

中国建筑材料协会标准

T/CBMF 277—2024

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求
水泥

Greenhouse gas—Quantification methods and requirements for carbon
footprint of products—Cement

(此文本仅供个人学习、研究之用,未经授权,禁止复
制、发行、汇编、翻译或网络传播等,侵权必究)

2024-10-22 发布

2024-11-01 实施

中国建筑材料联合会发布

目 次

前言	IX
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 量化目的	4
5 量化范围	4
6 清单分析	5
7 影响评价	7
8 结果解释	9
9 鉴定性评审	10
10 可比性	10
11 产品碳足迹绩效追踪	10
12 产品碳足迹报告	10
附录 A (资料性) 水泥产品生产工艺流程图	11
附录 B (资料性) 现场数据采集信息	14
附录 C (资料性) 次级数据采集信息	15
附录 D (资料性) 数据质量评价方法	16
附录 E (资料性) GWP 参考值	18
附录 F (资料性) 产品碳足迹报告 (模板)	19
附录 G (资料性) 常用参数参考值	23
参考文献	25

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。

本文件由中国建筑材料联合会提出并归口。

本文件起草单位：北京国建联信认证中心有限公司、三碳（安徽）科技研究院有限公司、合肥水泥研究设计院有限公司、华新水泥股份有限公司、北京工业大学、华润水泥技术研发（广西）有限公司、南方水泥有限公司、中材建设有限公司、江苏省建工建材质量检测中心有限公司、上海易碳数字科技有限公司、中铁七局集团第四工程有限公司、西安龙净环保科技有限公司、亿盛认证有限公司、浙江菲达环保科技股份有限公司、广州绿石碳科技股份有限公司、江苏中碳能投环境服务集团有限公司、建材工业质量认证管理中心。

本文件主要起草人：王瑞蕴、陈永波、陈华龙、马明、褚彪、杨宏兵、龚先政、陶从喜、管文龙、王彬、吕世杰、桂志军、从绍虎、李海波、黄锦、刘含笑、刘慧、薛成、鹿珂伟、李辉、王兴鹏、曾荣、童来苟、徐国涛、刘泽峰、李晓龙、胡志颖、项泽强、樊毓杰、姚方行、谷岩、孙利、黄天硕。

本文件主要审查人：盛喜军、周丽玮、狄东仁、姚娟娟、李梦辰、吕彬、何光明、宓振军、颜碧兰、何捷、方春香、韩前卫、许云召、马丽萍、赵婷婷。



温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 水泥

1 范围

本文件规定了水泥产品碳足迹的量化目的、量化范围、清单分析、影响评价、结果解释、鉴定性评审、可比性、绩效追踪以及报告等内容。

本文件适用于水泥产品碳足迹量化与评价。

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 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 32151.8 碳排放核算与报告要求 第8部分：水泥生产企业

ISO 14071 环境管理 生命周期评价 鉴定性评审过程和评审员能力 (Environmental management-Life cycle assessment-Critical review processes and reviewer competencies)

3 术语和定义

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

3.1

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、波长在红外光谱内的辐射的气态成分。

注：本文件涉及的温室气体包括二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亚氮 (N₂O)、氢氟碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs)、六氟化硫 (SF₆) 和三氟化氮 (NF₃)。

[来源：GB/T 32150—2015，3.1，有修改]

3.2

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。

注1：产品碳足迹可用不同的图例区分和标示具体的 GHG 排放量和清除量，产品碳足迹也可被分解到其生命周期的各个阶段。

注2：产品碳足迹研究报告中记录了产品碳足迹的量化结果，以每个功能单位的二氧化碳当量表示。

[来源：GB/T 24067—2024，3.1.1]

3.3

产品部分碳足迹 partial carbon footprint of a product; partial CFP

在产品系统生命周期内的一个或多个选定阶段或过程中的 GHG 排放量和 GHG 清除量之和，并以二氧化碳当量表示。

注1：产品部分碳足迹是基于或由与特定过程或足迹信息模型有关的数据汇集而成，这些数据是产品系统的一部分，可作为产品碳足迹量化的基础。

注2：“足迹信息模型”的定义见 ISO 14026: 2017, 3.1.4。

注3：产品碳足迹研究报告中记录了产品部分碳足迹的量化结果，以每个声明单位的二氧化碳当量表示。

[来源：GB/T 24067—2024, 3.1.2]

3.4

产品碳足迹绩效追踪 carbon footprint of a product performance tracking; CFP performance tracking

比较同一组织的一个特定产品在一段时间内的产品碳足迹或产品部分碳足迹。

注：包括计算一个特定产品碳足迹在一段时间内的变化，或具有相同功能单位或声明单位的替代产品之间产品碳足迹在一段时间内的变化。

[来源：GB/T 24067—2024, 3.1.11]

3.5

全球变暖潜势 global warming potential; GWP

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

[来源：GB/T 32150—2015, 3.15, 有修改]

3.6

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 32150—2015, 3.16, 有修改]

3.7

温室气体排放量 greenhouse gas emission; GHG emission

在特定时段内释放到大气中的温室气体总量（以质量单位计算）。

[来源：GB/T 32150—2015, 3.6]

3.8

温室气体清除量 greenhouse gas removal; GHG removal

在特定时段内从大气中清除的温室气体总量（以质量单位计算）。

[来源：GB/T 24067—2024, 3.2.6]

3.9

温室气体排放因子 greenhouse gas emission factor; GHG 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

产品系统 product system

拥有基本流和产品流，同时具有一种或多种特定功能，并能模拟产品生命周期的单元过程的集合。

注：“产品流”的定义见 GB/T 24040—2008，3.27。

[来源：GB/T 24044—2008，3.28]

3.11

共生产品 **co-product**

同一单元过程或产品系统中产出的两种或两种以上的产品。

[来源：GB/T 24044—2008，3.10]

3.12

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，有修改]

3.13

单元过程 **unit process**

进行生命周期清单分析时为量化输入和输出数据而确定的最基本部分。

[来源：GB/T 24044—2008，3.34]

3.14

声明单位 **declared unit**

用来量化产品部分碳足迹的基准单位。

[来源：ISO 21930：2017，3.1.11，有修改]

3.15

初级数据 **primary data**

通过直接测量或基于直接测量的计算得到的过程或活动的量化值。

注1：初级数据并非必须来自所研究的产品系统，因为初级数据可能涉及其他与所研究的产品系统具有可比性的产品系统。

注2：初级数据可以包括温室气体排放因子或温室气体活动数据。

[来源：GB/T 24067—2024，3.6.1]

3.16

现场数据 **site-specific data**

在产品系统内部获得的初级数据。

注1：所有现场数据均为初级数据，但并不是所有初级数据都是现场数据，因为数据可能是从不同产品系统内部获得的。

注2：现场数据包括场地内一个特定单元过程的温室气体排放量和温室气体清除量。

[来源：GB/T 24067—2024，3.6.2]

