ICS XXXXXX
CCS X XXX

团　　体　　标　　准

T/CIECCPA XXX—2026

风力发电机组产品碳足迹核算与评价指南

Guidelines for Carbon Footprint Accounting and Assessment of Wind Turbine Generator Products

（征求意见稿）

2026－XX－XX 发布　　2026－XX－XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会　发布

目　　次

前　　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 功能单位 2
5 系统边界 2
5.1 系统边界的确定 2
5.2 原材料获取阶段 2
5.3 制造阶段 3
5.4 运输与安装阶段 3
5.5 运营维护阶段 3
5.6 回收和末端处置阶段 3
6 取舍准则 4
7 数据和数据质量 4
7.1 数据收集要求 4
7.2 数据质量要求 5
7.3 分配原则 5
8 计算 6
8.1 概述 6
8.2 原材料获取阶段 6
8.3 制造阶段 6
8.4 运输与安装阶段 7
8.5 运营维护阶段 7
8.6 回收和末端处置阶段 7
9 数据质量评估 8
10 产品碳足迹报告与评价 8
10.1 报告内容 8
10.2 评价 9

10.3 报告的发布 9

附录 A 10

附录 B 13

附录 C 14

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件主要起草单位：中国华能集团有限公司、北京华能长江环保科技研究院有限公司。

本文件主要起草人：张又新、马晓燕、谷阳、徐源、王东旭、李晓伟、张琦峰、李锦霈。

风力发电机组产品碳足迹核算与评价指南

1 范围

本文件规定了风力发电机组产品碳足迹量化的功能单位、系统边界、取舍准则、数据和数据质量、计算、数据质量评估，以及碳足迹评价的判定准则和报告要求。

本文件适用于陆上及海上风力发电机组（包括双馈式、直驱式、半直驱式等机型）的产品碳足迹量化与评价。

本文件不适用于风力发电机组运行阶段因风资源年际波动、电网调度等非产品固有属性引起的发电量差异所导致的碳强度比较，也不适用于噪声、生物多样性、土地利用等非气候变化影响类型的评价。

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，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 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 要求和指南

GB/T 24067—2024 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南

GB/T 32150—2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则

GB/T 45855—2025 风能发电系统 风力发电机组生命周期环境评价技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风力发电机组 wind turbine generator system

将风能转换为电能的发电装置，由风轮（叶片、轮毂）、传动系统、发电机、机舱、塔架、基础及电气控制系统等主要部分组成。

3.2

产品碳足迹 carbon footprint of a product

基于仅考虑气候变化单一影响类型的生命周期评价，以二氧化碳当量表示的风力发电机组产品系统温室气体排放量与温室气体清除量之和。

3.3

上网电量 net electricity delivered to grid

风力发电机组在设计使用寿命期内，扣除机组自用电（偏航、变桨、冷却、控制系统等）和集电线路及升压站损耗后，实际输送至电网公共连接点的电量，单位为千瓦时（kWh）。

3.4

机组自用电率 auxiliary power consumption rate

风力发电机组自身辅助设备消耗的电量占总发电量的比例，以小数表示。

3.5

避免负担法 avoided burden approach

在回收和末端处置阶段，将回收材料替代初级材料所避免的温室气体排放作为清除量，从本产品系统碳排放中扣除的处理方法。

3.6

数据质量评级 data quality rating（DQR）

基于时间代表性、技术代表性和地理代表性对数据质量进行量化评分的指标，分值越低表示数据质量越高。

4 功能单位

4.1 风力发电机组产品的功能单位为 1 kWh 上网电量，即风力发电机组在设计使用寿命内，每向电网输送 1 kWh 电量所对应的全生命周期温室气体排放量。

4.2 功能单位的选择依据风力发电机组的首要功能——向电网持续输出电能。采用“1 kWh 上网电量”而非“1 kW 装机容量”或“1 台机组”，使碳足迹能够反映设备制造和运行排放经全生命周期发电量分摊后的碳强度，从而支持不同机型、不同风况条件之间的合理比较。功能单位声明应同时给出以下基准参数，以使量化结果具有可复现性和可比较性：

a）额定功率（kW 或 MW）；

b）设计使用寿命（年），默认取 25 年；采用其他年限的，应提供依据，并以 25 年作为敏感性情景报告；

c）年平均等效满负荷小时数及其依据的风资源条件；

d）机组自用电率和集电线路损耗系数的取值及来源；

e）累计上网电量的估算方法。

4.3 无实际并网运行数据时，年度上网电量按年度发电量乘以（1−损耗系数）估算，损耗系数默认取 4%，采用其他数值应提供输电线路参数等支撑材料。已完成并网运行的项目，应采用实际监测的上网电量数据。

