

制氢：化工副产制氢有望成为短中期最优解



川财证券
CHUANCAI SECURITIES

——燃料电池系列深度报告之二

核心观点

❖ 燃料电池方兴未艾，制氢环节重要性凸显

氢燃料电池的性能、环保优势突出，已达到产业化标准，在政策扶持下市场空间广阔。燃料电池汽车的续航里程可达 500 公里以上，远胜一般的电动汽车；燃料电池汽车的氢燃料加注速度快，较充电速度缓慢的电动车优势明显。我国的中长期发展愿景是“2030 年实现百万辆氢燃料电池汽车上路行驶，2050 年与纯电动汽车共同实现汽车零排放”，市场空间广阔。

基础设施中，高纯度氢气的制备是降低燃料电池成本的关键一环。充足、稳定供应、价格低廉的高纯度氢气是加氢站实现经济性运营的必要条件，也是我国氢燃料电池产业发展的重要保证。

❖ 化工副产制氢是短中期最优解，水电解制氢有望后来居上

成本角度：对于传统的化石能源制氢和水电解制氢等工艺，原料费用或当地基础能源价格决定了氢气的生产成本；对于工业副产制氢工艺，副产氢气的价格和提纯装置的折旧直接决定了氢气的成本。根据调研与相关文献数据测算，工业副产制氢的成本可控制在 3.36-16.8 元/kg，优于其他制氢工艺。

环保角度：从温室气体减排的角度看，清洁能源电解水制氢是最环保的工艺路线、可消纳可再生能源弃电，化工副产制氢次之，化石能源制氢的碳排放量最大。

规模角度：国内工业氢气生产仍将以化石能源为主要原料，但在燃料电池产业重点发展的长三角、珠三角、环渤海等地区，工业副产制氢是更佳的解决方案，大规模的氯碱装置、PDH 装置、乙烷裂解装置为周边地区的燃料电池用氢供应提供保障，理论制氢规模足以满足燃料电池汽车的短中期需求，也为电解水制氢的技术突破留足时间。但工业副产氢气受限于主产品的产能，制氢规模存在天花板，长期必将遇到产能瓶颈。而水电解制氢的原料易得、节能环保，若未来技术突破带动成本大幅下降，预计届时将成为制氢的主流工艺。

❖ 投资机会

我们看好氯碱副产制氢和轻烃裂解制氢成为短期和中期的主流制氢路线，考虑到当前氢气运输以气氢运输为主、存在经济半径，制氢企业需要结合自身区位优势，与下游应用端进行精准匹配。相关标的：长三角地区的卫星石化（002648）、嘉化能源（600273）、东华能源（002221），以及环渤海地区的滨化股份（601678）。

❖ 风险提示：政策推行力度不及预期；重大安全事故频现

📄 证券研究报告

| | |
|------|------------|
| 所属部门 | 行业公司部 |
| 报告类别 | 行业深度 |
| 所属行业 | 非金属材料/基础化工 |
| 行业评级 | 增持评级 |
| 报告时间 | 2019/7/21 |

👤 分析师

白竣天
证书编号：S1100518070003
010-66495962
baijuntian@cczq.com

👤 联系人

黄博
证书编号：S1100117080004
021-68595119
huangbo@cczq.com

张天楠
证书编号：S1100118060014
021-68595116
zhangtiannan@cczq.com

📄 川财研究所

| | |
|----|---|
| 北京 | 西城区平安里西大街 28 号中海国际中心 15 楼，100034 |
| 上海 | 陆家嘴环路 1000 号恒生大厦 11 楼，200120 |
| 深圳 | 福田区福华一路 6 号免税商务大厦 30 层，518000 |
| 成都 | 中国（四川）自由贸易试验区成都市高新区交子大道 177 号中海国际中心 B 座 17 楼，610041 |

正文目录

| | |
|---------------------------------------|----|
| 一、燃料电池方兴未艾，基础设施系重中之重 | 4 |
| 二、制氢路径：化工副产+电解水搭配有望成为最佳方案 | 7 |
| 2.1 现有格局：我国煤制氢气占比最高，工业氢气产量全球领跑 | 7 |
| 2.2 化石资源/醇类制氢：成本低廉、工艺成熟，已大规模推广 | 8 |
| 2.2.1 煤制氢 | 9 |
| 2.2.2 天然气制氢 | 9 |
| 2.2.3 甲醇制氢 | 10 |
| 2.3 工业副产制氢：废气利用空间广阔，产氢规模满足短中期需求 | 10 |
| 2.3.1 氯碱副产制氢 | 11 |
| 2.3.2 焦炉煤气制氢 | 13 |
| 2.3.3 轻烃裂解制氢 | 14 |
| 2.4 电解水制氢：因地制宜消纳可再生能源弃电，前景广阔 | 15 |
| 2.5 未来方向：化工副产氢气适合大规模推广，电解水前景广阔 | 16 |
| 三、相关标的 | 18 |
| 3.1 卫星石化（002648） | 18 |
| 3.2 嘉化能源（600273） | 19 |
| 3.3 东华能源（002221） | 19 |
| 3.4 滨化股份（601678） | 19 |
| 风险提示 | 20 |

图表目录

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 图 1: | 车用新能源电池技术比较..... | 4 |
| 图 2: | 燃料电池产业链..... | 5 |
| 图 3: | 中国氢能产业基础设施发展规划..... | 5 |
| 图 4: | 我国工业氢气质量技术指标..... | 6 |
| 图 5: | 纯氢、高纯氢、超纯氢质量技术指标..... | 6 |
| 图 6: | GB/T 37244-2018 燃料氢气技术指标..... | 6 |
| 图 7: | 人工制氢技术对比..... | 7 |
| 图 8: | 全球人工制氢原料占比..... | 8 |
| 图 9: | 中国人工制氢原料占比..... | 8 |
| 图 10: | 我国工业氢气产量保持稳定增长..... | 8 |
| 图 11: | 煤制氢工艺流程..... | 9 |
| 图 12: | 天然气制氢工艺流程..... | 10 |
| 图 13: | 甲醇制氢工艺流程..... | 10 |
| 图 14: | 不同炼厂气的氢气含量..... | 11 |
| 图 15: | 离子膜烧碱装置副产氢气的工艺流程..... | 12 |
| 图 16: | 氯碱氢杂质含量低..... | 12 |
| 图 17: | 国内氯碱副产品氢气理论产量..... | 12 |
| 图 18: | 焦炉煤气变压吸附制氢工艺流程..... | 13 |
| 图 19: | 焦炉煤气组成..... | 13 |
| 图 20: | 焦炉煤气杂质含量..... | 13 |
| 图 21: | 焦炉煤气制氢的产品气组成..... | 14 |
| 图 22: | 国内乙烷裂解产能情况..... | 14 |
| 图 23: | PDH 工艺流程..... | 15 |
| 图 24: | 国内 PDH 产能情况..... | 15 |
| 图 25: | 电解水制氢工艺流程..... | 16 |
| 图 26: | 三种电解水制氢工艺比较..... | 16 |
| 图 27: | 不同制氢原料的定价模式..... | 17 |
| 图 28: | 不同制氢工艺成本比较..... | 18 |
| 图 29: | 相关标的一览..... | 18 |

