

《基于项目的二氧化碳减排量评估技术  
规范 水泥窑烟气碳捕集项目》  
编制说明  
(征求意见稿)

标准编制组  
二〇二二年 10 月

# 目 录

|  |    |
|--|----|
| 一、任务来源及编制背景 .....  | 3  |
| 1.1 任务来源 .....   | 3  |
| 1.2 背景和意义 .....  | 3  |
| 二、工作简况 .....   | 5  |
| 三、编制原则及标准主要技术内容说明 .....  | 7  |
| 3.1 本标准的编制原则 .....   | 7  |
| 3.2 标准的主要内容及说明 .....   | 7  |
| 3.2.1 范围 .....   | 8  |
| 3.2.2 规范性引用文件 .....  | 8  |
| 3.2.3 术语和定义 .....  | 8  |
| 3.2.4 项目边界识别及基准线情况确定 .....   | 8  |
| 3.2.5 减排量评估方法 .....  | 9  |
| 3.2.6 数据质量管理 .....   | 10 |
| 3.2.7 减排量评估报告编制 .....  | 11 |
| 四、主要验证情况分析 .....   | 11 |
| 五、标准中涉及专利情况 .....  | 12 |
| 六、标准实施后预期的经济和社会效益 .....  | 12 |
| 七、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况 ..... | 13 |
| 八、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性 .....                                    | 14 |
| 九、重大分歧意见的处理经过和依据 .....   | 14 |
| 十、标准性质的建议说明 .....  | 15 |
| 十一、贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过度办法、实施日期等） .....                              | 15 |
| 十二、废止现行相关标准的建议 .....   | 15 |
| 十三、其它应予说明的事项 .....   | 15 |

# 一、任务来源及编制背景

## 1.1 任务来源

本标准归口单位为建材工业综合标准化技术委员会。该标准作为第一批碳达峰碳中和专项标准已于 2021 年由国家标准委批准立项，项目计划编号：2021-1775T-JC。主要起草单位有北京国建联信认证中心有限公司、安徽海螺水泥股份有限公司、中国建筑材料科学研究总院有限公司、北京雪迪龙科技股份有限公司。

## 1.2 背景和意义

水泥是经济建设和社会发展不可缺少的基础原材料，自改革开放以来，随着我国经济的快速发展，水泥产业规模不断扩大，我国迅速成为了水泥的生产和消耗大国。根据国家统计局数据，2020 年我国水泥产量为 23.6 亿吨，总产量占世界水泥产量的 55%以上。自 1985 年起，中国水泥产量已连续 30 年居世界第一位。

水泥是二氧化碳排放的重点行业，水泥行业二氧化碳排放占全球碳排放 7%左右，2020 年我国水泥行业排放二氧化碳约 13.6 亿吨，约占全国碳排放总量 12%左右。水泥行业即将被纳入全国碳市场，在碳达峰碳中和背景下，水泥行业减排任务艰巨。根据水泥可持续发展倡议组织（CSI）CO<sub>2</sub>统计方法，水泥生产中 CO<sub>2</sub>的排放主要为水泥生产过程中原料碳酸盐的分解即工艺排放；燃料燃烧排放即燃烧排放和企业自身运输设备能源消耗排放的 CO<sub>2</sub>；水泥生产过程消耗的外部电力以及第三方原材料、成品运输造成的 CO<sub>2</sub>排放。统计结果表明：单位水泥熟料 CO<sub>2</sub>排放总量一般为 0.83 吨，其中，工艺 CO<sub>2</sub>排放占 63%，燃料燃烧 CO<sub>2</sub>排放占 30%，电力消耗 CO<sub>2</sub>排放占 7%。目前针对水泥行业碳减排路径是：压减水泥低效产能，采用替代原料、替代燃料、利用可再生能源利用等先进技术，但是减排量有限且减排潜力不大。

