

国外燃料电池研究发展现状

(参加 1996 年 2 月第二次国际燃料电池(日本神户)会议(2nd IFCC)观感)

李乃朝 衣宝廉

(中科院大连化学物理研究所, 大连 116011)

燃料电池(FC)是继火力、水力和核能之后的第四种发电方式,其特点是高效、清洁、低噪音、负载能力强,无论在军用还是民用方面都有着广泛的应用前景。国外从60年代开始FC研究,至今最有希望商业化的四种FC分别是磷酸FC(PAFC),熔融碳酸盐FC(MCFC),固体氧化物FC(SOFC)和聚合物电解质FC(PEFC),其特性如表1所示。

表1 不同种类FC特性(1)

Tab 1 Characteristics of the different kinds of fuel cells

	PAFC	MCFC	SOFC	PEFC
工作温度	200	650	1000	80
效率	40%	60~65%	60~65%	40%
电池电压 0.7V 时的工作电流 $A \cdot cm^{-2}$	0.3	0.15	0.3	1*
冷启动时间	4	10	10	几分钟
要求的稳定 运行时间 h	> 40,000	> 40,000	> 40,000	3000~10,000
优点	已接近商业化技术成熟	余热温度高可用于内重整和余热发电	余热温度高可用于内重整和余热发电	冷启动时间短工作电流密度大
缺点	效率和余热温度低	电解质腐蚀性强,阴极存在溶解,阳极存在蠕变问题	高温下陶瓷材料脆性大,易裂;材料和加工费用高	燃料只能用氢气,若用其它燃料气,需用外重整和净化器
目前成本	3000	20,000	30,000	5,000
ECU ** /Kw	(系统)	(电池组)	(电池组)	(电池组)
预计 2005	300	500	500	200
年时成本	(电池组)	(电池组)	(电池组)	(电池组)
ECU /Kw	1000	1500	1500	1500
	(系统)	(系统)	(系统)	(系统)固定式

* 氢作燃料 ** 欧洲货币单位,与美元比值 1:1.3

1 国外 FC 研究发展状况

国外 FC 研究主要分为四个集团, 即美国、日本、西欧和加拿大, 它们之间既彼此竞争, 又相互合作, 1990 年, 8 个国际能源局 (IEA) 成员国签署了一项联合开发 FC 技术的合作协议, 到 95 年底合同期满, 又有多个国家加入这一组织, 目前该组织已扩大到 15 个国家, 分别为澳大利亚、加拿大、丹麦、德国、意大利、日本、荷兰、新西兰、挪威、西班牙、瑞典、瑞士、英国和美国, 新的合作协议从 96 年开始, 为期三年, 其内容如表 2 所示

表 2 IEA 96~ 98 年度 FC 合作研究计划^[2]

Tab. 2 The IEA advanced fuel cells programme from 1996-1998

项目内容	MCFC 平衡 电厂分析	SOFC 模型 和评价	MCFC 材料 和电化学	PEFC 研究 和发展	FC 系统 分析
主持国家	日本	瑞士, 德国	荷兰	加拿大	瑞典

以下分别对各国的 FC 研究发展作一简要概述

1.1 日本

日本的国家 FC 研究与发展计划始于 1981 年, 其领导者为国际贸易与工业部 (MITI) 所属的工业科学与技术局 (AIST), 研究重点集中在 PAFC、MCFC、SOFC 和 PEFC 上, 其组织与实施者为新能源和工业技术发展组织 (NEDO), 研究计划如表 3 所示

表 3 NEDO FC 研究与发展计划^[3]

Tab. 3 NEDO's fuel cell development program

年份	1981	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
PAFC	基础研究																
	200 kW, 1MW 前期试验厂																
	1MW, 5MW 论证试验																
	50~ 500 kW 现场试验																
MCFC	10 kW 开发																
	100 kW 开发																
	1MW 试验电厂																
SOFC	100W 基础研究																
	kW 级基础研究																
PEFC	kW 级基础研究																
	基础研究																
	10 kW																

由 NEDO 组织实施的新阳光计划, 94~ 95 年度有关 FC 项目研究经费如表 4 所示

据估计日本每年用于 FC 研究的经费为 135 M ECU (百万欧洲货币单位), 其中 35 M ECU 来自于政府, 100 M ECU 来自于企业^[1]
PA FC^[3,5]

