

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2012.04.004

固体氧化物燃料电池 在天然气市场开发应用的探讨

□ 宁波兴光燃气集团公司 (315000) 金醒群

摘 要: 分析、介绍了固体氧化物电池 (Solid Oxide Fuel Cell 简称SOFC) 的发展现状及特点, 并对其工作原理及效率进行分析, 最后对固体氧化物燃料电池在天然气市场的开发应用提出了一点建议。

关 键 词: 固体氧化物燃料电池 效率 天然气应用

The Research on the SOFC in the Natural Gas Market

Ningbo Xingguang Gas Company Jin Xingqun

Abstract: This article analyzes the development and the characteristics of SOFC, its working principle and efficiency are also analyzed. Lastly, some protection suggestions are put forward into SOFC in the Natural Gas Market.

Keywords: SOFC Efficiency the Application of Gas

1 引言

近几年来, 有关天然气分布式供能 (冷热电三联供) 应用是比较热门的话题, 其主要设备也集中在内燃机、微燃机、燃气轮机等机械设备, 绝少涉及燃料电池这一领域。其实固体氧化物燃料电池的高发电效率 (理论可达60%) 及高排气温度 (可达800℃), 可能更适合在天然气冷热电三联供方面的应用。尽管燃料电池的研发和应用有较长的历史, 但对我们从事燃气行业的工作人员而言, 燃料电池则是较为前沿的概念。本文将结合近几年来笔者对燃料电池, 特别是固体氧化物燃料电池的学习和了解, 对固体氧化物燃料电池在天然气市场的开发和应用方面作些介绍及探讨, 以抛砖引玉。

2 固体氧化物燃料电池发展的基本情况

燃料电池除了固体氧化物燃料电池 (SOFC) 外, 还有熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC), 碱性燃料电池 (AFC)、磷酸型燃料电池 (PAFC)、质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 等类型, 因此要了解固体氧化物燃料电池的发展情况及特点, 应同时了解燃料电池的一些基本情况。

2.1 世界各国燃料电池研发情况

美国是研发燃料电池最早的国家, 早在上世纪60年代的美国国家航空航天局 (简称NASA) 就开始将燃料电池作为航天器的动力源。日本对燃料电池的研发也有30多年的历史, 特别是近几年成果显著, 固体氧化物燃料电池系统在家庭方面的应用已商业化。欧洲

各国研发燃料电池的历史虽然较美国和日本短,但进步很快,多个项目已开始进行商业应用方面的示范演示。

我国的燃料电池研制开发起步并不晚,但进展缓慢。上世纪70年代,为配合航天事业的发展,我国在碱性燃料电池方面取得了一定进步,但到上世纪80年代由于资金原因研发放慢,直至90年代又开始新一轮的研发及商业尝试。

2.2 固体氧化燃料电池发展概况

当今世界随着能源和环境的压力越来越大,世界各国积极发展固体氧化燃料电池,SOFC的商业化进程正在加速实施,以下是部分建成的SOFC燃料电池厂。

美国Westinghouse公司1998年前建成11套3kW~25kW SOFC发电系统;

美国Westinghouse公司1999年建成2套100kW管式SOFC发电系统;

德国Siemens Westinghouse公司2002年建成220kW SOFC-燃气轮机联合发电系统;

德国Siemens Westinghouse公司2003年建成250kW SOFC示范电厂;

德国Siemens Westinghouse公司2003年建成4座5kW SOFC电厂;

日本三菱重工1991年成功示范1kW SOFC电池堆;

日本三菱重工1993年成功示范新型1kW SOFC电池堆;

日本三菱重工1998年示范10kW SOFC系统;

日本三菱重工2001年成功示范10kW 加压管式SOFC发电系统;

日本JGU公司1995年支持示范的25kW SOFC发电装置;

瑞士Sulzer Hexis公司2001年起400套1kW 生物质SOFC发电系统;

美国ZTEK公司1995年示范运行1kW平板式SOFC发电系统;

美国ZTEK公司1998年示范运行25kW平板式SOFC发电系统;

中国上海硅酸盐研究所示范的5kW平板式中温SOFC电厂;

