

分布式发电及其对电力系统的影响

梁才浩, 段献忠

(华中科技大学电力工程系, 武汉 430074)

摘要: 介绍了分布式发电的概念和几种新兴的分布式发电技术, 分析了分布式发电的市场前景及其对现有电力系统可能带来的影响。认为分布式发电潜在优势明显, 市场前景广阔, 对现有电力系统将带来深远的影响。

关键词: 分布式发电; 燃料电池; 微型燃气轮机; 光伏电池

中图分类号: TM 61; TM 911; TM 92

0 引言

集中发电、远距离输电和大电网互联的电力系统是目前电能生产、输送和分配的主要方式, 正在为全世界 90% 以上的电力负荷供电。但它也存在一些弊端, 主要有: ①不能灵活跟踪负荷的变化。如夏季空调负荷的激增会导致电力供应短时不足, 而为此种短时的峰荷建造发电设施是得不偿失的, 因为其利用率极低。随着负荷峰谷差的不断增大, 电网的负荷率正逐年下降, 发电设施的利用率都有下降的趋势。②大型互联电力系统中, 局部事故极易扩散, 导致大面积的停电; 而电力系统越庞大, 事故(如雷击)发生的概率越高。因此可以说, 现有的电力系统是既“笨拙”而又“脆弱”的。

目前, 大电网与分布式发电(distributed generation)相结合被世界许多能源、电力专家公认为是能够节省投资、降低能耗、提高电力系统可靠性和灵活性的主要方式, 是 21 世纪电力工业的发展方向^[1]。

分布式发电指的是通过规模不大(几十 kW 到几十 MW)、分布在负荷附近的发电设施经济、高效、可靠地发电。分布式发电并不是一个全新的概念, 早期的小火电、小热电也属于分布式发电, 只是由于技术经济性能不好, 逐渐被淘汰了。

近年来, 对新型分布式发电技术的研究取得了突破性的进展, 分布式发电有望在电能生产中占有越来越大的比重, 并对电力系统产生重大的影响。这些新型分布式发电技术主要有以下几种: 发电容量为几十 kW 到几百 kW 的微型燃气轮机(micro-size gas turbine/micro-turbine)、从几 kW 到 MW 级的燃料电池(fuel cells)以及用于屋顶式太阳能发电的

光伏电池(photovoltaics)发电技术等。另外, 迅速发展的储能技术也将在分布式发电中起重要的作用^[2]。例如用户在从分布式电源取电和从电网取电之间的切换过程中, 需要储能装置提供可靠的过渡电力。目前, 飞轮储能、高密度电容储能以及超导储能技术都已取得了长足的进步。

本文将简要介绍上述 3 种分布式发电技术及其市场前景, 并简要分析分布式发电对现有电力系统可能带来的影响。

1 3 种新兴分布式发电技术简介

1.1 燃料电池发电技术

燃料电池发电最初应用于军事和航天领域, 转入民用后的主要应用前景是为电动汽车提供动力和用于电力系统发电。燃料电池是一种在恒定的温度下, 直接将存储在燃料和氧化剂中的化学能高效、环境友好地转化为电能的装置。燃料电池的阴极和阳极由电解质隔开, 发电时从外部储罐内经处理器将燃料和氧化剂(空气)分别供给阳极和阴极, 发生电化学反应, 通过电解质传送带电离子, 产生电位差, 引起电子在外电路流动, 从而发出低压直流电。以上是单个燃料电池的发电原理, 燃料电池发电系统由大量单个燃料电池组成。

燃料电池可按电解质分为许多类, 其中磷酸型燃料电池(PAFC)最接近商业化, 新一代的熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)和固体氧化物燃料电池(SOFC)则被认为最值得推荐用于电力系统发电。文献[3]列出了几种类型的燃料电池在美国的试验项目中的技术经济参数。从这些参数来看, 目前燃料电池发电的初期投资成本和运行费用还比较高, 不足以与传统发电方式竞争。尽管如此, 这些试验项目获得了燃料电池公司、电力公司和政府的广泛参与, 其中好几家燃料电池公司(如 Ballard Power