一、燃料电池方兴未艾，基础设施系重中之重

氢燃料电池的性能、环保优势突出，已达到产业化标准，在政策扶持下市场空间广阔。环保方面，氢燃料电池具备零排放、零污染的特性，有望掀起新一轮的能源革命。性能方面，氢燃料电池汽车与电动汽车相比具备明显优势，直击电动车续航里程短、充电速度慢的痛点。燃料电池汽车的续航里程可达 500 公里以上，远胜一般的电动汽车，并且氢燃料汽车的氢燃料加注速度快，无惧电动车充电速度缓慢的问题。政策方面，我国的中长期发展愿景是“2030 年实现百万辆氢燃料电池汽车上路行驶，2050 年与纯电动汽车共同实现汽车零排放”，市场空间广阔。

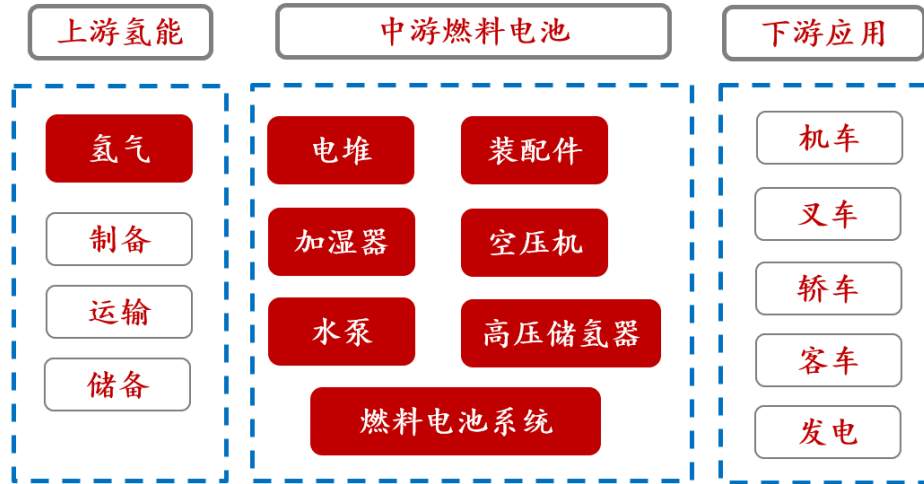
图 1：车用新能源电池技术比较

| | 氢燃料电池 | 锂电池 | 超级电容 | 铝空气电池 |
|------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 优势 | 比能量高 功率密度高 环保无污染 | 比能量高 循环性能 无记忆效应 环保无污染 | 功率密度高 充电时间短 使用寿命长 | 价格便宜 能量密度高 质量轻、体积小 使用寿命长 |
| 劣势 | 系统复杂 氢基础设施建设滞后 | 初期购置成本高 充电时间长 | 能量密度太低 | 空气电极极化和氢氧化铝沉降问题、功率密度低 |
| 应用领域 | 适合于客车和重载卡车等商用车，行驶里程长 | 用于200km以内的短途纯电动汽车 | 续航里程太短，不能作为电动车主电源，用于快速启动装置和制动能量回收装置 | 目前尚处于实验室阶段 |

资料来源：CNKI，川财证券研究所

完善燃料电池产业链中的基础设施为重中之重，制氢工艺系关键一环。燃料电池产业链可分为上游的氢能（包括制备、运输、储备、加氢等）、中游的燃料电池（包括电堆、装配件、加湿器等）、以及下游的应用（商用车、乘用车等）。产业链的关键技术在于高纯度氢气的制取、氢燃料的运输与配送、燃料电池技术等。基础设施薄弱是限制我国燃料电池发展的主要原因，今年氢能首次被写入《政府工作报告》，提出“推进充电、加氢等设施建设”，完善燃料电池基础设施成为了“重头戏”。基础设施中，高纯度氢气的制备是降低燃料电池成本的关键一环，充足、稳定供应、价格低廉的高纯度氢气是加氢站实现经济性运营的必要条件，也是我国氢燃料电池产业发展的重要保证。

图 2： 燃料电池产业链



资料来源：川财证券研究所

图 3： 中国氢能产业基础设施发展规划

| 时间 | 制氢 | 氢能储存与运输 | 氢能利用及基础设施 |
|--------------------|----------------------------|-----------------------------|---|
| 2016-2020年 (近期) | 工业副产氢气回收 | 气态储氢 (35Mpa) | 燃料电池运输车辆 (示范) |
| | 煤基制氢 | 拖车、液氨罐车运输 | 到2020年, 氢能现代有轨电车达到50列, 燃料电池车达到1万辆, 加氢站达100座 |
| | 示范可再生制氢 | 气态储存 (70Mpa示范) 管道运输 (示范) | |
| 2021-2030年 (中期) | 可再生能源制氢 (推广) | 液态及其他方式存储 管道运输 (示范) | 燃料电池车辆及发电应用、氢能轨道交通及船舶等推广 到2030年, 燃料电池车达到200万辆, 加氢站达1000座 |
| 2013-2050 (远期) | 煤基低碳制氢 (推广) 绿色氢能供给方式多元化 | 长距离管道输送 安全、可靠的氢能源储存及运输体系 | 加氢站覆盖全国, 燃料电池运输车辆保有量达1000万辆, 燃料电池发点推广应用 |

资料来源：《中国氢能产业基础设施发展蓝皮书 2016》，川财证券研究所

燃料电池氢气规格较高，国家标准于 7 月起正式实施，对制氢工艺提出了更高要求。质子交换膜燃料电池凭借工艺相对简单、制造成本低、应用范围广、启动速度快等优势，成为目前燃料电池汽车的主流电池，其对燃料氢气的纯度和部分杂质含量提出了更高要求，相较“高纯氢”标准更为严苛。2018 年 12 月，依据《质子交换膜燃料电池汽车用燃料氢气》协会标准，国家市场监督管理总局和中国国家标准化管理委员会发布了燃料电池氢气的国家标准 GB/T 37244-2018，对燃料氢气在总硫、总氯化物以及其他杂质的含量做了严格标准，该标准在今年 7 月 1 日起正式实施。

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

图 4： 我国工业氢气质量技术指标

| 项目 | | | 指标 | | |
|------------------------|-----------|--------|-------|-------|-------|
| | | | 优等品 | 一级品 | 合格品 |
| 氢气的体积分数 | 10^{-2} | \geq | 99.95 | 99.50 | 99.00 |
| 氧气的体积分数 | 10^{-2} | \leq | 0.01 | 0.20 | 0.40 |
| 氮+氩的体积分数 | 10^{-2} | \leq | 0.04 | 0.30 | 0.60 |
| 露点/ $^{\circ}\text{C}$ | | \leq | -43 | - | - |
| 游离水/(ml/瓶) | | \leq | - | 无 | 100 |