2016 年全世界 178 个缔约方共同签署的气候变化协定《巴黎协定》，该协定对 2020 年后全球应对气候变化的行动作出的统一安排。《巴黎协定》的长期目标是将全球平均气温较前工业化时期上升幅度控制在 2 摄氏度以内，并努力将温度上升幅度限制在 1.5 摄氏度以内。根据《IPCC 全球升温 1.5 度特别报告》提出将全球升温控制在 1.5 度的四种情景——所有情景都需要移除二氧化碳才能得以实现，其中三种情景设计大量运用 CCS 碳捕集利用及封存技术。根据国际能源署（IEA）的《2050 净零排放：全球能源行业路线图》中，预计碳捕集利用及封存技术是唯一能够在发电和工业生产过程中大幅度减少化石燃料排放的解决方案，全球碳捕集量从 2020 年 4000t/年，到 2050 年将增长至 76 亿 t/年。IEA 发

布的 2020 年钢铁行业技术路线图中，提出预计到 2050 年，水泥行业通过采取其他常规减排方案后，仍将剩余 48% 的碳排放量，CCUS 是水泥行业实现净零排放为数不多的可行技术选择之一。IEA 的可持续发展情境中，提出 CCS 贡献巨大，水泥行业贡献达到 61%。中国二氧化碳捕集利用与封存年度报告（2021）中，提出 CCUS 技术可提供的减排潜力，基本可以满足实现碳中和目标的需求（6~21 亿吨二氧化碳）。

根据全球碳捕集利用及封存 2021 年度报告，2021 年全球商业 CCS 设施共 135 项，碳捕集累计 149.4MtpaCO<sub>2</sub>，正在运行的 CCS 设施仅 27 项，捕集能力累计 36.6MtpaCO<sub>2</sub>。2021 年正在运行 CCS 项目比 2020 年增加 1 倍，IEA 发布的《2050 年水泥技术路线图》中提出：到 2050 年，全球水泥行业生产每吨水泥的碳排放量需降至 0.42t，商业化 CCS 技术（捕集、利用、储存技术）运行数量要达到 200~400 个，CO<sub>2</sub> 储存量要达到 4.9~9.2 亿吨。国际上水泥行业进行碳捕集技术研究的项目仅 3 项，海德堡水泥集团将碳捕集技术引入水泥行业，计划将为挪威 Norcem Brevik 水泥厂提供二氧化碳捕集、液化和中间储存设施，计划 2024 年投入运行，预计年捕集能力最大为 0.4MPa；拉法基霍耳希姆公司对美国一家水泥厂进行碳捕集可行性研究。该项目每年将捕集 72 万 tCO<sub>2</sub>，捕集的 CO<sub>2</sub> 将用于提高原油采收率；LafargeHolcim Cement Carbon capture 预计将在 2020 年代中投入运行，预计捕集能力最大可达到 2MtPa。

中国目前在水泥行业的碳捕集技术项目仅有 2 项，2018 年在安徽海螺白马山水泥厂产能 4000t/d 水泥熟料生产线投产运行的水泥窑烟气碳捕集项目，该项目采用燃烧后捕集—化学吸附法，年捕集能力达到 5 万吨，捕集后的 CO<sub>2</sub> 经过纯化可再食品行业和工业利用，其中食品级 CO<sub>2</sub> 纯化量为 3 万吨/年，纯度为 99.99%，工业级 CO<sub>2</sub> 纯化量为 3 万吨/年，纯度为 99.9%。北京金隅琉水环保科技有限公司开展了水泥窑窑尾烟气 CO<sub>2</sub> 捕集与利用工程化技术研究与应用，采用燃烧后捕集—变压吸附捕集技术，水泥窑烟气 8%~10% 的 CO<sub>2</sub> 通过两段法 PSA 捕集提纯 CO<sub>2</sub> 工艺，CO<sub>2</sub> 体积浓度从 8% 左右稳定 40%-60%，产品气量在 110-125 m<sup>3</sup>/h，产品年捕集量 CO<sub>2</sub> 约 1200t，处理该厂飞灰水洗过程产生的飞灰水洗液。此外还有燃烧前捕集和富氧燃烧捕集技术的研究，但都处于研究阶段，尚未开展试点应用。

