

ICS××××××

CCS×××

备案号：×××××-20××

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T XXX—XXXX

风力发电项目全生命周期碳排放量化 方法及评价标准

Life Cycle Carbon Emissions quantification and assessment criteria for Wind

Power Systems

(征求意见稿)

20XX-XX-XX发布

20XX-XX-XX实施

国家能源局

发布

目 次

1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 总则	3
5 功能单位	4
6 系统边界和核算范围	4
7 碳排放量化方法	5
8 数据收集	8
9 评价标准	10
附 录 A （规范性）	13
附 录 B （资料性）	19

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由****归口。

本文件起草单位：华电电力科学研究院有限公司，北京中创碳投科技有限公司，中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司，国家电投集团科学技术研究院有限公司，华电新疆发电有限公司新能源分公司，领碳未来（北京）能源科技有限公司。

本文件主要起草人：王莉、王建峰、郑文广、李洪吉、刘志强、潘聪超、赵岩、刘羿鑫、贾纯超、贾佳、张炬、程瑾、刘建雅、高翔、胡彦君、饶飞、杨江浩、张晓东、何文栋。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议请反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市西城区白广路二条1号，100761）。

风力发电项目全生命周期碳排放量化方法及评价标准

1 范围

本文件规定了风力发电项目（包括陆上风电、海上风电）全生命周期碳排放的边界与范围、碳排放量化方法、数据收集和评价标准。

本文件适用于风力发电项目全生命周期碳排放的量化及评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 24020-2000 环境管理 环境标志和声明 通用原则

GB/T 24025-2009 环境标志和声明 III型环境声明 原则和程序

GB/T 24040-2008 环境管理 生命周期评价 原则与框架

GB/T 24044-2008 环境管理 生命周期评价 要求与指南

GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则

ISO 14027/TS:2017 环境标签和声明 产品类别规则的制定（Environmental labels and declarations — Development of product category rules）

ISO 14064-1:2018 组织层面上对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南（Greenhouse gases - Part 1:Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emission and removal）

ISO 14067:2018 温室气体.产品碳足迹.量化要求和指南（Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification）

PAS 2050:2011 商品和服务的生命周期温室气体排放评价规范（Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全生命周期 life cycle

产品系统中前后衔接的一系列阶段，从自然界或从自然资源中获取原材料，直至最终处置。

[来源：GB/T 24040-2008，3.1，有修改]

3.2

温室气体 greenhouse gas

大气层中自然存在的和由于人类活动产生的能够吸收和散发由地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内的辐射的气态成份。

[来源：GB/T 32150-2015, 3.1]

3.3

二氧化碳当量

在辐射强度上与某种温室气体质量相当的二氧化碳的量。

[来源：GB/T 32150-2015, 3.16]

3.4

全球变暖潜势

将单位质量的某种温室气体在给定时间段内辐射强度影响与等量二氧化碳辐射强度影响相关联的系数。

[来源：GB/T 32150-2015, 3.15]

3.5

碳排放 carbon emission

在特定时间段内直接或间接释放到大气中的温室气体总量（以质量单位计算）。

[来源：ISO 14064-1:2018, 2.5, 有修改]

3.6

碳足迹 carbon footprint

基于仅考虑气候变化这一影响类型的生命周期评价，以二氧化碳当量表示的项目系统温室气体排放量之和。

[来源：ISO 14067:2018, 3.1.1.1, 有修改]

3.7

系统边界 system boundary

通过一组准则确定哪些单元过程属于产品系统的一部分。

[来源：GB/T 24044-2008, 3.32]

3.8

功能单位 functional unit

用作基准单位的量化的项目系统性能。

[来源：GB/T 24044-2008, 3.20]

3.9

活动数据 activity data

导致温室气体排放的生产或消费活动量的表征值。

[来源：GB/T 32150-2015, 3.12]

3.10

排放因子 emission factor

表征单位生产或消费活动量的温室气体排放的系数。

[来源：GB/T 32150-2015，3.13]

3.11

取舍准则 cut-off criteria

对与单元过程或产品系统相关的物质和能量流的数据或环境影响重要性程度是否被排除在研究范围之外所作的规定。

[来源：GB/T 24040-2008，3.18]

3.12

初级数据 primary data

对单元过程或活动进行直接测量的数据或基于原始来源的直接测量数据进行计算而得到的数据。

[来源：ISO 14067:2018，3.1.6.1，有修改]

3.13

次级数据 secondary data

从直接测量或基于直接测量计算以外的来源获得的数据。

[来源：ISO 14067:2018，3.1.6.3，有修改]

3.14

分配 allocation

将过程或产品系统中的输入和输出流划分到所研究的产品系统以及一个或更多的其他产品系统中。

[来源：GB/T 24040-2008，3.17]

3.15

产品类别规则 product category rule

关于一个或多个产品类别III型环境声明编制的一系列具体规则、要求和指南。

[来源：ISO 14067:2018，3.1.1.9]

3.16

数据质量

数据在满足所声明的要求方面的能力特性。

[源自：GB/T 24040-2008，3.19]

4 总则

4.1 评价目的

从全生命周期角度，准确核算风力发电项目碳排放数据，实现项目“立项-建设-生产-报废”全流程碳排放精细化管理，为项目供应链管理、低碳技术实施、碳资产管理等提供科学决策支撑。

4.2 基本原则

风力发电项目全生命周期碳排放量化及评价应遵循 GB/T 24040-2008 和 GB/T 24044-2008 对全生命周期评价方法学的基本要求，并遵循 ISO 14067:2018 和 PAS 2050:2011 等对碳足迹评价的规定。同时，如果存在相关的产品碳足迹-产品类别规则，应遵循 ISO/TS 14027:2017 有关产品种类规则的要求。

4.3 基本流程

风力发电项目全生命周期碳排放量化及评价的基本流程包括：边界和范围的确定，数据清单分析，

碳排放核算，碳排放评价等。

5 功能单位

本文件指的功能单位为 1kW·h，代表风力发电项目生产 1kW·h 的电能。

6 系统边界和核算范围

6.1 系统边界

风力发电项目采用全生命周期的系统边界，即从“摇篮到坟墓”，包括风电场站项目和配套联网项目，具体分为：原材料获取及加工阶段、风机设备制造阶段、物料设备运输阶段、项目建设阶段、运营维护阶段、回收处置阶段。具体如下图所示：

