

基于 LCA 的稻秸合成甲醇的环境-经济成本分析

顾吉青,金保升*,肖 军,仲兆平,沈来宏 (东南大学能源与环境学院,江苏 南京 210096)

摘要: 以年产 5 万 t 甲醇的稻秸气化合成甲醇系统为研究对象,采用生命周期评价方法,对该系统进行了环境-经济成本分析.结果表明,稻秸合成甲醇系统的环境影响成本是 284.99 元/t(以甲醇计),且主要集中在生产转化过程和下游甲醇燃料消费 2 个单元阶段.在不同环境影响类型中,温室效应是生命周期最主要的环境影响因素,由于稻秸固碳作用产生的环境成本是-152.79 元/t,生产上游温室效应影响负荷为负、总环境影响负荷为负.每 t 稻秸甲醇的真实成本比煤基甲醇低 76.84 元.

关键词: 稻秸气化; 甲醇; 生命周期评价; 综合性能

中图分类号: X196 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2009)11-1221-06

Environmental and economic analysis of rice straw methanol synthesis system based on life cycle assessment. GU Ji-qing, JIN Bao-sheng*, XIAO Jun, ZHONG Zhao-ping, SHEN Lai-hong (College of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China). *China Environmental Science*, 2009,29(11): 1221~1226

Abstract: A rice straw gasification for methanol production system of annual 50,000 t was investigated. Based on life cycle assessment, environmental and economic analysis of the process were performed. The total environmental cost of the bio-methanol was 284.99 yuan per ton(via methanol), and it was mainly concentrated in methanol production and methanol consumption. The greenhouse effect was the most important impact factor, among the various types environmental cost of the bio-methanol. Environmental cost of rice straw carbon sequestration, in the upstream of production, was -152.79 yuan per ton, so both the greenhouse effect and the overall environmental impact are negative. Through comparison, it was evident that the total cost of the bio-methanol was 76.84 yuan/ton lower than that of coal based methanol.

Key words: rice straw gasification; methanol; life cycle assessment; environmental assessment

生命周期评价(LCA)是一种评价研究对象在其整个生命周期全过程,从获取原材料、生产、使用到最终处置的环境影响的方法^[1].对生物质替代燃料进行的 LCA 已有一些报道^[2-4],但都没有与经济分析相结合.甲醇是重要的车用替代燃料,用生物质气化合成甲醇,对发展国内经济,减少对石油供给的需求,实现节能减排具有积极意义.

本研究在过程模拟软件 Aspen Plus 对稻秸气化合成甲醇模拟的基础上,经试验验证,收集到生产过程的技术数据和环境数据.结合生产上游和生产下游的相关数据,对年产 5 万 t 的稻秸合成甲醇系统进行 LCA 分析,得出相应的环境影响负荷.通过货币化处理,计算出全生命周期的环境成本,并与煤基甲醇的成本进行了比较.

1 研究方法

1.1 研究对象

采用串行流化床稻秸气化制取富氢气体合成甲醇^[5].系统的流程由稻秸气化、气化气净化、甲醇合成、粗甲醇精制等部分组成.选取评价的对象是规模为年产 5 万 t 甲醇的稻秸气化合成甲醇系统.每生产 1t 甲醇的稻秸消耗量是 3.25t.稻秸搜集的区域半径约为 50km^[6],甲醇厂的寿命为 15a,甲醇气化合成部分污染物的排放参数由 Aspen Plus 模拟所得^[5].

