



百年校庆论坛



氢燃料电池发展的现状与挑战

叶思宇

2021年3月6日



廈門大學美洲校友會
Xiamen University America Alumni Association



• 目录

1

背景

2

氢能和燃料电池简介

3

氢能和燃料电池技术发展现状

4

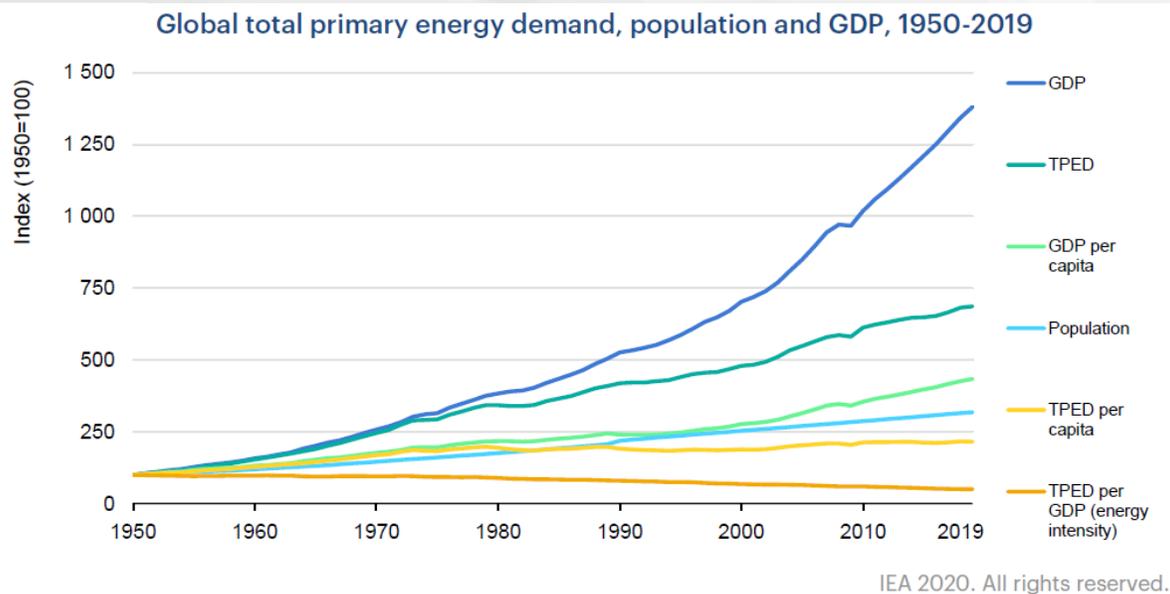
氢能和燃料电池大规模产业化的挑战及技术发展前景

5

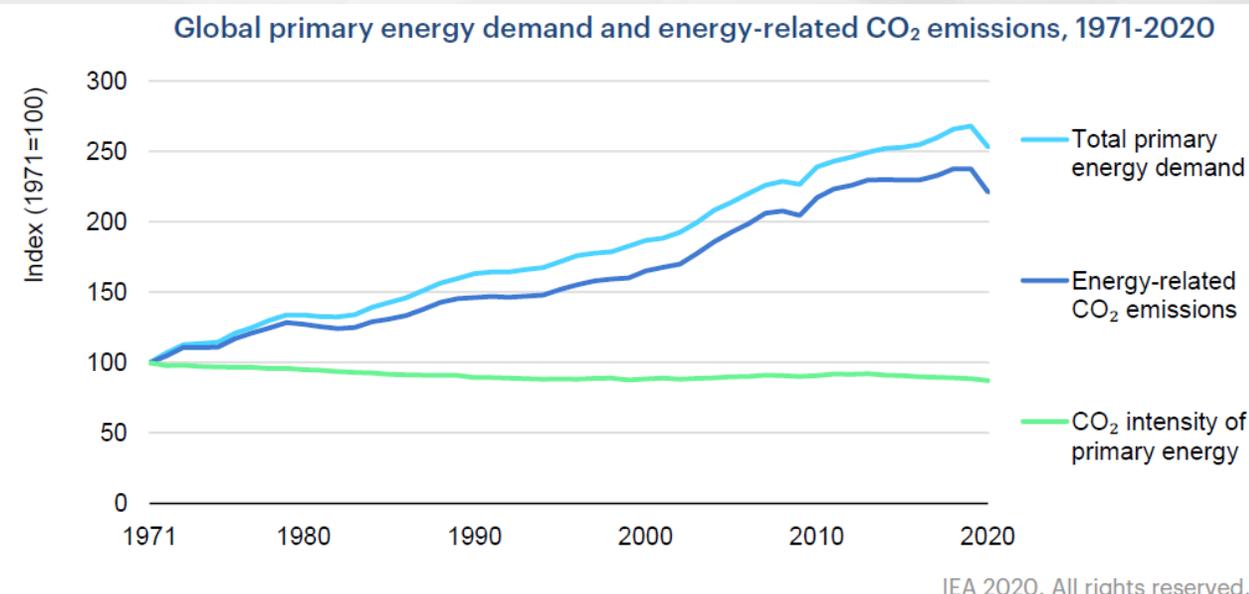
小结



• 能源需求的增长与环境的 关系



Note: TPED = total primary energy demand.



- Energy demand has historically been driven by GDP and population, reaching a sevenfold increase from 1950.
- Energy-related CO₂ emissions generally have risen with energy demand since the 1970s; the Covid-19 is set to cause the largest decline in annual emissions over that period.



• 温室气体排放应对方法：政府政策

- 进入21世纪，为应对能源和环境危机，尤其是日益严峻的节能减排压力，汽车能源动力系统转型成为国际汽车工业共同选择，传统燃油汽车排放的污染是大气污染的重要因素，我国的二氧化碳排放目前已居全球第二，
- 燃油车退出市场已成大势所趋，世界各国纷纷制定了燃油车禁售时间表，我国也正在酝酿燃油车退出市场的时间表。

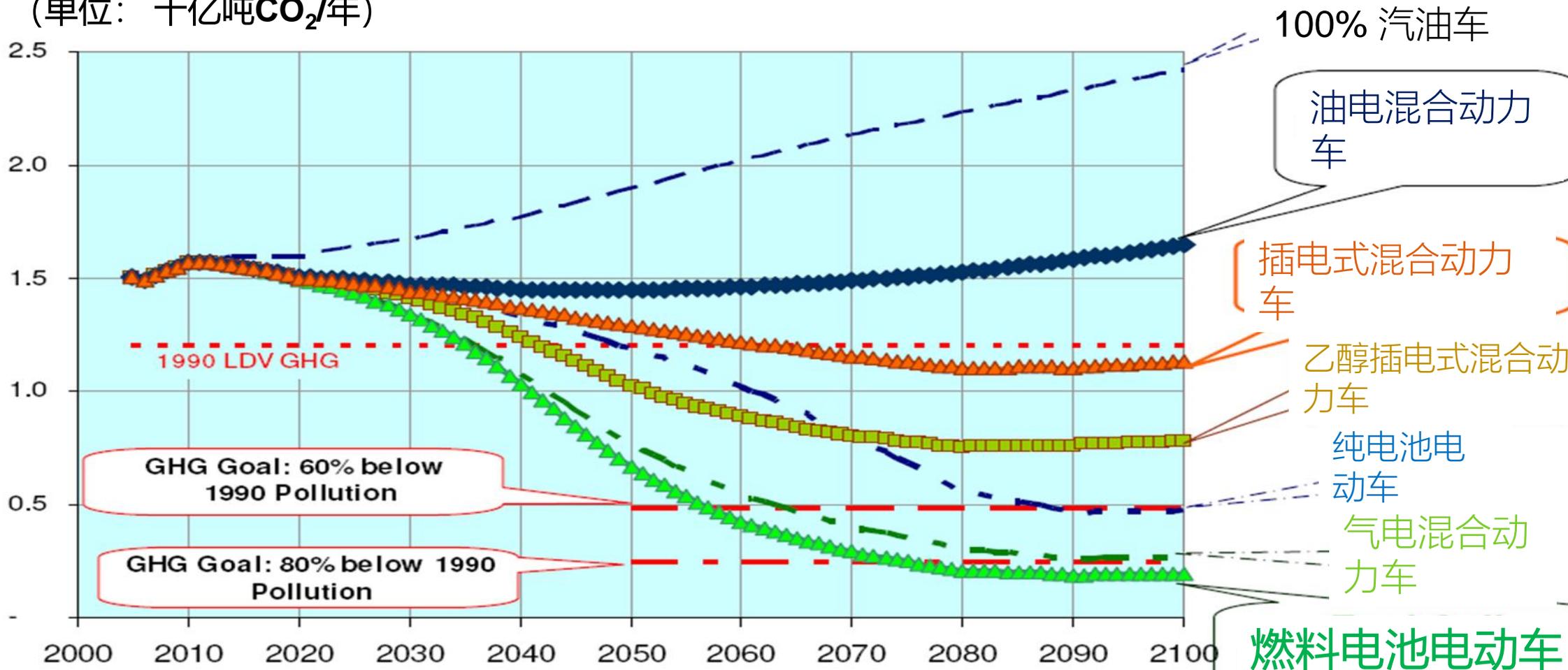


<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1608150949804770376&wfr=spider&for=pc>

在中国，海南省率先规定2030年禁止销售和使用燃油汽车

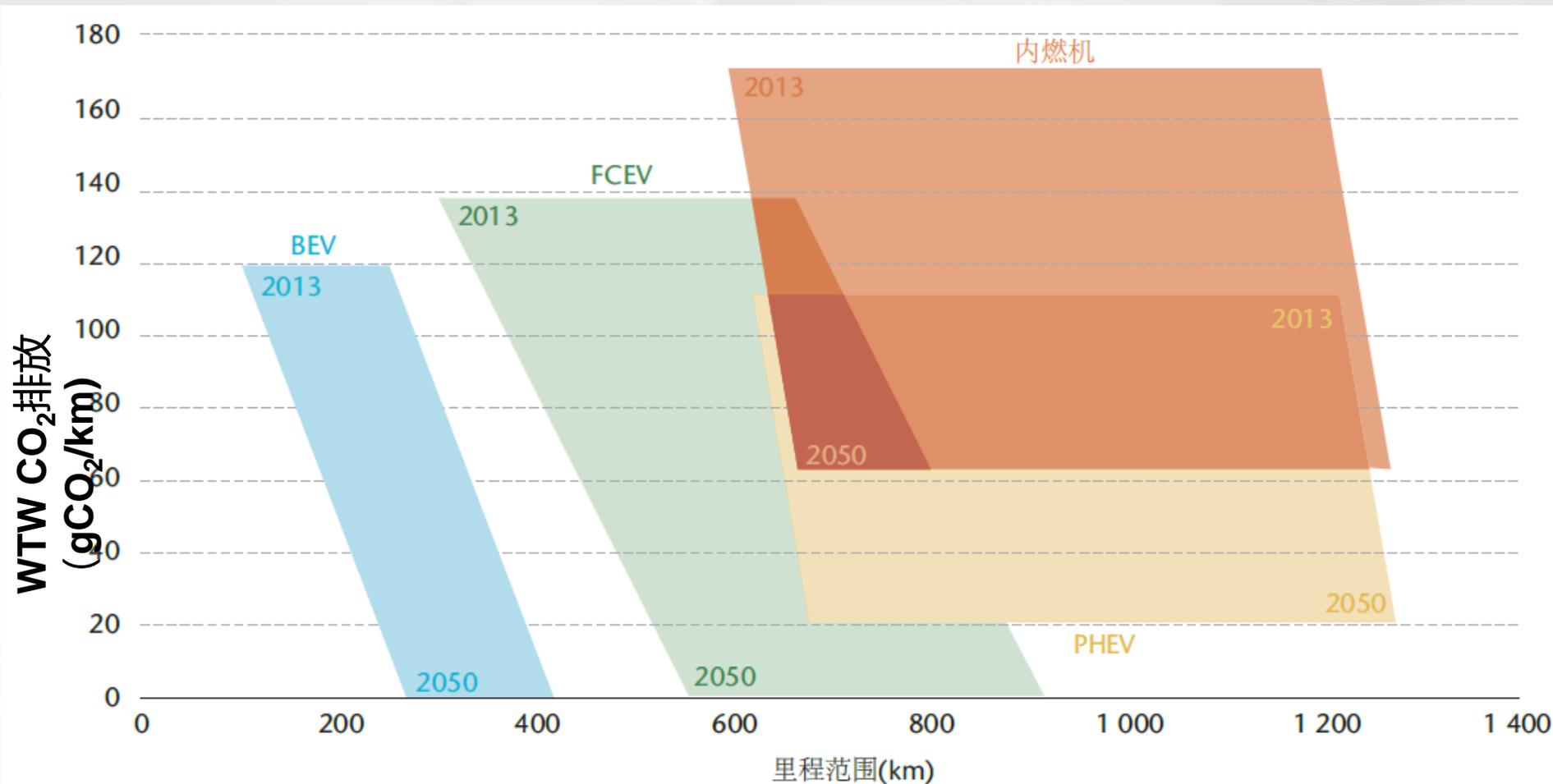
• 温室气体排放应对方法：技术路线

温室气体的排放 (仅以小轿车为例)
(单位: 十亿吨CO₂/年)