中国科学院过程工程所示范的列管式不密封无联接极SOFC发电系统。

3 固体氧化物燃料电池(SOFC)的特点

相对于其他燃料电池而言,固体氧化物燃料电池有其优点,但作为一种还有待于进一步成熟的技术,缺点也是明显的。

3.1 固体氧化物燃料电池的优点

首先,发电效率高和能源综合利用程度高是其最显著的优点。据多种文献报导,固体氧化物燃料电池的发电效率最高可达60%。即使扣除各种损耗,45%~55%的发电效率也是目前现有的各种分布式能源发电系统中最高的。目前只有最先进的大型集中式发电系统的效率能够超越固体氧化燃料电池。同时固体氧化物燃料电池所产生的废热非常清洁,基本上就是水蒸气和热空气,而且废热的温度很高,如此高品位的废热可进行冷热电联产,或者与燃气轮机联用,总能量转化效率可进一步提升至80%~90%。

其次,燃料适应性广。对固体氧化物燃料电池而言,它的燃料来源比较广,氢气、天然气、水煤气、液化石油气以及沼气等皆可作为其燃料。另外甲醇、乙醇甚至汽油、柴油等高碳链的液体燃料也可作为燃料。当然这些燃料也不是直接就可以使用,需要对这些原料进行重整。但由于固体氧化物燃料电池可使用含有CO的燃料,因此无论对燃料的要求还是对重整系统的要求都不如质子交换膜燃料电池(PEMFC)严格。对于已在城市和工业区都相当普及天然气管道来说,固体氧化物燃料电池适应性更强。

环保也是一大特点。由于固体氧化物燃料电池可以使用脱硫等处理后的天然气作为燃料,以天然气为原料的电化学反应其产物只有CO₂和H₂O,因此不会对环境造成污染。另外固体氧化物燃料电池通过电化学反应发电,与燃气轮机不同,其内部没有任何活动部件,不会发出任何噪声。通过尽量降低其它动力装置(如泵等)的噪声与振动后,SOFC系统在运行时的噪声和振动是非常低的。

模块化也是燃料电池的一大特点。与燃气轮机等不同,燃料电池的发电效率不随规模的变化而变化,也就是说几千瓦的燃料电池的发电效率与几兆瓦的燃料电池的发电效率是一样的。燃料电池厂家可以生产出几种标准的燃料电池模块,然后根据实际需求进行自由灵活的组合。

3.2 固体燃料电池的缺点

作为还没有商业化的技术,技术没有完全成熟是最大的不足,同时由于没有形成批量生产,这也带来了单位千瓦造价的居高不下。从表1可以了解各类燃料电池的一般特点。

4 固体氧化燃料电池的工作原理及效率分析

4.1 工作原理

固体氧化物燃料电池的工作原理是通过燃料与空气的电化学反应而非燃烧直接获得电能。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。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,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_2)、甲烷(CH_4)、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_2 得到电子变为 O^{2-} ,在化学势的作用下, O^{2-} 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。工作时相当于一个直流电源,其阳极即电源负极,阴极为电源正极,如图1所示。

