

· 专题三 ·

能源优化利用和潜在能源开发

与会专家提出如下优先发展领域的建议:

1 煤洁净、优化利用的基础科学问题 包括:中国动力用煤的基本组成、结构、物理性质和反应性的综合研究;煤转化的催化剂化学工程的基础研究;煤中硫及其它污染物在生成机理的脱除方法的基础研究;燃煤联合循环发电技术的基础研究;节能技术基础和总能系统的研究。

2 石油、天然气优化转化的基础研究 包括:新催化材料,催化剂活性本质和反应机理的研究;有关新反应技术的基础研究;采用新原料的工艺过程的基础研究;生物技术用于石油脱硫的探索。

3 生物质能源转换科学基础及其化学工程与生物工程研究 包括:木质纤维素(植物体)生物转换能源的科学基础与工程基础研究;生物质热转化和催化转化的化学与工程基础研究;有机废弃物沼气转化的生物与化学工程基础研究。

4 太阳能、氢能、化学能利用中的有关科学问题 包括:各类高转换效率、低成本、大面积薄膜型光电池的光伏转换机理,稳定性,衰退机理及新型器件结构的基础性研究;太阳能光热转换总集热系统,透光隔热材料,新型储能系统的研究;新型、高效产氢方法及机理,氢的催化燃烧及先进氢的利用;先进、高效、长寿命电解池、燃料电池及相关材料和催化剂的研究。

5 核聚变能开发利用中的基础科学问题 包括:托卡马克磁约束聚变高温等离子体的加热、约束、MHD 不稳定性;核聚变燃烧物理及边界等离子体物理;强激光、高能粒子束与高温、高密度等离子体的相互作用;内暴动力学。

燃料电池

衣宝廉

(中国科学院大连化学物理研究所,大连 116012)

燃料电池(FC)是一种将贮存在燃料和氧化剂中的化学能直接转化为电能的发电装置。它的发电方式与常规化学电源一样,电极提供电子转移的场所,阳极催化燃料(如氢等)的氧化过程,阴极催化氧化剂(如氧等)的还原过程,导电离子在将阴阳极分开的电解质内迁移,电子通过外电路作功并构成总的电的回路。在电池内这一化学能向电能的转化过程等温进行,即在FC内,可在其操作温度下利用化学反应的自由能。但是,FC的工作方式又与常规的化学电源不同,它的燃料和氧化剂并非贮存在电池内,而是贮存在电池外的贮罐内,当电池工作时,要连续不断地向电池内送入燃料和氧化剂,排出反应产物,同时也需排出一定的废热,以维持电池工作温度的恒定。FC本身只决定输出功率的大小,而贮存的能量则由燃料和氧化剂的贮罐决定。

FC等温地直接将化学能转化为电能,不通过热机过程,不受卡诺循环的限制,因此能量转

换效率高。氢氧FC效率已达60—70%，以油、天然气造气的间接型氢空FC效率已达42%，中高温FC可望达到50—70%，明显优于火电站的效率。

FC的输出功率由单池性能、电极面积和单池个数决定。多个电池组间可进行串联和并联以增加发电功率。所以FC电厂具有“积木”特性，能依据需要建造各种不同功率的电厂。

FC的能量转换效率与装置规模无关。在运行过程中，负荷变化，其能量转换效率并无大幅度的变化，采用FC供电，无需调峰，在低负荷工作时，其效率反而略有升高。因此FC电厂特别适于分散建立，在热电联供时，燃料的总利用率可高达80%以上。

FC电厂是一种清洁型发电装置，即使是高温FC，在运行时NO_x的排放量也仅十几个ppm，几乎不排放SO_x，CO₂排放量也明显减少。FC电厂运行时噪声低，距电厂10米处，噪声一般低于55分贝。

由于FC具有上述明显优点，国外在50—60年代曾呈现第一个研制高潮，那时侧重发展碱性氢氧FC(AFC)。到70年代末，由于材料、电催化等科学进展和世界性能源紧缺，以及环境污染的加剧等推动，FC研究又呈现第二个高潮。这次侧重发展磷酸型燃料电池(PAFC)，熔融碳酸盐型燃料电池(MCFC)和固体氧化物型燃料电池(SOFC)。1983年东京4500kW PAFC电厂的成功运行，又大大促进了国外对FC研究的投入。