东京气体公司 1 MW 电厂东京田町和关西电力公司尼崎 5 MW 电厂已分别于 1995 年 5 月和 3 月开始运行, 效率分别为 36% 和 41%. 用于旅馆, 办公楼 50~ 500 kW 的现场试验于 1995 年开始进行, 已得的发电效率为 30% ~ 40%, 加上供暖, 供热水和空调方面利用的余热, 总效率为 60% ~ 80%. 正在建设的有东京电力五井火力发电所 11 MW 电厂. 日本 PA FC 开发经费主要来自各大公司和使用单位, 据估计日本 PA FC 商业化仅需 3 至 5 年时间^[1]

表 4 日本新阳光计划 94~ 95 年度有关 FC 项目研究经费(4)

Tab. 4 1994-1995 Budget for fuel cell related items under the New Sunshine Program in Japan

项 目	内 容	期 限	主要 投资者	投资 比例	94 年经费 百万日元	95 年经费 百万日元
1 FC 系统 技术开发		1981~ 1997	NEDO	100%	5087	5130
MCFC	1 MW 电厂, 材料及 煤气重整技术				4415	4420
SOFC	模型电池, 材料, 基础技术和系统				400	410
PEFC	基础技术, 系统				234	240
国际合作					16	16
其 它					23	44
2 FC 发电 技术实用		1991~ 1996	NEDO	50%	930	900
城市中心 发电	5 MW 电厂运行				315	341
就地式发电	1 MW 电厂运行				507	200
家庭用分散 发电	评价与优化				70	40
PA FC 运行 其它	寿命论证				0	299
					38	20
3 现场试验	旅馆, 医院, 办 公楼正常负荷	1992~ 1999	NEDO	1/3	525	80
4 高效石油能 源技术展示	50, 200 kW PA FC 电厂试验评价	1991~ 1995	石油工业 活动中心	1/2	310	199
5 煤气作燃 料技术开发	煤气制氢 作 FC 燃料	1995~ 2002	煤利用 中心	2/3	0	336

M CFC^[3, 5]

两个 100 kW, 电极面积 1 m^2 的加压外重整 M CFC (ER-M CFC) 试验运行已于 1994 年分别由日立和石川岛播磨重工业 (IHD) 完成, 运行时间 5000 h。由中部电力公司制造的 1 MW ER-M CFC 试验厂正在川越火力发电厂安装, 其预期的以天然气作燃料的效率将高于 45%, 运行时间至少 5000 h, 预计 97 年建成, 由三菱电机和美国能量研究公司 (ERC) 合作研制的 30 kW 内重整 M CFC (IR-M CFC) 已运行了 10, 000 h。

SOFC^[3, 5]

日本从 1989 年开始平板型 SOFC 研究, 并于 1989~1991 年试验运行了电极面积为 100 cm^2 的 100 W 电池, 现正处于研究阶段的有: 富士电机 400 W 平板型 SOFC; 三菱电机和东京电力合作研究的 1 kW 管型 SOFC; 东燃公司 1.3 kW 平板型 SOFC。另外由美国西屋公司提供的 25 kW SOFC 正在关西电力六甲新能源中心运行。

PEFC^[5, 6]

从 1992 年开始, NEDO 组织日本各大公司实施了一项为期四年的 PEFC 研究计划, 并于 1995 年组装成了电极面积 1200 cm^2 , 功率密度 0.3 W/cm^2 , 由 5 个电池组成的 1 kW 电池。日本各大公司和研究单位研制的 PEFC 还有: 1994 年富士电机研制的适合汽车用, 电极面积 250 cm^2 , 由 50 个电池组成的 4 kW PEFC; 三菱电机和东京气体公司 1994 年合作研究的气体重整型 5 kW 固定式系统和深海潜入用 1 kW 发电系统; 由加拿大 Ballard 公司提供, 马自达公司制造的 8.1 kW 电动车; 三洋公司 200 W PEFC; 田中贵金属工业和山梨大学合作研制的残疾人用小型电动车。

1.2 美国

美国从 70 年代末期开始大规模研究开发民用 FC, 其主要投资者为能源部 (DOE), 气体研究所 (GRD) 和电力研究所 (EPRI)。据估计, 美国对 FC 的投资每年 120 M ECU, 政府和企业各占一半, 94~98 年美国用于 M CFC 的研究费用为 130 M ECU, 用于 4 个 100 kW 和 1 个 1 MW SOFC 的研究费用为 120 M ECU, 目前用于作汽车动力源 PAFC 和 PEFC 的研究费用为每年 15 M ECU, 并正在得到加强。^[1] 94~96 年 DOE 用于 FC 研究的投资如表 5 所示:

表 5 94~96 年 DOE 用于 FC 研究的投资 (千美元)^[7]

Tab 5 U. S. DOE fuel cell budget from 1994 to 1996

年份	1994	1995	1996
M CFC	31498	29117	37115
SOFC	15786	15910	12753
PAFC	0	0	0
发展研究	1385	1410	1304

PAFC^[7, 8]

1986 年由美国国际燃料电池公司 (IFC) 研制的 PC25 型 200 kW PAFC 电厂开始定型生

产,并由附属于 IFC 的 ONSI 公司负责生产和销售,售价 3000 美元/kW,已售出 50 余座 ON-SI 公司年生产能力 40 MW,现已研制出体积更小,造价更低的 PC25C 型 1 MW 电厂,将于 1996 年销往国内各地,日本和韩国

MCFC^[7,8]

美国从事 MCFC 研究的部门有 IFC,煤气技术研究所(IGT)和 ERC. ERC 已具备年产 2 ~ 5 MW 外公用管道式 MCFC 电厂能力,并正在进行三个电极面积为 0.56 m²,由 244 个电池组成的 123 kW MCFC 试验运行.由 IGT 创立的熔融碳酸盐动力公司(MCP)已具备年产 3 MW 电厂能力,目前该公司正在进行电极面积为 1.06 m²的 250 kW MCFC 运行试验

1995 年 ERC 在加州 Santa Clara 建立了 2 MW 试验电厂,MCP 在加州 San Diego 建立了 250 kW 试验电厂.为尽早实现商业化,在 DOE 的资助下,ERC 和 MCP 将分别进行为期 5 年的 MCFC 商业开发计划.ERC 将建立一个系统更简单,体积更小,造价更低,可以使用多种燃料气的标准化 2 MW IR MCFC 电厂,作为商业化样板;MCP 将建立一个以天然气作燃料,加压 1 MW ER MCFC 商业化原型电厂.MCP 宣称该电厂的设计,安装和试验运行将于 1997 年完成,1998 年电厂进入市场准备阶段.预计美国 MCFC 2000 年将实现商业化,2006 年彻底完善

SOFC^[7,8]

美国西屋公司的 SOFC 研究水平居于国际领先地位,该公司已组装成了管长 2 米,由多管组成的 SOFC 电池组,该公司 20 kW 电池正在南加州和日本进行试验运行,1996 年西屋公司将进行 100 kW SOFC 试验

平板型 SOFC 主要由 IGT, Ceram atec, Ztek 和联合信号航天航空公司等负责研制

PEFC^[1]

美国国内对交通运输工具用 FC 研究正在日益加强,并正在讨论一项“交通运输工具用 FC 研究国家计划”,其重点为 PEFC,预计这项计划将很快被通过,促使政府对 PEFC 研究进行大规模投资,使 PEFC 的研究与开发得到加强

1.3 西 欧^[1]

西欧的 FC 研究始于 60 年代,但到了 1976 年研究工作基本停止,直至 1986 年在欧洲委员会(EC)的带动下才再次复兴,据估计政府和企业对 FC 的投资每年为 70 M ECU.

EC 的 FC 研究分三个计划实施,即 JOULE, BR ITE 和 THER IE,其 92~ 94 年度的投资为 64 M ECU.

德国 92 年的 FC 研究经费为 500 万美元,主要用于 SOFC,正在进行的一项为期 4 年的 SOFC 和 PEFC 研究经费为 30 M ECU,其中 50% 来自企业;从 1986 年开始,荷兰的 FC 研究集中于 ER MCFC 和 IR MCFC,92~ 96 年的研究经费为 40 M ECU;在西班牙,一项为期 5 年的 MCFC 研究计划投资为 15 M ECU;意大利的 FC 发展始于 1987 年,重点是 2 MW PA FC 电厂,另外还有 MCFC 和 PEFC,92~ 94 年度的研究经费为 40 M ECU;丹麦 93~ 96 年度的研究经费为 14 M ECU,重点为平板型 FC;英国的 FC 研究集中于 SOFC 和 PEFC,其每年的研究经费为 2 M ECU.