3.17

次级数据 **secondary data**

不符合初级数据要求的数据。

注1：次级数据是经权威机构验证且具有可信度的数据，可来源于数据库、公开文献、国家排放因子、计算估算数据或其他具有代表性的数据，推荐使用本土化数据库。

注2：次级数据可包括从代替过程或估计获得的数据。

[来源：GB/T 24067—2024，3.6.3]

4 量化目的

本文件用于量化水泥产品生命周期选定阶段的温室气体排放量和清除量（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) 评价产品对气候变化的潜在影响；
- b) 用于生产者与上下游供应链或消费者之间的温室气体排放信息沟通；
- c) 用于生产者降低产品碳足迹的设计与改进以及同类产品间的对比，其中对比应满足可比性（第10章）的要求。

5 量化范围

5.1 产品描述

依据水泥对应的产品标准描述产品系统及其功能，同时清晰描述产品名称、产品定义、产品执行标准、组分材料、强度等级、应用方向等信息。

5.2 系统边界

5.2.1 水泥产品碳足迹量化的系统边界包含原料获取阶段（A）和产品生产阶段（B）；不包括产品分销阶段（C）、安装和使用阶段（D）和生命末期阶段（E），见图1。

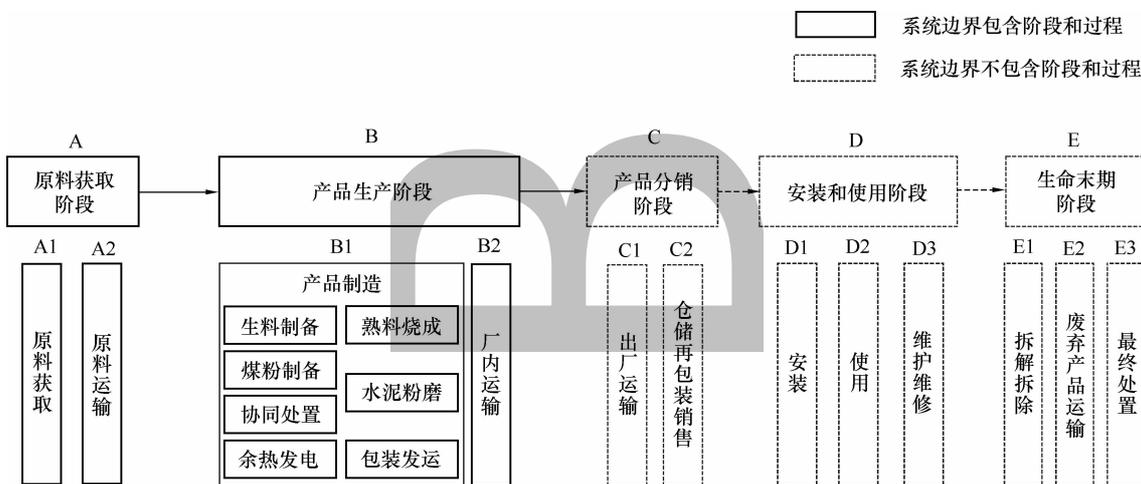


图1 水泥产品碳足迹评价的系统边界图

5.2.2 熟料产品和水泥产品生产工艺流程图见附录A。

5.2.3 原料获取阶段（A），从自然界初级资源提取开始，在原料到达水泥厂时终止，包括：

- a) 原料获取（A1）：主要原料获取过程，如石灰石矿山开采过程的能源、资源、耗材投入和废弃处理等相关过程；次要原料获取过程，如粘土的开采与加工等过程；包装材料的生产过程；
- b) 原料运输（A2）：将原料和包装材料从产地运输到水泥厂的过程。

5.2.4 产品生产阶段（B），从原料运输至水泥厂，在产品生产完成时终止，包括：

- a) 产品制造（B1）：原料预处理、生料制备、煤粉制备、熟料烧成、协同处置、余热发电等

过程；水泥粉磨、包装及发运等过程；产品制造使用能源（如煤、柴油、电力等）的开采、加工或生产、运输、燃烧过程，产品制造产生大气污染物、废（污）水及固体废物处理相关过程；

b) 厂内运输（B2）：原料、能源、产品、固体废物等在工厂内部的运输过程。

5.3 声明单位

熟料碳足迹量化的声明单位为“生产 1t 某品种、某强度等级的熟料”，如生产 1t 硅酸盐水泥熟料；水泥产品碳足迹量化的声明单位为“生产 1t 某品种、某强度等级的水泥产品”，如生产 1t P·O 42.5 水泥。

5.4 取舍准则

所涉及的物质（能量）数据的取舍应遵循如下准则：

- a) 所有的能源输入均需列出，包括使用的替代燃料等；
- b) 应列出主要的原料及辅料输入，若符合 c) 和 d) 要求则可忽略；
- c) 忽略的单项物质（能量）流或单元过程对产品碳足迹的贡献均不得超过 1%，如生产设备维修耗材等；
- d) 所有忽略的物质（能量）流与单元过程对产品碳足迹贡献总和不超过 5%，且应在产品碳足迹报告中予以说明；
- e) 道路与厂房等基础设施的建设、各工序设备的制造、厂区内人员及生活设施的消耗和排放，均可忽略。

6 清单分析

6.1 数据的收集和确认

6.1.1 数据的收集应符合表 1 的要求。

6.1.2 当开展产品碳足迹研究的组织拥有财务或运营控制权时，应收集现场数据。所收集的数据应具有代表性。对产品碳足迹贡献度不低于 50% 的单元过程，即使不在财务或运营控制下，宜使用现场数据。现场数据可参照附录 B 收集。

6.1.3 非现场数据可使用次级数据（附录 C），次级数据宜经第三方评审，同时数据格式应满足相关标准要求。次级数据可来源于国家数据库、公开文献或其他具有代表性的数据。

6.1.4 对数据获得方式和来源应予以说明。

表 1 各阶段数据收集

所属阶段	数据种类	数据类型
原料获取阶段 (A)	主要原料石灰石的温室气体排放因子	宜使用现场数据
	次要原料砂岩、粘土、混合材、利废原料、包装材料等的温室气体排放因子	可使用次级数据
	主要原料与次要原料的运输量、运输距离、运输方式	应使用现场数据
	不同运输方式的温室气体排放因子	可使用次级数据
产品生产阶段 (B)	石灰石、砂岩、粘土、混合材、包装袋等主要原料和次要原料的消耗量	应使用现场数据
	能源和物料的运输量、运输距离、运输方式	应使用现场数据
	不同运输方式的温室气体排放因子	可使用次级数据

