

附件5

《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 通用硅酸盐水泥（征求意见稿）》

编制说明

标准编制组

二〇二五年三月

目 录

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 行业概况及标准制订必要性.....	2
2.1 水泥行业概况.....	2
2.2 标准制订必要性.....	5
3 国内外相关标准情况的研究.....	6
3.1 主要国家、地区及国际组织相关标准情况的研究.....	6
3.2 国内相关标准情况的研究.....	7
3.3 本标准与国内外同类标准或技术法规的对比.....	8
4 标准制订的基本原则和技术路线.....	8
4.1 标准制订基本原则.....	8
4.2 标准制订技术路线.....	9
5 标准主要技术内容.....	9
5.1 标准适用范围.....	9
5.2 标准结构框架.....	9
5.3 术语和定义.....	10
5.4 标准主要技术内容确定的依据.....	10
5.5 企业案例试算.....	14
6 标准实施建议.....	16

1 项目背景

1.1 任务来源

根据《2030年前碳达峰行动方案》《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》关于探索建立重点产品全生命周期碳足迹标准有关要求，生态环境部印发《关于建立我国碳足迹管理体系的实施方案》（环气候〔2024〕30号），明确提出优先聚焦电力、煤炭、水泥、玻璃、锂电池、新能源汽车、光伏和电子电器等重点产品制定发布产品碳足迹核算规则标准。为此生态环境部立项编制《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 通用硅酸盐水泥》，项目编号为2024-60。项目由中国环境科学研究院承担，联合相关单位开展项目编制工作。

1.2 工作过程

（1）成立标准编制组

2024年4月，按照总体研究计划组建标准编制工作组，由中国环境科学研究院、湖北工业大学、中国水泥协会、重庆市生态环境科学研究院、山东省生态环境规划院、中国标准化协会联合承担标准编制工作。讨论确定了标准的主要内容及分工，制定了标准编制计划，确保各项任务有序推进，设立工作组组长，负责整体工作的推进、协调与沟通。

（2）碳足迹标准现状和行业概况调研

2024年4月-5月，标准编制组收集和整理了国内外关于碳足迹的政策法规、标准体系、核算方法等方面的资料；同时系统梳理了通用硅酸盐水泥企业生产及温室气体排放情况，通过会议、访谈等方式，梳理出当前我国通用硅酸盐水泥产品碳足迹标准存在的主要问题，如边界不统一、协同性差、标准适用性及可操作性差等。

（3）编制开题论证报告和标准草案

2024年5月，标准编制组先后组织多次标准内部研讨会，就标准的系统边界、数据取舍、数据收集原则、核算方法等主要内容进行反复研讨，形成了标准开题论证报告和标准草案。

（4）开题论证

生态环境部环境标准研究所组织召开标准开题论证会，组织相关专家对开题论证报告和标准草案进行了论证，会议通过了该标准的开题论证，并提出了下一步的工作建议。

（5）企业调研与碳足迹因子研究

2024年6月-8月，标准编制组先后开展了文献调研和国内外碳足迹因子数据库比对等工作，梳理通用硅酸盐水泥产品碳足迹核算所需的原辅材料、能源、运输等因子需求。标准编制组对华东、西南、西北等地区的水泥生产企业开展了调研和活动水平数据收集，进行了碳足迹因子的优化和企业试算，并组织标准编制组开展研讨。

（6）编制标准征求意见稿及编制说明

2024年9月-10月，标准编制组多次组织召开内部研讨会，就标准的主要技术内容等关键问题进行研讨，并形成了标准征求意见稿初稿及编制说明初稿。

（7）召开标准征求意见稿技术审查会

2024年10月31日，组织召开了《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 通用硅酸盐水泥》征求意见稿技术审查会，审查专家组听取了标准编制组对标准文本和编制说明的汇报，一致同意通过该标准征求意见稿技术审查，并提出了完善建议。

2024年11月-至今，标准编制组根据专家意见对标准进一步修改完善，形成了《温室气体 产品碳足迹量化方法与要求 通用硅酸盐水泥》（征求意见稿）及编制说明，向社会公开征求意见。

2 行业概况及标准制订必要性

2.1 水泥行业概况

2.1.1 行业基本情况

水泥是社会经济发展所必需的基础性原材料，在全球范围内被广泛应用。2023年，全球的水泥产量达到了40.72亿吨的规模，其中，我国水泥产量为20.23亿吨，占据了全球总产量的49.68%；2024年，我国水泥产量为18.25亿吨，占全球总产量的44.8%，彰显了我国在全球水泥生产领域的显著地位。自1985年以来，我国水泥产量已经连续39年稳居全球首位。

2014年，我国水泥产量达到历史性的峰值（24.8亿吨）。2015年至2024年间，全国水泥产量在18亿吨至24亿吨之间波动。值得注意的是，随着高标号水泥使用比例的增加，尽管水泥消费总量趋于稳定，水泥熟料的消费量仍呈现小幅增长趋势。然而，在新冠疫情与市场环境的双重冲击下，2022年全国水泥产量遭遇了低谷，达21.18亿吨，这一降幅更是创下了1969年以来的最高纪录。尽管如此，我国人均水泥消费量仍高达约1500千克，显著高于发达国家人均220千克至500千克的水泥消费峰值。

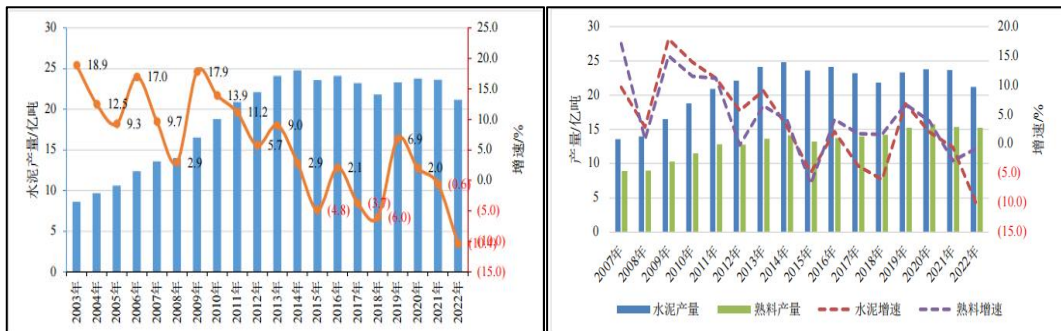


图 2-1 2003—2022 年中国水泥产量及熟料增速情况（数据来源：国家统计局）

具体来看，2024年12月单月水泥产量为1.55亿吨，同比下降2.0%。与2023年相比，2024年水泥产量减少了1.98亿吨，降幅接近10%，反映出水泥行业在2024年面临一定的发展压力。面对市场需求的持续疲软、产能过剩、环保投入和碳减排压力大等问题，水泥行业目前急需找到一条突破困境的道路。

