本较高，无法达到商业化要求。随着政策力度加大、技术研发取得新突破和规模效应带来降本，产业链有望打开新蓝海，实现跨越式增长。

报告日期

2023 年 4 月 6 日

中证氢能指数与沪深 300 走势比较



风险提示

政策不及预期风险；技术研发进度慢于预期风险；更优技术替代风险。

1. 氢能产业

1.1 氢能：作为能源替代具备诸多优势，碳中和目标下的优质赛道

氢能是一种高能量密度的优质二次能源。氢气是零碳燃料，具有储量丰富、热值高、零污染、可存储、来源广泛等优点，并且不易燃、易扩散、爆炸下限高、使用安全性高。氢能是指以氢及其同位素为主体的反应中或氢状态变化过程中释放的能量，从化学反应角度来看，主要通过氢氧燃烧反应、电化学反应以及热核反应三种形式获得。氢气的单位发热量为 $1.4 \times 105 \text{KJ/kg}$ ，约为天然气的 3-4 倍，汽油的 3 倍，酒精的 3.9 倍，焦炭的 4.5 倍，煤炭的 5-6 倍，具备高能量密度的天然优势。

氢能具备多种优势，氢储能是构建以可再生能源为主题的新型电力系统的关键。

氢能源具有以下优势：1) 清洁无碳：氢气和氧气可以通过燃烧产生热能，也可以通过燃料电池转化成电能，反应过程中只产生水，清洁环保；相比之下，煤炭、石油等化石燃料燃烧会产生温室气体和细粉尘，污染较大；2) 制备方法多样：氢气制备方法包括水电解制备、化石燃料制备、生物化学法、副产气体回收等；3) 储运灵活：相比化石能源和风光等新能源形态相对固定，氢可以气态、液态或固态（金属氢化物）等形式存在，可适应不同场景的要求；4) 输电损耗低：远距离输电往往伴随着一定的损耗，低压管道和低温液氢罐槽车直接输氢则可避免损耗问题、提高安全性；5) 可配合新能源：氢气作为能源载体和储能方式，可以配合可再生能源形成低碳能源体系，是工业深度脱碳与新能源深度脱网的结合；通过氢储能，可以将可再生能源规模化引入能源体系，避免弃风、弃光、弃水现象，实现跨季调峰，解决了可再生能源消纳问题，促进构筑以可再生能源为主体的新型电力系统。

氢气在我国目前主要作为工业原料使用，随着技术成熟和成本下降有望提升能源使用比例。2021 年我国已成为最大产氢国，以煤制氢为主，主要作为工业原料；清洁的电解制氢是未来主流方向。氢气在能源供给技术的逐渐成熟将推动能源结构转型，在一定程度上替代传统化石燃料，实现可再生燃料能源供应占比提升，进一步保障能源安全，实现碳中和目标。近年来，《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》等氢能相关支持政策密集出台，在宏观层面给予行业想象空

间。

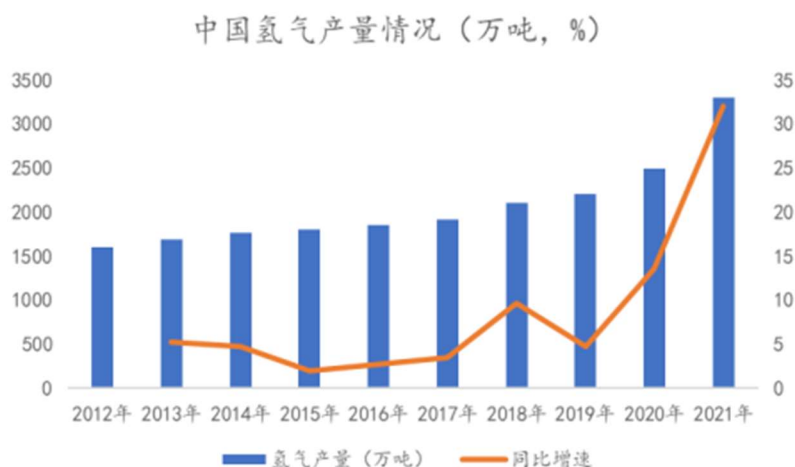
碳中和背景下，发展氢能对保障国家能源安全和推广燃料电池具有重大意义。

“碳中和”背景下，燃料电池产业的发展对于交通运输业的脱碳或发挥重要作用。从保障国家能源安全的角度，减少对国际化石能源的依赖，发展原油和天然气替代燃料具有重要的战略意义，发展氢能有望在推动能源转型及提高能源系统灵活性方面发挥关键作用。与电动汽车相比，燃料电池车能量密度高，加注燃料便捷、续航里程较高，更适用于长途、大型、商用车领域，可有效解决商用货车高续航要求、高污染排放等问题。

1.2 中国氢能发展概况

中国是世界最大产氢国，但作为能源使用比例较低，发展空间广阔。根据中国煤炭工业协会等机构的数据，中国氢气产量逐渐增长，2021 年产量达 3342 万吨，占同年全球氢气产量的 28%；2022 年中国氢气产量为 3781 万吨，是世界最大的产氢国。然而另一方面，氢能作为能源利用比例较低，根据中国氢能产业联盟与石油和化学规划院的统计，2019 年我国氢气产能约 4100 万吨/年，换算热值占终端能源总量份额仅为 2.7%。根据华鑫证券统计，氢能在全球能源占比仅 0.1%；而全球主要能源研究机构预测，2050 年氢能能源占比将达到 12-22%，空间巨大。

图 1：中国氢气产量（2012-2021）



资料来源：中国氢能联盟

中国氢能产业尚处于技术研发阶段，产业缺乏融资支持体系。技术层面，产业发展所必须的加氢枪、压缩机、储容器和质子交换膜等关键设备以及氢密封材料、

低温金属材料、高效冷绝缘材料等关键材料对进口依存度仍然较高，国内相关设备处于研发阶段。产业层面，多层次的金融支持体系尚未建立，氢能建设缺乏融资渠道，在一定程度上限制了产业发展。

近年中央及地方支持政策密集出台，氢能产业有望进入高速发展期。2019 年 3 月，氢能源首次写入政府工作报告，明确将推动加氢等设施建设；2020 年 6 月，国家能源局发布《2020 能源工作指导意见》，将推进能源关键技术设备攻关，推动储能、氢能技术进步与产业发展；2021 年 3 月，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》发布，氢能成为前瞻谋划的六个未来产业之一。全国已有 28 个以上省市推出支持氢能发展的政策，以北京、上海、广东等地为代表的一批省市推出鼓励氢能发展政策。

国家发改委发布《氢能产业发展中长期规划(2021-2035 年)》，长期战略目标清晰。2022 年 3 月，国家发改委发布《氢能产业发展中长期规划(2021-2035 年)》，提出到 2025 年，形成较为完善的氢能产业发展制度政策环境，基本掌握核心技术和制造工艺，初步建立较为完整的供应链和产业体系。氢能示范应用取得明显成效，清洁能源制氢及氢能储运技术取得较大进展，初步建立以工业副产氢和可再生能源制氢就近利用为主的氢能供应体系。燃料电池车辆保有量约 5 万辆，部署建设一批加氢站。可再生能源制氢量达到 10-20 万吨/年，成为新增氢能消费的重要组成部分，实现二氧化碳减排 100-200 万吨/年。到 2030 年，形成较为完备的氢能产业技术创新体系、清洁能源制氢及供应体系，产业布局合理有序，可再生能源制氢广泛应用，有力支撑碳达峰目标实现。到 2035 年，形成氢能产业体系，构建涵盖交通、储能、工业等领域的多元氢能应用生态。可再生能源制氢在终端能源消费中的比重明显提升，对能源绿色转型发展起到重要支撑作用。

2023 年 4 月《氢系统安全的基本要求》新国标正式实施，中证氢能指数发布，产业步入正轨。2023 年，国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会发布国家标准 GB/T29729-2022《氢系统安全的基本要求》，主要替代 GB/T29729-2013 版本，适用于氢的制取、储存、输送和应用系统的设计和使用。该国标已于 2023 年 4 月 1 日实施，标志着国家对氢能产业链日益重视，行业发展有望步入正轨。4 月 3 日，中证指数公司正式发布中证氢能指数，该指数从沪深两市中选取 50 家业务涉及氢能上游氢气制储运加、中游氢燃料电池制造、下游整车运营等领域的

企业，指数样本中包括亿华通、雄韬股份、美锦能源、潍柴动力、东方电气、中集集团、宇通客车等企业。这意味着氢能产业在资本市场地位进一步提升，有望获得更多投资者关注和融资支持。

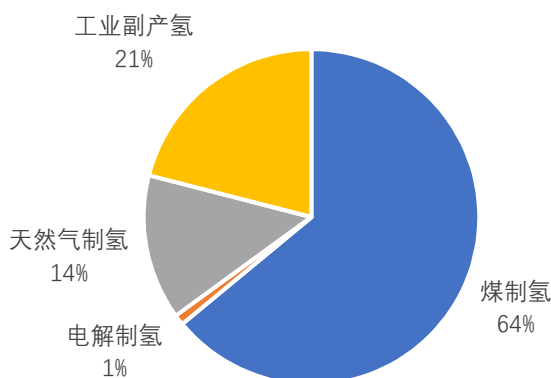
2. 制氢

2.1 我国制氢现状

碳中和背景将带来巨大氢能能源需求。根据《中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2019）》和《中国氢能源及燃料电池产业白皮书（2020）》，在 2030 年碳达峰情境下，我国氢气的年需求量将达到 3500 万吨，在终端能源体系中占比约为 5%；在 2060 年碳中和情境下，我国氢气的年需求量将增至 1.3 亿吨左右，在终端能源体系中占比达到 20%；该数字相比 2019 年同期的 2.7%，存在巨大增量空间。

当前我国氢气制备主要用作工业原料，已有一定技术基础。根据《中国氢能产业发展报告》，中国氢能的生产利用已经非常广泛，但主要是作为工业原料而非能源使用。中国目前是全球第一产氢国，具有较好的产业基础，在合成氨、合成甲醇、炼焦、炼油、氯碱、轻烃利用等传统石油化工行业中具有较为成熟的经验。

图 2：2021 年国内不同技术路线产氢比例



资料来源：智研咨询

煤制氢是当前主流，工业副产氢无法满足大规模能源需求，电解制氢符合长远环保要求。根据智研咨询，2021 年煤制氢占总产氢比重 64%，是目前最主流方式；电解制氢由于成本较高等因素，仅占比 1%。传统制氢工业中以煤、天然气等化石能源为原料，制氢过程排放二氧化碳，制得氢气中普遍含有硫、磷等危害燃料电

池的杂质，对提纯及碳捕获有着较高的要求。焦炉煤气、氯碱尾气等工业副产提纯制氢，能够避免尾气中的氢气浪费，实现氢气的高效利用，但从长远看无法作为大规模集中化氢能供应来源；电解制氢纯度等级高，杂质气体少，易与可再生能源结合，被认为是未来最有发展潜力的绿色氢能供应方式。

业内预测绿氢规模将快速增长，替代灰氢大势所趋。根据《中国氢能产业发展报告 2022》，2021 年，全球已有约 70 个在建的绿氢项目，规模达到 GW 级别的项目为 22 个，其中欧洲占一半，全球已在规划中的 GW 级绿氢项目总产能达到 144.1GW；2016 年至 2021 年，电解槽成本下降了 40%。东吴证券预测，2023 年国内绿氢产业将开始爆发，2025-2027 年平价后有望加速，2030 年左右有望接近煤制氢，彼时绿氢份额有望达到 30%以上，氢气需求超 1 亿吨；预计 2025 年绿氢渗透率 2%，产量超 150 万吨，2030 年绿氢渗透率超 30%，对应产量 3000 万吨。

2.2 三种主要制氢技术路线

表 1：按制氢方式分类

制氢技术	别名	制备技术	成本	碳排放
煤制氢	灰氢	化石燃料制氢	6-13 元/kg	高
工业副产氢	蓝氢	化石燃料制氢、碳捕捉、碳捕捉封存技术（CCUS）降低碳排放	8-14 元/kg	中等
电解制氢	绿氢	可再生能源制氢	20-40 元/kg	低

资料来源：公开资料整理，头豹研究院

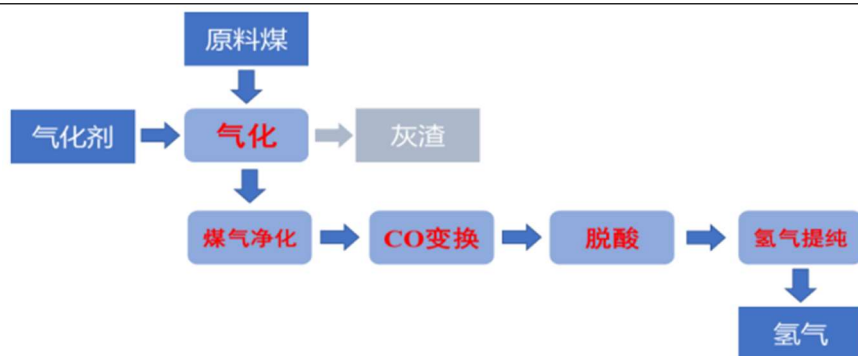
（1）煤制氢：技术成熟、成本低廉、污染较高

煤制氢即灰氢，成本约 6-13 元/kg。由于我国“富煤、贫油、少气”的资源禀赋特点，煤制氢在我国天然具备成本优势，鼓励煤炭的清洁高效利用一直是能源体系改革的重要组成部分。2021 年，全球氢气使用量 5000 亿立方米左右，其中 96% 来自化石能源生产。