资料来源：中华人民共和国国家标准《氢气》GB/T3634.1-2006，川财证券研究所

图 5： 纯氢、高纯氢、超纯氢质量技术指标

| 项目名称 | 指标 | | |
|---|------|--------|---------|
| | 纯氢 | 高纯氢 | 超纯氢 |
| 氢气(H ₂)纯度(体积分数)/ 10^{-2} | 99.9 | 99.999 | 99.9999 |
| 氧(O ₂)含量(体积分数)/ 10^{-6} | 5 | 1 | 0.2 |
| 氮(Ar)含量(体积分数)/ 10^{-6} | 供需商定 | 供需商定 | |
| 氮(N ₂)含量(体积分数)/ 10^{-6} | 60 | 5 | 0.4 |
| 一氧化碳(CO)含量(体积分数)/ 10^{-6} | 5 | 1 | 0.1 |
| 二氧化碳(CO ₂)含量(体积分数)/ 10^{-6} | 5 | 1 | 0.1 |
| 甲烷(CH ₄)含量(体积分数)/ 10^{-6} | 10 | 1 | 0.2 |
| 水分(H ₂ O)含量(体积分数)/ 10^{-6} | 10 | 3 | 0.5 |
| 杂质总含量(体积分数)/ 10^{-6} | -- | 10 | 1 |

资料来源：中华人民共和国国家标准《纯氢、高纯氢和超纯氢》GB/T3634.2-2011，川财证券研究所

图 6： GB/T 37244-2018 燃料氢气技术指标

| 项目名称 | 指标 |
|----------------------------|---------------------------|
| 氢气纯度(摩尔分数) | 99.97% |
| 非氢气体总量 | 300 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 单类杂质的最大浓度 | |
| 水(H ₂ O) | 5 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 总烃(按甲烷计) | 2 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 氧(O ₂) | 5 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 氮(H ₂) | 5 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 总氮(N ₂)和总氩(Ar) | 100 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 二氧化碳(CO ₂) | 2 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 一氧化碳(CO) | 0.2 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 总硫(按H ₂ S计) | 0.004 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 甲醛(HCHO) | 0.01 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 甲酸(HCOOH) | 0.2 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 氨(NH ₃) | 0.1 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 总卤化合物(按卤离子计) | 0.05 $\mu\text{mol/mol}$ |
| 最大颗粒物浓度 | 1mg/kg |

资料来源：北极星储能网，川财证券研究所

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

二、制氢路径：化工副产+电解水搭配有望成为最佳方案

中国现有工业氢气 97%来自化石能源制氢，煤制氢是当前最为经济的制氢途径。根据草根调研以及市场反馈，我们认为，工业副产氢气回收以及煤基制氢将是行业发展初期高纯度氢气的主要来源，我国已有的工业副产氢气足以满足短期市场启动需求。考虑到化石资源重整制氢过程难以避免温室气体的排放，不利于我国低碳发展目标的实现，长期看，可再生能源制氢会占到主流，《中国氢能及燃料电池产业白皮书》预测“2050年之后，70%氢气将来源于可再生能源”。

2.1 现有格局：我国煤制氢气占比最高，工业氢气产量全球领跑

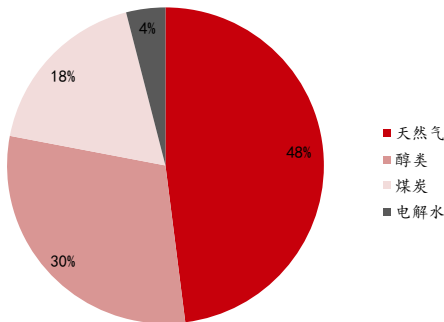
人工制氢依赖化石资源，国内煤制氢占比较大。目前，全球人工制氢的主要原料以石油、天然气、煤炭等化石资源为主，相较其他的制氢工艺（如：电解水制氢、光解水制氢、微生物制氢等工艺），化石资源制氢的工艺相对成熟、原料成本低廉，产量较高，但会排放大量温室气体，对环境造成负担。2017年，全球主要人工制氢原料的96%以上是化石资源，其中约48%为天然气，仅4%左右来源于电解水。从国内的制氢原料结构看，煤炭是我国人工制氢的主要原料，占比高达62%，符合我国“富煤但油气不足”的资源结构特点，天然气制氢的占比次之，约19%。

图7：人工制氢技术对比

| 制氢方法 | 反应简介 | 优点 | 缺点 |
|--------|------------------------------------|------------------|-------------------------|
| 化石燃料制氢 | 煤制氢 | 产量高，成本较低，商业化技术成熟 | 排放温室气体 |
| | 天然气、轻质油制氢 | 产量高，成本较低 | 排放温室气体 |
| | 重油制氢 | 成本低 | 反应所需温度高，制得氢气纯度不高，排放温室气体 |
| 电解水制氢 | 将直流电通入水中而在阴阳两极引起水分解为氢和氧的非自发的氧化还原反应 | 环保、纯度高 | 成本高 |
| 光解水制氢 | 利用催化剂吸收太阳能催化水分，解放出氢气 | 环保无污染，利用太阳能 | 技术不成熟，转化率低 |
| 微生物制氢 | 借助于微生物产生氢酶，进而催化水分解，制取氢气 | 环保，产量高 | 技术不成熟 |

