

实用型燃料电池电站

作者 Arnold P. Fickett

译者 段秋生

43.1 电池特性

对以燃料电池为实用电站的兴趣在于它的效率、环境可接受性及其积木化结构。就其效率而言，关键是燃料电池不像热机那样受Carnot循环限制（Carnot循环描述了对热机效率的限制），因此燃料电池能够具有比热机所能达到的更高转换效率的潜力。因为燃料电池的效率主要是由它的单体电池电压所决定，燃料电池电站的效率（在一定程度上）与其容量大小无关。此外，与一般的发电机相反，在25—100%的额定输出功率范围内，燃料电池的效率接近恒定。因此这种为负荷跟踪*用途提供有效电力的燃料电池具有节省燃料的潜在能力，而且从这种燃料处理室中排放出的物质只有空气和水。

如果由燃料电池组成的电站可以作为一实用发电机使用的话，它所使用的燃料必须经济适用，而且必须产生与实用的输电系统兼容的交流电。所以正如图41.1所示，燃料电池电站不仅应包括燃料电池，而且还应包括燃料处理器和电力调节器。燃料处理器将实用燃料——如天然气——转换成富氢气体，电力调节器则将直流电转变成交流电。

靠石油或煤衍生的燃料工作的燃料电池，每生成 10^9 J电量所生成的二氧化硫和氧化氮的量分别少于0.05g和10g。这些排放物和其它排放物的总和至少比美国标准低10倍。硫的排放量低，是因为燃料电池电站不容许有硫的化合物，这些化合物已被燃料处理器的特殊次级系统分离出来。其它物质的排放量低，则是由燃料电池固有的清洁性所致。可以预料到燃料电池电站工作安静，在35℃环境温度或更低的温度下，它不需要补充水。由于它的环境特性，燃料电池电站可以安置在它所服务的现场，从而公用事业公司可以推迟对电力传输和分配新线的投资，通过这种分散建立电池电站的方法还可以减少传输线路固有的损失。

因为燃料电池基本上是积木式结构，所以燃料电池电站的部件可在工厂成批生产，而不需要现场建造，所以结构的成本较低。另外这种小型积木化发电机的应用使电站可以用一种经济的方法靠增加小容量的积木块以适应电力需要的增加。这种小型可靠的积木化电站的存在可增加电力系统自身的可靠性，同时也可减少电力系统的贮备发电容量。

* 原文为load-following，未找到合适的译文，暂译为“负荷跟踪”，意思是追踪负荷要求，提供电力。（译者注）

由于它具有这些常规电站所不具备的特点，所以燃料电池可以若干种方式服务于电站。如图43—1和表43—1所综述。小型燃料电池电站（容量范围为40~300kW）可以安置在商业和住宅建筑区内。这类电站以天然气为燃料。它可同时提供电能和热能（燃料电池的余热），所消耗的燃料量与通常单独供热所需要的相同。预计这类燃料电池电站的总效率接近90%。燃料电池的优点是在电力生产特性不被改变的情况下，余热就可被利用，而Carnot型机器就不具备这个特性。

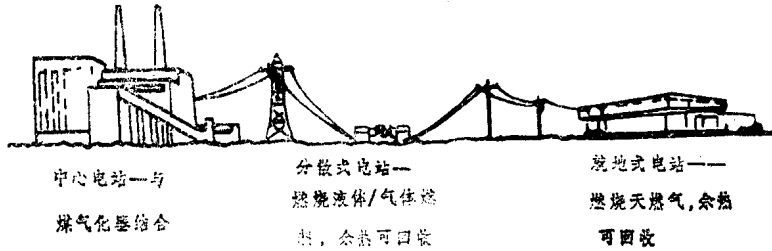


图43.1 实用电站中燃料电池的任务

表43.1 实用燃料电池电站计划

任务	容量	燃料	预计成本, 1983 \$	效率, %	电解质
就地式电站	40—300kW	管道煤气	\$ 800/kW	39~42 或90(余热利用)	磷酸
分散式(子)电站	5,000~25,000kW	石油或煤裂解的气体或液体	\$ 600/kW	41~47 或80(余热利用)	磷酸
中心电站	15~60万kW	煤	\$ 1500/kW*	45~50	熔融碳酸盐或磷酸

* 包括煤气化器成本。

更大的电站——5,000~25,000kW——可分布于整个电力服务系统以有效地执行负荷跟踪任务。这种燃料电池的储备潜力可从图43.2中看出，并与其它类型电站的热效率（每生成1kWh电容量所需燃料的焦耳数）做了比较（在25%处出现的曲线中断是由于从低流量涡轮压气机向高流量涡轮压气机切换的缘故。涡轮压气机用于压缩反应物空气，负荷低于25%时，使用小型涡轮压气机以使寄生能量损失减至最低）。用于负荷跟踪的燃料电池应能使其它发电机以它们最有效的效率工作。另外如果燃料电池的余热得以利用就表示所使用的矿物燃料得到较充分的利用，此时完全有可能使效率达到80%以上（基于所消耗的燃料数量计算出的）。

将来，燃料电池应与煤气化器合成为一体，以形成直接利用煤的大型基本负荷中心电站。这类电站的容量应在15~60万kW范围。这类电站的效率预计应在45%以上（基于所消耗的煤应能生成的热值计算出）。

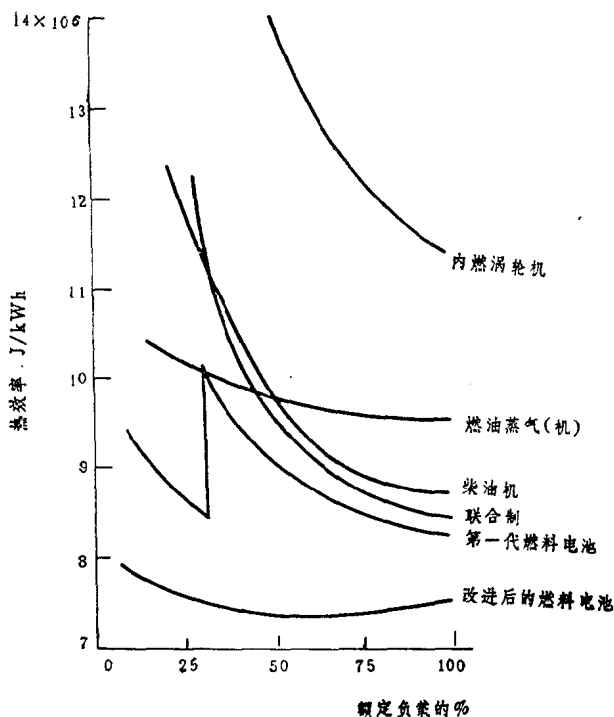


图43.2 燃料电池电站的储备潜力

43.2 实用燃料电池电站计划

正在进行的三个主要计划旨在加速实用燃料电池成为商品技术的发展。其中包括就地(电站)计划、FCG—1计划和熔融碳酸盐燃料电池计划。除这三个主要计划以外,高温固体氧化物燃料电池有时也被用来作为实用型燃料电池来使用。

