

Biogas Power Industry in China: A Review

Xiaodan Wu¹, Yuhuan Liu^{2,3*}, Erni Xu¹, Roger Ruan³

1. College of Life Science and Food Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China

2. The State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China

3. The Engineering Research Center for Biomass Conversion, Nanchang University, Nanchang 330047, China

Email: liuyuhuan@ncu.edu.cn

Abstract: Biogas power generation is the best way of biomass energy development. In China, resource of agricultural and forest biomass (including low-grade biomass) reach 3.14 billion tons/a, whose characteristic of biogas production have gotten extensive research. In recent years, with the modernization of biogas production technology and equipments, the innovations of biogas power generation technology and its waste heat recovery technology, the big demand of the residue and slurry biomass anaerobic digestion in modern agriculture, the biogas industry has been rapidly developed. The new idea of gas production by using agricultural and forest biomass in situ has gained feasibility demonstration. In addition, intelligent electric power net technology and national support policy about biogas power industry have been formally put on the agenda. So a competition biogas power industry will soon emerge in China.

Keywords: biogas; materials; technology; equipment; policy

国内沼气发电行业的发展状况回顾与展望

巫小丹¹, 刘玉环^{2,3*}, 徐尔尼¹, 阮榕生³

1. 南昌大学生命科学与食品工程学院, 南昌, 中国, 330031

2. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 南昌, 中国, 330047

3. 教育部生物质转化工程技术研究中心, 南昌大学, 南昌, 中国, 330047

Email: liuyuhuan@ncu.edu.cn

摘要: 沼气发电是生物质能源开发的最佳方式之一。我国的农林生物质(含劣质生物质)资源有 31.4 亿吨/年, 其产气特性已得到广泛深入的研究。近年来, 随着沼气生产技术与设备的现代化, 沼气发电技术及其余热利用技术的创新, 沼渣、沼液在现代高效农业中的广泛运用等, 沼气行业发展迅猛。最新的农林生物质原位产气设想已得到充分的可行性论证, 沼气发电所需要的智能并网技术和沼气发电的国家政策扶持已被正式提上议事日程。可以预测, 沼气发电将成为我国的一个规模化新兴能源产业。

关键词: 沼气发电; 原料; 技术; 设备; 政策

引言

我国每年产出的农林废弃物有 14 亿吨、养殖业畜禽粪便 11.4 亿吨、城乡生活垃圾中的生物质成分 4 亿吨、污水污泥 2 亿吨, 这些废弃物蕴藏着丰富的生物质能源。对于生物质, 既要看到其生物质能源的利用价值, 也不能忽略其在维护生态平衡中的重要作用。多年来的实践表明, 生物质(含市政垃圾)的直燃发电, 不仅能量转化效率低, 存在二次污染, 而且完全阻断了生物质在生态系统中的必要循环途径, 是暂时

性的和不可持续的利用方式。

生物质(含各种劣质的生物质)经沼气发酵可以将有机质在厌氧微生物的作用下产生沼气。沼气燃烧发电是有效利用沼气的一种重要方式, 可通过热电联产或分布式能源开发实现能量高效利用; 沼气发酵的副产品沼液、沼渣是公认的优质有机肥料, 可以为发展现代高效农业提供物质支持; 沼气发电产生的废气可以用于能源微藻的规模化养殖。总之, 沼气发电的社会、经济、环境综合效益非常显著。

本文综述了近年来国内不同发酵原料生产沼气的效率、提高产气效率的途径、沼气发生装置、沼气发电设备的研究进展和国内外沼气发电并网情况, 展望

Supported by The Foundation of Key Technology Research Program of Biodiesel Industry in Jiangxi Province of China (2007BN12100)

* Corresponding author. Email: liuyuhuan@ncu.edu.cn

了我国沼气发电的发展前景。

1. 沼气原料

1.1 农林生物质

作为农业大国，我国农作物秸秆年产量居世界之首，约为 7 亿吨/年，充分利用秸秆制取沼气必然成为中国沼气发展的选择。中国的林业生物质资源也十分丰富，“十一五”期间我国木材采伐剩余物和加工剩余物总计约 8056 万吨，林业剩余物生物质的开发利用非常可观。农林生物质属富碳原料，碳氮比一般都在 30:1 以上，分解速度较慢、产气周期较长。为提高产气效率，这类原料在入池前需进行预处理。农林生物质中虽然蕴藏有丰富的化学能，但其体积庞大、分布分散、能量密度低，收集和运输的成本高。近年来，关于农林生物质原位生产沼气，并且对沼气进行管道输送的设想已在论证之中。如果这一设想得以实施，农林生物质能源的开发就基本可以摆脱掠夺式利用的怪圈。

