

氢能及燃料电池

氢能产业发展研究报告

氢能作为一种清洁的二次能源，在全球能源低碳转型的大背景下，必将成为我国能源结构的重要组成部分和新型电力系统的有力补充。然而，受制于氢的理化性质，氢能在制取、输运、分销等环节，仍有诸多瓶颈，高昂的终端使用成本限制了氢能的规模化应用。然而，氢能不仅可以作为交通领域的绿色燃料，在钢铁冶金、石油化工等领域均有广泛应用前景。我国作为氢产销的全球第一大国，化石燃料制氢的绿氢替代具有广阔的市场空间。通过管道供应工业绿氢需求，有望打破氢能规模化发展瓶颈。

本报告通过分析工业、交通、能源等领域的氢能潜在应用场景，搭建了我国未来绿氢需求预测的分析框架，基于过往行业数据，预测了我国绿氢潜在需求规模。基于报告研究分行业预测，随着绿氢在化工工艺中逐步替代化石燃料制氢，其需求将随着绿氢渗透率的提高而快速增长，研究预计，绿色氮肥和绿色甲醇行业绿氢需求在 2030 年分别可达到 17 万和 13 万吨。在冶金和石油炼化行业，2030 年将分别产生 22 万和 16 万吨绿氢需求。在交通和能源领域，绿氢需求到 2030 年分别可达 75 万和 140 万吨。基于以上需求预测，我国绿氢终端需求总量，在 2030 年有望达到约 285 万吨，能够支撑氢能长输管道及电解制氢设备产业长期发展。

随着我国可再生能源和新型电力系统的不断发展，对电解制氢设备波动适应性的要求也将越来越高。PEM 制氢设备具有更好的调节性能，但其较高初始投资阻碍了其大规模推广，需要通过自主化打破国外技术壁垒，降本增量，以推动大规模应用。

风险提示：氢能产业政策不及预期，制氢及储运技术发展不及预期，制氢成本下降不及预期，商业模式形成不及预期，绿氢未来实际需求与本预测不一致。

作者

分析师 于夕朦

执业证书编号：S1070520030003

邮箱：yuximeng@cgws.com

联系人 雷灵龙

执业证书编号：S1070122120005

邮箱：leilinglong@cgws.com

相关研究

- 《熔盐储能发展及其安全问题浅析—行业/公司名称（选填）》2023-12-04
- 《我国电力金融市场研究建议报告—能源转型产业报告》2023-11-22
- 《老旧风场“以大代小”技改市场分析与政策建议》2023-11-21

内容目录

1. 氢能产业是能源革命下的必然选择	4
1.1 发展氢能是践行双碳战略的重要手段.....	5
1.2 氢能是保障能源安全的重要手段.....	6
1.3 发展氢能已成为发达经济体的共识	7
2.长链条多环节制约氢能产业发展	8
2.1 绿电电解水是当前绿氢获取的必由之路.....	9
专题 1 国内碱性电解制氢项目规模化趋势明显.....	10
专题 2 国内部分兆瓦级 PEM 电解制氢项目.....	11
2.2 储运效率仍是瓶颈.....	11
专题 3 我国管道输氢现状.....	12
2.3 氢能应用前景广泛，工业应用是重要方向.....	13
2.4 经济性仍是规模化应用的最终裁判员.....	13
3.我国氢能潜在需求预测	15
3.1 工业应用.....	15
3.1.1 合成氨.....	16
3.1.2 合成甲醇.....	18
3.1.3 绿氢冶金.....	21
3.1.4 石油炼化.....	23
3.2 交通运输.....	25
专题 4 船舶对绿色燃料的需求.....	26
3.3 能源替代.....	27
专题 5 氢能新型电力系统.....	28
3.4 总需求预测.....	29
3.5 承载能力.....	29
4.机遇与挑战.....	30
风险提示	31

图表目录

图表 1: 2018 年中国能流图.....	4
图表 2: 煤化工产业链图谱.....	5
图表 3: 新型电力系统各环节矛盾.....	5
图表 4: 我国油气进口量及对外依存度 单位: 万吨.....	6
图表 5: 美国削减通胀法案和欧洲净零工业法案.....	7
图表 6: 2020 年我国氢气产销情况.....	8
图表 7: 氢能产业链条.....	8
图表 8: 四种电解制氢技术路线.....	9
图表 9: 国产 PEM 制氢系统.....	9
图表 10: 国产碱性电解水制氢系统.....	9
图表 11: 2018-2023H1 中国电解槽总需求情况.....	10
图表 12: 国内部分兆瓦级 PEM 电解制氢项目.....	11
图表 13: 氢在不同温度压力下的密度.....	11
图表 14: 代表性储氢材料的特性.....	12

图表 15:	不同能源车辆能耗及使用成本对比.....	13
图表 16:	不同能源车辆能耗及使用成本对比.....	14
图表 17:	制氢成本电价敏感性分析.....	15
图表 18:	新技术的 S 型增长曲线.....	15
图表 19:	氨在全球的应用.....	16
图表 20:	天然气合成氨与绿氨的工艺及温度变化范围对比.....	16
图表 21:	全球氮肥用量 单位: kg/公顷.....	17
图表 22:	2023-2050 我国合成氨需求量预测 单位: 万吨 每公顷氮肥用量 kg.....	17
图表 23:	2023-2050 我国合成氨绿氢需求预测 (不含燃料用途) 单位: 万吨.....	18
图表 24:	全球甲醇供给和需求平衡 2017-2022E.....	18
图表 25:	IRENA 对未来全球甲醇需求的预测.....	19
图表 26:	我国甲醇消费格局.....	20
图表 27:	2023-2050 年我国甲醇总产量及可再生甲醇产量预测.....	20
图表 28:	钢铁冶炼工艺的长短流程.....	21
图表 29:	绿氢冶金与传统高炉工艺对比.....	21
图表 30:	2023-2050 我国未来钢铁产量预测 单位: 万吨.....	22
图表 31:	2023-2050 我国钢铁绿氢需求潜力及渗透率假设 单位: 万吨.....	23
图表 32:	渣油加氢工艺流程.....	24
图表 33:	2023-2050 我国炼化行业绿氢需求潜力及渗透率假设 单位: 万吨.....	24
图表 34:	2018 年至 2022 年柴油、航空煤油、船用燃料油使用量 单位: 万吨.....	25
图表 35:	2023-2050 我国交通领域绿氢需求潜力及渗透率假设 单位: 万吨.....	26
图表 36:	2023-2050 我国能源领域绿氢需求潜力及渗透率假设 单位: 万吨.....	27
图表 37:	风光发电出力特性与负荷需求差异 单位: MW.....	28
图表 38:	基于假设的我国 2023-2050 绿氢总需求预测.....	29

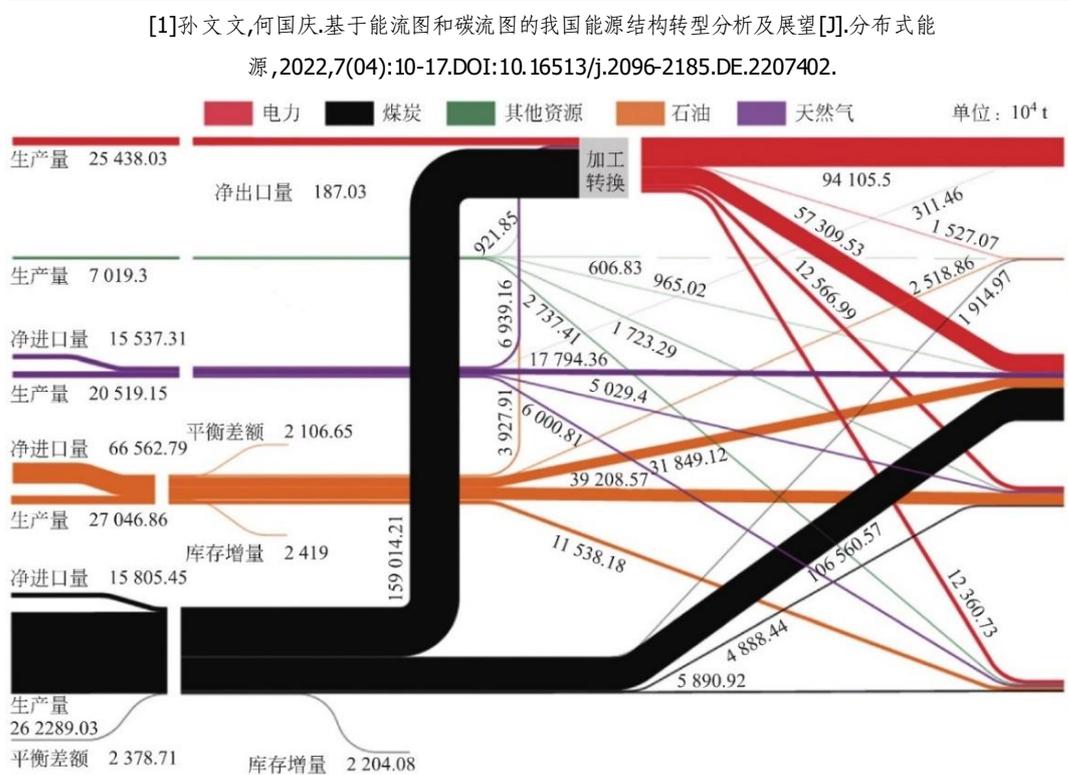
1. 氢能产业是能源革命下的必然选择

我国生态环境问题，本质上是高碳的能源结构和高耗能、高碳的产业结构问题。

实现碳达峰、碳中和，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策，是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择，是构建人类命运共同体的庄严承诺。二氧化碳和常规污染物的排放具有同源性，大部分都来自化石能源的燃烧和利用。做好碳达峰、碳中和工作，有利于推动总量减排、源头减排、结构减排，实现减污与降碳、改善环境质量与应对气候变化协同增效。

从我国能流图中能够看到，我国目前的能源结构中，一次能源侧仍以煤炭、石油、天然气等化石能源为主。而要实现双碳目标，除了要大力发展可再生能源，改变整个能源供给的结构，也必然会在能源加工、下游应用各环节带来巨大变革。也就是要在整个能源结构上，实现根本性的转变。

图表1: 2018年中国能流图



资料来源: 孙文文等《基于能流图和碳流图的我国能源结构转型分析及展望》

电力系统难以独自承担能源结构的重大变革，难以满足产业和经济发展对燃料和生产原料的需求。

原油经过裂解(裂化)、重整和分离，可提供炔烃、烯烃、芳香烃及合成气等基础化工原料。从这些基础原料可以制得各种基本有机原料如甲醇、甲醛、乙醇、乙醛、醋酸、异丙醇、丙酮、苯酚等，应用生产生活的各个方面。煤炭也可通过煤制天然气、煤制油、煤制烯烃、煤制醇醚、煤经焦炭制电石、煤制合成氨等煤化工工艺提供一系列化工和工业产品。根据中国煤炭工业协会发布的《2022 煤炭行业发展年度报告》，2022 年我国现有煤制油、煤制气、煤(甲醇)制烯烃、煤制乙二醇产能分别达到 931 万吨、61.25 亿立方米、1672 万吨、1155 万吨。而根据中国氮肥工业协会 2021 年的年度工作报告，2020 年我国合成氨和尿素产能分别为 6676 万吨和 6634 万吨，甲醇总产能到达 9141 万吨/

年，原料均为煤炭、天然气等化石能源，其中 75% 以上为煤炭。这些工业需求及交通物流领域的燃料需求，都难以简单地实现电气替代。

图表2: 煤化工产业链图谱



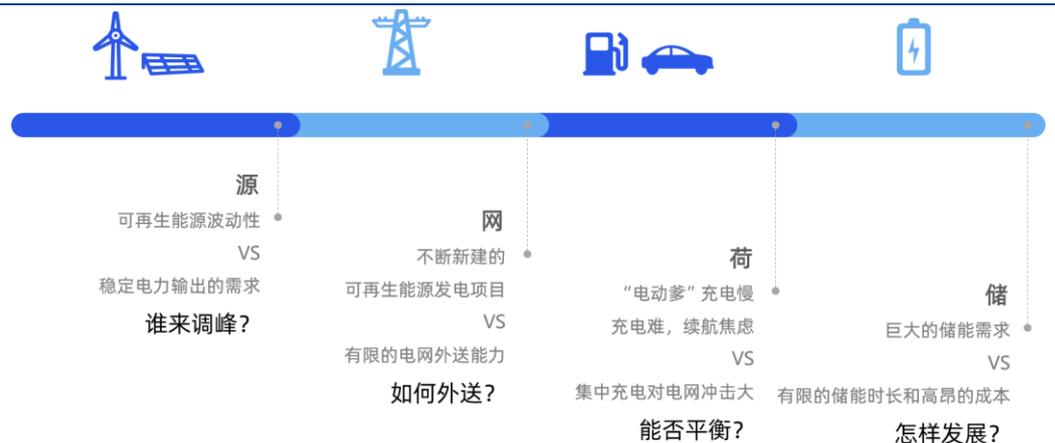
图谱来源:iFinD 智能投研

资料来源: iFinD 智能投研

1.1 发展氢能是践行双碳战略的重要手段

在能源清洁低碳转型的大背景下，电力系统在整个能源结构中的地位愈加凸显，也对新型电力系统提出了更高要求。

图表3: 新型电力系统各环节矛盾



资料来源: 长城证券产业金融研究院整理

在发电侧，国内电力供需错配问题难以解决。我国可再生能源并网规模和比例持续攀升，根据中电联的数据，截至 2022 年 12 月底，风电光伏装机占比达到 30%，但是发电量占比仅为 14%。可再生能源发电出力随机性、波动性大，导致电力平衡难度增加，电力供需错配问题加剧。高比例的可再生能源并网将导致电力供给与负荷之间出现明显的跨时和季节性不匹配的特性，有效解决该问题的办法是将可再生能源所发电力转化为其它

能量介质进行大规模储存，在适当时机再重新发电并入电网。

在网侧也就是电力系统部分，电网的外送能力不能满足新能源发电项目的外送需求。具体表现为，在中东部的分布式新能源资源总量不足以支撑当地负荷需求，而西部、北部的富集新能源仍需要跨区外送，需要通过大电网、大平台才能实现高比例新能源的消纳，依托大电网才能保障能源电力供应的安全。

而在用户侧，当前电动汽车充电并没有完全实现预期的调峰充电，为电网提供调蓄，而往往由于用户使用习惯集中在特定时段，反而增加了电网调峰的压力。

最后，在储能领域，日益增长的可再生能源并网发电规模，对储能产生了巨大且迫切的需求，然而，当前的储能技术在经济性、储能功率、储能时长、系统寿命、安全性等指标上离实现双碳目标的需求仍有很大距离。

