



照塑镇摩复

国家能源集团氢能科技有限公司

然半黑系 N

行动

2022氢能专精特新创业大赛

# 发展氢能产业 助力“双碳”战略

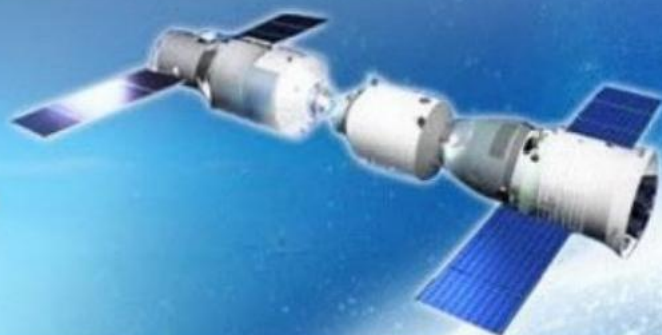
中国工程院 干勇

2022年7月19日



中國工程院

CHINESE ACADEMY OF ENGINEERING



# 目录

一、国内外氢能发展现状及趋势

---

二、建设大规模绿氢制备基地，支撑“双碳”目标实现

---

三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

# 一、国内外氢能发展现状及趋势

## □ 发达国家和地区氢能发展战略

**欧盟：**欧洲氢能路线图指出氢能是欧洲能源转型的必要元素。能源供给侧注重可再生能源和氢能融合互补，能源消费侧注重可再生能源制氢综合利用，特别是天然气掺氢和车用燃料。

**德国：**德国国家氢能战略2020指出氢能是德国脱碳战略的中心组成部分，作为多部门耦合的要素，在无法通过可再生电力脱碳的领域，绿氢和下游产品(P-to-X) 为脱碳开辟了新路径。

**日本：**选择氢能作为低碳技术创新的重要方向之一，致力于建设“氢能社会”，在替代石油和其他能源方面发挥核心作用，促进能源结构向多元化发展，保障能源安全。

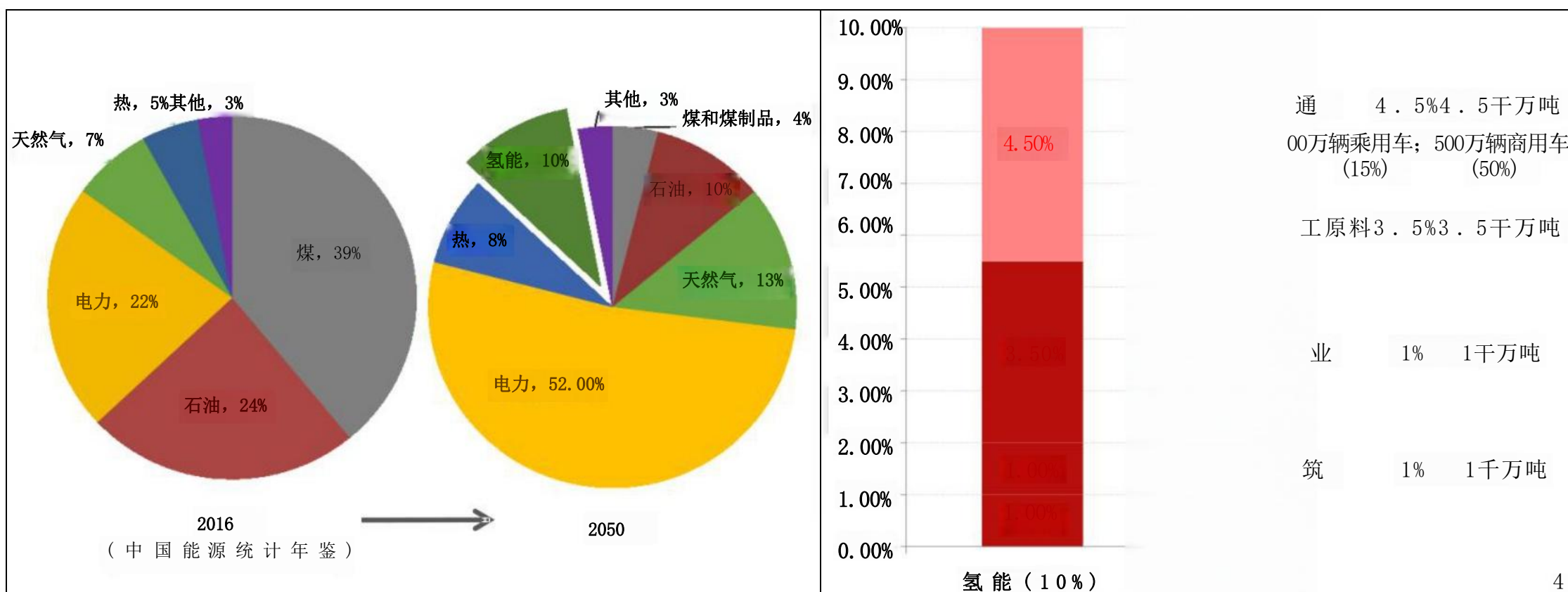
**美国：**在“能源独立”的前提下，把天然气作为与可再生能源并重的过渡能源，推动能源结构清洁化。发展氢能和燃料电池技术的目的在于通过迅速兴起和发展的氢经济扩大其在全球能源和技术创新领域的领导地位。

## □ 国际氢能领域快速发展

- 截至**2021年底**，全球共有**685座加氢站**投入运营，分布在33个国家/地区；
- 在2017到2021这过去5年中，全球加氢站保有量从328座增长到685座，增加了109%，全球氢能产业建设进入快速发展期；
- 截至**2021年底**，我国建成**加氢站255座**，共计超过**8000辆燃料电池汽车**在示范运行。

# 一、国内外氢能发展现状及趋势

保守估计，2050年氢在我国终端能源体系占比约10%，2060年占比将达约15%，成为我国能源战略的重要组成部分，氢能将纳入我国终端能源体系，与电力协同互补，共同成为我国终端能源体系的消费主体，带动形成十万亿级的新兴产业。



# 一、国内外氢能发展现状及趋势

## 中央企业积极布局氢能产业链

- 随着氢能产业发展中长期规划的发布，氢能上升到国家能源战略地位，众多大型能源企业及上市公司加快布局氢能全产业链。
- 目前已有超过三分之一的中央企业布局包括制氢、储氢、加氢、用氢等全产业链，并取得了一批技术研发和示范应用的成果。



国家能源集团  
CHN ENERGY



国家电投  
SPIC



中国华能  
CHINA HUANENG



中国东方电气集团有限公司  
DONGFANG ELECTRIC CORPORATION

中国能源建设股份有限公司  
CHINA ENERGY CONSTRUCTION CORPORATION LIMITED



中国华电  
CHD

中国中车  
CRRC



中国一汽  
FAW GROUP

东风汽车集团有限公司  
DONGFENG MOTOR CORPORATION

CSGC 中国船舶集团有限公司  
CHINA STATE SHIPBUILDING CORPORATION LIMITED

# 一、国内外氢能发展现状及趋势

口人类利用氢能的经济性问题是能够被解决的!

1

## 大规模集中煤制氢+CCUS

充分发挥国内丰富的煤资源优势

2

## 可再生能源电解水制氢

灵活高效的低成本“绿氢”解决方案




Source: IEA 2019. All rights reserved. ■ 燃料成本 ■ 运营成本 ■ 资本支出 ● CO<sub>2</sub> 密度

Source: IEA 2019. All rights reserved. ■ Wind ■ Solar ■ Electrolyser

在风电、光伏资源好的地区可大力发展


# 一、国内外氢能发展现状及趋势

## 人类利用氢能的经济性问题是能够被解决的!



### 3 大规模管道输氢降低输氢成本

氢气专用管网  
天然气管网掺氢 ...



### 4 氢能应用的技术成熟及规模化推广

技术进步(瓶颈技术突破、系统优化、效率提升...)  
规模效益(原材料成本下降、基础设施成本摊薄...)

