

# 木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放多目标优化研究

浦耿强, 胡志远, 王成焘

(上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200030)

摘要: 建立了木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放单目标和多目标优化模型. 以生命周期 CO, NO<sub>x</sub>, PM, HC, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> 排放为优化目标, 对木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放进行了单目标及多目标优化, 并进行了灵敏度分析. 结果表明: 多目标优化后木薯乙醇-汽油混合燃料的混合比例为 63%. 与原始值相比, 多目标优化后生命周期 CO 排放略有升高, NO<sub>x</sub> 升高 15%, PM 升高 19%; 生命周期 HC, SO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 分别降低 8%, 50% 和 21%.

关键词: 生命周期排放; 多目标优化; 木薯乙醇; 汽油; 混合燃料

中图分类号: TK411+.71; X11 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)05-0037-06

## Multi-Objectives Optimization on Life Cycle Pollutants Emission of Cassava-Based Ethanol Blended Gasoline Fuels

PU Geng-qiang, HU Zhi-yuan, WANG Cheng-tao

(School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: An optimization model on life cycle pollutants emission of cassava-based ethanol blended gasoline fuels, including single and multi-objectives, was carried out in this paper. And, the single and multi-objectives optimization of cassava-based ethanol blended gasoline fuels were done, using the life cycle CO, NO<sub>x</sub>, PM, HC, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> emissions as objectives. Moreover, sensitivity analysis of design variables was done. The multi-objectives results shown that the blend ratio between cassava-based ethanol and gasoline was 63%. Compare with the initial value, multi-objective optimization of cassava-based ethanol blended gasoline fuels achieved a little more life cycle CO, NO<sub>x</sub> and PM emissions, about 1%, 15% and 19% respectively, and reduced life cycle HC, SO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> emissions, 8%, 50%, and 21% respectively.

Key words: life cycle emission; multi-objectives optimization; cassava-based ethanol; gasoline; blended fuels

目前,我国百万人以上城市的大气污染正由第一代煤烟型向第二代汽车型转化<sup>[1]</sup>.例如在我国上海城市空气污染物中,CO 含量的 75%、HC 和 NO<sub>x</sub> 50% 以及大气铅污染物的 90% 均来自汽车尾气排放<sup>[2]</sup>.采用新型清洁燃料是降低汽车尾气排放的一个主要途径,乙醇-汽油混合燃料是目前世界上普遍采用的汽车清洁燃料之一<sup>[3-8]</sup>.研究表明:与普通汽油车相比,乙醇-汽油混合燃料汽车的碳氢化合物、CO、NO<sub>x</sub> 等排放降低<sup>[9,10]</sup>.

生命周期评价是对产品、生产工艺以及活动对环境的压力进行评价的客观过程<sup>[11]</sup>.开展基于生命周期的多目标优化研究<sup>[12-14]</sup>,已成为生命周期评价的一个研究方向.本文首次对木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期环境排放进行了单目标及多目标优化计算,从而找到影响其生命周期各项排放的主要因素及协调降低方案,为政府提供决策依据.

### 1 数学模型

木薯乙醇燃料的生命周期如图 1 所示.包括“木

薯种植”、“乙醇生产”和“乙醇燃烧/车辆使用”3 个子过程.通过“运输”相互联系.

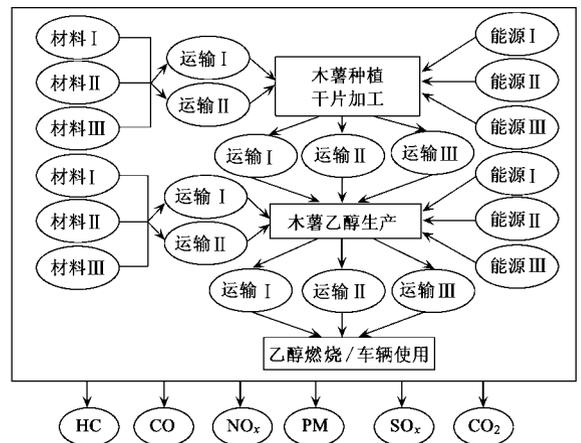


图 1 生命周期框架

Fig. 1 Life cycle framework

收稿日期: 2003-11-01; 修订日期: 2004-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50175070)

作者简介: 浦耿强(1954-), 男, 副教授, 主要研究方向为绿色设计, 全生命周期评价.

