

附件 3

《重点行业大气污染防治绩效分级及重污染天气
应急减排措施技术指南 水泥工业
(征求意见稿)》编制说明

标准编制组

二〇二四年五月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 标准制订必要性分析	2
2.1 国家及生态环境主管部门的相关要求.....	2
2.2 行业发展带来的主要环境问题.....	3
3 行业概况	4
3.1 水泥行业概况.....	4
3.2 国外水泥工业概况.....	7
3.3 绩效分级现状.....	8
4 行业产排污情况及污染防治技术分析	8
4.1 污染物产排污现状.....	8
4.2 污染防治技术.....	9
5 与国内外同类标准或技术法规的对比分析	12
5.1 排放标准.....	12
5.2 重污染应对及绩效分级标准.....	13
6 标准制修订基本原则、方法和技术路线	14
6.1 制订原则.....	14
6.2 采用的方法.....	14
6.3 技术路线.....	14
7 标准主要技术内容及说明	16

7.1 标准框架	16
7.2 适用范围	16
7.3 规范性引用文件	16
7.4 术语与定义	16
7.5 总体要求	16
7.6 绩效指标分级要求	17
7.7 减排措施要求	19
7.8 核查方法	20
8 环境效益和实施建议	20

1 项目背景

1.1 任务来源

为落实习近平总书记精准治污、科学治污、依法治污的重要批示精神，积极有效应对重污染天气，生态环境部大气环境司于 2020 年印发了《重污染天气重点行业应急减排措施制订技术指南（2020 年修订版）》（环办大气函〔2020〕340 号，以下简称《现行指南》）。为进一步规范和指导重点行业绩效分级工作，拟将《现行指南》分批转化为系列国家生态环境标准。

1.2 工作过程

1. 成立标准编制组

2022 年 5 月生态环境部印发了《关于开展 2022 年度第二批国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函〔2022〕205 号），将《重污染天气重点行业绩效分级及减排措施制订技术指南 水泥工业》（以下简称《水泥工业标准》）列入实施计划，项目统一编号 2022-38，中国环境科学研究院组织中国建筑材料科学研究总院有限公司、中国水泥协会、河北省生态环境应急与重污染天气预警中心等单位组建标准编制组。

2. 开展广泛调研

（1）资料调研：标准编制组持续开展文献调研，了解行业生产工艺、污染物排放情况等，熟悉国内外相关标准和产业政策、环保政策；对全国水泥行业应急减排清单及绩效分级现状进行梳理；根据减污降碳协同增效政策要求，收集水泥行业碳排放与核查相关政策和技术资料。

（2）实地调研：选取典型区域、典型企业进行绩效分级状况分析、调研、监测数据收集整理和分析测试，并就绩效分级指标及减排措施问题与行业、企业进行深入探讨。

（3）技术研讨：参与水泥超低排放技术讨论会，讨论与水泥超低排放技术方案对接。就低碳指标纳入《水泥工业标准》进行专项调研，了解水泥行业碳排放政策要求。就标准绩效分级具体技术指标，与水泥企业、行业专家进行技术讨论。

3. 编制标准文本草案

标准编制组对《现行指南》的执行情况进行总结分析，提出标准初步编制原则、方法和技术路线。以《现行指南》为依托，编制标准草案初稿和开题论证报告初稿，召开《水泥工业标准》开题论证会。

4. 编制标准征求意见稿和编制说明

在广泛调研的基础上，明确了标准的适用范围、术语定义、绩效指标、减排措施及核查方法等内容，编制征求意见稿及编制说明等文件。与生态环境部大气环境司、行业专家多次对接、讨论，修改标准文本和编制说明。

5. 征求意见稿技术审查

2023年5月，生态环境部大气环境司组织召开《水泥工业标准》征求意见稿技术审查会。审查委员会听取了标准编制组对征求意见稿的主要技术内容、编制工作过程等情况汇报，经讨论，一致同意通过征求意见稿技术审查，并提出进一步完善的建议。审查会后，编制组对标准文本进一步修改完善，形成征求意见稿和编制说明。

2 标准制订必要性分析

2.1 国家及生态环境主管部门的相关要求

《中华人民共和国大气污染防治法》中第六章规定了重污染天气应对的相关要求。

2018年6月，国务院印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中提出要“细化应急减排措施，落实到企业各工艺环节，实施‘一厂一策’清单化管理。”