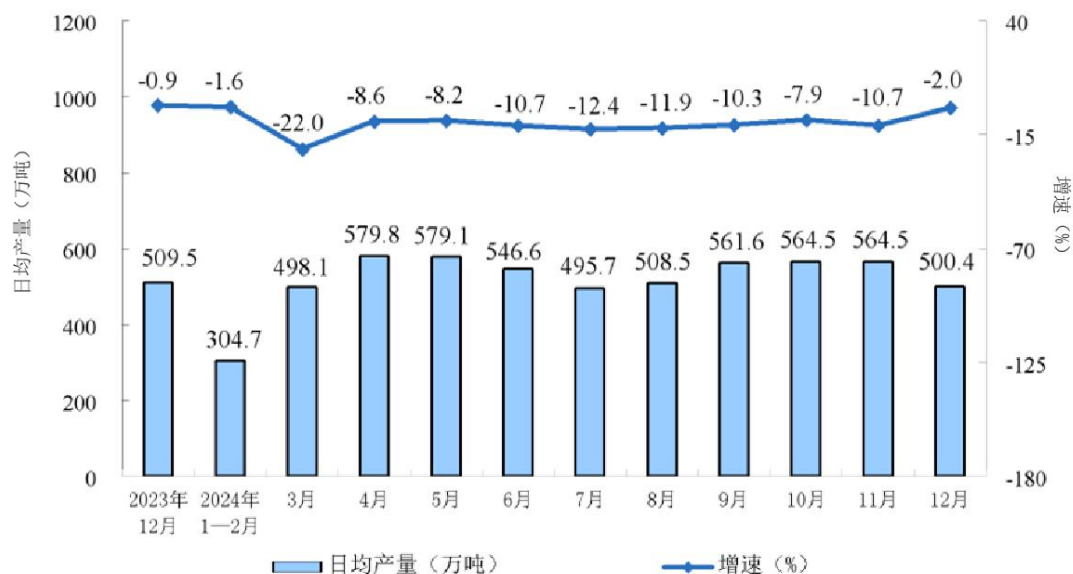


图 2-2 2024 年规上工业水泥同比增速及日均产量（来源:水泥网）

水泥的生产消耗大量煤炭、柴油、电力等能源以及石灰石等原材料，是我国能源消耗、碳排放量和污染物排放量较高的工业之一。2023 年水泥行业的碳排放占全球人为二氧化碳排放总量的 7.5%，我国水泥行业碳排放占人为二氧化碳排放总量高达 13.75%，在所有行业中位居第三，仅次于电力和钢铁行业，具备高碳属性，使其成为工业实现“双碳”目标需要重点关注的领域。水泥行业的碳减排是实现“双碳”目标的重点工作，从碳排放量看，自 2020 年我国水泥行业二氧化碳排放量达到 12.3 亿吨的峰值后，2021 年、2022 年连续两年下降，2023 年我国水泥行业的碳排放量为 12.1 亿吨，占全国碳排放总量的 9.6%，在全国碳排放总量中占有不可忽视的比例，凸显了水泥行业在碳减排方面的紧迫性和重要性。

2.1.2 生产工艺情况

通用硅酸盐水泥可分为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥，其中普通硅酸盐水泥在六大类通用硅酸盐水泥中占据主导地位。

通用硅酸盐水泥被广泛应用于建筑、交通、水利等诸多基础设施发展领域。2022 年，通用硅酸盐水泥占水泥生产总量的比例超过了 70%，其产量与应用广度均遥遥领先。

中国水泥行业已近 91%采用新型干法技术，规模和技术装备水平均达国际先进水平。新型干法水泥生产通常分为生料制备、熟料煅烧和水泥粉磨 3 个阶段。

第一阶段（生料制备）：石灰质原料、粘土质原料与少量校正原料经破碎后，按一定比例配合、磨细并调配为成分合适、质量均匀的生料；

第二阶段（熟料煅烧）：生料经预热器或预分解系统预热/分解后，在水泥窑内煅烧至部分熔融所得到的以硅酸钙为主要成分的水泥熟料；

第三阶段（水泥粉磨）：熟料加入适量石膏，有时还有一些混合材料或外加剂共同磨细成为水泥成品。

新型干法水泥生产工艺如图 2-3 所示。

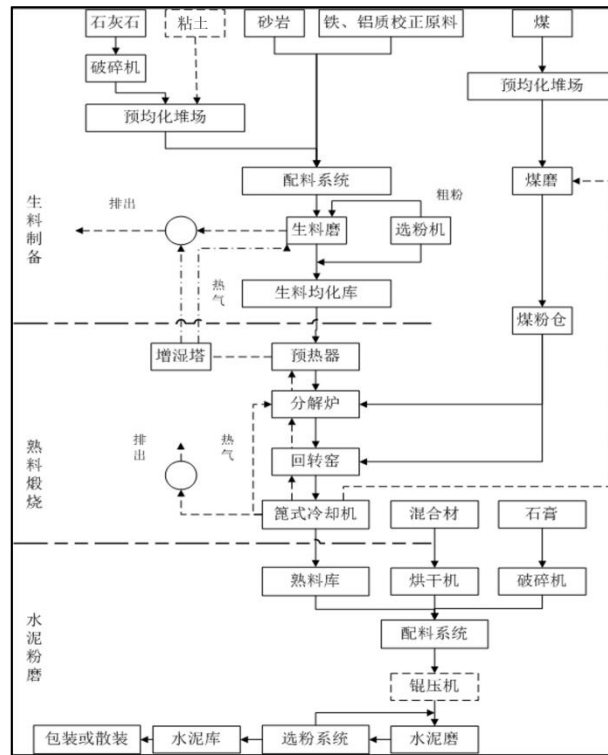


图 2-3 新型干法水泥生产工艺流程图

2.1.3 温室气体排放情况

水泥行业是我国仅次于电力和钢铁行业的第三大碳排放行业，我国水泥行业能源消费约占建材行业的 70%-80%，2023 年碳排放量约占全国碳排放总量的 10%。水泥行业作为建材领域的碳排放大户，面临国际和国内政策收严以及产能过剩与淘汰的压力，降碳需求尤为迫切。

