

盐城市金洲机械制造有限公司

齿轮产品碳足迹报告

委托方：盐城市金洲机械制造有限公司

受托方：北京耀阳高技术有限公司

2025 年 7 月



目 录

执行摘要	1
1. 产品碳足迹介绍（CFP）介绍	2
2. 目标与范围定义	3
2.1 金洲机械及其产品介绍	3
2.2 研究目的	4
2.3 研究范围	4
2.3.1 功能单位	4
2.3.2 系统边界	5
2.3.3 取舍准则	5
2.3.4 影响类型和评价方法	6
2.3.5 软件和数据库	6
2.3.6 数据质量要求	7
3. 过程描述	7
3.1 齿轮 生产	7
3.2 电力获取排放因子	10
4. 结果分析与讨论	10
4.1 齿轮 的碳足迹按物质获取展示	11
4.2 齿轮 的碳足迹按过程展示	11
4.3 齿轮 生产的灵敏度分析	12
5. 结论	12

执行摘要

本项目受盐城市金洲机械制造有限公司（以下简称“金洲机械”）委托，由北京耀阳高技术有限公司执行完成。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，计算得到盐城市金洲机械制造有限公司生产的齿轮 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 1 只齿轮 。系统边界为“从摇篮到大门”类型，现场调查了金洲机械从原材料进厂到齿轮 产品出厂的过程，资源、能源等数据来源于数据库。

齿轮 产品的碳足迹分析见第四章。报告中对生产齿轮 产品消耗的原辅料进行了分析、各生产工序对碳足迹贡献比例做了分析、对其生产的灵敏度进行了分析。从分析结果来看，金洲机械生产 1 只齿轮 的碳足迹为 17.5917kgCO₂e。齿轮 生产生命周期过程中，资源的获取过程对碳足迹贡献较大，占齿轮 碳足迹的 90%；能源获取过程次之，占 10%。

研究过程中，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。现场调查了金洲机械从原材料进厂到齿轮 出厂的过程。大部分国内生产的大宗原材料的数据来源于 CLCD 数据库，此数据库由成都亿科环境科技有限公司自主开发，代表了中国基础工业平均水平，CLCD 数据库缺乏的原材料数据由 Ecoinvent 提供，中国的混合电力生产的数据来源于 CLCD 数据库。本研究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 eFootprint 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。

1. 产品碳足迹介绍（CFP）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（Carbon Footprint of Products, CFP）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（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、氢氟碳化物（HFC）和全氟化碳（PFC）等^[1]。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（CO₂e）表示，单位为 kg CO₂e 或者 g CO₂e。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^[2]。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 金洲机械及其产品介绍

盐城市金洲机械制造有限公司成立于 2004 年 4 月，注册资本 2350 万元，占地面积 69 亩，年产各类齿轮、齿圈、行星架 200 万件，年产能 3 亿元。公司现有员工 220 人，其中工程技术人员 30 人，高级工程师 2 人，外聘教授 2 人，外籍院士 1 人。专业生产齿轮、齿圈、行星架等减速机、工程机械及机器人核心零部件。产品主要销往意大利邦飞利、普曼普、美国德纳、三一重机及南京埃斯顿、沈阳新松等国内外知名减速机及机器人生产企业，连年获评各大企业的优秀供应商和战略合作伙伴；公司先后与西北工业大学、中国矿业大学、南京航空航天大学等知名院校建立了长期产学研合作协议，建有江苏省企业技术中心，江苏省工业设计中心，2021 年获批国家级专精特新小巨人企业，2023 年获批省五星级上云企业，今年上半年建成省级智能车间。

公司现有日本龙泽数控机床、DOOSAN 立车、DMC 加工中心、KAP 蜗杆磨齿机、德国 EMAG 成型磨齿机、数控车削复合中心、数控弧齿锥齿轮铣齿机、数控弧齿锥齿轮磨齿机、AICHELIN 渗碳淬火炉、ZEISS 三坐标及克林贝格齿轮测量中心、MES 生产执行系统等国内外先进的齿轮加工及检测设备 200 余台，建有 CNC 加工、齿形加工及热处理三条标准化齿轮生产线，具备年产 300 万件齿轮、齿圈及行星架的生产能力。以过硬的产品质量和良好的售后服务赢得了国内外用户的一致赞誉。