井-轮 (WTW) 排放与车辆里程的技术选择



注: gCO₂/km = 每公里二氧化碳的克数; WTW = 井-轮; BEV排放的上限范围考虑到当今世界平均发电组合, 下限范围基于100%的可再生能源; FCEV排放的上限值考虑到90% 天然气 SMR和10%电网电力的制氢混合, 下限值基于100%可再生氢; 较低范围的PHEV排放考虑到65%的电力驱动; 到2050年, 混合动力汽车和内燃机汽车的生物燃料份额预计将达到30%。



· 氢是一个清洁能源的载体

H

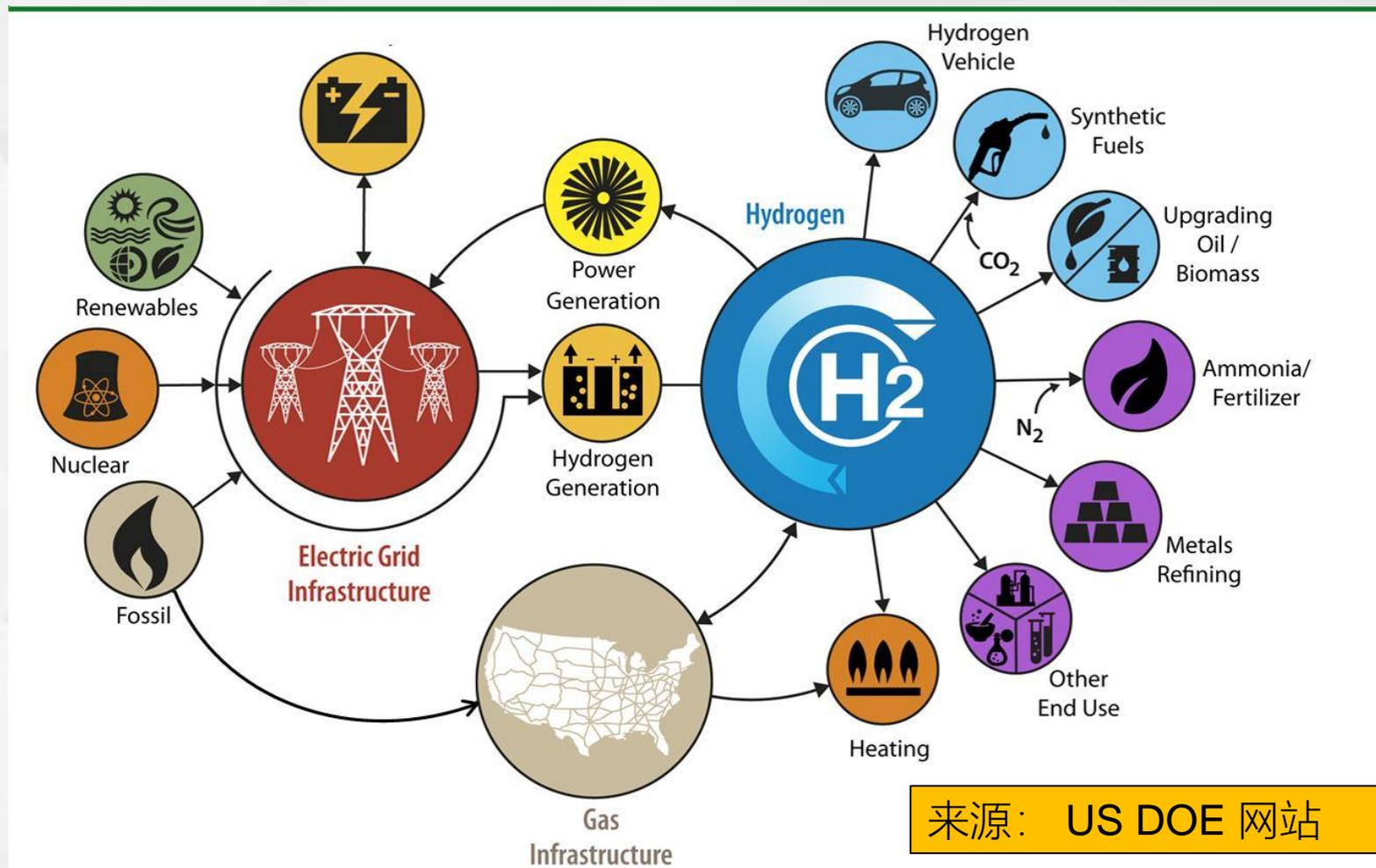
Hydrogen 1.008

The first industrial water electrolyser was developed in
1888

Henry Cavendish discovered the element in
1766

Most abundant chemical structure in the universe

Hydrogen means "Creator (-gen) of water (hydro-)": its combustion releases only water

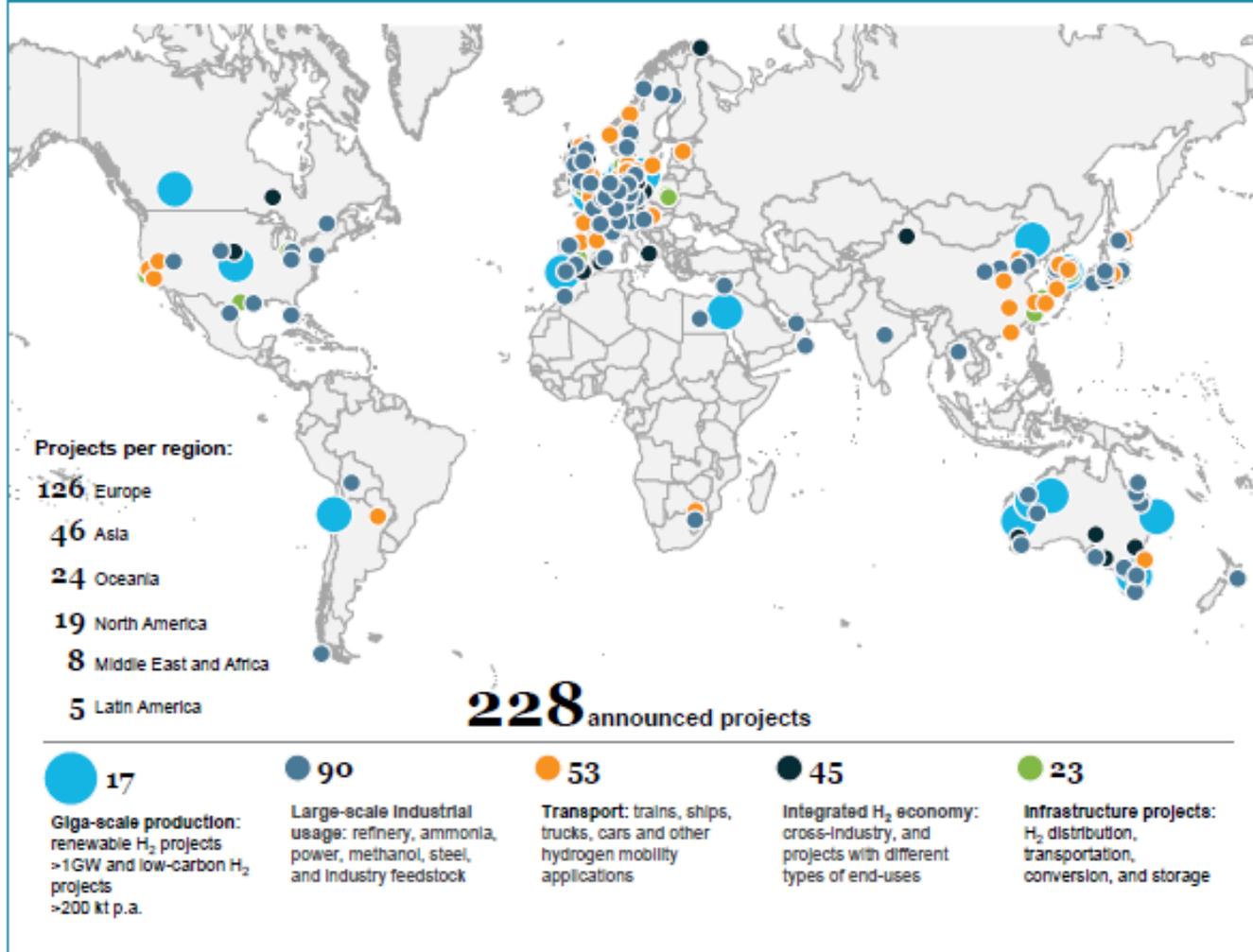


来源: US DOE 网站

氢是最轻的元素，来源广泛，用途多样

全球氢能源发展：政策

Exhibit 2: Global hydrogen projects across the value chain



- 为响应政府对深度脱碳的承诺，当前氢能项目正在加速发展。
 - 截至2021年初，全球已有30多个国家发布氢能路线图。各国政府承诺提供公共资金，支持通过氢气技术实现脱碳。
 - 当前已经宣布的大型项目不少于228个，其中86%位于欧洲、亚洲和大洋洲，分别拥有126个、46个和24个。这228个项目分为吉瓦级制氢、大规模工业应用、运输、综合应用和基础设施等
- 2020年，中国氢能联盟与国际氢能委员会联合发布的《氢能平价之路》报告指出，到2030年，氢能将成为包括长途卡车运输、航运和钢铁在内的20多种应用中最具竞争力的低碳解决方案。



• 目录

1

背景

2

氢能和燃料电池简介

3

氢能和燃料电池技术发展现状

4

氢能和燃料电池大规模产业化的挑战及技术发展前景

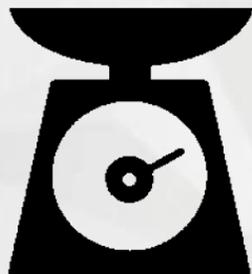
5

小结

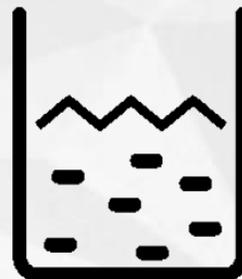


氢能优势——特征

高重量能量密度，低体积能量密度

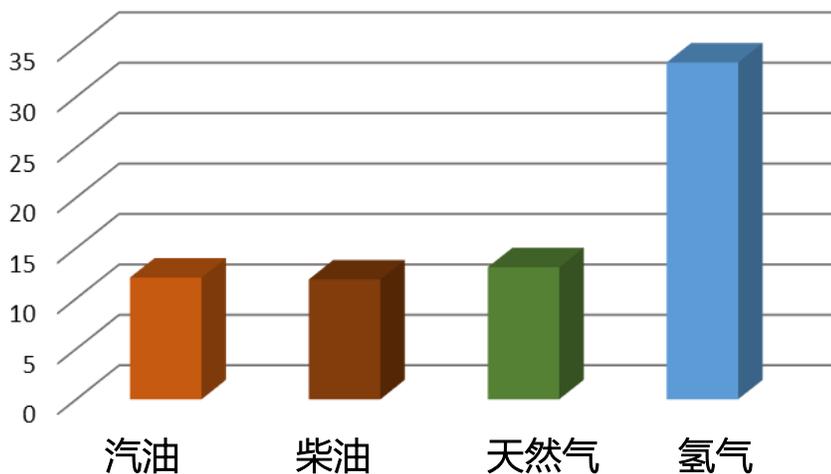


Approx.
3X more
energy content
by mass
than gasoline

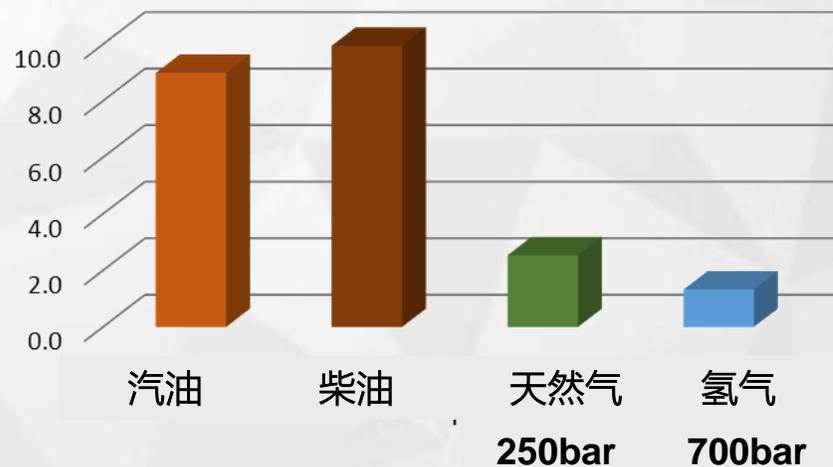


Approx.
4X less
energy content
by volume
than gasoline

重量能量密度比较 (kWh/kg)