2019年7月，生态环境部印发《工业炉窑大气污染综合治理方案》（环大气函〔2019〕56号）中提出水泥窑除尘、脱硝等污染治理设施的具体要求。

2019年7月，生态环境部印发《重污染天气重点行业应急减排措施制订技术指南》（环办大气函〔2019〕648号）配套文件指出，水泥行业是15个重点绩效分级行业之一，实施差异化减排措施有利于促进行业的高质量发展。

2020年6月，生态环境部印发《重污染天气重点行业应急减排措施制订技术指南（2020年修订版）》（环办大气函〔2020〕340号），要求全面推行重点行业差异化减排措施。

2020年12月，工信部和生态环境部联合发布《关于进一步做好水泥常态化错峰生产的通知》（工信部联原〔2020〕201号），将错峰生产常态化，以应对“水泥产能严重过剩的结构性矛盾依然存在，大气污染防治攻坚战任务仍然艰巨”。

2021年7月，生态环境部印发《重污染天气重点行业绩效分级减排措施》补充说明（环办便函〔2021〕341号），为开展重点行业绩效分级，制订差异化应急减排措施提供参考。

2021年11月，中共中央 国务院印发《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》在深入打好蓝天保卫战章节，提出三大战役之一是着力打好重污染天气消除攻坚战。提出实施重

点行业企业绩效分级管理，依法严厉打击不落实应急减排措施行为。

2022年1月，国务院印发《“十四五”节能减排综合工作方案》，部署了十大重点工程之一的重点行业绿色升级工程，明确提出推进钢铁、水泥、焦化行业及燃煤锅炉超低排放改造。

2022年6月，生态环境部等七部门印发《减污降碳协同增效实施方案》（环综合〔2022〕42号）指出：当前我国同时面临实现生态环境根本好转和碳达峰碳中和两大战略任务。

2022年11月，生态环境部、国家发改委等15个部门联合发布《深入打好重污染天气消除、臭氧污染防治和柴油货车污染治理攻坚战行动方案》（环大气〔2022〕68号），其中《重污染天气消除攻坚行动方案》中明确要求：**持续推进重点行业绩效分级**，视情扩大重点行业范围，**优化绩效分级指标**。工业源应急减排措施应落实到具体生产线、生产环节、生产设施，做到可操作、可监测、可核查，企业应制订“一厂一策”操作方案并落实到位。

2022年11月，工信部等四部委发布《建材行业碳达峰实施方案》（工信部联原〔2022〕149号）指出建材行业是工业领域能源消耗和碳排放的重点行业，提出要坚持统筹推进，促进减污降碳协同增效。在水泥等重点行业加快实施污染物深度治理和二氧化碳超低排放改造，促进减污降碳协同增效。在保障措施加大政策支持方面，明确提出实行差别化的**低碳环保管控政策**，**适时纳入重污染天气行业绩效分级管控体系**。

2024年1月，生态环境部等五部委《关于推进实施水泥行业超低排放的意见》（环大气〔2024〕号）（以下简称《水泥超低意见》）提出推进实施水泥行业超低排放，提升水泥行业全工序、全流程大气污染治理水平，推动行业绿色低碳转型升级。在政策措施方面明确提出要实行差异化环保管理政策，对于已完成超低排放改造并公示的水泥企业，可开展A级绩效评级工作，减少错峰生产时间；完成A级绩效评定的，重污染天气预警期间可采取自主减排措施。

综上，生态环境部等多部门对重污染天气应对工作提出了更高的要求，持续推进重点行业绩效分级，优化绩效分级指标和制订更加合理的应急减排措施，是突出精准治污、科学治污、依法治污的具体体现。水泥行业作为大气污染物排放、能源消耗和碳排放的重点行业，该标准的制定不仅引导企业全方位污染防治，还将引导企业更好地实现减污降碳，促进行业高质量发展，是非常有必要的。