表1 国内外几种航天FC的主要技术性能比较

FC 类型		酸性离子膜型(Gemini)飞行	碱性培根型(Apollo)飞行	碱性石棉膜型(Shuttle)飞行	碱性石棉膜型A型(大连化物所)	碱性石棉膜型B型(大连化物所)	碱性石棉膜型4001(天津1418所)
输出功率 kW/台	正常	0.50	0.60	7.0	0.25—0.60	0.2—0.3	0.3—0.5
	峰值	1.05	1.42	12.0	0.8—1.0	0.4—0.6	0.7
工作电压(V)		23.3—26.5	27—31	27.5—32.5	28±2	28±2	28±2
整机重量(kg)		30	110	91	40	60	50
整机体积(cm ³)		d 30.48 L 60.96	d 57 L 112	101×35×38	22×22×90	39×29×57	50,000
寿命(h)		400	1,000	2,000	>450	>1,000	>500
电池工作温度(°C)		38—82	200	85—105	92±2	91±1	87±1
氢氧气工作压力(MPa)		—	0.35	0.418	0.15±0.02	0.13—0.18	0.2±0.015
氢气纯度(%)		—	—	—	>99.5	≥65 ¹⁾	99.95
电极工作电流密度 ²⁾ (mA/cm ²)		50—100	—	66.7—450	100	75	125
电解质KOH浓度(%)		—	45	30—50	40	40	—
排水方式		—	动态	—	静态	静态	动态
启动次数		—	—	—	>10	>10	>10

1) 肼分解气; 2) 正常输出功率时的数据。

1 航天氢氧FC

氢氧FC用于宇航载人飞行时，电池反应生成的水经过净化可供宇航员饮用，其供氧分系统还可与生保的供氧分系统互为备份。美国宇航局(NASA)在1962—1978年间投资1.7亿美

元发展航天氢氧 FC, 已成功地将离子交换膜型 FC 用于双子座(Gemini)飞行, 将培根型中温碱性氢氧 FC 用于阿波罗(Apollo)登月飞行, 将碱性石棉膜型氢氧 FC 用于航天飞机(Shuttle)飞行。欧洲的空间渡船计划也决定采用 AFC 为电源, 以用于 90 年代末航天飞行。

我国在 70 年代由于航天计划的推动, 曾出现过氢氧 FC 研制浪潮。中科院大连化物所研制成功两种静态排水的 AFC, A 型以纯氢、纯氧为燃料, 带水回收与净化分系统; B 型以空分氧为氧化剂, N_2H_4 分解气(H_2 含量 $>65\%$)为燃料。这两种 AFC 均通过了例行航天环模实验。机电部天津 1418 所研制成功了动态排水的 AFC。几种航天用 FC 技术性能见表 1。

由此可知, 我国的航天 FC 与美国同类型 FC 相比差距很大。为发展我国的航天 FC, 除进一步进行工程开发外, 还应资助下述的应用基础研究: (1) 多孔气体扩散型电极的结构与性能关系及其制备工艺, (2) 氧的电化还原机理与新型高效氧电化还原催化剂的探索, (3) 电池组内的传质、传热与各单池间流体的均匀分配的研究。

2 FC 电厂

为使 FC 用于民用发电, 国外大力发展 PAFC, MCFC 和 SOFC。它们的进展状态见表 2。

表 2 FC 电厂进展状态

FC 类型	热电效率%	工作温度 $^{\circ}C$	功率 kW	主要技术状况
PAFC	35—42	$\sim 200^{\circ}C$	50—11000	基本成熟
MCFC	50—60	$\sim 650^{\circ}C$	1—100	主要技术问题接近解决
SOFC	>60	$\sim 950^{\circ}C$	1—25	正在解决技术问题

2.1 PAFC PAFC 电厂以天然气、石脑油或甲醇重整造氢为燃料, 空气为氧化剂, 产生的直流电经直交变换, 以交流电形式供给用户。50—200 kW PAFC 电站主要供现场应用, 1000 kW 以上的 PAFC 可作为小型中心电厂。

PAFC 发展至今, 主要技术问题已解决, 并有商品出售。主要问题是其造价远高于大型火电厂, 因此只能在特殊场所, 作为分散型电厂使用。又因电催化剂需用贵金属, 资源有限, 即使大规模生产后, 成本有所下降, 也难于大量推广应用。我国至今基本未进行 PAFC 的研制。作者认为, 我国现在不宜开展这方面工程与基础研究, 可依据需要与可能, 引进小型样机, 经过试用, 再决定下一步发展计划。