43.2.1 就地(电站)计划

就地电站计划是TARGET (Team to Advance Research for Gas Energy Transformations) 的扩大。这个计划最初是由联合技术公司和煤气及煤气电力国际财团联合资助。自1967年开始,这个组织支持了住宅和商用就地式磷酸燃料电池的发展。

这种就地电站的基本原则是利用煤气(天然的或合成的)为燃料,将其转化成电能及加热或致冷用所需的热能。这种电池的转换效率非常高,因为实际上所有的余热都可直接用于加热或致冷操作。到现在,该计划已花费了近1亿美元。在1972和1973年间就已有60多个就地式12.5kW的这类电站投入现场试验,这些试验导致1975年开始对40kW容量的这类电站进行研究和实验。由于能源部和煤气研究所的支持,目前这个计划的目标已扩展到建立50个40kW容量的这类电站。并预计在本世纪末使该项技术商品化。

最近,两个新的研究队伍——西屋公司的Energy Research Corporation和Engelhard Corporation——已着手了由能源部资助的关于就地式燃料电池应用的计划。西屋公司的Energy Research Corporation致力开发以天然气为燃料的120kW电站,但该计划目前已放弃。Engelhard目前正在开发5kW甲醇燃料电池系统。

43.2.2 FCG—1计划

第二个计划于1971年首先由电力产业所倡导。当时一群电力公司加入了Edison Electric Institute和United Technologies以探讨燃料电池对行业的潜在利益。这种大胆尝试导致了1972年FCG—1 (for fuel cell generation—1) 计划诞生。该计划由United Technologies和九家电力公司联合资助, 旨在发展26,000kW磷酸(燃料电池)电站, 并力争于1980年投入商业运行。于1976年和1977年根据FCG—1计划对容量为1,000kW的实验电站作了设计和论证。论证表明:以粗汽油(naphtha)为燃料的电站可以向电力服务系统提供大量的能量, 可令人满意地满足公用事业热消耗, 热幅射及负载跟踪容量的需要。

1976年试图加快燃料电池的商品化工作。电力研究所和能源研究及发展部(即现在的能源部)开始参与FCG—1计划。其结果之一是计划在电力服务系统内部设计、建造和试验FCG—1电站的4,500kW模件。纽约的Consolidated Edison Company被选择作为论证的试点。

有关的论证还包括日本东京电力公司与美国联合技术公司签定的合同。该合同预计在东京安装和实验一个类似的4,500kW的电站。

FCG—1计划目前已被扩大, 其中包括经3~4年的努力完成商用FCG—1样机的设计和研究。另外西屋公司的Energy Research Corporation最近已联合宣布计划扩大他们的就地燃料电池的研究, 力图使这种燃料电池达到数千kW级较大分布型电站的水平。

43.2.3 熔融碳酸盐燃料电池计划

第三个主要计划是由电力和煤气产业于1971年所承担的研究计划基础上发展而来。该研究计划旨在提高燃料电池的技术, 将煤气发生器与燃料电池直接结合, 以便适应更广泛的燃料(包括煤)。这个计划的焦点是预计利用大约十年的时间将熔融碳酸盐燃料电池电站投入商业运行。General Electric, The Institute of Gas Technology, Oak Ridge National Laboratory, Energy Research Corporation和United Technology corp共同参与了这项计划。阿贡国家实验室不仅正在实施所承担的研究和发展计划而且同时还经管着能源部的研究计划。

43.2.4 固体氧化物燃料电池

对高温固体氧化物(HTSO)燃料电池研究的兴趣最早始于二十世纪六十年代[1, 2]。因为该项技术有几个明显的优点, 其中包括:

- 固有成本低;
- 功率密度大;
- 燃料适应性强;
- 没有液体在;
- 电站效率高(如果与煤的气化系统结合使用)。

但是HTSO燃料电池的热潮已于1970年开始减弱。其主要研究计划也已于1972年终止。这种兴趣的下降主要是由于在1000℃温度下材料的稳定性问题所致。尤其是负极和电池相互联接材料的稳定性问题更为严重。所以, 所列举的这些技术的许多优点在原型样机中均不能被确定下来。尤其是成本的优越性更是问题, 因为为满足高温稳定性的需要使用非常稀有的材料。同时效率和燃料可能输出功率也变得仅比磷酸或熔融碳酸盐燃料电池

稍好一点。

最近，对HTSO燃料电池的兴趣已重新恢复，并主要集中在两个方面。第一，在1973~1976年期间研究了可能在较低温度下（700~850℃）工作的HTSO电解质 [3—5]。第二，自1976年以后已对二氧化锆为电解质的HTSO燃料电池（工作在1000℃温度下）作了研究 [6]。

43.3 磷酸燃料电池

尽管开发者的数量不断增加，应用范围也似乎十分广阔（千瓦级到千千瓦级）。但这种正在发展中的磷酸燃料电池（PAFC）的基本技术实际上却都是相同的。

43.3.1 电池结构

基本的电池结构如图43.3所示。它包括：

1, 碳或石墨隔离——集流板 它既将氢与来自邻近电池（在多电池堆结构中）的空气隔离，又提供了单体电池间的串联连接。这种板必须是不能渗透氢和氧的良好电子导体，并且能在200℃浓磷酸存在情况下的燃料和空气环境中保持稳定。

2, 阳极集流体加强肋 它将电子从阳极传向隔离板，这种加强肋结构为向阳极扩散的氢气提供了通道。这些碳或石墨加强肋或者被制成隔离板的一部份，或者被制成阳极的一部份。但无论怎样，它们必须具有良好的电子导电性，并在燃料环境中稳定。如果被制成隔离板的一部份，则它们应由致密的无渗透性材料制成；如果被制成阳极的一部份，则它们应是多孔的。后者的结构似乎比前者要优越：一是这种加强肋可连续成型，另一方面是这种多孔的加强肋可用来贮存磷酸，以增加（电池的工作）持续时间。