表 2（续）

所属阶段	数据种类	数据类型
产品生产阶段 (B)	煤、电、柴油（固定源和移动源）等能源的消耗量	应使用现场数据
	柴油、电力、蒸汽、天然气等能源和物料获取的温室气体排放因子	可使用次级数据
	煤、电、柴油等能源的低位发热量	可使用次级数据
	煤、柴油、替代燃料等能源燃烧过程的单位热值温室气体排放因子或单位质量温室气体排放因子	可使用次级数据
	熟料中氧化钙、氧化镁的含量	应使用现场数据
	非碳酸盐替代原料中氧化钙和氧化镁的含量	应使用现场数据
	替代燃料中非生物质碳的含量	可使用次级数据
	生料中非燃料碳含量	可使用次级数据
	大气污染物、废（污）水及固体废物的产生量、处置方式	应使用现场数据
	大气污染物、废（污）水及固体废物处置方式对应的温室气体排放因子	可使用次级数据

6.2 数据质量要求

6.2.1 初级数据符合以下要求：

a) 完整性。根据数据取舍准则（5.4）的要求，检查是否有缺失的单元过程或输入输出物质。初级数据宜采集企业一个自然年或连续 12 个月内的生产统计数据；

b) 准确性。初级数据中的能源、原料消耗数据应来自企业实际生产统计记录，能源和原料获取数据优先来自上游供应商；碳排放数据优先选择核查报告，或由排放因子或物料平衡公式计算获得。所有初级数据均应转换为以声明单位为基准，且应详细记录相关的初级数据、数据来源、计算过程等；

c) 一致性。初级数据收集时同类数据应保持相同的数据来源、统计口径、处理规则等。

6.2.2 次级数据符合以下要求：

a) 代表性。优先选择与评估产品系统的时间代表性、区域代表性、技术代表性相近的数据，其次选择近年代表国内及行业平均生产水平公开的生命周期评价数据，最后选择国外同类技术数据；

b) 完整性。应涵盖系统边界规定的所有单元过程；

c) 一致性。同一机构对同类产品次级数据的选择应保持一致。

6.3 数据审定

数据采集过程中，应验证数据的有效性，通过物料平衡、能量平衡、与历史数据和相近工艺数据对比等方式，确认数据的准确性与合理性。对于异常数据，应分析原因，予以替换，替换的数据应满足数据质量要求（6.2）。

6.4 分配

6.4.1 在系统边界设置或数据采集时，若发现至少有一个单元过程的输入和输出包含多个产品，则需要分配。

6.4.2 分配方法如下：

- a) 优先采集细分单元过程避免数据分配，如优先采集各设施、各时间段数据；
- b) 若数据分配无法避免，则应使用质量进行分配，如熟料产量、水泥产量；
- c) 电石渣、熟石灰、镁渣、铁合金炉渣、钢渣、黄磷渣、钒钛渣、氮渣、造纸白泥、飞灰、脱硫石膏、磷石膏、钛石膏、氟石膏、硼石膏、模型石膏、硫酸渣、镍渣、锰渣、锌渣、锡渣等利废原料获取阶段温室气体排放因子为0；
- d) 城市固体废物、工业废物及副产物、生物质等，包括废油、废轮胎、废塑料、废溶剂、废皮革、废玻璃钢、生活垃圾及其预处理可燃物、生物质燃料等替代燃料获取阶段温室气体排放因子为0；
- e) 对于闭环里循环使用的共生产品，不需要分配，如余热发电不需要分配；
- f) 分配方法应在产品碳足迹报告中予以明确说明。

7 影响评价

7.1 计算方法

7.1.1 在数据收集与确认完成后，将现场数据和非现场数据折算为统一的声明单位，进行产品碳足迹核算，计算方法见公式（1）：

$$CFP_{GHG} = \sum_i (GWP_i \times CFP_i) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

CFP_{GHG} ——产品碳足迹，单位为千克二氧化碳当量每声明单位（kg CO₂ e/声明单位）；

CFP_i ——每声明单位生产阶段第*i*类温室气体排放总量，单位为千克（kg），计算方法见公式（2）；

GWP_i ——第*i*类温室气体的GWP值，采用IPCC给出的100年GWP值，见附录E。

$$CFP_i = CFP_{A,i} + CFP_{B,i} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$CFP_{A,i}$ ——每声明单位在原料获取阶段的第*i*类温室气体排放量，单位为千克（kg），计算方法见公式（3）；

$CFP_{B,i}$ ——每声明单位在生产阶段的第*i*类温室气体排放量，单位为千克（kg），计算方法见公式（4）。

7.1.2 原料获取阶段（A）

每声明单位在原料获取阶段的第*i*类温室气体排放量按公式（3）计算：

$$CFP_{A,i} = \sum(M_{A,j} \times CEF_{A,i,j}) + \sum(M_{A,j,k} \times D_{A,j,k} \times TEF_{i,k}) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$M_{A,j}$ ——每声明单位第*j*种原料的消耗量，单位视原料种类而定；

$CEF_{A,i,j}$ ——第*j*种原料获取的第*i*种温室气体排放因子，单位视原料种类而定。利废原料遵循6.4，电力满足GB/T 24067—2024中条款6.4.9.4的要求；

$M_{A,j,k}$ ——每声明单位第*j*种原料第*k*种运输方式的运输量，单位视原料种类而定；

$D_{A,j,k}$ ——第*j*种原料第*k*种运输方式的运输距离，单位为千米（km）；

$TEF_{i,k}$ ——第*k*种运输方式的第*i*种温室气体排放因子，单位为千克每吨每千米 [kg/(t·km)]。

7.1.3 产品生产阶段

7.1.4 产品生产过程 (A3)

水泥产品生产阶段温室气体排放包括生产消耗能源的获取、运输和燃烧，替代燃料煨烧，碳酸盐原料煨烧分解，非燃料碳煨烧以及污染物和废弃物的处置，每声明单位在生产阶段的第 i 类温室气体排放量按公式 (4) 计算：

$$CFP_{B,i} = \sum(M_{B,j} \times CEF_{B,i,j}) + \sum(M_{B,j,k} \times D_{B,j,k} \times TEF_{i,k}) + E_{\text{燃烧1},i} + E_{\text{燃烧2},i} + E_{\text{过程1},i} + E_{\text{过程2},i} \dots \dots \quad (4)$$

式中：

$M_{B,j}$ ——每声明单位产品生产阶段第 j 种燃料和物料的消耗量，单位视燃料和物料种类而定；

$CEF_{B,i,j}$ ——第 j 种燃料和物料获取的第 i 种温室气体排放因子，单位视燃料和物料种类而定；

$M_{B,j,k}$ ——每声明单位第 j 种燃料和物料第 k 种运输方式的运输量，单位视燃料和物料种类而定；

$D_{B,j,k}$ ——第 j 种燃料和物料第 k 种运输方式的运输距离，单位为千米 (km)；

$E_{\text{燃烧1},i}$ ——每声明单位熟料或水泥产品生产阶段化石燃料燃烧产生的第 i 类温室气体排放量，按公式 (5) 计算，单位为千克 (kg)；

