

钢结构

生命周期评价报告

申请单位：中恒丰新气（内蒙古）有限公司

报告单位：中轻检验认证（济南）有限公司

报告时间：2023年 月



1、目标与范围定义

1.1 目标定义

1.1.1 目的

通过 LCA 数据收集和建模评价钢结构从原料的获取、生产、运输、销售、使用到最终废弃处理的过程中对环境造成的影响；通过评价钢结构全生命周期的环境影响大小，提出钢结构绿色设计改进方案，从而大幅提升钢结构的生态友好性。

1.1.2 评价产品信息

产品名称	钢结构	产品型号	钢结构
产品品牌	中恒丰	产品专利	/
产品功能描述	电厂钢结构、民用建筑钢结构、石化钢结构产品		
主要技术参数	按单位吨产品计算产品碳足迹		

1.1.3 功能单位与基准流

本报告以吨钢结构为功能单位，同时考虑其生产、使用、废弃阶段的环境影响。

1.1.4 数据代表性

本报告代表此企业及供应链水平（采用实际生产数据），时间、地理、技术代表性下：

- （1）时间代表性：2022
- （2）地理代表性：中国
- （3）技术代表性，包括以下方面：

主要原材料：钢板、角钢、型钢、钢管、锌锭、油漆、油漆、焊材。

主要能耗：电力、天然气、二氧化碳

1.2 范围定义

1.2.1 系统边界

本报告评价的系统边界仅包括原材料及辅料生产、产品生产、产品包装及运输等生命周期阶段，包括如下过程：

