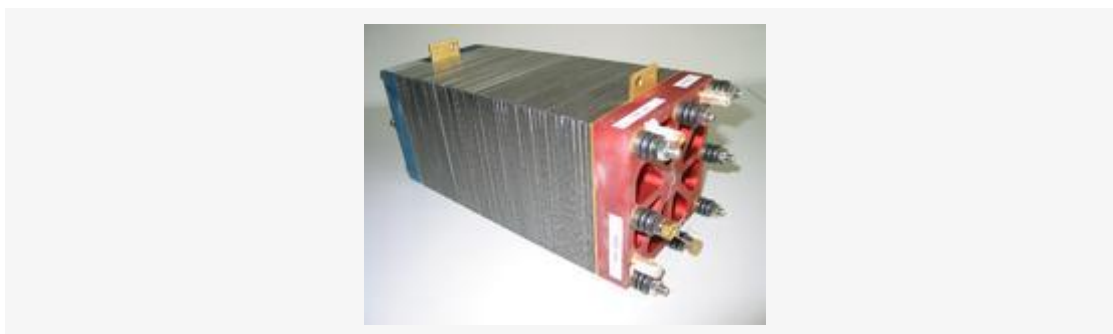


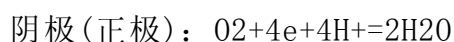
## PEMFC 工作原理

---



PEMFC 即 [质子交换膜燃料电池](#) (proton exchange membrane fuel cell) 的英文缩写。PEMFC 发电在原理上相当于水电解的“逆”装置。其单电池由阳极、阴极和质子交换膜组成，阳极为氢燃料发生氧化的场所，阴极为氧化剂还原的场所，两极都含有加速电极电化学反应的催化剂，质子交换膜作为电解质。工作时相当于一直流电源，其阳极即电源负极，阴极为电源正极。

两电极的反应分别为：



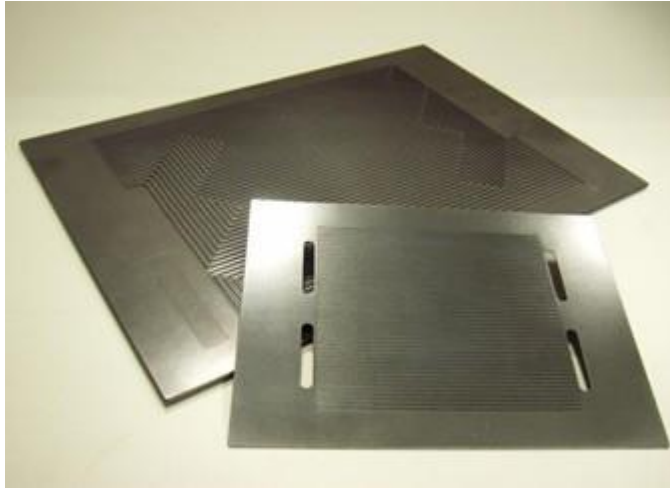
注意所有的电子 e 都省略了负号上标。由于质子交换膜只能传导质子，因此氢质子可直接穿过质子交换膜到达阴极，而电子只能通过外电路才能到达阴极。当电子通过外电路流向阴极时就产生了直流电。以阳极为参考时，阴极电位为 1.23V。也即每一 PEMFC 单电池的发电电压理论上限为 1.23V。接有负载时输出电压取决于输出电流密度，通常在 0.5~1V 之间。将多个 PEMFC 单电池层叠组合就能构成输出电压满足实际负载需要的 PEMFC 电堆。

### [编辑本段](#) PEMFC 构成

PEMFC 电堆由多个 PEMFC 单体电池以串联方式层叠组合而成。将双极板与膜电极三合一组件 (MEA) 交替叠合，各单体之间嵌入密封件，经前、后端板压紧后用螺杆紧固拴牢，即构成 PEMFC 电堆，如附图所示。叠合压紧时应确保气体主通道对正以便 H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 能顺利通达每一单电池。电堆工作时，H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 分别由进口引入，经电堆气体主通道分配至各单电池的双极板，经双极板导流均匀分配至电极，通过电极支撑体与催化剂接触进行电化学反应。

PEMFC 电堆的核心是 MEA 组件和双极板。MEA 是将两张喷涂有 Nafion 溶液及 Pt 催化剂的碳纤维纸电极分别置于经预处理的质子交换膜两侧，使催化剂靠近质子交换膜，在一定温度和压力下模压制成。双极板常用石墨