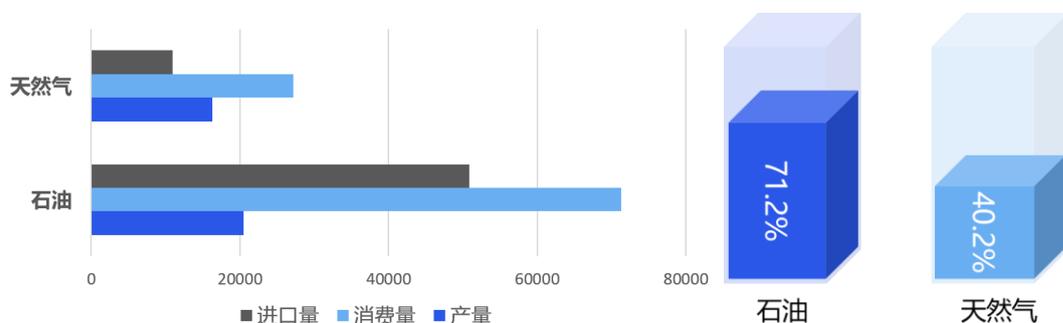
在能源低碳转型的背景下，氢能作为一种清洁能源和良好的能源载体，一方面，可以在一定程度上替代终端能源消费中的化石能源，满足我国长期经济发展的能源需求；另一方面，可以作为大规模应用的长时储能介质，可以促进风光消纳，满足电网储能需求，进而助力构建可再生能源占比逐渐提高的新型电力系统。氢能将成为未来我国能源体系的重要组成部分，对于构建清洁低碳的能源体系，保障国家能源安全具有十分重要的意义。

1.2 氢能是保障能源安全的重要手段

能源是工业的粮食，是国民经济的命脉，更是国民经济发展的重要物质基础。能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题，对国家繁荣稳定、人民生活改善、社会长治久安等至关重要。自改革开放以来，我国经济快速增长带动能源生产和消费需求持续攀升，目前我国已成为全球第一大能源生产国和消费国，我国能源需求未来还将进一步增长，能源安全愈发成为攸关国家经济发展的重大战略。

所谓能源安全是指一个国家或地区可以持续、稳定、及时、足量和经济地获得所需能源资源的状态或能力。能源安全所追求的是以坐地的经济代价获取所需的能源。当前，世界正处于百年未有之大变局中，国际地缘政治冲突加剧、全球经济低迷、气候治理压力空前，叠加过去几年新冠疫情的影响，使得我国所面临的能源形势日益复杂，不确定性和不稳定性显著增加，能源安全面临严峻的挑战。

图表4: 我国油气进口量及对外依存度 单位: 万吨



资料来源:《中国油气产业发展分析与展望报告蓝皮书(2022-2023)》,长城证券产业金融研究院整理

我国能源资源禀赋具有富煤、贫油、少气的特点，受到国内资源禀赋制约，国内能源供给难以满足需求，中国保障能源供应特别是油气资源供应严重依赖于国际油气市场，这也导致我国油气资源对外依存度居高不下，国际油气市场的稳定，对中国的能源安全、经济安全乃至国家安全的影响会越来越大。一方面，当前全球地缘政治紧张、大国博弈

加剧加之新冠疫情肆虐、自然灾害频发，导致我国油气资源供给不确定性较大；另一方面，全球对油气资源的需求持续增加，油气大宗商品国际交易遵循“东方交易、西方定价、美元计价、期货基准”的格局，我国在油气资源国际交易中缺乏定价权，油气资源价格不确定较大。油气资源供给及价格的不确定性严重威胁了我国能源安全，制约我国经济长期可持续发展。

氢可以高效便捷的由可再生能源发电后通过水电解制取，我国作为当前全球可再生能源发电第一大国，发展氢能不但可以保障可再生能源的有效利用，还能保障我国能源领域燃料及工业原料等需求的供给安全。

1.3 发展氢能已成为发达经济体的共识

本世纪初开始美国、欧盟、日本等国家和地区已陆续将发展氢能产业及燃料电池发电技术上升为国家战略，并结合自身禀赋特征与产业现状，制订氢能产业发展规划，对氢能产业予以补贴，支持关键技术的研发，大力推动氢能及燃料电池的产业化发展。美国是最早将氢能列入能源战略的国家；欧盟早期则通过清洁能源立法，支持氢能与燃料电池的发展，将氢能视为能源安全及能源转型的重要保障；日本同样高度重视氢能的发展，并提出建设“氢能社会”的愿景目标，希望通过氢能和燃料电池技术的开发应用，实现能源独立。综合来看，全球氢能相关技术日益成熟，氢能工业初具规模，氢能基础设施建设及相关产业正加速发展。

2022年8月16日美国《削减通胀法案》签署生效，计划在未来十年内通过执行15%的企业最低税率、处方药价格改革、增强税收执行力度等方式增加约7400亿美元的财政收入，其中用于能源安全及气候转型投资共3690亿美元。2023年3月16日，欧盟委员会也发布《净零工业法案》和《关键原材料法案》提案，旨在确保欧盟在全球绿色工业技术方面处于领先地位，同时也回应了美国《削减通胀法案》引领的绿色投资竞争。《净零工业法案》旨在促进欧盟清洁能源领域的制造和生产，目标到2030年，欧盟整体战略净零技术制造能力接近或达到欧盟部署需求的至少40%。

图表5: 美国削减通胀法案和欧洲净零工业法案

美国削减通胀法案	欧洲净零工业法案
<p>包含全球首个清洁氢税收抵免政策。清洁氢气生产商可获得的税收抵免规模取决于每个项目的生命周期温室气体(GHG)排放量，此外还取决于工作人员的工资标准。法案中的抵免额度可能会为美国清洁氢项目增加约130亿美元的资金。</p> <p>法案中“合格清洁氢气”的基本税收抵免率被设定为0.60美元/公斤，并根据所生产的氢气的生命周期排放量(以二氧化碳当量(CO₂e)计算)进行滑动。每公斤氢气的生命周期二氧化碳当量排放量低于0.45公斤时将获得100%的抵免，0.45-1.5公斤二氧化碳当量/公斤时将获得33.4%的抵免，1.5-2.5公斤二氧化碳当量/公斤和2.5-4公斤二氧化碳当量/公斤的抵免则分别为25%和20%。</p> <p>新法案中的工资要求将是税收抵免规模测算的最重要的部分，若能遵守对工作人员特定工资要求，可将税收抵免的规模乘以5倍。</p> <p>此外，氢气生命周期的排放量是从“井到门”计算的。采用碳捕集与封存(CCS)技术的化石燃料制氢项目(通常称为蓝氢项目)将难以受益于生产税收抵免政策。考虑到上游甲烷排放和工厂运行时所用电力范围二排放，即使该工厂采用了CCS技术，每千克蓝氢的生命周期排放将保持在三千克二</p>	<p>法案涉及光伏和光热、陆上风能和海上可再生能源、电池和储能、热泵和地热能、电解槽和燃料电池、生物甲烷等。其在氢能领域的目标是在2030年至少达到100GW氢气的电解槽总装机容量。REPowerEU计划预计到2030年将生产1000万吨国内可再生氢气，并进一步进口1000万吨可再生氢气。</p> <p>为了确保欧盟的技术领先地位转化为商业领先地位，在欧盟委员会和欧洲清洁氢气联盟的《电解槽联合宣言》的支持下，欧盟电解槽制造商应进一步提高产能，以便到2030年，正在部署的电解槽总装机容量至少达到100GW。</p> <p>随上述《法案》诞生的欧洲氢能银行计划，拟建立完整的氢能价值链，以进一步推动欧洲氢能发展速度。欧洲氢能银行将促进和支持欧盟内部可再生氢的生产和吸收，以及从国际合作伙伴向欧洲消费者进口。最终助力欧盟实现到2050年碳中和的目标。</p> <p>欧盟将于今年秋季在创新基金下，启动首批可再生氢能试点拍卖，专项预算为8亿欧元，这将是氢能银行的第一个金融工具。</p>

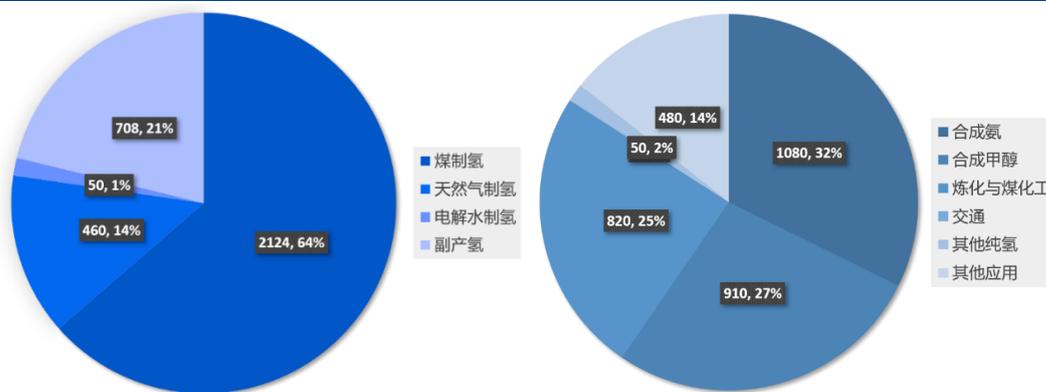
美国削减通胀法案	欧洲净零工业法案
氧化碳以上。因此，蓝氢生产设施最多只能获得每千克 0.60 美元的抵免额度。	

资料来源: Inflation Reduction Act, Net-Zero Industry Act, 长城证券产业金融研究院

2.长链条多环节制约氢能产业发展

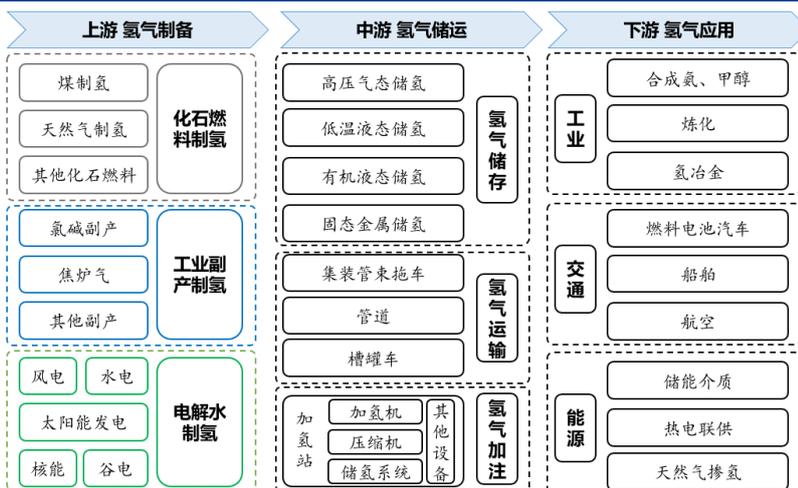
从我国氢的生产和消费构成上看，根据中国氢能联盟的数据，截至 2020 年，我国氢气消费需求为 3342 万吨，其中，66%作为原料用于化工合成，其中 32%用于合成氨、27%用于合成甲醇。但传统制氢主要依靠煤和天然气等碳基化石能源，产生大量碳排放。

图表6: 2020年我国氢气产销情况



资料来源: 中国氢能联盟《2020中国氢能及燃料电池产业发展报告》，长城证券产业金融研究院整理

图表7: 氢能产业链条



资料来源: 长城证券产业金融研究院整理

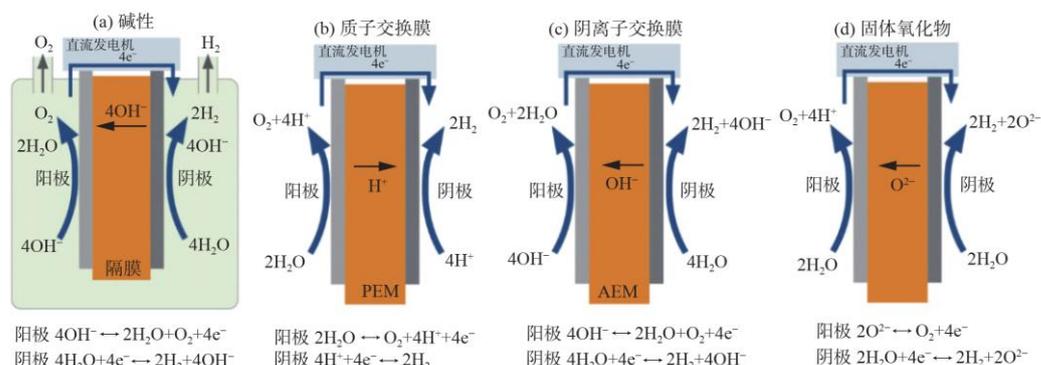
氢能以往作为一种化工产品，其产业链很长，主要包括“制-储-运-加-用”五个环节，即上游制氢，中游氢储运、加氢站，以及下游多元化的应用场景，如上图所示。氢能每个环节的技术路径多种多样，需要满足具体的应用场景需求。但总的来看，较长的产业链条和氢自身特性，导致当前氢能在制取、储运、分销等多个环节都遇到了发展瓶颈。

2.1 绿电电解水是当前绿氢获取的必由之路

氢能来源多样，不仅可以通过煤炭、石油、天然气等化石能源重整、生物质热裂解，或微生物发酵等途径制取，还可以来自焦化、氯碱、钢铁、冶金等工业副产气，也可以利用电解水制取。当前制氢原料主要以石油、天然气、煤炭等化石资源为主，较之于其他制氢方法，化石能源重整制氢工艺更为成熟，原料价格相对低廉，但会排放大量的温室气体，污染环境。根据中国氢能联盟，我国当前制氢仍以煤炭为主，占比为 **64%**，天然气次之，占比为 **14%**，与“富煤贫油少气”的能源禀赋特征相符。在当前技术水平下，唯有水电解制氢与可再生能源发电结合，才可实现全生命周期绿色清洁，并拓展可再生能源的利用方式。

电解水制氢其基本原理是在直流电的作用下，通过电化学反应将水分子解离为氢气与氧气，分别在阴、阳两极析出。根据技术及结构原理差异，可分为碱性水电解（ALK）、质子交换膜纯水电解（PEM）、阴离子交换膜水电解（AEM）、固体氧化物水电解（SOEC）等方案，前三种反应温度约在 **70~90** 摄氏度，**SOEC** 需要在 **700-800** 摄氏度的高温下进行反应。其中碱性水电解（ALK）、质子交换膜（PEM）电解制氢均已实现商业化应用，**AEM** 和 **SOEC** 尚处在实验室开发阶段。

图表8: 四种电解制氢技术路线



资料来源: IRENA, 长城证券产业金融研究院整理

经过几十年发展，目前国内碱性水电解技术成熟度较高，同时没有贵金属作为设备生产原料，因此单价相对较低。相对于碱性水电解，**PEM** 水电解拥有效率高、无碱液、体积小、安全可靠、动态响应好等优点，但由于质子交换膜等核心零部件仍依赖进口，其成本仍是 **ALK** 的约 **5** 至 **6** 倍，国内尚未实现大功率规模化应用。当前国内可再生能源制氢示范应用项目及主流企业核心产品仍基本以碱性电解槽为主。

