

中华人民共和国国家标准

GB/T 47656—2026

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 核能发电

Greenhouse gases—Quantification method and requirements for carbon
footprint of products—Nuclear power generation

2026-07-02 发布

2027-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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 量化原则 3

5 量化目的 3

6 量化范围 3

7 清单分析 5

8 影响评价 9

9 结果解释..... 11

10 产品碳足迹报告 11

附录 A（资料性） 核能发电产品碳足迹量化常用碳足迹因子缺省值 13

附录 B（资料性） GWP 参考值 15

附录 C（资料性） 产品碳足迹报告(模板) 16

参考文献 20

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和全国碳排放管理标准化技术委员会(SAC/TC 548)共同归口。

本文件起草单位：中国电力企业联合会、核电运行研究(上海)有限公司、中国核能电力股份有限公司、中国科学院科技战略咨询研究院、中国原子能科学研究院、兴原认证中心有限公司、中国广核电力股份有限公司、国家电投集团科学技术研究院有限公司、国家电投集团综合智慧能源有限公司、三门核电有限公司、国家能源集团电力营销中心有限公司、华能碳资产经营有限公司、中国电力企业联合会电力建设技术经济咨询中心。

本文件主要起草人：杨帆、龙腾、梁军、张晶杰、王兰、严磊、祁明亮、石丽娜、姜子英、陆彩霞、衣英华、沈元钦、迟成宇、马宁慧、成嘉、马秀娟、冯田丰、宋尧、杜歆欣、魏玲、董博、雷雨蔚、王晨龙。

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求

核能发电

1 范围

本文件确立了核能发电产品碳足迹的量化原则，规定了量化目的、量化范围、清单分析、影响评价、结果解释和产品碳足迹报告等内容。

本文件适用于核能发电产品碳足迹量化。

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 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则
- 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 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 32151.2—2015 温室气体排放核算与报告要求 第2部分：电网企业

3 术语和定义

GB/T 24040—2008、GB/T 24044—2008、GB/T 24067—2024、GB/T 32150—2015 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

核电厂 nuclear power plant
依靠原子核裂变能量发电的电厂。
[来源：GB 51041—2014，2.1.1]

3.2

温室气体 greenhouse gas; GHG
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地球表面、大气层和云层所产生的、波长在红外光谱内辐射的气态成分。
注：本文件的温室气体包括二氧化碳(CO₂)和六氟化硫(SF₆)。
[来源：GB/T 24067—2024，3.2.1，有修改]

3.3

二氧化碳当量 carbon dioxide equivalent; CO₂e
比较某种温室气体与二氧化碳的辐射强迫的单位。
注：给定温室气体的二氧化碳当量等于该温室气体质量乘以它的全球变暖潜势值。
[来源：GB/T 24067—2024，3.2.2]

3.4

产品碳足迹 carbon footprint of a product; CFP

产品系统中的 GHG 排放量和 GHG 清除量之和,以二氧化碳当量表示,并基于气候变化这一单一环境影响类型进行生命周期评价。

[来源:GB/T 24067—2024,3.1.1,有修改]

3.5

生命周期 life cycle

产品相关的连续且相互连接的阶段,包括原材料获取或从自然资源中生成原材料至生命末期处理。

注 1:“原材料”的定义见 GB/T 24040—2008,3.15。

注 2:与产品相关的生命周期阶段包括原材料获取、生产、销售、使用和生命末期处理。

[来源:GB/T 24067—2024,3.4.2]

3.6

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 24067—2024,3.3.4]

3.7

功能单位 functional unit

用来量化产品系统功能的基准单位。

[来源:GB/T 24067—2024,3.3.7]

3.8

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。

注:如各种化石燃料的消耗量、原材料的使用量、购入的电量、购入的热量等

[来源:GB/T 32150—2015,3.12]

3.9

温室气体排放因子 greenhouse gas emission factor

活动数据与温室气体排放相关的系数。

[来源:GB/T 24067—2024,3.2.7]

3.10

上网电量 on-grid energy

发电企业在电网电量计量点向系统(电网)输入的电量,即发电企业向市场出售的电量。

[来源:DL/T 1365—2014,4.1.4,有修改]

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量或环境影响重要性程度是否被排除在研究范围之外所作出的规定。

注:“能量流”的定义见 GB/T 24040—2008,3.13。

[来源:GB/T 24067—2024,3.4.1]

3.12

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]