System Inc 和 Plug Power Inc)都已在 NASDAQ 上市,被作为高科技股而引起投资者的浓厚兴趣。燃料电池的这种魅力源于其极具潜在价值的优点^[4]:
①效率高且不受负荷变化的影响。燃料电池的能量转化效率可达 80%~95%,实行联合循环后的电厂综合效率可达 60%~80%,而传统大型火电厂的效率不超过 43%,平均为 33%左右。
②适应负荷变化的能力极强,当负荷变化在 25%~100%范围内时,电池效率不受影响,而且跟踪负荷变化的速度很快。这两者都是传统电厂无法比拟的,这也使得燃料电池不仅适合大规模发电,也适合小规模分布式发电。
③清洁无污染。文献[3]描述的试验项目表明,燃料电池发电时的排放物对环境的影响可以忽略不计;且由于没有转动部分,故没有噪声污染。
④占地少、建设快、检修维护容易及燃料适应性强等。其安装、维护的方便性源于其模块化的组装方式,而能用于燃料电池的燃料非常广泛,如煤、石油、天然气和甲醇等。

正是由于传统发电方式无法比拟的优点,燃料电池被认为将成为与火电、水电、核电并驾齐驱的第 4 种发电方式,其用于分布式发电的前景亦十分广阔。技术的发展和批量生产的实现将使得这些优点可以十分经济地获得。如果燃料电池发电系统的建造成本能按预计在 2005 年降到 500 美元/kW,即使不考虑环保方面的效益也可以与传统的燃煤和燃气发电竞争。

1.2 微型燃气轮机发电技术

微型燃气轮机是目前最成熟、最有商业竞争力的分布式发电设备。它最先用于飞机和地面交通,曾在海湾战争中大显身手,为美国的雷达设备和爱国者导弹系统提供动力。从文献[5,6]提供的技术经济参数(1997 年的数据)可以分析出其具有以下 4 个方面的优点:

a. 体积小,重量轻。当与同容量的柴油发电机比较时这一点很明显,如表 1 所示。

表 1 微型燃气轮机单元和柴油发电机单元的体积和重量比较

Table 1 Comparison of the volume and weight between micro-turbine units and diesel units

比较对象	长/cm	宽/cm	高/cm	重量/kg
微型燃气轮机 50 kW 单元	106	81	71	170
微型燃气轮机 250 kW 单元	127	102	96	215
柴油发电 50 kW 单元	200	73	109	800
柴油发电 250 kW 单元	274	127	180	2 492

b. 建造成本和运行成本都极具竞争力。表 2 是微型燃气轮机发电单元的建造成本估价。表 3 是两个试验项目的总成本分析,初期投资按 20 年摊销,年利率 10%,维护费用按 0.005 美元/(kW·h)计,燃料价格设为 2.65 美元/1 000 立方英尺。由表 3 可见,在计及所有费用的情况下,微型燃气轮机的发电成本约 5 美分/(kW·h),而美国居民用电电价平均为 9 美分/(kW·h)~15 美分/(kW·h),若一个用户自己购买微型燃气轮机单元发电,设初期投资按 350 美元/kW 计算(见表 2),则每 kW·h 电能可节约 5 美分~10 美分,在 2 年内就可把初期投资收回。

表 2 微型燃气轮机单元的建造成本估计

Table 2 Estimation of construction costs of micro-turbine units

	美元/kW		
微型燃气轮机	购买成本	安装成本	总建造成本
50 kW 单元	250	100	350
250 kW 单元	200	25	225

表 3 两个试验项目的成本分析

Table 3 Cost analyses of two cases

试验项目	初期投资/美元	年运行费用/美元				成本/ (美元·(kW·h) ⁻¹)
		初期投资摊销	维护费用	燃料费用	合计	
项目 1	105 000	12 333	5 466	36 438	54 238	0.049 6
项目 2	225 000	26 428	16 339	109 263	152 091	0.046 4

注:项目 1 是用 6 台 50 kW 的微型燃气轮机发电单元带 250 kW 的负荷;项目 2 是用 4 台 250 kW 的微型燃气轮机发电单元带 750 kW 的负荷。

c. 发电效率高,污染少。微型燃气轮机单独用于发电,效率可达 30%,可与大型火电厂媲美;若实行热电联产,效率可提高到 75%。微型燃气轮机排放的 CO 和 NO_x 的体积百分含量都小于 9×10⁻⁶。

d. 运行维护简单。微型燃气轮机发电单元运行时既可在本地监控,也可由中心监控站来管理;当出现故障时,由于重量轻,安装快,可以马上整机替换,然后把故障机组整体运往维修中心维修。

从以上几点可以看出,微型燃气轮机的实用化和商业化已经完成,大批量投入市场已为期不远。

1.3 光伏电池发电技术

屋顶式光伏电池发电技术作为一种分布式发电技术也受到了广泛的关注。在美国和日本的一些地区,已经有由屋顶式光伏电池发电设备联成的 PV(photo voltage)系统与当地电网相联。白天发电的盈余倒送电网,晚间用户从电网取电,在供电企业和用户间形成了一种新型的关系。由于技术条件的限制,目前光伏电池发电的成本太高,不能与传统电力竞争,但由于它利用的是清洁、可再生的太阳能,故其前景仍被广泛看好。

