

青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司  
牺牲阳极产品碳足迹报告



报告编号： CFP2023001

2023 年 02 月 10 日

## 声 明

1. 报告的限定性说明;

- 1) 本报告仅关注气候变化这一种影响类型,采用全球变暖潜值(Global Warming Potential, GWP)来量化产品碳足迹;
- 2) 本报告的碳足迹评价获得的初级数据基于企业实际生产统计数据;
- 3) 当初级数据不可得时,选择了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中国产品全生命周期温室气体排放系数库(China Products Carbon Footprint Factors Database, CPCD)。

2. 报告的生效条件;

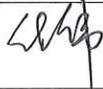
- 1) 若本产品生命周期发生计划外的变化,导致产品生命周期碳足迹变化超过 10%,并历时 3 个月以上,应对有关该产品生命周期内碳足迹重新评价;
- 2) 若产品生命周期碳足迹计划内的变化导致评价结果增加了 5%或以上,而且变化期超过 3 个月,则应对有关该产品生命周期碳足迹重新评价。

3. 报告使用的限制性条件;

本报告是基于特定系统边界条件下对既定产品的碳足迹评价,并不一定适用于同类型产品。

4. 其他必要的声明;

无。

公司名称	青岛双瑞 海洋环境工程股份有限公司		地址	青岛市崂山区株洲路 149-1号					
联系人	韩桂军		联系方式	13730987889					
标准及方法学			《ISO 14067:2018 温室气体.产品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》 《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》						
核算结论									
<p>青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司对青主营产品之一的牺牲阳极产品碳足迹排放量进行核算, 确认如下:</p> <p>1) 核算标准中所要求的内容已在本次工作中覆盖;</p> <p>工作组确认此次产品碳足迹报告符合《ISO 14067: 2018 温室气体.产品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》、《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。</p> <p>2) 单位产品碳排放量为:</p> <table border="1" data-bbox="300 1155 1289 1290"> <thead> <tr> <th>2022 年度</th> <th>单位产品碳排放量 (tCO<sub>2</sub>e/t)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>牺牲阳极</td> <td>13.805</td> </tr> </tbody> </table>						2022 年度	单位产品碳排放量 (tCO <sub>2</sub> e/t)	牺牲阳极	13.805
2022 年度	单位产品碳排放量 (tCO <sub>2</sub> e/t)								
牺牲阳极	13.805								
评价组组长	焦伟	签名		日期	2023 年 02 月 03 日				
评价组组员	牟俊生、孙晓强、韩桂军								
审核	张帅	签名		日期	2023 年 02 月 10 日				
 青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司									

## 目 录

<b>1. 概述</b> .....	<b>1</b>
1.1. 基本情况介绍 .....	1
1.2. 目的 .....	1
1.3. 范围 .....	2
1.4. 准则 .....	3
1.5. 数据取舍规则 .....	3
1.6. 数据质量要求 .....	4
1.7. 次级数据的选择 .....	4
<b>2. 过程和方法</b> .....	<b>4</b>
2.1. 工作组安排 .....	4
2.1.1. 人员安排 .....	4
2.1.2. 时间安排 .....	5
2.2. 文件评审 .....	5
2.2.1. 策略分析 .....	5
2.2.2. 风险评估 .....	6
2.3. 现场评价 .....	6
2.4. 碳足迹报告编写及技术评审 .....	7
<b>3. 数据收集</b> .....	<b>7</b>
3.1. 数据收集方法 .....	7
3.2. 证据材料收集方法 .....	8
3.3. 产品生产过程中的基本信息 .....	8
<b>4. 碳足迹计算</b> .....	<b>9</b>
4.1. 碳足迹识别 .....	9
4.2. 计算表格 .....	10
<b>5. 数据计算</b> .....	<b>11</b>
5.1. 计算公式 .....	11
5.2. 计算结果 .....	11

5.2.1. 原辅材料排放清单 .....	12
5.2.2. 产品生产过程排放清单 .....	14
5.2.3. 碳足迹贡献率 .....	15
<b>6. 不确定分析 .....</b>	<b>16</b>
<b>7. 评价结果 .....</b>	<b>17</b>

## 1. 概述

### 1.1. 基本情况介绍

青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司（简称青岛双瑞）隶属于中国船舶集团第七二五研究所，成立于 2003 年，是专门从事腐蚀控制、水处理、气体处理领域的技术研发、产品设计、生产施工、售后服务、试验检测及工程总承包的高科技产业公司。

公司总部位于青岛市崂山区，下设上海分公司、厦门子公司、香港子公司、新加坡子公司、德国子公司、日本东京和今治办事处、菲律宾培训中心等 8 个分支机构。拥有的全球销售服务网络覆盖亚洲、美洲、欧洲和中东等的 30 多个国家和 100 多个港口，面向全球客户提供优质高效服务。截止到 2022 年，公司员工总数 584 人，本科以上学历占 65% 以上。包括研究员 8 人，高级工程师 86 人；博士 7 人，硕士 158 人。海外留学人员 20 多人。国务院特殊津贴专家、泰山产业领军人才：1 名；美国 NACE CP4 专家：1 名。

