

电解制氢与高温燃料电池在电力行业的应用与发展

许世森, 张瑞云, 程健, 王洪建, 卢成壮

(煤基清洁能源国家重点实验室(中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司), 北京市昌平区102209)

摘要: 制氢和燃料电池技术是实现氢能和电能相互转换的关键技术, 我国将氢能和燃料电池列为战略性能源技术, 大型的能源电力企业也正在推动氢能和燃料电池技术的应用和发展。电解制氢能够将不稳定的可再生能源转化为氢能, 实现大规模、季节性储能, 在一定的范围内具有经济效益, 是解决我国当前可再生能源消纳的途径之一。碱性电解水制氢是目前最成熟的电解制氢技术, 发展的主要方向是降低制氢能耗、提高单台出力以及负荷深度调节。高温燃料电池具有小型高效、近零排放的突出优点, 在冷热电三联供分布式发电和固定式发电领域具有广阔的应用前景, 国外已初步实现高温燃料电池的商业化应用, 国内的高温燃料电池市场需求也已显现, 我国已掌握高温燃料电池发电的核心技术, 具备应用示范推广的技术基础。

引言

氢能是一种清洁、高效的二次能源, 可与电能形成互补, 在未来智慧能源体系中将是连接可再生能源和传统能源的纽带。制氢与燃料电池是实现氢能与电能相互转换的关键技术[1-3], 是实现能源产业发展的关键环节, 在交通、分布式发电、石油化工医药等领域有广泛的应用前景[4-5], 预计到2050年, 全球氢能市场规模约8.25万亿人民币, 全球20%的CO₂减排要靠氢气来完成, 终端能源的18%由氢能承担[6]。

目前, 世界主要发达国家都对制氢和燃料电池研发给予了很大重视。美国、欧洲、日本等国家和地区都颁布了氢能相关的能源政策[7-9], 美国发布了《全方位的能源战略》, 氢能和燃料电池位列其中。欧盟制订了《2020气候和能源一揽子计划》、《2030气候和能源框架》、《2050低碳经济》将氢能和燃料电池作为影响未来能源系统变革的技术。而日本政府提出“日本将成为全球第一个实现氢能社会的国家”, 制定了日本《氢能/燃料电池战略发展路线图》, 在《日本复兴战略》《能源战略计划》中布局氢能。日本通过进口最清洁的氢能源, 进一步实现能源的清洁化, 同时也可以将可再生能源转化为氢能, 实现可再生能源的高效利用。与此同时, 电能和氢能作为清洁的二次能源, 能够形成互补满足二次能源的供应, 可构建以氢和电为主的一种清洁能源供给系统[10]。

我国《能源技术革命创新行动计划(2016—2030)》、《国家能源技术创新“十三五”规划》、《国家创新驱动发展战略纲要》、《战略性新兴产业》等重要的规划中都将氢能与燃料电池列为战略性能源技术。当前我国是世界第一产氢大国, 2015年全球占比34%, 具有丰富的氢源基础; 预计到2050年, 氢在我国终端能源体系占比至少达10%[11], 成为我国能源战略的重要组成部分。2018年2月, 国资委主任肖亚庆、国家工信部部长苗圩、国家科技部部长万钢等牵头, 联合国内知名企业和专家在北京成立“中国氢能源及燃料电池产业创新战略联盟”, 大力推进氢能和燃料电池在我国的发展。

煤炭在我国能源结构中的基础地位在相当长时期内不会改变, 现有煤电技术面临着提高效率难、近零排放难、减排CO₂难的瓶颈。整体煤气化燃料电池发电技术(integrated gasification fuel cell, IGFC)能够突破这三大瓶颈。我国可再生能源加速发展, 预计到2040年非水可再生能源占比达18%[12]。风能、太阳能的大规模、长周期消纳面临巨大挑战。可再生能源制氢(power to gas, PtG)能提高可再生能源渗透率。2017年, 我国石油进口量占比72.3%, 氢燃料电池汽车以其高性能和快充便利性, 能够补充动力电池汽车缺陷以降低交通运输行业对石油的依赖。中国氢能燃料电池产业的兴起, 能够提高我国的能源安全保障, 并且能够推动全球氢能燃料电池研发及产业的发展。