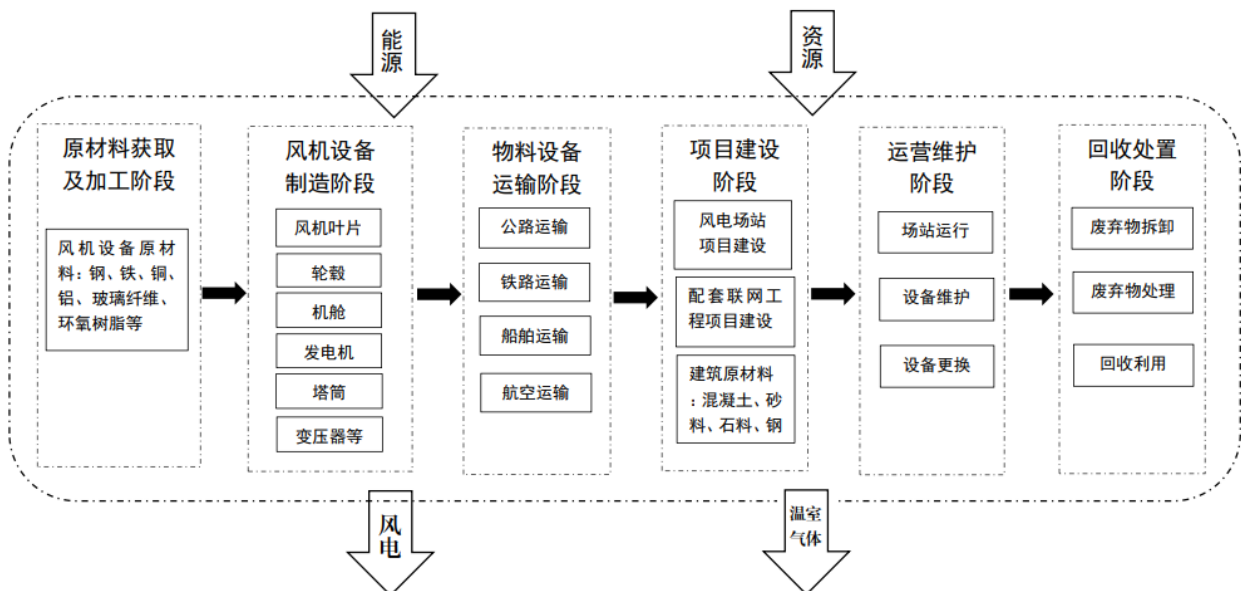


图 1 风力发电项目全生命周期碳排放量化系统边界

6.1.1 原材料获取及加工阶段

原材料获取加工阶段指从自然界提取材料（或获取再生材料）并经加工，得到用于生产风机设备的工业初产品，如钢、铁、铜、铝、玻璃纤维、环氧树脂等。

6.1.2 设备制造阶段

设备制造阶段指从产品原材料进入工厂开始，到风机设备离开工厂终止。包括风机叶片、轮毂、机舱、发电机、塔筒、箱式变压器、联网大型变压器、电缆线等的制造，以及风机零部件的整机组装等。

6.1.3 物料设备运输阶段

物料设备运输阶段包括将风机设备、建设材料、生产物料等从供应商运输至项目地点。这里不包括生产风机设备的原材料的运输和工作人员上下班的交通运输。

6.1.4 建设安装阶段

建设安装阶段包括风电场基础设施的建设和设备的安装，包括塔座固定、风机设备吊装、电缆敷设、架空线路、配电装置、监控系统等的配置安装和土方工程、构建筑物、场地及地下设施等，本阶段应包括对建筑原材料的获取及加工。

6.1.5 运营维护阶段

运营维护阶段是运营发电的整个阶段，包括对变压器油、润滑油、防冻液、水资源、电能等能源资源的消耗和风机、电缆、杆塔等设备的维修更换，也包括出于运营和维护目的的材料运输与交通等。

6.1.6 回收处置阶段

回收处置阶段包括风机组件的拆解施工、废弃材料的焚烧和填埋处理、金属等材料的回收利用等。

6.2 核算范围

6.2.1 概述

风力发电项目应按照全生命周期的系统边界，分别核算每个阶段的化石燃料燃烧排放、过程排放、净购入电力、热力产生的排放，不考虑碳汇损失导致的碳排放，汇总得到总排放量。

6.2.2 化石燃料燃烧排放

包括煤、油、气等化石燃料在企业内固定燃烧设备以及用于生产或产品运输过程的移动设施中发生氧化燃烧过程产生的二氧化碳排放。

6.2.3 过程排放

包括在生产运营、废弃物回收处置等过程中除燃料燃烧之外的物理或化学变化造成的温室气体排放。

6.2.4 净购入电力、热力产生的排放

购入电力、热力（蒸汽、热水）扣除输出的电力、热力（蒸汽、热水）所对应的生产环节产生的二氧化碳排放。

7 碳排放量化方法

7.1 全生命周期碳排放量化

应对风力发电项目全生命周期每个阶段碳排放进行量化，并将各阶段的碳排放量汇总，见公式（1）：

$$E=E_1+E_2+E_3+E_4+E_5+E_6 \quad (1)$$

式中：

E_1 ——原材料获取及加工阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

E_2 ——风机设备制造阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

E_3 ——物料设备运输阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

E_4 ——项目建设阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

E_5 ——运营维护阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

E_6 ——回收处置阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）。

以上各阶段的碳排放量可采用排放因子法、碳物料平衡法或实测法计算。

7.2 原材料获取及加工阶段碳排放量

原材料获取及加工阶段碳排放量主要包括从自然界获取到加工成生产风机设备所用工业初产品所产生的碳排放量，可采用排放因子法计算，见公式（2）：

$$E_1 = \sum_{i=1}^n Q_{1i} g_{1i} \quad (2)$$

式中：

E_1 ——原材料获取及加工阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

n ——生产风机设备所用材料的种类总数；

Q_{1i} ——生产风机设备第 i 种材料的总量，单位为吨（t）或立方米（m³）或升（L）；

g_{1i} ——生产风机设备第 i 种材料的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO₂e/t）或吨二氧化碳当量每立方米（tCO₂e/m³）或吨二氧化碳当量每升（tCO₂e/L）。

7.3 风机设备制造阶段碳排放量

风机设备制造阶段的碳排放量主要包括风机零部件制造和整机组装时，因使用电能、热能和水资源以及汽油、柴油等化石能源所产生的碳排放量，可采用排放因子法计算，见公式（3）：

$$E_2 = \sum_{i=1}^n Q_{2i} g_{2i} \quad (3)$$

式中：

E_2 ——风机设备制造阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

N ——所使用能源和资源的类别总数；

Q_{2i} ——第 i 种能源或资源的耗用量，当为汽油、柴油、水时，单位为吨（t）；当为电能时，单位为千瓦时（kW·h）；当为热力时，单位为吉焦（GJ）；

g_{2i} ——第 i 种能源或资源的二氧化碳排放因子，当为汽油、柴油、水时，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO₂e/t）；当为电力时，单位为吨二氧化碳当量每千瓦时（tCO₂e/(kW·h)）；当为热力时，单位为吨二氧化碳当量每吉焦（tCO₂e/GJ）。

7.4 物料设备运输阶段碳排放量

物料设备运输阶段包括建设阶段的公路运输、铁路运输、船舶运输和航空运输等，可采用排放因子法计算，见公式（4）：

$$E_3 = \sum_{i=1}^n Q_{3i} L_{3i} g_{3k} \quad (4)$$

式中：

E_3 ——物料设备运输阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）；

N ——所运输物料设备的类别总数；

Q_{3i} ——第 i 种物料设备的运输重量，单位为吨（t）；

L_{3i} ——第 i 种物料设备的运输距离，单位为千米（km）；

g_{3k} ——第 k 种运输方式的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨千米（ $tCO_2e/(t \cdot km)$ ）。

7.5 项目建设阶段碳排放量

项目建设阶段的碳排放量主要包括风电场站项目和配套联网项目的安装和施工时，获取建筑所用原材料如混凝土、钢筋、砂料、石料等产生的碳排放量，以及所消耗的电能、热能和水资源以及煤炭、汽油、柴油等化石能源产生的碳排放量，可采用排放因子法计算，见公式（5）：

$$E_4 = E_a + \sum_{i=1}^n Q_{4i} g_{4i} \quad (5)$$

式中：

E_4 ——项目建设阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

E_a ——建筑所用原材料产生的碳排放量，计算方法同公式（2）；

N ——所使用能源和资源的类别总数；

Q_{4i} ——第 i 种能源或资源的耗用量，当为汽油、柴油、水时，单位为吨（ t ）；当为电能时，单位为千瓦时（ $kW \cdot h$ ）；当为热能时，单位为吉焦（ GJ ）；

g_{4i} ——第 i 种建筑原材料、能源或资源的二氧化碳排放因子；当为汽油、柴油、水时，单位为吨二氧化碳当量每吨（ tCO_2e/t ）；当为电能时，单位为吨二氧化碳当量每千瓦时（ $tCO_2e/(kW \cdot h)$ ）；当为热能时，单位为吨二氧化碳当量每吉焦（ tCO_2e/GJ ）。

7.6 运营维护阶段碳排放量

运营维护阶段的碳排放量主要包括运营过程中能源资源的消耗、设备材料的维修更换和材料及人员的运输交通等产生的碳排放量，可采用排放因子法计算，见公式（6）：

$$E_5 = E_b + E_c + E_d + \sum_{i=1}^n Q_{5i} g_{5i} \quad (6)$$

式中：

E_5 ——运营维护阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

E_b ——替换或更新设备所对应的原材料获取环节产生的碳排放量，计算方法同公式（2）；

E_c ——替换或更新设备所对应的设备制造环节产生的碳排放量，计算方法同公式（3）；

E_d ——替换或更新设备运输交通产生的碳排放量，计算方法同公式（4）；

N ——运营维护阶段耗用资源的类别总数；

Q_{5i} ——第 i 项消耗资源的总质量，当为变压器油、润滑油、水时，单位为吨（ t ）；当为电能时，单位为千瓦时（ $kW \cdot h$ ）；

g_{5i} ——第 i 项所消耗资源的二氧化碳排放因子，为变压器油、润滑油、水时，单位为吨二氧化碳当量每吨（ tCO_2e/t ）；当为电能时，单位为吨二氧化碳当量每千瓦时（ $tCO_2e/(kW \cdot h)$ ）。

