



自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

中国水泥生产碳减排技术 标准体系和碳排放权交易 标准体系研究 执行摘要

2023 年 8 月

中国建材机械工业协会
天津市硅酸盐学会
自然资源保护协会

中国建材机械工业协会

中国建材机械工业协会成立于 1987 年，是经民政部注册登记的全国性社会团体法人，党建领导机关是国资委党委。协会是以水泥装备、建筑及卫生陶瓷装备、混凝土及水泥制品装备等机械领域和相关配备件生产企业以及有关科研设计院所、工程、高校等自愿参加组成的行业组织。在国资委等有关部门领导下，积极参与国家有关政策法规的制修订，编制行业发展规划；加强行业科技创新，推进行业标准化工作；为我国建材机械行业高质量发展做出了重要贡献。

天津市硅酸盐学会

天津市硅酸盐学会是由天津市无机非金属材料的生产、科研、教育等单位和相关科技工作者联合发起的省市级社会组织团体，下设水泥、晶体材料、工艺岩石与非金属矿、特种陶瓷、生态环境功能材料等专业委员会，现有技术会员 1000 余人；学会依托水泥行业技术创新领军企业天津水泥工业设计研究院有限公司，积极参与水泥工业技术创新与科研成果转化推广，组织参与了多项国家与行业标准编制等工作。

自然资源保护协会（NRDC）

自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，成立于 1970 年。NRDC 拥有 700 多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC 自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员 40 多名。NRDC 主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC 在北京市公安局注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。请访问网站了解更多详情 <http://www.nrdc.cn/>

课题编写人员：

狄东仁	监事长 / 教授级高工	中国建材机械工业协会
刘瑞芝	秘书长 / 教授级高工	天津水泥工业设计研究院有限公司 / 天津市硅酸盐学会
王秀龙	教授级高工	天津水泥工业设计研究院有限公司 / 天津市硅酸盐学会
高伟强	高级工程师	天津水泥工业设计研究院有限公司 / 天津市硅酸盐学会
代中元	高级工程师	天津水泥工业设计研究院有限公司 / 天津市硅酸盐学会
胡雪莹	助理工程师	天津市硅酸盐学会
王玉敏	副会长 / 教授级高工	中国建材机械工业协会
赵喜龙	城市项目主管 / 高级工程师	自然资源保护协会
潘支明	城市项目主任	自然资源保护协会
钱京京	高级战略顾问	自然资源保护协会

Cover Image by Emilian Robert Vicol on Pixabay.

© Natural Resources Defense Council 2023

所使用的方正字体由方正电子免费公益授权

中国作为世界最大的建材生产国和消费国，水泥、钢材、平板玻璃等主要建材产品产量多年来高居世界首位，建材行业也一直是工业能源消耗和碳排放的重点领域，是我国碳减排任务最重的行业之一。其中，水泥做为建材行业的主要产品，其碳排放量约占全国排放总量 13% 左右，占建材行业的约 70%，水泥产品的高碳属性，使其成为工业实现“双碳”目标需要重点关注的一个领域。

水泥生产企业实施低碳生产和减排，离不开标准的引领和指导。2022 年 11 月，工业和信息化部等多部门联合发布的《建材行业碳达峰实施方案》，明确要求注重发挥标准计量体系作用，完善建材行业碳排放核算体系，建立完善碳排放计量体系等。但是，现阶段水泥生产减排技术标准种类多、碳标准体系涉及多领域、多部门，标准多头制定，较易出现交叉重复。为此，本研究的第一部分参考相关资料和研究成果，梳理了现有标准和政策，在充分考虑我国水泥行业碳减排技术应用现状和发展路径的基础上，指出了目前存在的标准编制空白，并建议了应优先开发的标准，同时提出了完善标准体系的建议。

所有碳减排技术标准的共同目标是推动企业生产更多的“低碳水泥”产品。考虑到“低碳水泥”一直缺少量化的指标定义，本研究在第一部分也尝试给出了各品种低碳水泥的碳排放指标，可作为水泥企业生产低碳水泥的参考依据。

本研究的第二部分重点为水泥行业参与碳市场所需的标准体系建设。碳排放权交易作为控制温室气体排放的市场化手段，具有减排成本低、可为企业减

排提供灵活选择等优势。我国的碳排放市场建设经历 2011 年至 2020 年试点建设后，2021 年正式在全国发电行业启动交易，水泥行业有望成为第二个纳入碳市场的行业。目前急需搭建碳排放权交易标准体系，加速识别开发支持碳交易的重点标准，完善水泥碳交易核算核查等方面的标准。本研究分析了水泥行业参加前期地方碳交易试点的完成情况，对比了水泥企业参与试点过程中涉及的碳交易相关标准和法规的执行情况，并结合对现有碳交易标准的整理分析，提出了水泥碳市场建设的主要完善方向及相关建议。

