

ICS 13.020.10
CCS Z 00



团体标准

T/CSTM XXXXX—2025

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求

钛白粉

Greenhouse gas-quantification method and requirement for carbon footprint of
product - Titanium dioxide

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

目 次

前 言	IV
引 言	V
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	8
7 影响评价	11
8 结果解释	12
9 钛白粉产品碳足迹报告	12
10 钛白粉产品碳足迹声明	13
附 录 A （资料性） 钛白粉产品生命周期内各阶段系统边界图	14
附 录 B （资料性） 钛白粉产品碳足迹量化数据收集样表	18
附 录 C （资料性） 钛白粉产品生命周期各单元过程共生产品和再利用产品识别表	21
附 录 D （资料性） 钛白粉产品碳足迹研究报告(模板)	22
附 录 E （资料性） 全球变暖潜势值（GWP）	26
附 录 F （资料性） 常用参数参考值	27

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。

本文件由中国材料与试验标准化委员会钒钛综合利用标准化领域委员会（CSTM/FC20）提出。

本文件由中国材料与试验标准化委员会钒钛综合利用标准化领域委员会（CSTM/FC20）归口。

引 言

本文件基于现有生命周期评价相关国内标准 GB/T 24040 和 GB/T 24044 中确定的原则、要求和指南，旨在为钛白粉及相关产品碳足迹量化设置具体要求。

本文件仅针对单一环境影响类型，即气候变化，不评价产品生命周期产生的其他潜在环境影响，也不评价产品生命周期内可能产生的社会和经济影响。

本文件提供量化的钛白粉产品碳足迹信息，使具有同样功能的钛白粉产品之间可以进行比较，一方面可以为购买方提供可靠和可比的碳足迹信息，另一方面也为生产者持续改进产品的碳足迹绩效提供数据支持。提出钛白粉产品碳足迹声明的组织宜确保数据得到第三方的独立验证，以增加报告的准确性和可信度。

为便于国内国际交流，根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）的有关要求，本文件的量值以“国际量值单位+物质（元素）”或“物质（元素）+国际量值单位”的形式表示，如 tC 表示吨碳、tCO₂ 表示吨二氧化碳、tCO₂e 表示吨二氧化碳当量、tCH₄ 表示吨甲烷、tC/GJ 表示吨碳每吉焦、Nm³ 表示标准状况下的立方米等。

温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 钛白粉

1 范围

本文件规定了钛白粉产品碳足迹的量化方法和要求，包括量化目的、量化范围、清单分析、影响评价、结果解释、钛白粉产品碳足迹报告、钛白粉产品碳足迹声明等内容。

本文件适用于用硫酸法或氯化法等工艺生产的钛白粉产品。盐酸法工艺可参考本文件进行碳足迹量化。

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/T 1706 二氧化钛颜料
- GB/T 24025 环境标志和声明 III型环境声明 原则和程序
- GB/T 24040 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 27599 化妆品用二氧化钛
- GB/T 42346 钒钛磁铁矿综合利用 术语和定义
- GB 1886.341 食品安全国家标准 食品添加剂 二氧化钛
- HG/T 4202 非颜料用二氧化钛
- YB/T 4031 钛精矿（砂矿）
- YB/T 4695 钒钛铁精矿
- YS/T 298 高钛渣
- YS/T 299 人造金红石
- YS/T 322 冶金用二氧化钛

3 术语和定义

GB/T 24040、GB/T 24044、GB/T 24067、GB/T 42346界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钛白粉 titanium dioxide

一种主要成分为二氧化钛，经化学加工成微晶粒的白色无机原料。

注：钛白粉按工艺分为硫酸法钛白粉（3.2）和氯化法钛白粉（3.3）。

3.2

硫酸法钛白粉 sulfuric acid titanium dioxide

钛精矿、酸溶性钛渣等含钛物料经硫酸酸解、水解、煅烧、表面处理等工序得到的钛白粉产品。

3.3

氯化法钛白粉 chlorinated titanium dioxide

金红石、高钛渣、酸溶性钛渣等含钛物料经氯气氯化、氧化、表面处理等工序得到的钛白粉产品。

3.4

钛铁矿 ilmenite

一种以偏钛酸亚铁晶格为基础的呈黑色或钢灰色的铁钛复合氧化物。

3.5

天然金红石 natural rutile

一种经采选所得，二氧化钛以金红石型存在的含钛物料。

3.6

钛精矿 titanium concentrate

含钛物料经采选所得，二氧化钛质量分数不低于45%的黑色含钛粉末物料。

[来源：YB/T 4031，有修改]

3.7

高钛渣 high titanium slag

钛铁矿经过电炉熔炼富集所得，二氧化钛质量分数不小于 85%的矿物原料。

注：主要供氯化法钛白粉或海绵钛生产。

[来源：GB/T 42346，5.4.2，有修改]

3.8

酸溶性钛渣 sulfate titanium slag

以钛精矿为原料，采用高温碳热还原得到的二氧化钛质量分数介于 70%~85%的富钛料。

注：主要供硫酸法钛白粉生产。

[来源：GB/T 42346，5.4.3，有修改]

3.9

人造金红石 artificial rutile

含钛物料经高温强还原得到的二氧化钛质量分数不低于 85%，且晶型主要为金红石型的富钛料。

注：主要供氯化法钛白粉或海绵钛生产。

[来源：YS/T 299，有修改]

3.10

产品碳足迹 carbon footprint of a product; CFP

产品系统中的温室气体(Greenhouse Gas, 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]

3.11

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。

[来源：GB/T 24067-2024，3.1.2，有修改]

3.12

产品碳足迹量化 quantification of the carbon footprint of a product; quantification of the CFP

确定产品碳足迹或产品部分碳足迹的活动。

注：产品碳足迹或产品部分碳足迹的量化属于产品碳足迹研究的一部分。

[来源：GB/T 24067-2024，3.1.6]

3.13

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]

3.14

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]

3.15

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 24040-2008，3.20]

3.16

声明单位 declared unit

用来量化产品部分碳足迹的基准单位。

示例：质量(1 kg 粗钢)、体积(1 L 原油)。

[来源：GB/T 24067-2024，3.3.8]

3.17

基准流 reference flow

在给定的产品系统中，为实现功能单位功能所需的过程的输入或输出量。

注：于产品部分碳足迹而言，基准流参考的是声明单位。

[来源：GB/T 24067-2024，3.3.9]

3.18

中间产品 intermediate product

在系统中还需要作为其他单元过程的输入而发生继续转化的某个单元过程的产出。

[来源：GB/T 24044-2008，3.23]

3.19

能量流 energy flow

单元过程或产品系统中以能量单位计量的输入或输出。

注：输入的能量流称为能量输入，输出的能量流称为能量输出。

[来源：GB/T 24040-2008，3.13]

3.20

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。

[来源：GB/T 24044-2008，3.18]

3.21

生命周期 life cycle

产品相关的连续且相互联系的阶段，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：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]

3.22

生命周期评价 life cycle assessment; LCA

一个产品系统在其整个生命周期内的输入、输出和潜在环境影响的汇编与评估。

[来源：GB/T 24067-2024，3.4.3]

3.23

废物 waste

持有人计划处置或被要求处置的物质或物品。

注：这一定义来自《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》(1989年3月22日)，但在本文件中不局限于危险废物。

[来源：GB/T 24067-2024，3.4.9]

3.24

原材料 raw material

用于生产某种产品的初级和次级材料。

注：次级材料包括再生利用材料。

[来源：GB/T 24044-2008，3.15]

3.25

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 24044-2008，3.17]

3.26

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]

3.27

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

4.1 应用意图

通过量化钛白粉产品在原材料获取阶段、生产阶段的温室气体排放量和清除量，计算产品对全球变暖的潜在影响，以及在不同阶段、不同过程、不同空间位置的影响构成(以二氧化碳当量表示)，为钛白粉产品研究和开发、工艺技术改进、行业战略规划、钛白粉产品碳足迹绩效追踪和沟通提供信息。