2021 年中共中央国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，文件中提出推进规模化碳捕集利用与封存技术研发、示范和产业化应用，加大对碳捕集利用与封存等项目的支持力度；《2030 前碳达峰行动方案》中提出，推广先进适用技术，深挖节能降碳潜力，鼓励二氧化碳捕集利用一体化等试点示范；《“十四五”工业绿色发展规划》中提出，探索低成本二氧化碳捕集、资源化转化利用、封存等主动降碳路径。在碳捕集利用与封存等领域，实施一批降碳效果突出、带动性强的重大工程。

水泥行业产品质量稳定，生产工艺水平成熟，目前的节能低碳仅从提高能源利用效率、产能置换等方面进行研究，水泥中仍有来自碳酸盐分解产生的

60%CO<sub>2</sub> 很难减少，通过原料替代方式减少的 CO<sub>2</sub> 排放量也十分有限，碳捕集技术是目前水泥行业唯一能进行大量深度脱碳的减排技术，且通过碳捕集得到 CO<sub>2</sub> 进行纯化处理，还可作为资源循环利用，因此碳捕集技术未来将在水泥行业产生巨大的减排效果，为履行双碳目标，未来碳捕集技术也将在水泥行业得到广泛应用。

如何评估企业采用水泥窑烟气碳捕集项目减排量的效果，是国家亟需解决的重要课题。为此，需要研究建立一套适用于企业、区域及行业尺度的基于水泥窑烟气碳捕集项目的温室气体减排评价技术规范，制定可操作强、适用面较广的水泥窑烟气碳捕集项目温室气体减排评价标准。

## 二、工作简况

本标准起草从 2021 年 12 月开始，分为四个阶段：

### 第一阶段：前期预研究及调研分析

在标准起草过程中重点收集分析了国内外碳捕集技术资料及项目层面碳减排评估的规范和技术标准。

目前国际上通用的项目层次上温室气体减排评估类标准主要是国际标准化组织（ISO）发布的《温室气体 第 2 部分：项目层面上对温室气体排放和清除的量化与报告的规范及指南》（ISO 14064-2），规定了项目层面上温室气体（GHG）减排或清除增加活动量化、检测和报告的原则、GHG 项目的说明以及对 GHG 项目的要求。此外，世界自然研究所（WRI）发布的《The GHG protocol for project accounting》也是项目层面温室气体减排量化方法的重要来源。

在国内项目层面温室气体减排评价技术规范方面，起草组广泛收集了相关技术规范文献，目前国内已有的项目层面碳减排标准见表 3 所示。

表 3 水泥行业相关技术规范

| 编号              | 标准名称                               |
|-----------------|------------------------------------|
| GB/T 33760-2017 | 《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求》          |
| GB/T 33756-2017 | 《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 生产水泥熟料的原料替代项目》 |

通过对温室气体减排项目的评价体系进行研究，可以看出，评价体系主要采

用核算法对减排量进行评估，而对于碳捕集技术来说，当前技术还不成熟，核算方法对于某些碳捕集技术，不能直观体现减排量的多少，因此考虑到标准的普适性和推广性，本标准通过对现有资料研究，主要形成一套完整的评估基于水泥窑烟气碳捕集项目的温室气体减排评估的准则。

### 第二阶段：成立起草小组

北京国建联信认证中心有限公司在 2022 年组织技术规范制定工作。起草组由来自北京国建联信认证中心有限公司、安徽海螺水泥股份有限公司、中国建筑材料科学研究总院有限公司、北京雪迪龙股份有限公司等单位的相关专家组成。

表 4 主要参加起草单位分工

| 单 位              | 工作分工                        |
|------------------|-----------------------------|
| 北京国建联信认证中心有限公司   | 牵头单位，负责标准统筹，标准进展以及总体统筹，标准编写 |
| 安徽海螺水泥股份有限公司     | 负责安排企业调研、验证工作               |
| 中国建筑材料科学研究总院有限公司 | 标准调研验证工作                    |
| 北京雪迪龙科技股份有限公司    | 监测方法研究及数据调研                 |