以 1 辆 100 km 油耗为 9.9 L(混合工况)的汽油车或功能相当的乙醇-汽油混合燃料汽车行驶  $20 \times 10^4$  km 为研究对象.选择系统的材料和能源输入及各阶段之间运输过程的运输距离为设计变量(表

$$\min_{X \in R} f_j(X) = \frac{\left| \sum_{i=1}^7 x_i Env_{ji} + \sum_{i=8}^9 x_i Env_{ji} \sum_{i=1}^4 x_i + \sum_{i=10}^{21} x_i Env_{ji} \right| x_{22} + (1 - x_{22}) Env_{Gj}}{100} \times F_E + Env_{Oj} + Env_{Oj} \quad (1)$$

( $j = 1, \dots, 6$ )

式中,  $f_j(X)$  为第  $j$  类排放目标函数,当  $j=1$  时,表示生命周期 CO 排放目标函数.依次类推;  $Env_{ji}$  为第  $i$  个设计变量第  $j$  类排放系数;  $Env_{Gj}$  为汽油第  $j$  类排放系数;  $F_E$  为木薯乙醇-汽油混合燃料汽车的 100 km 油耗.

$$F_E = \frac{F_G \times V_G}{R_H \times (V_G(1 - x_{22}) + V_E x_{22})} \quad (2)$$

式中,  $F_G$  为汽油车燃油经济性;  $V_G$  为汽油热值;  $V_E$  为乙醇热值;  $R_H$  为汽车使用乙醇燃料热效率提高百分比.

$Env_{Gj}$  为加油过程第  $j$  类排放系数;

$Env_{Oj}$  为木薯乙醇-汽油混合燃料车辆使用过程中第  $j$  类排放系数.

$$Env_{Oj} = Env_{OGj} \times R_j \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

$$Env_{O6} = \frac{\left[ \frac{En_{TO} \frac{(1 - x_{22}) V_G}{V_G} \rho_E Wt_{CG} + \frac{En_{TO} \frac{x_{22} V_E}{V_E} \rho_E Wt_{CE} - Env_{HC} Wt_{CHC} - Env_{CO} Wt_{CCO}}{Wt_{CCO_2}} \right]}{Wt_{CCO_2}} \quad (6)$$

式中,  $\rho_E$  为乙醇密度;  $Wt_{CG}$  为汽油含碳质量比;  $Wt_{CE}$  为乙醇含碳质量比;  $Wt_{CCO_2}$  为  $CO_2$  含碳质量比;  $Env_{HC}$  为乙醇-汽油混合燃料汽车使用阶段 HC 排放;  $Wt_{CHC}$  为 HC 含碳质量比;  $Env_{CO}$  为乙醇-汽油混合燃料汽车使用阶段 CO 排放;  $Wt_{CCO}$  为 CO 含碳质量比.

综合以上各单目标优化目标函数,其多目标优化函数为:

$$f(X) = [f_1(X), f_2(X), f_3(X), f_4(X), f_5(X), f_6(X)] \quad (7)$$

根据建厂位置、能源输入和运输距离等实际情况,确定约束条件为:

1) 则:设计变量  $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_{22}]^T$ .

分别以木薯乙醇-汽油混合燃料的生命周期  $CO, NO_x, PM, HC, SO_x, CO_2$  排放为优化目标,其单目标优化目标函数分别为:

式中,  $Env_{OGj}$  为汽油车使用过程中第  $j$  类排放系数;  $R_j$  为相应的木薯乙醇-汽油混合燃料汽车使用过程中第  $j$  类排放降低系数. ( $R_1 = 0.75, R_2 = 0.9, R_3 = 0.4, R_4 = 0.85$ ).

$$Env_{OS} = \frac{En_{TO} \frac{(1 - x_{22}) V_G}{V_G} \rho_G Wt_{SG}}{Wt_{SSO_2}} \times \frac{\rho_G Wt_{SG}}{Wt_{SSO_2}} \quad (4)$$

式中,  $\rho_G$  为汽油密度;  $Wt_{SG}$  为汽油含硫质量比;  $Wt_{SO_2}$  为  $SO_2$  含硫质量比;  $En_{TO}$  为乙醇-汽油混合燃料汽车单位公里总体能源消耗.

