



BUREAU  
VERITAS

贝发集团股份有限公司  
荧光笔（HY100200-环保料）  
产品碳足迹评价报告

必维消费品服务事业部

2024 年 07 月 31 日

# 1. 目标与范围定义

## 1.1 研究目的

本研究受贝发集团股份有限公司委托，采用生命周期评价（LCA）方法对其生产的一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品进行碳足迹评价。生命周期评价方法 (Life Cycle Assessment, LCA) 是系统化、定量化评价产品生命周期过程中资源环境效率的标准方法<sup>[1][2][3]</sup>，它通过对产品上下游生产与消费过程的追溯，帮助生产者识别环境问题所产生的阶段，并进一步规避其在产品不同生命周期阶段和不同环境影响类型之间进行转移<sup>[3]</sup>。国内外很多行业都开展了产品 LCA 评价，用于行业内企业的对标和改进、行业外部的交流，并为行业政策制定提供参考依据。

本研究按照 ISO14040:2006<sup>[1]</sup>、ISO14044:2006<sup>[2]</sup>、PAS2050<sup>[4]</sup>、ISO14067:2018<sup>[5]</sup>的要求，以贝发集团股份有限公司生产的一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品作为研究对象，根据 2023 年 01 月 01 日至 2023 年 12 月 31 日的生产数据，建立一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品从原材料获取到产品出厂（从摇篮到大门）的生命周期模型，完成清单数据分析和碳足迹指标计算。

## 1.2 范围定义

根据本项目研究目的，按照 ISO 14067:2018 标准的要求，确定本研究的研究范围，包括功能单位、系统边界、分配原则、取舍原则、影响评价方法和数据质量要求等。

### 1.2.1 产品信息

本研究中，一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品具体信息如表 1 所示。

表 1 一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品介绍

类别	具体信息
产品名称	荧光笔
产品型号	HY100200-环保料

规格	一套（12 支）
产品外观 （图片）	

### 1.2.2 功能单位

本报告以生产一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品为功能单位。

### 1.2.3 系统边界

本研究的系统边界如图 1 所示。

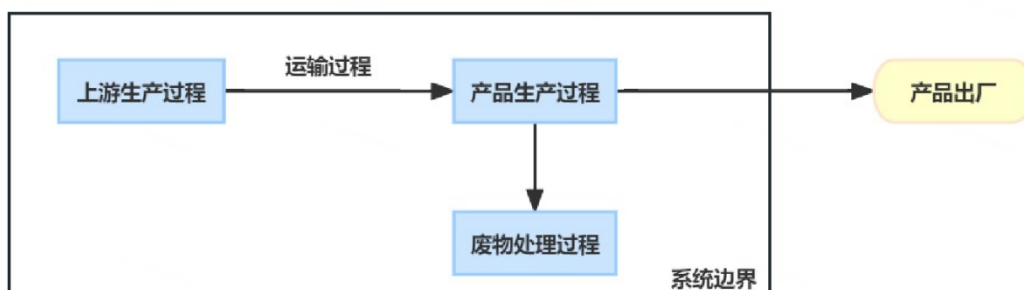


图 1 一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品生命周期系统边界图

在这项研究中，产品的系统边界属于“从摇篮到大门”的类型，为了实现上述功能单位，一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品生命周期系统边界如表 2 所示。

表 2 包含和未包含在产品碳足迹系统边界内的生产过程

包含的过程	未包含的过程
✓ 上游原材料的生产过程	✗ 资本设备的生产及维修
✓ 其他物料的生产、包装材料的生产	✗ 产品的废弃阶段
✓ 本产品的生产过程及废物处理过程	✗ 产品的分销、销售和使用阶段
✓ 生产过程能源消耗排放	✗ 贡献率低且无法获取的流程或消耗
✓ 中国的电力、液化石油气的获取	✗ 生活及办公场所设施的使用及废物处置
✓ 原料获取的运输	
✓ 产品的运输阶段	

#### 1.2.4 取舍原则

本研究采用的取舍规则以各项原材料投入占产品重量的比例为依据。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%；
- 低价值废物作为原料，如粉煤灰、矿渣、秸秆、生活垃圾等，可忽略其上游生产数据；
- 大多数情况下，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。

#### 1.2.5 环境影响类型

本研究中，一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品涉及到的环境影响类型指标如表 3 所示。

表 3 环境影响类型指标

序号	环境影响类型指标 <sup>1</sup>	影响类型指标单位
1	气候变化（GWP2021）	kg CO <sub>2</sub> eq <sup>2</sup>
1.1	气候变化-化石源（GWP-Fossil）	kg CO <sub>2</sub> eq
1.2	气候变化-生物源（GWP-Biogenic）	kg CO <sub>2</sub> eq
1.3	气候变化-土地利用变化（GWP-LU）	kg CO <sub>2</sub> eq