图表9: 国产 PEM 制氢系统

图表10: 国产碱性电解水制氢系统



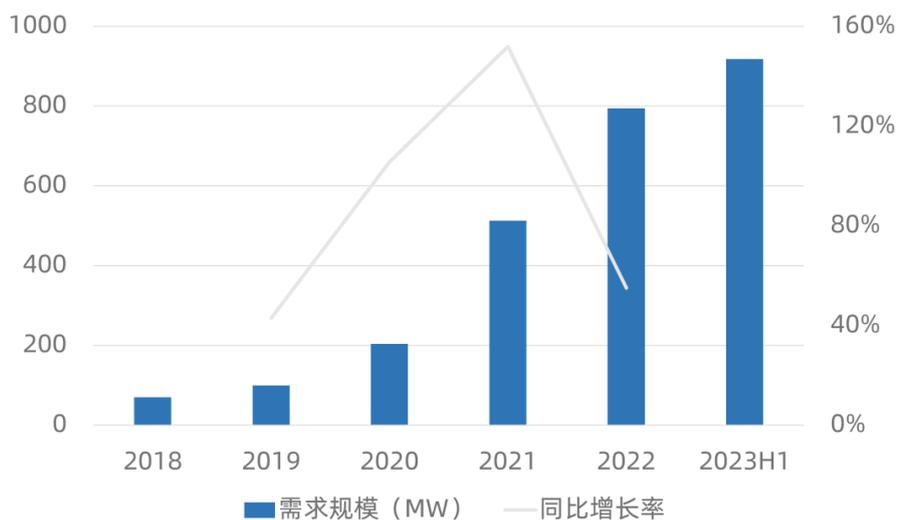
资料来源：国氢科技，长城证券产业金融研究院

资料来源：派瑞氢能，长城证券产业金融研究院

专题 1 国内碱性电解制氢项目规模化趋势明显

根据氢促会等协会及媒体发布的行业数据，2021 年中国电解水制氢设备市场规模超过 9 亿元人民币，出货量超过 350MW，2022 年估计全年中国碱性电解水制氢设备的出货量约 780MW，电解槽总出货量在 800MW 左右，在 2021 年基础上实现翻番。据能景氢研统计，我国制氢电解槽需求规模从 2018 年至 2022 年的年复合增长率高达 63%，2023 年上半年电解槽需求达到了约 920MW，招标量再创新高，已超过 2022 年全年招标量。

图表 11: 2018-2023H1 中国电解槽总需求情况



资料来源：能景氢研，长城证券产业金融研究院整理

电解制氢设备需求高速增长的背后，是一系列以中国石化新疆库车绿氢示范项目为代表的绿电制氢项目先后规划和开工建设。于此同时，市场的规模化需求也促使水电解制氢设备不断往大型化发展。短短几年间，碱性电解水制氢设备就从单台制氢能力 500Nm³/h 发展到 1000Nm³/h，2022 年多个厂家先后发布了 1300、1500 乃至 2000Nm³/h 的碱性制氢设备，规模化发展趋势明显。

专题 2 国内部分兆瓦级 PEM 电解制氢项目

图表 12: 国内部分兆瓦级 PEM 电解制氢项目

	项目名称	业主	规模	项目状态	项目地点
长春绿动	国电投大安风光制氢绿氢合成氨一体化示范项目	吉电股份	1000Nm ³ /h (约 50MW)	已招标	吉林大安
	吉电股份中韩示范区项目	吉电股份	400Nm ³ /h (约 2MW)	已建成	吉林长春
	国电投白城兆瓦级 PEM 电解制氢系统装备项目	吉电股份	200Nm ³ /h (约 1MW)	已建成	吉林白城
康明斯恩泽	三峡乌兰察布“源网荷储一体化”关键技术研究及示范“制储运加”氢能综合示范项目	三峡新能源	500Nm ³ /h (约 2.5MW)	已建成	内蒙古乌兰察布
	中石化中原油田兆瓦级可再生电力电解水制氢示范项目	中石化	500Nm ³ /h (约 2.5MW)	已建成	河南濮阳
阳光氢能	宁夏京能宁东发电有限责任公司	宁夏京能宁东发电有限责任公司	200Nm ³ /h (约 1MW)	已建成	宁夏灵武
	长江电力“中国三峡绿电绿氢示范站”科研示范项目	长江电力	200Nm ³ /h (约 1MW)	已建成	湖北宜昌
	国网安徽公司“兆瓦级制氢综合利用关键技术与示范”项目	国网安徽公司	200Nm ³ /h (约 1MW)	已建成	安徽六安
中国石化中科院	青海华电德令哈西出口 500 万千瓦光氢储一体化示范基地一期	中国华电集团有限公司青海分公司	600Nm ³ /h (约 3MW)	已建成	青海德令哈
	燕山石化国产化兆瓦级质子交换膜 (PEM) 电解水制氢装置	燕山石化	200Nm ³ /h (约 1MW)	已建成	北京

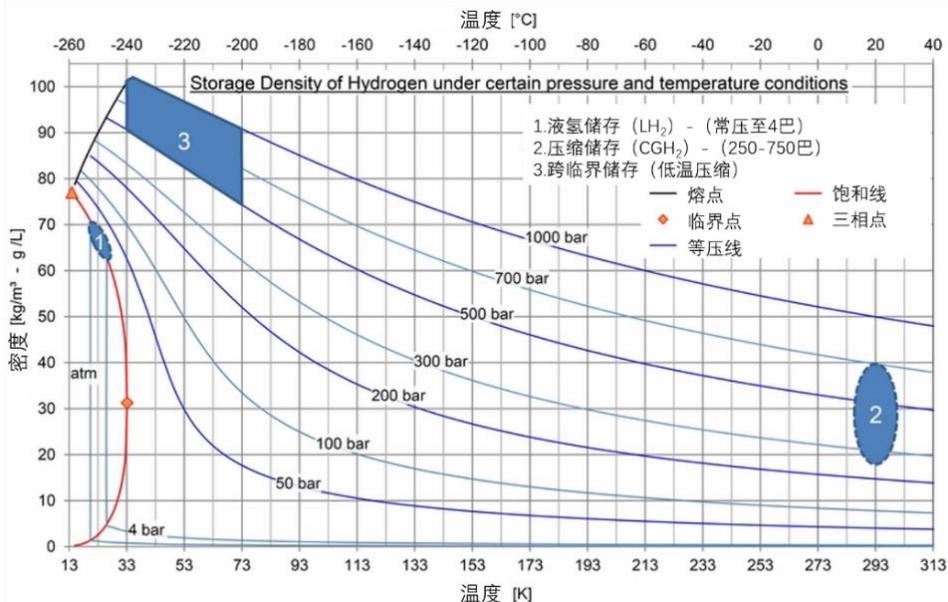
资料来源: 索比氢能, 长城证券产业金融研究院

2.2 储运效率仍是瓶颈

氢的储运技术主要包括高压气态储运、低温液态储运、管道输送、有机液体储运和金属氢化物储运等, 可分为物理储运方式和化学储运方式两种路径。高压气态储运、低温液态储运、管道输送, 储运过程未发生化学反应过程, 为物理储运方式。而氨及甲醇储运、有机液体储运和金属氢化物储运在储存运输中需要通过化学反应将氢气转化为其他化合物进行运输, 为化学储运方式。

物理储氢方式和目前天然气的主要储运轮廓类似, 主要有长管拖车运输、液氢运输及管道运输三种。这是由于两者同样作为可燃气体, 从下图中可以看到, 提高其密度的两种思路是提高压力或者降低温度。然而, 氢气的密度很低, 在标准状态下仅有 0.0899 kg/m³, 仅有天然气的约 1/8, 即使将氢气压缩至 20MPa 密度也仅有 14.5kg/m³, 在-253℃的低温下转变为液体后密度也只有 70kg/m³, 导致氢的储存、液化和运输成本远高于天然气。

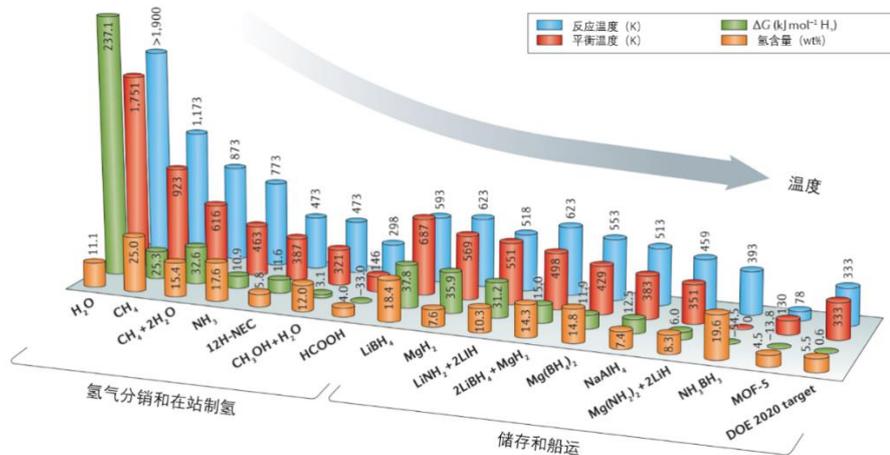
图表 13: 氢在不同温度压力下的密度



资料来源: *Hydrogen and methane testing field at the ILK*, 长城证券产业金融研究院整理

而以氨、甲醇、有机液体及金属氢化物等储氢载体化合物，储运过程必须要经过载体的转化和逆转化过程。下图给出了不同化合物的总重量氢含量、在环境条件下产生或释放氢气的吉布斯自由能变化 (ΔG)、在 1 个大气压下平衡氢可以释放的温度（称为热力学温度）以及实际或实验施加以产生或解吸氢气的温度（称为动力学温度）的值。从图中可以看到，转化反应温度和储氢密度，是限制储氢材料发展的主要因素。当前绿氢除向氨、甲醇等载体的转化及储运技术较为完善外，大部分储氢材料仍处于实验室研发或示范应用的阶段。

图表 14: 代表性储氢材料的特性



资料来源: *Teng He 等《Hydrogen carriers》*, 长城证券产业金融研究院整理

综合来看，在当前技术水平下，若想实现绿氢的大规模低成本运输，只有采用管道输送较为可行。

专题 3 我国管道输氢现状

根据蒋庆梅等人在《国内外氢气长输管道发展现状及分析》中的研究，国内已建成氢气输送管道总里程超过 100km。其中 2015 年建成的济源-洛阳氢气管道总里程 25km，设计压力 4.0MPa，管径 D508mm，设计输量 10 万吨，钢管材质为 L245 钢管，是目前已建管径最大、压力最高、输量最高的氢气管道；巴陵-长岭氢气提纯及输送管线 2014 年建成，总里程 42km，设计压力 4.0MPa，最大管径 D457mm，年内部讨论资料，严禁非

授权使用 3 输量 4.4 万吨;金陵-扬子氢气管道总里程超过 32km,最大年输量达 4 万吨,设计压力 4.0MPa,管径 D325mm,钢管材质为 20#石油裂化钢管。

刘自亮等在《氢气管道与天然气管道的对比分析研究》中指出,国内关于氢气管道的标准有 GB/T34542《氢气储存输送系统》、GB50177《氢气站设计规范》、GB4962《氢气使用安全技术规程》等,其中 GB50177 适用于加氢站及厂区内部的氢气管道设计,GB4962 适用于氢气生产后地面作业场所,两项标准均不适用氢气长输管道;GB/T34542 适用于工作压力不大于 140MPa,环境温度不低于-40℃且不高 于 65℃的氢气储存系统、氢气输送系统、氢气压缩系统、氢气充装系统及其组合系统。GB/T34542《氢气存储输送系统》系列标准中共包含 8 个部分,其中的第 1、第 2 和第 3 部分已经发布实施。

中国标协标准《氢气输送管道完整性管理规范》中提到,国外氢气输送管道总里程超过 2600 公里,其中美国输氢管道规模最大,仅在墨西哥湾沿岸就建有全球最大的氢气供应管网,全长超过 900 公里,连接 22 个化工企业,输氢量达到 150 万 Nm³/h。欧洲也已建成超过 1500 公里的输氢管道,管道运行压力一般在 5.0MPa 以下,管径从 D100mm 到 D500mm 不等。

2.3 氢能应用前景广泛,工业应用是重要方向

氢能在交通、工业、建筑和电力等诸多领域均有广阔应用前景。

在交通领域,公路长途运输、铁路、航空及航运将绿氢及绿氢合成的氨与甲醇视为减少碳排放的重要燃料之一。

工业领域是目前我国氢能应用占比最大的领域,也是未来绿氢发展的重要方向。氢能除了具有能源燃料属性外,还是重要的工业原料。氢气可代替焦炭和天然气作为还原剂,可以消除炼铁和炼钢过程中的绝大部分碳排放。利用可再生能源电力电解水制氢,然后合成氨、甲醇等化工产品,有利于化工领域大幅度降碳减排。

建筑领域需要消耗大量的电能和热能,已与交通领域、工业领域并列为我国三大“耗能大户”。跟据光明日报,利用氢燃料电池纯发电效率仅约为 50%,而通过热电联产方式的综合效率可达 85%——氢燃料电池在为建筑发电的同时,余热可回收用于供暖和热水。氢在碳中和后期,还可以作为天然气在烹饪、供热等民用领域的绿色替代。

在电力领域,因可再生能源具有不稳定性,氢能可成为一种新型的储能形式。在用电低谷期,利用富余的可再生能源电力电解水制取氢气,可以节省大量储能系统投资,同时实现了可再生能源的有效消纳利用。

此外,从清洁低碳角度看,虽然大规模电气化是我国多个领域实现降碳的有力抓手,仍有部分行业是难以通过直接电气化实现降碳的,最为困难的行业包括钢铁、化工、公路运输、航运和航空等。氢能具有能源燃料和工业原料双重属性,可以在上述难以深度脱碳的领域发挥重要作用,作为电气化脱碳的有效补充。

2.4 经济性仍是规模化应用的最终裁判员

作为交通能源的氢能源,利用燃料电池作为供能的方式。与汽油机、柴油机等其他的常规能源利用形式相比,是否具有能源价格上得经济性是到未来氢能发展得关键技术经济指标。燃料电池可以达到 45%~50%的燃料效率,以及与动力电池组合的混动模式的动力总成,使得氢能源车与常规燃料汽车相比,有比较明显的能效优势。

图表 15: 不同能源车辆能耗及使用成本对比

	氢轿车	柴油车	汽油车	混合动力	电动车	
燃料消耗						丰田 Mirai, 美国环保部评估综合工况能耗;
	kg H ₂	L 柴油	L 汽油	L 汽油	kWh 电力	
燃料零售单价/元	60.00	8.04	8.31	8.31	1.20	本田 Clarity, 美国环保部评估综合工况能耗;
燃料消耗/(L 每百公里)	—	6.00	7.70	4.50	15.9	丰田凯美瑞, 工信部公布综合油耗;
燃料消耗/(kg 每百公里)	1.00	5.04	5.66	3.30	—	比亚迪宋 PLUS, 工信部公布综合油耗;
单位费用/(元 每百公里)	60.00	48.24	63.99	37.4	19.08	比亚迪宋 PLUS, 工信部综合工况油耗, 纯电动工况;