### 第三阶段：技术规范起草阶段

2022 年 2 月，起草组开展资料调研工作，旨在了解碳捕集技术的发展及水泥行业碳捕集技术的应用情况，探讨水泥行业水泥窑烟气碳捕集项目中温室气体减排评价的技术要点。

2022 年 3 月，召开专家工作组会议，对起草组完成的技术规范草稿进行了深入讨论。专家一致认为制定这项技术规范非常必要，也非常及时。专家针对技术规范的总体框架和技术细节进行了深入讨论，并提出了富有建设性的意见和建议。起草组根据专家意见对标准内容进行了全面修改和完善。

2022 年 4 月，北京国建联信认证中心有限公司、安徽海螺水泥股份有限公司、中国建筑材料科学研究总院有限公司以及雪迪龙股份有限公司参加了中国建材联合会举办的标准启动会。在会上，标准编制组确定了内各主要起到单位分工和项目工作计划，介绍了标准前期调研情况和标准的草案，各方专家针对初步制定的《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 水泥窑烟气碳捕集项目》提出具体修改建议。根据专家意见，进行草案框架及条款完善。

### 第四阶段：标准征求意见阶段

2022 年 4 月启动会结束之后，起草组已经开展水泥窑烟气碳捕集项目的企

业数据及技术应用情况线上调查收集工作，起草组将根据数据情况及目前碳捕集技术发展水平，补充完善水泥窑烟气碳捕集项目碳减排量评估方法，形成技术规范征求意见稿。

2022年6月，北京国建联信认证中心有限公司组织召开标准征求专家意见讨论会。标准主要起草单位和参加单位领导及专家参加研讨会。专家意见如下：一是对碳捕集项目的定位和边界等问题进行清晰的界定，本标准定位于基于燃烧后捕集和富氧燃烧捕集的碳捕集项目；第二对标准的可行性进行评估和深入调研；第三考虑到碳捕集量监测法的推广和应用，应增加核算法对碳捕集量进行核算。标准起草组根据专家意见进行了全面修改完善。

### **第五阶段：标准调研**

2022年8月，北京国建联信认证中心有限公司组织标准编制组开展标准调研工作。标准编制组赴安徽海螺白马上水泥厂开展水泥窑烟气碳捕集调研，对项目概况、碳捕集工艺流程、二氧化碳捕集量确定方式、捕集过程能源消耗情况进行调研。

## **三、编制原则及标准主要技术内容说明**

### **3.1 本标准的编制原则**

1、本技术规范依据 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求和规定编写本技术规范的内容。

2、依据相关的政策法规，如《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求》、《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 生产水泥熟料的原料替代项目》、《水泥行业二氧化碳减排议定书》、《水泥行业温室气体排放监测技术规范》、《水泥行业项目层面温室气体减排成效评价技术规范》。

3、本技术规范应具有科学性、先进性、系统性和可行性，同时也要具有可操作性和重要的规范性。

### **3.2 标准的主要内容及说明**

该标准共包括七部分内容：

### 3.2.1 范围

本文件规定了基于水泥窑烟气碳捕集项目的二氧化碳减排量评估的术语和定义、项目边界识别、减排量监测、数据质量管理及减排量评估报告编制等。

本文件适用于指导水泥生产企业基于水泥窑烟气碳捕集项目的二氧化碳减排量评估。

### 3.2.2 规范性引用文件

第二部分为规范性引用文件：列出了本标准引用的主要技术规范，本标准主要引用了 GB 175《通用硅酸盐水泥》、GB/T 33760《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求》等。

### 3.2.3 术语和定义

本标准给出了基准线情景、二氧化碳减排量、水泥窑烟气碳捕集的定义。

### 3.2.4 项目边界识别及基准线情况确定

GB/T 33760-2017《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求》中，项目边界应包括与项目有关的和受项目影响的设备、设施（系统）或组织等；项目基准线情景确定中，新建项目基准线情景为行业内（或该地区）所采用的主流技术活国家政策所要求的技术；改造项目（保持现有生产能力），基准线情景为采用改造前的生产技术；扩建项目（生产能力扩大），基准线情景为应根据目标用户的需求，按照改造项目或新建项目方式确定基准线情景。