注 1：按照 ISO 14067: 2018 标准的要求，来自于化石碳源、生物碳源及土地利用的 GHG 排放量应分别纳入清单，并记录在报告中。

注 2：eq 是 equivalent 的缩写，意为当量。例如气候变化指标是以 CO<sub>2</sub> 为基准物质，其他各种温室气体按温室效应的强弱都有各自的 CO<sub>2</sub> 当量因子，因此产品生命周期的各种温室气体排放量可以各自乘以温室气体变暖潜值（GWP），累加得到气候变化指标总量（通常也称为产品碳足迹，Product Carbon Footprint, PCF），其单位为 kg CO<sub>2</sub> eq。各温室气体的 GWP 值来源于 IPCC AR6。

### 1.2.6 数据质量评估

研究数据质量从五个方面进行评估，即可靠性、完整性、时间相关性、地域相关性以及进一步的技术关系。

本次报告中各实景过程主要原料和能源消耗数据均来自于企业生产数据，必维在数据收集现场对企业所填报的数据进行了验证，数据准确性较高。

本次报告中产品的主要生产过程发生在贝发集团股份有限公司，数据代表特定生产企业的一般水平。实景过程数据采用 2023 年 01 月 01 日至 2023 年 12 月 31 日的企业生产数据，背景数据采用瑞士的 Ecoinvent 数据库近年来的数据。

本次报告中产品生命周期模型包含原材料获取以及产品生产以及下游产品运输过程，满足本研究对系统边界的定义。

所有实景数据均采用一致的统计标准，即按照单元过程单位产出进行统计。所有背景数据采用一致的统计标准，确保了数据收集过程的流程化和一致性。

表 4 对本次研究收集到的实景数据及背景数据进行了简单的定性评估（A-C 代表数据质量从高到低）。

表 4 数据质量评估表

数据类别		数据来源	数据质量
实景数据	原始数据	原材料\包装材料等的输入、产品输出	A
	计算值	能源输入	B
		发票数据，根据产品产量进行分摊	
		废弃物输出	B
背景数据	运输数据	原材料、包装材料等从供应商运输到	B

企业			
	产品运输到集散仓	地图查询	B
	原材料上游生产、		
排放因子	废弃物处理、资源	Ecoinvent 3.9.1	B
	获取		

### 1.2.7 数据库支持

本研究采用 Simapro 软件建立了一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品生命周期模型，基于软件内置的瑞士的 Ecoinvent 数据库的排放因子，计算得到 LCA 结果。

一套（12支）荧光笔（HY100200-环保料）产品生命周期模型所使用的背景数据来源如表5所示。

表 5 背景数据来源表

清单名称	所属过程	数据集名称	数据库名称
色母粒_PP料	笔杆	Ecoinvent 3.9.1	Polypropylene, granulate {RoW}  polypropylene production, granulate   Cut-off, S
本色塑料_PCR-PP料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证		Ecoinvent 3.9.1	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, recycled {RoW}  polyethylene terephthalate production, granulate, amorphous, recycled   Cut-off, S
色母粒_PP料	笔套	Ecoinvent 3.9.1	Polypropylene, granulate {RoW}  polypropylene production, granulate   Cut-off, S
本色塑料_PCR-PP料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证		Ecoinvent 3.9.1	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, recycled {RoW}  polyethylene terephthalate production, granulate, amorphous, recycled   Cut-off, S
色母粒_PP料	笔项	Ecoinvent 3.9.1	Polypropylene, granulate {RoW}  polypropylene production, granulate   Cut-off, S
本色塑料_PCR-PP料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证		Ecoinvent 3.9.1	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, recycled {RoW}  polyethylene terephthalate production, granulate, amorphous, recycled   Cut-off, S
墨水	书写组件	Ecoinvent 3.9.1	Glycerine {GLO}  stearic acid production   Cut-off, S
		Ecoinvent 3.9.1	Water, ultrapure {RoW}  water production, ultrapure   Cut-off, S
笔头		Ecoinvent 3.9.1	Nylon 6 {RoW}  nylon 6 production   Cut-off, S
卷包芯-外卷		Ecoinvent 3.9.1	Polypropylene, granulate {RoW}  polypropylene production, granulate   Cut-off, S
卷包芯-内纤维		Ecoinvent 3.9.1	Fibre, polyester {RoW}  polyester fibre production, finished   Cut-off, S
PP 处理水	印刷	Ecoinvent 3.9.1	Polyester resin, unsaturated {RoW}  polyester resin production, unsaturated   Cut-off, S
		Ecoinvent 3.9.1	Naphtha {RoW}  naphtha production, petroleum refinery operation   Cut-off, S
		Ecoinvent 3.9.1	Toluene, liquid {RoW}  toluene production, liquid   Cut-off, S
		Ecoinvent 3.9.1	Acrylic acid {RoW}  acrylic acid production   Cut-off, S
UVPP 印刷油墨		Ecoinvent 3.9.1	Acrylic acid {RoW}  acrylic acid production   Cut-off, S
		Ecoinvent 3.9.1	Titanium dioxide {RoW}  titanium dioxide production, chloride process   Cut-off, S
		Ecoinvent 3.9.1	Acrylic acid {RoW}  acrylic acid production   Cut-off, S
UV8600 专用稀释剂		包装	Ecoinvent 3.9.1
吸塑纸卡_081-02-1682_450gCCWB 正_PET	Ecoinvent 3.9.1		Printed paper, offset {RoW}  offset printing, per kg printed paper   Cut-off, S
吸塑油_19.4*20.2CM	Ecoinvent 3.9.1		Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {RoW}  polyethylene terephthalate production, granulate, amorphous   Cut-off, S
吸塑罩原料_PET_30 丝_		Ecoinvent 3.9.1	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {RoW}  polyethylene terephthalate production, granulate, amorphous   Cut-off, S