水泥生产的工序过程碳排放如图 2-4 所示，在水泥生产过程中，碳排放主要源于水泥熟料的煅烧环节。熟料作为水泥生产的关键中间产品，其生产过程涉及将石灰石与其他配料混合形成的生料在高温环境下进行煅烧，使其经历复杂的物理化学变化。在煅烧阶段，生料中的碳酸钙和碳酸镁会分解，进而释放出二氧化碳。石灰石在煅烧转化为生石灰的过程中，所释放的二氧化碳在整个生产过程碳排放总量中的占比高，约为 55%至 70%。燃烧燃料所产生的二氧化碳大约占全生产过程碳排放总量的 25%至 40%。

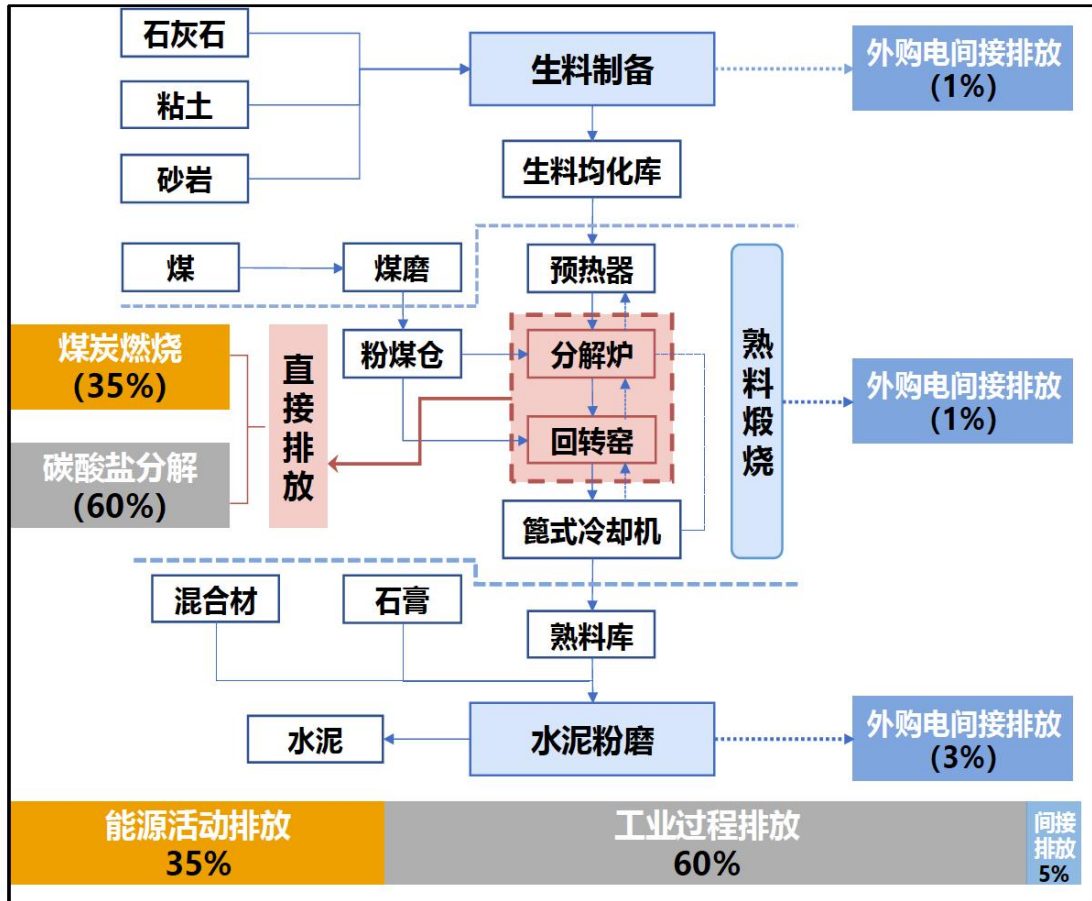


图 2-4 水泥生产各个过程中的碳排放

2.2 标准制订必要性

(1) 落实国家相关政策的需要

党的二十届三中全会《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》强调“构建碳排放统计核算体系、产品碳标识认证制度、产品碳足迹管理体系”。《2030年前碳达峰行动方案》提出探索建立重点产品全生命周期碳足迹标准。2022年，国家发展改革委、国家统计局、生态环境部印发的《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》中提到，由生态环境部行业主管部门研究制定重点行业产品的原材料、半成品和成品的碳排放核算方法，优先聚焦电力、钢铁、电解铝、水泥、石灰、平板玻璃、炼油、乙烯、合成氨、电石、甲醇及现代煤化工等行业和产品，逐步扩展至其他行业产品和服务类产品。推动适用性好、成熟度高的核算方法逐步形成国家标准，指导企业和第三方机构开展产品碳排放核算。

(2) 建立我国碳足迹管理体系的需要

2024年6月生态环境部等15部门印发了《关于建立碳足迹管理体系的实施方案》（环气候〔2024〕30号，简称《方案》），提出到2027年，碳足迹管理体系初步建立，制定出台100个左右重点产品碳足迹核算规则标准，产品碳足迹因子数据库初步构建，产品碳足迹标识认证和分级管理制度初步建立，重点产品碳足迹规则国际衔接取得积极进展。同时，《方

案》明确提出了要编制水泥等重点产品碳足迹核算标准。本标准的制定能够帮助水泥企业更准确地计算和管理其产品的碳排放，对于促进企业可持续发展、增强市场竞争力以及响应全球气候变化挑战具有重要的意义。