4.2 能量利用效率分析

对于燃料电池,以燃料的化学反应的热焓的减少

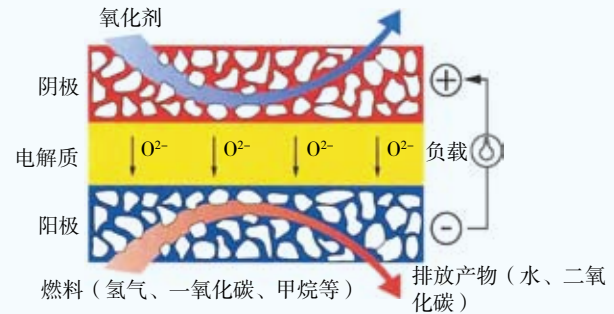


图1 SOFC工作原理图

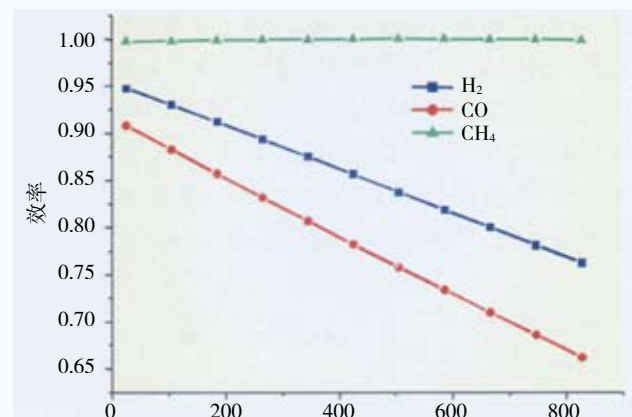


图2 不同温度SOFC的理论效率

表1 各类燃料电池的一些特点比较

选项	SOFC (固体氧化物)	MCFC (熔融碳酸型)	AFC (碱液型)	PAFC (磷酸型)	PEMFC (质子交换膜)
优点	1、燃料适应性广; 2、采用非贵金属作为催化剂; 3、高品位余热可用于热电联供; 4、模块化; 5、较高的功率密度。	1、燃料适应性广; 2、使用非贵金属催化剂; 3、高品位余热可用于热电联供。	1、阴极性能得到改善; 2、可以不使用贵金属作为催化剂; 3、材料成本低,电解质成本非常低廉。	1、电解质价廉,使用酸性的电解液; 2、能够直接使用烃类化合物转换的含有 CO_2 的富氢气体作为燃料; 3、技术成熟可靠性高,长期运行性能好。	1、所有燃料电池中功率密度最高; 2、较好的起停能力; 3、低操作温度使其更适应便携式应用。
缺点	1、材料在高温下运行会产生一系列问题; 2、密封问题; 3、电池部件制造成本高。	1、 CO_2 必须再循环; 2、熔融碳酸盐电解质具有腐蚀性; 3、退化/寿命问题; 4、材料昂贵。	1、必须使用纯的 H_2 和 O_2 ; 2、需周期性地更换KOH电解质; 3、必须从阳极及时除水; 4、电解质容易 CO_2 中毒。	1、效率只有40%; 2、启动时间长; 3、铂催化剂昂贵; 4、对CO和S中毒敏感; 5、电解质是有腐蚀性的液体,运行时必须及时补充电解质。	1、采用昂贵的铂催化剂; 2、聚合物膜和辅助组件昂贵; 3、经常需要水管理; 4、非常差的CO和S容许度。
造价(包括安装费用,美元/kW)	3 000	2 600	2 700	2 100	1 400

($-\Delta H$) 来代表输入能量, 以吉布斯自由能的减少 ($-\Delta G$) 作为获得的最大电能, 于是对于任何固体氧化燃料电池体系的热力学效率可以用下式来表示:

$$\eta_{\text{电池}} = \Delta G / (-\Delta H) \quad (1)$$

标准状态下燃料气体氧化反应的吉布斯自由能变 (ΔG) 和焓变 (ΔH) 可以查相关资料, 下表列出了一些常见燃料电池燃料的热力学数据, 从表2也可以看出燃料电池的热力学效率非常之高, 而热机由于受到卡诺定理的限制, 即使工作温度在800℃时其热力学效率也只有46%, 说明燃料电池在理论上具有很大的效率优势。

而图2列举了上述3种燃料气体在不同温度下的热力学理论效率, 以CH₄为燃料的SOFC效率随反应温度的升高而升高, 并几乎达到100%的效率。

5 固体氧化燃料电池应用的一些思考

由于太阳能、风能等新能源总量受到一定限制, 在未来相当长一段时间仍然会以化石燃料作为主要的能源。随着化石燃料的逐渐减少, 提高能源的利用率成为能源产业的一个主要发展方向。从能源利用效率上来讲, 固体氧化物燃料电池技术是一种被公认为理论效率和实际效率均最高的发电技术。从其所使用的燃料上来讲, 固体氧化物燃料电池可以大量使用煤制合成气、城市管网天然气等主要化石燃料, 是一种典型的主力能源技术。该技术的发展无论是作为分布式能源还是集中式能源, 均有利于主力能源产业的长远发展, 并带动一批配套产业。

固体氧化物燃料电池本身是以电化学反应取代燃烧, 几乎不产生NO_x、SO_x和其他污染物质, 内部也没有任何活动部件, 不会发出任何噪声。与传统的火电机组相比, CO₂排放量可减少40%~60%, 是名副其实的清洁能源生产方式。大规模应用固体氧化物燃料电池可以有效改善目前火力发电对环境污染大的状况。