此外，由于碳计量结果的可靠性对碳市场健康运行至关重要，本研究还探讨了碳排放计量结果的不确定度评价问题，起草了水泥生产碳排放测量不确定度的评价标准，未来有助于提升碳指标数据采集的可信度。

水泥行业碳减排技术标准体系及碳减排标准清单

水泥行业涉及碳减排的标准约 150 项，涵盖基础通用标准、核算与核查标准、技术与装备标准、监测标准和管理与评价标准等类别。本研究基于《碳达峰碳中和标准体系建设指南》的指引，在《工业领域碳达峰碳中和标准体系建设指南》的框架下，结合目前水泥相关碳排放标准体系建设情况，提出水泥行业碳减排技术标准体系（如图 1 所示），分为核算核查和技术装备两大部分。

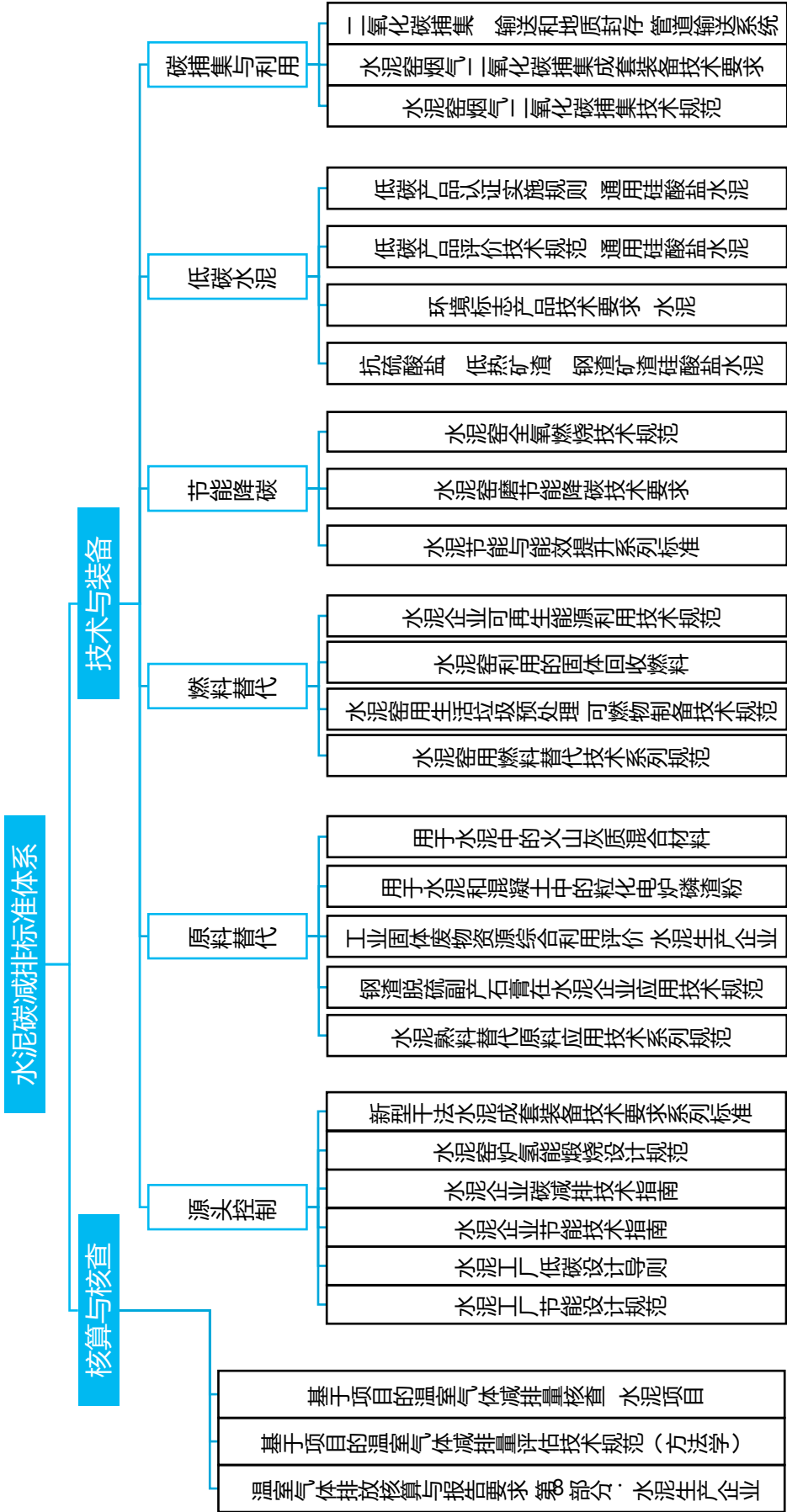


图 1 水泥行业碳减排技术标准体系

核算和核查是开展碳减排技术活动的基础工作，是评估温室气体减排量和评价行业、企业、产品碳排放水平高低的依据。技术与装备标准包括温室气体源头控制标准和不同技术路径的技术与装备要求，应覆盖原燃料替代、节能、低碳水泥及产品替代、碳捕集应用与封存(CCUS)等方面,包括设计规范、技术指南、产品与装备标准等。

本研究汇总和梳理出水泥行业碳减排标准清单(见表 1)，除了纳入现行的标准之外，也包括了本研究建议新编的标准。

表 1 水泥行业碳减排标准清单						
序号	分类	标准编号	标准名称	标准体系分类号	工信部标准体系位置	状态
1	核算与核查	GB/T 32151.8-2015/20201772-T-303	温室气体排放核算与报告要求 第8部分：水泥生产企业	2.1.1	核算与核查	现行
2	核算与核查	GB/T 33756-2017 2021-1775T-JC	基于项目的温室气体减排量评估技术规范	2.1.2	核算与核查	制定中
3	核算与核查		基于项目的温室气体减排量核查 水泥项目	2.2.1	核算与核查	新编
4	源头控制	GB50443-2016	水泥工厂节能设计规范	3.1.3	低碳设计	现行
5	源头控制		水泥工厂低碳设计导则	3.1.3	低碳设计	新编
6	源头控制		水泥窑炉氢能煅烧设计规范	3.1.3	低碳设计	新编
7	源头控制	2019-1684T-JC	水泥生产企业节能技术指南	3.2.2	生产工艺优化	制定中
8	源头控制		水泥行业碳减排技术指南	3.2.2	生产工艺优化	新编
9	源头控制	GB/T 35150.1-2017	新型干法水泥生产成套装备技术要求 第1部分：生料制备系统	3.2.2	生产工艺优化	现行
10	源头控制	GB/T 35150.2-2017	新型干法水泥生产成套装备技术要求 第2部分：烧成系统	3.2.2	生产工艺优化	现行
11	源头控制	20192046-T-609	新型干法水泥生产成套装备技术要求 第3部分：水泥窑协同处置系统	3.2.2	生产工艺优化	制定中
