

山东朗晖石油化学股份有限公司  
环保增塑剂产品碳足迹报告  
(2024 年度)

山东道一数字经济研究院有限公司

2025 年 3 月 20 日



目 录

摘 要 ..... 1

1.产品碳足迹介绍（PCF）介绍 .....2

2. 目标与范围定义 .....2

2.1 企业及其产品介绍 .....2

2.2 研究目的 .....3

2.3 研究范围 .....3

2.4 功能单位 .....3

2.5 生命周期流程图的绘制 .....3

2.6 分配原则 .....4

2.7 取舍准则 .....4

2.8 取舍准则 .....4

2.9 软件和数据库 .....5

2.10 数据质量要求 .....5

3. 过程描述 .....5

3.1 环保增塑剂生产过程 .....5

4. 数据的收集和主要排放因子说明 .....9

5. 碳足迹计算 .....10

5.1 碳足迹识别 .....10

5.2 数据计算 .....10

6. 结语 .....12

## 摘 要

产品碳足迹评价的目的是以生命周期评价方法为基础，采用 ISO/TS 14067-2013《温室气体产品碳足迹关于量化和通报的要求与指南》、《PAS 2050:2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》、《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》的要求中规定的碳足迹核算方法，计算得到山东朗晖石油化学股份有限公司环保增塑剂的碳足迹。

为了满足碳足迹的需要，本报告的功能单位定义为生产 1t 环保增塑剂。系统边界为“从摇篮到客户”类型，现场调研了从获取、原材料运输、产品生产、产品包装、产品运输到客户端的生命过程，其中也调查了其他物料、能源获取的排放因子数据来源于中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

评价过程中，数据质量被认为是最重要的考虑因素之一。本次数据收集和选择的指导原则是：数据尽可能具有代表性，主要体现在生产商、技术、地域、时间等方面。生命周期主要活动数据来源于企业现场调研的初级数据，大部分国内生产的原材料的排放因子数据来源于 IPCC 数据库，以及中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库，本次评价选用的数据在国内外 LCA 研究中被高度认可和广泛应用。此外，通过 GreenIn2.0 软件实现了产品的生命周期建模、计算和结果分析，以保证数据和计算结果的可溯性和可再现性。

从本次评价结果看，2024 年度朗晖石化环保增塑剂产品碳足迹：1t 环保增塑剂的碳足迹  $e=0.3385tCO_2e/t$ ，从环保增塑剂生命周期累计碳足迹贡献比例的情况，可以看出环保增塑剂的碳排放环节主要集中在生产过程上，其次是原材料获取过程，运输活动占一部分。

## 1. 产品碳足迹介绍（PCF）介绍

近年来，温室效应、气候变化已成为全球关注的焦点，“碳足迹”这个新的术语越来越广泛地为全世界所使用。碳足迹通常分为项目层面、组织层面、产品层面这三个层面。产品碳足迹（Product Carbon Footprint, PCF）是指衡量某个产品在其生命周期各阶段的温室气体排放量总和，即从原材料开采、产品生产（或服务提供）、分销、使用到最终处置/再生利用等多个阶段的各种温室气体排放的累加。温室气体包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物（HFC）和全氟化碳（PFC）等。碳足迹的计算结果为产品生命周期各种温室气体排放量的加权之和，用二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>e）表示，单位为 kgCO<sub>2</sub>e 或者 gCO<sub>2</sub>e。全球变暖潜值（Global Warming Potential, 简称 GWP），即各种温室气体的二氧化碳当量值，通常采用联合国政府间气候变化专家委员会（IPCC）提供的值，目前这套因子被全球范围广泛适用。

产品碳足迹计算只包含一个完整生命周期评估（LCA）的温室气体的部分。基于 LCA 的评价方法，国际上已建立起多种碳足迹评估指南和要求，用于产品碳足迹认证，目前广泛使用的碳足迹评估标准有三种：①《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，此标准是由英国标准协会（BSI）与碳信托公司（Carbon Trust）、英国食品和乡村事务部（Defra）联合发布，是国际上最早的、具有具体计算方法的标准，也是目前使用较多的产品碳足迹评价标准；②《温室气体核算体系：产品寿命周期核算与报告标准》，此标准是由世界资源研究所（World Resources Institute, 简称 WRI）和世界可持续发展工商理事会（World Business Council for Sustainable Development, 简称 WBCSD）发布的产品和供应链标准；③《ISO/TS 14067：2013 温室气体——产品碳足迹——量化和信息交流的要求与指南》，此标准以 PAS 2050 为种子文件，由国际标准化组织（ISO）编制发布。产品碳足迹核算标准的出现目的是建立一个一致的、国际间认可的评估产品碳足迹的方法。