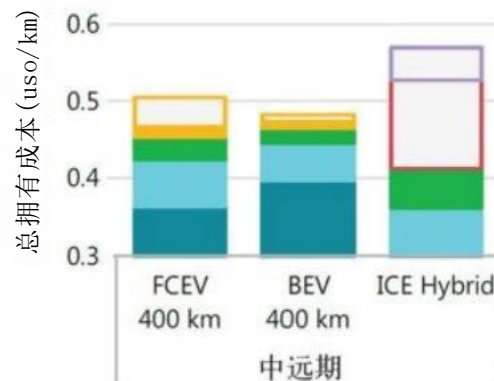
FCV数量	5千辆	2万辆	10万辆	30万辆	90万辆
流量	60t/d	240t/d	1000t/d	2700t/d	7200t/d
管径	DN150	DN300	DN600	DN900	DN1400

管道运输氢气测算原则：以DN300为例，管道及施工价格1km约300万，100km需设一个增压站，根据投资折旧与消耗，估算运输费用为0.7元/kg·100km；约为200bar长管拖车运输费用的10%，液氢运输费用的50%。

- 全球已有近5000公里的氢气管道(美国：2608km， 中国：400km)
- 天然气管网掺氢成本增加：0.3-0.4美元/kgH<sub>2</sub>

乘用车总拥有成本

- 合成燃料(空气收集)    □ 合成燃料(最佳情况)
- 基础设施利用率        ■ 加氢、充电基础设施
- 电力、燃料            ■ 运营和维护    ■ 电池、燃料电池



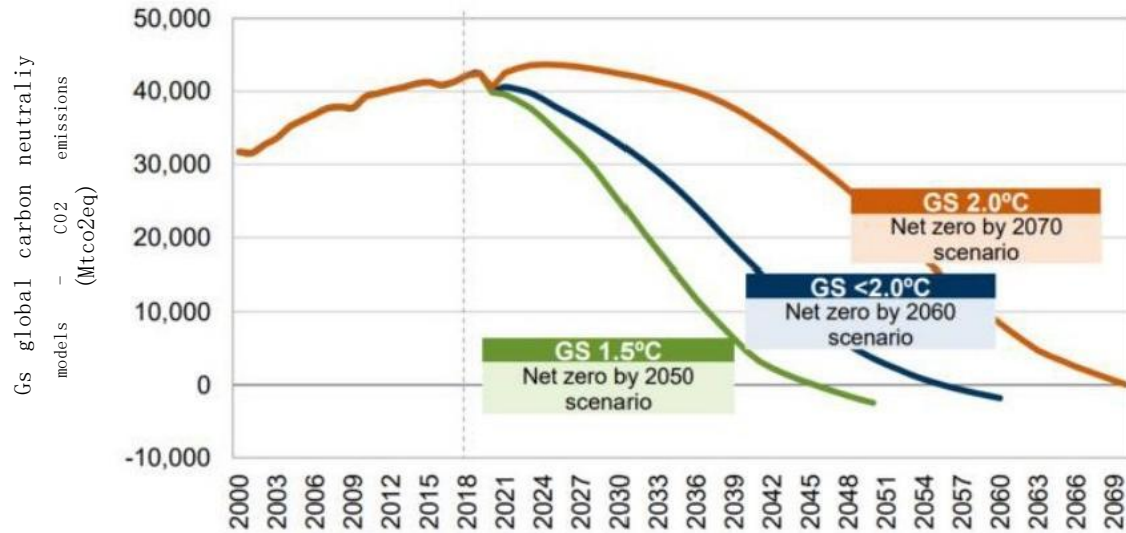
Source: IEA 2019. All rights reserved.

在 400km 里程范围内，FCEV 的成本可以与BEV持平；

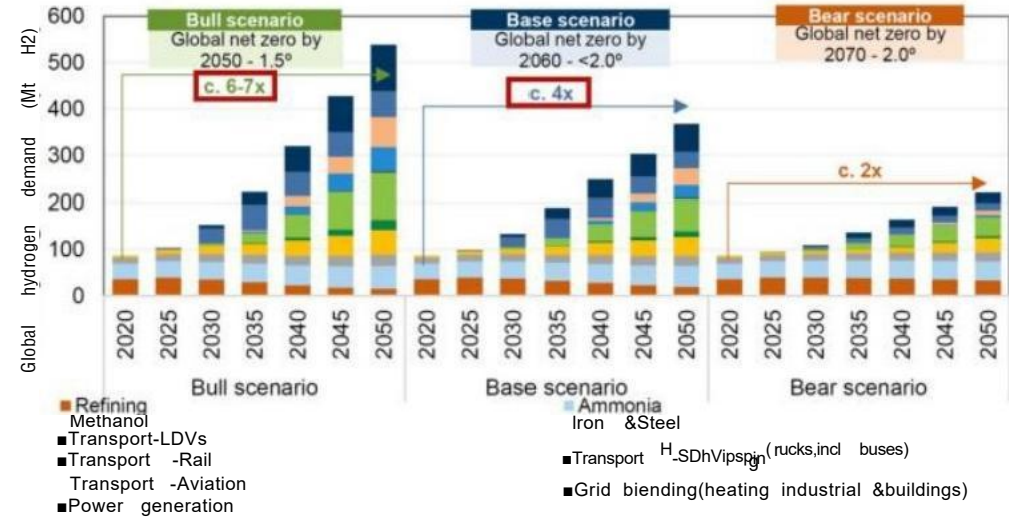
当里程超过400km时，FCEV的长续航优势得以体现，而BEV 充电时间成本显著增加。

## 二、建设大规模绿氢制备基地，支撑“双碳”目标实现

### 氢能产业绿色发展趋势



三种全球碳中和情景下的二氧化碳排放量



三大GS 碳中和模型内的全球氢能需求量 (Mt H<sub>2</sub>)

- 清洁氢能已成为全球所有碳中和路线的关键支柱之一，预计可助力实现全球温室气体排放约15%的去碳化；
- 对于氢能的需求量会增长高达7倍（2050年碳中和情景）/4倍（2060年碳中和情景）。



## 二、建设大规模绿氢制备基地，支撑“双碳”目标实现

### □ 氢储能助力可再生能源大规模开发

- ＞全球总煤炭总消费量77亿吨，IEA报告到2050年保留2%，则为1.5亿吨；
  - ＞按照我国能源基金会的预测报告，煤电到2050年降低80%，现在每年煤电消耗约20亿吨，如果全用煤发电，依然需要4亿吨，远高于IEA的1.5亿吨预测；
  - ＞如果80%由氢替代，1kg氢约和5kg煤，则至少需氢6000万吨
- 综上，替煤发电用氢至少6000万吨