收稿日期: 2009-03-23

基金项目: 国家“973”项目(2007CB210208);国家自然科学基金资助项目(50776019);教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-05-0469)

* 责任作者, 教授, bsjin@seu.edu.cn

1.2 系统边界

将生物质合成甲醇的生命周期分为 3 个单元阶段:生产上游,主要指生物质生长、生物质运输;生产过程,主要包括生物质定向气化、气质调整、催化合成甲醇、甲醇精制等;生产下游,主要指甲醇燃料车用消费。

建立模型时做如下假设:甲醇生产过程中的灰渣全部排放,未再利用;不考虑地区、生物质来

源及影响范围等因素;成本分析时结合国外相关的污染成本数据进行数据类比;由于稻秸合成甲醇是一个新型的系统,故暂未考虑生产设备的报废回收单元阶段。

1.3 清单分析

通过对所确定的稻秸合成甲醇系统进行分析,在考虑主要污染物的前提下,该系统的输入输出清单如图 1 所示。

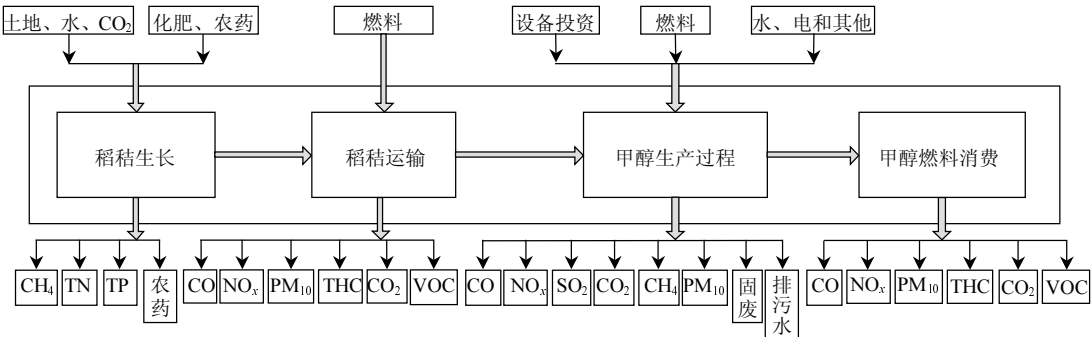


图 1 稻秸气化合成甲醇系统输入输出清单

Fig.1 Inventory of the biomass gasification methanol synthesis system

THC 为总碳氢化合物、VOC 为挥发性有机化合物、TN 为总氮、TP 为总磷

1.4 LCA 的环境影响

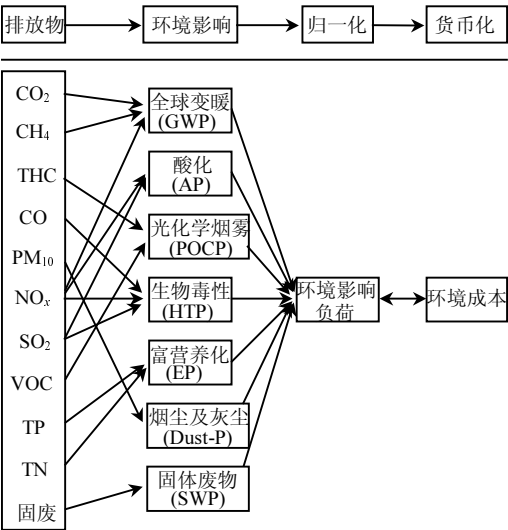


图 2 生物质甲醇系统的 LCA 模型示意

Fig.2 Schematic LCA of biomass methanol system

将清单分析中的污染物,按照环境影响类型进行分类划分,然后确定不同环境影响类型的相

对作用大小或权重,获得归一化的总体环境影响水平的大小.以每生产 1t 甲醇所造成的环境影响进行计算和分析,即功能单位为 1t 甲醇.该系统的 LCA 模型如图 2 所示。

2 结果与分析

目前,我国尚未制定相关的行业污染物折价标准.在生物质种植过程中,对水体 TN、TP 的影响及生物多样性减少与减产,采用造成的经济损失来量化不同污染物的环境影响,实现污染损失货币化.根据文献[7],在参考中国排污总量收费标准(PCS)和美国环境价值标准(U.S.EVS)^[8]的基础上,给出目前中国火电行业各种污染物减排的环境价值标准,得到部分污染物的环境影响成本,然后根据环境影响类型以及相应污染物的当量因子,类比得到所有污染物的环境影响成本(元/t)为:CO₂ 80、CH₄ 1680、NO_x 8000、THC 4800、CO 1000、SO₂ 6000、VOC 20000、PM₁₀ 2200、排污水 8、固体废物 120。

2.1 清单分析

主要考虑农药、化肥的使用对下游渔业、生活用水的影响,及农田生态系统生物多样性的损失;稻田温室气体的排放导致气候的变化;谷物生长过程中净碳固定作用.