目前，传统的煤化工及焦炭企业均有比较稳定且成熟的氢气制备技术，解决提纯问题后的氢气可供给燃料电池使用。煤炭来源稳定，煤制氢成本低于其他技术路线，较天然气制氢低约 20%，较电解制氢低约 60%，仅高于工业副产氢。煤制氢产能适应性强，可以根据当地氢气消耗量的不同，设置氢气提纯规模并调节产能，在车用氢能产业发展初期对企业整体运营影响较小。传统煤制氢采用固定床、流

化床、气流床等工艺，合成气中二氧化碳、一氧化碳等体积分数高达 45-70%，碳排放较高，不满足低碳化制氢要求，且含有硫化物等其他有害副产物，污染较高。

图 3：煤气化制氢工艺流程图



资料来源：《煤气化、生物质气化制氢与电解制氢的技术经济性比较》

（2）工业副产氢：节能低碳、经济性佳，重要的市场过渡方式

工业副产氢气即蓝氢，是指现有工业在生产目标产品的过程中生成的氢气，成本约 8-14 元/kg，是短期最具性价比最高的过渡方式。目前主要形式有 4 种：

- 1) 烧碱(氢氧化钠)副产氢气；
- 2) 钢铁高炉煤气可分离回收副产氢气；
- 3) 焦炭生产过程中的焦炉煤气可分离回收氢气以及石化工业中的乙烯；
- 4) 丙烯生产装置可回收氢气。

当前我国氢气生产主要在石化、化工、焦化行业，主要作为中间原料生产多种化工产品，少量作为工业燃料使用。实际生产中，我国工业副产氢大多数已有下游应用，基本为各企业自产自消。

有赖于国家对氢能源产业的支持政策，产业在发展初期能够依托工业副产氢的低成本，快速培育下游市场规模。2030 年前，我国将把工业副产氢作为绿氢替代前培育氢能终端市场的重要过渡手段，并通过引入碳捕捉封存技术(CCUS)等技术，使工业副产氢成为真正的“蓝氢”，提高其能源利用比例和经济价值。蓝氢还可助力化工、钢铁等行业转型升级，实现节能降碳。

（3）电解制氢：环保性高、降本空间大，未来主流方向

电解制氢即绿氢，是未来主流制氢方向，成本约 20-40 元/kg。当前电解制氢工艺主要有三种：碱水电解(AWE)、质子交换膜电解(PEM)、固体氧化物电解(SOEC)。其主要参数对比如表 2 所示。

表 2：三种电解制氢基本性能参数比较

特性	碱性电解水制氢	质子交换膜电解水	固体氧化物电解水
能源效率	60%-75%	70%-90%	85%-100%
运行温度 C	70-90	70-80	700-1000
2 电流密度 A/cm	0.2-0.4	1-2	1-10
能耗 kWh/Nm ³	4.5-5.5	3.8-5.0	2.6-3.6
启停速度	启停较快	启停快	启停慢
动态响应能力	较强	强	-
电能质量需求	稳定电源	稳定或波动	稳定电源
电解质	20-30%KOH	PEM(常用 Nafion)	Y ₂ O ₃ /ZrO ₂
系统运维	有腐蚀液体，后期运维复杂，成本高	无腐蚀性液体，运维简单，成本低	目前以技术研究为主，尚无运维需求
电解槽寿命	可达 12000h	已达到 10000h	-
电解槽成本美元/kW	400-600	约 2000	1000-1500
安全性	较差	较好	较差
占地面积	较大	占地面积小	未知
特点	技术成熟。已实现工业大规模应用，成本低	较好的可再生能源适应性，无污染，成本高(PEM 更换与贵金属电极)，商业化水平低	部分电能被热能取代，转化效率高，高温限制材料选择，尚未实现产业化
国外代表企业	法国 Mcphy，美国 Teledyne，挪威 Nel	美国 Proton，加拿大 Hydrogenics	-
国内代表企业	苏州竞立，天津大陆制氢，中船重工 718 所	中船重工 718 所，中电丰业，大连物化所，安思卓，中国航天科技 507 所	-

资料来源：公开资料整理

技术路线对比：产业化、电解效率（能源效率）和能耗

产业化方面，AWE 制氢与 PEM 制氢技术相对较为成熟，产业化程度较高。电解效率方面，AWE 电解效率偏低，仅为 60-75%；PEM 电解水技术的电解效率约为 70%-90%；SOEC 电解槽在高温（700-850℃）下运行，电解效率可达 75%-100%。能耗方面，在同样的工况下，SOEC 电解制氢相比于 AWE 电解制氢和 PEM 电解制氢，可以节约 30%以上的用电。

降低制氢成本：降低电价、提高电解制氢效率和降低设备成本

电解制氢成本包括三大部分：设备成本、能源成本（电力成本）、运营费用。其中，能源成本即电力成本占比最大，约占 60%-80%，设备成本次之。因此，降低

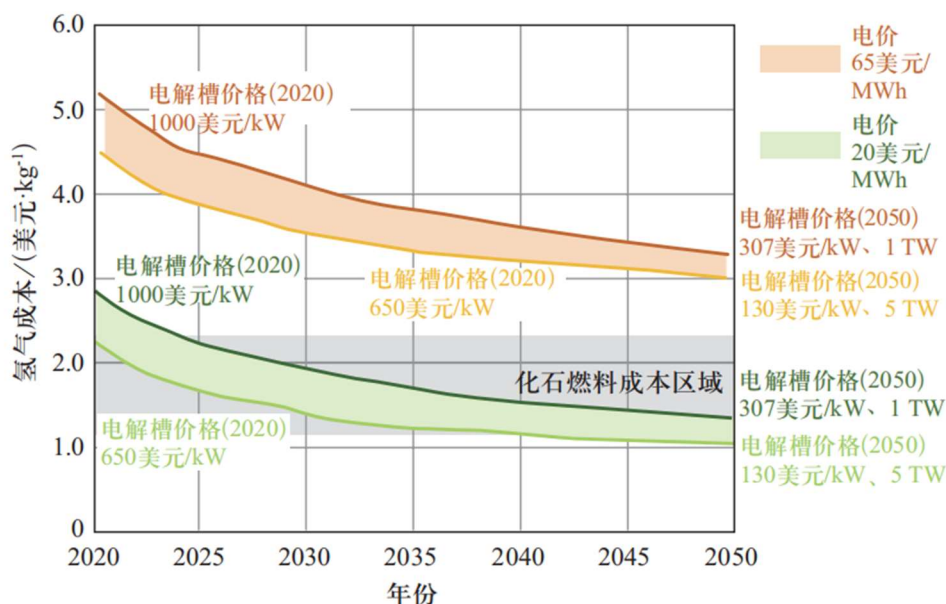
电力成本是降低电解制氢成本的关键，目前主要有两条路径：一是降低电解过程中的能耗，提高电解效率，主要是以前文提到的 SOEC 技术和 PEM 技术代替 AWE 技术；二是采用低成本电力，主要是使用光伏、风能等新能源低价电，利用好弃风、弃光、弃水等自然资源，降低综合能耗成本。

1) 降低电价：提高风光发电利用率

根据东吴证券测算，理想情况下，绿氢按照电耗 4kwh/标方，电价 0.15 元/kwh，对应成本为 15 元/kg，基本可与天然气制氢平价；我国西北地区风光等新能源较为丰富，存在较大利用潜力，若与风光、风电耦合，年利用小时提高至 4000 小时以上，则绿氢成本有望进一步下降至 11 元/kg 以内，基本可以实现与煤制氢平价。远期看，若电价达到 0.1 元/kwh，电耗下降至 3.5kwh/标方，则绿氢成本可降至 8 元/kg，低于煤制氢。根据 Choice 数据，2023 年 3 月我国西北、西南几大省会乌鲁木齐、西宁、呼和浩特的电价约在 0.45-0.58 元/kwh，距离平价绿氢所要求的电价仍有一定距离。

依据国际可再生能源署 IRENA (2020) 的测算结果（下图所示），电价下降对制氢成本的影响明显高于电解槽设备成本下降带来的影响。

图 4：电解制氢成本与电价、电解槽价格和时间的关系预测

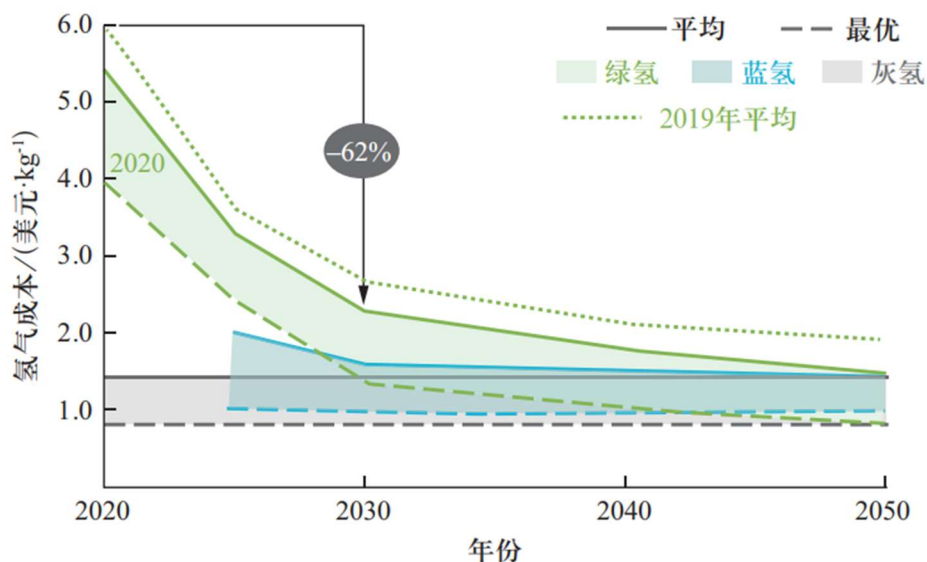


资料来源：IRENA

当制氢成本降至 20 元/kg 以下时，电解制氢相比于煤制氢才具有成本优势，此时对应的可再生能源电价需降低至 0.3 元/kWh 以下。根据 IRENA 与

HydrogenCouncil 预测，2050 年可再生能源制氢成本将降至 1 美元/kg（如下图所示），在这种条件下电解制氢有望突破商业化瓶颈，实现规模化增长。

图 5：2020—2050 年期间制氢成本变化趋势



资料来源：IRENA

2) 提高制氢效率：固体氧化高温水蒸气电解技术(SOEC)

SOEC 技术的核心优势在于电解制氢效率高，在 700-900℃ 的条件下，理论效率可达 100%。SOEC 电解槽进料为水蒸气，若添加二氧化碳后，则可生成合成气(Syngas，氢气和一氧化碳的混合物)，再进一步生产合成燃料(e-fuels，如柴油、航空燃油)。因此 SOEC 技术有望被广泛应用于二氧化碳回收、燃料生产和化学合成产品，具有碳中性循环的优点。SOEC 技术还有运行模式可逆化的特点，如果把水制氢的固体氧化物型电解单元(SOEC)与利用氢发电的(SOFC)组合成一套系统，可形成一套高效产氢或电的化学储能装置。电力过剩时可利用再生能源的剩余电力制氢，在电力紧张时，又可以将储存的氢气发电。

SOEC 的核心部件为固体氧化物陶瓷材料和不锈钢材料，具有较强的机械稳定性和环境适应性，且不使用贵金属催化剂，材料成本低廉。SOEC 技术目前尚不成熟，仅在实验室和通过小型示范规模发展，且投资成本高昂，但可能在未来取得突破。

3) 降低设备成本：国内企业竞争加剧，有望降低电解槽价格

电解槽是电解制氢的核心设备，其成本直接影响制氢价格。根据华鑫证券预计，

2025 年全球电解水设备市场规模将达 167 亿元，2022-2025 年 CAGR 达 106%。目前，中国企业占据全球电解槽设备主要份额，2022 年全球电解槽市场出货量约 1GW，国内电解槽出货量则近 750MW。根据 BloombergNEF 预测，2023 年中国电解槽出货量有望达到 1.4-2.1GW，占当年全球出货量的 60%以上，同比增加 75%-163%。

