



武汉理工新能源有限公司
Wuhan WUT New Energy Co., Ltd

车用燃料电池膜电极（MEA） 技术和产业进展

郭伟（武汉理工大学）

田明星（武汉理工新能源有限公司）

Small Membrane Power Big World...



团队负责人：潘牧教授

- 武汉理工大学首席教授
- 武汉理工新能源公司总经理
- 武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室副主任
- 燃料电池湖北省重点实验室主任



实验室组成

材料复合新技术国家重点实验室
燃料电池湖北省重点实验室

武汉理工新能源公司

员工 17人
副高级以上职称9人

员工40人
工程师13人



车用燃料电池膜电极技术和产业进展

内 容：

- 性能
- 耐久性
- 成本
- 膜电极产业化



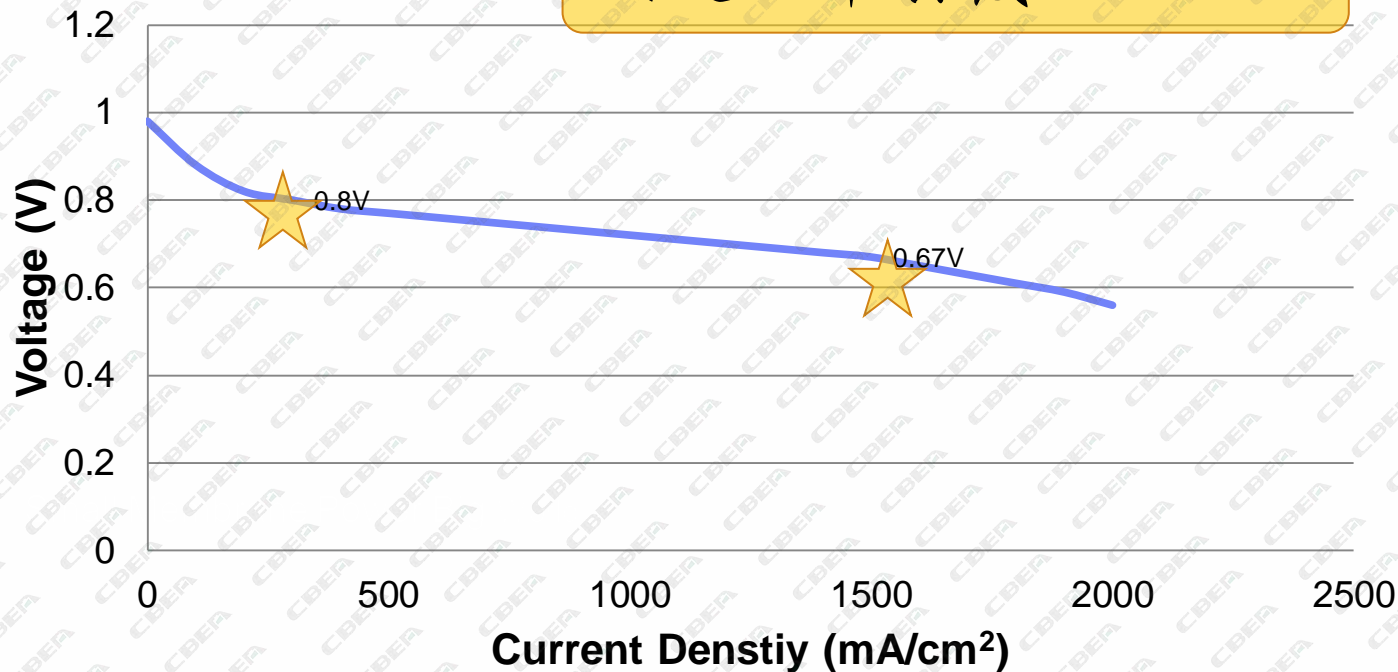
美国DOE燃料电池MEA技术现状与目标

特性	单位	2015现状	2020 目标
性能@ 0.8 V (1/4功率)	mA / cm^2	240	≥ 300
性能@ 额定功率 (150kPa)	mW / cm^2	810	≥ 1000
成本 (50万台/年)	$\$/\text{kW}_{\text{net}}$	17	≤ 14
贵金属载量 (整个电极)	g/kW (额定功率)	0.16	≤ 0.125
耐久性 (工况循环)	hours	2500	≥ 5000
启停耐久性	Cycles	—	≥ 5000

