



原位聚合原液着色 PA6 黑色丝袜全生命周期评价*

黄楚云¹ 李伟培¹ 琚家豪² 邵志远³ 张小明³ 张瑞秋³ 严玉蓉¹ 吴松平²

(1 华南理工大学材料科学与工程学院, 广东广州 510641; 2 华南理工大学化学与化工学院, 广东广州 510641; 3 华南理工大学设计学院, 广东广州 510006)

摘要: 为定量评价丝袜产品全生命周期的环境影响, 我们采用生命周期评价(LCA)方法, 以中国2016年相关行业和企业数据为参考, 建立了原位聚合原液着色尼龙6(PA6)纤维制备的黑色尼龙丝袜全生命周期环境影响评价模型。结果表明, 1吨丝袜全生命周期大约排放13.6吨二氧化碳, 消耗203吨水和3.7吨原油。而且, 全球暖化潜值(GWP)和能源消耗(PED)主要贡献来源于尼龙高弹丝(DTY)生产, 贡献比例分别达83.72%、80.33%。水资源消耗(WU)主要贡献来源于DTY生产, 其次是织袜过程, 贡献比例分别达41.62%和30.58%。该模型亦可作为评价原液着色尼龙纺织品环境影响的通用模型。

关键词: 生命周期评价(LCA) 原液着色 尼龙6 丝袜 通用模型

中图分类号: X 828

DOI:10.16584/j.cnki.issn1671-5381.2019.06.001

Full Life Cycle Assessment of In-situ Dope Dyeing PA6 Black Stockings

HUANG Chu-yun¹, LI Wei-pei¹, JU Jia-hao², SHAO Zhi-yuan³, ZHANG Xiao-ming³,
ZHANG Rui-qiu³, YAN Yu-rong¹, WU Song-ping²

(1 School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, Guangdong, China; 2 School of Chemistry and Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, Guangdong, China; 3 School of Design, South China University of Technology, Guangzhou 510006, Guangdong, China)

Abstract: In order to evaluate the environmental impacts of nylon stockings quantitatively, we established a full life cycle assessment model for nylon 6 stockings using life cycle assessment (LCA) method and the relevant industry and enterprise data of China in 2016. Results showed that one ton of stockings emitted about 13.6 tons of CO₂, and consumed 203 tons of water and 3.7 tons of crude oil in its full life cycle. Moreover, the main contribution of global warming potential (GWP) and primary energy demand (PED) were derived from the production of nylon drawn twisted yarn (DTY) with the contribution ratio of 83.72% and 80.33%, respectively. The main contribution of resource depletion-water (WU) was from DTY production too, and followed by the hosiery process, and the contribution ratio was 41.62% and 30.58%, respectively. The model can be considered as a universal model to evaluate environmental impact assessments of dope dyeing nylon based textile.

Key words: life cycle assessment (LCA) dope dyeing nylon 6 stockings general model

2018年《绿色纤维评价技术要求》的实施拉开了我国化纤绿色生产和制造的正式序幕^[1]。丝袜是一种短寿命的快速消耗品, 其主要成分为尼龙6

(PA6)。统计显示, 至2016年, 中国袜类产品年产量已达110亿双, 作为袜业的主要产品之一, 丝袜产量每年稳定增长^[2]。纺织工业面临着节约资源、减

* 基金项目: 国家重点研究计划(2018YFF0215502)

通讯作者: 严玉蓉, 教授, 主要研究方向为功能纤维及技术纺织品

少碳排放的艰巨任务,如何定量评估纺织产品环境影响的问题越来越受重视^[3]。生命周期评价(LCA)是通过确定和量化与产品相关的能源、物质消耗及其环境排放,来评估产品的环境总负荷,分析辨别改善环境的机会^[4-5]。Terinte等^[6]基于欧洲林业数据和奥地利生产织物的数据,比较了原液着色和印染着色莫代尔织物的环境影响,发现原液着色比传统印染着色莫代尔织物环境影响降低了40%~60%。Yuan等^[7]基于GaBi 4.3数据库,研究了我国棉织物轧染工艺过程的环境影响,得到其环境影响的主要方面是全球暖化、酸化、臭氧生成和富营养化。纵观国内外,LCA研究大多基于国外数据库,而国内生产方式与国外有较大差别,从而导致结果的偏差。中国作为制造业大国,拥有世界上最为齐全的制造业种类,相比其他国家,在采集数据方面有明显的优势。但目前我国LCA分析在各行各业刚刚开始,关于原液着色PA6纤维的生命周期评价在国内外的研究中更是存在空白。