近三年经营情况汇总表

年度	总资产 (万元)	固定资产 (万元)	营业收入 (万元)	产量 (只)	产值 (万元)	利润总额 (万元)
2024 年	202,088,293.47	190,356,205.22	80,098,966.83	1,318,552	184,248,000	11,481,160.73
2023 年	196,815,515.21	180,041,331.68	96,320,161.28	1,132,868	153,472,000	1,481,404.50
2022 年	168,529,863.58	133,341,179.97	134,059,458.49	1,663,659	244,845,000	13,273,473.74

2.2 研究目的

本研究的目的是核算金洲机械生产的齿轮 产品全生命周期过程的碳足迹，为第三方碳足迹认证提供详细信息和数据支持。

碳足迹核算是金洲机械实现低碳、绿色发展的基础和关键，披露产品的碳足迹是金洲机械环境保护工作和社会责任的一部分，也是金洲机械迈向国际市场的重要一步。本项目的研究结果将为齿轮 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：一是金洲机械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、下游采购商、地方政府和环境非政府组织等。

2.3 研究范围

根据本项目研究目的，按照 PAS 2050^[3]和 ISO 14067^[4]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。

2.3.1 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 1 只齿轮 。

2.3.2 系统边界

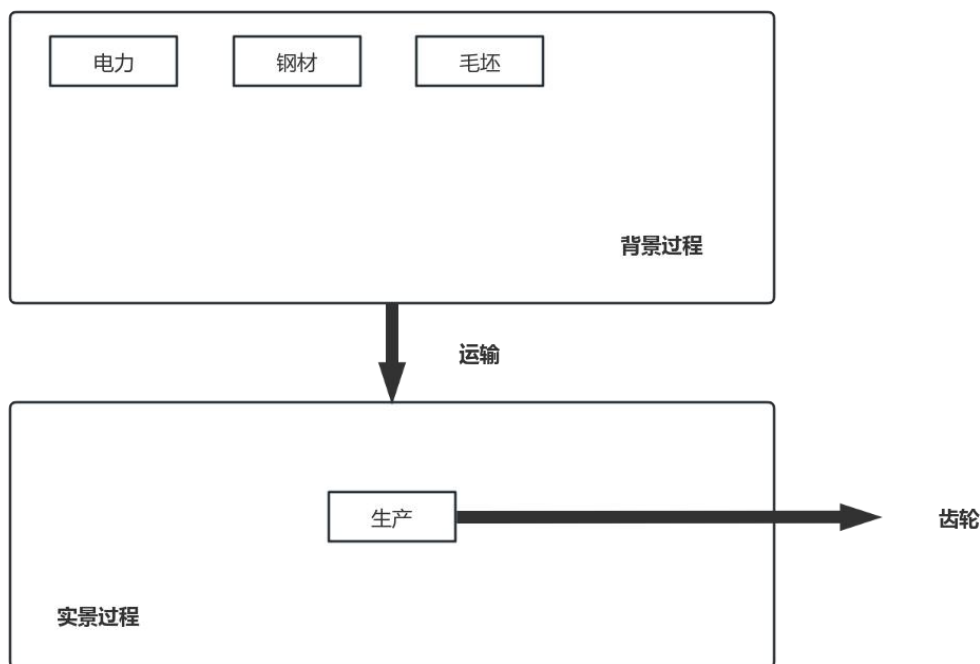


图 1.1 齿轮 生产系统边界图

在这项研究中，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，齿轮 的系统边界见下表：

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
✓ 齿轮 生产的生命周期过程包括：原辅料接受——能源获取——生产	✓ 资本设备的生产及维修
✓ 中国的电力、钢材、毛坯的生产	✓ 产品的运输、销售和使用
	✓ 产品回收、处置和废弃阶段

2.3.3 取舍准则

本研究采用的取舍准则为：

- 各生产单元过程物料与产品的重量比小于 1%，且上游数据不可得的物料被忽略
- 各生产单元过程物料与产品的重量比小于 1%，且上游数据可得的物料不被忽略
- 各生产单元过程物料与产品的重量比大于 1%，且上游数据不可得的物料

