

氢基能源在新型能源系统中 的应用前景

深圳能源集团能源创新研究院

2021年5月28日

前 言

- 新型能源系统

指在能源转化技术创新和互联网技术支撑下，以可再生能源替代高碳化石能源、降低碳排放为目标，满足社会发展需要和生态环保约束条件的能源系统。

- 氢基能源

指含氢的小分子物质，是化工基础原料，用以替代高碳高热值碳基化石能源的低碳零碳燃料。

目 录

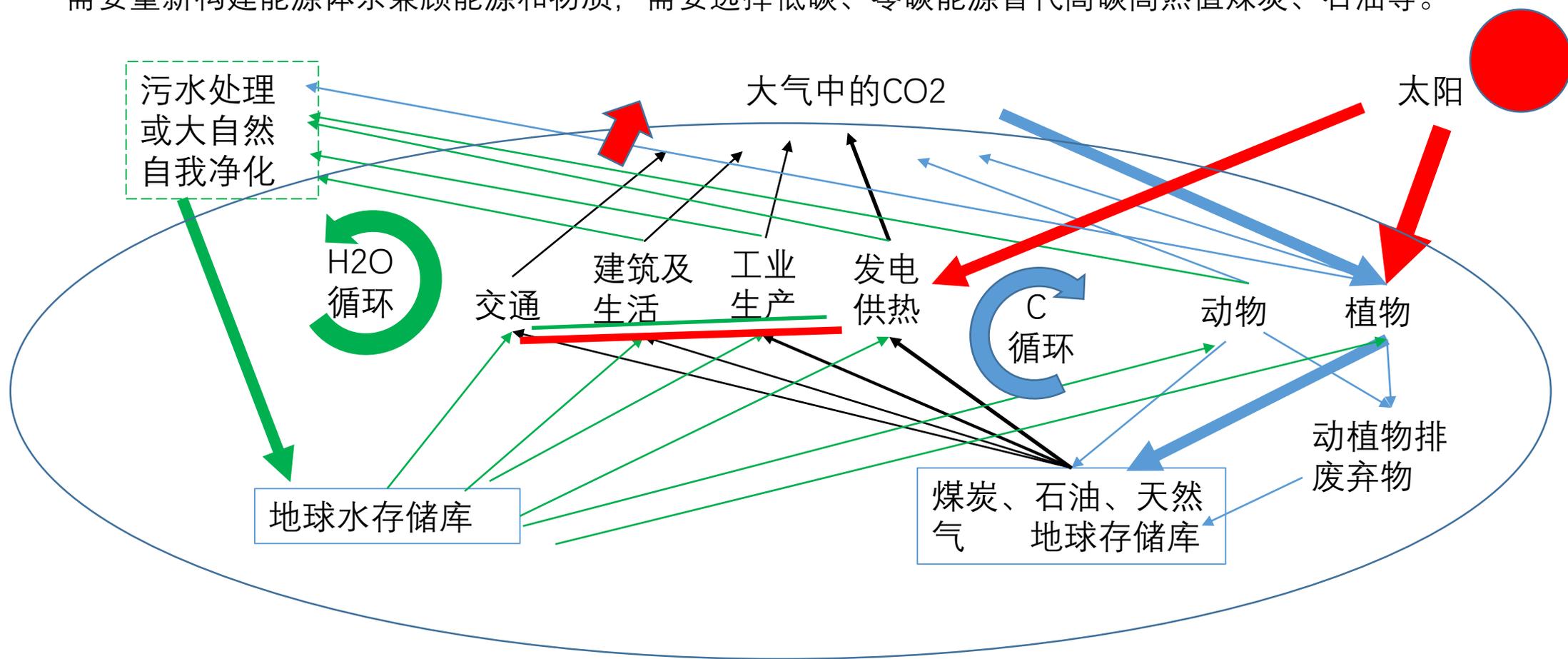
- 一、能源转型与新型能源系统
- 二、氢基能源在新型能源系统中的作用
- 三、国外主要国家氢能战略
- 四、我国氢能产业发展趋势
- 五、燃气轮机电厂面临的机遇与挑战



