

# 关于燃料电池在建筑领域发展的相关研究

毕文心<sup>1</sup>，苑翔<sup>1</sup>，赵飞<sup>1</sup>，孙鹏程<sup>2</sup>

(1.北方工业大学，北京100144；2.中国建筑股份有限公司技术中心，北京100029)

**摘要：**燃料电池分布式多联供技术是一种环保节能高效的新技术，在国外已有较为成熟的发展与运用，而国内的相关研究则起步较晚。通过重点论述燃料电池在国外的发展现状及研究背景，进一步探究这一技术的市场发展前景。结合国外应用可知，现阶段基于燃料电池的热电联产技术已基本成熟，在发电效率提升、能源利用等方面效果良好，但受到技术因素以及经济因素的影响还未能实现大规模普及。结合实际情况讨论了燃料电池技术在我国建筑领域的发展困境及解决方案。

## 引言

据报道，截至2016年，我国建筑能耗已经占到社会总能耗的33%，其中，建筑运行能耗主要来源于用户的热电需求。目前，国际上常利用节能技术、能源转换、新能源应用等方法达到节能减排的目的。基于燃料电池的热电联产系统（FC-CHP）是一种同时满足3种方案的节能技术，它的主要燃料为氢气。氢能是一种绿色二次能源，来源丰富，热值大，而燃料电池是氢能理想的转换设备，其产物只有水和少量的二氧化碳，十分清洁。燃料电池技术不仅可用于工业领域，它与微型热电联产系统相结合（m-CHP）用于住宅或小型商业建筑也将有效避免传统集中式供能带来的弊端，具有强大的市场发展潜力。

## 1 燃料电池冷热电联供技术

### 1.1 燃料电池

燃料电池是一种主要透过氧或其他氧化剂进行氧化还原反应，把燃料中的化学能转换成电能的发电装置。作为第4代发电技术，它的优点十分突出，无污染、高效率、适用广、可以连续输出且模块性强，被认为是21世纪最有发展前景的高效清洁发电技术。

燃料电池原理最早由英国物理学家William Grove于1839年提出<sup>[1]</sup>

，燃料电池的真正启用是在20世纪60年代的美国航天领域，而后逐渐从这一特殊领域转向实用化阶段，结合目前国外研究，燃料电池技术在便携式发电、航空航海、工业电站、汽车发电及建筑领域等方面均体现出巨大的市场应用潜力，随着燃料电池相关技术的不断升级，以及氢能利用系统的完善，势必得到市场的青睐，进一步改变人们的生活。目前，燃料电池按电解质的不同主要分为以下5类，即质子交换膜燃料电池（PEMFC）、磷酸燃料电池(PAFC)、碱性燃料电池（AFC）、熔融碳酸盐燃料电池（MCFC）以及固体氧化物燃料电池（SOFC）。

其中，PEMFC由于其功率密度高、启停能力好、工作温度低等优势成为目前的发展主流。而SOFC则是燃料电池未来主要的发展方向之一，主要源于其更高的发电效率，结构简单、稳定性高、模块性强、不需要贵金属催化且燃料来源更广泛。但目前SOFC面临的技术难度则更大，如工作温度高，对材料要求更多，影响产品的使用寿命且初期投资成本高<sup>[2]</sup>。

### 1.2 燃料电池技术在冷热电联产系统的应用

燃料电池在缓解化石燃料造成的能源危机中效果明显，基于燃料电池的冷热电联产（FC-CHP）技术可以最大限度发挥能源利用价值，目前，国内外也将这一领域的研究视为重点。不同种类的燃料电池应用也不同，国外主要用于大型公共项目、大学校区及工厂用电等领域。