$$En_{TO} = \frac{[V_G(1 - x_{22}) + V_E x_{22}] F_E}{100} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &0.42 x_1 + 0.09 x_4 = 0.030 \\ &0.16 x_2 + 0.09 x_4 = 0.017 \\ &0.60 x_3 + 0.09 x_4 = 0.039 \\ &35.817 x_5 + 32.194 x_6 + 3.6 x_7 \geq 0.212 \\ &35.817 x_5 + 32.194 x_6 + 3.6 x_7 \leq 0.265 \\ &x_8 + x_9 = 102 \\ &x_{10} + x_{11} + x_{12} = 8 \\ &x_{13} + x_{14} = 250 \\ \text{s.t.} &19.512 x_{15} + 39.022 x_{16} + 35.817 x_{17} + \\ &34.574 x_{18} + 3.600 x_{19} \geq 5.8411 \\ &19.512 x_{15} + 39.022 x_{16} + 35.817 x_{17} + \\ &34.574 x_{18} + 3.600 x_{19} \leq 11.6822 \\ &x_{20} + x_{21} = 450 \\ &x_{22} \geq 0.1 \\ &x_{22} \leq 0.85 \\ &x_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, 20) \end{aligned} \quad (8)$$

表 1 生命周期多目标优化设计变量

阶段	种类	变量	说明	单位
木薯种植	材料消耗	$x_1$	氮肥	kg/L
		$x_2$	磷肥	kg/L
		$x_3$	钾肥	kg/L
		$x_4$	复合肥	kg/L
	能源消耗	$x_5$	柴油	L/L
		$x_6$	汽油	L/L
		$x_7$	电	Kwh/L
运输	$x_8$	化学品(工厂到批发商)	km	
	$x_9$	化学品(批发商到地头)	km	
	$x_{10}$	农家肥	km	
	$x_{11}$	木薯种茎	km	
	$x_{12}$	鲜木薯	km	
	$x_{13}$	木薯干片(卡车)	km	
	$x_{14}$	木薯干片(火车)	km	
乙醇生产	能源消耗	$x_{15}$	煤	kg/L
		$x_{16}$	重油	L/L
		$x_{17}$	柴油	L/L
		$x_{18}$	天然气	m <sup>3</sup> /L
		$x_{19}$	电	k Wh/L
运输	$x_{20}$	乙醇运输(卡车)	km	
	$x_{21}$	乙醇运输(火车)	km	
乙醇燃烧	$x_{22}$	混合比例	%	

表 2 单目标优化和多目标设计变量优化结果

Table 2 Single and multi-objectives optimization results of design variables

项目	原始值	CO	NO <sub>x</sub>	PM	HC	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	多目标
$x_1$	0.031	0.031	0.046	0.071	0.032	0.031	0.035	0.042
$x_2$	0.075	0.001	0.039	0.106	0.003	0.000	0.011	0.030
$x_3$	0.037	0.037	0.047	0.065	0.037	0.037	0.040	0.045
$x_4$	0.100	0.187	0.119	0.000	0.183	0.188	0.170	0.136
$x_5$	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
$x_6$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$x_7$	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
$x_8$	100.0	100.0	101.9	101.0	101.3	101.1	100.8	100.9
$x_9$	2.0	2.0	0.1	1.0	0.7	0.9	1.2	1.1
$x_{10}$	2.0	2.0	2.3	2.4	1.9	1.2	2.5	4.5
$x_{11}$	4.0	0.9	2.7	3.1	4.3	3.3	2.2	2.0
$x_{12}$	2.0	5.1	3.1	2.5	1.8	3.6	3.2	1.5
$x_{13}$	50.0	8.6	27.9	7.0	18.1	48.1	12.3	40.2
$x_{14}$	200.0	241.4	222.1	243.0	231.9	201.9	237.7	209.8
$x_{15}$	0.599	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.000
$x_{16}$	0.000	0.139	0.000	0.002	0.000	0.000	0.011	0.000
$x_{17}$	0.000	0.024	0.000	0.011	0.000	0.000	0.021	0.000
$x_{18}$	0.000	0.000	0.169	0.157	0.169	0.184	0.154	0.282
$x_{19}$	0.015	0.001	0.009	0.006	0.006	0.011	0.009	0.006
$x_{20}$	100.0	67.3	92.1	93.0	89.2	99.8	83.7	91.4
$x_{21}$	350.0	382.7	357.9	357.0	360.8	350.2	366.3	358.6
$x_{22}$	10	10	10	10	85	85	85	63

利用优化计算方法对上述优化目标进行优化计算,找到降低其生命周期各项排放的协调方案.模型中固定系数绝大部分通过在广西实地收集获得,并经过误差分析及检验;部分数据来自美国阿冈国家实验室的 GREET 模型数据库<sup>[16]</sup>.所有来自国外的数据都根据广西的具体情况进行了校对和修正.