2.2 行业发展带来的主要环境问题

我国水泥行业产能过剩严重，先进产能和落后产能共存，企业间环境管理水平和污染

物排放量差别很大，有很大的污染物减排空间，水泥行业也是主要的碳排放行业。

我国现行的《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915-2013），排放限值和无组织管控要求远远不能满足生态环境部门对行业污染物排放的管控要求。近年来，多个省市制订了地方排放标准，部分省市先后提出了水泥行业超低排放改造实施方案，但不同省市间的排放标准和提升改造要求有较大差异。《水泥超低意见》对重点地区和全国的水泥窑提出了超低排放改造的要求，水泥行业的进一步深度减排已成为各界的共识。多项标准和政策在推动着水泥工业的减污降碳工作。由于各地标准要求不统一，缺乏对全过程污染防治和碳减排要求的共同认知，不利于政策在全行业的合理实施。

《现行指南》已经实施了四年，起到了引导大量水泥企业提升改造向高质量发展的作用，但在实施过程中也发现了一些需要解决的问题。首先，《现行指南》不是标准，执行过程中一些配套要求未明确，容易产生歧义，部分指标不完善或需要进一步提升，有些应急减排措施不够明确或不尽合理，移动源管控过于宽松，核查要求不具体难以操作等。

本标准通过绩效分级和差异化管控，结合水泥全行业超低排放要求，使环境管理与行业发展紧密结合，倒逼行业更加重视环保，企业更自觉地进行绩效水平提升，促进水泥行业最大限度地减排污染物，引导水泥行业更好地进行绿色、低碳和循环发展。

3 行业概况

3.1 水泥行业概况

3.1.1 行业规模现状

水泥是重要的基础原材料，广泛应用于土木建筑、水利、国防等工程，为改善民生、促进国家经济建设和国防安全起到了重要作用。在未来相当长的时期内，水泥仍将是人类社会不可替代的主要建筑材料。

2022 年全国累计水泥产量 21.18 亿吨，同比下降 10.37%。全国有水泥熟料企业 1169 家，生产线 1593 条^[1]，设计熟料年产能 18.4 亿吨，实际熟料年产能超过 20 亿吨。从数据来看，新型干法熟料设计产能 2021 年略有下降，但总量依旧处于高位。其中，2500 吨/天及以上水泥窑熟料产能占比在 75% 以上，4000 吨/天及以上水泥窑熟料产能占比在 69% 以上。

[1] 许红霞、沙克昌等. 一图读懂 2022 水泥行业绿色发展水平评估报告, 环境影响评价网

3.1.2 行业内企业分布

2022年，我国水泥产量排名前10位的分别是广东、安徽、江苏、山东、四川、浙江、河南、湖北、广西和湖南省，各省水泥产量及排名情况见表3-1。

表3-1 2022年我国各省水泥产量排行情况

产量排名	省份	2022年水泥产量(万吨)	同比(%)	占比	产量排名	省份	2022年水泥产量(万吨)	同比(%)	占比
1	广东省	15131	-11.02	7.1%	17	重庆市	5317	-14.70	2.5%
2	安徽省	14211	-5.21	6.7%	18	山西省	4799	-13.34	2.3%
3	江苏省	14206	-7.60	6.7%	19	甘肃省	4008	-9.93	1.9%
4	山东省	13405	-18.48	6.3%	20	新疆	3845	-17.27	1.8%
5	四川省	13069	-7.62	6.2%	21	辽宁省	3838	-20.88	1.8%
6	浙江省	12934	-4.93	6.1%	22	内蒙古	3524	-1.58	1.7%
7	河南省	11440	0.82	5.4%	23	黑龙江省	1860	-14.33	0.9%
8	湖北省	11049	-6.92	5.2%	24	吉林省	1718	-19.19	0.8%
9	广西	10423	-8.79	4.9%	25	宁夏	1667	-10.73	0.8%
10	湖南省	9944	-4.88	4.7%	26	海南省	1626	-16.06	0.8%
11	河北省	9906	-10.96	4.7%	27	青海省	975	-11.30	0.5%
12	福建省	9657	-4.35	4.6%	28	西藏	793	-20.05	0.4%
13	云南省	9650	-15.63	4.6%	29	天津市	529	-16.23	0.2%
14	江西省	8769	-13.44	4.1%	30	上海市	361	-17.04	0.2%
15	陕西省	6509	-2.54	3.1%	31	北京市	203	-21.17	0.1%
16	贵州省	6428	-31.09	3.0%		全国合计	211794		

3.1.3 水泥窑协同处置

2022年，除上海外，各地均有水泥窑协同处置固体废物，全国协同处置固废生产线数量约436条。其中，湖北、河北、广西的协同处置能力排在前三位，详细情况见图3-1^[2]。