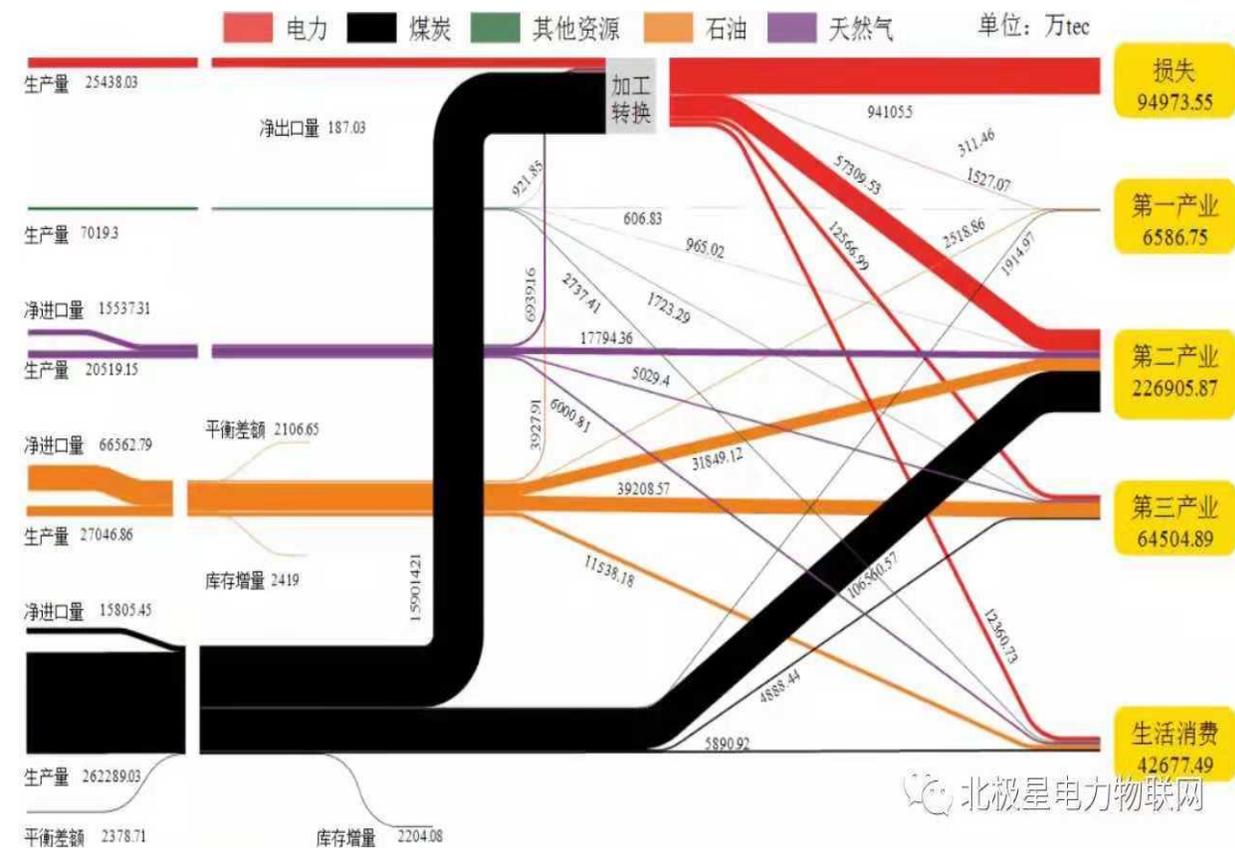
能源转型与新型能源系统

(一) 大自然和人类社会的物质、能量循环

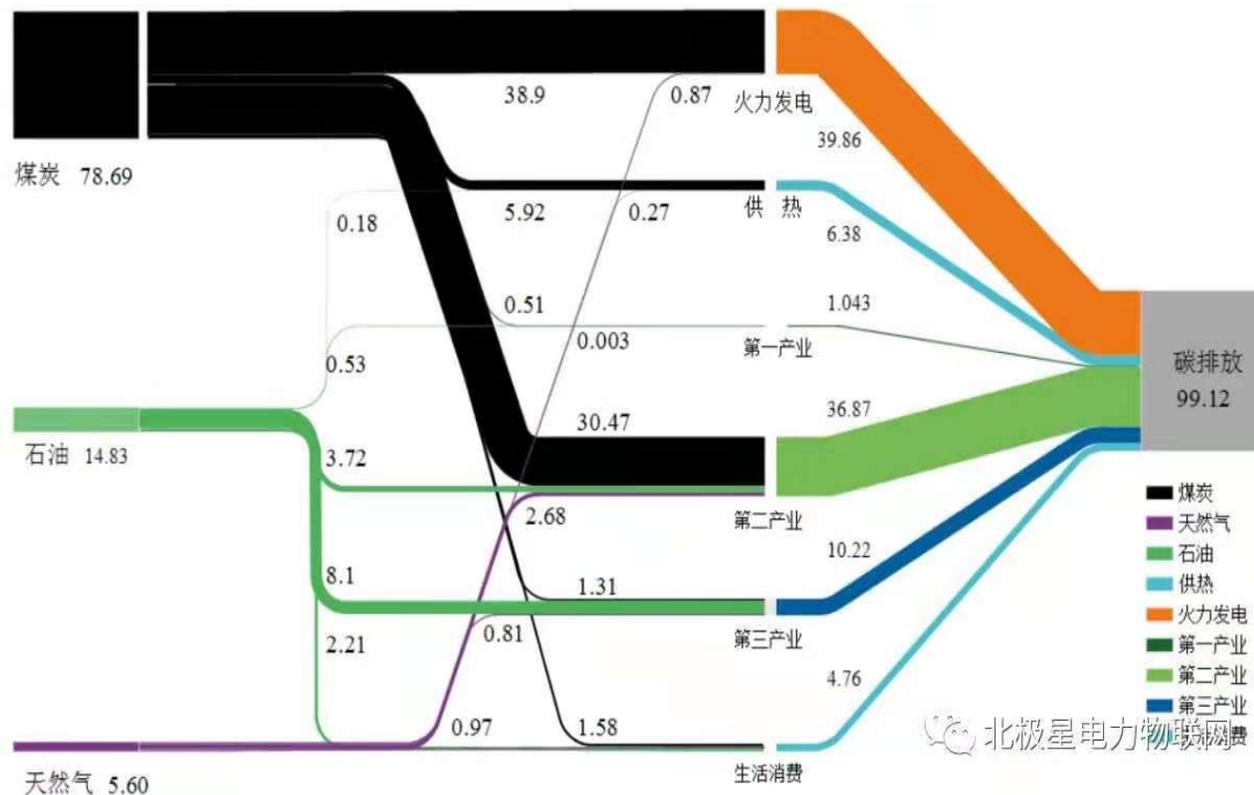
大自然和人类社会生生不息，伴随能量变化C、O、H（水）、N等进行物质循环。目前工业化社会化石能源的大规模使用，能源系统是碳基物资为主，造成以CO₂为主的温室气体在大气中失控出现生态危机，未来需要重新构建能源体系兼顾能源和物质，需要选择低碳、零碳能源替代高碳高热值煤炭、石油等。



(二) 现有能源系统

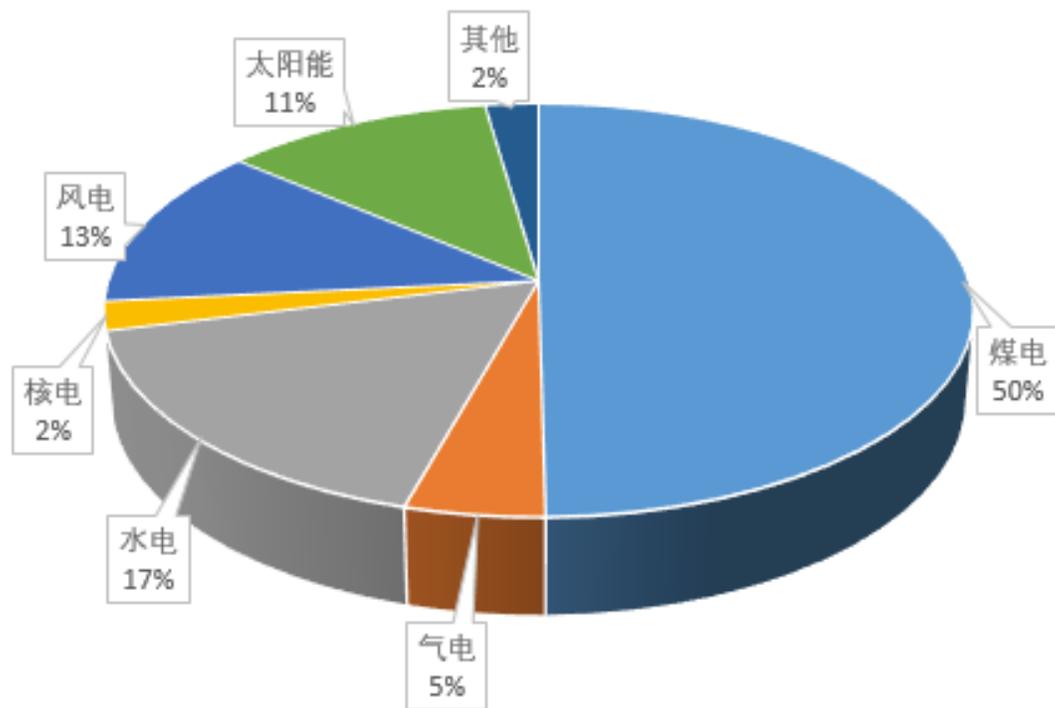


2018年全国能源流图

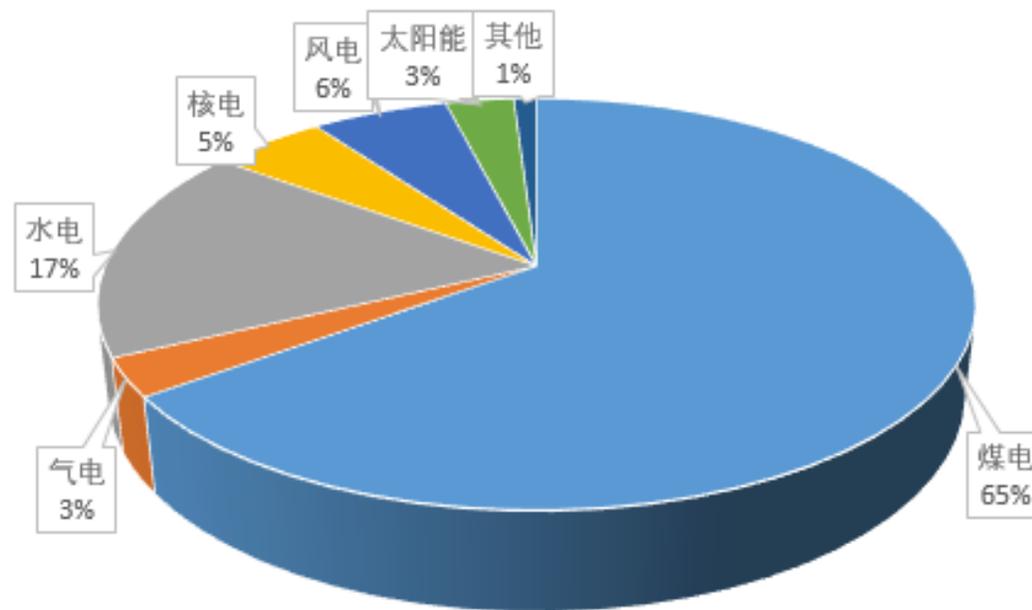


2018年全国碳排放图

我国化石能源电力装机占比55%，发电量占比68%。可再生能源利用率偏低。



2020年我国电力装机结构



2020年我国发电量结构

我国现有能源系统的特点是安全、清洁、不低碳、不高效

- 发电行业以高碳、可调控、可存储的化石能源为主，可再生、调节性差的能源发电占比较小；
- 化石能源为主，电力行业的碳排放占比达到40%；
- 化石燃料在工业、交通中大量应用于需要高热值能源的场景，碳排放占比达到40%以上；
- 电力占终端用能比例为24.1%；
- 现有能源系统的整体效率不到70%，尚有30%能量损失。