清单名称	所属过程	数据集名称	数据库名称
硫酸	废水处理-化学药剂	Ecoinvent 3.9.1	Sulfuric acid {RoW}  sulfuric acid production   Cut-off, S
双氧水		Ecoinvent 3.9.1	Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state {RoW}  hydrogen peroxide production, product in 50% solution state   Cut-off, S
氢氧化钠		Ecoinvent 3.9.1	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {RoW}  chlor-alkali electrolysis, membrane cell   Cut-off, S
聚合氧化铝(PAC)		Ecoinvent 3.9.1	Polyaluminium chloride {GLO}  polyaluminium chloride production   Cut-off, S
聚丙烯酰胺 (PAM)		Ecoinvent 3.9.1	Polyacrylamide {GLO}  polyacrylamide production   Cut-off, S
硫酸亚铁		Ecoinvent 3.9.1	Iron(III) sulfate, without water, in 12.5% iron solution state {RoW}  iron(III) sulfate production, without water, in 12.5% iron solution state   Cut-off, S
货车 (国 V) 3.5~7.5t	原材料运输	Ecoinvent 3.9.1	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RoW}  transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5   Cut-off, S
货车 (未指定类型)		Ecoinvent 3.9.1	Transport, freight, light commercial vehicle {RoW}  transport, freight, light commercial vehicle   Cut-off, S
轻型商用货车		Ecoinvent 3.9.1	Transport, freight, light commercial vehicle {RoW}  transport, freight, light commercial vehicle   Cut-off, S
集装箱船	产品运输	Ecoinvent 3.9.1	Transport, freight, sea, container ship {GLO}  transport, freight, sea, container ship   Cut-off, S
电力	产品生产	Ecoinvent 3.9.1	Electricity, medium voltage {CN-ECGC}  market for electricity, medium voltage   Cut-off, S
液化石油气		Ecoinvent 3.9.1	Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW}  heat production, light fuel oil, at industrial furnace 1MW   Cut-off, S
报废黄板纸板	废弃物处理	Ecoinvent 3.9.1	Paper (waste treatment) {GLO}  recycling of paper   Cut-off, S
报废灰卡纸板		Ecoinvent 3.9.1	Paper (waste treatment) {GLO}  recycling of paper   Cut-off, S
报废周转箱		Ecoinvent 3.9.1	Core board (waste treatment) {GLO}  recycling of core board   Cut-off, S
笔杆		Ecoinvent 3.9.1	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Cut-off, S
成品报废笔		Ecoinvent 3.9.1	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Cut-off, S
块料		Ecoinvent 3.9.1	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Cut-off, S
垃圾料		Ecoinvent 3.9.1	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Cut-off, S
双色 PP 次品回料		Ecoinvent 3.9.1	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Cut-off, S
双色次品料		Ecoinvent 3.9.1	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Cut-off, S
双色硬胶回料		Ecoinvent 3.9.1	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Cut-off, S



清单名称	所属过程	数据集名称	数据库名称
杂笔杆		Ecoinvent 3.9.1	PP (waste treatment) {GLO}  recycling of PP   Cut-off, S
废活性炭		Ecoinvent 3.9.1	Hazardous waste, for incineration {RoW}  treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration   Cut-off, S
废矿物油		Ecoinvent 3.9.1	Waste mineral oil {RoW}  treatment of waste mineral oil, hazardous waste incineration   Cut-off, S
含油废物		Ecoinvent 3.9.1	Spent solvent mixture {RoW}  treatment of spent solvent mixture, hazardous waste incineration   Cut-off, S
切削泥		Ecoinvent 3.9.1	Fly ash and scrubber sludge {RoW}  treatment of fly ash and scrubber sludge, hazardous waste incineration   Cut-off, S
切削液		Ecoinvent 3.9.1	Spent solvent mixture {RoW}  treatment of spent solvent mixture, hazardous waste incineration   Cut-off, S
污水处理污泥		Ecoinvent 3.9.1	Fly ash and scrubber sludge {RoW}  treatment of fly ash and scrubber sludge, hazardous waste incineration   Cut-off, S
油墨 / 墨水废物		Ecoinvent 3.9.1	Hazardous waste, for incineration {RoW}  treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration   Cut-off, S
污水（处理后）		Ecoinvent 3.9.1	Wastewater, average {RoW}  treatment of wastewater, average, wastewater treatment   Cut-off, S