### 1.3 FC-CHP主要研究方向

燃料  
电池冷热  
电联供系统共包含4

个系统：燃料处理子系统、燃料电池系统、电力电子子系统、余热回收子系统<sup>[3]</sup>

。目前，国内外进行这一领域的技术研究并不只局限于燃料电池本身，主要从以下4个方面考虑：

(1) 系统集成研究，比如对于固体氧化物燃料，它的燃料来源丰富，如气体(例如氢气、合成气和生物气)、液体(例如甲醇、乙醇和甘油)和固体(碳和木质素)，当SOFC用于实现热电联产，学者基于不同的可再生能源燃料可以进行系统集成研究，如SOFC-生物质混合系统、SOFC-风力混合系统、SOFC-太阳能混合系统等<sup>[4]</sup>。(2) 热力性能研究，研究内容主要以系统循环为切入点，针对各种能源利用指标进行的技术改良；(3) 系统评价，主要包括经济评价和环境评价，凸显了FC-CHP的研究意义和研究价值；(4) 系统优化，优化的目标主要还是围绕系统热力性能以及经济性2方面展开<sup>[5]</sup>。

## 2 国外发展情况

截至2015年，日本安装的住宅微型热电联产系统的累计数量远超其他国家，并且投产早于韩国欧洲，欧洲的燃料电池数量几乎由德国所主导，目前，在这些项目和产品中PEMFC的联供系统则远多于SOFC<sup>[6]</sup>，但有报道称，到2025年，SOFC全球市场份额将以30%的年复合增长率增至14.2亿美元，这体现了SOFC良好的商业前景<sup>[7]</sup>。

### 2.1 日本

日本在燃料电池领域处于世界领先水平，作为国土面积有限，能源匮乏，常年面临地震威胁的国家，兴办大型集中式供电厂，因此，发展替代能源，围绕家用领域开展对燃料电池的应用研究成为能源改革的切入点。

日本1990年启动了CHP研究开发与示范项目，开发了基于天然气为燃料的1kW质子交换膜燃料电池热电联产系统，为住宅提供热能和动力。这些CHP系统与燃料处理器集成，燃料处理器可以供应天然气、液化石油气(LPG)或煤油，此外，该设备可以提供最高温度为60℃的热水。

Ene-Farm是日本于1990年开始组织开展的燃料电池研究和发展项目，如今已成为全世界最成功的燃料电池联供系统应用项目。普及型PEFC产品于2002年由三洋电机公司所研发，该设备由电池本身及蓄热槽2部分构成，它以城市煤气为燃料，具有成本低、体积小、耐久性好的优点，可满足日本居民热电需求。2004年，松下等公司也相继研发出自己的燃料电池产品，由于技术成型，2005年燃料电池第一次进入日本家庭，Ene-Farm的发展目标分为3步，首先在2005年完成了50个热电联产系统在私人住宅的安装使用，随即在全国范围开始进一步商业化发展，2009年建成3000台基于PEMFC的联供系统，截至2010年，Ene-Farm的累计出口产品数达到了13500台。

2011年，由于地震，核电站和火力发电厂严重受损，造成了严重的电力供应短缺，这促使政府维持对天然气供应的热电联产系统的补贴。据报道，2012年，日本向所有与氢气和燃料电池相关的研发项目提供了超过40亿美元的国家补贴。在政府补贴的帮助下，到2012年底，安装了25000多套热电联产装置，到2014年底，热电联产装置的年销量为53000套，累计销量为138000套。日本政府的长期目标是到2030年安装530万台燃料电池<sup>[8-9]</sup>。

### 2.2 美国

美国是燃料电池技术以及热电联产技术的最大市场之一，目前，主要运用于工业及商业建筑领域。截至2012年，13%的美国热电联产系统用于商业建筑和机构。2010年，美国已经达到超过82GW热电联产的装机容量，相当于美国当前发电能力的8%，超过每年发电总功率的12%<sup>[10]</sup>。

虽然美国现有的87%热电联产技术应用在工业领域，但热电联产技术日后也会在学校、医院、地区能源系统以及军事设施等领域得到良好的发展。Clear Edge Power已经销售了5kW的住宅规模的FC-CHP系统，主要销往加州市场，加州政府为其提供补贴以帮助抵消该系统的成本。