- 1) 原材料的运输；
- 2) 钢结构生产；
- 3) 产品的包装；

钢结构生产工艺流程图如图 1 所示，生命周期系统边界如图 2 所示：

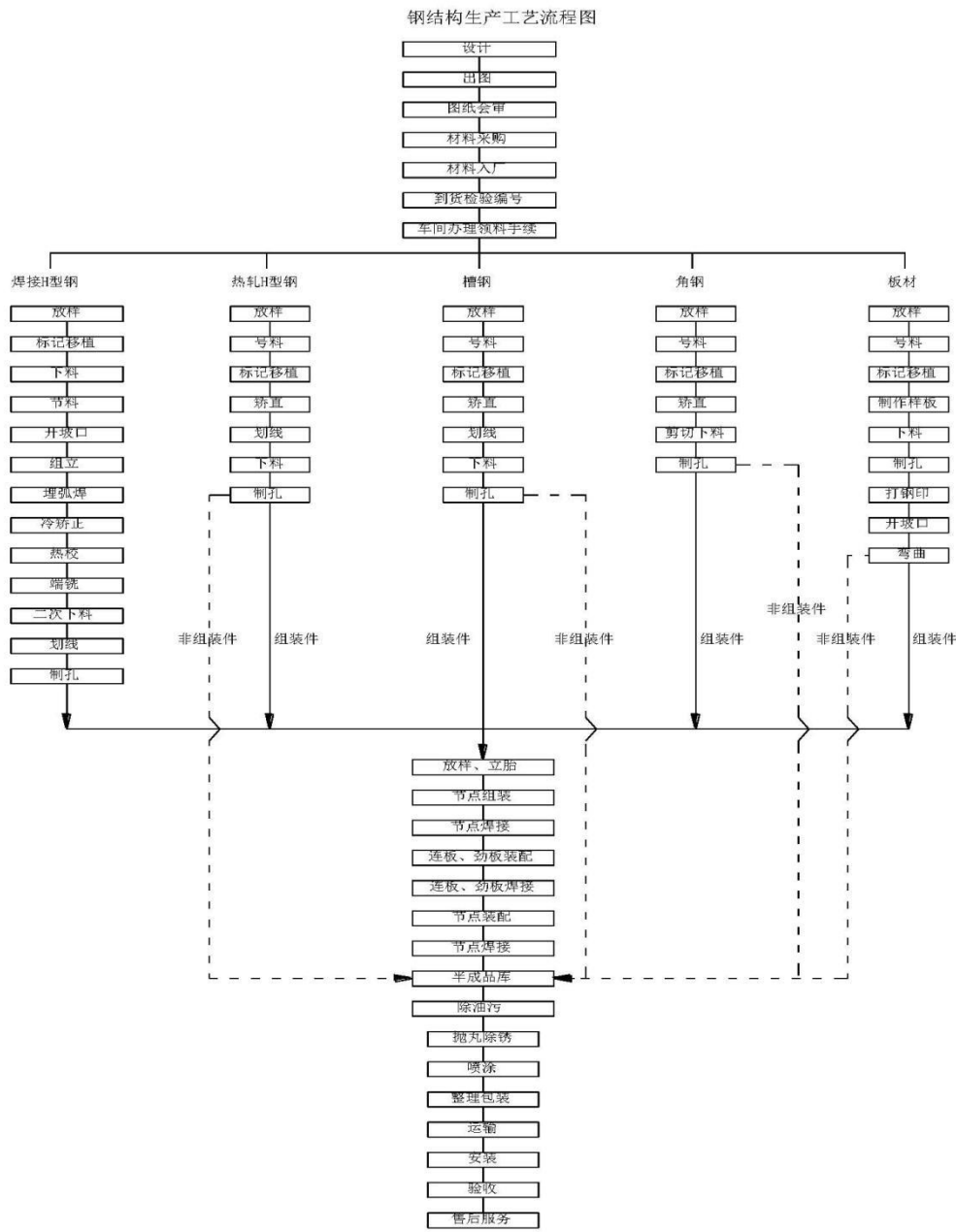


图 1 钢结构生产工艺流程图

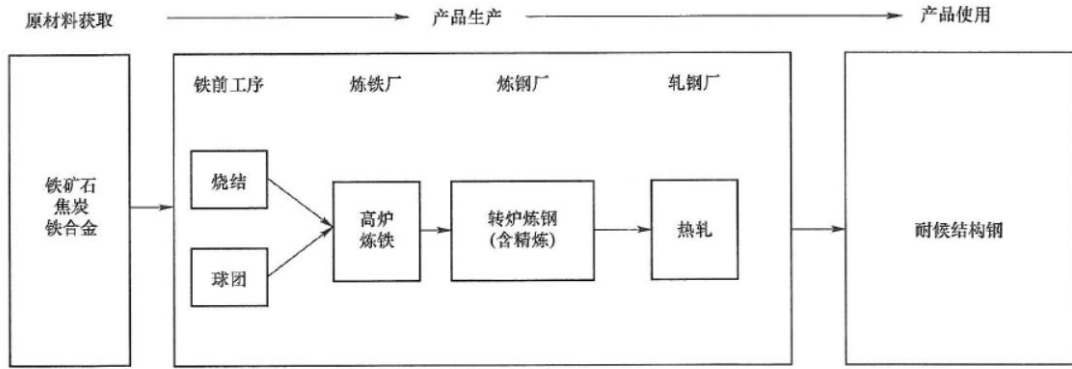


图 2 钢结构产品生命周期系统边界图

1.2.2 取舍原则

本研究采用的取舍规则为《生态设计产品评价规范第 4 部分：无机轻质板材》所描述的取舍原则，取舍原则如下：

- 能源的所有输入均列出；
- 原料的所有输入均列出；
- 小于产品重量 1% 的普通物耗可忽略；
- 总忽略的物耗推荐不超过产品重量的 5%；—大气、水体的各种排放均列出；
- 小于固体废弃物排放总量 1% 的一般性固体废弃物可忽略；
- 道路与厂房的基础设施、各工序的设备、厂区内人员及生活设施的消耗和排放，均忽略；
- 任何有毒有害的材料和物质均应包含于清单中，不可忽略。

1.2.3 再生循环方法

产品在使用废弃后可获取再生料，通过拆解得到如废钢等再生原料，也包括部分再生原料进一步通过再生加工得到可以用于产品生产的再生材料。因此，需要合理的再生建模方法来计算该阶段因为再生料带来的环境效益。