（三）能源系统转型

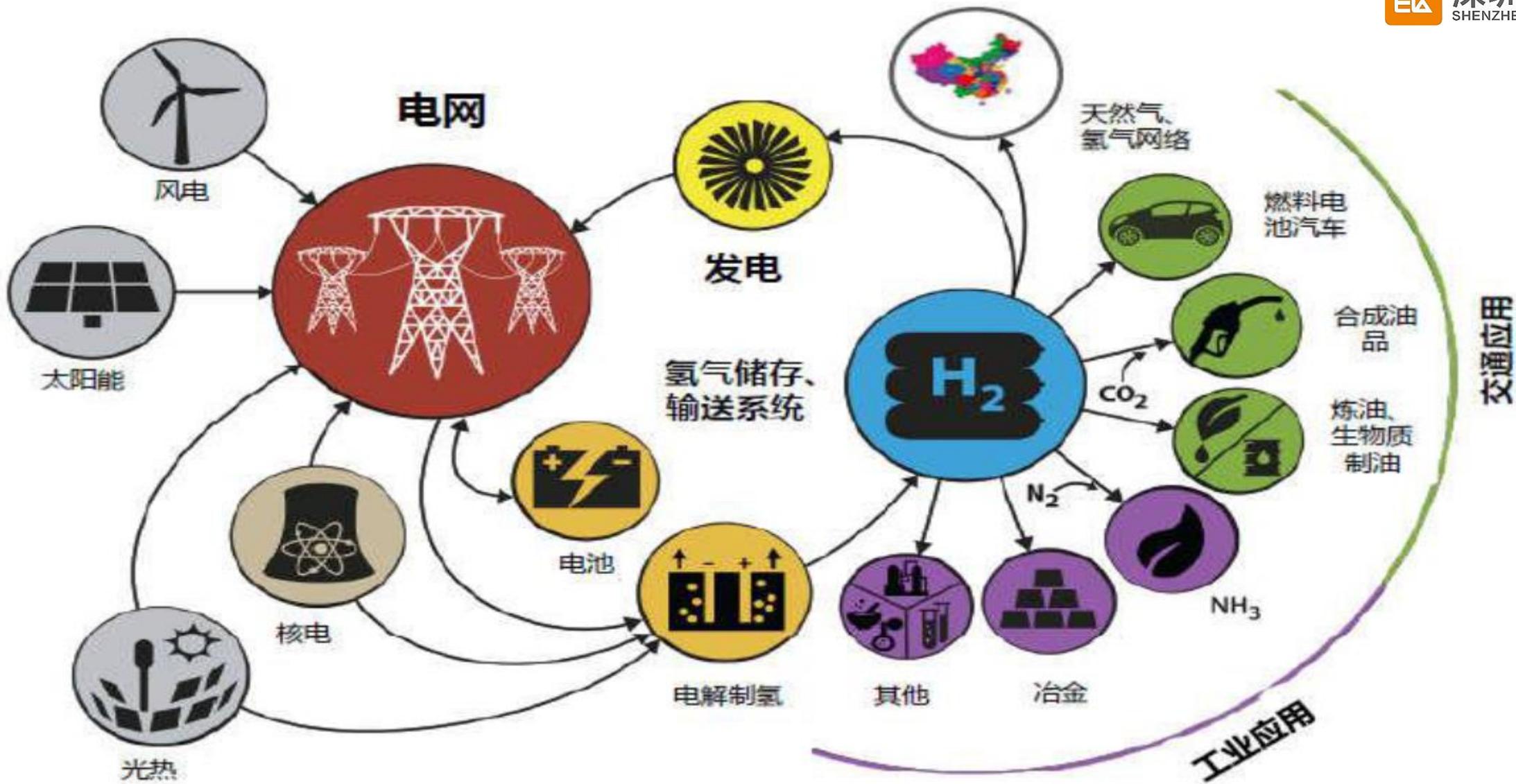
能源支撑人类社会发展，未来还需更多能源，但是生态环境承载能力有限。能源系统必须向“清洁低碳安全高效”新型能源体系转型。当前能源转型的具象化目标就是碳中和，转型主要包括四个方面：

- 供给端革命，能源结构调整，减少化石能源使用，加大可再生能源利用；
- 需求侧革命，提高能效，增加终端电能利用，减少终端高碳燃料的使用；
- 科技创新，以构建新型能源系统为目的的能源转换技术创新和智能信息化技术应用；
- 体制机制创新，以市场化手段推动供给侧、需求侧革命。

（四）新型能源系统发展趋势

- 可再生能源发电成本持续下降；
- 储能技术成本持续下降；
- 以可再生能源为主体的新型电力系统正在建立；
- 低碳高热值的氢基能源做为二次能源替代终端高碳能源，被给予厚望；
- CCUS技术作为碳中和的手段将应用于高碳能源应用场景。

