

聚乳酸生命周期中 CO₂ 的评价

叶富鹏

(中核核电运行管理有限公司, 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 对新型环保材料聚乳酸进行生命周期评价 (LCA), 分阶段考察聚乳酸 (PLA) 生命周期中CO₂排放和能量消耗。将生命周期评价这个环境影响工具应用于聚乳酸的工业生产中, 详细介绍CO₂排放这一指标的计算方法; 聚乳酸生命周期评价的结果显示来自于生物质的聚乳酸无论是能量消耗还是CO₂排放都明显少于性能相近的石油基塑料, 表明聚乳酸产品广泛应用在减少白色污染和减缓气候变化方面有良好应用前景。

关键词: 聚乳酸 (PLA); 生命周期评价 (LCA); 温室气体排放; 能耗; 节能环保材料

中图分类号: X828 文献标识码: A 文章编号: 2095-0802-(2016)09-0080-02

LCA on CO₂ from PLA

YE Fupeng

(Operation Management Co., Ltd. of China National Nuclear Power Co.,Ltd., Jiaxing 314300, Zhejiang, China)

Abstract: In this paper, a new type of environmentally friendly material poly-lactic acid (PLA) was studied by life cycle assessment (LCA), and CO₂ emissions and energy consumption were considered in each stage. As a tool, life-cycle assessment was applied to the industrial production of PLA, in which the calculating of CO₂ emissions was described in detail. The results of LCA showed that the biomass based PLA was superior to the petro based material with similar function both in CO₂ emissions and energy consumption. So a conclusion could be got that the wide use of PLA products would not only resolve the white pollution problems, but also relieve the climate change. So a good application prospect can be seen in the near future.

Key words: poly-lactic acid (PLA); life cycle assessment (LCA); greenhouse gases discharge; energy consumption; energy conservation material

DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2016.09.035

0 引言

生命周期评价是一种用于评估产品在其整个生命周期中,即从原材料的获取、产品生产直至产品使用后的处置对环境影响的技术和方法。聚乳酸(PLA)作为一种新型环保型材料,其废弃物在土壤中可以堆肥,完全可降解产生CO₂和水,不会造成白色污染,且其单体为生物体的代谢产物乳酸,安全无毒,广泛用作包装材料和医用材料,是石油基塑料的优良替代品。但其废弃物的降解方式与石油基塑料不同,在整个生命周期内没有可比性。为方便聚乳酸与石油基塑料CO₂排放和能耗数据的对比,本文把聚乳酸制品作为生命周期的终点,采用生命周期评价的方法对PLA生命周期进行考察,将其所需能量和CO₂的排放与石油基塑料进行对比,得出基于玉米的PLA材料的生产和使用能有效减少温室气体排放的结论。

1 生产过程中物质和能量的输入和输出

聚乳酸生产要经过一系列生物化学反应产业链系统,其具体物质和能源输入、输出如图1,其末端为聚乳酸的制品。根据ISO14041的要求,将整个系统作为考察对象,而系统内又分为生产过程中的五个阶段,

收稿日期：2016-05-26

作者简介：叶富鹏，1984年生，男，黑龙江宾县人，2006年毕业于大连理工大学过程装备与控制工程专业，工程师。

以便发现CO₂主要排放点及对该点的技术改进。

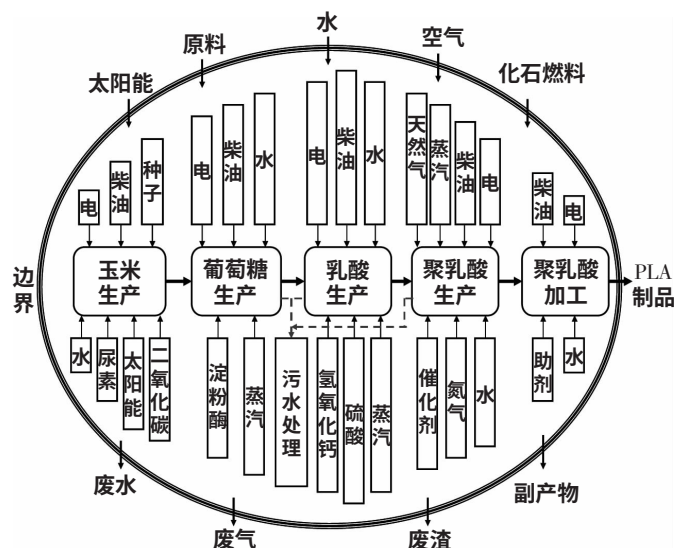


图1 聚乳酸生产中的物质和能量的输入和输出

2 数据计算方法

2.1 电 水及蒸汽消耗产生CO₂的计算

目前，中国的电力系统供电90%以上为火力发电产生，因此，这里按基于煤炭燃烧的火力发电计算。蒸汽主要来源于热电厂，故CO₂的产生归根为煤的燃烧，其计算方法与水消耗产生CO₂相似。电量、水及蒸汽消耗产生的CO₂计算如下：

$$E_{CO_2}^{EW} = (\text{耗电量} \times k_{ele} + \text{用水量} \times k_{water} + \text{耗汽量} \times k_{stream}) \times E_{tc} \times \frac{44}{12}, \quad (1)$$