本文研究了原液着色黑色PA6丝袜从石油开采、产品生产、产品使用到产品废弃全生命周期的环境影响,建立生产、使用、废弃全生命周期的LCA评价模型,为类似的产品提供一个环境评估的基本模型。

1 方法

1.1 目标定义

考虑到市场上丝袜规格类型繁多,不同规格类型可能造成LCA评价结果有较大差异。本研究选取较为普遍的20D(D代表丝袜厚度和透明度,D数越小,丝袜越薄越透明),67dtex(dtex即分特,代表纤维细度,表示10000米长纱线在公定回潮率下重量的克数,1dtex=1g/10000m)薄型丝袜作为研究目标,其中锦纶含量95%,氨纶含量为5%,假设产品使用寿命为清洗3次。丝袜使用后采用手洗的洗涤方式,废弃时采用焚烧发电和填埋两种处理方式。本研究的数据代表2016年中国的行业平均水平。

该产品的生产方式基于中国现有的普遍技术特点:在丝袜生命周期生产过程单元环节,己内酰胺加以适当添加剂,通过连续聚合法聚合分别得到聚酰胺切片和色母粒,切片和色母粒混合均匀,

采用熔融纺丝工艺首先制得POY丝,再经过拉伸、定型和加捻,制备得到DTY丝;PTMG和MDI聚合获得聚氨酯,通过溶液干法纺丝获得氨纶;将氨纶和DTY丝混纺成纱,再织袜、包装,形成丝袜产品。

1.2 范围定义

1.2.1 功能单位

本研究的功能单位和基准流为:1吨(t)原液着色黑色PA6丝袜的生产、使用和废弃,即“从摇篮到坟墓”,其生命周期流程如图1所示。

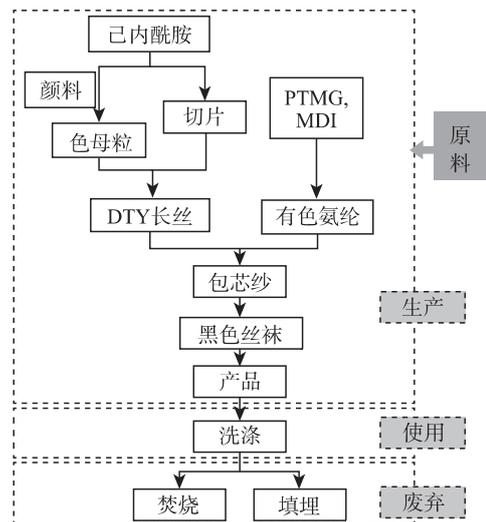


图1 丝袜生命周期模型

Fig. 1 Life cycle model of stockings

1.2.2 系统边界和分配方式

如图1所示,系统边界是“从摇篮到坟墓”,包含原材料的生产、产品的生产、使用和废弃。关于原材料,我们向上追溯其实际生产过程中的输入输出直至数据库中找到其上游物料的生产数据,所用的数据库为中国生命周期数据库(CLCD)^[8]。

本系统不包含满足cut-off规则的物料,也不考虑仪器折损以及原料和能源运输过程中的环境影响。其中,根据ISO建议的取舍规则(cut-off规则),当普通物料重量占比<1%产品总重量时,忽略其上游生产的数据,但总共忽略的总物料重量不超过产品总质量的5%。另外,忽略生产设备、厂房生活设施等的环境影响^[9]。

本研究中部分原料生产过程有副产品生成,包括聚丁二醇生产过程中的副产品副生油,四氢呋喃生产过程中的副产品甲醇。因为清单分析涉及的是物理参数而非经济价值,产品最直观的物理参数是质量,因此主产品和副产品之间可采用质量分配

法分配各产品间环境影响^[10]。分配方式见表 1。

表 1 副产品环境影响分配

Table 1 Environmental impacts allocation of by-products

原料	产品	质量/ kg	质量占 比/%	环境影响计算式
聚丁二醇 生产	聚丁二醇	1000	92.33	$P_1 = P_a \times 92.33\%$
	副生油	83.13	7.67	$P_2 = P_a \times 7.67\%$
四氢呋喃 生产	四氢呋喃	1000	99.79	$P_3 = P_b \times 99.79\%$
	甲醇	2.1	0.21	$P_4 = P_b \times 0.21\%$