5 系统边界

5.1 系统边界的确定

5.1.1 系统边界的选择应与评价目标一致，并按以下步骤文件化：识别风力发电机组从原材料获取到回收处置的全部直接关联过程；按生命周期阶段划分单元过程；识别每一过程的温室气体排放源与清除源；绘制过程图描述各阶段的物质与能量流。

5.1.2 风力发电机组的系统边界原则上采用“摇篮到坟墓”模式，涵盖原材料获取阶段、制造阶段、运输与安装阶段、运营维护阶段、回收和末端处置阶段。仅评价原材料获取和制造阶段时，可采用“摇篮到大门”模式，应按产品部分碳足迹/声明单位处理并明确为部分结果，在报告中明确声明所排除的阶段，并不得将“摇篮到大门”结果与“摇篮到坟墓”结果直接比较。

5.1.3 与光伏组件“一次安装、长期发电、运行阶段几无物料投入”的特征不同，风力发电机组在 20～25 年服役期内存在持续的维护耗材投入、部件更换和退役后的大规模复合材料处置需求，因此运营维护阶段和回收阶段的完整性对结果可比性具有实质影响。

5.2 原材料获取阶段

应包括下列过程：

a）结构钢（塔筒、基础钢结构）、铜（发电机绕组、电缆）、铝及铝合金（机舱部件、电气设备）、铸铁/铸钢（轮毂、轴承座）等金属原材料的生产与运输；

b）玻璃纤维、碳纤维、环氧树脂、聚酯树脂等复合材料原料的生产与运输（用于叶片制造）；

c）永磁材料（钕铁硼等）的生产与运输；

d）包装材料的生产与运输。

原材料获取阶段应优先使用供应商特定的初级数据。无法获取时，可采用经论证的次级数据，但应在报告中说明替代理由。

5.3 制造阶段

5.3.1 应包括风力发电机组各部件及整机的制造过程：叶片成型与加工（树脂灌注/预浸料固化、修整）；塔筒卷制、焊接与防腐涂装；机舱装配；传动系统（齿轮箱或直驱结构）制造；发电机制造；电气控制柜与变流器制造；整机总装、厂内物流与调试。

5.3.2 制造阶段应涵盖厂区内电力、热力及燃料消耗产生的间接排放，以及制造过程中的直接排放，并按下列类别分别识别、计量和报告：

a）能源间接排放。 外购电力、外购热力及厂内燃料燃烧（天然气、柴油等）产生的温室气体排放，以 CO_2为主。活动数据单位分别为 kWh、GJ、m^3或 kg。

b）过程直接排放。 包括但不限于：

焊接保护气逸散：CO_2气体保护焊中作为保护气输入的 CO_2直接排入大气，按保护气净消耗量计量（kg），GWP 取 1，不另乘排放因子；若使用含氟或含其他温室气体组分的保护气，按对应气体的 GWP 折算。

5.3.3 涂装工序 VOCs 的燃烧/氧化转化：涂装溶剂中参与燃烧或催化氧化的碳转化为 CO_2，按 VOCs 中碳的质量×44/12 计量，单位为 $kgCO_2e$；未燃烧的 VOCs 逸散本身不直接按 GWP 计为温室气体，不应与 CO_2保护气逸散混同。

5.3.4 SF_6电气设备充装与逸散：按实际或经论证的逸散量计量（kg），GWP 以 GB/T 24067—2024 附录 B 为准。

5.4 运输与安装阶段

应包括：叶片、塔筒、机舱、轮毂、发电机等大部件从制造厂到风电场址的运输（道路、铁路、船舶，注明运输方式、里程和载重）；风电场内二次转运；吊装与安装作业的能源消耗（起重机械、安装船等）；与风电机组基础基础施工。场站公用设施（升压站、集电线路中非机组直接关联的部分）的碳排放是否纳入，取决于评价目标是“机组产品碳足迹”还是“风电场碳足迹”，应在报告中明确声明并在同类比较中保持一致。