## 2. 目标与范围定义

### 2.1 企业及其产品介绍

山东朗晖石油化学股份有限公司成立于 2011 年，位于山东省淄博市临淄区

金山镇经济开发区内，法人代表王相武，注册资本 15000 万元，为股份有限公司，隶属于蓝帆集团。公司现有员工三百余人，大专及以上学历人员占比 90%以上。

企业是山东省最大的塑料增塑剂生产企业，自成立以来，长期专注于塑料增塑剂领域研究，目前为止，已从事该领域研发生产工作近 10 年，自主研发新产品、新技术 30 余项，销售范围覆盖东北、华北、西北、华东、华南、西南等地区，客户满意率 99%以上。

## 2.2 研究目的

本次评价的目的是得到朗晖石化生产的环保增塑剂产品全生命周期过程的碳足迹。

碳足迹核算是朗晖石化实现低碳、绿色发展的基础和关键，披露产品的碳足迹是朗晖石化环境保护工作和社会责任的一部分，也是朗晖石化迈向国际市场的重要一步。本项目的研究结果将为朗晖石化与环保增塑剂产品的采购商和第三方的有效沟通提供良好的途径，对促进产品全供应链的温室气体减排具有一定积极作用。

本项目评价结果的潜在沟通对象包括两个群体：一是朗晖石化内部管理人员及其他相关人员，二是企业外部利益相关方，如上游原材料供应商、下游采购商、地方政府和环境非政府组织等。

## 2.3 研究范围

根据本项目评价目的，按照 ISO/TS 14067-2013、《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，本次碳足迹评价的边界为朗晖石化 2024 年全年生产活动及非生产活动数据。由于环保增塑剂运输采用纸箱包装方式，涉及包装，因此，确定本次评价边界为：产品的碳足迹=原料生产+原料生产运输+产品过程生产+产品运输。

## 2.4 功能单位

为方便系统中输入/输出的量化，功能单位被定义为生产 1t 环保增塑剂。

## 2.5 生命周期流程图的绘制

根据《PAS2050：2011 商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》绘制 1t 环保增塑剂产品的生命周期流程图，其碳足迹评价模式为从商业到商业（B2B）评价：包括从原料生产、原材料运输、产品制造、包装和运输到分销商。

在本报告中，产品的系统边界属于“从摇篮到客户”的类型，为了实现上述功能单位，环保增塑剂产品的系统边界见下表：

**表 2.1 包含和未包含在系统边界内的生产过程**

| 包含的过程                                                                                                                         | 未包含的过程                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 环保增塑剂生产的生命周期过程包括：原材料生产→原材料运输→产品生产→产品销售</p> <p>2 电力生产、天然气的生产</p> <p>3 废水处理达标排入自然水体的过程</p> <p>4 其他辅料的生产</p> <p>5 产品的运输</p> | <p>1 资本设备的生产及维修</p> <p>2 产品的运输、销售和使用</p> <p>3 产品回收、处置和废弃阶段</p> <p>4 其他辅料的运输</p> |

## 2.6 分配原则

由于在本次评价系统边界下，生产环保增塑剂过程产生少不合格产品，由于未单独统计，因此将生产原材料与能源消耗全部计入环保增塑剂生产过程。

## 2.7 取舍准则

此次评价采用的取舍规则以各项原材料投入占产品重量或过程总投入的重量比为依据。具体规则如下：

普通物料重量<1%产品重量时，以及含稀贵或高纯成分的物料重量<0.1%产品重量时，可忽略该物料的上游生产数据；总共忽略的物料重量不超过 5%；

生产设备、厂房、生活设施等可以忽略；

在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略。

本报告所有原辅料和能源等消耗都关联了上游数据，部分消耗的上游数据采用近似替代的方式处理。

## 2.8 取舍准则

基于评价目标的定义，本次评价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。

评价过程中统计了各种温室气体，包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>），甲烷（CH<sub>4</sub>），氧化亚氮（N<sub>2</sub>O），四氟化碳（CF<sub>4</sub>），六氟乙烷（C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>），六氟化硫（SF<sub>6</sub>）和氢氟碳化物（HFC）等。并且采用了 IPCC 第四次评估报告(2007 年)提出的方法来计算产品生产周期的 GWP 值。该方法基于 100 年时间范围内其他温室气体与二

