

中国 4MW 生物质气化 联合循环发电系统的外部费用

贾友见¹, 余志², 吴创之³

(1. 昆明理工大学 理学院, 云南 昆明 650093 2. 中山大学 工学院, 广州 510275;

3. 中国科学院 广州能源研究所, 广东 广州 510275)

摘要: 描述一种外部费用估算方法——ExternE 方法, 并应用 ExternE 项目研究结果, 估算 4MW 生物质气化联合循环发电系统的外部费用. 本系统的外部费用远低于采用传统化石燃料的发电技术外部费用, 如果将外部费用内部化, 相信会增强生物质气化发电系统的市场竞争力.

关键词: 外部费用; ExternE 方法; 4MW 生物质气化发电系统

中图分类号: TM 611.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)05-0024-04

The External Costs of 4MW Biomass Integrated Gasification Combined with Cyclic Power Generating System in China

JIA You-jian¹, YU Zhi², WU Chuang-zhi³

(1. Faculty of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093 China

2. School of Engineering, Sun-Yat-Sun University, Guangzhou 510275 China

3. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510275 China)

Abstract The external costs of 4MW Biomass Integrated Gasification Power Generating System (BIGPGS), which is under construction in China are evaluated using ExternE methodology. The external costs of the BIGPGS are considerably lower than those of conventional fossil fuels power generating technologies. It is believed that internalization of the costs will improve the competitiveness of BIGPGS.

Key words external costs; ExternE methodology; 4MW biomass integrated gasification power generating system

0 引言

电力生产在现代社会中具有举足轻重的地位, 但化石燃料电力生产系统已对环境产生了严重的负面影响. 近 20 多年来, 世界各国相继颁布了许多法令, 鼓励采用环境友好的发电技术. 因此, 在电力生产技术或项目选择时, 决策者需要在最大化电力生产收益与减少环境破坏之间寻找平衡点, 在优化经济利益同时, 尽可能地减少对环境和社会的危害, 此时可能需要考虑发电系统的非市场经济价值——外部价值 (Externalities).

外部价值估算是生物质能源系统项目评价的一个重要方面. 外部价值反映没有被目前市场价值体系认可或体现的费用或收益. 项目评价和实施阶段涉及的费用, 通常指内部费用, 即项目实施者必须负担的费用, 不包括排放产生的损害. 如果决策者考虑能源生产对环境的负面影响, 就不能仅采用传统费用最小化的方法选择电力生产系统, 而必须考虑现有市场价值体系之外的其它所有环境和社会影响费用.

本文以我国自行研制的 4MW 生物质气化联合循环发电系统为技术基础^[1], 采用寿命周期评价结果

收稿日期: 2006-03-22 基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 资助课题: 生物质气化发电系统寿命周期研究 (项目编号: 2001AA510010); 生物质气化发电系统资源、环境与经济性评价 (项目编号: 2001AA514013) 和中山大学委托研究项目 (项目编号: 20050059): 生物质能源系统可持续发展评价系统研究.

第一作者简介: 贾友见 (1966~), 男, 博士, 主要研究方向: 可再生能源利用. E-mail: jiajian@hotmail.com

估算了 4MW 生物质气化发电系统的外部费用, 作为衡量 4MW 生物质气化发电系统环境影响的一个相对经济指标, 为制定生物质能政策提供一些环境经济影响信息。

1 ExternE 方法

由欧盟和美国能源部组成的联合项目研究组 (ExternE 项目组) 发展起来的 ExternE 方法^[2, 3]是一种自下而上的方法, 它是目前能源系统研究领域应用最广泛的外部费用评估方法, 着重研究多种具有特定地理和技术特征能源系统的外部费用, 如核能、天然气、燃煤发电系统等。ExternE 项目是一项跨学科的研究, 始于 1991 年。项目组由多国研究人员参与, 其中既有经济学、生态学、环境科学领域的科学家, 也有健康专家和计算机专家。这项由众多机构、人员参与、需要大量数据的国际合作项目, 目前已经完成了 21 个燃料发电系统的外部费用评价。