我国电解槽设备参与者中，第一类为 718 所、竞立、大陆等老牌电解槽企业，其技术积累深厚、市占率高，其中前两者 2021 年市占率之和超 50%。第二类是光伏龙头，隆基股份 2021 年在西安成立隆基氢能作为电解水制氢设备项目总部，拟在 5-10 年内将产能扩大至 1 万台，预计 23 年产能将进一步扩张至 2.5GW；阳光电源 2019 年与中国科学院签署制氢产业化战略合作协议，共并于 2021M3 推出全国最大功率 PEM 电解槽。数据显示，隆基氢能在去年出货量显著提升，市场份额已升至第三。第三类是其他新兴势力，昇辉科技参股投资 3 家氢能产业链头部企业，子公司 1000 标方碱性电解水制氢成套设备今年 1 月在佛山成功下线；华光环能是全国水处理设备科研中心和最大的制造基地，去年年底公司碱性电解水制氢 30Nm³/h 中试装置发运完成；双良节能单台电解槽功率可达 1000-1500Nm³/h，现有年产能 100 套。

表 3：2023 年 1-2 月电解槽招标项目

时间	项目名称	相关企业/招标人	电解槽招标量	技术路线
1 月 6 日	国能宁东可再生氢碳减排示范区一期项目	国华投资宁夏分公司	5000Nm ³ /h (25MW)	碱性
1 月 16 日	涑源县 300MW 光伏制氢项目	涑源氢阳新能源开发有限公司	2x600Nm ³ /h (6MW)	碱性
1 月 28 日	海水制氢产业一体化示范项目	大连洁净能源集团有限公司	60MW	
2 月 11 日	平凉海螺控峒区峡门 100MW 风力发电及制氢项目	平凉海螺水泥有限责任公司		碱性
2 月 16 日	鄂托克前旗上海庙经济开发区深能北方光伏制氢项目	长江勘测规划设计研究有限责任公司	9000Nm ³ /h (45MW)	碱性
2 月 16 日	鄂尔多斯市风光融合绿氢示范项目	中石化新星内蒙古绿氢新能源有限公司	390MW*	碱性*
2 月 18 日	七台河勃利县 200MW 风电制氢项目	七台河润沐新能源有限公司	1500Nm ³ /h (7.5MW)	碱性
2 月 23 日	大安风光制绿氢合成氨一体化示范项目	吉林电力股份有限公司	39x1000Nm ³ /h (195MW)	碱性

资料来源：氢云链，注：招标项目均已进入制氢设备招标环节，部分较小规模项目未统计。

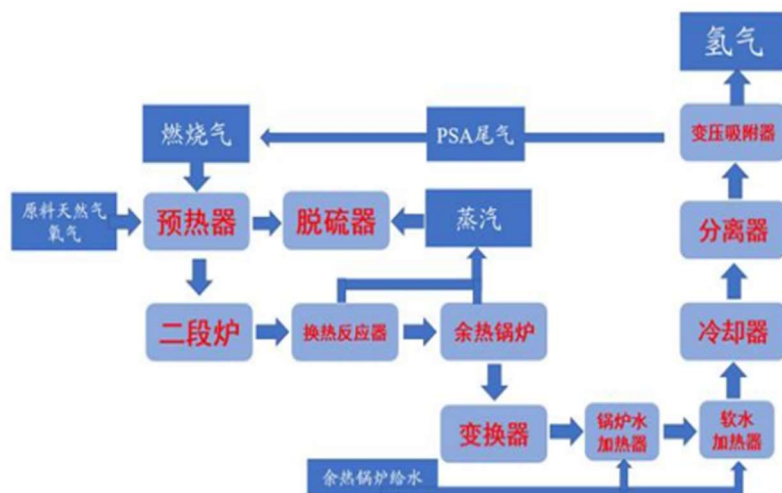
带星号的电解槽需求量为估计值。

2023 年以来，电解槽设备出货量显著提升，1-2 月，已公开招标电解槽的绿氢项目共有 8 个，合计电解槽招标量达 763.5MW，同比增长近 3 倍，并且该数字超过了 2022 年国内全年出货量（750MW）。由于电解槽行业壁垒较低，各路企业加速入局将加剧市场竞争，导致产品价格下降，或将对下游制氢形成利好。

（4）天然气制氢：工艺复杂、经济可行性低

天然气制氢技术以天然气为主要原料，由于中国天然气资源供给有限且含硫量较高，预处理工艺复杂，导致国内天然气制氢的经济性远低于国外，本文暂不讨论。

图 6：天然气制氢工艺流程



资料来源：《煤气化、生物质气化制氢与电解制氢的技术经济性比较》

3. 氢储运

3.1 储氢

储氢的安全性难题——氢脆。“氢脆”是目前储氢安全性的主要问题，其原理是溶于钢中的氢聚合为氢分子，造成应力集中，超过钢的强度极限，在钢内部形成细小的裂纹，最终在内部残余的或外加的应力作用下导致材料脆化甚至开裂。氢脆一经产生无法消除，为存储容器带来较大安全隐患。在储氢瓶中，I 型和 II 型瓶储氢密度低，氢脆问题多发，因而难以满足车用储氢容器的要求。

高压气态储氢和低温液化储氢是当前主要可行方式，可满足储氢高体积能量密度需求。与其他燃料相比，氢的质量能量密度大，但体积能量密度小，仅为汽油

的 1/3000。因此，构建氢储能系统的前提条件是在较高体积能量密度下储运氢气；尤其当氢气应用于交通领域时，还要求有较高的质量能量密度。当前 4 种主要储氢方式如下：

(1) 高压气态储氢：高压气态储氢是最直接的储氢方式，技术成熟度最高，已得到广泛应用，但体积储氢密度较低，安全性较差。其原理为在高压容器内氢以气态储存，储存量与压力成正比。高压储氢技术商业一般选用可承受 20MPa 氢压的储气钢瓶，贮氢压 15MPa 左右，因为氢气密度较低而储氢罐自身较重，氢的质量分数一般都少于 3%。为了提高储氢密度，研究人员研发出铝内胆成型、高抗疲劳性能的碳纤维全缠绕高压氢气瓶，可耐受 35~70MPa 高压，质量浓度为 19~39g/L。丰田公司推出的 Mirai 氢燃料电池汽车储氢系统采用的是聚酰胺连线外加轻质金属的高压储氢罐，可承受 70MPa 高压。

(2) 低温液态储氢：低温液化储氢是一种可实用化的储氢方式，由于常温常压下液态氢的密度是气态氢的 845 倍，因此低温液化储氢具有储氢密度高、储存容器体积小等优势，其质量浓度约为 70g/L，高于高压气态储氢(70MPa 下质量浓度约为 39g/L)。但氢气液化难度大，过程需要多级压缩冷却，氢气温度降低至 20K，将消耗大量能量，液化消耗的能量约占氢能的 30%。另外，为了避免液态氢蒸发损失，对液态氢储存容器绝热性能要求苛刻，需要具有良好绝热性能的绝热材料。低温储氢罐的设计制造及材料的选择一直存在成本高昂的难题，导致液化过程和储氢容器技术复杂，成本增加。低温液化储氢技术主要应用于军事与航天领域，商业化研究与应用才刚刚开始，然而由于在大规模、长距离储运方面的优势，或将在未来与高压气态储氢互补共存发展。

(3) 有机液化储氢：有机液态储氢是指利用氢气与有机介质的化学反应，进行储存、运输、释放，当前仍存在脱氢温度高、效率低、能耗大的问题，新型有机储氢介质的开发势在必行。

(4) 固态储氢：指利用物理或化学吸附将氢气储存在固体材料之中，但是当前技术下，室温下储氢量过低，且固体材料制备昂贵。有机液化储氢和固态储氢技术在单位储氢密度、安全性方面占有优势，但目前技术成熟度较低，是各国正在探索的新技术。

目前，工业上可行性最高、应用最广泛的主要是高压气态储氢和低温液化储氢。

3.2 储氢瓶

储氢瓶是高压气态储氢的必备载体，持续向高压化、轻量化发展，III型瓶、IV型瓶优于I型瓶、II型瓶，已成为当下主流。高压气态储氢是最常见的储氢技术，通过高压压缩的方式将气氢储存在大体积、质量重的气瓶中。该储氢方式简便易行、能耗低、成本低、充放氢速度快，在常温下就可以进行放氢，零下几十度低温环境也能正常工作，高压储氢瓶是其必备设备。目前，高压气态储氢容器主要分为四类：I型纯钢制金属瓶、II型钢制内胆纤维缠绕瓶、III型铝内胆纤维缠绕瓶、IV型铝合金内胆纤维缠绕瓶。其中III型瓶和IV型瓶具有重容比小、单位质量储氢密度高等优点，可广泛应用于氢燃料电池汽车。研究表明，氢气质量密度随压力增加而增加，在30-40MPa时，氢气质量密度增加较快，而压力70MPa以上时，氢气质量密度变化很小，因此大多储氢瓶的工作压力在35-70MPa范围内。

表 4：高压气态储氢瓶分类

型号	I	II	III	IV
制作工艺	纯钢质金属	钢质内胆纤维缠绕	铝内胆纤维缠绕	塑料内胆纤维缠绕
工作压力 (MPa)	17.5-20	26.3-30	30-70	70
使用寿命	15 年	15 年	15-20 年	15-20 年
储氢密度	14.28-17.23	14.28-17.23	40.4	48.8
成本	低	中等	最高	高
应用场景及现况	加氢站等固定式储氢应用	加氢站等固定式储氢应用	车载，III型瓶为我国当前发展重点，已有 35MPa 和 70MPa 成熟产品	车载，处于研发阶段，未来或实现市场化

资料来源：《高压储氢容器研究进展》

车载储氢系统以轻量化、低成本化和低重容比为发展方向，IV型瓶取代III型瓶是大势所趋。相较III型瓶，IV型瓶在容积、单位质量储氢密度、爆破压力、压力循环次数和使用寿命等指标上都有提升，其中最显著进步的是压力循环次数上的增加，增幅达到193.3%。同时，IV型储氢瓶的成本要比III型瓶的成本低，更具有市场优势。京城股份、中材科技、亚普股份、斯林达、科泰克等企业正在重点布局IV型车载氢气瓶领域。此外，从储氢瓶的容积来看，2019年，国内市场35MPa储

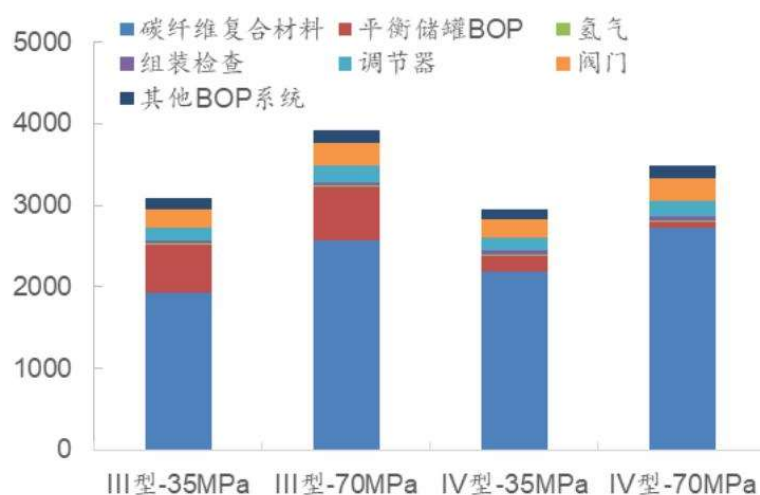
氢瓶市场多为 140L 的储氢瓶，其市场占比超 80%。2020 年国内储氢瓶市场表现为 140L 为主流，165L 和 210L 逐步增长。在 2021 年国内储氢瓶市场逐渐发展为 140L、165L、210L 平分市场的形态。另外有部分企业推出 260L、385L 大容积车载储氢瓶，更有部分企业计划推出 400L 以上车载储氢瓶，整体趋势向大容积方向发展。

图 7：北京科泰克车载储氢瓶



资料来源：公开资料

图 8：主流 III 型、IV 型瓶成本构成（美元）



资料来源：国联证券

储氢瓶价格高昂，降本关键在于碳纤维价格的下降。根据 DOE 数据及中科院宁波

材料所测算，车载储氢瓶成本目前在 16-21 美元/kwh。对于储氢质量均为 5.6kg 的 35MPa、70MPa 高压储氢 III 型、IV 型瓶，其主要成本来源是碳纤维复合材料，均占到总成本 70% 左右。此外，当 III 型及 IV 型瓶储氢压力增至 70MPa 时，碳纤维复合材料应用成本及比例大幅提升，因此降低碳纤维应用成本是储氢瓶降本关键。

