

报告编号：WIT-CFP-724506437-013

浙江恒石纤维基业有限公司

单轴向玻璃纤维布产品碳足迹报告

杭州万泰认证有限公司

二〇二二年四月



基本信息

报告信息

报告编号: WIT-CFP-724506437-013

编写单位: 杭州万泰认证有限公司

编制人员: 翟志强

审核单位: 杭州万泰认证有限公司

审核人员: 蒋忠伟

发布日期: 2022年4月21日



申请者信息

公司全称: 浙江恒石纤维基业有限公司

统一社会信用代码: 91330400724506437W

地址: 浙江省嘉兴市桐乡市桐乡经济开发区广运南路1号

联系人: 沈杰

联系方式: 13819352655

采用的标准信息

ISO 14067: 2018 《温室气体—产品碳足迹—量化要求和指南》

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》

选择的数据库

China Products Carbon Footprint Factors Database

目 录

前 言	1
1 执行摘要	2
2 公司信息介绍	2
2.1 公司介绍	2
2.2 生产工艺	3
2.3 设备信息	4
2.4 产品信息	4
3 目标与范围定义	7
3.1 研究目的	7
3.2 系统边界	8
3.3 功能单位	8
3.4 生命周期流程图的绘制	8
3.5 取舍准则	9
3.6 影响类型和评价方法	10
3.7 数据质量要求	10
4 过程数据收集	11
4.1 原材料生产阶段	11
4.2 原材料运输阶段	12
4.3 产品生产阶段	13
4.4 产品运输阶段	14
5 碳足迹计算	14
5.1 碳足迹计算方法	14
5.2 碳足迹计算结果	15
5.3 碳足迹影响分析	16
5.4 碳足迹改进建议	17
6 不确定性	18

7 结语	18
附录 A 数据库介绍	19

前 言

人类活动引起的气候变化已被确定为世界面临的最大挑战之一，并将在未来几十年继续影响商业和公民。气候变化对人类和自然系统都有影响，并可能对资源可用性、经济活动和人类福祉产生重大影响。我们有必要在现有最佳科学知识的基础上，对气候变化的紧急威胁作出有效和渐进的应对。产品碳足迹量化是将科学知识转化为有助于应对气候变化的工具。温室气体可以在产品的整个生命周期内排放和去除，包括原材料的获取、设计、生产、运输/交付、使用和寿命终止处理。量化产品的碳足迹（CFP）将有助于理解和采取行动，在产品的整个生命周期中增加温室气体的去除量并减少温室气体的排放量。

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 的研究方法，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《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》，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：产品生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 14067: 2018 温室气体—产品碳足迹—量化要求和指南》，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。

1 执行摘要

浙江恒石纤维基业有限公司为相关环境披露要求，履行社会责任、接受社会监督，特邀请杭州万泰认证有限公司对其选定产品单轴向玻璃纤维布（一种单轴玻璃纤维布）的碳足迹排放情况进行研究，并出具单轴向玻璃纤维布产品碳足迹报告。研究的目的是以全生命周期评价方法为基础，采用 ISO 14067: 2018《温室气体—产品碳足迹—量化要求和指南》、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》的要求中规定的碳足迹核算方法，计算得到浙江恒石纤维基业有限公司生产的单轴向玻璃纤维布产品的碳足迹。

本报告的功能单位定义为生产“1吨单轴向玻璃纤维布”。系统边界为“从摇篮到大门”类型，包括单轴向玻璃纤维布的上游原材料生产阶段、原材料运输阶段、产品生产阶段、产品销售运输阶段产生的排放。

报告对单轴向玻璃纤维布的生命周期各阶段碳足迹比例进行分析。从单个阶段对碳足迹贡献来看，发现上游原材料生产阶段对产品碳足迹的贡献最大，其次为产品生产阶段。

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、地域、时间等方面。单轴向玻璃纤维布生产生命周期内主要过程活动数据来源于企业现场调研的初级数据，部分通用的原辅料数据来源于中国产品全生命周期温室气体排放系数库(China Products Carbon Footprint Factors Database)，本次评价选用的数据在国内外 LCA 评价中被高度认可和广泛应用。