4.2 开展钛白粉产品碳足迹研究的理由

开展钛白粉产品的碳足迹研究用于：

——识别改进钛白粉产品生命周期各个阶段中减碳的关键环节；

——促进钛白粉产品碳足迹在减少温室气体排放方面的绩效跟踪；

——帮助促进可持续的低碳经济；

——提高钛白粉产品碳足迹量化和报告的可信度、一致性和透明度；

——促进在钛白粉产品生命周期内制定和实施温室气体管理战略和计划，并提高供应链上的减碳效率；

——给钛白粉行业、政府或非政府组织中的决策者提供信息；

——营销(如实施生态标志制度、发表环境声明或发布产品声明)。

4.3 目标受众

为钛白粉生产企业、上下游产业链相关企业、认证公司等第三方服务机构、行业协会、政府管理部门及其他相关方提供钛白粉产品清晰统一的CFP量化方法。

5 量化范围

5.1 产品说明

产品描述应使用户能够清晰识别产品，并可参照GB/T 1706、GB 27599、GB 1886.341、HG/T 4202、YS/T 322等的要求进行描述，描述内容包括但不限于：

- a) 产品名称及牌号；
- b) 产品批号；
- c) 产品净重；
- d) 分析检验结果及检验部门印记；
- e) 出厂日期；
- f) 产品用途。

5.2 声明单位

钛白粉是具有多种用途的中间产品，钛白粉产品碳足迹量化使用声明单位。

声明单位为1t钛白粉产品。

基准流为生产1t钛白粉产品各单元过程的物料、能源的输入和输出量。

5.3 系统边界

5.3.1 系统边界设置

钛白粉产品在进行碳足迹量化分析时不便对储存分销、使用和生命末期等阶段进行追踪量化，本文件将产品系统边界设定为“摇篮到大门”，即从原材料获取到产品离开生产企业大门为止的温室气体排放量和清除量的累计。钛白粉产品碳足迹系统边界见图1。

注：用于产品生命周期内的资产性商品的获取和供应不应包括在产品生命周期的任何阶段。

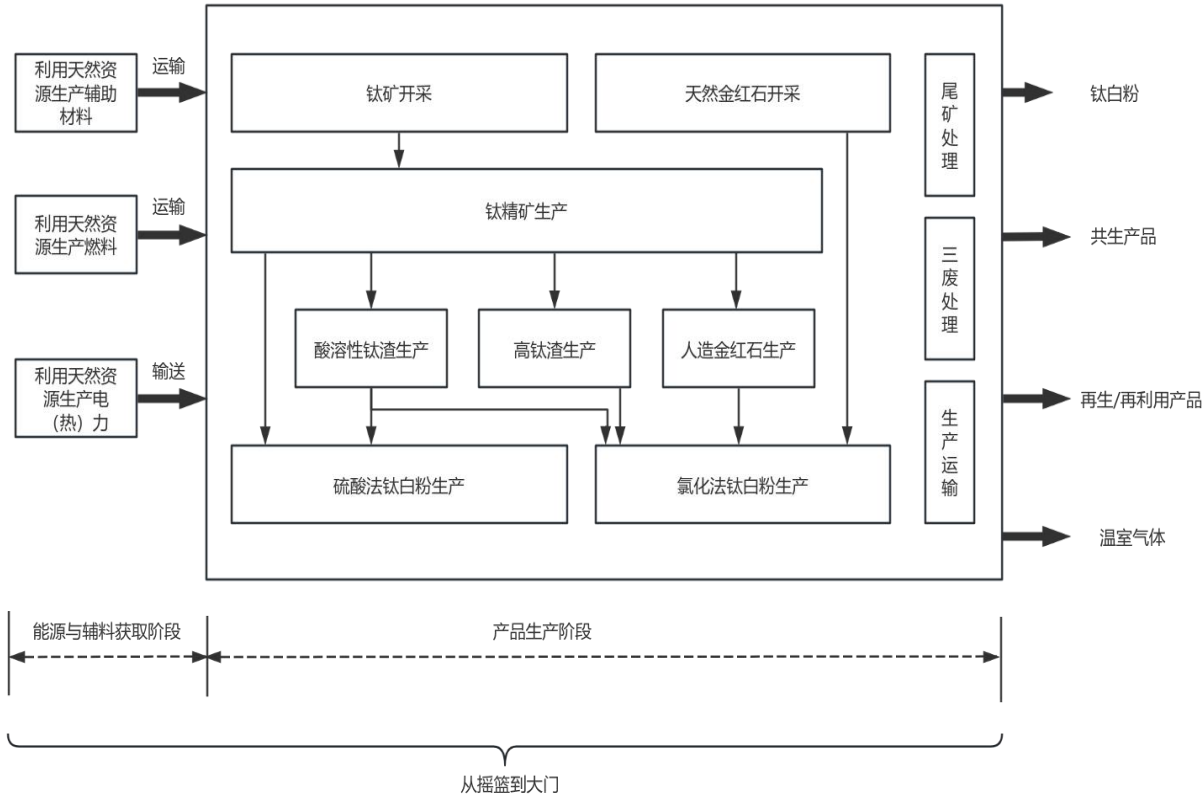


图 1 钛白粉产品碳足迹系统边界图

5.3.2 生命周期各阶段描述

5.3.2.1 辅料与能源获取阶段

辅料与能源获取阶段从天然材料提取时开始，在辅料和能源到达生产工厂时终止。包括以下过程：

- g) 辅料的获取与运输分销（如硫酸、氯气、木粉、盐酸、烧碱、铁粉、磷酸、碳酸钙、氧化钙、氢氧化钙、电石渣、盐处理剂、分散剂、包膜剂、还原剂、水处理剂等）；
- h) 能源的获取与运输分销或输送（如汽油、柴油、煤炭、天然气、煤气、电力、热力、水等）。

5.3.2.2 含钛原料开采单元

天然含钛原料（如钛铁矿、天然金红石等）开采单元从采矿开始，到含钛原料出厂终止，包括以下过程：

- a) 开采；
- b) 燃料、辅助材料消耗产生的直接排放相关过程；
- c) 含钛原料矿储运过程。

5.3.2.3 钛精矿生产单元

钛精矿生产工艺流程图见附录图A.1，钛精矿生产单元过程从含钛原料出厂开始，到钛精矿出厂终止。钛精矿生产过程根据原料不同分为以下两种方式：

- a) 钛铁矿砂矿生产钛精矿包括以下过程：

- 1) 砂矿运输;
- 2) 制浆;
- 3) 选矿;
- 4) 干燥脱水;
- 5) 燃料、辅助材料消耗产生的直接排放相关过程;
- 6) 钛精矿储运过程;
- b) 钛铁矿岩矿选铁尾矿生产钛精矿包括以下过程:
 - 1) 选铁尾渣运输;
 - 2) 磨矿;
 - 3) 粗选;
 - 4) 精选;
 - 5) 干燥脱水;
 - 6) 燃料、辅助材料消耗产生的直接排放相关过程;
 - 7) 钛精矿储运过程。

5.3.2.4 酸溶性钛渣/高钛渣生产单元

酸溶性钛渣/高钛渣生产工艺流程图见附录图A. 2, 酸溶性钛渣/高钛渣生产单元从钛精矿出厂开始, 到酸溶性钛渣/高钛渣离厂时终止, 包括以下过程:

- a) 钛精矿运输;
- b) 原料预处理;
- c) 还原熔炼;
- d) 冷却、破碎;
- e) 燃料、辅助材料消耗产生的直接排放相关过程;
- f) 酸溶性钛渣/高钛渣储运过程。

5.3.2.5 人造金红石生产单元

人造金红石生产工艺流程图见附录图A. 3, 人造金红石生产单元从钛精矿出厂开始, 到人造金红石离厂时终止。人造金红石生产分为以下两种工艺:

- a) 熔炼锈蚀法生产工艺包括以下工程:
 - 1) 预氧化;
 - 2) 还原;
 - 3) 磁选;
 - 4) 锈蚀;
 - 5) 燃料、辅助材料消耗产生的直接排放相关过程;
 - 6) 人造金红石储运过程;
- b) 酸浸法生产工艺包括以下工程:
 - 1) 焙烧预处理;
 - 2) 盐酸/稀硫酸浸出;
 - 3) 固液分离;
 - 4) 干燥;
 - 5) 燃料、辅助材料消耗产生的直接排放相关过程;
 - 6) 人造金红石储运过程。