公司目前拥有船舶压载水处理、船舶废气处理、腐蚀控制、电解制氯、船用 LNG 双燃料供气系统（FGSS）、海水淡化、市政饮用水消毒等产业板块。

公司拥有国家企业技术中心、国家地方联合工程技术中心等国家级创新平台，是国家火炬计划重点高新技术企业，荣获国家科技进步一等奖、国家优质工程金质奖、国家制造业单项冠军产品、国家战略性新兴产业等奖项，具有国家防腐保温工程专业承包壹级资质。

牺牲阳极是利用阴极保护效应减轻金属设备腐蚀的防护方法，金属 - 电解质溶解腐蚀体系受到阴极极化时，电位负移，金属阳极氧化反应过电位  $\eta_a$  减小，反应速度减小，因而金属腐蚀速度减小，产品外观如下图所示。

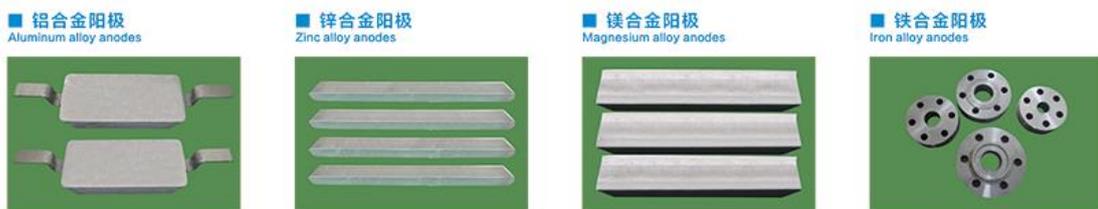


图 1.1 牺牲阳极产品外观图

### 1.2. 目的

本研究的目的是以生命周期评价方法为基础，采用 ISO 14067:2018《温室气体.产

品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》、PAS2050:2011《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，计算牺牲阳极产品的碳足迹。

碳足迹核算是企业实现低碳、绿色发展的基础和关键，披露产品的碳足迹是青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司环境保护工作和社会责任的一部分，也是迈向国际市场的重要一步。本项目的研究结果将为企业牺牲阳极采购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。

本项目研究结果的潜在沟通对象包括两个群体：一是企业内部管理人员及其他相关人员，二是企业外部利益相关方，如上游供应商、地方政府和环境非政府组织等。

### 1.3. 范围

#### 1) 功能单位

为实现本次碳足迹评价的目的，本项目功能单位定义为：生产 1 吨牺牲阳极产品。

#### 2) 环境影响指标

根据研究目标的定义，本报告仅关注气候变化这一种影响类型，采用全球变暖潜值（Global Warming Potential, GWP）来量化产品碳足迹。报告评价的温室气体种类包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物、全氟碳化物、六氟化硫和三氟化氮 7 种。

本研究采用了 IPCC 第六次评估报告（2021 年）<sup>[4]</sup>提出的方法和温室气体特征化因子来计算产品生命周期碳足迹值。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）。表 1-1 中列出了部分温室气体的特征化因子。

表 1-1 GWP 特征化因子

环境影响类型指标	单位	主要清单物质	特征化因子
GWP	kg CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub>	1
		CH <sub>4</sub>	27.9
		N <sub>2</sub> O	273

注：e 是 equivalent 的缩写，意为当量。

#### 3) 系统边界

研究的系统边界为“从摇篮到大门”的类型，调研了青岛双瑞海洋环境工程股份有

限公司生产 1 吨牺牲阳极从原辅材料获取、原辅材料运输、产品生产、产品包装入库等生命周期过程。为满足企业下游客户的需求，还包含产品运输到下游采购方的运输阶段生命周期过程。如图 1.2 所示。

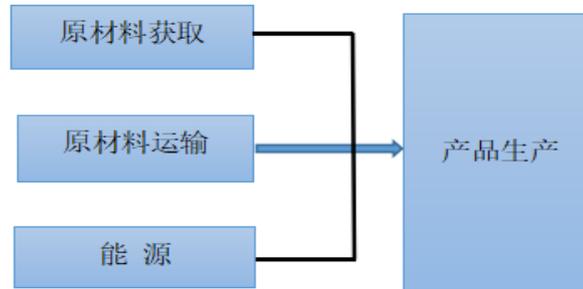


图 1.2 产品系统边界图

表 1-2 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
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 原辅材料生产：</li> <li>✓ 原辅材料运输：</li> <li>✓ 产品生产：</li> <li>✓ 产品包装（无包装）：</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>× 生产设备设施的生产及维修</li> <li>× 产品使用</li> <li>× 产品回收、处置和废弃阶段</li> </ul>