全球2亿吨氢用于交通，假设中国占比为30%，则约需6000万吨

全球4500万吨氢用于钢铁冶金，假设中国占比为40-50%，则约需2000万吨；

全球5000万吨氢用于化工，假设中国占比为40%，约2000万吨

**因此我国到2050年总计约需氢气1.6亿吨，占IEA报告预测5亿吨的32%**

我国2050年的1.6亿吨绿氢：按8600小时计算，约需要1TW电解槽：

考虑50%负荷率，则需 2TW, 5MW 电解槽约需要40万套

若采用碱性电解槽(AEL)产值超过¥5万亿；若采用质子交换膜电解槽(PEMEL)产值超过¥7万亿

## 二、建设大规模绿氢制备基地，支撑“双碳”目标实现

### 我国零碳情景下装机及发电量结构预测

碳中和倒逼约束下，  
新能源将迎跨越式发展  
——“碳达峰碳中和”  
的必由之路

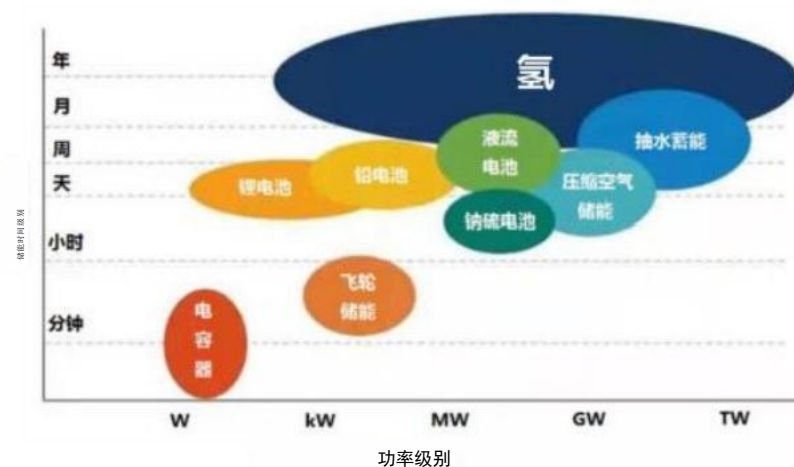
	类型	装机量(万千瓦)			发电量(亿千瓦时)		
		总计	38.6亿千瓦			11.8万亿千瓦时	
2030年 零碳情景下 装机及发电量 结构预测	煤电	121960	化石能源装机占比37%		52226	化石能源发电量占比51%	
	气电	22000	非化石能源装机占比63%		7621	非化石能源发电量占比49%	
	核电	11900			8658		
	水电	40400			15733		
	风电 光伏	78600 83400	合计: 16.2亿千瓦	合计占比: 41.9%	15429 9985	合计: 2.5万亿千瓦时	合计占比: 21.5%
	光热	3000			726		
	生物质	11000			7622		
	抽水蓄能	12000					
	非抽蓄储能	2000					
	类型	装机量(万千瓦)			发电量(亿千瓦时)		
		总计	74.5亿千瓦			15.7万亿千瓦时	
2060年 零碳情景下 装机及发电量 结构预测	煤电	46000	化石能源装机占比9%		14481	化石能源发电量占比13%	
	气电	21000	非化石能源装机占比91%		5527	非化石能源发电量占比87%	
	核电	32900			24405		
	水电	53900			21130		
	风电 光伏	221400 259565	合计: 48.1亿千瓦	合计占比: 64.6%	44677 34144	合计: 7.9万亿千瓦时	合计占比: 50.2%
	光热	25000			7323	2060年风电+光伏发电量较	
	生物质	18000			5313	2030年增加5.4万亿千瓦时，	
	抽水蓄能	19980				可制氢1亿吨	
	非抽蓄储能	47113					

数据来源：国网能源研究院(模型计算)

## 二、建设大规模绿氢制备基地，支撑“双碳”目标实现

➢ 可再生能源的波动性和随机性、发电设备的低抗扰性和弱支撑性，给电网带来高效消纳、安全运行和机制体制三大挑战。

➢ **氢储能**具备大规模、长周期等优势，可实现可再生能源电力时间、空间转移，有效提升能源供给质量和可再生能源消纳利用水平，将成为**拓展电能利用、应对可再生能源随机波动的最佳方式之一**。



➢ **2060年国内**风电+光伏装机48.1亿千瓦，发电量7.9万亿千瓦时，若通过氢储能，不用考虑上网问题，**富余发电量可制氢1~1.5亿吨**，终端能源消费占比将达约**15%**。

➢ 按**西部五省占比50%**测算，**2060年**风电+光伏装机24亿千瓦，发电量4万亿千瓦时，若通过氢储能，不用考虑上网问题，**富余发电量可制氢5000万~7500万吨**。