氧化碳相比得到的相对辐射影响值，即特征化因子，此因子用来将其他温室气体的排放量转化为 CO<sub>2</sub> 当量（CO<sub>2</sub>e）。例如，1kg 甲烷在 100 年内对全球变暖的影响相当于 25kg 二氧化碳排放对全球变暖的影响，因此以二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>e）为基础，甲烷的特征化因子就是 25kg CO<sub>2</sub>e。

## 2.9 软件 and 数据库

### 2.10 数据质量要求

为满足数据质量要求，在本评价中主要考虑了以下几个方面：

数据准确性：实景数据的可靠程度

数据代表性：生产商、技术、地域以及时间上的代表性

模型一致性：采用的方法和系统边界一致性的程度

为了满足上述要求，并确保计算结果的可靠性，在评价过程中优先选择来自生产商和供应商直接提供的初级数据，其中经验数据取平均值，本评价在 2025 年 1 月进行数据的调查、收集和整理工作。当初级数据不可得时，尽量选择代表区域平均和特定技术条件下的次级数据，次级数据大部分选择来自 IPCC 数据库；当目前数据库中没有完全一致的次级数据时，采用近似替代的方式选择 IPCC 数据库中数据。

采用 eFootprint 软件的来建立产品生命周期模型，计算碳足迹和分析计算结果，评价过程中的数据库采用中国生命基础数据库（CLCD）和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