[2] 韩力，何光明等 双碳目标下水泥行业碳减排策略 水泥[J],2022(2):1-3

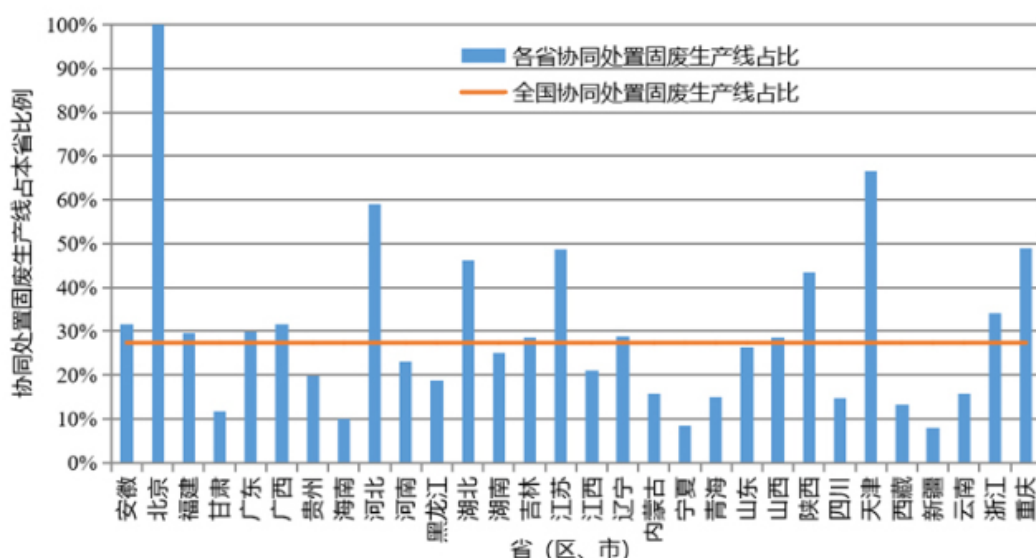


图 3-1 2022 年我国水泥窑协同处置固废生产线占比

3.1.4 行业碳排放水平

建材行业碳排放仅次于发电和钢铁行业，2020年建材行业碳排放总量已达到13.75亿吨，在全国工业行业中占比18%^[2]。根据《中国建筑材料工业碳排放报告（2020年度）》报告，2020年水泥工业化石燃料和过程排放产生的二氧化碳排放约12.3亿吨，电力消耗产生的间接排放约合0.8955亿吨二氧化碳。水泥行业二氧化碳排放量占建材行业的80%以上。

2022年，29个省区市（除上海、西藏）1080家水泥熟料企业在全国碳排放平台上报了2021年二氧化碳排放数据，经核查二氧化碳排放量达13.43亿吨，折合单位熟料二氧化碳排放量0.846吨/吨熟料^[2]。

3.1.5 行业发展趋势预测

纵观整个水泥行业，产能过剩矛盾问题尚未从根本上解决，产能过剩依旧是当前水泥行业面临的主要问题。

错峰生产常态化。按照行业协会和国家有关部门的文件，水泥行业错峰生产已经实现常态化。据不完全统计，北方地区水泥企业错峰生产停窑时间达到160~180天，南方基本在50天左右。

水泥粉磨站企业数量和布局有待优化。目前中国约有3400多家水泥企业，其中三分之二是独立的水泥粉磨站。粉磨站企业“数量庞大，规模偏小，竞争无序，布局不合理，企业管理和装备水平不高，质量管控风险大”等一系列问题有待解决。

《水泥行业节能降碳改造升级改造实施指南》指出，我国水泥生产企业数量众多，生产能耗水平和碳排放水平差异较大，节能降碳改造升级潜力较大。

3.1.6 行业发展带来的主要环境问题

多年来我国水泥产量占世界水泥总产量的 50% 以上。在“双碳”目标的指引下，水泥行业积极实施节能减排，推动减污降碳协同增效。但与此同时，产能过剩、能效水平偏低、污染物排放总量大等问题仍然存在，困扰着水泥行业的绿色低碳转型。