## 2. 数据收集

### 2.1 数据收集方法

企业提供的活动水平数据来自 2023 年 01 月 01 日至 2023 年 12 月 31 日。本研究在 2024 年 6 月进行调查、收集和整理工作，本次收集到的一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品生产数据来自于贝发集团股份有限公司提供的生产数据，客户在数据收集表中对数据来源做出相关解释说明。

为满足 1.2.6 中对数据质量的要求，并确保计算结果的可靠性，本次研究过程中初级数据首选来自生产商直接提供的数据。

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。本次研究中次级数据均来自 Ecoinvent 数据库。该数据库的数据是经严格审查的，并广泛应用于国际上的 LCA 研究。数据集的采纳情况详见表 5，并将在第 2 章的后续部分进行说明。

### 2.2 原材料获取及运输

产品生产所使用的原材料需要从供应商处获取，其运输距离以及运输方式如表 6 中所示。根据原材料供应商及所在地区，使用地图软件测量和估算运输距离。

表 6 原材料运输距离及运输方式

物料名称	运输重量 (g)	起点	终点	运输距离 (km)	运输类型
色母粒_PP 料	1.677	浙江省宁波市北仑区小港街道下倪桥 1 号 7 幢 1 号 7-1	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	2.5	轻型商用货车
本色塑料_PCR-PP 料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	33.452	上海市浦东新区曹路镇金海路 2588 号上海交大金桥科技园 1 幢	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	234	货车 (国 V) 3.5~7.5t
色母粒_PP 料	1.579	浙江省宁波市北仑区小港街道下倪桥 1 号 7 幢 1 号 7-2	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	2.5	轻型商用货车
本色塑料_PCR-PP 料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	31.469	上海市浦东新区曹路镇金海路 2588 号上海交大金桥科技园 1 幢	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	234	货车 (国 V) 3.5~7.5t
色母粒_PP 料	0.759	浙江省宁波市北仑区小港街道下倪桥 1 号 7 幢 1 号 7-1	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	2.5	轻型商用货车
本色塑料_PCR-PP 料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	15.153	上海市浦东新区曹路镇金海路 2588 号上海交大金桥科技园 1 幢	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	234	货车 (国 V) 3.5~7.5t
墨水	24.000	/	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	/	货车 (国 V) 3.5~7.5t
笔头	2.030	浙江省宁波市余姚市迎风路 173-2 号	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	96	货车 (未指定类型)
卷包芯-外卷	3.040	温州市洞头区灵华路与霓翔北路	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	270	货车 (未指定类型)

物料名称	运输重量 (g)	起点	终点	运输距离 (km)	运输类型
		交叉路口往东约 140 米	六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号		类型)
卷包芯-内纤维	8.735	温州市洞头区灵华路与霓翔北路 交叉路口往东约 141 米	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	270	货车 (未指定 类型)
PP 处理水	0.545	浙江省湖州市德清县新市镇河东 路 15 号	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	225	货车 (未指定 类型)
UVPP 印刷油墨	0.120	浙江省湖州市德清县新市镇河东 路 16 号	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	225	货车 (未指定 类型)
UV8600 专用稀释剂	0.012	浙江省湖州市德清县新市镇河东 路 17 号	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	225	货车 (未指定 类型)
吸塑罩原料_PET_30 丝_	9.900	山东省青岛市即墨区通济街道办 事处马山东路 182 号	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	1040	货车 (国 V) 3.5~7.5t
吸塑纸卡_081-02-1682_450gCCWB 正 _PET 吸塑油 19.4*20.2CM	17.100	浙江省慈溪市龙山镇田央村	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	36	轻型商用货车
硫酸	0.012	新碶街道辽河路 588 号	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	14.6	货车 (未指定 类型)
双氧水	0.008	新碶街道辽河路 589 号	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	14.6	货车 (未指定 类型)
氢氧化钠	0.012	新碶街道辽河路 590 号	浙江省宁波市北仑区小港纬 六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	14.6	货车 (未指定 类型)



