

 中国华电集团有限公司
CHINA HUADIAN CORPORATION LTD.

华电电力科学研究院有限公司
HUADIAN ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE Co., LTD.

燃料电池分布式能源现状及关键技术

华电电力科学研究院有限公司
国家能源分布式能源技术研发（实验）中心

求真 务实 专业 纯粹

汇报人:张钟平

二〇一九年 四月

目录

CONTENTS

- 01 **燃料电池介绍**
Introduction of Fuel Cells
- 02 **燃料电池分布式能源**
Fuel Cell Distributed Energy
- 03 **国内外发展现状**
Current Situation of Development
- 04 **燃料电池关键技术**
Key Technologies of Fuel Cells
- 05 **工程应用分析**
Application analysis

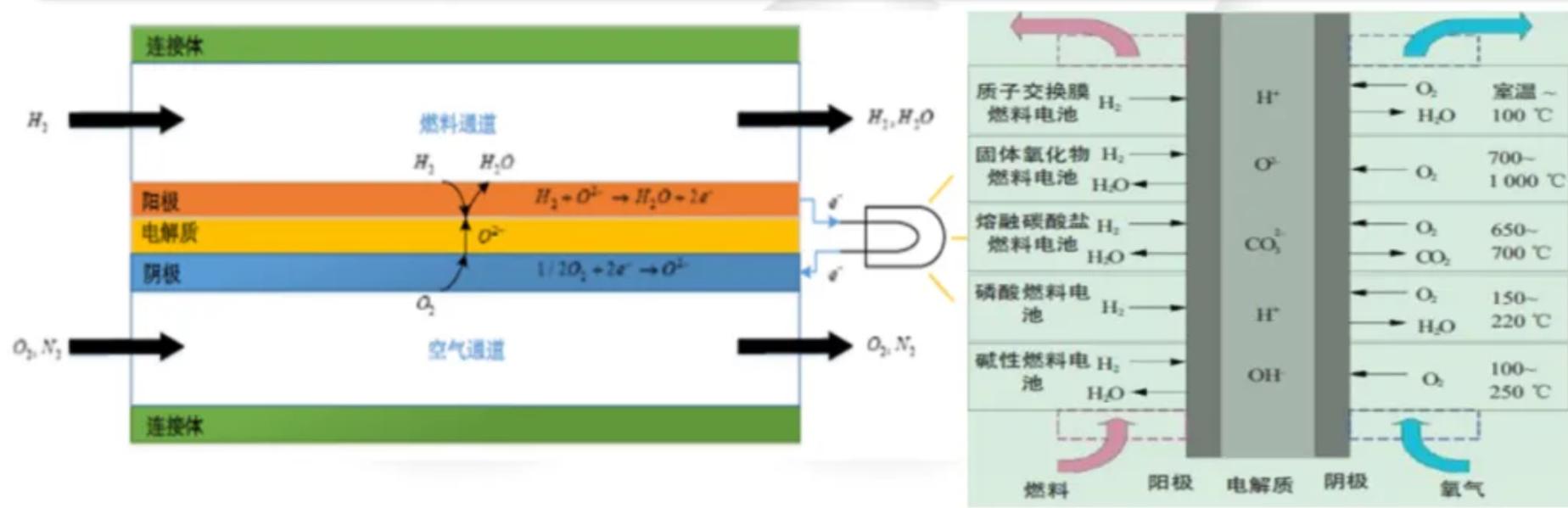
1

燃料电池介绍

Introduction of Fuel Cells

01 燃料电池介绍

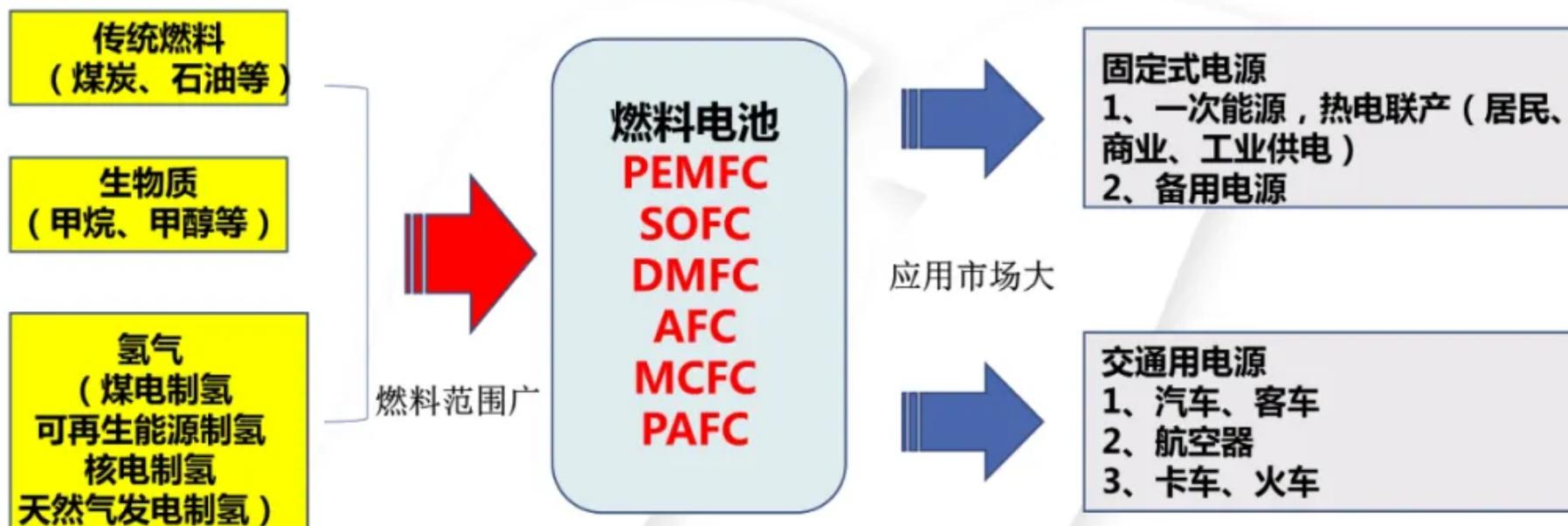
燃料电池是一种**不经燃烧过程**而直接将**燃料和氧化剂中的化学能**转化为电能的发电装置，其工作方式与常规化学电源不同，类似于汽油机或柴油机，即燃料电池的燃料和氧化剂不存储在电池内部，电池发电时燃料和氧化剂由外部装置连续不断地送入电池内部。



