

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2014.0705

赵志全 王峰 赵宁 等. 2014. 生命周期评价在我国乙烯行业环境评估中的应用[J]. 环境科学学报, 34(12): 3200-3206

Zhao Z T, Wang F, Zhao N, et al. 2014. Application of life cycle assessment of ethylene process in China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 34(12): 3200-3206

## 生命周期评价在我国乙烯行业环境评估中的应用

赵志全<sup>1,2</sup>, 王峰<sup>1,\*</sup>, 赵宁<sup>1,\*</sup>, 李学宽<sup>1</sup>, 魏伟<sup>1,3</sup>, 孙予罕<sup>4</sup>

1. 中国科学院山西煤炭化学研究所 煤转化国家重点实验室, 太原 030001

2. 中国科学院大学 北京 100049

3. 中国科学院上海高等研究院 温室气体与环境工程研究中心, 上海 201203

4. 中国科学院上海高等研究院 低碳能源转化中心, 上海 201203

收稿日期: 2014-03-25 修回日期: 2014-04-22 录用日期: 2014-04-22

**摘要:** 采用 IMPACT 2002+ 方法对我国的乙烯行业进行了生命周期评价(LCA)研究, 分析了包括原油生产、原煤生产、原料生产、乙烯生产和电力生产 5 个环节在内的 13 种污染物排放对乙烯行业的环境影响。结果表明, 乙烯工业对不可再生能源原油的消耗, 对温室效应、呼吸效应和水体酸化等的环境影响潜值最为严重。减少乙烯生产环节和原料生产环节(炼油过程)的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 等气体的排放, 以及原油开采过程的 CH<sub>4</sub> 逸放, 是改善环境影响的关键因素。同时, 以石脑油为原料裂解乙烯工艺比以轻烃为原料制乙烯工艺对环境的影响要小。而煤制烯烃工艺对环境的影响较大, 仍具有一定改进空间。总体来看, 经过近十年发展, 我国乙烯行业对资源利用效率和缓解尾气排放两方面都有显著的提升。

**关键词:** IMPACT 2002+; LCA; 煤制烯烃; 影响评价

文章编号: 0253-2468(2014)12-3200-07 中图分类号: X32 文献标识码: A

## Application of life cycle assessment of ethylene process in China

ZHAO Zhitong<sup>1,2</sup>, WANG Feng<sup>1,\*</sup>, ZHAO Ning<sup>1,\*</sup>, LI Xuekuan<sup>1</sup>, WEI Wei<sup>1,3</sup>, SUN Yuhuan<sup>4</sup>

1. State Key Laboratory of Coal Conversion, Institute of Coal Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Taiyuan 030001

2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3. Center for Greenhouse Gas and Environmental Engineering, Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201203

4. Low Carbon Conversion Center, Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201203

Received 25 March 2014; received in revised form 22 April 2014; accepted 22 April 2014

**Abstract:** The environmental effect analysis for the ethylene process from five production processes including crude oil, crude coal, raw material, ethylene and electricity in China was studied through life cycle assessment (LCA) approach by IMPACT 2002+, which covered thirteen impact factors. It was found that the impact of non-renewable energy, global warming, respiratory effects and aquatic acidification played a dominant contribution. The most contribution from non-renewable energy was crude oil. The effect of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> produced by ethylene production and material production as well as CH<sub>4</sub> released from oil extraction were the main contributors on the environmental impact, which were the key factors for reducing the environmental effect for ethylene process in China. The environmental impact of ethylene production using naphtha as raw material was smaller than that from light hydrocarbon. However, coal to olefin process should be further improved because of larger environmental impact. It can also be seen that consumption of resource and emission of pollutants have made great progress after several decades of development.

**Keywords:** IMPACT 2002+; LCA; coal to olefins; life cycle impact assessment

### 1 引言( Introduction)

乙烯是重要的化工原料, 其下游产品占总石化

产品的 70% 以上, 具有重要的地位。经过数十年的发展, 2012 年我国乙烯产量已达 1486.8 万 t (赵志平, 2013), 仅次于美国位居第二。然而与乙烯行业相关

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项( No. XDA05010109, XDA05010110, XDA05010204)

Supported by the "Strategic Priority Research Program-Climate Change: Carbon Budget and Related Issues" of the Chinese Academy of Sciences ( No. XDA05010109, XDA05010110, XDA05010204)