另外,规模稍大(几 MW 到几十 MW)的燃气轮机(gas turbine)和往复式发电机(reciprocating engine)已经是较成熟的分布式发电技术,在分布式发电中占有比较重要的地位^[6]。

2 分布式发电的市场前景

分布式发电具有规模小、建设周期短、占地少、运行维护容易及高效、经济、可靠、污染少等特点。其理想的用途主要有以下 3 个方面:

a. 为 35 kV 电压等级以下即中压配电网的工商企业、居民小区、高层建筑等用户以及孤立、偏远地区的用户提供电力。美国能源部(DOE)把分布式发电的市场分为 3 类^[7]:①容量小于 500 kW,主要为小工业、商业企业和居民用户供电。②容量为 500 kW~5 MW,主要为中型工业、商业企业供电。③容量为 5 MW~50 MW,主要为大型工业企业供电。前两类采用的发电设备主要是微型燃气轮机或小型燃料电池发电系统,通常安装于负荷所在处;第 3 类采用的发电设备主要是燃气轮机、往复式发电机以及大型燃料电池发电系统,发电设备既可装在负荷所在处,也可装在配电变电站所在处,发出的电能经配电网分配给用户。

b. 用于冷热电联产(combined cooling heating and power,缩写为 CCHP)^[8],为用户提供综合的能源解决方案。分布式发电技术除了单纯发电外,还可以很方便地用于制冷、供热(采暖及热水)及发电三者合而为一的冷热电联产。CCHP 可以大大提高能源的利用效率(CCHP 的效率可以高达 90%),降低用户在能源方面的支出,而且冷热电的比例可以灵活调节,可为不同用户(如居民小区、商用楼宇等)度身定做 CCHP 系统,满足不同的能源需求。

c. 纳入现有电力系统的负荷侧管理(DSM)系统,为电力企业提供紧急功率支持等服务,此时电力企业和分布式发电厂商之间形成了服务的买卖关系。分布式电源供电与大电网供电相互补充、协调,是综合利用现有资源和设备、为用户提供可靠和优质的电能的方式。

值得注意的是,现有电力系统仍存在自身的优势,且从电网取电切换到从分布式电源取电需追加很多投资,分布式发电争夺现有负荷的潜力不大,其市场主要面向新增负荷。然而该市场十分巨大,据美国 Energy Information Administration 预计^[6],到 2010 年,仅美国就会新增发电容量 175 GW,就算分布式发电只占到 20%,其容量也有 35 GW 之多。

3 分布式发电对现有电力系统的影响

分布式发电虽然主要发生在配电网,但它对整个电力系统的影响都将是巨大而深远的。

a. 对发电、输电系统的影响在于对新建集中式发电厂和远距离输电线路的需求将减少^[9]。首先,新增负荷相当大的部分将由分布式发电来满足;其次,由于分布式发电的削峰填谷、平衡负荷的作用,现有输电设施的利用率将大大提高,那些利用率极低、仅为满足高峰负荷需要的输电设施将不再有建设的必要。

b. 对配电系统的影响。配电系统将发生根本性的变化:从一个辐射式的网络变为一个遍布电源和用户互联的网络,有点类似 Internet。配电系统的控制和管理将变得更加复杂。首先,分布式发电的引入会使传统的配电网络规划、运行(如无功补偿、电压控制等)彻底改变;其次,现在正在兴起的配电网自动化和需求侧管理(DSM)的内容也需要重新加以考虑^[10];再次,分布式电源之间的控制和调度必须加以协调,与分布式发电有关的法律、法规和行业规范也需要妥善制定。可以认为,对这种新型配电系统的研究将成为今后电力科学研究的重点之一。

c. 对整个电力行业的影响。分布式发电的普及将对电力市场的走向和最后格局产生深远的影响。首先,电力公司和用户之间将形成新型的关系。用户可以从电力公司买电,也可以用自己拥有的分布式电源向电力公司卖电或为电力公司有偿提供削峰、紧急功率支持等服务;其次,分布式发电也为其他行业(如天然气公司)进入电力市场打开了方便之门。总之,整个电力市场的竞争将更加激烈,所以,分布式发电对传统电力公司来说既是机遇也是挑战。