5.3.2.6 硫酸法钛白粉生产单元

硫酸法钛白粉生产工艺流程图见附录图A. 4, 硫酸法钛白粉生产单元从含钛物料(钛精矿、酸溶性钛渣)入厂开始, 到钛白粉离厂时终止, 包括以下过程:

- a) 含钛物料运输;
- b) 磨矿;
- c) 硫酸酸解;

- d) 还原;
- e) 钛液水解;
- f) 水洗;
- g) 煅烧;
- h) 表面处理;
- i) 三废处理;
- j) 废酸回收浓缩;
- k) 钛石膏回收利用;
- l) 燃料、辅助材料消耗产生的直接排放相关过程;
- m) 钛白粉储运过程。

5.3.2.7 氯化法钛白粉生产单元

氯化法钛白粉生产工艺流程图见附录图A.5, 氯化法钛白粉生产单元从含钛物料(酸溶性钛渣、高钛渣、人造金红石、天然金红石)入厂开始, 到钛白粉离厂时终止, 包括以下过程:

- a) 含钛物料运输;
- b) 氯化;
- c) 精制;
- d) 氧化;
- e) 表面处理;
- f) 三废处理;
- g) 氯化尾渣回收利用;
- a) 燃料、辅助材料消耗产生的直接排放相关过程;
- h) 钛白粉储运过程。

5.3.3 取舍原则

在钛白粉产品碳足迹量化过程中, 可舍弃钛白粉产品碳足迹影响小于1%的环节, 但舍弃环节总的影响不应超过钛白粉产品碳足迹总量的5%。

生产单位钛白粉产品消耗量小于0.1吨的辅料, 可根据企业获取数据的难易程度进行取舍。

注1: 硫酸法钛白粉辅料(小于0.1 t/t(TiO₂))包括聚丙烯酰胺、磷酸、氧化钾、氧化锌、硫酸铝、三羟甲基丙烷、有机硅、铝粉等。

注2: 氯化法钛白粉辅料(小于0.1 t/t(TiO₂))包括脂肪酸、铝粉、三羟甲基丙烷、有机硅等。

5.3.4 数据和数据质量

5.3.4.1 数据描述

钛白粉产品的碳足迹量化应收集初级数据和次级数据。

初级数据是钛白粉产品生产阶段各工序或单元的活动数据, 是基于实际测量、统计等方式得到的生命周期清单数据, 如产品生产阶段的原辅料和能源消耗量、产品产出量、废物排放量以及运输量(包括运输方式、运输距离)等。

次级数据是无法从现有产品系统中获得的, 通常来源于现有的本土化或国际 LCA 数据库、经第三方权威机构认证的钛白粉产品碳足迹(CFP)或环境产品声明(EPD)报告、公开发表的高质量学术文献等。

仅在收集初级数据不可行时, 或用于重要性较低的过程, 次级数据才能用于输入和输出。引用次级数据应证明其适用性和可信度, 并注明数据来源及选取思路。

5.3.4.2 数据质量要求

钛白粉产品碳足迹影响评价应使用现有最高质量数据, 数据质量的特征应包括定量和定性两个维度。数据质量的特性描述应涉及以下方面:

- a) 时间覆盖范围: 数据的年份和所收集数据的最小时间长度;
- b) 地理覆盖范围: 为实现钛白粉产品碳足迹量化研究目的所收集的单元过程数据的地理位置;
- c) 技术覆盖范围: 具体的技术或技术组合;

- d) 精度：对每个数据值的可变性的度量（例如方差）；
- e) 完整性：测量或测算的流所占的比例；
- f) 代表性：反映实际关注人群对数据集（即时间覆盖范围、地理覆盖范围和技术覆盖范围等）关注程度的真实情况进行的定性评价；

注：技术上，数据反映实际生产技术情况，即体现实际工艺流程、技术和设备类型、原料与能耗类型、生产规模等因素的影响；时间上，数据反映被评价产品系统单元过程的实际时间；空间上，数据反映具体产品系统边界内单元过程的实际地理位置信息。

- i) 一致性：对研究方法学是否能在敏感性分析的不同组成部分中统一应用而进行的定性评价；
- j) 再现性：对其他独立从业人员采用同一方法学和数值信息重现相同研究结果的定性评价；
- k) 数据来源：初级数据来源于测量、工程计算、采购记录等，环境排放数据优先采用环境监测报告，所有数据均有相关的数据来源和数据处理算法；
- l) 信息的不确定性。

5.3.4.3 数据质量评价

开展钛白粉产品碳足迹研究的组织宜建立数据管理系统，保留相关文件和记录，进行数据质量评价，并持续提高数据质量。

6 清单分析

6.1 流程概述

在目的和范围确定后开展钛白粉产品碳足迹研究的生命周期清单分析，生命周期清单分析流程图见图2。

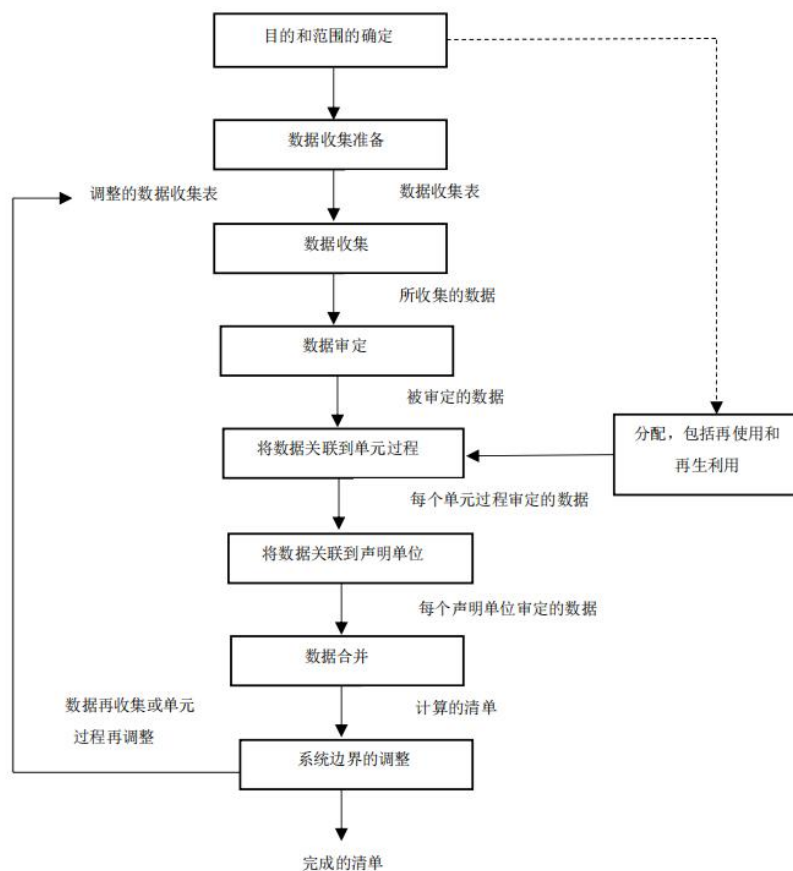


图2 生命周期清单分析流程图

6.2 数据收集

6.2.1 时间边界

钛白粉产品碳足迹量化数据宜以一个自然年为数据收集周期。其特点是年度数据符合组织常规的运营管理，涵盖生产波动的变化因素。

6.2.2 数据收集内容

根据5.3确定的系统边界，收集辅料和能源获取阶段、产品生产阶段各单元过程的物质流和能量流的输入输出数据，包括种类、名称、用量、碳足迹因子、来源、运输等。钛白粉产品碳足迹量化数据收集清单见表1，数据收集样表详见附录表B.1～B.5。

6.2.3 数据处理要求

6.2.3.1 可能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详细信息。如果这些数据不符合数据质量的要求，也应做出说明。

