

# 风能电缆碳足迹评价报告

报告编号：2023007

生产单位：中天科技装备电缆有限公司

报告编制：上海励羿建筑科技有限公司

2023年4月28日



## 目录

1. 目标与范围定义 .....	3
1.1. 目标定义 .....	3
1.1.1. 产品信息 .....	3
1.1.2. 功能单位与基准流 .....	3
1.1.3. 数据代表性 .....	3
1.2. 范围定义 .....	4
1.2.1. 系统边界 .....	4
1.2.2. 取舍原则 .....	4
1.2.3. 多产品分配 .....	4
1.2.4. 环境影响类型 .....	4
1.2.5. 数据质量要求 .....	5
1.2.6. 软件与数据库 .....	5
2. 数据收集 .....	6
2.1. 风能电缆[生产] .....	6
工艺设备：中拉机、退火镀锡机、多头拉丝机、束丝机 .....	7
3. 生命周期影响分析 .....	8
3.1 LCA 结果 .....	8
3.2 过程累积贡献分析 .....	9
3.3 清单数据灵敏度分析 .....	9
4. 生命周期解释 .....	12
4.1. 假设与局限性说明 .....	12
4.2. 完整性说明 .....	12
4.3. 数据质量评估结果 .....	12
4.4. 结论与建议 .....	13

# 风能电缆碳足迹评价报告

## 1. 目标与范围定义

### 1.1. 目标定义

#### 1.1.1. 产品信息

本研究的研究对象为：风能电缆(风力发电机组用耐扭曲软电缆)，具体信息如下：

规格型号、产品类别、额定电压等参数见下表：

表 1 风力发电机组用耐扭曲软电缆规格型号

型号	额定电压	规格
FDLHEH	0.6/1kV	1C~5C 25~240mm <sup>2</sup>
FDLHEH	1.8/3kV	1C 70~630mm <sup>2</sup>
FDEH(FDEH-X), FDEHP(FDEHP-X)	450/750V, 0.6/1kV	1C 0.75~400mm <sup>2</sup> 2C, 5C 0.75~95mm <sup>2</sup> 3C, 4C 0.75~300mm <sup>2</sup> 6C~36C 0.75~4mm <sup>2</sup>
FDEH(FDEH-X)	1.8/3kV	1C 10~400mm <sup>2</sup> 3C 10~240mm <sup>2</sup>
FDEH (FDEH-X)	3.6/6(7.2)kV, 6 /6(7.2)kV, 6/10(12)kV 8.7/10(12)kV, 8.7/15(17.5)kV, 12/20(24)kV 18/30(36)kV, 21/35(40.5)kV, 26/35(40.5)kV	1C, 3C 25~300mm <sup>2</sup>
FDEH (FDEH-X)	36/66(72.5)kV	1C, 3C 50~300mm <sup>2</sup>

#### 1.1.2. 功能单位与基准流

本报告以 1km 风能电缆为功能单位。

#### 1.1.3. 数据代表性

时间、地理、技术代表性如下：

- (1) 时间代表性：2022
- (2) 地理代表性：中国

## 1.2. 范围定义

### 1.2.1. 系统边界

本研究的系统边界为，主要包括：铜导体（包带）/铝导体-绝缘-护套-包装等过程。

### 1.2.2. 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。

### 1.2.3. 多产品分配

复杂多样的多产品系统需采用合理的建模方法对整个系统的资源环境影响进行分配，从而得到主、副产品各自的环境影响，常见的方法有分段法、物理化学性质分配法、经济价值分配法、系统扩展法（替代法）等。

本研究报告中不涉及副产品。

### 1.2.4. 环境影响类型

表. 环境影响类型指标

环境影响类型指标	影响类型指标单位	主要清单物质
气候变化	kg CO <sub>2</sub> eq.	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O...
初级能源消耗	MJ	硬煤, 褐煤, 天然气...
非生物资源消耗	kg Sb eq.	铁, 锰, 铜...
水资源消耗	kg	淡水, 地表水, 地下水...
酸化	kg SO <sub>2</sub> eq.	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> ...
富营养化	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq.	NH <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> -N, COD...
可吸入无机物	kg PM <sub>2.5</sub> eq.	CO, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> ...
臭氧层消耗	kg CFC-11 eq.	CCl <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> , CH <sub>3</sub> Br...
光化学臭氧合成	kg NMVOC eq.	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ...