数据库的数据是经严格审查，并广泛应用于国内国际上的 LCA 研究。各个数据集和数据质量将在第 4 章对每个过程介绍时详细说明。

## 3. 过程描述

### 3.1 环保增塑剂生产过程

（1）过程基本信息

过程名称：环保增塑剂生产

过程边界：从原料运输到环保增塑剂的生产

（2）数据代表性

主要数据来源：企业 2024 年实际生产数据

企业名称：山东朗晖石油化学股份有限公司

产地：中国山东省淄博市

基准年：2024 年

主要原料：辛醇、对苯二甲酸等

主要能耗：电力、热力、天然气

生产主要工艺介绍如下：

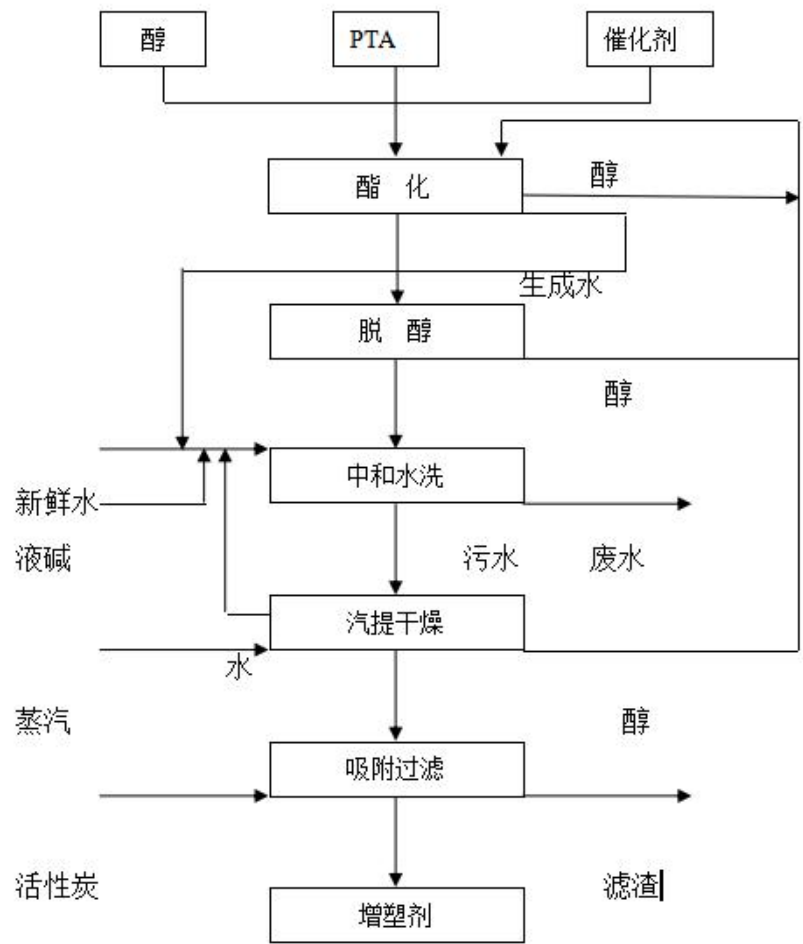


图 3.1 环保增塑剂生产流程图

工艺简述：

1) 酯化工序

来自原料罐区的辛醇经批量控制器 HV-6301A、新鲜醇电磁阀 HV-6311B~HV-6320B, HV6361/62 分别将 6.00 吨辛醇进入反应釜 R6311~R6320, 7.70 吨辛醇进入反应釜 R6361/62, 流量由 FIRQ-6301A 计量；循环醇按一定比例由 P6301A/B 泵送出，经批量控制器 HV-6301B、循环醇电磁阀 HV-6311G~HV-6320G, HV6361/62G 分别将 7.85m3 循环醇进入反应釜 R6311~R6320, 9.15m3 循环醇进入反应釜 R6361/62, 流量由 FIRQ-6301B 计量；然后开启反应釜的搅拌电机；PTA 由电动

葫芦 H6301A/B/C/D 提升到投料间中，经人工按一定比例经过 PTA 进料气动闸板阀 HV6311E~HV6320E, HV6361/62E 进入反应釜中，反应釜 R6311~R6320 每釜投 6 包 PTA（1.2 吨/包），反应釜 R6361/62 每釜投 7 包 PTA（1.2 吨/包）；桶装改性催化剂在装置一层储存到催化剂罐 B6304 中，经输送泵加入反应釜 R6311~R6320/R6361-62 中，每釜加入改性催化剂 14.5 公斤。反应釜中过量醇按照 28% 计量。十二台反应器结构完全相同，反应器是由釜内盘管加热的，反应器的热源由 3.8-4MPa 高压蒸汽提供，反应器温度分别由调节器 TIC6311A~TIC-6320A, TIC-6361/62A 控制。釜温升至 150℃ 左右开始二次补醇，辛醇由 FIQ6301C 控制分别进入反应釜 R6311~R6320, R6361/62，流量由 FIQ6311B-FIQ6320B, FIQ6361B/62B 控制。

最终反应的混合物双酯含量为 72% 左右，从 R6311~R6320, R6361/62 放料电磁阀放至缓冲罐 B6305A/B/C 中，经过粗酯泵 P6305A/B 送入脱醇工序。

酯化反应釜 R6311~R6320, R6361/62 中生成的水与蒸发的醇，离开反应器后进入酯化塔 (K6311~K6320, K6361/62)，在 K6311~K6320, K6361/62 中反应器蒸发的醇和水蒸气与塔顶回流的循环醇逆向接触，K6311~K6320, K6361/62 塔底可得到较高纯度的醇并回到 R6311~R6320, R6361/62；另一方面水、低沸物和部分醇从 K6311~K6320, K6361/62 顶蒸出，经冷凝器 (W6311A~W6320A, W6361/62A) 冷凝冷却后进入醇水分离罐 B6311~B6320, B6361/62，冷凝器 (W6311A~W6320A, W6361/62A) 出来的尾气进入酯化尾气冷凝器，冷凝器 (W6311B~W6320B, W6361/62B) 冷凝冷却后也进入醇水分离罐 B6311~B6320, B6361/62，在 B6311~B6320, B6361/62 中醇与反应生成水进行分离，界面由 LI6311~LI6320, LI6361/62 指示，醇从上部溢流到酯化塔 K6311~K6320, K6361/62 进行自回流，流量由 FI-6311C~FI-6320C, FI-6361/62C 指示记录。B6311~B6320, B6361/62 分离出来的水在反应釜每个反应周期结束后经醇水分离罐排水电磁阀 HV6311C~HV6320C, HV6361/62C 批量送到中和水洗工序的水收集罐 B6325 中。不凝气由酯化尾气冷凝器冷凝 (W6311B~W6320B, W6361/62B) 出来后集中收集，送到异味治理系统处理。