2.2 MCFC MCFC 的工作温度约 $600^{\circ}C$, 余热利用价值高, 电催化剂以镍为主, 无需用贵金属, 可用脱硫煤气作原料。预计造价 1500 美元/kW, 稍高于大型火电厂。

MCFC 现已成为美日欧发展的重点, 其主要的技术问题已接近解决, 进入建立 10—100kW 电站的实验阶段。预计本世纪末可进行兆瓦级电站试运行, 21 世纪初可达半商品化程度。若能将这种 MCFC 与煤造气技术相结合, 建成大型电站, 将获得相当大的经济效益和社会效益。

为提高我国燃煤电厂效率, 消除其对环境的污染, 建议在本世纪末攻下 1—100 kW MCFC 电厂主要技术难关, 为下世纪初 MCFC 的实用化提供技术基础。为此, 应重点资助以下的研究工作: (1) 研究 Ni 阴极溶解机理及解决对策。Ni 阴极缓慢溶解, 生成枝晶, 严重时会导致电池短路。目前国外正在探索向 Ni 阴极加入第二、第三组分, 防止或减缓 Ni 阴极溶解; 或探索新的阴极材料。(2) 开展熔盐腐蚀机理研究, 解决和防止间隔板腐蚀问题。MCFC 一般采用 316[#] 或 310[#] 不锈钢作间隔板, 在反应气氛下, 这两种材料存在溶盐腐蚀问题, 影响电池寿命。国外正探索改进这两种不锈钢组成, 或在其表面喷涂一层导电、抗腐蚀涂层来解决这一问题。(3) 开

展电极蠕变机理,探索防止电极蠕变方法的应用基础研究。MCFC在长期运行过程中,阴阳极会发生蠕变,影响电池的密封,严重时能导致电池窜气。国外探索加入陶瓷微粉以减缓和防止电极的蠕变。(4)开展减少熔盐损失机理和电池内贮盐补盐技术研究。MCFC在长期运行过程中,熔盐会逐渐损失,引起电池性能下降,严重时会导致湿密封失效,电池漏气。应研究贮盐板、隔膜、电极间孔径匹配关系及熔盐在贮盐板,隔膜,电极间迁移及对电池性能的影响。(5)对以天然气为燃料,内重整的MCFC,应开展熔盐对重整催化剂的影响机理及解决对策,为开发高效、长寿命内重整催化剂提供技术指导。(6)开展MCFC用稳定的隔膜材料及制备薄的、抗热冲击隔膜的应用基础研究。

2.3 SOFC SOFC可采用煤气或天然气作燃料,工作温度为900—1000℃,能提供优质余热,热电效率高,因采用固体电解质,所以无腐蚀问题,可望实现长寿命运行,是一种理想的燃料电池发电装置。至今开发的SOFC有三种结构:管式、平板式和瓦楞式。管式技术较成熟,但后两种形式更适于建造大功率电厂。

SOFC阳极厚100—200 μm,多孔结构,催化剂为镍。固体电解质为钇稳定化的氧化锆,组成为 $(Y_2O_3)_{0.1}(ZrO_2)_{0.9}$ 。阴极为钙钛矿型的亚锰酸镧,组成为 $Sr_xLa_{1-x}MnO_3$, $x=0.1-0.2$ 。

日本与美国合作,于1987—1990年,进行了3 kW和25 kW SOFC实验,前者运行时间达12000小时,并拟于1997年作100 kW电池现场实验。欧洲计划1997年建200 kW联合发电装置,并对其技术前景进行预测。

目前,由于材料及制备技术等限制,SOFC在国外还处在开发研制阶段,鉴于国内财力及人力,作者认为目前还不宜于组织力量进行工程开发,但应资助以下研究:(1)研究 Y_2O_3 稳定的 ZrO_2 氧离子导电机理与制薄膜技术;(2)探索在700—800℃具有良好氧离子传导能力的新材料、导电机理和制薄膜方法;(3)研究固体氧化物电解质与催化电极界面结构与性能。

FUEL CELL

Yi Baolian

(Dalian Institute of Chemical Physics, GAS Dalian116012, China)

太阳能利用的研究与开发

葛新石

(中国科技大学热能系,合肥230026)

由于地球上有限的矿物燃料日趋枯竭,而聚变核能做为能源达到商业化程度还需相当长时间,因此在由使用矿物燃料转为使用聚变核能的过渡阶段,太阳能将成为能源家族中的主要成员。扩大太阳能的开发利用还可降低 CO_2 , SO_2 及 NO_x 等污染物的排放,维护洁净的生态环境。太阳能工业作为一个专门的行业已在世界各国出现。随着太阳能装置的效率不断提高及