**温室气体 产品碳足迹量化方法与要求**

**锌锭**

**编制说明**

（送审稿）

**《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》编制组**

**主编单位：矿冶科技集团有限公司**

**2024年8月**

目 录

[一 工作简况 1](#_Toc174977862)

[1.1任务来源 1](#_Toc174977863)

[1.2制定背景 1](#_Toc174977864)

[1.3主要参加单位和工作成员所作的工作 6](#_Toc174977865)

[1.4工作过程 6](#_Toc174977866)

[二、标准编制依据和原则 8](#_Toc174977867)

[2.1前期调研情况 8](#_Toc174977868)

[2.2标准编制依据 19](#_Toc174977869)

[2.3标准编制原则 19](#_Toc174977870)

[三、标准主要技术内容的确定依据及主要试验和验证情况分析 20](#_Toc174977871)

[3.1 适用范围 20](#_Toc174977872)

[3.2 规范性引用文件 20](#_Toc174977873)

[3.3 术语和定义 20](#_Toc174977874)

[3.4 量化目的 20](#_Toc174977875)

[3.5 量化范围 21](#_Toc174977876)

[3.6 生命周期清单分析 31](#_Toc174977877)

[3.7影响评价 37](#_Toc174977878)

[3.8 结果解释 38](#_Toc174977879)

[3.9 产品碳足迹报告 38](#_Toc174977880)

[3.10产品碳足迹声明 39](#_Toc174977881)

[3.11附录 39](#_Toc174977882)

[3.9主要试验和验证情况分析 39](#_Toc174977883)

[四、预期的经济效益、社会效益和生态效益； 39](#_Toc174977884)

[五、采用国际标准和国外先进标准的情况 40](#_Toc174977885)

[六、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系 40](#_Toc174977886)

[七、重大分歧意见的处理经过和依据 41](#_Toc174977887)

[八、涉及专利的有关说明 41](#_Toc174977888)

[九、贯彻标准的要求和措施建议 41](#_Toc174977889)

[十、废止现行有关标准的建议 41](#_Toc174977890)

[十一、其他应予说明的事项 41](#_Toc174977891)

《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》

编制说明（送审稿）

# 一 工作简况

## 1.1任务来源

为推进有色金属行业实现碳达峰、碳中和的目标和愿景，积极完善有色金属工业节能与绿色标准化工作体系；充分发挥标准的引领、门槛、规范和倒逼作用，促进有色金属行业绿色、低碳、高质量发展，全国有色金属标准化技术委员会制定了《有色金属行业绿色低碳标准化三年行动计划（2021-2023）》，本标准作为其中一项计划被列入，并由全国有色金属标准化技术委员会归口。

2023年10月23日，国家工业和信息化部办公厅发布了《关于印发2023年第三批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2023〕291号），将《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》列入本次计划，项目编号：2023-1430T-YS，计划完成年限为2025年10月，项目周期24个月。归口部门为TC243（全国有色金属标准化技术委员会），执行部门为TC243SC2（全国有色金属标准化技术委员会重金属分会），主管部门为中国有色金属工业协会。

此后起草组开始了标准的制订工作。主要起草单位有矿冶科技集团有限公司、云南驰宏锌锗股份有限公司、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂、株洲冶炼集团股份有限公司、云锡文山锌铟冶炼有限公司、中国恩菲工程技术有限公司、葫芦岛锌业股份有限公司、江铜铅锌金属有限公司、云南永昌铅锌股份有限公司、湖南水口山有色金属集团有限公司、安徽铜冠有色金属（池州）有限责任公司、巴彦淖尔紫金有色金属有限公司、上海易科数字科技有限公司、河南豫光金铅集团有限责任公司、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司等。

## 1.2制定背景

气候变化是当今人类社会面临的共同挑战。积极应对气候变化，加快推进清洁能源与低碳发展，已经成为国际社会的普遍共识。我国政府高度重视低碳发展与应对气候变化工作，在提交联合国的《强化应对气候变化行动 —中国国家自主贡献》中提出：将于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现，2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%，非化石能源占一次能源消费比重达20%左右，森林蓄积量比2005年增加45亿m3左右。作为评价低碳的重要概念之一，碳足迹被用来识别和评估产品的温室气体排放量。产品碳足迹属于碳排放核算的一种，一般指产品从原材料加工、运输、生产到出厂销售等流程所产生的碳排放量总和，是衡量生产企业和产品绿色低碳水平的重要指标。

有色金属行业是国民经济建设的重要基础产业，是建设制造强国的重要支撑，也是我国工业领域碳排放的重点行业。据初步统计，2020年，我国有色金属二氧化碳总排放量约6.5亿吨，占全国总排放量的6.5%。基本金属的吨量生产碳排放量排列为，铝>镍>锌>铜>锡>铅。锌排列第三，吨锌碳排放处于中位偏高水平。吨锌的冶炼生产总消耗碳排放量为5.18吨左右。统计局数据显示，至2021年，中国锌产量为656.1万吨。锌行业的能耗压力也将进一步提升，在2025年左右实现碳达峰的难度十分巨大。因此，定量评价锌锭产品的温室气体排放尤为重要，而产品碳足迹评价以LCA方法为基础可以综合分析锌锭产品在整个生命周期过程中的温室气体相关环境负荷现状，制定产品碳足迹产品种类规则可以规范锌锭产品碳足迹评价统一的基本规则和要求，为支撑锌锭产品的生态设计、绿色产品、绿色工厂等相关认证工作提供可操作的方法。因此，制定和实施《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》是助力实现碳达峰碳中和的重要政策工具。

**1.2.1目的和意义**

产品碳足迹评价是基于生命周期评价的方法对于一个产品系统温室气体排放和吸收的汇总，以二氧化碳当量这种形式来表述。可以帮助个人和组织评估其对温室气体环境因素的影响，为环境报告提供有效信息。对于企业而言，是社会责任的一种体现。可根据确定的产品碳足迹来减少企业碳排放行为，并由此采取可行的措施来控制和减少碳排放，提高声誉并强化品牌，改善内部运营，节能减排，获得竞争优势。此外，产品碳足迹评价也是引导消费者环保行为的有效标识，引导消费决策。近年来，一些国家逐步建立起重点产品碳足迹核算、评价和认证制度。随着国际气候合作和博弈的日趋升温，多国政府正尝试将碳足迹核算和管理纳入政策工具，如欧洲制定了产品环境足迹指南（PEF），提出了包括碳足迹在内的16种资源环境影响类型指标，并将其作为多项产品碳足迹核算的标准依据。此外，越来越多的跨国公司也将产品碳足迹纳入可持续供应链管理要求。例如，宝马宣布到2030年单车全生命周期碳排放较2019年降低40%，据此对原材料采购、部件生产乃至回收环节提出了要求。

我国开展碳足迹研究相对较晚，尚未形成完善的认证体系，目前国内外主要碳足迹、碳中和规范有：PAS 2050：2008，ISO14040：2006，ISO14044：2006，PAS 2060：2010，ISO 14067 ：2013 深圳产品碳足迹评价通则等。2023年11月13日，国家发展改革委、工信部、市场监管总局、住房城乡建设部、交通运输部等部门联合印发《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》（以下简称《意见》），对产品碳足迹管理各项重点任务作出系统部署，提出制定产品碳足迹核算规则标准、加强碳足迹背景数据库建设、建立产品碳标识认证制度、丰富产品碳足迹应用场景、推动碳足迹国际衔接与互认等工作举措，并明确了职责分工和保障措施等。制定和实施《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》正是落实《意见》的具体举措，指导行业构建锌锭产品碳足迹核算方法，为寻找降碳空间提供依据，促进有色行业绿色低碳转型，助力企业突破绿色贸易壁垒。

**1.2.2项目的必要性**

（1）提高产品国际竞争性

金属锌具有良好的压延性、耐磨性、抗腐蚀性、铸造性，且有很好的常温机械性，能与多种金属制成性能优良的合金。主要以镀锌、锌基合金、氧化锌的形式广泛应用于汽车、建筑、家用电器、船舶、轻工、机械、电池等行业。目前，在有色金属消费中仅次于铜和铝，且我国每年出口大量铜锌合金、压铸合金、锌锰电池等。

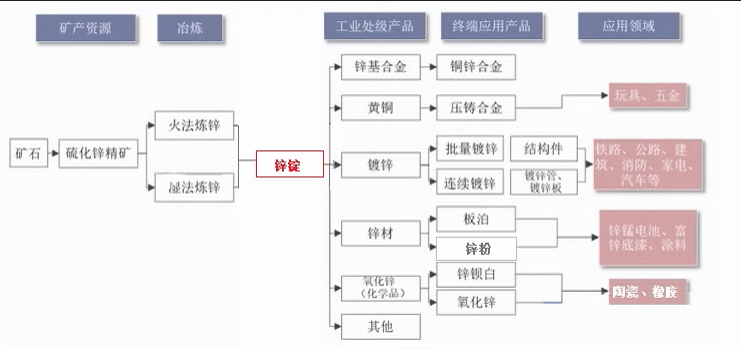


图1 锌锭下游涉及的产品及应用领域

2023年2月1日，欧盟委员会发布《绿色新政工业计划》，旨在简化、加速和调整激励措施，以提高欧洲净零工业的竞争力。作为《欧洲绿色协议》和《欧盟工业战略》的补充，该计划提出了四大行动支柱，其中包括开放贸易以提升供应链韧性：成立关键原材料俱乐部、发展清洁技术/净零排放工业合作伙伴关系。在汽车、建筑、家用电器、船舶、轻工、机械、电池等领域中，金属锌作重要的原材料之一，在欧洲市场势必存在大量供应需求，因此，科学规范核算锌锭碳足迹，为下游产品碳足迹核算奠定基础，为以锌为原材料生产的企业成为欧洲净零排放工业合作伙伴奠定了坚实基础。

此外，2023年3月31日，日本经济产业省发布《碳足迹报告》，指出各个行业的碳足迹差异明显，需按行业划分近期碳足迹实施计划。报告分别针对供应链上游企业（如钢铁和化工等）、拥有B2B和B2C业务的终端产品制造商（如汽车和电子产品）以及终端产品制造商（如服装、食品等）提出了碳足迹计算规则和使用方法，并提出未来政策建议：①制定碳足迹行动指南，鼓励主要使用原始数据计算，数据库数据（二手数据）作为辅助；②以国家和地方政府的公共采购为示范，带头促进私营企业使用碳足迹；③制定可广泛使用的碳排放因子；④为每个产品制定碳足迹计算规则，保证公平性；⑤培养碳足迹专门人才；⑥以激励政策鼓励中小型企业的参与；⑦设立第三方验证机构。同期发布的《碳足迹指南》为从事碳足迹计算的人员提供计算指南和工作流程。该文件发布，也为我国锌产品的国际竞争力造成一定压力。

因此，在此背景下，锌产品生产厂家进行碳足迹核算可以更好地寻找差距，符合国际大趋势要求，避免在国际竞争中处于不利地位。

（2）有助于减少企业碳排放和提高能源效率

锌产品生产过程中需要消耗大量的能源和原材料，且其生产过程会产生大量的温室气体排放。通过碳足迹核算，企业可以更好地了解整个生产过程中的碳排放情况，进而采取相应的减排措施，减少企业的碳排放和提高能源效率。

（3）提升企业形象和竞争力

碳足迹核算已经成为一种新的品牌策略传播渠道，通过开展碳足迹评价，企业可以向公众、投资人和其他利益相关方彰显自身应对气候变化的决心和努力，提升企业形象和竞争力。同时，碳足迹核算也可以帮助企业更好地了解其产品的环境影响，进而优化产品设计，提高产品的市场竞争力。

（4）促进供应链绿色化

锌产品生产厂家通过碳足迹核算可以更好地了解整个供应链的碳排放情况，进而采取相应的减排措施，促进供应链绿色化。同时，通过碳足迹核算也可以帮助企业发现其上下游的碳排放情况，进而采取相应的措施来减少碳排放，实现整个供应链的可持续发展。

综上所述，锌产品碳足迹核算的必要性主要体现在符合国内外政策和法规要求、有助于减少企业碳排放和提高能源效率、提升企业形象和竞争力以及促进供应链绿色化等方面。企业应该积极开展碳足迹核算，采取相应的措施来减少碳排放，实现可持续发展。

**1.2.3项目的可行性**

（1）产业发展情况

目前，我国矿山与冶炼、原生与再生、钢铁与有色的融合发展步伐将会进一步加快；我国铅锌行业加工利用资源途径更趋多元化，资源再生、循环、综合利用水平也将进一步显著提升；随着铅锌产品消费逐步进入平台期，特别是国内锌消费开始进入趋势性衰减，推动铅锌行业进行结构调整、转型升级，逐步走向绿色低碳的高质量发展之路势在必行。