02 燃料电池分类

燃料电池主要有以下几大类：**碱性燃料电池（AFC）**、**磷酸型燃料电池（PAFC）**、**熔融碳酸盐燃料电池（MCFC）**、**质子交换膜燃料电池（PEMFC）**、**固体氧化物燃料电池（SOFC）**等。

电池类型	质子交换膜燃料电池	固体氧化物燃料电池	熔盐碳酸盐燃料电池	磷酸燃料电池	碱性燃料电池
导电离子	氢离子	氧离子	碳酸根离子	氢离子	氢氧根离子
燃料	氢气、重整净化气	氢气、重整净化气	氢气、重整净化气	氢气、重整净化气	纯氢
比功率/（W·kg ⁻¹ ）	340-3000	15-20	30-40	120-180	150-200
发电效率	40%-60%	50%-60%	45%-60%	37%-42%	60%-70%
启动时间	<5s	>30min	>30min	几分钟	几分钟
寿命水平/h	分布式发电：80000；	管式80000；板式80000	20000	40000	8000
应用领域	分布式电站、移动电源、汽车、潜艇	分布式供电	分布式供电	分布式供电	航天



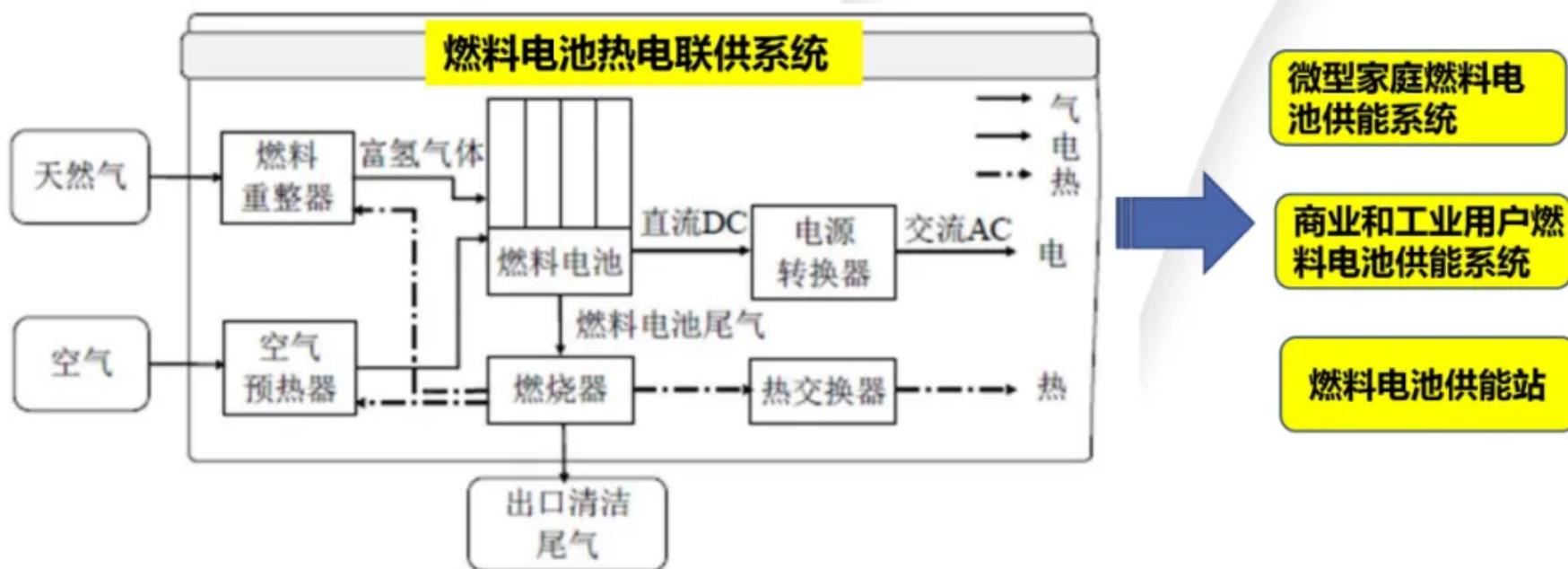
2

燃料电池分布式能源

Fuel Cell Distributed Energy

01 燃料电池热电联供系统

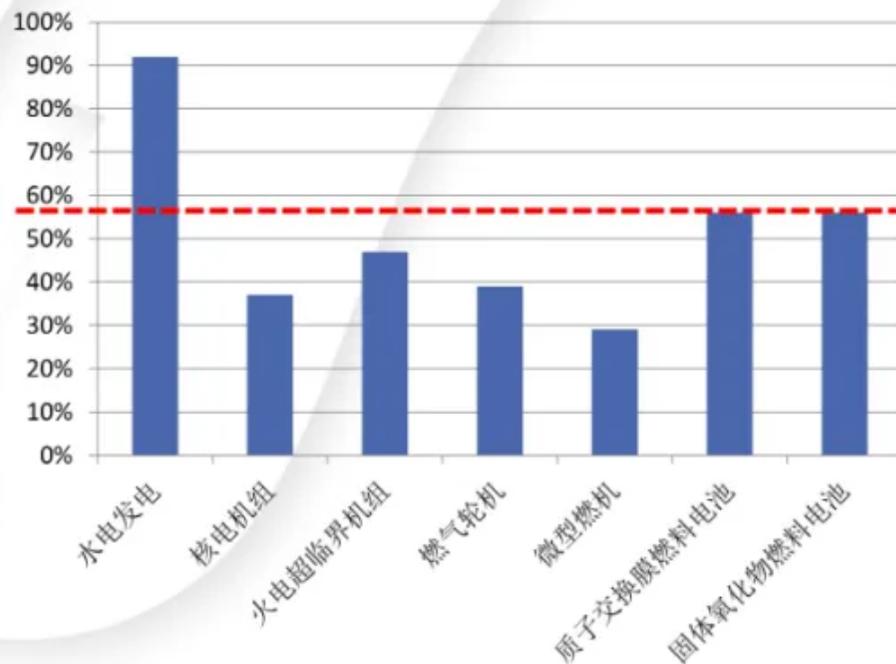
分布式能源是一种位于用户侧，优先满足用户需求，发电总装机规模较小，能源综合效率高，而燃料电池热电联产分布式能源应用更广、效率更高。