#### 1.4. 准则

评价准则：

- 1) ISO 14064-3:2019 温室气体—温室气体声明审定与核查规范及指南；
- 2) ISO 14067:2018 温室气体 产品碳足迹 量化和通报的要求和指南；
- 3) PAS 2050-2011 商品和服务的生命周期温室气体排放评价规范；
- 4) 其他有关标准化团体或协议规定的准则。

#### 1.5. 数据取舍规则

本研究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、生活设施数据进行忽略；
- 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。

### 1.6. 数据质量要求

为满足数据质量要求，在本报告中主要考虑了以下几个方面：

- 1) 数据准确性：实景数据的可靠程度
- 2) 数据代表性：生产商、技术、地域以及时间上的代表性
- 3) 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，在报告过程中首选来自生产商和上游供应商直接提供的初级数据，本报告的碳足迹评价获得的初级数据基于审核组对现场数据的调查、收集和整理工作获得。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数据库进行替代。

### 1.7. 次级数据的选择

在本项目中，使用的生命周期评价模型是根据实际情况建立。

本评价过程中用到的次级数据（数据库）为中国产品全生命周期温室气体排放系数库（China Products Carbon Footprint Factors Database, CPCD）。介绍如下：

中国产品全生命周期温室气体排放系数库（CPCD）是基于公开文献的收集、整理、分析、评估和再计算，建立了统一的产品碳足迹模型核算、计量和评估产品全生命周期温室气体排放机制的基础数据库，囊括了原材料获取、生产、使用和废弃的整个生命周期。为组织机构、企业和个人精准、快捷、统一化地计算碳足迹、评估产品全生命周期碳排放提供重要依据，对从消费端管理温室气体排放和基于产业链推动碳减排具有重要意义，为中国实现碳达峰碳中和提供重要数据支撑。

## 2. 过程和方法

### 2.1. 工作组安排

#### 2.1.1. 人员安排

2-1 工作组成员及技术评审人员安排

姓名	职责分工
组长	孙浩伟

组员	牟俊生
组员	孙晓强
组员	韩桂军
审核	张帅

## 2.1.2. 时间安排

表 2-1 时间安排

日期	工作安排
2023.02.02	材料收集
2023.02.06	完成碳足迹报告
2023.02.10	审核

## 2.2. 文件评审

### 2.2.1. 策略分析

工作组对碳足迹核查项目的实施进行策略分析，策略分析的输入包括：

- 1) 约定的保证等级、重要性、准则；
- 2) 产品及其测量/监测过程的复杂性；
- 3) 利益相关方、责任方、客户和目标用户之间的组织关系及相互作用；
- 4) 生命周期解释的结果，包括结论和限制性；
- 5) 功能单元或声明单元（更多信息见 ISO 14067）；
- 6) 单元过程的特征；
- 7) 生命周期阶段；
- 8) 取舍规则。

经过策略分析，审核组确认信息如下：

- 1) 本次评价的保证等级为合理保证等级，重要性阈值规定为5%，认证的准则为 ISO 14067:2018《温室气体.产品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》和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》；
- 2) 被评价产品原辅料、能耗清单统计完善；
- 3) 识别被评价产品系统边界内各流程的GHG排放：包括原辅材料获取、原辅材料运输、产品生产。

- 4) 生命周期解释的结果，包括结论和限制性符合相关准则要求；
- 5) 功能单元反映产品实际碳足迹状况，产品间具有可比性；
- 6) 功能单元为1吨牺牲阳极产品，过程清晰、明确；
- 7) 生命周期为从摇篮到大门；
- 8) 本研究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，本项目无忽略的物料。

### 2.2.2. 风险评估

工作组对评价活动有关的潜在错误、遗漏和错误表达的来源和严重性进行评估，包括：

- 1) 出现重要偏差的固有风险；
- 2) 产品生产的控制措施不能防止或发现重要偏差的风险；

本次被评价产品系统边界明确，活动水平数据产生、传递、汇总方式透明、准确，产品生产工艺流程简单，主要GHG活动水平数据证据材料均可获取，且评价的复杂程度为简单，因此本次评价出现以上风险的可能性较低。

综上，评价结果能够满足重要性偏差要求。

### 2.3. 现场评价

本次现场评价主要围绕组织 GHG 管理活动相关政策、规则、程序的运行情况、信息管理系统控制、信息和数据质量以及生产设备设施、计量设备等情况进行，评价过程详见表 2-3。

表 2-3 数据评价表

序号	主要评价内容	评价发现
1	对组织 GHG 管理活动相关政策、规则、程序的运行情况的评价； 1) 边界确定 2) 功能单元的确定 3) 生命周期阶段的确定 4) 排放源识别	被评价产品系统边界范围明确，功能单元符合产品特性，生命周期阶段清晰，排放源识别完整。

