

冰轮环境技术股份有限公司

NH₃/CO₂ 复合制冷机组

2023 年产品碳足迹报告

完成单位（公章）：山东正向国际低碳科技有限公司

报告日期：2024 年 4 月 23 日



目 录

目 录	2
一、前言	3
二、评价目的	4
三、评价过程和方法	7
3.1 评价标准	7
3.2 工作组安排	7
3.3 评价流程	8
3.3.1 文件评价	8
3.3.2 现场访问	8
3.3.3 报告编写及内部技术复核	9
四、评价范围	9
4.1 企业基本情况	9
4.2 评价对象	12
4.3 系统边界	12
4.3.1 时间边界	12
4.3.2 排放源边界	12
4.3.3 生命周期模式	13
五、清单分析	13
5.1 生产技术	13
5.2 清单分析	20
六、数据收集	22
6.1 数据取舍原则	22
6.2 数据质量要求	22
6.3 软件与数据库	23
6.4 数据收集	24
七、产品碳足迹的计算结果	25
7.1 产品碳足迹结果	25
7.2 敏感性分析	26
八、不确定性分析	27
8.1 分析方法	27
8.2 不确定性分析结果	30
九、结论	31
十、节能减排建议	31
附录	33
附录 1 产品碳足迹评价声明	33
附录 2 文件清单	34

一、前言

全球气候系统正在发生重要的变化，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在 2014 年发布的 IPCC 第五次评估报告中确认世界各地都在发生气候变化，而气候系统变暖是毋庸置疑的。报告明确指出人类对气候系统的影响是明确的，而且这种影响在不断增强，在世界各个大洲都已观测到种种影响。如果任其发展，气候变化将会增强对人类和生态系统造成严重、普遍和不可逆转影响的可能性。

“碳足迹”（Carbon footprint）被用来描述产品或服务从生产、消费到废弃的整个生命周期过程中温室气体的排放量。有效地控制碳足迹，既可以减少温室气体的排放量，减少对环境的影响，又可以节约能源的消耗。有效的碳信息汇报和碳减排已成为各生产型企业控制生产成本、提高企业竞争力的方法，在社会各界中逐渐达成了可持续发展的共识。

“十三五”规划中也提到要主动控制碳排放，有效控制碳排放总量，2016 年 10 月，为加快推进绿色低碳发展，确保完成“十三五”规划纲要确定的低碳发展目标任务，推动我国二氧化碳排放 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰，国务院印发了《“十三五”控制温室气体排放工作方案》，温室气体控排力度进一步加大，对企业碳管理提出更高的要求。碳足迹评价在企业碳管理过程中具有极其重要的作用，是实现节能减排必须解决的问题。

冷冻冷藏制冷装备是人类活动中不可或缺的重要组成部分，制冷

装备加工行业在国民经济中占有重要地位，其对于人类经济和社会发展有着重大的现实意义。对相关企业而言，率先实施碳足迹核算和评估，无疑是最好的选择。碳足迹核算与评估有助于企业了解碳足迹相关政策与法规和碳足迹的核算原则和过程；在碳足迹交易市场上把握先机，从中获益；改善能源效益，节省长远开支；未雨绸缪，迎接国家法律和贸易壁垒的挑战；吸引新顾客，保留老顾客，在市场竞争中脱颖而出；履行社会责任，树立良好企业形象；实施简单，成本低廉。

二、评价目的

冰轮环境技术股份有限公司（股票代码：000811），始创于 1956 年，是多元化、国际化的综合性装备工业集团企业。主营业务涵盖低温冷冻、中央空调、环保制热、能化装备、精密铸件、氢能装备、数智服务等产业集群。近年来冰轮先后荣膺中国机械工业核心竞争力 30 佳、中国机械工业 100 强、中国工商制冷空调行业排头兵企业、装备中国功勋企业、保护臭氧层示范企业等称号。长期以来，冰轮环境以持续的技术和管理创新，推动资源的不断优化及核心能力再造，加快国际化拓展步伐，深入推进战略转型，已经从传统制造型企业转变为具有较强竞争力的规模大、覆盖面广、业务链完善、综合研发能力强的现代化服务型企业。

冰轮环境以冷热同步发展、积极拓展节能环保产业为发展战略，用更为低碳的方式，为全球各类行业用户提供最佳温度及压力条件。专注于食品冷冻冷藏及精深加工、化工工艺冷却、冰雪场馆

建设、舒适环境空调、城市管网节能供热、工业余热利用、食品及药品冻干、科研温控、风洞模拟、工艺气体增压及液化、建筑骨料冷却、探凿冻土、污废处理等领域的气温控制与能效管理。冰轮环境遍布全球 40 多个国家的生产基地、科研中心及营销服务机构，以安全、环保、节能的管家式解决方案和智慧化的系统集成能力，为全球 120 多个国家和地区的用户提供产品全生命周期的服务保障。