12	源头控制	20213143-T-609	新型干法水泥生产成套装备技术要求 第4部分：水泥制备系统	3.2.2	生产工艺优化	制定中

序号	分类	标准编号	标准名称	标准体系 分类号	工信部标准 体系位置	状态
13	源头控制	20213144-T-609	新型干法水泥生产成套装备技术要求 第7部分：脱硝系统	3.4.2	减污降碳协同	制定中
14	原料替代	2021-1785T-JC	水泥熟料替代原料应用技术规范 电石渣	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	制定中
15	原料替代	2021-1786T-JC	水泥熟料替代原料应用技术规范 煤矸石	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	制定中
16	原料替代	2021-1792T-JC	钢渣脱硫副产石膏在水泥企业应用技术规范	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	制定中
17	原料替代	GB/T 26751-2022	用于水泥和混凝土中的粒化电炉磷渣粉	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	现行
18	原料替代		水泥熟料替代原料应用技术规范 磷石膏	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	新编
19	原料替代	GB/T 2847-2022	用于水泥中的火山灰质混合材料	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	现行
20	原料替代	JC/T 2741-2022	工业固体废物资源综合利用评价 水泥生产企业	3.2.2	生产工艺优化	现行
21	碳捕集与利用	20211022-T-469	二氧化碳捕集、输送和地质封存 管道输送系统	3.2.3	碳捕集利用与封存	制定中
22	碳捕集与利用	2021-1788T-JC	水泥窑烟气二氧化碳捕集技术规范	3.2.3	碳捕集利用与封存	制定中
23	碳捕集与利用		水泥窑烟气二氧化碳捕集成套装备技术要求	3.2.3	碳捕集利用与封存	新编
24	燃料替代	2021-1789T-JC	水泥窑协同处置技术规范 生活垃圾预处理可燃物	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	制定中
25	燃料替代	2021-1790T-JC	水泥窑用生活垃圾预处理可燃物制备技术规范	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	制定中
26	燃料替代	20220826-T-609	水泥窑利用的固体回收燃料	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	制定中