4 量化原则

4.1 概述

4.2~4.8 的原则是核能发电产品碳足迹量化的基础。

4.2 相关性

数据和方法的选取适用于所研究系统产生的温室气体排放量的评价。

4.3 完整性

在产品碳足迹研究中,将所有对产品系统有显著贡献的温室气体排放量都包括在内,显著程度取决于取舍准则。

4.4 一致性

在产品碳足迹研究的全过程中,使用相同的假设、方法和数据,以得到与目的和范围一致的结论。

4.5 统一性

采用国际上已认可并已应用于具体产品种类的方法、标准和指南,以提高任何特定产品种类中产品碳足迹之间的可比性。

4.6 准确性

产品碳足迹和产品部分碳足迹的量化是准确的、可核查的、相关的、无误导性的,并尽可能地减少偏差和不确定性。

4.7 透明性

以公开、全面和可理解的信息表述方式处理和记录所有相关问题。披露所有相关假设,并适当引用所使用的方法和数据来源。明确地解释所有估计值并避免误差,以使产品碳足迹研究报告如实地阐明其意图说明的内容。

4.8 避免重复计算

相同的温室气体排放量和清除量仅分配一次,以避免温室气体排放量的重复计算。

5 量化目的

本文件用于量化核能发电产品生命周期温室气体排放量(以二氧化碳当量表示),基于本文件开展碳足迹量化的目的包括但不限于以下方面:

- a) 识别核能发电生命周期碳排放的关键环节和主要因素,提高核能发电生命周期低碳管理水平;
- b) 明确和传递碳足迹信息,推动上游供应链实施低碳措施,为下游产品碳足迹量化提供依据。

6 量化范围

6.1 功能单位

核能发电产品的功能单位为 1 kW·h 电量。

6.2 系统边界

6.2.1 系统边界设置

本文件界定的核能发电产品系统边界包括原材料获取阶段、运输阶段、施工建设阶段、生产及退役阶段、乏燃料后处理阶段和输配电阶段。核能发电产品系统边界示意图见图 1。

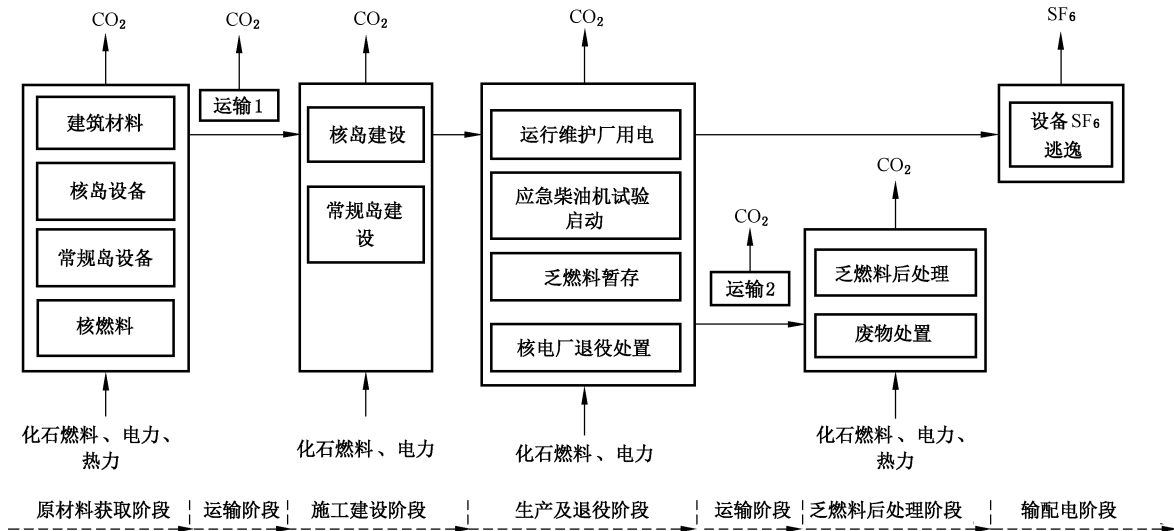


图 1 核能发电产品系统边界示意图

6.2.2 原材料获取阶段

原材料获取阶段应包括但不限于：

- 建筑材料：包括核岛和常规岛建设使用的混凝土、钢筋、预埋件等的获取；
- 核岛设备：包括核反应堆压力容器、主泵、蒸汽发生器、稳压器等的获取；
- 常规岛设备：包括汽轮机、发电机等的获取；
- 经过铀矿采冶、铀纯化转化、铀浓缩、核燃料元件制造等获取的核燃料。