冰轮环境拥有国家认定企业技术中心等 6 个国家级科技创新平台及山东省节能环保制冷设备重点实验室等 16 个省级科技创新平台。公司被认定为国家火炬计划重点高新技术企业，拥有国家专利技术 326 项，先后主持和参与制订国家标准 25 项、行业标准 37 项。冰轮荣获国家科技进步奖、国家技术发明奖二项国家级奖励，先后荣获中国制冷学会科技进步特等奖、山东省科技进步一等奖等省部级科技成果奖励 213 项。

在“人与自然和谐共生”的环境方针下，冰轮将积极致力于人工环境控制技术与能源综合利用技术的创新，全面推进资源全面节约和循环利用，倡导简约适度、绿色低碳的社会生产运行模式，在 -271°C - 800°C 宽温区及 0-90MPa 压力区间内，构建“冷、热、水、气、电、污、废”等多形态能源的互联互通互补体系，实现工业园区与生活空间的能量生态链接，成为智慧绿色能源系统解决方案服务商。冰轮积极发展 NH_3 、 CO_2 、HC 类、He、 H_2O 等环保工质的应用技术，为用户提供专业、高附加值的智慧能源综合利用解决方

案。

近年来，冰轮积极践行绿色低碳的发展理念，围绕“双碳目标及能源革命”加快传统产业绿色低碳转型，推动产业结构向“低碳”和“高质量”升级，打造“低碳产业、低碳技术、低碳制造、低碳链条、低碳服务、低碳文化”六大支柱，最终实现产业结构高端化、能源消费低碳化、资源利用循环化、生产过程清洁化，为双碳目标的实现贡献冰轮智慧。

冰轮环境以振兴民族工业、成就客户价值为己任，以“致力于人类生活质量的提高”为企业使命，持续打造和提升在能源综合利用领域的竞争优势，加快推进全球化进程，努力打造成为具有核心竞争力、深受员工爱戴、值得行业伙伴尊敬的基业长青企业。

此次评价对象为冰轮环境技术股份有限公司生产的 NH_3/CO_2 复合制冷系统产品，涉及生产工序包括壳体铸造、壳体加工、压缩机装配、容器装配、机组装配、物流等环节。通过碳足迹评价，将达到以下目的：

- 1) 核算单位产品碳足迹，有利于绿色工厂的认证与实施。
- 2) 通过对比用于产品生产的各项能源、资源、物料碳足迹数据，找出影响产品碳足迹的关键要素，有利于有针对性地升级生产技术和改造生产工艺，优化供应结构，从而实现节能、降耗、减排目标。
- 3) 通过此次核算，最终让企业明确自身碳排放现状，寻找节能减排机会，最终建立绿色环保的竞争优势。为低碳产品认证、

碳排放核查、排污权交易做信息储备。

三、评价过程和方法

3.1 评价标准

- ISO/TS 14067-2013 《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》

3.2 工作组安排

依据 ISO/TS 14067-2013《温室气体.产品的碳排放量.量化和通信的要求和指南》，以及 PAS2050:2011《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》，根据核算任务以及企业的规模、行业，按照山东正向国际低碳科技有限公司内部工作组人员能力及程序文件的要求，此次工作组由下表所示人员组成。

表 3-1 工作组成员表

序号	姓名	职务	职责分工
1	张蕾	组长	产品碳足迹排放边界的确定，2023 年产品生产过程中涉及的各类物料和能源资源数据收集、原物料统计报表、能源统计报表及能源利用状况等。产品碳足迹报告的撰写。
2	蔡洋	组员	收集了解企业基本信息、产品情况、原物料情况、计量设备、主要耗能设备情况，资料整理，排放量计算及结果核算。

3.3 评价流程

3.3.1 文件评价

根据 PAS2050，工作组于 2024 年 3 月 6 日对企业提供的支持性文件进行了查阅，详见评价报告附录“文件清单及主要文件样张”。

工作组通过查阅以上文件，识别出现场访问的重点为：现场查看企业产品的生产工艺流程，原辅料消耗情况，实际排放设施和测量设备，现场查阅企业的支持性文件，通过交叉核对判断企业提供的能源和物料消耗量数据是否真实、可靠、正确。

3.3.2 现场访问

工作组于 2024 年 3 月 11 日进行了现场核查。企业主要负责人介绍了企业的具体情况，并对文件评价阶段提出的问题进行了沟通解答。会议的时间、对象及主要内容如表 3-2 所示：