物料名称	运输重量 (g)	起点	终点	运输距离 (km)	运输类型
聚合氧化铝(PAC)	0.00504	新碶街道辽河路 591 号	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	14.6	货车（未指定类型）
聚丙烯酰胺 (PAM)	0.00039	新碶街道辽河路 592 号	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	14.6	货车（未指定类型）
硫酸亚铁	0.00078	新碶街道辽河路 593 号	浙江省宁波市北仑区小港纬六路 68 号 1 幢 1 号, 4 幢 1 号	14.6	货车（未指定类型）

## 2.3 产品生产

表中列出了产品生产过程的投入和产出，包括产品产量、主要原材料、辅助材料、包装材料、废水处理物料、能源和环境排放。投入和产出数据均来自 ERP 系统、产品档案、印刷成本表、称重记录等可验证的凭据。

必维团队分别计算了笔杆、笔套、笔项、相应的书写组件以及印刷工段、包装材料的生产过程，以及生产阶段污水处置的过程。其中，笔杆、笔套、笔项的生产过程是以生产 1 支笔为基准进行数据收集的，数据来源于公司的 ERP 系统（包含损耗率）；相应的书写组件为直接外购，墨水数据来源于产品档案，笔头卷包芯的数据来源于产品档案及相应的称重记录；印刷阶段使用的 PP 处理水、UVPP 印刷油墨以及 UV8600 专用稀释剂来源于公司内部印刷成本表及相应估算；包装材料包括的吸塑罩及纸卡均为外购，数据来源于称重记录；生产阶段废水处置的过程是以处理一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产生的废水为基准进行数据收集的。

表 7 一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品生命周期模型清单数据表

类型	所属过程	清单名称	数量	单位	数据来源
产品产出		一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）	1	套	--
原材料	笔杆	色母粒_PP 料	1.677	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料		本色塑料_PCR-PP 料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	33.452	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料	笔套	色母粒_PP 料	1.579	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料		本色塑料_PCR-PP 料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	31.469	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料	笔项	色母粒_PP 料	0.759	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料		本色塑料_PCR-PP 料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	15.153	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料	书写组件	墨水-丙三醇（15.00%）	3.600	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料		墨水-蒸馏、导电性或类似纯度的水（80.75%）	19.380	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料		笔头	2.030	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料		卷包芯-外卷	3.040	g	Ecoinvent 3.9.1
原材料		卷包芯-内纤维	8.735	g	Ecoinvent 3.9.1
辅助原材料		PP 处理水-改性聚酯树脂（25.50%）	0.139	g	Ecoinvent 3.9.1
辅助原材料	印刷	PP 处理水-溶剂石脑油（34.00%）	0.185	g	Ecoinvent 3.9.1
辅助原材料		PP 处理水-甲苯（40.50%）	0.221	g	Ecoinvent 3.9.1
辅助原材料		UVPP 印刷油墨-聚酯丙烯酸酯（30.00%）	0.036	g	Ecoinvent 3.9.1

类型	所属过程	清单名称	数量	单位	数据来源
辅助原材料		UVPP 印刷油墨-环氧丙烯酸酯（30.00%）	0.036	g	Ecoinvent 3.9.1
辅助原材料		UVPP 印刷油墨-颜料（20.00%）	0.024	g	Ecoinvent 3.9.1
辅助原材料		UVPP 印刷油墨-乙二醇二丙烯酸酯（20.00%）	0.024	g	Ecoinvent 3.9.1
辅助原材料		UV8600 专用稀释剂	0.012	g	Ecoinvent 3.9.1
包装材料	包装	吸塑纸卡_081-02-1682_450gCCWB 正_PET 吸塑油 19.4*20.2CM	9.900	g	Ecoinvent 3.9.1
包装材料		吸塑罩原料_PET_30 丝_	17.100	g	Ecoinvent 3.9.1
废水处理物料	废水处理	硫酸	0.012	g	Ecoinvent 3.9.1
废水处理物料		双氧水	0.008	g	Ecoinvent 3.9.1
废水处理物料		氢氧化钠	0.012	g	Ecoinvent 3.9.1
废水处理物料		聚合氧化铝(PAC)	0.00504	g	Ecoinvent 3.9.1
废水处理物料		聚丙烯酰胺（PAM）	0.00039	g	Ecoinvent 3.9.1
废水处理物料		硫酸亚铁	0.00078	g	Ecoinvent 3.9.1
能源	产品生产	电力（国家/地区电网）	0.116	kWh	Ecoinvent 3.9.1
能源		液化石油气	0.615	g	Ecoinvent 3.9.1
能源		光伏电力	0.023	kWh	Ecoinvent 3.9.1