常见的再生方法通常将再生料的环境影响用相应的初生料表示，均较主观，故本研究报告再生方法采用较为折中的 50-50 法思想，再生料承担一半的初生料的环境影响，这样无论是使用再生料，还是产出再生料的生命周期系统均能获得一半的环境效益，此外考虑到再生料与替代的初生料品质存在差异，需要进行品质修正，修正系数可以根据两者的成分含量、经济价值等计算得到。再生料环境影响计算方法如公式（1）所示。

$$E_{rm} = \frac{1}{2} \times Q \times E_v$$

—Q 为再生料与初生料的品质修正系数

— E_v 为初生料环境影响—— E_{rm} 为再生料环境影响

当产品全生命周期有再生料输入与输出时，仅需考虑再生料的投入量，以及根据产品含量与回收再生率计算再生料的产出量，抵扣相应的初生材料即可。具体如公式（2）所示。本研究中，钢结构产品在生产时未使用再生料比例达到 95%， q 且品质与初生材料一致，因此 E'_{rm} 为 $0.5E_v$ 。

$$E_{p+eol} = y \times E'_{rm} + X_p + X_{rrm} - Z \times (R_w \times R_{rrm} \times R_{rm}) \times E_{rm}$$

— y 为产品生产时使用的再生料的量

— X_p 为产品以上游初生原料生产过程的环境影响

— X_{rrm} 为回收过程的环境影响

— Z 为废弃产品中可再生成分的含量

— R_w 为产品回收率

— R_{rrm} 为再生原料回收率

— R_{rm} 为再生材料产率

1.2.4 数据质量要求

1.2.4.1 实际生产过程调查的数据质量

实际生产过程调查的数据质量宜具备：

a) 技术代表性:数据需反映实际生产情况,即体现实际工艺流程、技术和设备类型、原料与能耗类型、生产规模等因素的影响;

b) 数据完整性:按照环境影响评价指标、数据取舍准则,判断是否已收集各生产过程的主要消耗与和排放数据。缺失的数据需在 LCA 报告中说明;

c) 数据准确性:零部件、辅料、能耗、包装、原料与产品运输等数据需采用企业实际生产统计记录,环境排放数据优先采用环境监测报告。所有数据均详细记录相关的数据来源和数据处理算法。估算或引用文献的数据需在 LCA 报告中说明;

d) 数据一致性:每个过程的消耗与排放数据需保持一致的统计标准,即基于相同产品产出、相同过程边界、相同数据统计期。存在不一致情况时需在 LCA 报告中说明。

1.2.4.2 产品生命周期模型的数据质量产品生命周期模型的数据质量宜具备:

a) 生命周期代表性:产品 LCA 模型尽量反映产品供应链的实际情况。重要的外购零部件和原辅料的生产过程数据需尽量调查供应商,或是由供应商提供经第三方独立验证的 LCA 报告,在无法获得实际生产过程数据的情况下,可采用背景数据,但需对背景数据来源及采用依据进行详细说明。未能调查的重要供应商需在 LCA 报告中说明;

b) 模型完整性:依据系统边界定义和数据取舍准则,产品 LCA 模型需包含所有主要过程,包括从资源开采开始的主要原材料和能源生

产、主要零部件和原辅料生产、产品生产以及运输过程。如果是可以交付给消费者直接使用的产品，还需包含产品使用、废弃处理过程；

c) 背景数据准确性:重要物料和能耗的上游生产过程数据优先选择代表原产地国家、相同生产技术的公开基础数据库，数据的年限优先选择近年数据。仅在没有符合要求的背景数据的情况下，可以选择代表其他国家、代表其他技术的数据作为替代，并需在 LCA 报告中说明；