6.2.3.2 当数据收集可能分散于多个地址和发布的参考文献时，该产品系统宜使用一个有代表性和协调一致的数据集。

表1 钛白粉碳足迹量化数据收集清单

类别		主要物料清单	数据类型
输入	原料消耗量	天然金红石、钛铁矿、钛精矿、酸溶性钛渣、高钛渣、人造金红石等	初级数据
	辅料消耗量	硫酸、氯气、木粉、盐酸、烧碱、钢球、铁粉、磷酸、碳酸钙、氧化钙、氢氧化钙、电石渣、盐处理剂、分散剂、包膜剂、浮选药剂、还原剂、电极、电极糊、水处理剂等	
	化石燃料消耗量	煤炭、柴油、石油焦、焦炭、天然气、煤气等	
	其他工质消耗量	水、压缩空气等	
	电力消耗量	注明电力结构如水电、风电、光伏发电等占比	
	热力消耗量	注明蒸汽等级	
	第三方服务	现场运输、废渣、废水外委处置等	
输出	主产品产量	钛白粉	初级数据
	共生产品产量	生铁、铁精矿、硫钴金矿、煤气、Fe ₂ O ₃ 、FeCl ₂ 或FeSO ₄ 母液、七水硫酸亚铁、稀硫酸（20%～25%）等	
	再生/再利用产品量	氯化尾渣、收尘渣、高盐水、盐酸（10%）、钛石膏、一水硫酸亚铁等	
	温室气体直接排放量	CO ₂	
碳足迹因子	电力	——供应商提供的碳足迹因子 ——电力能源结构、输配电损失、燃料消耗量、燃料上游排放等	次级数据 （宜优先考虑初级数据）
	热力	——供应商提供的碳足迹因子 ——热力能源结构、燃料消耗量、燃料上游排放等	
	外购原辅材料、燃料和服务	——供应商/服务商提供的碳足迹因子 ——公开或商业数据库中的排放因子	
	运输分销	——供应商/服务商提供的碳足迹因子 ——运输方式、运输工具规格型号等	

6.3 数据审定

6.3.1 在数据收集过程中应对数据的有效性进行检查，以确认并提供证据证明其符合数据和数据质量（5.3.4）的规定。

6.3.2 数据审定宜通过建立质量平衡、能量平衡或排放因子的比较分析或其他适当的方法。由于每个单元过程都遵守物质和能量守恒定律,因此物质和能量的平衡可为单元过程描述的准确性提供有效的检查。

6.4 单元过程和声明单位的关联数据

6.4.1 对于每个单元过程都应确定一个合适的流。单元过程中定量的输入和输出数据应基于与该流的关系来进行计算。

6.4.2 以流程图和各单元过程间的流为基础,所有单元过程的流都与基准流建立联系。计算应以声明单位为基础关联系统中所有的输入和输出数据。

6.4.3 在产品系统中,合并输入输出数据时宜慎重,合并程度应与研究目的保持一致。如需更详细的合并原则,宜在目的和范围的确定阶段加以说明,或在之后的影响评价阶段进行说明。

6.5 系统边界调整

6.5.1 基于钛白粉产品碳足迹量化工作需要不断迭代的特性,如果不使用钛白粉产品碳足迹-产品种类规则,应根据由敏感性分析所判定的重要性来决定数据的取舍。初始系统边界应根据目的和范围确定阶段所规定的取舍准则进行调整。应在钛白粉产品碳足迹研究报告中记录调整过程和敏感性分析结果。基于敏感性分析的系统边界调整可导致:

- a) 排除被判定为不具有显著性影响的生命周期阶段或单元过程;
- b) 排除对钛白粉产品碳足迹研究结果不具有显著性影响的输入和输出数据;
- c) 纳入具有显著性影响的新的单元过程、输入输出。

6.5.2 系统边界调整有助于把数据处理限制在被判定为对钛白粉产品碳足迹研究目的具有显著性影响的输入和输出数据范围内。

6.6 分配

6.6.1 分配程序与方法选择

一个单元过程数据分配的输入和输出总和应与其分配前的输入和输出相等,且应按照明确规定的分配程序将输入和输出分配到不同的产品中。钛白粉产品碳足迹数据分配程序及应选择的相应分配方法如下。

- a) 第一步:避免分配,包括细分法和扩展系统法。
 - 1) 细分法:将拟分配的单元过程细分两个或多个子过程,收集与这些子过程相关的输入和输出数据并进行分配;
 - 2) 扩展系统法:扩展单元过程的产品系统,使其包括共生产品的额外功能,从而抵扣功能单位等同产品生产造成的环境影响。
- b) 第二步:若无法避免分配,则宜将系统的输入输出以能反映它们之间潜在物理关系的方式,划分到不同产品或功能中,如质量、体积、热量等物理关系。
- c) 当物理关系无法建立或用来作为分配基础时,则以反映它们之间其他关系的方式将输入输出在产品或功能之间进行分配,如根据产品的经济价值、产值等按比例将输入输出数据分配到共生产品。

原则上宜尽量避免数据分配,当同时有几种备选分配程序时,应通过敏感性分析阐明偏离所选方法产生的影响。结合钛白粉行业生产特点,各单元过程共生产品识别表参考附录C。

6.6.2 共生产品碳足迹分配

共生产品碳足迹分配按表2计算,共生产品识别清单见附录C.1。

表2 主产品与共生产品碳足迹分配计算表

主产品	共生产品
-----	------

主产品			共生产品			
碳足迹	质量	近三年平均价格	分配碳足迹	质量	近三年平均价格	替代原始材料获取的碳排放
E1	M1	P1	E2	M2	P2	E3
总排放	E					
拓展系统分配	E1=E-E3		/			
质量分配	$E1=\frac{E \times M1}{M1+M2}$		E2=E-E1			
经济价值分配	$E1=\frac{E \times M1 \times P1}{M1 \times P1 + M2 \times P2}$		E2=E-E1			

6.6.3 再生/再利用产品碳足迹分配

再生/再利用产品（清单见附录C.2）是主产品生产过程中的废物通过深加工，从废弃材料中提取二次材料并进行回收利用，再生/再利用产品处理过程涉及的温室气体排放量，由提供再生/再利用产品的系统和使用再生/再利用产品的后续系统共同分担，具体分配程序按GB/T 24067-2024中6.4.6.3的规定执行。

6.7 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，展示每声明单位产品在每个阶段/单元过程中的资源使用量（如原辅材料和能源），以及释放到环境中的排放物（如温室气体、废物等）。

7 影响评价

7.1 特征化因子和 GWP 等参数的选取

应通过排放或清除的温室气体（GHG）的质量乘以政府间气候变化专门委员会（IPCC）给出的 100 年全球变暖潜势（GWP），来计算产品系统每种温室气体排放和清除的潜在气候变化影响，单位为每千克排放量的千克二氧化碳当量，每种温室气体全球变暖潜势（GWP）附录E。钛白粉及相关产品碳足迹为所有温室气体潜在气候变化影响的总和。

若 IPCC 修订了全球变暖潜势值（GWP），应使用最新数值，否则应在报告中说明。

除 GWP100 外，还可以使用 IPCC 提供的其他时间范围的全球变暖潜势（GWP）和全球温度变化潜势（GTP），但应单独报告。

7.2 钛白粉产品碳足迹计算方法

7.2.1 钛白粉产品碳足迹计算方法见公式(1)：

$$CFP_{GHG} = E_{材料} + E_{生产} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

CFP_{GHG} ——钛白粉产品部分碳足迹，单位为吨二氧化碳当量每吨（tCO₂e/t）或千克二氧化碳当量每千克（kgCO₂e/kg）；

$E_{材料}$ ——原辅料及能源获取阶段每声明单位的温室气体排放量，单位为吨二氧化碳当量每吨（t CO₂e/t）或千克二氧化碳当量每千克（kgCO₂e/kg）；

