

浙江恒优化纤有限公司
涤纶预取向丝（POY）产品碳足迹盘查报告

浙江
大学
清洁生产中心
2021年4月25日



前 言

本报告基于 GB/T24040、GB/T24044 和 T/CNTAC 33-2019 提及的生命周期方法编写。

本报告编写单位：浙江大学清洁生产中心

报告主要编写人：何云、李克泉

报告审核人：黄克玲

日期：2021 年 4 月 25 日

目 录

1. 目标与范围定义	1
1.1. 目标定义	1
1.1.1. 产品信息	1
1.1.2. 功能单位与基准流	1
1.1.3. 数据代表性	1
1.2. 范围定义	2
1.2.1. 系统边界	2
1.2.2. 取舍原则	3
1.2.3. 环境影响类型	3
1.2.4. 数据质量要求	3
1.2.5. 软件与数据库	4
2. 数据收集	5
2.1. 聚酯聚合	5
2.2. 熔体直纺 POY	7
2.3. 包装	9
2.4. 清单数据来源	10
2.4.1. 现场数据来源	10
2.4.2. 背景数据收集	10
3. 碳足迹影响分析	10
3.1. GWP 建模	10
3.2. GWP 结果	11
3.3. 过程贡献分析	11
4. 碳足迹解释	14
4.1. 数据质量评估与改进	14
4.2. 绿色设计改进方案	14
4.3. 结论与建议	16
附件 1: 产品原始包装图	17
附件 2: 产品生产工艺流程	18

执行摘要

本项目受浙江恒优化纤有限公司（以下简称“恒优化纤”）委托，由浙江大学清洁生产中心执行完成。研究的目的是以生命周期评价方法为基础，采用国际标准化组织（International Organization for Standardization，简称 ISO）编制的 ISO 14067 标准和英国标准协会（British Standards Institution，简称 BSI）编制的 PAS 2050 标准中规定的碳足迹核算方法，计算得到恒优化纤生产的涤纶长丝（预取向丝 POY）产品的碳足迹。

为了满足碳足迹第三方认证以及与各相关方沟通的需要，本报告的功能单位定义为生产 1t 预取向丝 POY 产品。系统边界为“从摇篮到大门”类型，现场调查了恒优化纤恒邦厂区从精对苯二甲酸（PTA）和乙二醇（EG）进厂到预取向丝 POY 产品出厂的过程，物料、能源获取的数据来源于企业实际年度统计数据。

预取向丝 POY 产品的碳足迹评价见第四章。报告中对生产预取向丝 POY 产品的碳足迹清单消耗、各生产过程和不同过程清单的碳足迹贡献进行了分析。从单个过程对碳足迹贡献来看，发现原料获取过程对产品碳足迹的贡献最大，占 77.50%。从物质获取来看，PTA、乙二醇、纺丝电力及聚酯生产因天然气造成环境影响对碳足迹的贡献最大，分别占 65.90%、11.60%、8.01%和 10.10%。

1. 目标与范围定义

1.1. 目标定义

1.1.1. 产品信息

本研究的研究对象为：涤纶预取向丝（POY），具体信息如下：

表 1.1 产品基本信息表

生产厂家	浙江恒优化纤有限公司（以下简称“恒优化纤”）
产品名称	涤纶预取向丝（POY）
产品型号	（10-1000）dtex/（1-800）f
纤维成分及类型	聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）
纤维尺寸规格	744kg/箱
纤维颜色	白色
主要技术参数	优等品：断裂强度（CN/dtex） ≥ 1.60 ；断裂伸长率（%）： $M1 \pm 12.0$ ； 条干不匀率（%） ≤ 1.50
包装材料及规格	泡沫板（cm）130*87、木架子（cm）130*87
工艺路线及类型	浆料配制→聚酯聚合→熔体直纺 POY→包装

1.1.2. 功能单位与基准流

本报告以生产 1t 涤纶预取向丝（POY）为功能单位，产品信息见表 1.1。

1.1.3. 数据代表性

报告代表具体企业及产品研究，时间、地理、技术代表性如下：

- （1） 时间代表性：2020
- （2） 地理代表性：浙江省嘉兴市嘉兴港区

(3) 技术代表性，包括以下方面：

- 生产工艺流程：浆料配制→酯化反应→预缩聚反应→终缩聚反应→POY 熔体直纺→包装
- 主要原料：精对苯二甲酸(PTA)、乙二醇(EG)
- 主要能耗：电力、天然气
- 水资源：工业/生活自来水