d) 模型一致性:如果模型中采用了多种背景数据库，需保证各数据库均支持所选的环境影响类型指标。如果模型中包含分配和再生过程建模，需在 LCA 报告中说明。

1.2.4.3 背景数据库的数据质量背景数据库的数据质量宜具备：

a) 完整性:背景数据库一般至少包含一个国家或地区的数百种主要能源、基础原材料、化学品的开采、制造和运输过程，以保证背景数据库自身的完整性；

b) 准确性:背景数据库需采用来自本国或本地区的统计数据、调查数据和文献资料，以反映该国家或地区的能源结构、生产系统特点和平均的生产技术水平；

e) 一致性:背景数据库需建立统一的数据库生命周期模型，以保证模型和数据的一致性。

1.2.5 环境影响类型

本报告按照《生态设计产品评价规范第 4 部分：无机轻质板材》要求，考虑市场目标、客户、相关方所关注的环境问题，计算了气候变化(ClimateChange, GWP)、不可再生资源消耗(Depletion of

non-renewable Resources, DNR) 和人体危害 (Harm to Human Body, HHB) 三个环境影响类型指标, 具体见表 1-2。

影响类型	清单因子归类
气候变化	二氧化碳(CO ₂)、甲烷(CH ₄)、一氧化二氮(N ₂ O)等
富营养化	氮氧化物(NO _x)、COD等
酸化	二氧化硫(SO ₂)、氮氧化物(NO _x)等
能源消耗	石油、煤炭、天然气等

表 1-2 钢结构清单因子归类表