$E_{生产}$ ——产品生产阶段每声明单位的温室气体直接排放量，单位为吨二氧化碳当量每吨（t CO₂e/t）或千克二氧化碳当量每千克（kgCO₂e/kg）；

7.2.2 原辅料及能源获取阶段 $E_{材料}$ 计算方法见公式(2)：

$$E_{材料} = \sum_j \left[\sum_i \left(AD_{材料, i} \times EF_{材料, i, j} \right) \times GWP_j \right] \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$AD_{材料, i}$ ——生产每声明单位钛白粉输入系统内的第 i 种原辅料/能源的GHG排放和清除相关活动数据(包括初级和次级数据), 单位根据具体排放源确定;

$EF_{材料, i, j}$ ——第 i 种原辅料和能源对应的温室气体 j 的碳足迹因子, 包含原辅料获取、运输、生产过程产生的排放, 单位与温室气体活动数据的单位相匹配;

GWP_j——温室气体 j 的GWP值。

7.2.3 原辅料和能源对应的 $EF_{材料, i, j}$ 获取有如下几种途径:

- 实景数据建模, 追溯至自然界开采, 计算出碳足迹因子;
- 上游供应商提供的通过第三方认证的碳足迹数值;
- 权威数据库对应的原辅料或能源的碳足迹因子;

7.2.4 产品生产阶段温室气体直接排放 $E_{生产}$ 计算方法见公式(3):

$$E_{生产} = \sum_j (AD_{燃烧, i} \times EF_{燃烧, i} + AD_{过程, i} \times EF_{过程, i}) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$AD_{燃烧, i}$ ——生产每声明单位钛白粉过程中输入系统内作为燃料的第 i 种化石能源的GHG排放和清除相关活动数据(包括初级和次级数据), 单位根据具体排放源确定;

$EF_{燃烧, i}$ ——第 i 种化石能源对应的温室气体的直接排放因子, 根据化石能源产生的热值单位含碳量计算;

$AD_{过程, i}$ ——生产每声明单位钛白粉过程中输入系统内第 i 种含碳原辅料的GHG排放和清除相关活动数据(包括初级和次级数据), 单位根据具体排放源确定;

$EF_{过程, i}$ ——第 i 种含碳原辅料对应的温室气体的直接排放因子。

8 结果解释

8.1 钛白粉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钛白粉产品碳足迹和钛白粉产品部分碳足迹的量化结果, 识别显著环节;
注: 显著环节可包括生命周期阶段、单元过程或流。
- m) 完整性、一致性和敏感性分析的评估;
- n) 结论、局限性和建议的编制。

8.2 应根据钛白粉产品碳足迹研究的目的和范围进行结果解释, 解释应包括以下内容:

- 说明钛白粉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;
- 说明钛白粉产品碳足迹研究的局限性(如单一环境影响类型、方法的局限性等)。

8.3 结果解释宜包括以下内容:

- 分析重要输入、输出和方法学选择(包括分配程序)的敏感性, 以了解结果的敏感性和不确定性;
- 评估替代使用情景对最终结果的影响评价;
- 评估不同生命末期阶段情景对最终结果的影响评价;
- 评估建议对结果的影响;
- 描述地理格网的划分方法及地理格网的尺度要求原则(如适用)。

注: 更多信息见GB/T 24044-2008的4.5和附录B。

9 钛白粉产品碳足迹报告

应将以下信息(包括但不限于)纳入钛白粉产品碳足迹研究报告(参考格式见附录D)。

- a) 基本情况:
 - 1) 委托方和评价方信息;
 - 2) 报告信息;
 - 3) 依据的标准;
 - 4) 使用的产品种类规则或其他补充要求的参考资料(如有)。

- b) 目的:
 - 1) 开展研究的目的;
 - 2) 预期用途。
- c) 范围:
 - 1) 产品说明, 包括功能和技术参数;
 - 2) 声明单位以及基准流;
 - 3) 系统边界, 包括:
 - 作为基本流中的系统输入和输出类型;
 - 有关单元过程处理的决策准则(考虑其对钛白粉产品碳足迹研究结论的重要性);
 - 产品系统关联的单元过程地理位置、地理格网的划分规则、格网级别的选取, 并说明其理由(如适用)。
 - 4) 取舍准则;
 - 5) 生命周期各阶段的描述, 包括对选定的使用阶段和生命末期阶段假设情景的描述(如适用), 替代使用情景和生命末期阶段情景对最终结果影响的评价。
- d) 清单分析:
 - 1) 数据收集信息, 包括数据来源;
 - 2) 重要的单元过程清单;
 - 3) 纳入考虑范围的 GHG 清单;
 - 4) GHG 排放和清除时间;
 - 5) 分配原则与程序;
 - 6) 数据说明。
- e) 影响评价:
 - 1) 影响评价方法;
 - 2) 特征化因子;
 - 3) 清单结果与计算;
 - 4) 结果的图示(可选)。
- f) 结果解释:
 - 1) 结论和局限性;
 - 2) 敏感性分析和不确定性分析结果;
 - 3) 电力处理, 宜包括关于电网排放因子计算和相关电网的特殊局限信息;
 - 4) 在钛白粉产品碳足迹研究中披露和证明相关信息项的选择并说明理由。
- g) 研究中使用的产品种类规则或其他补充要求的参考资料。

10 钛白粉产品碳足迹声明

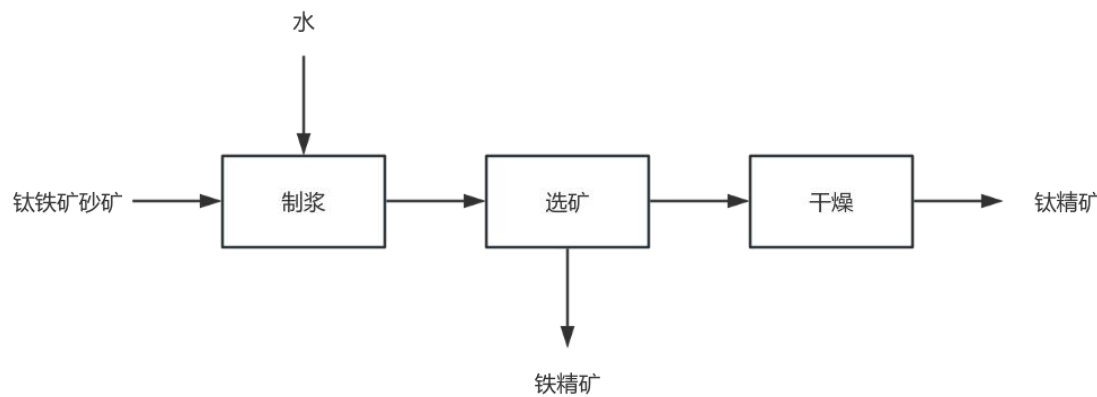
如需声明时, 按照 GB/T 24025 的规定进行, 相关声明可用于具有相同功能的不同产品之间的比较。

附 录 A

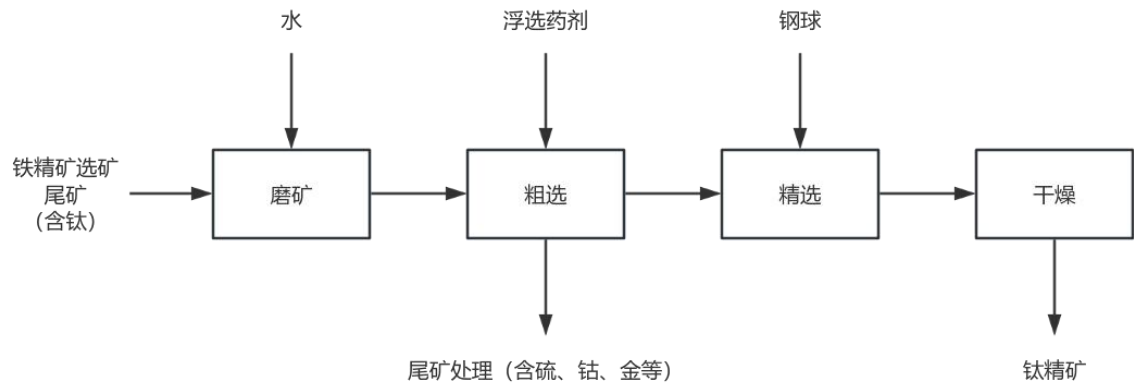
(资料性)