国际社会已有100多个国家将碳中和作为社会发展目标，建立新型能源系统已成国际共识。

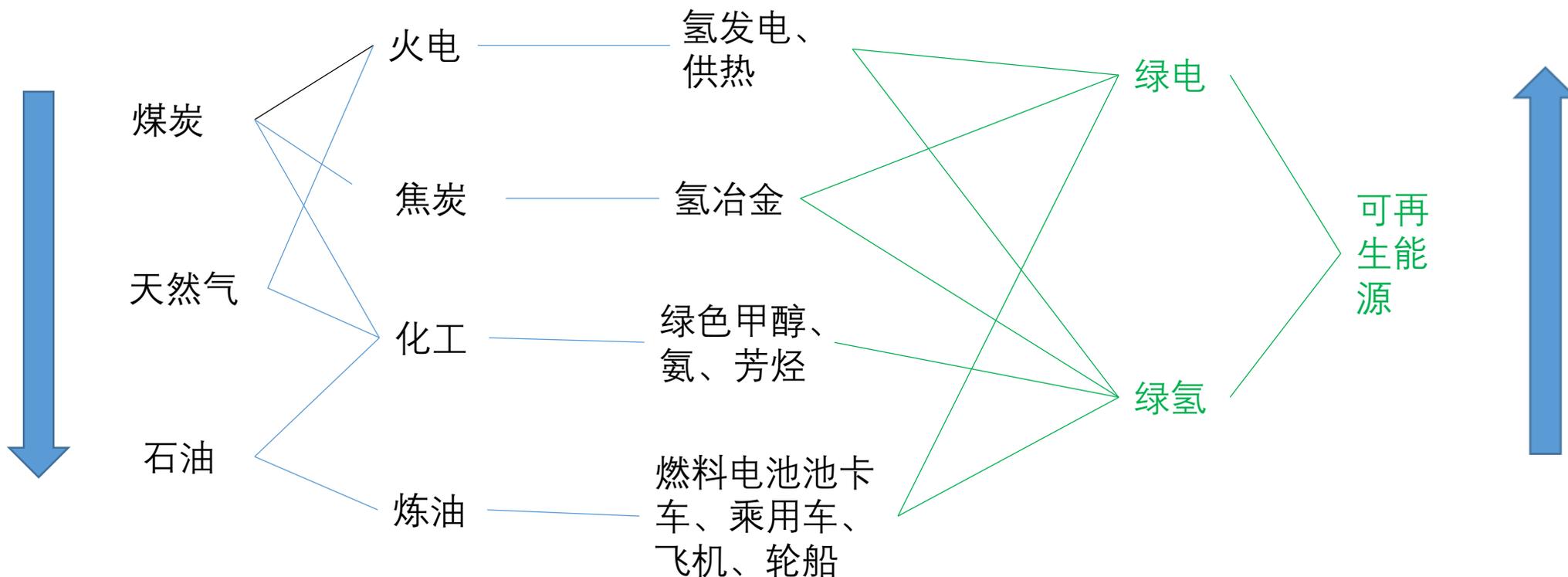




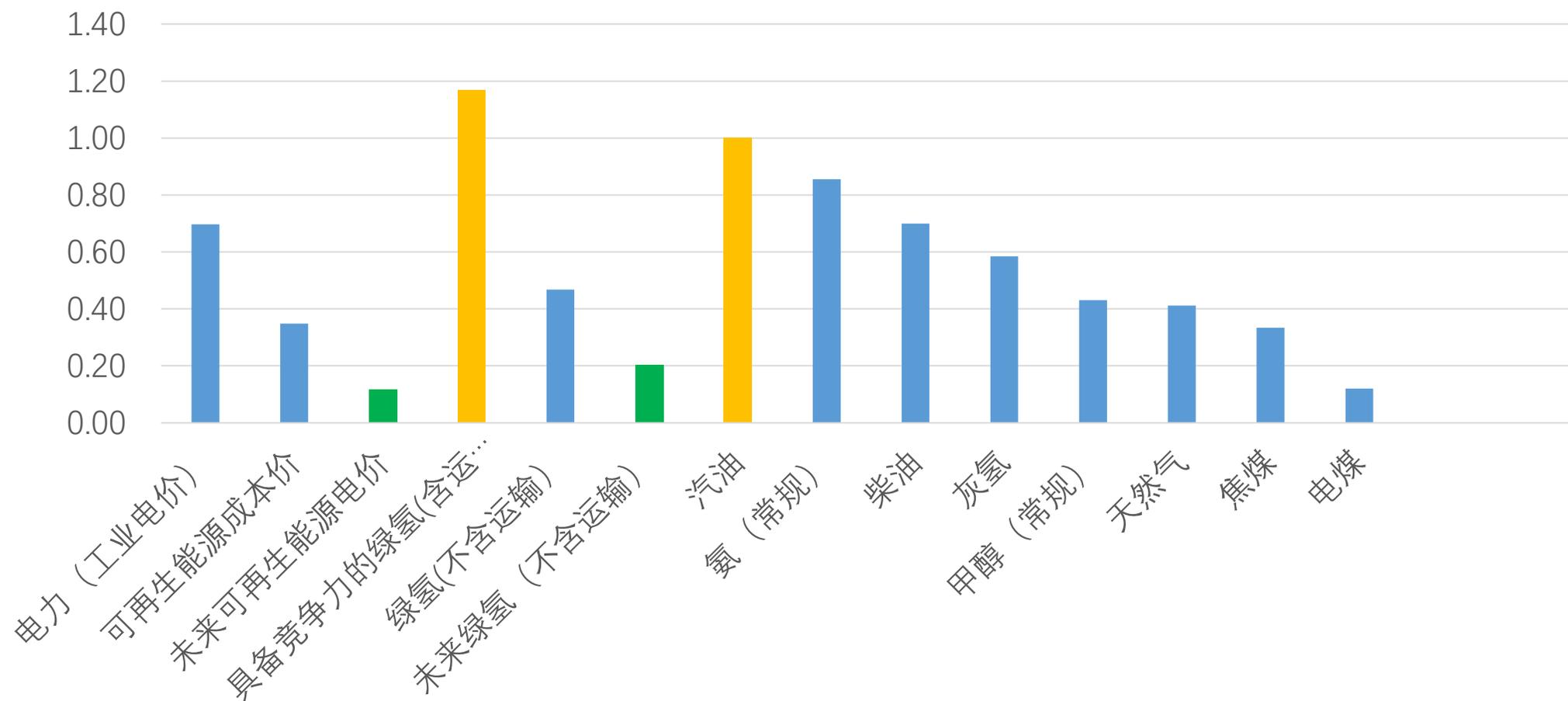
氢基能源在新型能源系统中的 应用

(一) 氢基能源应用场景、替代对象 (以中国为例)

氢基能源作为低碳、零碳燃料替代的是不具备使用电力的高热值场景和黑氢，如内燃机、冶金、化工、其他需高热值能源的工业制造场景，或者需要储能、提供电力调节能力、保障能源供给安全的场景。

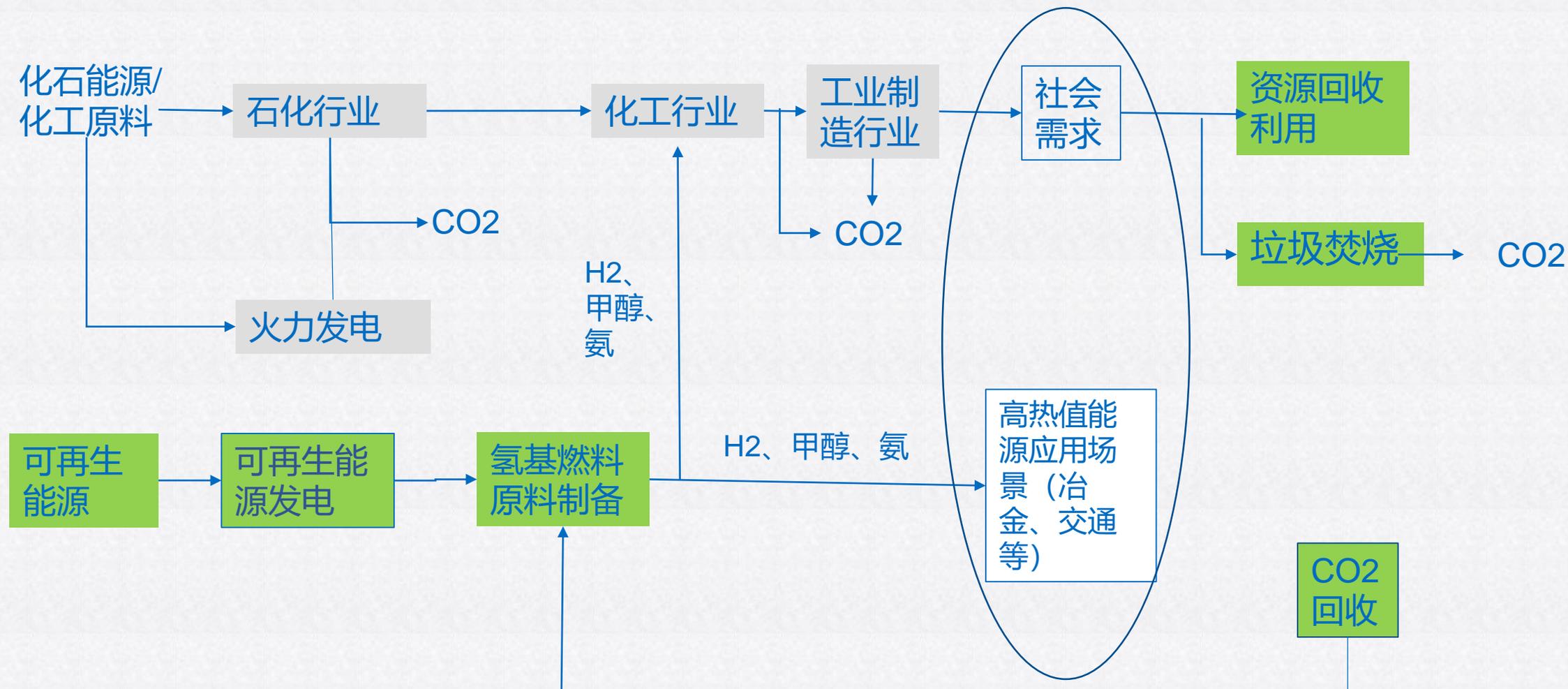


单位能量价格（元/兆卡）



- 1、交通市场（2020年国家统计局年鉴）
2019年交通用油22739万吨（单位热值价格比较高）
- 2、化工原料市场
氨4000万吨、氢3000万吨、甲醇9000万吨（燃料属性单位热值价格相对较低）；
- 3、工业用能(2020年国家统计局年鉴)
工业用石油22460万吨（单位热值价格比较高）
工业终端用煤64415万吨（燃料单位热值价格很低）
炼焦用煤61603万吨（主要用于炼钢，单位热值价格相对较低）
- 4、民用综合能源市场（2020年国家统计局年鉴）
石油气3147万吨，天然气468亿方（单位热值价格相对较高）
- 5、满足新型电力系统安全的储能或调节电源需求
主要是安全储能、电网长中短期调节电源、综合能源服务