表 3-2 现场访问记录表

时间	访谈对象	部门	访谈内容
2024 年 3 月 11 日	张晓华	科技发展部	• 介绍企业的基本情况、生产经营情况； • 介绍企业组织机构设置情况； • 介绍企业管理现状。
	于作为	运营部	• 介绍企业产品情况及生产工艺； • 介绍产品生产过程中各工序物料及能源使用情况；
	于得水	行政管理部	• 介绍企业物料及能源计量、统计情况。 • 介绍评价产品的生产、销售及原辅料购买情况，提供相关数据。

3.3.3 报告编写及内部技术复核

工作组于 2023 年 4 月 20 日编制碳足迹报告初稿，2024 年 4 月 23 日形成最终碳足迹报告。

为保证编写质量，碳足迹评价工作实施组长负责制、技术复核人复核制、质量管理委员会把关三级质量管理体系。即对每一个碳足迹评价项目均执行三级质量校核程序，且实行质量控制前移的措施及时把控每一环节的工作质量。碳足迹评价工作的第一负责人为工作组组长。工作组组长负责在评价过程中对工作组成员进行指导，并控制最终碳足迹报告的质量；技术复核人负责在最终碳足迹报告提交给客户前控制最终碳足迹报告的质量；报告批准人负责整体工作质量的把控，以及报告的批准工作。

技术复核人及报告批准人情况见表 3-3。

表 3-3 技术复核组成员表

序号	姓名	职责	行业领域	是否进行现场访问
1	曹磊	技术复核	化工、电力、钢铁、石化、机械	否
2	张静波	报告批准	电力、钢铁、建材、石化、化工、造纸、有色、其他行业	否

四、评价范围

4.1 企业基本情况

冰轮环境技术股份有限公司（股票代码：000811），始创于 1956

年，是多元化、国际化的综合性装备工业集团企业。主营业务涵盖低温冷冻、中央空调、环保制热、能化装备、精密铸件、氢能装备、数智服务等产业集群。近年来冰轮先后荣膺中国机械工业核心竞争力 30 佳、中国机械工业 100 强、中国工商制冷空调行业排头兵企业、装备中国功勋企业、保护臭氧层示范企业等称号。长期以来，冰轮环境以持续的技术和管理创新，推动资源的不断优化及核心能力再造，加快国际化拓展步伐，深入推进战略转型，已经从传统制造型企业转变为具有较强竞争力的规模大、覆盖面广、业务链完善、综合研发能力强的现代化服务型企业。

冰轮环境以冷热同步发展、积极拓展节能环保产业为发展战略，用更为低碳的方式，为全球各类行业用户提供最佳温度及压力条件。专注于食品冷冻冷藏及精深加工、化工工艺冷却、冰雪场馆建设、舒适环境空调、城市管网节能供热、工业余能利用、食品及药品冻干、科研温控、风洞模拟、工艺气体增压及液化、建筑骨料冷却、探凿冻土、污废处理等领域的气温控制与能效管理。冰轮环境遍布全球 40 多个国家的生产基地、科研中心及营销服务机构，以安全、环保、节能的管家式解决方案和智慧化的系统集成能力，为全球 120 多个国家和地区的用户提供产品全生命周期的服务保障。

冰轮环境拥有国家认定企业技术中心等 6 个国家级科技创新平台及山东省节能环保制冷设备重点实验室等 16 个省级科技创新平台。公司被认定为国家火炬计划重点高新技术企业，拥有国家专利

技术 326 项，先后主持和参与制订国家标准 25 项、行业标准 37 项。冰轮荣获国家科技进步奖、国家技术发明奖二项国家级奖励，先后荣获中国制冷学会科技进步特等奖、山东省科技进步一等奖等省部级科技成果奖励 213 项。

在“人与自然和谐共生”的环境方针下，冰轮将积极致力于人工环境控制技术与能源综合利用技术的创新，全面推进资源全面节约和循环利用，倡导简约适度、绿色低碳的社会生产运行模式，在 -271°C - 800°C 宽温区及 0-90MPa 压力区间内，构建“冷、热、水、气、电、污、废”等多形态能源的互联互通互补体系，实现工业园区与生活空间的能量生态链接，成为智慧绿色能源系统解决方案服务商。冰轮积极发展 NH_3 、 CO_2 、HC 类、He、 H_2O 等环保工质的应用技术，为用户提供专业、高附加值的智慧能源综合利用解决方案。

近年来，冰轮积极践行绿色低碳的发展理念，围绕“双碳目标及能源革命”加快传统产业绿色低碳转型，推动产业结构向“低碳”和“高质量”升级，打造“低碳产业、低碳技术、低碳制造、低碳链条、低碳服务、低碳文化”六大支柱，最终实现产业结构高端化、能源消费低碳化、资源利用循环化、生产过程清洁化，为双碳目标的实现贡献冰轮智慧。