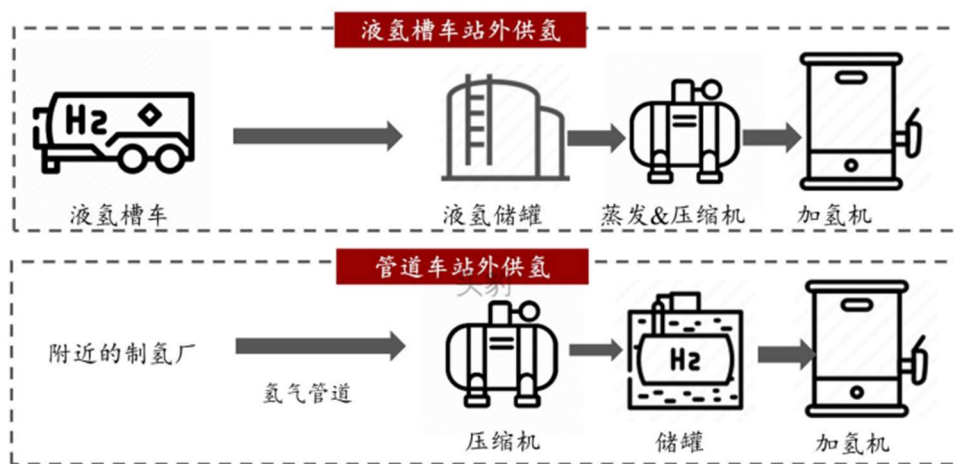
高压储氢瓶市场空间有望打开。得益于政策指引，中国燃料汽车和高压储氢瓶不断发展，随着技术突破和量产化，储氢瓶的安全性和成本高的问题或将逐步得到解决。根据头豹研究院预计，未来国内高压储氢瓶需求量将保持高速增长，由 2021 年的 5036 台增长至 2025 年的 40685 台，市场规模由 2021 年的 2.23 亿元人民币增长至 2025 年的 32.9 亿元人民币。

3.3 运氢

(1) 高压气态氢运输：长管拖氢适合短距、小规模、就地应用，管道输氢适合长距、大规模应用

高压气氢运输主要分为长管拖车和管道运输两种方式。其中，长管拖车运输技术较为成熟，我国目前普遍采用 20MPa 长管拖车运氢，单车运氢约 300kg，同时正在积极发展 35MPa 运氢技术；国外则普遍采用 45MPa 纤维全缠绕高压氢瓶长管拖车运氢，单车运氢可达 700kg。

图 9：两种常见氢储运方式：低压氢气+管道/低温液氢+罐槽车

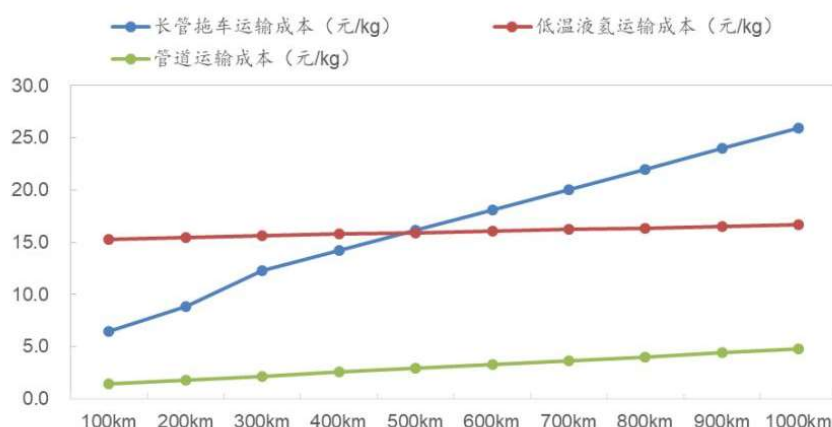


资料来源：头豹研究院

我国氢能产业处于发展早期，产氢规模较小，氢能利用通常为就地生产、就地消费，氢气的运输距离相对较短，因此多采用长管拖车运输。相比之下，管道运输

的压力相对较低，一般为 1-4MPa，具有输氢量大、能耗小和成本低等优势。我国西北地区风光等可再生能源丰富，有望成为未来氢能的主产地，而中国能源消费地主要分布在东南沿海地区，形成了“西氢东输”的能源运输雏形。在未来氢能大规模发展的前提下，管道运输可实现氢能的低成本、低能耗、高效率跨域运输。管道运氢成本主要包括固定成本（折旧费、维护管理费用等）和变动成本（包括氢气压缩耗电费、油料费等），初始投资高、期间成本相对较低，因此类似自来水网、电网和高速公路，其单位成本受利用率影响较大。由于我国处在氢能发展初期，加氢站尚未普及、站点较为分散，采用管道运氢需要大规模基建作为基础，在利用率较低的条件下，管道氢成本显著高于长管拖车，经济性不佳。在氢能产业供需两端全面发展后，氢气管网有望在远期成为低成本运氢的最优选择。

图 10：三种主流氢储运运输成本对比（元/kg，皆为 100%运能）



资料来源：国联证券

（2）低温液态氢储运：长距离、大容量条件下成本更低，可节省提纯成本

低温液态氢储运是将氢气冷却至 21K（约-253℃），液化储存于低温绝热液氢罐中，储氢密度可达到 70.8kg/m³，是标况下氢气密度 0.083kg/m³的近 850 倍，单台液氢运输罐车的满载约 65m³，可净运输 4000kg 氢，运输效率极大提升，另一方面，液化过程可以提高氢气纯度，节省了提纯成本。因此液氢适合长距离、大容量储运，是配合我国未来实现大规模绿氢脱碳应用的首要储氢选择。

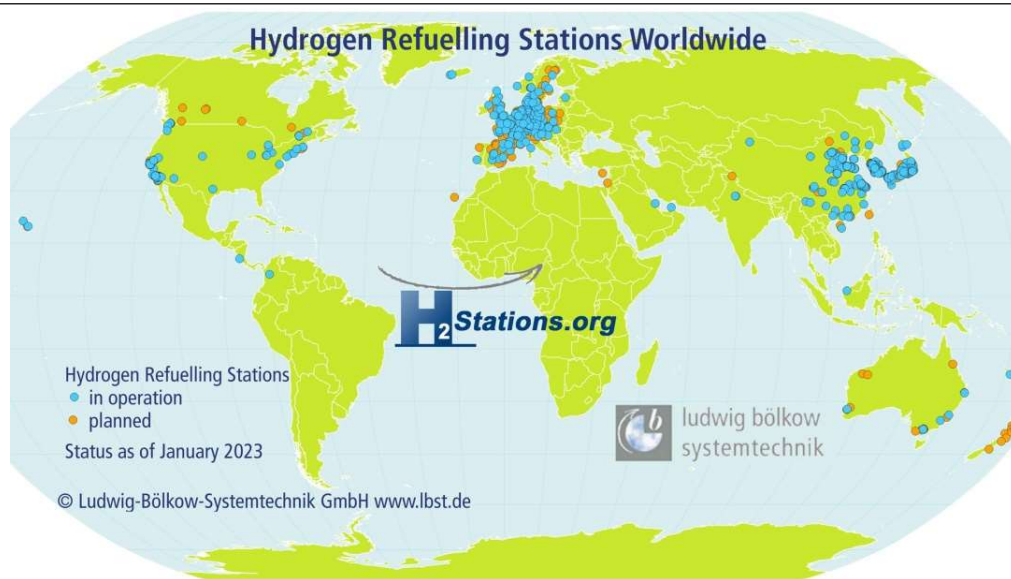
液氢槽车的单车运氢能力是气氢拖车的 10 倍以上，运输效率提高，综合成本低，在国外应用比较广泛，国内目前仅用于航天及军工领域。相比高压气氢拖车储运，液氢槽车方式的主要成本来自于氢气液化。根据《中国氢能产业发展报告》，在

现有技术条件下，采用液氮预冷循环，液氢生产能耗约为 17-20kWh/kg，则电价 0.5 元/kWh 时，液化过程的总成本约为 18.5-20 元/kg。

根据法国液化公司集团数据，当有外部冷源（如有 LNG 辅助时），其生产单耗会下降 30%以上，因此有条件的 LNG 终端配备液氢生产装置的经济可行性提高。从液化到运输全过程成本分析，由于液氢槽车储运量较大，可减少槽车及人员的配置，尽管长距离运输也会带来成本的提高，但提高的幅度并不大。因此，液氢在长距离、大规模的运输中，相较于 20MPa 高压气氢拖车储运有着显著的成本优势。现有技术条件下，液化过程的能耗和固定投资较大，成本占到整个液氢储运环节的 90%以上。

3.4 加氢站

图 11：2022 年全球加氢站分布情况（截至 2023 年 1 月）



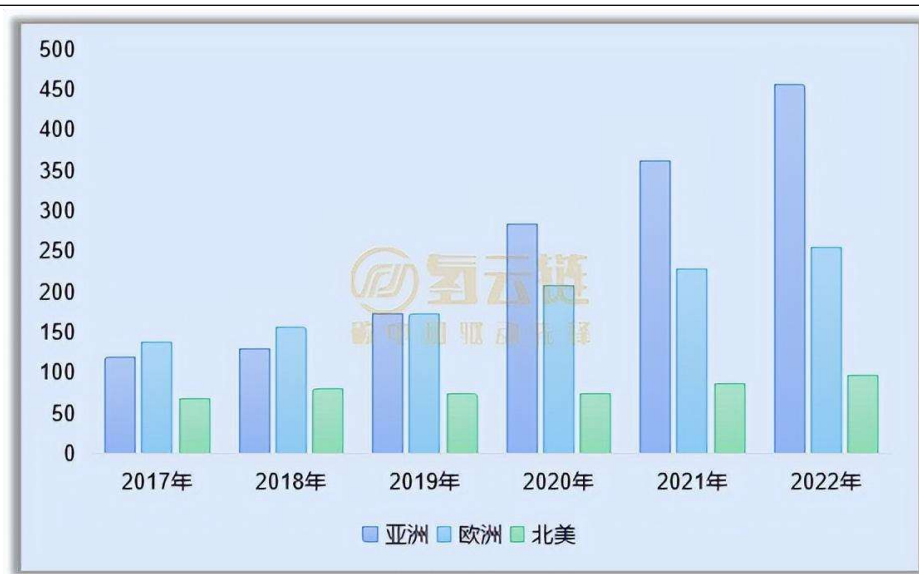
资料来源：H2stations

加氢站是氢燃料电池产业化的重要配套基础设施，我国加氢站数量全球第一。加氢站是通过将不同来源的氢气通过压缩机增压储存在站内的高压罐中，再通过加气机为氢燃料电池汽车加注氢气的燃气站，是氢燃料电池产业化、商业化的重要基础设施。按站内氢气储存形态来分，加氢站可以分为气氢加氢站、液氢加氢站；按氢气来源分类，可以分为外供氢加氢站和内制氢加氢站；按建设形式来分，可以分为固定式加氢站、撬装式加氢站和移动式加氢站。根据中国氢能联盟统计，截至 2022 年底，全球主要国家在营加氢站数量达到 727 座；其中，我国累计建

成加氢站 358 座，其中在营 245 座，加氢站数量全球第一。

亚洲持续领跑加氢站建设。根据 H2stations 报告，在 2017 到 2022 这过去 6 年中，全球加氢站保有量从 328 座增长到 814 座。欧洲、亚洲、北美仍是加氢站建设的主要地区。2022 年，欧洲新增 45 座加氢站，亚洲新增 73 座，北美新增 11 座。自 2019 年以来，亚洲地区就在加氢站数量上实现了对欧洲地区的赶超，并在此后持续拉大差距。

图 12：历年三大洲加氢站保有量情况



资料来源：H2stations，氢云链整理

当前加氢站建设、运营成本相比传统加油站偏高，经济性有待提升。加氢站的主要设备包括储氢装置、压缩设备、加注设备、站控系统等，其中压缩机成本占比最高，因此目前设备制造方向主要是压缩机国产化，从而降低加氢站的建设成本。根据《中国氢能产业发展报告》，目前一座加注能力 500kg/d 的固定式加氢站投资规模在大约需要 700-1200 万元（不含土地成本），相当于传统加油站的 3 倍，除建设成本外，设备维护、运营、人工等运营成本也同样较高。保证加氢站的盈亏平衡的前提下，加氢站的终端售价还需在氢气到站价的基础上增加约 14 元/kg 的运营成本。加氢站早期建设运营较为依赖政策补助。

核心设备国产化有望推动加注成本下降。目前加氢站核心设备依赖进口，包括压缩机、加氢枪及其软管、流量计、安全阀、氢气管道和阀件等。外供氢式加氢站的建设成本中，压缩机成本占比约 30%。目前国内加氢站主要采用美国 PDC 隔膜

压缩机，PDC 占据着全球氢气隔膜压缩机约 70%-75%市场份额。近年来随着国内厂商的研发进展，氢气压缩机国产化进程加快，已有国产厂商研制出符合要求的 70Mpa 压缩机和 90Mpa 压缩机，储氢装置加注设备、站控系统等设备也出现国产替代加速的趋势。随着规模提升，加氢站核心设备的成本有望进一步下降。