注: eq 是 equivalent 的缩写, 意为当量。例如气候变化指标是以 CO₂ 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 CO₂ 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当量因子, 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 CO₂eq。

1.2.6 软件与数据库

本研究采用 eFootprint 软件系统, 建立了博大钢结构全生命周期模型, 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, ELCD 和 Ecoinvent 数据库, 分别介绍如下:

CLCD-China 由亿科环境科技开发, 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 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。

ELCD 由欧盟研究总署开发，其核心数据库包含超过 300 个数据集，其清单数据来自欧盟行业协会和其他来源的原材料、能源、运输、废物管理数据。

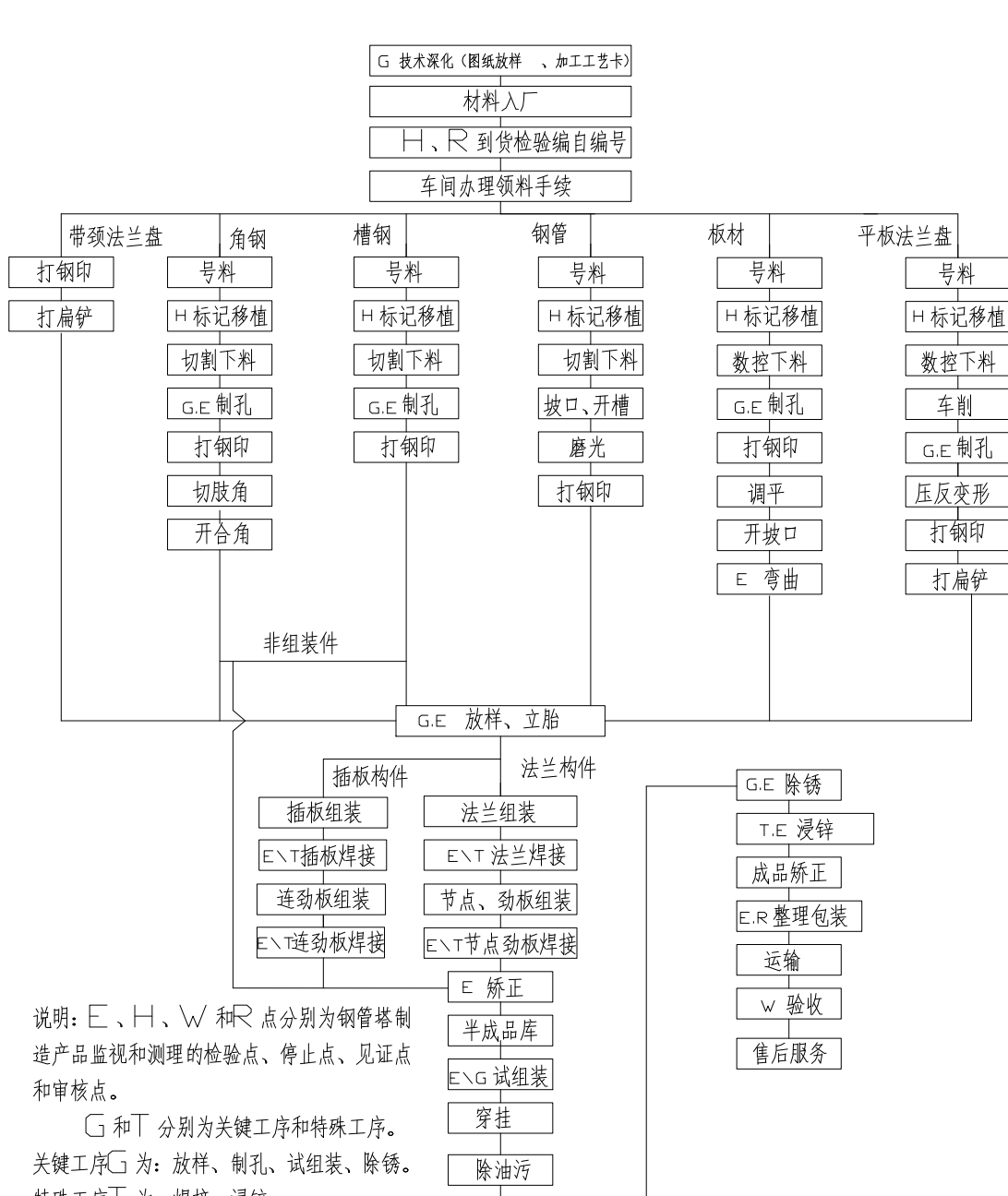
Ecoinvent 数据库由瑞士生命周期研究中心开发，数据主要来源于瑞士和西欧国家，该数据库包含约 4000 条的产品和服务的数据集，涉及能源，运输，建材，电子，化工，纸浆和纸张，废物处理和农业活动。