（3）提升我国水泥企业国际竞争力

水泥产品对全球经济发展至关重要，同时也是能耗和碳排放大户。中国作为水泥产销大国，是实现“双碳”目标的关键领域。开展水泥产品碳足迹研究，对于推动水泥行业的绿色发展、应对环境挑战、促进绿色消费、应对国际贸易壁垒以及提升企业形象等方面都具有重要意义，不仅有助于企业实现节能减排、降低生产成本，更是企业积极履行社会责任、倡导绿色采购理念的关键举措，还能显著提升我国水泥产品在国际市场上的竞争力，为企业的可持续发展奠定坚实基础。

3 国内外相关标准情况的研究

3.1 主要国家、地区及国际组织相关标准情况的研究

（1）英国

《PAS 2050》，全称“PAS2050:2011 产品与服务生命周期温室气体排放的评价规范”，为企业提供一种一致的方法评估产品生命周期内温室气体的排放。它建立在生命周期评价(LCA)方法、ISO 14040 及 14044 标准之上，关注产品生命周期中产生的温室气体排放，而不包含社会和经济影响（如生物多样性、用水、劳工标准和其他产品影响）。《PAS 2050》是一种标准化的方法，用于评估产品的碳足迹。该标准主要应用于核算与评估产品和服务在完整生命周期（即从原材料采集、加工生产、市场分配与销售、消费者使用直至废弃后的废物处理）中所产生的温室气体排放量。

（2）美国

2022 年，美国国际法规委员会评估服务（ICC-ES）评估委员会一致通过的 AC529 认证标准是一种新的低碳水泥认证标准，要求低碳水泥生产企业公开其生产过程中的二氧化碳排放数据和环境影响报告，是一种国际的认证体系，得到了多个国际组织和行业协会的认可和支 持，在全球范围内得到了广泛认可。

（3）欧盟

产品环境足迹（Product Environmental Footprint, PEF）是欧盟提出的一种计算产品总体环境影响的方法学，旨在全面评估产品在其生命周期中对环境的影响。PEF 体系是目前全球较详尽的碳足迹及生命周期评估（LCA）方法，涵盖 16 种资源环境影响类型，如气候变化、酸化、臭氧层消耗、水资源消耗和富营养化等。产品环境足迹指南是欧盟官方的生命周期评价（LCA）标准与认证体系，包含碳足迹核算与碳标签认证。该方法学主要应用于产品供应链上的所有环节，包括从资源开采、初级原料和能源生产，以及产品生产、使用到废弃再生的产品生命周期全过程。

（4）世界资源所（WRI）与世界可持续发展工商理事会（WBCSD）

2011 年 10 月，WRI 和 WBCSD 联合制定了 GHG Protocol，全称为“产品生命周期核算和报告标准”。GHG Protocol 标准根据生命周期评价标准（ISO14044）制定，用于评测

产品的生命周期碳排放报告，旨在帮助企业或组织针对产品设计、制造、销售、购买以及消费使用等环节制定相应的碳减排策略。

(5) 国际标准化组织 (ISO)

2013 年国际标准化组织 (ISO) 发布了 ISO14067，该标准为产品碳足迹量化、报告和验证的国际标准，旨在通过生命周期评估 (LCA) 方法，统一全球范围内产品碳足迹的核算规则。在 ISO14067 中，产品碳足迹的定义为基于生命周期法评估得到的一个产品体系中对温室气体排放和清除的总和，以二氧化碳当量表示其结果。在计算产品碳足迹时，需要覆盖产品的整个生命周期，包括原材料的获取、生产、运输、销售、使用、废弃处理等各个阶段。



图 3-1 主要国家、地区及国际组织产品碳足迹标准研究进展

3.2 国内相关标准情况的研究

目前国内针对水泥产品碳足迹的相关标准、技术规范等有一定的研究基础，如《通用硅酸盐水泥 低碳产品评价方法及要求》《产品生命周期评价技术规范 水泥》《企业温室气体排放核算与报告指南 水泥行业》等，为水泥行业的绿色转型和可持续发展提供了有力支撑。

《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》(GB/T 24067-2024) 由市场监管总局 (国家标准委) 批准发布，通则标准主要借鉴国际标准化组织 (ISO) 发布的 ISO 14067 国际标准，采用与国际通行的生命周期评价标准 (GB/T 24040 和 GB/T 24044) 一致的方式，规定了产品碳足迹的研究范围、原则和量化方法等，为产品碳足迹核算方法和数据国际交流互认打下基础。

《通用硅酸盐水泥 低碳产品评价方法及要求》(CNCA/CTS0017-2014) 由中国质量认证中心和中国建筑材料检验认证中心联合发布。该标准顺应我国低碳产品认证制度的构建趋势，并严格遵循国家发展改革委的总体规划和指导，旨在精准评估通用硅酸盐水泥的碳排放

水平，以此作为低碳产品认证的核心依据，同时为企业提供详尽的指导，准确计算通用硅酸盐水泥的碳排放量，进一步推动绿色低碳生产。

《产品生命周期评价技术规范 水泥》（T/CBMF29-2018）由中国建筑材料联合会发布，为水泥产品生命周期评价提供了详尽的准则和具体执行要求。该标准明确界定了评价的系统边界，从原料和能源的采集，到运输过程的跟踪，再到产品的生产过程，直至产品最终出厂，均被纳入评价范围。这一规范主要适用于通用硅酸盐水泥的生命周期评价工作，为行业内的环境管理和可持续发展提供了有力的技术支撑。

《企业温室气体排放核算与报告指南 水泥行业》（CETS-AG-02.01-V01-2024）由生态环境部于 2024 年 9 月 14 日正式发布，该指南明确了水泥熟料生产企业温室气体排放的核算界限，从原料燃料进厂直至熟料入库。核算内容覆盖了主、辅生产流程。指南详述了水泥企业温室气体排放的核算与报告标准，强调生产数据核实与质量控制。该指南助力水泥企业碳排放的精准核算。

3.3 本标准与国内外同类标准或技术法规的对比

关于相关术语与定义，参照 ISO 14067、PAS 2050、GB/T 24067-2024 等国内外标准，同时与国内已发布标准中给定的尽可能保持一致。本标准主要依据《温室气体 产品碳足迹量化要求和指南》（GB/T 24067-2024）的基准原则进行编制，但是不同行业工艺不同，碳足迹量化的系统边界、量化方法不同，目前通则在水泥产品碳足迹量化过程中内容应用和技术适用性上存在局限性，如系统边界的划分、各阶段排放量计算方法不够明确。