序号	分类	标准编号	标准名称	标准体系分类号	工信部标准体系位置	状态
27	燃料替代		水泥窑用燃料替代技术规范 生物质燃料	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	新编
28	燃料替代		水泥窑用燃料替代技术规范 氢燃料	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	新编
29	燃料替代		水泥企业可再生能源利用技术规范	3.1.1	原/燃料替代与可再生能源利用	新编
30	节能降碳		水泥节能与能效提升类标准	3.1.2	化石能源清洁低碳利用	现行
31	节能降碳		水泥窑窑炉全氧燃烧技术规范	3.2.1	节能提效降碳	新编
32	节能降碳		水泥窑炉装备节能降碳技术要求	3.2.2	生产工艺优化	新编
33	低碳水泥	GB/T 748-2023	抗硫酸盐硅酸盐水泥	3.1.3	低碳水泥	现行
34	低碳水泥	GB/T 4253I-2023	低热矿渣硅酸盐水泥	3.1.3	低碳水泥	现行
35	低碳水泥	GB/T 13590-2022	钢渣矿渣硅酸盐水泥	3.1.3	低碳水泥	现行
36	低碳水泥		贝利特硫铝酸盐水泥	3.1.3	低碳水泥	新编

建议水泥行业碳减排技术标准建设应着力于下述几个方面：

一、加快核算核查类标准的编修力度，力争年内发布新版的核算办法（碳排放核算与报告要求第 8 部分：水泥生产企业）和《水泥企业碳排放核查技术规范》；

二、结合水泥碳减排技术路径，加快编制原燃料替代、节能降碳、低碳水泥和 CCUS 碳捕集与利用方面的技术与装备标准等源头控制、生产过程控制以及协同降碳等 4 类标准，不断完善水泥碳减排与碳交易相关标准，引导企业通过技术创新实现低碳发展；

三、完善企业碳管理体系，结合水泥碳排放特点，在企业节能管理体系基础上完善碳管理体系，包括低

碳评价、碳排放管理标准，同时配合 CCER 项目交易，尽快开展《基于项目的二氧化碳减排量评估技术规范》系列标准编制工作，为企业开展节能减碳活动评价提供技术依据，为能耗双控向碳排放强度与总量双控转变，进入全国碳交易市场做好技术准备。

“低碳水泥”指标

低碳水泥是水泥实现双碳目标的重要手段，可通过节能减排技术实现现有标准体下的产品低碳排放，亦可通过开发新型胶凝材料替代现有水泥实现产品低碳升级，目前的节能减排技术限于产品标准组份要求碳减排量有限（不超过 30%），国内的低碳产品认证和评价标准提出了相关评价方法，但未给出低碳的数据。

本研究认为，低碳是一个相对概念，低碳水泥的评价指标也会随着水泥低碳技术的创新发展不断提升。基于《低碳产品评价技术规范通用硅酸盐水泥》（征求意见稿）中的通用硅酸盐水泥低碳产品限额等级（见表2）以及市场调研，本研究认为，宜以1级限额指标作为低碳产品评价基本要求，其主要产品低碳熟料碳排放量应 $\leq 850\text{kgCO}_2\text{eq/t}$ 熟料，低碳普通硅酸盐水泥42.5（R）碳排放量应 $\leq 706\text{kgCO}_2\text{eq/t}$ 水泥，占调研样本5%；2级、3级分别占调研样本的20%、50%。