体积能量密度比较 (kWh/L)



• 氢安全吗？

燃烧与爆炸性 (氢气的爆炸能量是常见燃气中最低的, 仅为汽油气的1/22)

Table 2. Physical properties of hydrogen

Property	Hydrogen	Comparison
Density (gaseous)	0.089 kg/m ³ (0°C, 1 bar)	1/10 of natural gas
Density (liquid)	70.79 kg/m ³ (-253°C, 1 bar)	1/6 of natural gas
Boiling point	-252.76°C (1 bar)	90°C below LNG
Energy per unit of mass (LHV)	120.1 MJ/kg	3x that of gasoline
Energy density (ambient cond., LHV)	0.01 MJ/L	1/3 of natural gas
Specific energy (liquefied, LHV)	8.5 MJ/L	1/3 of LNG
Flame velocity	346 cm/s	8x methane
Ignition range	4-77% in air by volume	6x wider than methane
Autoignition temperature	585°C	220°C for gasoline
Ignition energy	0.02 MJ	1/10 of methane

Notes: cm/s = centimetre per second; kg/m³ = kilograms per cubic metre; LHV = lower heating value; MJ = megajoule; MJ/kg = megajoules per kilogram; MJ/L = megajoules per litre.



	Hydrogen	Natural Gas	Gasoline
Flammability in air (LFL – UFL)	4.1% - 74%	5.3% - 15%	1.4% - 7.6%
Most easily ignited mixture in air	29%	9%	2%
Flame temperature (°F)	4010	3562	3591

<水素とガソリンの燃焼比較試験> 左側が水素



Photo 1 - Time: 0 min, 0 sec - Hydrogen powered vehicle on the left, Gasoline powered vehicle on the right.

Photo 2 - Time 0 min, 3 seconds - Ignition of both fuels occur. Hydrogen flow rate 2100 SCFM. Gasoline flow rate 600 cc/min.

Photo 3 - Time: 1 min, 0 sec - Hydrogen flow is subsiding, view of gasoline vehicle begins to enlarge.

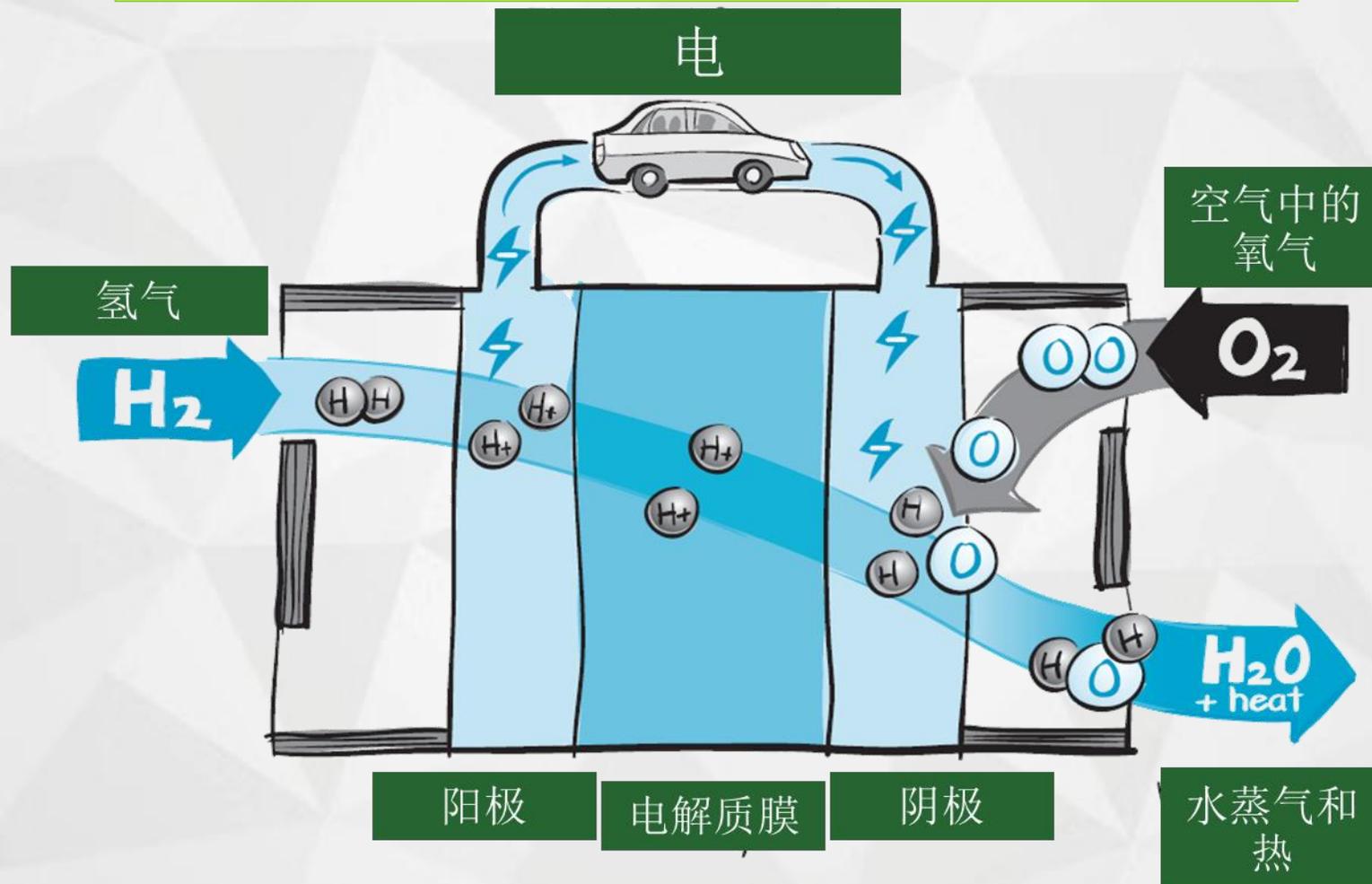
<参考>

氢气不易形成可爆炸的气雾, 且其泄露能量和爆炸当量较低。
氢气的扩散速度是天然气的3.8倍, 但泄露能量仅约为天然气的40%;
氢气具有最大的浮力和扩散性, 泄漏的氢气将会很快上升并向各个方向快速扩散, 使得浓度难以达到爆炸所需浓度。



· 什么是燃料电池？ 燃料电池如何工作？

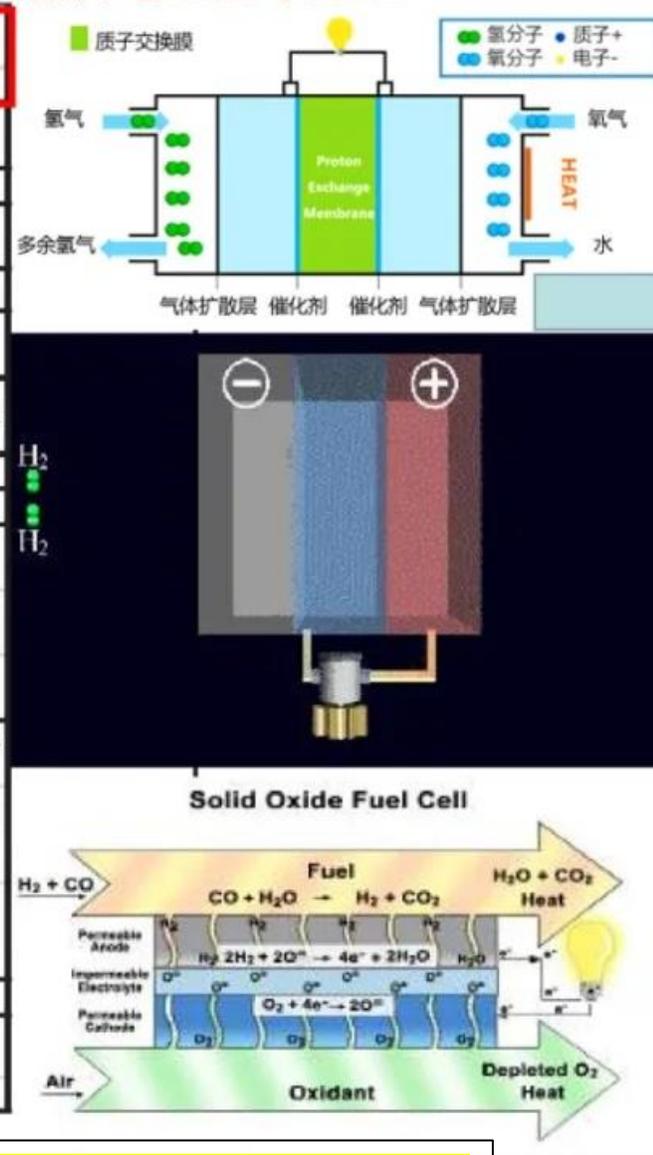
加氢，产生电和水（不经过燃烧）





• 燃料电池的种类及其主要应用领域

燃料电池种类	碱性燃料电池 (AFC)	磷酸型燃料电池 (PAFC)	熔融碳酸盐 (MCFC)	固态氧化物 (SOFC)	质子交换膜 (PEMFC)
电解质	KOH	H ₃ PO ₄	LiNaK碳酸盐	ZrO ₂	全氟磺酸膜
阴极	C, Pt	C, Pt	Ni, Cr, Al	Ni, Zr	C, Pt
阳极	C, Pt	C, Pt	NiO	金属氧化物	C, Pt
导电离子	OH ⁻	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻	H ⁺
操作温度	50~100℃	100~200℃	600~700℃	900~1000℃	室温~100℃
反应物	纯H ₂	H ₂ 、重组气	H ₂ 、CO、CH ₄	CO、CH ₄	H ₂ 、甲醇、CH ₄
氧化剂	纯氧	空气	空气	空气	空气
输出电压	<0.97V	<0.8V	<0.85V	<0.9V	<0.8V
优点	1. 低操作温度	1. 可汽电共生	1. 不需贵金属	1. 不需贵金属	1. 室温工作
	2. 低污染	2. 技术最成熟	2. 发电效率高	2. 发电效率高	2. 输出功率可调
		3. 耐二氧化碳	3. 废热可利用		3. 功率密度高
缺点	1. 成本高	1. 贵金属当催化剂	1. 材料的腐蚀	1. 材料热损坏	1. 材料费及加工费高
	2. 纯氧氧化剂	2. CO会毒化阳极触媒	2. 电池液渗漏	2. 工作温度高	2. CO会毒化阳极触媒
	3. 电池寿命短				
发电效率	40%	40%	50%	50%	40%
应用领域	航天、国防、医院	中型热电共生厂	大型热电共生厂	热电共生厂	车辆动力、住家电源



• 燃料电池汽车视频介绍

优酷



氢燃料电池的优势和特征

✓ 高效

✓ 不需要进口



as
le sources (wind,
mass, etc.)