GB/T 33756-2017《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 生产水泥熟料的原料替代项目》中，项目边界包括水泥熟料在生产过程中因替代原料的使用二产生燃料燃烧排放、过程排放、电力热力排放的设备/设施（系统）等。基准线情景确定中，改建项目基准线情景为改建前的水泥熟料生产线；新建项目基准线情景为项目所在地（省级行政区）无原料替代，且采用行业主流技术的水泥熟料生产线。

本标准参考有关文献，并结合前期调研情况，确定了项目边界及基准线情景。

本标准给出了水泥窑烟气碳捕集项目的边界划分及基准线情景的确定：

项目边界：应包括与水泥窑碳捕集项目有关的和受水泥窑碳捕集项目影响的设备、设施（系统）或组织等。

基准线情景确定：对于改建项目，本标准设定的基准线情景为改建前的水泥熟料生产线。对于新建水泥窑烟气碳捕集项目，本标准设定的基准线情景为项目



所在地（省级行政区内）采用行业主流技术的水泥熟料生产线，且未采用烟气碳捕集项目。

### 3.2.5 减排量评估方法

GB/T 33760-2017《基于项目的温室气体减排量评估技术规范 通用要求》中，规定应根据项目类型和温室气体源的特点，选择适用的评估方法（如已发布的国家标准、指南等技术性文件或已备案的国家温室气体自愿减排方法学），分别对项目与基准线情景下的每个温室气体源中的每一种温室气体在一定时期内的排放量进行计算，汇总得到项目排放量和基准线排放量。

目前碳捕集技术在水泥行业应用较少，还处于研究阶段，工程应用还处于试点阶段，双碳目标后，国家多项政策中都提到要推进规模化碳捕集利用与封存技术研发、示范和产业化应用。针对发展中的水泥窑碳捕集项目，目前还没有对项目实际减排量进行评估的相应的技术依据，考虑到未来水泥窑碳捕集项目发展趋势，本标准对水泥窑碳捕集项目温室气体减排量评估提供技术支撑，本标准目前选择核算法作为评估减排量的方法，鉴于这是第一个水泥窑碳捕集项目减排量评估标准，且水泥窑碳捕集技术还不成熟，因此，核算法是目前阶段最直接且最便于实施和推广应用的方法。

鉴于以上 2 方面原因，本标准在减排量评估方法中采用了核算法，但是二氧化碳在线监测设备已在电厂试点应用，水泥行业还未应用，暂时无法验证，因此项目可依据核算法对减排量进行评估，后期如二氧化碳在线监测设备在水泥行业已推广应用，可考虑修订标准增加监测法。

本标准采用核算法对水泥窑烟气碳捕集项目减排量进行评估。

核算法：根据现场调研情况，白马山水泥厂目前碳捕集量采用计量器具进行计量，考虑到碳捕集项目还处于试点阶段，未来其他碳捕集项目捕集工艺及吸收剂选择的不确定性，以及标准应具有适应性和可推广性，本标准中核算法考虑配合计量器具进行核算。

二氧化碳捕集系统较复杂，主要流程为窑尾烟气通过引风机进入脱硫水洗塔，脱硫处理后进入吸收塔。吸收塔内的有机胺溶液对烟气中二氧化碳进行选择性吸收，生成不稳定的化合物。剩余烟气通过分水罐后排向大气。有机胺溶液进入解吸塔中利用窑尾发电产生蒸汽对溶液加热解析，得到纯度较高的二氧化碳。纯度较高的二氧化碳气体通过净化、冷凝、压缩、干燥等工艺最后变为液态二氧化碳，经过精馏塔后在成品罐中收集。捕集过程中使用到的能源为电力和余热发电蒸汽。收集到的二氧化碳通过入成品罐的管道流量计进行计量，同时出厂的二氧化碳产品通过地磅称重复核。

一定时期内某条水泥熟料生产线的项目减排量按公式（1）进行计算：

$$ER=BE-PE \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ER —— 一定时期内，项目二氧化碳减排量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