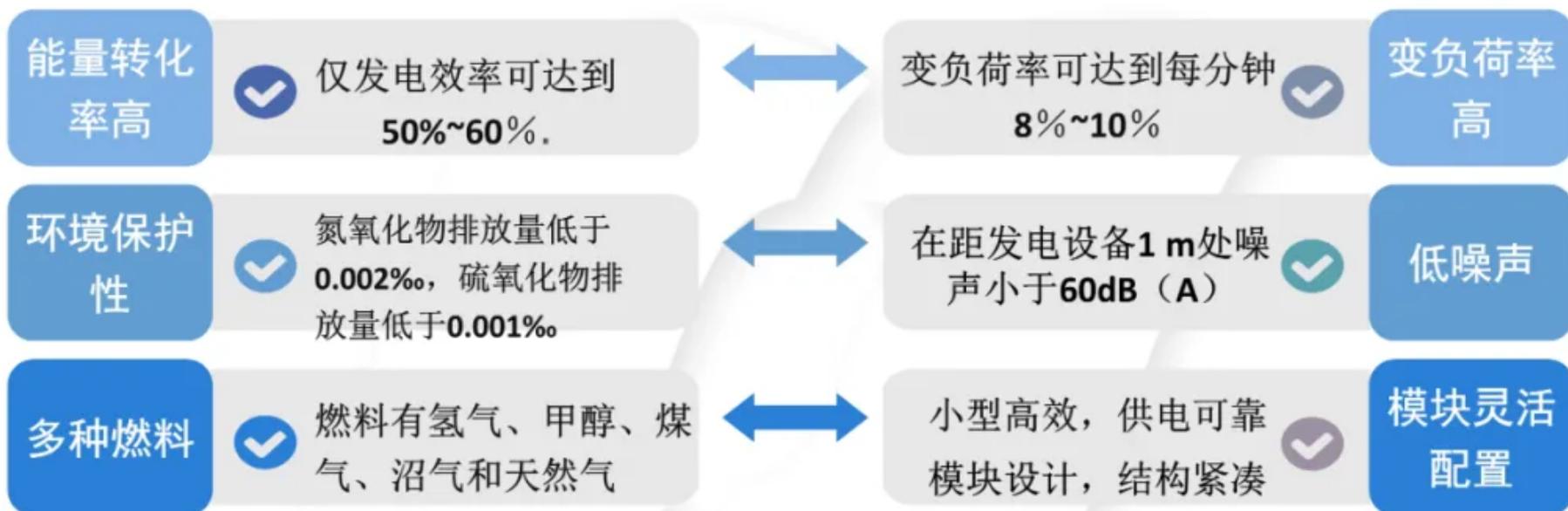
燃料电池与传统分布式能源对比

项目	燃料电池	微型燃气轮机	内燃机
单机容量 (kW)	1-300	25-300	0.005-10000
发电效率	50%-60%	25%-30%	21%-42%
综合效率	80%-95%	60-80%	80%
热电比	0.5-1.0	1.4-2.0	0.83-2.0
噪音 (1m处) /dB	<60	>85	>60
寿命/h	10000-80000	45000	30000-60000
启动时间	30s-2d	60s	10s
应用场合	家用、分布式微小发电系统	百千瓦及以上冷热电联供系统	楼宇分布式能源系统

燃料电池与传统发电效率对比



03 燃料电池分布式能源优点



综合对比：燃料电池具有高效率、低污染、低噪声、模块化、电力质量好等突出特点，是理想的分布式能源

3

国内外发展现状

Current Situation of Development

01 国内燃料电池发展

中国的燃料电池研究始于1958年，但研究与市场应用进展缓慢，燃料电池总体技术水平和应用来看，与发达国家尚有较大差距。