制氢技术主要包括化石能源制氢和可再生能源制氢[13]。可再生能源发展迅速, 在我国西部出现了弃风弃光弃水的问题, 通过可再生电力电解制氢, 不仅能够解决可再生能源消纳的问题, 还可以制取真正零碳的高纯氢。光电制氢、固体氧化物电解制氢、固体聚合物电解制氢等技术都在不断发展, 而目前能够实现大规模应用的是碱性电解制氢。

在燃料电池技术发展方面, 主要包括3种燃料电池, 分别是质子交换膜燃料电池(proton exchange membrane fuel cell, PEMFC)、固体氧化物燃料电池(solid oxide fuel cell, SOFC)以及熔融碳酸盐燃料电池(molten carbonate fuel cell, MCFC)[14]。PEMFC是一种低温燃料电池, 运行温度在60~90℃, 主要作为移动电源、交通电源等。SOFC和MCFC都是高温燃料电池, 工作温度在600℃以上, 主要应用于分布式发电、固定式发电等领域。

电解制氢与高温燃料电池是实现氢能与电能互相转换的关键技术, 本文将重点叙述电解制氢和高温燃料电池的主要研发进展, 特别是在电力领域内的应用现状与技术发展。

1 电解制氢技术

电解制氢是由电能提供动力，将水分解为氢和氧的化学过程，是燃料电池发电的逆过程。目前，许多火力发电厂配备了小型的电解制氢设备用于氢冷发电机的氢气补给[15]。由于电解制氢尚未大规模应用到电力市场，电解制氢设备的容量仍比较小，单台电解制氢设备的制氢量最大约为5

00m³/h，电力市场对电解制氢设备的大型化需求突出。电解制氢能耗仍比较高，目前制氢能耗约为5kW·h/m³ H₂，能耗的降低仍是技术发展的重要任务[16]。

在制氢成本方面，如表1所示，天然气制氢成本是0.8~1.5元/m³ H₂（标准状态），甲醇制氢成本在1.8~2.5元/m³ H₂，煤气化制氢仍是比较便宜的0.6~1.2元/m³

H₂。传统的电解制氢成本关键取决于电价，例如0.35元/（kW·h）的火电电价，按照5kW·h/m³

H₂，电费成本需要1.5~1.6元，在加上设备成本，制氢的总成本在3~4元/m³

H₂，为满足市场的实际需要，电解制氢在成本上仍有很大的挑战。

表 1 制氢成本对比

Tab. 1 Hydrogen production cost comparison

制氢方法	成本/(元/m ³ H ₂)
天然气重整	0.8~1.5
甲醇重整	1.8~2.5
煤气化	0.6~1.2
传统电解水	3.0~4.0

电解制氢技术主要有3类：碱性电解水制氢、固体聚合物电解水制氢以及固体氧化物电解水制氢。固体氧化物电解池采用固体氧化物作为电解质，工作温度一般在600~800℃，其优点是具有较高的制氢效率，并且无需采用贵金属作为催化剂，但固体氧化物电解池的成本仍然较高，仍处于应用示范阶段。固体聚合物电解池制氢采用固体聚合物膜作为电解质，工作温度在60~90℃，具有启动灵活、制氢纯度高等优点，可以达到MW级以上的电解规模，已经进入商业化的导入阶段。固体聚合物电解水技术的成本仍然较高，如表2所示，1.5~4.7万元/kW，主要原因是固体聚合物电解水制氢的催化剂成本比较高。碱性电解水制氢采用高浓度的氢氧化钠或氢氧化钾溶液作为电解液，工作温度为60~80℃，是当前发展最为成熟的电解水制氢技术，至少在3至5年之内，碱性电解制氢仍是主流。碱性制氢发展的主要方向是降低制氢能耗、提高单台的出力，目前正

在开发每小时500~1000m³

的制氢设备。此外，还有负荷调节灵活性，目前碱性电解水制氢的功率调节范围通常在50%~100%，而如果直接在风电厂制氢，需要更高的负荷调节能力[17-18]，这也是我国目前电解制氢技术发展面临的巨大挑战。

表 2 碱性电解制氢与固体聚合物电解制氢对比

Tab. 2 Comparison between alkaline electrolysis and solid polymer electrolysis

技术	能耗/ (kW·h/m ³)	投资成本/ (万元/kW)	特点
碱性电解制氢	4.5~6.0	0.2~0.4	单台制氢能力 较大、成本低
固体聚合物 电解制氢	4.5~6.0	1.5~4.7	耐频率波动 性能好、占地小