$E_{\text{燃烧2},i}$ ——每声明单位熟料产品生产阶段替代燃料煨烧产生的第 i 类温室气体排放量，按公式 (6) 或公式 (7) 计算，单位为千克 (kg)；

$E_{\text{过程1},i}$ ——每声明单位熟料产品生产阶段的碳酸盐原料煨烧分解产生的第 i 类温室气体排放量，按公式 (8) 计算，单位为千克 (kg)；对于存在熟料生产过程的产品，第 i 类温室气体为二氧化碳；

$E_{\text{过程2},i}$ ——每声明单位熟料产品生产阶段生料中非燃料碳煨烧产生的第 i 类温室气体排放量，按公式 (11) 计算，单位为千克 (kg)；对于存在熟料生产过程的产品，第 i 类温室气体为二氧化碳。

$$E_{\text{燃烧1},i} = \sum(FC_{j,k} \times NCV_j \times EF_{i,j,k}) \dots \dots \dots \quad (5)$$

式中：

$FC_{j,k}$ ——每声明单位第 j 种化石燃料的第 k 种燃烧方式对应的消耗量，单位为吨 (t) 或万标立方米 ($10^4 \text{N} \cdot \text{m}^3$)；

NCV_j ——第 j 种化石燃料的平均低位发热量，单位为吉焦每吨 (GJ/t) 或吉焦每万标立方米 ($\text{GJ}/10^4 \text{N} \cdot \text{m}^3$)，常用化石燃料平均低位发热量见附录 G；

$EF_{i,j,k}$ ——第 j 种化石燃料的第 k 种燃烧方式对应的第 i 种单位热值温室气体排放因子，单位为千克每吉焦 (kg/GJ)，常用化石燃料单位热值温室气体排放因子见附录 G。

注：燃烧方式包括固定源燃烧和移动源燃烧。

$$E_{\text{燃烧2},i} = \sum(FC_{aj} \times NCV_j \times EF_{1,i,j} \times \alpha_j) \dots \dots \dots \quad (6)$$

式中：

FC_{aj} ——每声明单位第 j 种替代燃料消耗量，单位为吨 (t)；熟料生产过程的替代燃料指被用作热源的可燃废物。替代燃料类别参照 GB/T 32151.8；

NCV_{aj} ——第 j 种替代燃料的平均低位发热量，单位为吉焦每吨 (GJ/t)，常用替代燃料平均低位发热量见附录 G；

EF_{1j} ——第 j 种替代燃料燃烧对应的第 i 种单位热值温室气体排放因子，单位为千克每吉焦 (kg/GJ)；常用替代燃料单位热值温室气体排放因子见附录 G；

α_j ——第 j 种替代燃料中非生物质碳的含量 (%)。

$$E_{\text{燃烧}2,i} = \sum (FC_{aj} \times EF_{2,i,j} \times \alpha_j) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

EF_{2j} ——第 j 种替代燃料燃烧对应的第 i 种温室气体排放因子, 单位为千克每吨 (kg/t)。

$$E_{\text{过程}1} = Q_{ck} \times EF_{ck} - \sum_{j=1}^n (Q_{a,j} \times EF_{a,j}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

Q_{ck} ——每声明单位熟料产量, 单位为吨 (t);

EF_{ck} ——熟料过程二氧化碳排放因子, 按公式 (9) 计算, 单位为千克二氧化碳每吨 (kg-CO₂/t);

$Q_{a,j}$ ——第 j 类非碳酸盐替代原料消耗量, 单位为吨 (t);

$EF_{a,j}$ ——第 j 类非碳酸盐替代原料对应的扣减系数, 按公式 (10) 计算, 单位为千克二氧化碳每吨 (kgCO₂/t);

j ——非碳酸盐替代原料种类。

$$EF_{ck} = (FR_1 \times \frac{44}{56} + FR_2 \times \frac{44}{40}) \times 1000 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

FR_1 ——熟料中氧化钙含量, 以%表示;

FR_2 ——熟料中氧化镁含量, 以%表示;

$\frac{44}{56}$ ——二氧化碳与氧化钙的相对分子质量之比;

$\frac{44}{40}$ ——二氧化碳与氧化镁的相对分子质量之比。

$$EF_{a,j} = (FR_{1,j} \times \frac{44}{56} + FR_{2,j} \times \frac{44}{40}) \times 1000 \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$FR_{1,j}$ ——第 j 种非碳酸盐替代原料中氧化钙的含量 (%) ;

$FR_{2,j}$ ——第 j 种非碳酸盐替代原料中氧化镁的含量 (%) 。

$$E_{\text{过程}2} = (Q \times FR_0 \times \frac{44}{12}) \times 1000 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

Q ——每声明单位生料消耗量, 单位为吨 (t);

FR_0 ——生料中非燃料碳含量, 单位为%; 缺少测量数据时, 若生料采用煤矸石、高碳粉煤灰等配料时取 0.3%, 否则取 0.1% 。

7.2 附加环境信息

除 7.1 中涉及的产品碳足迹量化结果外, 其他相关的重要信息, 宜在附加环境信息中描述, 如使用碳捕集、利用与封存 (CCUS) 技术产生的温室气体捕获量, 通过市场化交易购入使用的非化石能源电力消费量。

8 结果解释

8.1 产品碳足迹研究的生命周期结果解释阶段应包括以下步骤:

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 (可

包括生命周期阶段、单元过程或流)；

- 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。

8.2 应根据产品碳足迹研究的目的是和范围进行结果解释，解释应包括以下内容：

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

8.3 应开展数据质量评价，宜按公开方法评价数据质量，也可参考附录 D。

9 鉴定性评审

如果开展产品碳足迹研究的鉴定性评审，应按照 ISO 14071 规定进行，有利于理解产品碳足迹报告，并提高结果的可信度。

10 可比性

产品碳足迹量化结果的对比，应在满足以下所有条件时进行：

- a) 产品功能、技术性能和用途是相同的；
- b) 声明单位是相同的，系统边界的选取是等同的；
- c) 数据的收集与确认是等同的（包括数据的描述、取舍准则、数据质量要求）；
- d) 产品碳足迹的量化方法是相同的（包括数据审定、分配和产品碳足迹影响评价）。