图 13：加氢站各系统示意图



资料来源：头豹研究院

我国 2035 年远期规划目标建成 5000 座加氢站，产业化进程有望加速。2021 年中国共有加氢站 218 座，2018 至 2021 复合增长率 116.08%；2022 年达到 358 座，同比再增 65.7%，增速仍然较高。2022 年 3 月，多部门联合印发《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》，明确提出支持氢能全产业链发展。作为普及氢能和燃料电池汽车的基础，加氢站受到了国家的高度重视，并制定了清晰的建设规划路线。根据规划，预计到 2025 年，我国氢燃料电池汽车保有量达到 10 万辆左右，加氢站数量达到 1000 座，到 2035 年，氢燃料电池汽车保有量达到 100 万辆左右，加氢站数量达到 5000 座。

4. 氢应用

4.1 储能

氢储能具有能量密度高、维护成本低等诸多技术优点，有望承担更多能源需求。氢能能量密度高，运行维护成本低，同时适用于极短或极长时间供电的能量储备，是少有的能够储存上百 GWh 以上的储能形式，被认为是极具潜力的新型大规模储能技术。根据国际氢能委员会预计，到 2050 年氢能将承担全球 18% 的能源终端需求。

氢储能可提高对风光能源的消纳能力，增强协同，减少资源浪费。大规模利用可再生能源富余电力制氢（电转气技术，P2G）已为市场普遍看好。风电、光伏出力受限时，利用富余的可再生能源进行制氢，并作为备用能源储存下来；在负荷高峰期发电并网，提高新能源的消纳能力，减少弃风、弃光，增强电网可调度能力并确保电网安全，还可实现跨季调峰。

4.2 集中发电/分布式发电

（1）分布式发电

基于燃料电池的分布式发电是电网削峰填谷的有效解决方案，具备 4 大优点：1）稳定性好，不受天气、时间和区域影响；2）发电效率高，理论成本低；3）能源清洁；4）与现有加气站等基础设施相匹配。

氢燃料电池在大型数据中心等领域辅助供能方面应用前景可观。数据中心耗电量高，诸多大型数据中心开始追求 100% 可再生能源供电目标，以“光伏等新能源+储能系统”供电为新型电力解决方案。氢燃料电池与 UPS 系统结合，可以帮助数据中心实现节能管理。

全球燃料电池分布式发电主要由美日韩三国推动。美国以 BloomEnergy 为代表，主要发展 SOFC 大型商用分布式发电；韩国以斗山集团为代表，主要发展 PAFC 大型商用分布式发电；日本以松下、东芝为代表，主要发展 PEMFC 小型家用分布式发电。

（2）冷热电联供

在替代火力发电方面，氢燃料发电相比天然气发电是更佳的低碳方案，氢燃料与

天然气混燃发电技术是研发方向。目前主流为开发利用余热进行甲基环己烷（MCH）、氨等氢载体的脱氢反应技术，通过高效脱氢工艺可进一步降低成本。2020 年，小型纯氢燃料热电联产的发电效率已提高到 27%，到 2030 年有望全面实现商业化落地。

（2）氢燃料发动机

2021 年 8 月，中国工信部表示将研究推动将氢气内燃机纳入氢能发展战略。氢燃料发动机通过使用从汽油发动机使用的燃料供应和喷射系统改进而来的氢气喷射系统产生动力，氢燃料内燃机可以在传统发动机的基础上进行改造，适应性强，更适用于重载、非道路、建筑和专用商用车。

2007 年，宝马推出了迄今为止氢内燃机汽车中最接近量产的产品——Hydrogen7。近年来，福特、丰田等汽车公司也积极推动氢燃料发动机研发。2021 年，英国工程机械制造巨头 JCB 发布的氢燃料活塞发动机在成本、重量上都比传动的电机、电池或燃料电池更有优势。

4.3 航空

航空业每年排放 9 亿吨以上的二氧化碳，引入氢能是发展低碳航空的重要方式。氢能在飞机上的应用有以下四种途径：1）直接在燃气轮机中燃烧；2）通过燃料电池用于推进或非推进能源系统；3）燃料电池和燃气轮机的混合动力组合；4）氢基合成燃料。

氢气可以与二氧化碳结合产生的“过渡”燃料，其应用不需要改变现有飞机基础设施。氢基燃料是航空业在 2050 年前实现有意义脱碳的主要途径，目前，全球排名前 10 的大型机场都在探索或已经部署了加氢基础设施，用于辅助交通和物流。对于通勤类客机和支线客机，燃料电池推进是最节能、最环保、最经济的选择。针对短程客机，氢气燃烧和燃料电池的混合动力可能是最佳方案。

4.4 冶金

氢能冶金是金属冶炼行业碳减排的重要途径，目前主要应用在钢铁领域。氢能冶金短期内以高炉富氢为主，现阶段主要推广“灰氢+高炉富氢”的氢能炼钢工艺。随着未来条件成熟，更适宜氢气炼钢的富氢气基竖炉直接还原工艺占比将逐步提

升。根据世界钢铁协会数据，在传统的高炉炼钢方式下，每生产 1 吨钢铁会产生 1.85 吨二氧化碳。利用氢气直接从固态铁矿石中除掉氧气，是钢铁行业前景有利的脱碳途径。

4.5 建筑供热

天然气混合氢气为建筑供热技术具备诸多优势。与天然气相比，氢气密度较低，单位质量的燃烧热远大于天然气；氢气更容易点燃，且其火焰速率要远快于天然气；氢气在空气中扩散系数高，不易造成扩散后的聚集进而危险性降低。

在现有天然气管道中掺杂氢气，可以在满足建筑领域供热需求的同时减少碳排放量。在氢气浓度相对较低的情况下（即低比例掺氢，体积占比为 10-20%），无需对基础设施和终端应用进行重大改变，投资成本较低。以混合比例为 5% 计算，每年将减少约 20 万吨二氧化碳排放，十分可观。我国天然气掺氢尚处于研发试验阶段，主要由资金实力雄厚的国有企业开展实施。

5. 燃料电池车

5.1 氢燃料电池系统

图 14：120kW 中重卡用氢燃料电池发动机/50kW 轻卡用燃料电池发动机



资料来源：潍柴动力官网

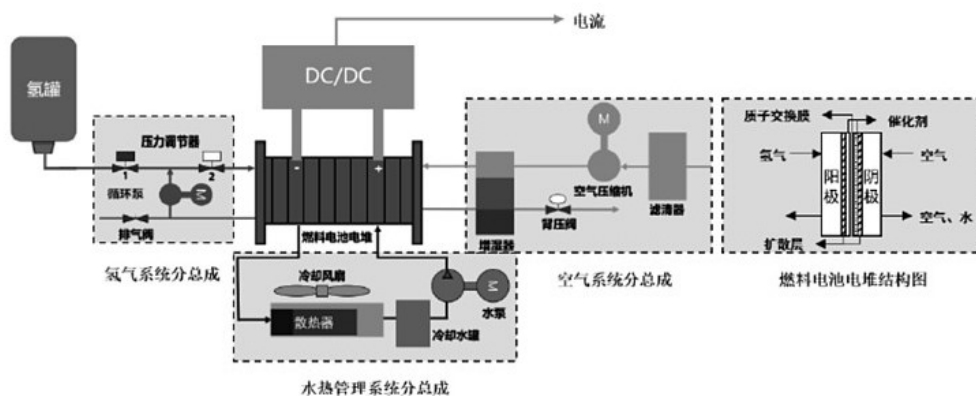
各地方燃料电池配套政策陆续出台，争抢行业先发优势。2020 年 9 月五部委联合发布了《关于开展燃料电池汽车示范应用的通知》，标志我国开始建设燃料电池示范区。2021 年 8 月，上海、京津冀、广东三大城市群示范区首批入选，随后河北城市群和河南城市群在第二批入选，“3+2”示范群共同推动氢燃料电池和

氢能产业发展。在入选示范群后，各地方政府迅速出台了相应补贴和指引政策，目前五大城市群都已经出台了相应产业发展计划。在其他地区，包括江苏、浙江、四川等在内的超过 16 个省市都已经出台了具体配套政策，力争氢能领域先发优势。

氢燃料电池系统是氢能汽车的核心组件。主要由质子交换膜燃料电池电堆和系统辅件（BalanceOfPlant）组成。氢燃料电池电堆是电化学反应发生场所，是氢燃料电池系统的核心；BOP 主要包括空气供应系统、氢气循环系统、水热管理系统和控制系统等，负责维持电堆持续稳定安全地运行。

氢燃料电池相较锂电池具备长续航、低温适应等优势，更适合长途运输需求。燃料电池通过电化学反应将氢气的化学能直接转化为电能，清洁无污染，能量转化效率高，是氢能源的最佳利用方式。氢燃料电池比能量远远超过普通电池，并且没有工作温度限制（普通电池工作温度范围一般在 -20°C - 60°C ，锂电池性能在高低温状态下性能会下降）。目前在道路交通领域，锂电池纯电方案难以满足长途商用车需求；对比之下，氢燃料电池在续航里程、加注时间、低温适应性上均具有优势，有望成为长途商用车的选项之一。

图 15：燃料电池系统构成

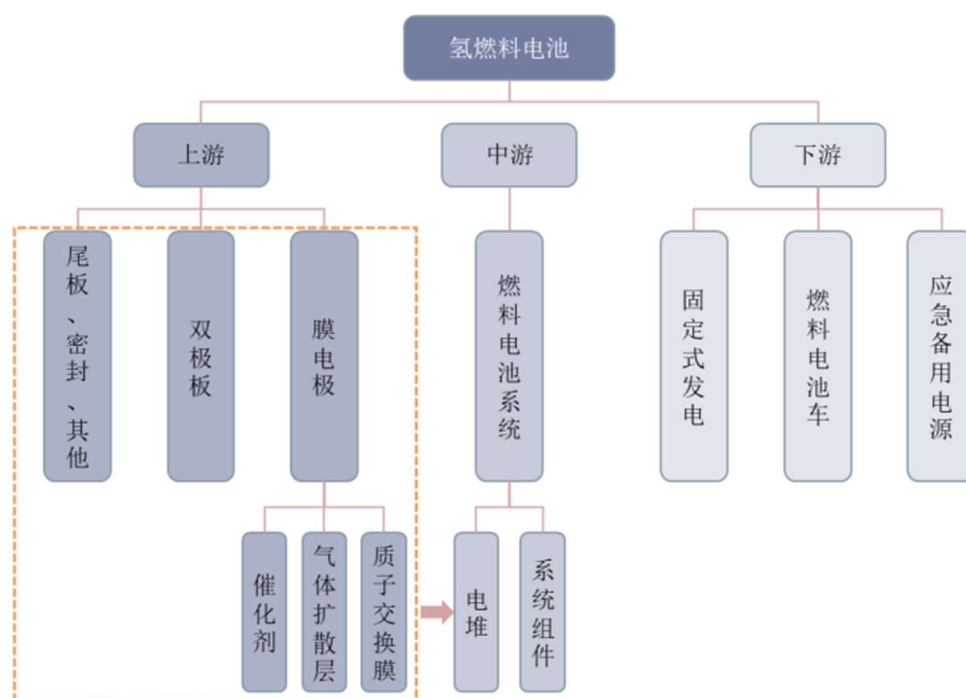


资料来源：海通证券研究所

燃料电池的“燃料”为氢气，工作过程零排放、无污染。燃料电池系统使用供氢系统提供的氢气进行电化学反应，经过 DC/DC 转换输出，以输出满足下游应用场景中不同电机工作电压要求的电流。燃料电池的电化学反应，消耗氢气与氧气，将氢气中蕴含的化学能转化为电能，反应过程不涉及燃烧，反应产物为电、热和

水，不产生污染物排放，理论转化效率可达 90%以上

图 16：氢燃料电池产业链总览



资料来源：华经研究院

氢燃料电池系统主要部件及其生产工艺：

电堆密封：电堆极板密封技术大多采用点胶、注塑工艺。其中，点胶工艺相对比较成熟，容易实现，成品率较高，但效率较低；而注塑工艺可在极板或者膜电极上成型，效率和产品一致性较高，但在极板成型时技术要求较高，极板容易破裂（碳板）或变形（金属板），需要精调注塑模具及注胶参数。对于密封圈高度要求较薄的应用，可采用丝网印刷技术，该工艺技术的优势是胶条均匀性好、生产效率高。

