

燃料电池分布式冷热电联供技术的研究及应用

哈尔滨工业大学 赵玺灵[☆] 张兴梅 段常贵 邹平华

摘要 燃料电池分布式多联供技术(冷热电联供)具有高效、超低废气排放量、低噪声等优点,应用前景广阔。综述了燃料电池分布式冷热电联供技术的研究和应用现状,从技术角度将两种处于优势地位的燃料电池(PEMFC 和 SOFC)在建筑物中的应用进行了对比分析,并指出了燃料电池分布式多联供技术的研究方向。

关键词 质子交换膜 固体氧化物 燃料电池 多联供技术 冷热电联产

Research and application of fuel cell distributed cooling heating and power cogeneration technology

By Zhao Xiling[★], Zhang Xingmei, Duan Changgui and Zou Pinghua

Abstract Fuel cell distributed multi-cogeneration technology (combined cooling, heating and power) has many advantages such as high efficiency, low emissions and low noises, which has extensive development and application prospects. Summarizes the research and application status of the technology, and compares and analyses the applications of SOFC and PEMFC in buildings from technology aspects, and indicates the research directions.

Keywords PEMFC, SOFC, fuel cell, multi-cogeneration technology, combined cooling heating and power

[★] Harbin Institute of Technology, Harbin, China

①

0 引言

近年来,美国、加拿大、英国、澳大利亚等国相继发生大面积停电事故,说明传统能源供应形式存在着严重的技术缺陷^[1]。而以小规模冷热电联产系统为核心的新型能源体系具有效率高、灵活性强、分散度高、安全可靠的特点,随着适合联供系统的吸收和吸附式制冷技术、微型燃机技术、燃料电池技术的日臻成熟,在未来的绿色建筑中使用小规模联供技术具有重要的意义。

燃料电池(fuel cell)是一种将燃料和氧化剂中的化学能以电化学方式直接转化为电能的发电装置,燃料和氧化剂由外部供给,即只要不断向其提供燃料和氧化剂,就可以连续不断地发电^[2],其发电方式具有不可比拟的优越性^[3]。作为小规模联供技术的原动机,燃料电池是一种高效、洁净的发电装置,既适合于作分布式电源,又可在将来组成大容量中心发电站,将是 21 世纪重要的发电方式。

人们对燃料电池成为未来主流发电技术持肯定态度,各国都在投巨资进行研发,至今已开发了多种类型燃料电池^[4]。其中质子交换膜燃料电池(proton exchange membrane fuel cell, PEMFC)和固体氧化物燃料电池(solid oxide fuel cell, SOFC)被认为是最具潜力的两种燃料电池^[5]。我国第 2 届广州燃料电池会议上就燃料电池的投资方面作了一些说明,目前我国的 863 项目对电动汽车和后续能源进行了大量投资,共计 8.8 亿元人民币;对 SOFC 投资大约 800 万,要求研发出 5 kW 的分布式供电系统,技术路线为中温平板式^[6]。由此可见,我国燃料电池的研究和开发方向与加拿大

①[☆] 赵玺灵,女,1980 年 8 月生,在读博士研究生
150090 哈尔滨工业大学二校区市政环境工程学院 2645 信箱

(O) 13936641037

E-mail: zhaoxiling@126.com

收稿日期:2006-06-22

修回日期:2007-08-03

电和热,来自 SOFC 系统的热通过换热器(HEX)来满足建筑物的热负荷,通过进入两种吸收式制冷机供冷,系统同时采用了两个热储罐作为储能设施,应用 HVAC 系统来确保建筑内的冷热气流分布。同时为了与传统电网供电模式进行对比,系统采用了一个往复式制冷机和一个热泵作为备用设备,电网作为备用电源,同时这部分也用作传统供电模式的分析,研究者从环保和经济的角度进行了研究。

3 示范性应用实例

燃料电池在建筑上的应用,美国、日本、加拿大、德国等国处于领先地位。美国已有数万个燃料电池发电站用于宾馆、医院及居民小区进行热电联供。日本运行中的电站约 100 座,总容量 30 MW 以上,1991 年投入运行的五井电厂的 11 MW 级发电装置是目前世界上容量最大的燃料电池发电站。德国采用加拿大 Ballard 公司技术,已建成 1 座 250 kW 的热电联供电站。美国在 GRI-DOE 计划中建造了 48 台 40 kW 级热电联产型现场式发电装置,其中 2 台分别由日本东京煤气公司与大阪煤气公司进行试验,其余分散在美国各地。2004 年 1 月,在欧盟的赞助下,德国威廉(Vaillant)公司成功地在德国、荷兰等几个欧洲国家安装了 31 套燃料电池加热装置,这些小型加热装置可以为家庭、商场以及医院提供电力和热水^[20]。国内对于燃料电池在建筑中应用的研究相对较少。