7.7 回收处置阶段碳排放量

回收处置阶段的碳排放量主要包括两部分，一部分是拆解施工和焚烧、填埋等处置所产生的碳排放量，一部分是材料回收利用所减少的碳排放量，可采用排放因子法计算，具体计算见公式（7）：

$$E_6 = \sum_{i=1}^n Q_{6i} g_{6i} + \sum_{j=1}^m Q_{6j} g_{6j} - \sum_{k=1}^z (W_k \times I_k) \quad (7)$$

式中：

E_6 ——回收处置阶段碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

N ——拆解施工所使用能源的类别总数；

Q_{6i} ——第 i 种用于拆解施工的能源耗用量，当为汽油、柴油时，单位为吨（ t ）；当为电能时，单位为千瓦时（ $kW \cdot h$ ）；

G_{6i} ——第 i 种能源的二氧化碳排放因子，当为汽油、柴油时，单位为吨二氧化碳当量每吨（ tCO_2e/t ）；当为电能时，单位为吨二氧化碳当量每千瓦时（ $tCO_2e/(kW \cdot h)$ ）。

M ——待处置废弃材料的类别总数；

Q_{6j} ——第 j 项待处置废弃材料的总质量，单位为吨（ t ）；

G_{6j} ——第 j 项待处置废弃材料的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（ tCO_2e/t ）。

Z ——可回收利用的材料的类别总数；

W_k ——第 k 项可回收利用的材料的总质量，单位为吨（ t ）；

I_k ——第 k 项可回收利用的材料的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每吨（ tCO_2e/t ）。

其中，对于在处置阶段，因焚烧等过程发生物理或化学变化，无法使用排放因子法计算时，可使用物料平衡法计算，见公式（8）：

$$E_{fs} = \left[\sum_{i=1}^r (AD_i \times CC_i) - \sum_{j=1}^p (AD_j \times CC_j) \right] \times 44/12 \quad (8)$$

式中：

E_{fs} ——焚烧处置过程中所产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

r ——进入核算单元的含碳原料的类别总数；

AD_r ——第 i 种进入核算单元的含碳原料的投入量，对固体或液体原料，单位为吨（ t ）；对气体原料，单位为万标立方米（ $10^4 Nm^3$ ）；

CC_r ——第 i 种进入核算单元的含碳原料的含碳量，对固体或液体原料，单位为吨二氧化碳当量每吨（ tCO_2e/t ）；对气体原料，单位为吨二氧化碳当量每万标立方米（ $tCO_2e/10^4 Nm^3$ ）；

P ——流出核算单元的含碳产品类别总数；

AD_j ——第 j 种流出核算单元的含碳产品的产量，对固体或液体产品，单位为吨（ t ），对气体产品，单位为万标立方米（ $10^4 Nm^3$ ）；

CC_j ——第 j 种流出核算单元的含碳产品的含碳量，对固体或液体产品，单位为吨二氧化碳当量每吨（ tCO_2e/t ），对气体产品，单位为吨二氧化碳当量每万标立方米（ $tCO_2e/10^4 Nm^3$ ）。

8 数据收集

8.1 数据收集原则

收集和整合数据时，对数据质量的控制应从以下方面注意：

a) 时间跨度：宜选择碳排放量化数据具有针对性的时间段；风力发电项目全生命周期碳排放量化的时间段应涵盖从原材料获取至回收处置整个阶段，根据风电机组的设计寿命，一般为 20-25 年；

- b) 地理范围：应优先选择对所核算风电项目具备地理针对性的数据；
- c) 技术覆盖面：具体的技术或技术组合；应优先选择对所核算风电项目具备技术针对性的数据；
- d) 准确性：应优先选择与真值最接近的数据；
- e) 精确性：应优先选择更精确（即具有最小统计方差）的数据；
- f) 完整性：覆盖范围与项目系统边界保持一致，且能满足碳排放量化的需要；
- g) 一致性：收集时应保持相同的数据类型、统计口径、处理规则；
- h) 代表性：包括数据获取的地理范围代表性、时间代表性、技术代表性；
- i) 数据来源：来源应清晰、透明，应明确是初级数据或次级数据；
- j) 可再现性：其他独立实践者运用同一方法学和数据值信息应可重现碳排放量化评价结果；
- k) 信息的不确定性：应考虑参数、情景、模型的不确定性，必要时开展敏感性分析和不确定性分析。

8.2 数据收集优先序

应选择质量较高的数据进行采集，以减少不确定性，数据质量由高到低依次如下：

- a) 实际测量值、计算值；
- b) 相同工艺/设备的经验排放数据；
- c) 相关数据库数据；
- d) 相关文献、行业内专家经验的估算值；
- e) 省内相关数据；
- f) 区域范围内相关数据；
- g) 国内相关数据；
- h) 国际相关数据。

8.3 数据的分配程序

处理数据的分配问题一般按以下程序进行：

- a) 尽量避免或减少出现分配；
- b) 使用能反映其物理关系的方式来进行分配；
- c) 当物理关系不能确定或不能用作分配依据时，用其经济关系来进行分配。

8.4 数据取舍准则

若某排放源的碳排放估测值小于或等于项目全生命周期内碳排放估测值的 1%，则该值可被忽略舍弃。但所有被忽略的碳排放不应超过项目全生命周期内碳排放估测值的 5%。

8.5 各阶段数据收集

风力发电项目应按全生命周期的系统边界，分析每个阶段的活动水平数据和排放因子数据。活动数据多为初级数据，排放因子数据多为次级数据。各阶段数据清单收集示例见附录 A 表 A.1~表 A.6。

8.5.1 原材料获取及加工阶段

该阶段的活动数据主要包括原辅材料的使用量，如钢、铁、铜、铝、玻璃纤维、环氧树脂的消耗量或投资成本等，数据收集宜来源于生产统计报表或财务采购台账的初级数据。

该阶段的排放因子数据指上述原辅材料对应的全生命周期（从“摇篮”到“大门”）的二氧化碳排放因子，可参考相关碳足迹数据库数据。

8.5.2 风机设备制造阶段

该阶段的活动数据主要包括为风机设备制造时所购入的电能、热能和水资源以及汽油、柴油等化石能源的消耗量，宜采用供应商提供的生产数据。

该阶段的排放因子数据，对于电力排放因子，宜选用具体项目所在的某个省份的电力排放因子，其他排放因子可参考相关碳足迹数据库数据。

8.5.3 物料设备运输阶段

该阶段的活动数据主要包括某种运输方式所对应物料设备的运输重量和运输距离，运输重量数据宜根据供货参数进行查询，运输距离宜根据供应商所在地理位置计算。

该阶段的排放因子指采用某种运输方式所对应的二氧化碳排放因子，可选用相关碳足迹数据库数据。

8.5.4 项目建设阶段

该阶段的活动数据主要包括安装和施工时，混凝土、钢筋、砂料、石料等建筑材料的消耗量和使用工程机具所消耗的汽油、柴油、电能等能源的耗用量，宜采用风力发电项目业工程结算报告数据。

该阶段的排放因子数据，主要指汽油、柴油、电能对应的排放因子，可选用相关碳足迹数据库数据。

8.5.5 运营维护阶段

该阶段的活动数据主要包括，因替换或更新设备产生的原材料获取加工、风机设备制造和物料设备运输所对应的活动数据，数据的获取同7.5.2、7.5.3和7.5.4。此外，运营维护阶段的活动数据还包括润滑油、水资源、防冻液等资源的消耗量，应优先采用企业统计台账数据。