5.5 运营维护阶段

应包括设计使用寿命期内的：

a）定期维护与检修耗材（润滑油、液压油、滤芯、密封件、叶片修复材料等）的生产和处置排放；

b）零部件更换（发电机轴承、齿轮箱部件、叶片修复或更换等）所对应的更换件制造排放；

c）维护交通（车辆、船舶）的燃料消耗排放。

机组自用电和集电线路损耗不在本阶段重复计算排放，而应通过第 4 章功能单位基准参数中的自用电率和损耗系数，从分母的上网电量中予以扣除。

5.6 回收和末端处置阶段

5.6.1 金属材料回收

塔筒、基础钢结构、发电机铜材、机舱金属部件等可回收材料，若回收材料进入其他产品系统，采用避免负担法处理：拆解、运输和回收处理过程本身的排放计入本阶段；回收材料替代初级材料所

避免的排放作为清除量在系统中体现。回收率取值应有依据并文件化，不得未经论证直接采用 100% 回收率。

5.6.2 复合材料回收

叶片复合材料（玻纤/碳纤增强树脂）的处置应逐机型按实际或合同约定的处置方案计算，不得以“全部回收”作为默认假设。常见的处置路径及其计算处理方式包括：填埋（计入填埋场的运营排放和甲烷逸散）、焚烧（计入焚烧能源消耗和直接排放，热量回用的按实际回用量扣减）、水泥窑协同处置（计入预处理和运输排放，矿物组分进入熟料相不另计清除，有机组分的热回收按实际替代的燃料量扣减）、机械回收（计入破碎、筛分能耗，回收纤维或填料的替代效益按实际品质和替代比例计算）、热解/化学回收（计入过程和能源排放，回收纤维或树脂单体的替代效益按实际产率和市场替代关系计算）。

5.6.3 净清除

若回收和末端处置阶段的净排放量为负值，表示回收阶段对全生命周期碳足迹为净清除，在汇总计算中直接代入负值。报告应同时列示含回收净清除和不含回收净清除的碳足迹数值，以便利益相关方识别回收情景假设的影响。

6 取舍准则

6.1 系统边界内所有过程和材料流原则上均应纳入数据收集与计算。仅当某一过程或材料流同时满足以下条件时，可予以排除：

a）初级数据和次级数据均难以获取；

b）经估算，该过程或材料流在所属生命周期阶段的温室气体贡献不超过该阶段总量的 1%。

6.2 被排除的过程或材料流累计贡献不得超过该阶段碳排放总量的 5%。涉及永磁材料（钕铁硼）、碳纤维、SF_6等温室气体高潜能或供应链风险突出的材料流，不得以贡献小为由排除。

6.3 舍去的温室气体排放应有书面记录，并在报告中说明其对量化结果的影响。

7 数据和数据质量

7.1 数据收集要求

7.1.1 应收集系统边界内所有单元过程的输入和输出数据。原材料获取阶段和制造阶段应优先使用初级数据；运营维护阶段中维护耗材和更换件的数据应尽可能基于制造商的实测或设计参数；回收和末端处置阶段可采用经论证的次级数据或行业默认值，但叶片复合材料的处置路径和质量流向应基于实际方案而非通用假设。

7.1.2 各阶段的数据清单应符合表 1 的要求，详细收集表格见附录 A。

表 1 风力发电机组各生命周期阶段数据收集要求

原材料获取阶段	初级数据	各类金属、复合材料原料、永磁材料的消耗量；上游加工能源消耗；运输方式、距离与载重
	次级数据	钢铁、铜、铝、玻纤、碳纤、树脂、永磁体的初级生产排放因子；运输排放因子
制造阶段	初级数据	各部件材料投入量；厂区电力、天然气、热力消耗量；焊接气体、涂装溶剂、SF_6使用与逸散量；产品产量（台

		/年或 MW/年）
	次级数据	区域电网排放因子；热力排放因子；工业气体逸散排放的 GWP 值
运输与安装阶段	初级数据	各部件运输重量、运输方式、运输距离；吊装机械/船舶的燃料或电力消耗；安装船作业天数与燃料类型
	次级数据	各运输方式排放因子；安装机械排放因子
运营维护阶段	初级数据优先，无法获取时可用次级数据	维护耗材寿命期用量；更换件更换次数及部件碳足迹；维护车辆/船舶燃料消耗；实际自用电量（用于上网电量扣除，不重复计排放）
回收和末端处置阶段	初级数据	拆解能源消耗；各材料组分的质量、回收率与处置路径；运输距离与方式；叶片处置合同或实际去向
	次级数据	回收处理排放因子；填埋/焚烧/水泥窑协同处置排放因子；避免的初级材料生产排放因子