	5) 内部质量控制活动	
2	对 GHG 信息管理系统控制进行评价； 1) 查阅被评价单位基本信息 2) 查阅设备设施台账 3) 查阅设备运行记录 4) 查阅产品生产情况台账 5) 查阅管理活动记录 6) 检查 GHG 信息流 7) 检查记录的保存	组织基本信息、设备设施台账、设备运行记录以及生产情况台账齐全，GHG 活动水平数据产生、传递、汇总和报告的信息流，获取方式透明，能够真实反应企业实际情况。
	对 GHG 信息和数据进行评价； 1) 查阅各 GHG 排放源排放量核算相关的活动数据的数据源 2) 查阅各 GHG 排放源排放量排放因子的数据源	主要 GHG 活动水平数据证据材料及交叉核对源数据均可获取，核查对数据源采取 100%收集。
3	查看现场： 1) 针对设备设施清单，查看各类设备设施、计量设备，访谈工作人员，对原始数据的产生进行评价	现场设备设施、计量设备齐全，运行正常，各项活动数据质量高。

## 2.4. 碳足迹报告编写及技术评审

工作组在收集相关资料后，编制了产品碳足迹报告，并将报告提交审核。

## 3. 数据收集

### 3.1. 数据收集方法

本评价在 2023 年 2 月进行企业活动水平数据的调查、收集和整理工作，企业提供的活动水平数据区间为 2022 年 1 月 1 日 0:00~2022 年 12 月 31 日 24:00。

为满足数据质量的要求，并确保计算结果的可靠性，本次评价过程中初级数据首选来自生产商和供应商直接提供的数据。

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，本次评价次级数据来自中国产品全生命周期温室气体排放系数库（China Products Carbon Footprint Factors Database, CPCD）。

### 3.2. 证据材料收集方法

为满足本报告章节 1.6 中对数据质量的要求，确保计算结果的可靠性，本报告单元过程中的清单数据优先使用实际统计的数据或实测数据（初级数据），如无法直接监测，可根据一定规则进行细分或直接使用经验数据代替；对于上游原辅材料的生产的碳足迹，应优先使用委托方供应商的实际生产数据，如不可得，可尽量代表区域平均和特定技术条件下的数据库（次级数据）进行替代，或直接使用章节 1.5 提到的取舍规则进行取舍，并在报告中进行说明。

### 3.3. 产品生产过程中的基本信息

#### (1) 过程基本信息

产品名称：牺牲阳极

过程边界：从原辅材料获取、原辅材料运输，产品生产

#### (2) 数据代表性

主要数据来源：企业2022年1月1日~2022年12月31日实际生产数据

生产企业：青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司

产地：青岛市崂山区株洲路149-1号

基准期：2022年1月1日~2022年12月31日

主要原材料：铁芯、铝锭、锌锭等；

主要能耗：天然气、电力

#### (3) 生产主要工艺介绍

生产工艺流程图如图3.1所示：

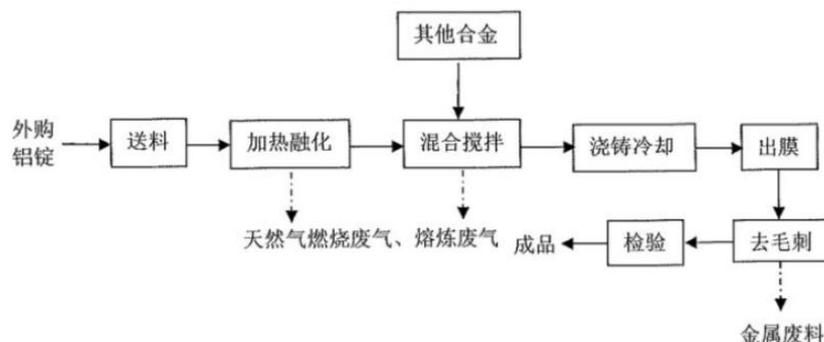


图3.1 牺牲阳极产品生产工艺流程图

主要生产流程介绍：

送料：将外购的铝锭经人工放到送料斗内送入主炉。

加热融化：主炉以天然气为热源对铝锭进行融化（加热温度500-700℃，加热4h），融化后的铝液经导流槽进入辅炉（辅炉主要对铝液起到保温作用，温度一般控制在600-700℃），此工序会产生天然气燃烧废气和熔炼废气。

混合搅拌：融化后的铝液经导流槽进入辅炉的同时，在辅炉内加入镉锭、锌锭等合金，高温溶解，搅拌混匀，此工序会产生天然气燃烧废气和熔炼废气。

浇铸冷却：将搅拌完成的金属溶液经导流槽进入外壳铸铁内部设有耐火材料的浇包，利用吊车将混合液浇铸到带有盖体的模具孔腔内，后经喷淋式水冷却后出模，即为防腐产品牺牲阳极，冷却用水循环使用，根据蒸发量定期补充，不外排。