钛白粉产品生命周期内各阶段系统边界图

钛白粉产品生命周期内各阶段系统边界图见图A. 1～图A. 5。



a) 钛铁矿砂矿选钛精矿工艺流程图



b) 钛铁矿岩矿选钛精矿工艺流程图

图 A. 1 钛精矿生产工艺流程图

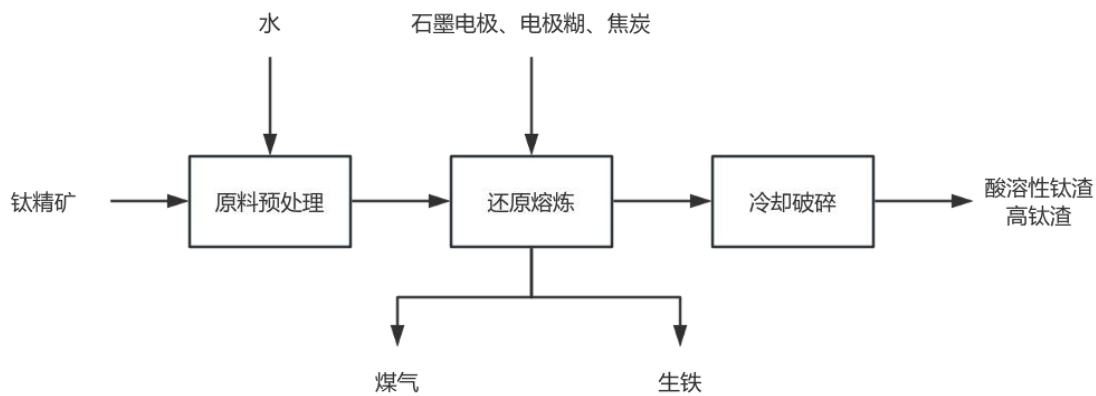
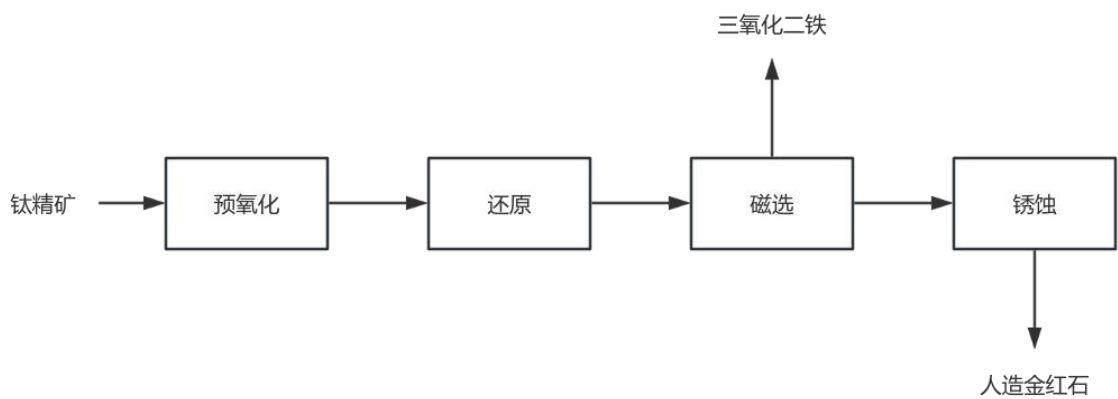
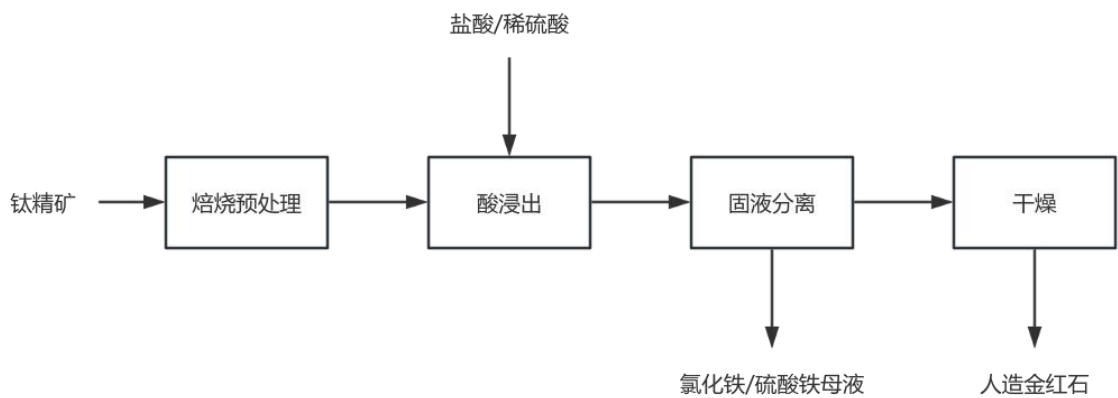