太平洋

✓ 方便

✓ 安静

✓ 清洁



Refuels in minutes



No noise in operation



Zero tailpipe emissions

✓ 多样化且易于大规模量产



交通运输



固定式应用



• 目录

1

背景

2

氢能和燃料电池简介

3

氢能和燃料电池技术发展现状

4

氢能和燃料电池大规模产业化的挑战及技术发展前景

5

小结



· 氢燃料电池汽车全球发展史

1

1990-2005年

1990年到2005年。1990年美国能源署开始制订氢能和燃料电池研发和示范项目，世界发达国家（地区）纷纷加紧氢能和燃料电池的研发部署。当时人们对这项技术的攻关难度理解不够，以为燃料电池车可能在1995年左右实现产业化，以至于巴拉德公司股票涨到190多美元。实际上做出的三辆氢燃料电池车在试验阶段稳定运行很好，放在芝加哥上路运行不到一个月全部垮掉，大家这才意识到燃料电池不适用于汽车的工况。

2005-2012年

2

用了7年时间终于解决了燃料电池的工况适用性问题，燃料电池比功率达到了2kW/L，在零下30°C也能储存和启动，基本上满足了车用要求。

3

2012年到现在

丰田燃料电池比功率达到了3.1kW/L，并在2014年12月15日宣布，氢燃料电池车实现商业化，进入了商业推广阶段。其后，本田与现代也推出了燃料电池商业化车。

资料来源：电动汽车资源网 前瞻产业研究院整理

@前瞻经济学人APP



• 氢燃料电池的应用 (实例) : 乘用车

SINOHyKEY

UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL



125天环球之旅之中国站
简单体验奔驰B级F-CELL氢燃料电池车



佰咖汽车 www.iebuycar.com





• 氢燃料电池的应用（实例）：其它运载车辆

SINOHyKEY
UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL



· 氢燃料电池的应用（实例）：其它

紧急备用电源



家用（热电联用）



叉车



基站备用电源





• 目录

1

背景

2

氢能和燃料电池简介

3

氢能和燃料电池技术发展现状

4

氢能和燃料电池大规模产业化的挑战及技术发展前景

5

小结



• 氢能大规模产业化的挑战

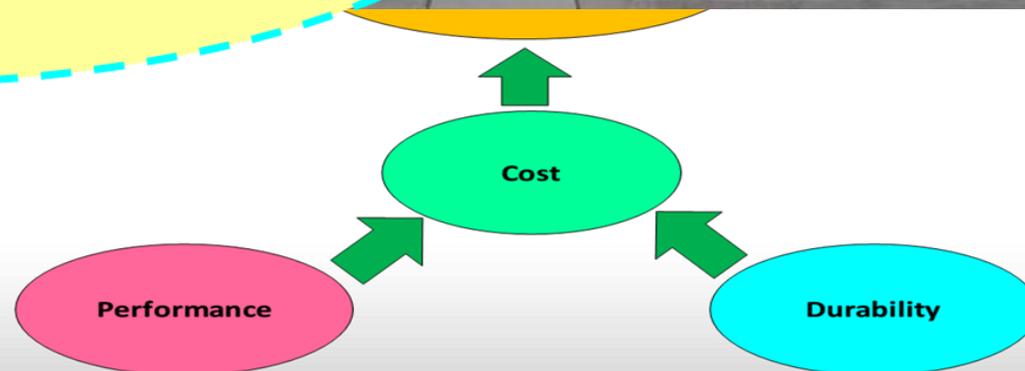
- Policy and technology uncertainty
 - ◆ The speed with which governments will push the transition to low-carbon energy sources in different countries and sectors remains a major uncertainty.
 - ◆ Most applications for low-carbon hydrogen (on a small scale) are not cost-competitive without direct government support.
- Value chain complexity and infrastructure needs
- Regulations, standards and acceptance



氢能及燃料电池大规模产业化发展的技术挑战与基础设施建设



成本和寿命





· 氢能和燃料电池产业化发展的方向

研发领域	<p>产业化导向的应用基础研究, 开发和革新</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Energy security • Energy resiliency • Strong domestic
-------------	----------------------------	---

具体研发领域	
 <p>Fuel Cells</p> <ul style="list-style-type: none"> • 非铂金属催化剂 • 长寿命膜电极 • 电极性能 	 <p>Hydrogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 氢的产生 • 氢的传输 • 储氢材料

需要实现的目标
<p>60% Lower Fuel Cell Cost</p>  <p>4 X 燃料电池寿命</p> <p>电解制氢成本降低 80%</p>



· 中外氢燃料电池汽车产业对比

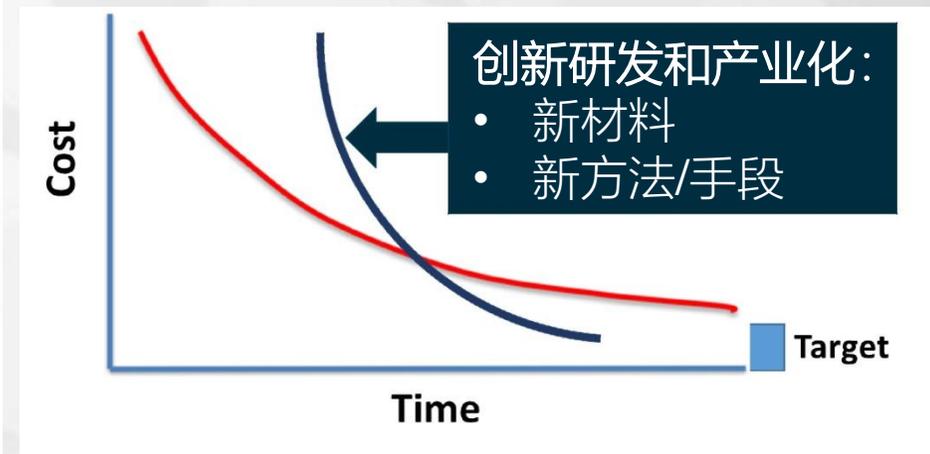
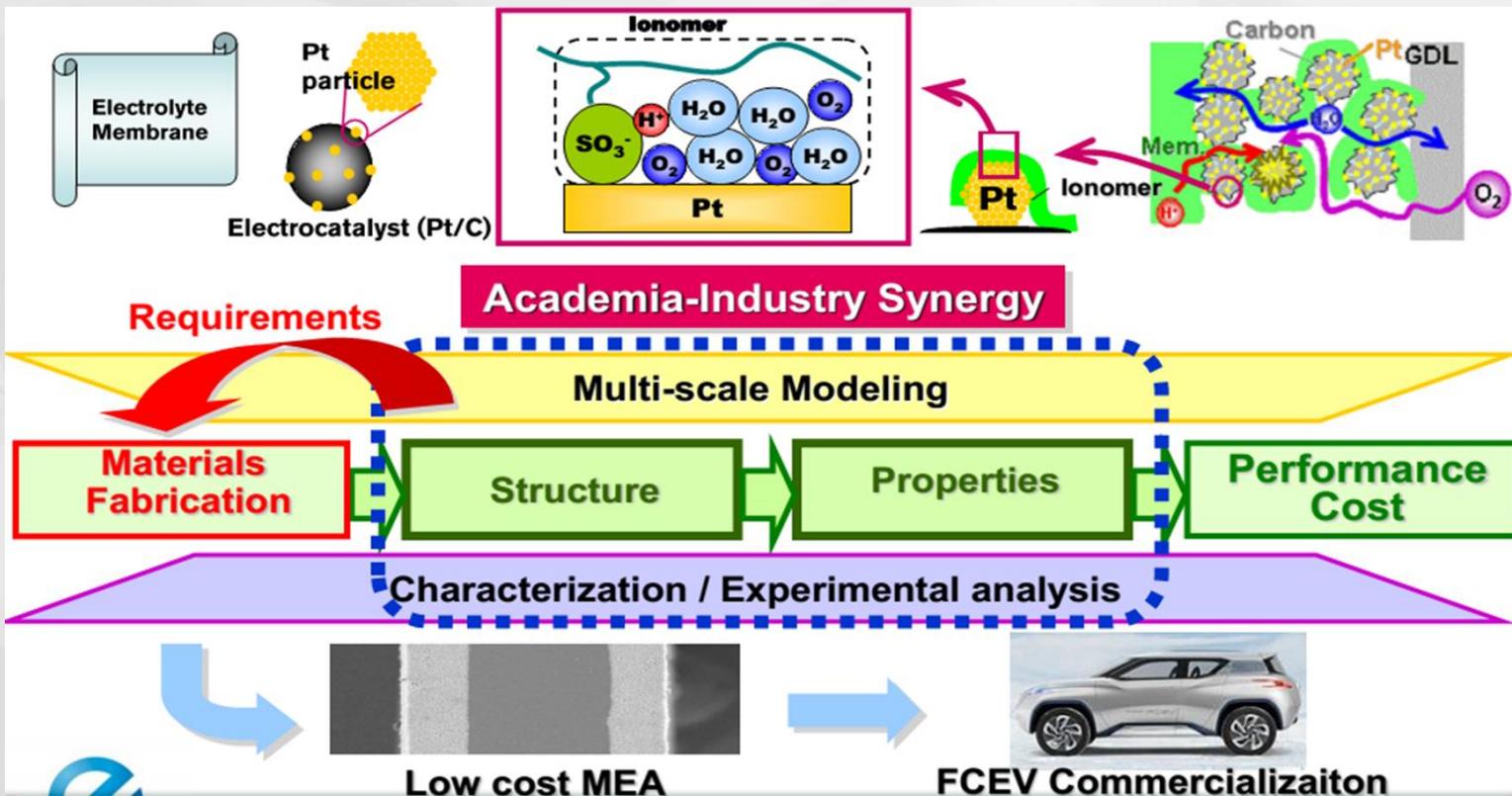
领域	差异内容
关键材料	催化剂、质子交换膜、碳纸、膜电极等大都采用进口材料，且多数为国外垄断，价格高；国内产品尚未形成批量生产能力，或者产品质量不够稳定。
附件系统	如空压机、加湿器、氢循环装置等附件系统，基本依赖进口；国内空压机正加紧开发，已具备一定的应用能力。
性能指标	功率密度、寿命、低温启动等。

资料来源：前瞻产业研究院整理

@前瞻经济学人APP



• 燃料电池产业化是一个系统工程



- (基于对结构与性能的理解实现的)创新材料对加速燃料电池商业化至关重要。
- 这依赖于企业与大学/研究所的紧密合作!