在 eFootprint 软件中建立的钢结构的全生命周期 LCA 模型

2、生命周期清单分析

2.1 产品生产阶段

1.输电线路铁塔工艺流程图



说明：E、H、W 和 R 点分别为钢管塔制造产品监视和测理的检验点、停止点、见证点和审核点。

G 和 T 分别为关键工序和特殊工序。
关键工序 G 为：放样、制孔、试组装、除锈。
特殊工序 T 为：焊接、浸锌。

质量控制点：放样、原材料检验、制孔、弯曲、焊接、试组装、除锈、浸锌。



说明:

E、H、W 和 R 点分别为角钢塔制造产品监视和测量的检验点、停止点、见证点和审核点。

G 和 T 分别为关键工序和特殊工序 (过程)。

关键工序 G 为: 放样、制孔、焊接、镀锌。

特殊过程 T 为: 焊接、除锈。

质量控制点为: 原材料检验、放样、制孔、制弯、焊接、除锈、试组装。

2.钢结构产品工艺流程图.

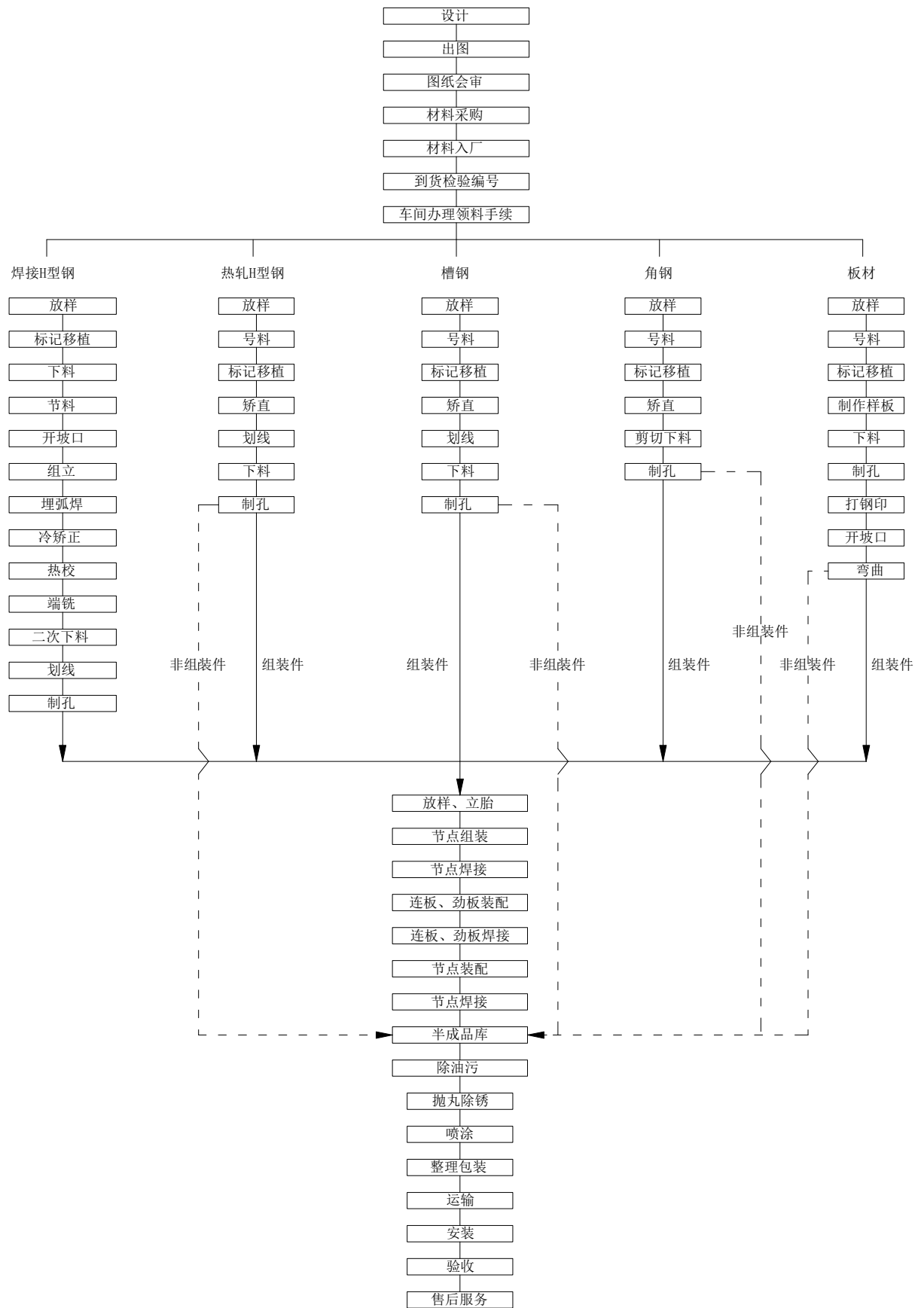


表 2-1 中列出了产品生产过程投入的主要部件及原材料消耗，以及原材料的上游数据来源。生产材料清单详见附件 2。

2. 原料消耗 (含辅料、助剂、包装消耗)					
原料类型	单位	数量	数据来源(生产统计或结算发票)	用途	备注
钢板	Kg	86050576	生产统计	工程	外购
角钢	Kg	77779054	生产统计	工程	外购
型钢	Kg	16213401	生产统计	工程	外购
钢管	Kg	13605904	生产统计	工程	外购
锌锭	吨	2963.433	生产统计	工程	外购
油漆	kg	408701.6	生产统计	工程	外购
油漆	升	328477.25	生产统计		外购
焊材	kg	1452320	生产统计	工程	外购

产品主要原材料为各类钢材，原材料运输过程由供方负责，无法获取相关数据，原材料运输过程排放数据收集如下：

运输对象/零部件	质量 (t)	始发地	目的地	运输距离 (公里)	运输工具 (t)	燃料类型	百公里油耗
二氧化碳	3098995kg	淄博	胶州	200	30t	柴油	20
二氧化碳 (35kg/瓶)	166775kg	胶州	胶州	5	8t	汽油	8
液氧	1740408kg	黄岛	胶州	60	30t	柴油	20