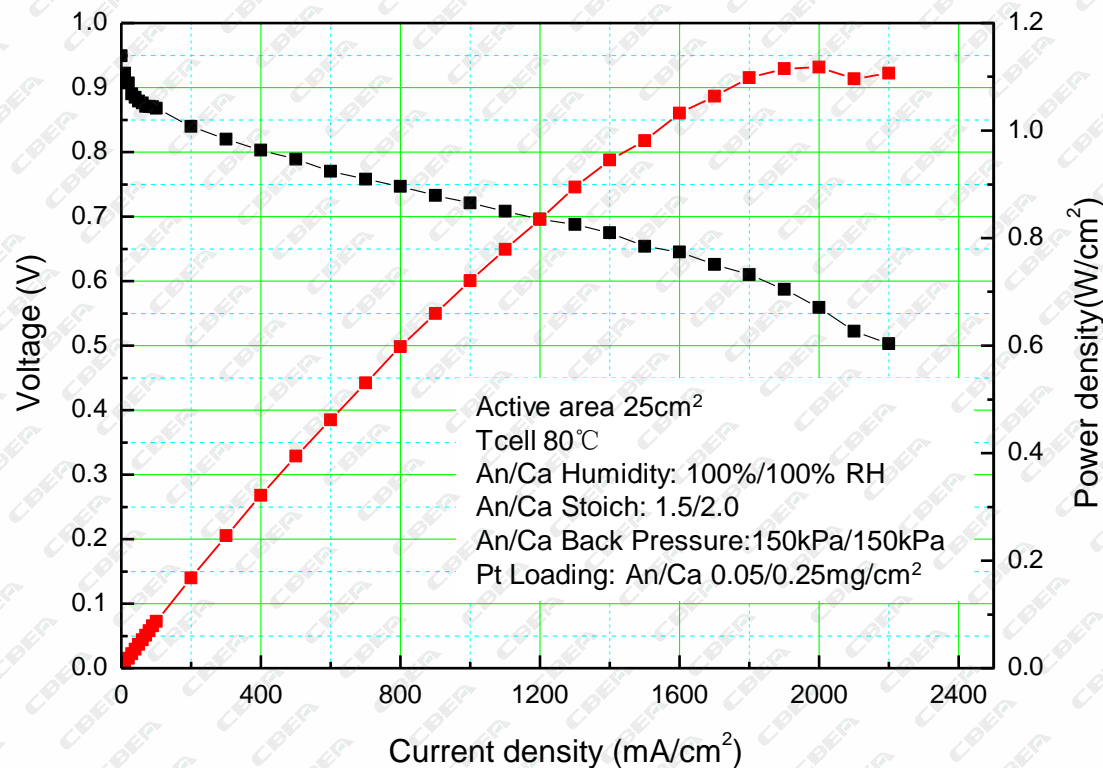


MEA性能目标

额定功率密度 $1\text{W}/\text{cm}^2$



武汉理工新能源公司膜电极性能

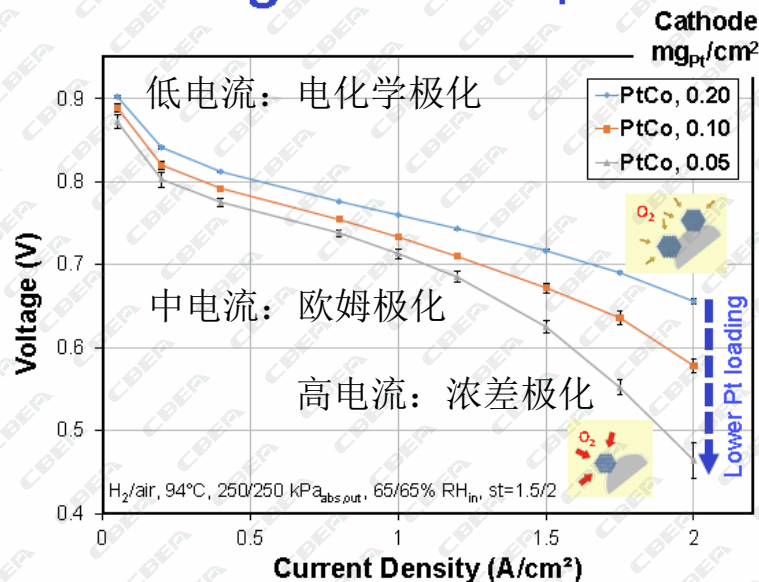


科技部2020目标:

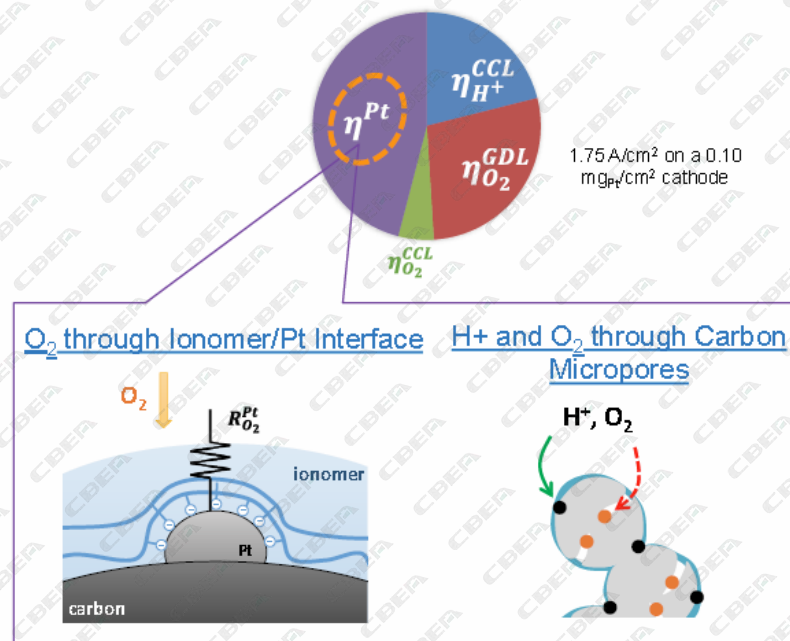
- 铂用量 $\leq 0.125\text{g/kW}$
- 功率密度 $\geq 1.4\text{W/cm}^2$
- 运行寿命: 10000h

超低Pt膜电极的挑战

Challenge: Local Transport Losses



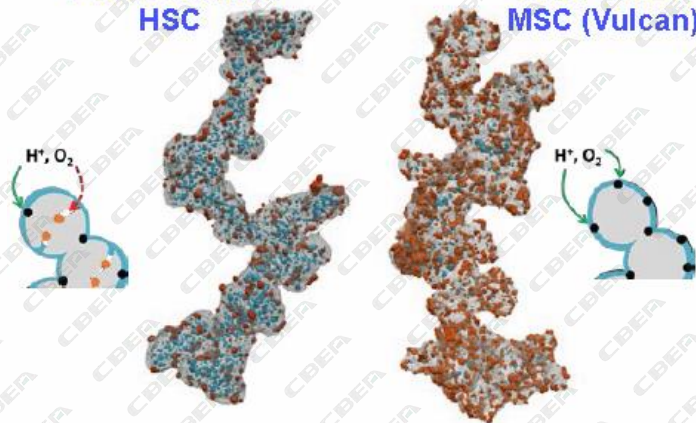
Mass-transport Voltage Losses



通用汽车超低Pt膜电极

Porous carbon
HSC

Solid carbon
MSC (Vulcan)

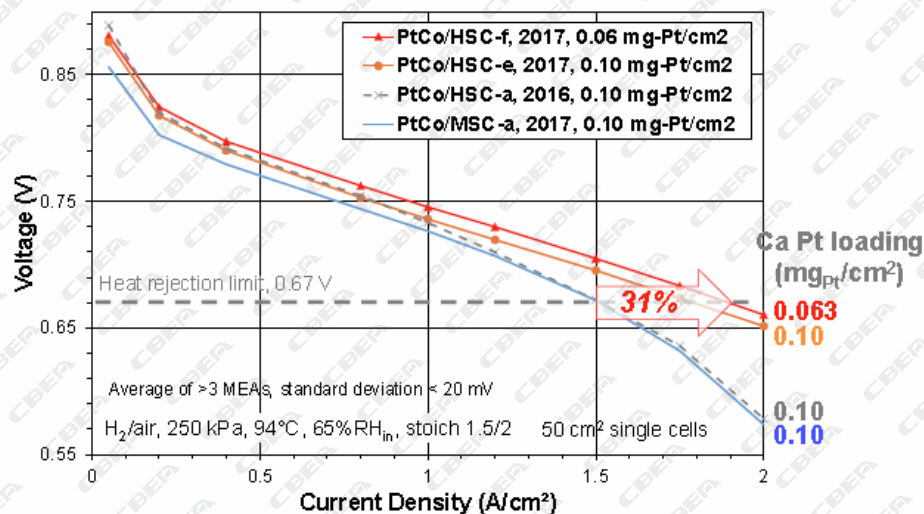


- ✓ High Pt dispersion
- ✓ High ORR activity
- ✓ Easy to make good alloy

- ✓ Good O₂/proton transport
- ✓ Better stability

通过优化载体孔结构，提高氧传输

31% Increase in Power over Baseline PtCo





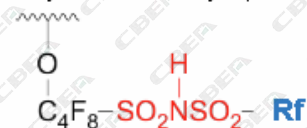
3M 超低Pt膜电极

2 methods to attack transport limitations

Improve electrode ionomer O₂ permeability

3M Perfluoroimides (IMIDE 1,2,etc)