去毛刺：去除阳极的飞边和毛刺，此工序会产生金属废料。

检验：检查阳极的尺寸、重量、外观以及阳极成分和电化学性能。

## 4. 碳足迹计算

### 4.1. 碳足迹识别

表 4-1 碳足迹过程识别表

序号	主体	活动内容	备注
1	原辅材料获取	原辅材料获取	/
2	原辅材料运输	原辅材料运输	/
3	产品生产过程	能源资源获取	/

4.2. 计算表格

表 4-2 原辅材料获取、运输数据清单

名称	用途	主要材质	数量	单位	排放因子	排放因子单位	排放因子来源	运输方式	运输距离 (km)	排放因子	排放因子单位
牺牲阳极	产品	-	1.00	吨	-	-	-	-	-	-	-
铁芯	原材料	碳素钢	0.15	吨	1.96	tCO <sub>2</sub> /t	CPCD (中国产品全生命周期温室气体排放系数库)	货车运输	67.9	0.000074	kgCO <sub>2</sub> /kg·km
铝锭	原材料	铝	0.83	吨	15.8	tCO <sub>2</sub> /t	CPCD (中国生命周期基础数据库)	货车运输	1217.3	0.000074	kgCO <sub>2</sub> /kg·km
锌锭	原材料	锌	0.04	吨	6.12	tCO <sub>2</sub> /t	CPCD (中国生命周期基础数据库)	货车运输	1131	0.000074	kgCO <sub>2</sub> /kg·km

备注：1、运输排放因子来源于中国产品全生命周期温室气体排放系数库-道路交通（货运）平均。

表 4-3 产品生产过程数据清单

类型	名称	用途	数量	单位	排放因子	单位	排放因子来源
产品	牺牲阳极	产品	1.00	吨	-	-	-
能源资源	电力	能源	130.01	kWh	0.5703	kgCO <sub>2</sub> /kg	2022 年的全国电网排放因子-全国电网平均
能源资源	天然气	能源	142.52	m <sup>3</sup>	0.017	kgCO <sub>2</sub> /kg	CPCD (中国产品全生命周期温室气体排放系数库)

## 5. 数据计算

### 5.1. 计算公式

本报告碳足迹计算公式如下：

$$EP_C = \sum AD_i \times EF_i \times GWP_i$$

式中：

$EP_C$ — 产品碳足迹值；

$AD_i$ — 第  $i$  种初级数据（活动水平数据）；

$EF_i$ — 第  $i$  种次级数据（排放因子）；

$GWP_i$ — 第  $i$  种温室气体的全球变暖潜能值。

### 5.2. 计算结果

基于以上调研数据和计算公式，录入各个过程输入、输出清单数据等工作，结合背景数据，建立产品 LCA 模型并计算得到，生产单位产品从摇篮到大门的碳足迹为 13.805kg CO<sub>2</sub>e，具体如下表所示：

表 5-1 1 吨牺牲阳极产品排放量表

序号	名称	碳足迹 (tCO <sub>2</sub> e)	百分比
1	原辅材料获取	13.65	98.87%
2	原辅材料运输	0.078	0.57%
3	产品生产过程	0.077	0.56%
4	摇篮到大门	13.805	100.00%
5	合计	13.805	100.00%

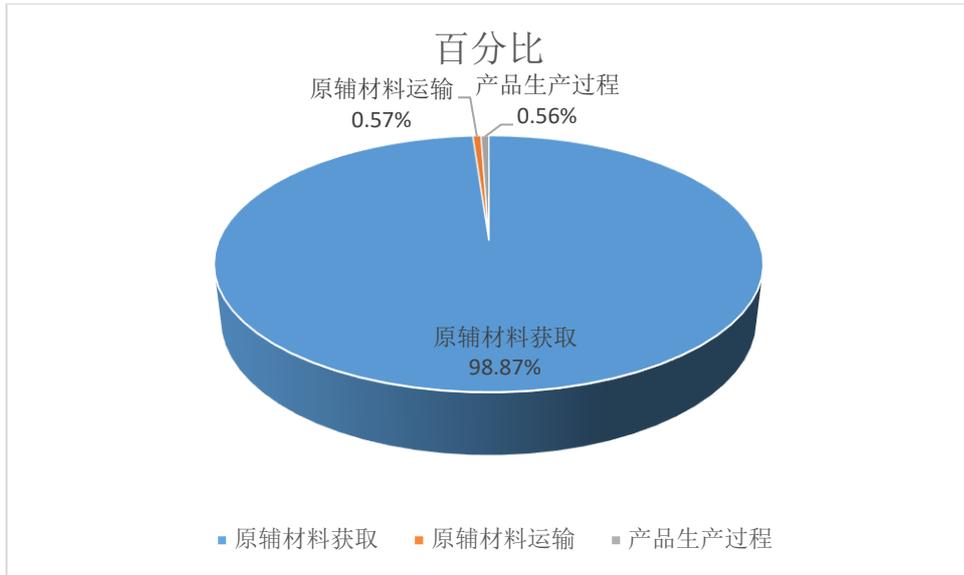


图 5.1 1 吨牺牲阳极产品排放量占比图

由表 5-1 和图 5.1 可知,1 吨牺牲阳极生命周期碳足迹中原辅材料获取占 98.87%, 产品生产过程占 0.56%, 原辅材料运输过程占 0.57%。由此可见, 原辅材料获取环节对全生命周期碳足迹贡献最大。