板材料制作，具有高密度、高强度，无穿孔性漏气，在高压强下无变形，导电、导热性能优良，与电极相容性好等特点。常用石墨双极板厚度约 2~3.7mm，经铣床加工成具有一定形状的导流流体槽及流体通道，其流道设计和加工工艺与电池性能密切相关。



双极板



测试系统

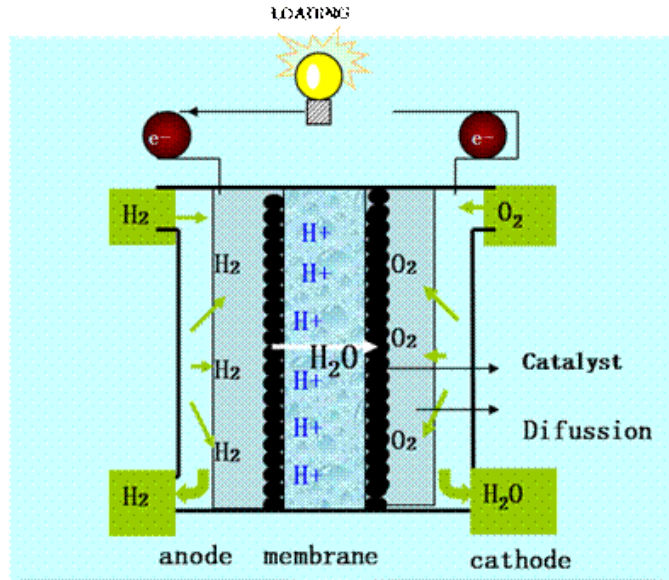


### [编辑本段](#) PEMFC 的优点

PEMFC 具有如下优点：其发电过程不涉及氢氧燃烧，因而不受卡诺循环的限制，能量转换率高；发电时不产生污染，发电单元模块化，可靠性高，组装和维修都很方便，工作时也没有噪音。所以，PEMFC 电源是一种清洁、高效的绿色环保电源。

### [编辑本段](#) PEMFC 运行原理

通常，PEMFC 的运行需要一系列辅助设备与之共同构成发电系统。PEMFC 发电系统由电堆、氢氧供应系统、水热管理系统、电能变换系统和控制系统等构成。电堆是 PEMFC 发电系统的核心，PEMFC 发电系统运行时，反应气体 H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 分别通过调压阀、加湿器(加湿、升温)后进入电堆，发生反应产生直流电，经稳压、变换后供给负载。电堆工作时，H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 反应产生的水由阴极过量的氧气(空气)流带出。未反应的(过量的)H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 流出电堆后，经汽水分离器除水，可经过循环泵重新进入电堆循环使用，在开放空间也可以直接排放到空气中。



### [编辑本段](#) PEMFC 的水、热管理问题

水、热管理是 PEMFC 发电系统的重要环节之一。电堆运行时，质子交换膜需要保持一定的湿度，反应生成的水需要排除。不同形态的水的迁移、传输、生成、凝结对电堆的稳定运行都有很大影响，这就产生了 PEMFC 发电系统的水、热管理问题。通常情况下，电堆均需使用复杂的纯水增湿辅助系统用于增湿质子交换膜，以免电极“干死”（质子交换膜传导质子能力下降，甚至损坏）；同时又必须及时将生成的水排出，以防电极“淹死”。由于 PEMFC 的运行温度一般在 80℃ 左右，此时 PEMFC 的运行效能最好，因此反应气体进入电堆前需要预加热，这一过程通常与气体的加湿过程同时进行；电堆发电时产生的热量将使电堆温度升高，必须采取适当的冷却措施，以保持 PEMFC 电堆工作温度稳定。这些通常用热交换器与纯水增湿装置进行调节，并用计算机进行协调控制。

为了确保 PEMFC 电堆的正常工作，通常将电堆、H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 处理系统、水热管理系统及相应的控制系统进行机电一体化集成，构成 PEMFC 发电机。根据不同负载和环境条件，配置 H<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 存储系统、余热处理系统和电力变换系统，并进行机电一体化集成就可构成 PEMFC 发电站。