11 产品碳足迹绩效追踪

针对同一组织的某一特定产品，宜基于本文件针对连续的数据统计周期对产品碳足迹进行绩效追踪，以改进水泥产品碳足迹对全球变暖的潜在影响。

12 产品碳足迹报告

12.1 产品碳足迹宜以报告、声明、证书和（或）标签的形式描述碳足迹量化结果，且应以每声明单位的二氧化碳当量进行表述。若采用产品碳足迹证书和（或）产品碳足迹标签，宜同时出具产品碳足迹报告。如碳足迹量化结果应用于产业链下游，则应分别报送产品各生命周期阶段的量化结果，避免碳足迹结果的重复计算。

12.2 依据本文件编制的产品碳足迹报告应符合 GB/T 24067—2024 第 7 章的要求，报告模板见附录 F。

附录 A
(资料性)
水泥产品生产工艺流程图

熟料产品生产工艺流程图见图 A.1，水泥制备（粉磨站）生产工艺流程图见图 A.2，全流程水泥产品生产工艺流程图见图 A.3。

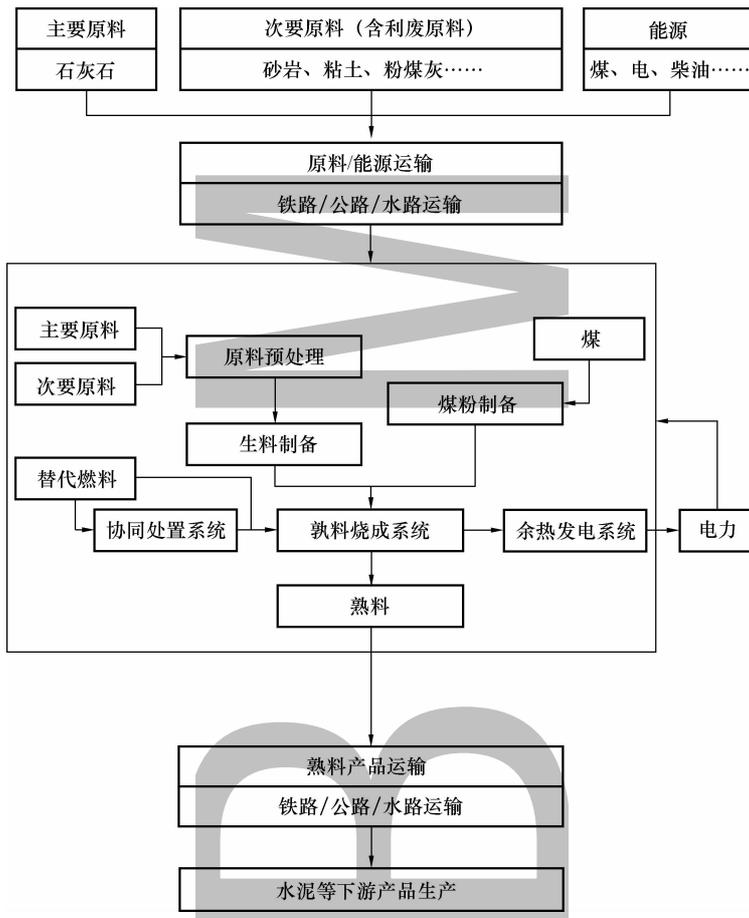


图 A.1 熟料产品生产工艺流程图

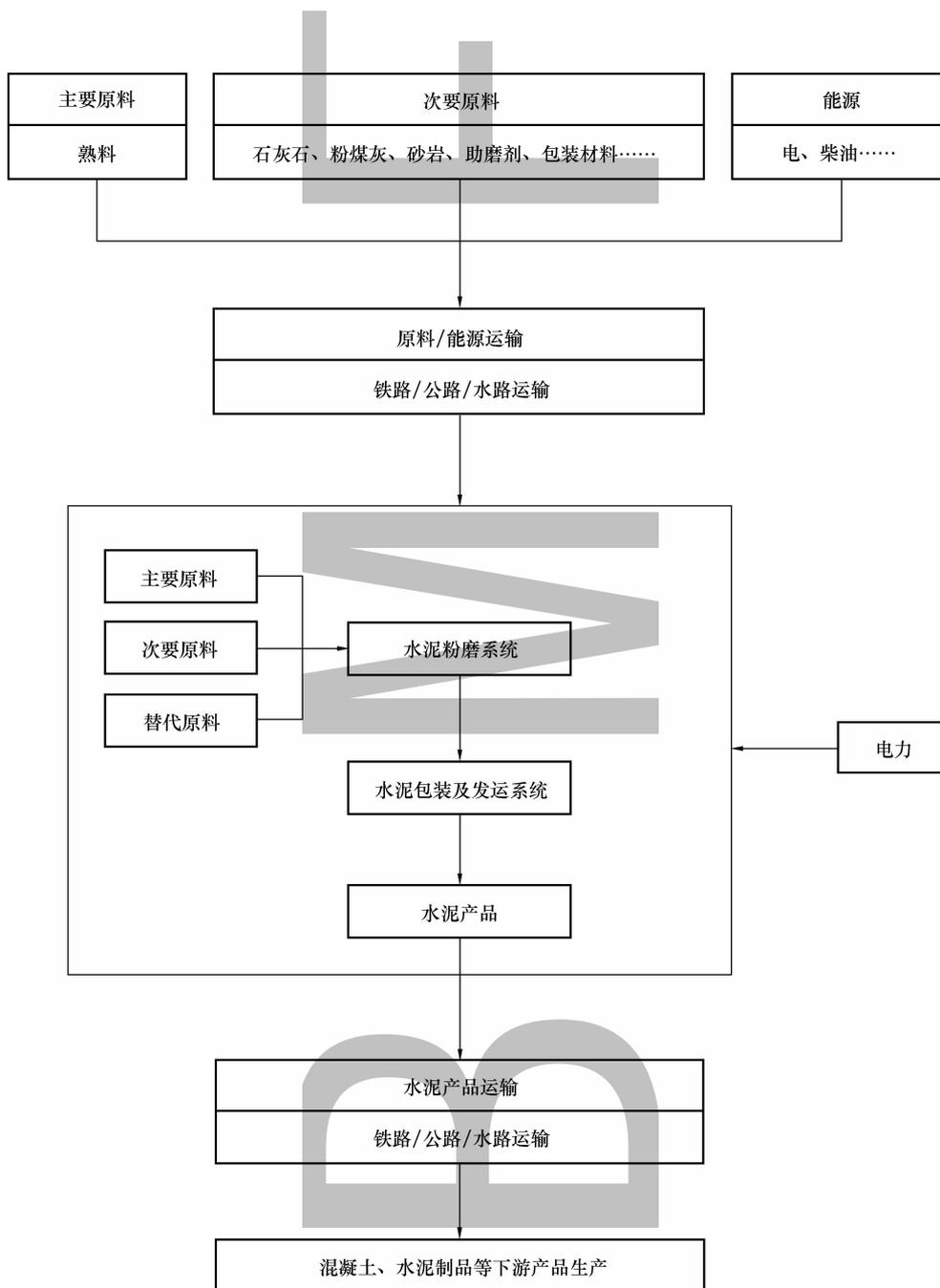


图 A.2 水泥制备（粉磨站）生产工艺流程

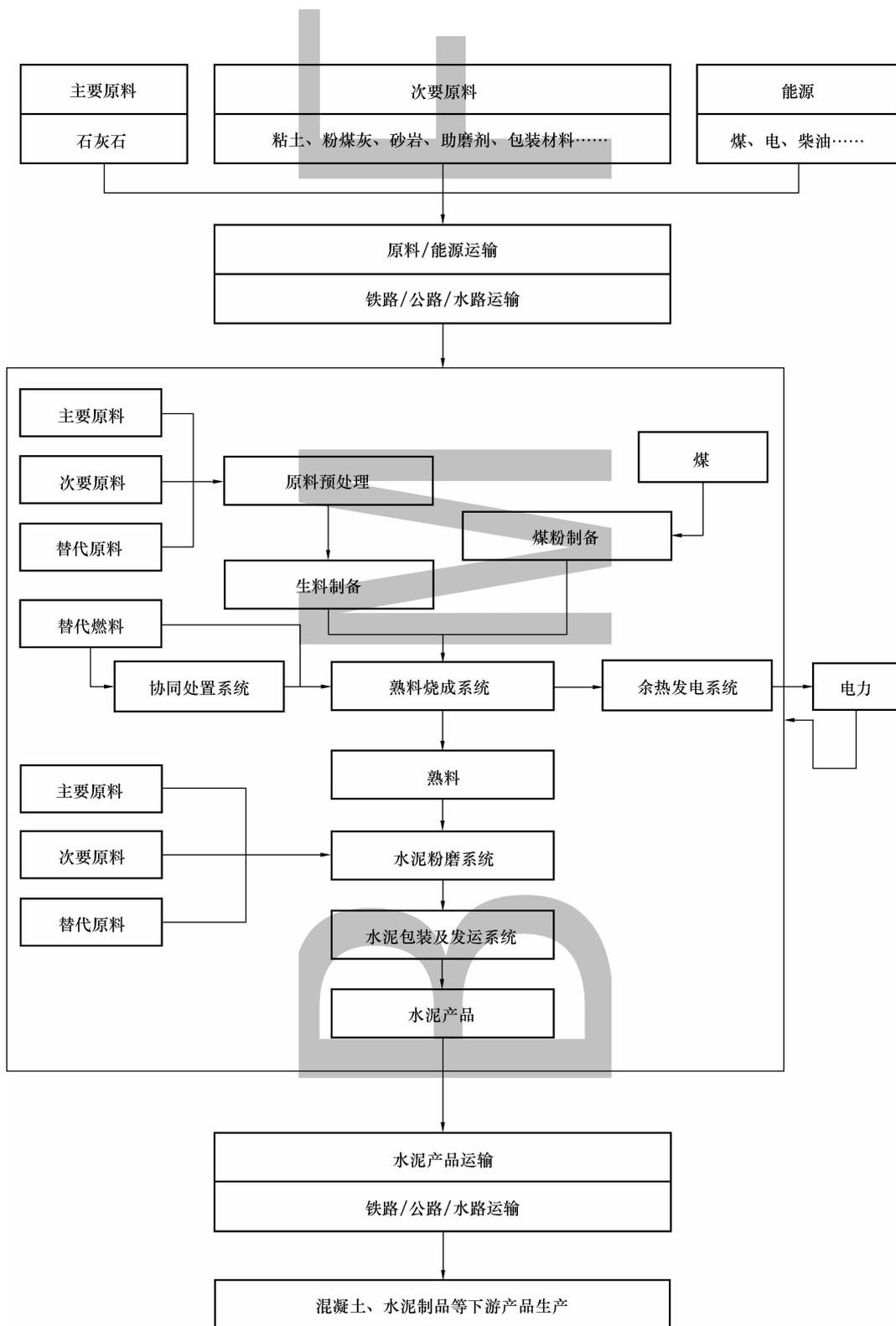


图 A.3 全流程水泥产品生产工艺流程

附 录 B
(资料性)
现场数据采集信息

按产品对应标准要求分别进行现场数据采集，现场数据采集信息见表 B.1。

表 B.1 现场数据采集

基本 信息	企业名称						
	企业所属省份						
	企业地址						
	联系人及联系方式						
	生产线数量/设计产能		共_____条，设计产能：_____/_____/_____（分线填写）				
	数据统计周期						
产品 信息	产品种类/实际产量		种类 1：_____：产量_____ t 种类 2：_____：产量_____ t				
	执行产品标准						
生产阶段（A1-A3）							
资源消 耗及综 合利用	种类	消耗量	单位	产地	取得方式 填写自产 或外购	运输方式 汽运、火车 或船运	加权运输 距离/km
	石灰石		t				
		t				
	水		m ³		说明来源（自来水、河水等）：		
能源 消耗	种类	消耗量	单位	低位发热量数据来源		详细情况说明	
	电力		kW·h				