2014年，国务院办公厅印发的《能源发展战略行动计划(2014-2020年)》、国家发改委《能源技术革命创新行动计划(2016-2030年)》、《能源技术革命重点创新行动路线图》、能源局《中国制造2025—能源装备实施方案》等提出燃料电池作为重点发展领域，包含燃料电池技术创新、燃料电池分布式发电、燃料电池汽车等。

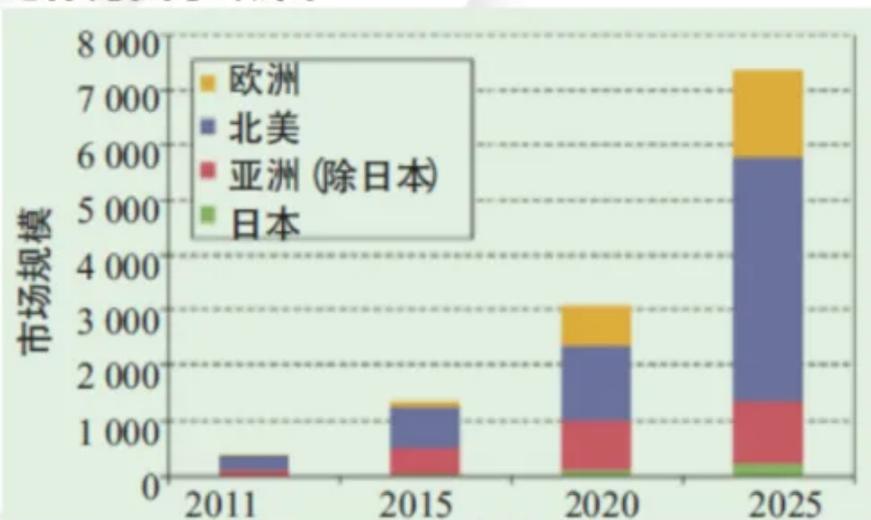


02 世界燃料电池发展

根据BP 预测显示世界氢能市场规模在2020 年将超过10 万亿日元，在2050 年将达160 万亿日元。美国能源局在最新的预测中表明燃料电池市场规模将以每年10%的增长率发展，到2022 年将是2017 年规模的两倍。商业和工业用燃料电池的市场开拓，北美地区最为发达，其次是韩国，他们将燃料电池发电作为国家政策。



世界氢能市场规模预测

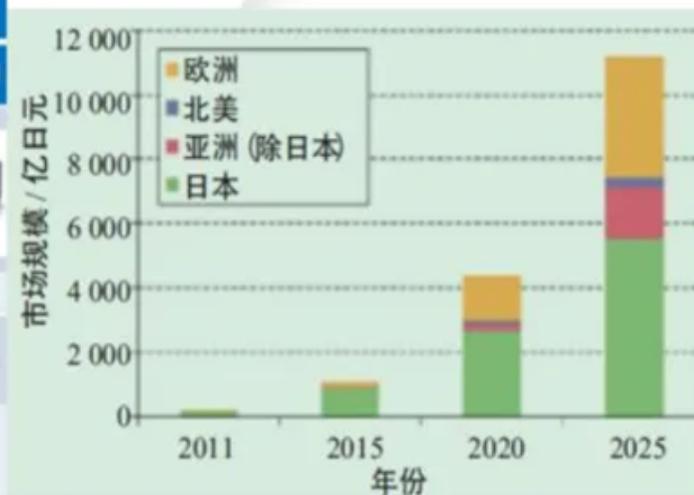


商业和工业用燃料电池市场预测

02 世界燃料电池发展-日本

2017年日本发布了2030-2050年氢能发展目标，到**2030年**实现**氢燃料发电商业化**。而在**分布式发电领域**，日本目标是使家用燃料电池，发电时产生的废热用来烧水，供泡澡和地暖使用，**总能量效率超过90%**，预计在2020年达到140万台，在2030年达到530万台，**约占10%的家庭**。经BP预测2020年系统投资在7-8年内回收，到2030年时投资可在**5年内**回收。