针对系统边界，国内外标准在系统边界划定方面，更加注重完整性和一致性，更广泛考虑生命周期阶段和影响因素，以确保碳足迹计算的全面性和准确性。本标准系统边界确定为从“摇篮”到“大门”，包括原材料与能源获取和生产阶段，边界的划定考虑产品的主要环节和关键影响因素。针对核算方法，本标准给出了通用硅酸盐水泥产品不同生命周期阶段碳足迹量化方法。

4 标准制订的基本原则和技术路线

4.1 标准制订基本原则

本标准的制订严格遵循生命周期的核心理念，通过整理融合与通用硅酸盐水泥生产行业碳排放相关的政策、法规、技术指南和标准等资料，在充分考虑我国水泥产品生产行业现状的基础上，标准编制组遵循以下原则：

（1）注重标准的科学性。本标准与《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》（GB/T 24067-2024）保持统一，考虑国内市场的特殊性和企业实际操作的能力。本标准的制订基于大量文献研究、实地调研和实践经验总结，充分调研、分析和评估相关材料、数据和信息，确保标准的科学性和可靠性。

（2）注重标准的系统性。本标准遵循 ISO 14067、PAS 2050 等产品碳足迹标准通则的框架，在功能单位、系统边界、取舍准则等重要内容方面充分考虑了水泥行业特性，增强了通用硅酸盐水泥产品碳足迹量化的系统性和可行性。

(3) 注重标准的适用性。借鉴国内外生命周期相关标准，充分考虑了水泥行业的当前发展状况，特别是通用硅酸盐水泥产品的全生命周期特性，建立碳足迹核算评价方法，提供计算公式及各生命周期阶段数据收集清单，并对重点企业多种产品进行验证，确保标准适用性和实践可操作性。

(4) 注重标准的规范性。本标准按照《环境保护标准编制出版技术指南》(HJ 565-2010)的要求和规定编写。

4.2 标准制订技术路线

本标准编制采用如下图 4-1 所示技术路线。通过国内外相关文献和标准的调研以及行业企业交流等，初步形成标准制订原则和框架结构，确定标准主要技术内容，包括碳足迹量化核算的功能单位、系统边界、核算方法、数据质量评估以及碳足迹缺省因子等，编制形成标准草案，收集企业活动水平数据并根据本标准草案进行案例试算，根据试算结果，优化完善标准草案，形成标准征求意见稿和编制说明。最后公开征求社会意见之后，修改完善标准和编制说明，形成标准送审稿和报批稿。

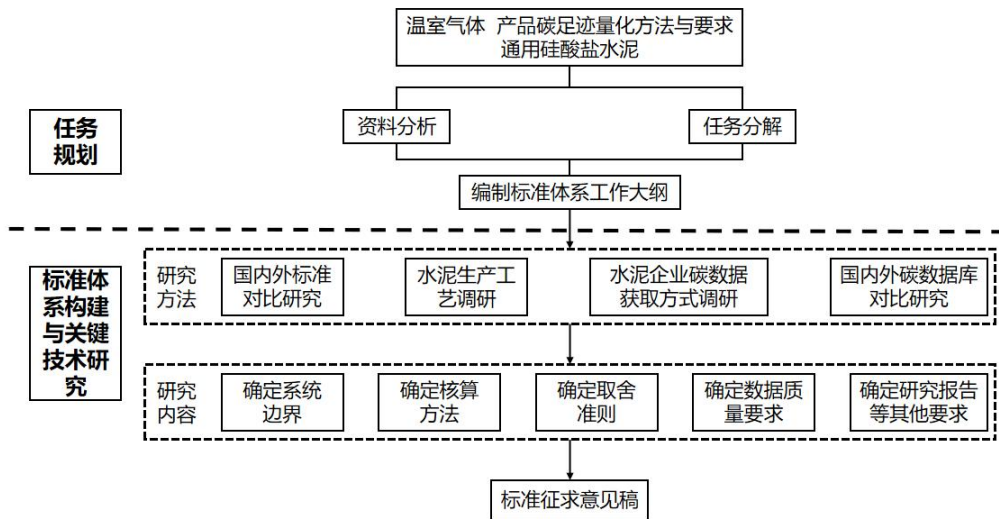


图 4-1 标准制订技术路线图

5 标准主要技术内容

5.1 标准适用范围

本标准规定了通用硅酸盐水泥产品碳足迹量化的方法和要求，包括量化目的和范围、清单分析、影响评价、结果解释、产品碳足迹报告等内容。本标准适用于通用硅酸盐水泥产品或硅酸盐水泥熟料。

考虑到国家对碳足迹管理工作的需要，本标准可以支撑产品碳足迹绩效评价、产品碳足迹信息披露、环保信息公开等工作。

5.2 标准结构框架

本标准分为正文和附录两部分。正文包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、量化目的和范围、清单分析、影响评价、结果解释和产品碳足迹报告 8 个章节，附录对数据收集清单、数据质量评价方法、相关参数、温室气体全球变暖潜势、产品碳足迹报告模板进行了规范和说明。

量化目的和范围、清单分析、影响评价为标准的核心内容，其中量化目的和范围包括产品范围、时间范围、功能单位（1 吨通用硅酸盐水泥产品或 1 吨硅酸盐水泥熟料）和系统边界（原材料与能源获取阶段和生产阶段）；清单分析定义了数据收集、数据质量要求（初级数据质量要求和次级数据质量要求）、数据选择要求（活动水平数据选择和碳足迹因子选择）、数据审定和数据分配；影响评价提出了通用硅酸盐水泥产品碳足迹的计算方法和公式，包括原材料与能源获取阶段和生产阶段碳足迹核算的计算方法和公式。