PA FC

由美国和日本提供的大约 15 个 50~ 200 kW PA FC 电厂正在西欧不同的国家安装运行,由美国 IFC 提供的 1 MW PA FC 电厂正在意大利的米兰运行

MCFC

丹麦 Haldo Topsoe 和 Elkraft 公司, 德国 MTU 和 Ruhrgas 公司与美国 ERC 正在合作进行一项为期 9 年, 投资 75 M ECU 的开发计划; 在荷兰, 由 ECN 组织负责实施为期 5 年的 MCFC 发展计划, 投资 40 M ECU, 到 1995 年, 两个 250 kW ER-MCFC 将开始运行, 燃料分别为天然气和煤气; 在意大利, Ansaldo 公司正在与西班牙和爱尔兰的公司合作开发 100 kW 电厂, 这项被命名为 MOLCARE 的计划得到了 EC, 意大利和西班牙政府的支持

SOFC

由德国西门子公司, 荷兰 ECN 组织和英国 GEC 公司投资 20 M ECU 合作研制的金属双极板平板分列式 20 kW 电池于 1995 年开始运行; 英国气体公司, ICE 公司, 德国 RISO 公司和荷兰 TNO 公司合作, 研制平板和管型混合式 1 kW SOFC; 德国 Dornier 与英国 Cookson 公司共同开发陶瓷双极板平板型电池; 丹麦 90~ 92 年度的研究投入是 7 M ECU; 瑞士 Sulzer 公司 1 kW 电池 93 年开始运行; 挪威开展了两项 SOFC 计划, 一个从 93 至 95 年, 每年投资 3 百万美元, 95 年建成 5~ 10 kW 平板型 SOFC 电厂, 另一个从 91 至 94 年, 总投资 7 百万美元, 94 年研制出 3~ 4 kW 电池组 据估计 SOFC 商业化至少需 10~ 15 年时间

PEFC

德国奔驰-戴姆勒与加拿大 Ballard 公司合作投资 13 M ECU, 进行一项为期 4 年的 PEFC 计划; 英国 VSEL 与 Ballard 公司合作开发移动和固定式 PEFC 系统; 在 EC 领导下, 爱尔兰 De Nora 公司分别与意大利 Ansaldo 和法国雷诺公司合作, 开发汽车用 40 和 30 kW PEFC, 估计 PEFC 商业化, 固定式系统需 5~ 7 年时间, 移动式尚须更长时间

另外丹麦, 法国, 德国, 爱尔兰和英国的公司和组织正在研究开发类似于 PEFC 可以将甲醇直接氧化的甲醇直接氧化 FC (DMFC), 该电池性能已经达到电池电压 0.5 V, 电池工作电流密度 0.4 A/cm².

FC 系统

FC 发电, 其成本不仅取决于电池, 也取决于辅助系统如重整反应和净化器, 据估计当功率达到 2~ 5 MW 时, 重整和净化器的价格可以令人接受 考虑到氢气以管道输送的费用与天然气相当, 因而 EC 正在研究的一种可以将多种 FC 联网工作, 简单易行, 价格低廉的系统工作方式如图 1 所示。

今后十年 EC 对 FC 的投资预计 160 M ECU, 其分配如表 6 所示。

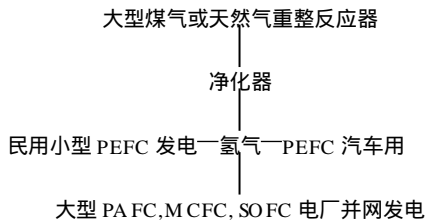


图 1 多种 FC 并网发电示意图

Fig 1 Demonstration of the cogeneration of fuel cell networks

表 6 今后十年 EC 对 FC 的投资计划

Tab 6 The funding for fuel cells from EC in the next 10 years

项 目	实施时间(年)	投资(M ECU)
PEFC 技术开发	5	30~ 40
MCFC 技术开发	10	30~ 40
SOFC 技术开发	10	30~ 40
城市用低温 FC 联网	2 年内启动	15~ 30
工业用高温 FC 联网, 余热发电	5~ 7 年内启动	15~ 30
电动汽车技术开发与展示		30

1.4 加拿大^[9]