Manufacturer	Denso	Miura	Fuji Electric	Hitachi Zosen	Mitsubishi Hitachi Power Systems (MHPS)	(Reference) Bloom Energy
	Demonstration model					Business model
Appearance						
Output	5 kW	5 kW	20 kW	50 kW	250 kW	200 kW
Type	Cogeneration (under consideration)	Cogeneration	Cogeneration (under consideration)	Cogeneration	Cogeneration	Mono-generation
Electrical generation efficiency (target value)	50 %	50 %	50 %	50 %	55 %	50 - 60 % (Actual performance)
Total efficiency (target value)	(under consideration)	90 %	(under consideration)	80 %	73% (hot water) 65% (steam)	-
Major envisioned demand	Barbers and hair salons, family residential buildings	日本燃料电池系统			Large buildings, and hotels	



世界家用燃料电池预测

03 世界燃料电池发展-欧美国家

美国是世界上较早研究燃料电池国家，1992年开始美国能源部就拨款数十亿美元用于燃料电池的研制和开发，2000年的悉尼奥运会通用汽车用液氢作燃料电池汽车作为运动场工作车。Plug Power公司也是最大的燃料电池叉车公司，该公司迄今已向市场提供了超过25000个燃料电池，运行时间超过1.8亿小时。美国FuelCell Energy公司是全球领先的燃料电池供应商，该公司于2018年11月，签署德比镇布置一个14.8兆瓦的燃料电池，在全球已经安装部署了超过300 MW的发电设备。

德国的Siemens、DomierGmbH及ABB研究公司致力于开发千瓦级平板式SOFC发电装置。



ebay总部Bloom Energy燃料电池



Plug Power30kW氢燃料发电机



西门子燃料电池系统

04 燃料电池分布式能源部分项目

厂商	燃料电池类型	功率/ (MW)	案例
Nedstack	质子交换膜	2	2016年，中国营创三征清洁利用，联合荷兰Nedstack[7]和MTSA 等公司建设2 MW
		1	2012年，比利时Solvay化工集团
Hydrogenics	质子交换膜	1	2013年，德国EON公司欧盟P2G示范项目
Ballard	质子交换膜	1	2012年，丰田美工总部分布式发电示范项目
斗山能源	磷酸燃料电池	1.6	2010年，美国COX通信电缆公司700W生物质气清洁发电
浦项制铁	熔盐碳酸盐	360	韩国平泽旅游园区和浦升工业园区大规模供电供热项目
Fuel Cell Energy	熔盐碳酸盐	5.6	2016年，美国辉瑞制药研发中心项目
Bloom Energy	固体氧化物	1	2013年，本田美国总部200kW分布式电站

4

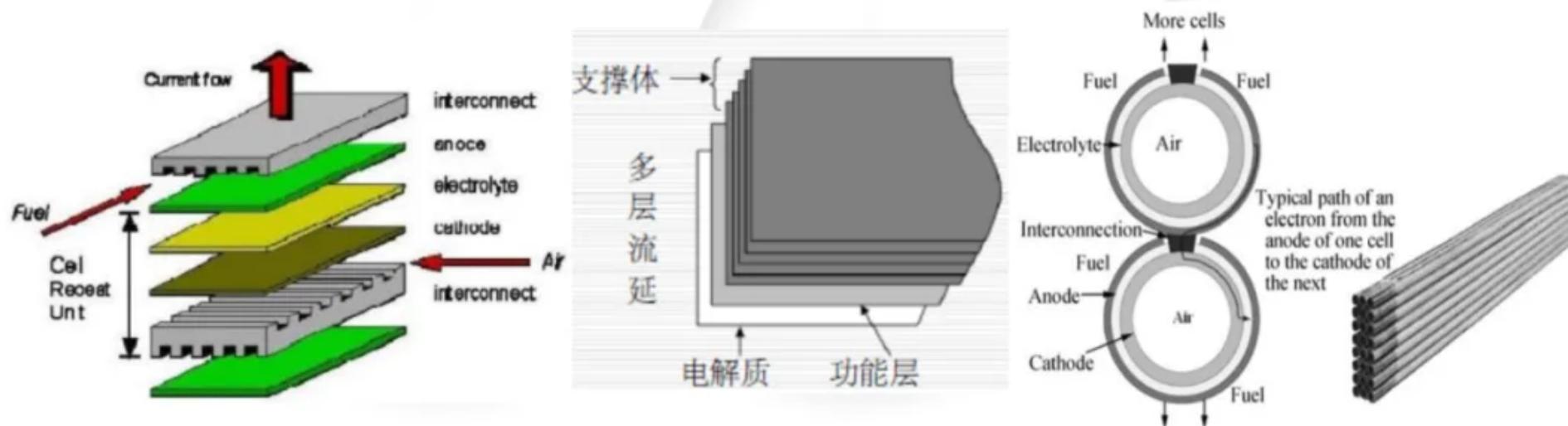
燃料电池关键技术

Key Technologies of Fuel Cells

01 电堆材料与装备关键技术

电解质具备热力学稳定、体积稳定、致密性以及有足够的机械强度等特性，电解质的特性很大程度上决定了燃料电池的特性。

电池堆材料主要包括连接体材料、密封材料和界面材料。连接体对金属材料的一般要求是抗氧化性、导电性、高温机械强度、热膨胀系数匹配以及与相接触材料间的化学相容性等等。在密封材料方面，需解决电池组件热膨胀系数匹配问题和密封的成功率等难题，使电池堆的冷热循环实现平衡，要求和相邻组元间不发生化学反应和内部扩散。

