

基于混合模型的 E10 燃料生命周期评估

戴 杜, 于随然, 浦耿强, 王成焄

(上海交通大学 机械与动力工程学院 上海 200030)

摘 要: 常规过程式生命周期评估方法在计算中会截断误差, 导致评估结果被低估。投入产出方法可以避免截断误差的产生但不包括产品生命周期的使用阶段。为了对 E10 燃料的生命周期进行评估, 本文建立了一个混合生命周期评估模型。生物质生产、乙醇生产/混配以及废物处理/回收 3 个子过程采用了投入产出生命周期评估方法, 燃料燃烧子过程采用了过程式生命周期评估方法。并对两种方法的排放值进行求和, 计算出 E10 燃料生命周期 VOC、CO、NO_x、PM₁₀、SO_x、CH₄、N₂O、CO₂ 排放值分别为 21.245、321.488、26.829、3.110、5.904、9.126、3.028、31345.721 g/kg。该结果与过程式生命周期评估结果一致。

关键词: 生命周期; E10 燃料; 投入产出; 生物质

中图分类号: TK6

文献标识码: A

E10 Fuel Life Cycle Assessment Based on Hybrid Model

DAI Du, YU Sui-ran, PU Geng-qiang, WANG Cheng-tao

(School of Mechanical Eng., Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, P.R.China)

Abstract: Truncation error occurs in process life cycle assessment (PLCA), which makes underestimation of assessment results. Economic input-output assessment (EIOLCA) can avoid truncation error but excludes use stage of life cycle. To assessing life cycle of E10 fuel. A hybrid assessment model for life cycle of E10 fuel is established. EIOLCA method is used for sub processes of biomass production, ethanol production/mixing and dispose/recycle, and PLCA method is used for sub process of combustion. Through aggregating, the life cycle emission results shows that emission of VOC, CO, NO_x, PM₁₀, SO_x, CH₄, N₂O, CO₂ are 21.245, 321.488, 26.829, 3.110, 5.904, 9.126, 3.028, 31345.721 gram per kilogram ethanol output, respectively. These results are consistent to results with PLCA method.

Keywords: life cycle; E10 fuel; input-output; biomass

E10 燃料是一种 $j = 0.995$ 无水乙醇和普通汽油的混合物, 其中无水乙醇的体积分数为 0.10, 它是一种低排放可再生的汽车燃料, 能增加汽油的含氧量, 使燃烧更充分, 并且不需要对现有发动机进行改动, 可直接使用。E10 燃料中的无水乙醇又称为燃料乙醇, 在国内已经有 9 个省市在试点使用^[1, 2]。

产品生命周期评估 (LCA) 方法用来评估产品系统从原料获取、生产、使用到废物处理/回收这一系列过程中的资源消耗和环境排放, 包括目标和范围定义、产品清单分析、环境影响分析、解释评估结果 4 个步骤。对于常规基于过程的 LCA 方法 (PLCA), 在目标定义与范围确定这一过程中, 系统边界定义过程中会产生截断误差^[3], 环境排放评估结果是系统性地被低估。通过引入投入产出方法, 建立投入产出生命周期评估模型 (EIOLCA) 可以避免截断误差的产生, 但是, 由于 EIOLCA 方法不能包括产品生命周期的使用阶段, 故通常

收稿日期: 2004-10-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50175070); 美国大卫与露茜尔·派克德基金会&美国能源基金会
联盟 (G-0205-06347) 资助项目

作者简介: 戴杜 (1976-), 男, 湖南长沙人, 博士生, 主要研究方向为产品生命周期分析、项目评估、绿色设计等。王成焄 (联系人), 男, 教授, 博士生导师

需要方法修正或者和其他的评估方法结合^[4]。

本文建立了一种使用 EIOLCA 和 PLCA 方法的混合评估模型对 E10 燃料的生命周期进行评估。生物质生产、乙醇生产/混配以及回收/废物处理 3 个子过程采用投入产出的 EIOLCA 方法，燃烧子过程采用 PLCA 方法。两种方法使用相同的评估指标，并且评估的对象是具有生物质共性的一般生物质。这使得两种评估方法的结果具有可比性，可以对两种方法得出的标准污染物 VOC、CO、NO_x、PM₁₀、SO_x、CH₄、N₂O、CO₂ 的排放值进行求和，从而计算出 E10 燃料生命周期完全排放。