式(1)中, 按照国家统计局《能源统计报表》中内容^[1], k_{ele} 为电能和标煤的转化系数, 取值0.343 kg标煤/(kW·h); k_{water} 为水向标煤的转化系数, 取值0.242 9 kg/t; k_{stream} 为蒸汽与标煤的转化系数, 取值0.108 571; E_{tc} 为标煤的碳排放因子, 取国家发改委碳排放量推荐值0.67 t/t标煤^[2]; 44/12为碳向CO₂的转化; $E_{CO_2}^{EW}$ 为电、水及蒸汽消耗产生的CO₂量, kg。

2.2 燃料油和天然气燃烧产生CO₂的计算

生产所用燃料包括汽油、柴油等燃油和天然气, 燃烧时产生的CO₂按下式计算:

$$E_{CO_2}^f = (\text{耗油量} \times Q \times \frac{D_{Ccontent}}{1\ 000\ 000} \times D_{Coxidation} + \text{耗气量} \times Q_g \times \frac{D_{Ccontent}^g}{1\ 000\ 000} \times D_{Coxidation}^g) \times \frac{44}{12}, \quad (2)$$

式(2)中, Q 和 Q_g 分别为该燃料和天然气的燃烧热, GJ/kg。按照《温室气体排放清单》, 燃料的碳的排放因子 $D_{Ccontent}$ 中柴油和汽油均为20.2 kg/GJ; 天然气的碳排放因子 $D_{Ccontent}^g$ 取15.3 kg/GJ; $D_{Coxidation}$ 为燃料燃烧时碳的氧化因子; $D_{Coxidation}^g$ 为天然气燃烧时碳的氧化因子。

2.3 废水处理及其它辅料产生CO₂的计算

根据车间的实际生产情况, 平均处理1 t水需耗电5.61 kW·h, 产生的CO₂转化为电耗产生的CO₂, 再由式(1)~式(2)计算。在整个聚乳酸生产中还会用到助剂、辅助原材料等, 这些原料的生产都要消耗一定能量, 也会有CO₂排放。这些原料CO₂排放量由供应商提供生产该产品所消耗能量(包括水、电、气、燃料油等各种能量)和CO₂的直接排放数据及其主要原材料的消耗数据, 根据式(1)~式(2)计算出总的CO₂的排放量。对于用量极小的辅助材料(<0.1%)对整体CO₂排放的贡献很小, 为简化计算, 予以忽略。

2.4 单位制品产生CO₂的计算

PLA制品的生产共分为五个阶段, 包括玉米生产、葡萄糖生产、乳酸发酵、乳酸聚合和产品的加工, 先将每个生产阶段各项CO₂的产出求和, 再除以该阶段的产量, 如式(3):

$$E_{CO_2}^j = \frac{\sum_i E_{CO_2}^{ji}}{P^j}, \quad (3)$$

式(3)中, $E_{CO_2}^j$ 为第 j 个生产阶段单位产品产生的CO₂量, kg; $E_{CO_2}^{ji}$ 为第 j 个生产阶段中第 i 项产出的CO₂量, kg; P^j 为在第 j 个阶段的产量, kg。

设玉米转化为淀粉葡萄糖的转化率为 α_1 , %; 葡萄糖转化为乳酸的转化率为 α_2 , %; 乳酸转化为聚乳酸的转化率为 α_3 , %; 聚乳酸到PLA制品的转化率为 α_4 , %;

则生产1 kg的PLA制品所排放的CO₂总量为:

$$E_{CO_2}^{total} = E_{CO_2}^1 \cdot \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 + E_{CO_2}^2 \cdot \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 + E_{CO_2}^3 \cdot \alpha_3 \alpha_4 + E_{CO_2}^4 \cdot \alpha_4 + E_{CO_2}^5, \quad (4)$$

式(4)中, $E_{CO_2}^{total}$ 为生命周期中产生的CO₂总量, kg; $E_{CO_2}^1$ 、 $E_{CO_2}^2$ 、 $E_{CO_2}^3$ 、 $E_{CO_2}^4$ 、 $E_{CO_2}^5$ 分别为PLA制品的生产五个阶段所产生的CO₂量, kg。