作者简介: 赵志全(1989—) 男, E-mail: zhaozhitong@sxicc.ac.cn; \* 通讯作者(责任作者) E-mail: wangf@sxicc.ac.cn zhaoning@sxicc.ac.cn

**Biography:** ZHAO Zhitong(1989—) male, E-mail: zhaozhitong@sxicc.ac.cn; \* **Corresponding author** E-mail: wangf@sxicc.ac.cn zhaoning@sxicc.ac.cn

的环境影响分析却鲜有报道,对资源消耗和环境影响还缺乏系统认识。

生命周期评价(LCA)方法是目前有效的化工过程的环境评估方法,是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价,贯穿产品的全生命周期过程(ISO,2006;宋小龙等,2010)。由于LCA方法所涉及的范围广,因而系统边界不统一,有半生命周期“从摇篮到大门”)和全生命周期“从摇篮到坟墓”)之分,同时评价方法也有中间类型和结果类型之分。中间类型是面向环境问题的方法,具有普适性,是我国目前普遍采用的方法,如袁宝荣等(2006a;2006b)采用中间类型方法对2002年我国某乙烯生产装置进行了半生命周期评价。而结果类型是面向人类健康问题的方法,评价结果更具有优势,也是国际研究的趋势。

鉴于上述现状,本文采用中间类型和结果类型相结合的IMPACT 2002+方法对我国2010年的乙烯行业进行研究,得到乙烯生产的全生命周期环境清单,并对比研究不同乙烯生产工艺的环境影响评估,为提高资源利用率、减少污染排放量提供建议。

## 2 研究方法(Research methods)

生命周期评价分为4个阶段:目标和范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释(ISO,2006)。

### 2.1 研究目的与范围

本文以我国现阶段的乙烯生产数据为基础,采用IMPACT 2002+方法对不同工艺环节和不同环境影响类别进行分析,考察乙烯生产对环境的影响。功能单位是1t乙烯产品。系统边界包括原煤、原油、电力的生产,原料的制取和乙烯的生产(图1)。

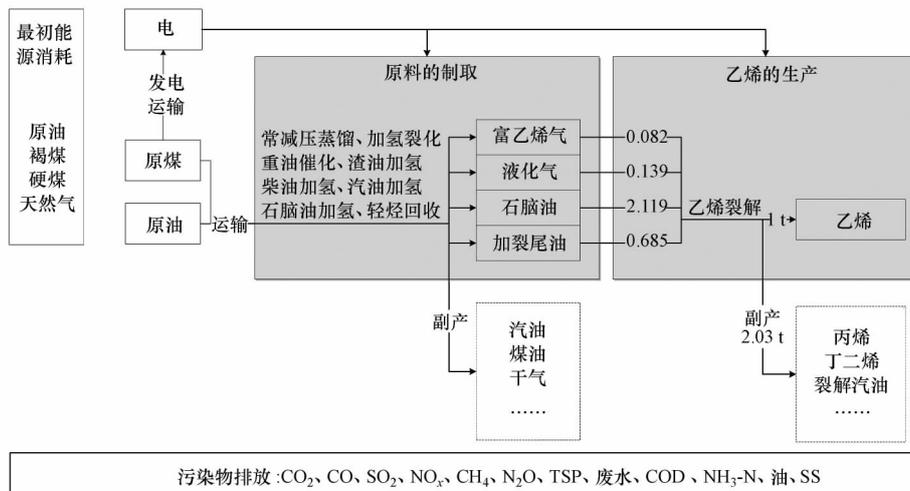


图1 乙烯生命周期评价的系统边界

Fig. 1 System boundary of life cycle assessment of ethylene

我国乙烯生产的原料较多且来源复杂,主要包括石脑油、加裂尾油、富乙烯气和液化气等(朱和,2012),因此本研究对乙烯的生产主要考察管式炉蒸汽裂解法,上游原料为四种石油炼制产品。此外,还存在新兴的煤制烯烃技术,但目前报道数据不足,因此该部分的环境分析仅作为对比研究。