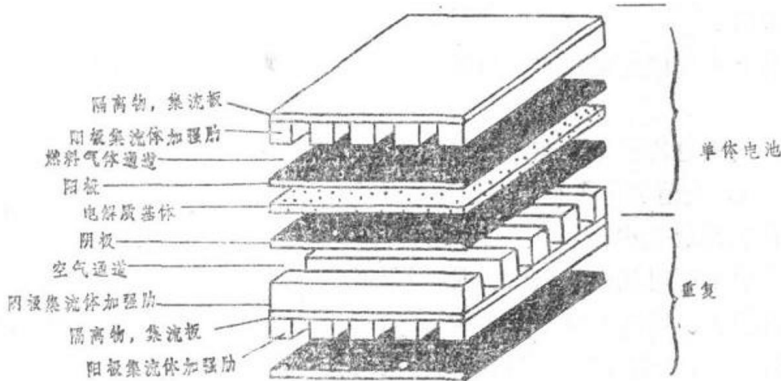


图43.3 基本的磷酸电解质燃料电池

3, 阳极 它包括多孔石墨基片，基片邻近电解质的侧面要经铂或铂合金催化剂处理。实用型阳极每平方厘米的面积上仅含有零点几毫克的贵金属（目前典型的工艺为0.25mg/cm²）。聚四氟乙烯通常被用来作为催化剂的粘合剂。

4, 电解质基体 它用来吸收浓磷酸。按目前工艺，这种基体是由碳化硅粉和聚四氟乙烯粘合剂所构成，厚度一般为0.01~0.03cm。电解质基体应有最小的离子电阻，同时又应具有隔离燃料和氧化性气流的功能。为在实用型电站中实现这种分离，这种基体应具有微孔或毛细管，它们非常之小，当注入电液后可保证在 6×10^5 Pa或更高的压力差下无气体“吹透”现象出现。

5. 阴极 它与阳极类似,但使用的是经改进的贵金属催化剂,并增大了催化剂的用量(通常为 $0.5\text{mg}/\text{cm}^2$),以增强氧还原的能力。阴极也是疏水的。通过增加聚四氟乙烯的含量以防止电极被淹没,从而保证充足的氧扩散到活化区。

6. 阴极集流体加强肋 实际上它与阳极肋相同。唯一的差别是肋的高度和宽度不同。用它来控制气体通道中的物质传输特性及组件中的接触电阻。在电池堆中,阴极肋与阳极肋相互垂直,从而使外部导管的安装简化。

这些单体串联叠积起来(图43.3)以生产所希望的输出功率和电压。例如,纽约正在安装的 $4,500\text{kW}$ 电站是由20个电池堆组成,每个电池堆约含有500个单体电池,每个单体电池的表面积约为 3400cm^2 。燃料和空气的供应及排放管分别被连接到电池堆的各自一侧。单体电池的密封和管道的密封对电池的正常工 作极为重要。单体电池的密封件安置在隔离板和电解质基体之间,及阻止燃料和空气泄漏。管道密封件安置在电池堆的侧面和管道中间。电池的密封通常由“湿封”来实现,即被磷酸润湿的部件的表面张力足以起到密封作用。管道的密封是利用聚四氟乙烯填塞来实现。

为避免高压操作期间密封发生故障,电池堆应安置在压力容器内。将压力容器加压到工作压力,从而使密封件两侧的压力差减至最小。

43.3.2 工作特性

图43.4给出了磷酸燃料电池(PAFC)试验初期的典型性能。PAFC的主要工作特性包括:

PAFC的基本性能几乎完全是由阴极所确定。即与阴极活化损失相比,浓差极化,阳极活化极化及欧姆极化都显得很小。例如,在非常低的电流密度下,阴极(活化极化)就几乎损失了 300mV 。

阴极电流密度(在固定电位下)与氧分压成正比。增大系统压力对电池性能有显著的影响。

已经证明,阴极电流密度(在固定电位和压力下)基本上是与催化剂的装载量成正比(如装载 $1\text{mg}/\text{cm}^2$ 或稍少些)[7]。超过这个装载量时,进一步增加催化剂的用量,使电流密度增加的效果将减少。

实用PAFC电站所用氢能利用各种各样的初级燃料获得——如甲烷(天然气)、石油产品(如粗汽油)、煤液(如甲醇)和煤气。利用这种转化过程应能得到含有 CO_2 和 CO 的富氢气体。 CO_2 是惰性的,它起着稀释剂的作用;但 CO 是燃料电池潜在的毒化剂。图43.4所描述的那种低的阳极过电位,只有在相对低的 CO 浓度下才能出现[8,9]。当阳极性能如图43.4所示时, CO 的浓度和温度所应处的范围如图43.5所示。

对实用型电站来说,增加温度对性能的影响很小,除非如上所述 CO 超过了容许极限。在给定压力下,磷酸的浓度随温度上升而上升,这样由温度对(反应)动力学的影响方面所得到的好处就被由磷酸浓缩所引起的(反应)活性下降的趋势所抵消。但对实用型电站来说,如果燃料电池电站的余热被用来增加燃料处理器的蒸汽,则就不可能把压力与温度的相互影响分开。燃料电池的温度必须要提高到使所生成的蒸汽压力足以使蒸汽喷入燃料处理器内,燃料处理器的压力比燃料电池的压力高些。这样在高压下就形成了某些固定的压力——温度的组合,即在 190°C 下为 $3 \times 10^5\text{Pa}$, 210°C 下为 $6 \times 10^5\text{Pa}$,在 220°C 下为 $8 \times 10^5\text{Pa}$ 。这些组合既允许有足够的温度去克服热量损失和热交换器窄点(饱和蒸汽与

