

燃料电池商业化对城市天然气供应模式的影响

哈尔滨中庆公司(150076) 王瑜琦
哈尔滨工业大学(150090) 张兴梅 赵玺灵

摘要 本文通过对能源供应系统的技术性分析,提出了城市能源综合供应模式,介绍了目前燃料电池在热电应用方面的研究动态及对燃料电池成本的预期指标,展望了未来天然气供应为燃料电池联供系统提供原料的可能性。

关键词 天然气应用 燃气供应 冷热电联供 燃料电池

The Influence of Fuel Cell Commercialization on City Natural Gas Supplying Mode

Harbin ZhongQing Company(150076) Wang Yuqi
Harbin Institute of Technology(150090) Zhang Xingmei, Zhao Xiling

Abstract In this paper, the energy supplying system was analyzed and the integrated supplying mode of city energy was proposed, and the research trends of fuel cells application in building combined cold, heat and power system and the anticipate index of fuel cell costs were introduced, and indicated the possibility of natural gas supplying as the source of fuel cells building cogeneration system.

Keyword natural gas application gas supplying combined cold heat and power fuel cell

1 引言

能源工业是国民经济的基础产业,对国民经济的发展具有重大影响,世界各国都把建立可靠、安全、稳定的能源供应保障体系作为国民经济的战略问题之一。中国是世界能源蕴藏和能源生产大国,由于较低的能源利用率,中国的单位国民生产总值能耗是发达国家的3倍~4倍。化石能源的大量消耗造成了能源资源的相对不足,同时大量温室气体的排放造成了令人忧心的环境污染问题,已经成为近年来影响我国社会、经济与环境可持续发展的一个极为重要的限制因素。在能源消费结构调整中,天然气的市场份额将逐步上升,天然气作为各种燃料的比例高达95%,其利用率的提高具有非常重要的意义。

2 城市能源的供应

2.1 能源变迁

从过去一个半世纪全世界各种能源使用的变迁情况以及未来能源使用的预测走势(图1),可以发现人类使用的主要能源从第一代主流能源柴草,到第二代主流能源煤炭及第三代主流能源石油及天然气,其中第二代和第三代主流能源属于化石能源,具有很高的能量密度。从这个能源变迁过程显而易见,氢循环比例在提高,能量转换过程变得越来越清洁,能源利用的可持续性也越来越强。而目前环境污染问题之所以日益严重,是因为化石燃料消耗量过高造成的。现阶段商业化制氢的主要方法是使用化石燃料,而未来高效制氢将来自可再生能源,最终氢碳比无限大的氢循环将取代碳循环,实现人类能源可持续利用的愿望,可以预测氢能必将成为人类未来