• 燃料电池的关键材料和组件



燃料电池电堆





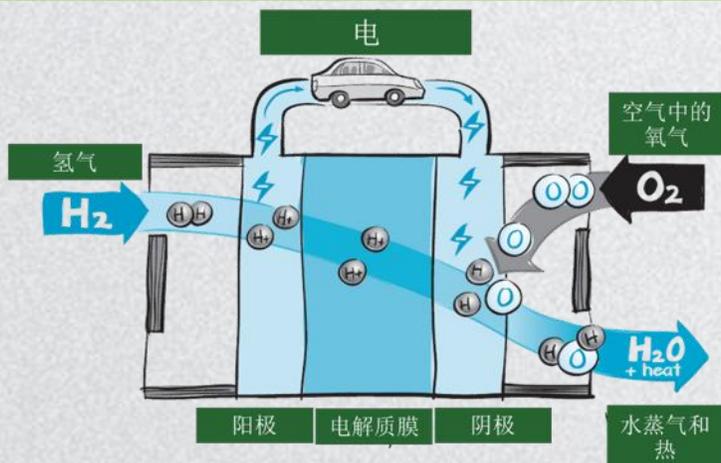
· 燃料电池电堆重要组件—膜电极

SINOHyKEY

UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL

燃料电池工作原理

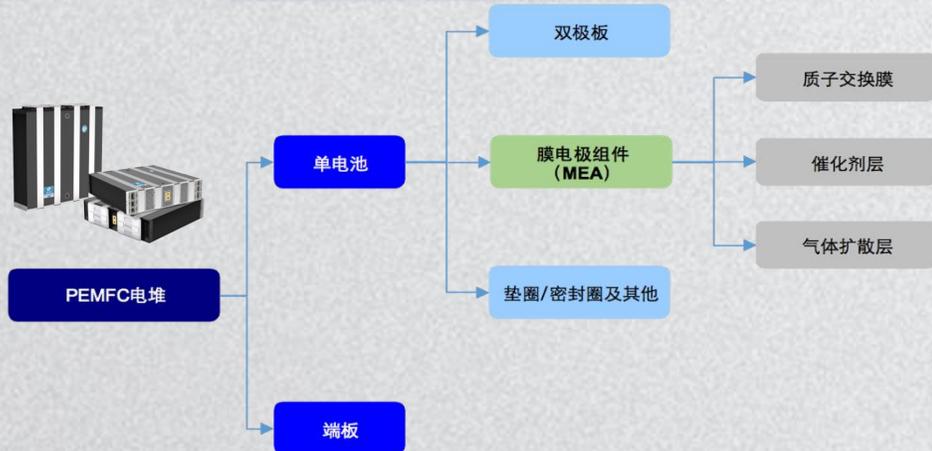
加氢，产生电和水（不经过燃烧）



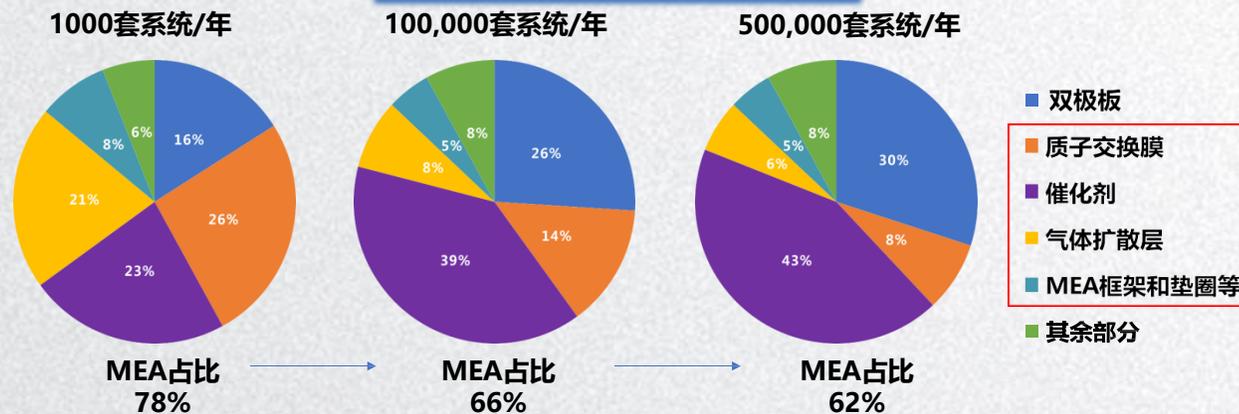
氢能产业关键技术链条



膜电极是电堆重要组成部分

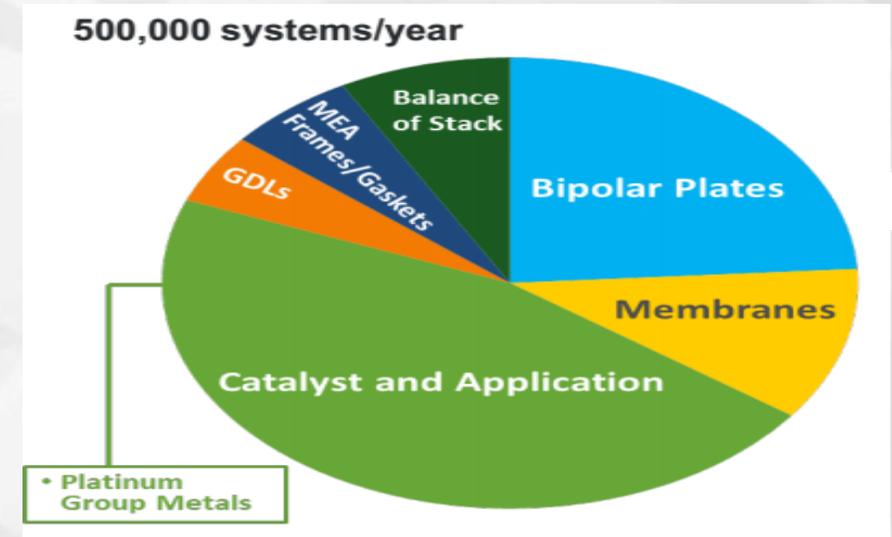
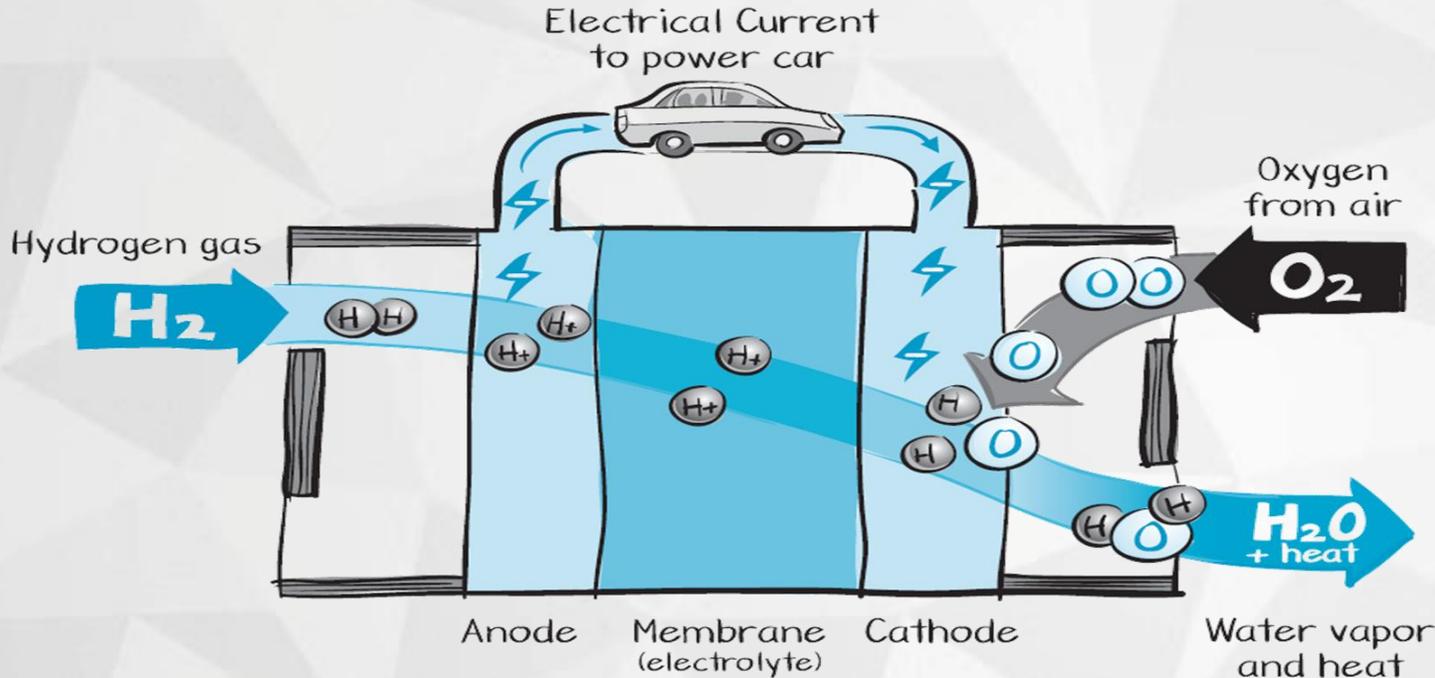


膜电极在电堆成本中占比高





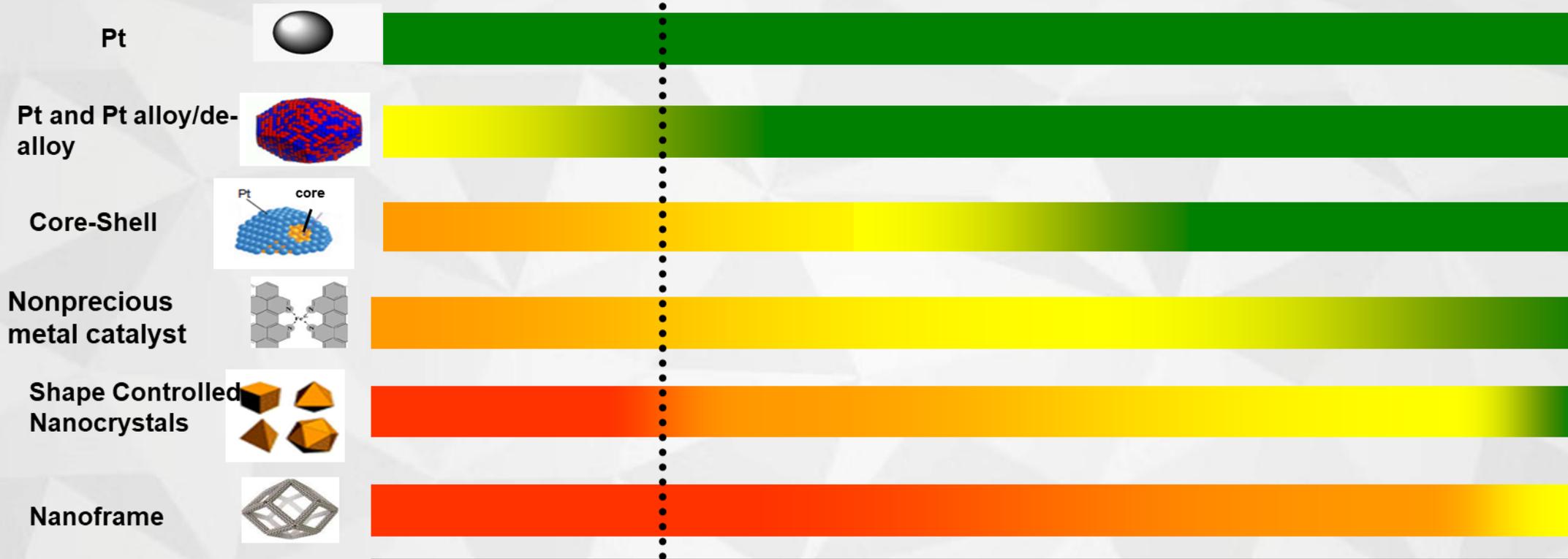
• 低成本燃料电池产品的关键材料：催化剂





• 新型催化剂发展路线图

Current Status



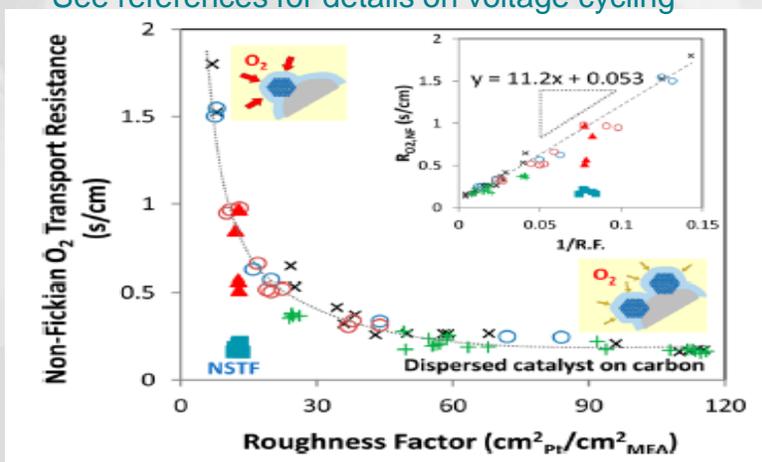
- 研发阶段
- 小规模量产
- 燃料电池短堆测试验证
- 量产并应用于燃料电池产品

• 催化剂“成熟”的时间表与其应用领域有关（比如，非铂催化剂虽然还不能应用于汽车上，但可应用于备用电源领域）。

D. Banham and S. Ye, ACS Energy Letters, 2, 629 (2017)

	PGM Mass Activity (A/mg)	Durability	ECSA (m ² /g)
Huang et al., Science, 348 (2015) 1230-1234	6.98	5.5 % loss*	68
Chen et al., Science, 343 (2014) 1339-1343	5.7	0 %*	67
Choi et al, ACS Nano, 8 (2014) 10363-10371.	1.6	1.7%*	90