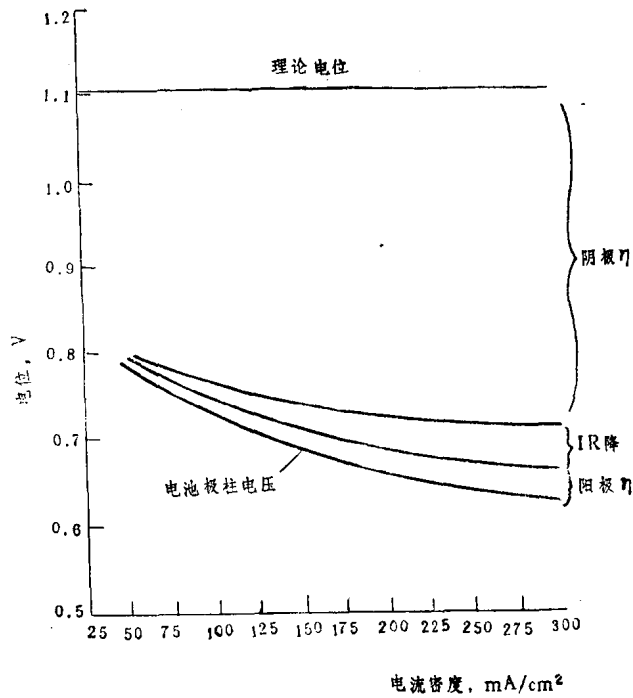


图43.4 磷酸电解质燃料电池的典型性能
 (空气、 H_2 、燃料的温度为 $190^\circ C$ ，压力为 $3 \times 10^5 Pa$ ；
 铂催化剂用量为 $0.75 mg/cm^2$)

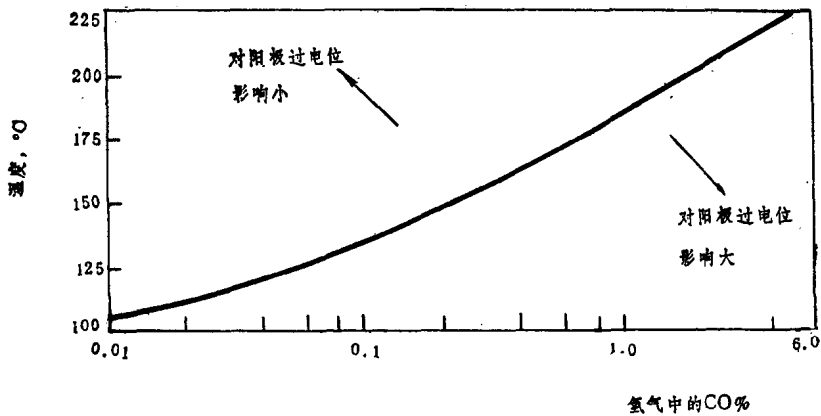


图43.5 温度和—氧化碳与阳极过电位的关系曲线

冷却剂的最小温差点)又能保证所生成的蒸汽可达到所需要的压力。

据此可知，提高PAFC的性能应从以下几个主要方面入手：

开发新催化剂以提高阴极动力学的影响；最新成果[10—12]表明， $pt-V$ 金属间化合物催化剂可使阴极性能显著提高(图43.6)。

在 $0.7V(d.c)$ 电位下，电流密度大约可增加一倍。

通过增加系统的总压来增加氧的分压；在固定阴极电位下，电流密度近似地与氧的分压成正比，即近似地与系统的总压成正比(如果水的分压可忽略不计)。但根据上面所描述的压力——温度的匹配关系，这将需要增加电池的温度。

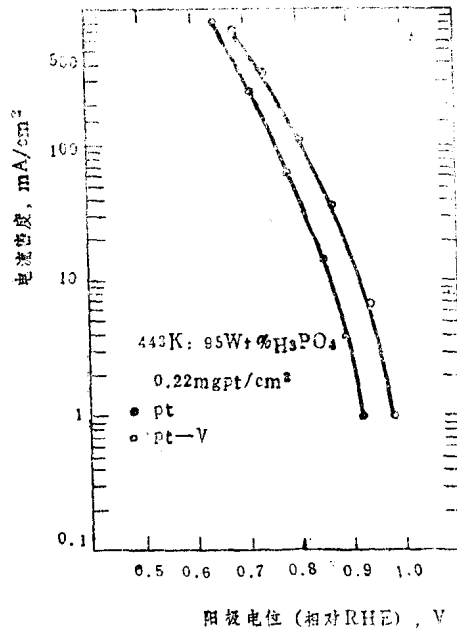


图43.6 Pt-V金属间化合物催化剂及Pt催化剂的特性 [12]

图43.7给出了在几种压力——温度条件下分别使用常规或改进后催化剂的初始PAFC预期的电池性能曲线。

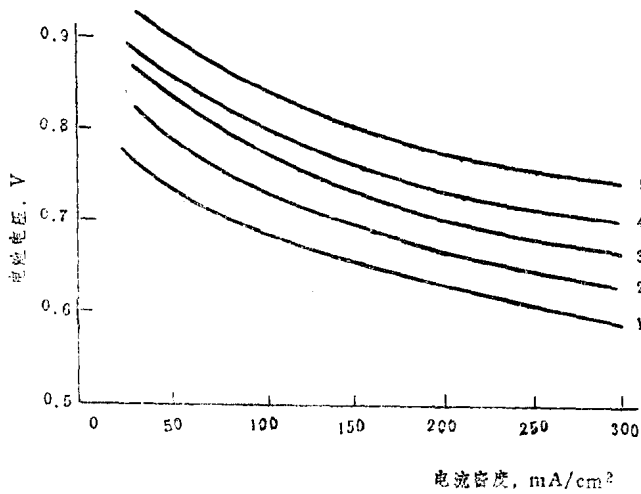


图43.7 压力及改进的阴极催化剂对磷酸燃料电池性能(实验初期)的影响

- 1, 常压—190°C, 碳载体上的Pt含量0.5mg/cm²;
- 2, 3 × 10⁵Pa—190°C, 碳载体上的Pt含量0.5mg/cm²;
- 3, 6 × 10⁵Pa—210°C, 碳载体上的Pt含量0.5mg/cm²;
- 4, 8 × 10⁵Pa—220°C, 碳载体上的Pt含量0.5mg/cm²;
- 5, 8 × 10⁵Pa—220°C, 碳载体上Pt-V金属间化合物含量0.5mg/cm²。

43.3.3 持久性

图43.8给出了在恒定电流密度条件下典型的PAFC的性能衰退速率与工作时间的关系。这种曲线的主要特征是在开始工作的一千小时内，电压的衰退与时间的对数呈直线关系。衰退的原因是由于随着工作时间的延长，铂催化剂表面减小，因此固有的反应活性下降所致。主要有以下三种机理：