注：eq 是 equivalent 的缩写，意为当量。例如气候变化指标是以 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> eq.。

### 1.2.5. 数据质量要求

数据质量代表 LCA 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 LCA 结果的不确定度。

### 1.2.6. 软件与数据库

本研究采用 eFootprint 软件系统, 建立了风能电缆生命周期模型, 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 软件中建立的风能电缆 LCA 模型, 其生命周期过程使用的背景数据来源见下表:

表 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
导体		风能电缆[生产]	阴极铜-湿法炼铜(符合《GB/T467-2010 阴极铜》中 A 级铜标准, 含	CLCD-China 0.9	

		铜量不小于 99.95%)	
包带	风能电 缆[生产]	分散染料平 网印花涤纶 布(幅宽 1.6 米,长为 625 米)	hly1271763 581@163.co m 1.0
绝缘	风能电 缆[生产]	三元乙丙橡 胶(溶液聚 合法)	yxt@ike-glo bal.com 1.0
护套	风能电 缆[生产]	聚乙烯薄膜 (塑料薄膜 (0.07-0.1m m))	09203614@ cumt.edu.cn 1.0
电力	风能电 缆[生产]	华东电网电 力(到用户)	CLCD-Chin a-ECER 0.8
电缆废橡胶	风能电 缆[生产]	橡胶制品 (未分类)	lcacontest-s- o20p@ike-gl obal.com 1.0
废电缆	风能电 缆[生产]	电缆(未分 类)	caixr7@mail 2.sysu.edu.c n 1.0
废铝	风能电 缆[生产]	6 种固体废 物铝灰渣资 源化技术的 LCA 对比研 究(未分类)	jingjingliu25 @163.com 1.0

## 2. 数据收集

### 2.1. 风能电缆[生产]

#### (1) 过程基本信息

过程名称：风能电缆[生产]

过程边界：铜导体（包带）铝导体 绝缘 护套 包装

#### (2) 数据代表性

主要数据来源：

企业名称：中天科技装备电缆有限公司

产地：中国南通

基准年：2022

工艺设备：中拉机、退火镀锡机、多头拉丝机、束丝机

主要原料：铜导体/铝导体、无纺布、乙丙橡胶绝缘料、氯化聚乙烯护套料

主要能耗：电力

生产规模：1500km

技术补充描述：

表 . 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	风能电缆	1	km	--	--
原材料/物料	导体	1,980	kg	CLCD-China 0.9	
原材料/物料	包带	8	m <sup>2</sup>	hly1271763581 @163.com 1.0	
原材料/物料	绝缘	352	kg	yxt@ike-globa 1.com 1.0	
原材料/物料	护套	590	kg	09203614@cumt .edu.cn 1.0	
能源	电力	836	kWh	CLCD-China-EC ER 0.8	
待处置废物	电缆废橡胶	2.65	kg	lcacontest-s- o20p@ike-glob al.com 1.0	
危险废物	废油	0.41	kg	数据不可得 caixr7@mail2. sysu.edu.cn	
可再生废料	废电缆	1.58	m	1.0	
可再生废料	废铝	0.07	kg	jingjingliu25 @163.com 1.0	

(3) 分配方法

表 . 主副产品分配系数表

产品名称	数量单位	规格型号	主分配系数
------	------	------	-------

(4) 运输信息

表 . 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
包带	4Kg	江阴	南通开 发区	105km	货车运输 (8t) - 汽油
导体	1980Kg	南通河口	南通开	71km	货车运输 (8t) -