该阶段的排放因子数据，包括因替换或更新设备产生的原材料获取加工、风机设备制造和物料设备运输所对应的排放因子，数据的获取同7.5.2、7.5.3和7.5.4。此外，对因运营维护所消耗润滑油、水资源、防冻液等资源的二氧化碳排放因子，可选用相关碳足迹数据库数据。

8.5.6 回收处置阶段

该阶段的活动数据和排放因子有三类。第一类活动数据是用于拆解施工的汽油、柴油、电能等能源的耗用量。第二类活动数据，是待焚烧、填埋等处置废弃材料的总质量。第三类活动数据，是可回收利用材料的总质量，宜优先采用企业实际计量数据。对应的排放因子数据，可选用相关碳足迹数据库数据。

对于因焚烧处置等过程发生物理或化学变化，无法使用排放因子法计算时，其对应的活动数据包括含碳原料的投入量、含碳产品的产量等，应来源于企业台帐。其对应的排放因子数据，指含碳原料的含碳量、含碳产品的含碳量等，可委托有资质的专业机构开展检测，有条件的企业可自行检测。对无条件实测含碳量的，可以根据物质成分或纯度以及每种物质的化学分子式和碳原子的数目来计算。

9 评价标准

9.1 全生命周期碳排放强度

风力发电项目全生命周期碳排放强度，即风力发电项目生产 1kW·h 电能所对应的碳排放量。可根据风力发电项目全生命周期碳排放量除以该项目运营期内总发电量获得，见公式（9）：

$$I = \frac{E}{P} \quad (9)$$

式中：

I——风力发电项目全生命周期碳排放强度，单位为吨二氧化碳当量每千瓦时（ $\text{tCO}_2\text{e}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ）；

E——风力项目全生命周期碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）；

P——风力发电项目的总发电量，单位为千瓦时（ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ）。

其中，风力发电项目的总发电量可采用以下公式进行估算，见公式（10）：

$$P = G \times \eta \times h \times a \quad (10)$$

式中：

P——风力发电项目的总发电量，单位为千瓦时（ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ）；

G——风力发电项目的机组容量，单位为KW；

η ——风力发电机组的机组运行效率，单位为%；

H——风力发电机组的预测年平均满负荷发电小时数，单位为h/年；

A——风电机组的设计寿命，单位为年。

9.2 生命周期各阶段碳排放占比

生命周期各阶段碳排放占比，指风力发电项目生命周期各阶段分别产生的碳排放量占全生命周期碳排放量的比例，见公式（11）：

$$a = \frac{E_n}{E} \times 100\% \quad (11)$$

式中：

a——生命周期各阶段碳排放占比，单位为%；

E_n ——风力发电项目某个生命周期阶段（原材料获取及加工阶段、风机设备制造阶段、物料设备运输阶段、项目建设阶段、运营维护阶段、回收处置阶段等）碳排放量，单位为吨二氧化碳当量每千瓦时（ $\text{tCO}_2\text{e}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ）；

E——风力发电项目全生命周期碳排放量，单位为吨二氧化碳当量（ tCO_2e ）。

9.3 综合评价

按照本文件的基本流程和核算方法，计算风力发电项目全生命周期碳排放总量、全生命周期碳排放强度和全生命周期各阶段碳排放量及占比，计算表格可参考附录 A 表 A.7。

根据核算结果，判断风力发电项目全生命周期碳排放强度水平。根据 IPCC 特别报告，风力发电项目全生命周期碳排放强度推荐值是 $2\sim 8\text{g CO}_2\text{e}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。本文件鼓励新建风力发电项目的全生命周期碳排放强度控制在 IPCC 特别报告的较优水平范围内。

对风力发电项目全生命周期碳排放主要影响因素进行分析，根据发电企业需要，评估项目碳减排潜力，制定科学的减碳降碳措施，提出合理的低碳化管理建议。

9.4 报告格式

a) 报告封面：项目属性、报告单位、量化单位等基本信息；

b) 报告正文部分，至少应包括以下内容：

(1) 项目单位的详细信息，如项目概况、设备/物料主要供应商；

- (2) 目的和范围，量化目的、量化说明、量化范围、数据质量、排放因子、相关假设等；
- (3) 结果分析，包括全生命周期碳排放强度、生命周期各阶段碳排放占比等；
- (4) 项目人员信息，如量化人员、审核人员、签发人员及签发日期等必要信息；
- (5) 其他说明情况，如主要活动数据类型、排放因子数据来源等。

附 录 A
(规范性)
各阶段数据清单示例

各阶段数据清单参见表 A.1、表 A.2、表 A.3、表 A.4、表 A.5、表 A.6。

表 A.1 原材料获取及加工阶段数据清单

序号	设备名称	原材料	活动数据	数据类型	数据时间	排放因子	数据类型
1	风机叶片	环氧树脂		测量值			测量值
2	轮毂	钢		计算值			计算值
		铁		缺省值			缺省值
3	机舱罩	玻璃纤维					
		树脂					
4	发电机	铜					
		钢					
		铁					
		二氧化硅					
5	塔筒	钢					
		铁					
6	塔筒链接件	钢					
		铁					
7	箱式变压器	钢					
		铁					
		铜					
8	大型变压器	钢					
		铁					
		铜					
9	变桨轴承	钢					
		铁					
10	变桨驱动	钢					
		铁					
11	主机架	钢					
		铁					
12	齿轮箱	钢					
		铁					
13	主轴	钢					
		铁					
		铜					

表 A.1 原材料获取及加工阶段数据清单（续）

序号	设备名称	原材料	活动数据	数据类型	数据时间	排放因子	数据类型
14	测风仪	钢					
		铁					
15	减震装置	钢					
		铁					
16	偏航系统	钢					
		铁					
17	电力电缆	铜					
		树脂					
18	通信电缆	二氧化硅					
		树脂					
		钢					
19	接地网	镀锌钢管					
		镀锌扁铁					
20	地线	二氧化硅					
		铝					
		钢					
21	母线	铜					
22	开关柜	镀锌钢材					
23	杆塔	钢					
		混凝土					
24	架空导线	钢					
		铝					
25	支柱绝缘子	陶瓷					
26	绝缘子串	玻璃					
27	防腐材料	沥青					
28	建筑材料	混凝土					
		钢筋					
		砂料					
		石料					
29	其他	其他					

注：设备材料数据明细根据实际情况收集，可优先选择经第三方认证的设备碳足迹数据。

表 A.2 风机设备制造阶段数据清单

序号	设备名称	设备数量	活动数据	数据类型	数据时间	排放因子	数据类型
1	风机叶片						
2	轮毂						
3	机舱罩						
4	发电机						
5	塔筒						
6	塔筒链接件						
7	箱式变压器						
8	大型变压器						
9	变桨轴承						
10	变桨驱动						
11	主机架						
12	齿轮箱						
13	主轴						
14	测风仪						
15	减震装置						
16	偏航系统						
17	电力电缆						
18	通信电缆						
19	接地网						
20	地线						
21	母线						
22	开关柜						
23	杆塔						
24	架空导线						
25	支柱绝缘子						
26	绝缘子串						
27	防腐材料						
28	其他						

表A.3 物料设备运输阶段数据清单

序号	运输对象	运输方式 (供应商信息)	运输重量	运输距离	数据类型	碳排放因子	数据类型
1	风机叶片	公路运输					
2	轮毂	铁路运输					
3	机舱罩	船舶运输					
4	发电机	航空运输					
5	塔筒						
6	塔筒链接件						
7	箱式变压器						
8	大型变压器						
9	变桨轴承						
10	变桨驱动						
11	主机架						
12	齿轮箱						
13	主轴						
14	测风仪						
15	减震装置						
16	偏航系统						
17	电力电缆						
18	通信电缆						
19	接地网						
20	地线						
21	母线						
22	开关柜						
23	杆塔						
24	架空导线						
25	支柱绝缘子						
26	绝缘子串						
27	防腐材料						
28	混凝土						
29	钢筋						
30	砂料						
31	石料						
32	其他						