1.2. 范围定义

1.2.1. 系统边界

本研究的系统边界为属“从摇篮到大门”的类型，主要包括酯化聚合、熔体直纺 POY、包装等过程。碳足迹盘查边界见图 1.2。

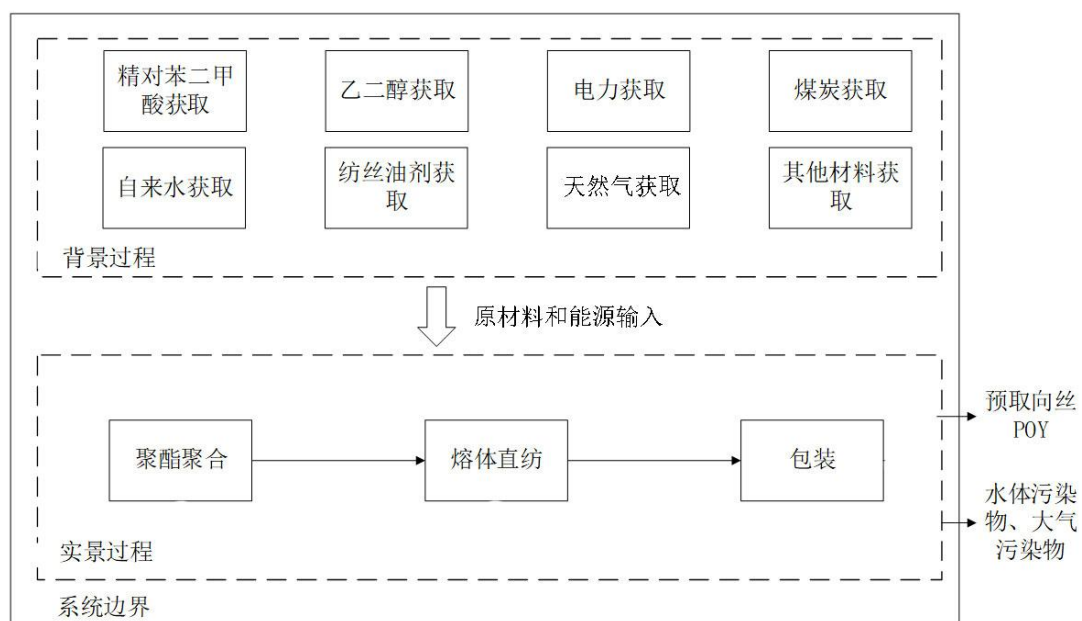


图 1.2 涤纶预取向丝（POY）碳足迹盘查边界图

1.2.2. 取舍原则

本研究采用的取舍规则为《绿色设计产品评价技术规范 聚酯涤纶》（T/CNTAC 33-2019）所描述的取舍原则，取舍原则如下：

——所有能耗均列出；

——所有主要原料消耗均列出；

——重量小于产品重量 1%的辅料消耗可忽略，但总忽略的重量不应超过产品重量的 5%；

——已有法规、标准、文件要求监测的大气、水体、土壤的各种排放均列出，如环保法规、行业环境标准、环境监测报告、环境影响评价报告等；

——小于固体废弃物排放总量 1%的一般性固体废弃物可忽略；

——道路与厂房的基础设施、各工序的设备、厂房内人员及生活设施的消耗和排放，均忽略。

1.2.3. 环境影响类型

基于研究目标的定义，本研究只选择了全球变暖这一种影响类型，并对产品生命周期的全球变暖潜值（GWP）进行了分析，因为 GWP 是用来量化产品碳足迹的环境影响指标。

1.2.4. 数据质量要求

数据质量评估采用《绿色设计产品评价技术规范 聚酯涤纶》（T/CNTAC 33-2019）标准的方法。

1.2.5. 软件与数据库

本研究使用的版本是 GaBi 8.0, 其数据库包括 8000 种不同的能源与材料流程, 也提供 400 种的工业流程, 归纳在十种基本流程中, 如工业制造、物流、采矿、动力设备、服务、维修等。

该软件的主要特色包括: 涉及领域广泛的最新综合数据库, 尤其是率先在世界上发布了电子类产品环境负荷数据集。对环境影响方面的数据, 比如地球变暖潜能, 臭氧层消耗潜能等影响效果分类问题, 采用了 ISO (国际标准化组织)、SETAC (环境毒理学与化学学会), WMO (国际气象组织), IPCC (联合国政府间气候变化专门委员会) 等倡议的最新解析方法。