固体氧化物燃料电池由于其本身具备的良好热力学特性 (高发电效率和高排热温度), 可能使其比内燃机更易开发天然气。应当说, 50%的发电效率将为高价天然气的应用提供切实支撑。而800℃左右的高品位尾气, 比内燃机400℃~500℃排烟具有更加广泛的适用性。800℃左右的高品位尾气不但可以转换成冷和热, 进行冷热电三联供, 而且可以供有些工业中的烘烤工艺使用。这样, 尾气就变成了产品, 对固体氧化物燃料电池系统的推广应用极其有利。表3对SOFC可能应用作了简单的归纳。

当然, 以上的应用基于SOFC燃料电池技术完全成熟并得到推广应用, 而这将有赖于燃料电池系统整体技术的解决, 比如燃料电池的寿命和稳定性, 系统的控制等关键技术。

6 总结

作为天然气的高效利用系统, 固体氧化物燃料电池系统虽然还处在示范阶段, 但其理论上的优势及当前演示过程显示出的高效性, 可以预见在国家建设智能电网、节能减排的背景下, 固体氧化物燃料电池将会得到广泛应用, 但就当前而言, 还有政策 (如与电

表2 燃料气体在标准状态下反应的热力学数据

	T (K)	ΔH_0 (KJ · K ⁻¹ · MOL ⁻¹)	ΔG_0 (KJ · K ⁻¹ · MOL ⁻¹)	η (%)
H ₂ (g) + 0.5O ₂ (g) → H ₂ O(g)	298	-241.82	-228.61	94.8
CO (g) + 0.5O ₂ (g) → CO ₂	298	-282.98	-257.23	90.9
CH ₄ (g) + 2O ₂ (g) → CO ₂ (g) + 2H ₂ O (g)	298	-802.56	-801.11	99.82

表3 SOFC的产品应用领域

	0.5 kW~5kW	5 kW~50kW	50 kW ~200kW	200 kW~1 000 kW	1MU~250MU
应用领域	车用辅助电源, 家用三联供	家庭及商业楼宇三联供	医院、银行、学校、工厂等三联供	工业用三联供	分布式电站, 联合互助环发电系统

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2012.04.005

佛山燃气抢险资源的整合规划

□ 佛山市燃气集团股份有限公司 (528000) 易达春 李彤 林海涛

摘 要: 借鉴国内燃气行业及其他相关行业的成功经验, 提出抢险资源整合思路, 着手整合集团公司应急抢险资源, 充分发挥集团资源优势。

关 键 词: 整合规划 抢修抢险 资源配置 统一

Integration and Planning of Foshan Gas Emergency Resources

Foshan Gas Group Co., Ltd. Yi Dachun, Li Tong, Lin Haitao

Abstract: Referring to the successful experience of Gas industry and relative industry, to bring up an idea for integration of emgency resources, and start integration of the resources.

Keywords: Integration and planning Emergency repair and rescue Resource allocation and unification
The group resources benefits of the completely exertive power

1 前言

佛山燃气集团自2009年底完成架构整合, 其下属的二级公司有高压管网公司、禅城燃气分公司、汽车燃气公司、三水燃气公司、工程与设计事业部、高明燃气公司和液化气分公司等。经过近两年的制度建设、实践和磨合, 已初步形成了集团业务管控模式。

但在燃气抢险上, 暂仍由各二级公司各自负责, 设备、技术人员和抢险投入资金分散等, 体现不了集团整体整合的优越性。从节约资源配置、减少人力、提高事故抢险处理能力以及社会服务能力角度上分析, 抢险装备与队伍的高效整合十分必要。本文主要结合国内主要燃气企业、供电行业等的成功先例, 根据本集团特点, 提出抢险资源整合规划。

网的并网、上网问题)、资金、观念、技术等很多困难有待克服。

参考文献

1 哈特科普夫, 潘毅群, 吴刚等. 固体氧化燃料电池在建

筑冷热电联产中的应用[J]. 暖通空调, 2003; 1

2 王刚, 朱承飞, 薛金花等. 固体氧化物燃料电池的效率分析[J]. 电源技术, 2008; 6

3 倪维斗. 清华大学燃料电池讲座. 2009; 7

4 固体氧化物燃料电池的发展. 今日材料所, 2011; 1