冰轮环境以振兴民族工业、成就客户价值为己任，以“致力于人类生活质量的提高”为企业使命，持续打造和提升在能源综合利用领域的竞争优势，加快推进全球化进程，努力打造成为具有核心

竞争力、深受员工爱戴、值得行业伙伴尊敬的基业长青企业。

4.2 评价对象

本次碳足迹评价对象为：1 台 NH_3/CO_2 复合制冷机组。

4.3 系统边界

4.3.1 时间边界

核算的时间边界为 2023 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日。

4.3.2 排放源边界

系统边界确定了产品碳足迹的范围，即碳足迹评价应包括哪些生命周期阶段、投入和产出。根据 PAS2050:2011，用于原材料转变的所有流程、产品生命周期内能源供应和使用、制造和提供服务、设施运行、运输、储存所产生的 GHG 排放，应纳入边界范围。厂房、机器设备等的使用维修及折损，工人日常生活所引发的碳足迹皆不在核算边界之内。

由于产品边界内排放源较多且排放情况复杂，PAS2050 允许排除不超过总排放量 1% 的非实质性排放；与生活相关活动温室气体排放量不计，包括雇员上下班通勤、公务旅行、人工劳动等；办公室所产生的排放量计算结果难以有普适作用，因此排放系统计算时将此部分温室气体排放忽略不计。综上，对于本次评价，以上排放源没有计入。

对于本企业产品碳足迹核算的空间边界包括冰轮环境技术股份有限公司 1 台 NH_3/CO_2 复合制冷机组的原辅料生产、原辅料运输、

产品生产与包装、废弃物处理和成品运输全过程，具体包括生产区域、生产辅助区域、物料运输的能耗和物耗（原料、辅料、包装材料）。

4.3.3 生命周期模式

根据 PAS2050，产品在生命周期的内 GHG 排放评价应在以下方式进行选择：

a) 从商业-到-消费者的评价（B2C），包括产品在整个生命周期内所产生的排放；

b) 从商业-到-商业的评价（B2B），包括直到输入到达一个新的组织之前所释放的 GHG 排放（包括所有上游排放）。

在计算 B2C 产品的碳足迹时，典型的流程图步骤包括生命周期全过程：从原材料，通过生产、制造、分销和零售，到消费者使用，以及最终处置或再生利用；B2B 的碳足迹停留在产品被提供给另一个制造商的节点上，计算产品碳足迹时只包括从原材料通过生产直到产品到达一个新的组织。

本次产品碳足迹的评价是针对 1 台 NH₃/CO₂ 复合制冷机组生产过程的 GHG 排放的跟踪计算，因此采用从“商业-到-商业”（B2B）的生命周期模式。

五、清单分析

5.1 生产技术

生产工艺主要分为壳体铸造、壳体加工、压缩机装配、容器装配、

机组装配五部分。

（1）壳体铸造生产工艺流程

工艺流程简述：

- 1) 砂型打印：利用 3D 打印机完成砂型和砂芯制作。
- 2) 涂刷涂料：用专用涂料涂刷砂芯、砂型，然后点火烘干，待冷却后用专用擦布清理涂刷留痕。
- 3) 验、合箱：依据铸造工艺卡片中操作要求，将涂刷完好的砂芯依次装配在砂型内，保证位置、尺寸正确，正确摆放上分箱膏，最后将上下箱装配合箱。
- 4) 熔炼、浇注：依据材质要求，设计化学成分，计算熔炼配料单，熔炼铁水并记录熔炼进料单；光谱分析铁水化学成分，查看三角试块断口组合，并检测铁水问题，满足技术要求后进行铸型浇注。
- 5) 打箱：依照工艺操作规定，在铸型内冷却后，将铸件、铁锥、冷铁等从砂型中分离并分类放好。
- 6) 粗清：去除铸件浇冒口、砂型分箱皮缝，内腔散砂。
- 7) 热处理：将铸件粗清后在专业热处理炉内进行退火处理，消除铸造应力。
- 8) 精清抛丸：先初抛铸件表面和内腔涂料层脱落，再用专业工具清理铸件外观、内腔皮缝、毛刺，检验合格后，再进行二次抛丸。
- 9) 防锈入库：进行二次抛丸后铸件直接侵入防锈池进行防锈处理，自然风干后清点入库。