· 广告 ·

d. 以上 3 点可以说是分布式发电对传统电力行业的冲击。实际上分布式发电可以与现有电力系统结合, 形成一个高效、灵活的电力系统, 从而提高整个社会的能源利用效率, 提高供电的稳定性、可靠性和电能质量。重负荷中心引入分布式电源可以减少进线的实际输送功率, 从而提高稳定性。1986 年 5 月 20 日, 英格兰某地区的 6 条 400 kV 线路因雷击而断开, 由于在 5 min 内在负荷区投入了 1 GW 的燃气轮机发电容量, 从而防止了一次重大电压失稳事故的发生^[11]。另外, 可靠的分布式发电单元和储能装置的结合也是解决诸如电压脉冲(impulse)、浪涌(surge)、电压跌落(sags)和瞬时供电中断(outage)等动态电能质量问题的有效途径之一^[12]。

4 结语

如果说电力市场化是电力行业“上层建筑”的革命, 那么分布式发电可以认为是电力行业“物质基础”的革命, 两者的共同作用将使未来整个世界的电力行业呈现全新的面貌。在分布式发电领域, 美国有大批研究分布式发电技术的公司(如微型燃气轮机制造厂家, 燃料电池研究制造公司等)在技术上处于领先地位, 其中许多公司与电力公司联手, 进行分布式发电技术的商业化试验, 使美国在商业化推广方面保持领先; EPRI 和 DOE 等官方机构也成立了研究分布式发电的部门, 通过研究报告(如文献[2]中列出的 Selected EPRI DR Reports)等形式从宏观上对分布式发电的前景进行分析, 并提供分析分布式发电项目的经济指标和工具软件(如 EPRI Distributed Resources Workstation), 从而为分布式发电的研究和应用提供了及时、必要的理性指导。我国对分布式发电的研究尚处在起步阶段, 形势不容乐观。要扭转落后局面进而在未来的竞争中占有一席之地, 我们首先应该加大对分布式发电技术的研究力度, 尤其要吸引社会资本的参与, 让企业研发成为主角, 国家给予政策支持, 科研院所给予技术、理论支持; 其次, 有关部门应该借鉴 EPRI 和 DOE 等机构的经验, 为我国分布式发电技术的研究和应用提供宏观指导。

参考文献

- 1 朱成章(Zhu Chengzhang). 发展直燃式空调机对电力工业的作用(The Effects of Developing Direct Combustion Air Conditioner). 华东电力(East China Power), 2000, 28(5): 27~28
- 2 Moore T. Emerging Markets for Distributed Resources. EPRI Journal, 1998, 23(2): 9~17
- 3 Chambers A. Fuel Cells Demonstrate Commercial Potential. Power Engineering, 1999, 103(3): 41~43
- 4 熊一权(Xiong Yiquan). 燃料电池发电技术(Fuel Cell Generation Technology). 中国电力(Electric Power), 1998, 31(9): 61~64
- 5 Scott W G. Micro-Size Gas Turbines Create Market Opportunities. Power Engineering, 1997, 101(9): 46~48
- 6 Hennagir T. Distributed Generation Hits Markets. Power Engineering, 1997, 101(10): 18~23
- 7 Zink J C. Small Generators Fuel Big Expectations. Power Engineering, 1999, 103(2): 21~24
- 8 朱成章(Zhu Chengzhang). 从热电联产走向冷热电联产(The Trends from CHP to CCHP). 国际电力(International Power), 2000, 2: 10~12, 16
- 9 Hazan E. Electricity in Reverse. Transmission & Distribution World, 1999, 51(5): 40~45
- 10 Coles L R, Chapel S W, Iannucci J J. Valuation of Modular Generation, Storage and Targeted Demand-Side Management. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1995, 10(1): 182~187
- 11 Taylor C W. Power System Voltage Stability. New York: McGraw-Hill Inc, 1994
- 12 韩英铎, 严干贵, 姜齐荣, 等(Han Yingduo, Yan Gangui, Jiang Qirong, et al). 信息电力与 FACTS 及 DFACTS 技术(Electric Power in Information Society and FACTS & DFACTS). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(19): 1~7

梁才浩, 男, 硕士研究生, 主要从事无功电压控制方面的研究。

段献忠, 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事电压稳定及 FACTS 方面的研究。

DISTRIBUTED GENERATION AND ITS IMPACT ON POWER SYSTEM

Liang Caihao, Duan Xianzhong

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper introduces the concept of distributed generation and some novel technologies in this field. With the analysis of the market prospects of distributed generation and its possible influence on the present power system, this paper draws a conclusion that distributed generation has remarkable potential advantages and bright market prospects, and will affect the present power system significantly.

Keywords: distributed generation; fuel cells; micro-turbine; photovoltaics