### 5.2.1.原辅材料排放清单

表 5-2 原辅材料排放清单

序号	名称	碳足迹 (kgCO <sub>2</sub> e)	百分比
1	原材料获取	13.65	99.43%
2	辅助材料获取	0	0.00%
3	原材料运输	0.078	0.57%
4	辅助材料运输	0	0.00%
5	合计	13.728	100.00%

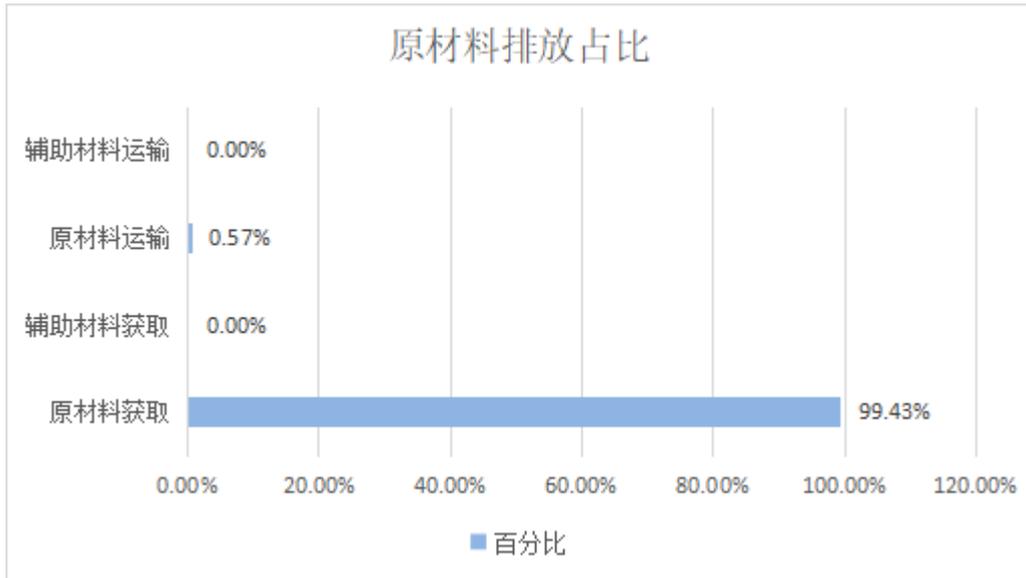


图 5.2 原辅材料排放占比图

由表 5-2 和图 5.2 可知,原材料获取环节对原辅材料碳足迹贡献最大,占比 99.43%。

原材料各依据不同材质的排放情况如下表所示:

表 5-3 原材料不同材质排放清单

序号	材质名称	碳足迹 (tCO <sub>2e</sub> )	百分比
1	碳素钢	0.30	2.15%
2	铝	13.11	96.05%
3	锌	0.24	1.80%
4	合计	13.65	100.00%