图 1.1 壳体铸造生产工艺流程图

(2) 壳体加工生产工艺流程

1) 底腿加工：以工装基准面建立工件坐标系，完成底腿平面及中心孔加工。

2) 粗、半精加工：以底腿平面销孔作为基准进行定位，完成大、小端面，轴孔粗、半精加工，螺纹孔、通孔加工。

3) 精加工：以底腿平面销孔作为基准进行定位，完成大、小端面，轴孔精加工。

4) 清理：对已加工完成的工件进行去毛刺、清理、清铲、防锈、入库。



图 1.2 壳体加工生产工艺流程图

(3) 压缩机装配工艺流程

1) 部件预制：完成吸气端座、排气端座、转子等部件的预制组装。

2) 调排端间隙：调整排气端间隙，安装锁紧螺母、垫片等。

3) 主部件组装：完成吸气端座、机体与排气端座部件组装。

4) 附件安装：按照工艺文件完成轴封、垫片、吸排气法兰、六角螺塞等安装。

5) 压力试验：按照工艺文件完成压力试验。

6) 清洗：对整机进行修磨、油污清洗。

7) 喷漆：对产品进行喷漆前防护，再进行喷漆作业。

8) 喷漆后处理：喷漆结束后，去除喷漆防护、修整等使机组具备发货条件。



图 1.3 压缩机装配工艺流程图

(4) 容器装配工艺流程

1) 钢板下料

将整张钢板原材料根据图纸使用等离子切割设备将其切割成筒体需求的尺寸。

2) 喷砂：下完料的钢板需要经过喷砂除锈设备去除表面铁锈

3) 卷板：使用卷板机将钢板卷成圆筒

- 4) 焊接: 使用埋弧焊机将圆筒的纵缝焊接完成
- 5) 校圆: 使用量具检查圆筒圆度, 若圆度不合格, 则需要使用校圆设备进行校圆, 直至圆度符合要求为止
- 6) 探伤: 将圆筒转移至探伤室进行 DR 探伤, 检测筒体焊缝是否有缺陷。
- 7) 筒体部件装配: 完成容器体内件组对焊接、容器两端封头的组对, 然后使用埋弧焊机完成封头焊缝的焊接
- 8) 探伤: 对封头焊缝进行探伤, 检测焊缝是否有缺陷, 若有缺陷则进行返修、重新探伤, 直至焊缝探伤合格。
- 9) 容器总成: 参照容器图纸进行容器筒体上剩余的接管、补强圈、支座等零部件的组对和焊接。
- 10) 试压: 对容器进行压力试验, 检测是否有泄露。
- 11) 表面处理: 对焊缝上的焊接飞溅、氧化层、局部锈蚀等表面缺陷使用扁铲、磨光机等工具进行打磨修整。
- 12) 喷漆: 产品表面喷涂底漆进行防护。