（2）已经具备的研究基础和条件等

申报单位矿冶科技集团有限公司（原北京矿冶研究总院）是隶属于国务院国资委管理的中央企业，属国家首批创新型企业，是我国以矿冶科学与工程技术为主的规模最大的综合性研究与设计机构之一，具有工程设计、资信、安全评价等甲级资质，拥有先进的大型设备仪器和工程化能力较强的中试及生产装备，拥有2个国家重点实验室（矿物加工科学与技术国家重点实验室和矿冶过程自动控制技术国家重点实验室）、3个国家级工程(技术)研究中心（国家金属矿产资源综合利用工程技术研究中心、无污染有色金属提取及节能技术国家工程研究中心、国家磁性材料工程技术研究中心）和1个国家重有色金属质量监督检测中心。矿冶科技集团有限公司以“以技术创新促进矿产资源的可持续开发利用”为发展使命，致力于我国有色金属行业的技术创新，核心主业为与矿产资源开发利用相关的工程与技术服务、先进材料技术与产品和矿产资源循环利用及环保，在采矿、选矿、有色金属冶金、工艺矿物学、磁性材料、工业炸药、选矿设备、环境工程、表面工程技术及相关材料等研究领域具备国家领先水平。矿冶科技集团有限公司共获得国家和省部级科技成果奖励1100余项，授权专利和制订国家及行业标准1100余项；拥有中国工程院院士4人，享受国务院政府津贴92人，百千万人才工程、新世纪百千万人才工程国家级人选11人；具有矿业工程、冶金工程、材料科学与工程和机械工程4个一级学科硕士学位授予权。矿冶科技集团有限公司高度重视科技成果的转化，组建了多家高技术产业化公司，包括两家上市公司，其中，北矿科技股份有限公司的A股股票在上海证券交易所上市，北京当升材料科技股份有限公司在创业板上市。矿冶科技集团有限公司致力于成为具有全球竞争力的世界一流矿冶科技集团公司，秉承追求资源利用极致，实现客户企业共赢的发展理念，不断深化改革，调整产业结构，为我国有色金属行业产业振兴提供强有力的技术支撑。

申报单位已编制有大量锌冶炼行业相关的标准规范文件，如《锌冶炼业绿色工厂评价要求》、《排污许可证申请与核发技术规范有色金属工业-铅锌冶炼》（HJ863.1-2017）等多项冶炼标准，具有较强的标准编制基础和能力。同时，还承担多项重大科研项目，如《锌冶炼污酸污染控制与资源回收技术研究》、《“第二次全国污染源普查32有色金属冶炼和压延加工业（不包括 3211 铜冶炼、 3212 铅锌冶炼）产排污核算》”、中国工程院重大咨询项目《新时期铅锌冶炼行业清洁生产技术发展战略研究》，依托承担单位科研和标准编制相关技术成果，也为本标准的编制提供有力的技术支撑。

## 1.3主要参加单位和工作成员所作的工作

本项目任务明确后，组成了由矿冶科技集团有限公司牵头的标准起草组，并对起草任务进行了落实，确定了各部分内容的起草单位及起草人，拟定了该标准的工作计划。具体参编单位为：

（1）本文件主编单位：矿冶科技集团有限公司。负责标准的工作指导、标准的编写及组织协调。

（2）文件参编单位：矿冶科技集团有限公司、云南驰宏锌锗股份有限公司、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司韶关冶炼厂、株洲冶炼集团股份有限公司、云锡文山锌铟冶炼有限公司、中国恩菲工程技术有限公司、葫芦岛锌业股份有限公司、江铜铅锌金属有限公司、云南永昌铅锌股份有限公司、湖南水口山有色金属集团有限公司、安徽铜冠有色金属（池州）有限责任公司、巴彦淖尔紫金有色金属有限公司、上海易科数字科技有限公司、河南豫光金铅集团有限责任公司、深圳市中金岭南有色金属股份有限公司等。负责提供理论支持、基础材料收集以及辅助标准验证工作等。

## 1.4工作过程

**1.4.1组建标准编制组**

2021年11月，成立标准编制组，负责锌锭产品碳足迹评价方法工作。锌的终端应用产品复杂多样，考虑到我们评价的产品并不是直接面对终端消费者，更多是为下游生产商提供产品碳足迹信息，因此确定系统边界为“摇篮-到-大门”的产品碳足迹，即从原材料获取到锌锭产品离开报告企业大门的所有排放，包含原辅料和能源获取阶段的上游排放、运输阶段和产品本身生产阶段的排放。

**1.4.2调研、文献收集及分析**

2021年11月~2022年4月，编制组通过各种途径搜集了国内外产品碳足迹相关的政策、标准和文献资料等。调研国内铅锌矿山和锌冶炼企业的生产基本情况以及产业链情况；统计从铅锌矿山采选到冶炼加工的作业工序和物质流的输入输出情况；分析锌锭生产采选冶全流程各工序物料投入和分配情况；开展锌锭产品碳足迹计算方法的研究和编写，形成了标准草案。

**1.4.3标准起草过程**

**（1）预研阶段**

2022年4月，《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》（以下简称《标准》）通过有色金属 低碳标准计划项目论证，随后起草单位联合组成《标准》起草组。

2022年5月，根据会议意见，主编单位矿冶科技集团有限公司修改完善标准申报材料，并于2022年5月初提交至全国有色金属标准化技术委员会。

2022年6月至12月，起草组开展《标准》起草和研究工作，完成《标准》草案。

2023年4月，全国有色金属标准化技术委员会低碳标准工作组组织开展了《产品碳足迹 产品种类规则 锌锭》第一次集中讨论。

2023年4月至9月，起草组针对4月讨论意见修改完善了《标准》草案。

2023年10月，全国有色金属标准化技术委员会低碳标准工作组组织开展了《产品碳足迹 产品种类规则 锌锭》第二次集中讨论，针对标准系统边界、数据收集等进行重点研究讨论，并形成会议纪要。

**（2）标准立项**

2023年10月，工业和信息化部下达了《工业和信息化部 2023 年第三批行业标准制修订和外文版项目计划》（工信厅科函〔2023〕291号），本标准被正式列入行业标准计划（计划号2023-1431T-YS）。

**（3）编制阶段**

①预研阶段

2023年10月至2024年4月，编制工作组在预研工作基础上，充分借鉴其他产品碳足迹标准，对标准草案进行完善细化。

②讨论阶段

2024年4月，全国有色金属标准化技术委员会低碳标准工作组组织开展了《标准》的讨论工作。会上重点介绍了标准主要内容，并对一些具体条目的出发点进行解释，听取了专家意见，会后进一步完善标准相关内容。

2024年4月至6月，根据相关主管单位对具体产品碳足迹标准的统一框架要求，并结合4月份讨论会的意见，进一步调整和完善标准内容。

2024年4月-6月，编制工作组根据讨论结果，对《标准》进行了修改和完善。

③预审阶段

2024年7月，全国有色金属标准化技术委员会低碳标准工作组组织开展了《标准》的预审工作，会上讨论对《标准》提出了新的修订要求。

2024年7月~8月，编制工作组根据会上讨论结果，继续对《标准》进行了修改和完善。

④意见征集阶段

2023年4月至2024年8月，多次组织召开标准专家讨论会，向有色金属企业及专家广泛征求意见，邀请相关领域专家、学者等参与讨论，会上提出若干修改意见。会后标准起草工作组根据专家意见研究分析，修改完善《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》内容。同时，主编单位通过网络工具与行业内相关单位进行沟通并发送《征求意见稿》。

⑤审定阶段

2024年7月~8月，编制工作组向相关企业征求意见，并根据意见对《标准》进行修订。

2024年8月，全国有色金属标准化技术委员会低碳标准工作组组织开展了《标准》的审定工作，会上讨论对《标准》提出了新的修订要求。

**（4）标准报批阶段**

# 二、标准编制依据和原则

## 2.1前期调研情况

为使本标准的编制即不脱离国际要求，又符合国内情况，标准编制组在编制前对国内外碳足迹相关工作开展情况进行了详细调研，为后续标准编制提供可靠依据。

**2.1.1碳排放核算工作发展情况**

（1）国内外碳核算工作发展

自1992年联合国大会通过《联合国气候变化框架公约》以来，全球应对气候变化治理体系不断演化。与《京都议定书》相比，2015年《巴黎协定》开创了以“国家自主贡献”为核心的全球气候治理新模式，虽仍坚持“共同但有区别责任原则”，但发展中国家也不得不开始承担量化减排责任。特别是近两年，随着全球极端气候事件频发，国际社会向主要经济体施加的碳减排压力越来越大。2019年7月联合国秘书长倡议“到2030年将温室气体排放量较2010年水平削减45%，到2050年基本实现碳中和”，9月底联合国气候行动峰会上，65个国家（如英国、德国）及次国家经济体（如美国加利福尼亚州）承诺在2050年前实现温室气体净零排放。鉴于根据部分国际机构的测算，我国碳排放总量已超过美国与欧盟总和，人均碳排放大于世界平均水平，未来面临的国际谈判压力和国内碳减排压力必将越来越大。尤其是在2025年之前，我国需高度关注并积极应对2020年向国际社会提交低排放战略、2023年参与全球温室气体排放盘点和2025年更新国家自主贡献（NDC）目标（目标年为2035年）等一系列重要时间节点及任务。为此，我国亟须全面升级碳排放核算工作。

2019年5月，IPCC第四十九次全会通过了《2006年IPCC国家温室气体清单编制指南2019修订版》，与《IPCC清单指南2006》和《2006年IPCC国家温室气体清单指南2013年增补：湿地》联合使用，成为世界各国编制温室气体清单的最新方法和规则。与已有方法相比，新方法体系代表了最新科学认知和技术进展，排放因子更加精细化，排放因子与活动水平的分类更加科学合理。同时，新版指南首次完整提出基于大气浓度（遥感测量和地面基站测量相结合）反演温室气体排放量的做法。这将成为全球和区域尺度下检验和校准温室气体排放结果的重要手段。鉴于我国目前的碳排放核算方法仍以《IPCC清单指南1996》为主，若不加快学习引进，将比国际最新核算技术落后两代，这对提高我国核算结果的准确性和权威性十分不利。而且，我国在碳排放实测技术方面还没有与5G、大数据、云计算等快速发展的信息技术有机结合，尚未在重点领域形成现实有效的实测技术体系和产品设备，在碳卫星应用等方面也还处于早期探索阶段，因此需要充分发挥已有优势，尽早达到国际最新技术水平。

从国际机构中关于我国碳排放的核算结果与国内权威机构对比看，其一，国际机构核算的我国历史碳排放数据在趋势上具有一定参考价值。CDIAC和EDGAR等国际机构给出的我国1970年以来历史核算结果，反映了中国二氧化碳排放的三阶段性特征：第一个阶段是2002年以前长期呈现小幅增长态势，占世界占比从5%到15%，年均增速5%；第二个阶段是2002年到2013年，占世界排放总量的占比从15%升至30%，年均增速9%；第三个阶段是2013年后，占比基本保持稳定，二氧化碳排放量约100亿—110亿吨。基于EDGAR相对全面的口径计算结果显示，2017年我国人均碳排放约7.7吨二氧化碳，在全球209个国家和地区中，降序排名第49位，比全球平均水平高57%。但从1990—2017年的人均碳排放量累计值看，我国仅为130吨二氧化碳/人，与全球平均水平基本持平，明显低于主要发达国家。

**2.1.2产品碳足迹发展情况**

#### 2.1.3.1国外发展

（1）英国

2008年10月，由Carbon Trust和英国环境、食品和乡村事务部联合发起，并由英国标准协会（BSI）发布的《AS2050:2008商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》是全球出现最早的碳足迹核算体系。虽然其本身并不是严格意义上的标准，而是一种具有协商性质的公共可用规范，但其融合了ISO14040G44、14048等国际标准，采用了IPCC气候变化报告的成果，内容简洁又不失权威性，是目前少有已经被确定的、含有公开具体算法、广受欢迎的产品碳足迹标准之一。该标准对产50第1期童庆蒙等:基于生命周期评价法的碳足迹核算体系:国际标准与实践品和服务的生命周期碳足迹核算的分析单位、系统边界、数据要求和计算方法都进行了明确和规范。PAS2050适用的系统边界不仅是企业到企业（B2B），还有企业到消费者（B2C），同时涵盖了工业产品和化石能源的排放处理方式，更是特别指出了包括土地利用方式变更在内的农业温室气体排放核算方式。经过几年的实践与改进，BSI再次发布了《PAS2050:2011规范》，与早前版本不同的是，除了内容的修正与补充（如增加了对产品类别规则的强制性要求），还提供了一个指导性文件，以便于使用者能够更好地评估产品的碳足迹、确定高排放点并在供应链中实施减排。历经数年的应用与发展，PAS2050规范的影响力早已超出了英国本土。韩国和澳大利亚等国在利用LCA方法核算产品或服务碳足迹时，均会对其进行参考。目前许多跨国公司，包括可口可乐、苏格兰纽卡斯尔啤酒公司、法国达能公司等均已尝试执行PAS2050规范对自身产品进行碳足迹评价并取得了良好的效果。百事集团旗下的食品品牌Walkers（薯片）参照PAS2050标准，引导产品参加碳足迹标准的示范实践，结果显示生产每公斤薯片能源消耗下降了33％;苏格兰哈里法克斯银行也通过服务的碳足迹核算，在改进旗下网点的ATM时发现，单个ATM的能耗可以减少30％，除了达到节能减排的环保目的，有调查显示，参与PAS2050实践的企业品牌认知度和社会形象都得到了一定程度的提升。2010年，90％的英国家庭都购买了贴有碳标签（Carbon Label）的产品，而其数值就是基于PAS2050评价方法得到的。此外，基于该标准的学术研究也取得了丰硕的成果。