表 A.4 项目建设阶段数据清单

序号	工程机械	台班数	能源种类	活动数据	数据类型	排放因子	数据类型
1	载重汽车（5t）		汽油				
2	载重汽车（10t）		柴油				
3	载重汽车（4t）		电能				
4	汽车起重机（6t）						
5	汽车起重机（8t）						
6	汽车起重机（16t）						
7	履带起重机400t						
8	叉式起重机（5t）						
9	汽油发电机						
10	电焊机						
11	钢筋弯曲机						
12	钢筋切割机						
13	混凝土输送泵车						
14	混凝土振捣器						
15	反铲单斗挖掘机						
16	正铲单斗挖掘机						
17	其他						

表 A.5 运营维护阶段数据清单

序号	运营维护类型	设备对象	功能模块	活动数据	数据类型	排放因子	数据类型	
1	设备更换	风机叶片	原材料获取					
			设备制造					
			设备运输					
		发电机组	原材料获取					
			设备生产					
			设备运输					
其他								
2	设备运营	所有设备	材料运输	燃油消耗量				
			巡检交通					
3	设备维护	所有设备	润滑油					
			液压油					
			防冻液					
			其他（SF ₆ ）					
4	其他							

备注：因替换或更新设备产生的原材料获取、设备制造和设备运输所对应的核算可参附录 A 表 A.1~表 A.6。

表 A.6 回收处置阶段数据清单

序号	单元模块	对象	数量	活动数据	数据类型	排放因子	数据类型
1	拆解	电力					
		热力					
		化石燃料					
2	填埋处置 (按重量 统计)	树脂					
		玻璃纤维					
		二氧化硅					
		混凝土					
		砂石					
3	焚烧处置	其他(固废、 危废、其他)					
4	回收利用	钢					
		铁					
		铜					
		铝					
		镀					
		镀锌钢管					
		镀锌扁铁					
	其他						

风力发电项目全生命周期各阶段碳排放情况参见表 A.7。

表 A.7 全生命周期各阶段碳排放情况

序号	生命周期阶段	碳排放量 (tCO ₂ e)	百分比 (%)	碳排放强度 (g CO ₂ e/(kW·h))
1	原材料获取及加工阶段			
2	风机设备制造阶段			
3	物料设备运输阶段			
4	项目建设阶段			
5	运营维护阶段			
6	回收处置阶段			
合计	全生命周期阶段			

附 录 B
(资料性)
不同温室气体的全球变暖潜势

温室气体种类	化学分子式	100 年增温潜势	
二氧化碳	CO ₂	1	
甲烷	CH ₄	27.9	
氧化亚氮	N ₂ O	273	
HFC-23	CHF ₃	14600	
HFC-32	CH ₂ F ₂	771	
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3740	
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1530	
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	5810	
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	164	
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	3600	
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	8690	
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	962	
六氟化硫	SF ₆	25200	
PFC-14	CF ₄	7380	
PFC-116	C ₂ F ₆	12400	
注：本表数据来源于 IPCC 第六次评估的全球增温潜势。			

风力发电项目全生命周期碳排放 量化方法及评价标准

编制说明

目 次

1 任务来源	22
2 主要工作过程	22
3 标准编写原则与主要内容	23
4 主要试验验证情况	23
5 与相关标准的协调情况	25
6 与国际国外先进标准对比情况	25
7 重要内容的解释	26
8 其他予以说明的事项	31

1 任务来源

为助推国家“3060”双碳目标的实现，根据国际征收碳边境税和建立重点产品“碳标签”的要求，对标国际标准体系，从碳排放全生命周期（Life Cycle Assessment，以下简称LCA）核算角度，开展风力发电项目碳排放量化（碳足迹）及评价技术标准研究，建立符合我国风力发电项目特点的基于全生命周期的碳足迹评价标准，为建立重点行业的产品碳标签数据提供核算方法和评价依据。

根据国家能源局技术标准项目《风力发电项目全生命周期碳排放量化方法及评价标准》的工作计划要求，在中国电力企业联合会电力低碳标准化系统工作组的领导下，开展本文件的研究和编制工作。

主要参编单位有华电电力科学研究院有限公司、北京中创碳投科技有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、国家电投集团科学技术研究院、电新疆发电有限公司新能源分公司和领碳未来（北京）能源科技有限公司。

2 主要工作过程

2021年11月，成立编制工作组，明确工作组人员分工及工作时间节点。

2021年12月-4月，展风力发电项目和碳足迹国际标准的资料收集、梳理、调研等工作，确定标准编制内容范围和基本要求，编写技术标准大纲。

2022年11月，召开标准编制启动会，形成会议纪要报送中电联低碳标准化工作组。

2022年12月-2023年7月底，组织技术人员开展标准文本编写，形成第一版初稿。

2023年8月8日-8月10日，工作组召开现场研讨会，对第一版初稿进行内部审核。

2023年8月中旬-9月第一周，开展现场实例计算；完善标准附录表格，在编制说明部分补充实例计算内容，形成第二版初稿。

2023年9月第二周，召开第二版初稿内部审查会。根据审查意见，修改形成征求意见稿。

2023年9月第四周，向中电联报送征求意见稿进行审查；同时以挂网形式征求意见（2023年10月第二周至11月第二周）。

2023年11月第二周-11月第三周，根据征求意见稿审查意见和挂网征求反馈意见，修改编制形成送审稿。

2023年11月第四周，召开送审稿审查会。

2023年12月第一周，根据送审稿审查意见，修改完善形成报批稿。

2023年12月，召开报批稿审查会，进一步修改完善，经中电联低碳工作组审核后报送能源局。

3 标准编写原则与主要内容

依据 GB/T 24044-2008、GB/T 24040-2008、ISO 14067，标准编写原则为：相关性、统一性、透明性、公正性、避免重复计算的原则。

主要内容为规定风力发电项目全生命周期碳足迹评价的系统边界确定、量化方法、数据收集和评价标准。其中，系统边界确定是根据风力发电项目的建设、生产运营和退役阶段确定评估的边界；碳排放量化方法为依据国际标准和相关规则制定风力发电项目碳足迹量化计算的公式；数据收集为确认风力发电涉及生命周期所有阶段的材料用量、活动和排放因子数据；评价标准为根据计算结果，对风力发电项目进行碳排放水平的综合评价。

4 主要试验验证情况

4.1 项目概述

新疆华电昌吉木垒四十个井子 300MW 风电项目位于木垒县四十个井子规划区第四风电场，风电场场址中心距木垒县直线距离约 70km。本项目风电装机容量 30 万 kW，装 60 台单机容量为 5.0MW 型风机，风机轮毂高度为 110m，叶轮直径为 185m。项目运行期年均发电量约为 77400 万 kW·h，年利用小时数为 2580h，项目理论设计年限为 25 年。

4.2 核算过程

编制组于 2023 年 8 月对西北地区某风电项目开展现场调研，在完成前期资料收集和整理后，通过文献调研、清单分析、建模计算等方式开展实例试算验证工作。

4.3 核算说明

4.3.1 核算边界

采用全生命周期的核算边界，即从“摇篮到坟墓”。

4.3.2 核算方法

采用《风力发电项目全生命周期碳排放量化及评价标准》规定的量化方法。

4.3.3 数据选取原则

本计算对数据取舍的原则、数据选择的优先序和数据分配遵守本文件要求。

4.3.4 碳排放因子来源

碳排放因子来源于《GB/T51366-2019 建筑碳排放计算标准》附录、中国产品全生命周期温室气体排放系数库（China Products Carbon Footprint Factors Database）、Ecoinvent、Defra、EEIO 等数据库。

4.4 核算范围说明

根据本文件，风力发电项目全生命周期共包含六个阶段，具体分为：原料获取加工阶段、设备制造阶段、物料设备运输阶段、项目建设阶段、运营维护阶段、回收处置阶段。通过现场调研，受数据收集限制，编制组将原料获取加工阶段与设备制造阶段合并计算。各阶段核算范围概述如下：

4.4.1 原料获取及设备制造阶段

本阶段核算包括风电场设备、集电线路设备、升压变电设备、监控系统、继电保护及安全自动装置系统、交（直）流系统、调度自动化设备及电量计量系统设备、SF₆气体在线监测系统所对应的碳排放。根据数据取舍原则，设备包装产生的排放忽略不计。