3 结果与讨论

计算结果见表1。

表 1 PLA 制品生产中 CO₂ 排放清单

阶段	单位能耗 MJ	制品阶段能耗 MJ/kg	制品 CO ₂ 排放量 kg/kg 制品	制品阶段 CO ₂ 产出量 kg/kg 制品
玉米生产	3.516	9.166	-1.078	-2.809
葡萄糖生产	4.276	6.957	0.342	0.556
乳酸生产	17.483	24.650	1.464	2.063
聚乳酸生产	17.356	17.356	1.311	1.311
PLA 加工	5.98	5.999	0.502	0.503
总量	—	64.13	—	1.624

玉米由于光合作用吸收空气中的CO₂, 因此该阶段CO₂排放为负值, 其它阶段有能源和原料的消耗, 而没有CO₂的吸收, 是正值。从表1中的结果可以看出, 生产1 000 kg聚乳酸需耗64.13 MJ的能量, 排放CO₂量为1.624 kg。由于聚乳酸生产过程中没有CO₂的直接排放, 主要来源于能源及化石燃料的燃烧, 因此, 只要有利于提高燃料利用率, 新能源的使用都会很大程度上控制CO₂的排放。尤其在中国, 主要通过煤燃烧发电, 这使得CO₂的排放量较大, 但另一方面, 随着中国电力系统不断完善, 能源类型由煤向其它清洁能源转型, 聚乳酸的CO₂排放有可能成为负值, 即能够减少温室气体的总量。将聚乳酸的CO₂排放和能耗与其它石油基塑料对比可以明显看出, 无论是能耗还是碳排放, 聚乳酸都少于石油基, 甚至比某些石油基量的一半还要少, 这充分体现了乳酸作为新型材料的优越性。

4 结语

生命周期评价是衡量一个商品对环境影响的有效工具, 它不仅能直观显示商品环保与否, 更能体现在整个生命周期的各个环节的优劣, 提出改进方向。聚乳酸作为一种可生物降解的材料, 其降解性不容置疑, 但其另一方面温室气体的减排则要通过环境周期评价来衡量, LCA数据显示, 以玉米为原料的PLA在每千克制品能耗为63.89 MJ, 明显低于生产相同量石油基塑料的能耗; 每千克制品CO₂排放量仅为1.605 kg, 远低于生产石油基塑料PET、PVC、PP等的CO₂排放。基于玉米的PLA生产和使用有更合理的碳循环, 能减少温室气体排放, 促进可持续发展。随着国内外技术不断成熟和工艺持续改进, 聚乳酸的能耗和排放将会进一步降低。不久的将来, 随着化石燃料日益短缺, PLA以其特有的优点必会引领新型材料的发展, 成为环保材料中

(下转 98 页)

分为 $\geq 50.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 高级别、 $25.6 \text{ m}^3/\text{s} \sim 50.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 范围的中级别及 $< 25.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 低级别三级, 试验方法应采取均匀浮标法, 其具体操作为: 将浮标中断面重合于流速仪测流断面, 浮标断面下河流的长度以100 m为宜, 以此来测验该段河流的顺直性; 流速仪测速垂线数应等同于与横向分布的有效浮标数, 且在同一位置上, 分别进行32次高、中水位对比试验, 其试验结果见表1。在试验中, 浮标系数 (K) 计算公式为^[5]:

$$K = \frac{Q}{Q_f}, \quad (1)$$

式(1)中, Q 为断面流量, m^3/s ; Q_f 为断面虚流量; m^3/s ; K_f 为浮标系数。

表1 相应水位均匀浮标法虚流量与流速仪法流量对照表

水位 m	均匀 浮标 法 m^3/s	流速 仪法 m^3/s	水位 m	均匀 浮标 法 m^3/s	流速 仪法 m^3/s	水位 m	均匀 浮标 法 m^3/s	流速 仪法 m^3/s	水位 m	均匀 浮标 法 m^3/s	流速 仪法 m^3/s
8.78	181	119	8.94	154	103	9.10	116	77.4	9.26	78.5	53.9
8.80	175	117	8.96	147	98.1	9.12	112	76.4	9.28	83.3	55.8
8.82	170	112	8.98	140	94.5	9.14	111	71.5	9.30	69.2	45.8
8.84	167	111	9.00	138	92.9	9.16	108	69.5	9.32	81.4	54.1
8.86	163	109	9.02	138	90.2	9.18	105	67.3	9.34	53.7	36.4
8.88	157	109	9.04	131	86.7	9.20	104	66.8	9.36	45.9	30.8
8.90	159	107	9.06	128	85.2	9.22	95.6	66.8	9.38	44.6	30.5
8.92	155	104	9.08	122	81.2	9.24	90.9	59.3	9.40	41.8	27.6