(二) 氢基能源使得电力、化工出现融合趋势

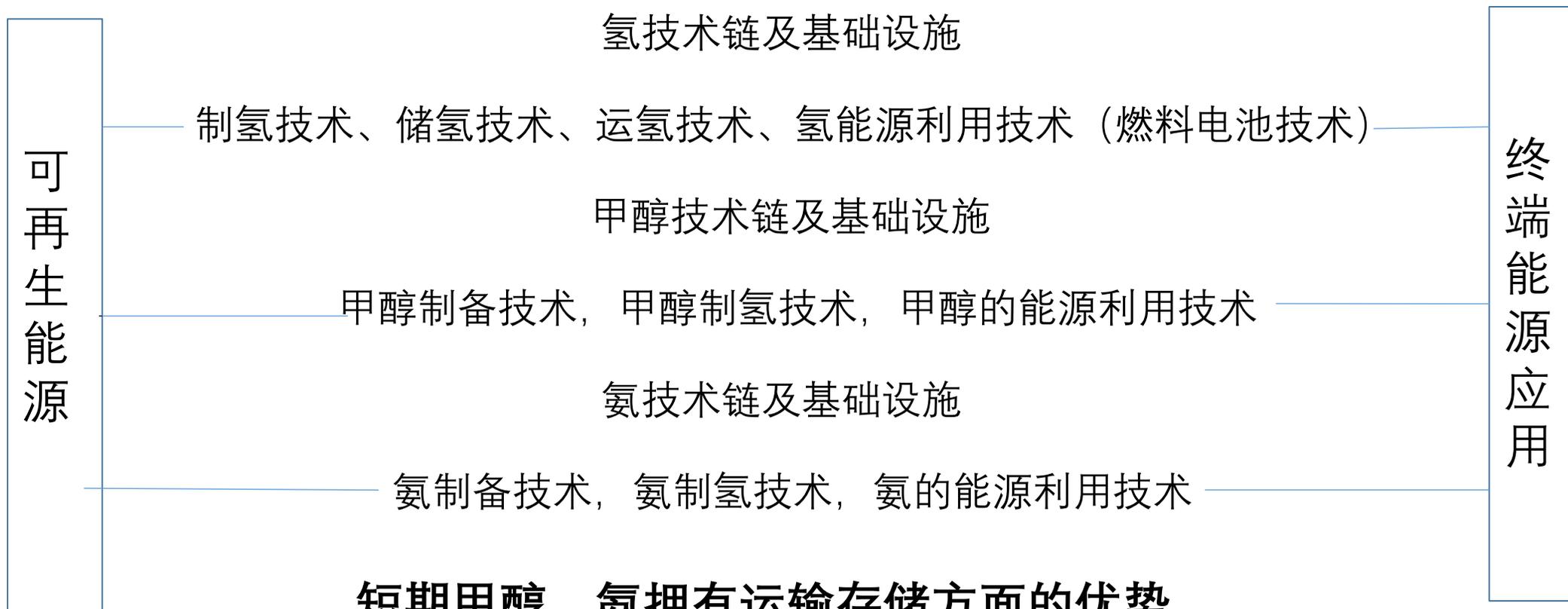


(三) 氢基能源的选择

作为替代高碳燃料应用于高热值场景的氢基能源，目前可选的有氢气、甲醇、氨等几种具体形式，这几种氢基能源的特征如下：

	液化温度	爆炸范围	质量能量密度MJ/kg	体积能量密度KJ/L	有毒程度	常温状态	能源利用排放	应用技术
绿氢	-252.88	4%-74.2%	143	12.7 (常温气态)	无毒	气态	H ₂ O	电解制氢、燃料电池、储氢技术、光制氢技术、氢燃烧发电技术
绿色甲醇	64.8	5.5%-44%	19.44	15104 (液态)	有毒	液态	CO ₂ H ₂ O	CO ₂ +H ₂ 制甲醇、甲醇内燃机、甲醇燃料电池
绿氨	-33.35	16%-25%	18.57	11328 (20度液氨)	有毒	气态	H ₂ O N ₂	N ₂ +H ₂ 制氨、氨内燃机、氨燃料电池

(四) 政策、市场、技术、基础设施影响氢基能源发展



**短期甲醇、氨拥有运输存储方面的优势，
长期看基础设施建成后，纯氢方式可能更有优势。**



国外主要国家氢能战略

根据国际氢能委员会预测，到2050年，氢能将创造3000万个工作岗位，减少60亿吨二氧化碳排放，创造2.5万亿美元产值，在全球能源中所占比重有望达到18%。

国外主要国家政策动向

美国氢能	欧盟氢能	德国氢能	日本氢能	韩国氢能
<p>1、最早将氢能及燃料电池作为能源战略的国家，在氢能燃料电池汽车市场、加氢站利用等方面处于全球领先水平。</p> <p>2、1990年起美国能源部为主导，持续支持解决氢能产业面临的技术难题。</p>	<p>1、2019年欧盟燃料电池和氢能联合组织主导发布《欧洲氢能路线图》；</p> <p>2、2020年3月欧盟发布《欧洲工业战略》部署氢燃料电池卡车；</p> <p>3、2020年7月欧盟委员会发布《欧洲氢能战略》和《欧盟能源系统整合策略》</p>	<p>1、2020年6月德国发布《国家氢能战略》</p>	<p>1、2017年12月，日本公布《基本氢能战略》</p> <p>2、2019年3月，发布《氢能利用进度表》</p>	<p>1、2018年发布《创新发展战略投资计划》将氢能作为三大战略投资方向之一。</p> <p>2、2019年发布《氢经济发展路线图》，2030年进入氢能社会，率先成为世界氢经济领导者。</p> <p>3、近期重点发展氢燃料电池汽车</p>

欧盟 2050年氢战略路线图

主要目标



比计划的2030年提前实现温室气体减排目标

刺激经济增长、提供资金、创造就业机会，为欧盟经济复苏做出贡献

到2050年实现气候中立、零污染的欧盟经济

培育研发和创新，保持欧盟技术领先地位

主要方面

制定投资计划

刺激氢需求，扩大氢产量

设计支持框架：扶持计划、市场规则和基础设施

推进氢技术的研发与创新

加强国际影响与合作

主要措施

- 刺激氢气的生产和使用，并建立计划项目清单
- 根据欧盟委员会的经济复苏计划，为清洁氢气提供**战略投资支持**

- 提出措施，促进运输行业对氢气及其衍生物的使用
- 探索其他支持措施，包括最终用户行业的需求侧政策
- 推出低碳阈值和标准，从而推广氢气
- 制定碳差价合约项目，为低碳生产提供支持

- 规划欧盟的**氢基础设施**网络和加氢站网络
- 探索其他支持措施，包括最终用户行业的需求侧政策
- 设计有利的市场规则，以支持氢气布局，打造集成度高、流动性好的氢气市场

- 根据“地平线2020”计划，推出**100兆瓦电解槽**、绿色机场和港口的提案征集
- 建立清洁氢气合作伙伴关系，聚焦可再生氢气的生产、输配和存储
- 指导关键试点项目的开发，推进氢气技术示范

- 强化欧盟在**氢技术标准**和法规制定方面的领导地位
- 促进与发达国家、发展中国家、能源输出国的合作
- 制定与非洲联盟开展可再生氢气合作的流程
- 到2021年制定欧元计价交易的基准



来源：思略特《氢能源行业前景分析与洞察：借鉴欧洲经验，打造低碳氢经济》



中国氢能产业发展现状

（一）总体情况

- 1、随着氢能产业技术的不断突破，我国高度重视氢能的发展，出台《中国制造2025》《能源生产和消费革命战略（2016-2030年）》《能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）》等系列重要文件明确提出鼓励氢能产业技术研发与应用，已形成多维度政策体系，氢能发展也纳入国家十四五规划。
- 2、国家碳市场即将启动，推动高碳能源退出新型能源体系，为氢基能源利用提供市场环境。
- 2、地方政府已主动开始行动，全国有30多个省市推出地方氢能战略；
- 3、各种氢基能源制、储、运、用技术研发如火如荼，电力化工出现技术融合；
- 4、大型石油、石化、煤炭、电力企业已开始布局氢能产业，中石油、中石化、国电投、华能等；
- 5、各类设备制造企业开始布局氢能产业，隆基、天合、阳光电源等；
- 6、金融企业开始关注氢能产业，特别是氢能技术的产业化研发。

氢能产业大发展的时代即将来临。

氢能产业比风电、光伏产业涉及到更多产业的兴衰，将对能源行业、化工行业以及支撑社会各行各业的用能方式带来巨大冲击。能源产业格局将会变化，电力、能源、化工企业现有产业壁垒将会打破，竞争在更大范围开展。