参考文献[9]的计算方法,根据国家统计局统计年鉴^[10]、江苏省统计局统计年鉴^[11]和环境统计年鉴^[12]等提供的数据,计算得到该地区化肥使用、农药使用、农田排放温室气体和生长过程净碳固定产生的环境影响成本,粒秸比取 1:1.2,稻谷的价格取 1500 元/t,稻秸的价格取 250 元/t,按照稻秸和稻谷的经济价值比,对该部分环境影响成本进行分配,得到稻秸生长过程中的环境影响成本(表 1).

表 1 上游稻秸生长过程环境影响成本

Table 1 Environmental cost of the upper process of straw growth

项目	稻秸生产环境成本(元/t 粒秸)	环境影响成本(元/t 甲醇)
水体 TN、TP 影响	0.5 ^[9-13]	1.62
生物多样性减少与减产	13.5 ^[9-12]	43.88
农田排放温室气体	22.09 ^[10, 13-14]	71.80
生长过程净碳固定	-47.01 ^[13, 15]	-152.79
总计		-35.49

2.2 稻秸运输过程

表 2 稻秸运输过程环境影响成本

Table 2 Environmental cost of the rice straw transport

污染物	排放量(g/km)	稻秸运输环境成本(元/t 粒秸)	环境影响成本(元/t 甲醇)
THC	0.12	0.006	0.019
CO	1.50	0.015	0.049
NO _x	1.08	0.086	0.281
PM ₁₀	0.17	0.004	0.012
CO ₂	413.00	0.330	1.074
VOC	0.24	0.048	0.156
总计			1.59

对于上游运输过程,从简化的角度出发,所考虑的排放量只是运输过程中燃料的排放.运输方式统一为柴油汽车,取载重量为 5t,油耗为

0.18L/km 的货车.柴油密度取平均值 0.85kg/L,燃烧为完全燃烧,假设平均运距为 50km,道路曲折因子为 1.3.排放标准参考国家标准^[16].稻秸运输过程的环境成本如表 2 所示.

2.3 甲醇生产过程

采用串行流化床气化制氢技术,将稻秸的燃烧与热解气化过程分开,燃烧采用循环流化床,气化采用鼓泡流化床,两床之间通过床料颗粒进行热量传递,并向床料中添加石灰石催化剂实现生物质的催化气化.气化产物中,H₂ 含量比较高,气化气不需 CO 变换,H/C 比接近 4.2.采用 ZnO 干法脱硫,甲醇合成采用 Lurgi 低压甲醇合成工艺,甲醇精馏采用三塔精馏工艺,气化合成部分污染物的排放由过程模拟商用软件 Aspen Plus 模拟所得^[5].生产过程总的环境影响成本如表 3 所示.

表 3 甲醇生产过程环境影响成本

Table 3 Environmental cost of the methanol production

污染物	污染物排放量(kg/t 甲醇)	环境影响成本(元/t 甲醇)
PM ₁₀	0.93	2.05
CO	1.12	1.12
SO ₂	0.52	3.14
NO _x	0.93	7.42
CH ₄	0.23	0.39
CO ₂	1830.00	146.40
排污水	1000.00	8.00
固体废物	410.00	49.20
总计		217.73

2.4 甲醇燃料消费阶段

表 4 下游燃用甲醇的环境影响成本

Table 4 Environmental cost of methanol consumption

污染物	污染物排放量(g/km)	环境影响成本(元/t 甲醇)
THC	0.17	5.01
CO	1.81	11.24
NO _x	0.14	6.96
PM ₁₀	0.05	0.68
CO ₂	148.00	73.54
VOC	0.03	3.73
总计		101.16

生产下游甲醇燃料消费阶段,以汽车燃用 100%甲醇,行驶 100km 的排放为基准,根据文献 [17-18]研究得出的污染物的排放量、小汽车的油耗、以及单位污染物损失成本,得出燃用每 t 甲醇的环境影响成本如表 4 所示.