## 2) 脱醇工序

由酯化工序来的反应混合物(粗酯)，经 P6305A/B 泵打入降膜蒸发器 (K6306)，在负压下依靠自身所含的热量闪蒸，蒸发掉部分过量醇。K6306 下部设有列管式

换热器，上部堆有鲍尔环填料，塔顶压力为 0-9KPa，其真空由液环泵 VP6307A/B 维持。蒸发的醇从塔顶排出，经冷凝器 W6306AB 冷凝下来，冷凝下来的醇流入密封罐 B6308，再溢流到循环醇收集罐 B6301，作为循环醇继续使用。W6306B 的未凝气经 VP6307 排出集中收集，送到异味治理系统处理。

脱醇后的粗酯(醇含量 1.0%左右)，从 K6306 塔底流到酯密封罐 B6309 中，由粗酯泵 P6309A/B 送出经 W6321 及其旁通冷却后送到中和水洗工序。

### 3) 中和水洗工序

脱醇后的粗酯由粗酯泵 P6309 送出，经 W6321A/B 冷却后进入搅拌器 R6321，开车初期 B6325 收集了酯化工序的反应生成水、汽提工序的冷凝水、冷却的装置的凝液，由水泵 P6325 经 W6325 加热后输送到搅拌器 R6321 中，正常运行后由 B6322 放入 B6326 内的水经泵 P6326 打入 R6321 中，流量由 FIC-6305 控制；碱罐 B6364 中的碱由隔膜泵 P6364A 送出与进入 R6321 的水在管道中汇合，稀释到 0.3~0.5%进入 R6321。

在 R6321 中酯和稀碱液搅拌混合，溢流到沉降分离罐 B6321，此过程中粗酯中的单酯酸与碱中和反应生成可溶于水的单酯酸盐进入水相，催化剂发生水解反应生成沉淀物——二氧化钛水合物和相应的醇，在 B6321 中酯水相分离，酯相从上部溢流到搅拌器 R6322 中，水从底部流到污水池（或污水处理系统）进行处理。

在 R6322 中从 B6321 溢流下来的粗酯与来自 P6325 的水（经 W6325 加热）搅拌混合后，溢流到沉降分离罐 B6322 中，在 B6322 中酯水进行相分离，酯相从上部溢流到搅拌器 R6323 中，水相从 B6322 底部排入返回水罐 B6326 及污水预处理 B6385A 中。

物料从 R6323 中溢流到沉降分离罐 B6323 中，在 B6323 中酯水进一步沉降分离，酯相从上部溢流到粗酯中间罐 B6324 中，水相从 B6323 底部定时排放到返回水罐 B6326 中。

上述描述为一级中和，一级水洗，一级沉降；也可以根据不同产品采用两级中和，一级水洗。或者一级中和，两级水洗。

污水处理系统：从 B6321 来的污水进入污水沉降罐 B6384A/B 中，从 B6322 来的污水进入污水沉降罐 B6385A/B/C 中，隔离出沉渣和浮油，浮油从沉降罐上部溢流到污水池，经隔离后返回装置回收利用。沉渣定期从 B6384A/B、B6385A/B/C 底部收集到沉渣罐 B6381 中。B6384 中部的比较澄清的废碱水从

B6384B 经 P6384A/B 泵返回到 R6321 重新利用，流量由 FIC-6308 控制。可以降低污水排放量；降低 NaOH 的消耗量。

#### 4) 汽提工序

中和、水洗后的粗酯从 B6323 溢流到 B6324，由粗酯泵 P6324 送出，经换热器 W6323A/B 与干燥塔 K6331 精制后的热酯换热预热后，再经加热器 W6329 加热至 140℃，进汽提塔 K6330，在 K6330 中与由 FIC-6332 来的直接蒸汽逆流接触，在 ≤10Kpa 压力下汽提闪蒸（使低沸物、醇和大部分水随蒸汽流蒸发掉）后，再经干燥塔 K6331 (≤1.5Kpa) 进一步真空闪蒸，使酯进一步精制后（水和醇、低沸物含量进一步降低），从 K6331 塔底流到密封罐 B6331，然后由粗酯泵 P6331 打出，经 W6323A/B 与 P6324 打出的粗酯换热冷却后，进入过滤工序搅拌器 R6350 中。