## 2 优化方法

木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放优化为一多维设计变量,多约束条件的非线性优化问题,选择可变容差法<sup>[16,17]</sup>求解.选择最短距离理想点法<sup>[18]</sup>将多目标优化问题转化为单目标优化问题,取各单目标函数的最优值作为多目标优化中的理想点,设各排放的权重相同,则多目标优化问题为:

$$\min_{X \in R^n} f(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^6 \left| \frac{f_i(X) - f_i^*(X)}{f_i^*(X)} \right|^2} \quad (9)$$

式中,  $f_i^*(X)$  为各单目标函数最优值.可以证明,利用上述多目标优化方法所得到的优化结果为多目标优化问题的有效解<sup>[19]</sup>.

## 3 优化计算结果及讨论

木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放设计变量单目标和多目标优化结果如表 2 所示.对不同的生命周期排放优化目标,设计变量(如乙醇在汽油中的混

合比例)优化结果相差很大.因此,需要对木薯乙醇-汽油混合燃料进行生命周期排放多目标优化计算,以找到使其生命周期排放协调降低的满意方案.

与初始值比较,多目标优化后木薯种植阶段氮肥、磷肥和复合肥使用量增加,钾肥使用量减少;木薯种植及干片加工阶段的燃料消耗基本保持不变;化学品(批发商到地头)、木薯种茎和鲜木薯的运输距离减小,农家肥的运输距离增加,化学品(工厂到批发商)的运输距离基本不变;木薯干片和木薯乙醇用火车的运输距离增加,用卡车的运输距离减少,但变化不大;乙醇生产阶段不使用煤、重油、柴油等燃料,建议使用天然气;乙醇-汽油的混合比例为63%.

在乙醇生产过程中使用煤、重油、柴油和天然气等燃料时,不同混合比例下的木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期 CO、NO<sub>x</sub>、PM、HC、SO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放分别如图 2~图 7 所示.可见,附着混合比例的增加,所有燃料情况下木薯乙醇-汽油混合燃料的生命周期 CO、NO<sub>x</sub>、PM 排放增加,生命周期 CO<sub>2</sub> 排放减少,生命周期 HC 略有增加后减少.当乙醇生产过程中使用天然气燃料时,木薯乙醇-汽油混合燃料的生命周期 SO<sub>x</sub> 排放附着混合比例的增加而减少;当使用煤、重油或柴油燃料时,其生命周期 SO<sub>x</sub> 排放则附着混合比例的增加而增加;

在煤、重油、柴油和天然气 4 种燃料中,乙醇生产过程中使用煤情况下的木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放最高;乙醇生产过程中使用柴油情况下的木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期 CO 排放最低;乙醇生产过程中使用天然气情况下的木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期其它排放最低.

比较表 2、图 2~图 7 可知,本文的优化结果与生命周期评价结果相一致.因此,本文得出的木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放优化结果可靠.