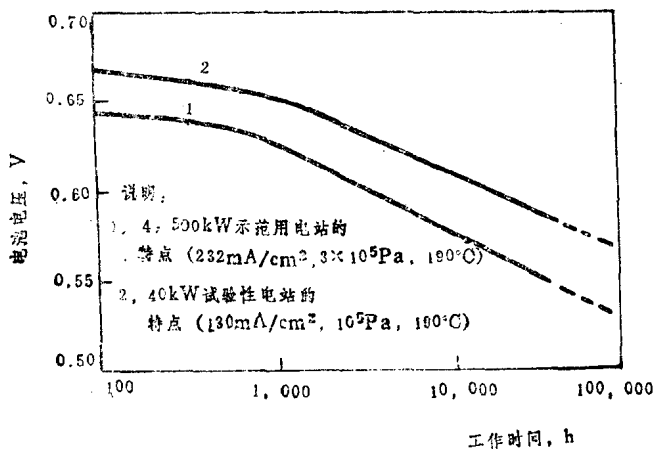


图43.8 磷酸燃料电池典型的性能衰退曲线（曲线1摘自文献[13]，曲线2摘自文献[13.a]）

1. 燃料电池阴极上的碳基体缓慢氧化，结果引起表面积减小及铂形成小碎片剥落下来。

2. 铂晶体迁移到碳表面上，并逐渐聚集成（表面积较小的）大颗粒晶体。

3. 铂氧化物在酸中缓慢溶解，经过溶解——沉淀过程，铂晶体逐渐长大。

这三种机理的最后结果是阴极表面催化剂面积减小，并与时间的对数呈直线关系。这些正在被认识的机理就是控制衰退速率的参数[14—15]。阴极电位、温度、酸浓度（水含量）和氧分压都是重要的参数。但是更重要的是碳（石墨）的表面特性和铂合金的组成。与铂的迁移和溶解一样，碳的氧化也可通过精心的材料筛选而明显的减弱。这样图43.8所表示的那种衰退速率将随着工作参数的变化及微妙的材料变化而减弱。重要的是寿命特性可以被模拟，并可根据相对短期的电池数据将寿命数据推测出来，实际上现在有充份的数据证明如图43.8所表示的这种预测是那些性能较好的单体电池和电池堆的工作特性的反映。

还存在着引起电池性能损坏及失效的其它潜在的衰退和失效方式。与图43.8所示的有差异其他机理包括：

由于电解质不足而引起电阻增大和/或气体透过。

由于缺乏疏水性（聚四氟乙烯）使阴极反应面积减小，从而引起阴极浓差极化。

由于阴极和阳极的毒化，催化剂失去活性。

由于接触压力减小而引起电阻增大。

外部气体泄漏。

尽管所有这些问题都会发生，但通过精心设计和制造这些问题还是可以避免的，它们不是PAFC技术所固有的问题。

图43.9表示出已工作了12,000多个小时的电池堆(由24支单体所组成)的性能。这个电池堆证明,人们完全有能力达到或超过图43.8所描述的那种持久性特性。

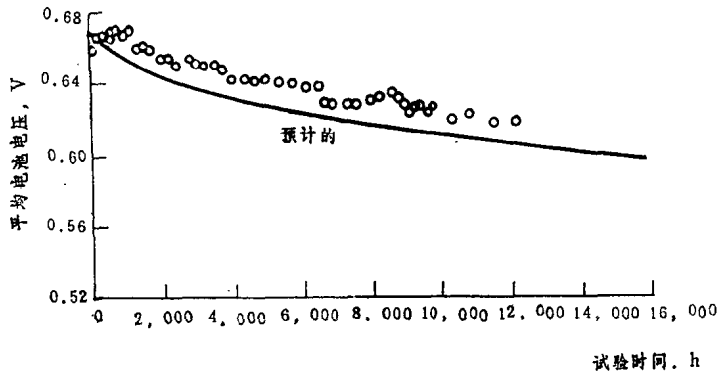


图43.9 由24支单体组成的电池堆的持久性曲线
(试验条件: $130\text{mA}/\text{cm}^2$, 190°C , 压力为 10^5Pa)

43.3.4 磷酸(燃料电池)电站

一般描述 由联合技术公司所研制的第一代商品磷酸燃料电池电站的性能指标如表43.2所示。显然40kW就地式电站与10,000kW分散式电站相类似。这两个系统最显著的差别(尺寸差别除外)是工作压力—温度和电流密度不同。40kW装置在常压、 $190\sim 200^\circ\text{C}$ 和 $100\sim 200\text{mA}/\text{cm}^2$ 电流密度下工作,10,000kW装置在 $6.5\sim 8\times 10^5\text{Pa}$ 、 200°C 及 $200\sim 300\text{mA}/\text{cm}^2$ 电流密度条件下工作。加压电站的系统如图43.10所示。下面所描述的是由联合技术公司所研制的这种特殊系统。

表43.2 第一代燃料电池计划目标

特 性	就地式	分散式
标准型式常量	~40kW	~10,000kW
电池堆工作温度/压力	190°C , $1\times 10^5\text{Pa}$	210°C , $6\times 10^5\text{Pa}$
电效率(基于HHV)	39%	41%
总效率(包括余热利用)	85%	85%
燃料适应能力	所有可能管道化供应的燃料	管道化天然气, Peak shaving gas, 合成煤气, 从煤或石油中的馏出物、甲醇
设计寿命	20年	20年
噪 音	在30m内 $<60\text{ dbA}$	在30m内 $<55\text{ dbA}$
工作特性	自动	自动
水的需要量	无	无
输出特性	3ϕ , $120/208\text{V ac}$	3ϕ , $4\sim 69\text{kV ac}$
占地面积	5m^2	~ 1000m^2
可利用的热量		
在 80°F 时	$3.75\times 10^6\text{J}/\text{kWh}$	$3.3\times 10^6\text{J}/\text{kWh}$
在 150°F 时		$0.4\times 10^6\text{J}/\text{kWh}$