国际上，英国、荷兰、法国、日本等都在发展电解制氢技术，并进行可再生能源制氢的应用示范[19-21]。英国ITM公司利用太阳能和风能进行电解制氢，供加氢站使用。荷兰壳牌则计划与英国ITM合作在德国两座炼油厂安装工业规模（10MW）的电解水制氢装置，利用低成本、可再生电能的电解槽实现制造高品质、零碳排放的氢气，同时也有利于提高电网稳定性。法国实施的“朱庇特1000”电转气项目，旨在利用风能和太阳能富余电力制氢，将氢气或重整甲烷注入城市供气网络。日本在横滨示范了风电制氢项目，供氢燃料电池汽车使用。

目前，国内电解制氢产业已经开始形成了一种蓬勃发展的态势，国内能源电力企业也在积极参与电解制氢技术开发和示范。中国华能集团在河北张家口开展了风电制氢及加氢站项目，将来为北京冬奥会燃料电池大巴车供给氢气。中国三峡集团利用水电电解制氢，研发制氢、储氢、加氢等装备。中国节能集团正在进行风电制氢及燃料电池发电项目，制氢功率达到100kW。国家电网公司也在示范基于电解制氢的氢储能关键技术及应用研究。当前可再生能源局部过剩，利用弃风弃光弃水的电能电解制氢，把电变成氢气，将氢气注入天然气输送管道，通过天然气管道进行调节和运输，可以实现大规模季节性的电能调节，是解决季节性储能的一种有效途径。

中国华能集团清洁能源技术研究院（简称华能清能院）（China Huaneng group clean energy research institute, HNCERI）也在积极推动电解制氢技术的发展。华能清能院已经将碱性电解制氢的电耗从 $5\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ H_2 降到 $4.3\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ H_2

，如图1所示，新型电解槽在电流5000A时的小室电压约为1.81V，该新型电极已经实现工业化，正在与国内最大的电解槽公司合作开发新一代电极，进一步降低能耗，预计降到 $4.1\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ H_2

，实现科技部2022年氢能和燃料电池重点研发计划的目标。除了电极材料的开发、能耗的降低以外，华能清能院与壳牌石油合作研究负荷调节能力更大的制氢设备，在20%~120%电力的波动情况下，能够稳定产出氢气。

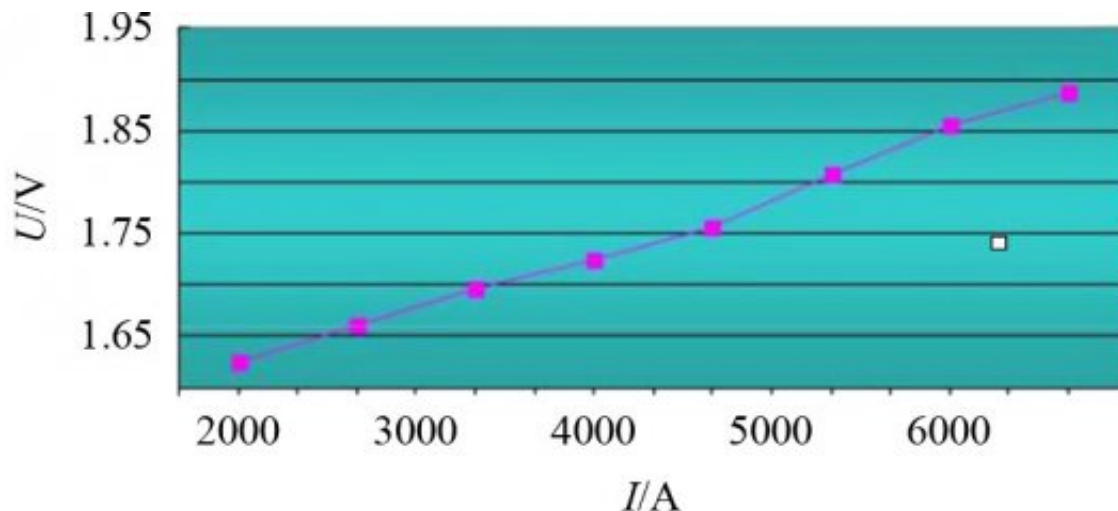


图1 华能清能院开发的新型电极性能

Fig. 1 New electrode performance developed by HNCERI

在氢储能和火电调峰制氢经济性方面,华能清能院也研究了多种技术解决方案,针对新疆、甘肃、云南水电、四川水电、煤电的制氢经济性分析研究表明,在一定的范围内是有经济效益的。当前,市场可以接受的氢气售价在1.4~1.5元/m³