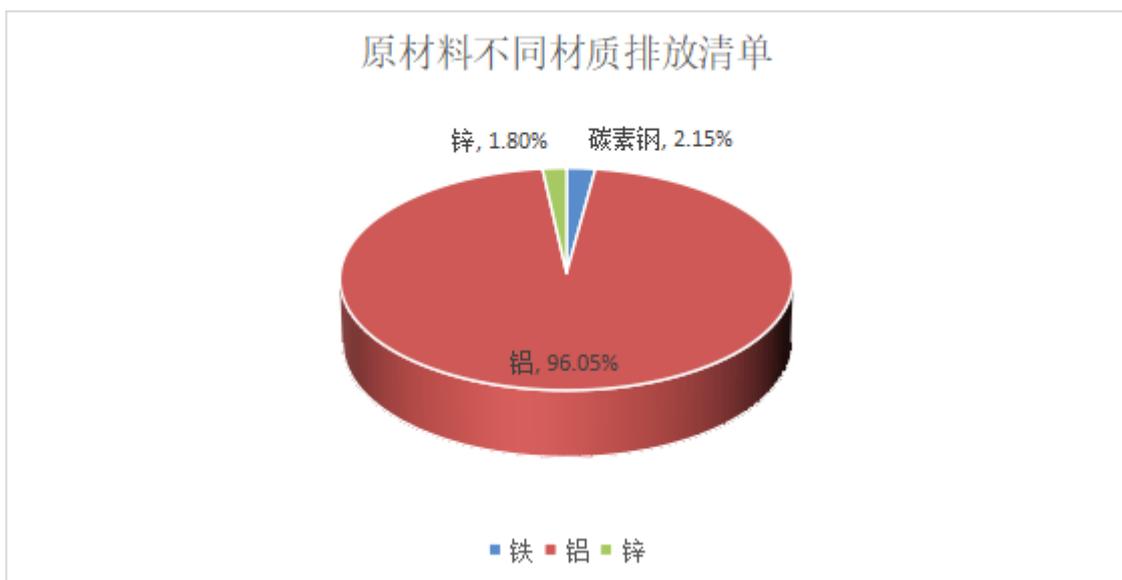


图 5.3 原材料不同材质排放占比图

由表 5-3 图 5.3 可知，原材料获取碳足迹排放中，按照材质区分，铝锭排放最大，占比 96.05%；铁芯和锌锭排放次之，占比分别为 2.15%、1.80%。各原材料的碳足迹排放情况如下表所示：

表 5-4 原材料排放清单

序号	材料名称	碳足迹 (tCO <sub>2</sub> e)	百分比
1	铁芯	0.30	2.15%
2	铝锭	13.11	96.05%
3	锌锭	0.24	1.80%
4	合计	13.65	100.00%

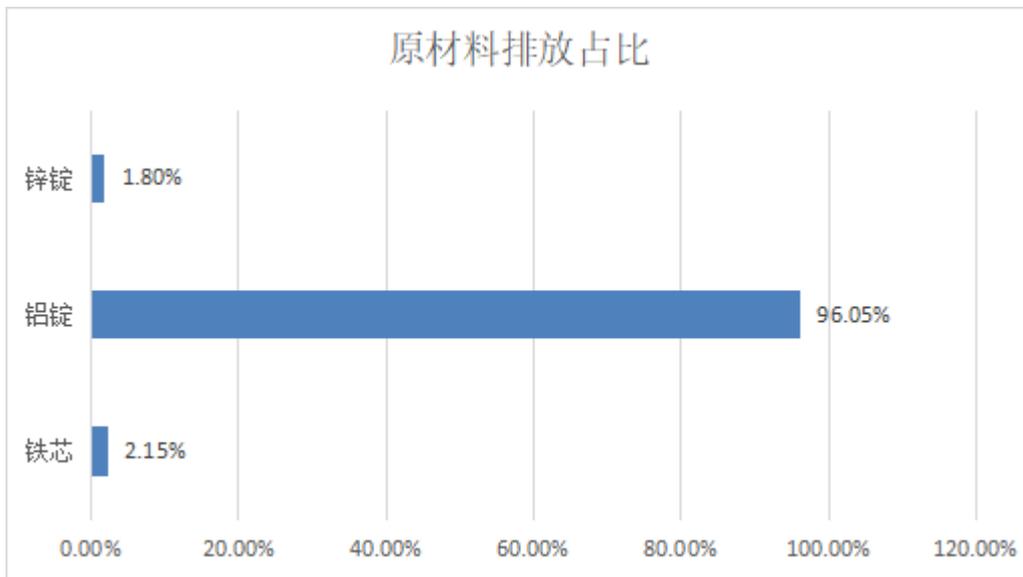


图 5.4 原材料排放占比图

结合表 4-2、表 5-3、表 5-4 和图 5.3、图 5.4 可知，铝锭为原材料获取碳足迹排放占比最大的材质，主要材质为铝锭在原材料获取的碳足迹排放中位列第一，达到 96.05%，因此，铝锭的碳足迹对原辅材料获取的碳足迹排放贡献最大。

### 5.2.2. 产品生产过程排放清单

表 5-5 产品生产过程排放清单

序号	名称	碳足迹 (kgCO <sub>2</sub> e)	百分比
1	电力	74.14	96.84%
2	天然气	2.42	3.16%
3	合计	76.57	100.00%

由表 5-5 可知，产品生产过程中消耗电力为主，占比为 96.84%。

### 5.2.3. 碳足迹贡献率

表 5-6 碳足迹贡献率

名称	碳足迹 (tCO <sub>2</sub> e)	贡献率 (%)
原材料获取	13.65	98.87%
其中：铝锭	0.30	2.10%
铁芯	13.11	94.97%
锌锭	0.24	1.74%
产品生产过程	0.077	0.56%
能源资源：电力	0.074	0.00%
能源资源：天然气	0.002	0.00%
辅助材料获取	0.00	0.00%
原辅材料运输	0.078	0.57%
辅助材料运输	0.00	0.00%
合计	13.805	100.00%