• 原文为 $3.75\times 10^6\text{J}/\text{kWh}$ 有 10^6 有误,译者注

进入电站的燃料用泵增压到系统压力，汽化并与富氢再循环气流相混合。混合气体通

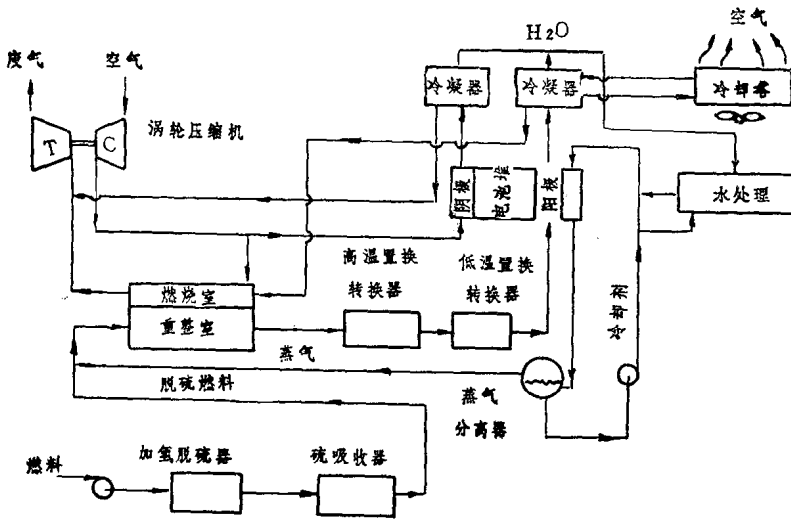


图43.10 简化的分散式电站的示意图

过加氢脱硫器（使燃料中的硫化物转化成硫化氢， H_2S ）。接着硫化氢被氧化锌床所吸收除去。脱硫后的燃料与蒸气一同进入重整室。在这里混合物被催化转化成富氢气体。所生成气体的 H_2 含量通过两级置换转换（ $H_2O + CO \rightarrow CO_2 + H_2$ ）进一步增大。接着气体被冷却，并进入电力发生器（电池堆）。在这里将空气流与来自处理气中的氢和氧经电化化学化合生成直流电和副产品水。空气和燃料均是经加压后进入燃料电池。用过的燃料气流离开电力发生器，并通过再生水冷凝器，然后进入重整燃烧室，在这里它被燃烧并为重整蒸气反应提供热能。从电力发生器排出的气体中含有副产品水，它被冷凝器所再生，增压的干燥空气与热的高压重整燃烧室排出的气体相混合，这种混合气流接着在膨胀情况下通过动力再生涡轮机，然后，涡轮机再驱动空气压缩机。

冷凝器中再生的水被再循环到热控制次级系统。它的主要作用是利用通过电池堆的循环水（蒸气）来控制电力发生器的温度。在生成电力过程中所生成的余热被部份循环水的蒸发所消除。蒸气被分出于重整室，剩余的水被收集起来经过净化，再次循环通过电池。

。燃料电池生成的直流电利用自动换向逆变器和常规变压器被转换成符合公用要求的交流电。

40 kW 就地式电站的系统原理与此类似，主要的差别是它在常压下工作，且不需要涡轮压缩机。

就地式电站 就地式系统的40 kW 原型机如图43.11所示。这是过去制造和试验后的改进型设计，用作40 kW 燃料电池的中间电站，预计这个中间电站工作会超过18,000h。一个电力发生器的工作时间应超过8,000h，连续运行应超过3,000h。

次级系统的样机设计和工程研究已经完成，全面性能验证工作已开始。协同工作正由能源部、煤气研究所、联合技术公司共同完成，并且若干电力事业将安装50台40 kW 原型机用作现场评价。这种可行性计划的主要目的是建立起使用者、制造者和资助者都可接受和赞同的就地式燃料电池系统。

平行的研究计划是由Westinghouse和Engelhard创始。前者的宗旨是发展富有商业化生命力的就地集成式能量系统(OS/IES)。工作的重点是放在PAFC电池及PAFC电池堆的研究、验证、组件设计及系统概念化上。设计思想(图43.12)集中在额定容量为120 kW系统上(尽管100和1000 kW系统也作过考虑)。它与联合技术公司所使用的系统不同之处是热量排放的方法不同。联合技术公司系统(典型的如图43.10所示)的热量是利用水和

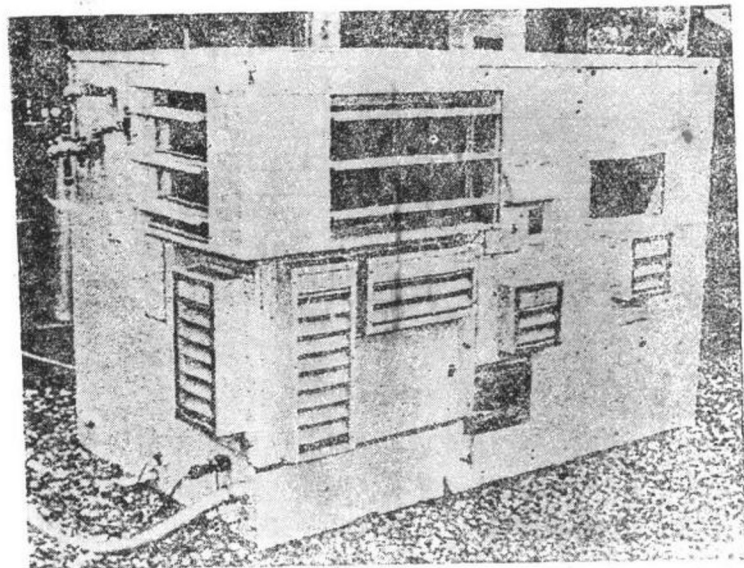


图43.11 40kW就地式燃料电池系统

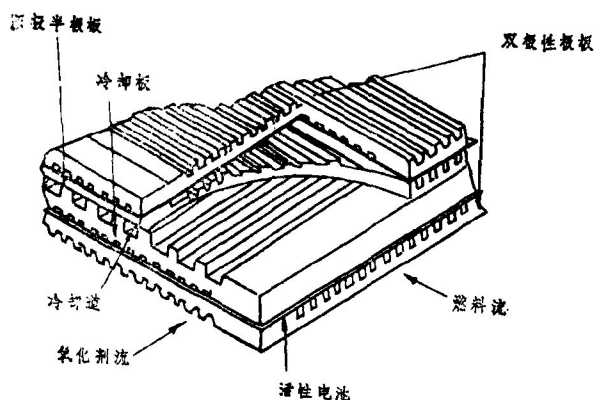


图43.12 DIGAS 电池堆设计思想

蒸气两相冷却液循环通过电池堆所排出。电池堆的冷却液管道安放在由4—6个单体电池组成的单元之间。西屋公司的Energy Research Corp则利用一个已取得专利的分配气体(DIGAS)冷却原理。该原理允许部份反应的空气流通过冷却板——同样它也被安置在电池单元之间。燃料处理次级系统整体所需的蒸气应在电池堆外部生成。DIGAS设计思想使电池堆的设计更为简单、可靠。但由于外部蒸气发生器的热收缩效应,在给定的系统压力下,将会使燃料电池堆的工作温度稍有提高。1980年Westinghouse中止了这种研究