2 公司信息介绍

2.1 公司介绍

浙江恒石纤维基业有限公司成立于 2000 年，专业从事风电用增强玻纤维织物的研发、生产和销售。

公司拥有专业的自主研发团队；先进的生产工艺和装备；各种高性能玻纤原材料；并根据客户需要定制化、差异化生产各种织物、套裁、多层织物等产品。经过 20 多年的发展，恒石已成长为全球领先的专业风电材料制造商，产能规模全球领先，并获得第三批制造业单项冠军示范企业称号。

公司拥有浙江桐乡、河南信阳、埃及苏伊士、美国南卡和土耳其泰基尔达 5 个生产基地，产品远销全球 30 多个国家和地区，在国内外市场上都享有较高的信誉度。目前公司已经与全球众多知名的风电叶片制造企业建立了良好的业务合作关系。

公司始终秉承、弘扬振石“品行、创新、责任、学习、激情”的核心价值观，致力于成为全球风电材料解决方案的引领者，为客户和合作方创造更大的价值。

2.2 生产工艺

公司主营产品为各类型玻璃纤维布，具体工艺如下：

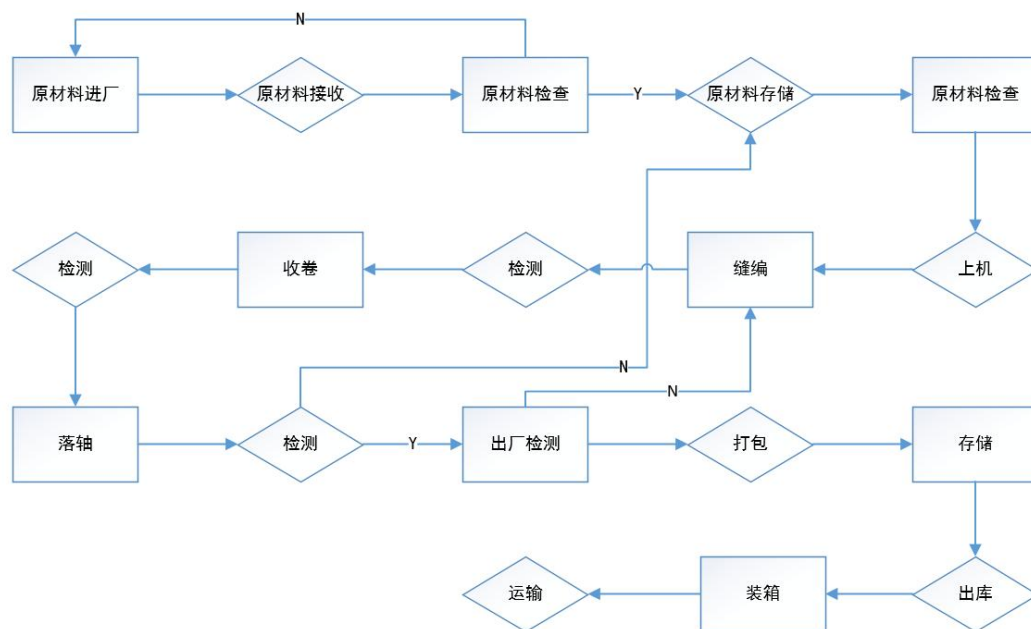


图 2.1 工艺流程图

2.3 设备信息

表 2.1 主要耗能设备清单

序号	设备名称	型号/规格	数量	区域/工序/过程
1	0、90 复合毡机	COP-Biaxial-Typ II S1M4-CHVCH	17	缝编
2	单向布机	COPHS2 132M/4B-11	4	缝编
3	裁剪机	HDBI-150	31	裁剪