加拿大的 FC 研究主要集中在 PEFC 上, 其水平居国际领先地位, 1983 年, 加拿大国防部 (DND) 投资并组织该国 Dow 公司与 Ballard 电力公司研制 PEFC, 用作潜艇用脱离空气动力源 (AIP)。1994 年 Ballard 公司开始研制 40 kW 低温甲醇 PEFC, 1996 年初, 该公司制造的 400 kW 级潜艇用 PEFC 系统开始运行。

2 对我国 FC 工作的建议

鉴于上述国外情况, 建议我国的 FC 研究应集中以下几个方面:

1) 集中力量进行 MCFC 技术与工程开发 MCFC 热效率高, 可热电联供, 并间接地以煤作燃料, 比较适合我国能源以煤为主的情况, 国外 MCFC 技术日益成熟, 本世纪末将商业化, 因此我国应集中力量进行 MCFC 技术与工程开发, 争取以不到十年的时间研制出以煤气作燃料的 100 kW MCFC, 参与国际实用竞争, 确立我国在国际 FC 研究开发中的地位。另外国际上对中国燃煤污染十分关注, 而 MCFC 发电是解决这一问题的有效途径。因此开展 MCFC 研究, 能够使我国从减少燃煤污染的角度争取到一定的国际合作与资助, 加速我国研究与开发速度。

2) 集中力量进行 PEFC 技术与工程开发 PEFC 是最具有商业前景的 FC, 它启动快, 功率密度高, 无论在军用, 民用, 小型电站, 还是交通运输工具动力源方面都有着广泛的应用前景, 国外 PEFC 研究已接近工程化。我国有多年碱性石棉膜 FC (AFC) 研制基础, 完全可以用于 PEFC 技术与工程开发。PEFC 功率较小, 寿命要求短, 因此经费投入不多, 一旦关键技术得以突破, 则可以很快进入实用化阶段, 现在应当机立断, 抓住机遇, 开展这一方面的工作。

3) 开展 SOFC 基础研究工作, SOFC 工作温度高, 加工和组装工艺复杂, 国外 96 年将进行 100 kW 试验运行, 尚未商业化。我国应开展这一领域的基础研究工作, 解决电池所需材料技术关键, 制出小功率样机, 考察材料和技术的可靠性, 以利于和国际 FC 技术接轨。

4) 若有可能, 可引进国外 PAFC 小型样机 (10~ 20 kW)。PAFC 国外即将商品化, 而在我国还是空白, 因此我国可从国外引进小型样机 (10~ 20 kW), 进行试验运行, 以便熟悉借鉴国际 FC 系统技术, 明确 FC 在国内实用的可能性。通过引进, 加速缩小我国与国际 FC 技术的差距, 达到事半功倍的作用。

Status of the Research and Development for Fuel Cell Technology Abroad

Li Naichao Yi Baolian

(Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Science)

Abstract Status of the research and development for fuel cell technology abroad

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

was overviewed, and at the aim of accelerating the research and development for fuel cell technology in China, the corresponding strategy for our country was recommended

Key words Fuel cell, PAFC, MCFC, SOFC, PEFC

References

- 1 Gilliaert D, Huynh C. A ten year fuel cell research, development and demonstration strategy for Europe. Keynote Address, Proceedings Plenary Session, 1-2 2nd IFCC, Japan 1996
- 2 Joon K. The IEA advanced fuel cell programme. General Speech, Plenary Session, 13-27, 2nd IFCC, Japan 1996
- 3 Takasu K. Present status of research and development for fuel cell technology in Japan. General Speech, Plenary Session, 5-9 2nd IFCC, Japan 1996
- 4 Fuel cell development information center (FCDIC). An overview of FY1995 budget (draft) for fuel cell related items. *Fuel cell now*, 1995, 1(3): 1
- 5 FCDIC. Development and commercialization of fuel cell systems—clean, high-efficient energy. *Fuel cell*, 1995, 1(9): 1
- 6 FCDIC. Research and development of PEFC in Japan. *Fuel cell now*, 1995, 1(3)4
- 7 William SM C. Status of the U. S. stationary power fuel cell program. Keynote Address, Proceedings Plenary Session, 2nd IFCC, Japan 1996
- 8 Kimball J A. Fuel cell development programs of the gas and electric utility industries in the U. S. A. General Speech, Plenary Session, 11, 2nd IFCC, Japan 1996
- 9 Clarkin L, Epp D. The development of a submarine power plant based on a methanol fuelled proton exchange membrane fuel cell. Proceedings technical session, Session III, 379 2nd IFCC, Japan