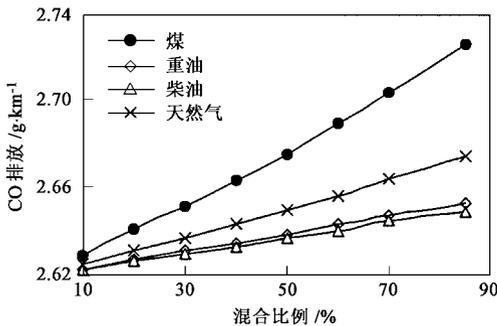


图 2 生命周期 CO 排放  
Fig. 2 Life cycle CO emission

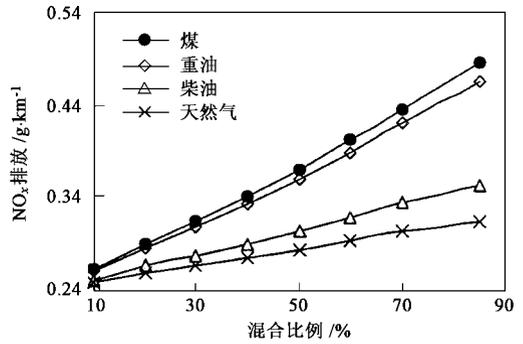


图 3 生命周期 NO<sub>x</sub> 排放  
Fig. 3 Life cycle NO<sub>x</sub> emission

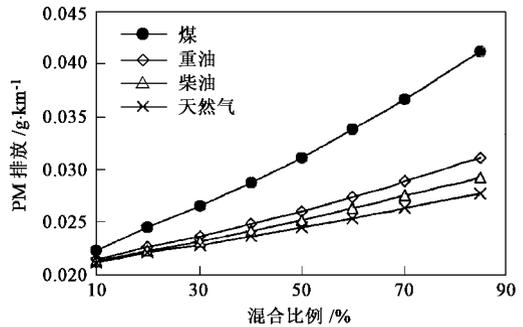


图 4 生命周期 PM 排放  
Fig. 4 Life cycle PM emission

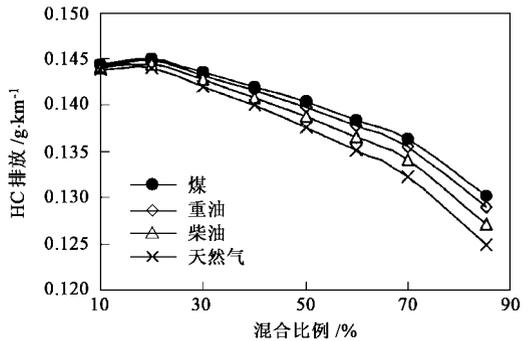


图 5 生命周期 HC 排放  
Fig. 5 Life cycle HC emission

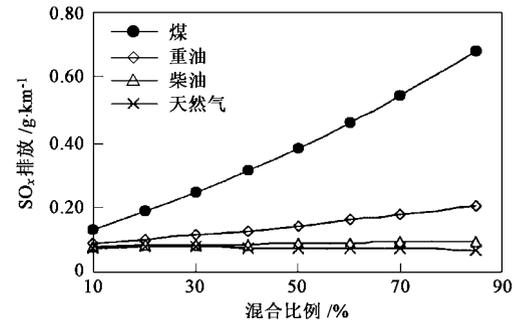


图 6 生命周期 SO<sub>x</sub> 排放  
Fig. 6 Life cycle SO<sub>x</sub> emission

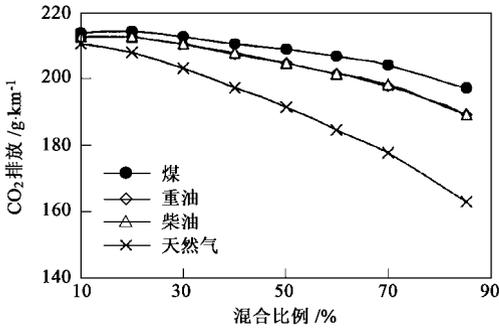


图 7 生命周期 CO<sub>2</sub> 排放

Fig. 7 Life cycle CO<sub>2</sub> emission

木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放单目标和多目标优化结果如表 3 所示.与单目标优化结果相比,多目标优化结果中各个单目标结果略有所升高.由于木薯乙醇生命周期过程中的化肥使用、运输方式及距离得到合理分配;乙醇生产过程中天然气燃料的使用及木薯乙醇-汽油混合比例的升高.与原始值相比,多目标优化结果中生命周期 CO 排放略有升高,NO<sub>x</sub> 升高 15%,PM 升高 19%;生命周期 HC、SO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 分别降低 8%、50%和 21%.SO<sub>x</sub> 是形成酸雨的主要污染物之一;CO<sub>2</sub> 是温室效应的主要成因,其贡献度高达 66%;许多 HC 化合物对人

表 3 单目标优化和多目标优化结果/ MJ·km<sup>-1</sup>

Table 3 Single and multi-objectives optimization results/ MJ·km<sup>-1</sup>

项目	CO	NO <sub>x</sub>	PM	HC	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
原始值	2.631	0.276	0.026	0.147	0.142	229.416
单目标优化结果	2.623	0.258	0.024	0.127	0.057	150.095
多目标优化结果	2.662	0.317	0.031	0.135	0.071	181.315

类有致癌作用.因此,多目标优化达到了使木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放协调降低的目的.