1.2 人类、畜禽粪便

我国人口众多，高达 14 亿人口，为适应消费需求，畜禽养殖业规模也非常庞大，人类畜禽粪便类生物质资源非常丰富，是我国沼气发酵原料的主要来源之一。这类原料属富氮原料，碳氮比一般小于 25:1，无需预处理，但发酵周期较短，分解和产气速度较快。

1.3 城市有机废物

主要包括生活污水、有机垃圾、有机工业废水、废渣和污泥等。这类原料一般都富含有机物，但由于来源不同，其化学成分和产沼气潜力差异很大，采用的发酵工艺也不尽相同。聂艳秋等[1]发明了一种市政污泥资源化的方法，即将市政污泥和垃圾混合发酵产氢气和甲烷，实现了废物资源的有效利用。

1.4 水生植物和微生物

主要包括水葫芦、水花生、水白菜、藻类等。该类植物繁殖速度快、产量高，在生长过程中能够起到净化水体环境的功能，加之组织鲜嫩，易于被微生物分解利用，是沼气发酵的好原料。将这类水生植物作为沼气原料不仅实现了无害化处理，还达到了资源化的效果。

2. 不同原料产沼气效率的差异

由表 1 可见，不同原料产沼气效率存在较大差异性。就国内已有研究来看，农作物秸秆及水生生物的产沼气效率研究较多。而且粪便常与其他生物质能联合产气。关于城市有机废物产沼气效率的研究较少。

表 1 不同原料产沼气效率的差异

不同原料	TS 产气潜力 (mL/g)	VS 产气潜力 (mL/g)
玉米苞皮[2]	506	612
稻草秸秆[3]	457	570
木薯渣[4]	—	249
甘蔗渣[5]	201	212
水葫芦[6]	634	834
太湖蓝藻[7]	379	411
滇池蓝藻[8]	487	491

3. 沼气生产关键技术进步

3.1 寻找合适原料配比

根据沼气原料的来源、种类和数量，采用科学、适用的配料方法对提高沼气产气效率而言至关重要。作物秸秆含纤维素多，消化速度慢，产气速度慢，但持续产气时间长（如玉米秸秆可达 90 天以上）；而粪便等原料消化及产气速度快，但持续时间短（只有 30 天）。因此，能源植物与粪便的混合发酵可实现进料的合理化，使沼气的生成均衡而持久，能保证系统稳定性，增强系统的缓冲能力。为了加快启动速度，提高产气量，能源植物可配合适量的氮素化肥产气。Zhang 等[9]将 2% 的氨水和秸秆在 110℃ 的温度下处理 2 h，秸秆中挥发性有机质的产气率达到 470 mL/g，与没有处理的秸秆相比，产气率提高了 17.5 %。

3.2 选择合适原料预处理方法

目前，沼气工程秸秆原料普遍存在成分难降解、产气量不高、沼气甲烷含量较低、周期长等问题。研究表明秸秆产沼气效率低下与秸秆的质地和成分关系极大。秸秆的主要有机组成是纤维素、半纤维素、木质素、果胶和蜡质等，质地轻，难以分解，表面蜡质不容易被微生物所破坏；有效氮、磷成分短缺，不利于微生物发酵利用。通过物理、化学和好氧生物途径对秸秆进行的预处理是解决秸秆难以厌氧消化简单而有效的手段。因此，选择合适的预处理方式，开发最佳的原料预处理工艺可大大提高木质纤维素的水解速度。张庭婷等[10]的研究发现，木薯秆原料过筛 60~

100 目时, 累计产气量可达 248.9 mL/g 干物质, 而大于 40 目的木薯秆, 仅为 146.3 mL/g 干物质, 由此可见, 物理粉碎方法对秸秆起到了显著的预处理效果。康佳丽等[11]的研究表明经 6%NaOH 预处理后的麦秸在 65 g/L 负荷下的单位 TS 产气量可达 380.9 mL/g, 与未处理的麦秸相比, 提高了 49.9%, 厌氧消化时间缩短了 19 d。生物途径处理秸秆具有无污染、低成本、易操作等优点, 可以打破秸秆的木质素、纤维素和半纤维素间的紧密结构, 破坏纤维素的结晶结构。李东等[12]发现稻秸经过调节 C/N 和白腐菌预处理后, 产气速率得到有效提高, 发酵周期缩短至 45d。从成本和设备角度出发, 生物预处理都显示了独特的优势。