表2 通用硅酸盐水泥低碳产品限额等级*

产品类别		单位		I级	2级	3级
通用硅酸盐水泥熟料		$\text{kgCO}_2\text{eq./t熟料}$		≤ 850	≤ 870	≤ 902
产品类别	代号	混合材（%）	强度等级	I级	2级	3级
硅酸盐水泥	P·I P·II	0 ≤ 5	62.5（R）	≤ 857	≤ 879	≤ 914
			52.5（R）	≤ 835	≤ 857	≤ 891
			42.5（R）	≤ 801	≤ 822	≤ 855
普通硅酸盐水泥	P·O	> 5 且 ≤ 20	52.5（R）	≤ 758	≤ 778	≤ 809
			42.5（R）	≤ 706	≤ 725	≤ 755
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	> 20 且 ≤ 50	52.5（R）	≤ 664	≤ 681	≤ 709
			42.5（R）	≤ 535	≤ 549	≤ 572
			32.5（R）	≤ 406	≤ 417	≤ 436
矿渣硅酸盐水泥	P·S·B	> 50 且 ≤ 70	52.5（R）	≤ 449	≤ 461	≤ 481
			42.5（R）	≤ 363	≤ 373	≤ 390
			32.5（R）	≤ 277	≤ 286	≤ 299
火山灰硅酸盐水泥	P·P	> 20 且 ≤ 40	52.5（R）	≤ 664	≤ 681	≤ 709
			42.5（R）	≤ 578	≤ 593	≤ 618
			32.5（R）	≤ 492	≤ 505	≤ 527
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	> 20 且 ≤ 40	52.5（R）	≤ 664	≤ 681	≤ 709
			42.5（R）	≤ 578	≤ 593	≤ 618
			32.5（R）	≤ 492	≤ 505	≤ 527
复合硅酸盐水泥	P·C	> 20 且 ≤ 50	52.5（R）	≤ 664	≤ 681	≤ 709
			42.5（R）	≤ 492	≤ 505	≤ 527

碳排放权交易标准体系框架及标准清单

碳排放权交易市场是推动实现我国碳达峰碳中和的重要工具，可有效推动能源结构调整、节能和提高能效，支持地方和企业推动减排的同时妥善处理发展与减排的关系。工业和信息化部等四部门联合印发的《建材行业碳达峰实施方案》明确要“研究将水泥等重点行业纳入全国碳排放权交易市场”。

结合过去 10 年水泥行业企业参与国内试点碳交易市场情况，并基于国家标准化委员会发布的《标准体系建设指南》和工业和信息化部科技司发布的《工业领域碳达峰碳中和标准体系建设指南》的工作方向，本研究提出水泥行业碳交易标准化工作建议，一是围绕碳排放交易和温室气体自愿减排两个板块开展标准编制，二是提出了标准编制清单（见图 2 和表 3）。