6.2.3 运输阶段

运输阶段应包括但不限于：

- 将核燃料组件从核燃料厂运送至核电厂的过程；
- 将核岛设备、常规岛设备从制造厂运送至核电厂的过程；
- 将乏燃料从核电厂运送到乏燃料后处理厂的过程。

6.2.4 施工建设阶段

施工建设阶段应包括但不限于：

- 核岛建设：包括土建工程、安装工程、设备与系统调试；
- 常规岛建设：包括土建工程、安装工程、设备与系统调试。

6.2.5 生产及退役阶段

生产及退役阶段应包括但不限于：

- 正常运行与设备维护，停堆期间保障厂房正常运行；

- b) 应急柴油机定期启动；
- c) 乏燃料厂内暂存；
- d) 核电厂退役处置环节：拆除核电厂各部件、对被放射性沾污的部件进行去污处理、废物处置及场地修复。

6.2.6 乏燃料后处理阶段

乏燃料后处理阶段应包括但不限于：

- a) 乏燃料后处理环节：分离乏燃料中有用的核素并处理放射性废物；
- b) 废物处置环节：对核电厂运行以及乏燃料后处理过程中产生的低、中、高放射性废物进行处置。

6.2.7 输配电阶段

输配电阶段为核能发电产品经输配电设备输送到用户使用的过程，该阶段使用六氟化硫设备检修与退役过程存在六氟化硫逸散情况。

6.2.8 取舍准则

数据取舍过程按照 GB/T 24067—2024 中 6.3.5.3 规定，若某单元过程温室气体排放量估算值小于或等于核能发电产品生命周期内温室气体排放量的估算值的 1% 时，则可忽略。但所有忽略的温室气体排放量估算值合计不应超过核能发电产品生命周期内温室气体排放量估算值的 5%。

各阶段设备日常运行和维护的微量润滑油脂、化学药剂等辅助材料宜舍弃。

7 清单分析

7.1 数据收集原则

在开展产品碳足迹研究的组织拥有财务或运营控制权的情况下，应收集现场数据。所收集的过程数据应具有代表性，尽可能地减少偏差和不确定性。数据质量的特征应包括定量和定性两个方面，相关特性描述涉及以下方面：

- a) 时间覆盖范围：核能发电产品数据应涵盖核能发电项目的生命周期各阶段；
- b) 地理覆盖范围：应优先选择对所核算的核能发电项目具备地理针对性的数据；
- c) 技术覆盖范围：具体的技术或技术组合，应优先选择对所核算核能发电项目具备技术针对性的数据；
- d) 准确性：应保障收集的数据最接近真实值，且更精确；
- e) 完整性：覆盖系统边界各阶段和各环节，且满足产品碳足迹量化的需要；
- f) 数据来源：现场数据来源于测量、工程计算、采购台账记录等，所有数据均有相关的数据来源和数据处理算法。

7.2 数据收集步骤

对于系统边界内的所有生命周期阶段，应收集纳入生命周期清单中的定性资料和定量数据。数据收集和数据质量评估步骤如下。

- a) 根据产品系统边界，识别温室气体排放源，确定数据需求范围。
- b) 根据数据需求编制生命周期各阶段输入、输出数据列表。
- c) 根据数据列表收集活动数据和温室气体排放因子数据；数据收集应详细记录各项数据的数据来源和原始凭证以及测量方法等，保证其可追溯。

- d) 评估收集的活动数据和排放因子；对研究结论有显著影响的数据，应说明相关数据的收集过程、收集时间以及数据质量的信息；对能源相关的计量数据，相关计量器具应符合 GB 17167 的规定。
- e) 审查数据收集过程中出现的特殊情况、异常点和其他问题，识别可能产生的数据误差风险。