原料的制取环节中与本研究相关的石油炼制工艺主要包括:常减压蒸馏、加氢裂化、重油催化、渣油加氢、柴油加氢、汽油加氢、石脑油加氢、轻烃回收等环节。

电力主要来自于工艺外界,该过程的环境影响单独进行计算。运输过程只考虑了原油和原煤的运输,其环境清单并入原油生产和原煤生产过程;此

外对基建、催化剂等其他的间接排放未进行计算。

### 2.2 清单分析 LCI

本文的LCA分析边界定义为:原料的制备(石油炼制过程)、乙烯的生产以及对原油、原煤和电力的生产。

#### 1) 乙烯生产

乙烯生产的原料投入、产品产出、能源消耗及污染物排放清单来源于2010年中石化和中石油的4家百万吨企业。按照文献(IPCC,2006;中国石油化工集团公司,2007)对冷却水、净化空气等进行折标,并对未知污染物CO<sub>2</sub>进行估算,所得环境数据清单列于表1。然后按照产物质量比重分配原则进行分配,得到乙烯生产过程的环境排放清单。

表 1 1t 乙烯生产的资源、能源消耗及污染物排放清单

Table 1 Resource, energy consumption and emission inventory of 1 ton of ethylene production

kg·t<sup>-1</sup>

原料	投入量	产物	产出量	气体污染物	排放量	液体污染物	排放量
石脑油	2.12×10 <sup>3</sup>	乙烯	1.00×10 <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub>	1.69×10 <sup>3</sup>	废水	0.28×10 <sup>3</sup>
加裂尾油	0.69×10 <sup>3</sup>	丙烯	0.48×10 <sup>3</sup>	CO	0.093	COD	0.016
液化气	0.14×10 <sup>3</sup>	氢气	0.03×10 <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub>	4.133	NH <sub>3</sub> -N	0.001
富乙烷气	0.08×10 <sup>3</sup>	甲烷	0.42×10 <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub>	0.930	油	0.001
电/(kW·h)	115.326	混合 C4	0.32×10 <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub>	0.056	SS	0.014
燃料油	380.902	C6~C8 加氢汽油	0.39×10 <sup>3</sup>	N <sub>2</sub> O	0.010		
燃料气	162.675	C5+馏分	0.20×10 <sup>3</sup>	TSP	0.941		
		C9+馏分	0.05×10 <sup>3</sup>				
		裂解燃料油	0.13×10 <sup>3</sup>				

## 2) 石油炼制

石油炼制过程中的工艺数据来源于 2010、2011 两年内中石化和中石油的两家企业及中国生命周期核心数据库( CLCD) ( 刘夏璐等, 2010) . 因为工艺

复杂、工艺环节较多, 所以表 2 仅列出对工艺数据按照产物质量比重分配原则进行分配后的结果. 其余数据, 如原油、原煤的开采、运输、火力发电等环境清单来源于 CLCD( 刘夏璐等, 2010) .

表 2 石油产品炼制的资源、能源消耗及污染物排放清单

Table 2 Resource, energy consumption and emission inventory of production of petroleum products

kg·t<sup>-1</sup>

原料	液化气/富乙烷气	石脑油	裂解尾油	污染物	液化气/富乙烷气	石脑油	裂解尾油
原油	1.06×10 <sup>3</sup>	1.06×10 <sup>3</sup>	1.10×10 <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub>	0.44×10 <sup>3</sup>	0.27×10 <sup>3</sup>	0.58×10 <sup>3</sup>
原煤	0.05×10 <sup>3</sup>	0.04×10 <sup>3</sup>	0.10×10 <sup>3</sup>	CO	0.079	0.052	0.160
电/(kW·h)	59.704	30.312	57.912	SO <sub>2</sub>	1.566	1.504	0.822
燃料油	19.233	6.296	16.989	NO <sub>2</sub>	0.265	0.178	0.431
燃料气	40.087	17.495	19.009	CH <sub>4</sub>	0.148	0.096	0.318
				N <sub>2</sub> O	0.002	0.001	0.003
				TSP	0.114	0.073	0.112
				废水	0.55×10 <sup>3</sup>	0.83×10 <sup>3</sup>	0.55×10 <sup>3</sup>
				COD	6.500	10.060	6.220
				NH <sub>3</sub> -N	0.329	0.468	0.360
				油	1.731	2.737	1.615
				SS	0.041	0.065	0.038

## 2.3 影响评价 LCIA

影响评价是生命周期评价的核心, 主要有中间类型方法( mid-point) 和结果类型方法( end-point) . 中间类型方法是面向问题型方法, 能直观的解释产品对环境造成的影响, 结果类型方法是面向损害型的方法, 着眼于影响后果对人类健康、环境及资源等最终保护领域所造成的伤害( 李娜和李明俊, 2008) .