3.3 开发高效接种物

沼气发生菌由一个庞大的菌群构成。张婷等[13]的研究表明接种物对沼气的产气效率影响很大。笔者最近在调查中发现, 残留在畜禽粪便中的抗生素、激素、铜、锌的微量元素对甲烷菌有非常显著的抑制作用。因此为沼气发生菌群搭配抗生素、激素类分解菌, 开展耐受性强的甲烷菌的筛选、驯化可有助高效接种物的开发, 可能成为解决上述问题的钥匙。

3.4 开发增效添加物

3.4.1 吸附剂

研究表明, 一些吸附剂也能改善产气效果[14], 可能是因为吸附剂将微生物聚集起来, 形成微生物的高密度培养, 同时能形成并保持对微生物生长有利的环境, 使得微生物更好地降解有机物质, 加快挥发酸的消耗, 提高产气量。王永泽等[15]的研究表明, 活性炭可有效地提高沼气发酵效率, 添加活性炭的试验组沼气产气量较空白组提高了 94.6%, 沼气发酵周期缩短, 产气高峰提前 4d 左右。

3.4.2 微量元素

除 C、N 以外, 微量元素对产甲烷菌的生长也很重要, 如 Ni 是产甲烷菌中甲基辅酶 M 还原辅酶——F430 的唯一金属成分。补充 Ni 可提高甲基辅酶 M 活性, 促进甲烷的生成, 提高沼气产量, Geeta 等[16]的研究表明 2.5 mg/LNi 能最高增加 54%的产气量。

3.5 沼气生产设备的现代化改造

3.5.1 生物质沼气发酵的瓶颈

农林生物质沼气发酵具有以下困难: 进出料工作

量大; 原料易出现漂浮分层和结壳; 固态发酵传质效果差, 气体释放困难, 且搅拌阻力大; 沼气工程受季节的影响大, 在寒冷的冬季, 沼气产量急剧下降; 除硫工艺较落后。

3.5.2 国内沼气反应器的种类

目前, 中国的沼气工程所采用的厌氧消化反应器比较多样化。从完全混合式厌氧反应器(CSTR)、厌氧接触反应器(AC), 到上流式厌氧污泥床反应器(UASB)、厌氧折流板反应器(ABR)、厌氧颗粒污泥膨胀床反应器(EGSB)[17], 再到升流式固体床反应器(USR)、内循环厌氧反应器(IC)[18]、外循环厌氧反应器(EC)[19]、内外循环厌氧反应器(PEIC)[20]等, 中国沼气工程厌氧消化反应器实现了逐步的改造升级。

尽管沼气反应器的现代化改造各式各样, 但是改造目的都是围绕着沼气发酵的瓶颈问题。由前述国内反应器的进步可以看出中国重视厌氧消化反应器的开发, 但对配套设备的研制与关注度不够。可资借鉴的是, 德国农场沼气工程虽采用传统完全混合式(CSTR)工艺, 但同时引入了化工行业、造纸工业、发酵工业先进高效的输送设备、混合搅拌设备等, 沼气行业获得了长足的进步[21]。

3.5.3 沼气工程的过程控制

沼气工程受季节的影响, 在寒冷的冬季, 沼气产量急剧下降。吴晓明等[22]采用一种直接数字输出显示的温度传感芯片 DS18B20, 对沼气反应器的发酵温度进行了控制, 实现了自动加热的恒温发酵产气的目的, 使沼气发生速率摆脱气温波动带来的影响, 大大提高了沼气的产气率。倘若能够将沼气发电的余热回收利用, 用于沼气池底的热能供应, 这将极大地促进沼气发酵工程的推广。

3.5.4 沼气脱硫装置的研制

沼气是一种混合气体, 其中含有的硫化氢不仅会抑制甲烷菌活性, 影响厌氧消化效率和甲烷产量, 而且会对管道、燃烧器以及其它金属设备、仪器、仪表等有强烈腐蚀作用。目前, 主要有干法脱硫、湿法脱硫和生物脱硫, 其中生物脱硫具有污染少、能耗低、效率高等特点, 光合细菌脱硫的生物反应器[23]的开发大大促进了生物脱硫工艺的进步。