* See references for details on voltage cycling



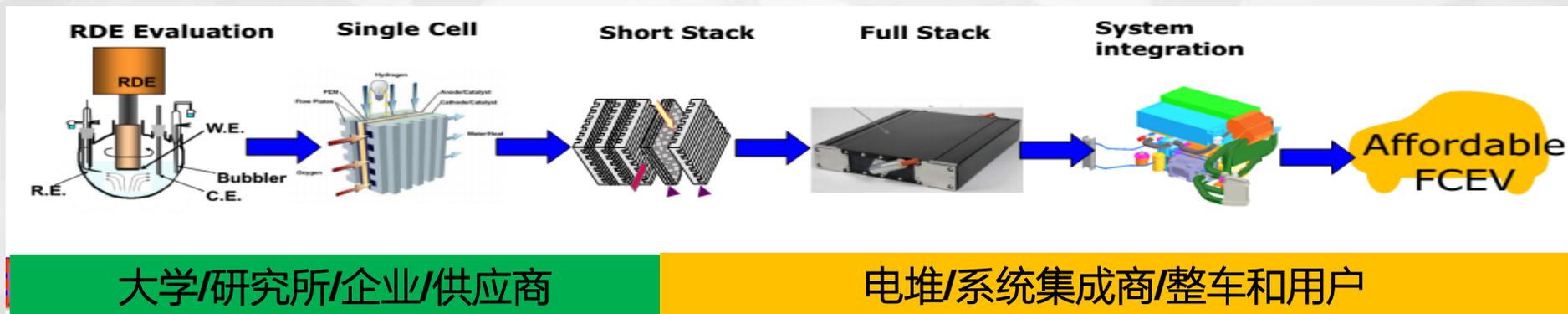
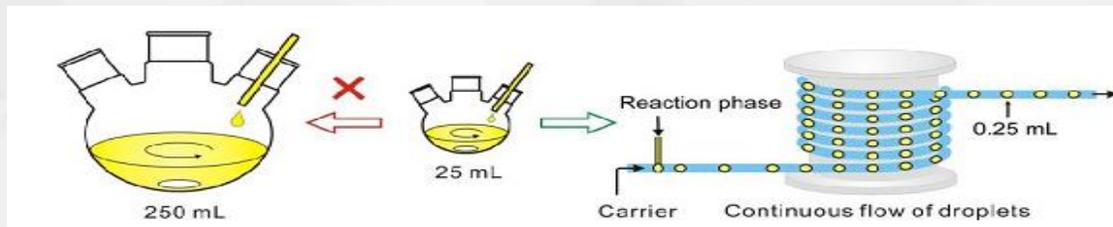
Largest remaining challenges



- At the RDE level, mass activity and durability targets have already been greatly exceeded.
- Additionally, these catalysts would appear to have sufficient ECSA (all > 60 m²/g) to avoid the ‘oxygen transport’ problems observed at low PGM loadings.

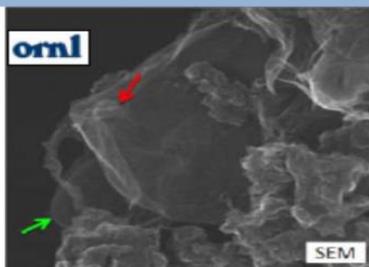
Scale-up, and incorporation into high performance/durable CCLs must now be top priority.

• 新型催化剂批量化生产/验证及应用

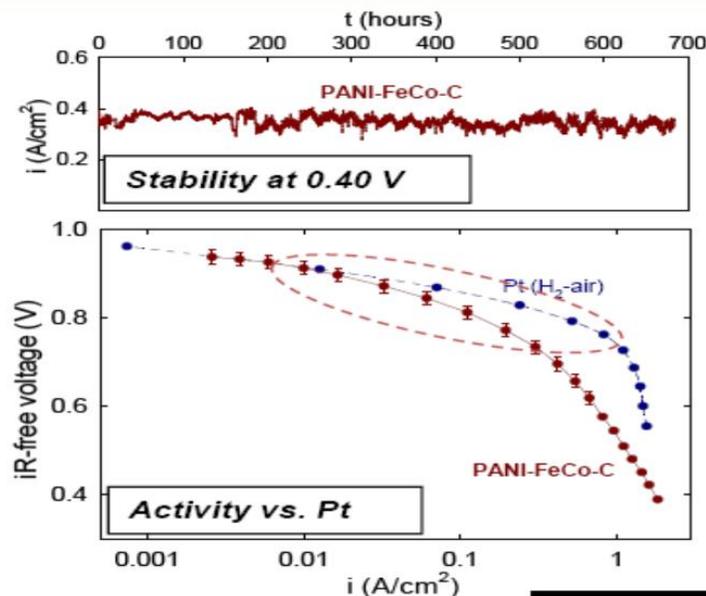
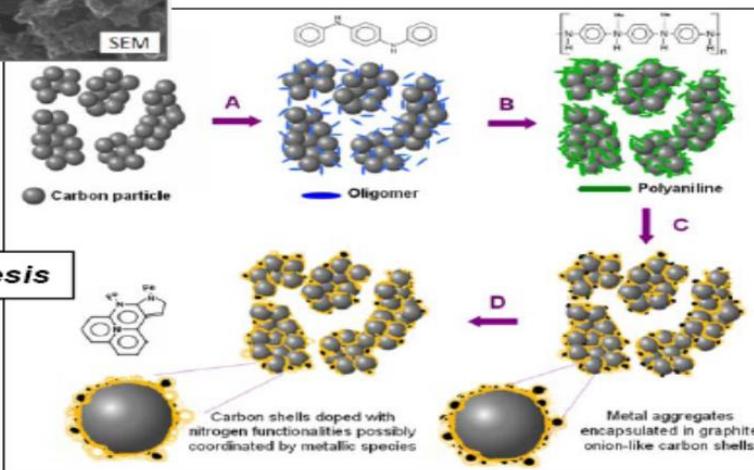


- 新型催化剂能否成功地批量生产和商业化取决于对其开发步骤和时间节点地清晰了解。
- 这取决于大学/研究所与工业界和供应商的密切合作！

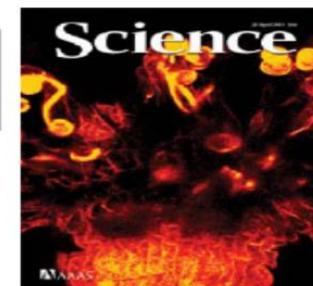
Non-PGM catalysts demonstrate activity approaching that of platinum.



Catalyst SEM: Layered-graphene sheet marked with green arrow; FeCo-containing nanoparticle shown with red arrow.



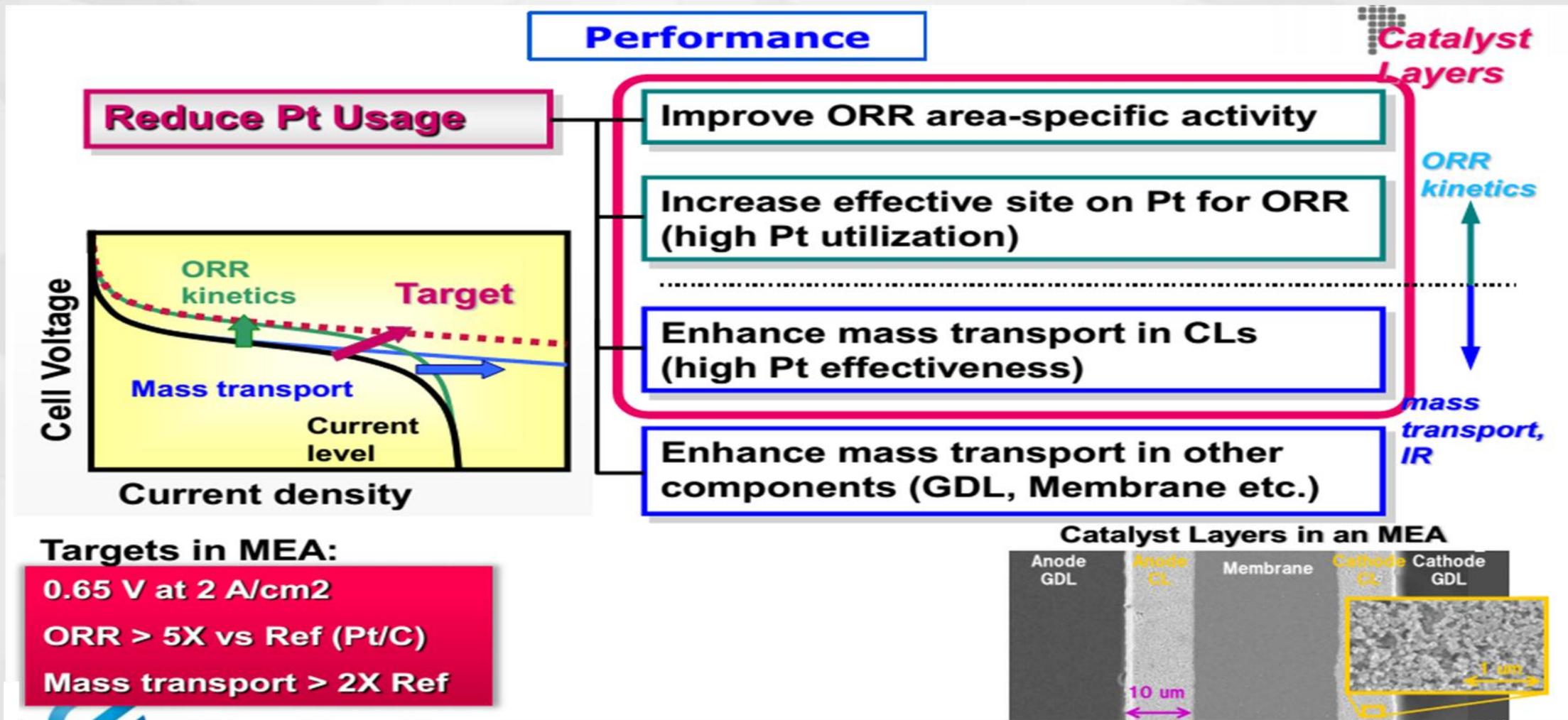
G. Wu, K. L. More, C. M. Johnston, P. Zelenay, *Science*, **332**, 443-7 (2011)



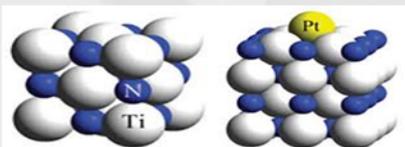
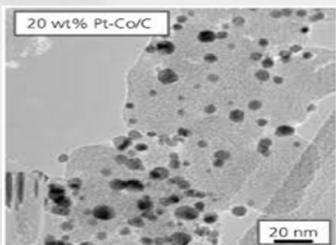
- High ORR activity reached with polyaniline-based and cyanamide-based catalysts
- Intrinsic catalyst activity is projected to exceed target of 130 A/cm^3 at 0.80 V

- 1) D Banham, S Ye, K Pei, J Ozaki, T Kishimoto, Y Imashiro, "A review of the stability and durability of non-precious metal catalysts for the oxygen reduction reaction in proton exchange membrane fuel cells", *Journal of Power Sources*, 285 (2015), 334-348;
- 2) http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review11/fc000_papageorgopoulos_2011_o.pdf