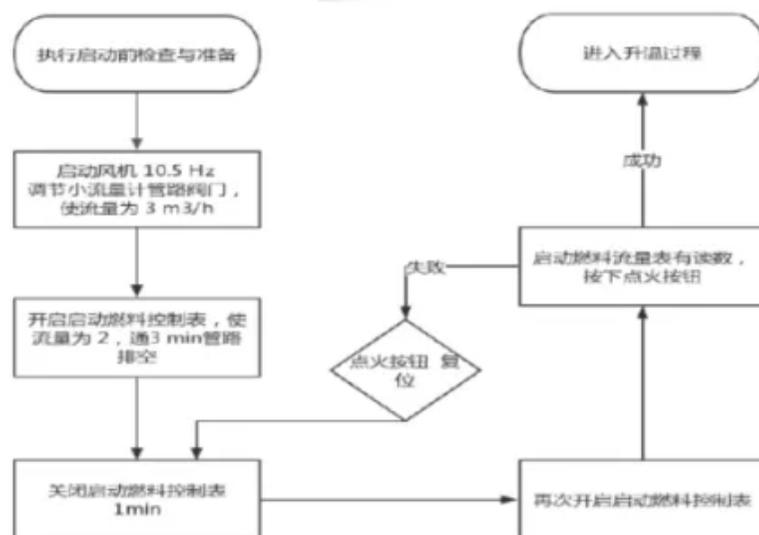


02 系统管理技术

供气管理系统、水管理系统和控制管理系统。燃料电池的耐久性是很关键的指标。要提高耐久性，一方面要提高材料和关键部件的可靠性；另一方面是控制技术，制定并优化燃料电池启停、动态工况、动力电池匹配及水热管理的控制策略。



启动准备逻辑

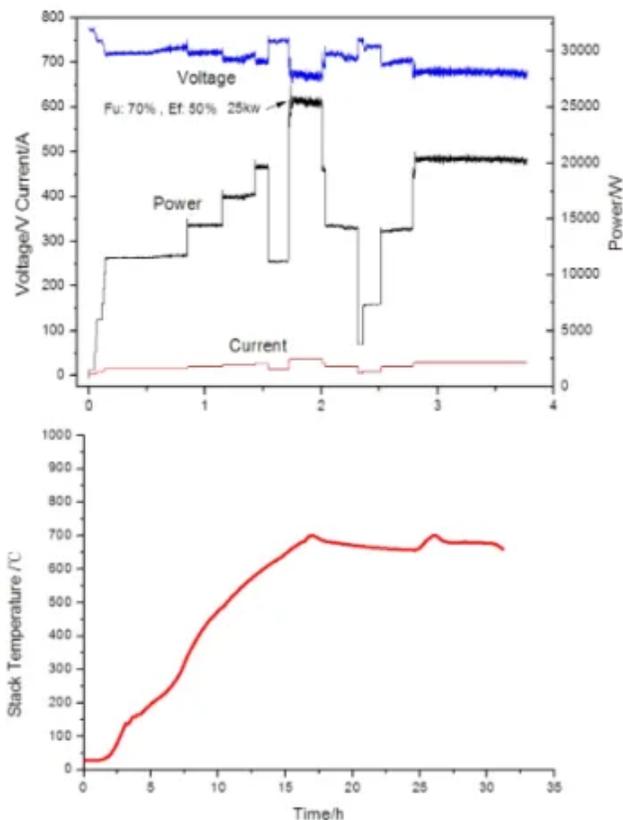


启动点火控制逻辑

测试燃料电池是研究开发过程中必不可少的重要环节，其目的是评估相关部件的材料、设计和性能，为进一步优化单电池和电堆综合性能提供依据，同时国内**缺少相关标准和规程**。

单电池测试，主要是评估单电池的材料、性能和衰减速率；评估连接体材料和密封材料的性能以及各界面之间的结合情况。在测试的过程，将判断**工作温度、气体成分、气流量、电流密度、热循环、燃料利用率**等多个参数对性能的作用机制，并探索出提高热循环和稳态寿命的方法。

电堆和系统测试，主要是评估部件间的**连接情况和相互适应、连接体和气体流场的设计、热循环特性以及长时间性能衰减速率**。



5

工程应用分析

Application analysis

01 国家能源分布式能源研发中心

华电电力科学研究院有限公司国家能源分布式能源研发中心，建设完成一套**25kW固体氧化物燃料电池发电系统**，主要包含电池堆、BOP热换系统、汽化器、燃料除硫系统、控制系统和并网系统等，**发电效率超过50%**。