GaBi 还提供了根据碳足迹盘查各项目阶段来进行系统评价或分步评价的手法, 支持用户根据 ISO14000 的准则输入所需评估项目的目的和范围, 用户可以自己定义所评估项目、采集数据和解析结果。软件的图形界面具有透明性和灵活性, 可以以线的粗细来表示质量、能量或成本大小, 另外一个有用的功能是采用模型化, 它可以将研究对象各过程单元进行模块化展示, 并按照类别将这些模块单元进行分组处理。此外, 软件和相应的数据库相互独立, 并且可以兼容其他公司开发的数据库。目前已有众多将软件应用于企业数据管理和环境影响评价的案例研究。

2. 数据收集

2.1. 聚酯聚合

(1) 过程基本信息

- 过程名称：聚酯聚合
- 过程边界：从 PTA 和乙二醇进厂到聚酯熔体出厂

(2) 数据代表性

- 主要数据来源：企业现场调查
- 产地：浙江省嘉兴市嘉兴港区
- 基准年：2020 年
- 工艺设备：酯化反应器、预缩聚反应器、终缩聚反应器
- 主要原料：PTA、乙二醇
- 主要能耗：电力、天然气
- 末端治理：聚酯聚合过程排放的主要污染物有废水和废气，废水进入厂内废水处理厂生化处理达标排放，废气处理后达标排放。
- 技术补充描述：恒优化纤聚酯装置以精对苯二甲酸(PTA)和乙二醇(EG)为原料，乙二醇锑为催化剂，二氧化钛为消光剂，经酯化、预聚、终聚得到聚对苯二甲酸乙二酯(PET)，聚合物直接送到纺丝生产线。

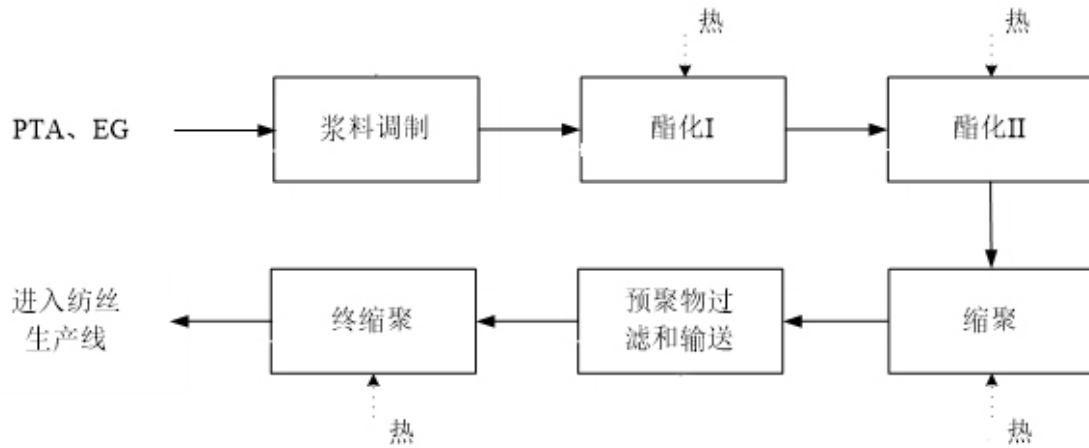


图 2.1 聚酯聚合过程工艺流程图

表 2.1 聚酯聚合过程清单数据表

项目	名称	单位	年消耗量		单位产品消耗量或排放量	
			实物量	单位		
输入	原材料	PTA	t	819573.91	kg/t	852.99
		EG	t	318100.88	kg/t	331.07
	能源	电	万 kwh	5074.63	kWh/t	32.84
		天然气	万 Nm ³	4900.55	Nm ³ /t	51
		蒸汽	GJ	123583.24	GJ/t	0.1286
		新鲜水	m ³	93120	kg/t	97
输出	产品	聚酯熔体	t	957477	kg/t	1000
	废气	粉尘	t	10.83	g/t	11.31
		SO ₂	t	5.52	g/t	5.77
		NO _x	t	70.16	g/t	73.28
		VOC	t	13.11	g/t	13.69
		CO ₂	t	220430.33	g/t	230220
	废水	废水量	t	10273.92	g/t	10730.2
		COD	t	0.36	g/t	0.38
		氨氮	t	0.004	g/t	0.0029