资料来源: 黄宣旭等《中国规模化氢能供应链的经济性分析》, 工信部, 长城证券产业金融研究院

氢气如果作为战略能源, 则需要在能源最终价格上有经济性, 这样才能够摆脱持续的补贴, 成为可以市场运作的能源形式。氢能可以是直接获得的一次能源, 也是可以直接消费的二次能源。因此, 我们能源当量价格比较时, 将氢能价格与二次能源价格进行纵向与横向的对比, 以分析其经济性条件。下表列出了一些二次能源的热值, 根据当前市场价格, 便可计算出每 MJ 热值的燃料价格。

从表中可以看到, 市场上的氢气价格远高于同热值的天然气和汽油, 这是由于氢气供应链的成本远高于车用汽油和天然气。目前国内 20MPa 高压气氢的供应链, 100km 距离的运输成本约 6-8 元/kg; 作为能源氢, 在加氢站得分销成本大约 10-15 元/kg, 两者合计可达 15-25 元/kg, 大幅抬高了氢的终端使用成本。

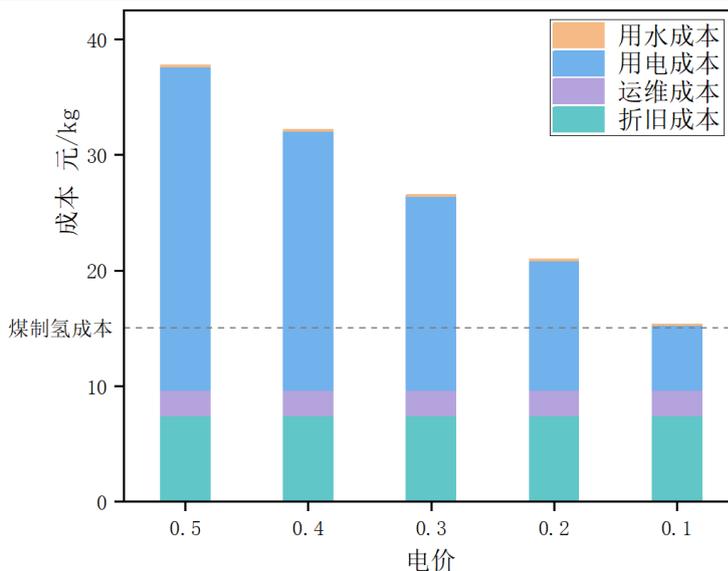
图表 16: 不同能源车辆能耗及使用成本对比

燃料种类	甲醇	LNG	CNG	压缩氢气	汽油	柴油	锂离子 电池
热值 (MJ/kg)	19.9	48.6	48.6	120	43.4	42.8	0.4-1
终端价格 (元/kg)	2.0-4.0	4.5-8.4	5.3-6	50-60	6.0-9.5	5.5-8.5	1-1.5 元/kWh
单位热值价格 (元/MJ)	0.1-0.2	0.09-0.17	0.11-0.12	0.4-0.5	0.14-0.22	0.13-0.20	0.28-0.42

资料来源: IRENA《创新展望 可再生甲醇》, 长城证券产业金融研究院

而在生产环节, 影响绿氢制取成本的主要因素, 还是是电费。在年制氢 2000 小时, 工业用电价格为 0.5 元/kwh; 水费为 5 元/t 的情况下, 用电成本占据制氢总成本的 88%。降低电解制氢用低成本仍是绿氢发展的重要目标。

图表17: 制氢成本电价敏感性分析



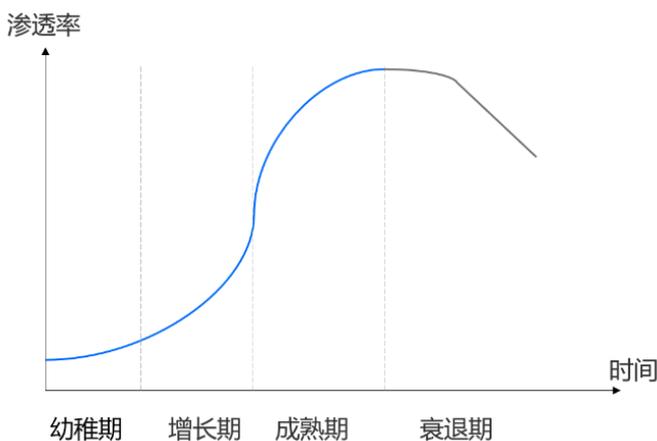
资料来源: 长城证券产业金融研究院整理

3.我国氢能潜在需求预测

本节通过构建模型对需求侧氢能市场规模进行预测,按照氢能的应用领域,本节分别从工业领域、交通领域、能源领域三个方面展开预测。预测的时间区间为2023年至2050年。在模型中,我们会按新技术渗透的S型曲线预测绿氢的渗透率。

S型曲线:是指每一种或每一类技术处于导入期时技术进步比较缓慢,一旦进入成长期就会呈现指数型增长,随着技术进入成熟期就走向曲线顶端,会出现增长率放缓、动力缺乏的问题。而这个时候,会有新的技术在下方蓬勃发展,新技术的影响力会逐渐增强,形成新的S型曲线并最终超越传统技术。因此,新旧技术的转换更迭共同推动技术不断进步。

图表18: 新技术的S型增长曲线



资料来源: 长城证券产业金融研究院整理

3.1 工业应用

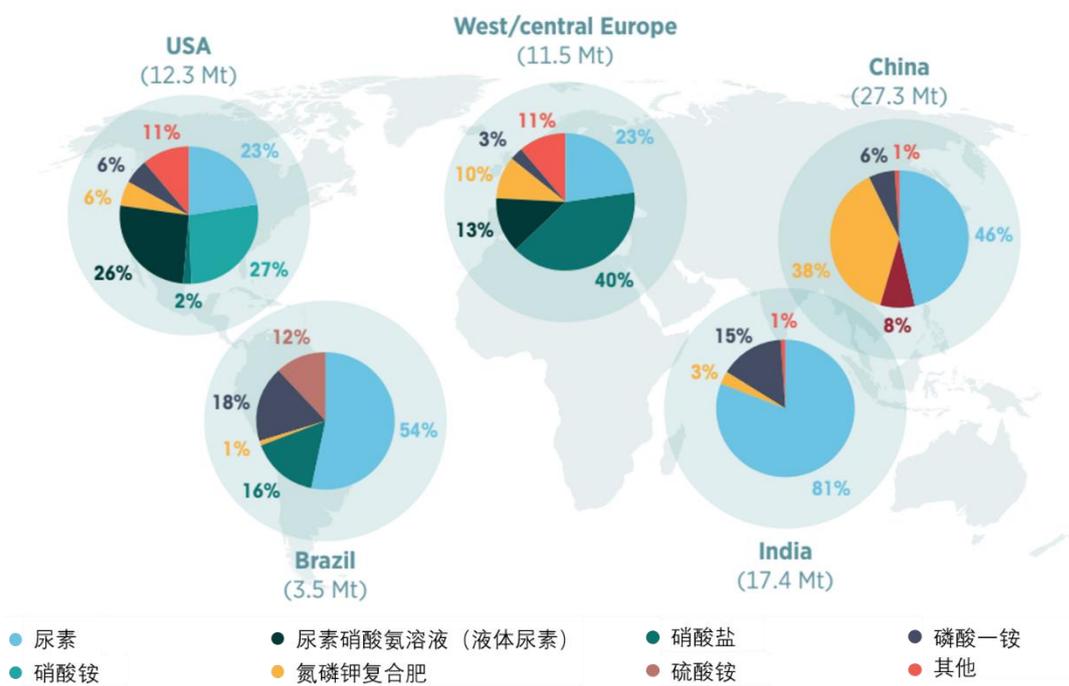
绿氢未来在工业领域的应用场景,主要包括氢冶金、合成氨、合成甲醇及石油炼化等领

域。除氢冶金外，均为现有氢工业应用的绿色替代。

3.1.1 合成氨

氨是一种基本的工业化学品，是最便宜的化合氮形式，并且是 75% 以上含氮产品中使用的原料。氨主要用于生产肥料，如尿素和硝酸铵。氨是一种具有特殊刺激性气味的无色气体，主要通过纯氮气和氢气在适当催化剂存在下在压力下进行高温反应而产生。通过该过程生产的氨被称为合成氨。氨也是煤焦化过程中的副产品，但这种氨被称为副产品氨，其产量远低于合成氨。合成氨用途较为广泛，除用于生产氮肥和复合肥料以外，还是无机和有机化学工业的重要基础原料。根据 IRENA，全球每年生产约 1.83 亿吨氨，几乎所有氨都来自化石燃料：天然气（72%），煤炭（22%），石脑油和重质燃料油。氨整个生命周期的二氧化碳排放量每年达 5 亿吨，约占化工行业总排放量的 15-20%，占全球温室气体排放量的 1%。化石基氨生产的大量二氧化碳储存在尿素肥料的现场生产中（每吨氨原料约对应 1.3 吨 CO₂）。当肥料在田间施用，这种 CO₂ 会释放出来。

图表 19: 氨在全球的应用

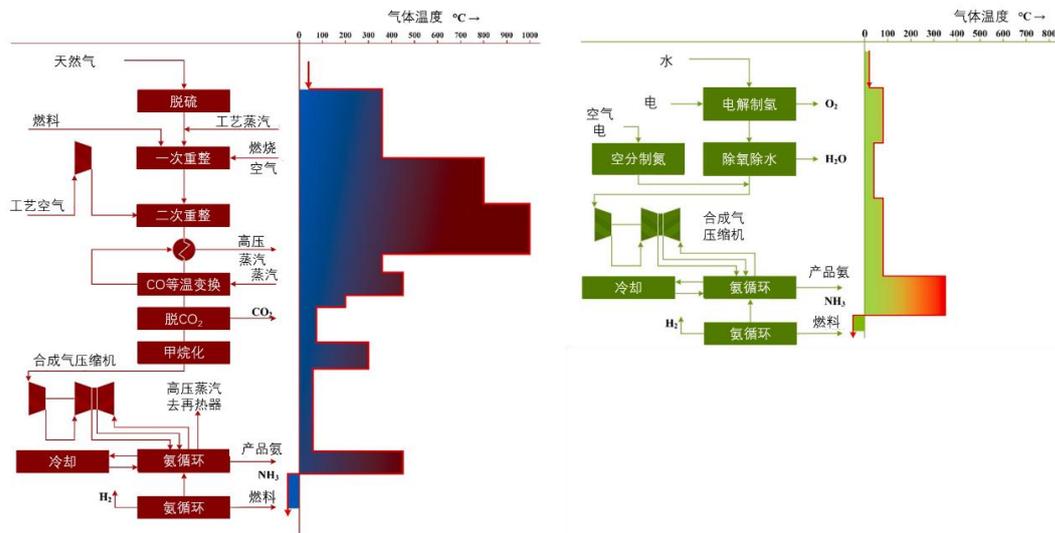


资料来源: IRENA 《Innovation Outlook Ammonia 2022》，长城证券产业金融研究院整理

不同原料的合成氨工艺路线略有差异，但目前主流的合成氨工艺均基于 Haber Bosch 工艺，即氮气和氢气在高温高压和铁基催化剂存在下直接合成氨，化学反应式为 $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ 。除制氢原料不同外，大部分合成氨工艺都主要包括原料气制备、原料气净化、CO 变换、氨合成、尾气回收等工序。其能耗主要由原料气消耗、燃料气消耗、煤炭消耗、蒸汽消耗和电力消耗组成。在全球降碳减排的大背景下，绿氢替代成为合成氨行业的主流趋势。电解水制氢合成氨系统技术途径包括间接合成路线和直接合成路线两大类。直接合成路线受限于反应速率低、器件不成熟等技术障碍，难以大规模工业化生产。目前，被普遍认可的间接合成路线的工业级电解水制氢合成氨系统工艺由电解水制氢工段、压缩缓冲工段、化工合成氨工段串联构成。

近十年来氨化肥需求在粮食需求增长的推动下一直在稳步上升。IRENA 预测在全球升温 1.5℃ 情景中，主要未来氨的需求增长主要来自船舶动力的零碳替代。其预计氨到 2050 年将有 19700 万吨的新需求，以及氨作为氢载体的国际贸易，到 2050 年将有 12700 万吨的新需求。

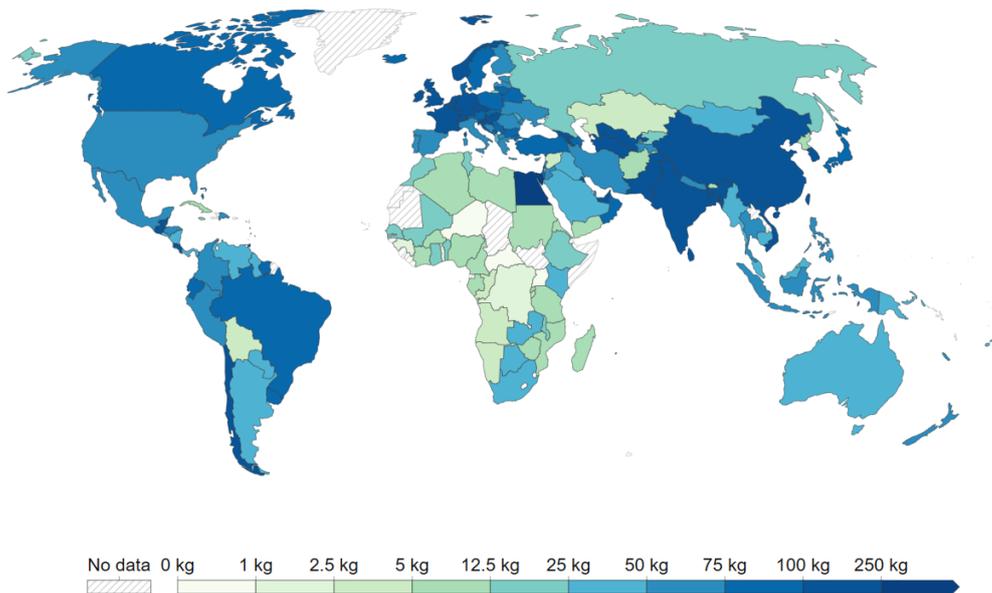
图表 20: 天然气合成氨与绿氨的工艺及温度变化范围对比



资料来源:《Progress in green ammonia production as potential carbon-free fuel》, 长城证券产业金融研究院整理

具体到我国,我国的合成氨下游主要应用为尿素等氮肥生产,每年约有70%的合成氨用于生产各种氮肥。根据中国统计年鉴,2021年我国合成氨产量为5189万吨,氮肥使用量为3797万吨。然而,我国单位耕地的氮肥使用量超过200千克每公顷,大约是发达国家氮肥使用强度的3倍,造成了大量的资源浪费,和土地污染。因此,国家在《“十四五”推进农业农村现代化规划》中也明确指出,要持续推进化肥农药减量增效。因此,随着我国农业技术的发展和推广,和农业从业者知识水平的提高,氮肥使用效率将会逐步提高,氮肥和氮肥用合成氨需求将持续减少。