国家能源分布式能源技术 研发中心

国家能源局

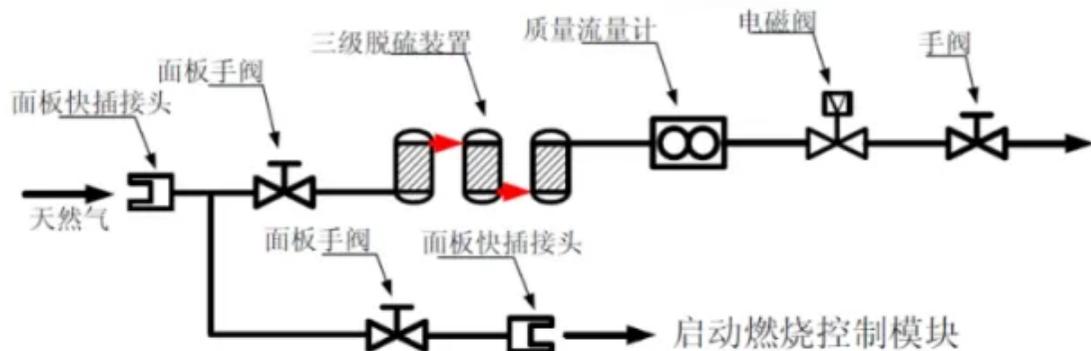
分布式能源研发中心



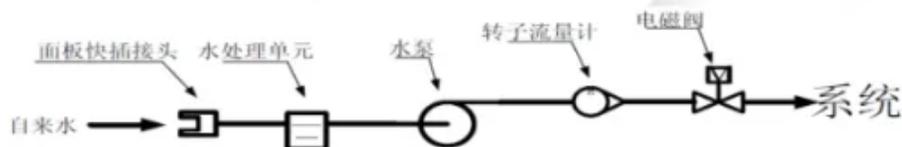
25kW固体氧化物燃料电池发电系统

燃料电池SOFC额定工作参数

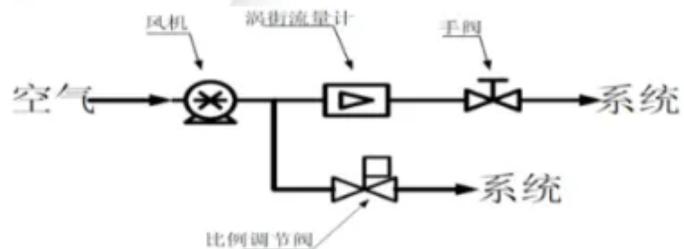
额定工作参数	
发电功率 (MAX)	25kW
堆区发电效率	>50%
OCV	730~780V
额定功率输出	工作电压: 600V, 工作电流: 38A。
电堆燃料	管路天然气 78SLM; 0.2~0.4MPa。
电堆空气	流量: 2000SLM; 背压: 10~25kPa。
水	去离子水, 240ml/min。
外接电源	AC380V,三相五线,安装容量10kW。
排气参数	室外或无背压环境, 设计排气温度: 150℃, 成分: H ₂ O、CO ₂ 、N ₂ 、O ₂ 。 无保温, 会快速冷却, 由水凝结问题。