本研究采用同时结合中间类型和结果类型的 IMPACT 2002+方法, 该方法利用中间类型方法 CML 2001 和结果类型方法 Eco-indicator 99 为基础的指

标( Guinée *et al.*, 2001; Goedkoop and Spriensma, 2001; 段宁和程胜高, 2008) , 而这两种方法是目前我国最常用的影响评价方法, 因而采用 IMPACT 2002+进行环境影响分析能够对宏观决策起到正确的指导作用. 它首先将数据清单划分为 14 个中间类型种类, 对中间类型环境影响进行分析; 然后进一步将中间类型种类划分为健康损害, 生态破坏, 气候变化和资源耗竭 4 个主题, 对结果类型环境影响进行探索, 具体框架见图 2( Humbert *et al.*, 2012; Jolliet *et al.*, 2003) .

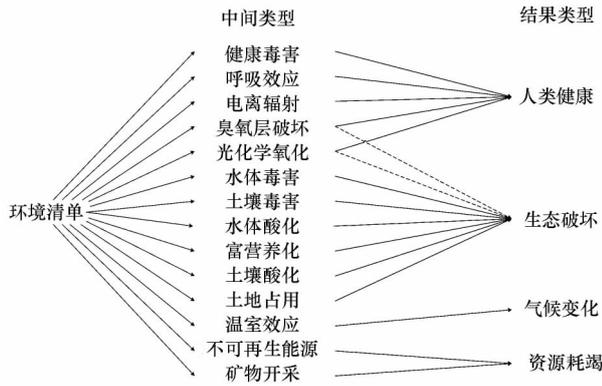


图2 IMPACT 2002+总体框架

Fig.2 Overall scheme of the IMPACT 2002+ framework

### 3 结果与分析( Results and analysis)

#### 3.1 中间类型结果 Mid-point

本研究采用 IMPACT 2002+法对乙烯行业的使用寿命周期进行分析.先以中间类型环境影响为目标,采用 IMPACT 2002+中的特征化因子,计算得到乙烯生产的特征化结果,如表 3 所示.计算涉及的环境影响类型包括:呼吸效应 REP、光化学氧化 POP、水体酸化 AAP、富营养化 AEP、土壤酸化 TAP、温室效应 GWP 和不可再生能源 NEP.然后采用 IMPACT 2002+法提供的欧洲人均环境影响为基准值,对各影响因素进行标准化处理,结果如图 3 所示 (Humbert *et al.* 2012).

表3 1 t 乙烯生产的中间类型环境影响

Table 3 Characterization results of mid-point categories

影响类型	REP	POP	AAP	AEP	TAP	GWP	NEP
特征化结果	0.571	0.284	5.166	0.402	11.924	$2.67 \times 10^3$	$1.44 \times 10^3$

注: REP 以  $PM_{2.5}$  当量计, POP 以  $C_2H_4$  当量计, AAR 以  $SO_2$  当量计, AEP 以  $PO_4^{3-}$  当量计, TAP 以  $SO_2$  当量计, GWP 以  $CO_2$  当量计, NEP 以 Oil 当量计.