7.3 原材料获取阶段数据收集

原材料获取阶段数据收集应按照表 1 的要求执行。

表 1 原材料获取阶段数据收集表

活动数据			碳足迹因子	
类型	单位	计量、检测方法	单位	来源及优先序
钢筋	t	经校验合格的皮带秤、轨道衡、汽车衡等	kgCO ₂ e/t	a) 上游供应商提供的 数据； b) 政府发布数据； c) 行业发布数据； d) 经评估的国内外主 流数据库数据； e) 有关文献碳足迹因子； f) 宜参考附录 A 提供 的缺省值
混凝土	t	经校验合格的皮带秤、轨道衡、汽车衡等	kgCO ₂ e/t	
钢管	t	经校验合格的皮带秤、轨道衡、汽车衡等	kgCO ₂ e/t	
电力	kW·h	经校验合格的电表	kgCO ₂ e/(kW·h)	
柴油	kg	通过经校验合格的液位计或者流量计测量 体积，再换算为质量；或采用经校验合格的 汽车衡计量	kgCO ₂ e/kg	
热力	kJ	物料/能量平衡法	t CO ₂ e/GJ	
压力容器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
主泵	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
蒸汽发生器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
稳压器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
汽轮机	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
发电机	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
凝汽器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
汽水分离器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
除氧器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
高压加热器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
低压加热器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
主给水泵	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
主凝泵	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
循环水泵	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
主变压器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
厂用变压器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
辅助变压器	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
柴油发电机	台	设备台账	kgCO ₂ e/台	
核燃料组件	组	设备台账	kgCO ₂ e/组	

7.4 运输阶段数据收集

运输阶段数据收集应按照表 2 的要求执行。

表 2 运输阶段数据收集表

运输方式	活动数据				碳足迹因子	
	运输距离		运输重量		单位	来源及优先序
	单位	计量方法	单位	计量方法		
铁路运输	km	a) 优先采用铁路部门出具的货运单据(如货票、运单)里的计费距离; b) 通过铁路线路查询系统查询的距离	t	通过经校验合格的皮带秤、轨道衡、汽车衡、水尺等计量	kgCO ₂ e/(t·km)	a) 上游供应商提供的数据; b) 政府发布数据; c) 行业发布数据; d) 经评估国内外主流数据库数据; e) 有关文献碳足迹因子; f) 附录 A 提供的缺省值
公路运输	km	a) 运输车辆国内权威定位系统里的实际距离; b) 物流运单里的距离; c) 通过专业物流地图获取推荐线路的距离	t			
海运运输	km	采用航运公司出具的货运单里的距离	t			
内河运输	km	a) 采用航运公司出具的货运单里的距离; b) 通过航道里程表或者地图获得距离	t			

7.5 施工建设阶段数据收集

施工建设阶段数据收集优先序应按照表 3 的要求执行。

表 3 施工建设阶段数据收集表

活动数据			碳足迹因子	
类型	单位	计量、检测方法	单位	来源及优先序
电力	kW·h	经校验合格的电表	kgCO ₂ e/(kW·h)	a) 上游供应商提供的数据; b) 政府发布数据; c) 行业发布数据; d) 经评估的国内外主流数据库数据; e) 有关文献碳足迹因子; f) 宜参考附录 A 提供的缺省值
柴油	kg	通过经校验合格的液位计或者流量计测量体积,再换算为质量;或采用经校验合格的汽车衡计量	kgCO ₂ e/kg	

7.6 生产及退役阶段数据收集

生产及退役阶段数据收集优先序应按照表 4 的要求执行。

表 4 生产及退役阶段数据收集表

活动数据			碳足迹因子	
类型	单位	计量、检测方法	单位	来源及优先序
电力	kW · h	经校验合格的电表	kgCO ₂ e/(kW · h)	a) 上游供应商提供的数据； b) 政府发布数据； c) 行业发布数据； d) 经评估的国内外主流数据库数据； e) 有关文献碳足迹因子； f) 宜参考附录 A 提供的缺省值
柴油	kg	通过经校验合格的液位计或者流量计测量体积,再换算为质量;或采用经校验合格的汽车衡计量	kgCO ₂ e/kg	
供热量	kJ	物料/能量平衡法	t CO ₂ e/GJ	

7.7 乏燃料后处理阶段数据收集

乏燃料后处理阶段数据收集优先序应按照表 5 的要求执行。

表 5 乏燃料后处理阶段数据收集表

活动数据			碳足迹因子	
类型	单位	计量、检测方法	单位	来源及优先序
电力	kW · h	经校验合格的电表	kgCO ₂ e/(kW · h)	a) 上游供应商提供的数据； b) 政府发布数据； c) 行业发布数据； d) 经评估的国内外主流数据库数据； e) 有关文献碳足迹因子； f) 宜参考附录 A 提供的缺省值
柴油	kg	通过经校验合格的液位计或者流量计测量体积,再换算为质量;或采用经校验合格的汽车衡计量	kgCO ₂ e/kg	