	煤		t			低位发热量：	
	天然气		10 ⁴ N·m ³				
	柴油		t				
				
环境 排放	种类	排放量	单位	数据来源（如：在线监测 或定期环境检测报告）		详细情况说明	
	大气 排放	二氧化碳	t				
		t				
固体废 物排放							

附录 C
(资料性)
次级数据采集信息

次级数据采集信息见表 C.1。

表 C.1 次级数据采集表

次级数据		数据来源	数据获取方式	时间代表性	区域相关性	技术代表性
资源	石灰石					
	……					
能源	煤					
	电力					
	柴油					
	……					
运输	公路运输					
	铁路运输					
	……					

附 录 D
(资料性)
数据质量评价方法

D.1 数据质量评价体系（表 D.1）包括数据来源可靠性、数据完整性、时间相关性、地理相关性与技术相关性 5 项评价指标。每项指标中用 5 分制来表征数据质量，其中 1 表示数据质量最好，5 表示数据质量最差。

表 D.1 数据质量评价体系表

数据质量评价指标	分值				
	1	2	3	4	5
数据来源可靠性	基于现场调查或测量的原始数据，并被验证过其合理性	基于现场调查或测量的原始数据但未被验证过其合理性；或基于计算的数据，并被验证过其合理性	基于计算的数据但未被验证过其合理性；或基于估算的数据，并被验证过其合理性	基于估算的数据，虽未被验证过其合理性，但由合适的人（如行业专家）完成并进行了文件记录	基于估算的数据，未被验证过其合理性且无文件记录
完整性	所有的流都被记录；整个过程包括了全部的过程数据，或者过程以非常详细的形式建模。若完全满足相关标准中所要求的取舍准则，也可被认为是非常好的完整性	所有相关的流都被记录；基本上满足相关标准中所要求的取舍准则	部分相关的流被记录	很多相关的流都未被记录	没有关于完整性的文档记录
时间相关性	≤1 年	>1 年~5 年	>5 年~10 年	>10 年~15 年	>15 年或未知
地理相关性	本区域数据	包含本区域的较大区域范围平均数据	类似生产条件的区域数据	稍微类似生产条件的区域数据	未知或生产条件完全不同的区域数据
技术相关性	从生产链直接获得的数据	代表相同工艺、相同技术水平的数据	代表相同工艺、相近技术水平的数据	代表相同工艺、技术水平差距较大的数据	未知或不同工艺的数据