### [编辑本段](#) PEMFC 的存储装置

通常，PEMFC 发电站由 PEMFC 发电机和氢气生产与储存装置、空气供应保障系统、氢气安全监控与排放装置、冷却水罐和余热处理系统、电气系统及电站自动控制系统构成。（现在 2010 年，电堆基本没有冷却水灌和余热处理系统装置了。）

氢气存储装置为发电机提供氢气，其储量按负荷所需发电量确定。氢气存储方式有气态储氢、液态储氢和固态储氢，相应的储氢材料也有多种，

主要按电站所处环境条件及技术经济指标来决定。氢气存储是建设 PEMFC 发电站的关键问题之一，储氢方式、储氢材料选择关系整个电站的安全性和经济性。空气供应保障系统对地面开放空间的 PEMFC 应用(如 PEMFC 电动车)不成问题，但对地下工程或封闭空间的应用来说却是一个十分重要的问题，如何设置进气通道必须进行严格的论证。氢气安全监控与排放装置是氢能发电站的一个特有问题，由于氢气是最轻的易燃易爆气体，氢气储存装置、输送管道、阀门管件、PEMFC 电堆以及电堆运行的定时排空都可能引起氢气泄漏，为防止电站空间集聚氢气的浓度超过爆炸极限，必须实时检测、报警并进行排放消除处理。氢气安全监控与排放消除装置由氢气敏感传感器、监控报警器及排放风机、管道和消氢器等组成，传感器必须安装在电站空间的最高处。冷却水箱或余热处理系统是吸收或处理 PEMFC 发电机运行产生的热量，保障电站环境不超温。将 PEMFC 发电站的余热进行再利用，如用于工程除湿、空调、采暖或洗消等，实现电热联产联供，可大大提高燃料利用效率，具有极好的发展与应用前景。电气系统根据工程整体供电方式和结构对 PEMFC 发电机发出电力进行处理后与电网并联运行或/和直接向负载供电，涉及潮流、开关设备、表盘和继电保护等。采用 PEMFC 发电站可以实现工程应急电网的多电源分布式供电方式，因此其电气及变配电系统是一个值得深入研究的问题。电站自动化系统是为保障 PEMFC 发电站正常工作、可靠运行而设置的基于计算机参数检测与协调控制的自动装置，一般应采用分布式控制系统(DCS)或现场总线控制系统(FCS)。主要设备包括现场智能仪表或传感器、变送器，通讯总线和控制器，并提供向工程控制中心联网通讯的接口。主要功能包括参数检测、显示、报警，历史数据存储，故障诊断，事故追忆，操作指导，控制保护输出和数据信息管理，是 PEMFC 电站信息化、智能化的核心。

### [编辑本段](#) PEMFC 应用领域

PEMFC 发电作为新一代发电技术，其广阔的应用前景可与计算机技术相媲美。经过多年的基础研究与应用开发，PEMFC 用作汽车动力的研究已取得实质性进展，微型 PEMFC 便携电源和小型 PEMFC 移动电源已达到产品化程度，中、大功率 PEMFC 发电系统的研究也取得了一定成果。由于 PEMFC 发电系统有望成为移动装备电源和重要建筑物备用电源的主要发展方向，因此有许多问题需要进行深入的研究。就备用氢能发电系统而言，除 PEMFC 单电池、电堆质量、效率和可靠性等基础研究外，其应用研究主要包括适应各种环境需要的发电机集成制造技术，PEMFC 发电机电气输出补偿与电力变换技术，PEMFC 发电机并联运行与控制技术，备用氢能发电站制氢与储氢技术，适应环境要求的空气(氧气)供应技术，氢气安全监控与排放技术，氢能发电站基础自动化设备与控制系统开发，建筑物采用 PEMFC 氢能发电电热联产联供系统，以及 PEMFC 氢能发电站建设技术等等。采用 PEMFC 氢能发电将大大提高重要装备及建筑电气系统的供电可靠性，使重要建筑物以市电和备用集中柴油电站供电的方式向市电与中、小型 PEMFC 发电装

置、太阳能发电、风力发电等分散电源联网备用供电的灵活发供电系统转变，极大地提高建筑物的智能化程度、节能水平和环保效益。

DMFC

## 定义

直接甲醇燃料电池 (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) 属于质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 中之一类，直接使用甲醇水溶液或蒸汽甲醇为燃料供给来源，而不需通过甲醇、汽油及天然气的重整制氢以供发电。相较于[质子交换膜燃料电池](#) (PEMFC)，直接甲醇燃料电池 (DMFC) 具备低温快速启动、燃料洁净环保以及电池结构简单等特性。这使得直接甲醇燃料电池 (DMFC) 可能成为未来便携式电子产品应用的主流。