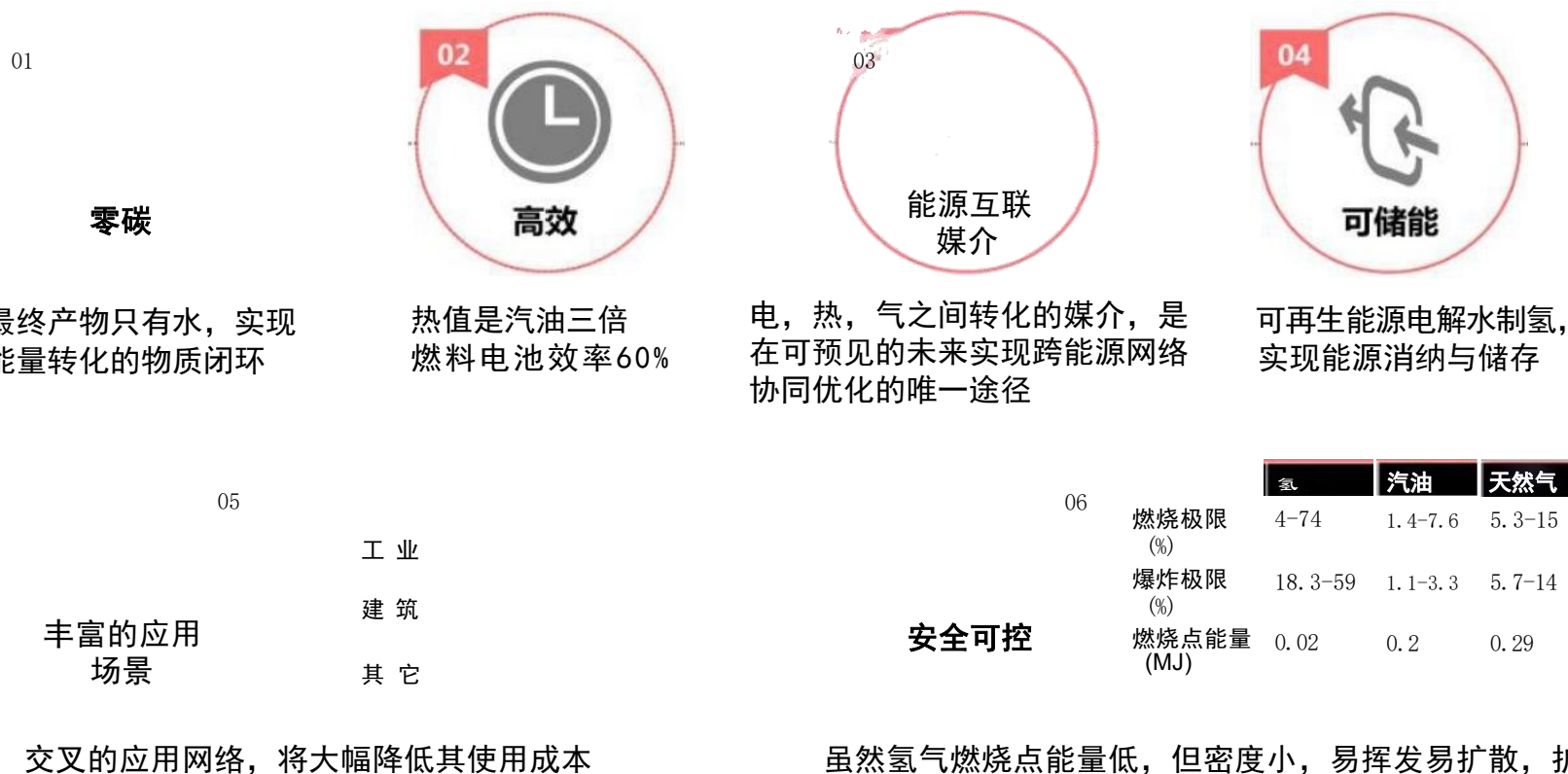
**西部地区应该成为绿氢主体供应基地。**

**氢能作为储能载体的移动式能源和分布式固定能源，将为人类最大限度利用可再生能源提供有力保障**

## 二、建设大规模绿氢制备基地，支撑“双碳”目标实现

□ 氢的特点——氢是二次能源，作为能源载体具有显著的优势

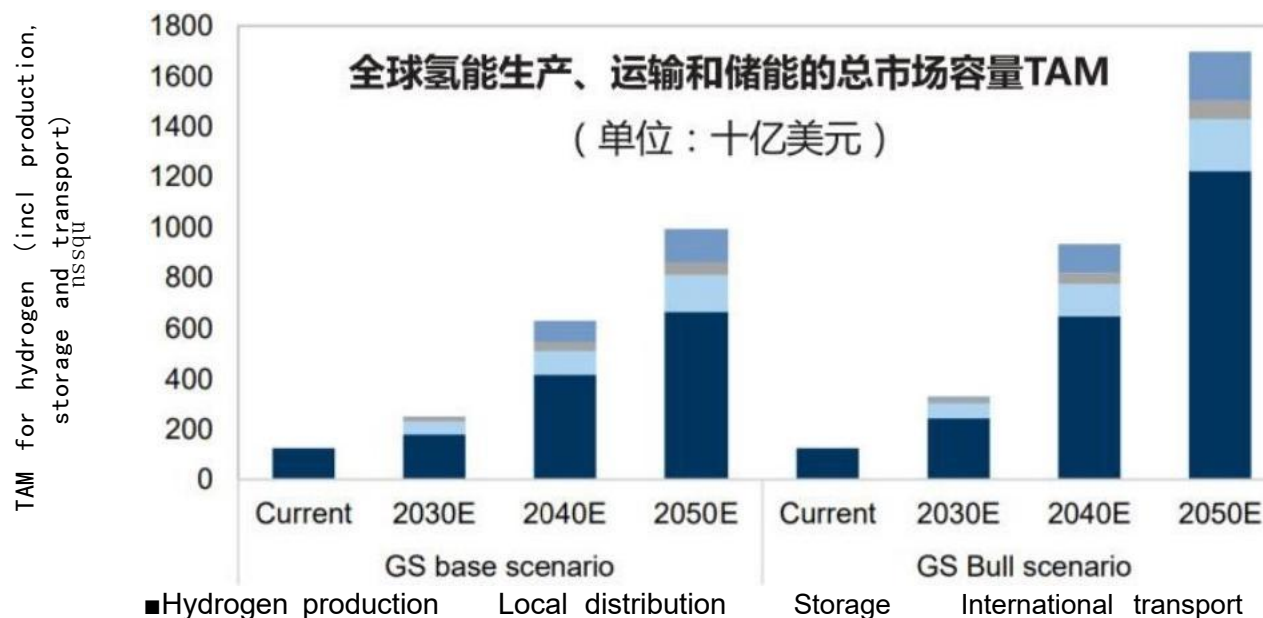
□ 氢能产业的主体是绿氢体系和对应装备，锂电产业的主体是锂动力电池



虽然氢气燃烧点能量低，但密度小，易挥发易扩散，扩散系数是汽油的12倍，发生泄漏时迅速向上逃逸并扩散稀释浓度。

## 二、建设大规模绿氢制备基地，支撑“双碳”目标实现

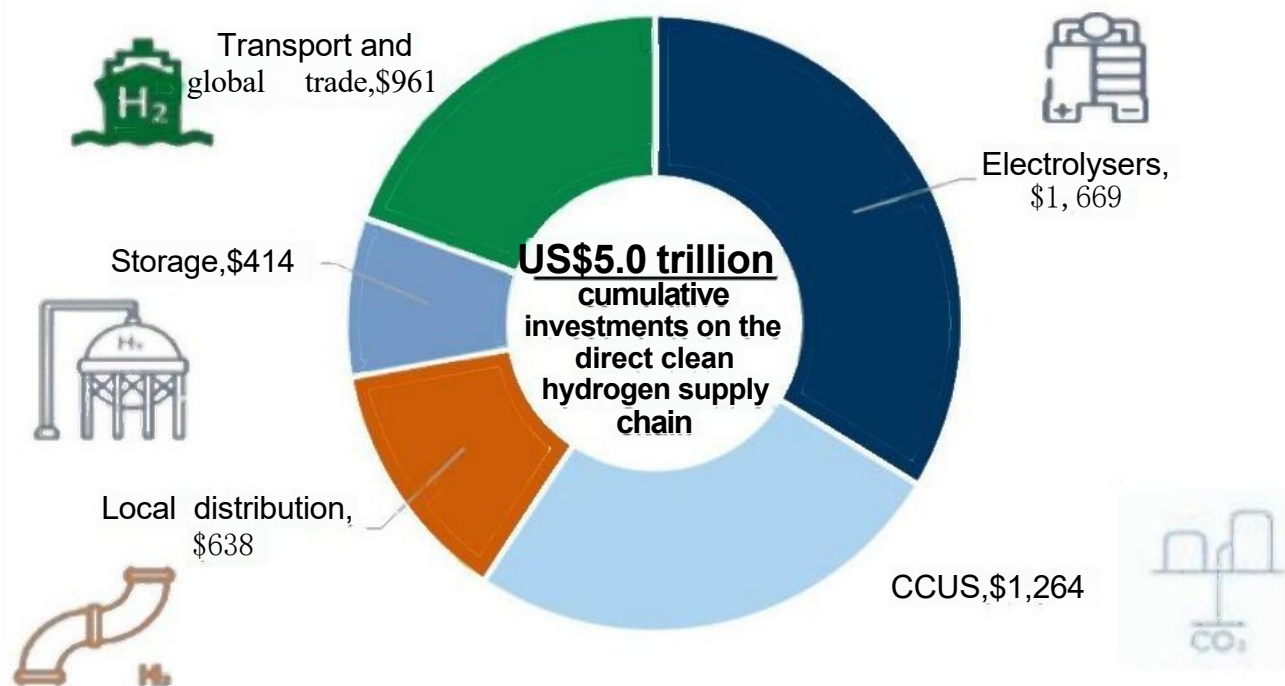
### 氢能生产的潜在总市场容量 (TAM) 可观



- 氢能生产的潜在总市场容量 (TAM) 完全有可能在2030年底翻倍增长，从当前的1250亿美元提高到本世纪二十年代末的大约2500亿美元，至 2050年底更会突破1万亿美元。
- 我国在全球占比按32%计算，则国内氢能生产的潜在总市场容量 (TAM) 将从当前的¥2680亿元提高到本世纪二十年代末的大约¥5360亿元，至 2050年底更会突破¥2.14万亿元。

## 二、建设大规模绿氢制备基地，支撑“双碳”目标实现

### 清洁氢的大规模开发和利用创造巨大投资机遇



实现碳中和的清洁氢能供应链所需要的投资总额及构成

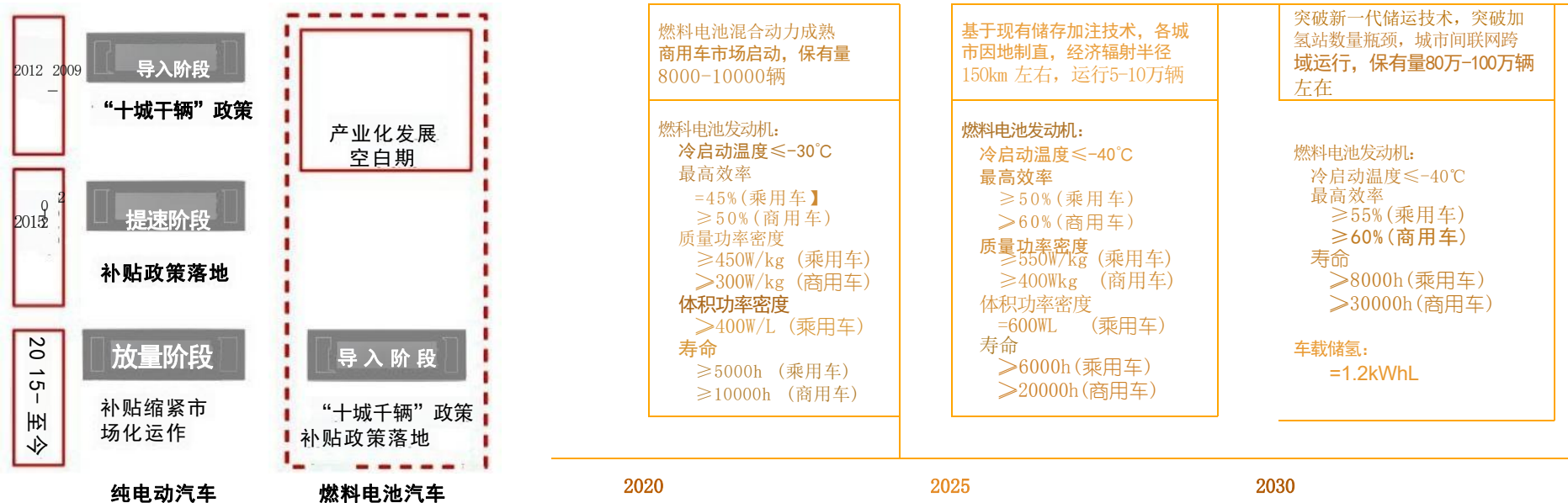
▲对于氢能产业的投资已开始飞速增长，尤其在技术部署方面最为显著。聚焦清洁氢能的直接供应链，从生产（绿色和蓝色氢能的电解槽和CCUS）、储能、本地配送销售、运输和全球贸易等环节的全方面投资来看，估计累计要有**5万亿美元**的投资总额流入清洁氢能的直接供应链当中才能实现碳中和。