2.2. 熔体直纺POY

(1) 过程基本信息

- 过程名称：熔体直纺 POY
- 过程边界：从聚酯熔体进厂到涤纶预取向丝（POY）产品出厂

(2) 数据代表性

- 主要数据来源：企业现场调查
- 产地：浙江省嘉兴市
- 基准年：2020
- 工艺设备：纺丝箱体、卷套头等
- 主要原料：聚酯熔体
- 主要能耗：电力、天然气
- 末端治理：熔体直纺 POY 过程排放的主要污染物有废水和废气，废水进入厂内废水处理厂生化处理达标排放，废气处理后达标排放。
- 技术补充描述：主要经过 2 个过程：①熔体输送及分配：从聚酯装置最终缩聚反应器出来的熔体经出料泵、熔体过滤器、带有热媒保温的熔体夹套管输送，由分配阀分配至各纺丝箱体。熔体在进入纺丝箱体前通过静态混合器，保证聚酯熔体在进入纺丝时的温度和粘度均匀。②POY 纺丝：熔体被输送入纺丝箱体后，被加热到合适的纺丝温度，经过箱体内的熔体分配管均匀的到达各

纺丝位，再经过纺丝计量泵的精确计量后到达各纺丝组件，经组件内的滤材过滤后从喷丝板挤出成熔体细流。熔体细流在设定的冷却吹风及卷绕拉伸的作用下，冷却固化成一定细度的丝条，然后经过卷绕机被卷绕成 POY 丝饼。

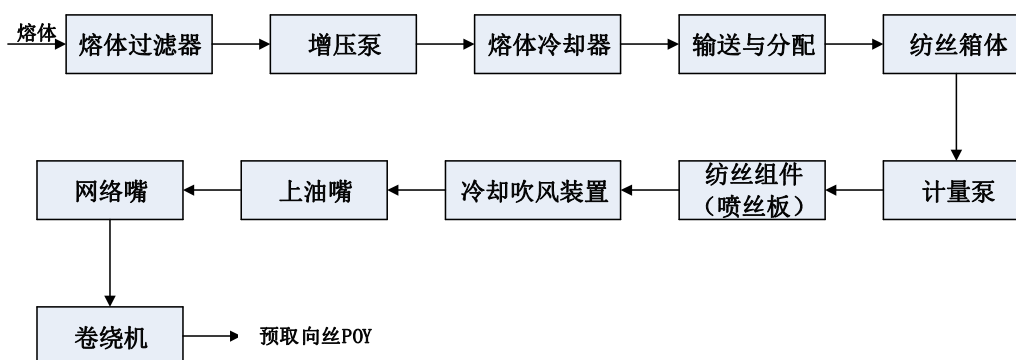


图 2.2 熔体直纺 POY 过程工艺流程图

表 2.2 熔体直纺 POY 过程清单数据表

项目	名称	年消耗量或排放量		单位产品消耗量或排放量		
		单位	实物量	单位	单耗	
输入	原材料	聚酯熔体	t	585107.37	kg/t	1003.20
		纺丝油剂	t	3588.00	kg/t	6.15
		木底架	t	9040.24	kg/t	15.5
		泡沫	t	2315.47	kg/t	3.97
		纸管和纸箱	t	11606.50	kg/t	19.9
	能源	电	万 kWh	14596.19	kWh/t	177
		天然气	万 Nm ³	272.33	Nm ³ /t	4.67
		新鲜水	m ³	102925	kg/t	889.01
输出	产品	POY 长丝	t	583241	kg/t	1000
	废气	粉尘	t	1.08	g/t	1.86

项目	名称	年消耗量或排放量		单位产品消耗量或排放量	
		单位	实物量	单位	单耗
	SO ₂	t	8.78	g/t	15.06
	NO _x	t	6.91	g/t	11.85
	VOC	t	16.35	g/t	28.04
	CO ₂	t	22084.79	g/t	37865.64
	废水量	t	18159.12	g/t	31134.85
废水	COD	t	0.64	g/t	1.09
	氨氮	t	0.01	g/t	0.01

注：木底架、泡沫及纸管纸箱为包装材料。

2.3. 包装

(1) 过程基本信息

- 过程名称：包装
- 过程边界：从涤纶预取向丝（POY）到包装涤纶预取向丝（POY）
出厂

(2) 数据代表性

- 主要数据来源：企业现场调查
- 产地：浙江省嘉兴市
- 基准年：2020
- 工艺设备：自动化
- 主要原料：木垫板、泡沫板、PE膜
- 技术补充描述：将多个涤纶预取向丝（POY）饼装成一箱（720kg/箱），再采用薄膜袋包装进行整体包装。

表 2.3 包装过程清单数据表

系列	木架	泡沫底板	泡沫中隔板	天盖(纸箱)	纸管重	合计
POY	12	0.51	2.56	1	14.4	30.47

注：包装过程原材料根据原材料类型已经纳入熔体直纺工序原材料消耗（见表 2.2）

2.4. 清单数据来源

2.4.1. 现场数据来源

(1) 生产数据

本项目涉及聚合原材料、能源、水资源消耗数据为实测统计数据，废水、废气数据根据公司提供的环境检测报告实测计算获得，原煤和天然气二氧化碳数据根据我国温室气体碳核查方法规定的经验值测算获得。