Increase O₂ perm,
May reduce catalyst poisoning

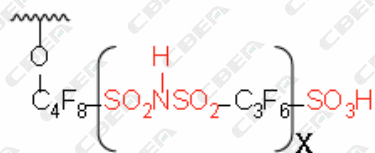


Improve electrode ionomer H⁺ conductivity

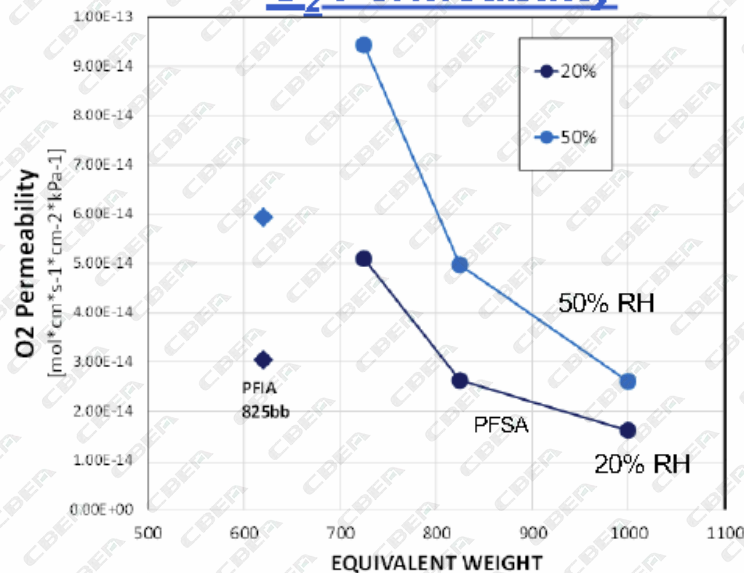
– Less ionomer = better transport

MASC: Perfluoroimide acids

- Extremely high conductivity

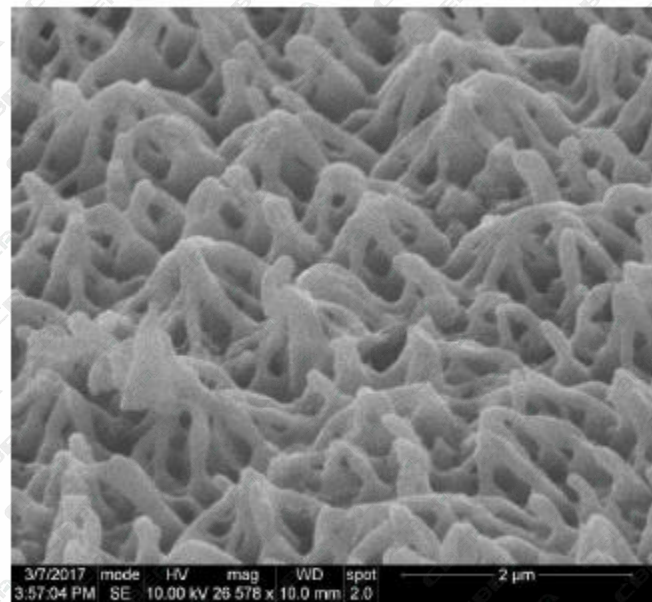
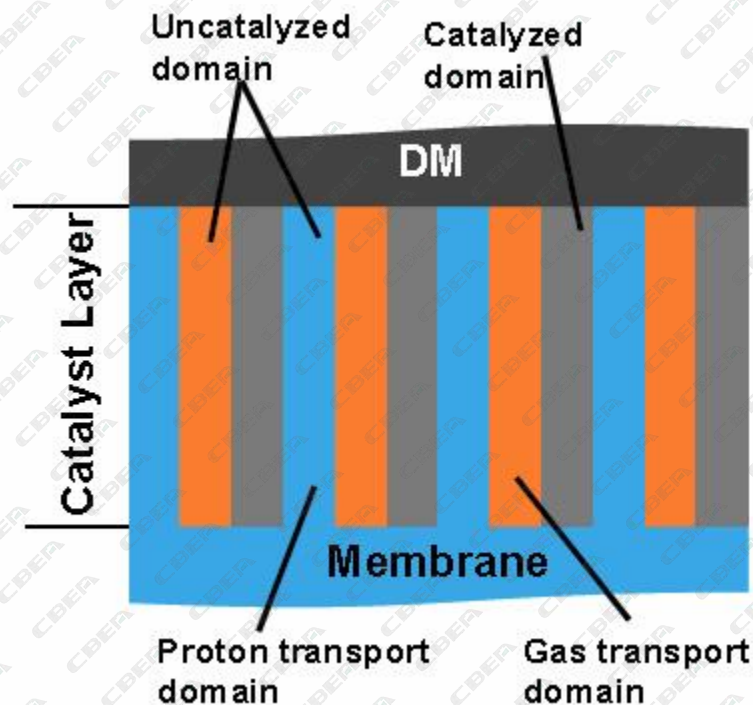