D.2 通过综合每项数据质量指标来表征输入输出数据的数据质量评价系数，数据质量评价系数按公式（D.1）计算：

$$R = \left(\frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n q_i - \frac{1}{4} \right) \times 100 \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

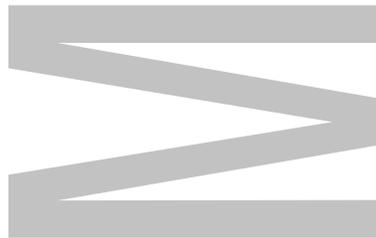
R —— 数据质量评价系数；

n —— 评价指标数量，本文件中 n 为 5；

q_i —— 每个评价指标分值。

D.3 数据质量评价系数满足以下要求：

- a) 系统边界内某单元过程碳足迹量化结果占比超过 70% 时， $R \leq 50$ ；
- b) 系统边界内某单元过程碳足迹量化结果占比在 20% ~ 30% 时， $R \leq 75$ ；
- c) 系统边界内某单元过程碳足迹量化结果占比不超过 10% 时，使用可获得的数据即可。



附录 E
(资料性)
GWP 参考值

温室气体全球变暖潜势见表 E.1。

表 E.1 部分 GHG 的 GWP

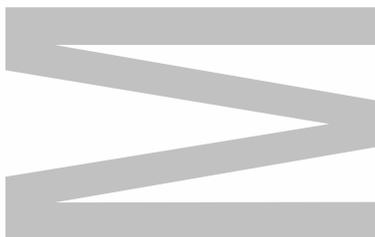
气体名称	化学分子式	100 年的 GWP (截至出版时)
二氧化碳	CO ₂	1
甲烷	CH ₄	27.9
氧化亚氮	N ₂ O	273
三氟化氮	NF ₃	17400
六氟化硫	SF ₆	25200
氢氟碳化物 (HFCs)		
HFC - 23	CHF ₃	14600
HFC - 32	CH ₂ F ₂	771
HFC - 41	CH ₃ F	135
HFC - 125	C ₂ HF ₅	3740
HFC - 134	CHF ₂ CHF ₂	1260
HFC - 134a	C ₂ H ₂ F ₄	1530
HFC - 143	CH ₂ FCHF ₂	364
HFC - 143a	CH ₃ CF ₃	5810
HFC - 152a	C ₂ H ₄ F ₂	164
HFC - 227ea	C ₃ HF ₇	3600
HFC - 236fa	C ₃ H ₂ F ₆	8690
全氟碳化物 (PFCs)		
全氟甲烷 (四氟甲烷)	CF ₄	7380
全氟乙烷 (六氟乙烷)	C ₂ F ₆	12400
全氟丙烷	C ₃ F ₈	9290
全氟丁烷	C ₄ F ₁₀	10000
全氟环丁烷	C ₄ F ₈	10200
全氟戊烷	C ₅ F ₁₂	9220
全氟己烷	C ₆ F ₁₄	8620
注: 部分 GHG 的 GWP 来源于 IPCC 《气候变化报告 2021: 自然科学基础第一工作组对 IPCC 第六次评估报告的贡献》		

附录 F
(资料性)
产品碳足迹报告 (模板)

产品碳足迹报告格式模板如下。

产品碳足迹报告 (模板)

(报告编号: _____)



产品名称: _____

产品规格型号: _____

生产者名称: _____

编制人员: _____



出具报告机构: _____ (盖章)
(如有): _____

日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日



一、概况

1. 生产者信息

生产者名称: _____

地址: _____

统一社会信用代码: _____

法定代表人: _____

授权人(联系人): _____

联系电话: _____

企业概况: _____

2. 产品信息

产品名称: _____

产品执行标准: _____

产品功能: _____

主要性能指标: _____

产品介绍: _____

产品图片: _____

生产工艺流程: _____

3. 量化方法

依据标准: _____

二、量化目的

三、量化范围

1. 声明单位

以_____为声明单位。

2. 系统边界

将系统边界界定为原料获取阶段产品生产阶段产品分销阶段安装和使用阶段生命末期阶段。

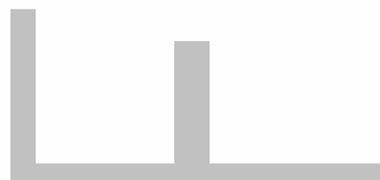


图1 XX产品碳足迹量化系统边界

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 XX产品生命周期碳排放清单说明

生命周期阶段	活动数据	排放因子	温室气体量 (kg/声明单位)
原料获取阶段 (A)			
产品生产阶段 (B)			

4. 数据质量评价 (可选项)

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：数据来源、完整性、数据代表性（时间、地理、技术）和准确性。



五、影响评价

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

3. 附加环境信息（如有）

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。各生命周期阶段的温室气体排放情况如表 2 和图 2 所示。