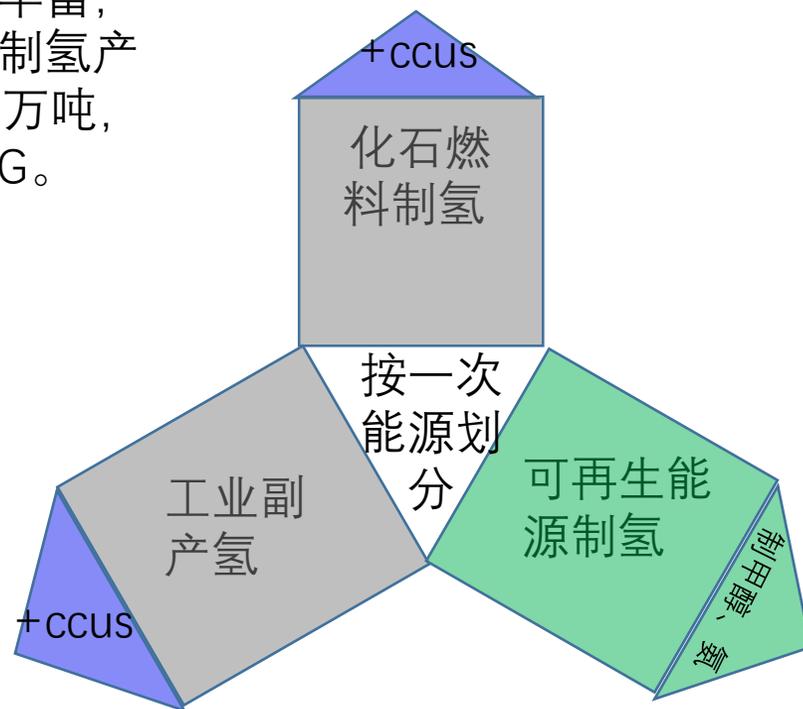
如何突破危化品的定位是目前氢能发展的最大障碍。作为能源广泛应用国民生活的各种场景，大规模使用氢能还需要国家政策、技术标准、管理标准的进一步完善。

(二) 氢的制造

我国是化工产业大国，也是制氢大国，每年石化、煤炭化工产生的灰氢达到3000万吨左右。

我国煤炭资源丰富，化石燃料重整制氢能达到2000多万吨，价格在10元/KG。

石油化工、焦化、氯碱合成氨、甲醇等副产氢量近1000万吨，价格在10元/KG。

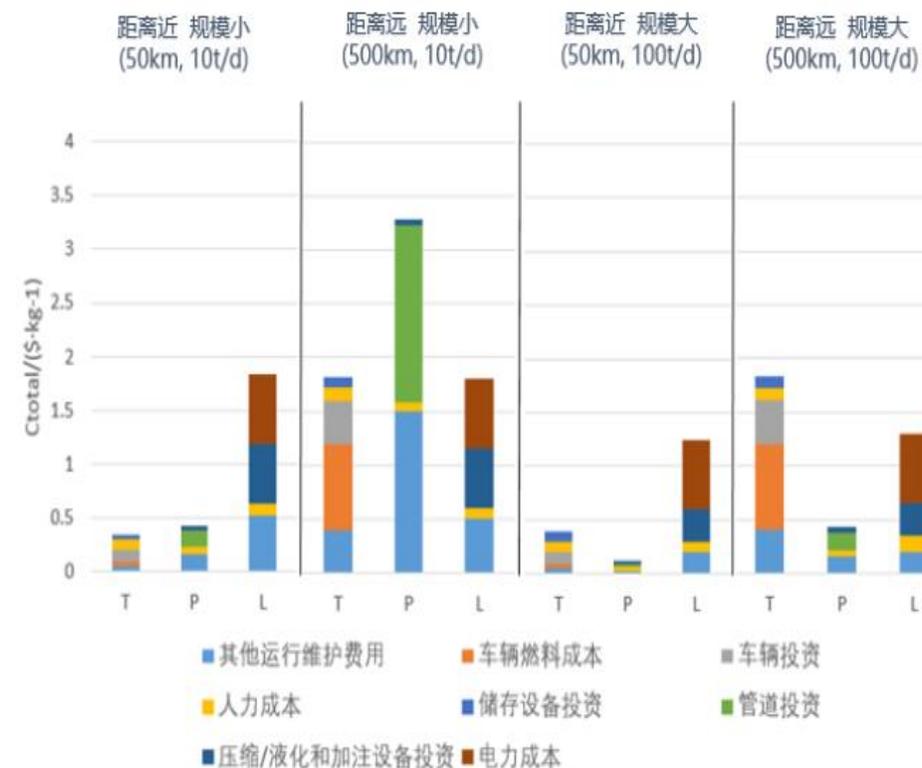


- 可再生能源制氢是未来发展的主要方向。
- 可再生能源制氢方式主要有碱式电解水、质子膜（PEM）、固体氧化物（SOC）方式。国家十四五科技计划支持大规模制氢技术研发示范。
- 目前可再生能源电价在0.3元/kwh,制氢成本在16元/KG左右。
- 未来可再生能源电价降低，电解水技术效率和规模成本更低，绿氢成本将降至10元/KG或更低。
- 作为氢基能源，甲醇、氨在石化行业的制备技术成熟，使用可再生能源+CO2制甲醇和可再生能源制氨工业级示范项目正在筹备中。

(三) 氢的储运

四种储氢方式对比				
类型	高压气态储氢	低温液态储氢	固态储氢	有机液体储氢
单位质量储氢密度 (%)	1.0-5.7	5.7-10	1.0-4.5	5.0-7.2
技术	在高压下，将氢气压缩，以高密度气态形式储存	利用氢气在高压、低温条件下液化，体积密度为气态时的845倍，其输送效率高于气态氢	利用固体对氢气的物理吸附或化学反应等作用，将氢储存与固体材料中，不需要压力和冷冻	基于不饱和液体有机物在催化剂作用下进行加氢反应，生成稳定化合物，当需要氢气时再进行脱氢反应
优点	成本较低、技术成熟、充放氢快、能耗低、易脱氢、工作条件较宽	体积储氢密度高、液态氢纯度高	体积储氢密度高；操作安全方便、不需要高压容器；具备纯化功能，得到氢纯度高	储氢密度高；通过加强、脱氢过程可实现有机液体的循环利用；成本相对较低；常用材料（如环己烷和甲基环己烷等）在常温常压下即可实现储氢，安全性较高
缺陷	体积储氢密度低，体积比容量小；存有泄露、爆炸的安全隐患	液化过程耗能大、易挥发、成本高	质量储氢密度低；成本高；吸放氢油温度要求；抗杂质气体能力差	氢气纯度不高，有几率发生副反应，产生杂质气体；成本较高，须配备相应的加氢、脱氢装置；脱氢反应在高温下进行，催化剂易结焦失活
技术突破	①进一步提高储氢罐的储氢压力、储氢质量密度；②改进储氢罐材质，向轻量化、高压化、低成本、质量稳定的方向发展	①为了提高保温效率，须增加保温层或保温设备，克服保温与储氢密度之间的矛盾；②减少储氢过程中，由于氢气气化所造成的1%左右的损失；③降低保温过程所耗费的相当于液氢质量能量30%的能量	①提高质量储氢密度；②降低成本及温度要求	①提高低温下有机液体储氢介质的脱氢速率与效率、催化剂反应性能；②改善反应条件、降低脱氢成本及操作难度
应用	目前发展最成熟、最常用的储氢技术，也是车用储氢主要采用的技术	主要应用于航天航空领域、适合超大功率商用车辆	未来重要发展方向	可利用传统石油设施进行运输和加注

	运输工具	运输量范围	应用情况	优缺点
气态贮运	集装箱	5-10kg/格	广泛用于商品氢运输	非常成熟，运输量小
	长管拖车	250-460kg/车	广泛用于商品氢运输	运输量小，不适宜远距离运输
	管道	310-8900kg/h	主要用于化工厂，未普及	一次性投资成本高，运输效率高
液态贮运	槽车	360-4300kg/车	国外应用广泛，国内仍仅用于航天液氢	液化投资大，能耗高，设备要求高
	管道		国外较少，国内没有	运输量大，液化能耗高，投资大
	铁路	2300-9100kg/车	国外很少，国内没有	运输量大，液化能耗高