### [编辑本段](#)原理



直接甲醇燃料电池是质子交换膜燃料电池的一种变种，它直接使用甲醇而无需预先重整。甲醇在阳极转换成二氧化碳，质子和电子，如同标准的质子交换膜燃料电池一样，质子透过质子交换膜在阴极与氧反应，电子通过外电路到达阴极，并做功。

碱性条件

总反应式： $2\text{CH}_4\text{O} + 3\text{O}_2 + 4\text{OH}^- = 2\text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$

正极： $3\text{O}_2 + 12\text{e}^- + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 12\text{OH}^-$

负极： $2\text{CH}_4\text{O} - 12\text{e}^- + 16\text{OH}^- \rightarrow 2\text{CO}_3^{2-} + 12\text{H}_2\text{O}$

酸性条件

总反应同上

正极： $3O_2 + 12e^- + 12H^+ \rightarrow 6H_2O$

负极： $2CH_4O - 12e^- + 2H_2O \rightarrow 12H^+ + 2CO_2$

这种电池的期望工作温度为 120℃ 以下，比标准的质子交换膜燃料电池略高，其效率大约是 40% 左右。

直接甲醇燃料电池是质子交换膜燃料电池的一种变种，它直接使用甲醇而无需预先重整。甲醇在阳极转换成二氧化碳和氢，如同标准的质子交换膜燃料电池一样，氢然后再与氧反应。

### [编辑本段](#) 优势

体积小巧 燃料使用便利 洁净环保 理论能量比高

### [编辑本段](#) 缺陷

能量转化率低 性能衰减快 成本高

### [编辑本段](#) 技术困难

#### 1. 催化剂

采用贵金属纳米催化剂，成本高。活性及稳定性达不到理想要求

#### 2. 质子交换膜

杜邦公司 Nafion 膜甲醇透过很严重，造成燃料浪费，阴极混合电位，性能下降

#### 3. 电池集成

针对 DMFC 的集成技术还不完善

这种电池的期望工作温度为 120℃，比标准的质子交换膜燃料电池略高，其效率大约是 40% 左右。其缺点是当甲醇低温转换为氢和二氧化碳时，要比常规的质子交换膜燃料电池需要更多的白金催化剂。不过，这种增加的成本可以因方便地使用液体燃料和无需进行重整便能工作而相形见绌。直接甲醇燃料电池使用的技术仍处于其发展的早期，但已成功地显示出可以用作移动电话和膝上型电脑的电源，将来还具有为指定的终端用户使用的潜力。

## SOFC

固体氧化物燃料电池(Solid Oxide Fuel Cell，简称 SOFC)属于第三代燃料电池，是一种在中高温下直接将储存在燃料和氧化剂中的化学能高效、环境友好地转化成电能的全固态化学发电装置。被普遍认为是在未来会与质子交换膜燃料电池(PEMFC)一样得到广泛普及应用的一种燃料电池。

## 目录

### [特点](#)

[结构组成](#)

[发展](#)

[固体氧化物燃料电池原理](#)

[编辑本段](#) **特点**

SOFC 与第一代燃料电池(磷酸型燃料电池,简称 PAFC)、第二代燃料电池(熔融碳酸盐燃料电池,简称 MCFC)相比它有如下优点:(1)较高的电流密度和功率密度;(2)阳、阴极极化可忽略,极化损失集中在电解质内阻降;(3)可直接使用氢气、烃类(甲烷)、甲醇等作燃料,而不必使用贵金属作催化剂;(4)避免了中、低温燃料电池的酸碱电解质或熔盐电解质的腐蚀及封接问题;(5)能提供高质余热,实现热电联产,燃料利用率高,能量利用率高达 80%左右,是一种清洁高效的能源系统;(6)广泛采用陶瓷材料作电解质、阴极和阳极,具有全固态结构;(7)陶瓷电解质要求中、高温运行(600~1000℃),加快了电池的反应进行,还可以实现多种碳氢燃料气体的内部还原,简化了设备。