• 催化层的结构/性能/成本



材料



Catalyst type/loading impacts drive cycle UPL

Support oxidation

Anode catalyst type/loading impacts UPL during SU/SD activity

Catalyst/support hydrophilicity impacts local RH

工况和运行模式

UPL during drive cycle

UPL during air/air startup/shutdown

Relative Humidity

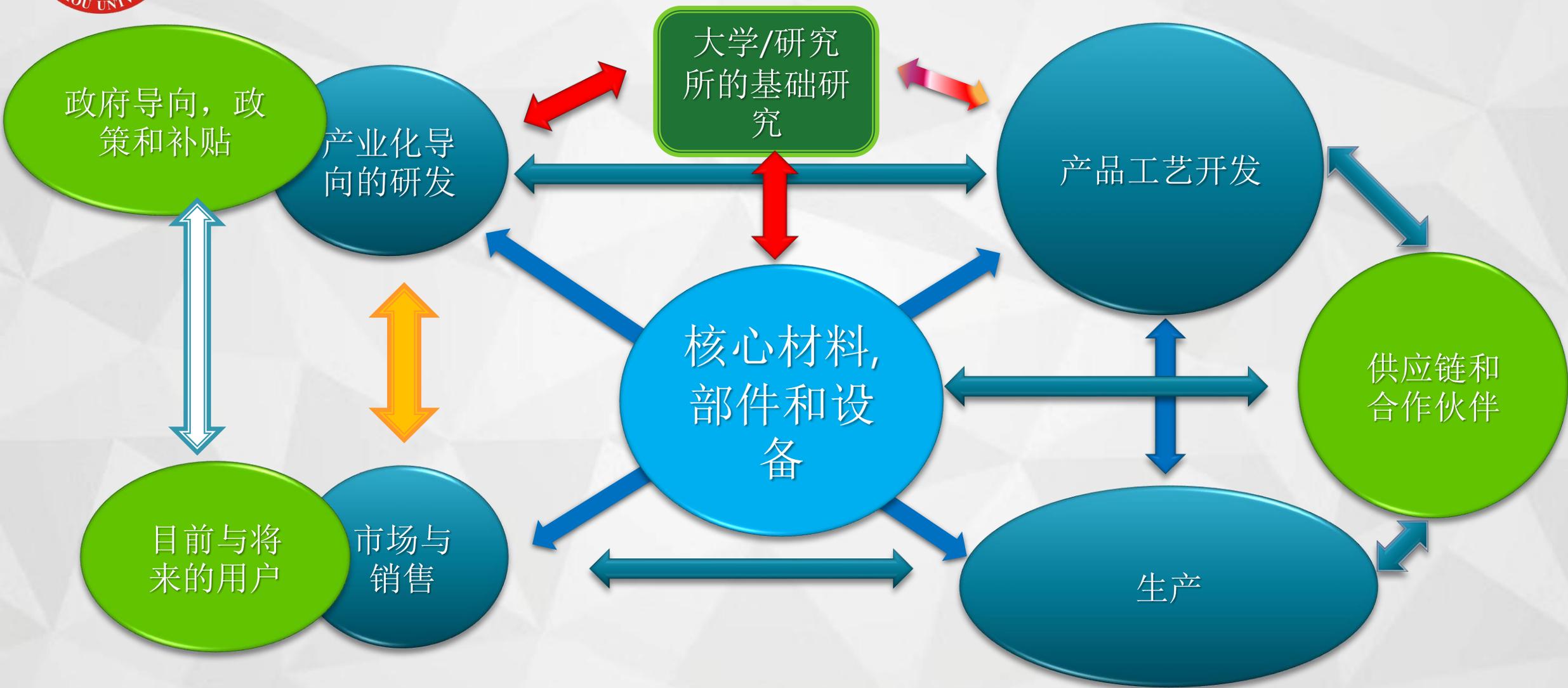
- 我们都知道燃料电池的工况会影响材料的性能和寿命。
- 我们也必须知道如何根据材料的性能和寿命确定燃料电池的最优工况和运行模式。



氢能燃料电池产业链的政，产，学，研，用结合

SINOHyKEY

UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL





主要发达国家氢燃料电池汽车战略规划

国家	战略规划
美国	以斯塔克区运输管理局为首的公私合作伙伴联盟，计划起草中西部各州替代燃料运输走廊行动计划，计划建立电动、燃料电池和CNG动力乘用车500
日本	<p>2019年6月15日，日本经济产业省（METI）、欧洲委员会能源总局（EC, ENER）及美国能源部（DOE）确认将加强三国地区关于氢燃料电池技术的合作，并发表了共同宣言。</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 促进技术合作与规范标准的协调、标准化 b. 推进氢安全性及基础设施的信息共享和国际联合研究开发 c. 氢气在CO2和其他排放物削减的可能性调查·评价 d. 交流、教育及服务外包
韩国	<p>来源：OFweek氢能网</p> <p>氢站预计达 520 座。</p>
法国	发布国家氢能计划。2019 年起 ADEME 投入 1 亿欧元用于氢能工业、交通及储能等领域。到 2020 年建设 100 座加氢站，5000 辆燃料电池轻型商用车，200 辆燃料电池重型车辆。到 2028 年拥有 400-1000 座加氢站，2-5 万辆轻型商用车，800-2000 辆重型车辆。

资料来源：前瞻产业研究院整理

@前瞻经济学人APP



国内氢燃料电池汽车产业集群

SINOHyKEY

UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL

据《中国燃料电池汽车发展路线图》预测，2030年中国氢燃料汽车规模将达到百万辆。

省份	重点城市	产业园	代表企业
辽宁省	大连、抚顺、鞍山	新宾氢能产业园	新源动力、大连氢能源研究院、沐与康氢能
北京市	北京	北京	清华大学、亿华通、福田汽车、海德利森、氢璞创能、中国航天集团
河北省	张家口、霸州	张家口创坝产业园	亿华通、福田客车、宇通客车
山西省	大同	雄韬氢能大同产业园	雄韬股份
山东省	济南、潍坊、淄博、滨州、聊城	中国氢谷	东岳、潍柴、大洋电机、中通客车
陕西省	西安	西安	新青年客车
河南省	郑州、平顶山、新乡	新乡氢能产业园代表	宇通客车
江苏省	如皋、苏州、张家港、盐城、镇江	如皋氢能产业园、丹徒氢能产业园	南京大学、弗尔赛、百应能源、富瑞特装、氢云新能源研究院、神华集团、苏州竞力
安徽省	六安	明天氢能产业园	明天氢能
上海	上海	嘉定区氢能与燃料电池产业园	同济大学、上海燃料电池汽车动力系统、上海重塑、上海神力、上汽集团、东风特汽、上海舜华、上海新源、中科同力
湖北省	武汉	武汉开发区氢燃料电池产业园	武汉理工、雄韬股份、众宇动力、氢阳能源
浙江省	台州	台州氢能产业园	淳华氢能
四川省	成都、凉山州	凉山州	东方电气、成都客车、中植客车、金星清洁能源装备
广东省	佛山、云浮、东莞、深圳、中山、广州	佛山产业转移园、广顺产业园	国鸿氢能、大洋电机、飞驰客车、长江汽车、东洋新能源、中石化、鸿基创能、东风特商

资料来源：前瞻产业研究院整理

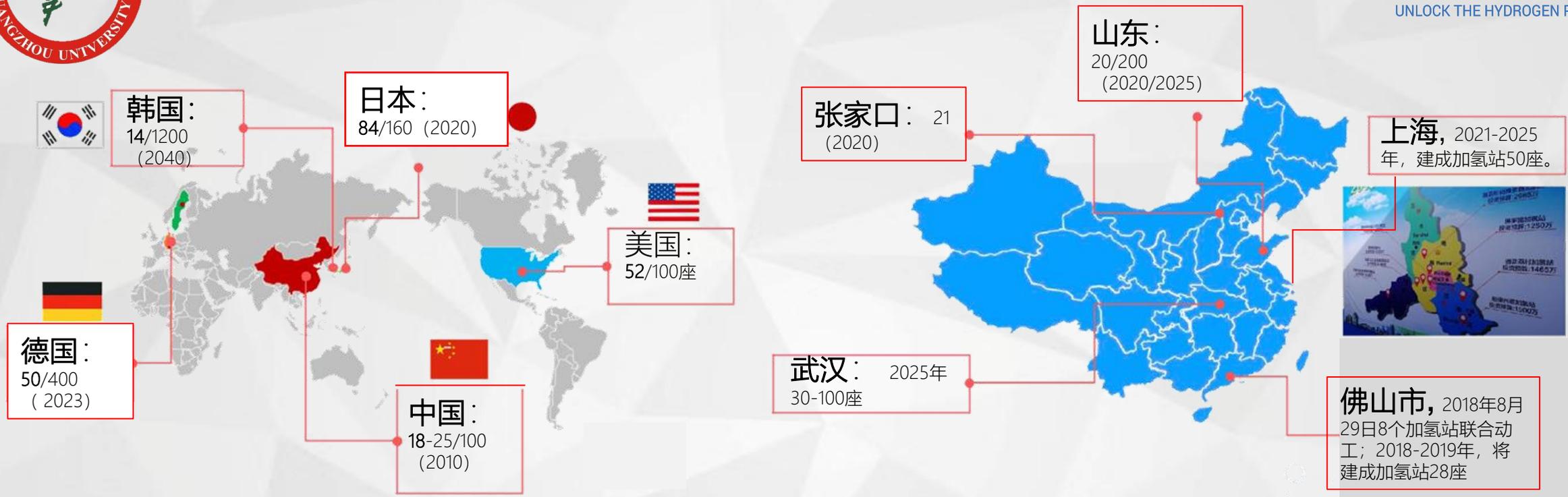
©前瞻经济学人APP



氢能与燃料电池的前景：加氢站

SINOHyKEY

UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL



佛山市佛汽集团加氢站
(500KG 集装箱撬装)

丰田货柜车移动加氢站
(运氢、加氢一体)

柏林机场加氢站
(1. 站内制氢 ; 2. 油、氢合建)

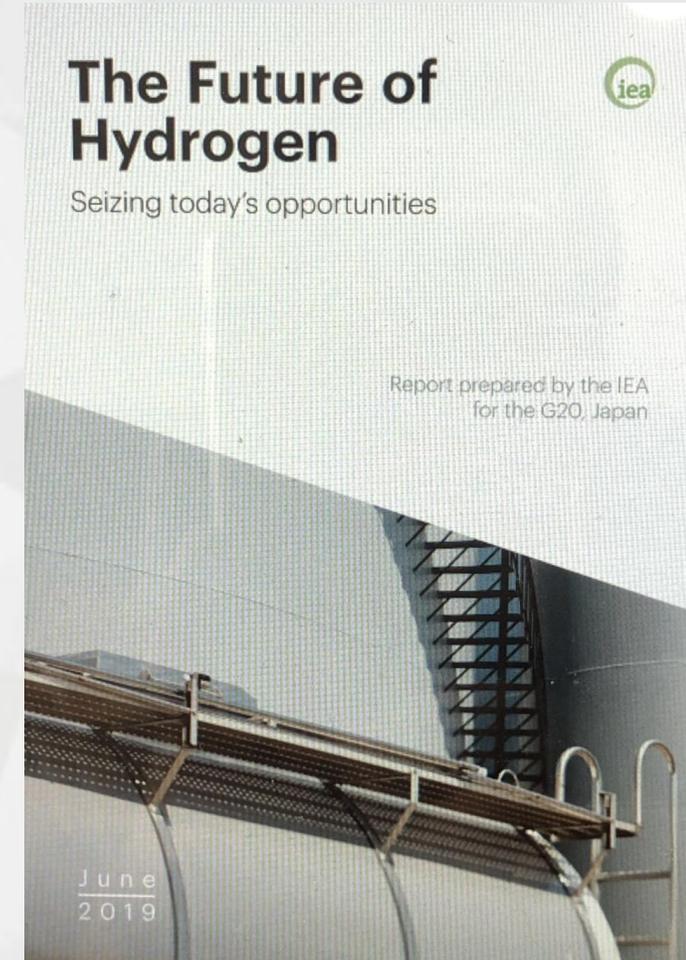
巴黎塞纳河畔撬装加氢站
(路边便捷加氢站)





· 氢能与燃料电池的前景：2030-2050

- **2030:**
 - 提供1,000万辆至1,500万辆燃料电池乘用车以及50万辆燃料电池卡车行驶所使用的氢气
 - 此外还有工业领域，例如工业方面的工程中用于原材料、热源、动力源、发电、储藏等各种用途。
 - 全球市场规模接近4000亿美元
- **2050:**
 - 氢能源将占整个能源消耗量的大约180%，全球市场规模接近25000亿美元。我国氢能源产值有望达到40000亿元。
 - 全年的CO₂排放量能够较现在减少约60亿吨，能够承担将全球变暖控制在2°C以内所需CO₂减排量中的约20%。
- 氢能源技术蕴藏着推动经济可持续发展的能力