图 A. 2 酸溶性钛渣/高钛渣生产工艺流程图



a) 熔炼锈蚀法人造金红石生产工艺流程图



b) 酸浸法人造金红石生产工艺流程图

图 A. 3 人造金红石生产工艺流程图

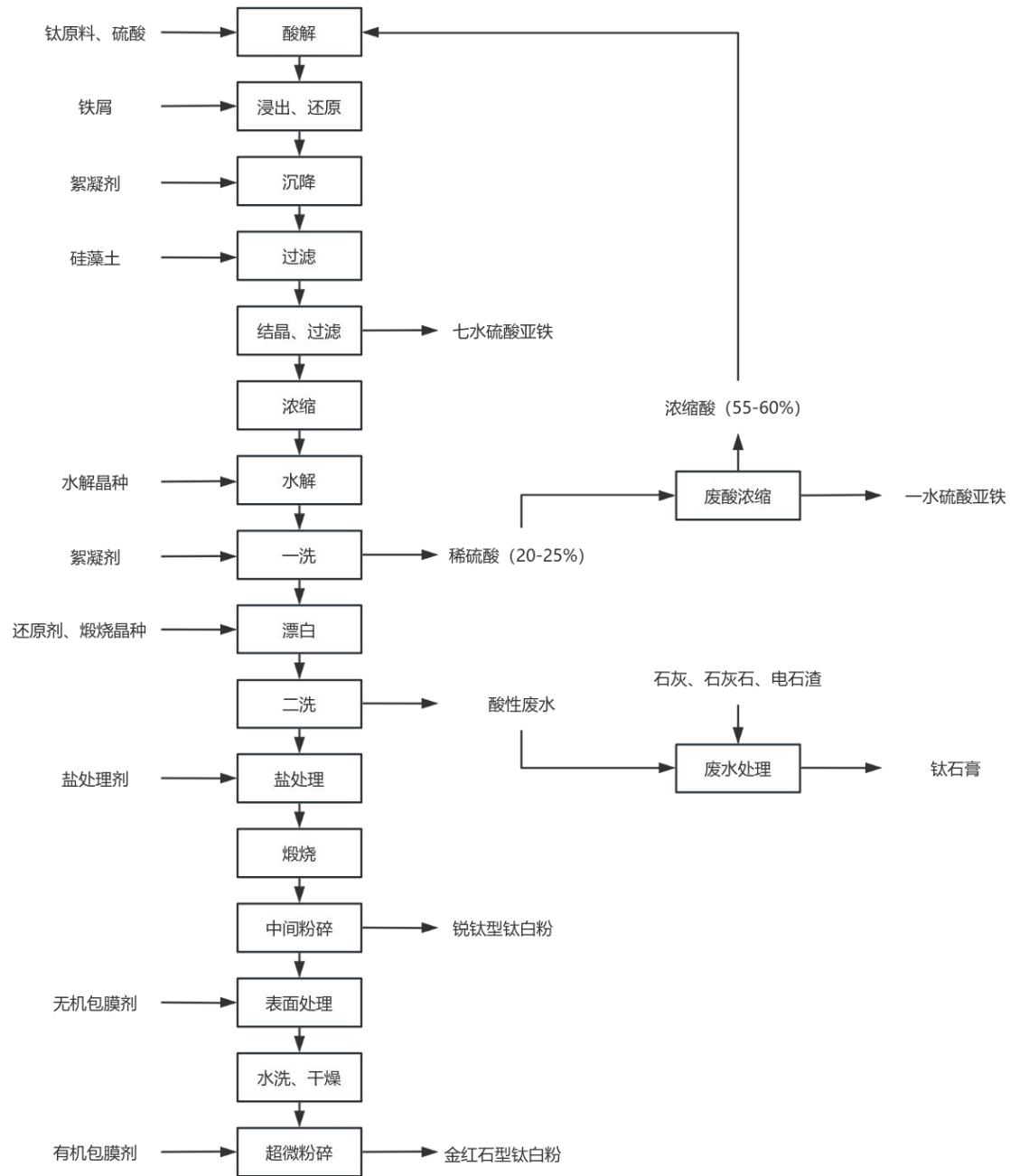


图 A.4 硫酸法钛白粉生产系统边界图

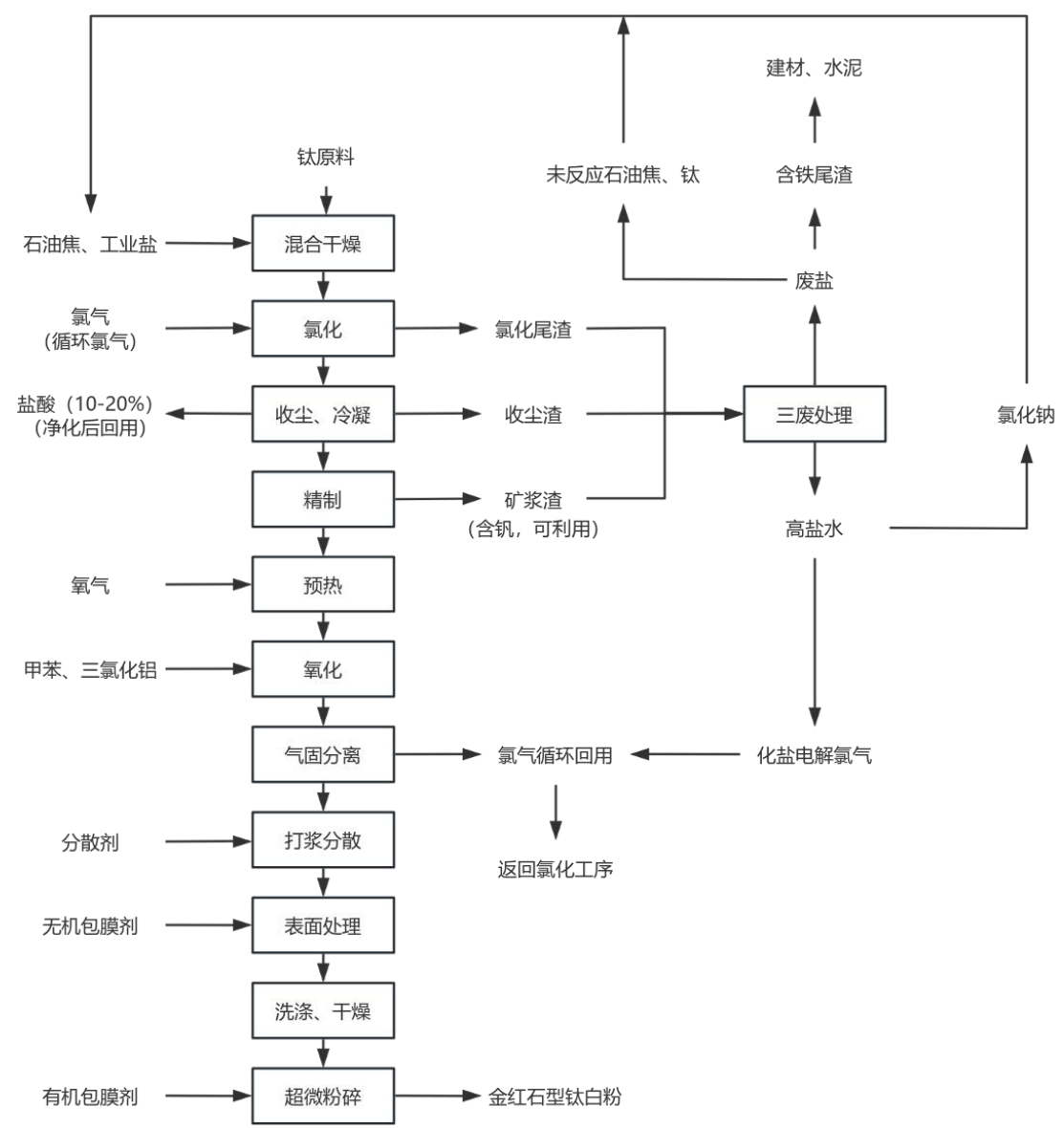


图 A. 5 氯化法钛白粉生产系统边界图

附 录 B

(资料性)

钛白粉产品碳足迹量化数据收集样表

钛白粉产品碳足迹量化数据收集样表见表B.1～表B.5。

表 B.1 钛铁矿生产单元输入、输出数据收集样表

单元过程及统计口径描述									
起始时间：年月日；终止时间：年月日									
制表人：制表日期：									
输入									
分类	名称	用量	来源	组分	运输方式	运输距离	包装类型	包装用量	直接排放量
原料	钛铁矿选 铁尾渣/ 砂矿								
辅料	水								
	钢球								
	浮选药剂								
能源	化石燃料								
	电								
输出									
分类	名称	产量	去向	组分	分配原则				
主产品	钛精矿								
共生产品	铁精矿								
直接排放 合计									

表 B.2 酸溶性钛渣、高钛渣生产单元输入、输出数据收集样表

单元过程及统计口径描述									
起始时间：年月日；终止时间：年月日									
制表人：制表日期：									
输入									
分类	名称	用量	来源	组分	运输方式	运输距离	包装类型	包装用量	直接排放量
原料	钛精矿								
辅料	水								
	石墨电极								
	电极糊								
能源	化石燃料								
	电								
输出									
分类	名称	产量	去向	组分	分配原则				
主产品	酸溶性钛 渣/高钛 渣								
共生产品	生铁								
	煤气								
直接排放 合计									

表 B.3 人造金红石生产单元输入、输出数据收集样表

单元过程及统计口径描述									
起始时间：年月日；终止时间：年月日									
制表人：制表日期：									
输入									
分类	名称	用量	来源	组分	运输方式	运输距离	包装类型	包装用量	直接排放量
原料	钛精矿								
辅料	水								
	盐酸								
	稀硫酸								
能源	化石燃料								
	电								
输出									
分类	名称	产量	去向	组分	分配原则				
主产品	人造金红石								
共生产品	三氧化二铁(熔炼锈蚀法)								
	氯化铁母液（酸浸法）								
	硫酸铁母液（酸浸法）								
直接排放合计									

表 B.4 硫酸法钛白粉生产单元输入、输出数据收集样表

单元过程及统计口径描述 起始时间：年月日；终止时间：年月日 制表人：制表日期：									
输入									
分类	名称	用量	来源	组分	运输方式	运输距离	包装类型	包装用量	直接排放量
原料	钛精矿								
	酸溶性钛渣								
辅料	水								
	硫酸								
	铁粉								
	钢球								
	木粉								
	碱液								
	盐酸								
	还原剂								
	磷酸								
	盐处理剂								
	分散剂								
	包膜剂								
	氧化钙								
	电石渣								
									

单元过程及统计口径描述									
起始时间：年月日；终止时间：年月日									
制表人：制表日期：									
能源	化石燃料								
	电蒸汽								
输出									
分类	名称	产量	去向	组分	分配原则				
主产品	硫酸法钛白粉								
共生产品	七水硫酸亚铁								
	稀硫酸			20~25%					
再生/再利用产品	一水硫酸亚铁								
	钛石膏								
直接排放合计									