（2）日本

为了响应“福田蓝图”所提出的长期减排目标，2009年3月，日本出台了适用于所有产品和服务的碳足迹产品分类规则，同年4月20日，日本工业标准委员会（JISC）发布了日本国家标准JISTSQ0010:2009产品碳足迹量化和标签基本准则，日本也成为最早制定碳足迹核算国内标准的亚洲国家。虽然在内容和执行步骤上基本沿袭了PAS2050的核算体系，可以说是英标的日本版，但是其也有强烈的自身特色。例如，TSQ0010更加注重和强化了产品分类，并对分类规则加以完善。由于TSQ0010标准要求产品碳足迹的计算需以产品分类规则（PCR）为基础，因此起草各类产品的PCR成为日本建立碳足迹体系的重要工作内容之一，特别针对食品和蔬菜等产品，已经制定了各种产品种类规则。例如2009年发布的《PCR草案注册及PCR审核标准》和《产品碳足迹计算和查证的沟通准则》等。2012年3月，日本共有495项产品（约100家企业）通过了产品碳足迹的评估，并在实践中建立了排放因子数据库（已达1200项数据），其成为日本国家生命周期评估资料库（LIME）的重要组成部分，在生命周期核算碳足迹的实践中迈出了坚实的步伐。随着日本政府的大力推动，Sapporo啤酒、Aeon超市、Lawson便利店以及松下电器等多家企业先后宣布加入碳标签计划，这些公司的产品需要经过碳足迹验证并且加贴碳标签之后才能够获准进入市场，TSQ0010标准已然成为日本国内产品碳足迹核算最重要的技术性规范。

（3）欧盟

2013年9月，欧盟出台了“建立绿色产品统一市场”政策，并颁布了产品环境足迹（product environmental footprint， PEF）和组织环境足迹（organization environmental footprint， OEF）标准，标志着欧盟市场开始采用统一的绿色评价方法，即基于LCA的环境足迹评价法。PEF就包括了产品的碳足迹等资源环境指标，并参考了众多现有的温室气体核算体系标准。由于PEF规范的要求适用于所有出口到欧盟的产品，因此迅速受到各方欢迎。欧盟委员会对此制定了为期三年的试验计划，并邀请公司等组织和团体参与到产品环境足迹类别规则（product environmental footprint category rules， PEFCR）的制定中。PEF的特别之处在于，它不仅包括了LCA评价方法的目的、范围、排放系数、环境足迹影响类型等内容，还包括了14种环境影响，除了对气候变化的影响和对臭氧减少的影响外，也有富营养化的影响（水生生态系统）、对自然资源的影响（矿物）等，其取代现有欧盟通行使用的产品水足迹、碳足迹等环境影响规范（如法国的BPX30G323标准），建立统一的核算和评价体系的野心极大。

2013年9月13日，欧盟公布了第一轮PEF/OEF（组织环境足迹）的申请情况，来自欧盟成员国、亚洲和美国在内众多行业的企业、行业协会和研究机构提出了申请，总计达到了46类产品/行业共89份申请，其中纺织、家具、能源等行业的企业最多。2014年3月，欧盟开始了第二轮PEF/OEF试验阶段的申请。2016年3月，欧盟启动了一项新的计划，旨在追踪、分析并减少牛肉、猪肉和羊肉等包装生鲜肉类对环境的影响①，这项由欧洲肉品加工及畜牧业贸易联盟牵头实施的“PEF肉类产品计划”正是国际领先的农产品碳足迹核算和减排计划。

其他国家和地区除了以上国家外，近年来泰国、韩国等其他国家也在积极推动全生命周期产品碳足迹核算体系的建立和推广，并出台了一系列既与国际接轨，又符合国内特色的标准和规范。例如由泰国国家技术委员会与温室气体管理组织（TGO）等机构联合发布的《产品碳足迹国家指南》就明确了采用LCA方法进行核算（NTCCFP，2010），其采用的原则和基本框架正是来源于ISO14040和ISO14044标准。韩国环境部依据2009G10号通告制定了《碳足迹标签制度的指导方针》，其中条款1就阐明了采用的核算方法就是LCA法，并针对能用性和非能用型产品提出了相应的计算规范。同时，智利和新西兰也针对葡萄酒等农产品制定了碳足迹和标签标准，新加坡等国也在逐步尝试对产品的碳量化和报告。放眼世界，各国都在为实现低碳和绿色发展而推动碳量化与核算体系的建设，全生命周期评价法已经成为碳足迹核算的公认方法，得到了世界各国的认可，其成果在国际产品贸易中会发挥着越来越重要的作用，因此可以预见，实现全球范围内产品碳足迹的交流与信息共享将在不久成为可能。

随着产品碳足迹分析的发展和不断完善，很多企业已开始根据碳足迹分析结果，管理和优化生产、运输流程。英国、加拿大和美国的碳标识市场发展比较迅速，法国、德国、日本、韩国等国家近年来也加快了碳标识的发展。

英国碳信托公司致力于产品碳足迹的计算和咨询，截至2006年已帮助企业计算了75种产品的碳足迹，并且启动了其示范项目减碳标识。减碳标识展示了产品的碳含量且给出同一类产品的平均碳排放水平，以便于消费者更好地进行比较。通过减碳标识示范项目，六家著名英国企业，雀巢、乐购等已为其产品赋予减碳标识。最先推出碳标识产品的法国企业是连锁超市Casino和E. Leclerc。

美国华盛顿的Carbon Fund非盈利碳中和提供机构与ISO标准的碳管理中心、温室气体议定及英国碳信托在2007年一起开发了无碳认证标识。加利福尼亚的气候保护机构和斯坦福大学一起创建了气候关注标识。学者运用生命周期方法通过标识提供产品的等级分类（金银铜）显示产品对环境不同程度的影响，更简明地向消费者传达产品的环境影响信息。

#### 2.1.3.2国内发展

我国台湾也是最早尝试利用LCA法进行碳足迹测算的地区之一。2010年2月，台湾环保署公布了《产品与服务碳足迹计算指引》，为产品的全生命周期碳足迹核算提供了一个可以参考的范本，以弥补ISO14067国际标准出台之前空窗期的碳足迹核算问题，并于2013年之后依据国际标准对本土标准进行了修订，期间台湾中油石化部、东明油墨等企业均照此标准完成了对自身产品的认定。2011年5月，台湾工业局开始执行“制造业产品碳足迹辅导与推广计划”，目的就是要协助业者建立一套能与国际接轨的“碳足迹”制度。在推动产品碳足迹的信息交流方面，其环保署2011年与英国签订了合作备忘录，推动双边产品碳足迹标签的相互验证机制，经过3年多的努力，台湾品牌欧莱德的茶树洗发精成为第一个成功通关的商业案例。

随着2010年全国两会的召开，低碳经济成为推动中国经济良性发展的热点话题。ISO14040系列国际标准公布之初，就已经等同转化为中国国家标准（GB24040系列标准），此后，我国相继颁布了《省级温室气体清单指南》《区域温室气体排放计算方法》等指导性文件，但所提出的方法覆盖面少、适用性窄，总体来说我国的碳足迹核算的相关研究和实践进展较为缓慢，直至目前，也没有针对LCA碳足迹核算的统一标准。但是近年来国家已经陆续出台文件支持和鼓励LCA的研究与应用，例如2013年3月，由国家发改委、环保部和工信部编制的新版《清洁生产评价指标体系编制通则》中就提出要“参考生命周期评价的理论”。2015年，国家标准委发布了首批温室气体管理国家标准，对企业温室气体的排放范围、排放方法提出了统一的要求。虽然在针对十个重点行业的核算标准中，并没有直接涉及“生命周期”，但是从其核算边界来看，基本覆盖了企业和产品生命周期的大部分阶段。例如在水泥生产中，就包括了原材料处理、生产中电热消耗以及其他产品排放等重要排放源。虽然该套标准在形式上在向国际标准靠拢，但是在数据质量要求、核算的生命周期阶段覆盖程度等方面仍显不足，因此引进国际成熟的标准成为提升我国标准质量的重要途径。中国标准化研究院（CNIS）资源与环境标准化研究所与英国标准协会（BSI）就曾于2008年成功向英国大使馆SPF基金申请资金，将PAS2050引入中国，推广碳足迹评价的方法。

虽然碳足迹标识在中国还没有普及，但已开始有接受碳足迹评估的社会责任领域的领军企业。2008年7月，中国节能保护投资公司与英国碳信托公司签订合作协议，共同致力于为中国企业和产品建立可行的碳足迹分析评估方法。

自2009年开始，大成食品亚洲有限公司已开始邀请第三方对其产品进行碳排放分析。青岛啤酒也与中国标准化研究院和中国质量认证中心签订了啤酒行业的第一份低碳研究协议。青岛啤酒将对其啤酒产品的整个生产过程中产生的温室气体数量进行评估和分析，并且依据数据对生产流程进行优化，将推出附有碳足迹标识的青岛啤酒。其次，沃尔玛和乐购已在国外市场推出了碳足迹标识产品，并计划一年内在中国市场推出碳足迹标识产品。

关于企业碳足迹分析，中国首先进行碳足迹评估的是制浆造纸行业的APP集团。此外，拜耳中国在子公司和其生产基地实施了拜耳中国碳足迹评估项目，项目目的是分析检测其生产和商务过程中所产生的碳排放量。此外，一些跨国企业也开始接触碳足迹国际标准，2012年必维集团为中粮集团旗下的淀粉产品实施了碳盘查，所依据的核算规范就是PAS2050标准，中粮也成为中国大陆食品行业中第一个实施PAS2050的央企。

自2023年11月13日，国家发展改革委、工信部、市场监管总局、住房城乡建设部、交通运输部等部门联合印发《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》以来，我国各地根据自身情况陆续建立了地方碳足迹管理服务平台。例如：山东省企业产品碳足迹一站式服务平台是在山东省生态环境厅指导下，由山东省生态环境规划研究院联合专业机构开发的政府公益性平台，可为企业管理与政府决策提供碳足迹核算服务，支持企业做好自身及上下游供应链碳排放管控，进一步丰富产品碳足迹因子库，为积极应对绿色贸易壁垒和产业链碳减排压力提供支撑，推动产业绿色低碳高质量发展；浙江省发展改革委牵头建设了“浙江省产品碳足迹服务平台”。平台以需求为导向，以方法统一、数据可信为原则，内置科学的核算方法、规范的工序模板及统一的数据质量评价体系，通过归集产品信息、生产工序、原料投入、能源消费、废弃物回收利用等相关数据，帮助企业低门槛核算产品全生命周期碳足迹数据；大湾区碳足迹标识认证公共服务平台实现了企业碳足迹申请、核算、第三方核查、报告、认证、证书及标识发放、过程监督的一体化、一站式管理服务，目前已有内置电池等新能源产品、食品等消费类产品等45类产品的评价技术标准、认证实施规则及核算模型，可拓展连接更多应用场景，按照国际公认ILCD格式和规则搭建背景数据框架结构，具有不断积累整合数据的能力，帮助企业低门槛、低成本开展碳足迹核算与认证；上海工业碳管理公共服务平台为企业提供了一站式的碳足迹申请、核算、报告生成、第三方核查以及认证服务，以低成本、高效率助力企业开展碳足迹核算与认证。企业可以核算自身的碳足迹，进一步了解如何减少碳排放，实现绿色可持续发展。

#### 2.1.3.3基于LCA的产品碳足迹核算标准

LCA核算体系应用到产品碳足迹核算时，核心要素不变。LCA碳足迹核算的核心要素可分为以下几个部分：核算单位、核算范围、数据要求以及结果与评价。其中核算单位包括了碳足迹的计量单位和不同温室气体的换算标准等；核算范围包括了被纳入体系的温室气体种类、系统边界和取舍标准等；数据要求包括了数据来源和质量；结果与评价包括了结果的计算方式，以及是否进行不确定分析等。这四个要素构成了LCA碳足迹核算体系的核心部分，也是各个标准和规范的差异来源。

（1）核算单位

虽然从学术研究的角度来看，碳足迹的度量和核算包括了面积和质量两种，但在实践中，考虑到操作的可行性以及结果的可比性，国际标准一般采用的是温室气体(GHG)的排放量作为衡量对象，同时用CO2当量(CO2e)作为核算单位。由于造成温室效应的排放物有很多，考虑到它们对气候变化的影响，IPCC将各种GHG的辐射强迫的影响与等量CO2进行关联，从而产生一个系数，叫做全球增温潜势(globalwarmingpotential，GWP)，如根据最新的GWP换算系数，CH4的100年GWP值为25，即在100年内，1吨甲烷的碳足迹（或者对温室效应的贡献）等同于25吨二氧化碳。总体而言，对于这一核心要素，国际标准以及各国的本土规范之间并无太大差异，可以说是碳足迹核算体系构建的共识之一。