。由于很多城市对燃料电池汽车有补贴,燃料电池汽车对氢气价格的承受能力较高,2.5元/m³

以上的氢气价格是有可能承受的。当氢气的价格在1.4~1.5元/m³

,煤化工或者石油天然气化工可与制氢结合,提高产能的同时降低碳排放,是大规模氢气消纳的一条途径。利用弃风弃光弃水的低成本电能,

同时降低电解槽的能耗,近期电解制氢的价格可能控制在1.5元/m³

以下,但是也要和当地氢气的消纳结合,与当地化工厂的数量、城市发展燃料电池汽车的规划密切相关。

2高温燃料电池技术

高温燃料电池主要是用在分布式发电和固定式发电,最突出的特点是小型高效、近零排放。当前,火力发电遇到效率提升的瓶颈,百万千瓦超超临界的净发电效率为45%~46%,难以突破50%,而对于燃气轮机联合循环,需要大容量的F级燃机才能达到高效率。但是,目前电力市场出现电力过剩,市场对大型电厂的需求降低,对能量需求的类型也从单一的电能逐步发展成为热电联供,甚至是冷热电三联供,以提高能源利用的综合效率,目前热电联供的效率在70%~80%。但是高温燃料电池可以实现小型高效,在百千瓦到兆瓦级的小容量时,发电效率可以高达50%~65%,能够作为分布式电源布置在用户附近,实现80%~90%的热电联供效率[22]。

在我国尤其是江浙一带经济比较发达的地区,对分布式供能系统已经有了新的需求。新的园区需求是实现供电、供热、供冷的综合能源系统,也是未来发电企业智慧电厂、智慧能源供给系统的重要组成部分。如表3所示,目前可用的分布式

发电主要是天然气内燃

机,具有价格便宜、运行灵活的优点,但是天

然气内燃机噪声大、NO_x

排放较高、发电效率较低,达不到用户对清洁高效供能的要求,推广应用受到了限制。而基于高温燃料电池的分布式供能系统,由于燃料电池的工作温度相对于内燃

机是低温运行,NO_x

产生量大大降低,可降低到0.05g/(kW·h)以下,能够满足当前市场对分布式供能系统的要求[23]。高温燃料电池成本目前可以到1.5~3.0万元/kW,未来可以控制在0.8~1.0万元/kW,可以与微型燃机和天然气内燃机分布式发电竞争,在未来具有广阔的应用前景。但是我国高温燃料电池技术的发展也面临很大的技术挑战,电池堆组规模仍与国外有

较大差距，需要进一步降低高温燃料电池的成本。

表 3 分布式发电技术对比

Tab. 3 Comparison of distributed generation technologies

项目	技术状态	规模/kW	发电效率%	综合效率%	噪声	NO _x 排放/(g/(kW·h))
小型燃气轮机	商业应用	500~50000	25~45	~80	中	0.4~1.2
微型燃气轮机	商用初期	25~250	25~30	70~80	中	0.25~0.65
内燃机	商业应用	20~5000	35~45	~80	中高	0.1~3.0
高温燃料电池	商用初期	1~10000	50~65	80~90	低	<0.05

目前，高温燃料电池已经率先在美国、德国、日本等国家得到了推广应用。美国Bloom Energy开发出百千瓦级的SOFC发电系统，已经为美国google、eBay、Wal-Mart等公司提供了数百套的燃料电池分布式发电系统[24]；日本大阪燃气、京瓷公司和爱信精机共同开发的700W家用SOFC热电联产系统，用户数量超过5万套，热电量产效率达到90%[25]。美国FuelCell Energy公司开发出3.7MW的MCFC发电系统，发电效率达到60%[26]；2015年，韩国正式运行了59MW的MCFC电站[27]，由21个2.8MW的发电模块组成，凸显了燃料电池模块化组装、负荷响应快速的优势，能够满足工业园区对电和热的需求。在规模和发电成本方面，目前SOFC的规模在100kW~1MW，采用天然气作为燃料时的发电成本约为1.0~1.5元/(kW·h)，MCFC的规模在1MW~100MW，采用天然气作为燃料时的发电成本约为0.8~1.2元/(kW·h)。