7.2 数据质量要求

7.2.1 量化应使用最近至少一年的平均数据。初级数据应优先于次级数据；上游直接测量的排放因子优先于数据库因子。次级数据应优先采用国家公开发布或经第三方验证的本土化数据。电力排放因子应采用所在区域电网的官方发布值；使用绿电或自备可再生能源电力的，应提供绿色电力证书或电量结算凭证，并单独披露其影响。

7.2.2 数据来源和选取理由应书面记录。对于贡献占比超过总碳足迹 5%的次级数据项，应逐一说明其时间、技术和地理适用性。

7.3 分配原则

7.3.1 分配层级

7.3.1.1 当同一单元过程或生产系统的输入和输出涉及风力发电机组与其他产品（包括副产品、共生产品）时，应按以下层级依次处理，并避免在不同层级之间跳跃选择：

a）优先避免分配。 宜通过下列方式消除或规避分配：

1) 细分单元过程：将拟分配的单元过程拆分为两个或多个可独立计量的子过程，分别收集各子过程的输入和输出数据，使风力发电机组相关的物质与能量流可直接归属；多机型共线生产时，优先按机型分别计量能源和物料消耗。

2) 扩展系统边界：将共生产品相关的额外功能及其排放和清除纳入系统边界，使原共享过程不再需要在产品之间分摊。扩展后的系统边界应在报告中明确声明，并与评价目标保持一致。

b）无法避免分配时，按物理关系分配。 应以能反映产品之间潜在物理关系的方式，将共享单元过程的输入和输出分配至不同产品。物理关系参数包括但不限于质量（kg）、数量、工时（h）、能源消耗量（MJ）或反应器体积等。多机型共线生产且无法分别计量时，按各机型的设计质量或额定功率比例分配。所选物理参数与产品对共享过程资源消耗或排放贡献的因果关联性，应在报告中说明。

c）物理关系无法建立或无法作为分配基础时，按经济关系分配。 可按各产品的经济价值（产值或利润比例）进行分配，并说明选择经济价值而非物理关系的理由。

7.3.1.2 无论采用上述何种分配方式，均应提供分配关系的依据及计算说明，并在报告中披露分配方法的选择理由。同一系统内对相似的输入和输出，应采用一致的分配程序。

7.3.2 回收阶段的分配

回收阶段采用避免负担法时，不适用 7.3.1 的一般分配层级。回收过程本身的排放全额计入本产品系统，回收材料替代初级材料所避免的排放作为清除量单独列示，不进行跨产品系统的排放分配，以避免与下游产品系统的碳排放发生重复计算。回收阶段的具体处理程序参照 GB/T 24067—2024 附录 D 执行。

8 计算

8.1 概述

8.1.1 系统边界内单位功能单位风力发电机组产品碳足迹的核算方法见公式：

$$CFP_{风电机组}=\frac{E_{原材料}+E_{制造}+E_{运输安装}+E_{运维}+E_{回收，净}}{E_{上网，total}} \quad (1)$$