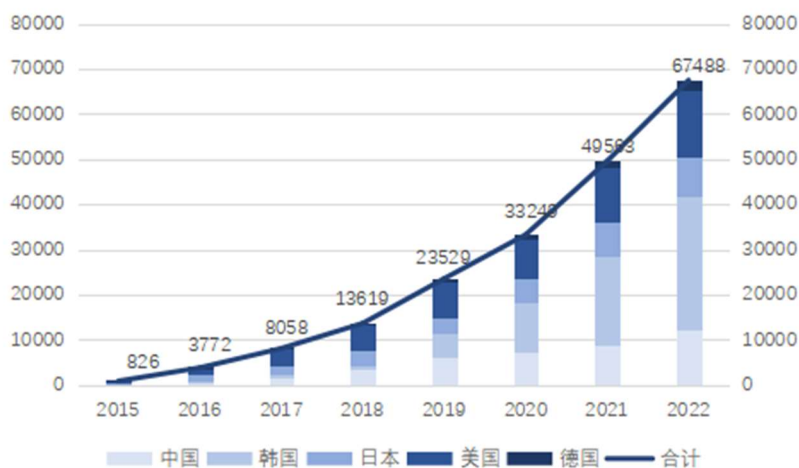
双极板：目前国内石墨板主要采用静压石墨机加工工艺制备，该工艺制备的极板最薄厚度最小可达 0.4mm；碳复合板主要采用模压成型工艺或辊压工艺制备，模压工艺制备的极板最薄处可达 0.2mm，并实现双极板厚度 $\leq 1.2\text{mm}$ 。金属板制备工艺国内主流采用 100um 厚不锈钢 316L 卷材冲压成型而后通过镀层加强耐腐蚀性；金属双极板厚度普遍可以实现 1.0mm，氢璞创能下一代金属双极板厚度可低于 0.6mm。多种材料及成型工艺对比而言，模压成型碳板及冲压成型不锈钢金属板是主流。从寿命来看，碳板的使用寿命是镀层不锈钢金属板的 3-4 倍；从功率密

度来看，金属板略高于碳板；从成本来看，目前碳板成本更低，未来金属双极板成本下降潜力较大；从生产节拍来看，由于冲压比模压节拍更快，金属板可实现生产效率更高。

膜电极：膜电极目前已基本实现国产化。批量化生产的膜电极五合一、七合一组装使用片状组装工艺；三合一的 CCM 已实现卷对卷狭缝涂布工艺，且产品合格率较高，仍有部分企业制备的三合一 CMM 采用喷涂工艺。同时，膜电极在常规的七合一、五合一组装工艺基础上，也有部分采用注塑工艺，将膜电极与极板一体化密封或通过注塑工艺直接制备单电池，单电池工艺将是未来发展方向。

5.2 商用化：乘用车追赶商用车发展进度，商业化可期

图 17：全球主要国家燃料电池汽车保有量

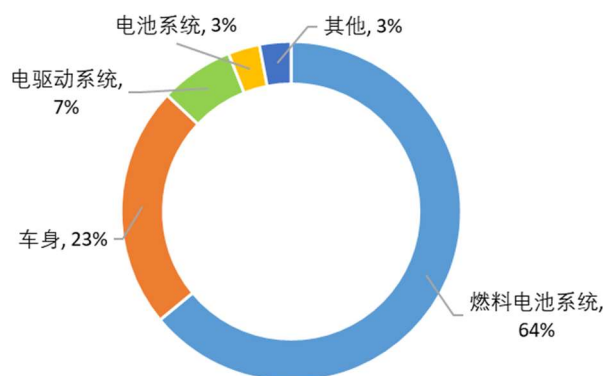


资料来源：香橙会氢能数据库

全球氢燃料电池车总体基数较低，销量、保有量持续上升。香橙会氢能数据库数据显示，截至 2022 年底，全球燃料电池汽车保有量 67488 辆；2022 年全球主要国家销售燃料电池汽车 17920 辆，前值为 16313 辆，同增 9.9%。按国别来看，2022 年销量前三名依次为韩国、中国、美国，韩国销售燃料电池汽车 10219 辆，同增 20.3%，保有量达到 29623 辆；中国销售燃料电池汽车 3367 辆，同增 112.2%，保有量达到 12306 辆；美国销售燃料电池汽车 2707 辆，同减 19.0%，保有量 14979 辆。而根据 TrendForce 数据，2022 年全球新能源车（包含纯电动车、插电混合式电动车、氢燃料电池车）销售量约 1065 万辆。对比之下，2022 年销量方面氢燃料电池车仅占新能源车的 0.16%，整体基数较低，仍处在起步阶段

燃料电池成本占整车成本比重高，拓展市场仍依赖降本。传统氢燃料电池汽车包含燃料电池系统、电驱动系统、电池系统等功能部件。其中，燃料电池系统是决定 FECV 整车性能的核心组成部分。根据新材料在线数据，燃料电池系统占整车成本 64%，车身占比为 23%，因此降低燃料电池系统成本是整车降价的关键。

图 18：燃料电池车整车成本划分

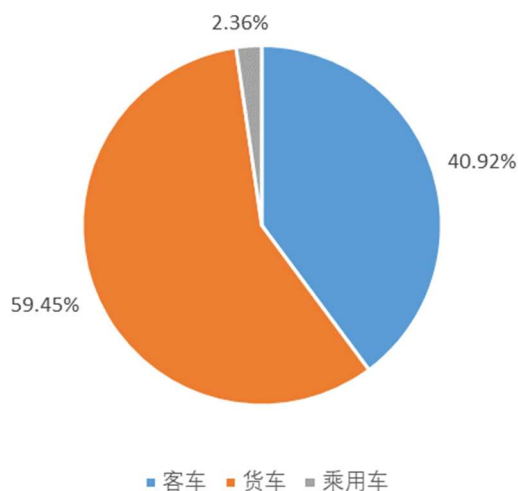


资料来源：新材料在线，华经研究院

煤制氢成本相对较低，有望带动氢燃料电池车能耗平价化。从资源分布上来看，我国是一个“富煤、贫油、少气”的国家。在现有的所有制氢技术中，煤制氢路线最为成熟高效，可大规模稳定制备，成本最低。根据东吴证券测算，在煤价 450 元/吨时，煤制氢成本约 10 元/kg，考虑碳捕集后约 16 元/kg，相对电动汽车、燃油车仍然偏高，但通过技术突破和规模效应实现制氢成本下降后，可使氢能车获得经济可行性。

目前，商用车占据我国燃料电车整车市场的绝对主流。2022 年我国燃料电池车中保有量中，商用车的占比约为 97.64%，其中货车占比 59.45%，客车占比 40.92%；相比之下，乘用车占比仅 2.36%。

图 19：2022 年我国燃料电池车保有量构成



资料来源：公开数据整理，每日经济新闻

商用车领域，氢能重卡有望成为新的市场增长点。2022 年 6 月，中国重汽、潍柴动力联合发布了全国首台商业化氢内燃机重卡，该款车型为中国重汽全新一代黄河品牌高端重卡，搭载潍柴动力自主开发的 13L 氢内燃机，达到国际领先水平，可商业化应用到港口、城市、电厂、钢厂、工业园区等特殊运输工作场景。燃料电池因高能量密度、长续航里程、运营阶段零排放等特点，是重载领域电动化的最优方案之一。在补贴支持下，燃料电池重卡已经逐渐进入平价区域。

图 20：中国重汽、潍柴动力联合发布全国首台商业化氢内燃机重卡



资料来源：公开资料

乘用车领域，国外各大厂商纷纷推出新车型，商业化进程有望加速。2022 年 9 月，广汽丰田推出了第二代 MIRAI 氢能豪华轿车，售价为 74.8 万-75.1 万元。该车型搭载了丰田的氢燃料电池技术，通过氢气和氧气进行化学反应产生电能，依靠电动机驱动，添加一次氢气需要约 3 分钟，续航可长达 800 公里，还可以作为临时“发电站”为其他设备供电。

图 21：广汽丰田第二代 MIRAI 氢动力轿车



资料来源：公开资料

2023 年 3 月，宝马宣布 BMWiX5Hydrogen 氢燃料电池车项目进入下一阶段，近 100 辆 BMWiX5Hydrogen 氢燃料电池车组成的试点车队将在全球进行车辆展示与试用，今年将来到中国。公司表示，BMWix5Hydrogen 氢燃料电池车最大输出功率可达 295 千瓦（401 马力），6 秒内完成百公里加速；在 WLTP（全球统一轻型车辆测试程序）工况下，BMWix5Hydrogen 氢燃料电池车最大续航里程为 504 公里，充满一次储氢罐仅需要 3-4 分钟。

图 22：BMWix5Hydrogen 氢燃料电池车



资料来源：公开资料

国内厂商亦在布局。2023 年 3 月，海马和丰田汽车合作打造的氢能乘用车海马 7X-H 已完成工程设计，将于 4 月底完成首辆功能样车试制下线，计划在今年年内分批投入 200 辆进行小批量示范运营。目前的第四代乘用车搭载丰田高性能电堆系统，车载储氢罐压力由 35MPa 提升到 70MPa，电堆功率由 30kW 提升到 100kW，续航达到 800 公里。

长安深蓝氢燃料电池轿车深蓝 SL03 氢电版今年已开启预售，售价为 69.99 万元。该车型搭载石墨板电堆，氢电转化率高达 62%，车辆的馈电氢耗低至百公里 0.65kg，在运行一万小时的情况下理论性能衰减小于 10%，续航 730km。

2022 年至今，上汽大通 MAXUS 研发制造的 MIFA 氢已实现 100 余辆的用户交付，是全球首批实现商业化运营的氢燃料电池 MPV，单车售价 29.98 万-39.98 万。该车仅需 3 分钟即可加满 6.4kg 的高压氢瓶，NEDC 工况续航里程达到 605km，百公里氢耗仅为 1.18kg，折合使用成本仅为 0.4 元/km。该车氢瓶由航天级碳纤维材料全包，能够耐受 842℃ 高温和 70MPa 高压，采用氢系统中置，满足了中国及欧盟全方位碰撞安全防护标准。

图 23：上汽大通 MAXUS MIFA 氢



资料来源：公开资料

总结来看，氢燃料电池车具备诸多优点和良好的发展潜力，但当前综合成本距离商业化仍有较大距离。相比传统燃油车，氢能车清洁低碳，可显著降低污染；相比当前主流新能源纯电车，它续航久（500-800 公里，纯电车为 500-600 公里）、

充能快（加氢一次仅需 3-4 分钟，纯电车充电一次需 6-8 小时）、电池衰减小（冬季低温几乎无衰减，三元锂电池在 0-5℃下衰减 10%）、电池体积重量更小、电池污染小。然而另一方面，氢燃料电池车的目前造价较高，对消费者缺乏性价比，且加氢站等配套基础设施的不完善，影响实际使用，因此目前普遍处在试运营阶段。

氢燃料电池车大规模商业化需要以下核心要素：1）氢燃料电池系统价格下降，带动造车成本下降；2）车载储氢瓶成本下降，安全性进一步提高；3）氢产业达到初步规模化，加氢站等配套基础设施全面完善，满足基本出行需求，同时带动氢储运成本下降；4）制氢成本降至平价区间。根据中国氢能联盟预计，2050 年中国氢燃料电池车产量达到 520 万辆/年，市场空间可期。此外，由于我国不同地区能源结构差异，燃料电池车有望成为纯电动车的有力市场补充。

6. 相关上市公司

6.1 上游制氢

(1) 宝丰能源——绿氢生产巨头

主营业务：宁夏宝丰能源集团股份有限公司主营业务为煤制烯烃，主要产品为聚乙烯、聚丙烯。

氢能布局：作为能源化工龙头，公司从 2019 年起着手布局氢能产业，确定了将绿氢产业作为未来的重要发展方向之一。基于自上而下的全产业链布局，宝丰能源在产业园区新建配套光伏电站，产生的绿电用于电解制氢项目，产出绿氢、绿氧供应下游应用，探索可再生能源高效利用空间，完善企业循环经济产业结构的同时，实现“新材料+绿氢”双产业链衔接。2021 年 2 月，宝丰能源第一台电解槽开始送电调试，项目采用单台产能 1000 标方/小时的高效碱性电解槽制氢设备，并配套相应的氢气压缩与储存设备；2022 年上半年，公司首批 30 台电解制氢设备已全部投运。公开资料显示，公司已具备年产 3 亿立方绿氢的产能。2022 上半年，公司国家级“太阳能电解制氢及应用示范项目”首批的 30 台电解制氢设备已全部投运，年底产能可达 6 亿立方，已成为全球最大的绿氢生产厂。

(2) 卫星化学——工业副产氢产能充足

主营业务：卫星化学股份有限公司主要业务为(聚)丙烯、丙烯酸及酯、乙二醇、环氧乙烷和聚乙烯等产品的生产和销售。公司是国内首家拥有 C3 产业链一体化的上市公司，也是国内最大的丙烯酸生产企业。

氢能布局：公司采用丙烷、乙烷等轻质化原料生产副产氢，其优势在于产品转化率高、副产物少。目前公司 90 万吨 PDH 装置可副产氢气 7.2 万吨，连云港 C2 项目一阶段可副产 7 万吨；2021 年公司副产氢气有近 15 万吨，至 2023 年 C2 项目二阶段和 80 万吨 PDH 装置全部投产，届时公司氢气产量将达到近 30 万吨。公司于 2019 年成立卫星氢能科技公司，一是根据国家氢能相关政策，积极推动氢能综合利用产业布局，包括与外资企业签订合作意向、与浙能集团签订战略合作等；二是推动新能源综合利用示范，研究氢燃料电池储能项目；三是优化工艺，生产光伏级、电子级双氧水。目前公司拥有年产 22 万吨双氧水装置，在建 25 万吨/年双氧水装置；四是降低园区碳排放，供应园区用氢企业。