7.8 输配电阶段数据收集

输配电阶段六氟化硫年度总排放量涉及的数据按照 GB/T 32151.2—2015 中 5.2.2 规定的方法收集;全国输配电碳足迹因子(不含线损)、全国线路损失率应采用政府部门、行业协会公布的最新数据,电量数据的收集应符合表 6 的要求。

表 6 输配电阶段数据收集

名称	数据获取方式
上网电量	核能发电企业在上网电量计量点向电网输入的电量,采用电表计量数据,统计年度数据
直供电量	核能发电企业直接外供的电量,采用电表计量数据或结算凭证数据,统计年度数据

7.9 数据审定

在数据采集过程中应对数据的有效性进行检查,数据的审定可通过建立质量平衡、能量平衡、碳平衡和(或)排放因子的比较分析或其他适当的方法。由于每个单元过程遵守物质和能量守恒定律,因此物质和能量的平衡能为单位过程描述的准确性提供有效的检查。

7.10 分配原则

核能供热按照以下方式进行:

- a) 核能供汽:以蒸汽质量及焓值计算供汽与发电分配;
- b) 核能供暖:以蒸汽质量及焓值计算供暖与发电分配;
- c) 核能制氢:以蒸汽质量及焓值计算制氢与发电分配;
- d) 海水淡化:以蒸汽质量及焓值计算海水淡化与发电分配。

7.11 清单计算

生命周期清单分析结果通常表现为一系列的数据表,展示每个功能单位产品在每个阶段的资源使用量(材料和能源),以及释放到环境中的排放物(如温室气体、废弃物等)。

8 影响评价

8.1 核能发电产品碳足迹量化

核能发电产品碳足迹量化方法见公式(1):

$$CFP_{NP} = \frac{(Em_{rs} + Em_{tr} + Em_{cs} + Em_{ps} + Em_{es}) \times (1 - \alpha)}{(E_{oge} + E_{dps})(1 - \eta)} + \frac{Em_{td}}{E_{oge} \times (1 - \eta)} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- CFP_{NP} ——年度核能发电产品碳足迹,单位为千克二氧化碳当量每千瓦时 $[\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$;
- Em_{rs} ——原材料获取阶段温室气体年度总排放量,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e) ;
- Em_{tr} ——运输阶段温室气体年度总排放量,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e) ;
- Em_{cs} ——施工建设阶段温室气体年度总排放量,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e) ;
- Em_{ps} ——生产及退役阶段温室气体年度总排放量,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e) ;
- Em_{es} ——乏燃料后处理阶段温室气体年度总排放量,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e) ;
- Em_{td} ——输配电阶段温室气体年度总排放量,单位为千克二氧化碳当量 (kgCO_2e) ;当计算直供电碳足迹时, Em_{td} 取值为0;
- α ——供热比,%;当生产系统的产品仅为电力时, $\alpha=0$;当生产系统的产品为电力和热力时,可参考 DL/T 904 计算;
- E_{oge} ——核能发电年度总上网电量,单位为千瓦时 $(\text{kW} \cdot \text{h})$;
- E_{dps} ——核能发电年度总直供电量,单位为千瓦时 $(\text{kW} \cdot \text{h})$;
- η ——全国电网平均线损率,%;计算直供电产品碳足迹时, η 取0。

8.2 原材料获取阶段温室气体排放量化

原材料获取阶段温室气体年度总排放量计算方法见公式(2):

$$Em_{rs} = AD_U \times EF_U + \frac{1}{T} \sum_i (AD_i \times EF_i) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

AD_U ——原材料获取阶段年度装载核燃料组件的温室气体排放活动数据，数据来源见表 1；

EF_U ——核燃料组件的碳足迹因子，数据来源及优先顺序见表 1；

AD_i ——原材料获取阶段第 i 种原材料（不包含铀燃料）的温室气体排放活动数据，数据来源见表 1；

T ——核电厂寿命，单位为年(a)，本文件宜取 60 年；

EF_i ——原材料获取阶段第 i 类原材料的碳足迹因子，数据来源及优先顺序见表 1。

8.3 运输阶段温室气体排放量化

运输阶段温室气体年度总排放量计算方法见公式(3)：

$$Em_{tr} = W_{spend,j} \times D_{spend,j} \times EF_j + \frac{1}{T} \sum_j \sum_k (W_{kj} \times D_{kj} \times EF_j) \dots\dots\dots (3)$$