（2）核算范围

对于被纳入到碳足迹核算范围的温室气体，不同的标准所定义的范围也有所不同。除了CO2外，《京都议定书》中规定的GHG还有甲烷(CH4)、氧化亚氮(N2O)和氢氟碳化物(HFCs)等5种，日本、WRI以及我国均采用的是这种标准。PAS2050、欧盟PEF和我国台湾则采用的是IPCC报告中所包含的60多种温室气体。ISO也意识到了包含的GHG种类对碳足迹测算的影响，因此在ISO14067规范中对此进行了扩充，可以预见，在未来核算体系发展过程中，温室气体的种类将会愈发完善和多元化。系统边界通常意味着需要制定一组准则来确定那些单元属于产品系统的一部分，进而会涉及哪些部分会被包含在碳足迹核算的预期范围之内。一般就产品系统的核算而言，所包含的阶段如果越详细，那么结果就会越精确。大部分的标准都会强调是从原材料的获取开始，以产品寿命终结(弃置或再利用)为结束作为产品系统的流程，期间还会涉及的阶段包括运输、储存等等，但是一般关于资本、人力等难以衡量碳产出的中间环节都不予考虑。有时，LCA只需要对产品的部分生命周期进行足迹评价，如ISO14067就允许了“从摇篮到大门”的边界存在。取舍标准代表的是对与单元过程或产品系统相关的物质和能量流动的数量，或环境影响的重要程度是否应该被排除在研究范围之外所规定的门槛.通常可以用其排放量占总量的百分比来表示，如1％(PAS2050、GHG Protocol和《产品与服务碳足迹计算指引》）、5％（TSQ0010）。在ISO的国际标准中，并没有提出明确的百分比取舍值，但是也要求所达到的排放量要对环境产生显著的影响。

（3）数据要求

各核算标准中对于数据的质量要求甚高，除了初级数据（直接测量得到）外，对于次级数据往往要求来自于具有权威性的机构或出版物，而且应是尽可能的准确和优质。欧盟PEF对此做出了明确要求，提出70％以上的数据来源要达到了“好”及其以上，这意味着这些数据的质量评级（data quality rating，DQR）要小于3.0。目前国际上已经有较为完备的LCA数据库，例如国际生命周期基准数据系统（ILCD）、欧盟LCA基础数据库（ELCD）等，关于生命清单和部分数据均可从中获取。对于排放因子的选择，除了IPCC报告所公布的因子数据外，各个国家和地区也依据本土特点组建了自己的排放因子库（TSQ0010、台湾保护署等），而我国所采用的数据均要求来自于行业调研，排放系数参考年鉴或政府出版物。

（4）结果与评价

对于不同阶段的碳足迹计算方式，一般采用的是IPCC提供的基本方程：GHG排放＝AD·EF，其中，AD代表的是活动数据，EF为排放因子（或排放系数），即通过消耗量乘以单位碳排放量的加总来代表总排放量。该方法简洁明了，应用最为广泛。针对较为复杂的细节，各标准也采取了一定的处理方式。PAS2050不仅对产品使用阶段和报废处置阶段排放影响的加权计算进行了规范，还对产品碳储存、可再生利用材料的排放方式均进行了统一。核算结果的评价与报告是整个碳足迹核算体系最后也是关键的一环，前者通常包括了对核算结果的敏感度分析、不确定性分析等，既是对结果精度的检验，也是挖掘排放贡献来源的重要途径。例如GHG Protocol对不确定性的评估做了充分的说明，其包含的不确定类型包括了参数不确定性（活动数据、排放因子和影响评价的不确定性）、场景不确定性（方法学和情境的不确定性）和模型的不确定性（局限性）。欧盟PEF规定了产品碳足迹报告除了主体内容（研究目标、研究方位、编制和记录资源使用和排放量、计算和解释PEF影响核算结果等）外，还需要有摘要（系统边界的描述、可实施的环境改进措施、整体结果不确定性的评估）和附件（假设条件、审核者的资质证明等），如有必要还可以添加一个保密性报告。

表1 不同生命周期产品碳足迹核算标准对比

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 规范或标准 | PAS2050 | JIS TSQ0010:2000 | PEF | ISO14044 | ISO14067 | GHG Protocol | 产品与服务碳足迹计算指引 | 温室气体排放核算方法与报告指南 |
| 发布单位 | 英国标准委员会，Carbon Trust | 日本工业标准委员会 | 欧盟委员会 | 国际标准化组织（ISO） | 国际标准化组织（ISO） | WRI: WBCSD | 中国台湾环境保护署 | 中国国家标准化管理委员会 |
| 温室气体种类 | IPCC的60多种 | 《京都议定书》要求的6类气体 | IPCC的60多种 | 《京都议定书》要求的6类气体 | IPCC的60多种 | 《京都议定书》要求的6类气体及NF | IPCC的60多种 | 《京都议定书》要求的6类气体 |
| 系统边界 | 从原材料使用完毕和废弃，不包括资本产品和人力资源等 | 采购到废弃和回收5个阶段 | 包括产品供应链上的所有环节，包括前台进程和后台进程 | 依据研究的目标和范围而定，最后的系统边界由计算结果和敏感性分析而定 | 从原料获取到弃置：同时包括摇篮到坟墓，以及摇篮到大门 | 从原料获取到弃置，直接过程和间接过程都需要，摇篮到坟墓、摇篮到大门 | 原材料、能源、制造与服务供应、制造场所运营、产品运输、储存、使用和处理；不含人力、销售等 | 主营业务内所有生产设施产生的温室气体排放 |
| 数据来源 | 经同行评议的出版物；ILCD | 通用数据；政府建立的排放因子数据 | 达到质量要求的：ICLD&ELCD | 具有代表性；满足敏感性分析要求；ILCD | 基于控制的独立过程；兼顾定性与定量；ILCD | 使用质量指标评估后的数据；EEIO模型；ILCD | 尽可能的最优品质数据；环保署碳足迹计算服务平台；DolTPro数据库 | 年鉴或行业调研数据；有资质的专业机构检测等 |
| 适用目标 | B2B&B2C | B2C | B2B&B2C | B2B&B2C | B2B&B2C | B2B&B2C | B2B&B2C | 未明确 |
| 取舍标准 | 对碳足迹达到1%的实质贡献都应包含在内，至少95%的预期排放 | 根据产品分类规则（PCR）而定 | 未明确 | 基于物质、能量流动或者环境显著水平 | 基于物质、能量流动或者显著水平 | 1%以上的实质贡献；通过上限假设来决定是否有意义并进行报告 | 1%以上的实质贡献；至少95%的功能单位预期生命周期GHG排放 | 未明确 |
| 主要引用的规范和标准 | ISO14040  ISO14044  IPCC（2007） | ISO14040  ISO14064  IPCC（2007） | PAS2050  IPCC（2007） | ISO14001  ISO14021  ISO14047-50 | ISO14064-6  PAS2050  GHG Protocol | ISO14044  IPCC 2006  PAS 2050 | ISO14040  ISO14044  PAS 2050 | 省级温室气体清单编制指南；中国能源统计年鉴；IPCC（2007） |

ILCD（International Reference Life Cycle Data System）国际生命周期文献数据系统

ELCD（European Reference Life Cycle Database）欧洲生命周期文献数据库

#### 2.1.3.4企业碳中和战略与碳足迹核算发展趋势

企业在实现双碳使命时，需要“战略先行”。企业在制定碳中和战略时，既需要立足实现近期的碳达峰合规目标；又需要高瞻远瞩、放眼未来，规划碳中和中长期战略及实施路径，将碳中和作为企业未来的核心竞争力，实现双碳使命和愿景。这就是企业碳中和“四阶段”战略路线图。具体来说：

第一阶段：合规（Comply）

清晰认知目前碳排放基线，准确核算碳排放成本，评估碳排放差距，提升碳排放透明度和洞察力。满足国家前期碳达峰目标的合规要求，降低企业运营风险、合规风险、品牌风险，保持企业运营许可。

第二阶段：优化（Optimize）不满足于碳达峰合规，而是创造更大的业务价值。企业以碳中和目标为指引，释放碳数据和数字科技的巨大力量，对企业内的供应链、工作流、产品及体验进行优化，助力企业持续发展。

第三阶段：重塑（Reinvent）站在行业范围的视角，通过参与碳排放权交易平台，开发碳排放权资产，为企业创造新的收入来源。并通过拓展碳中和服务，建设科技赋能的碳中和服务平台，助力行业实现双碳达标。

第四阶段：引领（Lead）致力于解决更复杂的碳中和挑战，通过建设经济-社会生态系统，推动产业内开放的协作创新，引领整个产业共同实现零碳能源转型，构建全新的绿色产业体系和零碳经济体系。

在目前的合规阶段，企业在这个阶段的战略目标是：

清晰认知目前碳排放基线，准确核算碳排放成本，评估碳排放差距，提升碳排放透明度和洞察力。满足国家前期碳达峰目标的合规要求，降低企业运营风险、合规风险、品牌风险，保持企业运营许可。建立以绩效为抓手的碳中和战略执行机制企业在制定了碳中和战略后，更需要设计全面的落地执行机制，将战略一步步变为现实。而绩效体系是一个强有力的抓手，包含绩效指标体系、绩效评估体系。

首先，企业需要建立经营绩效和碳绩效指标体系，并以碳绩效促进经营绩效。如果没有明确定义的指标，企业几乎不可能判断自己的双碳达标工作是否取得了切实的进展，也无法将双碳达标进展与业务成果是否有改善联系起来。企业也更难以向客户讲述有关其双碳达标的有说服力的故事，而这样的故事和证据对于提高品牌声誉，甚至确保企业生存来说，都具有前所未有的重要性。

企业建立碳绩效指标体系需要充分考虑前瞻性、数据的可获取性、行业引领性等原则。可能涵盖的指标包括技术与创新、内部政策与激励措施、资源投入、供应链管理、人力资本等。同时，持续对标行业碳中和成熟度模型及行业标杆，识别成功的共性和规律及其改进差距。

其次，企业需要采用碳会计（Carbon Accounting）方法进行碳核算和绩效评估。

按照《温室气体协议：企业核算和报告准则》提供的国际核算标准，企业既要从公司层面，核算、反映、评估直接碳排放（范围1）、间接碳排放（范围2和范围3）；同时也要从产品生命周期层面，核算、反映和评估产品从上游生产、到成品生产、直至消费和废弃的全生命周期的碳排放。

## 2.2标准编制依据

（1）本标准按照 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；

（2）查阅相关标准和调研国内外以锌锭为产品的锌冶炼企业和生产锌精矿的矿山企业的实际生产情况；

（3）根据国内锌冶炼行业的特点及实际用能情况，力求做到标准的合理与实用。

编制依据如下：

《GB/T 24040 环境管理 生命周期评价 原则与框架》

《GB/T 24044 环境管理 生命周期评价 要求与指南》

《GB/T XXXX-202X 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》

《PAS 2050:2011商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范》

《ISO 14067:2018温室气体—产品碳足迹—量化和信息交流的要求与指南》

《温室气体核算体系：产品寿命周期核算与报告标准》

《温室气体核算体系：企业价值链（范围三）核算与报告标准》

《温室气体核算体系：范围三排放计算技术指南》

## 2.3标准编制原则

（1）科学性：从锌产品生命周期角度，全面考察产业链的资源能源消费和温室气体排放，便于引导企业关注供应链，关注生命周期重点环节的减排潜力，充分发挥企业在价值链各环节对发展绿色低碳的推动作用。

（2）可操作性：为便于标准使用，标准中提供了数据收集的范围和示例，以及相应的计算方法，便于相关人员结合《温室气体排放核算与报告要求》系列标准或指南开展工作。

# 三、标准主要技术内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

本标准分为正文和附录两部分。正文包括10个章节，本标准的主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、量化目的、量化范围、清单分析、影响评价、结果解释、产品碳足迹报告、产品碳足迹声明以及附录A、附录B、附录C、附录D、附录E、附录F料性附录，其中，附录A为锌锭主要生产工艺，附录B为数据质量评价指标、附录C为产品碳足迹量化数据收集表、附录D为推荐的分配方法、附录E为产品碳足迹报告（模板）、附录F为全球增温潜势。

## 3.1 适用范围

本文件适用于以锌矿石或锌二次物料为原料生产的锌锭产品以及与锌锭相似冶炼加工的锌合金锭产品碳足迹的量化。

本文件也适用于以下常见的锌锭（锌合金锭）前序产品的碳足迹量化，包括：锌矿石、锌精矿、混合铅锌精矿、锌精矿焙砂、锌冶炼用氧化锌富集物、粗锌等。其他金属冶炼副产的锌锭及其前序产品不适用本文件，可遵循其他金属碳足迹分配程序计算。