O₂ Permeability



高透氧树脂的开发

新的电极结构——介孔阵列

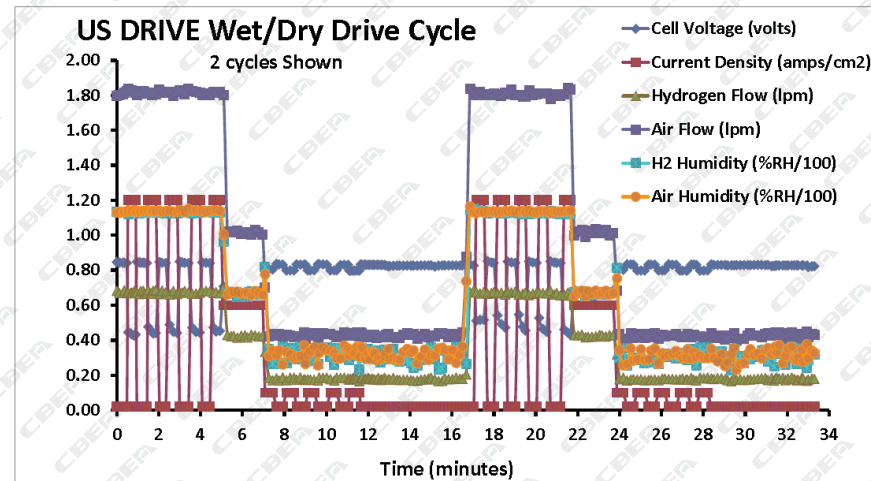
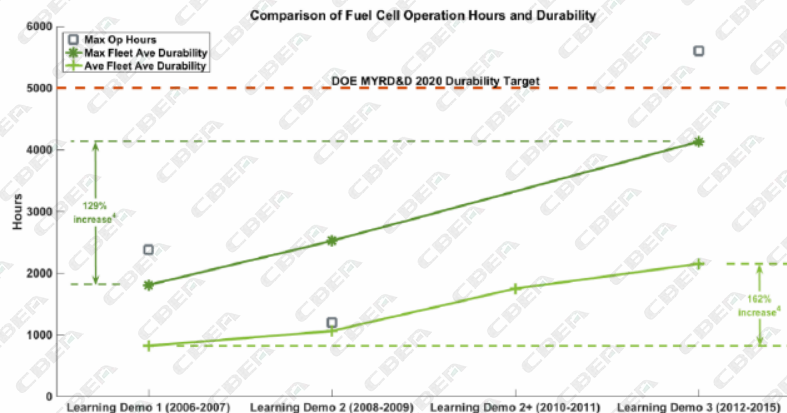


SEM image of oriented Nafion nanofibers of 200nm diameter and 5 μm height

膜电极耐久性



**4x increase in durability:
> 4,100 hours**



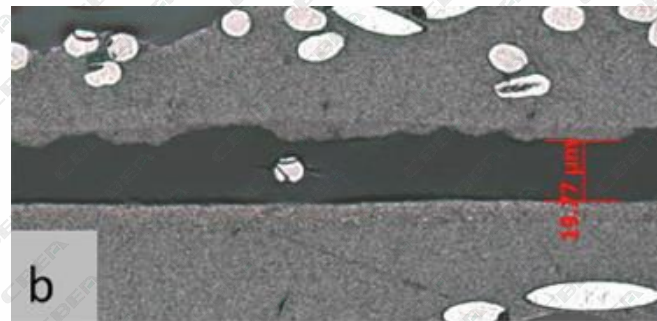
- 按照DOE工况加速测试，目前已有数据为2500小时；
- 车辆实地运行，最长4100小时，Bus超过23800小时