1 评估方法

1.1 直接排放和间接排放

环境排放可以分为直接排放和间接排放，两者之和称为完全排放。直接排放是产品生产过程中直接产生的排放。生产过程中需要投入的原料和能源，在生产中也产生了排放，这部分排放称为间接排放。如生物质种植过程中使用了化肥和柴油，化肥和柴油的生产过程中的排放，对于生物质种植过程而言就是间接排放。在 LCA 方法中，通常要对这两种排放进行统计求和，得到完全排放值。

1.2 PLCA 方法

基于过程的 PLCA 评估方法开始于边界定义，然后进行清单分析，对一种产品在其整个生命周期内各个子工艺过程对环境的完全排放进行以数据为基础的量化，然后对各种排放物按照类别进行求和：

$$e_k^{PLCA} = \sum_n e_k^D + e_k^I \quad (1)$$

式中： e_k^{PLCA} 为第 k 种标准污染物的生命周期完全排放； e_k^D 和 e_k^I 分别为对应的直接和间接排放。最后，根据总排放的结果给出影响评价和改善评价。这是一种从下至上的 LCA 建模方法。

1.3 EIOLCA 方法

EIOLCA 方法是一种从上至下的 LCA 建模方法，其重要组成部分是投入产出表，该表主要用于衡量国民经济体系中各产业间互相依赖与影响的关系。假设国民经济是由许多部门组成，各个部门为只生产一种综合产品的纯部门，各综合部门都具有单位价格^[4]，投入产出表反映了这些部门产品价格间的互相影响关系。

EIOLCA 方法假设每个部门一般产品的产值与生产该产品的环境排放成正比。设共有 n 个产品生产部门， a_{ij} 为部门 j 的单位产出需要向部门 i 所购买的产品（无量纲系数），

$A = \{a_{ij}\}$ 构成直接消耗矩阵。燃料乙醇生产对应的生产部门是酒精及饮料酒制造。该行业部门为生产乙醇引起环境污染物 k 的完全排放可表示为

$$e_k^P = r_k (I - A)^{-1}_e P = r_k \bar{B}_e P \quad (2)$$

式中： e_k^P 为乙醇生产阶段的完全排放； r_k 为排放系数行向量，表示向酒精及饮料酒制造部门提供产品的 1 到 n 部门（包括本部门）产品单位产值的直接环境排放物 k ； P 为燃料乙醇市场价格； $(I - A)^{-1}_e$ 是 $(I - A)^{-1}$ 中第 e 列的酒精及饮料酒制造部门。 $(I - A)^{-1}$ 又称为列昂惕夫逆矩阵，或者完全需要系数矩阵，记为 $\bar{B}$ ，它和完全消耗系数矩阵 $B = (I - A)^{-1} - I$ 的

关系为 $\bar{B} = B + I$ 。利用国家统计局公布的 124 部门完全消耗系数表^[5]，即可求得 $\bar{B}$ 。

1.4 混合 LCA 方法

一般而言，在 PLCA 方法中，间接排放难于统计准确，这是因为产品的供应链理论上无限的。从下至上的建模方法不可能把所有的细节都包括在内；所以 PLCA 方法有由边界定义产生的截断误差。而 EIOLCA 方法虽然不存在截断误差，但是它不能对产品使用过程的排放进行统计，这样的生命周期的是不完整的。通过结合两者的长处，可以组成一种混合 LCA 方法来实现对 E10 燃料的生命周期评估。

E10 燃料实际上是 $j = 0.10$ 的燃料乙醇和 $j = 0.90$ 的普通汽油和混合物，由于燃料乙醇和普通汽油的密度不同，E10 燃料中的燃料乙醇和普通汽油的质量比是 11.93：88.07。对于 E10 燃料的生命周期环境排放物 k ，可以看成是两种燃料的生命周期排放物 k 之和：

$$E_k = 0.1193g_k + 0.8807e_k \quad (3)$$

上式中， g_k 和 e_k 分别为普通汽油和燃料乙醇的生命周期排放。 g_k 数值来源于投入产出表

^[6]。式(3)中 $e_k = e_k^P + e_k^U + e_k^E$ 。 e_k^U 、 e_k^E 分别表示燃料燃烧、回收/废物处理子过程。燃料乙醇的生命周期主要由生物质生产、乙醇生产/混配、燃料燃烧和废物处理/回收 4 个子过程组成，见图 1。燃料乙醇经过和普通汽油的混配后生成 E10 燃料。对于 E10 燃料本身而言，不存在回收/废物处理过程，但是对于生产乙醇过程中的机器等存在回收/废物处理过程。所以在生物质生产、乙醇生产/混配以及回收/废物处理 3 个子过程采用投入产出的 EIOLCA 方法，燃料燃烧子过程采用 PLCA 方法。对两种方法的排放值进行求和可以得到燃料乙醇的生命周期排放值。子过程和投入产出表中的行业部门对应如表 1 所示。燃料燃烧子过程采用 PLCA 方法。