2.4 产品信息

产品名称：单轴向玻璃纤维布

产品型号：E8-UD1250

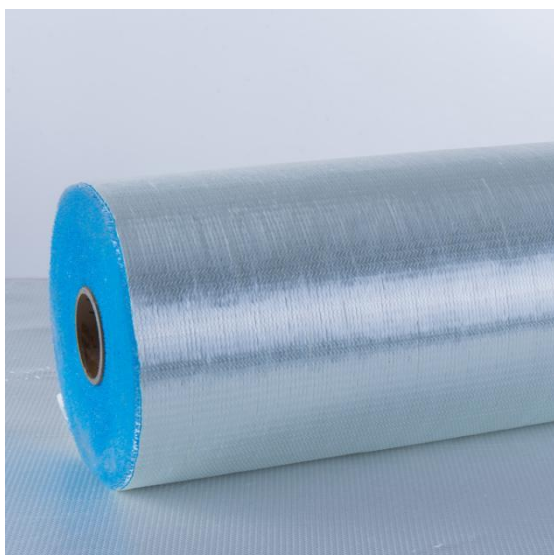


图 2.2 产品照片



图 2.3 应用成品照片

产品说明：风电叶片是一种多层次的结构体，由表面蒙皮和内部主梁构成。我司单轴向玻璃纤维布织物主要应用于大兆瓦叶片主梁部位的生产，设计上以高强度高性能为主要指标，采用巨石集团有限公司的 E8 高模量玻璃纤维作为产品的原材料，开发提供叶片生产以真空灌注成型方式灌注，结合叶片主梁的使用特点和力学性能要求，研究并设计了单轴向玻璃纤维布产品的结构，主要由 0°和 90°方向组成，经涤纶丝缝编成型。

主要技术指标:

1.产品物性技术指标:

- 1) 克重: $(1249 \pm 3\%) \text{ g/m}^2$;
- 2) 含水率: $\leq 0.1\%$;
- 3) 可燃物含量: $(0.4 \sim 0.7)\%$;
- 4) 门幅偏差: $\pm 3\text{mm}$;
- 5) 毛边: $+0 \sim +5\text{mm}$;
- 6) 縫隙要求: 纬纱間隙, 1m 长度范围内判定:
間隙 $> 12\text{mm}$, 不允许存在;
 $10\text{mm} < \text{間隙} \leq 12\text{mm}$, 要求 ≤ 3 处;
10mm 以下間隙均匀分布, 数量不计。
- 7) 香蕉型: 15m 内 $\leq 2\text{cm}$

2.产品力学性能指标:

单轴向玻璃纤维布产品增强的复合材料的力学性能指标如下:

拉伸强度: $\geq 1200\text{MPa}$, 拉伸模量 $\geq 50\text{GPa}$;

压缩强度: $\geq 850\text{MPa}$, 压缩模量 $\geq 50\text{GPa}$;

剪切强度: $\geq 50 \text{MPa}$, 剪切模量 $\geq 3.5\text{MPa}$;

疲劳指标 M: ≥ 11 ;

关键技术和创新点:

1.原材料创新

采用巨石公司 E8 玻璃纤维作为主要的原材料。该纤维具有以下突出的优点:

(1) 该纤维的浸胶纱拉伸强度和模量高达 $3300\text{-}3500\text{Mpa}$ 和 95Gpa , 较常规的 E7 玻璃纤维 (巨石公司)、S1 玻璃纤维 (泰山玻纤) 和 TM+ (CPIP) 玻璃纤维高 5-8%。因此, E8 玻璃纤维显著改进了玻璃纤维成本-性能比, 采用 E8 玻

玻璃纤维织造的单轴向玻璃纤维布单轴向玻璃纤维织物能让同样设计的风力叶片获得更高的模量，降低同等风力情况下的叶片变形程度，并能进一步降低叶片的重量；

该纤维具有优异的抗老化性能，产品保质期可达 24 个月，较国内竞争对手的产品高出 1 倍，极大地提高了产品的存储优势。同时，优异的抗老化性能使得产品更能适应海上的气候环境，拓宽叶片的风区适应性；

具有优异的疲劳性能，使叶片在动态载荷下承受更多的循环次数，延长叶片的使用寿命。

2. 产品设计创新

自主研发的大型海上风电叶片主梁用高性能单轴向玻纤增强织物单轴向玻璃纤维布，主要包括 0°经纱、90°纬纱和涤纶丝三部分组成。

织物的总单位面积质量（克重）控制在 $(1249 \pm 3\%) \text{ g/m}^2$ ，其中 0°经纱采用 E8DR17-2400-390 规格的玻璃纤维纱，单位面积质量为 $(1196 \pm 3\%) \text{ g/m}^2$ 。90°纬纱采用 E6DR16-100-390 规格的玻璃纤维纱，单位面积质量为 $(40 \pm 5\%) \text{ g/m}^2$ ，每平方米纬纱总根数为 59 根，捆绑采用的涤纶丝规格为 125D 低弹，密度为 7ends/inch，针脚长度 4mm，单位面积质量为不超过 15 g/m^2 。卷长最大不超过 300m。产品设计图如下所示：