计划。为的是集中力量研究更大的电力公用事业使用的分配式电站。Engelhard工作是集中在工业或运输业用小型电站（5~12kW）上，尽管这种电站也可作为就地式电站使用。这些工作也是集中在电池和电池堆的研究上。

分散式电站 正在进行的分散式电站计划包括：

利用安装在纽约城的样机论证4,500 kW（ac）燃料电池的安装适应性和工作特性。

利用安装在日本东京的样机论证4,500 kW燃料电池的上述特性。

完成一台约10,000 kW商用样机的设计，并预计在二十世纪八十年代中期进行实用鉴定。

4,800 kW dc(4,500 kW ac)系统的模型(燃料处理器和电力发生器)如图43.13所示。目前正在纽约城商业区安装的这个电站如图43.14所示。这个论证的目的与前面所讨论的40 kW系统的现场试验相类似，主要是论证这种电站的安装适应性和工作特性。

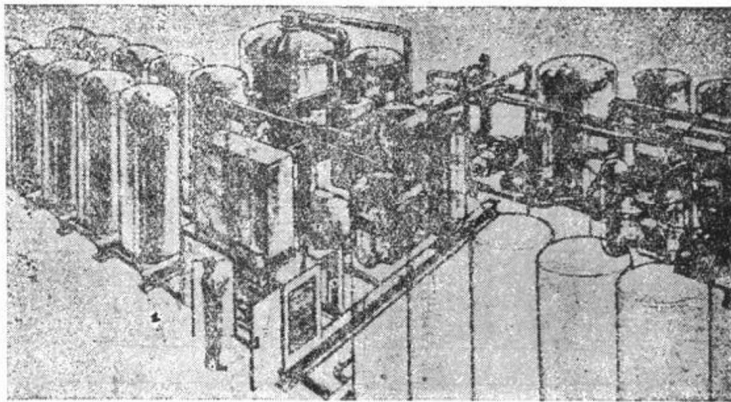


图43.13 4,800kW (dc)模型的示意图



图43.14 4,500kW电站平面布置 (New York, N.Y.)

平行研究计划也正在进行的，预计在1983年完成商用电站样机（表43.2）的设计、研制

及组件的鉴定。这种标称容量为10,000 kW的商用样机将包括4,500 kW设计的改进,这些改进包括:

延长燃料电池堆的寿命到40,000h,而不是作示范用的4,500 kW样机的<5,000 h的寿命。

改进后的效率应达到41%,而不是作示范用的4,500 kW样机的37%
高压下工作,这样生产能力和功率可提高一倍。

这些研究使得商用原型电站的计划任务书期望将接着开展500,000 kW原型电站作为可行性商用计划的一部分,并预计可在1985~1990年间用于商业性服务。可装备30,000 kW电站的一种可能的三单元结构如图43.15所示。

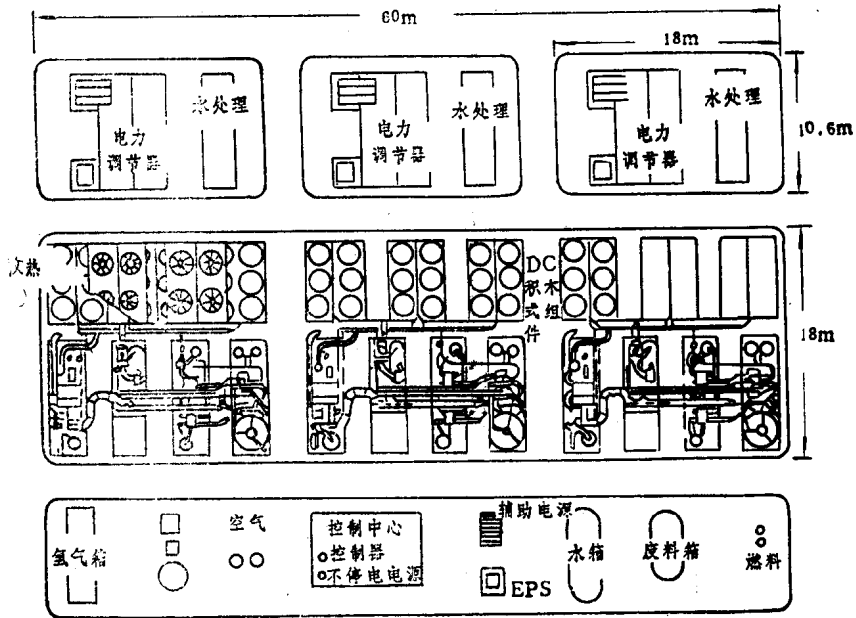


图43.15 30,000kW电站——三动力单元电站的平面布置图

1979年西屋公司宣布对分散式PAFC电站计划感兴趣,并愿为此承担义务。基于他们的气冷式DIGAS电池堆(图43.12和43.16),他们现在已有建造7,500 kW电站的设想,并已着手综合规划,预定在1987年建成7,500 kW的实验电站并进行试验。这种电站将利用他们发展OS/IES电站所采用的PAFC技术。

中心电站 磷酸燃料电池也正在被考虑用于中心电站。这些电站将利用综合煤的气化器供应富氢气体,并提供基本的负荷功率。基于1977年的PAFC技术水平,预计这种电站煤的转化(至ac功率)总效率为34% [16]。利用目前的PAFC技术预计总效率可达40%,这样,这种电站可成为一种供选择的合理方案。