Enel Produzione 安装了一个 beta-型号的燃料电池 CHP 系统,该电池(PEMFC)由 H-Power 提供,其试验区设置在意大利的里窝那(Livorno),对该系统进行了一系列的试验,试验的目的是评价这种系统是否适用于意大利的住宅,在可能的操作条件下对系统的性能、灵活性和操作需求进行了评价^[21]。

Plug Power 开发出了一种 7 kW 的家用热电联产装置,该装置可以直接为用户提供家用电器、照明、供暖和空调等所需的电能,同时还可将燃料电池放出的余热回收用来加热水或供暖。据估计这种家用燃料电池将能节约 20% 的住宅燃料费用。家用燃料电池可用纯氢作燃料,也可使用天然气、丙烷、甲烷等。Plug Power 7000 型家用燃料电池大小如洗碗机,可满足面积为 280~370 m² 住宅用电的需要。所采用的 PEMFC 的效率可高达

80%。系统主要由燃料电池、换热器、燃气炉和控制系统组成。燃料(天然气)通过输气管道进入燃料电池系统,在燃料电池中与氧气发生化学反应,产生的电能通过输电线集中起来供给用户使用,控制系统根据负载对电池功率的要求,对反应气体的参数进行控制,使电池正常而有效地运行。废气、废水和排气余热进入换热器,进行余热回收利用。家用燃气炉可以使用电力,可根据天然气和电力的价格对比选择使用^[22]。

SOFC 技术正在从实验室研制和小规模验证阶段向具备系统额定参数的实用设计及应用阶段转变。因而,示范性的工程屈指可数。

位于荷兰阿纳姆市的由西门子公司提供的 100 kW 级 SOFC 热电联供装置,于 1997 年 12 月开始运行,为电网提供 109 kW 的电力,为该地区供热系统提供 63 kW 的热力,该系统已经运行超过 1.6 万 h,发电效率为 46%,热电综合效率约为 80%^[23]。

在美国能源部资助下,美国卡内基梅隆大学完成了匹兹堡市 CNG 大厦能源系统改造方案^[24-25]。该大厦建筑面积 57 900 m²,为 32 层办公楼,可容纳约 3 000 人办公,1987 年建成。原有空调冷热源为 2 台 2 640 kW 离心机和 2 台 2 450 kW 燃气锅炉。采用燃料电池热电联产系统改造原有系统。考虑了 3 种改造方案:满足大楼高峰用电,余热用来驱动溴化锂吸收式制冷机,燃料电池容量 2 700 kW;满足大楼平均用电负荷,燃料电池容量 1 500 kW;满足大楼基本用电负荷,燃料电池容量 600 kW,使用燃料电池可以使该办公楼年节约一次能 20% 以上。

美国卡内基梅隆大学建筑性能与诊断中心将在校园内建一座示范教学办公楼,其热电发生系统是 250 kW 固体氧化物燃料电池,其主要特性参数为:净直流发电量(总发电量扣除燃料电池电力系统用电量)226 kW,净低热值发电效率 46%,燃料流量 45.4 kg/h,空气流量 0.73 kg/s,废气排量 2 340 kg/h,废气温度 755 °C,进气温度 500~550 °C,废气余热回收热量 150 kW^[25]。

在我国,还没有燃料电池建筑冷热电联供的示范性工程,清华大学的超低能耗示范楼^[26]拟采用固体燃料电池及内燃机热电联供系统(燃料为天然气),CHP 系统总的热能利用效率可达到 85%,其

中发电效率 43%。基本供电由内燃机或者氢燃料电池供应,尖峰电负荷由电网补充。发电后的余热冬季用于供热,夏季则当作低温热源驱动液体除湿新风机组,用于溶液的再生。目前,这一系统的燃料电池还没有到位,预计 2008 年安装到位。

4 燃料电池多联供系统的研究和发展方向

人们对燃料电池进行了深入细致的研究和开发,主要是从材料和电化学的角度进行研究,而在应用技术领域内特别是燃料电池的电能和热能的综合利用方面研究得较少,即在电池本体研究和应用技术领域出现了明显的脱节。随着燃料电池商业化进程的加快,需要在系统层次上对燃料电池多联供技术进行全面的研究。