4 上述投资只包括清洁氢能直接供应链当中的资本性支出投资，并未包含末端市场（工业、运输、建筑）相关的资本投资或者发电厂利用绿色氢能进行发电所需的相关资本投资。

### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 1、国内燃料电池汽车进入提速发展阶段，燃料电池装机量快速增长

- > **氢能源汽车**与电动汽车同属新能源汽车赛道，具有较高发展共性。电动汽车已经完成了由导入到提速并最终放量的完整市场发展阶段。氢能源汽车行业已在“十城千辆”及以奖代补政策下完成了初期导入，**将加速进入提速发展阶段**。
- > 《节能与新能源汽车技术路线图2.0》：**氢燃料电池汽车**保有量将分别达到：**0.8~1万辆（2020年），5万~10万辆（2025年），80万~100万辆（2030年），保有量的增长空间达十年百倍。**

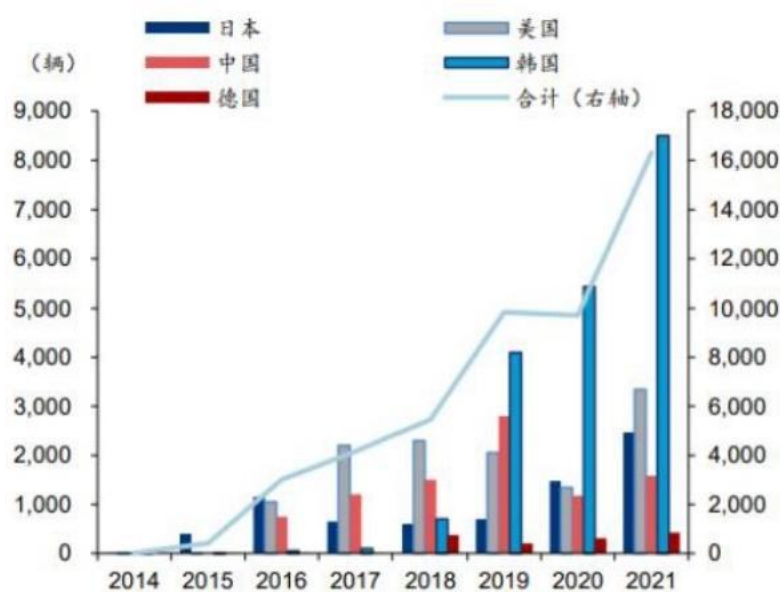


电动汽车与氢能源汽车行业发展趋势对比  
出处：GGII、中国汽车工业协会

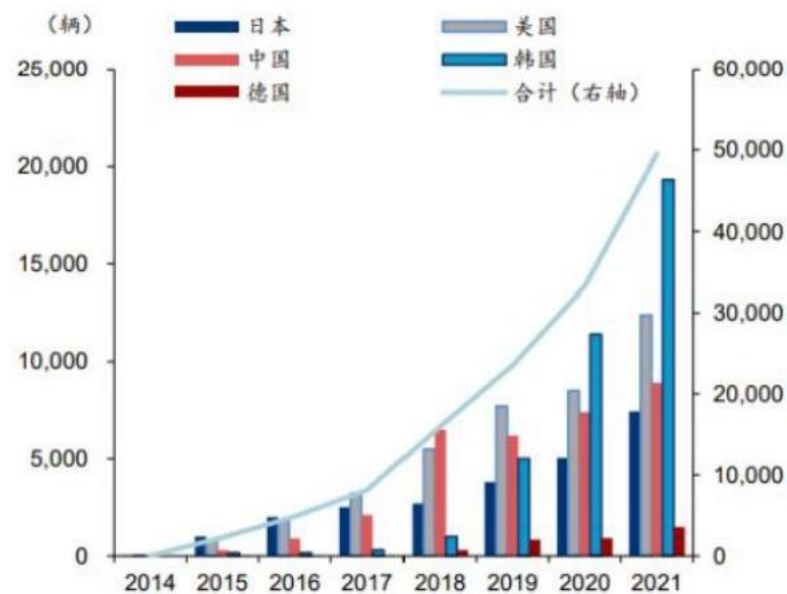
我国氢燃料电池汽车阶段性发展目标及里程碑  
出处：中国汽车工程学会《节能与新能源汽车技术路线图2.0》

### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

E4Tech数据显示，2020年全球燃料电池装机量达到1319.4MW，2018~2020年CAGR（年复合增长率）为35%；其中交通运输领域的需求上升尤为明显。2020年全球交通运输用燃料电池出货量为994MW，近五年CAGR达到34.1%，占全球燃料电池出货量的比例从2015年的38.2%提升至2020年的75.4%。



2014-2021全球主要国家氢车销量



2014-2021全球主要国家氢车保有量



### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇



#### 国内燃料电池技术水平逐步接近国际先进水平

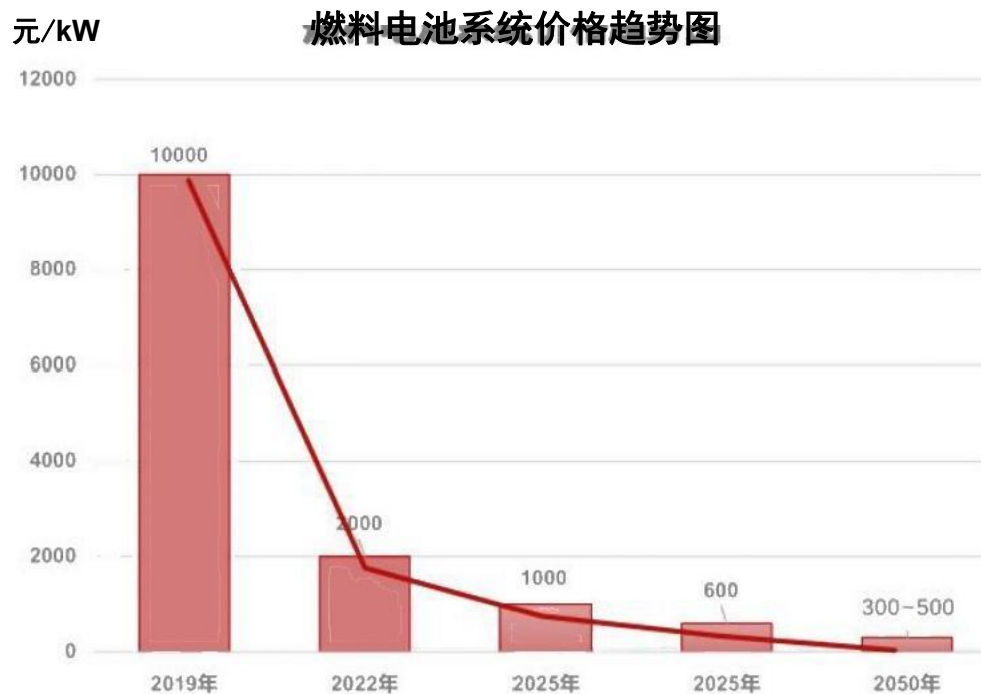
生产商	巴拉德	上海重塑	维柴巴拉德	亿华通	江苏清能	大连新源	大连新源	或肿氢能	率田
型号	HPS	PRISA12	LCS	YHT8120	VLII-120	HM10D-150	HY10D-120	H	MIRAI I
功率 (M)	140	130	120	120	120	150	120(峰值)	160	128
质量功率密度 (/Kg)		702	561	700	505				
体积功率去度 (K/L)	4.3	4.4	4	4.1	4.4	4.5		4.7	5.4
寿命(HD)	30000	30000	30000	未公布	15000	10000	10000		7000
低温启动性能C°	-28	-30	-30	-35	-30	-40	-30	-39	-30
工作温度区间C°	-40~95	-35~45		-35~89					
IP防护等级		68		67	67	67	67		
双极板类型	石墨	石墨	石墨	石墨	石墨	金属	金属	金属	金属
上市日期	2020年9月	2021年6月	2021年6月	2021年6月	未知	2021年5月	2021年5月	2021年6月	2020年库