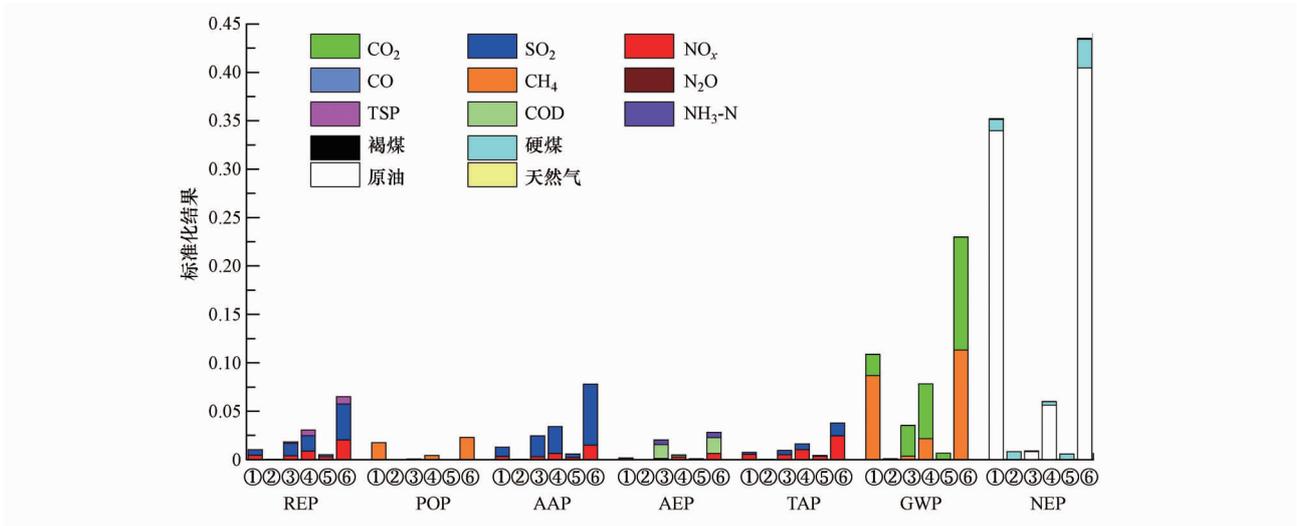


图3 1 t 乙烯生产的中间类型环境影响(①原油生产过程,②原煤生产过程,③原料生产过程,④乙烯生产过程,⑤电力生产过程,⑥生命周期总排放)

Fig.3 Normalized mid-point categories of ethylene production

由图 3 可以看出,在乙烯的生产消费中,不可再生能源消耗、温室效应、水体酸化和呼吸效应的环境影响潜值最为严重,而土壤酸化、富营养化和光化学氧化值较小.不可再生能源消耗的主要因素是原油和发电用的原煤,占 92.94%和 7.00%. $SO_2$ 和  $NO_x$  是造成呼吸效应的主要影响因素,分别占 57.07%和 31.45%.同时, $SO_2$ 和  $NO_x$  也是造成水体酸化、土壤酸化的主要污染物. $CH_4$ 是造成光化学氧

化效应的主要因素,COD 是产生富营养化的主要因素. $CO_2$ 和  $CH_4$ 是造成温室效应的主要因素,分别占 50.67%和 49.16%.

图 3 也列出了各生产环节对环境的影响,包括:原油生产、原煤生产、原料生产、乙烯生产和电力生产等.由图可知,乙烯生产是造成呼吸效应的主要环节,其次为原料生产环节,分别占 47.07%和 28.26%.同时,它们也是造成水体酸化的主要环节,占到总

量的 43.69% 和 31.55%。乙烯生产和原料生产是造成土壤酸化的主要环节,分别占 42.88% 和 25.11%。原油生产是造成光化学氧化效应的主要环节,原料生产是产生富营养化的主要环节。温室效应中,原油生产环节中逸放的 CH<sub>4</sub> 造成的影响最大,达到了 37.69% (原油生产环节占 47.30%)。其它温室效应的影响环节是乙烯生产和原料生产,分别占 34.03% 和 15.34%,主要由 CO<sub>2</sub> 造成。

3.2 结果类型 End-point

对乙烯生产的数据以结果类型为目的进行分类。按图 2 中的方法进行归类,人类健康(HH)主题包括光化学氧化和呼吸效应,生态破坏(EQ)主题包括土壤酸化、富营养化和水体酸化,气候变化(CC)主题和资源耗竭(R)主题完全归结于温室效应和不可再生能源,见图 4。

由图 4 可以看出,我国乙烯行业对资源耗竭和气候变化主题影响最大,对人类健康和生态破坏影响较小。造成人类健康和生态破坏的主要是 NO<sub>x</sub> 和 SO<sub>2</sub>。在人类健康主题中,SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 分别占 56.98% 和 31.41%,其次为 TSP,为 11.42%;在生态破坏主题中,SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的影响分别为 25.74% 和 53.51%,COD 和氨氮次之,为 15.61% 和 5.14%。如前所述,气候变化和资源耗竭的主要影响因子是 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和原油。

从乙烯行业的各个环节来看,乙烯生产对人类健康的影响较大,达 47.03%;原料和原油生产次之,为 28.22% 和 16.03%,电力生产和原煤生产的影响很小。在生态破坏主题中,原料生产和乙烯生产的影响较大,为 37.89% 和 36.01%,其次为原油生产和电力生产,原煤生产的影响很小。