（3）美锦能源——立足煤炭副产氢，可提供兆瓦级 PEM 电解制氢系统

主营业务：山西美锦能源股份有限公司主要从事煤炭、焦化、天然气、氢燃料电池汽车为主的新能源汽车等商品的生产销售。拥有储量丰富的煤炭和煤层气资源，具备“煤-焦-气-化”一体化的完整产业链，是全国最大的独立商品焦和炼焦煤生产商之一。公司旗下控股子公司飞驰汽车是全国最具规模的氢燃料电池汽车生产基地，具备新能源客车 5000 台/年产能。

氢能布局：2017 年，公司正式启动氢能产业，目前已完成第一个五年计划，形成了完整的氢能产业链布局，建成了覆盖全国主要氢能发展城市的氢能供应体系。焦化业务的副产物——焦炉气中工业副产氢的占比高达 50%—55%，通过提纯能够满足低成本制氢的需求。在储氢方面，公司投资了北京索英电气技术有限公司，索英电气围绕新能源和节能技术的未来方向进行产品创新和技术创新，形成储能和节能测试两条产品线。索英电气储能核心业务为规模化储能 PCS、电气系统和系统集成。主要产品包括储能双向变流器（PCS）、一体化储能电气集成舱、能量管理系统（EMS）、移动储能车和光储充检系统。节能测试业务包括用干电源测试的节能回馈电子负载和用干动力电池、储能电池性能测试的高性能充放电测试系统、自动测试系统。另外，公司全资子公司青岛美锦嘉创投资管理有限公司作为气候壹号基金管理人投资的山东赛克赛斯氢能源有限公司是一家专注于利用固体聚合物电解质阳离子交换膜（PEM）进行纯水电解制氢设备的研发、生产和销售的企业，是国内目前唯一一家可以提供兆瓦级 PEM 电解制氢系统的制造商。

（4）东华能源——拓展绿氢制备技术，研发氢气固态储存装备

主营业务：东华能源股份有限公司是一家拥有大型液化石油气冷冻储运批发基地的合资企业，公司的主营业务为高纯度液化石油气的生产加工与销售，主要产品有工业燃气、民用液化气、车用燃料、烯裂解原料等。

氢能布局：2022 年 9 月，东华能源与中国核工业集团有限公司深化全面战略合作伙伴关系，签署《战略合作协议》，协议有效期为 10 年。双方将联合成立氢能联盟，设立氢能研究院、中试装置，主攻绿氢制备环节中热化学制氢技术路线，并研发氢气的固态储存材料和装备。另外，双方共同推进高温气冷堆项目，未来五年内预计投资超千亿元，共同打造零碳产业园。通过对高温蒸汽的梯次利用，保障“东华茂名轻烃产业园”蒸汽、电力、制冷乃至氢能的清洁化供应。

（5）鸿达兴业——液氢储运，创新研发国内首个移动式加氢站

主营业务：鸿达兴业股份有限公司的主营产品及服务包括氢气的生产、销售及综合应用；PVC、改性 PVC、PVC 建筑模板、PVC 医药包装材料、药用高阻隔 PVC 材料、PVC 生态屋、PVC 抗菌材料、隔离板等 PVC 新材料；稀土储氢材料、稀土热稳定剂、稀土催化剂等稀土新材料；土壤调理剂、环保脱硫剂等环保产品，提供土壤治理、脱硫脱硝等环境修复工程服务；生产销售口罩、PVC 抗菌材料、消毒液等防疫产品。

氢能布局：鸿达兴业作为国内最早开展液氢生产和储运联动业务的上市公司，已在氢气的制取、储存、运输及加注等上游全产业链积累了丰富的经验，不仅拥有气态、液态、固态储氢三种技术，还在内蒙古乌海市建设运营了我国第一座民用液氢加工厂，创新性研发国内首个移动式加氢站，极具灵活性和可复制性。而鸿达兴业在氢能方面的产能仍旧持续扩大。2022 年 8 月，公司表示正在计划建设“年产五万吨氢能源项目”，包括 3 万吨为液氢和 2 万吨为高压气氢。

（6）滨化股份——与清华工研院和亿华通合作发展工业副产氢

主营业务：滨化集团股份有限公司主营业务为有机、无机化工产品的生产、加工与销售，主要产品为烧碱、环氧丙烷等。

氢能布局：2017 年 8 月，公司与清华工研院共同设立北京水木滨华科技有限公司，推动科研成果产业化以及新产品、新工艺开发；2017 年 9 月，公司与亿华通合资设立山东滨华氢能源有限公司，加速推进公司氢能源发展。依托滨化集团副产氢气的优势，滨华氢能源有限公司与清华工研院合作开发了烧碱副产氢气净化工艺技术，2019 年 5 月份建成投产了年产 1500 吨的氢气净化、压缩、充装装置，产品质量满足燃料电池汽车用氢的国家标准，同时还配套建设了全指标分析中心。

（7）华昌化工——拥有规模化制氢产能，氢燃料电池动力系统已在重卡应用

主营业务：江苏华昌化工股份有限公司是以煤气化为产业链源头的综合性的化工企业，主营业务为化工原料、化工产品、化肥生产；金属材料、建筑材料、日用百货、煤炭销售。主要产品为复合肥、尿素、纯碱、合成氨、氯化铵、甲醇、多元醇。

氢能布局：公司拥有 20 万吨制氢产能，和电子科技大学合作氢能源研发平台，成立氢能源联合研究院。公司控股苏州华昌能源科技公司和苏州纳尔森能源科技

有限公司，掌握氢能源关键的系统集成，控制技术和检测技术。华昌化工承担苏州氢能创新中心的政府科技创新任务。子公司华昌能源已进入氢能源应用场景示范及推广阶段，2022 年 7 月，华昌化工控股子公司华昌能源自主开发的 120kw 氢燃料电池动力系统完成在重型卡车上应用，首批 10 辆氢能源重型卡车交付示范运营。

（8）金能科技——发展工业副产氢，青岛项目初具规模

主营业务：金能科技股份有限公司业务集炼焦和化产，煤焦油深加工和炭黑生产，苯加氢和对甲基苯酚生产，泡花碱和白炭黑生产，山梨酸及山梨酸钾生产，甲醇联产合成氨，燃气轮机联合循环热电联产等业务于一体，主要产品包括焦炭，炭黑，白炭黑，山梨酸及山梨酸钾，对甲基苯酚，甲醇等。

氢能布局：2021 年，为提高 PDH 副产氢气附加值，公司签署氢能相关框架协议，嵌入青岛董家口氢能产业规划，拓展氢能下游市场，发展绿色低碳经济。根据 PDH 工艺约 4% 的氢气副产率，青岛一期 90 万吨 PDH 有望年产氢气约 3.6 万吨，未来二期建成投运后将使氢气产量翻倍。

6.2 中游储运

（1）中材科技——储氢加氢装备和车载供氢系统

主营业务：江苏中材科技股份有限公司从事风电叶片的研发、制造、销售及服务，公司的主要产品是风电叶片、玻璃纤维及制品、锂电池隔膜。

氢能布局：公司全资子公司中材科技(苏州)有限公司拥有国际领先的板式拉深气瓶技术，2021 年已批量供应容积规格 53-320L 全系列 35Mpa 车载储氢瓶产品，其中 320L 车载储氢瓶目前是国内独家供应。70MPa 车载储氢瓶目前在国内市场尚未打开，苏州子公司已布局相关技术研发储备，是国内首家完成 70Mpa 铝内胆国产碳纤维氢气瓶取证应用的企业，掌握四型储氢瓶核心技术，全面布局供氢系统。2022 年，公司高压储氢瓶已批量出货。公司在氢能领域布局主要集中于氢能储运领域，产品端包括加氢站站用瓶、长距离运氢长管以及车载供氢系统，2021 年氢能板块整体收入规模约 1 亿元。目前，站用/运输用/车载高压储氢瓶已完成规模产能建设以及形成规模销售，尤其是在车载领域，客车方面，北京冬奥会的通勤车配套公司储氢瓶；重卡方面，近日搭载中材科技氢气瓶的北京市首批 40

辆氢燃料重卡落地大兴区。

（2）中集安瑞科——氢能储运龙头，涉足氢能储、运、加、用环节

主营业务：公司集团为中国顶尖专用燃气装备制造厂商之一，并且为国内燃气能源业的集成业务供货商。公司主要从事于能源、化工及流体食品行业的各式运输、储存及加工设备的设计、开发、制造、工程及销售。

氢能布局：2021 年，中集安瑞科产品涵盖了氢能储、运、加、用等各细分领域，是国内领先的氢能储运装备及工程服务提供商之一。通过与 Hexagon 成立合营公司，将成为能提供国产氢能 IV 瓶的厂商之一。2021 年 5 月，该分部与鞍钢能源科技有限公司成立合资公司，启动焦炉气制液化天然气联产氢气项目，切入上游制氢领域。储运方面，该分部为北京冬奥会及冬残奥会提供了 30 多台氢气管束式集装箱和 10 多台 50MPa 储氢瓶组等氢能装备。年内，该分部斩获了约人民币 1 亿元的三型车载供氢系统订单并成功交付了数座加氢站。与此同时，该分部已与大连化物所、松下电器等达成制氢、用氢等领域的合作。2021 年，氢能相关业务录得收入人民币 1.75 亿元，同比增长 37%。

（3）京城股份——车载 III 型瓶实现批量化生产应用

主营业务：公司主要产品有车用液化天然气 (LNG) 气瓶、车用压缩天然气 (CNG) 气瓶、钢质无缝气瓶、焊接绝热气瓶，碳纤维全缠绕复合气瓶、ISO 罐式集装箱、氢燃料电池用铝内胆碳纤维全缠绕复合气瓶以及低温储罐、LNG 加气站设备等。

氢能布局：根据北京京城机电股份有限公司 2021 年年度报告，公司在氢能应用领域重点完成了公路客车和公交车用 70MPa 压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕复合气瓶 (III 型瓶) 的设计、试制、测试和型式认证，完成 70MPa 车载三型高压供氢系统的研制，70MPa 三型氢气瓶已批量应用于冬奥会氢能大巴车，助力北京“绿色冬奥”。公司完成了国家科技部新能源汽车两项子任务课题——燃料电池公路客车和公交客车用大容积 70MPa 车用气瓶研制项目的结题工作。

（4）亚普股份——车载储氢系统及其核心零部件研发

主营业务：亚普汽车部件股份有限公司专注于汽车储能系统产品的研发、制造、销售和服务，主要产品为传统和新能源汽车储能系统、车用轻量化复合材料产品（电动汽车动力电池包壳体等）和燃油箱。

氢能布局：亚普开封公司已建成氢阀研发中心、加工工艺试制车间、阀门装配洁

净间和阀门试验中心，具备 0-110MPa 高压阀门设计、零部件精密加工、无尘装配和试验检验能力，以及批量生产能力。公司具有三十多年汽车核心安全件的研发和生产制造经验，高压氢气阀门研发从外观设计到内部结构有全套专利，具有完整的知识产权。目前已申请 25 项专利，其中外观专利 5 项，发明专利 9 项。

（5）富瑞特装——自主研发低温液氢存储装备

主营业务：公司专业从事天然气液化和 LNG 储存、运输及终端应用全产业链装备制造并提供一站式整体技术解决方案。公司主营产品有液化工厂装置、LNG/L-CNG 加气站设备、低温液体运输车、低温液体罐式集装箱、LNG 储罐、车（船）用 LNG 供气系统、速必达、系列低温阀门；各类石油、化工、天然气方面的塔器、换热器、反应器等压力容器及 LNG 船用燃料罐；LNG 装卸臂及装车撬等特种能源装备的研发设计、制造销售；天然气液化和服务相关业务等。

氢能布局：公司利用在 LNG 领域多年积累的技术和经验，针对下一代氢燃料电池重卡开发液氢技术的车用供氢系统及相关装备。2021 年，公司在新型球阀、氢阀、HPDI 带泵气瓶、液氢气瓶、液氢装卸臂等领域进行重点研发，增强产品的技术壁垒和市场竞争力。公司全资子公司富瑞深冷利用定向增发募集资金推动 LNG 高压直喷供气系统和液氢车载供氢系统的技术研发和产业化，并进行液氢技术的车用供氢系统的技术研发。子公司长隆装备将继续在 LNG 大口径船用智能装卸系统关键核心技术（装备）以及高压大臂、液氢鹤管等产品方面进行研发。