2.4.2. 背景数据收集

本报告涤纶预取向丝（POY）产品生产各过程使用的原料、助剂、包装材料、能源、资源等消耗的碳足迹数据主要来源于 Gabi 数据库。

3. 碳足迹影响分析

3.1. GWP建模

根据涤纶预取向丝（POY）的特点，本研究将其划分为聚酯原料获取、聚合生产、熔体直纺（含包装）三个阶段，GWP 总模型见图 3.1.1。



图 3.1.1 涤纶预取向丝（POY）GWP 总模型

3.2. GWP结果

运用 Gabi 软件计算得到恒优化纤涤纶预取向丝（POY）产品碳足迹为 2800kg CO₂。

3.3. 过程贡献分析

碳足迹各过程对环境影响的相应贡献可以展示产品不同生产过程对环境影响类型的贡献，以便为减小产品环境影响提供分析依据。

各环境影响类型结果展示见表 3.2.1：

表 3.2.1 涤纶预取向丝（POY）产品碳足迹各过程对环境影响的相应贡献

生产过程	GWP
聚酯原料获取	77.50
聚酯生产	10.75

POY 纺丝	11.79
--------	-------

涤纶预取向丝（POY）产品碳足迹各过程对环境影响的相应贡献

图 3.2。

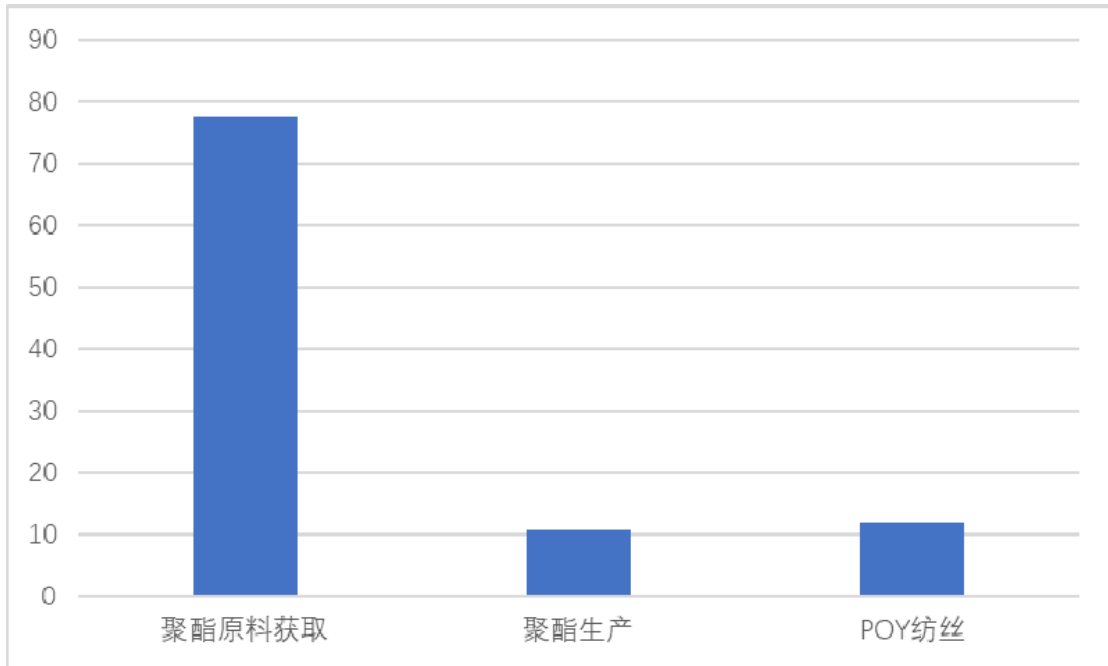


图 3.2.1 涤纶预取向丝（POY）产品碳足迹各过程对环境影响的相应贡献图

各阶段各影响物对环境影响的贡献度具体见下表 3.3.2。

表 3.3.2 各阶段各影响物对环境影响的贡献度

阶段	影响物	GWP
1-聚酯原料获取	乙二醇	11.60%
	PTA	65.90%
2-聚酯生产	电力	1.58%
	天然气	0.32%
	蒸汽	0.82%
	自来水	0.01%
	环境影响	8.01%
3-POY 纺丝	电力	10.10%
	泡沫	0.44%

阶段	影响物	GWP
	天然气	0.19%
	木垫板	0.34%
	纸板纸筒	0.14%
	纺丝油剂	0.56%
	自来水	0.02%
	环境影响	3.57E-05%