3 讨论

3.1 全生命周期的环境影响

由稻秸气化成甲醇系统的全生命周期环境影响成本(表 5)可见,整个系统的环境影响成本主要集中在生产转化过程和下游甲醇燃料消费 2 个阶段.在生产上游,由于稻秸的固碳作用,吸收了部分 CO₂,使该阶段的环境影响成本为负值,环

境影响负荷为负.

表 5 稻秸合成甲醇系统全生命周期环境影响成本
Table 5 Life cycle environmental cost of rice straw methanol synthesis system

过程阶段	环境影响成本(元/t 甲醇)
作物种植	-35.49
原料运输	1.59
生产转化过程	217.73
甲醇产品消费	101.16
总计	284.99

稻秸合成甲醇系统全生命周期各环境影响类型成本如表 6 所示.

表 6 稻秸气化成甲醇系统生命周期各类环境影响类型成本 (元/t)
Table 6 Life-cycle environmental cost of rice straw methanol synthesis system (Yuan/t)

生产阶段	GWP	AP	POCP	HTP	EP	Dust-P	SWP
生产上游	-79.72	0.08	0.18	43.93	1.62	0.01	0
生产过程	151.70	5.26	0	1.12	8.00	2.05	49.2
生产下游	78.51	1.99	8.74	11.24	0	0.68	0

在各环境影响类型的成本中,温室效应引起的环境成本最大,且大部分发生在生产过程,主要来源于稻秸燃烧和气化时产生的 CO₂.在生产上游,由于稻秸生长时吸收了大量的 CO₂ 使得该部分温室效应引起的环境成本为负值,即环境影响负荷为负.处于第 2 位的是生物毒性的环境影响成本,主要来源于稻秸种植过程使用的农药,以及甲醇生产、甲醇产品消费过程中产生的 CO、SO₂ 和 NO_x.在剩余的几种环境影响成本中,固体废物的环境成本最高,其产生的环境影响负荷也最高.该影响主要集中在甲醇的生产过程,且主要是稻秸燃烧和气化后产生的灰分,为减少这部分损失,可以尽量使灰分循环再利用、造肥还田.

3.2 稻秸气化成甲醇与煤制甲醇的比较

3.2.1 全生命周期环境影响成本比较 采用同样的方法,分析年产 20 万 t 甲醇的煤制甲醇系统.研究范围包括煤炭开采、煤炭运输、煤气化、CO 变换、气化气净化、甲醇合成、粗甲醇精制

和甲醇燃料消费等,得出该系统全生命周期的环境影响成本如表 7 所示.

表 7 煤制甲醇生命周期污染物排放及环境影响成本
Table 7 Life cycle pollution and environmental cost of coal based methanol

污染物种类	污染物总排放量 (kg/t 甲醇)	环境影响成本 (元/t 甲醇)
CO ₂	2944.25	235.54
SO ₂	1.46	8.76
NO _x	2.70	21.60
CO	21.30	21.30
CH ₄	6.68	11.21
VOC	0.48	9.60
H ₂ S	0.19	2.11
THC	1.04	5.01
PM ₁₀	0.31	0.68
烟尘	1.11	2.45
炉渣	300.00	36.00
污水	1800.00	14.40
污泥	0.22	0.03
合计		368.69

2 种甲醇合成系统全生命周期的各环境影响类型成本比较如图 3 所示.由图 3 可见,煤制甲醇的环境影响成本比稻秸气化合成甲醇的环境影响成本高,尤其是温室效应的环境成本,稻秸作为一种清洁能源,具有明显的优势.

