

电力电缆碳足迹评估方法及低碳化分析

文 / 陈秋火 广州赛宝认证中心服务有限公司

高秀贞 广州市德智机电设备有限公司

摘要: 在“双碳”战略指导下电力行业进入到低碳化发展阶段,而电力行业电缆碳足迹评估现阶段存在误差大的现象,基于此,该次结合数据库软件提出新的电力电缆碳足迹评估方法,衔接全生命周期理论构建模型进行分析,最终得出电力电缆在不同生命周期阶段中的碳足迹。经研究表明,案例评估对象(1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆)的碳足迹结果为 5.99tCO₂-eq。

关键词: 电力电缆;碳足迹评估;低碳化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.113

引言

“双碳”战略纵深推进期间应做好碳污染的防控工作,而在电力输送的全过程中,电力电缆所产生的碳排放量较高,故在“双碳”视域下,应科学评估电力电缆碳足迹。在现有研究中,多结合全生命周期理论构建电力电缆碳足迹评估模型,该次研究同样如此,但创新式引入了数据库软件算法计算碳足迹,在算法程序的帮助下提高评估效率,减少评估误差。

一、实例概况

为增强该次电力电缆碳足迹评估方法及低碳化研究的针对性,选取 1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆为研究对象,其型号为 ZA-KVVP2-22。对该电力电缆进行碳足迹排放评估时,结合全生命周期理念分析得出原材料获取与加工、原材料运输、产品生产、产品运输、产品废弃五个阶段的碳足迹数据。

二、基于实例的电力电缆碳足迹评估方法

(一) 基本评估思路

该次针对 1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆进行碳足迹排放评估时充分结合全生命周期理念,采用生命周期评估方法量化得出各阶段中的资源环境效率状况,了解该电力电缆在生命周期各阶段中所释放的温室气体总量。在该次研究中确定碳足迹的核查目标及范围后,基于生命周期评估方法采集电力电缆各个生命周期阶段的数据信息,完成数据采集后创新式选用数据库软件辅助完成数据分析,最终依靠算法程序得出 1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆在各个生命周期阶段中的温室气体排放情况。

(二) 确定目标及范围

1. 碳足迹核查评估目标

通过生命周期评估和碳足迹核查能够指导电力行业绿色化转型发展,实现资源节约与温室气体减排。在该次碳足迹核查评估中,以《环境管理 生命周期评估原则与框架(ISO14040:2006)》《温室气体产品碳足迹量化的要求和指南(ISO 14067:2018)》为依据实施核查评估工作,结合实际情况建立 1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电

从原材料生产到产品废弃的生命周期模型,经核算评估后完成电力电缆碳足迹评估报告的撰写^[1]。对该次电力电缆的碳足迹核查评估目标进行总结,如下所示:

(1) 得出 1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆的生命周期碳排放结果,用于指导后续阶段电力电缆产品的优化,以便针对性选择环境友好型工艺技术。(2) 用于指导电力行业供应链下游绿色设计与供应链绿色制造,可根据生命周期碳足迹指标选择更为低碳的产品。(3) 展现额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆在绿色低碳方面的优势。

2. 碳足迹核查评估范围

对额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆进行碳足迹核查能够帮助电力企业了解电缆应用过程中的节能减排途径,推动电力行业绿色化发展,并可借助碳足迹评估报告而为电力电缆绿色化改进提供指导。在碳足迹核查期间,需得出电力电缆在各个生命周期中的温室气体排放情况,用二氧化碳当量(CO₂-eq)表示。在该环节中所涉及的常见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)、全氟化碳(PFC)和三氟化氮(NF₃)^[2]。

该次电力电缆碳足迹核查评估主要涉及原材料获取与加工、原材料运输、产品生产、产品运输、产品废弃五个阶段,因电力电缆使用阶段相关数据信息位于用户端而无法获取,故未将电力电缆使用阶段纳入到碳足迹核查评估阶段中。碳足迹核算评估边界如图 1 所示。

(三) 碳足迹数据采集

结合上述电力电缆碳足迹评估思路来看,该次主要结合原材料获取与加工、原材料运输、产品生产、产品运输、产品废弃五个阶段,故为确保电力电缆碳足迹评估的真实性与可靠性,应在碳足迹核算评估期间完成各阶段的碳足迹数据采集工作。

1. 原辅材料成分

额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆由导体及金属材料、绝缘材料、护套材料、辅助材料(衬层、填料、包带等)构成,其在材料成分及规格如表 1 所示:

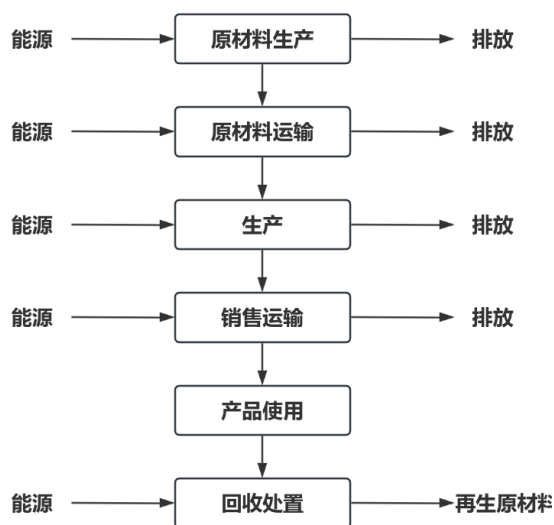


图1 碳足迹核算评估边界

表1 电力电缆原辅材料成分及规格

类别	原材料部件	规格型号	材料成分	质量 / (kg/km)
导体及金属材料	电工用铜线坯	T1-8.0mm	铜	323
	铜带	T2	铜	28
	钢带	D40-0.2*25	钢	135
绝缘材料	聚氯乙烯绝缘料	H-70	聚氯乙烯	155
护套材料	阻燃聚氯乙烯护套料	ZA-H-70	聚氯乙烯	169
	聚氯乙烯护套料	H-70	聚氯乙烯	80
辅助材料 (衬层、填充、包带等)	填充绳	PP	聚丙烯	30
	包带	0.15*60	无纺布	5
	包装膜	0.2mm	PVC	2

2. 材料运输数据

电力电缆原辅材料在运输过程中同样会产生温室气体，而温室气体的产生量主要受运输距离及运输方式影响。对电力电缆原辅材料的运输数据进行统计，最终确定所有材料均采用汽运方式运输，且除导体及金属材料中的铜带、钢带的运输距离为50km外，其余原材料的运输距离均为100km。

3. 生产阶段能源消耗

生产过程能源消耗涉及电力作为能源介质纳入碳足迹研究，根据统计台账，各过程及单位产品消耗量如下：额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆在生产阶段主要消耗的能源类型为电，生产1km所需消耗的电能285kWh/km。此外，在额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆生产环节中还会形成污染物废气，经检测后发现该阶段中的废气主要为非甲烷总烃，单位产品生产时的排放量为0.0002kg/km。

4. 产品运输过程数据

1km额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆完成生产后，需将其包装后进行运输，即产品运输期间所涉及的运输对象包

括电力电缆与包装，两者质量分别为927kg/km、62kg/km。在该次研究中将运输距离设定为200km，均采用汽运方式运输，燃料类型为柴油^[3]。

5. 产品废弃阶段数据

当1km额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆经运输后送达目的地后，用户开始使用电力电缆，当电力电缆使用寿命结束后则会进入到废弃阶段中。对于1km额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆而言，其使用寿命结束后需处理927kg的电力电缆。

(四) 碳足迹评估分析

在该次研究中，结合现代社会的信息化发展形势而将数据库软件应用到电力电缆碳足迹评估过程中。具体来看，本项目采用SimaPro软件建立产品生命周期模型并计算分析，依靠该数据库软件进行电力电缆各阶段碳足迹数据进行计算时，采用了欧洲ELCD数据库、瑞士Ecoinvent数据库中的数据。在该过程中所运用的SimaPro软件是当前运用最广的生命周期评估软件，故该次1km额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆碳足迹评估中选用该软件是尤为可行的。选取SimaPro软件作为生命周期评估软件后，基于该软件构建电力电缆生命周期模型，从欧洲ELCD数据库、瑞士Ecoinvent数据库中调取电力电缆相关数据，如常见原材料清单、大宗能源数据，在上述数据库的帮助下有效保障了该次电力电缆碳足迹数据的可靠性^[4]。

借助欧洲ELCD数据库、瑞士Ecoinvent数据库了解电力行业的标准数据后，对1km额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆企业所提供的数据进行整合，并在SimaPro软件中构建了额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆的生命周期模型。

该次电力电缆碳足迹评估主要结合生命周期理念进行分析，故需得出各个阶段的碳足迹数据，在实际评估期间需按照式(1)关系式完成数据汇总核算。

$$CF \approx CF_0 + CF_T + CF_P + CF_t + CF_E \quad (1)$$

式(1)中，CF代表额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆的生命周期碳足迹总量，CF₀、CF_T、CF_P、CF_t、CF_E分别表示原材料获取与加工、原材料运输、产品生产、产品运输、产品废弃五个阶段的碳足迹数据。

三、电力电缆碳足迹评估结果及低碳化分析

(一) 评估结果

经上述电力电缆碳足迹评估方法分析可知，在该次电力电缆碳足迹评估过程中运用了生命周期理论及SimaPro软件，构建额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆碳足迹模型后展开具体分析。经软件计算后最终得出以下结果：1km额定电压450/750V聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带

屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆的碳足迹结果为 5.99tCO₂-eq, 即产生 5.99t 二氧化碳当量排放。

1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆在各个生命周期阶段的具体碳足迹数据及贡献结果如表 2 所示。

表2 电力电缆在各个生命周期阶段的具体碳足迹数据及贡献结果

类型	数值 (tCO ₂ -eq)	贡献率
原材料获取与加工	4.90	81.74%
原材料运输	0.01	0.19%
产品生产	0.18	3.06%
产品运输	0.02	0.29%
废弃阶段	0.88	14.72%
合计	5.99	100%