表2 XX产品生命周期各阶段碳排放情况

生命周期阶段	碳足迹（kg CO ₂ e/声明单位）	百分比（%）
原料获取阶段		
产品生产阶段		
总计		

注：具体产品生命周期阶段碳排放分布图一般以饼状图或是柱形图表示各生命周期阶段的碳排放情况。

图2 XX产品各生命周期阶段碳排放分布图

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

4. 产品碳足迹绩效追踪（如有）

附录 G
(资料性)
常用参数参考值

常用化石燃料相关参数缺省值见表 G.1。

表 G.1 常用化石燃料相关参数缺省值

燃料品种	计量单位	低位发热量 (GJ/t, GJ/ $\times 10^4 \text{N} \cdot \text{m}^3$)	单位热值 含碳量 (tC/GJ)	燃料碳 氧化率 (%)	单位热值温室 气体排放因子 ^g (kgCO ₂ e/GJ)	单位质量温室 气体排放因子 ^h (kgCO ₂ e/t, kgCO ₂ e/ $10^4 \text{N} \cdot \text{m}^3$)	
固体 燃料	无烟煤	t	26.700 ^c	$27.4^b \times 10^{-3}$	99 ^b (水泥窑) 95 ^f (工业锅炉) 91 ^f (其他燃 烧设备)	99.8994	2667.3140
	水泥生产用烟煤	t	25.909 ^f	$26.1^b \times 10^{-3}$		95.1804	2466.0290
	褐煤	t	11.9 ^c	$28^b \times 10^{-3}$		102.0774	1214.7211
	型煤	t	17.460 ^d	$33.6^b \times 10^{-3}$		122.2602	2134.6631
	洗精煤	t	26.344 ^a	$25.41^b \times 10^{-3}$		92.6757	2441.4486
	其他煤制品	t	17.460 ^e	$33.6^b \times 10^{-3}$		122.4054	2137.1983
	焦炭	t	28.435 ^a	$29.5^b \times 10^{-3}$		107.1402	3046.5316
石油焦	t	32.5 ^c	$27.50^b \times 10^{-3}$	100.0725	3252.3563		
液体 燃料	原油	t	41.816 ^a	$20.1^b \times 10^{-3}$	98 ^b	72.4016	3027.5453
	燃料油	t	41.816 ^a	$21.1^b \times 10^{-3}$		76.0668	3180.8093
	汽油	t	43.070 ^a	$18.9^b \times 10^{-3}$		68.1615	2935.7158
	汽油-移动	t	43.07	0.0189		69.08751	2975.5991
	柴油-固定	t	42.652	0.0202		72.8328	3106.4646
	柴油-移动	t	42.652	0.0202		73.75881	3145.9608
	柴油-矿山	t	43.33	0.0202		73.75881	3195.9692
	汽油-矿山	t	44.8	0.0189		69.08751	3095.1204
	煤油	t	43.070 ^a	$19.6^b \times 10^{-3}$		70.6768	3044.0498
	液化天然气	t	51.498 ^d	$15.3^b \times 10^{-3}$		62.0528	3195.5951
	液化石油气	t	50.179	0.0172		61.8605	3104.0980
	液化石油气	t	50.179	0.0172		63.5897	3190.8676
	焦油	t	33.453 ^a	$22.0^b \times 10^{-3}$		79.4907	2659.2024
炼厂干气	t	45.998 ^a	$18.2^b \times 10^{-3}$	66.1212	3041.4430		
气体 燃料	天然气-固定	$10^4 \text{N} \cdot \text{m}^3$	389.31	0.01532	98 ^b	55.6668	21671.6419
	天然气-移动	10^4	389.31	0.01532		58.9974	22968.2778
	高炉煤气	$10^4 \text{N} \cdot \text{m}^3$	33.00 ^e	$70.80^c \times 10^{-3}$		257.0592	8482.9536
	转炉煤气	$10^4 \text{N} \cdot \text{m}^3$	84.00 ^e	$49.60^d \times 10^{-3}$		180.1032	15128.6688
	焦炉煤气	$10^4 \text{N} \cdot \text{m}^3$	179.81 ^a	$13.58^b \times 10^{-3}$		43.9782	7645.7860

^a 数据取值来源为《中国能源统计年鉴 2021》。

^b 数据取值来源为《省级温室气体清单编制指南(试行)》。

^c 数据取值来源为《2006年 IPCC 国家温室气体清单指南》及 2019 年修订版。

^d 数据取值来源为《中国温室气体清单研究》。

^e 数据取值来源为 GB/T 2589。

^f 数据取值来源为行业经验数值。

^g 单位热值温室气体排放因子 = 单位热值含碳量 × 燃料碳氧化率 + CH₄ 单位热值排放因子 × GWP_{CH₄} + CH₄ 单位热值排放因子 × GWP_{CH₄}; CH₄ 单位热值排放因子和 N₂O 单位热值排放因子取值来源为《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》及 2019 年修订版。

^h 单位质量温室气体排放因子 = 低位发热量 × 单位热值温室气体排放因子。

常用替代燃料相关参数缺省值见表 G.2。

表 G.2 常用替代燃料相关参数缺省值

种类	低位发热量 (GJ/t)	单位热值碳 排放因子 (tCO ₂ /GJ)	非生物质碳含量 (%)	单位热值温室气体 排放因子 ^f (kgCO ₂ e/GJ)	单位质量温室气体 排放因子 ^g (kgCO ₂ e/t)
废油	40.2 ^a	0.074 ^c	100 ^b	75.929	3052.3458
废轮胎	31.4 ^a	0.085 ^c	20 ^b	18.929	594.3706
废塑料	50.8 ^a	0.075 ^c	100 ^b	76.929	2505.5775
废溶剂	51.5 ^a	0.074 ^c	80 ^b	61.129	3148.1435
废皮革	29.0 ^a	0.11 ^c	20 ^b	23.929	693.941
废玻璃钢	32.6 ^a	0.083 ^c	100 ^b	84.929	2768.6854
废纺织品	17.45 ^e	0.0917 ^b	20 ^b	20.269	353.6941
废橡胶	23.26 ^e	0.0917 ^b	20 ^b	20.269	471.4569
城市生活垃圾	—	—	39 ^d	—	697 ^d
危险废物	—	—	90 ^d	—	36 ^d
污泥	—	—	0 ^d	—	1045 ^d

^a 数据取值来源为《中国水泥生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》。

^b 数据取值来源为《2006年IPCC国家温室气体清单指南》及2019年修订版。

^c 数据取值来源为《水泥行业二氧化碳和能源议定书》，WBCSD，2011。

^d 数据取值来源为《省级温室气体清单编制指南（试行）》，依据缺省值计算。

^e 数据取值来源为GB/T 34615—2017《水泥窑协同处置的生活垃圾预处理可燃物燃烧特性检测方法》。

^f 单位热值温室气体排放因子 = 单位热值含碳量 × 燃料碳氧化率 + CH₄单位热值排放因子 × GWP_{CH₄} + CH₄单位热值排放因子 × GWP_{CH₄}；CH₄单位热值排放因子和N₂O单位热值排放因子取值来源为《2006年IPCC国家温室气体清单指南》及2019年修订版。

^g 单位质量温室气体排放因子 = 低位发热量 × 单位热值温室气体排放因子。

参考文献

- [1] GB/T 2589 综合能耗计算通则
- [2] GB/T 24040 环境管理 生命周期评价 原则与框架
- [3] GB/T 51366 建筑碳排放计算标准
- [4] ISO 21930: 2017 Sustainability in buildings and civil engineering works-Core rules for environmental product declarations of construction products and services
- [5] EN 16908 Cement and building lime-Environmental product declarations-Product category rules complementary to EN 15804
- [6] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Richard P. Allan. , Paola A. Arias. , Sophie Berger. , Josep G. Canadell. , Christophe Cassou. , Deliang Chen. , Annalisa Cherchi. , Sarah L. Connors. , Erika Coppola. , Faye Abigail Cruz. , et al, Cambridge University Press 2021, pp 7SM24-35