燃料电池燃料供给管路

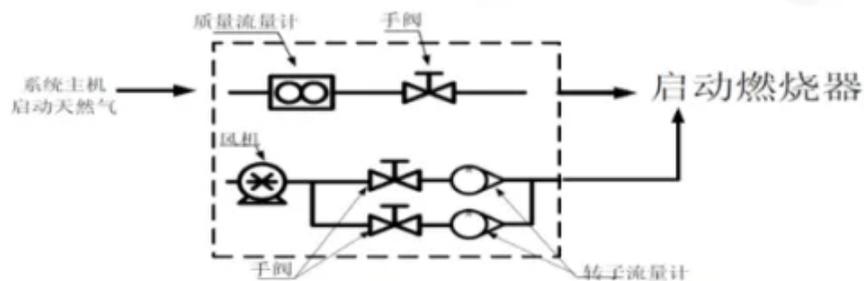


燃料电池供水系统



燃料电池供气系统

燃料电池启动燃烧器流程



启动燃烧器布置



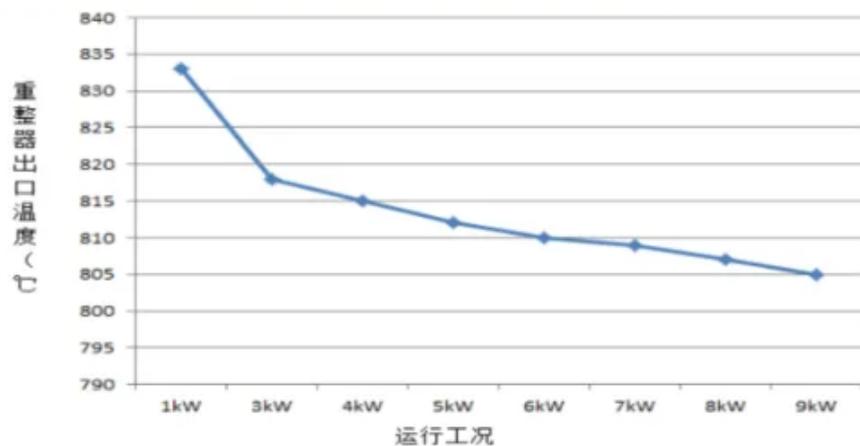
启动燃烧器连接



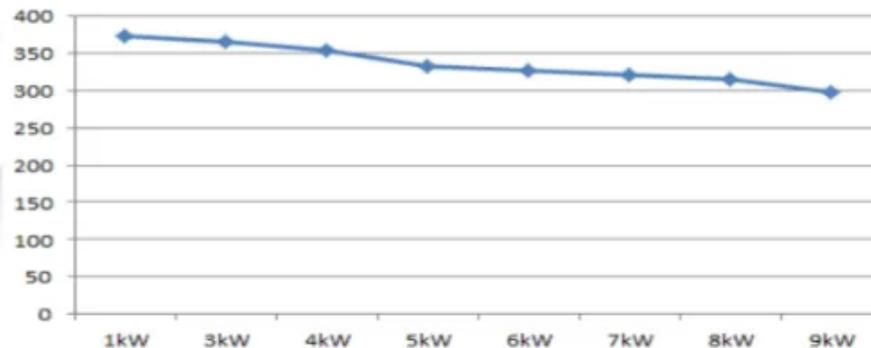
燃料电池并网逆变器

并网运行状态

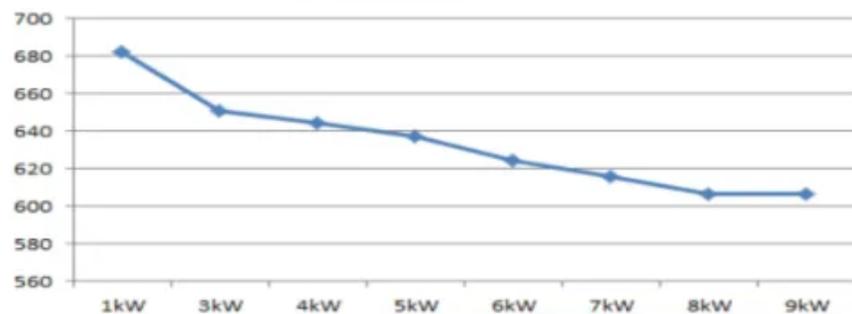
05 系统全过程测试



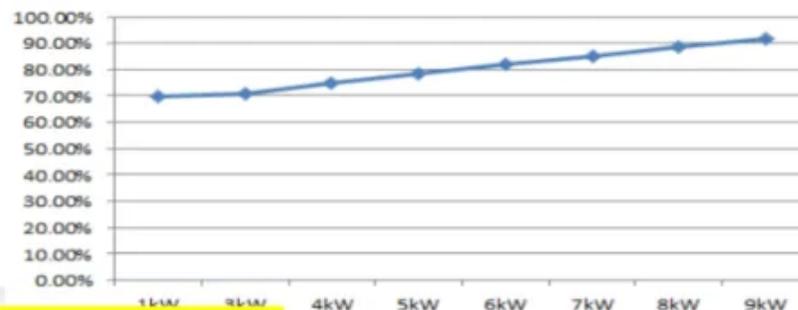
阴极空气换热ATO烟气出温度 (°C)



直流电压 (V)



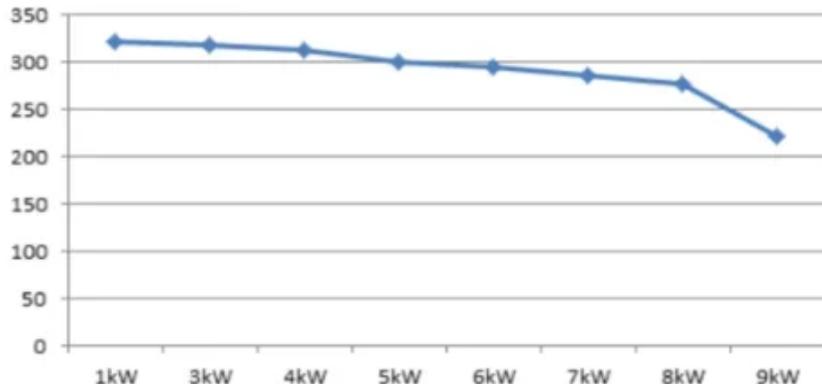
逆变效率



燃料电池不同输出功率下参数分析

分析结果表明：（1）输出功率受燃料电池多个内部参数和条件影响，存在控制策略多样化及不确定性的特点；（2）燃料电池在输出功率为额定功率的70%及以上时，发电效率可达40%以上，额定功率下发电效率近60%；（3）重整甲烷流量、水蒸汽流量与温度、空气流量等参数直接影响燃料电池的输出特性；

水蒸气出温度 (°C)



发电效率 (%)