1.2.3 影响评估方法及数据来源

根据产品生命周期中可能产生的环境影响,选择 8 种环境影响指标类型,包括气候变化(GWP)、水资源消耗(WU)、初级能源消耗(PED)、生态毒性(ET)、光化学臭氧合成(POFP)、富营养化潜值(EP)、可吸入无机物(RI)和酸化(AP)。数据的分析处理采用的是亿科环境有限公司提供的 efootprint 环境影响分析系统^[11]。

本研究用数据主要来自行业统计资料《纺织工业节能减排与清洁生产审核》^[12]、锦纶 6 清洁生产评价指标体系^[13]、行业标准^[14-15]、企业统计数据和企业环评报告,部分数据来自 Gabi 数据库、研究论文^[16]。

2 单元过程清单分析

根据图 1 原液着色 PA6 丝袜全生命周期流程,丝袜生产过程所追溯原料如图 2 所示。

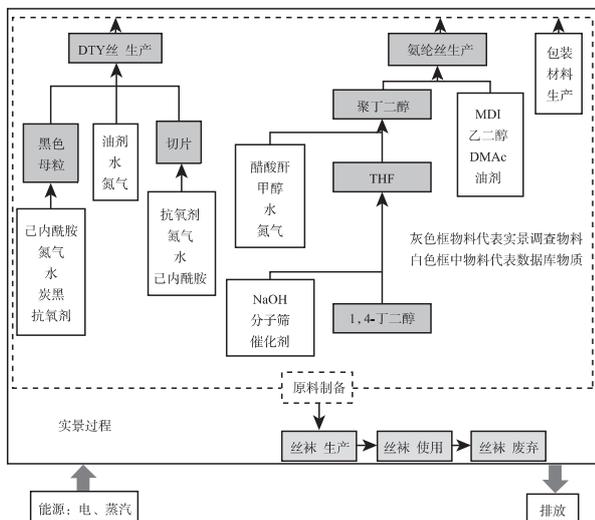


图 2 丝袜生命周期涉及物料图

Fig. 2 Material map involved in the life cycle of stockings

2.1 色母粒和切片生产

工业上,PA6 切片是己内酰胺聚合而成。黑色色母粒则采取在己内酰胺聚合前加入颜料炭黑,经聚合形成“黑色切片”,即色母粒。

清单分析中切片生产过程的输入为:己内酰胺、脱盐水、抗氧化剂 1098、氮气、水(开环剂)、电能;输出为:切片,己内酰胺废气和废水。

黑色色母粒生产过程的输入为:炭黑、己内酰胺、脱盐水、抗氧化剂 1098、氮气、水(开环剂)、电能;输出为:黑色色母粒,己内酰胺废气、废水和废固体。

2.2 DTY 丝生产

原液着色锦纶 DTY 丝是由切片和色母粒熔融纺丝而成。

清单分析中,从切片和黑色色母粒到 DTY 丝过程中的输入为:油剂、水、切片、黑色色母粒、氮气,输出为:己内酰胺废气、废水以及废丝和 DTY 丝。

2.3 氨纶丝生产

氨纶生产的方法有溶液干法纺丝、溶液湿法纺丝、熔融法纺丝和化学反应法纺丝,目前应用最广泛的方法是溶液干法纺丝^[17-18]。本研究所选用的方法即为溶液干法纺丝。

进行清单分析,氨纶丝生产的输入为:聚丁二醇、水、氮气、油剂、MDI、添加剂、DMAc、乙二醇、电、蒸汽、燃料油;输出为:二氧化硫、有机废物、颗粒物、废水、DMAc 和氨纶丝。

对氨纶丝生产所用原料聚丁二醇进行追溯,所涉及清单分析如下:

聚丁二醇生产过程的输入为:水、氮气、甲醇、醋酸酐、四氢呋喃、电、燃油、蒸汽;输出为:废水、有机废物、四氢呋喃和聚丁二醇。

四氢呋喃生产过程的输入为:催化剂、1,4-丁二醇、氢氧化钠、分子筛、电;输出为:有机废物、四氢呋喃废气和四氢呋喃产品。

1,4-丁二醇生产过程的输入为:催化剂、乙炔、氢气、甲醛、电;输出为:废气、废水、有机废物和 1,4-丁二醇。

2.4 织袜及包装

本研究中的尼龙弹性丝袜是由 DTY 丝和氨纶丝进行包覆倒丝形成氨纶包覆纱,氨纶包覆纱再进行织袜、缝头、定型形成丝袜,最后进行包装形成丝袜产品。

进行清单分析,丝袜产品的生产过程中,输入为:DTY丝、水、包装材料、氨纶丝和电,输出为:废水、废丝、废包装、水蒸汽和丝袜产品。

2.5 丝袜使用

丝袜使用部分考虑了销售运输和洗涤的过程。按照中国普遍的习惯,丝袜采用冷水手洗。丝袜运输距离按照每吨 92km 估算,运输工具选择轻型汽油货车运输(2t) - 中国。洗涤部分按照每吨丝袜用水 22.5t,用洗涤剂 4.5kg 计算。

进行清单分析,丝袜使用过程中的输入为:水、洗涤剂;输出为:废水、废包装。

2.6 丝袜废弃

在中国,丝袜废弃后一般没有回收,有两种处理方式:填埋和焚烧。由于不同地方垃圾的处理方式不一样,为此,我们选择丝袜需求较多的较发达城市—广州为例,按照广州市垃圾处理方式中,这两种方式所占比例来分配丝袜的处理方式^[16]。数据处理中,计算了焚烧发电的电能对环境产生的正影响。

清单分析基于过程单元进行数据收集,收集时多方获取数据,以保证清单数据的完整性,以氨纶的单元过程数据收集为例,见表 2。

表 2 氨纶丝生产的生命周期清单

Table 2 Life cycle inventory of spandex production

氨纶生产单元过程	清单物质	单位	《纺织工业节能减排与清洁生产审核》	《清洁生产标准 化纤行业(氨纶)》
原料消耗	PTMG	kg	769.5	
	MDI	kg	197.5	
	扩链剂 CF	kg	29.2	
	扩链剂 CT	kg	60.0	
	DMF	kg	201.5	
	添加剂	kg	121.0	
	油剂	kg	90.7	
能源消耗	电	kW·h	4800	
	蒸汽	t	35	
	压缩空气	Nm ³	5000	
	水	t	105	
	燃料油	J	2.3 × 10 ¹⁰	
	氮气	Nm ³	280	

续表 2

氨纶生产单元过程	清单物质	单位	《纺织工业节能减排与清洁生产审核》	《清洁生产标准 化纤行业(氨纶)》
水体排放	废水	t		70
	水中 DMF	kg		25
	水中 COD _{Cr}	kg		140
气体排放	DMF	kg		30
	SO ₂	kg		30
	烟尘	kg		5
固体排放	废丝	kg		25
	废液	kg		40
	废渣	kg		20

3 结果与讨论

3.1 累计贡献分析

3.1.1 全周期的累积贡献分析

根据各单元过程的输入输出,计算生产、使用、废弃过程各环境影响类型指标的累计贡献值,结果见表 3。

表 3 丝袜生产、使用、废弃过程各环境指标的累计贡献值

Table 3 Cumulative contribution to environmental indicators

for production use and disposal of stockings

环境影响类型指标	指标单位	生产过程	使用过程	废弃过程	全周期累计
气候变化(GWP)	kg CO ₂ eq	1.36E+04	1.32E+01	1.19E+02	1.37E+04
水资源消耗(WU)	kg	1.80E+05	2.29E+04	-1.27E+02	2.03E+05
初级能源消耗(PED)	MJ	1.56E+05	1.73E+02	-4.15E+02	1.56E+05
生态毒性(ET)	CTUe	1.47E+02	4.41E-01	2.71E-01	1.48E+02
光化学臭氧合成(POFP)	kg NMVOC eq	7.48E+00	2.16E-01	1.97E-01	7.90E+00
富营养化潜值(EP)	kg PO43-eq	2.40E+00	1.99E-02	1.08E-01	2.52E+00
可吸入无机物(RI)	kg PM2.5 eq	9.70E+00	2.57E-02	6.08E-02	9.79E+00
酸化(AP)	kg SO ₂ eq	3.32E+01	1.23E-01	4.56E-01	3.38E+01