5.3 术语和定义

本标准术语和定义共有 5 个，其中产品碳足迹采用了《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》（GB/T 24067-2024）中的定义，指的是产品系统中的温室气体排放量和温室气体清除量之和，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；产品碳足迹因子的定义由标准编制组和专家共同商议后确定，指的是单位产品在系统边界内的生命周期温室气体排放量和温室气体清除量之和，以二氧化碳当量每单位产品表示。此外，《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》（GB/T 24067-2024）界定的其他术语和定义适用于本标准。值得注意的是，因子通常理解为单位产品污染物或温室气体排放量，本标准结合产品碳足迹核算工作的实际需要，重点增加了系统边界、全生命周期两个限制性描述，增强了核算工作的统一性、可比性和可操作性。

5.4 标准主要技术内容确定的依据

5.4.1 功能单位

本标准定义功能单位为“1 吨通用硅酸盐水泥产品或 1 吨硅酸盐水泥熟料”。本标准既适用于硅酸盐水泥熟料（水泥生产的中间产物），也适用于通用硅酸盐水泥产品（水泥生产的最终产品）。

5.4.2 系统边界

考虑到通用硅酸盐水泥作为中间产品而非终端产品的性质，本标准借鉴国内外研究经验，将系统边界设定为从“摇篮”到“大门”，包括原材料与能源获取阶段（A1-A2）和生产阶段（B1-B2），通用硅酸盐水泥产品碳足迹量化系统边界见图 5-1。

本标准充分考虑水泥熟料的不同来源情况（全部自产、部分外购、全部外购）对通用硅酸盐水泥产品碳足迹量化的影响，若存在熟料外购情况（部分外购或全部外购），则将外购的水泥熟料视为原材料。

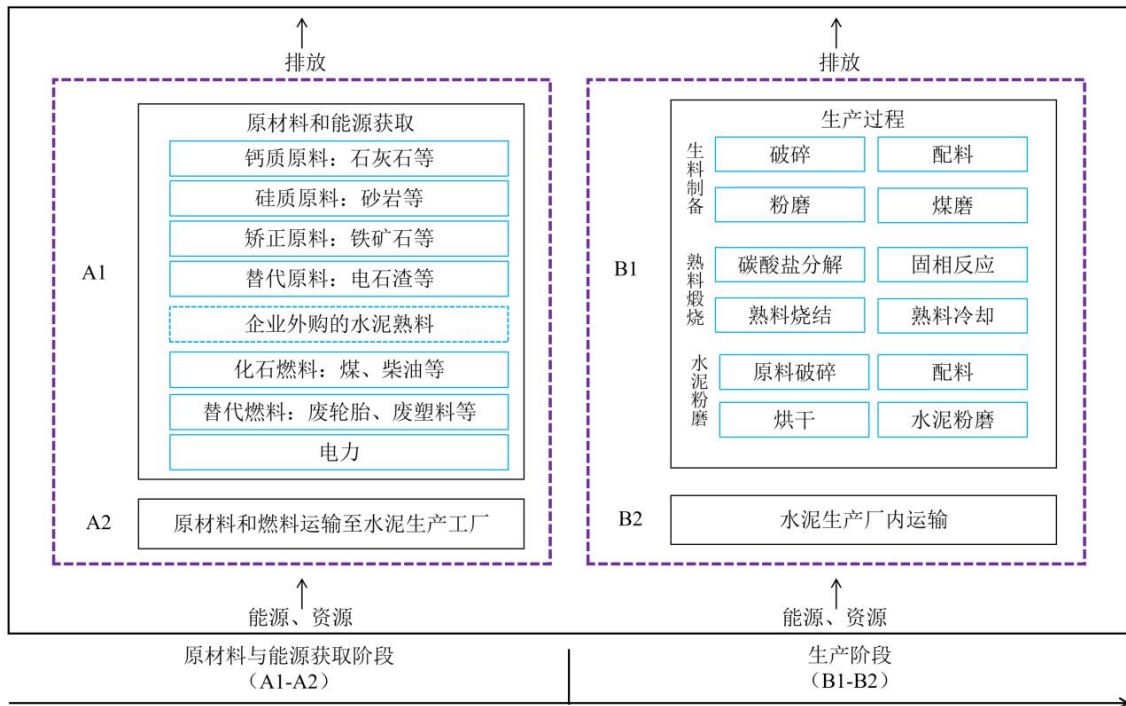


图 5-1 通用硅酸盐水泥产品碳足迹量化系统边界图

5.4.3 取舍准则

本标准中的取舍准则主要依据GB/T24067-2024和GB/T 24044-2008。通用硅酸盐水泥系统边界内所有的能源输入均需列出，当个别物质流或能量流对某一过程的碳足迹无显著贡献时，可将其作为数据排除项予以舍去并进行报告。舍去的单项物质流或单元过程对产品碳足迹的贡献均不超过1%；所有舍去的物质流与单元过程对产品碳足迹贡献总和不超过5%；道路与厂房等基础设施建设、各工序的设备安装、厂区内人员及生活设施涉及的消耗和排放，均不计入；对于排除项，应在产品碳足迹报告中予以说明。

5.4.4 数据收集要求

根据通用硅酸盐水泥产品的系统边界，收集系统边界内相关阶段及过程的能源、资源消耗和温室气体排放相关初级数据和次级数据。按照标准文本附录 A 中数据收集清单要求，数据收集应包括企业名称、所在省市、企业地址、数据统计周期、联系人和联系方式、产能及生产线数量、产品类别及主要规格型号和产品产量等企业信息，以及系统边界内相关阶段及过程的能源、资源消耗和温室气体排放相关初级数据和次级数据，包括原辅材料消耗、能源消耗等，对数据获得方式和来源应予以说明。初级数据质量应满足完整性、准确性和一致性要求；次级数据质量应满足代表性、完整性和一致性要求。

活动水平数据优先采用直接计量、检测获得的初级数据，其次可采用通过初级数据折算获得的数据和按照地理范围、时间范围和技术范围类型选择公开的通用数据，以上数据均不可获得时可采用来自相似单元过程的替代数据，需要论证数据的相似性。

碳足迹因子优先采用企业通过生命周期评价方法且经第三方专业机构验证获得的碳足迹因子，其次可采用国家正式公布的产品碳足迹因子和基于 GB/T 24040、GB/T 24044 等相关标准且经第三方专业机构验证的生命周期评价报告、碳足迹报告、文献、数据库中提供的基于我国实际的碳足迹因子参考值，以上数据均不可获得时可采用国外数据库的替代数据，同时论证数据的可行性。