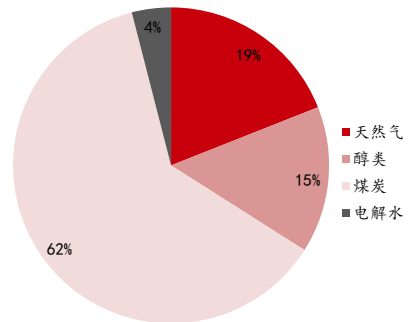
资料来源：《氢能利用的发展现状及趋势》，川财证券研究所

图 8：全球人工制氢原料占比



资料来源：《人工制氢及氢工业在我国能源自主中的战略地位》，川财证券研究所

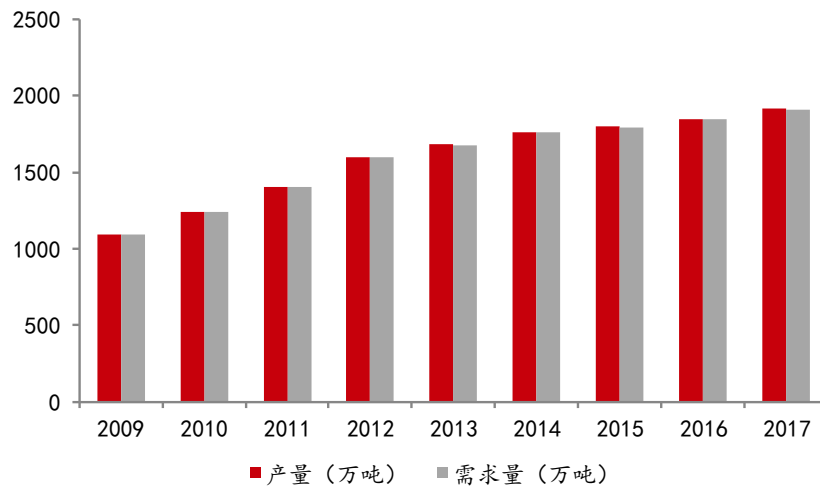
图 9：中国人工制氢原料占比



资料来源：《人工制氢及氢工业在我国能源自主中的战略地位》，川财证券研究所

产量方面，我国工业氢气产量基本满足国内工业需求。我国是全球第一大产氢国，现有工业制氢产能 2500 万吨/年。中国产业信息网数据显示，2017 年我国工业氢气产量达到 1915 万吨，同比增长 3.51%，增速保持稳定，国内工业氢气需求量约 1910 万吨，基本实现供需平衡。

图 10：我国工业氢气产量保持稳定增长



资料来源：中国产业信息网，川财证券研究所

2.2 化石资源/醇类制氢：成本低廉、工艺成熟，已大规模推广

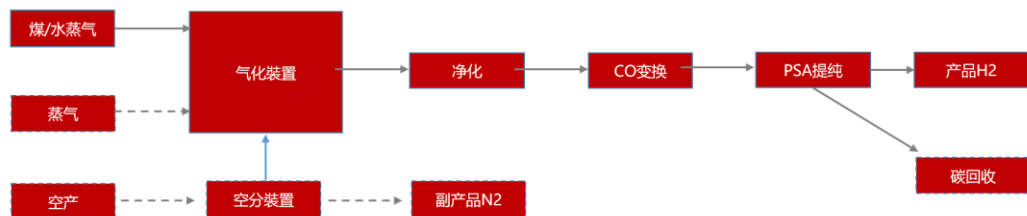
化石资源/醇类制氢工艺成熟、成本低廉，具备较强的规模效应，是目前工业氢气的主要制取路径，但化石资源制氢过程中会排放大量二氧化碳、污染环境，本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

与发展燃料电池、节能减排的理念相左，同时考虑到未来国内征收高额碳税的可能性，我们判断化石资源制氢难以成为燃料电池的主要氢气来源。

2.2.1 煤制氢

煤气化制氢的特点是流程长、投资高，运行相对复杂，同时原料相对便宜、带来成本优势。主要工艺流程为煤或煤焦与纯氧和蒸气反应得到以 H_2 和 CO 为主要组分的煤气，再经过煤气净化、 CO 变换以及 H_2 提纯等生产过程获得一定纯度的氢气。煤制氢装置的期初投资额较高，需要大规模制氢，才能分摊折旧压力，规模越大，成本优势更明显。目前国内煤制氢装置规模通常在每小时几万标准立方米至十几万标准立方米，投资额在几亿至几十亿不等。煤制氢废水、废气、废渣排放量大，环保投入大，因此一般用于化工生产，将碳元素转移到化工产品从而减少碳排放；若单独生产氢气，每千克 H_2 约产生 19-29kg 的 CO_2 ，按北京 2018 年碳交易价 50 元/吨考虑，氢气生产成本会增加 1-1.5 元/kg。此外，煤制氢气中含有的杂质较多，对于纯化装置要求较高，从而抬高了其生产总成本。

图 11：煤制氢工艺流程



资料来源：中国产业信息网，川财证券研究所

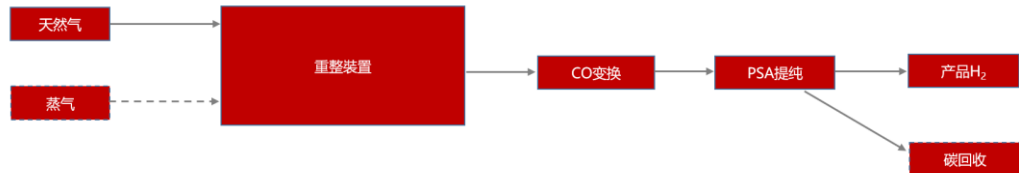
2.2.2 天然气制氢

天然气制氢的特点是流程短、投资低、技术相对成熟、运行稳定、环境友好，但原料成本较高，制氢成本受天然气价格的影响较大。主要工艺流程为：天然气与水蒸气重整制得以 H_2 、 CO 、 CO_2 为主要组分的合成气，再经过 CO 变换以及 H_2 提纯生产过程获得一定纯度的氢气。天然气制氢是化石能源制氢中最环保的工艺路径，因此天然气制氢也是全球氢气的主要来源，但由于国内天然气资源相对匮乏且价格昂贵，大规模推广具有一定难度。碳排放角度看，通过天然气制氢工艺，每制得 1kg 氢气，将排放 10.86-12.49kg 的二氧化碳，碳排放量远低于煤制氢工艺，若征收高额碳税，国内天然气制氢成本有望低于煤制

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

氢成本。

图 12：天然气制氢工艺流程

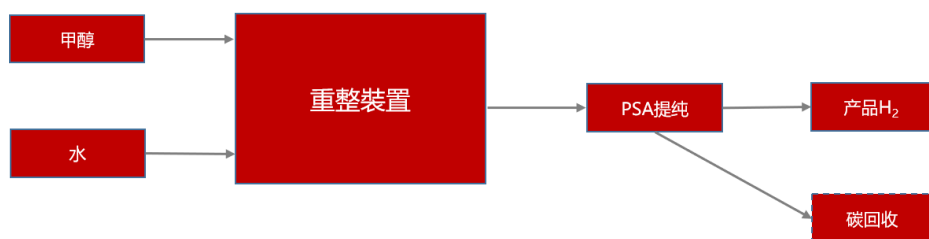


资料来源：中国产业信息网，川财证券研究所

2.2.3 甲醇制氢

甲醇制氢具备规模灵活、投资成本低、碳排放低、原料易得等优势。国内甲醇制氢主要采用甲醇水蒸气重整制氢工艺，即甲醇与水蒸气重整制得以H₂、CO、CO₂为主要组分的合成气，再经过CO变换以及H₂提纯等生产过程获得一定纯度的氢气。甲醇制氢的投资成本低、生产规模灵活，同等规模的投资额约是煤制气的1/10，天然气制氢的1/3-1/2。甲醇制氢的碳排放主要在于甲醇生产过程中，如果不考虑甲醇生产过程的碳排放，甲醇制氢排放与天然气相当。甲醇作为大宗化工原料，有长期稳定的供货渠道，因此甲醇制氢在国内有庞大的用户群体。