4.4.2 物料设备运输阶段

本阶段包含风机设备、机舱、塔筒、配套设施、基础建筑材料等场内及场外运输。假设采用常规公路运输方式，通过估算厂家到项目场址的距离或场内运输距离，取对应车型的排放因子进行碳排放核算。

4.4.3 项目建设阶段

本阶段主要包含建筑材料获取和加工以及建设过程中电能、水资源消耗、废水及生活垃圾处理对应的碳排放。根据数据取舍原则，项目建设过程中人员办公产生的能耗相对项目整体占比极小，因此排放忽略不计。

4.4.4 运营维护阶段

本阶段主要包含设备替换、设备维护、人员检修时的交通油耗及电耗、检修过程中产生的水资源消耗。风电场的使用寿命设计为 25 年，假设一台风机的生命周期，全部叶片更换三分之一、发电机组件更换 15%、各种小部件每年更换 0.5t 进行核算。

4.4.5 回收处置阶段

风电场在达到使用寿命 25 年，运营结束后，假设所有风机设备和大部分风机基础都被拆卸仅保留底部无法拆卸的桩基部分。风电机组的风机基础、叶片、机舱、塔筒中的金属可进行回收，剩余化工材料就近运输后进行填埋，此处假设风机 80%回收，20%填埋进行核算。

4.5 核算结果分析

新疆华电昌吉木垒四十个井子 300MW 风电项目全生命周期碳排放量化结果见表 1，得出项目全生命周期碳排放量为 762088 t CO₂e，全生命周期碳排放强度为 21.7 g CO₂e/(kW·h)，在 IPCC 参考范围值（2~81 g CO₂e/(kW·h)）内。

表 1 全生命周期各阶段碳排放情况

序号	生命周期阶段	碳排放量 (tCO ₂ e)	百分比 (%)	碳排放强度 (g CO ₂ e/(kW·h))
1	原料获取及设备制造阶段	624912 tCO ₂ e	82%	17.81g CO ₂ e/(kW·h)
	物料设备运输阶段	7621 tCO ₂ e	1%	0.29 g CO ₂ e/(kW·h)
3	项目建设阶段	68588 tCO ₂ e	9%	2 g CO ₂ e/(kW·h)
4	运营维护阶段	45725 tCO ₂ e	6%	1.26 g CO ₂ e/(kW·h)
5	回收处置阶段	15242 tCO ₂ e	2%	0.36 g CO ₂ e/(kW·h)
合计	全生命周期阶段	762088 tCO ₂ e	100%	21.7 g CO ₂ e/(kW·h)

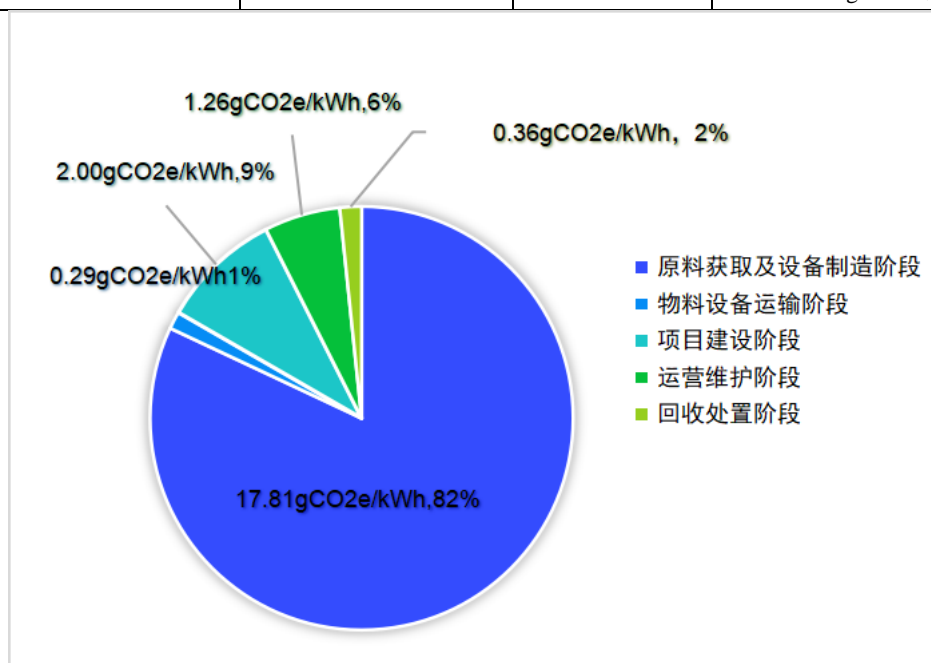


图 1 排放核算结果示意图

对各阶段碳排放核算结果进行分析，如图 1，可以得出：风机原料获取及设备制造阶段单位发电量排放为 17.81 g CO₂e/(kW·h)，占整个生命周期排放的 82%；其次是项目建设阶段，单位发电量排放为 2.00 g CO₂e/(kW·h)，约占全部排放量的 9%；运营维护阶段，单位发电量排放为 1.26 g CO₂e/(kW·h)，约占全部排放量的 6%；物料设备运输阶段以及回收处置阶段排放占比较小，数值及占比分别为 0.29 g CO₂e/(kW·h)（1%）和 0.36 g CO₂e/(kW·h)（2%）。

5 与相关标准的协调情况

本文件依据 GB/T 24040-2008 和 GB/T 24044-2008 对全生命周期评价的基本方法学，结合 ISO 14067:2018 和 PAS 2050:2011 等对碳足迹量化及评价工作的原则，开展风力发电项目基于全生命周期（LCA）的碳足迹量化及评价标准研究。同时，如果存在相关的产品碳足迹-产品种类规则，应遵守 ISO/TS 14027:2017 有关产品种类规则的要求。此外，在结果运用方面，宜考虑与 GB/T 24020-2000、GB/T 24025-2009 环境产品声明（EPD）以及国际层面相关认证体系的协调关联运用。

6 与国际国外先进标准对比情况

6.1 国际相关标准制定情况

专门针对生命周期评价的国际标准主要有 ISO 14040、ISO 14041、ISO 14042、ISO 14042、ISO 14044:2006，分别规定了《环境管理生命周期评价》的“原则和框架”、“目标和范围界定”、“影响评价”、“解释”、“要求和指南”。基于全生命周期评价（LCA）方法，可对于企业开展碳足迹评价。国际碳足迹标准大致可以分为三个层级：（1）国家、部门或地域层级，国际通用的是《IPCC 国家温室气体清单指南》；（2）企业、组织活动层级，主要包括 ISO 14064《温室气体核算体系：企业核算与报告标准》；（3）产品层级，主要有三个：《PAS2050：产品与服务生命周期温室气体排放的评价规范》、《产品生命周期核算与报告标准》（GHG Protocol）以及《ISO 14067 产品碳足迹量化要求与指南》。在环境政策和立法上，许多发达国家通过运用 LCA，建立了面对产品的环境政策。美国、欧盟等发达国家已建立较为成熟和完善的基于全生命周期评价（LCA）的环境产品声明（EPD）认证体系。其中，基于全生命周期评价（LCA）的产品环境足迹评价方法（PEF），可测量产品全生命周期（即全流程）的单位产品碳排放绩效强度，分析企业生产过程及其上游（能源及原料供给方）和下游（产品及废气、废水、废渣接收方）全过程的资源消耗和环境状况，运用评价结果可对影响企业碳排放的关键因素进行分析，并同时从环境（Environmental）、能源（Energy）、经济（Economic）三方面进行综合影响评估，帮助企业选择最优的绿色低碳节能经济生产模式。