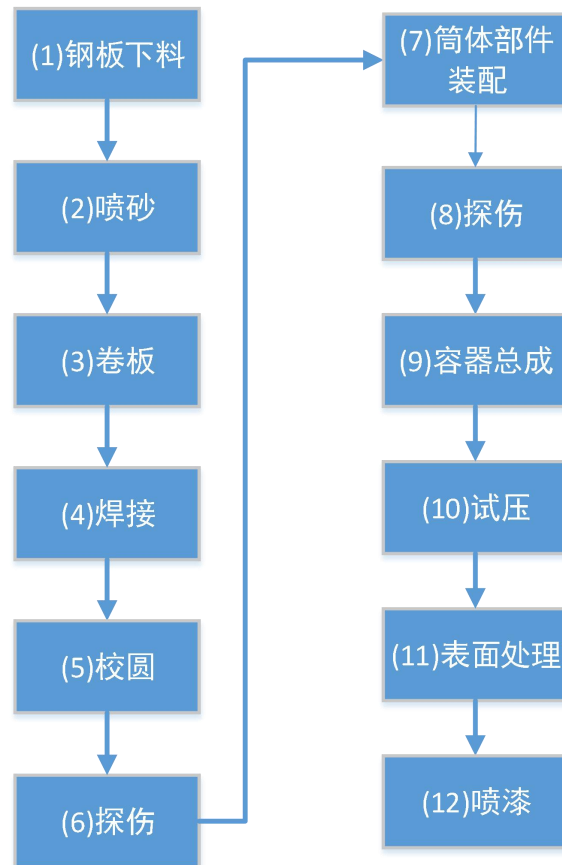


图 1.4 容器装配工艺流程图

(5) 机组装配生产工艺流程

1) 安装主部件：底座就位，将容器、电机、压缩机、油过滤器等主要零部件落位并紧固。

2) 调同轴度：调整电机压缩机同轴度，安装联轴器和联轴器防护罩

3) 管路组对：对管组进行量尺、切割、加工坡口、水平尺找正和点焊固定

4) 管路焊接：按照工艺文件要求对管路焊缝进行焊接

5) 压力试验：机组装配完成之后，将对外接口进行封堵，对高低压级分别进行压力试验，检验产品焊缝、螺纹等位置是否泄漏。

6) 电气接线：对电气元件进行接线，全部接线完成之后，进行电气模拟检验。

7) 喷漆：对产品进行喷涂面漆防护。

8) 喷漆后处理：喷漆结束后，去除喷漆防护、修整等使机组具备发货条件。

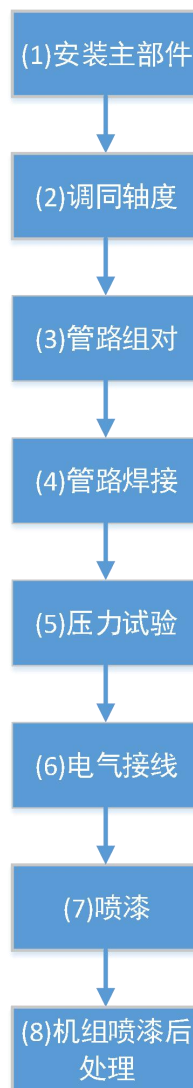


图 1.5 机组装配生产工艺流程图

5.2 清单分析

评价组通过现场访谈以及查看相关资料，明确了产品所涉及的活

动包括：

- 原辅料获取，排放源为评价产品的原辅料生产过程导致的排放；
- 原料运输至厂内，排放源包括运输车辆燃料消耗产生的排放；
- 产品生产，排放源包括评价产品生产过程能源消耗导致的排放；
- 产品生产过程的废弃物处理，排放源包括各类废弃物处理和包装导致的排放；
- 产品包装，排放源为产品包装的带入排放；
- 物料厂内运输，排放源为原辅料、产品和废弃物在厂内运输过程中能源消耗产生的排放；
- 产品运输至下游厂家，排放源为运输车辆燃料消耗产生的排放。

根据上述活动，依据产品生产工艺流程图以及辅助工序工艺，确定产品涉及的物料、能源消耗清单，如表 5-1 所示：

表 5-1 NH3/CO2 复合制冷系统产品生产各阶段生命周期清单分析

生命周期各环节	原辅料获取	原辅料运输	产品生产	产品包装	废弃物处理	厂内运输	产品运输
原料消耗	钢材、钢板、铝材、铜材	/	原料在生产过程产生温室气体	木材	回收	/	/

辅料消耗	润滑油	/	辅料在生产过程不产生温室气体	/	/	/	/
能源消耗	/	柴油	电	能耗排放归结到生产能耗中	/	柴油	柴油

六、数据收集

6.1 数据取舍原则

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%；

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。

6.2 数据质量要求

数据质量代表产品碳足迹研究的目标代表性与数据实际代表性之间的差异，本报告的数据质量评估方法采用 CLCD 方法。

CLCD 方法对模型中的消耗与排放清单数据，从①清单数据来源

与算法、②时间代表性、③地理代表性、④技术代表性等四个方面进行评估，并对关联背景数据库的消耗，评估其与上游背景过程匹配的不确定度。完成清单不确定度评估后，采用解析公式法计算不确定度传递与累积，得到产品碳足迹结果的不确定度。

6.3 软件与数据库

本研究采用 eFootprint 软件系统，建立了 NH₃/CO₂ 复合制冷机组生命周期模型，并计算得到产品碳足迹结果。eFootprint 软件系统是由亿科环境科技有限公司研发的在线产品碳足迹分析软件，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。

研究过程中用到的中国生命周期基础数据库（CLCD）是由亿科开发，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。

在 eFootprint 软件中建立的产品碳足迹模型，其生命周期过程使用的背景数据来源见下表：

表 6-1 背景数据来源表					
清单名称	规格型号	所属过程	数据集名称	数据库名称	备注
钢板		NH ₃ /CO ₂ 复合制冷机组 [生产]	冷轧碳钢板卷	CLCD-China-ECER 0.8	
钢材		NH ₃ /CO ₂ 复合制冷机组	碳钢	CLCD-China-ECER 0.8	

	[生产]		
铝材	NH3/CO 2 复合制 冷机组 [生产]	铝板带	CLCD-Chin a-ECER 0.8
铜材	NH3/CO 2 复合制 冷机组 [生产]	电解铜 (99.95%)	CLCD-Chin a-ECER 0.8
电	NH3/CO 2 复合制 冷机组 [生产]	华东电网电 力(到用户)	CLCD-Chin a-ECER 0.8
木材	NH3/CO 2 复合制 冷机组 [生产]	胶合木(脲 醛胶合木)	产品碳足迹 contest-s-4b 16@ike-glob al.com 1.0

6.4 数据收集

在冰轮环境技术股份有限公司相关领导及员工的密切配合下，本项目取得了详细的碳足迹核算所需数据，数据收集的时间范围是2022年。

表 6-2 过程清单数据表

类型	清单名称	数量	单位	上游数据来源	用途/排放原因
产品产出	NH3/CO2 复 合制冷机组	1	Item (s)	--	--
原材料/物料	钢板	0.66	t	CLCD-China-EC ER 0.8	
原材料/物料	钢材	0.16	t	CLCD-China-EC ER 0.8	
原材料/物料	铝材	0.01	t	CLCD-China-EC ER 0.8	
原材料/物料	铜材	0.01	t	CLCD-China-EC ER 0.8	
能源	电	305.1	kWh	CLCD-China-EC ER 0.8	
包装	木材	0.03	m3	产品碳足迹	