短程200KM左右，以气态拖车为宜；长距离输氢，管道输氢成本更低。液态拖车方式比较灵活，适用于远程运输方式

（四）氢基能源的应用

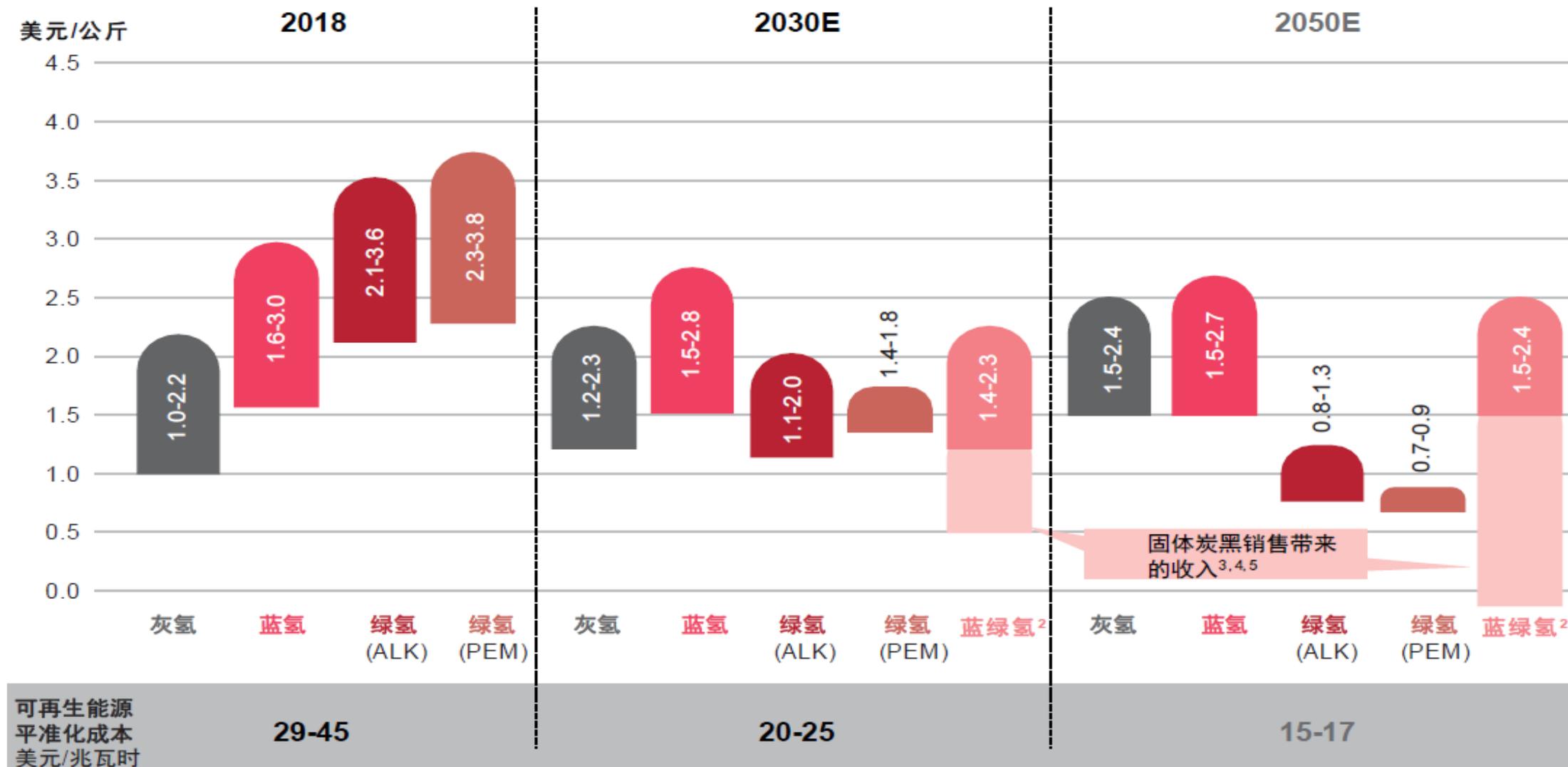
1、应用端氢基燃料电池技术正在国产化过程中，一旦突破，成本将会快速降低。由于国内汽油价格较高，氢基能源替代石油将首先在交通领域应用。

2019年工信部等八部委出台了《关于在部分地区开展甲醇汽车应用的指导意见》，指导意见明确重点在山西、陕西、贵州、甘肃等资源禀赋条件较好且具有甲醇汽车运行经验的地区，加快M100甲醇汽车（即100%甲醇作为燃料）的应用。2020年年九月五部委国家出台《关于开展燃料电池汽车示范应用的通知》。

3、管道掺氢在国外已进行多年，国内已开始尝试，管道设施的改造工作还待评估。

4、氢冶金技术、燃气轮机使用掺氢燃料或纯氢燃料的技术国外已有成功案例，国内钢铁企业已开始关注氢炼钢技术。

思略特全球氢气成本演变模型，按技术划分¹



可再生能源平准化成本 美元/兆瓦时

2018	29-45
2030E	20-25
2050E	15-17

来源：思略特《氢能源行业前景分析与洞察：借鉴欧洲经验，打造低碳氢经济》

（五）氢能产业发展趋势预期

- 受政策影响、碳中和和碳市场预期的推动，氢能产业上中下游都已开始启动，目前处于氢基能源替代高碳能源的导入期。由于依赖于化工产业的氢能产业链已经存在，技术、设施等方面都有有一定基础，各种技术标准可以较快建立，关键是氢作为危化品还是能源的定位问题需要解决。一旦突破，氢能将会比较快地普及。
- 科技创新方面，国家利用科技专项计划推动可再生能源大规模低成本制氢技术进一步产业化、可再生能源制甲醇、制氨技术示范。
- 导入期上游化工制氢产能会提升，同时可再生能源制氢项目开始出现；下游应用端汽车用氢、用甲醇场景开始建立；甲醇和氨可利用现有基础设施短期更具优势，中游纯氢的基础设施如加氢站、管道输氢开始规划和建设；

（六）氢能产业发展趋势预期

- 绿氢成本是氢产业发展的关键。随着可再生能源成本的降低，氢能应用技术的成熟，加上基础设施建设完善，绿氢将越来越有竞争力。绿氢生产、运输和使用的规模逐渐加大，应用场景从交通领域逐步扩大到替代化工灰氢、管道掺氢、替代焦炭冶金、终端分布式能源用氢等，大规模氢储能+氢能利用逐步成为常态。
- 如果没有政策的强力推动，水泥、供热等氢能替代可能会比较困难。
- 中石油、中石化等石油石化企业会利用其在石化制氢、加油站和管道输送的优势，占领加氢站市场，同时觊觐可再生能源发电、制氢领域；
- 电力企业将加快可再生能源制氢的布局，适度进入绿色甲醇和氨的领域，以实现可再生能源消纳问题。