各阶段各影响物对环境影响的贡献度直观显示见图 3.3.2。

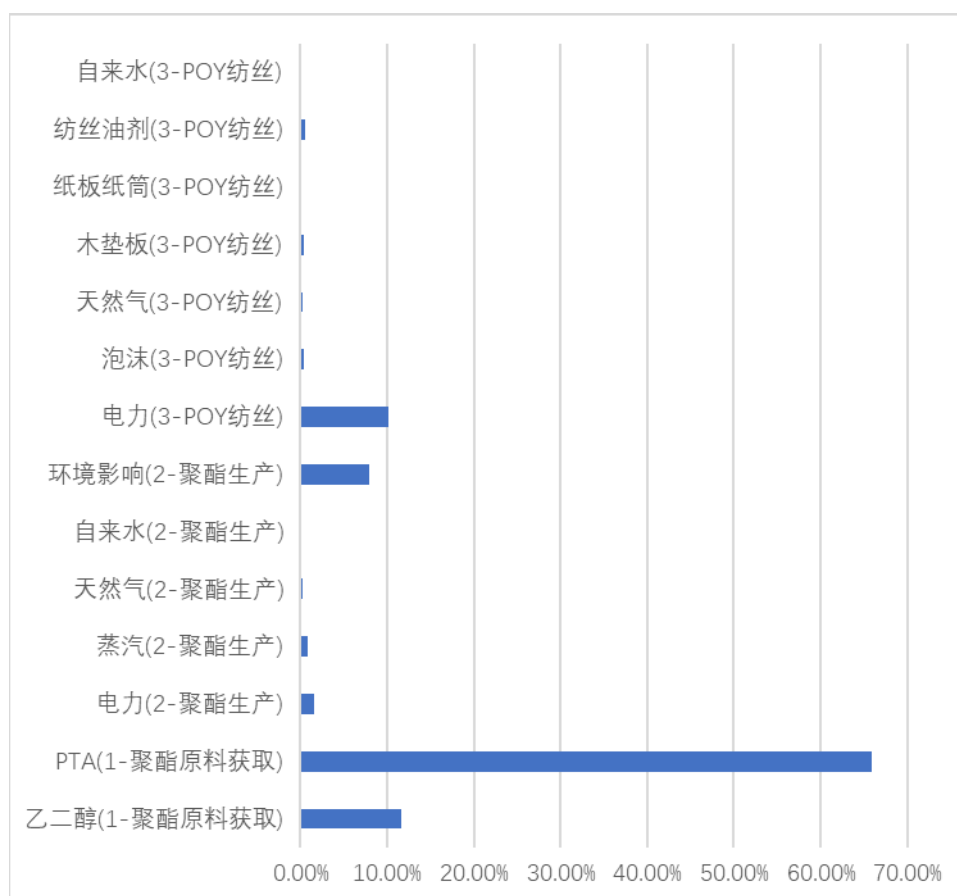


图 3.3.2 各阶段 各影响物对环境影响的贡献度直观显示图

4. 碳足迹解释

4.1. 数据质量评估与改进

表 4.1 数据质量评估表

模型完整性	预取向丝（POY）碳足迹过程包括聚酯原料获取、聚酯聚合、熔体直纺POY，模型较为完整	
数据取舍准则	聚酯聚合和熔体直纺POY过程，由于乙二醇醚和消光剂占聚酯原料比例小于1%，合计小于2%，根据取舍原则可忽略。	
数据准确性： 实际的生产过程调查却使用了估算或文献数据，且其碳足迹贡献大于1%（背景数据不在此项范围内）	物料消耗	物料消耗中，纺丝油剂采用近似替代的方式关联上游背景数据库
	能源消耗	
	环境排放	
物料重量大于5%产品重量，却未调查此物料上游生产过程	无	无
物料重量大于1%产品重量，却被忽略的物料	废丝	属于可利用固废
物料重量大于1%产品重量，且所选上游背景数据代表性不一致的	无	无
采用的背景数据库	主要采用： Gabi数据库，2020年	
采用的GWP软件工具	Gabi 8.0	
评估结论	根据以上分析，预取向丝POY产品的GWP模型和数据满足GWP目的和要求。	

4.2. 绿色设计改进方案

根据3.3.2可知，聚酯原料获取阶段的PTA和EG、POY纺丝阶段电力和聚酯生产阶段天然气、电力消耗是涤纶预取向丝（POY）产品对碳足迹贡献最大的过程，表明原料采购及能源使用是实现涤纶预取向丝（POY）产品绿色改进的重要环节。