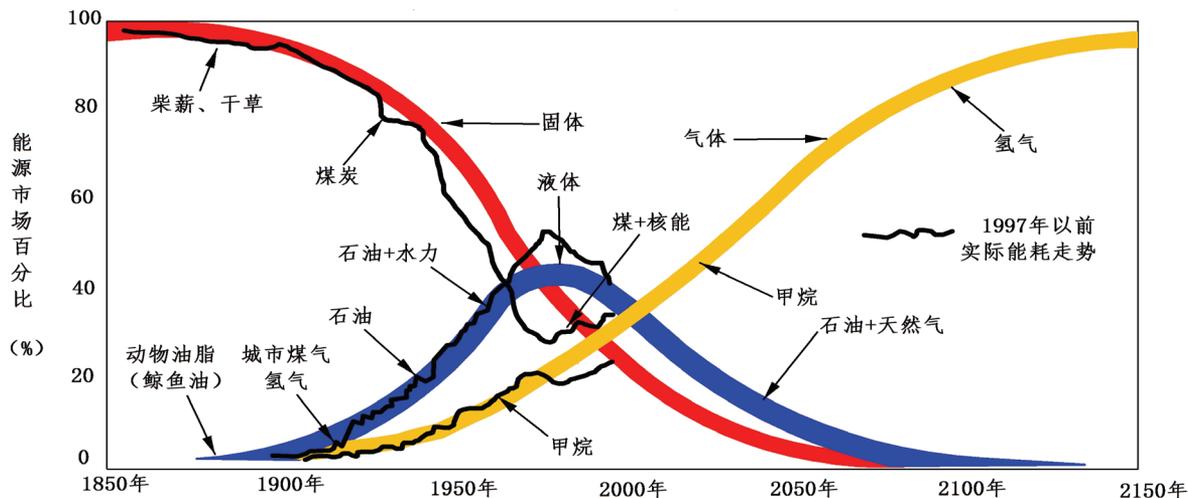


图1 全球能源使用的变迁

的主流能源。

美国能源部曾指出，出于对全球气候变化和能源安全的关注，最终氢能和电能将来自可再生能源，但化石能源在这期间仍然是主要的过渡资源。目前，化石资源制氢以天然气制氢最为经济、合理，世界约一半的氢是通过天然气蒸汽重整工艺生产的。

2.2 天然气能源供应方式的选择

从优质能源和环保角度，在能源消费结构中天然气将很快占据首位。天然气的利用也将进一步呈现多样化趋势，就世界范围而言，天然气用作工业燃料约占43%，发电及民用商用各占26%，作为原料的比例仅占5%。合理利用天然气资源，寻求一条有利于社会、经济与环境可持续发展的、减少污染的能源供应与消费道路，显得尤为重要。

在环保及经济双重效益的推动下，天然气用于发电的比例将会持续上升，随着发展中国家经济水平和人民生活水准的不断提高，天然气民用、商用比例也会显著上升。2000年中国天然气用于发电和供热的比例仅为12%，居民生活仅为13.2%，远低于世界平均水平。预计作为城市燃气在2010年将占28.55%，2020年将占33.69%，用于发电和供热在2010年将占30.15%，2020年将占36.67%，而工业燃料将呈下降趋势。

能源供应中的电力是二次能源，由于转换及输送损失其总效率比一次能源直接用作燃料要低得多，在电能的生产过程中约有73%的能量要损失掉（平均发电效率仅为26.4%），而用天然气的损失仅为10%，所以从生产、供应及利用的全过程

来评价，用电的成本比直接用天然气高。但是对终端用户而言，电能比天然气使用更方便、更清洁，因此电力供应必不可少。

由于汽轮发电机组容量的加大，中心电站距离城市越来越远，电站的废热从技术经济角度都不适合向城市供应，城市居民的采暖一般需要建设区域锅炉房作为供热热源。很显然，传统的热电分产能源利用效率低，也造成了大量温室气体CO₂的排放。

高效利用资源的热电联供已经向热电分产的供能模式挑战。由于各种燃气原动机技术的进步，能源逐渐实现了能量梯级利用。按照能量的品位合理安排发电和供热的热电联供(CHP)系统，同时满足用户电能和热能的需要，在技术经济上更为有利，一次能源利用率从热电分供方式的54%提高到72%，同时CO₂排量可减少1/3，增强了天然气利用的经济效益和环境效益。以热电联供为基础在小型化方面发展了建筑物冷热电联供(BCHP)系统，就是在建筑物内就地进行热电冷同时生产的功能系统，因为可以很方便的使用作为城市燃气供应的天然气，而不用储存燃料，其动力机械主要可以选择小型或微型燃气轮机、内燃机、燃料电池等，配以余热利用锅炉、吸收式制冷机，能源的综合利用效率达到80%以上，在使用上又有很大的灵活性。

总之，随着天然气占一次能源的比例逐年上升，尤其是国内天然气开发与引进等重大项目的实施，天然气的应用领域也将不断扩展，给城市燃气事业的发展带了机遇与挑战。城市燃气供应有可能成为统筹解决供燃气、电、热、冷的综合供能系统。由于独

立分布式发电系统与中心电网相结合,既保障了安全可靠供电,又能够削减中心电网通常在夏季出现的用电高峰负荷,还可以填补夏季出现的用气低谷,对全年天然气的均衡供应起到平衡作用,因此综合能量供应具有非常优越的经济性和环保性。

3 城市能源供应中的燃料电池

天然气分布式区域冷热电联供系统所适用的动力设备中,近年来燃料电池备受瞩目。燃料电池属于化学动力源,其工作方式是通过氢氧之间没有燃烧的电化学反应产生电力,只要将燃料和氧化剂等活性物质不断输入,产物不断排出,燃料电池就能够连续发电。小型高效的燃料电池分布式电源随着技术的商业化市场潜力巨大,在能源可持续利用过程中,以氢为燃料的燃料电池将占据关键及不可或缺的地位。