采用按化学成分近似替代

- 来自于上游的低价值物料，如矿渣、炉渣等

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，因此无忽略的物料。

2.3.4 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），四氟化碳（CF₄），六氟乙烷（C₂F₆），六氟化硫（SF₆），氢氟碳化物（HFC）和哈龙等。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 CO₂ 当量（CO₂e）。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（CO₂e）为基础，甲烷的特征化因子就是 25kg CO₂e^[6]。

2.3.5 软件 and 数据库

本研究采用 eFootprint 软件系统，建立了齿轮 产品生命周期模型，并计算得到 LCA 结果。eFootprint 软件系统是由亿科环境科技有限公司研发的在线 LCA 分析软件，支持全生命周期过程分析，并内置了中国生命周期基础数据库（CLCD）、欧盟 ELCD 数据库和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

研究过程中用到的数据库，包括 CLCD 和 Ecoinvent 数据库，数据库中生产和处置过程数据都是“从摇篮到大门”的汇总数据，分别介绍如下：

中国生命周期基础数据库（CLCD）由成都亿科环境科技有限公司开发，是一个基于中国基础工业系统生命周期核心模型的行业平均数据库。CLCD 数据库包括国内主要能源、交通运输和基础原材料的清单数据集，其中电力（包括火力发电和水力发电以及混合电力传输）和公路运输被本研究所采用。2009 年，CLCD

数据库研究被联合国环境规划署 (UNEP) 和联合环境毒理学与化学协会 (SETAC) 授予生命周期研究奖。

Ecoinvent 数据库由瑞士生命周期研究中心开发, 数据主要来源于瑞士和西欧国家, 该数据库包含约 4000 条的产品和服务的数据集, 涉及能源, 运输, 建材, 电子, 化工, 纸浆和纸张, 废物处理和农业活动等。<http://www.Ecoinvent.org>

2.3.6 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:

- 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, 代表企业2024年生产水平
- 模型一致性: 采用的方法和系统边界一致性的程度

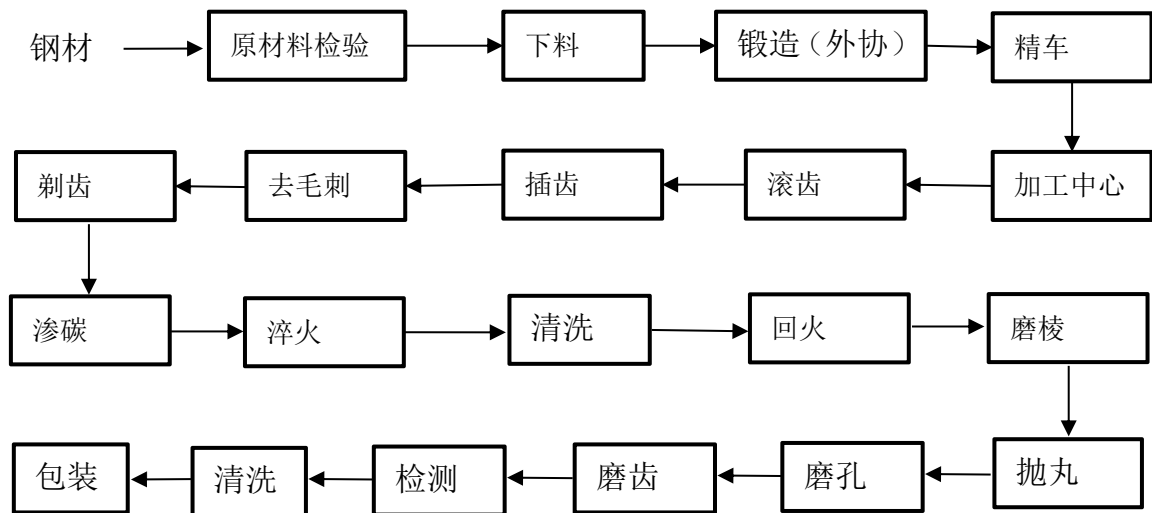
为了满足上述要求, 并确保计算结果的可靠性, 在研究过程中首选来自生产商和供应商直接提供的初级数据, 其中企业提供的经验数据取平均值, 本研究在2025年6月进行企业现场数据的调查、收集和整理工作。当初级数据不可得时, 尽量选择代表区域平均和特定技术条件下的次级数据, 次级数据大部分选择来自CLCD数据库和Ecoinvent数据库; 当目前数据库中没有完全一致的次级数据时, 采用近似替代的方式选择CLCD数据库和Ecoinvent数据库中数据。数据库的数据是经严格审查, 并广泛应用于国际上的LCA研究。各个数据集和数据质量将在第4章对每个过程介绍时详细说明。