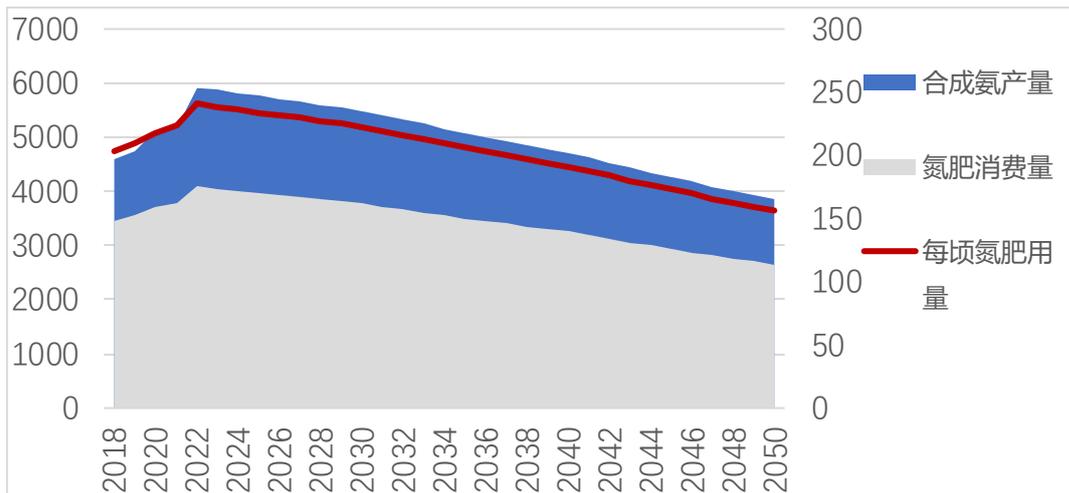
图表21: 全球氮肥用量 单位: kg/公顷



资料来源: Our World in Data, 长城证券产业金融研究院整理

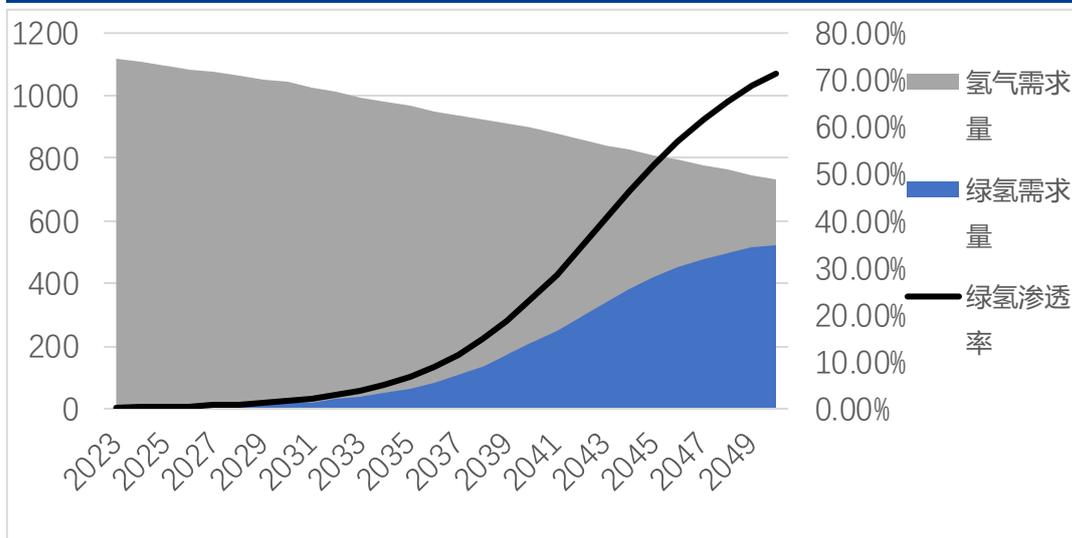
基于以上现状,我们认为未来用于化肥生产的合成氨需求将持续减少,由2023年的5900万吨,在2030年降至约5500万吨,在2050年降至约4800万吨。相应的,绿氢在合成氨工艺中将逐步替代化石燃料制氢,其需求潜力将随着绿氢渗透率的提高,在2030年达到17万吨,在2050年达到520万吨。

图表22: 2023-2050 我国合成氨需求量预测 单位: 万吨 每公顷氮肥用量 kg



资料来源：长城证券产业金融研究院整理

图表 23: 2023-2050 我国合成氨绿氢需求预测 (不含燃料用途) 单位: 万吨



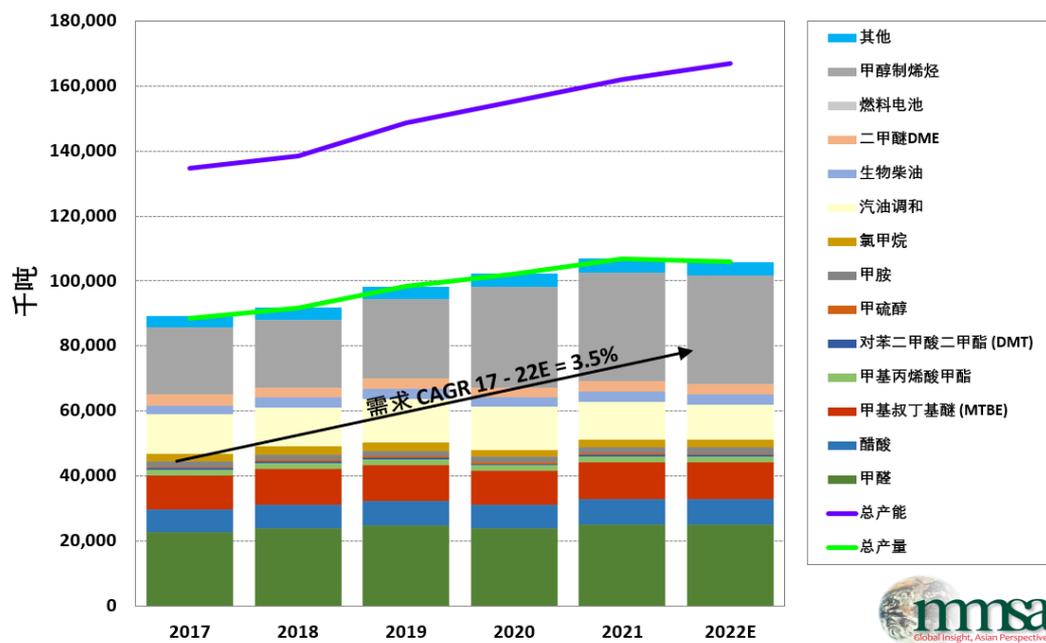
资料来源：长城证券产业金融研究院整理

3.1.2 合成甲醇

甲醇是化学工业中的重要产品，主要用于生产甲醛、乙酸和塑料等其他化学品。根据 IRENA 统计，全球甲醇的年产量约为 9800 万吨，几乎全部由化石燃料（天然气或煤炭）生产。当前甲醇生产和使用生命周期内的二氧化碳排放量约为每年 3 亿吨，约占全球化工行业总排放量的 10%。过去十年，甲醇的产量几乎翻了一番，其中很大一部分来自我国的煤制甲醇。按照当前趋势，如果仅依靠化石燃料生产甲醇，其产量到 2050 年可能会增至 5 亿吨，每年排放 15 亿吨二氧化碳。

甲醇当前几乎完全由化石燃料生产。但是，甲醇也可以由其他含碳原料制成，例如生物质、沼气、废物流和 CO₂（例如从烟道气或通过空气直接碳捕获（DAC）获得的二氧化碳）。可再生甲醇可分为两种：由生物质生产的生物甲醇，以及通过 CCUS 获得的 CO₂ 与绿氢进行生产的绿色甲醇。为了符合可再生能源标准，用于生产甲醇的所有原料和能源都必须来自可再生能源（例如生物质、太阳能、风能、水能、地热能等）。

图表 24: 全球甲醇供给和需求平衡 2017-2022E



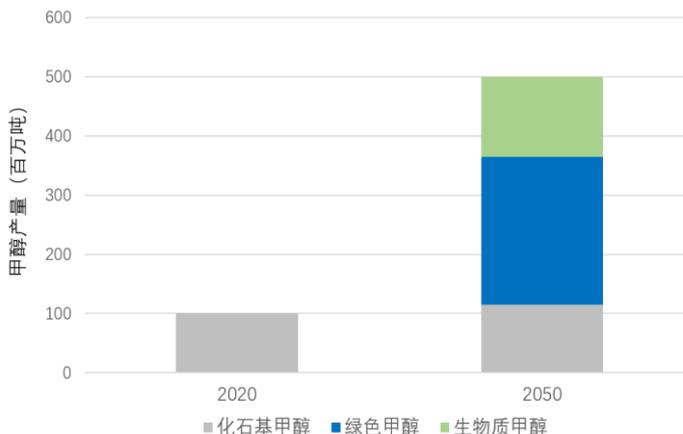
资料来源: MMSA, 长城证券产业金融研究院整理

产自化石燃料或可再生资源的甲醇都具有相同的化学结构, 因此, 原则上, 可再生甲醇可以取代目前任何用途的化石基甲醇, 例如作为生产各种化学品、材料、塑料和产品的原料, 以及作为运输、航运、烹饪、取暖和发电的燃料。此外, 可再生的绿色甲醇可以直接或通过甲醇衍生物取代大多数由化石燃料制成的碳氢化合物和石油化工产品, 形成一个每年数亿吨甚至可能数十亿吨甲醇的潜在市场。

到 2025 年, IRENA 预测全球甲醇年产量将从目前的 1 亿吨增长到 1.2 亿吨, 到 2050 年达到 5 亿吨。到 2028 年, 预计甲醇产能的大部分增长将发生在中国, 更具体地说, 需求主要来自甲醇制烯烃 (MTO), 而汽油调和产品、甲醛、醋酸和甲基叔丁基醚 (MTBE) 的需求量较小。因此, 化工部门将继续在甲醇需求不断增长的大环境下发挥重要作用。然而, 展望未来, 甲醇产量的增加将逐步转向再生甲醇。预计到 2050 年, 每年将生产 2.5 亿吨绿色甲醇和 1.35 亿吨生物甲醇。IRENA 认为这是一条雄心勃勃而又切合实际的转型之路, 它建立在可再生能源和稳步提高能源效率的基础之上。

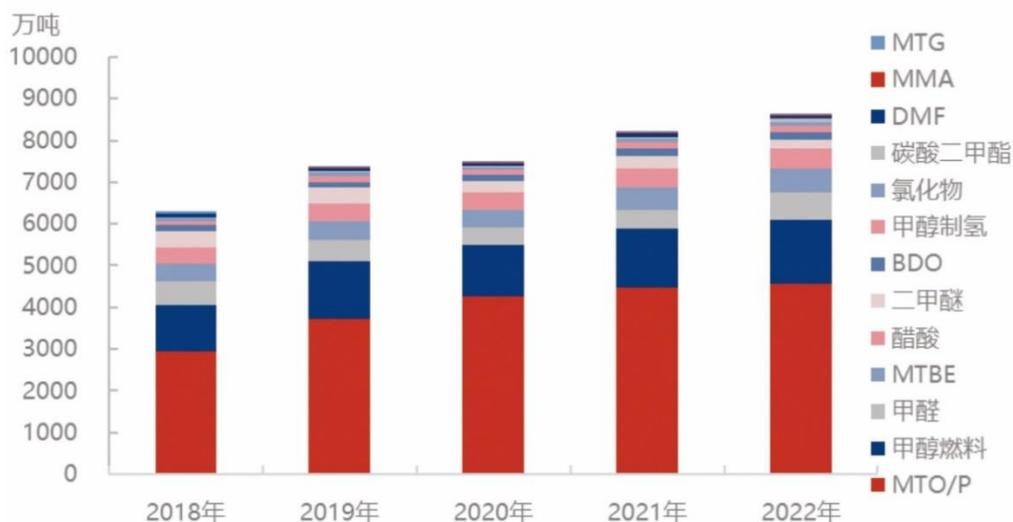
具体到我国, 据隆众资讯监测显示, 截至 2022 年底, 我国甲醇总产能达到 9947 万吨, 规模在 50 万吨/年及以上的产能占比超七成。我国 2022 年全年甲醇产量超 8100 万吨, 产能利用率超八成, 进口量稳步增加到 1220 万吨左右, 出口量比前年同期减少约 18 万吨, 表观消费量首次超过 9300 万吨, 但比前年同期增速有所放缓。

图表 25: IRENA 对未来全球甲醇需求的预测



资料来源: IRENA 《创新展望 可再生甲醇》, 长城证券产业金融研究院整理

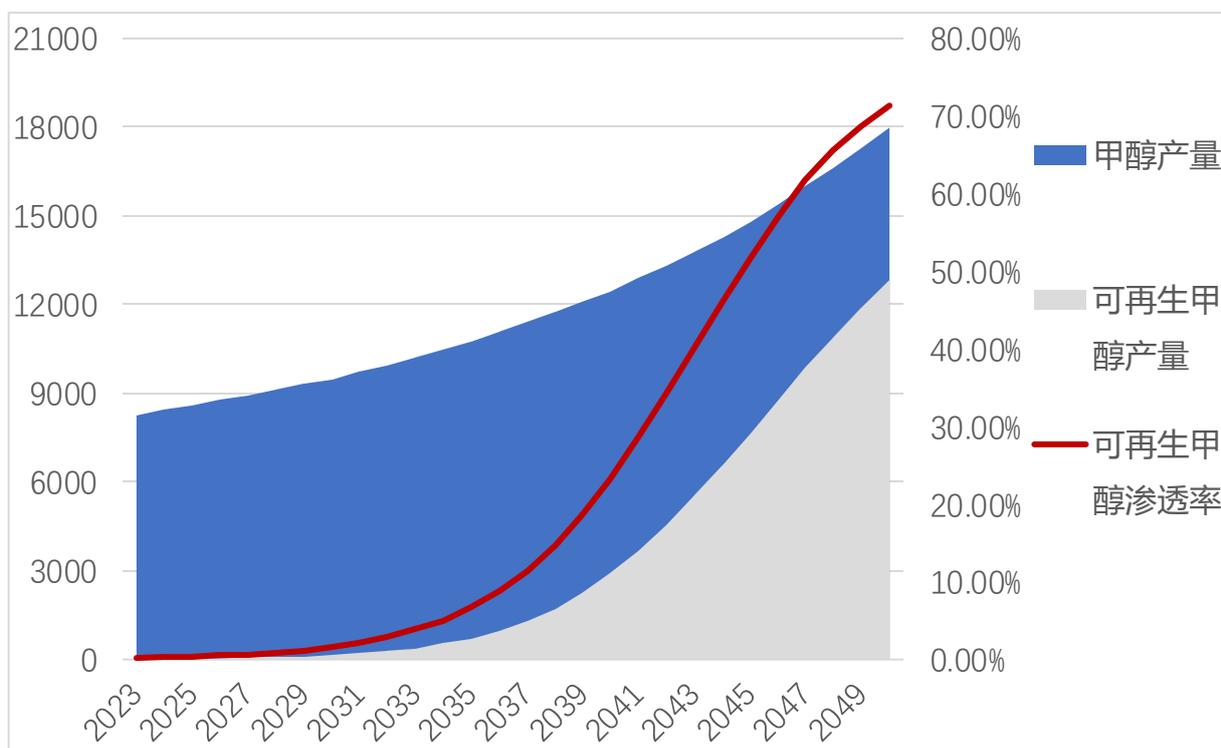
图表26: 我国甲醇消费格局



资料来源: 中国石化杂志《2023年我国甲醇总产能有望破亿吨》, 长城证券产业金融研究院整理

由于甲醇是多种化工产品的前驱体, 随着我国经济发展和人民生活水平的提高, 我们认为我国甲醇需求将持续增长。但当前我国甲醇需求全球占比 60% 以上的现状难以持续, 预计到 2050 年, 我国甲醇需求占比将逐步下降至全球 40%。基于上述现状及假设, 我们预测我国甲醇产量在到 2030 年将达到 9500 万吨至 1 亿吨, 到 2050 年达到 1.8 亿吨。考虑到粮食对于我国的重要战略意义, 未来我国生物质甲醇产能潜力有限, 远期甲醇需求将主要由绿色甲醇提供。至 2030 年绿色甲醇需求约 84 万吨, 相应绿氢需求约 13 万吨; 至 2050 年绿色甲醇需求约 1 亿吨, 相应绿氢需求 1550 万吨。