#### 4 灵敏度分析

各设计变量对各目标函数的灵敏度如表 4 所示.运输距离对生命周期排放影响较小;能源输入对

排放影响较大;木薯种植过程的柴油(汽油)消耗对生命周期 CO 和 NO<sub>x</sub> 排放影响显著;木薯乙醇生产过程中煤消耗对 SO<sub>x</sub> 排放影响显著.重油对 NO<sub>x</sub> 排放影响明显.柴油对 NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 排放影响显著.天然气对 CO 和 NO<sub>x</sub> 排放影响显著;木薯乙醇-汽油混合燃料的混合比例对各项排放影响显著.

表 4 设计变量灵敏度

Table 4 Sensitivities of design variables

项目	CO	NO <sub>x</sub>	PM	HC	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
x <sub>1</sub>	1.71E-02	2.45E-02	2.45E-03	1.73E-03	2.02E-02	7.04E-02
x <sub>2</sub>	4.55E-03	1.91E-02	1.67E-03	1.08E-03	2.16E-02	1.74E-02
x <sub>3</sub>	2.20E-03	8.86E-03	7.38E-04	4.91E-04	9.06E-03	7.76E-03
x <sub>4</sub>	2.20E-03	4.69E-03	4.26E-03	2.84E-04	4.54E-03	8.59E-03
x <sub>5</sub>	9.30E-02	2.62E-01	1.24E-02	2.63E-02	9.58E-03	2.86E-02
x <sub>6</sub>	2.92E-01	1.69E-01	2.69E-03	5.45E-02	9.40E-03	3.37E-02
x <sub>7</sub>	4.20E-04	4.57E-03	5.35E-04	2.97E-04	9.45E-03	4.06E-03
x <sub>8</sub>	1.97E-07	8.00E-07	1.67E-08	4.84E-08	5.01E-08	1.45E-07
x <sub>9</sub>	3.46E-07	1.64E-06	3.70E-08	1.28E-07	9.64E-08	2.81E-07
x <sub>10</sub>	6.66E-06	3.09E-05	6.57E-07	2.65E-06	1.94E-06	5.67E-07
x <sub>11</sub>	3.32E-06	1.55E-05	3.29E-07	1.33E-06	9.70E-07	2.83E-07
x <sub>12</sub>	8.62E-06	4.02E-05	8.54E-07	3.45E-06	2.52E-06	7.37E-07
x <sub>13</sub>	1.53E-06	7.15E-06	1.52E-07	6.13E-07	6.54E-07	1.31E-07
x <sub>14</sub>	8.70E-07	8.45E-06	2.17E-07	3.40E-07	1.41E-07	4.19E-07
x <sub>15</sub>	1.45E-02	3.39E-02	2.51E-03	1.27E-03	8.86E-02	1.76E-02
x <sub>16</sub>	7.88E-03	6.21E-02	2.27E-03	2.29E-03	4.11E-02	2.89E-02
x <sub>17</sub>	8.28E-03	3.28E-02	1.67E-03	2.38E-03	9.58E-03	2.86E-02
x <sub>18</sub>	1.24E-02	1.59E-02	1.05E-03	8.84E-04	3.31E-04	1.38E-03
x <sub>19</sub>	4.20E-04	4.57E-03	5.35E-04	2.97E-04	9.45E-03	4.06E-03
x <sub>20</sub>	1.10E-06	5.23E-06	1.18E-07	4.09E-07	4.90E-07	8.95E-07
x <sub>21</sub>	3.09E-06	3.09E-06	7.92E-08	1.24E-07	5.17E-08	1.53E-07
x <sub>22</sub>	9.35E-02	2.14E-01	1.75E-02	- 2.47E-02	4.84E-01	- 8.27E-02

## 5 结论

(1) 对不同的优化目标,设计变量的优化结果不同,有的相差很大,仅仅进行单目标优化将无法满足系统协调决策的要求,进行木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放多目标优化是必需的.多目标优化建议在木薯种植过程中多使用复合肥;乙醇生产过程中仅使用天然气;采用 63% 的混合比例等.