$W_{spend,j}$ ——第 j 种运输方式，年度乏燃料运输质量，单位为吨(t)，数据来源见表 2；

$D_{spend,j}$ ——第 j 种运输方式，年度乏燃料运输距离，单位为千米(km)，数据来源见表 2；

W_{kj} ——第 j 种运输方式，运输常规岛设备与核岛设备第 k 次运输的质量(含包装)，单位为吨(t)，数据来源见表 2；

D_{kj} ——第 j 种运输方式，运输常规岛设备与核岛设备第 k 次运输的距离，单位为千米(km)，数据来源见表 2；

EF_j ——第 j 种运输方式下，单位运输量的碳足迹因子，单位为千克二氧化碳当量每吨千米 [$\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$]，数据来源及优先顺序见表 1。

8.4 施工建设阶段温室气体排放量化

施工建设阶段温室气体年度总排放量计算方法见公式(4)：

$$Em_{cs} = \frac{1}{T} \sum_t [(AD_{et} \times EF_e) + \sum_f (AD_{ft} \times EF_f)] \dots\dots\dots (4)$$

式中：

AD_{et} ——施工建设阶段，第 t 年电力的温室气体排放活动数据，单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)，数据来源见表 3；

AD_{ft} ——施工建设阶段，第 t 年化石燃料 f 的温室气体排放活动数据，数据来源见表 3；

t ——施工建设阶段的第 t 年， t 的最大值为核电厂建设周期，一般为 5 年；

EF_e ——电力的碳足迹因子，数据来源及优先序见表 3；

EF_f ——化石燃料 f 的碳足迹因子，数据来源及优先序见表 3。

8.5 生产及退役阶段温室气体排放量化

生产及退役阶段温室气体年度总排放量计算方法见公式(5)：

$$Em_{ps} = AD_e \times EF_e + AD_f \times EF_f + \frac{1}{T} (AD_{NPP,e} \times EF_e + AD_{NPP,f} \times EF_f) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

AD_e ——日常运行维护及大修、乏燃料暂存等使用外购电量的年度温室气体排放活动数据，单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)；

AD_f ——应急柴油启动试验等使用的柴油(化石燃料)的年度温室气体排放活动数据，数据来源见表 4；

$AD_{NPP,e}$ ——核电厂退役使用外购电量的温室气体排放活动数据，单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)；

$AD_{NPP,f}$ ——核电厂退役使用化石燃料的温室气体排放活动数据,数据来源及优先序见表 4。

8.6 乏燃料后处理阶段温室气体排放量化

乏燃料后处理阶段温室气体年度总排放量计算方法见公式(6):

$$Em_{es} = \sum_m [AD_{me} \times EF_e + \sum_f (AD_{mf} \times EF_f)] \dots\dots\dots (6)$$

式中:

AD_{me} ——乏燃料后处理阶段中, m 环节包括乏燃料后处理、废物处置等年度消耗电力的温室气体排放活动数据,单位为千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$),数据来源见表 5;

AD_{mf} ——乏燃料后处理阶段中, m 环节包括乏燃料后处理、废物处置等年度消耗化石燃料的温室气体排放活动数据,数据来源见表 5。

8.7 输配电阶段温室气体排放量化

输配电阶段温室气体年度总排放量 Em_{td} 为使用六氟化硫设备检修与退役过程产生的六氟化硫的总排放量,单位为千克二氧化碳当量(kgCO_2e),按照 GB/T 32151.2—2015 中 5.2.2 规定的方法计算。计算直供电产品碳足迹时, Em_{td} 取 0。计算时所使用的全球增温潜势(GWP)参考值见附录 B。

只有当输配电阶段检修和退役设备的六氟化硫排放数据获取困难时,输配电阶段温室气体排放量可简化,见公式(7):

$$Em_{td} = CFP_{td} \times E_{oge} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

CFP_{td} ——全国输配电碳足迹因子(不含线损),单位为千克二氧化碳当量每千瓦时 [$\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{kW} \cdot \text{h})$],计算直供电产品碳足迹时, CFP_{td} 取 0。

9 结果解释

9.1 结果解释步骤

核能发电产品碳足迹结果解释步骤如下:

- a) 根据生命周期清单分析和生命周期影响评价的产品碳足迹的量化结果,识别显著环节;
- b) 完整性、一致性和敏感性分析的评估;
- c) 结论、局限性和建议的编制。