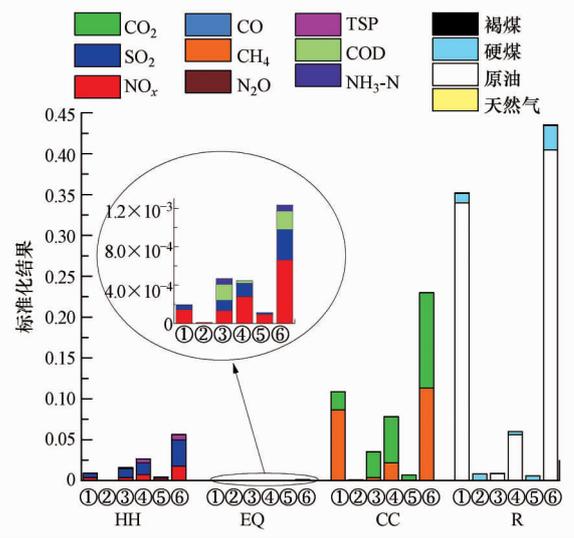


图 4 1 t 乙烯生产的结果类型环境影响(①原油生产过程,②原煤生产过程,③原料生产过程,④乙烯生产过程,⑤电力生产过程,⑥生命周期总排放)

Fig.4 Normalized end-point categories of ethylene production

3.3 对比与分析

通过与袁宝荣等(2006a; 2006b)的乙烯生产装置及 LCA 研究的比较(见表 4、表 5),发现乙烯行业经过近十年的发展在能源利用效率、污染物控制等方面取得了显著的进步。

1) 资源利用效率提高:对比我国乙烯生产的生命周期清单(表 4),发现原油的消耗是 2002 年的 58.31%。这一方面是因为乙烯生产过程中的损耗降低了(表 5)。2002 年生产 1t 乙烯(包含丙烯、碳四等其他副产品)需要 3.20 t 的裂解料,而 2010 年,需要 3.03 t 裂解料;另一方面,副产物的有效利用也使得乙烯的环境排放降低(表 5)。2002 年有价值的副产物仅仅包括丙烯和碳四,而 2010 年,几乎对所有的

表 4 2002 年与 2010 年我国乙烯生产的生命周期清单对比  
Table 4 Comparison of life cycle inventory of ethylene production in 2002 and 2010

原料	取值		污染物	排放量/(kg·t <sup>-1</sup> )	
	2010 年	2002 年		2010 年	2002 年
原油/(kg·t <sup>-1</sup> )	1342.541	2302.56	CO <sub>2</sub>	1351.814	2257.04
原煤(硬煤和褐煤的总和)/(kg·t <sup>-1</sup> )	248.022	85.6	SO <sub>2</sub>	4.178	8.93
天然气 /m <sup>3</sup>	0.937	162.21	NO <sub>x</sub>	1.411	11.6
			CO	0.251	7.62
			乙烯	0	2.9
			烟尘	0.416	5.84
			废水总量	1724.695	179.82
			石油类	3.280	0.02
			COD	10.608	2.57
			废渣	—	3.1

注:2002 年数据来源于文献(袁宝荣,2006a)。

表 5 2002 与 2010 年我国乙烯生产的环境清单对比

Table 5 Comparison of environmental inventory of ethylene production in 2002 and 2010

原料	消耗量/(kg·t <sup>-1</sup> )		产物	产量/(kg·t <sup>-1</sup> )		污染物	排放量/(kg·t <sup>-1</sup> )	
	2010 年	2002 年		2010 年	2002 年		2010 年	2002 年
裂解料	3026	3201	乙烯	1.00×10 <sup>3</sup>	1.00×10 <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub>	1693.694	1516.65
电	115.326	69.17	丙烯	0.48×10 <sup>3</sup>	0.48×10 <sup>3</sup>	CO	0.093	11.37
燃料油	380.902	154.26	氢气	0.03×10 <sup>3</sup>		SO <sub>2</sub>	4.133	5.72
燃料气	162.675	313.93	甲烷	0.42×10 <sup>3</sup>		NO <sub>x</sub>	0.930	12.98
			混合 C4	0.32×10 <sup>3</sup>	0.35×10 <sup>3</sup>	TSP	0.941	8.22
			C6~C8 加氢汽油	0.39×10 <sup>3</sup>		废液	284	330.06
			C5-馏分	0.20×10 <sup>3</sup>		油	0.001	0.04
			C9+馏分	0.05×10 <sup>3</sup>		COD	0.016	4.72
			裂解燃料油	0.13×10 <sup>3</sup>				

注: 2002 年数据来源于文献(袁宝荣, 2006a); 耗电单位为 kW·h.