绝缘	352Kg	潍坊潍星	发区 南通开 发区	777km	汽油 货车运输 (8t) - 汽油
成缆	0Kg	常州瑞鸿	南通开 发区	124km	货车运输 (2t) - 柴油
护套	590Kg	临安杨氏	南通开 发区	283km	货车运输 (8t) - 汽油
编织	0Kg	江东合金	南通开 发区	72km	货车运输 (8t) - 汽油
内衬层	0Kg	临海亚东	南通开 发区	405km	货车运输 (8t) - 汽油

注：运输数据上游数据来源均来自 CLCD 数据库

### 3. 生命周期影响分析

#### 3.1. LCA结果

LCA 结果在 eFootprint 上建模计算了 1km 风能电缆的 LCA 结果，计算指标为气候变化 (GWP)、一次能源消耗 (PED)、非生物资源消耗潜值 (ADP)、水资源消耗 (WU)、酸化 (AP)、富营养化潜值 (EP)、可吸入无机物 (RI)、臭氧层消耗 (ODP)、光化学臭氧合成 (POFP) 结果如下

表 . 风能电缆 LCA 结果

环境影响类型指标	影响类型指标单位	LCA 结果
GWP	kg CO2 eq	4.19E+04
PED	MJ	7.27E+05
ADP	kg antimony eq.	10.11
WU	kg	1.59E+08
AP	kg SO2 eq	177.84
EP	kg P043-eq	29.81
RI	kg PM2.5 eq	55
ODP	kg CFC-11 eq	3.48E-04
POFP	kg NMVOC eq	26.58



### 3.2.过程累积贡献分析

过程累积贡献是指该过程直接贡献及其所有上游过程的贡献（即原料消耗所贡献）的累加值。由于过程通常是包含多条清单数据，所以过程贡献分析其实是多项清单数据灵敏度的累积。

表 . 风能电缆 LCA 累积贡献结果

过程名称	GWP	PED	ADP	WU	AP	EP	RI	ODP	POFP
风能电缆【生产】	4.19E+04	7.27E+05	10.11	1.59E+08	177.84	29.81	55	3.48E-04	26.58

### 3.3.清单数据灵敏度分析

清单数据灵敏度是指清单数据单位变化率引起的相应指标变化率。通过分析清单数据对各指标的灵敏度，并配合改进潜力评估，从而辨识最有效的改进点。表中罗列了灵敏度>0.5%的清单数据。

表 . 清单数据灵敏度表（单位同上表）

清单名称	所属过程	GWP	PED	ADP	WU	AP	EP	RI	ODP	POFP
绝缘	风能电缆【生产】	72.55%	67.1%	0.44%	99.4%	90.13%	61.76%	91.51%	24.82%	47.42%

导体	风能电缆 【生产】	22.08%	27.52%	99.48%	0.59%	4.42%	35.5%	1.98%	23.69 %	3.41%
护套	风能电缆 【生产】	3.27%	3.73%	0.07%	0.01%	2.52%	1.39%	3.81%	47.21 %	38.14%
电力	风能电缆 【生产】	1.9%	1.43%	4.92E-03%	1.95E-03%	2.52%	0.93%	2.43%	0.59%	1.24%
绝缘 - 中型汽 油货车运输 (8t) -中国	风能电缆 【生产】	0.07%	0.08%	1.96E-03%	3.16E-05%	0.17%	0.17%	0.1%	1.44%	4.52%
护套 - 中型汽 油货车运输 (8t) -中国	风能电缆 【生产】	0.04%	0.05%	1.20E-03%	1.93E-05%	0.1%	0.1%	0.06%	0.88%	2.76%
导体 - 中型汽 油货车运输 (8t) -中国	风能电缆 【生产】	0.04%	0.04%	1.01E-03%	1.62E-05%	0.09%	0.09%	0.05%	0.74%	2.32%
电缆废橡胶	风能电缆 【生产】	0.03%	0.03%	5.44E-03%	4.65E-06%	0.02%	0.04%	0.02%	0.52%	0.1%
包带	风能电缆 【生产】	0.02%	0.02%	3.00E-04%	9.39E-05%	0.03%	0.02%	0.03%	0.1%	0.06%
包带 - 中型汽	风能电缆	1.06E-04%	1.19E-04%	3.01E-06%	4.86E-08%	2.59E-04%	2.58E-04	1.59E-04	2.22E-	6.94E-03%