现场过程温室气体的直接排放量为次级数据, 全由标准或文献中的公式计算得到。

3. 过程描述

3.1 齿轮 生产

工艺流程图如下,



生产工艺流程示意图

工艺流程简述：

(1) 下料、锻造（外协）：毛坯经金属带锯床下料后送至外协单位进行锻造。

(2) 精车：使用数控车床对下料后的工件进行精加工，加工过程使用切削液喷洒于精加工接触面，起到润滑、降温的效果。

(3) 加工中心：精车处理后的工件去加工中心进行钻孔等加工，加工过程使用切削液喷洒于加工接触面，起到润滑、降温的效果。

(4) 滚齿：使用滚齿机对工件进行滚齿加工，加工过程使用切削油喷洒于滚齿接触面，起到润滑、降温的效果。

(5) 插齿：加工后的工件使用插齿机进行插齿加工，加工过程使用切削油喷洒于插齿接触面，起到润滑、降温的效果。

(6) 去毛刺：利用砂轮片等对产品表面带毛刺的地方进行打磨。

(7) 剃齿：使用剃齿机对工件进行剃齿加工，加工过程使用剃齿油喷洒于滚齿、剃齿接触面，起到润滑、降温的效果。

(8) 渗碳：渗碳包含 3 个基本过程。①分解：渗碳介质甲醇、液化石油气的分解产生活性碳原子。②吸附：活性碳原子被钢件表面吸收后即溶到表层奥氏体中，使奥氏体中含碳量增加。③扩散：表面含碳量增加便与心部含碳量出现浓度差，表面的碳遂向内部扩散。碳在钢中的扩散速度主要取决于温度，同时与工件中被渗元素内外浓度差和钢中合金元素含量有关。多用炉（电加热）通入氮气

(缓冲罐)进行置换,置换合格后,电加热到 850~920℃时,甲醇、液化石油气经管道通入多用炉中渗碳,其中甲醇通过离地 4 米高,约 0.98m³的金属容器,靠自重由金属管道传输至流量计后进入炉内,高温下燃烧分解生成 CO、H₂ 等用于渗碳,分解过程不需使用催化剂,尾气经燃烧装置(4m 高火炬)燃烧处理后排放。

(9) 淬火:渗碳后的工件采用淬火油冷却淬火,淬火油循环使用,定期补加,不外排。项目淬火工序也在箱式多用炉中进行,多用炉淬火为间歇式淬火。淬火的目的是使过冷奥氏体进行马氏体或贝氏体转变,得到马氏体或贝氏体组织。

(10) 清洗:渗碳、淬火后的工件通过清洗机使用水性清洗剂和水进行清洗(清洗剂与水配比为 1:12),清洗后自然晾干。

(11) 回火:项目使用 3 台回火炉(采用电加热),将经过渗碳淬火、清洗的齿轮重新加热到低于临界温度的适当温度 2000 摄氏度至 6000 摄氏度,通常 3000 摄氏度,保温一段时间后以一定的速率自然冷却下来,可促使一部分碳化物析出,同时可消除一部分因急速冷却所造成之残留应力,以提高材料韧性与柔性。

(12) 磨棱:采用倒角机和倒棱刀挤棱的方式加工的倒角。

(13) 抛丸:抛丸是一个冷处理过程,利用高速运动的弹丸流连续冲击被强化工件表面,迫使半成品表面和表层在循环性变形过程中发生以下变化,显微组织结构发生改性,非均匀的塑变外表层引入残余压应力,内表层生产残余拉应力;外表面粗糙发生变化,可提高材料/零件疲劳断裂抗力,防止疲劳失效,塑性变形与脆断,提高疲劳寿命。

(14) 磨孔:磨孔是孔的精加工方法之一。首先需要对待加工的工件内孔进行精确测量,以确定其尺寸和形状误差,从而选择相应的磨削刀具和砂轮。在内圆磨床工作台上安装好待加工的工件,调整好刀具和刀轴的位置,进行内孔加工。