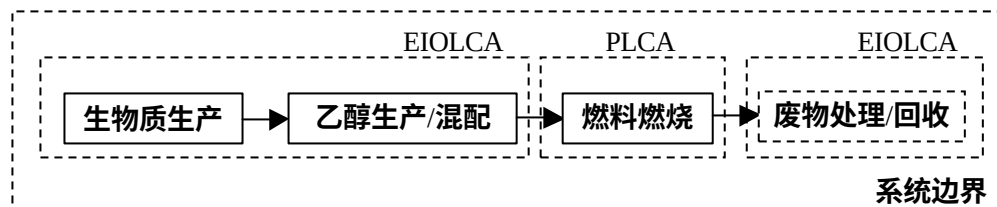


图 1 燃料乙醇系统框架

Fig.1 Framework of fuel ethanol system

表 1 燃料乙醇子过程和行业部门对应

Tab. 1 Sub-processes of fuel ethanol and their corresponding sectors

子过程	对应投入产出表中的行业部门
生物质生产+乙醇生产/混配	酒精及饮料酒制造业
回收/废物处理	废品及废料

1.5 数据来源和处理

根据式(2)，求解中需要环境系数向量 r_k ，但是由于国内缺乏各个行业部门排放的统计

数据，所以这里采用美国国家排放清单数据库^[7]，按照产值和效率修正为中国的排放系数，以保证一定的可比性；并把其中美国的行业部门和中国投入产出表中的行业部门对应。这样就可以得到各个行业的直接排放矩阵 r_k ，混合模型燃料燃烧阶段，普通汽油 PLCA 的数据来源于美国 Argonne 实验室的 GREET 模型^[7]，并按照中国国内的燃烧效率进行修正，作为对比的玉米、小麦、木薯生产乙醇过程中的 PLCA 数据分别来源于黑龙江、河南、广西的实地调研。

2 计算过程

(1) 利用式(2)，计算出酒精及饮料酒生产阶段的完全排放。燃料乙醇价格 P 来源于 2000~2004 年的价格平均值，计算的结果列于表 2。为了进行比较，用 PLCA 方法计算出玉米、小麦、木薯燃料乙醇，将生产阶段的排放结果^[6]同时列于表 2。

(2) 利用式(2)计算废品及废料行业的完全排放，这时 P 为废旧设备的处理价格。

(3) 利用 GREET 模型计算燃料乙醇燃烧阶段的排放值（PLCA 方法，数据按照国内燃烧效率修正）求出乙醇燃料燃烧阶段的标准污染物排放值。

(4) 使用式(3)和(4)，对标准污染物排放值求和，计算出完全排放 E_k ，其中 e_k 来源于上述三者之和，使用 PLCA 方法求得，计算结果列于表 3。为了进行比较，同时列出玉米、小麦、木薯为原料生产燃料乙醇生命周期标准污染物排放值（PLCA 方法）。

表 2 燃料乙醇生产阶段排放值

Tab. 2 Emissions of in fuel ethanol production g/kg

计算方法	生物质类别	VOC	CO	NO _x	PM ₁₀	SO _x	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
EIOLCA	一般生物质	1.056	3.136	12.717	0.765	11.995	10.371	3.359	2382.485
PLCA	玉米	0.577	3.322	8.932	0.628	10.362	5.030	1.667	1431.750
	小麦	0.720	3.945	10.742	0.752	11.069	6.093	2.178	1463.887
	木薯	0.269	1.982	5.031	0.360	8.832	2.744	0.567	1360.376

表 3 E10 燃料和普通汽油生命周期排放值

Tab. 3 Emissions during life cycle E10 fuel and common gasoline g/kg

计算方法	生物质类别	VOC	CO	NO _x	PM ₁₀	SO _x	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
混合方法	一般生物质	21.245	321.488	26.829	3.110	5.904	9.126	3.028	31345.721
PLCA	玉米	21.165	321.465	26.141	3.081	5.613	8.275	2.744	31206.583
	小麦	21.180	321.532	26.334	3.094	5.689	8.388	2.799	31210.009
	木薯	21.132	321.322	25.725	3.052	5.450	8.031	2.627	31198.975
PLCA	(普通汽油)	18.832	501.687	25.211	3.015	8.094	7.751	2.569	35515.032