式中：

$CFP_{风电机组}$---- 单位功能单位产品碳足迹，$kgCO_2e/kWh$；

$E_{原材料}$，$E_{制造}$，$E_{运输安装}$，$E_{运维}$---- 分别为对应阶段的温室气体排放量，$kgCO_2e$；

$E_{回收，净}$ ---- 回收和末端处置阶段的净排放量（可为负值），$kgCO_2e$；

$E_{上网，total}$---- 设计使用寿命期内的累计上网电量，kWh。

8.1.2 累计上网电量按公式估算：

$$E_{上网，total}=P\times h\times a\times(1-\beta)\times(1-\lambda) \quad (2)$$

式中：

P ---- 额定功率，kW；

h ---- 年平均等效满负荷小时数，h/年；

a ---- 设计使用寿命，年；

β ---- 机组自用电率（以小数表示）；

λ ---- 集电线路及升压站损耗系数，默认取 0.04，采用其他数值应提供依据。

8.2 原材料获取阶段

$$E_{原材料}=\sum_i m_i\times EF_{i，材料}\times\sum_i m_i d_i EF_{i,运输} \quad (3)$$

式中：

m_i---- 第 i 种原材料的消耗量，kg 或 t；

$EF_{i，材料}$---- 第 i 种原材料从自然界获取到制成原材料的排放因子，$kgCO_2e/kg$（或 tCO_2e/t）；

d_i---- 运输距离，km；

$EF_{i,运输}$ ---- 对应运输方式的排放因子，$kgCO_2e/(t\cdot km)$。

塔筒用结构钢、叶片复合材料、发电机铜材和永磁材料通常构成原材料阶段的主要贡献项，应作为数据质量控制的重点。

8.3 制造阶段

$$E_{制造} = \sum_j AD_j \times EF_j + E_{过程，直接} \cdots\cdots (4)$$

式中：

AD_j---- 第 j 种能源或物料的活动数据（电力 kWh、天然气 m³、热力 GJ 等）；

EF_j---- 对应的排放因子；电力应采用所在区域电网的排放因子；

$E_{过程,直接}$ —— 制造过程中直接排放的温室气体（焊接保护气逸散、SF_6逸散等），按实际逸散量乘以 GWP 值计算。

8.4 运输与安装阶段

$$E运输安装 = k\sum Wk \times dk \times EFk,运输 + l\sum ADl \times EFl \cdots\cdots (5)$$

$$运输安装 = \sum_k W_k \times d_k \times EF_{k，运输} + \sum_l AD_l \times EF_l \cdots\cdots (6)$$

式中：

W_k---- 第 k 个大部件的运输质量，t；

d_k---- 运输距离，km；

$EF_{k,运输}$---- 对应运输方式的排放因子；

AD_l、EF_l---- 安装阶段第 l 种能源（柴油、电力）的消耗量和排放因子。

叶片、塔筒等超长部件的运输往往构成安装阶段排放的显著部分，应使用实际运输方案（起运地、目的地、运输方式、载重）而非默认距离。

8.5 运营维护阶段

$$E_{运维} = \sum_m Q_m \times EF_m + \sum_n N_n \times EF_{n，更换件} + E_{运维交通} \cdots\cdots (7)$$

式中：

Q_m---- 第 m 种维护耗材的寿命期总用量；

EF_m---- 对应耗材的排放因子；

N_n---- 第 n 种更换件在寿命期内的更换次数；EF ,更换件 EFn,更换件 为单次更换所对应的该部件制造排放，按 8.2～8.3 的方法计算或采用经核证的部件碳足迹数据；

$E_{运维交通}$---- 维护车辆/船舶的燃料消耗对应的排放。机组自用电不在此处计算排放。

8.6 回收和末端处置阶段

采用避免负担法时：

$$E_{回收，净} = E_{拆解，运输} + E_{处置} - \sum_r m_r \times R_r \times EF_{r,避免} \cdots\cdots (8)$$

式中：

$E_{拆解，运输}$---- 拆解、切割、运输的能源与运输排放；

$E_{处置}$---- 各处置路径（填埋、焚烧、水泥窑协同处置、机械回收、热解/化学回收）过程本身的排放；

m_r---- 第 r 种可回收材料的质量；

R_r---- 该材料的实际回收率（0～1），取值应有依据；

$EF_{r,避免}$---- 用回收材料替代初级材料所避免的排放因子。

不同处置路径的排放因子和避免排放因子应分别选取，不得将填埋或焚烧的排放因子与回收路径的避免排放因子混用。

9 数据质量评估

9.1 应对所有次级数据进行数据质量评估，评估指标包括时间代表性（TiR）、技术代表性（TeR）和地理代表性（GeR），按 1～5 级评分（1 级最优，5 级最差），评分准则参照表 2。

表 2 数据质量评分准则

等级	时间代表性（TiR）	技术代表性（TeR）	地理代表性（GeR）
1	数据集参考年在有效期内	所建模技术与数据集技术完全相同	数据代表评价产品所在国
2	超出有效期≤2 年	技术包含在数据集中	同一地理区域（如亚洲）
3	超出有效期≤3 年	技术部分包含在数据集中	数据集覆盖多区域或邻近区域
4	超出有效期≤4 年	所建模技术为数据集中技术的类似代理	不同国家但专家判断相似性足够
5	超出有效期>4 年	所建模技术不同于数据集中技术	无法判断地理相似性