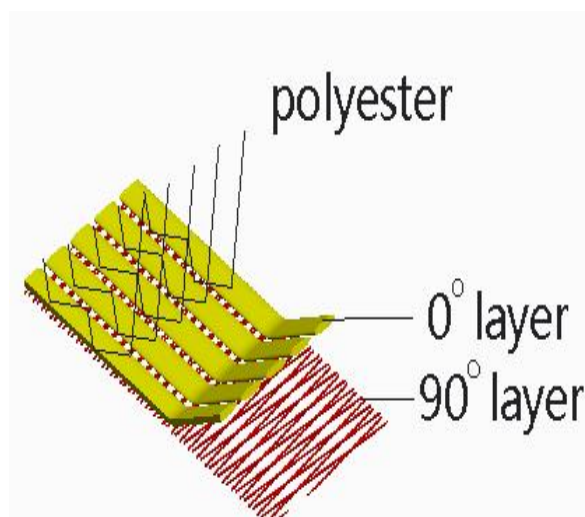


图 2.4 产品设计图

3. 产品工艺创新

缝编过程中，由经纱架和张力的控制导入的经纱张力，张力范围控制在 $(120\pm 40)\text{cN}$ ， 90° 纬纱采用交叉铺纬的方式，方向和 0° 经纱成 89° 平铺在经纱上，涤纶丝通过经平或变经平的方式将 0° 经纱、 90° 纬纱捆绑在一起形成结构稳定的织物。

为提高单轴向玻璃纤维布单轴向玻璃织物布面平整性，针对 E8 高模量玻璃纤维较普通模量玻璃纤维柔软特点，主要采用以下两点措施来提升纱线张力的均匀性，一方面采用集中张力装置来提升整门幅产品的张力均匀性以及缩小直角与转角处纱线的张力差异性以平衡整门幅产品各段纱线的张力，从而提高布面的平整性，符合客户外观质量标准；另一方面，通过压纱辊进一步提升纱线张力的均匀性，这既保证了避免并纱和绞纱等异常情况出现，尤其在 E8 纱线在进入针床前增加一道压纱辊，这对纱线的直线度和布面的平整性提升有积极的作用。

4. 产品性能的创新

超高模量单轴向玻璃纤维织物单轴向玻璃纤维布，经过真空灌注成型后的复合材料体现出优异的力学性能，主要指标如下：拉伸强度可达 1380MPa ，拉伸模量 51.8GPa ；压缩强度为 921MPa ，压缩模量为 51.2GPa ；剪切强度为 55.1MPa ，剪切模量为 3.981MPa 。相比于普通高模量织物，如 E7-UD1250，其力学性能表现为：拉伸强度 1240MPa ，拉伸模量 48.5GPa ；压缩强度 808MPa ，压缩模量 47.8GPa ；剪切强度 45.1MPa ，剪切模量 3.87GPa 。相比之下，单轴向玻璃纤维布的力学性能表现相比普通高模量织物提高 15%左右。

3 目标与范围定义

3.1 研究目的

本次研究的目的是得到浙江恒石纤维基业有限公司 2021 年度生产的“1 吨

单轴向玻璃纤维布”全生命周期过程碳足迹的平均水平，为浙江恒石纤维基业有限公司开展持续的节能减排工作提供数据支撑。

碳足迹核算是实现低碳、绿色发展的基础和关键，披露产品的碳足迹是环境保护工作和社会责任的一部分，也是浙江恒石纤维基业有限公司迈向国际市场的重要一步。本报告的研究结果将为浙江恒石纤维基业有限公司与单轴向玻璃纤维布的采购商和原材料供应商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。

本报告研究结果的潜在沟通对象包括两个群体：一是浙江恒石纤维基业有限公司内部管理人员及其他相关人员，二是企业外部利益相关方，如上游主要原材料供应商、下游采购商、地方政府和环境非政府组织等。

3.2 系统边界

本次碳足迹评价的系统边界为浙江恒石纤维基业有限公司 2021 年度单轴向玻璃纤维布产品生产活动及非生产活动的全生命周期。系统边界为“从摇篮到大门”类型，包括单轴向玻璃纤维布的上游原材料生产阶段、原材料运输阶段、产品生产阶段、产品销售运输阶段产生的排放。

3.3 功能单位

为方便系统中输入/输出的量化，本报告功能单位定义为：生产“1 吨单轴向玻璃纤维布”。

3.4 生命周期流程图的绘制

根据 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》绘制“1 吨单轴向玻璃纤维布”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：包括从原材料获取，通过制造、分销和零售整个过程的排放，单轴向玻璃纤维布产品的生命周期流程图如下：