本文件仅针对一个单一影响类别，即气候变化，不评价产品生命周期产生的其他方面环境潜在影响，也不评价产品生命周期可能产生的社会和经济影响。

## 3.2 规范性引用文件

列出了本标准引用的有关规范文件。

## 3.3 术语和定义

主要参考了国家标准委已经发布的GB/T 24044-2008、GB/T32150-2015、ISO 14067：2018中的内容，对本标准中系统边界、功能单位、单元过程、分配、中间产品、共生产品、温室气体等术语进行定义。而锌锭及前序产品、锌产品生命周期、现场特征数据、背景数据等术语根据产业链调研，并参考相关文件进行了定义。

## 3.4 量化目的

产品碳足迹研究是基于生命周期视角，评价产品系统的气候影响。本文件可能的应用包括为产品研究和开发、技术改进、工艺流程再造、产品碳足迹绩效追踪和沟通提供信息。

开展锌锭及其前序产品碳足迹量化目的包括：

（1）评估产品生命周期内相关活动带来的温室气体排放和清除，提供合规报告；

（2）帮助企业识别产品价值链的高排放环节，进而发掘减排潜力，制定减排措施；

（3）促进产业链上下游信息沟通，强化协同降碳；

（4）引导消费选择，推动市场向低碳产品转型。

## 3.5 量化范围

**3.5.1产品描述和声明单位**

本文件的声明单位是指1吨锌产品，如：1吨锌矿石、1吨锌精矿、1吨混合铅锌精矿、1吨锌精矿焙砂、1吨锌冶炼用氧化锌富集物、1吨粗锌、1吨锌锭、1吨锌合金锭等为声明单位，并应对其化学成分、规格、等级等特征参数进行描述。

**3.5.2系统边界**

规定了产品碳足迹核算的系统边界范围和排除项。锌作为社会经济生产中的基础原材料，其终端应用产品复杂多样，并且我们评价的产品并不是直接面对终端消费者。因此，本标准设定的系统边界为“摇篮到大门”的产品碳足迹，即包含产品的所有上游排放和产品本身生产阶段的排放。

“摇篮到大门”的范围参考了PAS 2050:2011定义3.13和《温室气体核算体系：产品寿命周期核算与报告标准》第七章边界设定中的摇篮到大门的范围描述，即从原材料的获取到产品离开报告组织大门为止。

标准中给出了锌锭（锌合金锭）及其前序产品系统边界示意图，便于清晰识别纳入系统边界的生命阶段，规定了产品碳足迹计算的系统边界范围和排除项。图2虚框中所示即为本标准规定的系统边界。

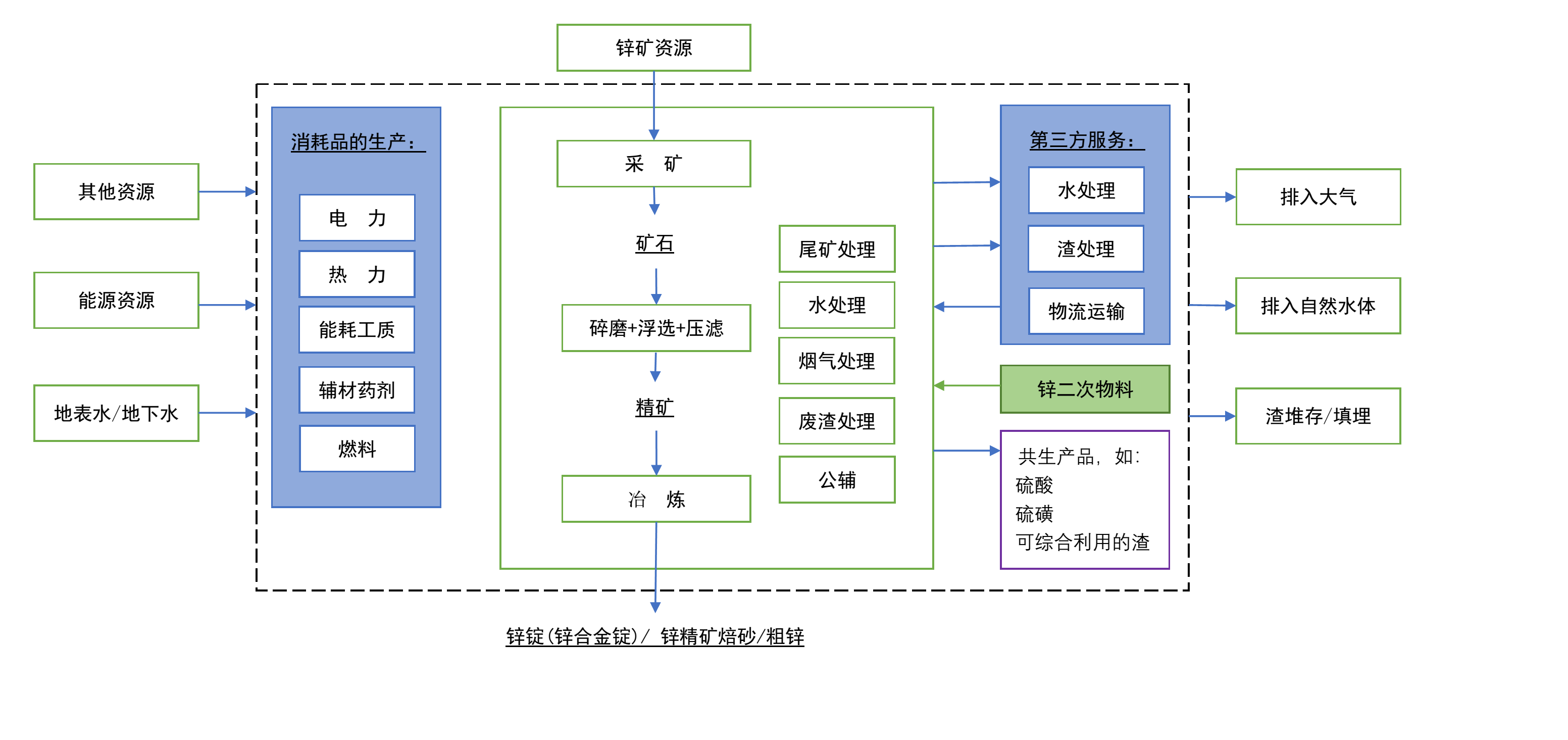


图2 锌产品生命周期示意图

本标准规定了一些排除在系统边界之外的活动，见表2。

表2 系统边界工艺包含项及排除项

|  |  |
| --- | --- |
| 包 含 项 | 排 除 项 |
| * 采矿（露采/地采，矿山范围内运输，含废石处置）； * 选矿（矿石破碎筛分、浮选、浓密、压滤））； * 冶炼（火法冶炼或湿法冶炼）； * 锌二次物料的获取； * 锌二次物料的冶炼； * 烟气处理； * 相关的公辅服务供水、供电、供气、供热、水处理、废渣处理、物流等）； * 辅料、药剂、燃料、能源等的生产； * 原料、辅助材料、燃料等从供应商到现场的运输； * 第三方提供的生产服务； * 废弃物外委处置。 | * 相对独立的综合回收单元（渣进一步回收有价金属）； * 员工通勤； * 客户接待； * 商务旅行； * 产品离开报告主体的运输和仓储； * 资产性商品（设备、厂房）的生产； * 再加工阶段； * 终端产品制造和使用阶段； * 寿命末期阶段处理。 |

**3.5.3生命周期各阶段描述**

#### 3.5.3.1行业发展现状

为更好概括本标准对产品系统边界内生命周期各阶段，标准编制组对国内与锌相关的的采矿、选矿、冶炼以及锌二次物料综合利用等行业进行了调研。

##### 3.5.3.1.1矿产资源分布情况

目前全球已探明的锌矿资源储量为2.5亿吨，澳大利亚资源最为丰富，以6800万吨锌矿储量占据首位，占比27.2%，其次是中国4400万吨，占比17.6%。中国是全球最大的锌矿生产国，全年的锌矿产量为420万吨，占比约为32.31%；秘鲁和澳大利亚的锌矿产量则各为140万吨、130万吨。虽然我国锌矿储量与产量均靠前，但由于我国开采年限短，技术效率低下，乱采乱挖，采富弃贫等情况，导致我国锌矿资源严重浪费，而作为世界工厂，我国市场体量大，经济发展迅速，对于大宗商品的需求也在逐年增加，因此我国也是世界上进口锌精矿最多的国家。

我国锌资源主要集中在西部，即甘肃、青海、宁夏、新疆、四川等地区。据估计，2023年中国西部锌的储存量达到3500万吨，占中国锌总存储量的90%以上。其次，另外几个地区的锌储量较少，其中浙江锌的存储量为250万吨，占中国锌总存储量的5%左右。

##### 3.5.3.1.2 锌产量及消费

中国是全球最大的锌锭生产国，其锌锭产量占全球总产量的四分之一左右，其次为澳大利亚、秘鲁、印度、墨西哥等国家。中国的锌锭生产主要集中在四川、云南、新疆和甘肃等地，其中四川省的锌锭产量最大。而在中国，锌锭主要用于电池、合金、防腐等领域。2023年我国锌产量为715.2万吨，累计增长7.1%。

中国是全球最大的锌精矿消费国，国内铅锌矿山产量的快速增长仍跟不上需求的增长，需要大量进口锌精矿。从冶炼产能来说，我国锌精矿需求更大，国产锌精矿不能满足国内需求，每年需要进口大量的锌精矿。

##### 3.5.3.1.3 锌冶炼产能及分布

经过六十多年的发展，中国锌冶炼业实现突破式的大发展。根据中国有色金属工业协会统计，1949年，全国精锌产量仅200t。2023年，中国精锌产量达到700万t，居全球第一位。目前，中国锌冶炼水平经过多年的探索、学习，消化、吸收了国际先进技术，并有了创新，已经处在世界前列。

国内精锌产量、产能分布也非常集中，主要分布在云南省、陕西省、湖南省、内蒙古等区域。火法炼锌工艺占我国总炼锌能力的约20%。其中电炉炼锌分布在甘肃、河北、云南、四川、贵州等省，已建十几台套，目前生产规模都很小，单台电炉产锌量在1000～2500t/a之间，吨锌电耗在4000～5000kWh之间。

湿法炼锌工艺占我国总炼锌能力的约80%。细分为常规浸出法、热酸浸出法、全湿法浸出三大类。湿法炼锌具有劳动条件好，环保，能耗较低、金属回收率高、生产易于连续化、自动化、大型化等优点，新建锌冶炼厂普遍采用。特别是由于近年来在处理低品位氧化矿方面取得了突破性进展，并引进消化吸收了大型剥锌机，使我国在产能上有明显提高。株洲冶炼厂、葫芦岛锌厂、中金岭南丹霞厂、驰宏锌锗、中色赤峰、豫光金铅、白银有色、紫金、四川宏达等十几家大型冶炼企业的工艺和装备水平，以及生产指标已同世界同类企业不相上下，有的还处于世界先进水平。目前，一半左右的锌冶炼企业仍采用常规的湿法炼锌技术，该技术最大缺陷在于浸渣的无害化处理过程中能耗高、环保难度大。不少企业尝试新的浸出工艺，以改良常规浸出带来的渣处理困难等问题，如氧压浸出、热酸浸出等。

##### 3.5.3.1.4锌冶炼典型工艺

我国锌冶炼工艺技术以湿法冶炼为主，火法冶炼其次。

###### 3.5.3.1.4.1湿法炼锌典型工艺工艺

锌湿法冶炼包括传统湿法炼锌工艺和直接氧压浸出工艺。

**（1）传统湿法炼锌工艺**

传统的湿法冶炼，硫化锌精矿都需要先进行焙烧，实际上是火法和湿法的联合过程。世界各国电锌厂的主要流程即中浸—净化—电积—熔铸是相同的，浸出渣的处理方法则各不相同，根据对浸出渣处理工艺的不同，传统湿法冶炼又可以分为：常规浸出法和高温高酸法。其中，高温高酸法根沉淀铁的形态不同又分为：黄钾铁矾法、针铁矿法、赤铁矿法等。近年用于工业生产的湿法炼锌工艺还有锌精矿直接高压氧浸法。

1）常规浸出法

常规浸出法在国内外有数十年的工业生产历史，技术成熟可靠易掌握。锌总回收率可达94～96%，窑渣是无害渣，砷和锑等有害元素有70～75%以固熔体状态进入到窑渣中，对环境无害。但此法的缺点是有SO2烟气排放污染环境，工艺流程长，投资略高，综合回收比较差，占地面积大，在处理浸出渣时需消耗焦粉，能耗高。传统湿法炼锌工艺流程见图3。