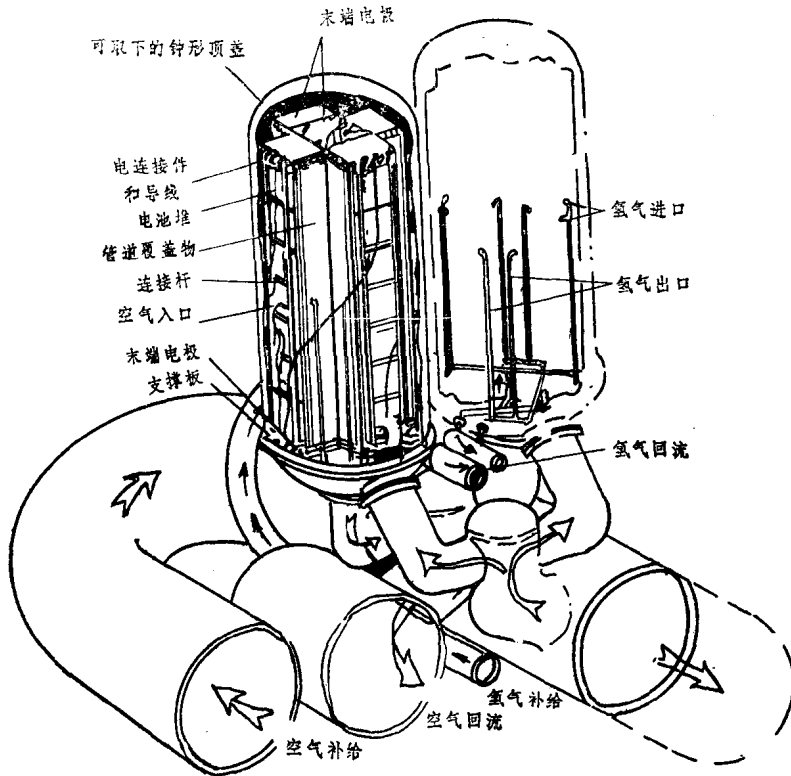


图43.16 DIGAS 燃料电池模型

43.4 熔融碳酸盐燃料电池

对于熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC) 技术的兴趣在于它的效率高、良好的环境特性、潜在的竞争价格和它的积木化结构。与PAFC相比, MCFC研究工作目前主要集中在与煤的气化器整体化的兆瓦级 (约600,000 kw) 中心电站上。主要原因部分是由于它的温度高, 部分是由于MCFC电池启动 (加热) 和停机 (冷却) 时的本质问题。

43.4.1 电池结构

MCFC的几何结构与图43.3所示的PAFC非常类似。但所使用的材料与PAFC很不相同。以图43.3的说明为参考, MCFC的组成包括:

1. 隔离—集流板 在多元电池堆中它将燃料气体与来自邻近电池的空气隔开, 并提供电池间的电连接。与PAFC类似, 它也必须是不能渗透氢和氧的良好电子导体, 在有650℃碳酸盐存在时的燃料和空气环境下保持稳定。已经证明, 没有任何一种单组份材料能完全满足这个要求。那些在燃料环境下令人满意的材料在氧化性环境下又不合乎要求, 反之亦然。

2. 阳极集流器 它将电子从阳极板传向隔离板。电流集流器还必须为燃料气流提供通道。在某些结构中, 这些功能是由肋条或皱褶式隔板来完成。在另一些结构中 (如象PAFC章节中所叙述的那样), 电流集流器的肋条被加工成多孔电极。这种集流体必须有良好的电子导电性, 并在燃料环境下保持稳定。镍是一种令人满意的材料, 不过铜经过还原烧结后也很有希望。

3. 阳极 它是经由难熔氧化物还原烧结处理的多孔镍所构成。在650℃高温下,

不需要使用其它催化剂。

4. 电解质系统 它是由碳酸锂、碳酸钾及惰性粉末（目前使用的是铝酸锂）的混合物所构成。熔融时这种混合物形成糊状物，冷却时凝固成“陶瓷”。电解质是MCFC研究的主要困难。它必须有最小的离子电阻，并在压力差大于 $0.07 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的情况下能将燃料气体和氧化剂气体隔开。此外，它必须是电子绝缘体。MCFC一个由来已久的历史性问题是电解质冷却到碳酸盐冰点以下时的张力所引起的破裂的倾向。如果这些破裂在后来的熔融过程中得不到“恢复”，就会引起燃料与氧化剂气体混合，从而导致(电池)过早失效。

5. 阴极 除了使用的是氧化镍（添加锂以增加电子导电性）以外，其余均与阳极相类似，因为疏水剂（如在PAFC中的聚四氟乙烯）在 650°C 下不稳定，所以阴极的淹没是通过精心地控制阳极、电解质系统和阴极的孔（毛细管）的大小来防止。为防止阴极淹没，阴极孔的尺寸就必须要比其它两部份要大些（当然电解质系统的孔必须最小，以保持熔融的碳酸盐）。因为氧化镍在高压下长期工作时不稳定，但为获得良好的性能又必须在高温下工作，所以需要选择其它的阴极材料。

6. 阴极集流器 它的要求和结构与阳极集流器类似。因为镍是热力学不稳定的，所以可供选择的材料包括掺杂锂的氧化镍和耐腐蚀的不锈钢。

和PAFC一样，是按输出功率和电压的要求将单体电池串联组成所需要的电池堆。单体电池和进气管间的密封是利用“湿封”和填充惰性填料的方法来实现（方法与PAFC类似，但所使用的材料有变化）。在高压下工作时，应将电池堆装入压力容器内，以使电池和电池堆密封件两侧的压力差减至最小。

43.4.2 工作特性

图43.17给出了典型的PAFC实验初期的性能。MCFC的性能往往比PAFC要好些这主要是由于空气阴极的行为得到改善。所需考虑的性能应包括：

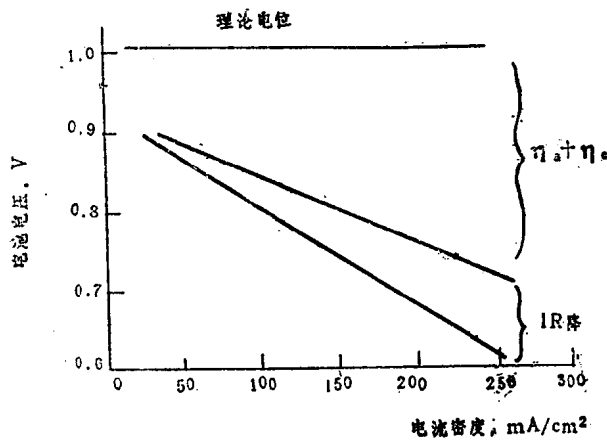


图43.17 典型的熔融碳酸盐燃料电池性能曲线
 650°C , $1 \times 10^5 \text{ Pa}$, 空气及重整燃料

在实际MCFC中的性能损失可分为各种极化,其中 $\eta_{a,a}$ 和 $\eta_{a,c}$ (阴极)引起的损失最大。

因为电解质和接触电阻所引起的IR降十分严重,所以应特别注意研制薄结构($<0.05 \text{ cm}$)电解质系统,并应注意保持良好的压力接触。在 100 mA/cm^2 条件下单体电池的总IR