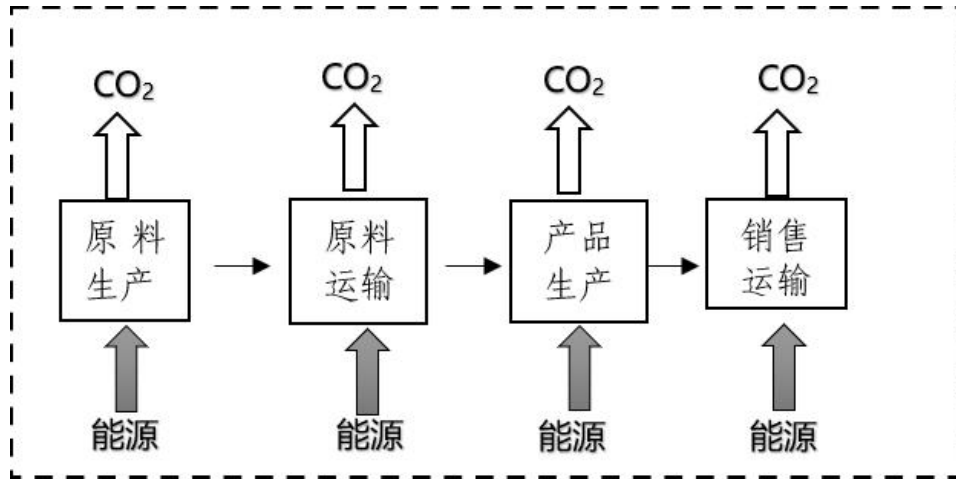


图 3.1 产品照片生命周期评价边界图

本报告中，产品的系统边界属“从摇篮到大门”的类型，为了实现上述功能单位，产品的系统边界见下表：

表 3.1 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>a.产品生产的生命周期过程包括：原材料获取+原材料运输+产品生产+产品运输；</p> <p>b.主要原材料生产过程中能源的消耗；</p> <p>c.产品生产过程蒸汽、天然气、电力及其他耗能工质等的消耗；</p> <p>d.原材料运输、产品运输。</p>	<p>a.资本设备的生产及维修；</p> <p>b.次要原材料及辅料获取和运输；</p> <p>c.销售等商务活动产生的运输。</p>

3.5 取舍准则

本项目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：

I 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%；

II 大多数情况下，生产设备、厂房、生活设施等可以忽略；

III 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，基本无忽略的物料。

3.6 影响类型和评价方法

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。

研究过程中统计了各种温室气体，包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFC_s）、全氟化碳（PFC_s）、六氟化硫（SF₆）和三氟化氮（NF₃）等。并且采用了 IPCC 第六次评估报告(2021 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 CO₂ 当量（CO₂e）。例如，1kg 甲烷在 100 年内对全球变暖的影响相当于 27.9kg 二氧化碳排放对全球变暖的影响，因此以二氧化碳当量（CO₂e）为基础，甲烷的特征化因子就是 27.9kgCO₂e。

3.7 数据质量要求

为满足数据质量要求，在本研究中主要考虑了以下几个方面：

I 数据准确性：实景数据的可靠程度

II 数据代表性：生产商、技术、地域以及时间上的代表性

III 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，在研究过程中首先选择来自生产商和供应商直接提供的初级数据，其中企业提供的经验数据取平均值，本研究在 2022 年 3 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中

国产品全生命周期温室气体排放系数库（2022）；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数据库中数据。数据库的数据是经严格审查，并广泛应用于国内外的 LCA 研究。

本次报告编制中初级数据，如生产制造的原辅材料清单及能源消耗由生产厂商直接提供、主要原材料玻璃纤维纱线单耗由供应商直接提供，数据等级为实际现场值，数据质量高；次级数据如原材料生产、运输和产品运输中使用的能源消耗来源于中国产品全生命周期温室气体排放系数库（2022）中的背景数据。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。

4 过程数据收集

4.1 原材料生产阶段

4.1.1 活动水平数据

原材料数据来源于企业 2021 年实际消耗量统计，根据“1 吨单轴向玻璃纤维布”进行分配，具体数据如下：

表 4.1 原材料及辅料消耗量

序号	原辅材料	活动水平	单位	来源
1	玻璃纤维纱线	1.0271	t	生产统计
2	涤纶丝	0.0108	t	生产统计
3	有色涤纶丝	0.0003	t	生产统计
4	纸管	0.0302	t	生产统计
5	木托盘	0.0456	t	生产统计
6	塑料膜	0.0019	t	生产统计
7	打包带	0.000023	t	生产统计