BE——一定时期内，基准线排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

PE——一定时期内，项目排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

水泥窑燃烧的基准线排放量按公式（2）计算：

$$BE = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{电力A}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

BE ——一定时期内，基准线情景中二氧化碳排放总量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

E<sub>燃烧</sub> ——一定时期内，某种化石燃料燃烧产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

E<sub>过程</sub> ——一定时期内，生料中碳酸盐矿物分解产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

E<sub>电力A</sub> ——一定时期内，各生产工艺过程电力消耗产生的碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

水泥窑燃烧的项目排放量按公式（3）计算：

$$PE = E_{\text{电力A}} + E_{\text{电力B}} + E_{\text{热力}} + E_{\text{捕集}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

PE——一定时期内，项目情境中二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

E<sub>电力B</sub>——一定时期内，项目情境中各捕集设备电力消耗产生的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

E<sub>热力</sub> ——一定时期内，项目情境中捕集系统热力消耗产生的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

E<sub>捕集</sub> ——一定时期内，项目情境中捕集系统捕集的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>），按公式（4）计算：

$$E_{\text{捕集}} = L \times T \times P \times C \dots\dots\dots (4)$$

式中：

E<sub>捕集</sub>——一定时期内，情境中捕集系统捕集的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO<sub>2</sub>）；

L ——一定温度、压力下，去往成品储罐的液态二氧化碳输送流量（m<sup>3</sup>/h）；

T ——一定时期内，碳捕集系统运行时间（h）；

P ——一定温度、压力下，去往成品储罐的液态二氧化碳密度（kg/m<sup>3</sup>）；

C ——一定温度、压力下，去往成品储罐的液态二氧化碳浓度（%）

### 3.2.6 监测要求

水泥窑烟气碳捕集项目二氧化碳减排量评估的监测程序制定应按照GB/T 33760-2017中5.10执行。

测量仪器/表精度应满足相关要求，定期检定和校准，检定和校准机构应具有测量仪器/表检定资质，检定和校准相关要求应按照国家相关计量检定规程执行。

在项目实施中，项目业主应按照规定实施监测准则和程序，通过各类测量仪器/表的监测获得二氧化碳排放数据，记录、汇编和分析有关数据，并对数据存档，保证测量管理体系符合质量和规范要求。

### 3.2.7 数据质量管理

水泥窑烟气碳捕集项目应建立和应用数据质量管理程序，对与项目和基准线情景有关的数据和信息进行管理，包括对数据不确定性和数据质量进行评价。在对二氧化碳减排量进行监测时，宜尽可能减少不确定性。

### 3.2.8 减排量评估报告编制

本标准规定水泥窑烟气碳捕集项目应编制减排量评估报告，报告内容包括但不限于：

- 1) 项目业主信息；
- 2) 项目的目的；
- 3) 对项目的简述，包括规模、地点、持续时间和活动类型；
- 4) 项目的工艺技术简介；
- 5) 对基准线情景的说明；
- 6) 减排量的监测准则、程序、数据及数据来源的说明（必要时提供监测记录）；
- 7) 报告的日期及其所覆盖的时间段；
- 8) 一定时期内项目和基准线情境下二氧化碳排放量及减排量（以 tCO<sub>2</sub> 表示）；
- 9) 项目有关的数据和信息不确定性的评估。

## 四、主要验证情况分析

采用本标准中核算法，对某水泥企业碳捕集系统捕集数据进行了验证。

$$ER = L \times T \times P \times C - E_{\text{捕集}} = 5.5 \times 99.9\% - 0.7035 \times 310 / 1000 = 5.286t$$