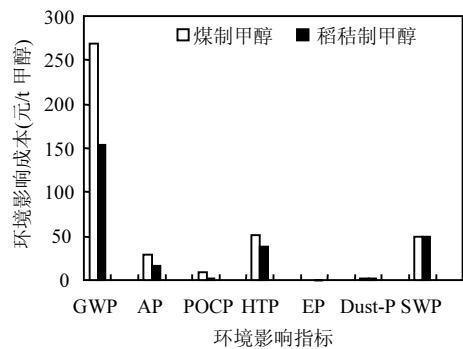


图 3 煤制甲醇与稻秸合成甲醇全生命周期各类环境成本比较

Fig.3 Comparison of life cycle environmental cost between coal based methanol and rice straw methanol

3.2.2 考虑环境影响的总生产成本比较 参照煤制甲醇的投资成本^[19-20],估算了年产 5 万 t 甲醇的稻秸气化合成甲醇系统的投资费用约为 3.94 亿元,结果如表 8 所示.投资费用中贷款占固定资产投资 70%,贷款利率根据中国人民银行 2006 年贷款利率确定为 6.12%,固定资产形成率按 95%计算,折旧年限为 15a,计算时年维修费用取固定资产原值的 3%,稻秸价格取 250 元/t,石灰石价格取 100 元/t,人员工资和福利取行业平均水平 40000 元/(人·a).可以估算出甲醇的内部成本为 2128.46 元/t(表 9).考虑系统全生命周期的环境影响成本 284.99 元/t 时,该甲醇的真实成本为 2413.45 元/t.而目前年产 20 万 t 甲醇厂,当煤价为 550 元/t 时,生产甲醇的内部成本约为 2121.60 元/t,考虑其环境成本 368.69 元/t 时,煤制甲醇的实际成本为 2490.29 元/t,比稻秸甲醇多 76.84 元/t,因此该套生物质气化合成甲醇系统的综合性能有优势.

表 8 5 万 t 甲醇/a 稻秸气化合成甲醇系统投资费用(万元)
Table 8 Investment cost of system of annual output 50 000 t rice straw methanol (×10⁴Yuan)

项目	设备购置	安装工程	建筑工程	合计
供电系统	1000	100	300	1400
加料预处理系统	600	60	2200	2860
气化系统	4500	1500	1000	7000
净化系统	3000	1500	330	4830
合成系统	5500	1750	1000	8250
水系统	2500	750	1400	4650
公用工程	112	2100	950	3162
辅助系统	2150	250	4850	7250
合计				39402

表 9 煤基甲醇与稻秸甲醇实际成本表
Table 9 Real cost of the coal based methanol and the bio-methanol

项目名称	煤基甲醇成本(元/t)	生物质甲醇成本(元/t)
原料煤	825.00	0
稻秸	0	812.50
石灰石	0	216.67
催化剂	1.68	1.68
副产硫磺	-150.00	0
工业用水	40.00	40.00
电费	225.00	90.00
燃料煤	246.40	0
人员工资	90.00	92.31
折旧费	456.25	479.90
维修费	201.71	227.32
其他	95.56	75.77
生产成本	2031.60	2036.15
管理费用	90.00	92.31
内部成本	2121.60	2128.46
环境成本	368.69	284.99
真实成本	2490.29	2413.45

4 结论

4.1 通过对生物质合成甲醇系统生产过程和生产上游、下游 3 个阶段的 LCA 分析,根据不同环境影响类型相对作用的大小,综合分析污染物产生的环境影响,获得归一化的总体环境影响水平的大小,并核算出稻秸气化合成甲醇系统的环境影响成本是 284.99 元/t 甲醇.

4.2 通过对稻秸合成甲醇系统的不同环境影响类型成本的比较,得出温室效应是全生命周期最

主要的环境影响因素,并与煤制甲醇对比,得出利用稻秸能制备甲醇燃料将显著减少温室气体带来的环境影响。

4.3 稻秸合成甲醇在综合性能上要优于煤制甲醇.