4 沼气发电设备的快速发展

目前, 国内的沼气发电机组生产行业中, 多家企业设有专门的燃气机研究机构, 有的企业还通过与国

外建立长期合作的研发联合体,引进关键技术与部件。

4.1 沼气余热发电设备的开发

多数沼气发电工程尚未建立发电余热回收系统,即使有余热回收系统,其余热回收效率最高也仅达 35%左右,比奥地利、德国和美国等至少低 5 个百分点。这不但浪费了资源,而且影响了机组的发电效率。目前,具有中国自主知识产权的膨胀螺杆发电机的推广为沼气余热发电带来新的希望,负小银等[24]发明了一种回收利用沼气发电排烟余热的方法,将沼气内燃机发电后的排烟余热传递给水,产生蒸汽,进入螺杆膨胀动力发电机进行膨胀做功发电。

4.2 分布式能源系统的推广

分布式能源是一种新型的建于用户当地或附近的发电系统,产生电能及其他形式能量,可有助于实现能量高效利用。结合国内情形,广泛开发分布式能源系统。

4.3 智能化系统的开发

目前,国内已经开始了沼气工程的智能化控制探索。赵孝文等[25]提出了一种基于 S7-300PLC 的牛粪发电智能控制系统,该系统能够实现从进料到生产沼气,再到转化为清洁能源的全过程进行自动控制和实时监控。

5 中国沼气发电并网情况

由于国家政策的导向、生物质能产业的兴起以及大中型沼气工程的快速发展,沼气发电已经开始引起了众多投资者和制造商的重视。

1998 年天津市东郊污水处理厂沼气发电机组首例并网发电成功,这结束了中国污水处理厂沼气发电机组不能并网的历史,填补了国内该项目的空白,为大型城市污水处理厂沼气综合利用提供了很好的借鉴。目前实现并网的大型养殖场沼气发电厂有日产沼气 10000 m³ 的蒙牛澳亚示范牧场牛粪处理沼气发电工程、日产沼气 20000 m³ 的北京德青源农业科技股份有限公司鸡粪处理沼气发电工程和日产沼气 30000 m³ 的山东民和牧业股份有限公司沼气发电工程。

企业自身用电多数是间断性,不能使发电机组始终保持较高负荷状态下运行,因此最终必须实现沼气发电规模化并纳入全国性并网发电的目标。

展望

生物质在维护生态系统的稳定和演进方面发挥着不可替代的作用。开发生物质能源时,必须设法使最多的植物养分和部分有机物回归土壤。沼气能源—料系统是生物质利用方式的最好代表之一。随着农村经济的发展和农业结构调整,农村已逐渐出现人畜分离的趋势,规模化、专业化养殖业的蓬勃发展有利于沼气工程的大规模发展,预计沼气发电将形成新的规模化能源产业。农林生物质体积庞大、能量密度低,其收集运输和储藏成本很高,秸秆原位产气、气体管道化输送技术是今后的主要发展方向。在沼气发电的技术与设备开发上要坚持引进、消化、吸收和创新相结合,借鉴他国先进经验进行本土化移植并创新技术工艺,如吸收德国沼气工程所普遍采用“混合厌氧发酵、沼气发电上网、余热回收利用、沼渣沼液施肥、全程自动化控制”的技术模式[26],同时大力开发和普及推广国内的创新发明成果如秸秆原位产气技术、膨胀螺杆余热发电机、智能上网技术等,实现发酵原料全方位综合利用,并通过电、热以及沼渣沼液外售给工程运行带来收益,最终建立起沼气工程自身赢利模式,提升沼气工程整体技术水平和经济效益。目前整个沼气发电行业还比较薄弱,必须依靠加大国家扶持力度(如对热电联产等新技术进行额外补贴)来提升沼气工程对养殖场业主投资的吸引力。鉴于此,国家电网不仅应向发改委申请从电价补贴上为沼气发电提供政策支持和经济扶持,还要积极开发沼气发电智能化并网系统,推动沼气能源更加迅速地普及和推广。

References(参考文献)