综合国内外燃料电池多联供系统的研究工作可以看出,从燃料电池系统的概念性过程设计到操作等仅仅在某些制造厂家^[27-28]的报告中提到,其中涉及商业机密,公开的文献较少。在我国,还没有公开的文献报道燃料电池建筑物联供技术的研究进展,或者这些研究正在进行,但是尚未公开。从国内外的应用实例亦可以看出,没有公开的文献给出详细的应用实例的研究,缺少实际系统的操作信息、缺少系统实际数据和对系统的性能评价等。因此,燃料电池建筑物多联供技术的理论研究工作是非常必要的,可以为实际工程应用提供指导,是燃料电池分布式能量系统工程化和产业化的必由之路。

燃料电池建筑物多联供技术需要研究的问题的关键在于开发用于系统层次的设计方法,以达到最佳的系统效率。具体的研究包括从需求侧的角度进行系统过程设计、操作策略的分析、集成储能设备(热、电)的系统性能研究、集成区域调节新技术(例如热泵等)的长期的系统性能研究、部分负荷下系统性能的研究、整个系统动态性能的研究等。笔者从不同的角度对这些需要解决的问题进行总结,提出以下研究方向。

4.1 概念性设计问题

例如如何设计燃料电池建筑物联供系统,系统的操作点(即设计操作电压、燃料利用率、操作温度)如何确定,影响系统操作点的因素及其影响程度如何等问题。通过这个方向的研究可以开发出小规模建筑燃料电池系统过程设计的指导性设计方法,给出适合小规模燃料电池系统设计的全面的

操作参数,并对各个操作参数对系统的影响程度进行分析。

4.2 联供系统操作策略问题

例如燃料电池建筑物联供系统如何满足分布式能量系统(热、电)的需求,应该采用怎样的系统操作策略(是基本负荷操作或者跟随电力、热需求负荷运行),用什么储能系统来解决峰值负荷等问题。通过这个方向的研究可以开发出根据建筑物能耗需求的特性,将储能方法用于小规模建筑燃料电池系统中的指导性的设计方法。

4.3 系统的动态性能和效率问题

例如燃料电池电堆的动态特性及这种动态性能对燃料电池系统的设计和应用产生何种影响,燃料电池建筑物联供系统的部分负荷效率如何等问题。通过这个方向的研究可以了解系统的动态性能,得出整个系统的全年性能特性和系统效率。

4.4 系统优势问题

例如燃料电池建筑物联供系统与传统系统相比较的优势,这当中涉及到系统的评价问题,因为燃料电池联供系统是一种新型系统,所以除了应用传统联供系统评价指标之外还需要考虑其系统中新的特性,构建新的评价指标。例如,针对部分负荷优势、动态反应迅速优势等给出一个恰当有效的模型,这也是评价燃料电池建筑物多联供系统与传统发电的一种有效的方法。

4.5 控制方向问题

即合理的系统控制策略和控制方法的问题。随着燃料电池系统实用化进程的加快,需要保证系统运行过程中的可靠性和高效性,这就对系统控制提出了要求,保持电堆电压输出的稳定和良好的性能,维持正常安全的运行环境,提高系统运行寿命和质量。

为了解决以上问题,必须建立能准确预测 SOFC 电堆、重整器、系统其他组件性能的模型,用来指导研究燃料电池联供系统的概念性设计、操作和控制等关键问题。

5 结语

燃料电池技术的日趋成熟,不但为能源利用率的提高、污染物排放量的减少提供了契机,而且因为其模块化的特性,使其具有能广泛应用于能量末端用户中的潜力。综合来看,冷热电联供在发达国家已经成为一个新兴的产业。发达国家在入网许

可、电网接入标准、污染排放标准、投资和税收优惠等方面制定了各项措施,促进其发展,而本文从技术的角度将两种处于优势地位的燃料电池在建筑物中的应用进行了对比分析,综述了燃料电池建筑物多联供技术的研究和应用现状,并且指出了燃料电池建筑物多联供技术的研究方向,可供相关人员参考。

参考文献:

- [1] 熊震利. 热电冷三联产系统的节能研究[D]. 武汉:华中科技大学,2004
- [2] 毛晓峰. 以 CH_4 - H_2O - H_2 - CO 为燃料的固体氧化物燃料电池发电性能研究[D]. 大连:大连理工大学,2004
- [3] 蔡惠红. 燃料电池模型及其发电系统的研究[D]. 成都:四川大学,2003
- [4] US Department of Energy Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory. Fuel cell handbook [M]. 7th ed. Morgantown, West Virginia: EG&G Technical Services Inc, 2004
- [5] Braun R J, Klein S A, Reindl D T. Review of state-of-the-art fuel cell technologies for distributed generation[R]. Report 193-2 prepared for the Energy Center of Wisconsin, 2000
- [6] 隋静,黄红良,陈红幽. 我国燃料电池的研究现状[J]. 电源技术,2004,28(2):125-128
- [7] 管从胜,杜爱玲,杨玉国. 高能化学电源[M]. 北京:化学工业出版社,2005
- [8] Bessette N, Wepfer W. Prediction of on-design and off-design performance for a solid oxide fuel cell power module[J]. Energy Convers Mgmt, 1996, 37(3): 281-293
- [9] 魏丽,陈涌英,王琴. 中温固体氧化物燃料电池电解质材料的研究进展[J]. 稀有金属,2003, 27(2):286-292
- [10] Selimovic A. On-design and off-design performance prediction of a planar SOFC[C]// Proceedings of the 4th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 2000:375-382
- [11] US-DOE, Office of Fossil Energy. Fuel cell handbook [M]. Morgantown: FETC, 1998
- [12] Kordesch K, Simader G. Fuel cells and their applications [M]. New York: NY, 1996
- [13] Oyarzabal B, Ellis M W, von Spakovsky M R. Development of thermodynamic, geometric, and economic models for use in the optimal synthesis/design of a PEM fuel cell cogeneration system for multi-unit residential applications [J]. Journal of Energy Resources Technology, 2004, 126(3):21-29
- [14] Oyarzabal B, Ellis M W, von Spakovsky M R. Optimal synthesis/design of a PEM fuel cell cogeneration system for multi-unit residential applications—application of a decomposition strategy [J]. Journal of Energy Resources Technology, 2004, 126(3):30-39
- [15] Bos P B. Commercializing fuel cells: managing risks [J]. Journal of Power Sources, 1996, 61: 21-31
- [16] Krist K, Gleason K J. SOFC-based residential cogeneration systems [J]. Electrochemical Society Proceedings, 1999, 99(19): 107-115
- [17] Sammes N M, Boersma R. Small-scale fuel cell for residential applications [J]. Journal of Power Sources, 2000, 86(1/2):98-110
- [18] Silveira J, Leal E M, Ragonha L F. Analysis of a molten carbonate fuel cell: cogeneration to produce electricity and cold water[J]. Energy, 2001, 26(10): 891-904
- [19] Weber C, Marechal F, Favrat D, et al. Optimization of an SOFC-based decentralized polygeneration system for providing energy services in an office-building in Tokyo[J]. Applied Thermal Engineering, 2006, 26(13): 1409-1419
- [20] 陈彬剑,方肇洪. 燃料电池技术的发展现状[J]. 节能与环保, 2004(8):36-40
- [21] Gigliucci G, Petrucci L, Cerellic E, et al. Demonstration of a residential CHP system based on PEM fuel cells[J]. Journal of Power Sources, 2004, 131(1):62-68
- [22] 于泽庭,韩吉田. 燃料电池在家庭中的应用[J]. 节能与环保, 2004(9):14-16
- [23] 国际电力编辑部. 燃料电池发电系统及其示范工程[J]. 国际电力, 2001(4):23-26
- [24] 兰丽,尹应德,顾登峰. 燃料电池与冷热电联产系统[J]. 制冷与空调, 2005(3):58-63
- [25] V 哈特科普夫,潘毅群,吴刚,等. 固体氧化物燃料电池在建筑冷热电联产中的应用[J]. 暖通空调, 2003, 33(1):47-53
- [26] 江亿,薛志峰,曾剑龙,等. 清华大学超低能耗示范楼[J]. 暖通空调, 2004, 34(6):64-66
- [27] Bolden R, Foeger K, Pham T. Towards the development of a 25kW planar SOFC system [C]// Proc of 6th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells(SOFC-VD). Honolulu, the Electrochemical Society, 1999:80-87
- [28] Pastula M. Development of low temperature SOFC systems for remote power applications [C]// Proc of 4th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells, Lucerne, Switzerland, 2000:123-132