- 巴拉德和丰田分别代表在石墨双极板和金属双极板两个技术路线的国际领先水平；
- 近年来，我国已初步实现质子交换膜燃料电池全产业链的国产化，逐步发展到产业规模持续扩张、基础设施逐步完善的产业化初期阶段。我国燃料电池技术水平在性能、寿命方面均取得一定的突破，已接近国际先进水平。

### 三、 氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 燃料电池价格现状及变化趋势

近年来，伴随优秀国产燃料电池产业链企业的崛起，核心材料和关键部件国产化、规模化及技术水平持续提升，**燃料电池的价格快速下降**。根据GGI在2021年初的分析，2020年我国燃料电池系统和电堆的价格已经实现20%-50%幅度的下调。随着国产化进程的加速及规模效应，燃料电池成本下降的趋势有望持续。



### 三、 氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 2、 优先氢能重卡等商用车， 带动重载长续航氢燃料电池车装备产业发展

＞环保部《中国机动车环境管理年报(2018)》：2017年我国柴油车占汽车保有量的9.4%，但柴油车氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放量占排放总量的68.3%；颗粒物排放量占排放总量的99%以上。

＞在一些特殊区域，如港口、码头、工业园区等重型柴油车密集的地方，污染物排放问题十分严重。柴油货车的尾气排放对雾霾颗粒物(PM) 贡献率约77.8%以上。



### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇



#### 物流密集的港口地区尤其适合建立“柴改氢”示范区

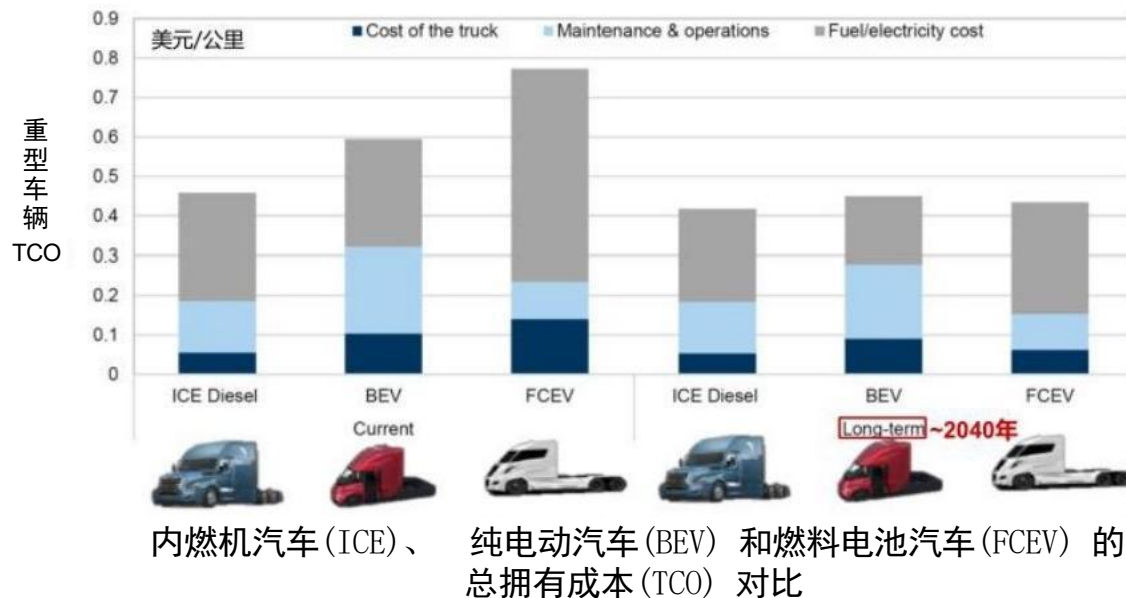
1. 氢燃料电池车的特点适合长距离、重载量的物流使用；
2. 港口货物吞吐量大，柴油车辆数量大且密集使用，若改为氢能重卡，利于集中布局加氢站；
3. 氢消耗量大，便于建立大型加氢站（比如每天5吨），可有效降低加氢站运营成本，达到示范经济效益；
4. 沿海港口地区附近多建有大型钢铁企业及联产焦化企业，副产氢来源有保障，可实现氢源供应的经济效益；
5. 港口交通发达，氢源运送进出便利，易于规划建设氢能输送管网，进一步降低氢能供应成本，提高氢能综合利用的经济效益。

**在港口地区推广应用氢能重卡，将使港口从雾霾重灾区变为清洁示范区，大大减少雾霾带的形成**

### 三、 氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 口氢能重卡总拥有成本将快速下降

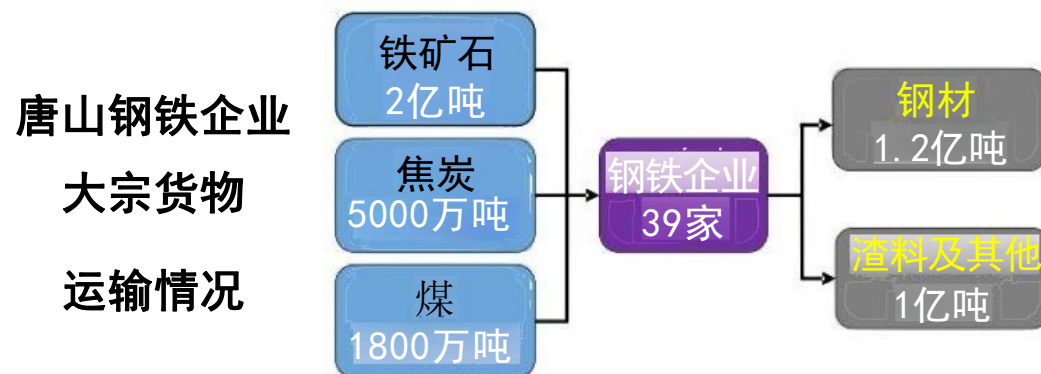
- 长远来看，对于重型公路长途运输，燃料电池汽车更具竞争力，其TCO（总拥有成本）与纯电动汽车相当，但优点突出在重量更轻和补充燃料的时间更短。
- 虽然目前这两种车辆的TCO 仍高于传统的柴油内燃机卡车，技术创新和成本下降将随着规模经济的发展而不断进行，从而将降低这两种技术的成本。其中FCEV的成本下降速度更快。



- FCEV（燃料电池汽车）的增长可能会明显加快；
- 到 2030/40年，FCEV(燃料电池电动汽车)和 EV（电动汽车）合计共占 HDV（重型车辆）总销量的约22%/100%。

### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 口开创氢能重卡时代，优先发展氢能商用物流车



2016年唐山货车  
保有量约13万辆

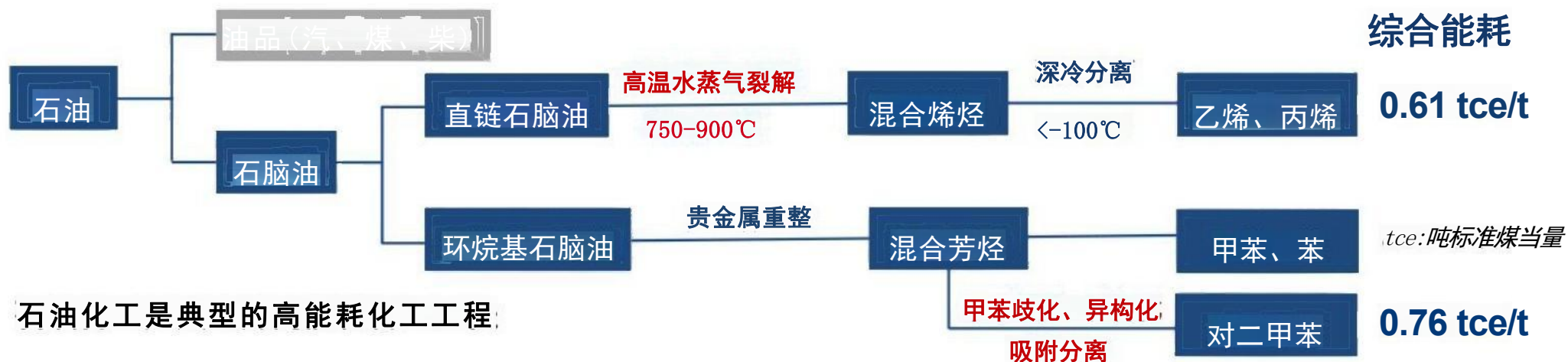
唐山地区钢铁产能超过1亿吨，占河北省的55%，占全国的13%，煤炭、铁矿石及钢铁等物品运输总量6亿吨/年，全市炼焦产能约为3600万吨，可提纯氢气约50亿立方米，足够3万辆重卡运行。

若实现全部柴改氢，每年可减排(根据河北省环境保护厅《河北省机动车污染防治年报2016》进行测算)：

- 一氧化碳(CO) 2万吨 占机动车总排放的6.5%
- 碳氢化合物(HC) 0.46万吨 占机动车总排放的12%
- 氮氧化物(NOx) 2.2万吨 占机动车总排放的36%
- 颗粒物(PM) 0.3万吨 占机动车总排放的55%

### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 3、“双碳”背景下化工发展新路径



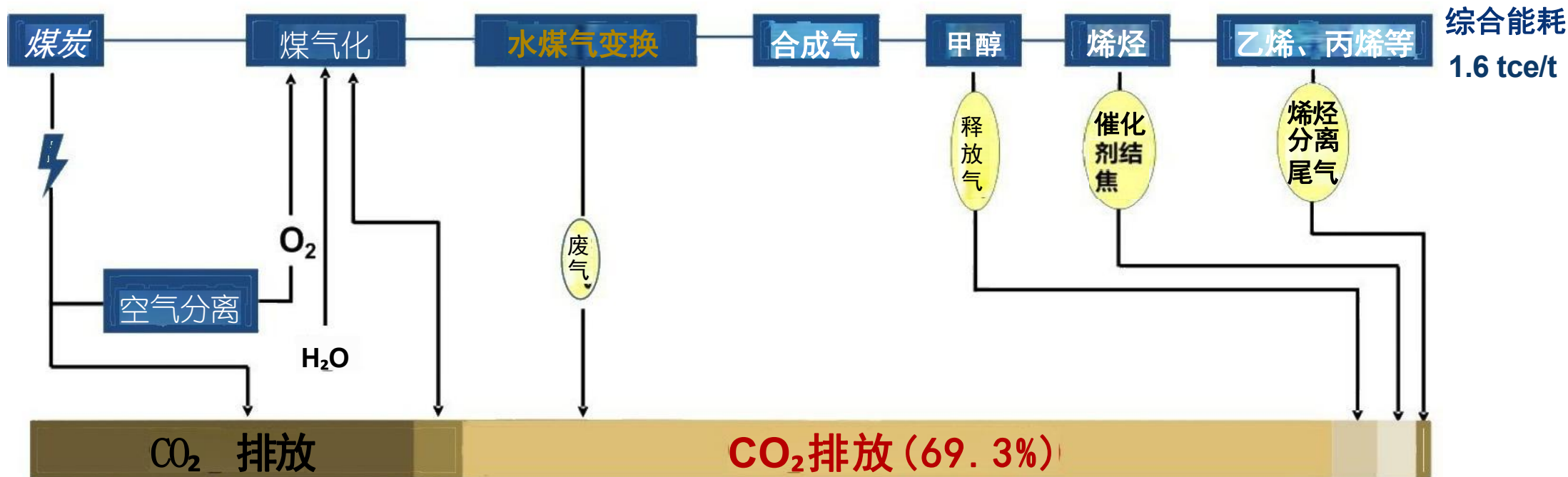
石油化工是典型的高能耗化工工程。

- 我国约70%烯烃通过石脑油高温蒸汽裂解工艺制备，石脑油蒸汽裂解是强吸热反应，反应温度达到800°C，需要大量燃料保证热量；据测算，我国每年因蒸汽裂解制烯烃排放的CO<sub>2</sub>约1.1亿吨；反应体系碳氢比例不合理，生成大量甲烷副产物，且丙烯产率低，乙/丙烯比例难以调节。
- 混合芳烃分离需要加氢、重整、歧化/烷基转移、异构化等工序，流程长、工艺复杂、能耗高；据测算，我国每年采用该工艺路线生产对二甲苯(PX)排放的CO<sub>2</sub>约5800万吨；PX收率低(~24%)，副产高(苯选择率40%)，需采用贵金属催化剂。