固体氧化物燃料电池具有燃料适应性广、能量转换效率高、全固态、模块化组装、零污染等优点,可以直接使用氢气、一氧化碳、天然气、液化气、煤气及生物质气等多种碳氢燃料。在大型集中供电、中型分电和小型家用热电联供等民用领域作为固定电站,以及作为船舶动力电源、运输车辆动力电源等移动电源,都有广阔的应用前景。

[编辑本段](#) **结构组成**

固体氧化物燃料电池是一种新型发电装置,其高效率、无污染、全固态结构和对多种燃料气体的广泛适应性等,是其广泛应用的基础。

固体氧化物燃料电池单体主要组成部分由电解质(electrolyte)、阳极或燃料极(anode, fuel electrode)、阴极或空气极(cathode, air electrode)和连接体(interconnect)或双极板(bipolar separator)组成。

固体氧化物燃料电池的工作原理与其他燃料电池相同,在原理上相当于水电解的“逆”装置。其单电池由阳极、阴极和固体氧化物电解质组成,阳极为燃料发生氧化的场所,阴极为氧化剂还原的场所,两极都含有加速电极电化学反应的催化剂。工作时相当于一直流电源,其阳极即电源负极,阴极为电源正极。

在固体氧化物燃料电池的阳极一侧持续通入燃料气,例如:氢气(H<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、城市煤气等,具有催化作用的阳极表面吸附燃料气体,并通过阳极的多孔结构扩散到阳极与电解质的界面。在阴极一侧持续通入氧气或空气,具有多孔结构的阴极表面吸附氧,由于阴极本身的催化作用,使得 O<sub>2</sub> 得到电子变为 O<sub>2</sub><sup>-</sup>,在化学势的作用下,O<sub>2</sub><sup>-</sup>进入起电解质作用的固体氧



离子导体，由于浓度梯度引起扩散，最终到达固体电解质与阳极的界面，与燃料气体发生反应，失去的电子通过外电路回到阴极。

单体电池只能产生 1V 左右电压，功率有限，为了使得 SOFC 具有实际应用可能，需要大大提高 SOFC 的功率。为此，可以将若干个单电池以各种方式(串联、并联、混联)组装成电池组。目前 SOFC 组的结构主要为：管状(tubular)、平板型(planar)和整体型(unique)三种，其中平板型因功率密度高和制作成本低而成为 SOFC 的发展趋势。

## [编辑本段](#)发展

固体氧化物燃料电池的开发始于 20 世纪 40 年代，但是在 80 年代以后其研究才得到蓬勃发展。早期开发出来的 SOFC 的工作温度较高，一般在 800~1000℃。目前科学家已经研发成功中温固体氧化物燃料电池，其工作温度一般在 800℃左右。一些国家的科学家也正在努力开发低温 SOFC，其工作温度更可以降低至 650~700℃。工作温度的进一步降低，使得 SOFC 的实际应用成为可能。

## [编辑本段](#)固体氧化物燃料电池原理

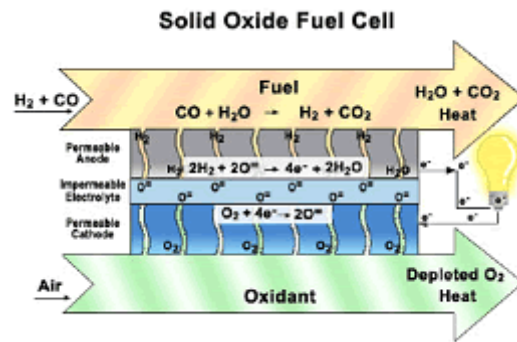
在所有的燃料电池中，SOFC 的工作温度最高，属于高温燃料电池。近些年来，分布式电站由于其成本低、可维护性高等优点已经渐渐成为世界能源供应的重要组成部分。由于 SOFC 发电的排气有很高的温度，具有较高的利用价值，可以提供天然气重整所需热量，也可以用来生产蒸汽，更可以和燃气轮机组成联合循环，非常适用于分布式发电。燃料电池和燃气轮机、蒸汽轮机组成的联合发电系统不但具有较高的发电效率，同时也具有低污染的环境效益。

常压运行的小型 SOFC 发电效率能达到 45%-50%。高压 SOFC 与燃气轮机结合，发电效率能达到 70%。国外的公司及研究机构相继开展了 SOFC 电站的设计及试验，100kW 管式 SOFC 电站已经在荷兰运行。Westinghouse 公司不但试验了多个 kW 级 SOFC，而且正在研究 MW 级 SOFC 与燃气轮机发电系统。日本的三菱重工及德国的 Siemens 公司都进行了 SOFC 发电系统的试验研究[2]。