含水 96% 的 K6330 塔顶气体依次进入塔顶冷凝器 W6333A 和 W6333B，水和大部分低沸物冷凝下来，凝液流到沉降分离罐 B6333 中，醇和低沸物从上部溢流到醇收集罐 B6301，水从底部流到水收集罐 B6325 中，W6333B 中的未凝气经 VP6333 排出集中收集，送到异味治理系统处理。

#### 5) 吸附过滤工序

从汽提工序来的粗酯进入搅拌槽 R6350，袋装活性炭、硅藻土由提升机提到框架上，加入进料斗 F6348 和料仓 B6349 中，碳土投加比例 1:2，碳 25kg 一袋投入 3 袋，硅藻土 20 公斤一袋投入 6 袋；再由螺旋输送机 H6349 定时加到搅拌器 R6350 中，与粗酯混合，然后用泵 P6350A/B/C/D 送入过滤器 (F6350A、B、C、D) 中，进行粗过滤，滤出的活性炭作为废渣处理，清液经精过滤器 F6351 进一步过滤，除去其中的微量固体杂质，精过滤后的精酯，透明、纯净，经纯酯冷却器 W6355A/B 冷却到 40~60℃，作为产品送到日产罐区。

## 4. 数据的收集和主要排放因子说明

为了计算产品的碳足迹，必须考虑活动水平数据、排放因子数据和全球增温潜势（GWP）。活动水平数据是指产品在生命周期中的所有的量化数据（包括物质的输入、输出；能量使用；交通等方面）。排放因子数据是指单位活动水平数据排放的温室气体数量。利用排放因子数据，可以将活动水平数据转化为温室气体排放量。如：电力的排放因子可表示为：CO<sub>2e</sub>/kWh，全球增温潜势是将单

位质量的某种温室效应气体（GHG）在给定时间段内辐射强度的影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数，如 CH<sub>4</sub>（甲烷）的 GWP 值是 25。活动水平数据来自现场实测；排放因子采用 IPCC 规定的缺失值。活动水平数据主要包括：外购电力消耗量、天然气消耗量等。排放因子数据主要包括外购电力排放因子、外购天然气排放因子、环保增塑剂生产过程排放因子和交通运输排放因子。

## 5. 碳足迹计算

### 5.1 碳足迹识别

结合环保增塑剂生产的碳足迹分析，本次评价不涉及消费终端的排放量，以及对于原材料获得所需碳排放的计算，没有计算原材料加工的碳足迹，仅计算从原材料供应商到公司仓库的碳足迹。

表 5.1 碳足迹过程识别表

| 序号 | 主体        | 活动内容  | 备注 |
|----|-----------|-------|----|
| 1  | 原材料获取     | 运输排放  | /  |
| 2  | 环保增塑剂生产过程 | 原料、能源 | /  |
| 3  | 原料运输      | 运输排放  | /  |
| 4  | 产品运输      | 运输排放  | /  |

### 5.2 数据计算

#### （1）原材料获取

公司原材料供应商到公司的距离具体见下表，运输方式以公路运输为主。

表 5.2 原材料采购运输信息表

| 原辅材料名称 | 供应商位置<br>(公里) | 货运运行里程数<br>(万公里) | 运输类型 |
|--------|---------------|------------------|------|
| 辛醇     | 500           | 112.8            | 汽车   |
| 精对苯二甲酸 | 800           | 253.9            | 汽车   |
| 合计     | /             | 366.7            | /    |

根据《IPCC2006 国家温室气体清单指南》和《省级温室气体清单编制指南（试行）》，公路运输能耗计算公式如下：

公路（道路）交通能耗=百公里油耗\*运行里程数\*保有量（5.1）

根据《中国交通运输能源消耗水平测算与分析》，中型货车平均百公里油耗为 27.6（升/百公里）。

各类原辅材料货车运行里程数见上表 5.2。

根据上述公式计算得到原辅材料运输能耗结果如下：

表 5.3 原材料采购运输柴油耗量表

| 总里程数（百公里） | 柴油消耗量(升) | 柴油消耗量(吨) |
|-----------|----------|----------|
| 36670     | 1012092  | 860.28   |