9.2 结果解释内容

核能发电产品碳足迹结果解释应包括以下内容:

- a) 说明产品碳足迹和各生命周期阶段的碳足迹;
- b) 分析不确定性,包括取舍准则的应用或范围;
- c) 详细记录选定的分配程序;
- d) 说明产品碳足迹研究的局限。

结果解释宜包括的内容:分析重要输入、输出和方法学选择(包括分配程序)的敏感性,以了解结果的不确定性和不确定性。

10 产品碳足迹报告

10.1 基本要求

核能发电产品碳足迹报告应完整、准确、无偏向性阐述核能发电产品碳足迹量化目的、结果及结论,

应透明地、详细地阐述量化数据、方法、假设和局限性；其形式与格式应于目标及范围界定阶段予以明确，结果和解释应能以符合量化目的的方式而被使用。

10.2 报告要素

产品碳足迹报告应包括但不限于以下内容(报告参考格式见附录 C)。

- a) 基本情况：
 - 1) 生产单位信息；
 - 2) 产品信息；
 - 3) 机组信息；
 - 4) 量化方法。
- b) 量化目的：
 - 1) 开展量化的目的；
 - 2) 预期用途。
- c) 量化范围：
 - 1) 功能单位；
 - 2) 系统边界；
 - 3) 取舍准则；
 - 4) 时间范围。
- d) 清单分析：
 - 1) 数据来源说明；
 - 2) 分配原则与程序；
 - 3) 清单结果及计算；
 - 4) 数据质量评价。
- e) 影响评价：
 - 1) 影响类型和特征化因子选择；
 - 2) 产品碳足迹结果计算。
- f) 结果解释：
 - 1) 结果说明；
 - 2) 假设和局限性说明(可选项)；
 - 3) 改进建议。

附 录 A
(资料性)

核能发电产品碳足迹量化常用碳足迹因子缺省值

核能发电产品碳足迹量化常用碳足迹因子缺省值见表 A.1。

表 A.1 核能发电产品碳足迹量化常用碳足迹因子缺省值

生命周期阶段	项目	名称	碳足迹因子	单位	来源
原材料获取阶段	建筑材料	碳钢	2 050	kgCO ₂ e/t	GB/T 51366—2019
		水泥	735	kgCO ₂ e/t	GB/T 51366—2019
		混凝土	385	kgCO ₂ e/m ³	GB/T 51366—2019
	外购电力	电力	—	kgCO ₂ e/(kW·h)	电力碳足迹因子以生态环境主管部门最新发布为准
	化石能源	柴油	72.59	tCO ₂ e/TJ	GB/T 51366—2019
	核燃料组件	铀矿采冶	1.39	gCO ₂ e/(kW·h)	《我国核能系统生命周期的温室气体排放研究》
		铀纯化转化	0.349	gCO ₂ e/(kW·h)	《我国核能系统生命周期的温室气体排放研究》
		铀浓缩	0.292	gCO ₂ e/(kW·h)	《我国核能系统生命周期的温室气体排放研究》
		核燃料元件制造	0.147	gCO ₂ e/(kW·h)	《我国核能系统生命周期的温室气体排放研究》
运输阶段	物料运输	铁路运输	0.010 0	kgCO ₂ e/(t·km)	GB/T 51366—2019
		公路运输	0.057 0	kgCO ₂ e/(t·km)	
		海运运输	0.007 1	kgCO ₂ e/(t·km)	
		内河运输	0.015 0	kgCO ₂ e/(t·km)	
施工建设阶段	外购电力	电力	—	gCO ₂ e/(kW·h)	电力碳足迹因子以生态环境主管部门最新发布为准
	化石能源	柴油	72.59	tCO ₂ e/TJ	GB/T 51366—2019
生产及退役阶段	机组维修外购电力	电力	—	gCO ₂ e/(kW·h)	电力碳足迹因子以生态环境主管部门最新发布为准
	应急柴油机启动	柴油	72.59	tCO ₂ e/TJ	GB/T 51366—2019
	乏燃料暂存	电力	—	gCO ₂ e/(kW·h)	电力碳足迹因子以生态环境主管部门最新发布为准
	核电厂退役	—	0.1	gCO ₂ e/(kW·h)	EDF