6.3 下游加氢

（1）厚普股份——具备加氢站批量交付能力

主营业务：公司主要业务涵盖天然气/氢能加注设备的研发、生产和集成；清洁能源领域及航空零部件领域核心零部件的研发和生产；天然气和氢能源等相关工程的 EPC；天然气能源贸易；智慧物联网信息化集成监管平台的研发、生产和集成；以及覆盖整个产业链的专业售后服务。

氢能布局：公司自 2013 年起开展氢能相关领域业务，是国内箱式加氢站解决方案服务商，已在氢能方面获得多项专利。2021 年 4 月，公司与成都市新都区政府签约厚普国际氢能产业集群项目，并有序推进氢能装备产业园项目的落地。此外，公司与四川省特种设备检验研究院等五家单位联合申报的“国家市场监管技

术创新中心（氢储运加注装备）”正式获国家市场监管总局批准建设，该创新中心是目前全国首家获批筹建的国家级氢储运加注装备技术创新中心。同时，公司与 ALAT 合作设立的合资公司已于 2019 年 5 月在成都注册成立，公司将依托法液空在全球氢能市场的先进技术寻求更广泛的合作。公司在加氢站领域已形成了产业链的综合能力

（2）蜀道装备——积极转型，推进加氢站、液氢装置业务发展

主营业务：蜀道装备现有主营业务是为客户提供天然气液化与液体空分工艺包及处理装置、交通及环保装备、新能源装备等，主要产品包括：天然气液化装置、焦炉气液化装置、煤层气液化装置、空气分离装置、氮气提取和精炼装置、化工尾气和轻烃回收装置、氧氮液化装置、HYCO 分离装置、LNG/L-CNG 加气站、氢加注站、大型低温液体储槽、增压透平膨胀机组等。

氢能布局：蜀道装备是国内最早进入天然气液化及液体空分产业并掌握该领域关键技术的企业之一。其前身深冷股份创立于 2001 年 11 月，2021 年蜀道集团入主公司，将新发展战略制定为全面推动交通装备制造服务、深冷技术装备制造服务、绿色能源开发利用、气体投资运营四大业务平台协同发展，加快构建高端制造上下游全产业链。2020 年，四川省经济和信息化厅发布《四川省氢能产业发展规划（2021-2025 年）》，意在将四川打造成为国内国际知名的氢能产业基地、示范应用特域和绿氢输出基地。蜀道装备已将氢能作为未来主要的业务方向，公司将在完成氢气项目建设并投运的同时全面推进包括加氢站、液氢装置、氢能动力轨道交通等示范项目在内的氢能源业务。

6.4 燃料电池系统

（1）潍柴动力——全球最大氢燃料电池发动机制造商

主营业务：潍柴动力股份有限公司是国家内燃机研发、制造、销售重点骨干企业，也是中国柴油机行业首家在中国香港上市的公司，公司内燃机产品广泛应用于重型汽车、大客车、工程机械、船用、发电等大功率动力配套市场。公司生产的 WD615、WD618 柴油机在重型汽车、工程机械市场的平均占有率达到 75%以上。

氢能布局：从 2010 年开始，潍柴动力先后投资 40 亿元布局新能源业务，率先在山东省潍坊市进行了产业布局和多应用场景的成果转化。作为全球重型内燃机行

业的龙头企业，潍柴动力自 2018 年起开始布局氢内燃机技术，完成了关键核心技术和商业化应用的突破，实现了有效热效率 41.8%，达到了国际先进水平。从 2019 年首次批量投放氢燃料电池公交车，到 2022 年新一批车辆投入运营，目前潍坊的氢燃料公交运营专线已有 18 条，潍坊市已成为全球在运氢燃料公交车最多的城市。公司积极布局全系列商用车氢能动力，在氢能重卡港内牵引、氢能重卡干线运输、氢能轻卡城市物流和冷链运输等细分市场，推出了一系列技术成熟的商业化产品。

（2）东岳集团——子公司掌握质子交换膜技术

主营业务：集团主要从事制造、分销及销售制冷剂、高分子材料、有机硅及二氯甲烷、聚氯乙烯及烧碱以及其他。此外，集团亦在中国从事物业开发业务，并成立山东东岳 HFC-23 分解项目以分解集团生产过程中产生的若干温室气体，减少温室气体排放量。

氢能布局：东岳集团非全资子公司山东东岳未来氢能材料有限公司（“未来氢能”）2021 年已向山东省证监局申报上市辅导，其他上市工作正在稳步推进中。未来氢能公司是目前国内唯一、全球少有的拥有从中间体—单体—树脂—质子交换膜（氢燃料电池膜、电解制氢膜、液流储能电池膜）全产业链技术和产业基础的企业，技术、市场门槛高且未来发展潜力巨大。集团将继续保持未来氢能公司第一大股东的地位。

（3）大洋电机——具备氢燃料电池发动机核心零部件、氢燃料电池发动机、氢燃料电池动力总成系统生产能力

主营业务：中山大洋电机股份有限公司的主营业务为微特电机、新能源汽车电驱动系统、汽车起动机及发电机和磁性材料等的生产和销售。公司的主要产品为起动机及发电机、新能源汽车动力总成系统、磁性材料、汽车租赁、建筑及家居用电机。

氢能布局：公司具备氢燃料电池系统核心零部件的研发及生产能力，如空压机、氢气循环系统、DC/DC 等，已完成了多项高功率氢燃料电池模组的核心零部件的产品开发，目前正在进行产品的可靠性验证工作。此外，公司按照上报省、市的技术和产品路线规划，在示范期内稳步推进氢燃料电池八大关键核心部件中离心式空压机和氢气循环系统产品的技术迭代提升和降本目标。氢燃料电池系统核心

零部件与公司擅长的电机、电控相关，公司长期从事电机（包括高效智能电机）、电控研发和生产，已发展成为业内知名的建筑及家用电器电机、新能源汽车动力总成系统供应商，积累了大量的技术应用以及生产工艺和成本控制经验，在上述核心零部件产品技术和制造成本方面均拥有较大的优势。

（4）亿华通——拥有电堆量产能力，氢燃料电池系统已广泛投入应用

主营业务：公司是一家专注于氢燃料电池发动机系统研发及产业化的高新技术企业，具备自主核心知识产权，并实现了氢燃料电池发动机系统的批量生产。主要产品为燃料电池动力系统及相关的技术开发和技术服务，目前主要应用于客车、物流车等商用车型，搭载公司发动机系统的燃料电池客车已先后在北京、张家口、郑州、成都、淄博等地上线运营。

氢能布局：公司已具备国产电堆量产能力。公司 2021 年年报显示，公司完成了两款新一代高功率燃料电池系统产品 G120 和 G80Pro 的研发，进一步提升了系统额定功率，且产品性能更为成熟稳定，同时公司于 2021 年底发布了额定功率达到 240kW 的燃料电池系统产品，该产品采用多项自主集成技术，实现了燃料电池系统气、空、水、热、电等核心元素的高效协同控制，多项核心参数指标取得了重要突破。在产业合作方面，继 2020 年与丰田汽车等各方共同出资成立联合燃料电池系统研发（北京）有限公司后，2021 年公司与丰田汽车成立了合营企业华丰燃料电池有限公司。搭载公司产品的燃料电池汽车已在北京、张家口、上海、成都、郑州及淄博等多个城市投入运营，且公司产品应用场景进一步拓展至冷链运输、环卫及重卡等多场景。根据工信部发布的《道路机动车辆生产企业及产品》，截至 2021 年底，全国已上公告的氢燃料电池车型（不含底盘）共 499 款，其中搭载公司燃料电池系统的整车公告 81 款，占比 16.23%，位居行业前列。2022 年北京冬（残）奥会是有史以来全球最大规模的燃料电池汽车示范应用，超过 700 辆搭载公司燃料电池系统的车辆投放在冬（残）奥会中用于交通保障。

（5）雄韬股份——投资燃料电池系统研发

主营业务：深圳市雄韬电源科技股份有限公司主要从事化学电源、新能源储能、动力电池、燃料电池的研发、生产和销售业务。主要产品涵盖阀控式密封铅酸蓄电池、锂离子电池、燃料电池三大品类。

氢能布局：2016 年，公司通过全资子公司鹏远自动化持有氢璞创能 21.74% 股权，

正式布局氢燃料电池，紧接着在深圳、武汉、大同、上海、广州等地纷纷投资设立子公司，推进氢能产业规划与布局。2019 年 4 月雄韬股份发布公告称，将原本募集的 4 亿元建设 10 亿瓦时动力锂电池新能源转为投资深圳氢燃料电池产业园项目。与此同时，雄韬股份再次为建设氢能项目融资约 14 亿元，其中 5.23 亿元建设武汉雄韬氢燃料电池发动机产业化基地项目，4.72 亿元建设深圳雄韬氢燃料电池产业园及电堆研发项目。2022 年 6 月，公司董事长张华农表示，氢燃料电池已进入重大发展期，雄韬股份已投资燃料电池产业链诸多领域，包括催化剂、膜电极、电堆、加氢站等。

（6）全柴动力——子公司研发氢燃料电池系统

主营业务：安徽全柴动力股份有限公司的主营业务为发动机的研发、制造与销售；公司的主要产品为内燃机及其配件。

氢能布局：公司于 2020 年启动氢燃料相关再融资工作，根据计划，定增项目完成后，公司将新增国六系列发动机、氢燃料电池系统等产能。此外，公司设立了合资控股子公司安徽中能元隽氢能科技股份有限公司。安徽元隽氢能科技股份有限公司主要从事氢燃料电池动力系统及其关键零部件的研发、生产，其中关键零部件包括全氟磺酸质子交换膜、膜电极、电堆等。目前，产品正处于开发验证阶段。

6.5 配套辅件

（1）冰轮环境——压缩机行业自主研发的领先企业

主营业务：公司致力于在气温控制领域为客户提供系统解决方案，营造人工环境。主营业务涵盖低温冷冻设备、中央空调设备、节能制热设备、能源化工压缩装备、精密铸件、氢能装备等产业集群。广泛服务于食品冷链、石化、医药、能源、冰雪体育，以及大型场馆、轨道交通、核电、数据中心、学校、医院等。

氢能布局：根据公司 2021 年年度报告，公司联合有关科研院所研制的氢气输送压缩机、燃料电池空气压缩机、燃料电池氢气循环泵、高压加氢压缩机等氢能装备通过了科学技术成果鉴定，主要性能指标或产品整体性能达到国际先进水平。此外，公司参与起草了《液氢贮存和运输技术要求》国家标准。公司研制的氢液化领域新型高效氨气螺杆压缩机被国家能源局遴选为第一批能源领域首台（套）

重大技术装备项目。

（2）安泰科技——电解槽配套金属材料供应商，涉足加氢领域

主营业务：安泰科技股份有限公司是一家以高科技新材料产业的企业，公司主要从事于金属材料及制品的研发和生产销售，公司产品主要包括：难熔钨钼精深加工制品、特种雾化制粉、超硬工具材料、稀土永磁材料及其制品、非晶及纳米晶材料等。

氢能布局：公司的氢能源相关材料主要应用于氢能源产业链上游的制储氢环节以及中游的燃料电池方向，包括为电解制氢的电解槽提供配套金属材料，实现氢燃料电池气体扩散层、金属双极板等关键材料的稳定生产和批量销售。公司完成了科技部新能源汽车重点专项课题“大功氢燃料电池电堆技术与开发”结题，并形成 120kW 系列燃料电池电堆技术；公司自主研发的 35MPa 加氢机、加氢站智慧站控系统、加氢站安全连锁控制系统等已应用于所承建的河北钢铁集团邯郸、唐山两个示范加氢站，并用于保障北京冬奥会服务。

（3）雪人股份——以低温空压设备布局加氢领域

主营业务：公司主营业务包括制冰设备、压缩机产品及系统应用、油气服务和氢能源领域业务。公司的制冰设备业务包括制冰、储冰、送冰设备及系统的研发、生产及销售。在热能与动力领域，掌握压缩机、机组及系统技术的基础上，为客户提供温度控制及能量转化的核心产品（压缩机）和系统解决方案。

氢能布局：公司长期从事空压机研发制造及燃料电池相关产品的研发，在氢燃料电池核心零部件（空压机、氢气循环泵）及液氢、加氢设备方面进行技术积累以及技术布局。目前已有氢燃料电池系统、氢燃料电池空压机、氢气循环泵、氢气压缩与氢气液化等产品。

（4）欣锐科技——氢燃料电池 DC/DC 变换器

主营业务：公司主要生产新能源汽车高压“电控”总成中的车载电源系列产品和氢能与燃料电池专用产品，包括车载充电机、车载 DC/DC 变换器以及以车载充电机、车载 DC/DC 变换器为核心的车载电源集成产品、氢能与燃料电池汽车专用产品 DCF 等。

氢能布局：公司氢能与燃料电池业务的核心产品主要为大功率 DC/DC 变换器产品，产品可广泛应用于燃料电池乘用车、客车、专用车（中卡、重卡等）和燃料

电池机车等。公司拥有的氢能及燃料电池专用产品。