副产物都进行了利用,例如将氢气回收去了制氢装置,得到纯氢,为加氢裂解等工艺的原料; C6~C8 加氢汽油去了芳烃抽提装置,可以得到纯苯、甲苯、二甲苯等.副产物的有效利用分担了乙烯的环境清单,因而乙烯的原油消耗可以得到大幅下降.同时发现原煤(表 4)、电和燃料油(表 5)的消耗有所增加,这是因为本文对冷却水、净化空气等也进行了考察,对其进行折标造成燃料油消耗的增加,进而在燃料油追溯过程造成原煤的增加.

2) 环境污染降低: 乙烯生命周期中排放的 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、TSP 分别为 2002 年的 59.89%、46.79%、12.17%、7.12%,而 CO 则更是为 2002 年的 3.29%.同时,2002 年污染物中废气乙烯占产品的 0.29%,而 2010 年乙烯生产过程中的污染物仅仅在事故排放中有微量逸出.这与有效利用的副产物种类和质量增多有关,同时也与我国大力加强环境治理有关.“十一五”期间,我国将主要污染物排放总量显著减少作为经济社会发展的约束性指标,着力解决突出环境问题,因而在污染排放与治理设施的利用方面取得了显著进步(中华人民共和国中央人民政府,

2011).

3) 乙烯生命周期中排放的废水总量、石油类、COD 有所增加(表 4),而对比乙烯生产环节中的环境排放,却发现这 3 类明显减小(表 5).这是因为之前的研究中并未对炼油过程中的废液进行考察,只考察了乙烯生产过程的直接废液排放(袁宝荣等, 2006a).

#### 4 与其他乙烯裂解工艺的对比(Comparison with other production method)

按照第 2 节中的方法,对几种乙烯裂解工艺的环境排放进行对比,包括乙烷、丙烷、丁烷等轻烃制乙烯,轻柴油、石脑油制乙烯,以及新兴的煤制烯烃工艺.系统边界与前文类似,但环境清单只包含原料消耗、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和 NO<sub>x</sub> 4 类,功能单位和分配方法与前文相同,如表 6 所示(李涛, 2005; 苗杰, 2013; 项东等, 2013).

由表 6 中可知,石油制乙烯的 5 种工艺中以石脑油为原料的污染排放最小,这是因为在 LCA 评价中,工艺的环境清单数据要分配到工艺的所有产品

表 6 常见乙烯裂解工艺生命周期清单对比

Table 6 Inventory of different processes of ethylene production in life cycle

kg·t<sup>-1</sup>

原料	乙烷	丙烷	丁烷	石脑油	柴油	煤制烯烃
原油	1600.652	1478.594	1443.171	1384.130	1381.855	17.200
硬煤	272.026	249.229	244.141	206.441	204.817	5289.000
褐煤	13.872	12.814	12.507	11.993	11.974	0.403
天然气 /m <sup>3</sup>	1.163	1.038	1.015	0.834	0.876	0.546
CO <sub>2</sub>	2204.817	1970.491	1672.647	1394.721	1427.963	5825.573
SO <sub>2</sub>	7.396	5.992	5.593	5.126	6.550	5.140
NO <sub>x</sub>	2.455	1.983	1.853	1.562	1.534	8.655

中,乙烷生产乙烯产品单一,分配系数为1,而石脑油裂解乙烯产品含量小,分配系数小于1,而常规的1 t 乙烯能耗是指生产1 t 乙烯(包含丙烯、丁二烯等产品在内)的能源消耗。所以,从生命周期评价的角度来看,以石脑油为原料裂解乙烯的环境影响比以轻烃为原料的工艺小。

煤制烯烃刚刚兴起,工艺不成熟,但是环境影响大。由表中看出,生产1 t 乙烯共需消耗5.289 t 的原煤,产生5.8 t CO<sub>2</sub>,是石油制烯烃的2~4倍;NO<sub>x</sub>是石油制烯烃的3~5倍;SO<sub>2</sub>虽控制较好,但较石油制烯烃也没有明显优势。由此看来,煤制烯烃的工艺还亟待改进。

## 5 结论(Conclusions)

1) 本文采用IMPACT 2002+方法对我国的乙烯生产进行了生命周期评价研究。发现乙烯行业对不可再生能源消耗、温室效应、呼吸效应和水体酸化的环境影响潜值最为严重,土壤酸化、富营养化和光化学氧化值较小,而乙烯生产和原料生产是主要的影响环节。不可再生能源消耗主要是原油,占92.94%,其余为原煤和天然气。