4.1.2 排放因子数据

主要原材料玻璃纤维纱线生产的碳排放系数进行供应商实景过程调研，其余原辅材料数据通过 China Products Carbon Footprint Factors Database 获取，具体数据如下：

表 4.2 原材料及辅料排放因子

序号	原辅材料	排放因子	单位	来源
1	玻璃纤维纱线	0.35	tCO ₂ eq/t	供应商巨石集团有限公司数据
2	涤纶丝	0.4442	tCO ₂ eq/t	China Database ¹ —棉、化纤纺织及印染产品 (Polyester textile) (排放环节-原料生产: 0.05867; 聚酯纤维生产: 0.38553)
3	有色涤纶丝	0.4442	tCO ₂ eq/t	
4	纸管	0.14	tCO ₂ eq/t	China Database—纸产品
5	木托盘	5.07	tCO ₂ eq/t	China Database—木质家具平均
6	塑料膜	3.24	tCO ₂ eq/t	China Database—塑料薄膜包装袋
7	打包带	0.84	tCO ₂ eq/t	China Database—包装材料

4.2 原材料运输阶段

4.2.1 活动水平数据

原材料运输阶段活动水平为根据供应商与企业平均距离计算所得的货物周转量，具体数据如下：

表 4.3 原辅材料运输活动水平

序号	原辅材料	活动水平	单位	来源
1	玻璃纤维纱线	1	t·km	根据统计数据计算
2	涤纶丝	50	t·km	根据统计数据计算
3	有色涤纶丝	37.7	t·km	根据统计数据计算
4	纸管	21.64	t·km	根据统计数据计算
5	木托盘	478.75	t·km	根据统计数据计算
6	塑料膜	20.66	t·km	根据统计数据计算
7	打包带	35.7	t·km	根据统计数据计算

4.2.2 排放因子数据

原材料运输方式均为道路运输，因未能获取运输过程实际能源消费量，数据通过 China Products Carbon Footprint Factors Database 获取，具体如下：

¹ China Database: China Products Carbon Footprint Factors Database 缩写。

表 4.4 原辅材料运输排放因子

序号	原辅材料	排放因子	单位	来源
1	玻璃纤维纱线	0.074	kgCO ₂ eq/(t·km)	China Database—道路交通平均
2	涤纶丝	0.074	kgCO ₂ eq/(t·km)	China Database—道路交通平均
3	有色涤纶丝	0.074	kgCO ₂ eq/(t·km)	China Database—道路交通平均
4	纸管	0.074	kgCO ₂ eq/(t·km)	China Database—道路交通平均
5	木托盘	0.074	kgCO ₂ eq/(t·km)	China Database—道路交通平均
6	塑料膜	0.074	kgCO ₂ eq/(t·km)	China Database—道路交通平均
7	打包带	0.074	kgCO ₂ eq/(t·km)	China Database—道路交通平均

4.3 产品生产阶段

4.3.1 活动水平数据

产品生产阶段的活动水平数据均来源于企业统计的实景数据，根据生产单元分别统计了结构分厂、表面分厂、装配分厂及辅助设施的能源消耗，具体如下：

表 4.5 产品生产阶段活动水平

生产单元	能源	活动水平	单位	来源
缝编工序	电	0.0288	MWh	生产统计
	蒸汽	0.0147	t	
裁剪工序	电	0.0250	MWh	
	蒸汽	0.0313	t	
辅助设施	电	0.0473	MWh	
	水	8.71	t	
	天然气	0.0506	Nm ³	
	蒸汽	0.0066	t	

4.3.2 排放因子数据

产品生产阶段的排放因子来源于背景数据库，具体如下：

表 4.6 产品生产阶段排放因子

生产单元	能源	活动水平	单位	来源
缝编工序	电	0.5810	tCO ₂ /MWh	中国 2020 年电网平均二氧化碳排放因子

	蒸汽	2.1000	tCO ₂ /t	China Database—燃煤热电联产
裁剪工序	电	0.581	tCO ₂ /MWh	中国 2020 年电网平均二氧化碳排放因子
	蒸汽	2.1000	tCO ₂ /t	China Database—燃煤热电联产
辅助设施	电	0.581	tCO ₂ /MWh	中国 2020 年电网平均二氧化碳排放因子
	水	12.32	kgCO ₂ eq/m ³	China Database—工业用水平均 (Industrial water)
	天然气	2.8	kgCO ₂ eq/Nm ³	China Database—天然气 (Natural Gas)
	蒸汽	2.1000	tCO ₂ /t	China Database—燃煤热电联产