图3 传统湿法炼锌工艺流程图

2）高温高酸法

高温高酸法即用热酸处理浸出渣，其特点为强化了浸出过程。热酸浸出的温度为85℃～95℃，终酸为60g/L～100g/L H2SO4。因此，可使铁酸锌分解，明显地提高了锌、铜、镉、钴等有价金属浸出率，降低了产出酸浸渣渣率，仅为焙烧料的8%～12%，富集了铅及银等贵金属，有利于贵金属的回收，劳动条件也优于回转窑或烟化炉法。但也存在一些问题：由于采用高温高酸浸出，因此对设备材质及厂房防腐蚀措施要求较高，产出的铁渣含有重金属离子，对环境会造成二次污染。

高温高酸法包括黄钾铁矾法、针铁矿法、赤铁矿法等，其共同特点是流程短、占地面积少、综合回收好。国内已实现工业生产的方法有铁矾法、针铁矿法，其回收率为89～94%。其中黄钾铁矾法是目前运用成熟的先进的工艺，是高温高酸法中的运用较多的一种工艺，该工艺成熟可靠，原料适应性广，锌的浸出率可达97%以上，锌的回收率较高可达95%以上，同时能回收多种有价金属产品。

①黄钾铁矾法

黄钾铁矾法是目前国内外普遍采用的除铁方法，溶液中90%-95%的铁可以沉淀出来，残存的铁进一步以Fe(OH)3沉淀。

低污染沉矾除铁是在铁矾沉淀之前通过对含铁溶液的稀释以及预中和等手段，降低沉矾 前液的酸度或Fe3+的浓度，避免在沉矾过程中加入焙砂作中和剂，沉淀出纯铁矾渣。

低污染沉矾除铁工艺特点：首先，在沉矾过程中不加任何中和剂，提高了锌等有价金属的回收率，减少了矾渣对环境的污染；其次由于除铁效果好，对各种复杂原料的适应性强；再次该工艺具有很大的加酸能力，对系统酸平衡有利。因此该工艺是常规铁矾法的改进，有着广泛的应用前景。

②针铁矿法

采用针铁矿法除铁有两种方式：一是先把Fe3+离子还原成Fe2+离子，然后通过加入氧化剂使Fe2+离子氧化成Fe3+离子，同时加入中和剂使Fe3+离子水解生成针铁矿沉淀；二是将含铁浓度高的溶液缓慢加入到不含铁的溶液中，通过加入氧化剂和中和剂使铁形成针铁矿沉淀。两种针铁矿法有一个共同条件：控制溶液中的Fe3+浓度小于1g/L。

针铁矿法的要点是使溶液中三价铁离子浓度在沉淀过程中保持较低水平，如低于lg/L，首先将溶液中的铁还原为三价，然后在三价铁离子水解的条件下将二价铁缓慢氧化成三价铁。该工艺效率较低；过滤的料液较大；动力消耗大；酸平衡难于掌握；酸、碱消耗较大，设备较为复杂。针铁矿法渣量较黄铁矾法低，对于炼锌，针铁矿法锌回收率与黄钾铁矾相同，但铜的回收率不如黄铁矾法高。针铁矿法流程中硫酸盐平衡问题未获得很好的解决，目前主要控制加入有生成不溶硫酸盐的原料（如铅）、排除硫酸锌溶液以及用石灰中和电解液等办法维持硫酸盐平衡。

③赤铁矿法

赤铁矿法沉铁于1972年在日本的饭岛炼锌厂投入生产，20世纪80年代日本帮助德国Datteln电锌厂建成了世界第二个赤铁矿法炼锌厂。

在高温条件下（185~200℃），当硫酸浓度不高时，溶液中的Fe3+便会发生水解反应得到赤铁矿（Fe2O3）沉淀。

Fe2(SO4)3+3H2O=Fe2O3↓+3H2SO4

该法即基于在高温（200℃）、高压（1.8~2.0MPa）条件下，Fe3+以赤铁矿（Fe2O3）形式沉淀。

赤铁矿法的优点是：①赤铁矿渣含Zn 0.5%，S 3%，Fe 55%，经焙烧脱硫后可作炼铁原料；②原料的综合利用好，能从渣中回收Ga和In。

缺点是：①由于需要用昂贵的钛材制造耐压设备和附设SO2液化工厂，投资费用高；②酸平衡问题用石灰中和解决，但产生大量的CaSO4渣；③该法需要较高pH值，且能耗最高，蒸汽耗量约占全厂60%，所以使用该法除铁的单位不多。

**（2）氧压浸出技术**

该法是将硫化锌精矿直接在高压釜内通过富氧进行高温高压浸出，得到硫酸锌溶液和硫磺与浸出混合物。前者净化后进行电积得出金属锌，后者分离成硫磺和铅银渣，获得三种均可出售的产品。目前最新的先进工艺是硫化锌精矿的氧压浸出法。硫化锌精矿氧压浸出新工艺的特点是：锌精矿不经焙烧直接加入压力釜中，在一定的温度和氧分压条件下，直接酸浸获得硫酸锌溶液，原料中的硫、铅、铁等则留在渣中，分离后的渣经浮选、热滤、回收元素硫、硫化性残渣及尾矿，进入硫酸锌溶液中的部分铁，经中和沉铁后进入后续工序处理。该工艺浸出效率高，对高铁闪锌矿和含铅高的锌精矿适应性强。相较于焙烧－浸出－电积工艺，硫化锌精矿加压浸出工艺对环境污染小，锌回收率高，工艺适应性好的优点，是一种具有发展潜力的工艺。目前，国内只有仁化丹霞冶炼厂采用该工艺。

生产工艺流程见图4。

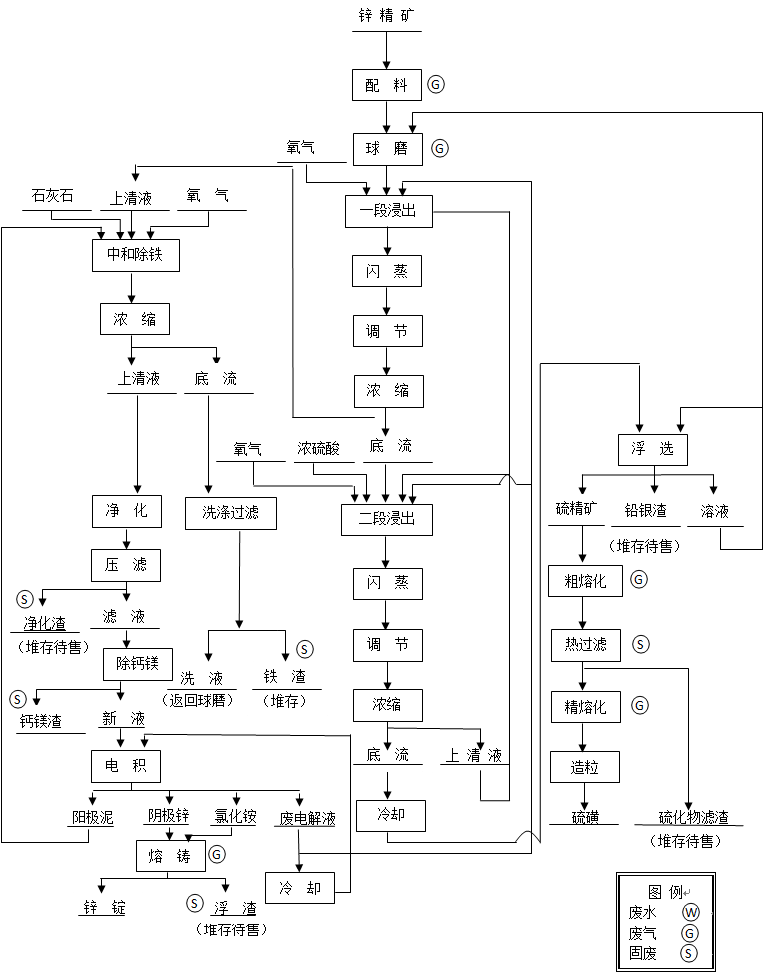


图4 氧压浸出湿法炼锌工艺及排污节点图

###### 3.5.3.1.4.2 火法炼锌典型工艺

我国目前现存的火法锌冶炼工艺包括密闭鼓风炉熔炼法炼锌和电炉炼锌。

**（1）密闭鼓风炉熔炼法**

密闭鼓风炉熔炼法又称ISP法（帝国熔炼法）炉子上部产锌、下部产铅，最适宜于处理难于选矿分离的铅锌共生精矿，能有效回收物料中伴生的金银等贵金属。50年代由英国帝国熔炼公司开发，60～70年代得到推广，中国建有4套装置，分别为在韶关冶炼厂、白银有色公司、陕西东岭冶炼公司、葫芦岛锌业公司。

本工艺采用的主要生产原料是铅锌混合精矿、熔剂和焦炭等。该工艺的特点是能同时炼铅、锌，可以处理难选的铅锌混合精矿、低品位复杂精矿及各种含铅、锌的二次物料。该法核心设备是鼓风烧结机、密闭鼓风炉、热风炉、铅雨冷凝器、烟化炉等。ISP熔炼系统的主要工艺过程包括鼓风返烟烧结、密闭鼓风炉熔炼、炉渣烟化处理，以及后续的粗锌精馏、粗铅精炼等精炼过程。密闭鼓风炉熔炼工艺流程图见5。



图5 ISP炼锌工艺流程图及排污节点图

**（2）电炉炼锌**

电炉炼锌由于投资省，有廉价劳动力，绝大多数小型电炉炼锌厂均可获利，环保条件尚可，在电力充裕的边远山区仍有一定生命力。目前正在生产的电炉功率多为2000kVA/台，准备开发5000kVA/台较大规格的电炉，预计单台炉产锌可达5000t/a

##### 3.5.3.1.5 锌冶炼业主要原料、产品及副产品

（1）锌冶炼业主要原料

锌冶炼业的主要为锌精矿，锌精矿伴生的组分主要有硫、铜、铅、银、金等。锌精矿的进口和买卖需要按照《锌精矿》（YS/T 320-2014）来进行定级，同时杂质、有毒有害元素等不能超过该标准及《重金属精矿产品中有害素的限量规范》（GB 20424-2006）规定，锌精矿化学成分见表3。

表3 锌精矿化学成分

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 品级 | 化学成分（质量分数）/% | | | | | |
| Zn  不小于 | 杂质含量，不大于 | | | | |
| Cu | Pb | Fe | As | SiO2 |
| 一级品 | 55 | 1.0 | 1.2 | 6 | 0.2 | 3.5 |
| 二级品 | 50 | 1.2 | 1.8 | 8 | 0.4 | 4.5 |
| 三级品 | 45 | 1.5 | 2.5 | 12 | 0.5 | 5.0 |
| 四级品 | 40 | 1.5 | 2.5 | 14 | 0.5 | 5.5 |
| 注：四级品的铁闪锌精矿含铁量可不大于18% | | | | | | |

中国铅锌资源储量为世界第二位，但仍需大量进口精矿。

（2）锌冶炼业主要产品及副产品

锌冶炼业的主要产品为电解锌或电锌，其产品质量见下表4。

表4 锌锭质量标准（GB/T 470-2008）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | Pb≥ | 杂质≤ | | | | | | | | |
| Pb | Cd | Fe | Cu | Sn | Al | As | Sb | 总和 |
| Zn99.995 | 99.995 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | － | － | － | 0.005 |
| Zn99.99 | 99.99 | 0.005 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | － | － | － | 0.010 |
| Zn99.95 | 99.95 | 0.020 | 0.002 | 0.010 | 0.002 | 0.001 | － | － | － | 0.050 |
| Zn99.5 | 99.5 | 0.3 | 0.07 | 0.04 | 0.002 | 0.002 | 0.010 | 0.005 | 0.01 | 0.50 |
| Zn98.7 | 98.7 | 1.0 | 0.20 | 0.05 | 0.005 | 0.002 | 0.010 | 0.01 | 0.02 | 1.30 |

锌冶炼的主要副产品有硫酸（93%、98%），若该企业有贵金属或稀有金属回收工段，副产品还有金锭、银锭、精镉、精铟等。

##### 3.5.3.1.6 锌二次物料国内利用情况

依据《再生锌及锌合金锭》（GB/T 21651），锌二次物料主要包括三类，第一类是锌伴生铅矿、铜矿以及铁矿在提炼铅、铜、铁的生产过程中产生的含锌物料，例如炼铅炉渣、铜烟灰、高炉瓦斯灰(泥)。第二类是含锌产品在使用过程中产生的含锌废料，包括利用热镀锌合金进行钢材的防腐蚀热镀时产生的镀锌渣。利用锌电镀时产生的电镀泥，利用铸造用锌合金锭压制成品时产生的含锌料渣等。第三类是报废的含锌终端消费品，例如黄铜合金.铸造合金制品、干电池壳及镀锌废钢在回收冶炼过程中钢铁镀锌层的锌以气态挥发随烟气进人收尘系统被收集下来的烟尘。