5.4.5 数据质量评价

本标准 DQR 方法与欧盟的产品环境足迹类别规则 PEFCR 数据质量评价指标相同，将评价指标分为时间代表性、地理代表性和技术代表性，仅要求评价次级数据的数据质量，并参考欧盟 PEF 体系数据质量等级，建议数据质量最终评估结果宜 ≤ 3.0 。考虑到本地数据库可能存在未定义数据集有效期的情况，为鼓励使用本地数据库同时也为了增加实际评分过程的可操作性，在时间代表性评分表中增加官方数据集最新发布年相关要求。

5.4.6 影响评价

5.4.6.1 碳足迹核算方法

通用硅酸盐水泥产品碳足迹的核算应包括原材料及能源获取阶段和生产阶段。本标准分别给出了以上两个阶段碳足迹量化方法。

原材料与能源获取阶段包括原材料与能源的获取过程及原材料与燃料运输至水泥生产工厂的运输过程。在原材料与能源获取阶段，充分考虑通用硅酸盐水泥生产过程中替代原料和替代燃料的使用情况，替代原料涵盖矿渣、电石渣、粉煤灰等，替代燃料涵盖垃圾衍生燃料、轮胎衍生燃料、污泥等。

通用硅酸盐水泥产品生产阶段涵盖通用硅酸盐水泥生产过程及水泥生产厂内运输过程。生产过程涵盖生料制备、熟料煅烧和水泥粉磨三个工艺环节。若通用硅酸盐水泥产品的熟料采用全部外购的形式，则其生产阶段仅涵盖水泥粉磨环节。水泥生产厂内运输过程包括原材料、能源和产品等在水泥生产工厂内部运输，其温室气体排放以厂内运输消耗的能源计算。

生产阶段温室气体排放包括化石燃料燃烧排放和过程排放。其中，化石燃料燃烧排放指化石燃料在水泥窑中燃烧产生的温室气体排放以及水泥生产工厂内部运输消耗的化石燃料产生的温室气体排放，不包括替代燃料燃烧产生的温室气体排放，也不包括水泥窑点火柴油燃烧产生的温室气体排放。过程排放是指熟料对应的碳酸盐分解产生的二氧化碳排放，不包括窑炉排气筒（窑头）粉尘和旁路放风粉尘对应的碳酸盐分解产生的二氧化碳排放，也不包括生料中非燃料碳煅烧产生的二氧化碳排放。本标准生产阶段温室气体排放计算方法主要参考《企业温室气体排放核算与报告指南 水泥行业》（CETS—AG—02.01—V01-2024）中所推荐的量化方法。

5.4.6.2 碳足迹因子缺省值

影响评价过程中除了企业自身的活动水平数据外，产品碳足迹因子的选择也至关重要。本标准附录 C 中给出了运输过程碳足迹因子和原材料产品碳足迹因子。

（1）运输过程碳足迹因子

运输过程碳足迹主要考虑运输设备使用过程中消耗的柴油、燃气、航空煤油、燃料油、电力等的碳足迹。运输过程碳足迹计算公式如下：

$$E_{\text{运输}} = E_{\text{公路}} + E_{\text{铁路}} + E_{\text{水路}} + E_{\text{航空}}$$

公路运输设备主要包括柴油、燃气货车等。按质量段划分的柴油和燃气货车燃料消耗量采用近 400 万辆重型车排放远程在线监控数据和部分车载排放测试数据；按质量段划分的柴油和燃气货车保有构成采用 500 万辆重型货车环保信息公开数据；公路货运周转量采用交通运输部官方发布数据；铁路运输设备主要包括柴油内燃机车和电力机车等；水路运输主要使用柴油和燃料油；航空运输主要使用航空煤油。基于生态环境部机动车排污监控中心的公路、铁路、水路和航空当量碳排放量和交通运输部发布的货运周转量计算形成运输基础因子，具体数据如表 5-1 所示。

表 5-1 运输过程碳足迹因子缺省值及对比

序号	类型	单位	缺省值	GREET 模型
1	公路运输	kgCO ₂ e/(t·km)	0.076	0.039
2	铁路运输	kgCO ₂ e/(t·km)	0.003	0.017
3	水路运输	kgCO ₂ e/(t·km)	0.020	0.004
4	航空运输	kgCO ₂ e/(t·km)	1.404	--

(2) 主要原材料产品碳足迹因子

水泥行业原材料包括石灰石、粘土、砂岩和铁矿石等天然原料，以及电石渣、粉煤灰、钢渣、硅钙渣、矿渣、煤矸石、石英污泥、铁矿选矿粉末和石膏粉等替代原料。

根据调研结果，在水泥的生产过程中，水泥企业普遍采用石灰石作为核心原料。石灰石（主要成分为碳酸钙）经过高温煅烧会分解成氧化钙和二氧化碳。石灰石的品质、纯度和用量，都会直接影响水泥生产的碳排放量。

石灰石作为水泥生产的关键原料，在水泥行业原材料中的占比达到或超过 80%，是通用硅酸盐水泥的必需原料；在高温煅烧过程中直接排放的二氧化碳约占整个生产阶段碳排放总量的 55%~70%，是通用硅酸盐水泥生产碳排放的核心来源。石灰石是水泥行业不可替代的原材料，生产过程中直接排放的二氧化碳在整个生产阶段碳排放总量的占比高，是本标准选择石灰石作为水泥行业主要原材料碳足迹因子研究的核心原因。

本标准针对石灰石产品碳足迹因子开展测算研究，石灰石产品碳足迹核算的系统边界为从“摇篮”到“大门”，包括矿山爆破、矿山粗破、挖机使用和矿面运输。

标准编制组收集了华东、西南、西北等地区 165 家水泥生产企业的石灰石开采生产流程数据并进行分析，得到石灰石产品碳足迹因子为 2.174kgCO₂e/t。

表 5-2 石灰石产品各阶段的碳足迹

序号	过程	碳足迹 (kgCO ₂ e/t)	贡献占比 (%)
1	矿山爆破	0.730	33.6
2	矿山粗破	0.683	31.4
3	挖机使用	0.442	20.3
4	矿面运输	0.320	14.7
总计		2.174	100