结合恒优化纤生产实际，提出以下绿色设计改进方案：

(1) 使用环境影响更低的PTA、EG原材料，要求PTA、乙二醇供应商提供碳足迹盘查报告，对比选择各环境影响结果更低的企业作为供应商。以PTA为例，目前以INVISTA、BP、日本三井、中国昆仑、Lurgi-Eastman工艺商为代表，嘉兴石化作为恒优化纤公司PTA原料工艺供应商（采用NVISTA P8技术）。近些年PTA主流技术工艺发展较快，INVISTA公司成功开发出PTA P8+技术，该技术是在原有DuPont-ICI PTA生产技术基础上进一步改进和优化，具体体现在：单套装置规模为200万吨/年，吨产品投资成本低、能耗物耗低、人工成本低、占地面积小；氧化尾气采用低温催化氧化处理技术，不必添加助燃剂(甲醇)，降低能耗，既节省设备投资，又提高能量回收效率；氧化单元工艺进一步优化，缩减流程，降低能耗；优化氧化反应器顶部能量回收系统设计，对氧化反应器顶部气体进行能量细分，与国内同类装置相比，通过额外增加一台冷凝器，回收原先不回收的低压蒸汽；充分利用氧化反应产生尾气和副产蒸汽，通过氧化空压机的膨胀机和蒸汽透平发电，实现生产电净输出。

(2) 开展酯化塔顶蒸汽余热发电等低碳项目。聚酯装置塔顶蒸汽产生量较大，目前公司采用吸收式溴化锂冷水机组对其进行余热利用，由于制冷时间正常仅需要4个月，其余时间通过空冷器将蒸汽余热冷凝降温而造成损失。为提高企业能源综合利用效率和提高企业经济效益，公司拟实施工艺配套酯化蒸汽余热发电项目，购置ORC螺杆

膨胀发电机组，利用酯化蒸汽热源与冷却介质的温差，将热能转化为电能或机械能，年可回收电力576万kWh。

(3) 开展燃气锅炉低氮燃烧改造工作。公司现有燃气有机热载体锅炉，为满足环保对热媒炉有超低氮排放的要求，公司拟进行燃烧器升级改造，采用低氮燃烧器替代原有燃烧器，改造后热效率不低于原系统，设计热效率 $\geq 90\%$ ，方案实施后可实现NO_x低于30mg/Nm³排放要求，氮氧化物减排可达60%以上。