$L \times T \times P$ ——5.5，单位 t/h，企业采用质量流量转换器，设备可直接读取单位时间内管道中流过的二氧化碳质量；

$C$ ——99.9%，二氧化碳浓度，数据来源化验室设备检测数据；

$E_{\text{捕集}}$ —— $0.7035 \times 310 / 1000$ ，

单位时间内碳捕集系统用电量为 310kwh；

电力碳排放因子选取华东区域电网排放因子 0.7035kgCO<sub>2</sub>/kwh；

根据企业验证情况，单位时间（1h）内捕集的二氧化碳量为 5.2864t。其中吸收液解析过程利用窑尾废气进行加热解析。这部分热力产生的二氧化碳按零计

算。根据水泥生产企业温室气体排放报告补充数据表中要求，消耗热量来源包括余热回收、蒸汽锅炉或自备电厂，余热回收排放因子为 0；如果是蒸汽锅炉供热，排放因子为锅炉排放量/锅炉供热量；如果是自备电厂，排放因子参考“自备电厂补充数据表”中的供热碳排放强度的计算方法；若数据不可得，采用 0.11tCO<sub>2</sub>/GJ 消耗热力对应的排放量计算。验证企业的蒸汽来自水泥窑尾余热废气，因此排放因子选取零。



## 五、标准中涉及专利情况

本标准不涉及专利

## 六、标准实施后预期的经济效益和社会效益

（一）经济效益、社会效益、产业规模、推广应用、工程应用情况、预期达到的经济、社会效益；

本标准是我国第一本针对水泥窑烟气碳捕集项目温室气体减排量评估技术的行业标准，以国家发布的系列鼓励水泥为代表的传统建材行业实现行业升级，改变以往高能源、资源消耗，严重污染生态环境的文件为基础依据，所制定标准的技术指标充分结合了国家现行相关标准的技术规定，同时充分考虑从业企业水平的差异性，规定了利于引导企业生产产品实现环境友好性的技术评价体系。

该标准的制定，将推动水泥行业烟气碳捕集技术的发展，实现水泥行业深度脱碳，实现水泥生产过程实现绿色生产，减小环境负荷。该标准实施之后将产生明显的环保效益和社会效益。

（二）本标准指标的技术先进性以及本标准的发布对行业及社会发展的促进

作用，即与“宜业尚品造福人类”的相关性。

目前国内仅有 2 家企业开展水泥窑烟气碳捕集技术试点研究，本标准的建立有助于提高企业对水泥行业深度脱碳发展意识，充分发挥碳捕集技术在企业实施绿色发展战略中的作用，充分体现企业节能减排方面的技术水平。标准有助于推动企业开展碳捕集技术的研究工作，充分发挥政策引导和市场机制作用，提升企业低碳生产的竞争力和品牌影响力。

从企业角度出发，短期来看，采用碳捕集技术可能会给企业目前生产带来一定影响，包括碳捕集设施的建设，相关装备系统的建立等，但从长远来看，碳捕集技术可大大减少水泥生产过程产生的碳排放，为水泥企业进入全国碳市场提供核心竞争力，这意味着更高的效率和更大的综合收益。

## 七、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析或与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

1. 由国际标准化组织发布的《二氧化碳捕集、运输和地址封存的量化和审核技术报告》（ISO/TR 27915:2017）梳理了国际上几种关于 CCUS 核算的方法学，并分别讨论了他们的差异与适用条件；
2. 由英国标准协会发布的《Carbon dioxide capture. Carbon dioxide capture systems, technologies and processes》（BS PD ISO/TR 27912:2016）对多种二氧化碳的捕集方法进行了规定，包括燃烧前捕集、富氧燃烧捕集、燃烧后捕集。也对多应用场景的二氧化碳捕集技术进行了描述，包括水泥工业、钢铁工业、化工行业；
3. 由国际标准化组织发布的《Carbon dioxide capture — Overview of carbon dioxide capture technologies in the cement industry》ISO/TR 27922:2021，概述了现有的捕获水泥生产过程中产生的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）的技术原理以及进展情况、技术成熟度等，技术包括有机胺吸附、变压吸附、膜分离、直接物理分离、钙循环、富氧燃烧等；
4. 美国《加州 CCUS 执行报告》梳理了 CCUS 技术在加利福尼亚州的实施现状，报告提到了二氧化碳地质封存的监测、验证和报告（MRV）方法；
5. 《澳大利亚设施排放评估技术指南》中给出了计算澳大利亚设施层面排放量的方法，其中包含了 CCS 个环节的泄漏排放量化方法和对于数据的监测要求。
6. 2021 年澳大利亚政府发布《2021 年碳信用（碳农业倡议-碳捕集和封存）方法学》
7. 加拿大 Blue SourceCanada ULC2010 年发布《Quest 碳捕集与封存项目》，其中《量化 Quest 碳捕集与封存（CCS）项目的温室气体减排效益》中给出 Quest 项目 CCS 全流程碳排放核算边界和核算结果。
8. 2022 年 8 月《碳捕集、利用与封存（CCUS）项目温室气体减排量化和核查技术规范》国家标准立项，该标准规定了碳捕集、运输和地质封存项目边界的描述与确定、测量与监控、量化、验证等温室气体减排量化与核查技术规范。该标准的制定将规范 CCUS 量化与核查的技术、统一 CCUS 量化与核查的计算方法，有利于准确评估 CCUS 项目减排总量，明确 CCUS 减排贡献，促进 CCUS 交流