6.2 国内相关标准制定情况

近年，我国逐步规范建立碳排放监测、核算、报告和核查相关标准。2015年至2018年，陆续出台制定了涵盖发电、电网、煤炭、钢铁、化工、铝/镁冶炼、水泥、玻璃、陶瓷、纺织、民航等12个行业的《温室气体排放核算与报告要求》（GB/T 32151）共16项标准。针对环境管理生命周期评价，国内对相关国际标准进行转化，制定了GB/T 24020、GB/T 24025、GB/T 24040、GB/T 24044等相关标准，但未专门制定基于全生命周期方法学（LCA）的碳足迹评价标准。目前国内的环境产品声明（EPD）的认证体系尚未建立，国内的认证公司对EPD缺乏全面的了解，国内本土EPD体系、证书和报告尚未被国际认可。国内仅有宝钢、比亚迪等较少企业有开展对企业产品基于全生命周期评价的碳足迹追踪研究，以应对国际对出口产品征收碳边境税的要求。为开展碳市场交易的管理要求，国内制定了《企业温室气体排放核算方法与报告指南 发电设施》和《企业温室气体排放报告核查指南（试行）》等指导性文件，对燃煤发电企业的主要生产设施开展碳排放核算。作为其他能源消耗企业的上游企业，我国缺少对发电企业基于全生命周期评价（LCA）的碳排放量化研究，在碳足迹评价技术标准领域仍处于空白，无法积极应对国际绿色低碳发展的趋势要求。

7 重要内容的解释

7.1 范围

依据：GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》8.5.1范围这一要素用来界定文件的标准化对象和所覆盖的各个方面，并指明文件的使用界限。

说明：本文件规定了风力发电项目（包括陆上风电、海上风电）全生命周期碳排放的边界与范围、碳排放量化方法、数据收集和评价标准。

7.2 术语与定义

依据：GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》8.7术语和定义8.7.1界定和构成术语和定义这一要素用来界定为文件理解文件中某些术语说必须的定义，由引导语和术语条目构成。

说明：（1）GB/T 24040-2008《环境管理 生命周期评价 原则和框架》3.1全生命周期，3.5系统边界，3.6功能单位，3.16数据质量，3.9取舍准则，3.12分配；

(2) GB/T 32150-2015《工业企业温室气体排放核算和报告通则》3.4 温室气体, 3.7 活动数据, 3.8 排放因子, 3.14 全球变暖趋势, 3.15 二氧化碳当量;

(3) ISO 14064-1:2018《组织层面上对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南》3.2 碳排放;

(4) ISO 14067:2018《温室气体产品碳足迹 量化要求和指南》3.3 碳足迹, 3.13 产品类别规则, 3.10 初级数据, 3.11 次级数据。

7.3 总则

7.3.1 评价目的

依据: GB/T 24044-2008《环境管理 生命周期评价 要求和指南》4.2.2 研究目的, 定义 LCA 目的时, 应明确说明以下问题: 1) 应用的意图; 2) 开展该研究的理由; 3) 沟通对象; 4) 结果是否向公众发布的对比论断。

说明: 本文件评价的目的为从全生命周期角度, 核算风力发电项目碳排放数据, 实现项目“立项-建设-生产-报废”全流程碳排放精细化管理, 为项目供应链管理、低碳技术实施、碳资产管理等提供科学决策支撑。

7.3.2 基本原则

依据: GB/T 24020-2000《环境管理 环境标志和声明 通用原则》5.4 原则 3, 必须以科学界或专业领域中已认可并广泛接受的, 或其他科学上可论证的方法收集并评估支持环境标志和声明的信息。这些方法应遵从国际上普遍接受的标准(可包括国际标准、区域性标准或国家标准)或通过同行评审的行业或贸易方法。所采用方法必须适用于相应的声明, 并且提供对支撑声明相关的必要的、准确和可再现实的信息。

说明: 碳排放量化及评价除应符合本文件外, 应符合国家标准 GB/T 24040、GB/T 24044、GB/T 24025 和国际标准 ISO/TS 14067 对全生命周期评价方法学和对碳足迹评价标准的规定。此外, 如果存在相关的产品碳足迹-产品类别规则, 应遵守 ISO 14027 有关产品种类规则的要求。

7.3.3 基本流程

依据: GB/T 24040-2008《环境管理 生命周期评价 原则和框架》4.2 LCA 的阶段, 分为目的和范围的确定、清单分析、影响评价、解释。

说明: 本文件风力发电项目全生命周期碳排放量化及评价的基本流程包括: 边界和范围的确定, 数据清单分析, 碳排放核算, 碳排放评价等。

7.4 功能单位

依据: (1) GB/T 24044-2008《环境管理 生命周期评价 要求和指南》4.2.3.2 功能和功能单位, LCA 的研究范围中应明确规定所研究的功能。功能单位应与研究的目的和范围保持一致。功能单位的主要目的之一是为输入和输出数据的归一化提供基准。

(2) ISO 14067:2018《温室气体产品碳足迹 量化要求和指南》6.3.3 功能单元或声明单元, CFP 研究应说明功能可添加到其他产品系统的边界, 以使产品系统更具可比性。当采用产品碳足迹-产品分类规则时, 所使用的功能或声明单位应为 CFP-PCR 中规定的单位。

说明: 风力发电项目的产品为电能, 考虑与其他上下游企业的功能关联、以及对其他类型发电项目的量化和评价, 设定功能单位为 1kW·h, 即风力发电项目生产 1kW·h 电能。

7.5 系统边界和核算范围

7.5.1 系统边界

依据：GB/T 24040-2008《环境管理 生命周期评价 原则和框架》5.2.3 系统边界，LCA 通过模拟产品系统来开展，所建立的产品系统模型表达了物理系统中的关键要素。确定系统边界，即确定要纳入系统的能源过程。当设定系统边界时，生命周期阶段、单元过程和流都宜被考虑。

说明：本文件风力发电项目采用全生命周期的系统边界，即从“摇篮到坟墓”，包括风电项目和配套联网项目，具体分为：原材料获取及加工阶段、风机设备制造阶段、物料设备运输阶段、项目建设阶段、运营维护阶段、回收处置阶段。

(1) 原料获取加工阶段指从自然界提取材料（或获取再生材料）并经加工，得到用于生产风机设备的工业初产品。

(2) 设备制造阶段指从产品原材料进入工厂开始，到风机设备离开工厂终止。

(3) 物料设备运输阶段包括将设备、建设材料、生产物料等从供应商运输至项目地点。

(4) 项目建设安装阶段包括风电场基础设施的建设和设备的安装和对建筑原材料的获取及加工。

(5) 风力发电项目运营维护阶段主要包括运营发电的整个阶段的资源消耗和设备的维修更换，也包括出于运营和维护目的的材料运输与交通等。（例如：在一个风力发电机的平均使用周期内，要替换一个叶片和 15%的发电机组；每两周开展一次常规运营维护等）。

(6) 回收处置阶段包括风机组件的拆解施工、废弃材料的焚烧和填埋处理、金属等材料的回收利用等。

7.5.2 核算范围

依据：GB/T 24040-2008《环境管理 生命周期评价 原则和框架》5.3.2 数据收集，在系统边界上每一个单元过程的数据可以按以下类型来划分，包括能量输入、原材料输入、辅助性输入、其他实物输入；GB/T 24044-2008《环境管理 生命周期评价 要求和指南》4.3.2.3 数据可归入的类型包括：能量输入、原材料输入、辅助性输入和气体实物输入。

说明：本文件风力发电项目应按照全生命周期的系统边界和数据收集范围，分别核算每个阶段的化石燃料燃烧排放、过程排放、净购入电力、热力产生的排放，不考虑碳汇损失导致的碳排放，汇总得到总排放量。

7.6 碳排放量化方法

依据：(1) GB/T 24040-2008《环境管理 生命周期评价 原则和框架》5.3.3 数据计算，对能量流的计算应对不同的燃料或电力来源、能量转化和传输的效率，以及产生和使用上述能量流是输入和输出予以考虑；ISO 14064-1:2018《组织层面上对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南》4.3.3 选择量化方法，组织应选择和使用能合理地将不确定性降低到最低，并能得出准确、一致、可再现的结果的量化方法。例：许多 GHG 方案规定了量化方法，其类型包括计算、监测、监测和计算相结合。

(2) ISO 14064-1:2018《组织层面上对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南》4.3.5 选择或确定 GHG 排放或清除因子，如用 GHG 活动数据被用来对 GHG 排放和清除进行量化。