图表27: 2023-2050年我国甲醇总产量及可再生甲醇产量预测

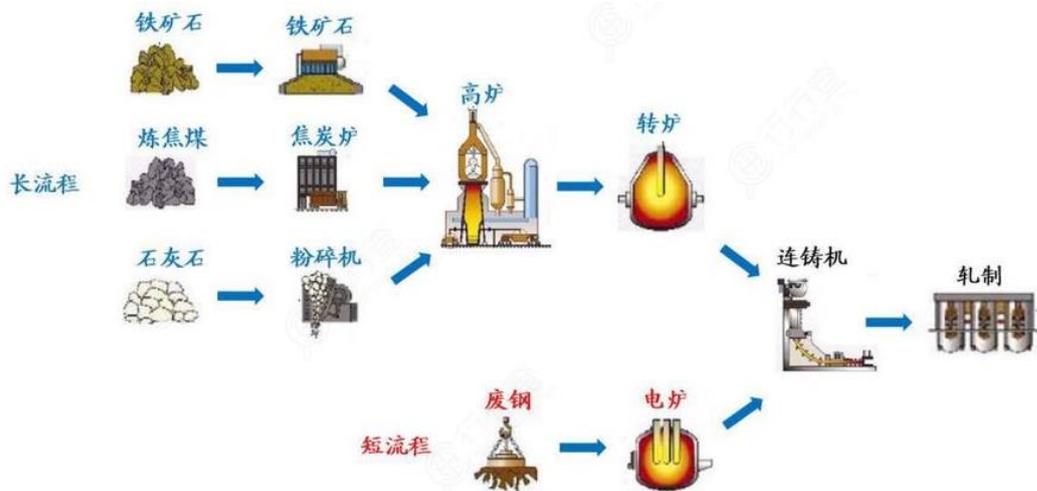


资料来源: 长城证券产业金融研究院整理

3.1.3 绿氢冶金

根据国家能源局，钢铁产业是我国 31 个制造业门类中碳排放量最大的行业，约占到总排放量的 15%。因此，钢铁产业的降碳工作对于我国顺利实现碳达峰、碳中和目标将产生重要影响。从产量上看，中国粗钢产量大，而且依然在保持增长。2020 年，中国粗钢产量 10.53 亿吨，同比增长 5.2%，占全球粗钢产量一半以上。而降低粗钢产量是最简单直接的减碳手段。

图表 28: 钢铁冶炼工艺的长短流程



资料来源: 冶控集团, 长城证券产业金融研究院整理

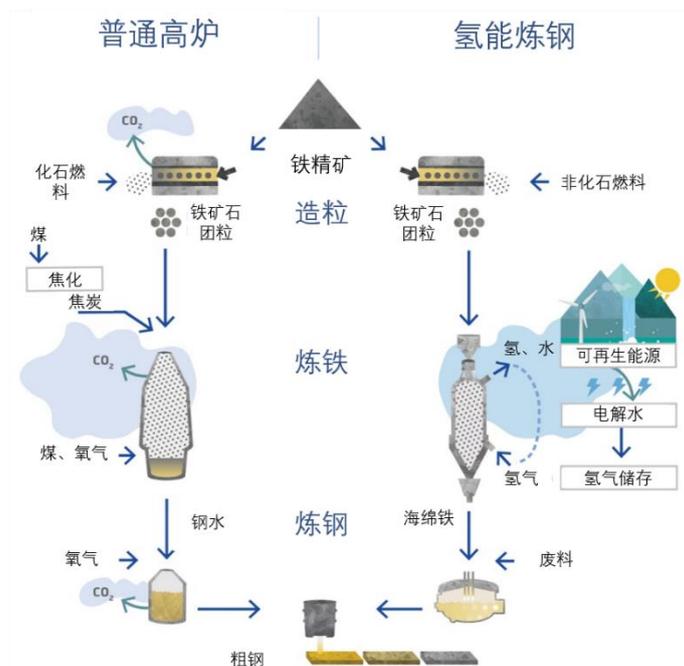
钢铁冶炼工艺流程主要分为两种:

长流程炼钢流程: 炼焦(焦炭) + 高炉烧结(铁矿石) → 高炉 → 铁水 → 转炉 → 出钢浇筑

短流程炼钢流程: 补炉 → 装废钢料 → 熔化 → 氧化 → 还原 → 出钢

从冶炼方式来看, 根据 MySteel 统计, 国内钢铁冶炼以长流程占主导, 能源以煤为主, 短流程炼钢仅占 10%, 而美国短流程炼钢比例能达到 70%, 这导致我国吨钢碳排放处于较高水平。当前长流程炼钢的技术已经接近热力学极限, 其碳排放已经接近技术最小值。因此, 如果不调整长短流程炼钢的比例, 或者没有颠覆性技术出现, 就很难大幅降低碳排放。相比世界其他国家, 我国电炉钢比例低, MySteel 数据显示, 以 2021 年为例, 中国电炉钢比为 10.7%, 世界各国平均电炉钢比为 26.3%。结合我国碳达峰碳中和的任务来看, 未来高炉-转炉置换电炉以及高炉配置转炉依旧是钢厂炼钢的重要发展方向。

图表 29: 绿氢冶金与传统高炉工艺对比



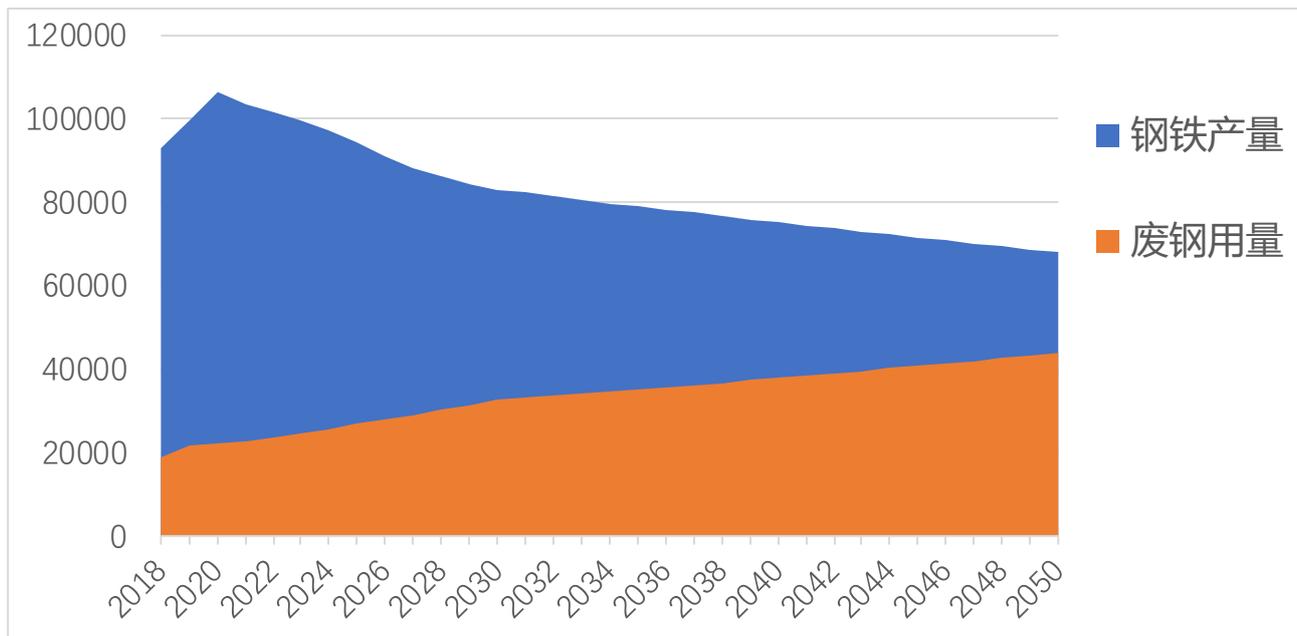
资料来源: HYBRIT, 长城证券产业金融研究院整理

而绿氢冶金的应用场景，则是在长流程炼钢，即由铁矿石冶炼钢铁的高炉炼钢过程。右图展示了传统高炉炼钢与氢能炼钢的工艺流程。通过绿氢直接还原铁矿石，替代焦炭，加上绿电的使用，可以将生产每吨粗钢约 2 吨的二氧化碳排放，降至接近零。

2022 年工业和信息化部、发展改革委、生态环境部发布的《三部委关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》中明确，到 2025 年要实现以下目标：氢冶金、低碳冶金、洁净钢冶炼、薄带铸轧、无头轧制等先进工艺技术取得突破进展。钢铁工业利用废钢资源量达到 3 亿吨以上，电炉钢产量占粗钢总产量比例提升至 15% 以上。因此，未来随着我国工业化进程不断加快，钢铁积蓄量也在持续上升，折旧废钢不断增加。我国废钢资源量总体呈现增长。

基于以上钢铁产业发展的趋势，和我国产业发展趋势，我们对我国未来钢铁常量做出了如下图所示的初步预测。总的来看，随着我国城市化率的持续提高，钢铁需求将持续缩减，预计至 2030 年由当前的 9.8 亿吨，下降至 8-8.5 亿吨，至 2050 年下降至 6 至 6.3 亿吨。同时，钢铁生产中废钢短流程的占比逐渐提高，在 2050 年增长至约 4 亿吨。而剩余长流程炼钢工艺，则是绿氢冶金的应用场景。

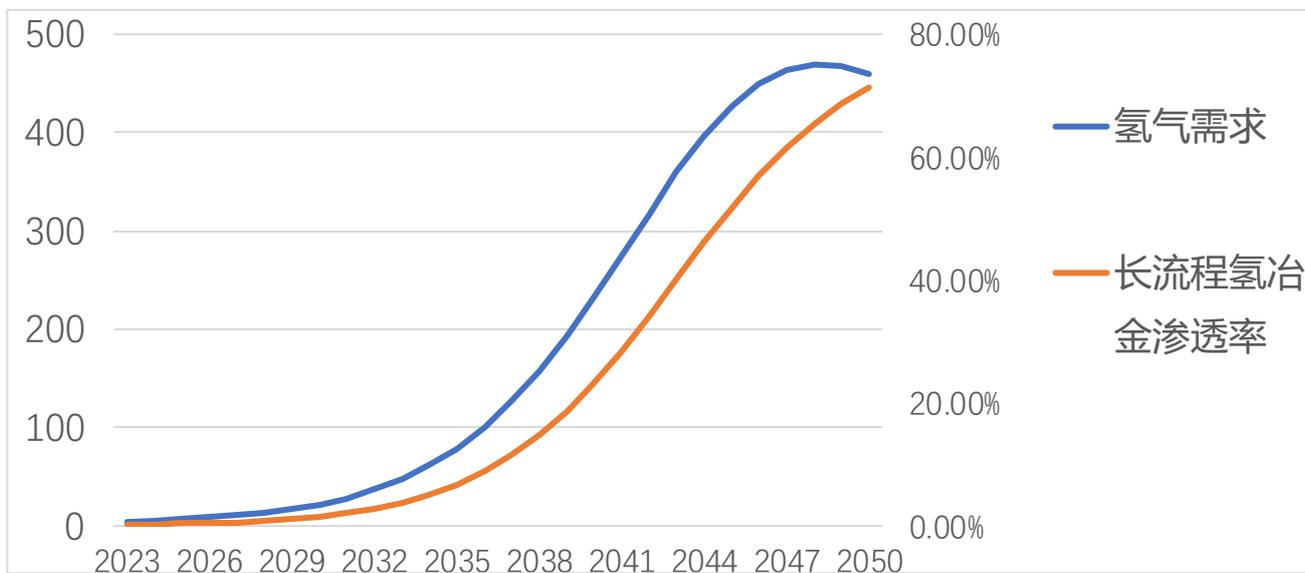
图表 30: 2023-2050 我国未来钢铁产量预测 单位: 万吨



资料来源: 长城证券产业金融研究院

考虑新技术应用的 S 型渗透率曲线, 钢铁行业氢气需求将有如下图的潜力, 即在 2030 年产生 22 万吨绿氢需求, 在 2050 年产生 460 万吨绿氢需求。

图表 31: 2023-2050 我国钢铁绿氢需求潜力及渗透率假设 单位: 万吨



资料来源: 长城证券产业金融研究院

3.1.4 石油炼化

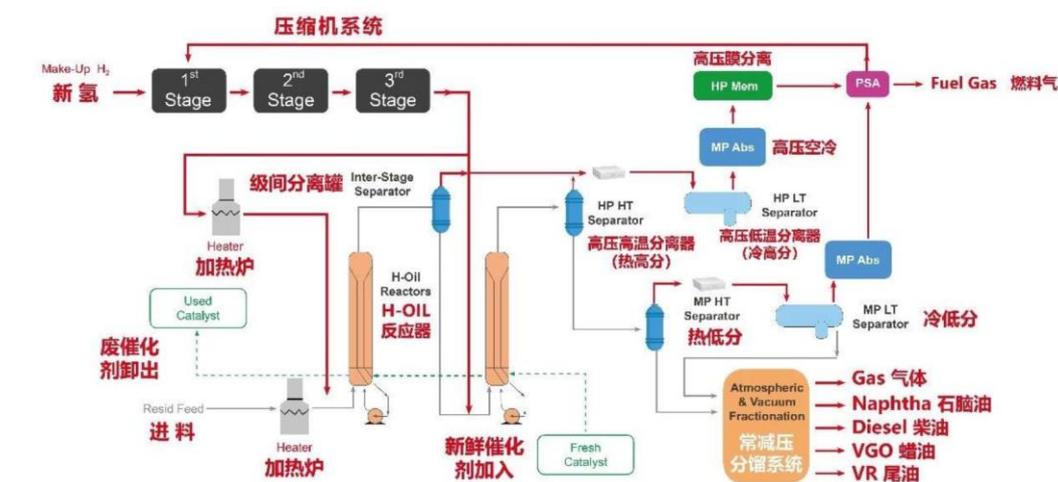
根据中国石化报, 2010 年至今, 我国炼油能力增长 50% 以上, 2021 年达到 9.1 亿吨/年。随着炼油能力不断攀升, 结构性产能过剩问题愈加突出: 一是全国炼油厂开工率比较低, 虽然从 2015 年的 66% 增长为 2021 年的 78% 左右, 但距发达国家 90% 左右的水平还有一定差距; 二是炼油规模偏小, 全国平均炼油规模为 458 万吨/年, 远低于世界平均水平 812 万吨/年; 三是成品油和基础化工品过剩, 但高端化工品严重短缺。在解决结构性产能过剩、高端化工品生产能力不足问题的过程中, 需统筹考虑低碳发展需求。当前, 我国每年在石油炼制与基础化学品生产过程中的碳排放量近 6 亿吨, 占全国碳排放