利用锌二次物料生产电锌具有明显的优势。一是可以在较大程度上避免锌矿在开采、选矿过程中对自然环境造成的不良影响，替代锌矿产资源开发。二是最大限度地实现锌浸出渣、炼铅炉渣，电炉炼钢烟尘、高炉瓦斯灰（泥）、热镀锌灰、转炉灰（泥）等有害废弃物的资源化、减量化、无害化利用和处理，变废为宝。由于其经过火法高温等工艺处理，不仅可有效富集氧化锌、铁等有价资源，实现减量化，而且可以通过高效收尘等清洁生产工序实现其它有害物的再富集和可管控，有效减少上述有害废弃物长期堆放对自然环境造成的不良影响。三是极大的弥补我国锌精矿的短缺与不足，可有效减少我国对海外锌精矿的进口依赖。四是锌二次物料含有的铊、镉、砷等有毒元素显著低于矿产锌精矿，因此在同等污染防治措施下的锌冶炼过程中，排放到外环境的单位产品污染物总量也远低于采用矿产锌精矿冶炼时的单位产品污染物排放总量。

我国再生锌产业目前正处于发展阶段，在再生锌的回收和利用方面已经取得了一定的进展，‌但与世界平均水平相比，‌我国再生锌的利用率仍有提升空间。‌2022年中国再生锌产量为176万吨，‌同比增长8%，占锌产量的比重约为32.6%。我国内回收的废锌主要集中在河北、江苏、云南、湖南四省，浙江、广东、江西、福建等省区和四川成都，山东临沂，河南长葛，湖南汨罗、株洲，辽宁大石桥等几大废金属集散地。目前我国再生锌产能主要分布在云南，河北，江西，湖南，四川等地，并涌现以祥云飞龙再生科技股份有限公司、鑫联环保科技股份有限公司、四川盛屯锌锗科技有限公司等为代表的以处理锌二次物料实现综合回收多种金属的企业。目前在原材料处理上主要利用火法工艺转换二次原材料成为锌冶炼用氧化锌富集物、次氧化锌及锌焙砂。之后，各家企业再使用火法处理和湿法处理生产再生锌锭，湿法工艺即有酸法、碱法、氨法，火法工艺（即电炉）等。此外，一些老牌铅锌冶炼厂通过技术研发，也加入到锌二次物料的利用的队伍里，如原葫芦岛炼锌厂，‌通过研发新的技术和设备，‌成功开发出电热或燃气回转窑生产再生锌的技术和装置，‌这一技术的成功应用，‌不仅提高了金属回收率及产品质量，‌还降低了能耗，‌为再生锌产业的发展提供了新的动力。河南豫光集团成立了豫光锌业公司，安阳岷山集团成立了岷山锌业公司等，这些既有一定规模企业的加入，为含锌废物回收利用的发展起到了极大的推动作用。

随着我国节能、低碳、环保意识的不断提升，国内再生锌企业科技发展现状呈现出积极的发展态势，‌特别是在技术创新和资源回收利用方面取得了显著进步。‌例如：云南祥云飞龙再生科技股份有限公司成功将自有专利技术“一种锌渣挥发窑提取氧化锌铅的方法”、“有机溶剂萃锌与湿法炼锌的联合工艺”转化为大规模生产项目；鑫联环保公司成功研发的“火法富集——湿法分离多段集成耦合技术”，使我国具有含锌废物回收利用的世界领先产业化技术，回收产品品质优良，填补了国际空白，达到了国际领先水平；‌四川盛屯锌锗科技有限公司拥有21项发明专利和44项实用新型专利，‌被确定为国家高新技术企业、‌四川省建设创新型企业。

#### 3.5.3.2生命周期各阶段描述

本标准对产品系统边界内生命周期各阶段进行了描述，包括了采矿、选矿、其他锌原料的获取、冶炼。根据不同的资源特点、我国锌行业生产特征及调研结果，对各种工艺路线进行了说明，见图6。

a

备料

焙烧

浸出—净化

锌电积

备料

焙烧

电炉熔炼

锌精馏

备料

烧结

密闭鼓风炉熔炼

锌精馏

烟化

铅精炼

b

c

铸锭

锌锭（锌合金锭）

铸锭

锌锭（锌合金锭）

铸锭

锌锭（锌合金锭）

铝、镁等

铝、镁等

铝、镁等

图6 以矿石为原料生产锌锭的主要工艺路线

（2）以锌二次物料为原料的生产工艺

由于资源的稀缺性，将锌二次物料作为原料已成为锌锭生产的重要补充。生产企业可以通过与锌精矿协同或单独处理含锌二次物料来生产锌锭。典型工艺见图7。

锌二次物料

火法富集

浸出—净化/萃取

锌电积

铸锭

再生锌锭（锌合金锭）

拆解、破碎、分选

火法富集

浸出—净化/萃取

锌电积

铸锭

再生锌锭（锌合金锭）

锌二次物料

图7 以锌二次物料为原料生产锌锭的主要工艺路线

**3.5.4取舍准则**

取舍准则是对碳足迹无实质性贡献或贡献很小的单元过程、物质流或能量流允许被排除而作出的统一规定。

本标准文件参照《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》的统一规定，提出的取舍准则为：在产品碳足迹量化过程中，可舍弃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产品碳足迹总量的5%。

## 3.6 生命周期清单分析

生命周期清单分析是产品碳足迹评价的核心工作内容，为便于操作，《标准》根据流程特点，对数据收集和分配提供了方法和建议。

**3.6.1数据收集和确认**

（1）分析流程

分析流程参照GB24044中生命周期清单分析的一般流程，即：

●数据收集；

●数据确认；

●数据与单元过程和声明单位的关联；

●系统边界调整

（2）数据和数据质量

本节对数据类型、数据质量要求和数据质量评价进行了描述，数据类型根据锌行业特点按来源和质量进行分类，见表5。

数据质量要求：参考了《GB/T XXXX-202X 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》，提出了时间跨度、地理覆盖范围、技术覆盖面、精度、完整性、代表性、一致性、可重现性等方面的要求。

数据质量评价：参考了《温室气体核算体系：产品寿命周期核算与报告标准》中对数据质量的定性评价，根据数据的技术、时间、地域、完整性、可靠性等方面条件，做出很好、好、中等、差等评价，并据此进行数据筛选。

表5 数据类型

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 类别 | 物料及数据清单 | 备注 |
| 现场特征数据 | 输入 | 原料消耗量 | 如：含锌矿、锌精矿、混合铅锌精矿、其他锌原料等。 | 初级数据 |
| 燃料消耗量 | 煤、焦炭、天然气、柴油等。 |
| 电力/热力 | 自产量和外购量。 |
| 其他耗能工质 | 水、氧气、氮气、压缩空气等。 |
| 辅料消耗量 | 如：采矿消耗的炸药、水泥等；选矿消耗的钢球、衬板、药剂等；冶炼消耗的石灰石、耐火材料等。 |
| 第三方服务结算量 | 如现场运输服务、废渣、废水委处置等。 |
| 输出 | 主产品量 | 粗锌、锌锭（锌合金锭）等产品的产量。 | 初级数据 |
| 共生产品量 | 含镓锗铟金银的中间产物等产量。 |
| 废弃物 | 现场产生的废渣。  排入环境的水量及排水水质。 |
| 温室气体直接排放 | 通过直接监测、化学计量、质量平衡或类似方法获得某一过程释放的排放量（或从大气吸收的清除量） |
| 背景数据 | | 外购材料、燃料和服务 | 1）供应商/服务商排放数据；  2）材料/服务生产活动相关数据；  3）公开或商业数据库的参数。 | 初级数据或次级数据  根据数据获取情况收集 |
| 电力/热力 | 1）供应商排放数据；  2）电力/热力的能源结构、输配电损失、燃料消耗量、燃料生产排放等参数。 |
| 运输分销 | 1）服务商的排放数据；  2）运输量、运输方式、运距、储存等参数。 |
| 共生产品采用系统扩展方式时 | 替代路线的相关参数 |

（3）初级数据收集

标准根据锌工业生产特点，对数据输入输出清单范围提出要求，包括现场特征数据和背景数据，并按生命周期或单元过程给出了采矿、选矿、冶炼、锌二次物料等数据收集的示例（见标准附录C）。

（4）次级数据收集

标准针对不同次级数据类别给出了外购商品、直接排放相关因子、运输等环节相关数据收集的指导，并在附录中给出了相关数据收集范例。数据选用方面，从数据权威性和可靠性考虑，推荐本土数据库。

基于长期开展的全球各国碳排放核算研究，目前已有7个发达国家机构形成了覆盖全球各国的权威碳排放数据库 。这些数据库核算结果已覆盖绝大部分国家的各类碳排放核算数据，并被各类研究机构广泛采纳、应用，至今已逐步形成了较为权威的国际话语权。

国外LCA数据库主要有瑞士Ecoinvent、欧洲生命周期文献数据库ELCD、德国GaBi扩展数据库（GaBi Databases）等。国内主要有中国生命周期数据库（CLCD）、清华大学天工LCA数据库等，生态环境部、工信部等国家部委和行业协会也在组织相关的数据库建设。

**GaBi数据库**是由德国的Thinkstep公司开发的LCA数据库，自称是目前全球范围内覆盖行业最多的LCI数据库，原始数据主要来源与其合作的公司、协会和公共机构。2022年发布的最新数据库包括了世界各国和各行业的17000汇总过程数据集，涵盖了建筑与施工、化学品和材料、消费品、教育、电子与信息通信技术、能源与公用事业、食品与饮料、医疗保健和生命科学、工业产品、金属和采矿、塑料、零售、服务业、纺织品、废物处置16个行业。

**Ecoinvent数据库**是由瑞士Ecoinvent中心开发的商业数据库，数据主要源于统计资料以及技术文献。Ecoinvent数据库中涵盖了欧洲以及世界多国7000多种产品的单元过程和汇总过程数据集，包含各种常见物质的LCA清单数据，是国际LCA领域使用最广泛的数据库之一，也是许多机构指定的基础数据库之一。

**ELCD数据**由欧盟研究总署(JRC)联合欧洲各行业协会提供，是欧盟政府资助的公数据库系统，ELCD中涵盖了欧盟300多种大宗能源、原材料、运输的汇总LCI数据集（ELCD 2.0版)，包含各种常见LCA清单物质数据，可为在欧生产、使用、废弃的产品的LCA研究与分析提供数据支持，是欧盟环境总署和成员国政府机构指定的基础数据库之一。由于欧盟直接采购市场上现有的商用数据库，目前ELCD数据库已经停止更新。

**中国生命周期数据库（CLCD）**，最初由四川大学创建，之后由亿科环境持续开发，是一个基于中国基础工业系统生命周期核心模型的行业平均数据库，目标是代表中国生产技术及市场平均水平。CLCD数据库成为国内唯一入选WRI/WBCSD GHG Protoca的第三方数据库，也是首批受邀加入欧盟数据库网络(ILCD)的数据库，是国内外LCA研究者广泛使用的中国本地生命周期基础数据库。通过亿科的进一步开发，如今的CLCD数据库包括国内600多个大宗的能源、原材料、运输的清单数据集。CLCD数据库建立了统一的中国基础工业系统生命周期模型，避免了数据收集工作和模型上的不一致，从而保证了数据库的质量。

**天工LCA数据库**，由清华大学环境学院副院长徐明教授发起，是由天工社区150余名行业专家联合构建，以开放、开源、共享、透明、可追溯为基本原则，汇集了涵盖我国55个行业、4000多单元过程的70000多条公开数据。

目前国内外LCA数据库较多，针对不同的研究需求应选择适合的数据库。虽然我国LCA研究起步较慢，但随着如今工信部绿色制造政策的推进，我国LCA研究得到了迅速发展。因此，建议在我国已有本土化LCA数据库的情况下，开展我国各行业LCA研究时，应首要选择代表本土化的数据库，保证数据的准确性和可比较性，如果不能满足需要再考虑国外数据库的使用。

（5）电力

电力是锌生产过程中的主要能源消耗，电力的生命周期排放取决于现场或电力供应商所采用的发电技术。标准根据电力来源，分别提出了内部发电、直供电力、电网电力提出数据收集的要求，与《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》相一致。

**3.6.2数据分配**

（1）分配程序

参考国际相关标准对数据分配的要求，提出了数据分配程序，当同时有几种备选的分配程序时，应通过进行敏感性分析来阐明背离所选方法的后果。

分配一般程序如下：

确定与其他产品系统共享的过程，并按照以下步骤进行处理：尽量避免分配（细分单元过程、系统扩展）→确定潜在物理关系，根据物理关系划分到不同产品中→分析其他关系，如经济价值关系。

根据Nicholas Santero & Josh Hendry提出的统一金属和采矿业的生命周期分析方法《Harmonization of LCA methodologies for the metal and mining industry》，标准提出：

任何情况下，只有当共生产品的长期平均价格比例大于4时，才能采用产品经济价值比例进行分配。如果同一过程有两个及以上的产品，则应以产品中价格最高的与价格最低的价格比例为判定基准。经济价值评估中使用的价格应是全球的长期平均值（通常为10年平均值），并需要说明数据来源（如LME、世界银行等）。当共生产品的长期平均价格比例小于等于4时，宜按质量比例关系进行分配（如金属量或实物质量）。