### 2.3 德国

欧洲占世界安装热电联产容量的11%。Ene-field方案(与日本方案Ene-Farm相呼应)是2013年启动的欧洲范围的m-CHP

计划，其目标是到2017年在欧洲联盟12个成员国安装大约1000个燃料电池m-CHP系统，预计费用为6950万美元<sup>[11]</sup>。

德国在2006年出台了氢及燃料电池国家创新项目（NIP），NIP是德国政治、工业和科学的战略联盟，其目标是确保氢气和燃料电池技术研发的继续，同时解决市场化应用的问题，政府为初始产品提供必要的支持。德国联邦交通、建筑和城市事务部，经济技术部，教育研究部，环境、自然保护和核安全部在2007~2016年期间共同出资14亿欧元支持NIP项目。2017年，德国联邦运输和数字基础设施部（BMVI）在国家氢能和燃料电池技术创新计划（NIP）的框架内为推进燃料电池在火车和船上的使用提供资金，BMVI拨款2.91亿美元，到2019年，以支持氢气和燃料电池技术在各个领域的研发。此外，德国联邦经济和能源部BMWi还扩大了资金来源。通过由国有开发银行运营的“节能建筑和修复-燃料电池补贴”计划对燃料电池供暖系统进行改造。最初仅限于业主，现在中小企业、承包商和市政部门均可以申请住宅和非住宅建筑的资金。所用的固体燃料电池加热系统的输出功率等级为0.25~5.0kW，每个系统可获得政府补贴<sup>[12]</sup>。

## 2.4新加坡

新加坡一直面临资源匮乏的问题，能源供应依赖进口现象严重。经济和环境的可持续发展是社会发展的先决条件，因此，政府对节能环保非常重视，成立多个与环保相关的政府部门，同时，大力发展氢能技术应用，燃料电池作为氢能应用的关键技术也得到了发展。新加坡南洋理工大学（NTU）的燃料电池研究小组于2001年成立，以建立和发展燃料电池技术的核心能力，并通过合作研究和开发向工业界提供技术指导。该小组主要关注质子交换膜燃料电池（PEMFC）、固体氧化物燃料电池（SOFC）和氢相关技术，在处理各种容量的电池和各种应用方面具有经验，包括为便携式电子设备提供动力的微型燃料电池，备用发电机和运输应用，以及兆瓦级电力和热力发电系统的技术经济评估。2014年，NTU宣布了该地区首个可再生能源集成示范微电网，该微电网测试了使用电解槽以氢或氢基燃料形式储存可再生能源的燃气发电技术<sup>[13]</sup>。

## 3我国研究进展及应用

我国正面临着能源短缺和环境退化的双重威胁。2017年，我国石油进口达4.2亿吨，从海外进口占72.3%，为了改变能源结构，缓解能源短缺，我国急需发展新能源技术<sup>[14]</sup>。

我国对燃料电池的研究因航天工业的需要始于1970年，后因国家战略的调整基本停止。“九五”以来，在政府部门的资助下，多所大学和研究机构将燃料电池技术的研究推向新的热潮，我国目前市场应用主要体现在运输动力上，建筑领域应用FC-CHP系统的相关研究也在进行<sup>[15]</sup>。在“十二五”期间，华中科技大学实现了国内首台5kW级SOFC独立发电系统的集成与初始运行<sup>[16]</sup>。

我国学者在清华大学超低能耗示范楼项目中采用了SOFC燃料电池技术与市电互补作为能源系统中主要供电方式。其发电效率为43%，能源利用率可以达到85%。燃料电池的输出功率为100kW，基本可以满足70%负荷用电；通过回收装置吸收的热能，可以实现冬夏冷热需求<sup>[17]</sup>。

。景锐<sup>[18]</sup>等研究了燃料电池用于公共建筑的可行性，结果表明在碳减排以及运行成本方面均有较好表现，但标准化发电成本高于其他技术，但考虑热回收供能可以降低建筑用能成本，FC-CHP技术整体具有较高的市场发展潜力。从经济角度出发，燃料电池市场化难以推行，目前主要问题是初投资较高，经济性较差，经敏感度分析，当成本降低到现在的50%时，具有较好的投资吸引力。