3 结果分析

(1) 燃料乙醇生产阶段分别用 EIOLCA 和 PLCA 方法计算燃料乙醇系统生命周期的排放值，除了 CO 排放外，EIOLCA 计算值都大于 PLCA 计算值，这验证了 PLCA 方法存在截断误差。在对系统边界划分上，PLCA 没有 EIOLCA 完备，EIOLCA 的系统边界是国民经济，而 PLCA 的系统边界需要 PLCA 操作者进行人为的分割，所以存在着系统截断误差。一般情况下都是 EIOLCA 的结果大于 PLCA 结果，

(2) 和普通汽油相比，无论在混合方法还是 PLCA 方法中 E10 燃料生命周期排放 CO、SO_x、CO₂ 都降低。在其他排放物中，两种方法 E10 燃料生命周期排放都比汽油升高。混合方法和 PLCA 方法表现出一致性。

(3) EIOLCA 所描述的是一个行业部门标准产品的情形，具有该行业的平均水平特征。比如，燃料乙醇的生产是酒精及饮料酒制造业的近似。在这一点上它的精度不如对于特定过

程进行清单分析的 PLCA 方法。

(4) EIOLCA 相对 PLCA 而言,基本上不需要现场调查,极大地节省了时间和金钱,所以作为 PLCA 前期的分析和缺乏数据情形下的补充是非常有益的。并且 EIOLCA 相对 PLCA 时效性更强, EIOLCA 的数据可以根据国家统计局部门的最新数据进行更新。

参考文献

- [1] 胡志远,戴杜,浦耿强等. 木薯燃料乙醇生命周期能源效率评价[J].上海交通大学学报,2004, 38(10):1715-1718
HU Zhi-yuan, DAI Du, PU Geng-qiang, et al. Life Cycle Energy Efficiency Assessment of Cassava-Based Fuel Ethanol [J]. **Journal of Shanghai Jiaotong University**, 2004, 38(10):1715-1718
- [2] 于世涛,郭英男,刘金山等. 柴油/乙醇混合燃料的性质及其对发动机性能的影响[J]. 上海交通大学学报, 2005,39(8):1252-1260
YU Shi-tao, GUO Ying-nan, LIU Jin-shan, Study on the Characteristics of Ethanol-Diesel Blend Fuel and the Effects on Diesel Engine[J]. **Journal of Shanghai Jiaotong University**, 2005,39(8):1252-1260
- [3] Nielsen A M, Weidema B P. Input Output analysis-Shortcuts to life cycle data? [R]. Copenhagen, Denmark: The Danish Environmental Protection Agency,2001:1-94
- [4] Cornelissen R. L., Hirs G G. Thermodynamic optimization of a heat exchanger [J]. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 1999, 42:951-959
- [5] 国家统计局. 中国投入产出表(1997) [M].北京: 中国统计出版社,1999: 455
National Bureau of Statistics. 1997 Input-output table of China [M].Beijing: China Statistics Press,1999: 455
- [6] 胡志远. 中国燃料乙醇生命周期评价及多目标优化—方法及案例研究[D]. 上海:上海交通大学机械与动力学院,2004.
HU Zhi-yuan. Study on methodology of life cycle assessment and multi-objectives optimization for fuel ethanol [D]. Shanghai: Mechanical and power engineering, Shanghai Jiaotong University, 2004.
- [7] U.S. EPA. National Emission Inventory (NEI) database [DB/OL].
<http://www.epa.gov/air/data/neidb.html>
- [8] WANG M Q. GREET 1.5-Transportation Fuel-Cycle Model Volume 1: Methodology, Development, Use, and Results [M]. Illinois, USA: Agronne information and publishing division, 1999:1-218

CIMS论文的天地》声明

本站免费向大家提供论文全文,本站论文除了特别说明的以外都是从作者手中征集得到的。如果您有论文希望上网,本站可以免费提供论文全文的上网服务。

目前网上论文网站较多,有人非法转载本站论文,在此提出警告,本站将对这类行为进行追究。

本站镜像:

1、上海付费空间:<http://www.cimspaper.com> <主站> 2、教育网内的镜像:<http://xcchen.yeah.net>

3、广东阳江中联科技:<http://cimspaper.icpcn.com>

欢迎您参加我站提供的邮件列表 希网提供的列表 分类首页/科学.技术/另类科学

<http://www.cn99.com/cgi-bin/catalog?viewcat=58>

为您提供《CIMS 论文的天地》更新通知,以及有关的论文和学术信息,每月至少发送一次。

本站有机械制造及自动化、计算机集成制造系统(CIMS)方面的学术论文全文,也有有关学科的学术论文