运用 SimaPro 软件进一步细致得出 1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆在各个生命周期阶段的碳排放占比贡献情况, 发现在 1km 额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆整个生命周期阶段中, 原材料获取与加工阶段所产生的碳排放量最高, 其中电工用铜线坯、阻燃聚氯乙烯护套料、聚氯乙烯绝缘料、钢带、铜带、聚氯乙烯护套料的碳足迹最高, 分别为 48.2%、8.42%、7.72%、4.28%、4.18%。此外, 电力电缆废弃阶段的碳足迹贡献率为 14.72%, 产品生产阶段的碳足迹贡献率为 3.06%。由此可见, 对额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆碳足迹影响最大的三个阶段为原材料获取与加工阶段、废弃阶段、产品生产阶段。

(二) 低碳化分析

1. 原材料获取与加工阶段的低碳化措施

对于额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆生产企业而言, 其应加强供应链管控, 督促原材料供应商选用更加低碳的生产方式及技术, 优先选用碳排放量较低的原材料, 例如合金材料、可再生材料、聚丙烯、低烟无卤材料等, 用于把控, 原材料获取与加工阶段的碳排放量。还应积极寻找可替代能源, 在条件允许情况下优先选用风能、太阳能等可再生能源, 对于电能, 则优先选用风力发电、潮汐发电、光伏发电等方式所生产的电能, 由此逐渐改变电力电缆原材料获取与加工阶段的能源结构。

此外, 电力电缆生产企业还可加强供应商管理, 要求供应商提供原材料时同步给出碳排放量数据, 以此确保原材料来源的绿色化、低碳化程度, 继而实现对原材料获取与加工阶段的碳足迹控制。

2. 废弃阶段的低碳化措施

应结合额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆而针对性构建废弃物处理系统, 提出无害化处理方式, 当用户购入该电力电缆时, 将无害化废弃处理措施纳入产品使用说明书内, 采用该方式而引导用户在电力电缆使用寿命结束后进行无害化处理, 以此减少废弃电力电缆对自然环境的影响。

与此同时还可构建回收体系, 运用再生利用技术代替填埋、焚烧等处理方式, 以此实现对废弃电力电缆的回收, 将电缆分解后提取有价值的材料循环利用, 借助该方式减少废弃电力电缆的碳排放, 实现对碳足迹的约束。

3. 产品生产阶段的低碳化措施

额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆生产阶段的碳足迹贡献率为 3.06%, 需予以足够重视。在电力电缆生产过程中, 应顺应行业低碳化发展趋势, 结合“双碳”战略要求而选用节能设备进行生产, 更新既有设备, 优化与打造具有高效、节能效益的电缆生产线, 以此控制电力电缆生产环节的碳足迹。此外, 可将大数据、人工智能、物联网等现代技术融入到额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆生产线中, 用于提高生产工序的智能化程度, 减少生产环节中的人工干预程度, 在提高电力电缆生产效率的同时还可减少生产环节的碳足迹^[5]。

结语

综上所述, 运用生命周期理论及 SimaPro 软件构建了额定电压 450/750V 聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽钢带铠装阻燃控制电缆的碳足迹模型, 经模型运算后, 最终发现该电力电缆的碳足迹结果为 5.99tCO₂-eq, 对于产品碳足迹有主要贡献的是原材料消耗, 贡献率为 81.74%, 应加强供应链管控, 督促原材料供应商选用更加低碳的生产方式及技术, 此外, 生产过程的碳足迹贡献率为 3.06%, 需进一步选用可再生能源替代现有能源消费结构, 废气阶段的碳足迹贡献率为 14.72%, 此时应做好废弃电力电缆的回收再利用, 建立循环利用体系, 以此降低产品碳足迹。

参考文献

- [1] 邵冲, 余姣, 姜雪, 等. 基于复功率协同追踪的新型电力系统碳足迹分布计算方法[J]. 能源与环保, 2024, 46(12): 228-233.
- [2] 窦如婷, 喇元, 刘沁莹, 等. 基于改进 Yolov5 的电力设备碳足迹诊断系统研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2024, (11): 203-207.
- [3] 俞春华, 余程照, 李金霞, 等. 基于 LSTM 的供应链全生命周期碳足迹测度与预测研究[J]. 工业工程, 2024, 27(05): 161-171.
- [4] 张明, 孟庆蓉, 瞿子涵, 等. 典型电力电缆碳足迹核算标准化现状及建设思考[J]. 标准科学, 2024, (S1): 165-169.
- [5] 胡永焕, 陈之浩, 洪芳华, 等. 低碳化视域下电力电缆碳足迹评估方法研究[J]. 环境科学与管理, 2024, 49(04): 190-194.

作者简介: 陈秋火, 1988 年生, 男, 汉族, 福建人, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为绿色低碳技术、绿色制造体系评价等。