图 13：甲醇制氢工艺流程



资料来源：中国产业信息网，川财证券研究所

2.3 工业副产制氢：废气利用空间广阔，产氢规模满足短中期需求

工业副产制氢就是将富含氢气的工业尾气作为原料，主要采用变压吸附法（PSA法），回收提纯制氢。目前主要尾气来源有氯碱工业副产气、焦炉煤气、轻烃裂解副产气。与其他制氢方式相比，工业副产品制氢的最大优势在于几乎

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

无需额外的资本投入和化石原料投入,所获氢气在成本和减排方面有显著优势。我们测算了工业副产氢气的潜在供应量,认为其理论产氢规模足以满足“2030年百万辆燃料电池车上路行驶”的市场需求,是燃料电池发展初期和中期的最佳供氢解决方案之一。

图 14: 不同炼厂气的氢气含量

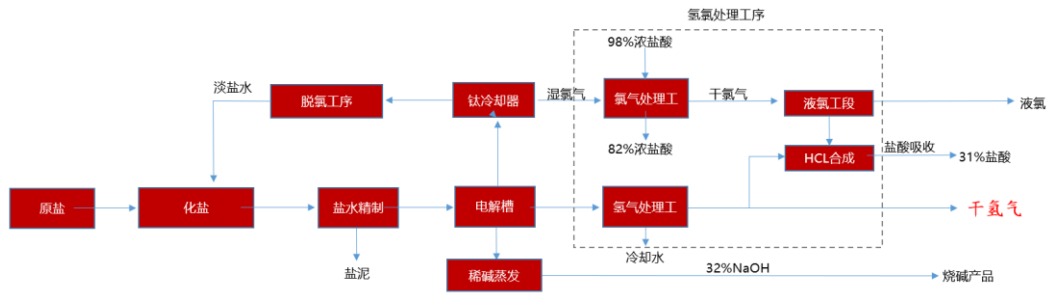
| 氢源 | 典型氢气含量(V%) |
|------------|------------|
| 石脑油重整尾气 | 65-90 |
| 加氢裂化干气 | 25-70 |
| 催化重整干气 | 25-60 |
| 甲苯加氢脱烷基化尾气 | 50-70 |
| 乙烯加氢脱烷塔尾气 | 60-90 |
| 甲醇驰放气 | 50-70 |
| 甲酸加工尾气 | 70-90 |
| 焦化干气 | 20-40 |
| 加氢混合干气 | 60-70 |
| 催化裂化干气 | 15-70 |
| 催化与焦化混合干气 | 15-40 |
| 变压吸附解吸气 | 50-60 |

资料来源:《氢能制氢技术》,川财证券研究所

2.3.1 氯碱副产制氢

氯碱副产制氢具备提纯难度小、杂质含量低、氢气得到有效利用等优势。氯碱厂以食盐水为原料,采用离子膜或石棉隔膜电解槽,生产出烧碱、氯气、以及副产品氢气。大部分氯碱厂采用物理吸附法 PSA 法,将其副产品氢气提纯,可获得高纯度氢气,该工艺具备能耗低、投资少、自动化程度高、产品纯度高、无污染等优势。考虑副产氢气纯度在提纯前已高达 99%以上,主要杂质是氧气、氮气、水蒸气,该工艺下高纯度氢气的生产成本只有 1.3-1.5 元/Nm³,与其他制备方法相比,成本、环保优势凸显。

图 15： 离子膜烧碱装置副产氢气的工艺流程



资料来源：《氢能技术与制氢技术》，川财证券研究所

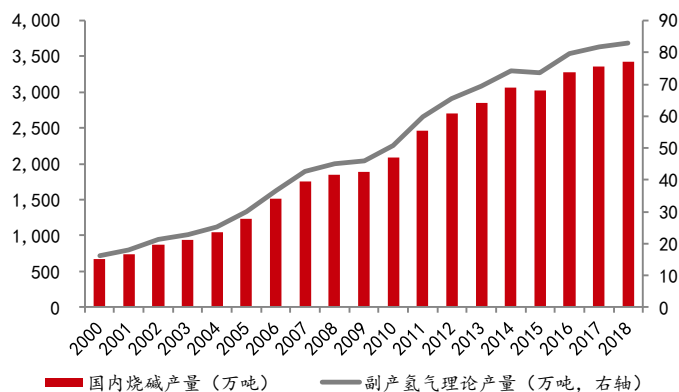
图 16： 氯碱氢杂质含量低

| 氢纯度 | 杂质含量 | | | | | | | |
|------------------|----------------|----------------|-----|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | O ₂ | N ₂ | CO | CO ₂ | CH ₄ | H ₂ O | Cl ⁻ | Cl ₂ |
| 10 ⁻² | 3700 | 2400 | 4.8 | 46 | 45 | 6000 | ≤1 | ≤0.01 |
| ≥99 | | | | | | | | |

资料来源：《用氯碱氢生产各种规格氢气产品工艺综述》，川财证券研究所

产量上看，2018 年国内烧碱产量达到 3420 万吨，按每生产 1 吨烧碱可副产 280Nm³ 氢气 (25kg) 测算，每年副产氢气 85.5 万吨。目前国内氯碱厂对副产的氢气有两种利用方式，其一为与氯气反应制备盐酸或制备其它化工品，其二为燃烧释放热能(前期投资大)，目前高达 30% 以上的副产氢气被直接放空，形成资源浪费。若将被放空的副产氢气完全利用，理论上可实现 25.56 万吨高纯度氢气的对外供应，可供应超过 100 万辆燃料电池车，足以满足国内燃料电池车短期和中期的用氢需求。

图 17： 国内氯碱副产品氢气理论产量



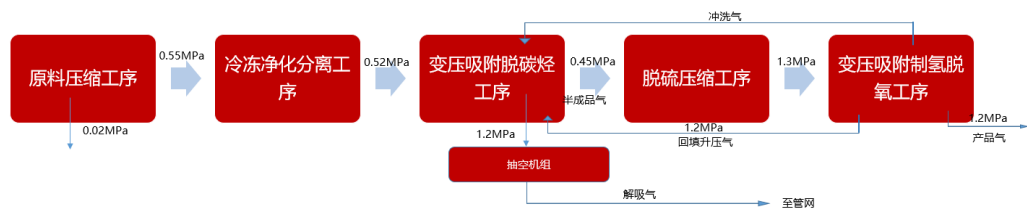
资料来源：Wind，川财证券研究所

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

2.3.2 焦炉煤气制氢

我国是全球最大的焦炭生产国，2018 年国内焦炭产量达到 4.38 亿吨，占全球总产量的 60%。焦炉煤气是炼焦过程的副产物，除含大量氢气（50%以上）、甲烷之外，其他组分相对复杂，随原料煤的不同有较大的差别。焦炉煤气变压吸附制氢工艺过程分为原料压缩、冷冻净化分离、变压吸附脱碳烃、脱硫压缩、变压吸附制氢和脱氧等五道工序，最终制取氢气的纯度超过 99.99%。国内焦炉煤气制取氢气的理论空间最大，但是钢铁联合焦化企业自身循环利用系统通常较为完善，大部分焦化气已实现充分利用，实际可提纯并对外供应的供氢气量有限。