影响膜电极耐久性的主要因素

膜

机械应力

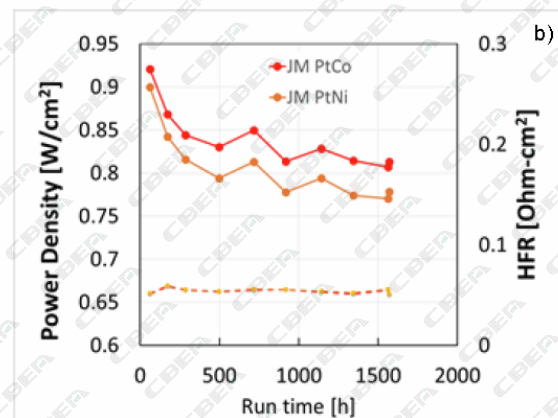
化学腐蚀



催化剂

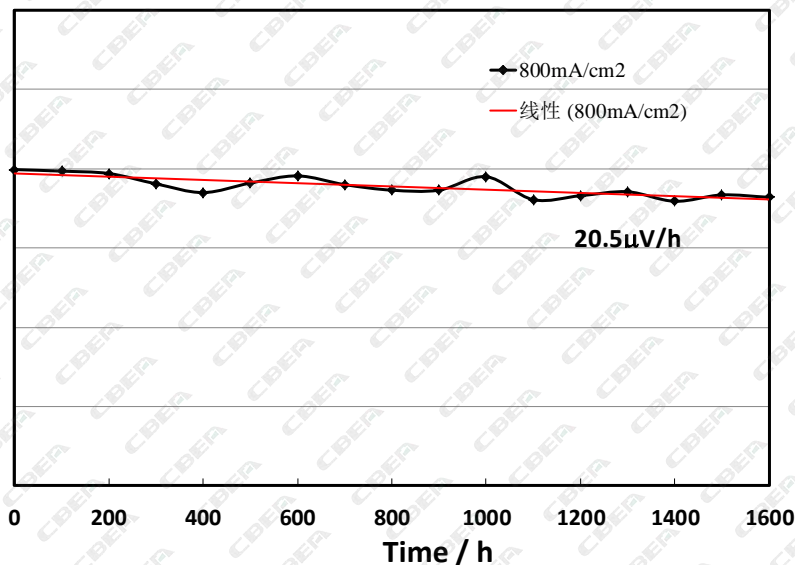
合金催化剂颗粒长大、流失

载体稳定性





WUT膜电极耐久性

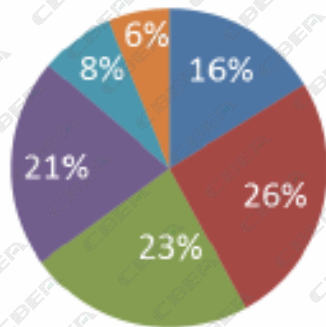


- WUT MEA在备用电源中实际运行寿命最长18000小时；
- WUT MEA单电池寿命测试，正在进行中，已测试1600小时数据来看，电压衰减率仅20.5μV/h