ExternE 方法架构包括与地理和技术有关的活动排放估算、详尽的影响分析和货币价值评价, 图 1 是该评估方法一般步骤。

ExternE 方法是一种“影响途径分析” (IPA, Impact Pathway Analysis) 方法。“影响途径”指污染物从排放源至危害发生点的影响传播过程。经济评价采用的是一种称为“意愿付出” (Willingness to Pay) 的方法, 即为避免能源系统产生的负面影响, 公众愿意为此付出的货币价值。ExternE 项目采用了目前认为最合适的数据, 涵括从简单的统计到采用复杂模型得到的模拟结果。ExternE 方法估算外部费用的主要步骤归纳如下:

1) 活动排放: 确定相关技术特征以及活动导致的环境负荷特征 (如电厂每 kW h 对环境的排放 NO_x , SO_2 mg / Nm^3);

2) 输运扩散: 采用物理大气扩散模型和化学反应模型 (如臭氧层形成的化学模型), 计算污染物波及的地区范围和由此增加的污染物浓度 (SO_2 输运扩散以及硫化物形成);

3) 影响评价: 影响包括人体影响及其它受体反应。计算增加的照射剂量, 并采用辐照剂量和反应函数 (exposure-response function), 用物理单位表示由此剂量所造成的影响, 譬如, 计算由于 SO_2 在大气层中浓度增加导致的哮喘病患者增多的人数;

4) 费用评估: 采用货币价值评估上述影响, 确定外部费用, 尤其是没有被政府条例内部化的费用。譬如, 由于哮喘病导致的费用。

虽然 IPA 是一个复杂的方法, 但由于目前一些软件工具, 如 EcoSenseTM^[4] 融合了 IPA 评价方法, 其应用却很简单和直接。EcoSenseTM 包含空气质量评价模型 WTM (Windrose Trajectory Model)、各种计量-反应影响分析函数, 并包括多个支撑数据库。近年来, EcoSenseTM 得到广泛的应用^[5, 6]。

2 4MW 生物质气化发电系统外部费用

4MW 生物质气化燃气——蒸汽联合循环发电系统采用农作物秸秆在气化炉内燃烧所产生的可燃气作燃料发电, 再将燃气发电所产生的余热用作蒸汽发电。主要由生物质燃料处理和给料单元、气化炉、气体净化 and 燃气内燃机发电机组单元, 以及余热蒸汽发电机组单元组成。该系统是广州能源研究所继成功建设 1MW (电力基准) 和 1.2MW 生物质气化发电示范电厂之后, 研制出的又一个环境友好、且更为经济高效的生物质发电系统, 系统建成后将成为我国乃至亚洲地区的第一座装机容量达 4MW 级的大型生物质发电示范工程。该项目总投资 3 500 万元, 由江苏丹徒经济开发区、中科华电新能源有限公司等三家单位共同投资。

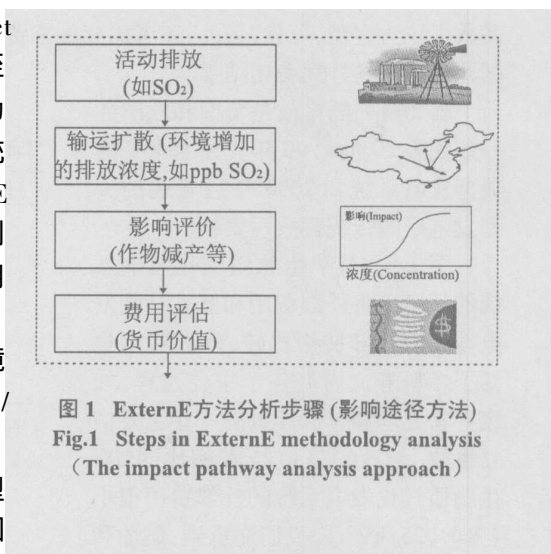


图 1 ExternE 方法分析步骤 (影响途径方法)
Fig.1 Steps in ExternE methodology analysis
(The impact pathway analysis approach)

单位电力外部费用为单位电力排放物排放总量与对应单位排放物损害费用的乘积. 其中, 4MW 生物质气化发电系统的排放物数据取自文献 [7], 如表 1 所示, 这是基于系统整个寿命周期的研究结果, 包括电厂建设、生物质燃料生产和运输, 电力产出等阶段的排放. 为与其它发电技术的对比, 根据表 2 列出了一些化石燃料发电技术的典型排放估算了传统发电技术的外部费用.