2) 从污染物种类来看,影响环境较大的是SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>。其中SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>是造成呼吸效应、水体酸化、人类健康和生态破坏的主要污染物,CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>是造成温室效应的主要影响因素。因而在优化乙烯生产、原料生产,同时减少原油开采过程的CH<sub>4</sub>排放是改善乙烯生产的关键因素。

3) 我国乙烯行业经过近十年的发展已取得显著的进步:原油消耗分别减少41.67%、CO<sub>2</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>减少40.11%、96.71%、53.21%和87.83%。

4) 与其他石油化学品生产乙烯相比,以石脑油和柴油为原料裂解乙烯的环境影响比以轻烃为原料的工艺小。

5) 刚刚兴起的煤制烯烃工艺的环境影响较大,尚存在一定的改进空间,主要表现在CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排放为石油制烯烃的2倍之多。

责任作者简介:王峰(1980—),男,副研究员,博士,主要从事环境管理等方向研究,目前已发表论文40余篇。赵宁(1974—),男,副研究员,博士,主要从事环境管理等方向研究,目前已发表论文100余篇。

## 参考文献(References):

- 段宁,程胜高. 2008. 生命周期评价方法体系及其对比分析[J]. 安徽农业科学, 36(32): 13923-13925; 14049
- Goedkoop M, Spriensma R. 2001. The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment: methodology report [M]. PRé Consultants, Amersfoort, the Netherlands
- Guinée J B, Gorée M, Heijungs R, et al. 2001. Life cycle assessment: An operational guide to the ISO standard [M]. VROM & CML, Den Haag and Leiden, the Netherlands
- 国家统计局. 2012. 中国能源统计年鉴 2011 [M]. 北京: 中国统计出版社
- Humbert S, De Schryver A, Bengoa X, et al. 2012. IMPACT 2002+: User guide draft for version Q2.21 [M]. EPFL, Switzerland & the IMPACT Modeling Team
- IPCC. 2006. IPCC 国家温室气体清单指南 [R]. 日本全球环境战略研究所
- ISO. 2006. ISO 14040: 2006 Environmental management-life cycle assessment-principles and framework [S]. Geneva: ISO
- Jolliet O, Margni M, Charles R, et al. 2003. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 8(6): 324-330
- 李娜,李明俊. 2008. 生命周期影响评价的技术框架及研究进展[J]. 江西科学, 26(2): 319-323
- 李涛. 2005. 乙烯生产原料的发展状况分析[J]. 石油化工技术经济, 21(5): 12-17
- 刘夏璐,王洪涛,陈建,等. 2010. 中国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型[J]. 环境科学学报, 30(10): 2136-2144
- 苗杰. 2013. 神华包头煤制烯烃工业大气污染物排放现状及减排对策[J]. 神华科技, 11(6): 89-92
- 宋小龙,徐成,赵丽娜,等. 2010. 生命周期管理研究现状与展望[J]. 生态经济, (3): 47-51
- 项东,彭丽娟,杨思宇,等. 2013. 石油与煤路线制烯烃过程技术评述[J]. 化工进展, 32(5): 959-970
- 袁宝荣,聂祚仁,狄向华,等. 2006a. 乙烯生产的生命周期评价(I)——目标与范围的确定和清单分析[J]. 化工进展, 25(3): 334-336
- 袁宝荣,聂祚仁,狄向华,等. 2006b. 乙烯生产的生命周期评价(II)影响评价与结果解释[J]. 化工进展, 25(4): 432-435
- 赵志平. 2013. 2012年中国石油和化工行业经济运行情况及2013年展望[J]. 当代石油石化, 21(2): 1-8
- 中国石油化工集团公司. 2007. GB/T 50441—2007 石油化工设计能耗计算标准[S]. 北京: 中国计划出版社
- 中华人民共和国中央人民政府. 2011. 国家环境保护“十二五”规划 [OL]. 北京: 国务院办公厅, 2011-12-20, [http://www.gov.cn/zwqk/2011-12/20/content\\_2024895.htm](http://www.gov.cn/zwqk/2011-12/20/content_2024895.htm)
- 朱和. 2012. 中国乙烯行业回顾、展望与思考[J]. 国际石油经济, 20(4): 67-72