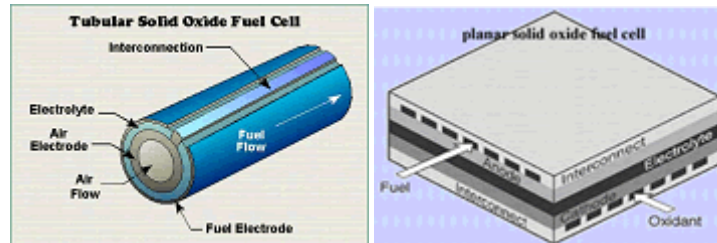
一般的 SOFC 发电系统包括燃料处理单元、燃料电池发电单元以及能量回收单元。图一是一个以天然气为燃料、常压运行的发电系统。空气经过压缩器压缩，克服系统阻力后进入预热器预热，然后通入电池的阴极天然气经过压缩机压缩后，克服系统阻力进入混合器，与蒸汽发生器中产生的过热蒸汽混合，蒸汽和燃料的比例为，混合后的燃料气体进入加热器提升温度后通入燃料电池阳极。阴阳极气体在电池内发生电化学反应，电池发出电能的同时，电化学反应产生的热量将未反应完全的阴阳极气体加热。阳极未反应完全的气体和阴极剩余氧化剂通入燃烧器进行燃烧，燃烧产生

的高温气体除了用来预热燃料和空气之外，也提供蒸汽发生器所需的热量。经过蒸汽发生器后的燃烧产物，其热能仍有利用价值，可以通过余热回收装置提供热水或用来供暖而进一步加以利用。

1. SOFC 工作原理 ( Schematic of SOFC )

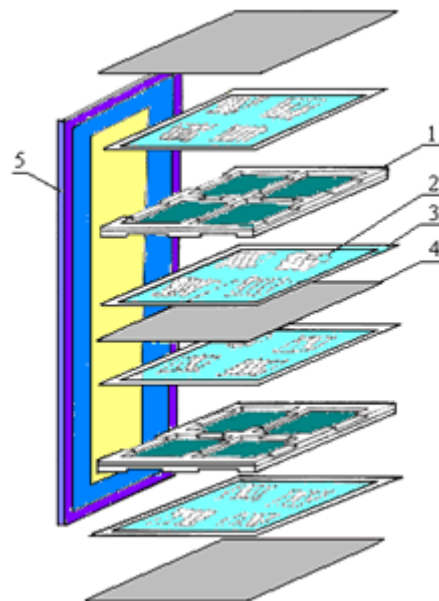


2. SOFC 结构模型 ( Design of SOFC )



板式 SOFC 电池堆结构 The Schematic of Planar SOFC Stack

中国发明专利： ZL 2003 1 0121171



1 单体电池 (Single cell)

2 弹性连接材料 (Flexible interconnect)

3 密封垫片 (Sealing)

4 双极片 (Bipolar)

5 配气板 (Gas distributor)

### 3. SOFC 特点

- 1) 化学能直接转化为电能，效率高；
- 2) 直接采用碳氢化合物燃料； 600 ~ 1000 °C 下燃料内部重整，设备简单；
- 3) 零排放；
- 4) 全固态结构，无腐蚀、无泄露，稳定性好，模块设计，结构紧凑；
- 5) 无运动部件，远程 / 无人操作，运行成本低。

### 4. 发展现状和趋势

管式结构：

西门子西屋公司： 250 ~ 330kW 管式 SOFC

优势：技术成熟，稳定性好；

趋势：改变制备方法，降低制作成本，商业化。

平板式结构：

德国 Forschungszentrum Juelich 研究中心：

>13.3kW 平板式 SOFC

澳大利亚 Ceramic Fuel Cells Ltd. :

25kW 平板式 SOFC 系统

优势：功率密度高，制作成本低；

趋势：提高稳定性，快速商业化。

## 5. SOFC 应用前景

1) 固定式发电：居民、工业、商用热电联供，边远地区电源，

分布式发电，大型电站

2) 移动电源：军事应用、休闲应用

3) 运输电源：辅助电源装置，火车，轮船

4) 非能源应用：高纯氢、高纯氧、工业制氧、传感器