参考文献:

- [1] ISO 14040. Environmental management life cycle assessment principles and framework [S]. 1997.
- [2] Hua Z, Tan P, Yan X, et al. Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China [J]. Energy, 2008,33:1654-1658.
- [3] Luo L, van der Voet E, Huppes G. Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugarcane in Brazil [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009,13:1613-1619.
- [4] Kumabe K, Fujimoto S, Yanagida T, et al. Environmental and economic analysis of methanol production process via biomass gasification [J]. Fuel, 2008,87:1422-1427.
- [5] Zhang Yanan, Xiao Jun, Shen Laihong. Simulation of methanol production from biomass gasification in interconnected fluidized beds [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2009, 48(11):5351-5359.
- [6] 王伟,赵戴青,杨浩林,等.生物质气化发电系统的生命周期分析和评价方法探讨 [J]. 太阳能学报, 2005,26(6):752-759.
- [7] 魏学好,周 浩.中国火力发电行业减排污染物的环境价值标准估算 [J]. 环境科学研究, 2003,16(1):53-56.
- [8] 黄 雷,张彩虹,秦 琴.环境成本与林木生物质发电 [J]. 电力需求侧管理, 2007,1(9):77-80.
- [9] 向平安,黄 璜,燕惠民,等.湖南洞庭湖区水稻生产的环境成本评估 [J]. 应用生态学报, 2005,16(11):2187-2193.
- [10] 国家统计局.中国统计年鉴 2008 [M]. 北京:中国统计出版社, 2008.
- [11] 江苏省统计局,国家统计局江苏调查总队.江苏统计年鉴 2008 [M]. 北京:中国统计出版社, 2008.
- [12] 国家统计局,国家环境保护总局.中国环境统计年鉴 2008 [M]. 北京:中国统计出版社, 2008.
- [13] 吕 耀,程 序.太湖地区农田氮素非点源污染及环境经济分析 [J]. 上海环境科学, 2000,19(4):143-148.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所.中国土壤数据库 [EB/OL]. http://www.soil.csdn.cn/redsoil/book/data/9_5_2.htm. 2003-04-25.
- [15] 杨建新,徐 成,王如松.产品生命周期评价方法及应用 [M]. 北京:气象出版社, 2002.
- [16] GB18352.3-2005 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国 III、IV 阶段) [S].
- [17] 葛蕴珊,尤可为,王军方,等.甲醇燃料汽车的排放特性研究 [J].

北京理工大学学报, 2008,28(4):413,513,613,713,813.

- [18] 刘 宏,王贺武,侯之超,等.甲醇汽车和电动汽车的煤基燃料路径生命周期评价 [J]. 交通节能与环保, 2007,(5):27-32.
- [19] 王 璇.甲醇生产工艺经济与成本分析 [J]. 国际化工信息, 2005,(4):10-18.
- [20] 北京华经纵横经济信息中心.2008 年中国甲醇项目投资可行性研究报告 [R/OL]. <http://www.chinacir.com.cn/report/200848113353.shtml>. 2008-04-08.

作者简介: 顾吉青(1985-),男,江苏南通人,东南大学能源与环境学院硕士研究生,主要从事生物质能的利用研究.

环 保 信 息

重庆试行排污权交易,环保信用不良一律不得转让或购入排放指标 记者近日从重庆市环境保护局获悉,重庆市政府下发了《主要污染物排放权交易试点方案》(以下简称《方案》),将在有关区县(自治县)中开展排污权交易试点.今后,化学需氧量和二氧化硫这两项主要污染物的排放指标,将摆上“柜台”进行买卖.

根据《方案》,重庆市将在流域水环境质量化学需氧量指标不达标或区域大气环境质量二氧化硫指标不达标的区县(自治县),以及环境质量达标但已无化学需氧量、二氧化硫减排潜力的区县中开展新增化学需氧量和二氧化硫排污权交易试点.需求方为需要新增化学需氧量、二氧化硫排放的排污单位,转让方为合法拥有可供交易的化学需氧量、二氧化硫排放权的单位.排放权以指标进行交易,一个指标分别对应一年一吨的化学需氧量或者二氧化硫排放量.

摘自《中国环境报》

2009-09-15