由于 4MW 生物质气化发电系统还正在建设中, 目前还缺乏与地理相关的实际工程和社会价值数据, 因此不能系统地应用 ExtemE 方法进行外部费用估算. 这里选用一些研究人员应用 ExtemE

方法估算的传统污染物单位损害结果,

如表 3 所列出的单位污染物损害费用, 其中主要数据来自文献 [8~ 9]. 这样选择基于两个方面的考虑, 首先是该文献作者之一自始至终亲身参与了欧洲 ExtemE 项目, 对 ExtemE 项目的情况比较了解, 我们认为其数据较为客观、可靠; 另外, 还考虑到外部费用估算的不确定性, 我们尽量选择较大的单位损害结果, 并据此得到最终外部费用结果.

表 2 所列的排放是美国和欧洲的一些代表 20 世纪 90 年代技术水平的典型发电系统和 2000 年后安装的大型发电厂的传统排放污染物.

图 2 是 4MW 生物质气化发电系统的环境危害外部费用和其它一些发电技术的外部费用比较. 外部费用包括了燃料寿命周期各个主要过程, 如废弃物处理和排放导致的一些主要伤亡事故. 与其它发电技术相比, 4MW 生物质气化发电系统的外部费用很小 (¥0.025/kWh). 我们注意到: 燃油和燃煤发电的外部费用很大, 在 ¥0.28 ~ 1.35/kWh 之间, 甚至大于目前的一些燃煤发电技术发电成本^[10] (¥0.1~ 0.30/kWh). 其它国家的研究人员也得出类似的结论^[11].

在外部费用中, 除 CO₂ 外, 其它传统排放物 (SO₂, NO_x, PM) 损害也占很大的比例, 尤其以燃煤发电的损害费用最大. 即使采用新技术, 外部费用也与电价相当. 生物质燃料系统的 CO₂ 吸收和生物质含 S 量较低, 由 CO₂ 和 SO₂ 排放造成的外部损害较少. 如果将外部费用内部化, 将其累加到现有电力费用中, 与一些先进发电技术发电成本相比 (以较低的燃煤发电成本 ¥0.15/kWh 和最小外部费用 ¥0.28/kWh 计), 生物质气化发电成本与这些发电技术的成本接近, 甚至更低. 因此, 外部费用内部化后, 仅从经济角度考虑, 生物质气化发电技术已展现出明显的竞争优势.

表 1 4MW 生物质气化发电系统的寿命周期典型排放物^[7]

Tab 1 Typical life cycle emission indications of 4MW biomass integrated gasification power plant in china^[7]

| 排放 | PM | SO ₂ | NO _x | CO ₂ |
|-------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| g/kWh | 0.08536 | 0.02819 | 0.04309 | 44.64 |

表 2 一些电厂的典型排放^[8]

Tab 2 Typical emission indications of some power technologies^[8]

| 排放 (g/kWh) | PM 10 | SO ₂ | NO _x | CO ₂ eq |
|------------|-------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 煤电, 当前* | 0.15 | 6 | 3 | 940 |
| 煤电, 新** | 0.06 | 0.3 | 0.5 | 940 |
| 燃油, 当前 | 0.15 | 6 | 1.4 | 620 |
| 燃油, 新 | 0.07 | 0.4 | 0.6 | 620 |
| 燃气, 当前 | 忽略 | 小 | 1.1 | 430 |
| 燃气, 当前 | 忽略 | 小 | 0.2 | 430 |

* 当前: 指法国和美国 1995 年前的电厂技术;

** 新: 指欧盟 2000 年以后实施的电厂技术.

表 3 本文选取的单位质量污染物损害费用^[9]

Tab.3 Typical damage costs per kg emissions selected for costs estimation^[9]

| 传统排放物 | PM | SO ₂ | NO ₂ | CO ₂ |
|------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 费用 (€/kg)* | 15.4 | 9.95 | 14.5 | 0.029 |