熔融碳酸盐燃料电池是目前单机容量最大的燃料电池，单电池面积可以达到1m²，是最接近商业化的高温燃料电池[28]。MCFC不仅可以作为分布式发电，进一步进行容量放大，还可以与整体煤气化联合循环发电相结合组成更加高效的整体煤气化燃料电池系统（integrated gasification fuel cell, IGFC），实现物理发电与化学发电相结合，使得煤基发电效率在55%以上[29]，并可同时实现近零排放。2015年日本制定的2030火力发电计划中的终极目标就是实现IGFC，2025年发电效率达到55%[30]。

华能清能院经过10多年的发展，已掌握了熔融碳酸盐燃料电池的关键材料和核心技术，单电池电流密度和稳定性达到了国际水平，但单堆容量与国际水平还有差距。目前，华能清能院相继开发了2、5、10kW的熔融碳酸盐燃料电池燃料堆，验证了该技术的可行性和经济性，如图2所示。



图 2 中国华能清能院开发的 5~10kW MCFC 发电系统

Fig. 2 5~10kW MCFC system developed by HNCERI

3结论

氢能作为一种清洁高效的能源载体，可以一次性获得并可以长期储存，同时也是重要的化工原料，是可再生能源大规模发展的关键技术，是未来能源消费体系的重要组成部分。

电解制氢技术可以实现季节性、大规模的储能，在解决当前电能转换存储、清洁能源消纳以及电力辅助调节方面也发挥着重要的作用，在一定的范围内是有经济效益的，当前最成熟的电解制氢技术是碱性电解水制氢技术，降低制氢功耗、电解规模放大以及提高负荷灵活性是未来发展的重点任务。

高温燃料电池能量转换效率高、环保效益良好，可实现模块化组装，适合于冷热电三联供分布式电源和大型固定式电站，是未来电力市场不可或缺的绿色发电技术。国外已经实现了高温燃料电池的商业化应用，国内对高温燃料电池的市场需求也已经显现。我国已掌握高温燃料电池的关键材料和核心技术，为下一步的应用示范和商业化做好了技术基础。

参考文献

- [1] 陈硕翼, 朱卫东, 张丽, 等. 氢能燃料电池技术发展现状与趋势[J]. 科技中国, 2018(5): 11-13.
Chen Shuoyi, Zhu Weidong, Zhang Li, et al. Development status and trend of hydrogen fuel cell technology [J]. Science and Technology China, 2018(5): 11-13(in Chinese).
- [2] 王东军, 姜伟, 赵仲阳, 等. 国内外工业化制氢技术的研究进展[J]. 工业催化, 2018, 26(5): 26-30.
Wang Dongjun, Jiang Wei, Zhao Zhongyang, et al. Research of industrial hydrogen production at home and abroad[J]. Industrial Catalysis, 2018, 26(5): 26-30(in Chinese).
- [3] 曾洪瑜, 史翊翔, 蔡宁生. 燃料电池分布式供能技术发展现状与展望[J]. 发电技术, 2018, 39(2): 165-170.
Zeng Hongyu, Shi Yuxiang, Cai Ningsheng. Development and prospect of fuel cell technology for distributed power system[J]. Power Generation Technology, 2018, 39(2): 165-170(in Chinese).
- [4] Cao D X, Wang G L, Lv Y Z, et al. Fuel cell system[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2009(in Chinese).
- [5] O'Hayre R, Cha S, Colella W, et al. Fuel cell fundamentals[M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [6] Hydrogen Council. Hydrogen scaling up[R]. USA: McKinsey & Company, 2017.
- [7] 陈晨, 李霞, 莫桓. 聚焦各国燃料电池产业政策发展[J]. 电器工业, 2015(6): 71-73.
Chen Chen, Li Xia, Mo Huan. Focus on the development of fuel cell industry policies in various countries[J]. China Electrical Equipment Industry, 2015(6): 71-73(in Chinese).
- [8] 毛宗强. 世界氢能炙手可热中国氢能蓄势待发[J]. 太阳