由表 3 可得,丝袜全生命周期中,主要的环境影响指标类型是气候变化(GWP)、水资源消耗(WU)和初级能源消耗(PED),一吨丝袜全生命周期排放 13700kg CO₂ eq,消耗 203000kg 水,以及 156000MJ 能量,相当于 3.7 吨原油。其他指标的累计贡献值较小,可以不考虑。

从表 3 中还可可见,废弃过程水资源消耗和初级能源消耗为负值,这是因为废弃时部分废弃物焚烧产生电能,抵消了部分环境的负影响,因而表现为负值。影响环境的主要过程为丝袜的生产过程,其 GWP、WU 和 PED 值分别占整个生命周期的 99.04%、88.77% 和 100.16%。使用过程的环境影响值所占比例较小,这是因为丝袜的使用寿命较短,只有 3 次。假如是其他长寿命衣物,如运动衣,可能使用过程的环境影响会有所提高。

3.1.2 生产过程的累积贡献分析

将生产过程细分为 4 个单元过程: DTY 丝生产、氨纶生产、织袜和包装,其累计贡献柱状图如图 3 所示。

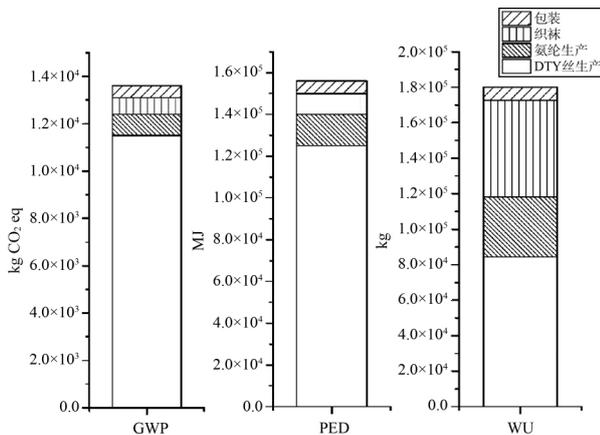


图 3 主要指标的过程累计贡献堆积图

Fig. 3 Stacked map of process cumulative contribution to main indicators

对于 GWP 和 PED 指标而言,主要贡献来源于 DTY 丝生产过程,DTY 丝的贡献比例分别达到 83.72% 和 80.33%。

对于 WU 指标而言,主要贡献也来源于 DTY 丝生产,其次是织袜过程,贡献比例分别达到 41.62% 和 30.58%。这是因为丝袜的主要成分是 DTY 丝,因而其环境影响最大。而织袜过程由于用到的是喷水织袜机,需要消耗大量的水,所以此过程对水资源消耗指标影响也较大。

丝袜的另一种重要成分氨纶丝对环境的影响主要是水耗和初级能源消耗。虽然氨纶比例只有 5%,但从柱状堆积图可以看出,其对指标的贡献占了较大比例。

3.1.3 DTY 丝生产的累积贡献分析

进一步地,对 DTY 丝生产过程进行分析,其对 GWP、WU 和 PED 三个指标贡献见表 4。

表 4 DTY 丝生产过程各单元过程对指标的贡献分析
Table 4 Contribution analysis of unit process in DTY production

单元	GWP (kg CO ₂ eq)	PED (MJ)	WU (kg)
切片	8.09E+03	8.42E+04	6.34E+04
色母粒	2.03E+03	2.15E+04	1.59E+04
电	1.37E+03	1.92E+04	5.14E+03
氮气	9.75E+00	1.29E+02	7.32E+01
水	1.44E-02	1.90E-01	7.71E+01

注: DTY 丝制备过程中,色母粒占比 20% (质量分数),切片占比 80% (质量分数),DTY 丝中炭黑的有效含量为 6% (质量分数)。

由表 4 可得,对 GWP、WU 和 PED 三个指标贡献最大的过程都是切片和黑色色母粒的生产过程,其次才是纺丝过程中电能的消耗。而相比于 WU 指标,电能消耗对 GWP 和 PED 指标的贡献较大,这是因为电力生产过程中温室气体的排放和初级能源的消耗较多,而水耗相对较少。

3.2 讨论

由 3.1 的分析可知,虽然氨纶所占比例很小,只有 5%,但其对环境的影响指标的贡献占了一定比例,不可忽略,说明氨纶丝生产过程的环境影响较大。假如将该模型用于其他织物,如高档尼龙运动衣等,只需收集纺织成衣过程的数据,同时改变氨纶比例,即可近似表达。用于织物的氨纶比例可从 5% 至 30%,我们以 30% 的氨纶比例为例,在不改变其他过程的情况下进行迭代计算,比较氨纶的影响。