9.2 单项数据的 DQR 按公式（8）计算：

$$DQR_i = (T_iR_i + TeR_i + GeR_i)/3 \cdots\cdots (9)$$

9.3 整体数据质量按各单项数据 DQR 以其排放贡献占比加权平均：

$$DQR_{overall} = \sum_i (TiRi + TeRi + GeRi)Pi/3 \cdots\cdots (10)$$

式中：

Pi 为第 i 项数据对应的排放量占总排放量的比例。

9.4 整体数据质量水平按以下区间判定：$DQR \leq 1.5$ 为“高”；$1.5 < DQR \leq 2.0$ 为“较高”；$2.0 < DQR \leq 3.0$ 为“一般”；$3.0 < DQR \leq 4.0$ 为“较差”；$DQR > 4.0$ 为“差”。

9.5 碳足迹报告应披露整体 DQR 值，以及贡献占比前 5 位的次级数据项及其 DQR。用于对外声明或比较性声明的碳足迹结果，整体 DQR 不应大于 2.5。

10 产品碳足迹报告与评价

10.1 报告内容

报告至少应包括：

a）被评价风电机组的型号、额定功率、设计使用寿命、适用风况等级与风资源参数；

b）功能单位“1 kWh 上网电量”及累计上网电量的估算参数（额定功率、等效满负荷小时数、使用寿命、自用电率、损耗系数）；

c）系统边界模式（摇篮到坟墓/摇篮到大门）、各阶段过程图及排除过程清单与理由；

d）初级数据与次级数据的来源、选取理由及分配方法（如涉及）；

e）回收阶段的情景假设、叶片处置路径、回收率取值依据及避免负担法的应用方式；

f）各生命周期阶段温室气体排放清单；

g）数据质量评估结果（整体 DQR 及关键数据项 DQR）；

h）产品碳足迹量化结果，分别列示“含回收净清除”和“不含回收净清除”的数值（$kgCO_2e/kWh$）。

10.2 评价

10.2.1 碳足迹量化结果的评价应结合数据质量水平和回收情景的完整性进行综合判定。评价结论按附录 B 给出的准则分为“A 级（可靠）”“B 级（基本可靠）”“C 级（有限参考）”三级，判定依据包括：整体 DQR 值、关键次级数据项的代表性、回收阶段情景是否基于实际处置路径、功能单位基准参数是否完整披露。

10.2.2 用于产品碳足迹声明、绿色采购或比较性声明的结果，应至少达到 B 级，且应经过第三方独立验证。A 级结果可用于对外碳足迹声明和跨企业比较。

10.2.3 未纳入运营维护阶段或回收和末端处置阶段的“摇篮到大门”结果，评价结论最高为 B 级，且不得与“摇篮到坟墓”结果进行碳强度比较。

10.3 报告的发布

评价结果的发布应符合国家有关规定。企业可采用将碳足迹数值标注于产品技术规格书或包装标识上，并在说明书中解释其含义；或将报告内容发布于公司网站或可持续发展报告中。

附录 A
（资料性）
风力发电机组碳足迹数据收集表

风力发电机组碳足迹数据收集表参考表 A.1~表 A.5。

表 A.1 原材料获取阶段数据收集表

材料类别	具体材料	消耗量（t/台）	主要成份/牌号	供应商所在地	运输距离（km）	运输方式	数据来源
金属	结构钢（塔筒、基础）						
	铜（绕组、电缆）						
	铝及铝合金						
	铸铁/铸钢（轮毂、轴承座）						
复合材料	玻璃纤维						
	碳纤维						
	环氧树脂/聚酯树脂						
永磁	钕铁硼						
其他	包装材料、涂料、初始填充润滑油						

表 A.2 制造阶段数据收集表

数据项	投入位置/工序	年总用量	评价产品分摊量	单位	数据来源
电力	叶片/塔筒/机舱/总装			kWh	
天然气	涂装/加热			m^3	
热力	车间供暖/工艺用热			GJ	
焊接保护气体	塔筒/机舱焊接			kg	
VOCs 的燃烧	涂装工序				
SF_6充装/逸散	电气设备			kg	
产品产量	—	台/年或 MW/年	—	—	