3.1 燃料电池的技术优势

3.1.1 灵活机动

燃料电池结构简单占地小,适合安装在建筑物内或住宅小区周围作为独立发电系统。与其他动力设备相比燃料电池 B CHP 系统可以小型化,其他原动机的热电联供系统难以考虑的家用及小规模业务领域中,燃料电池 B CHP 却可以考虑,其既可区域供应也可像户用空调器、热水器或电取暖器那样每户独立供应。

3.1.2 效率高

理论上整体热电合并效率可达 90%,但是由于各种极化的损失,目前正在使用的燃料电池实际的电能转换效率均在 40%~60%之间,热电合并效率可达 80%,平均单位质量燃料所产生的电能只有核能发电能与其相比。

3.1.3 低污染

燃料电池以纯氢为燃料时产物只有纯水,即使是以化石燃料制取富氢燃料过程排放的二氧化碳也比热机过程减少 40%以上。燃料电池本身没有转动部件,运行安静,噪音很小。

3.1.4 用途广泛

虽然二次能源电被人们广泛使用,但其本身是过程性能源,无法大量直接储存,使得汽车、轮船、飞机等机动性强的交通运输工具都无法直接使用发电

厂输出的电能。传统电池是能量储存容器,而燃料电池是真正的能量转换设备,并且燃料电池无论发电规模大小均能保持高发电效率,其机组大小与发电规模具有弹性。燃料电池代表了未来的能源技术,预期燃料电池将用于便携式电源、车辆电源、热电联产、分布式发电站或集中型发电厂等,在诸多领域发挥重要作用。

3.2 燃料电池在城市能源供应方面的应用研究

燃料电池实际获得商业应用是在 1970 年以后,目前全世界已经有许多医院、学校、商场等公共场所都安装了燃料电池进行并联供电或示范运行,主要汽车制造商也已经开发出燃料电池原型车辆,尽管燃料电池技术达到广泛应用还需要一段时间,但这一技术的迅速发展,使燃料电池很有可能成为 21 世纪及以后年代的主流能源使用方式。

3.2.1 作为电力供应设施

燃料电池发电效率不受容量限制,可以作为效率高的小容量家用发电机,也可以建成大容量的分布式发电站,甚至是集中型发电厂。家用发电机发电容量大致在 10kW 以下,以质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 与固体氧化物燃料电池 (SOFC) 为主,可以单独提供一个家庭所需的电力,也可以以热电合并方式发电同时提供家庭所需的热能。分布式发电站发电容量在 0.1MW~10MW 之间,燃料电池以磷酸燃料电池 (PAFC)、固体氧化物燃料电池 (SOFC) 及熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC) 为主,对整栋楼宇或小区供电,也可以热电联供。

现今美国最大的质子交换膜燃料电池公司—普拉格公司,开发的 7000 型可以提供 7kW 的持续电力,足够提供一个家庭的用电需求。如果有 20 万户家庭使用 7000 型家用燃料电池发电装置,其总和将近 1 个核电机组的容量。加拿大巴拉德动力系统公司研发的 250KW PEMFC 机组发电量可以提供 50 个~60 个家庭使用。目前巴拉德公司已经在世界各地安装了数步机组进行示范运转发电。

PAFC 发电站已经是高度成熟的技术,目前处在商业化前期。PAFC 用于分布式电站的可靠度高,可作为不间断电源使用,发电效率达 40%,热电合并系统的效率可达 60%~70%。美国阿拉斯加州最大的 Chugach Electric 电力公司安置在某邮件处理中心的 PAFC 现场型发电站,发电量为 1MW,是美国

最大的商用燃料电池系统,可以提供每天 24h 的高品质电力。SOFC 的开发以美国、日本与欧洲的先进国家为主,目前还处于研发阶段,尚未有商业化产品上市。现阶段以固定型商业用电源、工业用热电合并系统及小型电源市场前景较为看好。Hexis 公司 2002 年推出商业化的 HXS1000 热电合并的原型机,电输出功率 1kW,热输出高达 5kW,大致能满足一个家庭基本的热电需求。美国加州国家燃料电池研究中心(National Fuel Cell Research Center)示范运行的 SOFC/GT 复合发电机组总输出功率 220kW,系统发电效率 53%,发电容量可以向 200 个家庭提供充足的电力。美国的 MCFC 技术领先全球,主要由 Fuel Cell Energy 公司主导开发,目前达到现场示范运行阶段,该公司初步规划上市产品的发电容量为 300kW、1.5MW、3MW。德国 MTU 已将一部 250kW 的热电机组安装在 University of Bielefeld 校园内进行供应电力与热能的示范运转,采用的是 Fuel Cell Energy 公司 MCFC 电池堆。日本开发了数种燃料电池发电装置供公共电力部门使用。已建成兆瓦级燃料电池示范电站,并就其效率、可运行性和寿命进行了评估,期望应用于城市能源中心或热电联供系统。日本建造的小型燃料电池发电装置,已广泛应用于医院、饭店、宾馆等。