类型	所属过程	清单名称	数量	单位	数据来源
能源		市政用水	0.00028	t	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		报废黄板纸板	0.173	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		报废灰卡纸板	0.103	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		报废周转箱	0.010	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		笔杆	0.027	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		成品报废笔	0.072	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		块料	0.038	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		垃圾料	0.107	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		双色 PP 次品回料	0.125	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		双色次品料	0.066	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物	废弃物处理	双色硬胶回料	0.052	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		杂笔杆	0.111	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		废活性炭	0.016	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		废矿物油	0.023	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		含油废物	0.006	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		切削泥	0.019	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		切削液	0.023	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		污水处理污泥	0.047	g	Ecoinvent 3.9.1
处置废物		油墨 / 墨水废物	0.176	g	Ecoinvent 3.9.1
环境排放		污水（处理后）	0.00001	t	Ecoinvent 3.9.1

## 2.4 产品运输

产品生产后运输出货，其运输距离以及运输方式如表 中所示。根据买家及所在地区，使用地图软件测量和估算运输距离。

表 8 产品运输距离及运输方式

客户名称	出货占比	起点	终点	运输距离（海里）	运输类型
LOS ANGELES, CA	30%	宁波港	LOS ANGELES, CA	11029.49	集装箱船
LONG BEACH, CA	25%	宁波港	LONG BEACH, CA	10558.48	集装箱船
CHARLESTON, SC	7%	宁波港	CHARLESTON, SC	18446.21	集装箱船
TACOMA, WA	22%	宁波港	TACOMA, WA	9604.81	集装箱船
SAVANNAH, GA	16%	宁波港	SAVANNAH, GA	19646.05	集装箱船

### 3. 生命周期影响分析

#### 3.1 碳足迹影响分析

依据 Simapro 建模计算，一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品的碳足迹计算指标为气候变化(GWP2021)、气候变化-化石源(GWP-Fossil)、气候变化-生物源(GWP-Biogenic)、气候变化-土地利用变化(GWP-LU)，碳足迹计算结果如表 所示。

表 9 一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹结果

序号	环境影响类型指标	影响类型指标单位	LCA 结果	LCA 结果占比
1	气候变化（GWP2021）	kg CO <sub>2</sub> eq	0.43655	100%
1.1	气候变化-化石源 （GWP-Fossil）	kg CO <sub>2</sub> eq	0.41431	94.90%
1.2	气候变化-生物源 （GWP-Biogenic）	kg CO <sub>2</sub> eq	0.02127	4.87%
1.3	气候变化-土地利用变化 （GWP-LU）	kg CO <sub>2</sub> eq	0.00098	0.22%

#### 3.2 碳足迹贡献结果分析

一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹贡献结果如表 1010 所示。

表 10 一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹贡献结果

所属过程	名称	温室气体排放量 GWP2021 (kg CO <sub>2</sub> eq)	温室气体排放量 占比	过程温室气体排 放量占比
笔杆	色母粒_PP料	3.83E-03	0.88%	13.05%
	本色塑料_PCR-PP料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	5.31E-02	12.17%	
笔套	色母粒_PP料	3.61E-03	0.83%	12.28%
	本色塑料_PCR-PP料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	5.00E-02	11.45%	
笔项	色母粒_PP料	1.73E-03	0.40%	5.91%
	本色塑料_PCR-PP料_PP-FL3120-NAT_GRS 认证	2.41E-02	5.51%	
书写组件	墨水-丙三醇（15.00%）	1.29E-03	0.30%	14.79%
	墨水-蒸馏、导电性或类似纯度的水（80.75%）	1.21E-04	0.03%	
	笔头	1.88E-02	4.32%	
	卷包芯-外卷	6.95E-03	1.59%	
	卷包芯-内纤维	3.73E-02	8.55%	
印刷	PP处理水-改性聚酯树脂（25.50%）	7.30E-04	0.17%	0.37%
	PP处理水-溶剂石脑油（34.00%）	1.23E-04	0.03%	
	PP处理水-甲苯（40.50%）	3.44E-04	0.08%	
	UVPP印刷油墨-聚酯丙烯酸酯（30.00%）	8.10E-05	0.02%	
	UVPP印刷油墨-环氧丙烯酸酯（30.00%）	8.10E-05	0.02%	
	UVPP印刷油墨-颜料（20.00%）	1.70E-04	0.04%	
	UVPP印刷油墨-乙二醇二丙烯酸酯（20.00%）	5.40E-05	0.01%	
包装	UV8600 专用稀释剂	2.70E-05	0.01%	18.64%
	吸塑纸卡_081-02-1682_450gCCWB 正_PET 吸塑	5.00E-02	11.46%	
	油 19.4*20.2CM			
	吸塑罩原料_PET_30 丝_	3.13E-02	7.17%	
废水处理	硫酸	1.36E-06	0.00%	0.01%
	双氧水	8.18E-06	0.00%	
	氢氧化钠	3.21E-05	0.01%	
	聚合氧化铝(PAC)	8.51E-06	0.00%	