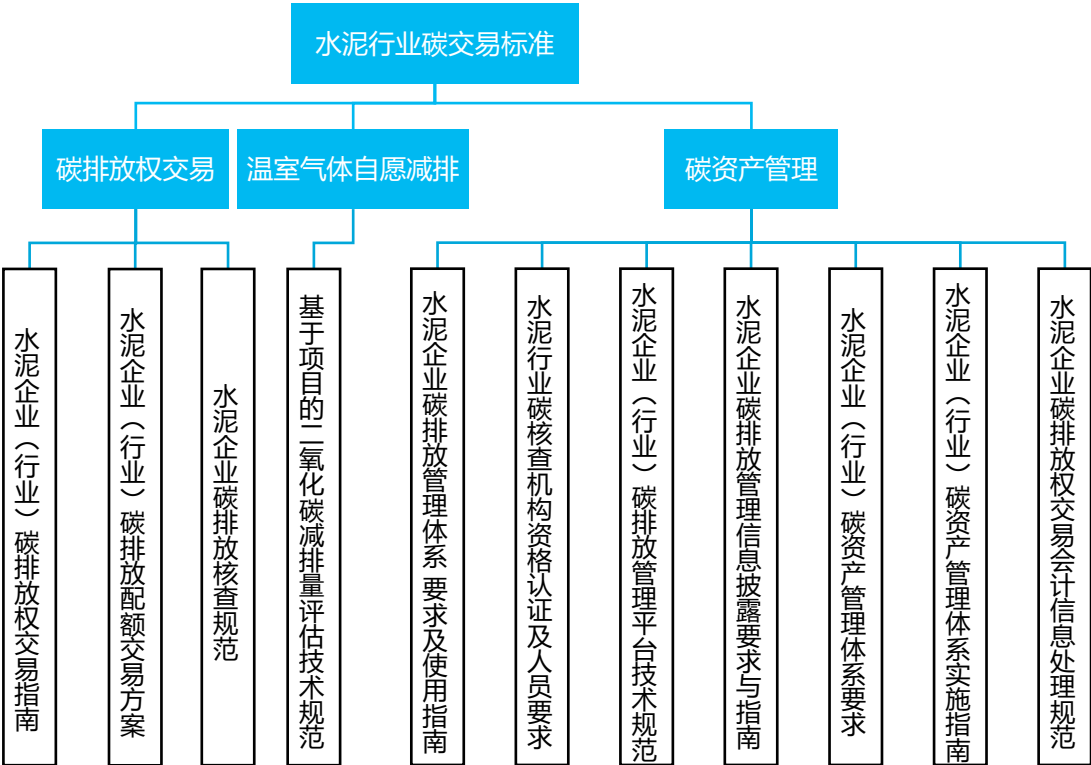


图 2 水泥行业碳交易标准体系框架

表 3 水泥行业有关碳交易标准清单（建议）

指南类别编号	碳排放交易
序号	标准名称
1	水泥企业（行业）碳排放权交易指南
2	水泥企业碳排放权交易会计信息处理规范
3	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\生产水泥熟料的燃料替代项目……
4	水泥企业碳排放管理体系 要求及使用指南
5	水泥企业碳排放核查规范
6	水泥行业碳核查机构资格认证及人员要求
7	水泥企业（行业）碳排放管理平台技术规范
8	水泥企业碳排放管理信息披露要求与指南
9	水泥企业（行业）碳资产管理体系要求
10	水泥企业（行业）碳资产管理体系实施指南

根据目前试点企业参与碳交易情况，本研究建议在以下几方面加强工作：

一、进一步完善全国碳市场建设全流程的体制机制

做到市场运行有法可依，建立全国碳市场全流程的总量控制机制、配额分配机制、交易制度、核证减排量管理制度、监管制度以及风险控制机制，推动各部门之间形成协调机制，确保全国碳市场的稳定发展。

二、制定合理的配额分配制度

制定合理的配额分配制度是全国碳市场的重要基础，建议政府部门汲取电力企业碳排放交易管理的经验，不断完善全国碳市场数据质量制度，通过梳理和调整碳排放数据统计口径和方法，建立全行业碳排放数据库。

三、加强碳交易的能力建设

目前国内多数水泥企业尚未做好参与全国碳交易的准备，水泥企业在决策层面应结合自身的发展战略和经营环境，在评估风险的基础上制定企业碳管理的总体策略和目标。

四、探索切实可行的碳减排方案

将碳排放减排目标完成情况纳入水泥工厂业绩考核，核算自身的碳排放情况，通过有效管理或使用新能源、低碳设备等手段降低碳排放，积累碳资产，最后通过配额交易或碳金融工具实现资产增值。

企业碳排放计量结果可靠性评价标准

温室气体排放测量的数据可靠性控制非常重要，可能关系到国际互认问题，也会触及碳交易各方的经济利益。目前对于企业的温室气体排放量有两种计量方法，一是碳排放因子法，二是基于烟道测量的实测法。

碳排放因子法涉及多个核算环节，企业不一定具备完整测量条件来确定各环节排放因子，测量成本较高。企业通常会采用缺省值计算，例如煤的单位热值碳排放量。另外，固体原料和固体燃料的不均匀性也会造成采样的不确定度增加。如各环节缺省值采用实测获取，其最终碳排放量结果的不确定度仍在 10% 以上。

基于烟道测量的实测法是依据气体成分以及流量测量获取二氧化碳排放量。以压差流量法为基准，测量点位置和数量会影响精确度。实测法的不确定度在 10% 左右。烟气流量和水蒸气含量是影响实测法准确度的主要因素。

本研究提出了水泥企业二氧化碳排放量采用基于烟道测量的实测法的不确定度评定要求，包括不确定度的来源分析、测量模型的建立、标准不确定度的评定、扩展不确定度以及评定报告的要求。本研究提出了不确定度评定标准草案（见完整版报告）。

碳排放因子法和实测法都有各自更适用的场景。例如企业建设前期环评及能评过程中，没有实际运行数据时，碳排放因子法可根据经验值或缺省值完成核算，满足环评和能评要求。水泥企业参加碳排放交易时，则应考虑做一定投资，或采用实测法，或测量本企业缺省值，以提高碳排放量测量准确性，保障企业利益。

在后续工作方面，建议对碳排放因子法进行标准模型的优化修订以及水泥企业配套计量设备的投入和管理提升，使得核算数据更为精确；实测法则应解决流量和水蒸气体积含量等测量关键难点，开展二氧化碳在线监测示范。



NRDC北京代表处

地址：中国北京市朝阳区东三环北路38号泰康金融大厦1706

邮编：100026

电话：+86 (10) 5927-0688