(2) 与原始值相比,多目标优化后生命周期 CO 排放略有升高,PM 升高 15%,NO<sub>x</sub> 升高 19%;生命周期 HC、SO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 分别降低 8%、50% 和 21%.多目标优化达到了使木薯乙醇-汽油混合燃料生命周期排放协调降低的目的.

(3) 与实际结果相比较,本模型得出的优化结果可靠.结合生命周期成本、能源消耗等指标,进行木薯乙醇应用决策,具有重要的现实意义.

### 参考文献:

- [ 1 ] 常蓉,钱旭.我国汽车尾气污染及其控制 [ J ]. 云南环境科学,1999,18 ( 3 ) : 30 ~ 32 .
- [ 2 ] 韩圣慧,范秀英,张微,等.我国汽车污染现状及控制措施研究 [ J ]. 自然辩证法通讯,1999,21 ( 2 ) : 46 ~ 51 .
- [ 3 ] Alan E Wheals, Luiz C Basso, *et al.* Fuel ethanol after 25 years [ J ]. Trends in Biotechnology, 1999, 17(12) : 482 ~ 487 .
- [ 4 ] Kevin N Rask. Clean air and renewable fuels: the market for fuel ethanol in the US from 1984 to 1993 [ J ]. Energy Economics, 1998, 20 ( 3 ) : 325 ~ 345 .
- [ 5 ] Frank RosnloCalle, lun A B Cortezt. Towards Proalcool II —— A review of the Brazilian bioethanol programme [ J ], Biomass and Bioenergy 1998,14(2) : 115 ~ 124 .
- [ 6 ] Wang Michael Q. Fuel-cycle greenhouse gas emissions impacts of alternative transportation fuels and advanced vehicle technologies [ J ]. Transportation Research Record, 1999, 1664 : 9 ~ 17 .
- [ 7 ] Jose R Moreira, Jose Goldeberg. The alcohol program [ J ]. Energy Policy, 1999,27(4) : 229 ~ 245 .
- [ 8 ] Ribeiro, Suzana Kahn, Younes Lbrahim, Pauline Staib. Global warming and transport in Brazil: Ethanol alternative [ J ]. International Journal of Vehicle Design, 2001, 27(1 ~ 4) : 118 ~ 128 .
- [ 9 ] 杜志良,申江华,朱自航.车用乙醇汽油实验研究 [ J ]. 汽车科技,2003, ( 1 ) : .
- [ 10 ] 何邦全,闫小光,王建昕,等.电喷汽油机燃用乙醇-汽油燃料的排放性能研究 [ J ]. 内燃机学报,2002,20(5) : 399 ~ 402 .
- [ 11 ] Society of Environmental Toxicology and Chemistry ( SETAC ). Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice [ M ]. Brussels : SETAC Europe, 1993 .127 .
- [ 12 ] Azapagic A, Clift R. Linear Programming as a Tool in Life Cycle Assessment [ J ]. Int. J. LCA, 1998,3(6) : 305 ~ 316 .
- [ 13 ] Azapagic A. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimization [ J ]. Chemical Engineering Journal, 1999,73 ( 1 ) : 1 ~ 21 .
- [ 14 ] Azapagic A, Clift R. Life cycle assessment and multiobjective optimization [ J ]. Journal of Cleaner Production, 1999, 7 ( 2 ) : 135 ~ 143 .
- [ 15 ] Wang M Q. GREET 1 .5 —— Transportation Fuel Cycle Model Volume 1 : Methodology, Development, Use, and Results [ R ]. GREET 1 .5- Transportation Fuel Cycle Model, ANL/ ESD-39, Argonne, Argonne National Laboratory, 1999. 34 ~ 44 .
- [ 16 ] D. M·希梅尔布劳.实用非线性规划 [ M ].北京 :科学出版社, 1983. 376 ~ 401 .
- [ 17 ] 万耀青.最优化计算方法常用程序汇编 [ M ].北京 :工人出版社,1983.220 ~ 258 .
- [ 18 ] 林铨云,董加礼.多目标优化的方法与理论 [ M ].长春 :吉林教育出版社,1992. 67 ~ 73 .
- [ 19 ] 胡毓达.多目标规划有效性理论 [ M ].上海 :上海科学技术出版社,1994.31 ~ 34 .