图 18：焦炉煤气变压吸附制氢工艺流程



资料来源：《氢能技术与制氢技术》，川财证券研究所

图 19：焦炉煤气组成

| | | | | | |
|--------|-----------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 组分 | H ₂ | O ₂ | CO | CO ₂ | N ₂ |
| 体积分数/% | 55.50 | 0.43 | 8.10 | 5.86 | 2.86 |
| 组分 | CH ₄ | C ₂ | C ₃ —C ₅ | C ₆ H ₆ | 其他 |
| 体积分数/% | 23.68 | 3.20 | 0.31 | 0.03 | 0.03 |

资料来源：《氢能技术与制氢技术》，川财证券研究所

图 20：焦炉煤气杂质含量

| | |
|--|-----------|
| 苯的质量浓度/mg·m ⁻³ | 193 |
| 总硫的质量浓度/mg·m ⁻³ | 3000-4000 |
| 焦油的质量浓度/mg·m ⁻³ | 30-100 |
| HCN的质量浓度/mg·m ⁻³ | 0.21 |
| NH ₃ 的体积分数/10 ⁻⁶ | 50-100 |
| NO的体积分数/10 ⁻⁶ | 1.6 |

资料来源：《氢能技术与制氢技术》，川财证券研究所

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

图 21：焦炉煤气制氢的产品气组成

| H ₂ /% | 液态N ₂ /10 ⁻⁶ | CO/10 ⁻⁶ | CO ₂ /10 ⁻⁶ | O ₂ /10 ⁻⁶ | Cl/mg. Nm ⁻³ | S/mg. Nm ⁻³ | H ₂ O/10 ⁻⁶ |
|-------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| >=99.99 | 0.1 | <1 | <10 | <2.0 | <0.1 | <0.1 | <60 |

资料来源：《氢能制氢技术》，川财证券研究所

2.3.3 轻烃裂解制氢

轻烃裂解制氢主要有丙烷脱氢（PDH）和乙烷裂解两种路径。

乙烷裂解制乙烯装置主要集中在北美、中东和东南亚，2017 年开始，中国企业发力乙烷制乙烯市场，陆续有多家企业宣布将引进美国低价的轻烃原料生产乙烯。国内乙烷裂解项目正加速落地，据不完全统计，至 2022 年末，国内乙烷裂解产能将达到 858 万吨，副产氢气 55.34 万吨（1 吨乙烯副产 64.5kg 氢气），理论上可供应 220 万辆燃料电池车。

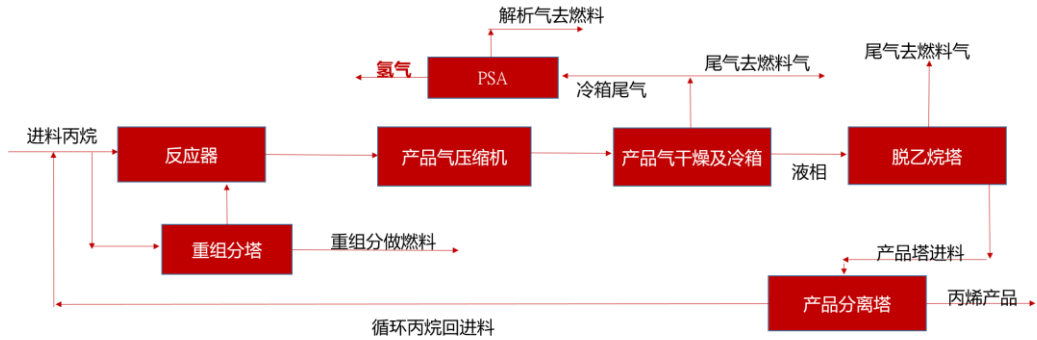
图 22：国内乙烷裂解产能情况

| 公司 | 项目地点 | 项目进展 | （预计）投产时间 | 乙烯产能（万吨/年） |
|---------|-------|------|----------|------------|
| 新浦化学 | 江苏泰兴 | 在建 | 2019 | 78 |
| 华泰盛富 | 浙江宁波 | 在建 | 2019 | 50 |
| 卫星石化一期 | 江苏连云港 | 在建 | 2020 | 125 |
| 永荣控股 | 福田莆田 | 拟建 | 2020 | 150 |
| 鲁清石化 | 山东寿光 | 拟建 | 2021 | 75 |
| 南山集团 | 山东龙口 | 拟建 | 2021 | 100 |
| 中石油巴州 | 新疆巴州 | 拟建 | 2021 | 60 |
| 广西投资集团 | 广西钦州 | 拟建 | 2021 | 60 |
| 万华化学 | 山东烟台 | 拟建 | 2022 | 60 |
| 大连汇昆新材料 | 辽宁大连 | 拟建 | 2022 | 100 |
| 合计 | | | | 858 |

资料来源：中国产业信息网，川财证券研究所

PDH 装置副产的氢气纯度高，提纯难度小，且大部分产能靠近东部沿海地区，与下游燃料电池应用市场紧密贴合，具备广阔前景。截至 2019 年 6 月末，国内共有 10 个 PDH 项目投产，另有 4 个在建，还有多家企业 PDH 项目处于前期工作，其中有确切投产年份规划的有 4 个。预计到 2023 年末，国内 18 个 PDH 项目丙烯总产能将达 1035 万吨/年，副产氢气 39 万吨/年，理论上可供应 156 万辆燃料电池车。

图 23：PDH 工艺流程



资料来源：CNKI，川财证券研究所

图 24：国内 PDH 产能情况

| 公司 | 项目地点 | 项目进展 | (预计) 投产时间 | 丙烯产能(万吨/年) |
|--------------|-------|------|-----------|------------|
| 天津渤化 | 天津 | 投产 | 2013 | 60 |
| 卫星石化一期 | 浙江平湖 | 投产 | 2014 | 45 |
| 宁波海越新材料一期 | 浙江宁波 | 投产 | 2014 | 60 |
| 绍兴三圆石化 | 浙江绍兴 | 投产 | 2014 | 45 |
| 东华能源张家港扬子江石化 | 江苏张家港 | 投产 | 2015 | 60 |
| 万华化学 | 山东烟台 | 投产 | 2015 | 75 |
| 东华能源宁波新材料一期 | 浙江宁波 | 投产 | 2016 | 66 |
| 河北海伟 | 河北衡水 | 投产 | 2016 | 50 |
| 福建美得石化 | 福建福州 | 投产 | 2018 | 66 |
| 卫星石化二期 | 浙江平湖 | 投产 | 2019 | 45 |
| 东华能源宁波新材料二期 | 浙江宁波 | 在建 | 2019 | 60 |
| 深圳巨正源 | 广东东莞 | 在建 | 2020 | 66 |
| 河北海伟兰航化工 | 河北沧州 | 在建 | 2020 | 50 |
| 江苏威名石化 | 江苏如东 | 在建 | 2021 | 60 |
| 河南南浦环保 | 河南洛阳 | 拟建 | 2021 | 16.62 |
| 徐州海鼎化工 | 江苏邳州 | 拟建 | 2022 | 60 |
| 金能科技 | 山东青岛 | 拟建 | 2023 | 90 |
| 滨华新材料一期 | 山东滨州 | 拟建 | - | 60 |
| 合计 | | | | 1035 |