2.2.产品使用阶段

产品的销售以当地客户为主，运输过程由客户自行承担。数据无法收集。

产品使用阶段，无能源消耗

2.3.产品废弃阶段

产品寿命周期较长，产品废弃阶段可进行拆解后综合回收利用。

3 生命周期影响评价

3.1 环境影响类型

环境影响类型可分为资源能源消耗、生态环境影响和人体健康危害三类，钢结构产品的影响类型为不可再生资源消耗，气候变化和人体健康危害三类。

3.2 清单因子归类

根据清单因子的物理化学性质，将对某影响类型有贡献的因子归到一起。将对气候变化有贡献的二氧化碳清单因子归到气候变化里，将对人体健康有影响的颗粒物，二氧化硫、氮氧化物）等清单因子归到人体健康危害。

中恒丰新能钢构（内蒙古）有限公司钢结构产品生命周期清单因子归类

影响类型	清单因子归类
不可再生资源消耗	天然气、电力
气候变化/碳足迹	二氧化碳（CO ₂ ）

人体健康损害	颗粒物、SO ₂ 、NO _x
--------	--------------------------------------

3.3 全生命周期 LCA 结果

通过建模计算得 1 台钢结构的全生命周期模型计算结果，计算指标分为气候变化 (GWP)、初级能源消耗 (PED)、非生物资源消耗 (ADP) 和酸化 (AP)。

环境影响类型指标	影响类型指标单位	LCA 结果
GWP	kgCO ₂ eq	0.032
DNR	KJ	0.35
HHB	kg antimony eq	0.35

3.4 完整性和一致性检查

1) 完整性检查

本报告中所涉及到的数据清单，相对于评价目的、范围、系统边界和质量准则都较完整，包括原材料的获取阶段及钢结构生产生命周期阶段；与产品生命周期各过程中相关的所有原材料和能源的输入数据及相关的重要污染物的输出数据。

2) 一致性检查

一致性检查的目的是确认假设、方法和数据是否与目的和范围的要求相一致。本报告中已通过数据交叉核验及其它方法检查企业所提供的数据的一致性，确保数据的一致及真实有效性。

3.5 生态设计改进方案

根据生命周期评价的结果、各阶段的贡献分析结果，钢结构全生命周期中，对所有指标贡献最大的都是钢结构生产阶段。进行绿色设计和清洁生产，考虑以下重点改进方向：

优化配方、绿色采购，选择环境影响更小的原料。即减少钢结构中原材料及包装物中不可回收材料的使用，增加可再生原料的使用，使用再生原材料，以减小原材料获取阶段对环境的影响程度。致力于原材料的高度绿色，完善的技术，利用可再生资源，减少原材料采购成本。

就近采购，减小原料运输距离。减少部分原材料的长途运输，降低材料运输阶段带来的温室气体排放及能源消耗。

钢结构生产过程管控，节能节材减排。建设智能化、数字化的能源管理系统，对能源实行精细化管理。继续加强环保材料研究使用。采用先进的生产技术、工艺标准，加强质量管理，降低能源消耗、噪音，粉尘并减少污染。

4、生命周期解释

4.1.假设与局限性说明

产品全生命周期考虑了上游原材料的生产与运输、产品主要零部件的生产与装配、使用和废弃带来的环境影响，产品生产过程中，质量小于 1%的部分次要辅料被忽略，。

本报告研究对象钢结构，本研究中生产及销售运输数据代表的是 2021 年的有效值。使用阶段电力消耗极少，进行了忽略。用户终止使用后，产品作为废弃物回收价值较低，一般作为生活固废处理。