4.4 产品运输阶段

4.4.1 活动水平数据

产品运输阶段活动水平为根据客户与企业平均距离计算所得的货物周转量，具体数据如下：

表 4.7 产品运输阶段活动水平

序号	产品	活动水平	单位	来源
1	1 吨单轴向玻璃纤维布	1132.768	t·km	根据统计数据计算

4.4.2 排放因子数据

产品运输方式均为道路运输，因未能获取运输过程实际能源消费量，数据通过 China Products Carbon Footprint Factors Database 获取，具体如下：

4.8 产品运输阶段排放因子

序号	产品	排放因子	单位	来源
1	1 吨单轴向玻璃纤维布	0.074	kgCO ₂ eq/(t·km)	China Database—道路交通平均

5 碳足迹计算

5.1 碳足迹计算方法

产品碳足迹的公式是整个产品生命周期中所有活动的原辅材料、能源乘

以其排放因子后再加和。其计算公式如下：

$$CFP = \sum_{i=1, j=1}^n P_i \times Q_{ij} \times GWP_j \quad (1)$$

式中：

CFP——产品碳足迹；

P——活动水平数据；

Q——排放因子数据；

GWP——全球变暖潜势值。

注：本报告采用 2021 年 IPCC 第六次评估报告 AR6 值

5.2 碳足迹计算结果

根据 5.1 章节公式，对生命周期各阶段的活动水平数据和排放因子数据汇总计算，得到 1 吨单轴向玻璃纤维布产品的碳足迹为 1.211 tCO₂eq，具体结果如下：

表 5.1 产品碳足迹评价结果

生命周期阶段	原材料生产	原材料运输	产品生产	产品运输	产品碳足迹
碳排放量(tCO ₂ eq)	0.847	0.003	0.277	0.084	1.211
占比	69.96%	0.28%	22.84%	6.92%	100.00%

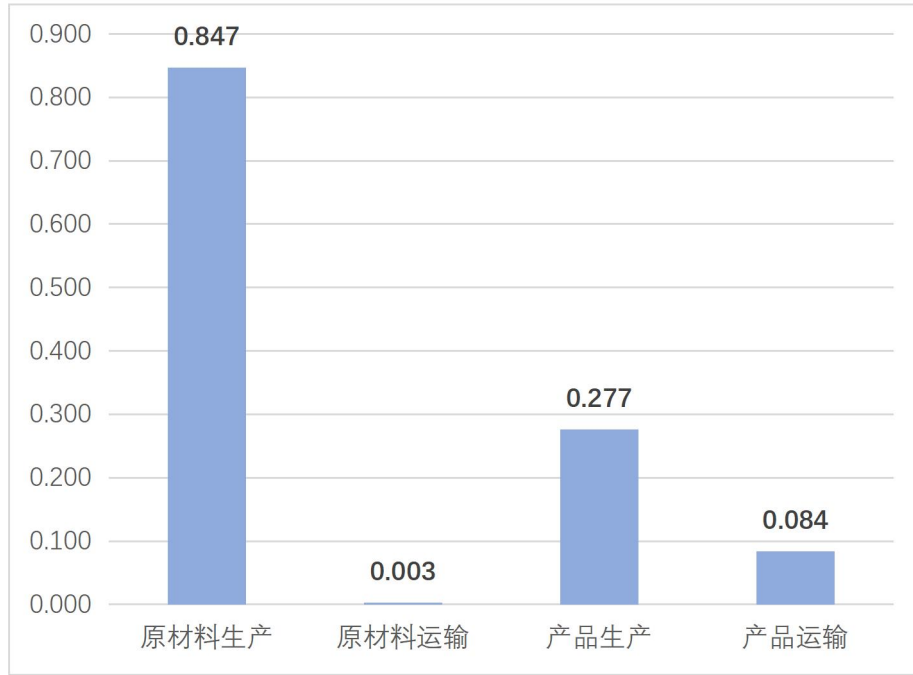


图 5.1 产品碳足迹评价结果

5.3 碳足迹影响分析

从单轴向玻璃纤维布产品生命周期累计碳足迹贡献比例的情况，可以看出单轴向玻璃纤维布产品的碳排放环节主要集中在原材料生产阶段，占比 69.96%，其次为产品生产阶段，占比 22.84%，具体详见下图。