- [1] Nie Yanqiu, Li Yuxiu. A Method of Mixed Fermentation to Produce Hydrogen and Methane from Municipal Sludge and Waste with High Efficient[P]: Chinese Patent, 200810030557.4[P]. 2009-07-29.
聂艳秋, 李玉秀. 一种市政污泥和垃圾混合发酵高效生产氢气和甲烷的方法 [P]: 中国专利, 200810030557.4[P]. 2009-07-29.
- [2] Ma Huan, Yin Fang, Zhang Wudi. The Study of Biogas Fermentation on the Leafage of Corn[J]. Energy Engineering, 2005, 1, P34-35(Ch).
马欢, 尹芳, 张无敌, 等. 玉米苞皮沼气发酵潜力的研究[J]. 能源工程, 2005, 1, P34-35.
- [3] Li Dong, Li Lianhua, Ma Longlong, et al. The Dry Anaerobic Digestion Study on Rice Straw in Southeast China[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2008, 29(6), P756-760(Ch).
李东, 李连华, 马隆龙, 等. 华南地区稻草的厌氧干发酵制取沼气研究[J]. 太阳能学报, 2008, 29(6), P756-760.
- [4] Pu Yuewu, Liu Jian. Study on Biogas Production of Cassava Dregs by Anaerobic Fermentation[J]. Journal of Anhui