环境排放	总颗粒物	contest-s-4bl	
	[排放到大 气（未指定 类型）]	0	t

表 6-3 过程运输信息表

物料名称	毛重	起点	终点	运输距离	运输类型
钢板	660Kg	临沂	烟台	200km	货车运输（30t）- 柴油
钢材	160Kg	临沂	烟台	200km	货车运输（30t）- 柴油
木材	3Kg	烟台	烟台	20km	货车运输（2t）- 柴油
铜材	8Kg	青岛	烟台	220km	货车运输（8t）- 柴油
铝材	18Kg	日照	烟台	150km	货车运输（10t）- 汽油

七、产品碳足迹的计算结果

7.1 产品碳足迹结果

产品碳足迹结果在 eFootprint 上建模计算了 1Item(s)NH₃/CO₂ 复合制冷机组的产品碳足迹结果，计算指标结果如下

表 7-1 NH₃/CO₂ 复合制冷机组产品碳足迹结果

环境影响类型指标	影响类型指标单位	产品碳足迹结果
GWP	kg CO ₂ eq	3034.2

表 7-2 2023 年度 NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品碳足迹构成

生命周期各环节	碳排放量(kgCO ₂ e)	碳排放比例(%)
---------	---------------------------	----------

原辅料获取	1781.72	58.7
原辅料运输	90.46	3.0
产品生产	908.14	29.9
产品包装	37.56	1.2
厂内运输	14.31	0.5
产品运输	202.01	6.7
总碳排放	3034.2	100

由表 7-1 可知，NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品碳足迹构成大小为：原辅料获取>产品生产>产品运输>原辅料运输>产品包装>厂内运输，产品原辅料获取环节的碳足迹占总碳足迹最大，达 58.7%。

进一步分析产品生产环节的碳足迹构成，其物料、能耗的碳足迹如表 7-3 所示。

表 7-3 2023 年度 NH₃/CO₂ 复合制冷机组生产环节碳足迹构成

类别	活动水平参数	碳排放量 (tCO ₂ e)	碳排放比例(%)
产品生产	电力消耗量	908.14	100
产品生产环节总碳排放		908.14	100

由 7-3 可知，NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品生产过程中能源消耗碳足迹为：电力，因此，电力使用是 NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品低碳控制的关键要素。

7.2 敏感性分析

以下对电力消耗量进行敏感性分析，考察能源资源使用量的变化对碳足迹变化的敏感程度，结果如表 7-4 所示。

表 7-4 NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品碳足迹敏感性分析

参数		原总碳足迹 (tCO ₂ e)	减后总碳足迹 (tCO ₂ e)	碳足迹差值 (tCO ₂ e)	总量减少 比例(%)
NH3/CO2 复合制冷 系统产品 碳足迹	电力消耗量 减少 10%时	908.14	851.94	56.2	6.2

将占总碳足迹比例较大的活动数据数值减少 10%，考察对整体碳足迹的影响。由于评价对象碳足迹成分复杂，碳足迹总量大，在相应活动水平数据减少 10%时，对其碳足迹总量影响小于 8%。说明电力消耗量变化对 NH3/CO2 复合制冷系统产品的总碳足迹的变化影响最大。

八、不确定性分析

8.1 分析方法

首先，需要对清单中数据的来源进行质量评估，从数据的可靠性和相关性两个方面来评估。可靠性选定为统计代表性、时间代表性和数据来源三个指标；相关性选定地理代表性和技术代表性两个指标，如表 8-1。

其次，在对不确定性的各项指标进行综合评定时，采用对各指标进行加权平均的方法，参见公式 8-1。可靠性中 3 个指标各占 1/3，相关性中 2 个指标各占 1/2。最终得分高，则数据质量好，不确定性低；反之得分低，则数据质量差，不确定性高，数据质量等级参照表 8-2。