## 4结语

FC-CHP技术是具有实际发展潜力与发展意义的，但该技术现阶段经济性较差，难以获得市场的认同，从国外的发展经验可以认识到，要实现商业化发展，政府的投资、公共部门与私营公司的参与，以及国际间的合作都是十分重要的。

除了上述因素外，也需要不断通过技术优化来提高燃料电池的市场竞争力，目前国内燃料电池热电联产系统的研究相较于国外还不够成熟，可用数据很少，可以根据来自实际测量数据进行的建模十分有限，只有当燃料电池市场进一步发展，拥有更多FC-CHP样本时，来自这些系统安装监测的经验和数据将使得实验模型更加完善，从而推动相关研究。现阶段，相关学者可以对国内用能需求进行调研，明确燃料电池的市场运用价值，这有利于确立FC-CHP的发展方向，从而加快我国在这一领域的应用与发展。

## 参考文献

- [1] Tilak B V, Yeo R S, Srinivasan S. Electrochemical Energy Conversion—Principles[J]. Comprehensive Treatise of Electrochemistry, 1981.
- [2] 赵玺灵, 张兴梅, 段常贵, 等. 燃料电池分布式冷热电联供技术的研究及应用[J]. 暖通空调, 2007 (9): 74-78.
- [3] 陈曦. 基于燃料电池的微型冷热电联供系统集成分析和多目标优化研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2017.
- [4] 陈曦, 肖种, 荣军, 等. 基于燃料电池的建筑冷热电联供系统研究现状和趋势[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2017, 30(2): 81-85.
- [5] Lu Y, Cai Y, Souamy L, et al. Solid oxide fuel cell technology for sustainable development in China: An over-view[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2018.
- [6] Dodds P E, Staffell I, Hawkes A D, et al. Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2015, 40(5): 2065-2083.
- [7] 贾磊. 全球固体氧化物燃料电池发展报告[J]. 无机盐工业, 2018, 50(8): 15.
- [8] 刘兰兰. 日本家用燃料电池技术进展[J]. 电源技术, 2015, 39(6): 1337-1339.
- [9] Elmer T, Worall M, Wu S, et al. Fuel cell technology for domestic built environment applications: State of-the-art review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 42: 913-931.
- [10] Maru H C, Singhal S C, Stone C, et al. 1-10 kW Stationary Combined Heat and Power Systems Status and Technical Potential: Independent Review[J]. 2010.
- [11] Ellamla H R, Staffell I, Bujlo P, et al. Current status of fuel cell based combined heat and power systems for residential sector[J]. Journal of Power Sources, 2015, 293: 312-328.
- [12] 伊文婧, 梁琦, 裴庆冰. 氢能促进我国能源系统清洁低碳转型的应用及进展[J]. 环境保护, 2018, 46(2): 30-34.
- [13] Chan S H, Stempien J P, Ding O L, et al. Fuel cell and hydrogen technologies research, development and demonstration activities in Singapore—An update[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2016, 41(32): 13869-13878.
- [14] 田春荣. 2017年中国石油进出口状况分析[J]. 国际石油经济, 2018, 26(3): 10-20.
- [15] 仙存妮. 《燃料电池产业发展研究报告》发布[J]. 电器工业, 2018(10): 64-66.
- [16] 王雅, 王傲. 中高温固体氧化物燃料电池发电系统发展现状及展望[J]. 船电技术, 2018, 38(7): 1-5.
- [17] 武毅, 孙熙琳. 清华大学超低能耗示范楼的能源系统及智能化系统[J]. 低压电器, 2005(5): 16-21.
- [18] 景锐, 赵英汝. 燃料电池热电联产技术应用于公共建筑的可行性[J]. 暖通空调, 2017, 47(4): 29-35.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/151039.html>