总量近 6%，碳减排对于炼油行业来说是一项现实且紧迫的任务。

另一方面，世界范围内原油资源正在逐步趋于重质化，目前增产的石油主要是重质原油及重质合成油。炼油企业正面临着原料重质化和劣质化，产品轻质和清洁化，炼制过程清洁化和低碳化的压力。提升重油转化加工水平，对重油进行高效深度转化是炼油企业提升竞争力的关键。当下，用氢成本已成为炼化企业仅次于原油的第二大成本要素，然而，当前石油炼化的制氢装置均采用化石燃料制氢，其成本高昂、能耗巨大，且碳排放量大。因此，石油炼化的绿氢替代，是石油炼化行业脱碳增效的必由之路。

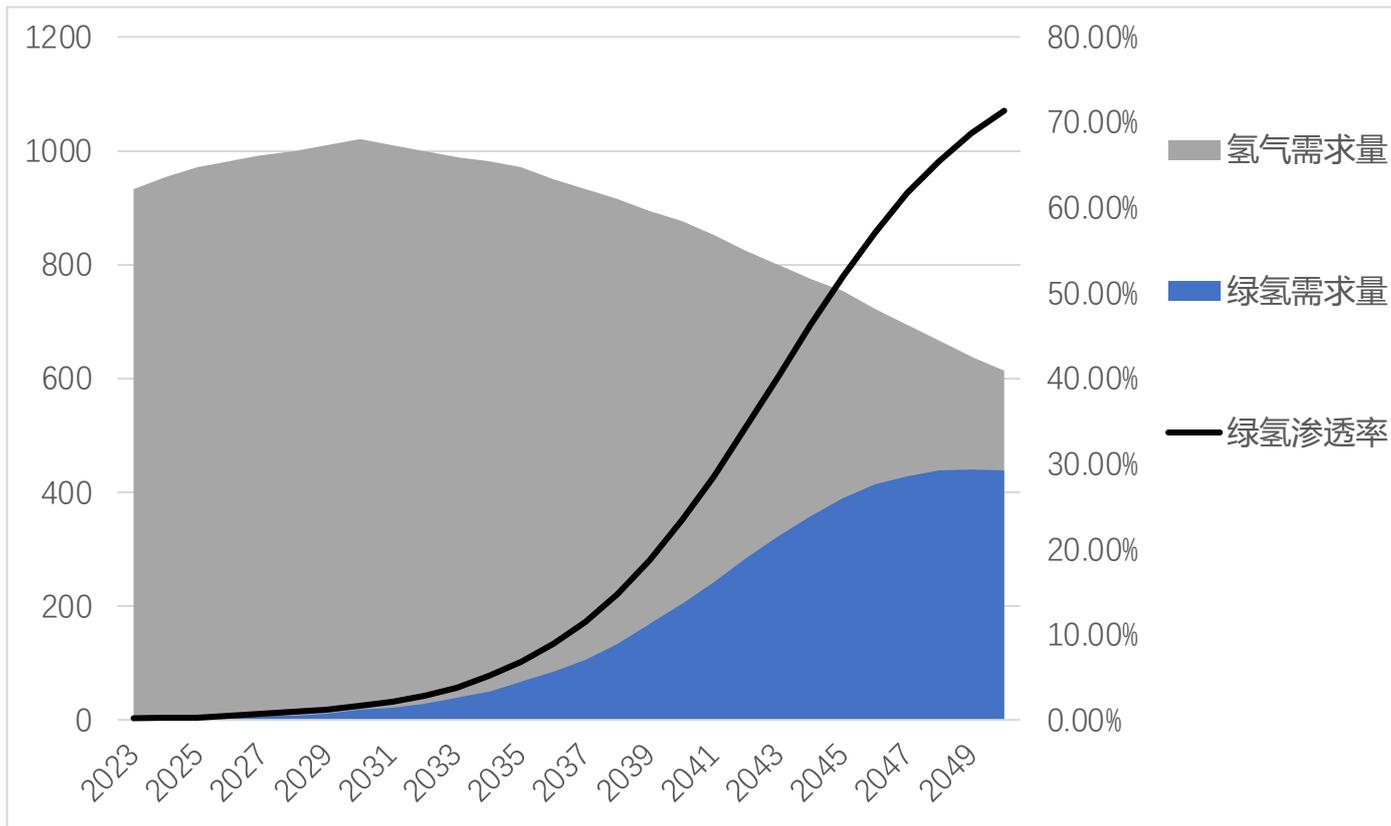
根据国家统计局数据，2020 年，我国炼油产量 3.3 亿吨，炼油用氢 820 万吨，平均炼油用氢量约为 2.5%。随着双碳战略的推进，我们预测我国成品油需求将在 2030 年达峰约 4 亿吨后逐步减少，在 2030 年降低至约 2.5 亿吨。而石油炼化的绿氢需求将随着绿氢对化石燃料制氢的替代快速增长，到 2030 年达到约 16 万吨，到 2050 年达到约 440 万吨。

图表 32: 渣油加氢工艺流程



资料来源：《沸腾床渣油加氢技术及设备介绍》，长城证券产业金融研究院

图表 33: 2023-2050 我国炼化行业绿氢需求潜力及渗透率假设 单位：万吨



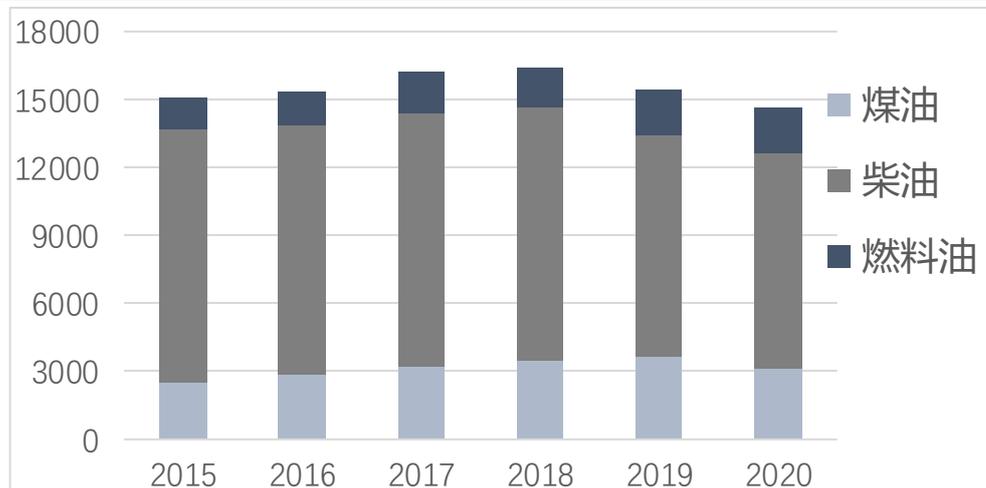
资料来源: HESC, 长城证券产业金融研究院

3.2 交通运输

在交通领域,我们认为相较于乘用车,重卡、船舶、航空业等大功率长续航的应用场景,才将是绿氢及其衍生物更为确定的潜在需求。这是我们基于电-氢-电的转化损耗,和当前电动汽车的高渗透率做出的判断。在交通领域,只有重卡、船舶、航空业等大功率长续航的应用场景由于电池的能量密度限制,不利于电气化的推广,恰恰成为降碳背景下氢能替代的机遇。

当前重卡、船舶及航空业分别采用柴油、航空煤油、船用燃料油作为能源(交通用天然气放在第三节另作论述),根据中国统计年鉴,我国2018年至2022年的上述成品油使用量如下:

图表34: 2018年至2022年柴油、航空煤油、船用燃料油使用量 单位: 万吨

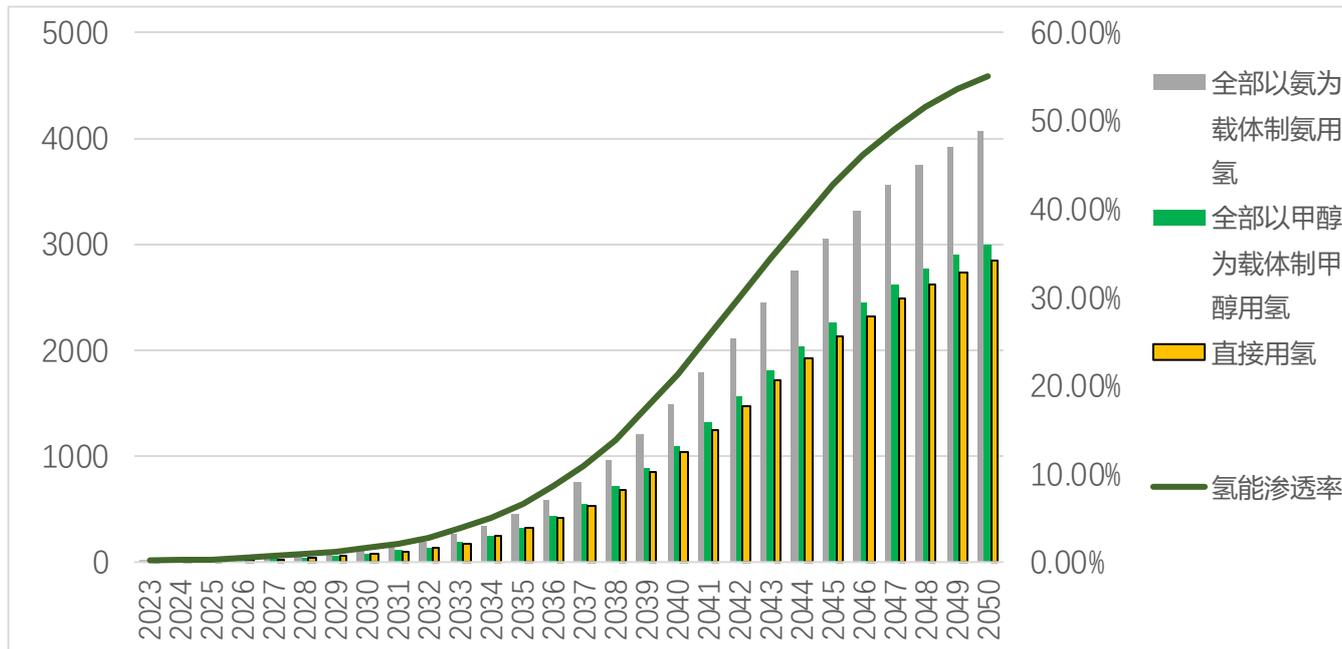


资料来源：国家统计局，长城证券产业金融研究院

在未来，我们认为，随着经济发展，居民航空出行、航空货运、进出口船运需求将继续保持增长，而公路运输需求将随着总人口达峰和产业转型升级而降低，其能源需求可以分别折合为煤油、柴油、燃料油的需求量。然而，在大功率长续航的交通应用场景中，氢能的最终应用形式具有较高不确定性。与氢气相比，氨和甲醇在较温和的条件下运输和储存，因此作为运输燃料的成本较低。

在考虑绿氢渗透率后，我们分别计算了绿氢在交通领域应用载体分别为氢、甲醇和氨的绿氢需求量，如下图：可以从图中看到，由于氨较低的热值，其作为氢能载体的需求量更高。在交通领域需求为直接用氢时，到 2030 年绿氢需求可达 75 万吨，到 2050 年可达 2800 万吨。

图表 35: 2023-2050 我国交通领域绿氢需求潜力及渗透率假设 单位：万吨



资料来源：HESC，长城证券产业金融研究院

专题 4 船舶对绿色燃料的需求

与氢气相比，氨和甲醇在较温和的条件下运输和储存，因此作为运输燃料的成本较低。海上运输行业对于氨和甲醇的兴趣在不断增加。根据 IRENA 的报告，航运部门当前约占全球所有温室气体排放的 3%，占运输部门相关温室气体排放的 9%。海上运输在国际贸易的占比为 80-90%。船舶使用的传统船用燃料是柴油船用燃料，其硫含量相对较高。即使国际海事组织(International Maritime Organization)制定了新的法规，将船用燃料中的硫含量限制从 3.5%降低至 0.5%，船舶仍将向大气中排放大量的硫氧化物(SOx)、氮氧化物(NOx)和细颗粒物 (PM)。此外，随着全球排放控制区(ECA)的进一步扩大，其更加严格的排放限制要求使用硫含量极低的燃料油或船用柴油，这相比传统的重质燃料油要昂贵得多。由于这些产品的生产成本极高，航运业一直在寻找替代品，而氨和甲醇是他们的主要选择。

从技术成熟度上，甲醇更胜一筹。根据中国能源报，2020 年，IMO 已批准甲醇作为船用燃料使用，目前已在海外得到实际使用，包括马士基、中远海运、达飞轮船等在内的多家全球航运巨头选择绿色甲醇作为替代燃料，其中马士基订造 19 艘，达飞轮船订造 12

艘，中远海运订造 12 艘。截至 2022 年全球已有 17 艘甲醇燃料动力船舶投入使用，其中双燃料 14 艘，单一甲醇燃料船舶 3 艘。2022 年 10 月，甲醇动力船舶订单量已超过了 LNG 船。

而氨燃料的有效利用仍然十分具有挑战性，与常规的碳氢燃料相比，纯氨的层流燃烧速度和热值均比较低，而且点火所需要的能量较高，可燃性极限范围较窄，使得纯氨的燃烧更加困难。因此，目前船用氨发动机还在开发中，尚未完全商业应用，而 IMO 也尚未正式批准氨作为船用燃料使用。

而从成本和碳排放角度，氨却具有显著优势。甲醇和甲烷燃烧排放 CO₂，要实现完全的零碳排放，必须进行 CO₂ 捕获，特别是船舶等移动场景，无论是燃烧前捕获还是燃烧后捕获，成本都非常高。而生物甲醇则可能无法充分扩大规模以满足海洋需求，因为只有少量的可用生物质可以负担得起地加工用于燃料应用，而进一步扩产将大大增加成本。虽然二氧化碳排放可以在船舶发动机燃烧后捕获，也可以在燃料重整期间捕获，但这需要在船舶上增加额外的 CO₂ 碳储存能力。因此，碳氢燃料很难实现国际海事组织制定的到 2050 年减少 50% 的减排目标。

最后，甲醇比氨更安全。目前，在我国甲醇和氨都按危险化学品管理，氨的安全性虽强于氢气，但其毒性较强，使其在重大危险源辨识等领域较甲醇管理更严。IMO 尚未批准氨作为船用燃料，亦有安全方面的考虑。另一方面，氨燃料的辛烷值较高，抗爆性能较好，因此可以增加发动机的压缩比以提高输出功率，也部分降低了其危险性。