(3) ISO 14064-1:2018《组织层面上对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南》4.3.6GHG 排放和清除计算，组织应根据所选定的量化方法对 GHG 排放和清除进行计算；当使用 GHG 活动数据对 GHG 排放或清除进行量化时，GHG 排放或清除为该数据与 GHG 排放或清除因子的乘积。

说明：本文件对原材料获取及加工阶段、风机设备制造阶段、物料设备运输阶段、项目建设阶段、运营维护阶段、回收处置阶段碳排放进行量化。可采用排放因子法、碳物料平衡法或实测法计算。每个阶段具体量化方法以采用活动数据与排放因子乘积进行计算为主，本文件对每个阶段的计算方法给出了参考公式，详见本文件公式（1）-公式（8）。

7.7 数据收集

7.7.1 数据收集原则

依据：（1）GB/T 24044-2008《环境管理 生命周期评价 要求和指南》4.2.3.6 数据质量要求，数据质量宜注意时间跨度、地域范围、技术覆盖面、精度、完整性、代表性、一致性、可再现性等要求。

（2）ISO 14067:2018《温室气体产品碳足迹 量化要求和指南》6.3.5 数据和数据质量要求，数据质量特征描述应包括时间范围、地理覆盖、技术范围、精度、完整性、代表性、一致性、再现性、数据来源和信息的不确定性。

说明：本文件对相关数据质量要求进行规定如下：

（a）时间跨度：宜选择碳排放量化数据具有针对性的时间段；风力发电项目全生命周期碳排放量化的时间段应涵盖从原材料获取至回收处置整个阶段，根据风电机组的设计寿命，一般为 20-25 年；

（b）地理范围：应优先选择对所核算风电项目具备地理针对性的数据；

（c）技术覆盖面：具体的技术或技术组合；应优先选择对所核算风电项目具备技术针对性的数据；

（d）准确性：应优先选择与真值最接近的数据；

（e）精确性：应优先选择更精确（即具有最小统计方差）的数据；

（f）完整性：覆盖范围与项目系统边界保持一致，且能满足碳排放量化的需要；

（g）一致性：收集时应保持相同的数据类型、统计口径、处理规则；

（h）代表性：包括数据获取的地理范围代表性、时间代表性、技术代表性；

（i）数据来源：来源应清晰、透明，应明确是初级数据或次级数据；

（j）可再现性：其他独立实践者运用同一方法学和数据值信息应可重现碳排放量化评价结果；

（k）信息的不确定性：应考虑参数、情景、模型的不确定性，必要时开展敏感性分析和不确定性分析。

7.7.2 数据收集优先序

依据：GB/T 24044-2008《环境管理 生命周期评价 要求和指南》4.2.3.5 数据种类和来源，LCA 中所选择的数据取决于研究的目的和范围。这些数据可以从系统边界内与单元过程相关的生产场所中收集，或可以通过其他渠道获取或计算得出。实际上，所有的数据可能是通过测量、计算或估计得出的。

说明：本文件选择质量较高的数据进行采集，以减少不确定性，数据质量由高到低依次如下：

（a）实际测量值、计算值；

（b）相同工艺/设备的经验排放数据；

（c）相关数据库数据；

（d）相关文献、行业内专家经验的估算值；

（e）省内相关数据；

（f）区域范围内相关数据；

（g）国内相关数据；

（h）国际相关数据。

7.7.3 数据分配的程序

依据：（1）GB/T 24044-2008《环境管理 生命周期评价 要求和指南》4.3.4 分配，应根据明确规定的程序将输入输出分配到不同的产品中，并与分配程序一并做出说明。

（2）ISO 14067:2018《温室气体产品碳足迹 量化要求和指南》中分配的优先顺序为：避免分配(单元过程 分解或扩大产品系统)、物理分配和经济分配。

（3）PAS 2050:2011《商品和服务的生命周期温室气体排放评价规范》中分配的优先顺序为：避免分配（单元过程分解或扩大产品系统）和经济分配，不允许物理分配。

说明：本文件对分配程序的基本要求进行规定如下：

- (a) 尽量避免或减少出现分配。
- (b) 使用能反映其物理关系的方式来进行分配。
- (c) 当物理关系不能确定或不能用作分配依据时，用其经济关系来进行分配。

7.7.4 各阶段数据收集

依据：ISO/TS 14064-1:2018《组织层面上对温室气体排放和清除的量化和报告的规范及指南》4.3.5 选择或确定 GHG 排放或清除因子，如果用 GHG 活动数据被用来对 GHG 排放和清除进行量化，组织应选择或确定 GHG 排放或清除因子，该排放或清除因子应：

- a) 来自公认的可信来源；
- b) 适用于相关的 GHG 源或汇；
- c) 在计算期内具有时效性；
- d) 考虑到量化的不确定性，并在计算时追求准确的、可再现的结果；
- e) 和 GHG 清单的预定用途相一致。

说明：本文件中活动数据以获取初级数据为优先，排放因子参考相关碳足迹数据库数据。

7.8 全生命周期碳排放评价

依据：GB/T 24040-2008《环境管理 生命周期评价 原则和框架》5.4 生命周期影响评价（LCIA），LCA 中影响评价的目的是根据 LCI 的结果对潜在环境影响的程度进行评价。一般来说，这一过程包括与清单数据相关联的具体的环境影响类型和类型参数，这样便于认识这些影响。

说明：（1）区别于对单个产品所做的生命周期评价或碳足迹评价，本文件是对整个风力发电项目进行全生命周期的碳排放核算和评价，对于评价指标的设立，设立“全生命周期碳排放总量、全生命周期碳排放强度和生命周期各阶段碳排放占比”这三项指标。其中，前两项指标可用于同类型发电项目碳排放水平的横向对比；第三项指标可用于项目本身各阶段碳排放水平的纵向对比。

（2）根据 IPCC 特别报告，给出风力发电项目全生命周期碳排放强度对比参考范围。

表 1 风力发电项目全生命周期碳排放强度等级

单位：g CO_{2e}/(kW·h)

项目/占比	25%	50%	25%
陆上风力发电项目	2~8	8~20	20~81
海上风力发电项目	5~9	9~14	14~24

注：根据 IPCC 特别报告，风力发电项目全生命周期碳排放强度推荐值是 2~81g CO_{2e}/kW·h。

对于陆上风力发电项目，25%的项目在 2~8 CO_{2e}/kW·h 之间，该区间属于较优区间；50%的项目在 8~20g CO_{2e}/kW·h 之间，代表大多数项目的碳排放强度平均水平；25%的项目在 20~81g CO_{2e}/kW·h 之间。

对于海上风力发电项目，25%的项目在 5~9 CO_{2e}/kW·h 之间，该区间属于较优区间；50%的项目在 9~14g CO_{2e}/kW·h 之间，可代表大多数项目的碳排放强度平均水平；25%的项目在 14~24g CO_{2e}/kW·h 之间。

本文件鼓励新建风力发电项目的全生命周期碳排放强度控制在 IPCC 推荐报告的较优水平范围内。

（3）本文件的评价目的为“从全生命周期角度，核算风力发电项目碳排放数据，实现项目“立项-建设-生产-报废”全流程碳排放精细化管理”，因此评价结果主要用于风力发电企业内部基于全生命周期的碳排放管理，本文件规定了综合评价的要求和报告格式，暂未规定第三方鉴定评审的要求。待国内

建立完善的环境产品声明认证体系后，可进一步完善评价结果的运用目的和运用形式。

8 其他予以说明的事项

为帮助分析国际标准中国化的必要性和可行性，建议进一步在能源、化工等高耗能行业准确应用全生命周期碳足迹评价标准，建立完善的碳足迹评价技术标准及认证认可体系，建立国内本土化的碳足迹数据库，做好与国际全生命周期评价和碳足迹评价标准的衔接，以积极应对碳关税、碳认证、碳标签等绿色贸易壁垒，为我国碳达峰碳中和做好相关技术支撑。

附件：

标准征求意见回函表

标准项目名称：《风力发电项目全生命周期碳排放量化方法及评价标准》

填表单位：

填表人：

联系电话：

序号	标准章条 编号	意见内容	
		原文内容	建议改为
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

填写时间： 年 月 日