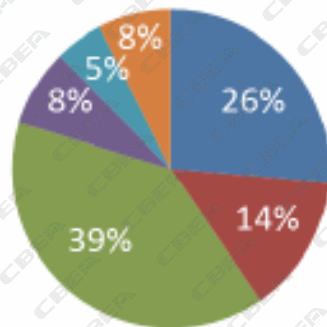


膜电极成本

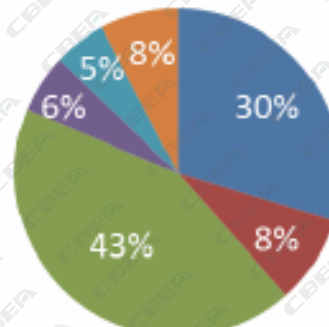
1,000 Systems/Year



100,000 Systems/Year

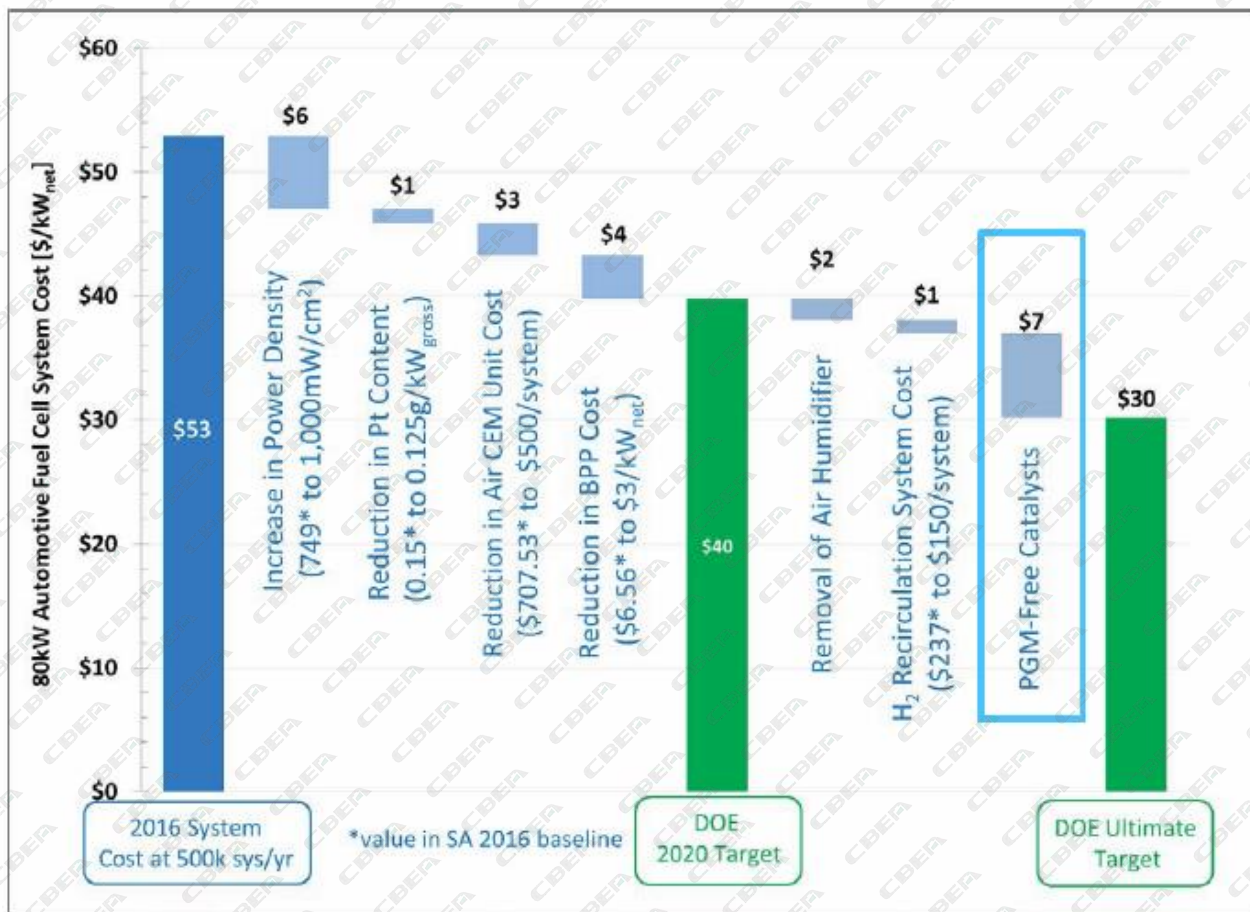


500,000 Systems/Year



- Bipolar Plates
- Membranes
- Catalyst + Application
- GDLs
- MEA Frame/Gaskets
- Balance of Stack