表 8-1 数据可靠性量化指标

指标值	9	7	5	3	1
-----	---	---	---	---	---

统计代表性	全面统计	重点统计或典型统计	抽样调查频次高于每月一次	抽样调查频次 1-3 月每次	抽样调查频次低于 3 月每次；抽样频次未知
时间代表性	研究目标当月数据	与研究目标当月差距 3 月以内	与研究目标当月差距 3~8 月	与研究目标当月差距 8~18 月	与研究目标当月差距 18 月以上；未知数据年代
数据来源	三级测量数据/实际数据	平均数据	经验数据	额定数据	未知
地理代表性	研究目标区域	与研究目标区域地理条件大部分相同	与研究目标区域地理条件类似	与研究目标区域地理条件部分类似	与研究目标区域地理条件完全不同；未知地理条件
技术代表性	生产现场	技术水平档次相差为 0	技术水平档次相差为 1	技术水平档次相差为 2	技术水平档次相差为 3

$$Q = \frac{q_1+q_2+q_3}{6} + \frac{q_4+q_5}{4} \quad \text{公式 (8-1)}$$

式中：

Q ——数据质量等级分；

q_1 ——数据的统计代表性质量等级分；

q_2 ——数据的时间代表性质量等级分；

q_3 ——数据的来源质量等级分；

q_4 ——数据的地理代表性质量等级分；

q_5 ——数据的技术代表性质量等级分。

表 8-2 数据质量等级

得分	数据质量	不确定性大小
$8 \leq \text{不确定性} \leq 9$	最高	最小
$7 \leq \text{不确定性} \leq 8$	较高	较小

6≤不确定性≤7	较差	较大
不确定性≤6	差	非常大

按照各碳足迹构成占总碳足迹的比例，对各碳足迹构成的等级分进行加权平均，可获得核算结果的等级分，参见表8-2所示的数据等级，即可获得核算结果的数据等级。具体参见公式（8-2）：

$$Q_{AVG} = \sum Q \times \eta \quad \text{公式（8-2）}$$

式中：

Q_{AVG} ——核算结果的数据质量等级分；

Q ——各碳足迹构成的数据质量等级分；

η ——各碳足迹构成占总碳足迹的比例。

8.2 不确定性分析结果

表 8-3 NH3/CO2 复合制冷系统产品碳足迹可靠性分析结果

项目	原料	包装材料	电力	厂内运输	原辅材料运输	产品运输
统计代表性 (q ₁)	9	7	9	9	7	7
时间代表性 (q ₂)	9	9	9	9	9	9
数据来源 (q ₃)	9	5	9	9	7	7
地理代表性 (q ₄)	7	7	9	7	7	7
技术代表性 (q ₅)	9	7	9	9	7	7
单个投入产出不确定性	8.5	7	9	8.5	7.3	7.3
产品碳足迹占比	55.21%	0.1%	36.01%	3.72%	1.4%	4.66%
总体不确定性	8.51					

由表 8-3 可知，评价产品碳足迹中，电力的可靠性是 9，数据质量最高，不确定性最小；包装材料、蒸汽、废弃物处理的可靠性均是 7，不确定性最大。数据总体不确定性分别为 8.51%，数据质量较高，不确定性较小。

九、结论

- 2023 年 NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品碳足迹为 3.034tCO₂/台。
- NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品碳足迹的构成因素中，原材料获取的碳足迹占比最大，占产品碳足迹总量的 58.7%。各类能源资源中，电力是 NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品低碳控制的关键要素。

十、节能减排建议

通过前章结论，NH₃/CO₂ 复合制冷系统产品碳足迹中，能源资源贡献最大。因此为了减少产品碳足迹，应聚焦在节能降耗方面，具体措施建议如下：

1. 建议企业积极开展节能诊断工作（含数据分析、节能潜力估算、技改匹配等），摸清能源消耗的具体情况，提出符合企业实际情况的节能降耗措施及建议。

2. 能源资源使用导致的碳排放为产品碳足迹的 29.9%，掌握自身能源管理水平和能源利用状况，挖掘节能潜力，降低能源资源消耗和碳排放量。

3.建议加强各部门之间信息流通，从而有效提高生产效率，降低碳足迹。

4.按照企业实际生产情况灵活调控设备使用情况，以减少不必要的能源消耗。建议年假期间和生产淡季尽量集中安排生产，避免机器开关机而损失能源。

5.通过提高工艺优化和科学管理，提高产品收率，从而降低原料单耗，从而减少原料消耗对产品碳足迹的贡献。

附录

附录 1 产品碳足迹评价声明

产品名称:	NH3/CO2 复合制冷机组
企业名称:	冰轮环境技术股份有限公司
地址:	山东省台烟台市芝罘区冰轮路 1 号
核查依据标准及准则:	ISO 14067:2013 & PAS 2050:2011
单位产品碳足迹:	NH3/CO2 复合制冷机组: 3.034tCO ₂ /台
系统边界:	核算的时间边界为从 2023 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日。NH3/CO2 复合制冷系统产品包含原辅料生产、原辅料运输、产品生产与包装和成品运输全过程。
评价机构:	山东正向国际低碳科技有限公司

附录 2 文件清单

序号	内容
1	企业营业执照
2	企业简介
3	组织机构图
4	厂区布局图
5	2023年生产报表
6	财务发票
7	产品原材料运输距离
8	现场访问名单表