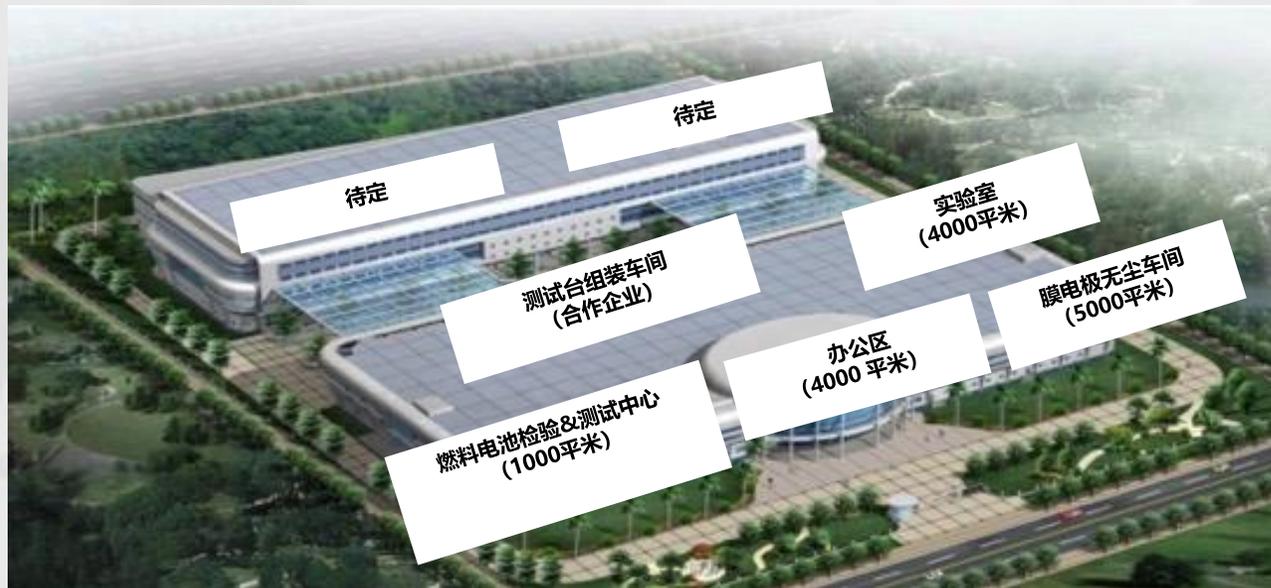


http://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/EMBARGOED-13112017-1830CET_HydrogenCouncil_Press-Release.pdf

· 鸿基创能-公司简介

SINOHyKEY

UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL



鸿基创能科技（广州）有限公司

公司成立于2017年12月，注册资本11200万元，总部设在广州市黄埔区宏远路8号，占地面积5万平米，厂房面积8万平米。

商业模式

专注膜电极的开发，协助电堆及整车厂提高燃料电池电堆的性能，降低成本。

人员

现有员工125人，研发/开发人员50名

其他

- 高企认证：2020.12
- IATF16949: Q3, 2021



· 鸿基创能-发展历程

SINOHyKEY

UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL



公司成立

鸿基创能科技（广州）有限公司在广州市黄埔区注册成立

2017年12月

完成天使轮融资

(1.02 亿)

2019年2月

第一代产品发布

膜电极产业化项目竣工
HyKey1.0产品发布

2019年3月

实现量产

膜电极生产线实现规模化量产，年产能达500万片，位居全国首位

2019年9月

认定高新技术企业

鸿基创能正式进入高新技术企业行列

2020年12月

产品应用重大突破

搭载鸿基膜电极的首款燃料电池自卸车正式公告

2020年12月

累计签约超2.2亿

国内外签约客户数量超过30家

2021年1月

完成A轮融资

(1.2亿)

2021年2月

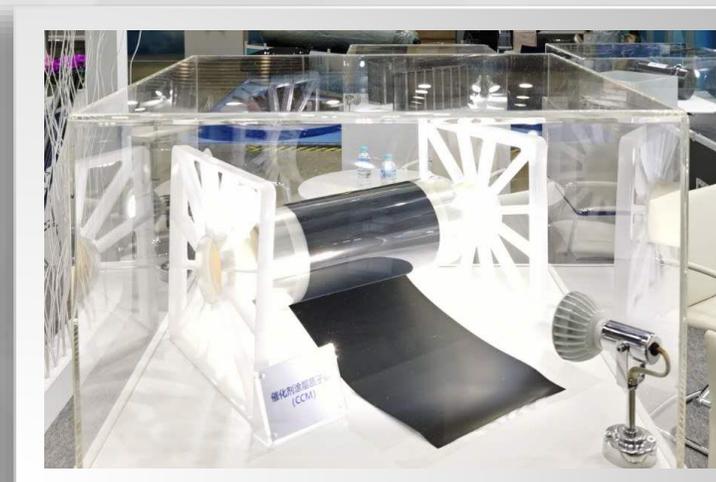
鸿基创能核心产品

● 催化剂涂层质子膜 (CCM) -----●

- 阴阳极直接精密涂布技术;
- “补丁”、“斑马”式订制涂布;
- 年产能**30万平方米**;
- 良品率**99.9%**。

● 膜电极 (MEA) -----●

- 高性能、长寿命、低成本;
- 单日产能稳定超过**5000片**;
- 良品率**99.3%**。



· 鸿基创能-产品应用情况

SINOHyKEY

UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL



鸿基创能膜电极



客户电堆 (单堆66kW)



燃料电池发动机



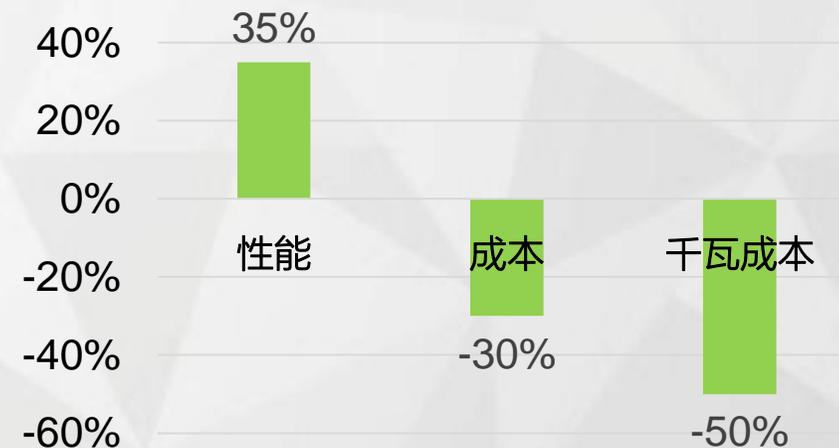
燃料电池自卸车

- 2018.12 完成样堆组装及验证
- 2019.9 完成样堆系统集成
- 2019.12 完成工程样车的组装
- 2020.2 开始工程样车的路试验证
- 2020.12 工程样车正式公告

**2019年9月投产至今，
累计订单额超2亿元。**

电堆参数	性能
额定功率 (kW)	66
最大功率 (kW)	75
含端板功率密度 (kW/L)	3.3 (额定) 3.8 (峰值)

使用鸿基产品前后客户电堆性能成本比较



• 鸿基创能-装车上路实况

SINOHyKEY
UNLOCK THE HYDROGEN POTENTIAL



· 鸿基创能-科研课题情况

	级别	项目类型	项目名称	目前状态
重大研发及产业化项目	国家级	2020年度国家重点研发计划 “可再生能源与氢能技术”重点专项	车用燃料电池催化剂批量制备技术	已正式立项
		国家能源局“科技助力经济2020”重点专项	高性能长寿命燃料电池膜电极研发及 在氢能重载车辆示范应用	进行中
	省级	2018、2019、2020广东省 重点领域研发计划项目	1. 高功率长寿命燃料电池堆工程化制备技术研究 2. 高功率密度氢燃料电池动力系统集成 3. 全氟磺酸树脂质子交换膜研究	进行中
		2019广东省 “珠江人才计划”引进创新创业团队	燃料电池膜电极产业化团队	进行中
		2020年江苏省 工业和信息产业转型升级资金项目	高压高功率密度氢燃料电池研发项目	进行中
	市级	2021年广州市 重点领域研发计划项目	基于金属双极板的高性能质子交换膜燃料 电池电堆开发和验证	已完成公示



• 目录

1

背景

2

氢能和燃料电池简介

3

氢能和燃料电池技术发展现状

4

氢能和燃料电池大规模产业化的挑战及技术发展前景

5

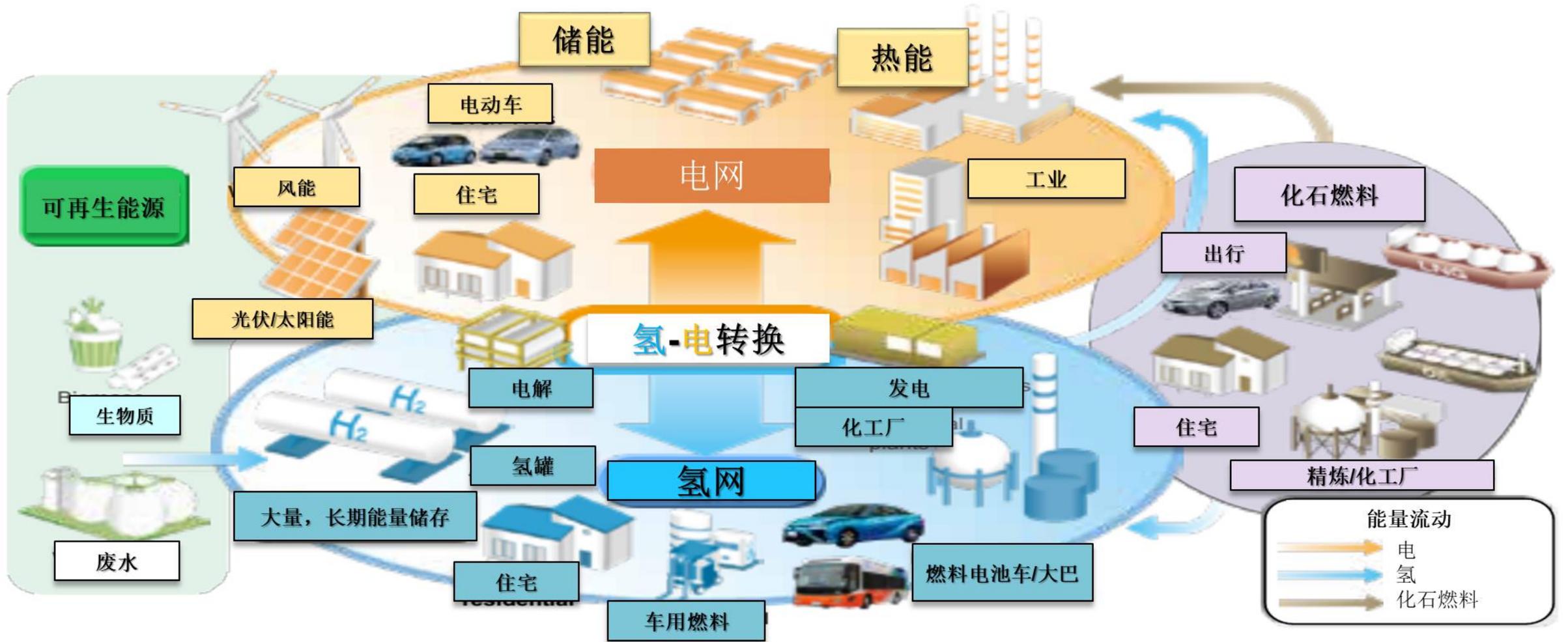
小结



• 小结

- 氢行业的成熟度达到了一个新水平，并且还在加速。氢燃料电池具有广泛的应用前景，目前正处于大规模商业化的初期；
- 氢燃料电池大规模商业化目前仍然面临着严峻的成本挑战，而规模化和进一步的技术进步以及全产业链的健康发展将带来成本的迅速下降；
- 氢燃料电池关键材料研发和产业化在燃料电池大规模商业化中起着至关重要的作用，以产业化导向的政、产、学、研、用的紧密合作是关键材料不断更新换代的最佳路径；
- 氢行业的快速发展依赖于跨行业、跨区域的合作、整合和创新。

· 可持续性健康发展的未来社会





谢谢聆听!



廈門大學美洲校友會
Xiamen University America Alumni Association



百年校庆论坛