膜电极成本占电堆总成本60%以上，随着批量的扩大，
催化剂在燃料电池成本中占据的比例越来越大

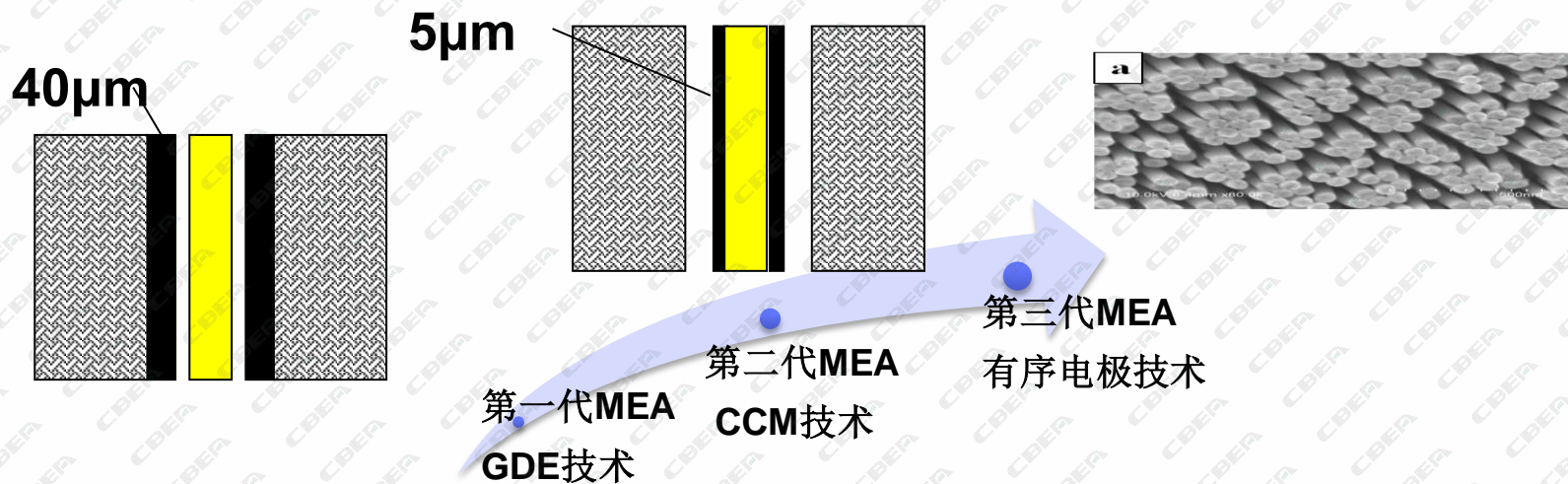


MEA成本:
17\$/kW → 14 \$/kW

提高性能，同时降低Pt用量

膜电极产业化现状

- 丰田、Ballard等具备膜电极批量产业化能力，自给自足
- 专业膜电极供应商包括JM、3M、Toray (Greenerity) 等
- 已具备不同程度的自动化生产线，年产能在数千~万平米级



膜电极产业需突破的关键问题

- 生产效率的提高
 - Roll to Roll 工艺
- 质量控制
 - 在线检测技术及装置
 - 涂层缺陷、CrossOver、Pt载量等

Lab Scale – Ultrasonic Spray



Large Scale – Roll-to-Roll (R2R)



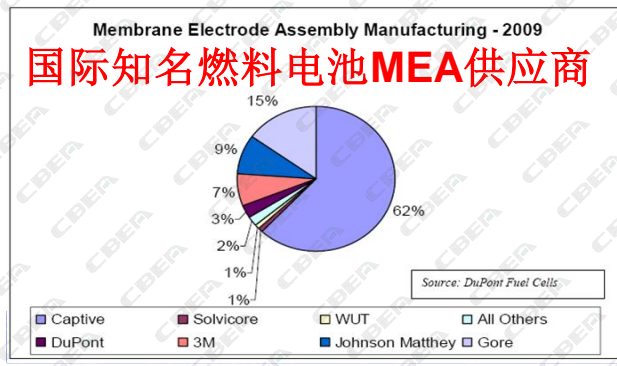


国内领先的MEAAs产业化

- 武汉理工新能源有限公司是国内最大的燃料电池MEA生产企业
- 燃料电池膜电极大批量出口美国、欧洲等国际市场
- 自动化生产线，Roll to Roll生产工艺，年产能可达数十万片



武汉理工新能源有限公司
Wuhan WUT New Energy Co., Ltd



国内首条膜电极自动化生产线，
产能可达5000平米/年



WUT MEA产品序列

MEA 产品		EV-MEA	AC-MEA	SN-MEA	WE-MEA
应用		车用	备用电源	电化学传感器	水电解
特点		高功率密度、长寿命	低湿度、低成本	高灵敏度	高性能、低渗透
结构	7-layer (5-layer +sub-gasket)	●	●	○	
	5-layer (CCM+GDL)	○	○	●	
	3-layer (CCM)	○	○	○	●
膜	均质膜	○	●	●	●
	复合膜	●	○	○	
运行温度	≤60℃		●	○	
	60℃~90℃	●	○	○	
Pt 载量 (整个电极)	> 0.8 mg/cm ²				●
	0.8 mg/cm ²	○	○	●	
	0.6 mg/cm ²	○	○	○	
	0.5 mg/cm ²	●	●	○	
	0.4 mg/cm ²		○		

● 标准型

○ 可选



总结

- 燃料电池MEA主要技术指标已可满足商业化需求，但要满足大规模商业化应用，在降低Pt用量、提高MEA耐久性方面仍需攻关
- 燃料电池MEA已初步具备万平米级产业化能力，但生产效率的提升以及在线检测技术的开发和应用是MEA产业化亟待解决的问题
- MEA成本依靠规模化生产效应可满足初步商业化需求，满足大规模商业化的成本要求，仍需技术突破（性能、非Pt等）



武汉理工新能源有限公司
Wuhan WUT New Energy Co., Ltd

Thank You !

Small Membrane Power Big World...