4.2.完整性说明

生命周期模型数据模型中上游生产数据完整，无需补充。生产过程所用到重量小于 1%产品重量，因此其上游生产数据可忽略。本评价研

究中产品重量为 5.22kg/m², 模型中计算的产品的总重量为 5.22kg, 符合取舍规则。

4.3 数据质量

4.3.1 数据质量评估

根据《生态设计产品评价规范第 4 部分：无机轻质板材》相关要求，对本研究中钢结构全生命周期评价的数据质量进行评估，具体评估见表如下：

项目	描述	
模型完整性	本研究的系统边界为摇篮到坟墓类型, 包含钢结构生产过程中各零部件、原辅料、能源的生产、运输过程, 产品销售运输、使用过程和产品废弃再生过程。	
数据取舍原则	参照《生态设计产品评价规范第 4 部分：无机轻质板材》所描述的数据取舍准则	
数据准确性： 实际的生产过程调查 确使用了估算或文献 数据且生命周期贡献 大于 1%	物料消耗	本研究中对 LCA 指标贡献大于 1%的物料消耗、能源消耗及环境排放数据均来自企业生产统计数据。
	能源消耗	
	环境排放	
物料重量大于 5%产品重量, 却未调查此物料上游生产过程	无	
物料重量大于 1%产品重量, 却被忽略的物料	无	
采用的背景数据库	本研究主要采用中国生命周期基础数据库 (CLCD0.8).	
采用的 LCA 软件工具	EfootprintV1.0	
评价结论	本研究中影响数据质量和结论可信度的主要因素是部分原料上游背景数据库地理代表性不完全匹配但本研究无缺失过程, 无缺失数据, 因此当前模型和数据是能满足 LCA 目的和	

要求的。

4.3.2 数据质量改进

根据上述数据质量要求和评估结果，当前模型提高数据质量关键因素和持续改进数据质量的建议如下：

(1) 若无法继续追溯物料上游供应商的生产数据，尽量采用匹配度更高的背景数据。

4.4 结论

通过建模计算得 1 台钢结构的全生命周期模型计算结果，计算指标分气候变化(ClimateChange, GWP)、不可再生资源消耗(Depletion of non-renewable Resources, DNR)和人体危害(Harm to Human Body, HHB)。

环境影响类型指标	影响类型指标单位	LCA 结果
GWP	kgCO ₂ eq	0.032
DNR	kgCO ₂ eq	0.35
HHB	kg antimony eq	0.35

附件 1 生产数据收集表

产品（钢结构产品）生产数据收集表					
数据统计周期	2022 年				
生产工艺	下料-钻孔-组立-焊接-热校-抛丸-喷漆（热浸锌）-包装发货。				
生产规模	20 万吨				
1.产品产出					
产品名称	单位	数量	规格型号	数据来源	备注
角钢塔	吨	102450	/	生产统计	主产品
钢管塔	吨	32201	/	生产统计	主产品
钢结构	吨	67520	/	生产统计	主产品
2. 原料消耗（含辅料、助剂、包装消耗）					
原料类型	单位	数量	数据来源(生产统计或结算发票)	用途	备注
钢板	Kg	86050576	生产统计	工程	外购
角钢	Kg	77779054	生产统计	工程	外购
型钢	Kg	16213401	生产统计	工程	外购
钢管	Kg	13605904	生产统计	工程	外购
锌锭	吨	2963.433	生产统计	工程	外购
油漆	kg	408701.6	生产统计	工程	外购
油漆	升	328477.25	生产统计		外购
焊材	kg	1452320	生产统计	工程	外购

3. 水资源消耗					
水资源类型	单位	数量	数据来源(生产统计或缴费记录)	用途	备注
生产用水	吨	2200	生产统计	循环水	
生活用水	吨	4000	生产统计	生活	
4. 能源消耗					
能源类型	单位	数量	数据来源(生产统计或缴费记录)	用途	备注
电力	kWh	11798.42	生产统计	生产	外购
二氧化碳	kg	3098995	生产统计	焊接	外购
二氧化碳(35kg/瓶)	kg	1740408	生产统计	焊接	外购
天然气	立方	1894005	生产统计	锌锅加热	外购