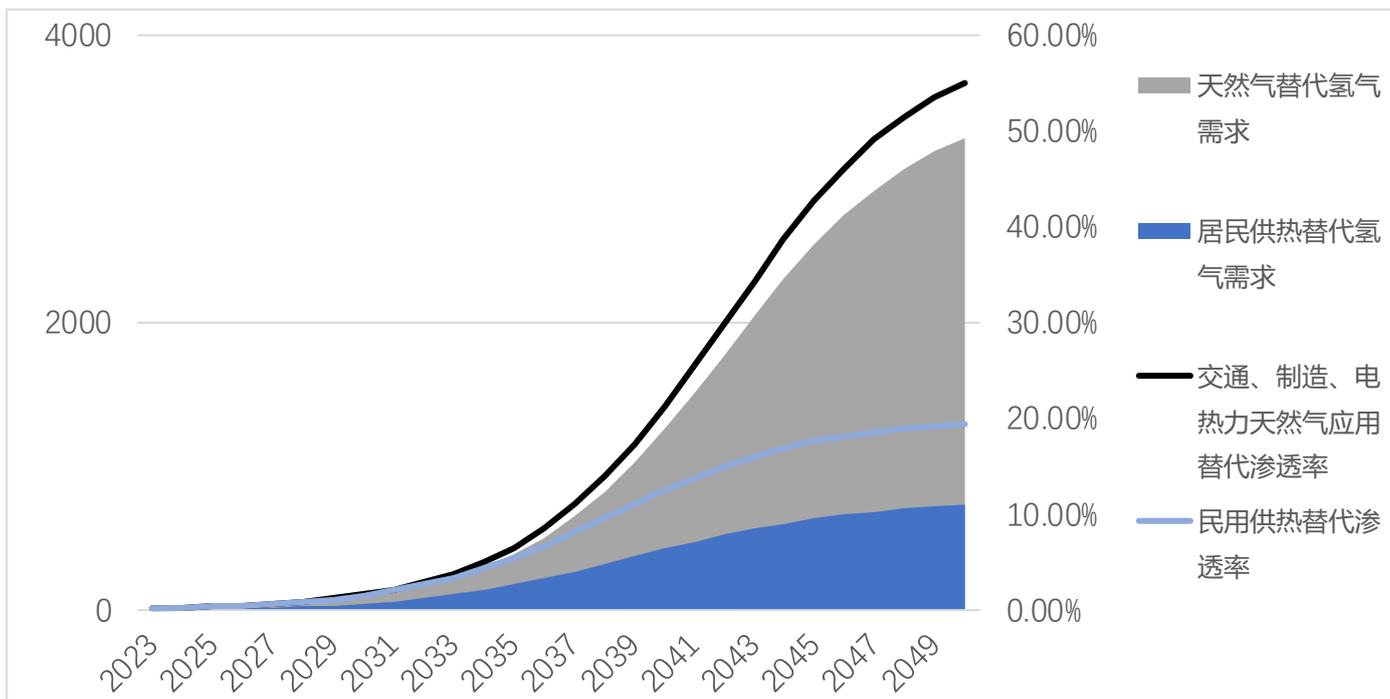
总的来看，甲醇相较于氨，能量密度更高，对燃料存储空间和温度要求更小，发动机技术成熟，且安全性更高，使当前甲醇在船用燃料领域应用较为领先。但氨在碳减排领域的低成本优势，使其在船用燃料领域仍然是非常重要的选择。而中国船级社也分别发布了《船舶应用氨燃料指南》和《船舶应用甲醇乙醇燃料指南》，为我国船用绿色燃料未来发展提供了基础。

3.3 能源替代

在能源领域，氢气的应用场景主要为天然气替代，以及居民供暖用能在电气化之外的补充。根据中国统计年鉴，我国 2020 年交通运输业消耗天然气 354 亿立方米、制造业消耗天然气 1509 亿立方米、电力热力燃气生产消耗 611 亿立方米，合计消耗天然气 2474 亿立方米，折合 2.97 亿标准煤。同时，2020 年居民用煤和燃气合计约 1.2 亿吨标准煤。

考虑到居民供暖和烹饪的安全性和经济性，我们认为此类需求未来的降碳路径将以电气化为主，氢能的渗透率较低。绿氢在能源领域的主要领域将是天然气的工商业替代。因此，我们预计在能源领域，氢能的需求在 2030 年将达到 140 万吨，在 2050 年达到 4000 万吨。

图表 36: 2023-2050 我国能源领域绿氢需求潜力及渗透率假设 单位: 万吨

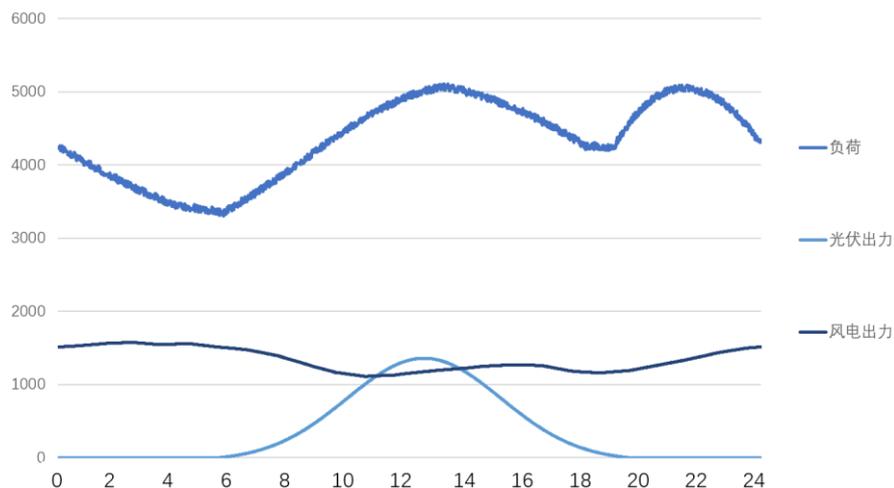


资料来源: HESC, 长城证券产业金融研究院

专题 5 氢能与新型电力系统

PEM 电解制氢设备由于其较强的波动响应能力, 近些年来越来越多的被用于电网调度服务中, 实现类似储能的电网调节功能。一方面为电网提供调峰调频服务, 获取服务费用, 一方面提高谷电利用率, 也降低了用电成本, 显著降低了制氢的综合成本。

图表 37: 风光发电出力特性与负荷需求差异 单位: MW



资料来源: 《多时间尺度下地区电网新能源出力特性及源荷相关性分析》, 长城证券产业金融研究院

在电力系统中, 负荷的变化是不可避免的, 尤其是在高峰期, 负荷波动较大。调峰调频服务, 简称调峰调频, 是指通过灵活调整电力供应与需求之间的平衡关系, 以适应电力系统负荷变化的一种服务。为了电力供应的稳定性和可靠性, 调峰调频服务成为了必不可少的一项工作。同时, 通过合理的调峰调频服务, 可以提高电力系统的运行效率, 减少能源的浪费, 从而降低电力供应的成本。

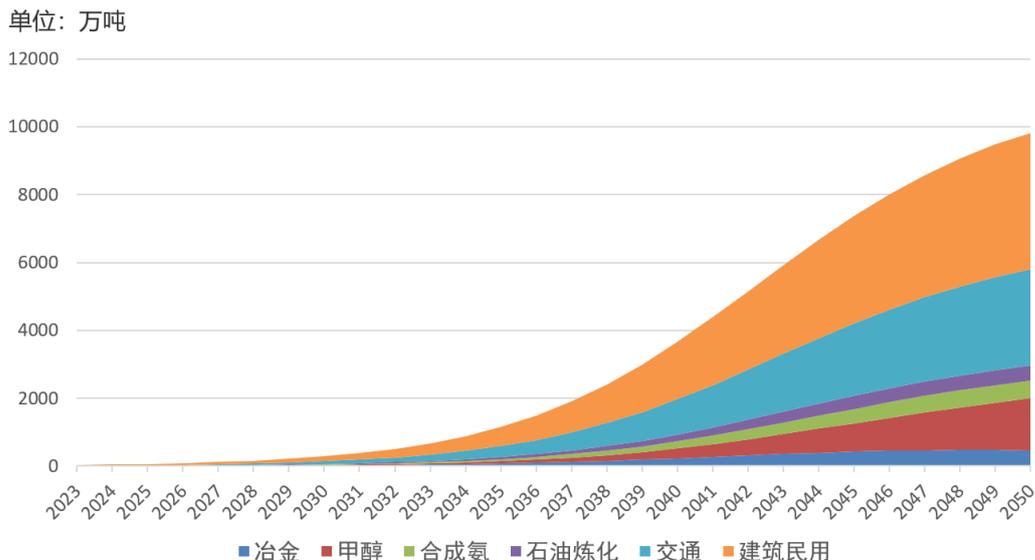
2023 年, 云南、贵州、山东等省份陆续发布有关参与电力辅助服务市场的交易规则, 山

东在全国率先发布电力爬坡辅助服务市场运行机制，丰富了我国电力辅助服务交易品种。在电力市场改革的大背景下，凭借 PEM 电解制氢设备优异的负荷调节能力，可以以分布式制氢的形式，参与到电力系统辅助服务市场中。

3.4 总需求预测

基于以上三方面的需求预测，即可得到 2023 年至 2050 年我国绿氢终端需求总量，在 2030 年有望达到约 285 万吨，在 2050 年有望达到约 9800 万吨。

图表 38: 基于假设的我国 2023-2050 绿氢总需求预测



资料来源: 长城证券产业金融研究院整理

3.5 承载能力

2021 年 10 月 26 日，国务院印发的《2030 年前碳达峰行动方案》中明确指出：到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上。到 2025 年，新型储能装机容量达到 3000 万千瓦以上。到 2030 年，抽水蓄能电站装机容量达到 1.2 亿千瓦左右，省级电网基本具备 5% 以上的尖峰负荷响应能力。

而根据国家能源局，截至 2022 年 12 月底，我国可再生能源装机总量就已达到 12.13 亿千瓦，当年新增风光装机超过 1.2 亿千瓦。预计 2030 年我国可再生能源装机总量（风、光、水）有望超过 18 亿千瓦。其中只要有 5% 用于制氢，即可提供 1800 万 Nm³/h 的氢气产能，年平均制氢 2000 小时，即可生产 325 万吨氢气，满足前述预测中 2030 年 285 万吨绿氢的需求。而根据中电联的数据，我国 2022 年弃风率约 3.8%、弃光率约 2.4%，预计 2023 年弃风率可达 7.7%、弃光率 5.9%，仅弃风弃光即可满足 2030 年的绿氢需求。

另一方面，1800 万 Nm³/h 产能对应约 18000 台 1000Nm³/h 制氢电解槽总需求，即到 2030 年 90GW 的累计装机，年复合增长率高达 77.6%，当前制氢电解槽需求高增长的良好势头有望长期持续。

4. 机遇与挑战

随着双碳战略推进，低碳氢需求将长期保持高增长。在工业、交通、能源等各领域深度脱碳需求的持续释放和排放政策持续收紧的背景下，我们认为低碳氢需求将长期保持高增长。

氢在工业深度脱碳领域和大功率长续航交通领域需求具有较高确定性。我们认为，作为化工原料，绿氢替代灰氢；以及由于电池能量密度的物理局限性，在大功率长续航交通领域氢能替代化石燃料具有较高确定性。

绿电电解制氢将是当前技术水平下绿氢的主要获取方式，电解制氢设备需求将长期保持高增长。考虑化石燃料制氢+CCUS等路径的技术成熟度、经济性和产业链条长度，我们认为绿电电解制氢将是当前技术水平下绿氢较为经济的获取方式，因此，相对应的，作为电解制氢的关键装备电解槽，其需求有望长期保持高速增长。

绿氢获取成本高，需要持续降低绿电成本、电解制氢设备成本等成本项，同时不断完善碳配额等相关政策，对化石燃料外部性进行合理计价。当前绿电制氢的成本70%以上是电费，且当前用电执行的是大工业用电电价，导致其成本相较化石燃料制氢不具有经济性。同时，当前碳交易即绿证等政策尚未全面施行，导致化石燃料排放未能充分计价。绿氢需要通过多环节发力，降低终端使用成本。

氢能乘用车发展不及预期，受到电动汽车挑战。当前电动乘用车先发优势明显，基础设施完善，而氢能乘用车相关法律法规及配套基础设施尚不完善，购置和使用成本较高，给氢能乘用车发展带来较大挑战。

碱性电解水制氢设备调节能力差，难以承担电网调峰蓄能职责，PEM制氢设备调节能力强，未来将是技术角度的更优选择，但自主降本之路任重道远。风光氢耦合和新型电力系统对制氢设备快速响应能力提出了更高要求，碱性电解水制氢设备较难完全满足。PEM制氢设备调节性能好，但其较高初始投资阻碍了其大规模推广，需要通过自主化打破国外技术壁垒，降本增量，以推动大规模应用。

风险提示

氢能产业政策不及预期，制氢及储运技术发展不及预期，制氢成本下降不及预期，商业模式形成不及预期，绿氢未来实际需求与本预测不一致。

免责声明

长城证券股份有限公司（以下简称长城证券）具备中国证监会批准的证券投资咨询业务资格。

本报告由长城证券向专业投资者客户及风险承受能力为稳健型、积极型、激进型的普通投资者客户（以下统称客户）提供，除非另有说明，所有本报告的版权属于长城证券。未经长城证券事先书面授权许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布，亦不得作为诉讼、仲裁、传媒及任何单位或个人引用的证明或依据，不得用于未经允许的其它任何用途。如引用、刊发，需注明出处为长城证券研究院，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向他人作出邀请。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

长城证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。长城证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

长城证券版权所有并保留一切权利。

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于 2017 年 7 月 1 日起正式实施。因本研究报告涉及股票相关内容，仅面向长城证券客户中的专业投资者及风险承受能力为稳健型、积极型、激进型的普通投资者。若您并非上述类型的投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研究报告中的任何信息。

因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，在执业过程中恪守独立诚信、勤勉尽职、谨慎客观、公平公正的原则，独立、客观地出具本报告。本报告反映了本人的研究观点，不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收到任何形式的报酬。

投资评级说明

公司评级		行业评级	
买入	预期未来 6 个月内股价相对行业指数涨幅 15% 以上	强于大市	预期未来 6 个月内行业整体表现战胜市场
增持	预期未来 6 个月内股价相对行业指数涨幅介于 5%~15% 之间	中性	预期未来 6 个月内行业整体表现与市场同步
持有	预期未来 6 个月内股价相对行业指数涨幅介于 -5%~5% 之间	弱于大市	预期未来 6 个月内行业整体表现弱于市场
卖出	预期未来 6 个月内股价相对行业指数跌幅 5% 以上		
	行业指中信一级行业，市场指沪深 300 指数		

长城证券产业金融研究院

深圳

地址：深圳市福田区福田街道金田路 2026 号能源大厦南塔楼 16 层
邮编：518033

传真：86-755-83516207

上海

地址：上海市浦东新区世博馆路 200 号 A 座 8 层
邮编：200126

传真：021-31829681

网址：<http://www.cgws.com>

北京

地址：北京市西城区西直门外大街 112 号阳光大厦 8 层
邮编：100044

传真：86-10-88366686