当氨纶比例从 5% 改为 30% 时,重量增至原先的 6 倍,氨纶部分的环境影响指标累计值也因此增至原值的 6 倍,用式(1)计算。

$$P'_{\text{氨纶}} = P_{\text{氨纶}} \times 6 \quad (1)$$

DTY 丝的重量比例从 95% 降至 70%,其环境影响指标累计值也因此降至原值的 73.68%,用式(2)计算。

$$P'_{\text{DTY}} = P_{\text{DTY}} \times \left(\frac{70\%}{95\%} \right) = 73.68\% \quad (2)$$

按此算法计算,其生产过程各单元主要环境影响指标 GWP、WU 和 PED 的累计贡献值见表 5。

表 5 环境影响指标累计贡献值(30%氨纶比例)

Table 5 Cumulative contribution for environment (30% spandex)

指标类型	GWP	WU	PED
单位	kg CO ₂ eq	kg	MJ
DTY 生产	8474	62263	92105
氨纶生产	5412	202200	89400
织袜	705	54300	9930
包装	493	7500	6170
氨纶含量 30% 的生产影响	1.51E+04	3.26E+05	1.98E+05
氨纶含量 5% 的生产影响	1.36E+04	1.80E+05	1.56E+05

由表 5 看出,随着氨纶含量的增加,GWP、WU 和 PED 指标的累计贡献值都有所增加,且 WU 和 PED 指标增加明显。从表中还可以看到,当氨纶含量增加至 30% 时,水资源消耗主要来源于氨纶的生产而非 DTY 丝的生产。且当氨纶比例增加至 30% 时,氨纶和 DTY 丝对初级能源消耗指标的贡献率相近。

另一方面,由于丝袜的寿命很短,仅为 3 次,所以相比于生产过程,使用过程对环境的影响很小。假如是其他长寿命织物,如运动衣等,循环使用次数较多,可达几十到上百次,那么使用过程的环境影响也相应较大。

4 结论和应用

本研究中,通过生命周期分析,我们发现丝袜全生命周期中主要环境影响类型是全球暖化(GWP)、水消耗(WU)和能源消耗(PED)。且 1 吨丝袜全生命周期大约排放 13.6 吨 CO₂,消耗 203 吨水,以及 156000MJ 初级能源,相当于 3.7 吨原油。另外,对 GWP 和 PED 指标的主要贡献来源于 DTY 丝生产过程,DTY 丝的贡献比例分别达到 83.72% 和 80.33%。对 WU 指标的主要贡献来源于 DTY 丝生产,其次是织袜过程,贡献比例分别达到 41.62% 和 30.58%。

因为 DTY 丝生产对各重要指标的贡献最大,所

以提高环保性可以从 DTY 丝成品率和能耗进行改进。

本次基于黑色尼龙丝袜 LCA 分析的模型可进行拓展,该模型除可用于丝袜外,修改、补充纺织过程的数据,可用于同种材料不同织法的织物。由于染料本身影响较小,其他颜色的 DTY 丝亦可近似使用该模型。改变氨纶的比例,或在模型基础上添加必要的原料,也可应用于其他产品的生命周期分析,如运动衣等。

致谢:诚挚感谢杨爱民老师对本研究的支持与指导。

参考文献

- [1] 先希.《绿色纤维评价技术要求》团体标准发布[J]. 人造纤维 2018, 48(03): 39.
- [2] 观研天下(北京)信息咨询有限公司. 中国丝袜市场运营情况及十三五投资风险评估报告[R/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/4489690508a1284ac9504325.html>.
- [3] 王来力,丁雪梅,吴雄英. 纺织产品碳足迹研究进展[J]. 纺织学报 2013, 34(06): 113-119.
- [4] 丁宁,杨建新. 中国化石能源生命周期清单分析[J]. 中国环境科学 2015, 35(05): 1592-1600.
- [5] 毛燎原,李爱民. 基于生命周期评价的糠醛生产污染综合治理问题[J]. 化工进展 2010, 29(S1): 226-231.
- [6] TERINTE N,MANDA B M K,TAYLOR J,et al. Environmental assessment of coloured fabrics and opportunities for value creation: spin-dyeing versus conventional dyeing of modal fabrics[J]. Journal of Cleaner Production 2014, 72: 127-138.
- [7] YUAN Z W,ZHU Y N,SHI J K,et al. Life-cycle assessment of continuous pad-dyeing technology for cotton fabrics[J]. International Journal of Life Cycle Assessment 2013, 18(3): 659-672.
- [8] 亿科环境科技有限公司(IKE). Chinese Life Cycle Database-CLCD [DB/OL]. <http://www.ike-global.com/archives/1094.html>.