表 A.1 核能发电产品碳足迹量化常用碳足迹因子缺省值（续）

生命周期阶段	项目	名称	碳足迹因子	单位	来源
乏燃料后处理阶段	乏燃料后处理	—	1.71	$\text{gCO}_2\text{e}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	《我国核能系统生命周期的温室气体排放研究》
	废物处置	—	0.02	$\text{gCO}_2\text{e}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	《我国核能系统生命周期的温室气体排放研究》
输配电阶段	输配电	—	—	$\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	电力碳足迹因子以生态环境主管部门最新发布为准

附录 B
(资料性)
GWP 参考值

温室气体全球变暖潜势应采用最新值并在报告中说明，当前 GWP 参考值见表 B.1。

表 B.1 部分温室气体的 GWP

气体名称	化学分子式	100 年的 GWP(截至出版时)
二氧化碳	CO ₂	1
六氟化硫	SF ₆	23 500
注：数据来源于 IPCC 第六次评估报告。		

附 录 C
(资料性)
产品碳足迹报告(模板)

核能发电产品碳足迹报告(模板)见图 C.1。

核能发电产品碳足迹报告
(模板)

产 品 名 称:_____
产品规格型号:_____
生产者名称:_____
报 告 编 号:_____

出具报告机构: (若有) (盖章)
日 期: 年 月 日

图 C.1 核能发电产品碳足迹报告(模板)

一、概况

1.生产单位信息

生产单位名称:_____

地 址:_____

法 定 代 表 人:_____

授权人(联系人):_____

联 系 电 话:_____

装机容量(MW):_____

2.产品信息

产 品 名 称:_____

产 品 介 绍:_____

额 定 功 率 (MW):_____

(按照各发电类型补充)_____

.....

.....

.....

3.量化方法

依据标准:_____

二、量化目的

三、量化范围

1.功能单位

以 1 kW · h 电量为功能单位。

2.系统边界

阶段:

图 C.1 核能发电产品碳足迹报告(模板)(续)

3.取舍准则

采用的取舍准则以_____为依据,具体规则如下:

4.时间范围

_____年度。

四、清单分析

1.数据来源说明

初级数据:_____

次级数据:_____

2.分配原则与程序

分配依据:_____

分配程序:_____

具体分配情况如下:

3.清单结果及计算

生命周期各个阶段碳排放计算说明见表 1。

表 1 核能发电产品生命周期碳排放清单说明

生命周期阶段	活动数据	碳足迹因子/排放因子	温室气体量 kgCO ₂ e/(kW·h)
原材料获取阶段			
运输阶段			
施工建设阶段			
生产及退役阶段			
乏燃料后处理阶段			
输配电阶段			

4.数据质量评价

数据质量可从定性和定量两个方面对报告使用的初级数据和次级数据进行评价,具体评价内容包括:完整性、一致性、数据代表性(时间、地理、技术)和准确性。

五、影响评价

图 C.1 核能发电产品碳足迹报告(模板)(续)

1.影响类型和特征化因子选择

一般选择 IPCC 给出的 100 年 GWP。

2.产品碳足迹结果计算

六、结果解释

1.结果说明

_____公司(填写产品生产者的全名)生产的_____ (填写所评价的产品名称,每声明单位的产品),从_____ (填写某生命周期阶段)到(填写某生命周期阶段)生命周期碳足迹为_____ kgCO₂e。核能发电产品生命周期各阶段碳排放情况见表 2。

表 2 核能发电产品生命周期各阶段碳排放情况

生命周期阶段	碳足迹 kgCO ₂ e/(kW·h)	占比 %	备注
原材料获取阶段			
运输阶段			
施工建设阶段			
生产及退役阶段			
乏燃料后处理阶段			
输配电阶段			

2.假设和局限性说明(可选项)

结合量化情况,对范围、数据选择、情景设定等相关的假设和局限进行说明。

3.改进建议

图 C.1 核能发电产品碳足迹报告(模板)(续)

参 考 文 献

- [1] GB 51041—2014 核电厂岩土工程勘察规范
 - [2] GB/T 51366—2019 建筑碳排放计算标准
 - [3] DL/T 904 火力发电厂技术经济指标计算方法
 - [4] DL/T 1365—2014 名词术语 电力节能
 - [5] Denis Le-Boulch, Vincent Morisset, Zo'e Jobard, Alexis Burguburu, Magdalena M. Czyrnek-Deletre. Life cycle assessment of nuclear power in France: EDF case study [J]. EPJ Nuclear Sci. Technol. 2024, 10(8): 1-14
-