由表 5-1 至 5-6、图 5.1 至图 5.4 可知，牺牲阳极原材料获取占全生命周期碳足迹的 98.87%。产品生产过程占 0.56%，原辅材料运输过程占 0.57%。由此可见，原材料获取环节对全生命周期碳足迹贡献最大。其中原材料获取中主要材质为铁芯、铝锭、锌锭占原辅材料获取碳足迹的前三，三者占比达到全生命周期碳足迹的 98.87%；产品生产过程的碳足迹排放主要为电力消耗的排放，少量天然气消耗对应的排放。

所以为了减小牺牲阳极的碳足迹，应重点考虑减少牺牲阳极产品生产过程中原材料的使用量或者更换绿色低碳材料进行生产；另外，牺牲阳极产品生产过程的碳足迹贡献率也相对较大，降低生产过程中能源消耗，也是降低产品碳足迹的一个重要的途径。为减小产品碳足迹，建议如下：

- 1) 优化生产工艺，在企业可行的条件下，降低原材料的消耗量，特别是铝锭材质原材料的消耗量，或者更换绿色低碳材料生产，可大幅度降低产品的碳足迹；
- 2) 加强企业上游供应商碳排放相关管理，可要求供应商进行碳足迹认证，实施相关措施减少其产品的碳排放量，打造绿色供应链的相关制度，推动供应链协同改进，推进产业链的绿色设计发展；
- 3) 供应商选择时考虑运输距离对碳足迹的影响，减少运输碳排放量，在企业可

行的条件下，就近选择产品运输距离短的供应商，优化物流运输方式，也可以一定程度的减少产品的碳足迹；

4) 推动生产过程的节能减排，采取提高设备能效等降低电力消耗的措施，减少能源使用的碳足迹；

5) 继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。

## 6. 不确定分析

不确定性来自于初级数据（活动水平数据）的不确定性和次级数据（排放因子）的不确定性。初级数据不确定性选择原则为：经核查的企业实测数据不确定性为±2%，企业估算数据不确定性为±3%。次级数据（排放因子）不确定性选择原则为：企业实测数据不确定性为±2%，指南及数据库推荐数据不确定性为±4%。

牺牲阳极的原辅材料消耗量、生产过程的水平数据来自经核查的企业实测值，其不确定性定为±2%；原辅材料和产品的运输数据为企业估算的数据，其不确定性为±3%；牺牲阳极碳足迹计算的排放因子数据都采用指南及数据库推荐者，其不确定性为±4%。

本报告采用简单的误差传递公式，主要包括两个误差传递公式，一是加减运算的误差传递公式，二是乘除运算的误差传递公式。当某一估计值为 n 个估计值之和或差时，该估计值的不确定性采用公式（1）计算：

$$U_c = \frac{\sqrt{(U_{s1} \cdot \mu_{s1})^2 + (U_{s2} \cdot \mu_{s2})^2 + \dots + (U_{sn} \cdot \mu_{sn})^2}}{|\mu_{s1} + \mu_{s2} + \dots + \mu_{sn}|} = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N (U_{sn} \cdot \mu_{sn})^2}}{\left| \sum_{n=1}^N \mu_{sn} \right|} \quad (1)$$

式中：

$U_c$                     n个估计值之和或差的不确定性（%）

$U_{s1} \dots U_{sn}$         n个相加减的估计值的不确定性（%）

$\mu_{s1} \dots \mu_{sn}$         n个相加减的估计值

当某一估计值为n个估计值之积时，该估计值的不确定性采用公式（2）计算：

$$U_c = \sqrt{U_{s1}^2 + U_{s2}^2 + \dots + U_{sn}^2} = \sqrt{\sum_{n=1}^N U_{sn}^2} \quad (2)$$

式中：

$U_c$ ： n个估计值之积的不确定性（%）

$Us1...Usn$ ： n个相乘的估计值的不确定性（%）

根据误差传递公式(1)和(2)，计算得出牺牲阳极碳足迹的总不确定性为±4.26%，

具体如下表所示：

表 6-1 碳足迹不确定性

名称	活动水平数据不确定性	排放因子不确定性	碳足迹 (tCO <sub>2e</sub> )	碳足迹不确定性
原辅材料获取	±2%	±4%	13.65	±4.47%
原辅材料运输	±3%	±4%	0.078	±5.00%
产品生产过程	±2%	±4%	0.077	±4.47%
合计	/	/	13.805	±4.42%

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以及次级数据的选择，

减少不确定性的方法主要有：

- 1) 使用准确率较高的初级数据；
- 2) 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；
- 3) 加强上游供应商的产品碳足迹认证，原辅材料采用其实际的上游数据。

## 7. 评价结果

牺牲阳极从摇篮到大门的碳足迹为 13.805 tCO<sub>2e</sub>。其中原材料获取环节对碳足迹贡献最大，占比达到 98.87%；其次是原辅材料运输过程及产品生产过程，占比分别为 0.57%、0.56%。