**石脑油蒸汽裂解、混合芳烃分离是石油化工行业能耗最大的过程之一**

### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 传统煤化工过程是典型的高能耗化工工程



传统煤化工过程中水煤气变换过程，涉及水蒸气通过炽热的煤层反应生成CO与H<sub>2</sub>，期间会排放大量CO<sub>2</sub>。

在煤气化过程中，需要通过空分过程供给大量O<sub>2</sub>，同样需要大量能量消耗。

据计算，水煤气变换及净化过程，CO<sub>2</sub>排放量占整个煤经合成气制化学品的69.3%

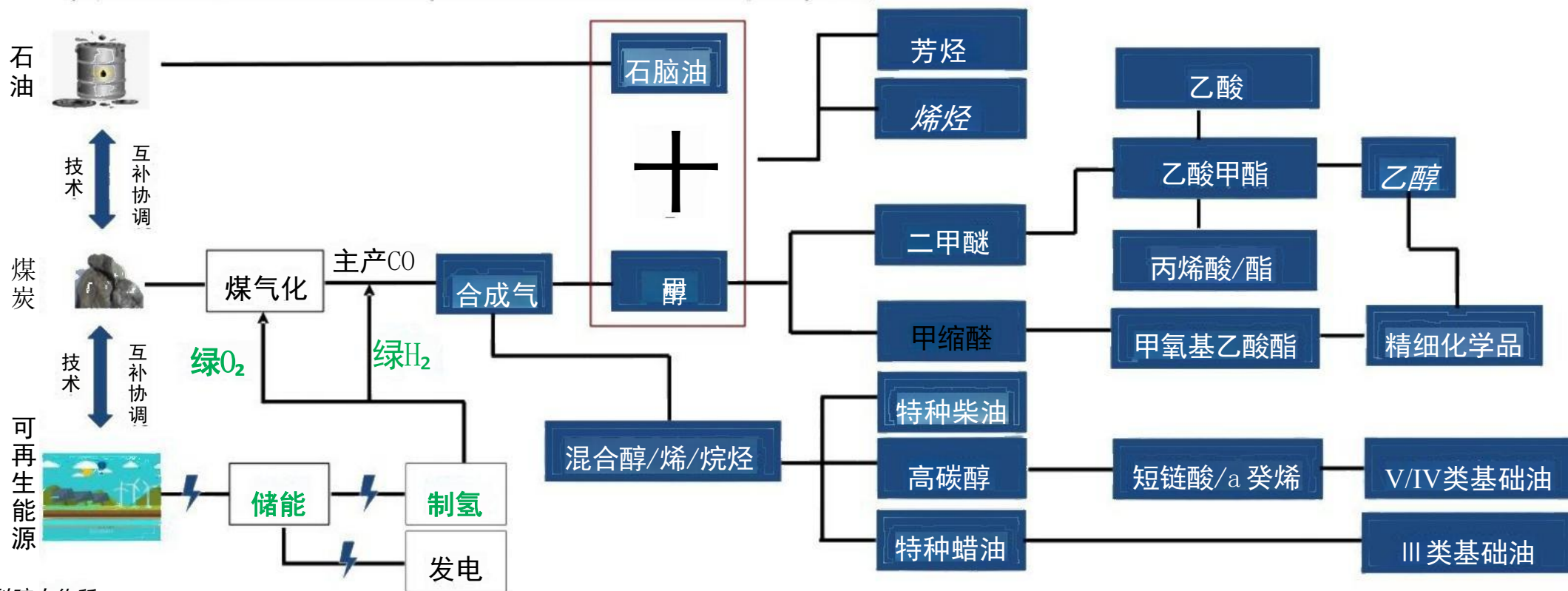
### 水煤气变换是煤化工行业主要能耗过程之一



### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

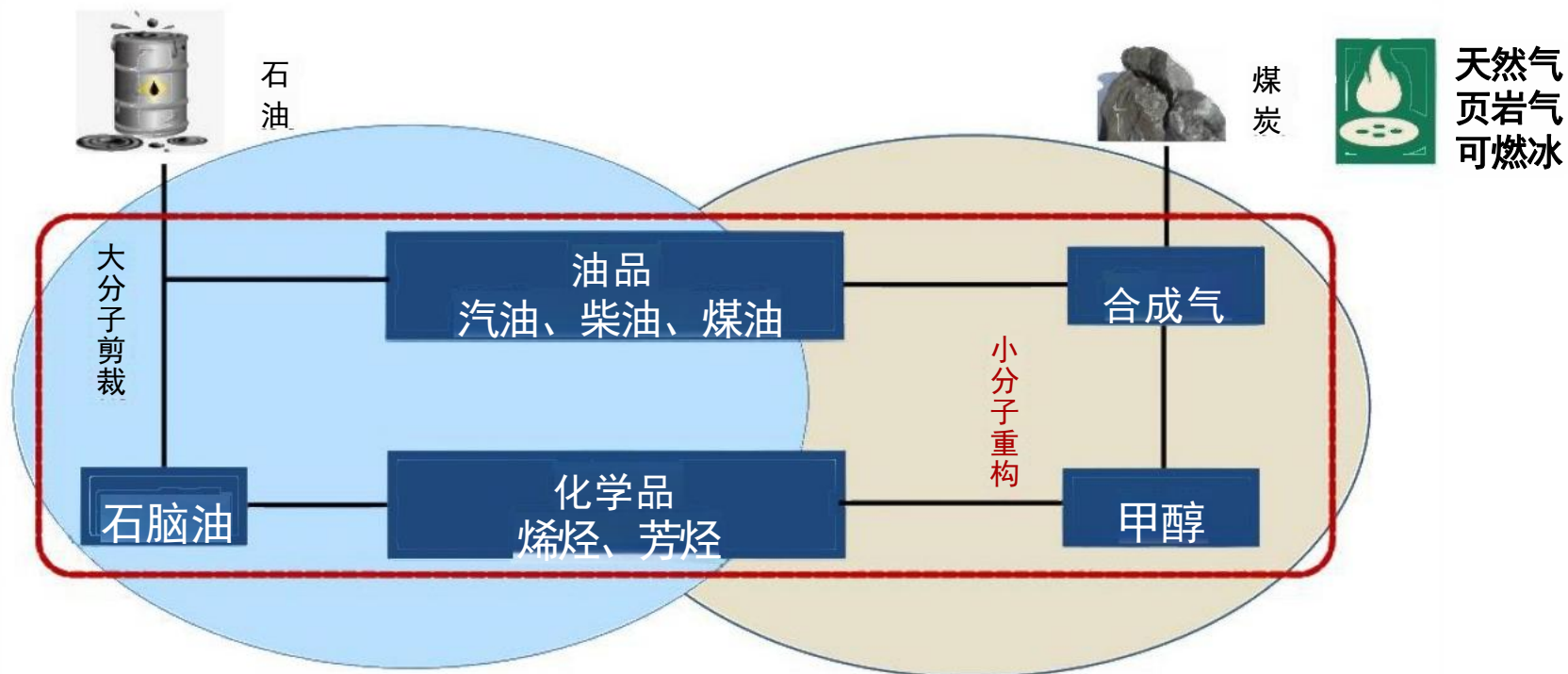
#### 工业低碳关键技术体系构建

通过石油化工与煤化工、能源化工与多能融合高效耦合，重点突破烯烃、芳烃、含氧化合物、特种油品和化学品低碳新技术，构建**有机融合的工业低碳关键技术体系**，增强我国大宗(基础)化学品供给体系的韧性，形成更高效率和更高质量的投入产出关系，有力支撑国家“双碳”目标实现。



### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 石油化工与煤化工高效耦合转化



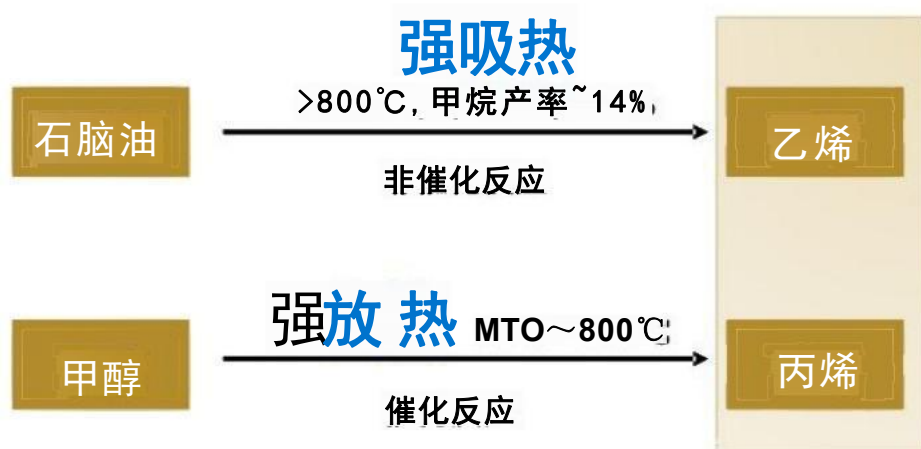
石油化工难以直接生产含氧化合物，更适合生产油品，并与煤化工耦合发展

以合成气/甲醇为原料的转化平台，更适合含氧化合物和特种油品的生产，原子经济性高，是

石油化工和煤化工耦合发展的桥梁

### 三、氢能为制造业高质量发展带来新的机遇

#### 甲醇、石脑油耦合制烯烃



工艺过程	蒸汽热解	催化裂解	甲醇石脑油耦合
反应温度(°C)	820	660	600
甲烷产率(wt%)	12.22	8.84	2.36

#### 强放热反应和强吸热反应的耦合

- > 石脑油原料利用率提高10% (甲烷产率<4%)
- > 能耗降低1/3~1/2

开发出高性能耦合催化剂，突破传质扩散限制、并实现活性调控，可以将甲醇与石脑油高选择性转化为烯烃产品

设计新型反应工艺，充分发挥强放热反应和强吸热反应原位耦合，将大幅提高原料利用率、节能降耗

缺少工艺放大和中试，缺乏先进催化剂大规模筛选与评价

**亟需建设智能化、数字化催化剂筛选评价实验室及中试放大平台，缩短先进技术产业化周期**

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/758026014040006052>