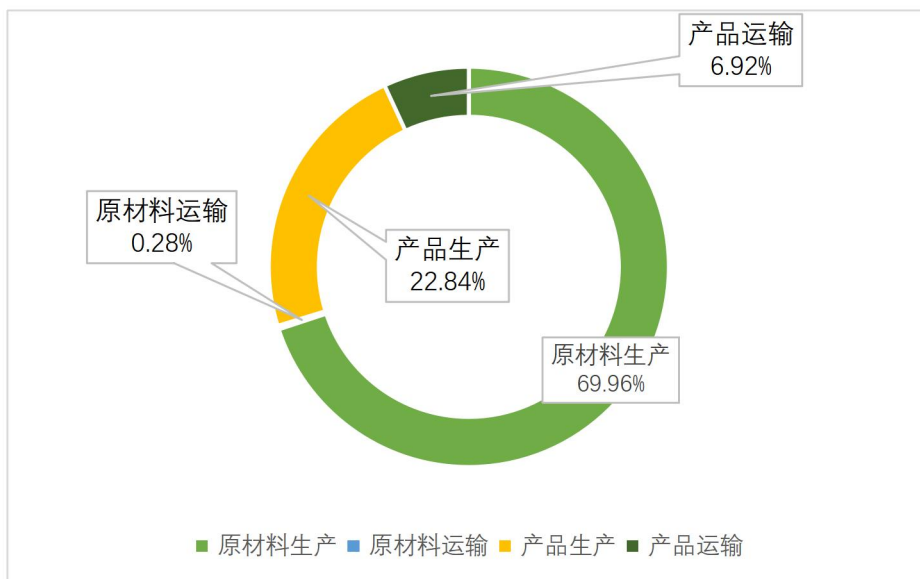


图 5.2 产品碳足迹贡献情况分布图

5.4 碳足迹改进建议

减少产品碳足迹需综合考虑产品全生命周期的各阶段影响，根据以上碳足迹贡献度分析，建议重点加强供应商原材料采购的管理和注重产品的生态设计，以减少原材料获取阶段的碳足迹，具体如下：

（1）绿色供应商管理

公司原材料获取阶段对产品碳足迹贡献最大，依据绿色供应商管理准则进行供应商考核，建立并实施供应商评价准则，加强供应链上对供应商的管理和评价，如要求主要供应商开展 LCA 评价，在原材料价位差异不大的情况下，尽量选取原材料碳足迹小或单位产品耗能较小的供应商，推动供应链协同改进。

（2）产品生态设计

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，以节能绿色为改进方向，减少原材料生产、产品生产阶段的碳足迹。

（3）加强节能管理

加强节能工作，从技术及管理层面提升能源效率，减少能源投入，厂内可考虑实施节能改造，重点提高公用设备的利用率，减少电力的使用量、加强余热回收利用等；

（4）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。

6 不确定性

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：

- a) 使用准确率较高的初级数据，最大程度的使用供应商提供的原始数据；
- b) 对每道工序都进行能源消耗跟踪监测，提高初级数据的准确性。

7 结语

低碳是企业未来生存和发展的必然选择，进行产品碳足迹的核算是实现温室气体管理，制定低碳发展战略的第一步。通过产品生命周期的碳足迹核算，可以了解排放源，明确各生产环节的排放量，为制定合理的减排目标和发展战略打下基础。

附录 A 数据库介绍

(1) **中国产品全生命周期温室气体排放系数库(China Products Carbon Footprint Factors Database)**: 由生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心联合北京师范大学生态环境治理研究中心、中山大学环境科学与工程学院, 在中国城市温室气体工作组(CCG)统筹下, 组织 24 家研究机构的 54 名专业研究人员, 基于公开文献的收集、整理、分析、评估和再计算, 并经过 16 名权威专家评审后公开的中国产品全生命周期温室气体排放系数, 具有较高的科学性、权威性。数据集包括产品上游排放、下游排放、排放环节、温室气体占比、数据时间、不确定性、参考文献/数据来源等信息, 包括能源产品、工业产品、生活产品、交通服务、废弃物处理和碳汇共计 1490 条数据信息。