- 能, 2016(7): 16-19, 80.
- Mao Zongqiang. The world's hydrogen energy is hot and China's hydrogen energy is ready to go[J]. Solar Energy, 2016(7): 16-19, 80(in Chinese).
- [9] 张博, 万宏, 徐可忠, 等. 世界各国氢能源经济发展举措分析[J]. 国际石油经济, 2017, 25(9): 65-70.
- Zhang Bo, Wan Hong, XuKezhong, et al. Hydrogen energy economy development in various countries [J]. International Petroleum Economics, 2017, 25(9): 65-70(in Chinese).
- [10] 梁慧. 日本氢能源技术发展战略及启示[J]. 国际石油经济, 2016, 24(8): 87-95.
- Liang Hui. The development strategy of Japan's hydrogen energy technology and its enlightenment[J]. International Petroleum Economics, 2016, 24(8): 87-95(in Chinese).
- [11] 中国氢能联盟, 同济大学. 中国氢能及燃料电池产业发展研究报告[R]. 2018.
- China Hydrogen Energy Alliance, Tongji University. China hydrogen energy and fuel cell industry development research[R]. 2018(in Chinese).
- [12] BP. World energy outlook 2018[R]. UK: WEO, 2019.
- [13] Abdalla A M, Hossain S, Nisfindy O B, et al. Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review[J]. Energy Conversion and Management, 2018, 165: 602-627.
- [14] David H, Franz L, Robert R, et al. The fuel cell industry review 2018[M]. Lausanne: E4tech, 2018.
- [15] 史勉, 宋昭峥, 蒋庆哲, 等. 发电厂电解水制氢设备调试及运行[J]. 清洗世界, 2014, 30(1): 14-18.
- Shi Mian, Song Zhaozheng, Jiang Qingzhe, et al. Commissioning and operation of hydrogen generating system in power plant[J]. Cleaning World, 2014, 30(1): 14-18(in Chinese).
- [16] 谢欣烁, 杨卫娟, 施伟, 等. 制氢技术的生命周期评价研究进展[J]. 化工进展, 2018, 37(6): 2147-2158.
- Xie Xinshuo, Yang Weijuan, Shi Wei, et al. Life cycle assessment of technologies for hydrogen production—a review[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018, 37(6): 2147-2158(in Chinese).
- [17] Buttler A, Spliethoff H. Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 82: 2440-2454.
- [18] Chi Jun, Yu Hongmei. Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2018, 39(3): 390-394.
- [19] 郝伟峰, 贾丹瑶, 李红军. 基于可再生能源水电解制氢技术发展概述[J]. 价值工程, 2018, 37(29): 236-237.
- Hao Weifeng, Jia Danyao, Li Hongjun. Overview of

- hydrogen production technology based on renewable energy from water electrolysis[J]. Value Engineering, 2018, 37(29): 236-237(in Chinese).
- [20] 舟丹. 水电解制氢技术发展概况[J]. 中外能源, 2017, 22(8): 69.
- Zhou Dan . Development of hydrogen production technology by water electrolysis[J]. Sino-Global Energy, 2017, 22(8): 69(in Chinese).
- [21] 罗承先. 世界可再生能源电力制氢现状[J]. 中外能源, 2017, 22(8): 25-32.
- Luo Chengxian . Present status of power-to-hydrogen technology worldwide using renewable energy [J]. Sino-Global Energy, 2017, 22(8): 25-32(in Chinese).
- [22] Mcphail S J, Leto L, Della Pietra M, et al. International status of molten carbonate fuel cells technology 2015 [M]. Rome: ENEA, 2015.
- [23] Farooque M. The carbonate fuel cell—concept to reality [J] . Wiley Interdisciplinary Reviews Energy & Environment, 2015, 4(2): 178-188.
- [24] 美国布鲁姆能源公司在纽约部署燃料电池系统[J]. 电源技术, 2016, 40(3): 483.
- American bloom energy company deploys fuel cell system in New York[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2016, 40(3): 483(in Chinese).
- [25] 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.
- Liu Lanlan. Development of household fuel cells in Japan[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2015, 39(6): 1337-1339(in Chinese).
- [26] Mattner K. Ultra-clean multi-MW fuel cell power plants with 60% electrical efficiency[C]//Hannover Messe 2015 Technical Forum. Honnover, GER, 2015.
- [27] Seung-Goo K. Development & deployment status of stationary fuel cells in korea[C]//DEMOSOFC Open Workshop. Turin, IT, 2015.
- [28] Hohe T. Stationary MW-class fuel cells: examples of economic, efficient and low-maintenance industrial CHCP [C]//Hannover Messe 2014 Technical Forum. Honnover, GER, 2014.
- [29] Gerdes K, Grol E, Keairns D, et al. Integrated gasification fuel cell performance and cost assessment[R]. USA: National Energy Technology Laboratory(NETL), 2009.
- [30] 本经济产业省. 日本制定新一代火力发电技术开发时间表[J]. 热力透平, 2015(3): 187.
- Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. Japan develops a new development schedule for thermal power generation technology[J]. Thermal Turbine, 2015(3): 187(in Chinese).

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/169960.html>