所属过程	名称	温室气体排放量 GWP2021 (kg CO <sub>2</sub> eq)	温室气体排放量 占比	过程温室气体排 放量占比
原材料运输	聚丙烯酰胺 (PAM)	1.27E-06	0.00%	6.57%
	硫酸亚铁	1.77E-06	0.00%	
	原材料运输-货车 (国 V) 3.5~7.5t	2.00E-02	4.59%	
	原材料运输-货车 (未指定类型)	7.34E-03	1.68%	
	原材料运输-轻型商用货车	1.31E-03	0.30%	
产品运输	产品运输-集装箱船	1.87E-02	4.28%	4.28%
产品生产	电力 (国家/地区电网)	9.94E-02	22.76%	23.95%
	液化石油气	3.05E-03	0.70%	
	光伏电力	1.90E-03	0.44%	
	市政用水	2.38E-04	0.05%	
废弃物处理	报废黄板纸板	0.00E+00	0.00%	0.17%
	报废灰卡纸板	0.00E+00	0.00%	
	报废周转箱	0.00E+00	0.00%	
	笔杆	0.00E+00	0.00%	
	成品报废笔	0.00E+00	0.00%	
	块料	0.00E+00	0.00%	
	垃圾料	0.00E+00	0.00%	
	双色 PP 次品回料	0.00E+00	0.00%	
	双色次品料	0.00E+00	0.00%	
	双色硬胶回料	0.00E+00	0.00%	
	杂笔杆	0.00E+00	0.00%	
	废活性炭	3.96E-05	0.01%	
	废矿物油	6.55E-05	0.02%	
	含油废物	1.19E-05	0.00%	
	切削泥	4.32E-05	0.01%	
	切削液	4.57E-05	0.01%	

所属过程	名称	温室气体排放量 GWP2021 (kg CO <sub>2</sub> eq)	温室气体排放量 占比	过程温室气体排 放量占比
	污水处理污泥	1.07E-04	0.02%	
	油墨 / 墨水废物	4.36E-04	0.10%	
	污水（处理后）	4.54E-06	0.00%	

按照产品从“摇篮”到“大门”各生命周期阶段，对一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹各生命周期阶段的贡献进行分析，原材料生产阶段碳足迹排放量占比最大，占 71.60%，其次为制造过程碳足迹贡献，占比 24.12%。

表 11 一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹指标

项目	排放量 kg CO <sub>2</sub> eq	占比
原材料生产阶段碳足迹	0.31258	71.60%
制造过程碳足迹	0.10530	24.12%
产品配送阶段碳足迹	0.01867	4.28%
合计碳足迹	0.43655	100.00%

### 3.3 敏感性分析

在本研究中一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品的主要组成部件笔杆、笔套、笔项均使用“本色塑料\_PCR-PP 料\_PP-FL3120-NAT\_GRS 认证”作为主要原材料，收到企业实际生产条件限制，无法从供应商处取得相关材料上游生命周期阶段的实景数据，因此采用 Ecoinvent 3.9.1 数据库中的 Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, recycled {RoW}| polyethylene terephthalate production, granulate, amorphous, recycled | Cut-off, S 进行近似替代并进行建模计算。

Junaid Saleem 等<sup>[6]</sup> 利用卡塔尔垃圾场的塑料废物，并在实验室中回收利用，以生产可用作原始塑料材料替代品的塑料颗粒，该研究采用 Gabi 建模，采用 Gabi 本地数据库，其中对再生 PP 颗粒的生命周期影响评估结果也被认为可近似替代本次研究中使用的材料的次级数据。因此对采用不同背景数据的情景进行敏感性分析，以了解背景数据的变化将如何影响一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品的碳足迹结果。敏感性分析结果如表 12 所示。

表 12 敏感性分析表

情景	描述	GWP2021 TOTAL (kg CO <sub>2</sub> eq)	产品碳足迹变化 %
1	原始情景	0.437	-
2	Junaid Saleem 等 <sup>[6]</sup> 90% xylene 回收率	0.442	1.31%
3	Junaid Saleem 等 <sup>[6]</sup> 100% xylene 回收率	0.409	-6.39%

改变“本色塑料\_PCR-PP 料\_PP-FL3120-NAT\_GRS 认证”背景数据集选择对一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹结果有部分影响。企业应改善材料管理，从供应商处收集上游原材料生产端的实景数据进行建模计算。

### 3.4 不确定性分析

基于蒙特卡洛模拟评估一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹核算结果的总体不确定性，假设本次建模过程中所有输入参数均服从对数正态分布，使用 Simapro 9.5.0.2 软件模拟不确定性结果（执行运行数：1000）。

不确定性分析结果如图 2 所示，横轴代表与平均值相比的偏离程度，纵轴表示相应结果发生的概率。一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹平均值为  $0.438 \pm 0.0295 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ ，中位数为  $0.436 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ ，变异系数 6.73%。当变异系数小于 10% 时属于弱变异，说明本产品碳足迹核算结果的不确定性较低。