2.2 精度分析

在本次研究中, 实验资料来自策勒水文站2010年、2012年相关资料, 根据流速仪侧法实测得到的具体数据, 绘制出水位与流量对应的关系图, 见图2。通过对图2的分析可知, 在策勒水文站试验的历史数据中, 其水位与流量表现为单一关系曲线, 且试验数据未出现明显系统偏离情况, 所有数据的精确度达到相关规范要求的精度标准。

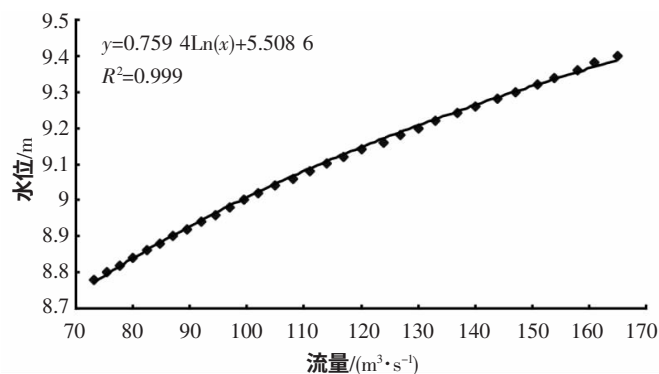


图2 策勒水文站流速仪法水位 - 流量关系图

2.3 系数确定

本次采用相应水位均匀浮标法流量与流速仪法实测的流量进行系数确定, 若各站个分析测次的值较稳定时, 可绘制均匀浮标法相关关系图, 见图3。

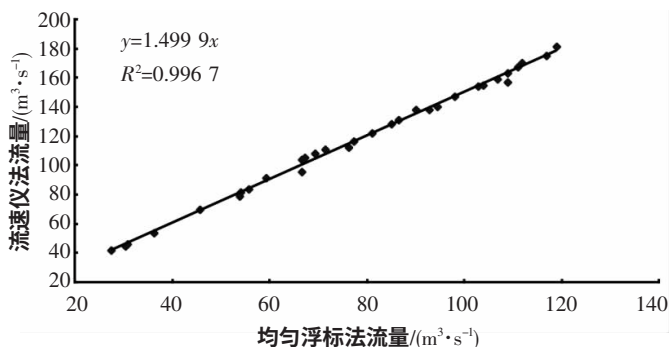


图3 策勒水文站相应水位均匀浮标法相关关系图

3 结语

《河流流量测验规范》测验针对的对象主要是内地河流, 以新疆山区中小河流来说, 在测验时, 应当采取流速仪法结合相应水位浮标法, 分别将两种方法测得的流量作为纵坐标、横坐标, 从而得到水位测量相关图。在策勒水文站中, 其均匀浮标系数 $\gamma=1.499 9$, $R^2=0.996 7$, 此结果是满足规范要求的。然而, 就实际情况来说, 流速仪法、水位浮标法在策勒水文站中应用是存在一定困难的, 需要做好测验河段的选择, 保证测验河段具有足够代表性, 以提高测验结果的可靠度。在对河流进行高、中、低水位级划分时, 如果河流本身存在冲淤变化大、年内分配不均及水位 - 流量关系不稳定等情况时, 需要根据河流实际水量情况, 合理划分水位级, 再根据水位级来确定对应浮标系数。为提高浮标系数的精确性, 在测验时, 应当增加试验的次数, 并适当延长试验年份, 使浮标系数更好地应用于实际工作中。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部.GB 50179—93 河流流量测验规范[S].北京: 水利水电出版社, 2000.
- [2] 中华人民共和国水利部.SL 247—1999 水文资料整编规范[S].北京: 水利水电出版社, 1999.
- [3] 水利水电部水利司.水文测验手册[M].北京: 水利水电出版社, 1975.
- [4] 马庆云.水文勘测工[M].郑州: 黄河水利出版社, 2003.
- [5] 中国科学院兰州冰川冻土研究所.中国冰川目录[M].北京: 科学出版社, 1986.

责任编辑: 季 鑫

(上接 81 页)

的中流砥柱。

参考文献:

- [1] 国家统计局.能源统计报表[M].北京: 中国统计出版社, 2005.

- [2] 国家统计局工业交通统计司、国家发展和改革委员会能源局.中国能源统计年鉴 2005 [M].北京: 中国统计出版社, 2005.

责任编辑: 季 鑫