油货车运输 (8t) -中国	【生产】						%	%	03%	
废铝	风能电缆 【生产】	0%	0%	0%	-1.37E-06%	0%	0%	0%	0%	0%
废油	风能电缆 【生产】	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

## 4. 生命周期解释

### 4.1. 假设与局限性说明

各单元过程模型数据假设描述见下表

表 .模型假设描述

过程名称	模型假设分析
风能电缆[生产]	

### 4.2. 完整性说明

生命周期模型数据

表 . 数据缺失或忽略的物料汇总表

消耗名称	所属过程	上游数据来源	数量单位	重量比	检查结果
		数据库	0		数据缺失

注：\* 重量比=物料重量\*数量/产品重量；

\* 总忽略物料重量比=数据缺失的重量比+符合取舍规则的重量比。

### 4.3. 数据质量评估结果

报告采用 CLCD 质量评估方法，在 eF 系统上完成对模型清单数据的不确定度评估。本报告研究类型为，得到数据质量评估评估结果见表。

表 . LCA 数据质量评估结果

指标名称	缩写（单位）	LCA 结果	结果不确定度	结果上下限 (95%置信区间)
气候变化	GWP(kg CO2 eq)	4.185E+004	5.35 %	[3.96E+04,4.41E+04]
一次能源消耗	PED(MJ)	7.269E+005	4.54 %	[6.94E+05,7.60E+05]
非生物资源消耗 耗潜值	ADP(kg antimony eq.)	1.011E+001	20.47 %	[8.04,12.18]
水资源消耗	WU(kg)	1.588E+008	5.07 %	[1.51E+08,1.67E+08]
酸化	AP(kg SO2 eq)	1.778E+002	3.11 %	[172.27,183.33]
富营养化潜值	EP(kg PO43-eq)	2.981E+001	3.56 %	[28.75,30.87]
可吸入无机物	RI(kg PM2.5 eq)	5.500E+001	3.14 %	[53.27,56.73]
臭氧层消耗	ODP(kg CFC-11 eq)	3.475E-004	10.92 %	[3.10E-04,3.85E-04]

光化学臭氧合成	POFP(kg NMVOC eq)	2.658E+001	6.72 %	[24.79,28.37]
---------	----------------------	------------	--------	---------------

#### 4.4. 结论与建议

本报告以 1km 风能电缆(风力发电机组用耐扭曲软电缆)的生命周期过程为研究对象, 调研了风能电缆生产过程, 包括外协件生产、自制件生产、耗辅材料和包装材料的生产使用等工序, 收集了各过程的清单数据, 在 eFootprint 在线 LCA 软件上建立了风能电缆的 LCA 模型, 计算了气候变化(GWP)、非生物资源消耗潜值(ADP)、初级能源消耗(PED)、水资源消耗(WU)、酸化(AP)、富营养化潜值(EP)、可吸入无机物(RI)、臭氧层消耗(ODP)、光化学臭氧合成(POFP)等典型 LCA 指标的结果。通过过程贡献分析、清单灵敏度分析, 发现在 eF 系统上完成对模型清单数据的不确定度评估, 由软件自动导出 LCA 报告, 通过建风能电缆生命周期模型, 计算得出基准流下 1km 风能电缆的碳足迹结果为 4.19E+04 kg CO<sub>2</sub>eq.。数据评估结果合格。

建议在节材设计、产品节能、有害物质控制以及工艺改进等方面提高绿色设计水平。