(15) 磨齿:抛丸后的工件使用磨齿机进行磨齿加工,加工过程使用机械油喷洒于磨齿接触面,起到润滑、降温的效果。

(16) 检测:通过对产品的检测,将测定结果与质量标准进行比较,作出合格与否的判定。

(17) 清洗包装:使用通过清洗机,将工件放入清洗框内,通过轨道进入清

洗区（清洗剂与水配比为：1:12），清洗掉工件上的杂质，清洗时间约 5min/次；防锈油涂抹在产品表面后使用塑料薄膜包装入库。

齿轮 生产工序数据清单见下表：

表 3.1 齿轮 生产数据清单

类型	清单	用途	单耗	单位
产品	齿轮	主产品	1	只
消耗	电	能源	3.1857	kWh
	钢材	原材料	0.4326	Kg
	毛坯	原材料	0.4208	只

3.2 电力获取排放因子

金洲机械位于江苏省，本次调研达因产品生产用电来源于江苏市政电网，代表 2022 年全国电网平均排放因子。通过 eFootprint 计算获取 1kwh 电力排放 0.5703kg CO₂e。

4. 结果分析与讨论

将清单数据用 eFootprint 计算得到生产 1 只齿轮 的碳足迹为 17.5917kgCO₂e。

表 4.1 齿轮 碳足迹

序号	物质	GWP (kgCO ₂ e)
1	齿轮	17.5917
2	电	1.8168
3	钢材	1.0469
4	毛坯	14.7280

4.1 齿轮 的碳足迹按物质获取展示

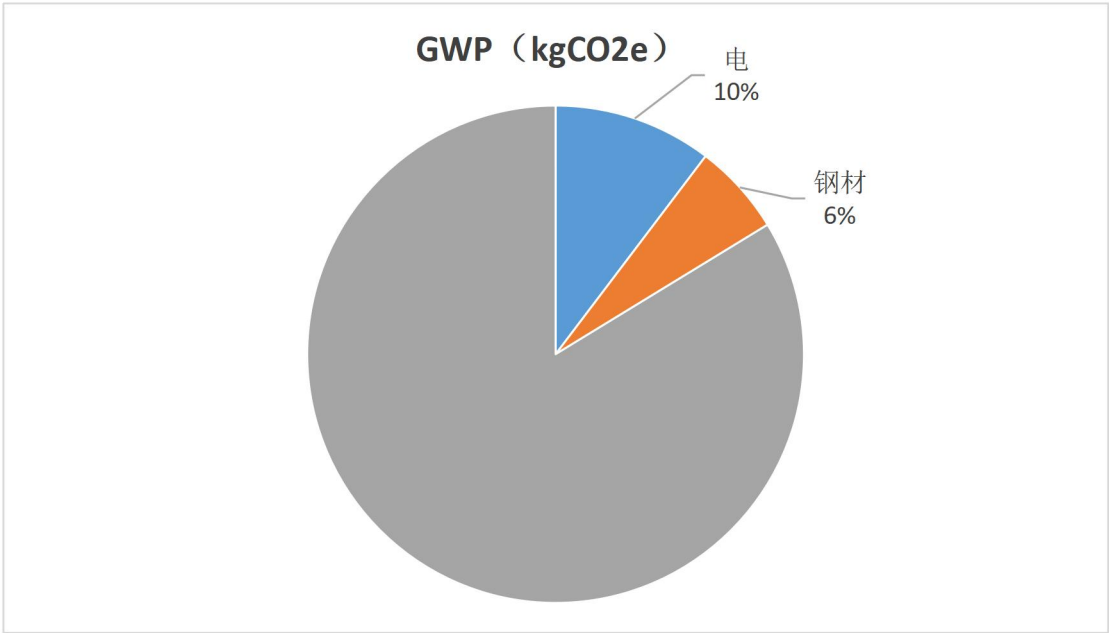


图 4.1 齿轮 的碳足迹按物质获取展示

由图可知，齿轮 产品生命周期物质获取中，毛坯对其 GWP 贡献最大占 84%；电力资源的获取占 10%，钢材占 6%。

4.2 齿轮 的碳足迹按过程展示

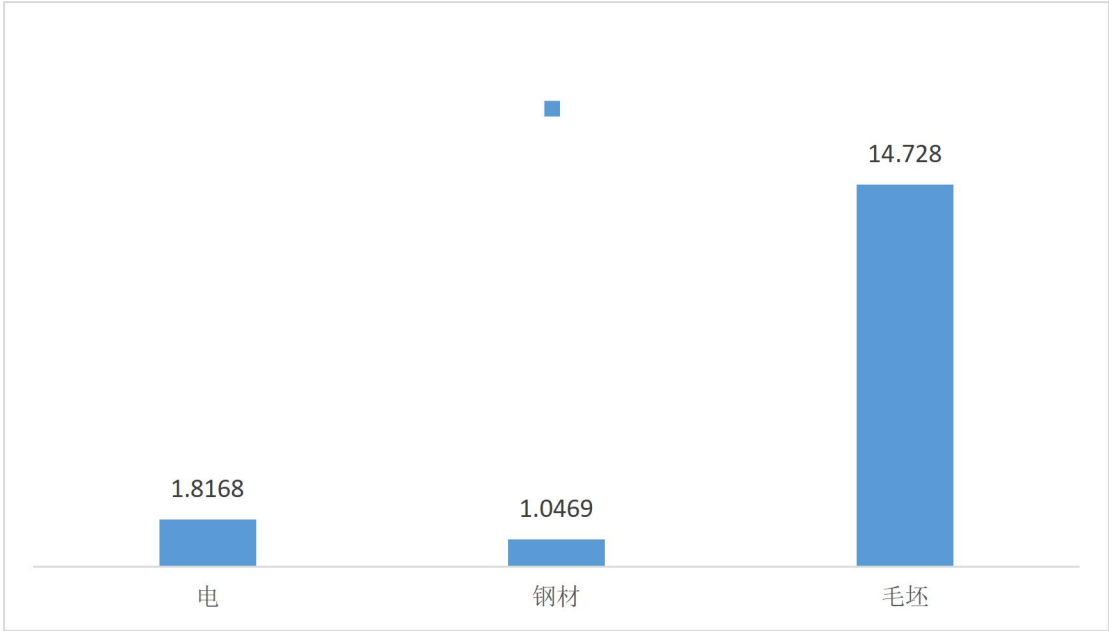


图 4.2 齿轮 生命周期各过程碳足迹贡献比例

上图展示了齿轮 产品生命周期各过程碳足迹贡献比例的情况，可知资源的

获取过程对碳足迹贡献较大，占齿轮 碳足迹的 90%；能源获取过程次之，占 10%。

4.3 齿轮 生产的灵敏度分析

齿轮 生产生命周期过程，不同物料和能源等获取对齿轮 碳足迹的贡献大小见表。

表 4.2 齿轮 生产不同过程碳足迹贡献识别

过程	清单	对 GWP 贡献
1	电	10%
2	钢材	6%
3	毛坯	84%

5. 结论

通过以上分析可知，金洲机械生产 1 只**齿轮** 的碳足迹为 17.5917kgCO₂e。
齿轮 生产生命周期过程中，资源的获取过程对碳足迹贡献较大，占齿轮 碳足迹的 90%；能源获取过程次之，占 10%。为减小产品碳足迹，建议如下：

- 现场调查毛坯供应商生产工艺，促进供应商环境绩效的提升；
- 对原材料的生产过程进行现场调研，并计算不同企业产品碳足迹，选择生产工艺更低碳的企业作为供应商，建立企业自身的绿色供应链；
- 针对企业自身提供清洁生产水平，减少能源的消耗。

References:

- [1]. BSI, The Guide to PAS 2050: 2011, How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain.
- [2]. Product Carbon Footprint Memorandum, Position statement on measurement and communication of the product carbon footprint for international standardization and harmonization purposes, Berlin, December 2009.
- [3]. PAS 2050: 2011-Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services[J]. Department for Environment, Food and Rural Affairs, & British Standards Institution: United Kingdom, 2011: 2-12.
- [4]. ISO/TS 14067: 2013, Greenhouse Gases—Carbon Footprint of Products — Requirements and Guidelines for Quantification and Communication[J]. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2013.
- [5]. IPCC 2007: the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.