- Agricultural Sciences, 2009, 37(29), P14308-14310(Ch).
浦跃武, 刘坚. 木薯渣厌氧发酵制取沼气的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(29), P14308-14310.
- [5] The Study of Biogas Fermentation on the bagasse[J]. Silicon Valley, 2009, 2, P10(Ch).
李永丽, 孙传伯, 尹芳, 等. 甘蔗渣沼气发酵潜力的研究[J]. 硅谷, 2009, 2, P10.
- [6] Zha Guojun, Zeng Guokui, Zhang Wudi. Experimental Study on Biogas Potential of Hyacinth(Eichhornia crassipes) [J]. Energy Engineering, 2006, 6, P50-51(Ch).
查国君, 曾国葵, 张无敌, 等. 水葫芦发酵产气潜力的实验研究[J]. 能源工程, 2006, 6, P50-51.
- [7] Du Jin, Yan Shaohua, Chang Zhizhou, et al. Potential of Methane Production of Blue Algae and Its Feasibility of Fermentation with Anaerobic Baffled Reactor[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2008, 24(6), P948~953(Ch).
杜静, 严少华, 常志州, 等. 太湖蓝藻产沼气潜力及复合折流板反应器(ABR)工艺中试[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(6), P948~953.
- [8] Dong Shixu, Dong Jinyan, Song Hongchuan, et al. Study on the Biogas Fermentation with Blue Algae from Dianchi Lake[J]. Renewable Energy, 2006, 2(126), P16-18(Ch).
董诗旭, 董锦艳, 宋洪川, 滇池蓝藻发酵产沼气的研究[J]. 可再生能源, 2006, 2(126), P16-18.
- [9] Zhang Ruihong, Zhang Zhiqin. Biogasification of rice straw with anaerobic-phased solids digester system [J]. Bioresource Technology, 1999, 68, P235-245.
- [10] Zhang Tingting, Li Jiawei, Wang Shuangfei. Study on the Energy Conversion Efficiency of Biogas from Anaerobic Fermentation with Several Biomass Materials[J]. Paper Science & Technology, 2009, 28(3), P36-41(Ch).
张庭婷, 李嘉薇, 王双飞. 几种生物质原料厌氧发酵制取沼气能量转换效率的比较[J]. 造纸科学与技, 2009, 28(3), P36-41.
- [11] Kang Jiali, Li Xiujin, Zhu Baoning, et al. Effect of Solid Pretreatment with Sodium Hydroxide on Biogasification Efficiency of Wheat Straw[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(5), P1973-1976(Ch).
康佳丽, 李秀金, 朱保宁, 等. NaOH 固态化学预处理对麦秸沼气发酵效率的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(5), P1973-1976.
- [12] Li Dong, Li Lianhua, Ma Longlong, et al. The Dry Anaerobic Digestion Study on Rice Straw in Southeast China[J]. Acta Energlae Solaris Sinica, 2008, 29(6), P756-760(Ch).
李东, 李连华, 马隆龙, 等. 华南地区稻草的厌氧干发酵制取沼气研究[J]. 太阳能学报, 2008, 29(6), P756-760.
- [13] Zhang Ting, Yang Li, Wang Yongze, et al. Comparison of Different Inoculums in Anaerobic Fermentation to Produce Biogas[J]. Energy Engineering, 2008, 4, P30-33(Ch).
张婷, 杨立, 王永泽, 等. 不同接种物厌氧发酵产沼气效果的比较[J]. 能源工程, 2008, 4, P30-33.
- [14] Kumar S, Jain M C, Choonkar P K. Stimulation of Biogas Production from Cattle Dung by Addition of Charcoal[J]. Biological Wastes, 2004, 20, P209-215.
- [15] Wang Yongze, Shao Mingsheng, Yang Li, et al. Effect of Different Adsorbents on Biogasification Efficiency of Cotton Stalk[J]. Xiandai Nong Ye Keji, 2008, 23, P178~179(Ch).
王永泽, 邵明胜, 杨立, 等. 不同吸附剂对棉花秸秆沼气发酵效率的影响研究[J]. 现代农业科技, 2008, 23, P178~179.
- [16] Geeta G S, Jagadeesh K S, Reddy T K R. Nickel as an Accelerator of Bigas Production in Water Hyacinth(Eichornia crassipes Solms)[J]. Biomass, 1990, 21, P157-161.
- [17] Shi Xiankui, Fan Xiuqin. A Expanded Granular Sludge Bed which can Realize Granulation Process of Non-granular Sludge[P]. Chinese Patent, CN200720117314.5, 2008-11-5.
石宪奎, 樊秀芹. 一种能实现絮状污泥颗粒化的EGSB反应器[P]. 中国专利: CN200720117314.5, 2008-11-5.
- [18] Lin Changqing. Anaerobic Bioreactors with Character of Internal Recycle and Heterogenized [P]. Chinese Patent : 200610000917.7, 2006-7-19.
林长青. 多相内循环厌氧反应器[P]. 中国专利: 200610000917.7, 2006-7-19.
- [19] Lei Zhendong, Han Hongjun, Wang Wei. Study on Improvement of Water Distribution and Three-phase in Exterior Circulation Anaerobic Process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2007, 1(8), P66-69(Ch).
雷震东, 韩洪军, 王伟. 外循环厌氧处理工艺中布水和三相分离的改进研究[J]. 环境工程学报, 2007, 1(8), P66-69.
- [20] Zhu Jiegao, Xue Junqiang. An automatic anaerobic reactor with external and Internal circular[P]. Chinese Patent : 200920018627.4, 2009-10-28.
朱杰高, 薛俊强. 全自动内、外循环 PEIC 厌氧反应器[P]. 中国专利: 200920018627.4, 2009-10-28.
- [21] Deng Liangwei, Chen Ziai, Gong Jianjun. Comparison of Biogas Plant between China and Germany[J]. Renewable Energy Resources, 2008, 26(1), P110-114(Ch).
邓良伟, 陈子爱, 龚建军. 中德沼气工程比较[J]. 可再生能源, 2008, 26(1), P110-114.
- [22] Wu Xiaoming, Yang Zhongping. Constant Temperature in Biogas Digester Controlled by Single-chip Microcomputer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 2, P154-156(Ch).
吴晓明, 杨中平. 恒温沼气反应器的单片机控制[J]. 农机化研究, 2008, 2, P154-156.
- [23] Li Xuyuan. A New Equipment Which can realize Microbial Reactor Removing Hydrogen Sulfide from Biogas[P]. Chinese Patent : CN200910162260.8, 2009-12-9.
- [24] 李旭源. 沼气生物脱硫装置 [P]. 中国专利 : CN200910162260.8, 2009-12-9.
- [25] Yun Xiaoyin, Li Heping, Su Jianfeng, et al. Means and Installation of Waste Heat Recovery from Biogas Generation[P]. Chinese Patent : 200910076035.2, 2009-11-25.
俞小银, 李和平, 宿建峰, 等. 回收利用沼气发电排烟余热的方法和装置[P]. 中国专利: 200910076035.2, 2009-11-25.
- [26] Zhao Xiaowen, Li Beicheng, Gao Deyu, et al. Based on PLC the Intelligent Control System Design of Biogas Generation[J]. Applied Energy Technology, 2009, 9(141), P1-3(Ch).
赵孝文, 李北城, 高德玉, 等. 基于 PLC 的沼气发电智能控制系统设计[J]. 应用能源技术, 2009, 9(141), P1-3.
- [27] He Rongyu, Song Lingling, Meng Fanmao. Typical Biogas Power Generation Technology in Germany and Experiences for China[J]. Renewable Energy Resources, 2010, 28(1), P150-152(Ch).
何荣玉, 宋玲玲, 孟凡茂. 德国典型沼气发电技术及其借鉴[J]. 可再生能源, 2010, 28(1), P150-152.