(3) 替代原料因子

依据欧盟颁布的《废物框架指令》(Waste Framework Directive, WFD)，若某种固废的上游来源清晰，且能在工业活动中被直接利用，同时这种利用方式合法并满足产品标准、环境保护及健康安全要求，则该固体废物不应简单地归类为废物，而应视为副产品，例如电石渣、粉煤灰、钢渣、硅钙渣、矿渣和铁矿选矿粉末等。为此，本标准建议企业采用分配法来计算这类替代原料在清单数据库中的数值。

5.5 企业案例试算

5.5.1 基本信息

为了验证标准的可行性和实用性，标准编制组开展案例试算工作。企业主要生产硅酸盐水泥熟料，基本信息如下：

表 5-3 基本信息

案例试算企业信息	
产品名称	硅酸盐水泥熟料
功能单位	1 吨硅酸盐水泥熟料
系统边界	从“摇篮”到“大门”
覆盖时间	2022 年 1 月 1 日-2022 年 12 月 31 日
生产工艺	1 条 5000t/d 新型干法水泥熟料生产线

5.5.2 试算结果

企业碳足迹核算系统边界包括原材料与能源获取以及生产两个阶段，如下表所示。

表 5-4 企业 1 核算的具体过程或内容

阶段	过程		过程描述	取舍
原材料和能源获取	A1	原材料获取	石灰石、石英砂选矿污泥、粉煤灰、黄河淤泥、铁尾矿、燃煤炉渣和煤矸石等原材料从开采到生产成该原材料	选取
	A1	能源获取	电、烟煤、柴油等能源获取	选取
	A2	能源/原材料运输	原材料和燃料运输至水泥生产工厂	选取
生产阶段	B1	生产过程	生料制备	选取
			熟料煅烧	选取
			水泥粉磨	不涉及
	B2	厂内运输过	原材料、燃料、水泥产品	选取

阶段	过程	过程描述	取舍
	程	等在水泥生产工厂内部运输	

核算方法参照本标准，原材料与能源获取阶段和生产阶段碳足迹因子按推荐的值进行计算，各阶段碳足迹汇总如下。

表 5-5 硅酸盐水泥熟料产品各阶段的碳足迹

生命周期阶段		过程	碳足迹 (kgCO ₂ e)	功能单位碳足迹 (kgCO ₂ e/t)
原材料和能源获取阶段	A1	原材料与能源获取	53675536.58	38.34
	A2	原材料与燃料运输	15485065.31	11.06
小计			69160601.89	49.41
生产阶段	B1	化石燃料燃烧过程	395191192.73	282.31
		熟料煅烧过程	747357606.50	533.88
	B2	厂内运输过程	统一计算到 B1 环节化石燃料燃烧中	0
小计			1142548799.23	816.19
总计			1211709401.12	865.60

该试算企业硅酸盐水泥熟料产品的碳足迹为 865.60kgCO₂e/t，其中原材料和能源获取阶段产生的碳排放占比为 4.43%，原材料与燃料运输阶段的碳排放占比为 1.28%，化石燃料燃烧过程的碳排放占比为 32.61%，熟料煅烧过程的碳排放占比最高，高达 61.68%。

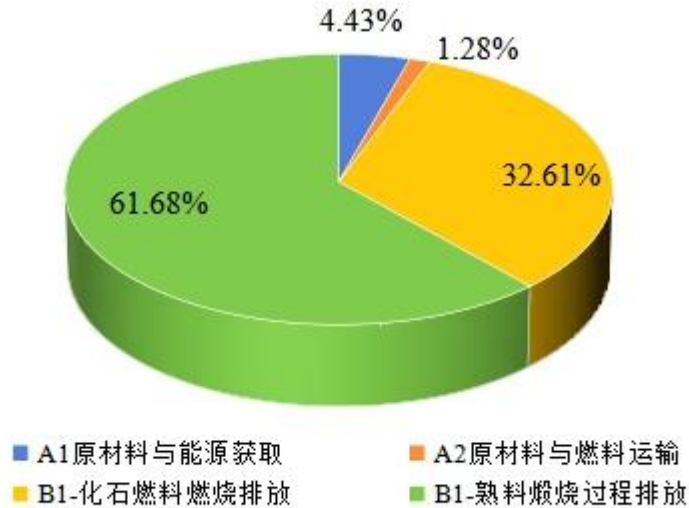


图 5-2 硅酸盐水泥熟料产品各阶段的碳足迹贡献图

5.5.3 结果比对

基于相同的系统边界和计算方法，采用国际主流数据库中推荐的石灰石碳足迹因子、运输过程碳足迹因子等计算企业硅酸盐水泥熟料产品的碳足迹，得到的结果高于本标准，总碳足迹高出约 2%。利用本标准测算的硅酸盐水泥熟料碳足迹体现了我国水泥熟料制造行业的实际碳排放水平。

表 5-6 本标准分阶段碳足迹计算结果与国际主流数据库推荐因子计算结果对比

生命周期阶段	基于本标准缺省值计算 (kgCO _{2e})	基于国际主流数据库推荐 因子计算 (kgCO _{2e})
原材料和能源获取阶段	53675536.58	66987497.5
原材料与燃料运输阶段	15485065.31	21801341.95
化石燃料燃烧过程	395191192.73	395191192.7
熟料煅烧过程	747357606.50	747357606.5
碳足迹	1211709401.12	1231337639
功能单位碳足迹	865.60	879.62

6 标准实施建议

本标准作为重点产品碳足迹核算方法体系中的重要部分，为通用硅酸盐水泥产品碳足迹量化提供了科学的核算方法，其结果可作为产品碳足迹绩效评价、企业温室气体减排持续改进和绿色供应链管理、产品碳足迹信息披露、环保信息公开等不同应用的依据。

为了保证通用硅酸盐水泥产品碳足迹核算的数据质量和动态更新，应建立健全通用硅酸盐水泥产品碳足迹模型和数据库，健全本地因子库，补充产业链不同阶段因子，形成统一的碳排放计算体系，以便更好地核算碳排放，同时也为产品碳足迹评价提供支持。