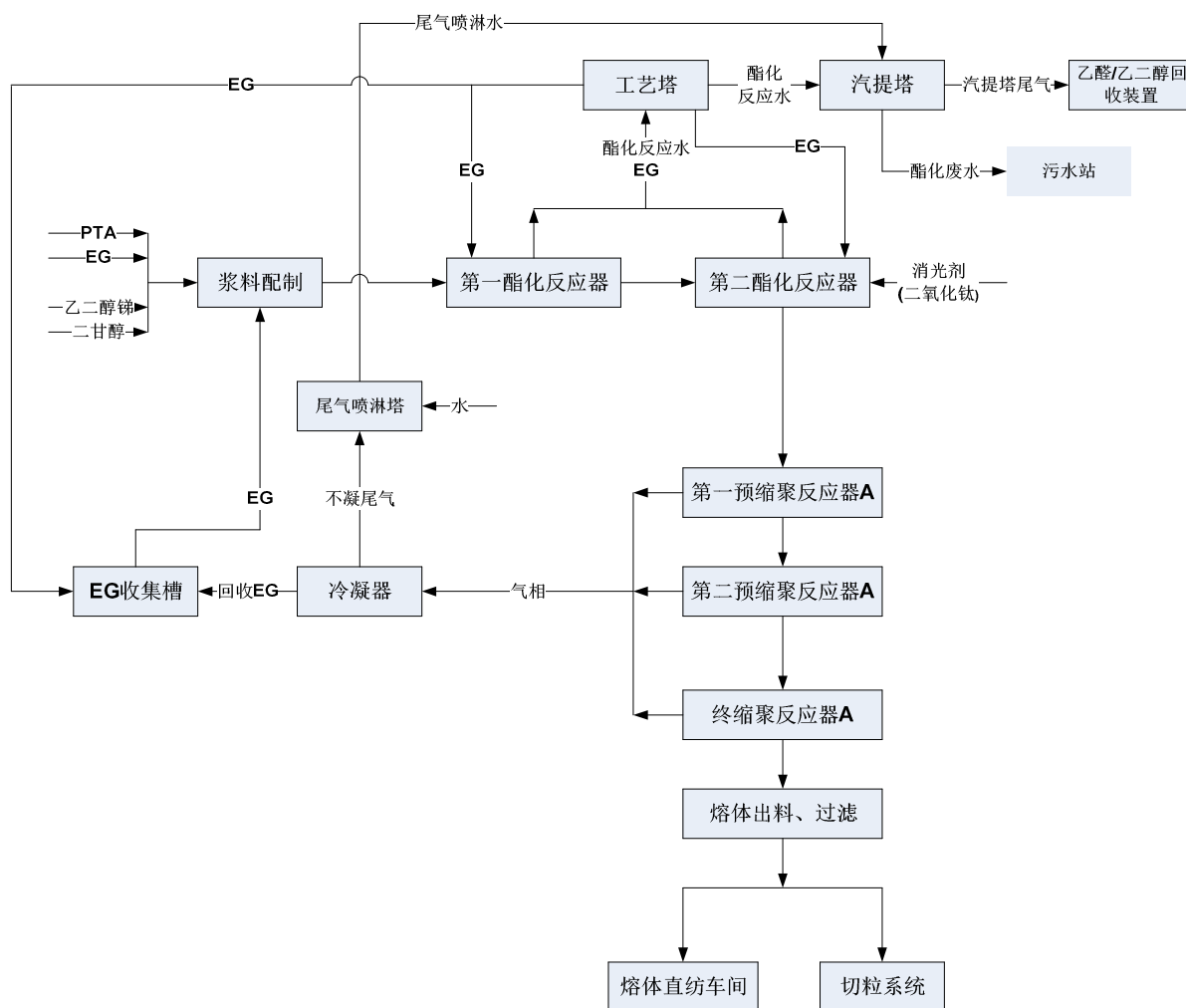
4.3. 结论与建议

本报告以 1t 涤纶预取向丝（POY）产品的碳足迹过程为研究对象，调研了聚酯原材料获取、聚酯生产、POY 纺丝等三个过程，收集了各过程的清单数据，在 Gabi 软件上建立了涤纶预取向丝（POY）产品的碳足迹模型，计算了GWP碳足迹结果。通过过程贡献分析，发现原料采购是涤纶预取向丝（POY）产品碳足迹过程中对碳足迹贡献最大的过程，且PTA 和EG 原料使用、POY 纺丝阶段电力和聚酯生产阶段天然气、电力消耗对碳足迹累计贡献最大。

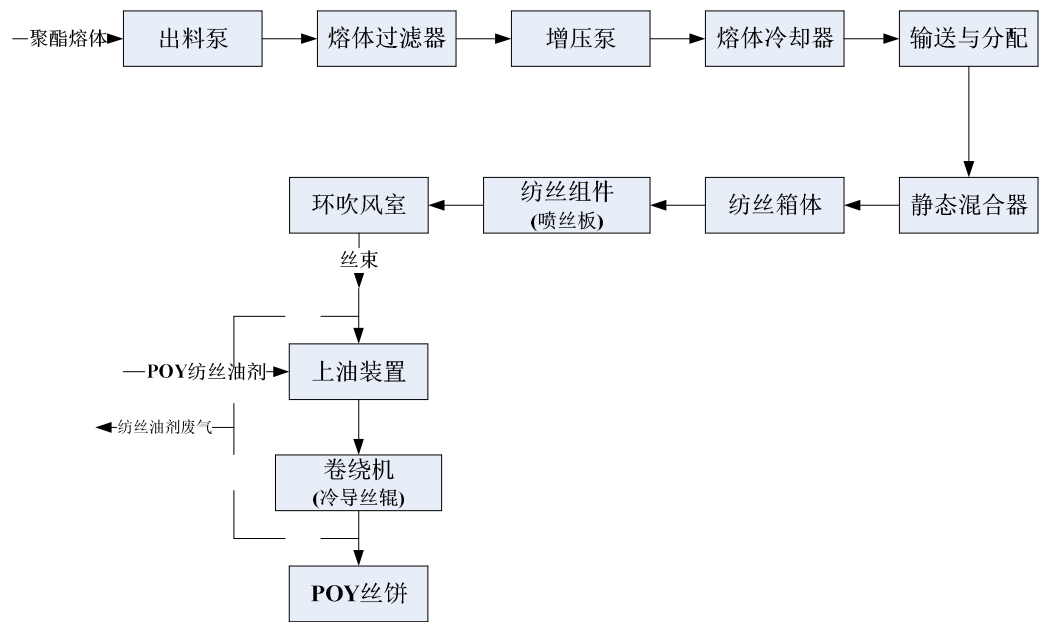
附件 1：产品原始包装图



附件 2：产品生产工艺流程



附图 3.1 聚酯工艺流程



附图 3.2 POY 纺丝工艺流程