资料来源：中国产业信息网，川财证券研究所

2.4 电解水制氢：因地制宜消纳可再生能源弃电，前景广阔

水电解制氢具备工艺简单、无污染、氢气产品纯度高优势，缺点在于成本高、耗电量大、暂不具备大规模推广应用的可能。电解水制氢是在阴极上发生还原反应析出氢气和阳极上发生氧化反应析出氧气的反应，工艺简单，完全自动化，操作方便。其氢气产品的纯度也极高，一般可以达到 99-99.9%水平，且主要杂质为 H₂O 和 O₂，特别适合对 CO 等杂质含量要求极为严格的质子膜燃料电池。本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

池。

图 25： 电解水制氢工艺流程



资料来源：《不同途径获取氢源技术及成本分析》，川财证券研究所

图 26： 三种电解水制氢工艺比较

| 项目 | 碱性电解 | PEM水电解 | 固体氧化物电解 |
|----------------------------|--------------|---------------------------|----------------|
| 技术成熟度 | 已应用 | 小规模应用 | 研发中 |
| 运行温度/℃ | 60-80 | 50-80 | 900-1000 |
| 运行压力/Mpa | <5.0MPa | <5.0MPa | <3MPa |
| 电流密度(A/cm ²) | 0.2-0.4 | 0.6-2.0 | 0.3-1.0 |
| 电解小室电压/V | <2.2 | <2.0 | <1.2 |
| 电解能耗(kWh/NM ³) | 4.4~5.1 | 4.3~5.0 | <3.5 |
| 氢气纯度 | >99.8 | 约99.999 | — |
| 能量效率/% | 62-82 | 67-82 | 81-92 |
| 优点 | 技术成熟、成本低 | 电流密度高、体积小、重量轻、无碱液腐蚀、产品纯度高 | 能力转换效率高 |
| 缺点 | 电流密度低、体积大、腐蚀 | 成本高、原水要求高 | 高温条件、材料要求高、成本高 |

资料来源：《不同途径获取氢源技术及成本分析》，川财证券研究所

成本端看，一般制得 1 标准立方米 H₂ 需要耗电 4-5kWh、消耗纯水 1 升，水价格便宜，比重较大的是电能的消耗。利用清洁电力制氢有利于促进新能源弃电的消化，也可大幅降低制氢成本。我国可再生能源丰富，可再生能源的开发力度居世界前列，新能源新增及累计装机容量均排名世界第一，但新能源电力发电量受季节及气候影响波动较大，无法满足用电侧负荷的稳定性，因而弃风、弃光、弃水现象十分严重。2018 年全国平均弃风率为 7%、弃光率为 3%、弃水率为 5%，弃风率最高的地区弃风率达 23%，弃光较严重的地区弃光率达 16%，清洁电力的消纳形势严峻。我们认为，因地制宜发展水电解制氢前景广阔，在弃电严重的地区，有望成为消纳清洁电力的解决方案。2018 年全国可再生能源弃电量约 1,000 亿千瓦时，若全部用于电解水制氢，理论上可转换为 180 万吨氢气。

2.5 未来方向：化工副产氢气适合大规模推广，电解水前景广阔

我们从成本、规模、环保等三个维度对上述制氢工艺做了综合比较，结论是：短中期看，化工副产氢气最适合大规模推广，成为燃料电池的主要供氢来源，将过往浪费的副产氢气充分利用，足以满足“2030 年百万辆燃料电池车上路”。

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

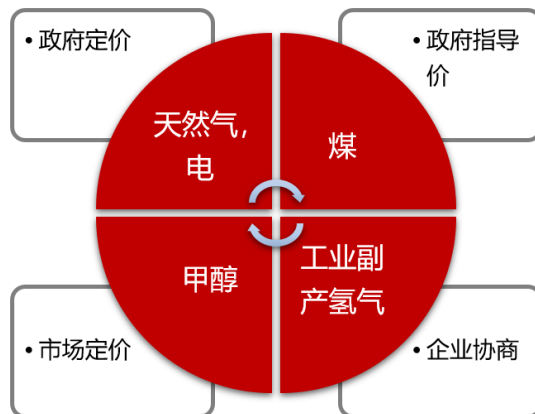
行驶”的目标；但从长远看，化工副产氢气受限于主产品的产能限制，未来必然会遭遇产能瓶颈，而最环保的电解水制氢在实现技术突破后有望后来居上，成为长期供氢的主流来源。

成本：对于化石能源制氢和水电解制氢等工艺，原料费用或当地基础能源价格决定了氢气的生产成本；对于工业副产制氢工艺，副产氢气的价格和提纯装置的折旧直接决定了氢气的成本。根据相关文献和草根调研，我们测算出工业副产制氢的成本可控制在 3.36-16.8 元/kg，优于其他所有制氢工艺。

规模：规模角度看，国内工业氢气生产仍将以化石能源为主要原料，但在燃料电池产业重点发展的长三角、珠三角、环渤海等地区，工业副产制氢是更佳的解决方案，大规模的氯碱装置、PDH 装置、乙烷裂解装置为周边地区的氢气供应提供保障，理论制氢规模足以满足燃料电池汽车的短中期需求，也为电解水制氢的技术突破留足时间。工业副产氢气受限于主产品的产能，制氢规模存在天花板，长期必将遇到产能瓶颈。而水电解制氢的原料易得、节能环保，若未来技术突破带动成本大幅下降，预计届时将成为制氢的主流工艺。

环保：从温室气体减排的角度看，清洁能源电解水制氢是最环保的工艺路线，化工副产制氢次之，化石能源制氢的碳排放量最大。

图 27：不同制氢原料的定价模式



资料来源：《不同途径获取氢源技术及成本分析》，川财证券研究所

图 28：不同制氢工艺成本比较

| 制氢工业路线 | 成本(元/Nm ³) | 成本(元/kg) | 主要的原料价格 |
|---------|------------------------|-------------|----------------------|
| 大规模煤制氢 | 0.65-1.1 | 7.28-12.32 | 300-1000元/吨 |
| 中小规模煤制氢 | 1.0-1.5 | 11.2-16.8 | 300-1000元/吨 |
| 天然气制氢 | 1.15-2.2 | 12.88-24.64 | 1-4元/Nm ³ |
| 甲醇制氢 | 1.75-2.5 | 19.6-28 | 1800-3800元/吨 |
| 电解水制氢 | 0.4-5.0 | 4.48-56 | 0.08元-1元/kWh |
| 工业副产氢 | 0.3-1.5 | 3.36-16.8 | |