(下转第 79 页)

3 结论

(1) 通过酸碱中和法制备了环烷酸铈目标产物,通过金属含量测定、红外光谱分析可以确认产物为环烷酸铈金属盐。

(2) 分别采用目测法和碳烟收集法,定性定量测定了环烷酸铈盐的消烟助燃性能,而且还研究了助燃剂加入量与消烟效果的关系。实验结果表明,当环烷酸铈的添加量从 1.0% 增加到 2.0% 时,消烟率显著提高,从 14.62% 提高到 24.84%,但当其添加量增加到 3.0% 时,消烟率没有再得到明显提高,可见消烟率与环烷酸铈的添加量不成正比例关系。

(3) 通过对环烷酸铈的油溶性分析和消烟助燃性能评价,认为在柴油中加入环烷酸铈盐,可使排放物中的碳烟量、氮氧化物、碳氧化物等有害成分明显减少,环烷酸铈对柴油而言是一种效果良好的消烟助燃剂。

参考文献

- [1] 刘公召,桑世贤. 环烷酸及其盐类的生产和应用[J]. 沈阳化工学院学报,1994,8(4):21-22.
- [2] 曹逸飞,陈清涛,张海洪,等. 环烷酸及其盐类的应用研究[J]. 广州化工,2013,40(16):104-105.
- [3] 马少华. 环烷酸钡的制备及其消烟性能评价[J]. 化学工程师,2018,32(1):18-20.
- [4] 徐京鹏. 温度和 pH 值对环烷酸稀土有机化合物合成的影响[J]. 江西化工,2004,(1):74-79.
- [5] 徐京鹏. 环烷酸浓度对环烷酸稀土有机化合物合成的影响[J]. 江西化工,2004,(2):122-125.
- [6] 四川大学化学化工学院,浙江大学化学化工学院. 分析化学实验[M]. 北京:高等教育出版社,2003:41-44.
- [7] 李文秀,于三三,张万中,等. 定量测定燃料油消烟剂的消烟效果[J]. 环境保护科学,1996,22(4):34-49.
- [8] 葛英勇. 环烷酸浮选萤石、赤铁矿作用机理的红外光谱研究[J]. 非金属矿,1991,(3):19-21.
- [9] 李彦,吴瑾光,翁诗甫,等. 环烷酸酸盐体系的红外光谱研究[J]. 无机化学学报,1995,11(2):198-202.
- [9] 亿科环境科技有限公司(IKE). 取舍规则(cut-off 规则)[Z/OL]. <http://www.ike-global.com/archives/360.html>.
- [10] YANG J,WANG S,XU C. Allocation Method in Life Cycle Inventory Analysis[J]. Chinese Environment Science,1999(03):285-288.
- [11] 亿科环境科技(IKE). eFootprint-供应链 LCA 网络平台[P/OL]. <http://www.ike-global.com/archives/880.html>.
- [12] 奚旦立,陈季华. 纺织工业节能减排与清洁生产审核[M]. 北京:中国纺织出版社,2008.
- [13] 国家发展和改革委员会,生态环境部,工业和信息化部. 合成纤维制造业(锦纶 6)清洁生产评价指标体系[Z]. 2018.
- [14] 国家环境保护总局. 清洁生产标准 化纤行业(氨纶):HJ/T 359-2007[S]. 北京:中国环境科学出版社,2007.
- [15] 中华人民共和国工业和信息化部. 氨纶长丝:FZ/T 54010-2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [16] 付振华,祝晓峰,彭小东. 广州市城市生活垃圾处理现状及资源化利用[J]. 广东化工,2018,45(09):177-179.
- [17] 王文科,牛家祥,韩车伟,等. 氨纶工业的现状与发展趋势[J]. 聚酯工业,2000(04):8-11,26.
- [18] 张洪波,白建红,郭锐,等. 氨纶生产过程及其环境问题[J]. 广州化工,2015,43(16):157-159.

(上接第 6 页)