表 B.5 氯化法钛白粉生产单元输入、输出数据收集样表

单元过程及统计口径描述									
起始时间：年月日；终止时间：年月日									
制表人：制表日期：									
输入									
分类	名称	用量	来源	组分	运输方式	运输距离	包装类型	包装用量	直接排放量
原料	天然金红石								
	人造金红石								
	高钛渣								
辅料	石油焦								
	焦炭								
	氯气								
	三氯化铝								
	氧气								
	甲苯								
	包膜剂								
.....									
能源	化石燃料								
	电								
	蒸汽								
输出									
分类	名称	产量	去向	组分	分配原则				
主产品	氯化法钛白粉								
再生/再利用产品	氯化尾渣								
	收尘渣								
	高盐水			10%					
	盐酸								
直接排放合计									

附 录 C
(资料性)

钛白粉产品生命周期各单元过程共生产品和再生/再利用产品识别表

各单元过程共生产品识别表见表C. 1，各单元过程共生产品识别表见表C. 2。

表 C. 1 各单元过程共生产品识别表

单元过程	主产品	共生产品	产生环节	下游去向
钛精矿生产	钛精矿	铁精矿	磁选	炼铁
酸溶性钛渣/高钛渣生产	酸溶性钛渣/高钛渣	煤气	还原熔炼	炼铁
	酸溶性钛渣/高钛渣	生铁	还原熔炼	用作燃料燃烧等
人造金红石生产 熔炼锈蚀法	人造金红石	Fe ₂ O ₃	锈蚀	制备聚合硫酸铁
人造金红石生产 酸浸法	人造金红石	FeCl ₂ 母液	固液分离	制备聚合硫酸铁
	人造金红石	FeSO ₄ 母液	固液分离	制备聚合硫酸铁、磷酸铁等
硫酸法钛白粉生产	钛白粉	七水硫酸亚铁	结晶分离	脱水后直接出售/制备聚合硫酸铁、铁系颜料、磷酸铁
	钛白粉	稀硫酸（20%~25%）	水洗	浓缩回用/用于磷化工浸出磷、铝、镍等其他元素，造纸厂直接中和用

表 C. 2 各单元过程再生/再利用产品识别表

单元过程	主产品	再生/再利用产品	产生环节	下游去向
硫酸法钛白粉生产	钛白粉	一水硫酸亚铁	废酸浓缩	用于硫铁矿制酸焚烧或者生产聚合硫酸铁
	钛白粉	钛石膏	废水中和工段	资源化处理生产建材对外出售
氯化法钛白粉生产	钛白粉	氯化尾渣	氯化	回收有价金属；洗涤除去氯离子，剩余钙、镁、铁离子可用于水泥生产、路基材料
	钛白粉	收尘渣	精制工段	回收有价金属
	钛白粉	高盐水	所有工段(洗涤尾渣、后处理)的废水	经过浓缩后生产氯化钠和次氯酸钠
	钛白粉	盐酸（10%）	氯化工段后尾气喷淋洗涤产生	回用部分，后处理包膜用

附 录 D

(资料性)

钛白粉产品碳足迹研究报告(模板)

钛白粉产品碳足迹报告格式模板如下。

钛白粉产品碳足迹研究报告(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

一、概况

1、生产者信息

生产者名称:_____

地址:_____

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:_____

产品功能:_____

产品介绍:_____

产品图片:_____

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

☐原材料获取阶段 ☐生产阶段 ☐运输(交付阶段) ☐使用阶段 ☐生命末期阶段

系统边界图:

图 1 生产声明单位钛白粉碳足迹量化系统边界图

3、取舍准则

采用的取舍准则以_____为依据，具体规则如下：

(1)_____

(2)_____

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 _____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	碳足迹(kgCO ₂ e/声明单位)
原材料获取			
生产			

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

一般选择政府间气候变化专门委员会(IPCC)给出的 100 年全球变暖潜势(GWP)。

2、钛白粉产品碳足迹结果计算

六、结果解释

1、结果说明

_____公司(填写产品生产者全程)生产的_____ (填写所评价的产品名称,每功能单位的产品),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 1 所示。

表 2 _____生命周期各阶段碳排放情况

生命周期阶段	碳足迹 (kgCO ₂ e/功能单位)	百分比 (%)
原材料获取		
生产		
总计		

图 2_____各生命周期阶段碳排放分布图

注：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。

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

附 录 E
(资料性)
全球变暖潜势值 (GWP)

部分GHG的GWP值见表E. 1。

表 E. 1 部分温室气体的全球变暖潜势

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	17,400
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 H ₂ F 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 H ₂ F 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
六氟化硫	SF ₆	25200
注：部分温室气体的全球变暖潜势来源于气候变化专门委员会(IPCC)《气候变化报告2021：自然科学基础 第一工作组对政府间气候变化专门委员会第六次评估报告的贡献》		

附 录 F
(资料性)
常用参数参考值

原材料与能源获取碳足迹因子缺省值见表F. 1。

表 F. 1 原材料与能源获取碳足迹因子缺省值表

2023 年碳足迹因子	因子值 (kgCO ₂ e/kWh)
全国电力平均	0. 6205
燃煤发电	0. 9440
燃气发电	0. 4792
水力发电	0. 0143
核能发电	0. 0065
风力发电	0. 0336
光伏发电	0. 0545
光热发电	0. 0313
生物质发电	0. 0457
输配电	0. 0036

注：数据来源于生态环境部《关于发布2023年电力碳足迹因子数据的公告》附件1。

产品生产过程碳排放因子缺省值见表F. 2。

表 F. 2 产品生产过程碳排放因子缺省值表

过程碳排放因子	因子值	单位
无烟煤	2. 5215	tCO ₂ e/t
烟煤	1. 7417	tCO ₂ e/t
褐煤	1. 1729	tCO ₂ e/t
洗精煤	2. 2082	tCO ₂ e/t
其他洗煤	1. 0519	tCO ₂ e/t
型煤	1. 9360	tCO ₂ e/t
其他煤制品	2. 1081	tCO ₂ e/t
焦炭	2. 8604	tCO ₂ e/t
石油焦	3. 2115	tCO ₂ e/t
原油	3. 0202	tCO ₂ e/t
燃料油	3. 1705	tCO ₂ e/t
汽油	2. 9251	tCO ₂ e/t
柴油	3. 0959	tCO ₂ e/t
一般煤油	3. 0334	tCO ₂ e/t
液化天然气	2. 8313	tCO ₂ e/t
液化石油气	3. 1013	tCO ₂ e/t
石脑油	3. 1981	tCO ₂ e/t
焦油	2. 6446	tCO ₂ e/t
粗苯	3. 4109	tCO ₂ e/t
其他石油制品	2. 9488	tCO ₂ e/t
天然气	21. 6219	tCO ₂ e/10 ⁴ Nm ³
高炉煤气	8. 4811	tCO ₂ e/10 ⁴ Nm ³
转炉煤气	15. 1240	tCO ₂ e/10 ⁴ Nm ³
焦炉煤气	8. 8638	tCO ₂ e/10 ⁴ Nm ³
炼厂干气	3. 0389	tCO ₂ e/t
其他煤气	2. 3148	tCO ₂ e/10 ⁴ Nm ³
CaCO ₃	0. 4397	tCO ₂ e/t
MgCO ₃	0. 5220	tCO ₂ e/t

过程碳排放因子	因子值	单位
Na ₂ CO ₃	0.4149	tCO ₂ e/t
NaHCO ₃	0.5237	tCO ₂ e/t
FeCO ₃	0.3799	tCO ₂ e/t
MnCO ₃	0.3829	tCO ₂ e/t
BaCO ₃	0.2230	tCO ₂ e/t
Li ₂ CO ₃	0.5955	tCO ₂ e/t
K ₂ CO ₃	0.3184	tCO ₂ e/t
SrCO ₃	0.2980	tCO ₂ e/t
CaMg(CO ₃) ₂	0.4773	tCO ₂ e/t
注：数据来源于GB/T 32151.10-2023《碳排放核算与报告要求第 10 部分：化工生产企业》		