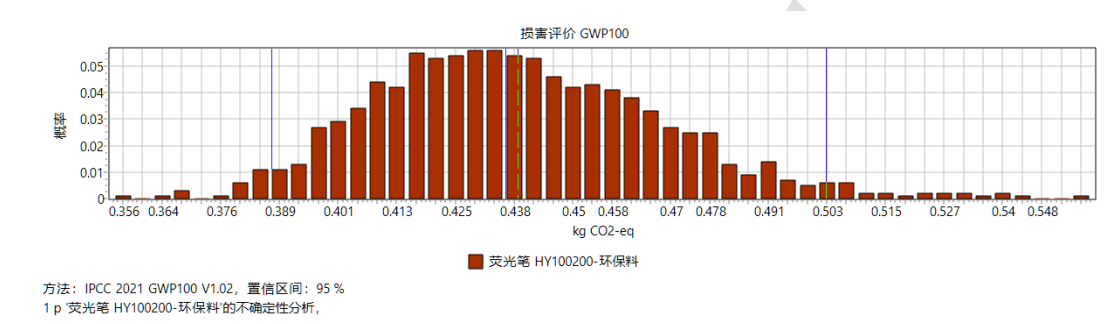


图 2 一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹频率直方图（95%置信区间）



## 4. 生命周期解释

### 4.1 假设与局限性说明

本研究结果仅对本报告中特定数据情境有效，本次收集到的一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品数据来自于贝发集团股份有限公司提供的生产数据，贝发集团股份有限公司在数据收集表中对数据来源做出相关解释说明。本报告中数据建模与计算符合 LCA 方法要求，基本保证评价结果的准确性。若数据情景或计算方法发生变化，结论可能发生改变。

本次研究中所有输入、输出数据收集过程的计算方法为：通过对贝发集团股份有限公司 2023 年 01 月 01 日-2023 年 12 月 31 日生产的一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品的输入、输出数据按照产量进行折算，得到生产一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品的输入、输出数据。

产品的主要原材料采用“本色塑料\_PCR-PP 料\_PP-FL3120-NAT\_GRS 认证”，根据贝发集团股份有限公司提供的材料描述及相关文件，该材料采用回收材料制成，但由于企业及供应商数据收集条件的限制，本次研究中未对其获取阶段的碳足迹进行实景数据收集及建模，采取 Ecoinvent 3.9.1 中近似的次级数据进行替代。根据敏感性分析结果，若对次级数据进行替换，结论可能发生改变。

### 4.2 结论

本研究的功能单位为一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品，系统边界包括原材料获取到产品出厂（从摇篮到大门）。本研究关注碳足迹这一环境影响类型。本次一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品碳足迹报告主要得出以下结论：

(1) 生产一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品的碳足迹为 **0.43655 kg CO<sub>2</sub> eq。**

(2) 通过对产品碳足迹环境影响指标清单灵敏度分析可知，一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）产品绝大部分的环境影响来自于生产制造过程中电力的使用，其次是本色塑料\_PCR-PP 料\_PP-FL3120-NAT\_GRS 认证原材料的使用。为使产品碳足迹结果更真实地反映产品生命周期过程中造成的环境影响，

企业应改善数据管理及供应链管理，对该原材料的获取过程进行进一步的数据收集及计算，并对目前采用的次级数据进行替换。

(3) 目标产品一套（12 支）荧光笔（HY100200-环保料）的“从摇篮到大门”碳足迹为 **0.43655 kg CO<sub>2</sub> eq**，其中原材料生产阶段碳足迹排放量占比最大，占 71.60%，其次为制造过程碳足迹贡献，占比 24.12%。

Bureau Veritas

## 参考文献

- [1]. ISO 14040. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006). [S]. International Standard Iso, 2006.
- [2]. ISO 14044. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines (ISO 14044:2006). [S]. International Standard Iso, 2006.
- [3]. Birger Löfgren, Anne-Marie Tillman, Björn Rinde. Manufacturing actor's LCA [J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 19(17):2025–2033.
- [4]. PAS 2050: 2011-Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services[S]. Department for Environment, Food and Rural Affairs, & British Standards Institution: United Kingdom, 2011: 2-12.
- [5]. ISO 14067. Greenhouse Gases—Product Carbon Footprint—Quantification Requirements and Guidelines (ISO 14067:2018) [S]. International Standard Iso, 2018.
- [6]. Junaid Saleem, Furqan Tahir, Moghal Zubair Khalid Baig, Tareq Al-Ansari, Gordon McKay, Assessing the environmental footprint of recycled plastic pellets: A life-cycle assessment perspective, Environmental Technology & Innovation, Volume 32, 2023, 103289, ISSN 2352-1864, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103289>.