（2）推荐分配方法

在遵循分配程序的前提下，根据行业生产经营特征和数据获取情况，标准中对采矿、选矿、冶炼等单元过程中常见的共生产品给出推荐的分配方法，见标准附录D。具体包括：

A采矿：采矿过程中原矿和废石被一起采出，当废石作为副产品被销售给下游作为原料（如作建筑材料）时，废石是具有经济价值的，而不是废弃物，则排放数据应在原矿和废石之间进行分配。

鉴于很多情况废石产生量远大于矿石，按质量分配会导致与经济活动目的相背离的结果。采用经济价值分配，虽然能反应生产活动的目的，但未经选矿富集的锌矿石原矿直接市场交易的情况很少，缺少市场公允价值；而且废石的价格受区域市场供需影响存在较大波动和不确定性，采用经济价值分配缺乏可操作的支持条件。因此，推荐采用系统扩展的方法，即采用废石所替代的建筑原材料的碳足迹值，作为所研究产品系统的碳信用而从中扣除。

B选矿：锌矿常伴生于铅、硫、铁等有价元素。根据矿石性质和经济性，选矿流程会选择不同的选别工艺来把不同金属分选出来，最终输出锌精矿和其他矿产品（如铅精矿、锡精矿）。这种情况下，可根据选别工艺流程细分单元过程来进行分配，如把选铅工序分配给铅精矿，选锌工序分配给锌精矿，其他共用工序宜按经济价值进行分配。

C冶炼：

a)副产品硫酸/硫磺

火法冶炼烟气一般通过制酸方式获得硫酸产品或湿法冶炼通过制硫磺，并实现系统硫的开路。制酸/制硫磺系统作为独立的生产单元，一般很容易获得该单元的输入和输出，且该单元与硫酸/硫磺产品具有更直接的联系。从尽量避免分配角度，提出优先通过细分工艺过程来处理副产品硫酸/硫磺所分担的温室气体排放量和清除量，仅在无法获得独立制酸/制硫磺单元数据的条件下才能采用统扩展方法。

**关于副产品冶炼酸/硫磺分配方法的影响说明：**

冶炼制酸在中国占有相当大的比重，烟气制酸已经是工业硫酸领域的代表性路线。目前国际上经常推荐采用系统扩展的方法来处理，其原理是基于副产品节省或避免了另一个具有等效功能的产品系统，该方法应用的前提是存在其他代表性技术路线生产相同产品或等效功能产品。本标准提出优先通过细分工艺过程来处理副产品硫酸所分担的温室气体排放量和清除量，仅在无法获得独立制酸单元数据的条件下才能采用系统扩展方法。理由如下：

第一，冶炼酸作为硫酸生产的主要技术路线，如果直接采用系统扩展，则无法评价冶炼酸生产的环境影响。

第二，冶炼酸是副产含硫烟气的进一步加工所获得的产品。制酸系统与锌冶炼系统相对独立，与硫酸产品的关系更为紧密，其输入和输出是可以独立统计的，并且生产企业已经具备很好的统计基础，我国现有的硫酸和锌产品的能耗限额标准也是基于这样的前提。

第三，全球硫的主要来源是石油天然气的副产、煤化工副产、冶炼气副产，只有不到10%来自于天然硫和硫铁矿。系统扩展的路线选择存在一定的困难。

第四，针对工序过程细分和系统扩展（硫磺/酸路线）两种方式进行比较，估算结果显示对锌锭碳足迹的影响不到1%。

上述的对比分析存在一定局限性，如数据来源主要为次级数据。但主要的电耗、硫磺消耗具有代表性，一定程度上反映了两种方法的差异。具体评价中可结合实际情况进行分析。

b）镓锗铟金银等副产品

锌湿法冶炼过程产生置换渣等可通过综合利用提出金、银、镓、锗、铟、汞等有价金属，这些共生产品价格通常与锌锭产品价格差异较大（价格比例大于4），推荐按经济价值进行分配。

D锌二次物料冶炼过程：消费前锌二次物料：工业生产产生的锌二次物料，如性质未发生明显改变（如加工产生的边角料），宜按废料在废料供应企业锌原料的占比进行分配，进入使用该废料的产品系统中；如性质发生改变（如锌冶炼用氧化锌富集物），宜按这部分废料的经济价值占比进行分配，并计入其下游使用该废料的产品系统中。

消费后锌二次物料：废料回收主要是受回收材料的经济性驱动，为简化处理，终端产品生命末期处理和回收的排放可全部分配给后续使用回收废料的产品系统，即回收产品承担了生命末期处理和回收的排放。上一个产品系统不承担回收处理的排放，也不享受可回收材料的碳信用抵扣。

（3）关于敏感性分析的说明：

敏感性分析是一个确定变化(例如在数据和方法学的选择上发生的变化)对LCIA结果的影响程度的流程。敏感性分析的程序是将使用某些给定的假设、方法或数据所获得的结果 与使用改变了的假设、方法或数据所获得的结果进行对比。敏感性分析可以参照GB 24044 《环境管理 生命周期评价 要求与指南》附录B进行。

**3.6.3取舍准则**

取舍准则在系统边界中已有规定，并应在此范围内考虑特定单元过程及其子单元过程的所有数据集。建议收集100%的单元过程相关资料，因此，设备/设施的定期维护应包括在内。针对无法获取适用于消耗品的排放因子，建议选取同一类别中最大的贡献者(质量)作为其他物质的代表。

**3.6.4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（可参照附录E中表E.1），展示每声明单位产品在每个阶段/单元过程中的资源使用（如能源、水、原材料），以及释放到环境中的排放物（如温室气体、废水、固体废物）。

## 3.7影响评价

（1）GWP的选取

参照国际通用选取原则，提出应通过排放或清除的温室气体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。

（2）CFP的计算

生命周期各阶段的碳足迹计算公式：

生命周期碳足迹汇总公式：

（3）数据分析

为识别重大影响，提出贡献度分析。同时对绩效追踪提出建议。

贡献度分析：对生命周期各阶段排放占比进行分析，识别关键环节，有助于引导企业在重要阶段做出减排策略；

绩效追踪：为满足企业检查减排策略的效果，本标准对绩效追踪产品碳足迹量化提出要求。

（4）更新要求

规定产品碳足迹数据更新的最低要求为每五年，在发生下列重大变化时应更新一次：

A 生产发生结构性变化，包括操作中的重大工艺变化、技术进步、原材料或能源输入/输出。重大变化通常包括冶炼工艺变化，如冶炼炉窑炉型、数量、规格变化；原辅材料（含锌二次物料）、燃料变化；废气、废水处理工艺变化；危险废物处置方式变化等。

B 计算方法发生变化，如：全球增温潜势值或收集数据的准确性提高，纳入新的对排放数据产生重大影响的数据源。

C 发现重大错误，或累积起来的重大错误。

（5）绩效追踪

为满足企业检查减排策略的效果，本标准对绩效追踪产品碳足迹量化提出要求。

## 3.8 结果解释

提出产品碳足迹研究的生命周期解释阶段的步骤包括：根据量化结果，识别重大问题；完整性、一致性和敏感性分析；结论、局限性和建议的编制。

规定产品碳足迹量化结果应解释的内容包括：各阶段碳足迹说明，不确定性分析，详细的分配程序，系统划分方法，结果局限性等。

## 3.9 产品碳足迹报告

规定了产品碳足迹报告内容，包括：

（1）基本情况

（2）评价目标

（3）量化范围

（4）清单分析

（5）影响评价

（6）结果解释

## 3.10产品碳足迹声明

可按照GB/T 24025-2009或ISO14026:2017的规定开展产品碳足迹声明或信息交流，使具有同样功能的产品之间进行比较。

## 3.11附录

附录A-F均为资料性附录。

附录A提供了锌锭生产主要工艺流程简图。

附录B提供了数据质量评价的参考。

附录C提供了数据收集的示例，包括：表C.1至表C.5根据锌生产工艺流程，针对不同单元提出了现场特征数据收集范例，列出现场特征输入输出清单；表C.6至表C.11是背景数据收集的范例，包括外购商品、外购服务和运输的数据收集。

附录D根据锌锭生产特点和分配原则，针对具体副产品提出的推荐分配方法。

附录E是为规范报告编制内容而提供的碳足迹评价报告的简单模板。

附录F是按照政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告给出的100年全球变暖潜势（GWP）。

## 3.9主要试验和验证情况分析

标准编制组计划从参编单位中选取一两家，对企业锌采选冶全流程开展调研和标准验证工作，反馈标准的可操作性。

重点调研内容：工艺流程、物质流、能源流以及分配情况。

验证工作：根据数据收集情况，验证标准的可操作性，分析工艺环节影响的重要性和贡献率。在此基础上，对标准的一些细节问题做出修正。

# 四、预期的经济效益、社会效益和生态效益；

铅锌矿山采选以及锌冶炼业作为一个环境敏感型和资源依赖型的传统行业，与实施绿色制造工程密切相关。推动绿色增长、实施绿色新政是全球主要经济体的共同选择，推进绿色发展是提升国际竞争力的必然途径。锌锭产品碳足迹的建立能够树立绿色产品的示范作用，着力解决行业内部的资源环境问题，充分发挥行业带动作用，具有显著的环境效益、经济效益和社会效益。

经济效益：

根据《碳排放权交易管理办法（试行）》第五章 排放核查与配额清缴，重点排放单位应当根据生态环境部制定的温室气体排放核算与报告技术规范，编制该单位上一年度的温室气体排放报告，载明排放量，并于每年3月31日前报生产经营场所所在地的省级生态环境主管部门。同时，重点排放单位编制的年度温室气体排放报告不但应当定期公开，还要接受省级生态环境主管部门的核查，并作为碳排放配额清缴依据。

本标准的实施有利于推进经济社会发展实现全面绿色转型、推动锌冶炼行业产业结构优化升级，实现节能减排，深化能源体制机制改革。同时有助于帮助企业摸清生产环节碳排放情况，为即将到来的温室气体排放报告核查和碳排放交易清缴政策提前做好准备；帮助企业实现节能降碳技术创新，领先于行业标准，提供企业核心竞争力。可为企业识别有效且成本可控的减排机会，可以更好的帮助企业确定在节能减排和技术升级上的投入，提升企业运营效率，节约企业生产成本。

社会效益：

实现碳达峰、碳中和是党中央在复杂的国内外形势下作出的重大战略决策。能源、工业、交通、建筑等重点领域和钢铁、建材、有色、化工、石化、电力、煤炭等重点行业是碳达峰目标和碳中和愿景实现的关键。在国内，重点排放单位拒绝履行温室气体排放报告义务或在配额清缴、报告过程中存在作弊行为的，国家将责令限期改正，计入征信系统，且按犯规严重程度予以不同级别的处罚。我国立法机关制定的节能法、循环经济促进法、清洁生产促进法等法律法规，规定了一系列关于减少二氧化碳排放的法律措施和法律责任条款。

本标准的实施为企业积极响应国家或地方对于碳减排的相关政策要求，树立行业标杆，体现社会责任感，树立良好的商业形象，吸引投资者、消费者及员工，从而有利用企业的长期可持续发展。为锌冶炼企业摸清家底，充分了解自身锌锭碳排放状况，提前掌握自身的主动权，规避未来的履约风险。促进企业减少碳排放，实现节约能源资源，为降本增效提供新的思路和途径，有效应对绿色低碳转型可能伴随的经济、社会风险，确保安全降碳，从而进一步提升国际社会责任及提高国际社会形象。

# 五、采用国际标准和国外先进标准的情况

本标准没有采用国际标准。

本标准制订过程中未查到同类国际、国外标准。

# 六、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本标准与现行法律、法规、规章和相关标准协调一致，标准的格式和表达方式等方面完全执行了现行的国家标准和有关法规，符合GB/T 1.1的有关要求。。

# 七、重大分歧意见的处理经过和依据

标准暂未有重大分歧意见。。

# 八、涉及专利的有关说明

本标准不涉及专利问题。

# 九、贯彻标准的要求和措施建议

本标准的技术内容是推荐性的，建议标准发布后即可实施，建议本标准由各级人民政府的工业和信息化行政主管部门负责监督实施。

本次制定的《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》，不仅与生产企业有关，而且与评价机构、行业监督管理部门等相关。对于标准使用过程中可能出现的问题，起草单位有义务进行必要的解释。

# 十、废止现行有关标准的建议

本标准为首次制定，无代替标准。

# 十一、其他应予说明的事项

本标准在使用过程应首先仔细调研产品产业链和供应链，采用本标准的方法收集和梳理数据，并结合GB 32150《温室气体排放核算与报告要求》、国家发展改革委发布的24个行业企业温室气体核算方法与报告指南（试行）等组织层面的核算方法，完成锌锭及前序产品碳足迹的核算工作。

鉴于锌锭碳足迹核算是一项全新的工作，本标准在实践使用过程中可能存在不足，希望相关使用单位能及时反馈，以便后续不断完善。

《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 锌锭》

标准编制组 2024年08月