资料来源：《不同途径获取氢源技术及成本分析》，川财证券研究所

三、相关标的

我们认为氯碱副产制氢和轻烃裂解制氢有望成为短期和中期的主流制氢路线，考虑到当前以气氢运输为主、存在经济半径，制氢企业需要结合自身区位优势，与下游应用端进行匹配，相关标的：长三角地区的卫星石化（002648）、嘉化能源（600273）、东华能源（002221），以及环渤海地区的滨化股份（601678）。

图 29：相关标的一览

| 代码 | 公司名称 | 股价（元） | 总市值（亿元） | 2019年PE |
|-----------|------|-------|---------|---------|
| 002648.SZ | 卫星石化 | 13.77 | 147 | 11.0 |
| 601678.SH | 滨化股份 | 7.25 | 112 | 13.6 |
| 600273.SH | 嘉化能源 | 11.06 | 158 | 12.0 |
| 002221.SZ | 东华能源 | 8.74 | 144 | 10.2 |
| | | | 平均值 | 11.7 |

资料来源：Wind，川财证券研究所；注：PE采用Wind一致预期，截至2019年7月19日

3.1 卫星石化（002648）

公司是国内轻烃裂解领跑企业，现有氢气外供能力 2.6 万吨；未来 250 万吨乙烷裂解项目投产，副产氢气 16 万吨，氢气资源充沛。公司地处长三角，立足浙江嘉兴，与浙能集团签订战略合作框架协议，为浙能集团的氢气供应提供保障，力争成为浙江乃至长三角地区的主要氢源供应方。6 月 29 日，公司孙公司卫星氢能加入长三角氢能基础设施产业联盟，并成为副理事长单位。

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅尾页的重要声明

3.2 嘉化能源（600273）

公司在长三角完成了制氢、运氢（液氢）、加氢的全产业链布局，优势明显。制氢方面，公司氢气供应能力充沛，现有氯碱副产氢气 1 万吨，关联公司三江化工和美福化工轻烃裂解氢气 2 万吨、规划产能 9 万吨。运氢方面，嘉化能源与浙能集团就液氢技术进行合作，双方合作建立 1m³/h 氢液化示范工厂（预计今年年底建成），填补国内空白。加氢方面，公司携手富瑞氢能 and 上海重塑，投资成立江苏嘉化氢能，首期规划在张家港和常熟建设 3 座加氢站。

3.3 东华能源（002221）

公司受益 PDH 持续扩产，燃料电池上游全产业链布局。制氢方面，公司现有 PDH 装置产能 132 万吨，副产氢气达 5 万吨；宁波二期 PDH 装置建成之后，氢气产能将提升至 7.5 万吨。加氢方面，公司投资建设了张家港东华港城加氢站并实现了示范运行，是江苏地区首个商业化运营的加氢站。

3.4 滨化股份（601678）

公司是山东省氯碱化工领跑企业，原料端的原盐、水、电自给率高，坐拥一体化循环产业链，现有烧碱产能 65 万吨/年，环氧丙烷 28 万吨/年（全国占比 9%），三氯乙烯 8 万吨/年（全球最大）。氢能方面，公司与亿华通合作，布局氢能的制备和储运环节，充分利用自身区位优势，立足滨州，氢气产品直供北京加氢站。

风险提示

政策推行力度不及预期

鼓励和补贴政策是行业的指向标，在发展初期保障企业有一定的市场和资金支撑，入市政策出现变动或是执行力度降温明显，势必影响行业整体发展。

重大安全事故频现

氢气在制备、储运和反应的各环节均有相当危险性，若事故频繁出现，势必成为行业发展的阻力。

分析师声明

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉尽责的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也不会与本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接相关。

行业公司评级

证券投资评级：以研究员预测的报告发布之日起6个月内证券的绝对收益为分类标准。30%以上为买入评级；15%-30%为增持评级；-15%-15%为中性评级；-15%以下为减持评级。

行业投资评级：以研究员预测的报告发布之日起6个月内行业相对市场基准指数的收益为分类标准。30%以上为买入评级；15%-30%为增持评级；-15%-15%为中性评级；-15%以下为减持评级。

重要声明

本报告由川财证券有限责任公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告仅供川财证券有限责任公司（以下简称“本公司”）客户使用。本公司不因接收人收到本报告而视其为客户，与本公司无直接业务协议关系的阅读者不是本公司客户，本公司不承担适当性职责。本报告在未经本公司公开披露或者同意披露前，系本公司机密材料，如非本公司客户接收到本报告，请及时退回并删除，并予以保密。

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司对该等信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断，该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。对于本公司其他专业人士（包括但不限于销售人员、交易人员）根据不同假设、研究方法、即时动态信息及市场表现，发表的与本报告不一致的分析评论或交易观点，本公司没有义务向本报告所有接收者进行更新。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供投资者参考之用，并非作为购买或出售证券或其他投资标的的邀请或保证。该等观点、建议并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。根据本公司《产品或服务风险等级评估管理办法》，上市公司价值相关研究报告风险等级为中低风险，宏观政策分析报告、行业研究分析报告、其他报告风险等级为低风险。本公司特此提示，投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素，必要时可就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业财务顾问的意见。本公司以往相关研究报告预测与分析的准确，也不预示与担保本报告及本公司今后相关研究报告的表现。对依据或者使用本报告及本公司其他相关研究报告所造成的一切后果，本公司及作者不承担任何法律责任。

本公司及作者在自身所知情的范围内，与本报告所指的证券或投资标的不存在法律禁止的利害关系。投资者应当充分考虑到本公司及作者可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为之提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本公司的投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

对于本报告可能附带的其它网站地址或超级链接，本公司不对其内容负责，链接内容不构成本报告的任何部分，仅为方便客户查阅所用，浏览这些网站可能产生的费用和风险由使用者自行承担。

本公司关于本报告的提示（包括但不限于本公司工作人员通过电话、短信、邮件、微信、微博、博客、QQ、视频网站、百度官方贴吧、论坛、BBS）仅为研究观点的简要沟通，投资者对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“川财证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。如未经川财证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司保留追究相关责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

本提示在任何情况下均不能取代您的投资判断，不会降低相关产品或服务的固有风险，既不构成本公司及相关从业人员对您投资本金不受损失的任何保证，也不构成本公司及相关从业人员对您投资收益的任何保证，与金融产品或服务相关的投资风险、履约责任以及费用等将由您自行承担。

本公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格，经营许可证编号为：00000000857

本报告由川财证券有限责任公司编制 谨请参阅本页的重要声明 C0004