* 本文以 1 € = CN ¥10.12 计

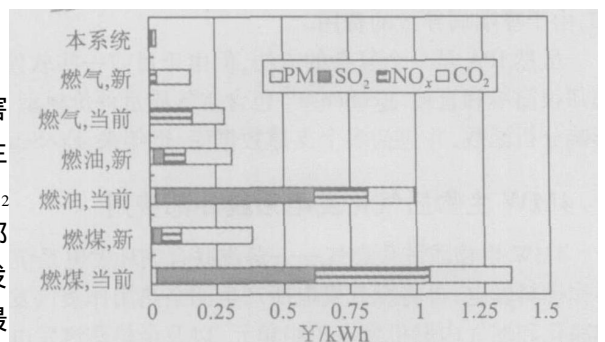


图 2 本系统与化石燃料发电系统的外部费用对比*
Fig. 2 Comparison of external costs for biomass fuel and fossil fuel chains

* 除本系统外, 化石燃料发电系统的数据来自欧洲和美国典型电厂的外部费用

3 结论

ExtemE方法是一种影响途径评价方法,也是目前应用最广的环境损害评估方法.本文依据一些研究人员采用 ExtemE方法得到研究结果,估算了 4MW 生物质气化发电系统的外部费用.虽然这些估算结果仍具有很大的不确定性,但已经为我们提供了足够的信息:与采用化石燃料的发电技术相比,生物质气化发电技术的外部费用很少.虽然目前生物质能源系统,尤其是生物质发电技术还不成熟,经济上也不具有与传统化石燃料发电技术分庭抗礼的竞争力,但考虑外部费用或将外部费用内部化,我们有理由相信,生物质发电技术会显现出更强的优势.

参考文献:

- [1] Jia Youjian, Yu Zhi, Wu C. Z.. Technological Characteristics and Cost Model of 4MW Biomass Integrated Gasification Combined Cycles Power Plant in China[C]. Japan Soc. Mechanical Eng. Proc. of International Conference on Power Engineering - 03. Kobe, Japan. Japan Soc. Mechanical Eng. 2003: 67-69.
- [2] European Commission Directorate-General for Research. External costs: Research Results On Socio-Environmental Damages Due To Electricity And Transport[M]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003: 1-24.
- [3] ExtemE Project. Externalities of Energy Fuel Cycles for Emerging and End-Use Technologies, Transport and Waste[M]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999: 1-9.
- [4] Krawitt W., Trukenmüller A., Mayerhofer P., Friedrich R., et al. EcoSense - An Integrated Tool for Environmental Impact Analysis[C] // Krügers H., Pihlmann W. (Eds.): Space and Time in Environmental Information Systems, Band 7. Marburg, Germany: Umwelt-Infomatik Aktuell, 1995: 103-115.
- [5] Bickel P., Rainer F.. Estimating Environmental Costs Using the Impact Pathway Approach[M/OL]. Heidelberg, Germany: UNIFE, 2001: [2006-1-22]. <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unife/paris/bickel.pdf>
- [6] Heck Thomas. Some Methodological Issues of Externality Assessment the China Energy Technology Program [R/OL]. Villigen, Switzerland: ExtemE DfEM Workshop, 2004[2005-12-5]. <http://www.exteme.info/pag/tu1220b.pdf>
- [7] 贾友见, 余志, 吴创之. 4MW 生物质气化联合循环发电系统的寿命周期评价[J]. 太阳能学报, 2004, 25(1): 56-62.
- [8] Bob V. D. Z. Ari Rah. Prospects for PV: a Learning Curve Analysis[J]. Solar Energy, 2003, 74: 19-31.
- [9] Rabl A., Spadaro J V.. The Cost of Pollution and the Benefit of Solar Energy[C] // JM Gordon editor. Solar Energy: the State of the Art. London, UK: Janes & Janes (Science Publishers) Ltd, 2003: 437-475.
- [10] 黄盛初, 孙欣, 张文波, 等. 中国煤炭开发与利用的环境影响研究 [R/OL]. 北京: 煤炭信息研究院洁净能源与环境中心, 2003[2005-12-08]. www.wfchina.org/energy/download/mtyxbg.pdf
- [11] ORNL/RFF (Oak Ridge National Laboratory and Resources For the Future). Estimating Externalities of Nuclear Fuel Cycles Report No. 8 on the External Costs and Benefits of Fuel Cycles[M]. New York: McGraw-Hill Companies, 1995: 1-78.