表 A.3 运输与安装阶段数据收集表

部件	单件质量（t）	起运地	目的地	运输方式	距离（km）	运输工具载重/燃料类型
叶片（×N 支）						

部件	单件质量（t）	起运地	目的地	运输方式	距离（km）	运输工具载重/燃料类型
塔筒（×N 段）						
机舱						
轮毂						
发电机（如分体运输）						
基础（混凝土）						
基础（水泥）						
基础（其他材料）						
安装能源	—	—	—	—	—	用量：
起重机械柴油/电力	—	—	—	—	—	用量：
安装船燃料（海上）	—	—	—	—	—	用量：

表 A.4 运营维护阶段数据收集表

项目	年消耗/发生量	寿命期总量（×年数）	单位	数据来源
润滑油/液压油			kg/年	
滤芯、密封件			kg/年	
叶片修复材料			kg/年	
更换件（轴承、齿轮箱等）		次/寿命期	次	
维护车辆燃料			L/年	
维护船舶燃料（海上）			t/年	
实际自用电量			kWh/年	

表 A.5 回收和末端处置阶段数据收集表

材料/组分	质量（t/台）	回收率（%）	处置路径（回收/填埋/焚烧/水泥窑/热解）	运输距离（km）	数据来源
塔筒钢					
基础钢筋					
机舱金属					
铜（电缆、绕组）					
永磁材料					
叶片复合材料					

材料/组分	质量（t/台）	回收率（%）	处置路径（回收/填埋/焚烧/水泥窑/热解）	运输距离（km）	数据来源
拆解能源（柴油/电力）	—	—	—	—	用量：

附录 B
（规范性）
风力发电机组碳足迹评价结论的判定准则

碳足迹量化结果的评价等级按表 B.1 判定。

表 B.1 评价等级判定准则

A 级结果可用于对外碳足迹声明、绿色采购标识和跨企业比较。

评价等级	整体 DQR	关键次级数据项要求	回收情景要求	功能单位披露要求
A 级（可靠）	≤ 1.5	贡献前 5 位次级数据项 DQR 均≤2.0	叶片处置路径基于实际合同或退役方案；回收率有初级数据或经核证的行业数据支撑	完整披露额定功率、使用寿命、等效满负荷小时数、自用电率、损耗系数及来源
B 级（基本可靠）	≤ 2.5	贡献前 5 位次级数据项中 DQR≤2.0 的不少于 3 项	叶片处置路径有书面依据；回收率采用行业默认值但已说明合理性	披露全部基准参数，个别参数采用默认值但已说明
C 级（有限参考）	> 2.5 或关键数据缺失	不满足 B 级要求	叶片处置路径未明确或使用“全部回收”默认假设	基准参数披露不完整

B 级结果可用于企业内部改进、供应链沟通和初步的采购参考；用于对外声明时应补充不确定性分析并经过第三方验证。

C 级结果仅供内部识别热点和初步筛查，不得用于对外声明或比较性声明。

附录 C
（资料性）
风力发电机组碳足迹报告框架示例

C.1 基本信息

报告编号、编制与审核人员、发布日期；申请者名称与统一信用代码；产品型号、额定功率、设计使用寿命、适用风况等级、制造商及厂址；采用的标准（本文件编号）。

C.2 产品描述与功能单位

产品结构与主要部件（叶片、塔筒、机舱、发电机、传动系统）的材料构成与质量表；功能单位“1 kWh上网电量”及累计上网电量的估算参数（额定功率、等效满负荷小时数、使用寿命、自用电率、损耗系数）及其来源。

C.3 系统边界与过程图

声明采用的边界模式（摇篮到坟墓/摇篮到大门）；各生命周期阶段的过程图与排放源识别；排除过程清单及排除理由；场站公用设施的纳入或排除声明。

C.4 清单分析

分阶段列出活动数据与排放因子来源；说明数据分配方法和结果；说明回收阶段的情景假设、叶片处置路径及避免负担法的应用方式。

C.5 碳足迹结果

以表格形式给出各阶段排放量（$kgCO_2e$/台或 tCO_2e/台）及单位功能单位碳强度（$kgCO_2e$/kWh）；分别列示“含回收净清除”和“不含回收净清除”的最终结果，并说明差值来源。

C.6 数据质量评估

列出贡献占比前 5 位的次级数据项及其 TiR/TeR/GeR 评分和 DQR；给出整体 DQR 值。

C.7 评价结论

依据附录 B 给出评价等级（A/B/C），说明判定理由及结果的使用限制。

C.8 附录

产品分解图、部件材料清单、各单元过程数据收集表、回收率取值依据、叶片处置合同或方案摘要。