和发展；

9. 国际标准《燃烧后 CO<sub>2</sub> 捕集吸收溶液的关键性能指标及测试方法》(ISO 27927)，于 2022 年 5 月 10 日正式立项，该标准定位国际标准，实现了我国碳捕集领域在国际标准工作上“零”的突破，将为全球燃烧后碳捕集工艺提供技术规范和评价依据；

10. 《火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范》规定了碳捕集系统能耗的监测方法、仪器、设备、实验步骤、数据质量控制与处理等术语名称和技术指标，对推进二氧化碳捕集系统性能评价具有重要基础性作用，同时对推动火力发电厂配置二氧化碳捕集系统的工业化和规范化具有重要实际意义和应用价值。本项标准的编制填补了国内碳捕集领域能耗测定标准这一空白；

11. 由中国工业节能与清洁生产协会发布的团体标准《低压低浓度二氧化碳捕集技术工艺包编制规范》(T/CIECCPA 011-2022)，这项标准规定了低压低浓度工业气源二氧化碳捕集技术工艺包的技术要求、工艺手册、分析化验及主要调试等内容，适用于工业源（电力、钢铁、水泥、冶金等）烟气/尾气低压二氧化碳捕集工程的设计和运行，其他行业二氧化碳捕集工程也可参照执行；

12. 由山东省发布的地方标准《二氧化碳驱油封存项目碳减排量技术核算规范》(DB37/T4548-2022)，明确提出了核算边界的确定方法，解决了边界模糊的问题，为碳减排量准确核算奠定了基础；提出了三个层次、两个维度的监测方法体系；首次提出驱油封存全生命周期核算方法；

上述国内外标准内容涵盖碳捕集技术概述、工艺技术要求、吸收溶液指标特点、捕集能耗测定规范、碳封存减排量核算等多个方面，但是针对水泥行业燃烧后捕集技术碳减排量核算还没有相关标准给出可操作性的方法，本标准综合考虑国内外标准情况，针对水泥行业采用燃烧后捕集技术的减排量给出具体核算方法。

## 八、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中明确提出，推进规模化碳捕集利用与封存技术研发、示范和产业化应用，加大对碳捕集利用与封存等项目的支持力度；《2030 前碳达峰行动方案》中提出，推广先进适用技术，深挖节能降碳潜力，鼓励二氧化碳捕集利用一体化等试点示范；《“十四五”工业绿色发展规划》中提出，探索低成本二氧化碳捕集、资源化转化利用、封存等主动降碳路径。在碳捕集利用与封存等领域，实施一批降碳效果突出、带动性强的重大工程。与上述政策制度的关系：对于水泥行业采用碳捕集进行节能减排时，需要适当的方法学来衡量减排成效，而该技术规范就是落实此工作方案的需求。

## 九、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 十、标准性质的建议说明

建议本标准作为行业推荐性标准发布。

## 十一、贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）

建议按照标准报批计划确定实施日期。

## 十二、废止现行相关标准的建议

无。

## 十三、其它应予说明的事项

无。