其中柴油排放因子为 3.145tCO<sub>2</sub>/t。通过核算，原辅材料获取过程中二氧化碳排放量为 2705.57t，每吨产品原材料采购运输环节二氧化碳排放量为 0.0046tCO<sub>2</sub>。

（2）环保增塑剂生产

朗晖石化在生产过程中，二氧化碳排放包含生产过程中消耗电力排放、消耗蒸汽排放和废水排放。

表 5.4 生产过程中碳排放量

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 化石燃料燃烧排放量（tCO <sub>2</sub> e）  | 338.90    |
| 净购入电力对应的排放（tCO <sub>2</sub> e） | 74335.80  |
| 净购入热力对应的排放（tCO <sub>2</sub> e） | 114418.58 |
| 废水处理的排放（tCO <sub>2</sub> e）    | 2239.55   |
| 总排放量（tCO <sub>2</sub> e）       | 191332.83 |

通过核算，企业 2024 年环保增塑剂生产过程中产生二氧化碳排放为 191332.83 吨，每吨产品生产过程二氧化碳排放量为 0.3287tCO<sub>2</sub>。

（3）环保增塑剂运输

朗晖石化在产品运输过程中，二氧化碳排放主要为货车公路运输产生的排放。2024 年企业全年环保增塑剂产量为 582121.03t，按工厂辐射 800 公里发运半径，中型货车百公里油耗为 27.6（升/百公里）。根据上述公式（4.1）计算得到产品运输柴油消耗量为 112.8 万升，折算为 958.8 吨。柴油排放因子为 3.145tCO<sub>2</sub>/t。通过核算，产品运输过程中产生二氧化碳排放总量为 3015.43 吨，每吨产品生产过程二氧化碳排放量为 0.0052tCO<sub>2</sub>。

表 5.5 吨环保增塑剂碳足迹

| 序号 | 清单         | 二氧化碳排放量（tCO <sub>2</sub> /t） |
|----|------------|------------------------------|
| 1  | 原材料运输      | 0.0046                       |
| 2  | 环保增塑剂生产    | 0.3287                       |
| 3  | 环保增塑剂运输    | 0.0052                       |
| 4  | 环保增塑剂全生命周期 | 0.3385                       |

根据公式（4）可以计算出 1t 环保增塑剂的碳足迹  $e=0.3385\text{tCO}_2\text{e/t}$ ，从环保增塑剂生命周期累计碳足迹贡献比例的情况，可以看出环保增塑剂的碳排放环节主要集中在生产上，其次是原材料获取过程，运输活动占一部分。

所以为了减小环保增塑剂的碳足迹，应重点考虑减少环保增塑剂生产过程的碳足迹，主要为降低生产过程的碳排放，在企业可行的条件下，降低物料消耗，也是一个重要途径。

为减小产品碳足迹，建议如下：

（1）通过设备改变运输方式、提高单次运输效率，有效减少运输过程中燃料的消耗。

（2）加强节能工作，从技术及管理层面提升能源效率，减少天然气投入，厂内可考虑实施节能改造，重点提高能源的利用率，从而减少天然气的使用量；

（3）在分析指标的符合性评价结果以及碳足迹分析、计算结果的基础上，结合环境友好的设计方案采用落实生产者责任延伸制度、绿色供应链管理等工作，提出产品生态设计改进的具体方案。

（4）续推进绿色低碳发展意识，坚定树立企业可持续发展原则，加强生命周期理念的宣传和实践。运用科学方法，加强产品碳足迹全过程中数据的积累和记录，定期对产品全生命周期的环境影响进行自查，以便企业内部开展相关对比分析，发现问题。在生态设计管理、组织、人员等方面进一步完善。

（5）不确定性的主要来源为初级数据存在测量误差和计算误差。减少不确定性的方法主要有：使用准确率较高的初级数据；对每一道工序都进行能源消耗的跟踪监测，提高初级数据的准确性。

## 6. 结语

山东朗晖石油化学股份有限公司每生产 1t 环保增塑剂产品产生  $0.3385\text{tCO}_2\text{e}$ ，其中环保增塑剂生产过程在整个生命周期过程中占比最大，达到 97.1%，企业可以通过工艺技术改造，减少能源，原材料的消耗，以达到产品的碳减排。