3.2.2 车用燃料电池

在众多的燃料电池中,低温燃料电池 PEMFC,功率重量比很高,特别适合于作汽车的动力源。世界上主要汽车公司和有关研究机构在 PEMFC 燃料电池研究中取得了很大进步。我国第一辆燃料电池汽车也已在上海问世。近年来,燃料电池汽车的迅猛发展和商业化的推进席卷了整个世界,其高效节能以及零排放或接近零排放的良好环境性能,使之成为当今世界能源和交通领域开发的热点。随着国际各大汽车生产商和石油巨头的积极参与,从资金到技术的大力投入,燃料电池汽车已经走出实验室,开始了商业化旅程。联合国环境计划署执行的一项计划,将向墨西哥城、开罗、新德里、上海及北京等城市提供 46 辆燃料电池驱动的公共汽车,以改善这些城市的环境污染情况。

3.3 燃料电池的燃料供给

氢气是燃料电池可以直接应用的燃料。天然气、碳氢化合物及醇类(如甲醇)重整制得的富氢合成气

也可以作为燃料电池的燃料,目前天然气是重要的氢源。

不同种类燃料电池对燃料处理程度要求不同,PEMFC 及 PAFC 要求使用氢气,而 SOFC、MCFC 对燃料具有内重整能力,可以直接使用碳氢化合物燃料。前述开发的燃料电池大都考虑使用天然气,以便直接使用现有的城市天然气供应设施,如 Plug Power 的 Gensys™(4kW、5kW)。

制约燃料电池汽车发展的一个重要因素是氢气基础设施的缺乏,如果燃料电池汽车大规模进入市场,需要完备的氢气供应网络。城市天然气供应在汽车加氢站的建设方面占有优势。

天然气制氢技术的发展是燃料电池发电的动力基础,也是推广燃料电池的关键问题之一,对燃气事业的发展及燃气应用技术的推广与提高也会起到积极的推动作用。目前,全球很多燃气公司积极参与了燃料电池的研究工作,他们大多在高纯度氢气的生产、汽车加氢站及燃料电池热电联供方面与燃料电池公司合作,如不列颠燃气公司、东京燃气公司及大阪燃气公司等。

随着我国“西气东输”工程的建设,天然气管网的不断完善及液化天然气(LNG)的广泛应用为燃料电池的发展创造了良好的条件并奠定了坚实的基础,燃气行业应当在天然气的安全稳定供应与引导消费方面做出努力。

3.4 燃料电池联供系统的经济性

燃料电池作为高效、洁净的电源,有着广阔的应用前景。按照目前的发展趋势,我们有理由相信,燃料电池技术将在 21 世纪成功地应用到我们日常生活的方方面面。然而,燃料电池所具有的环保与高效率还不足以吸引消费者,无论是住宅电源还是电动汽车,都必须有比较高的性价比,才能开拓市场,取代低效高污染的传统能源使用技术。

基本上,燃料电池已经没有太多的技术障碍,其商业应用的主要问题之一是燃料电池成本过高,但在技术不断改进和量化生产后,成本会很快下降。

分布式联供系统可用于单独的住房 (<10 kW)、住宅区 (100kW~300kW) 或上一级发电站 (>1 000 kW),A. Lokurlu 给出了不同类型 100kW~300kW 分布式燃料电池联供系统与传统联供系统的投资费用情况:

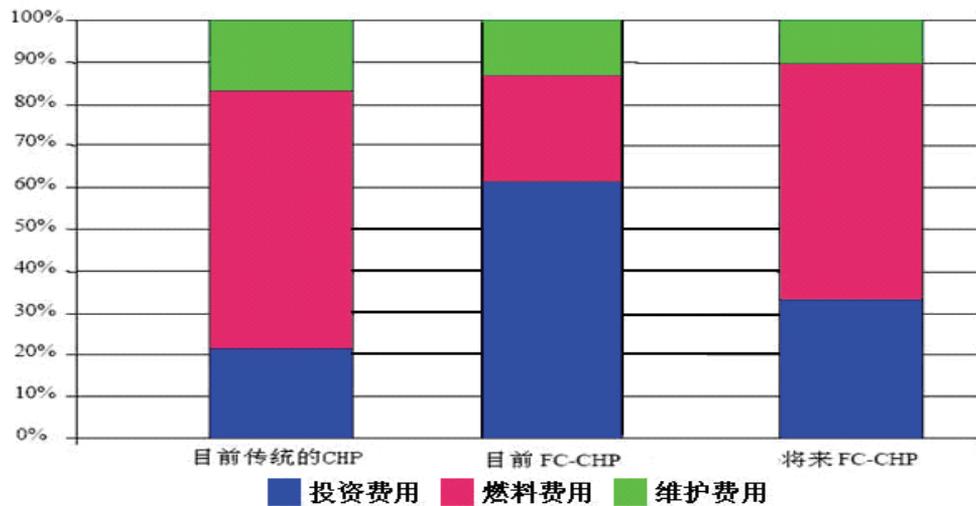


图2 目前与未来 FCCHP 的发电成本构成

PEMFCCHP(电功率 250kW):10,000 欧元/kW。

PAFCCHP(电功率 200kW):5 000 欧元/kW。

MCFCCHP(电功率 280kW):8 000 欧元/kW。

SOFCCHP(电功率 100kW):20 000 欧元/kW。

传统 CHP(电功率 100kW~1000 kW):约 500 欧元/kW~1 000 欧元/kW。

发电成本的重要组成部分包括投资费用、燃料费用、维护费用等,其中投资费用和燃料费用是影响电价的重要参数。从以上数据可见,当燃料电池成本降到大约 1 000 欧元/kW 以下时将具有与其他能源的竞争力。燃料电池系统成本的降低及性能的提高是促进燃料电池联供系统发展的主要因素。

图 2 显示了目前传统联供系统、燃料电池联供系统及燃料电池达到期望价格后的联供系统的发电成本构成。目前传统联供系统的投资成本和燃料成本大约是总发电成本的 20%和 60%。相应规模的燃料电池联供系统,投资成本和燃料成本大约是总发电成本的 62%和 26%,维护费占 12%。如果未来投资费用降到期望的 1 000 欧元/kW,燃料电池联供系统的燃料费用大约是总发电成本的 55%,加之燃料电池联供系统原本的维护费就较低,届时燃料的价格波动将变得敏感。

4 结论

在能源供应日益紧缺及环保压力不断增加的当今社会,能源地位不断提高的天然气的合理利用受

到关注,新技术的迅速发展为天然气的利用提供了扩展空间,燃料电池以其高效率及良好的环境相容性等综合优势受到青睐,随着其性能的完善及成本的降低,燃料电池将成为未来主要的能源供应方式,也将使城市能源供应模式发生变革,全新的供燃气、电、热、冷综合能源供应系统令人期待。

参考文献

- 1 陈贻良,王开岳等.天然气综合利用.北京:石油工业出版社.2004.4
- 2 高春梅,李清,李聚.燃料电池的燃料制取及储存技术的探讨.城市燃气,2004(6):19-23
- 3 尾崎 裕.日本燃气利用技术的现状和展望.城市燃气,2004(1):6-9
- 4 高春梅,李清.以燃气为燃料的燃料电池及其应用的探讨.城市燃气,2002(10):6-11
- 5 谢东来.城市燃气在氢能及燃料电池的应用.煤气与热力,2007(4):38-40
- 6 黄镇江编著.燃料电池及其应用.北京:电子工业出版社.2005.8
- 7 严俊杰等.冷热电联产技术.北京:化学工业出版社.2006.3
- 8 Ahmet Lokurlu, Thomas Grube, Bernd Höhlein, Detlef Stolten. Fuel cells for mobile and stationary applications—cost analysis for combined heat and power stations on the basis of fuel cells. International Journal of Hydrogen Energy 28 (2003) 703-711