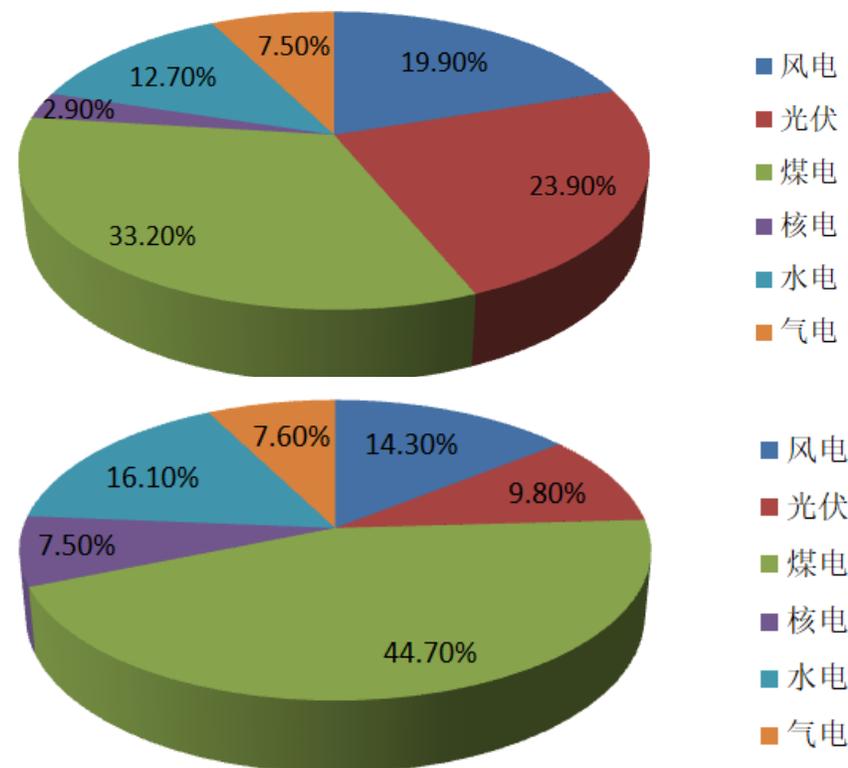
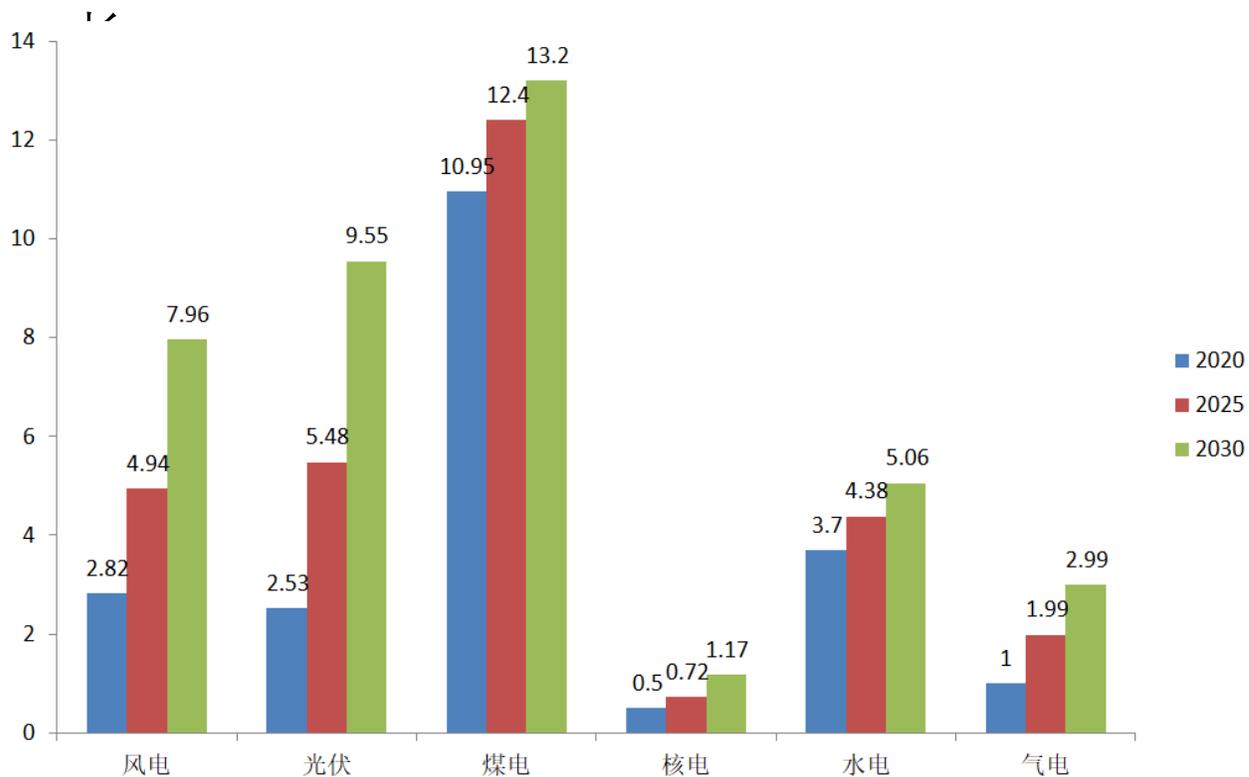
燃气轮机电站面临的 机遇和挑战

新型能源体系中燃气轮机电站面临的机遇及挑战

- 1、以可再生能源为主体的电力系统需要更多调峰调频电源；
- 2、为保障供能安全，电网需要大规模低碳储能供电电源；
- 3、面临碳减排的压力；
- 4、面临燃料变动和价格波动；
- 5、调峰调频功能方面面临大量竞争者。

燃机电站面临机遇

基于历史数据与政策规划测算2025、2030年我国电力系统发展情况：到2030年风电、光伏装机容量要远远高于12亿千瓦，达到17.5亿千瓦左右。电力系统调节能力将受到极大考验。气电作为一种成熟高效发电技术，大容量可控调峰电源，兼具城市供电安全保障功能，装机规模将持续快速增。



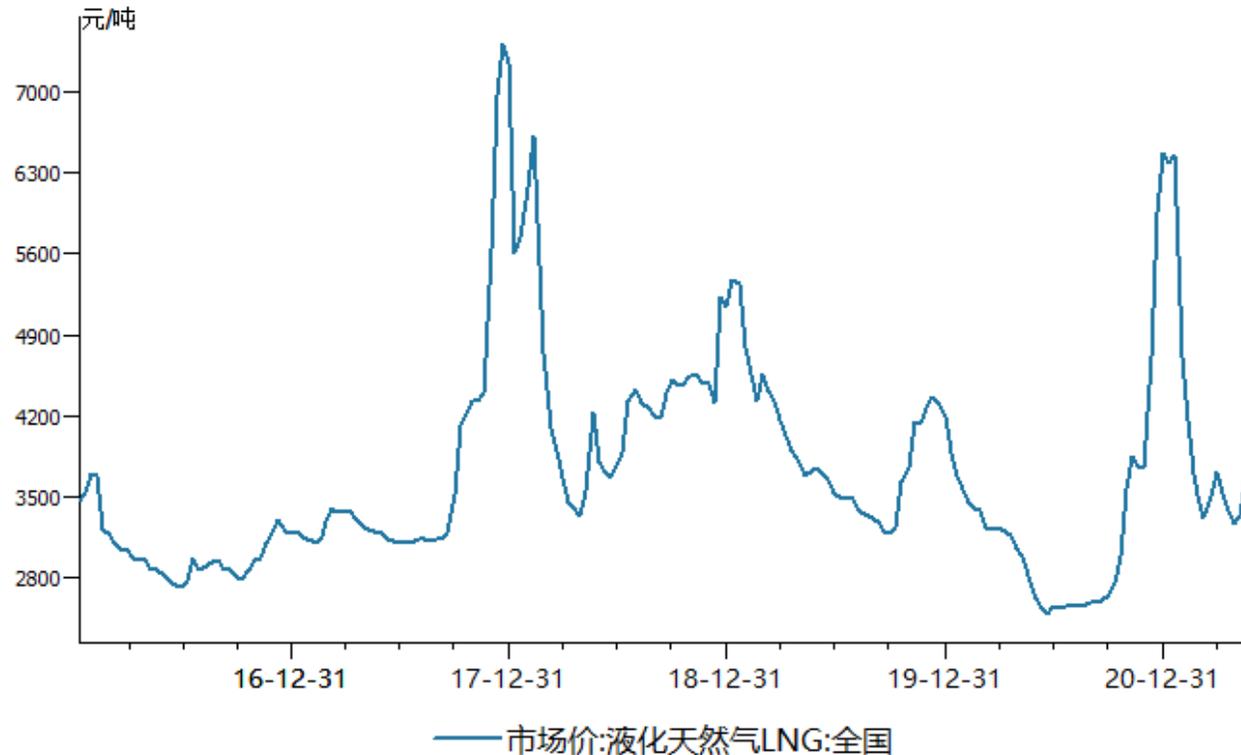
我国2025、2030年装机容量测算（单位：亿千瓦）

我国2030年装机容量结构（上）、发电量结构（下）

燃机电站面临挑战

电网调峰手段目前已趋于多样化。规模化将有利于部分调峰途径的成本下降，如电化学储能、可再生能源制氢等，对燃机电站将是重大考验。燃料成本的巨大波动将降低燃机电站的竞争力。

随着可再生能源制氢成本下降，和碳排放压力增加，未来天然气掺氢燃烧将是燃气轮机制造和燃机电站发展的重要方向。



国际燃机制造企业掺氢技术发展现状及目标

西门子：已对其F级燃机进行掺氢测试，氢气含量从30%增加至73%。测试结果表明可以达到排放标准和安全性标准。公司宣布到2030年实现燃氢100%重型燃气轮机的研发测试。

GE：公司已突破50%氢混合燃料，配置超过2500台航改燃气轮机。掺氢20%比例H级燃机电站已开始建设，未来将实现100%纯氢燃烧。

安萨尔多：将进行100%氢燃料的燃气轮机燃烧室全尺寸全压试验

三菱日立：获得首个燃烧100%氢燃料J系列燃气轮机订单

未来燃气轮机电站技术升级的方向

作为一种热力学为基础的能源转化技术，燃气轮机目前以化石能源应用为主，未来向多种氢基能源应用转变。在新型能源系统中，燃气轮机电站需要跟踪外部环境变化进行技术升级：

- 1、做好针对氢基能源的技术升级准备，适应更多种氢基燃料；
- 2、需求同新兴的能源技术进行系统集成优化，以便拥有更高效率、更低排放、更灵活的调峰调频能力、更低的成本；
- 3、智能化电厂技术的应用；
- 4、以CCUS为目标进行燃气轮机技术升级，实现碳循环。

谢 谢



深圳能源
SHENZHEN ENERGY