当前，水泥行业正在力争实现提前碳达峰，并降低碳排放强度控制碳达峰的峰值，这给水泥行业减污降碳协同增效带来了新的机遇。但与此同时，水泥行业减污降碳工作中面临的巨大挑战，也不容忽视。从排放总量来看，水泥行业仍是大气污染物和二氧化碳等温室气体排放的重点行业之一。

3.2 国外水泥工业概况

2022 年全球水泥产量约 41.6 亿吨，其中我国水泥产量占全球的 51.2%，全球及主要国家水泥产量情况见表 3-2。

表 3-2 2022 年全球及主要国家水泥产量

排名	国家	产量	同比 (%)	占比
1	中国	213000	-10.5	51.17%
2	印度	38436	10.28	9.23%
3	越南	12274	16.23	2.95%
4	美国	9500	3.26	2.28%
5	土耳其	7300	-7.48	1.75%
6	伊朗	6500	3.17	1.56%
7	印尼	6400	-3.03	1.54%
8	巴西	6300	-4.37	1.51%
9	俄罗斯	6070	2.53	1.46%
10	沙特	5240	-2.42	1.26%
11	埃及	5200	6.12	1.25%
12	韩国	5200	4.29	1.25%
13	墨西哥	4988	-3.54	1.20%
14	日本	4847	-3.21	1.16%
15	巴基斯坦	4433	-10.63	1.06%
16	其他	80567	0.66	19.36%
全球合计		416255	-4.23	100.00%

*数据来源：中国水泥网

近十年，中国企业在 15 个境外国家投资建设了 31 条水泥熟料生产线，合计熟料产能 3538 万吨，水泥产能 5050 万吨，中国水泥企业境外投资的步伐在加快。

3.3 绩效分级现状

经初步统计，2022 年共有 762 家水泥熟料企业参与了绩效分级，涉及 23 个省市。其中，A 级企业 64 家，占全部绩效分级企业的 8.4%；B 级企业 180 家，占 23.6%；C 级企业 299 家，占 39.2%；D 级企业 169 家，占 22.2%。A 级企业主要集中在京津冀及周边的河南省、河北省、山西省和长三角的安徽省。我国水泥熟料企业应急减排绩效分级状况见表 3-3。

表 3-3 我国 2022 年水泥企业绩效分级状况

序号	所属省份名称	企业数量	A	B	C	D	豁免	长停
1	四川省	77	0	21	28	25	3	0
2	山东省	70	1	22	29	13	4	1
3	河南省	68	12	31	17	3	2	3
4	河北省	64	9	33	16	4	0	2
5	山西省	54	9	16	20	6	1	2
6	云南省	54	7	11	12	11	13	0
7	内蒙古	47	0	0	15	26	1	5
8	安徽省	45	9	28	4	3	1	0
9	贵州省	41	4	2	33	1	0	1
10	辽宁省	35	0	0	13	20	0	2
11	甘肃省	35	2	0	27	6	0	0
12	浙江省	30	1	0	19	9	0	1
13	陕西省	29	5	1	12	9	1	1
14	江苏省	23	2	7	11	2	1	0
15	新疆	19	0	1	13	5	0	0
16	宁夏	18	0	1	8	9	0	0
17	黑龙江	18	0	1	9	5	0	3
18	江西省	17	2	2	1	12	0	0
19	吉林省	7	0	0	7	0	0	0
20	北京市	4	0	0	2	0	2	0
21	新疆兵团	3	0	0	3	0	0	0
22	福建省	2	0	2	0	0	0	0
23	天津市	2	1	1	0	0	0	0
各绩效级别企业数量		762	64	180	299	169	29	21
绩效级别占比		100%	8.4%	23.6%	39.2%	22.2%	3.8%	2.8%

4 行业产排污情况及污染防治技术分析

4.1 污染物产排污现状

水泥生产工艺一般包括：原材料的采运、原材料（能源）的贮存和制备、熟料煅烧、

水泥粉磨和贮存、包装和发送。窑系统是最主要的废气污染源，排放大量的 PM、NO_x、SO₂ 等。典型水泥熟料生产工艺流程见图 4-1。

主要生产企业 PM 主要来自物料的储存、破碎机、烘干机、生料磨、煤磨、水泥窑及窑尾余热利用系统、冷却机（窑头）、水泥磨、包装机及输送设备等。SO₂、NO_x 主要来自水泥窑及窑尾余热利用系统和独立烘干系统。

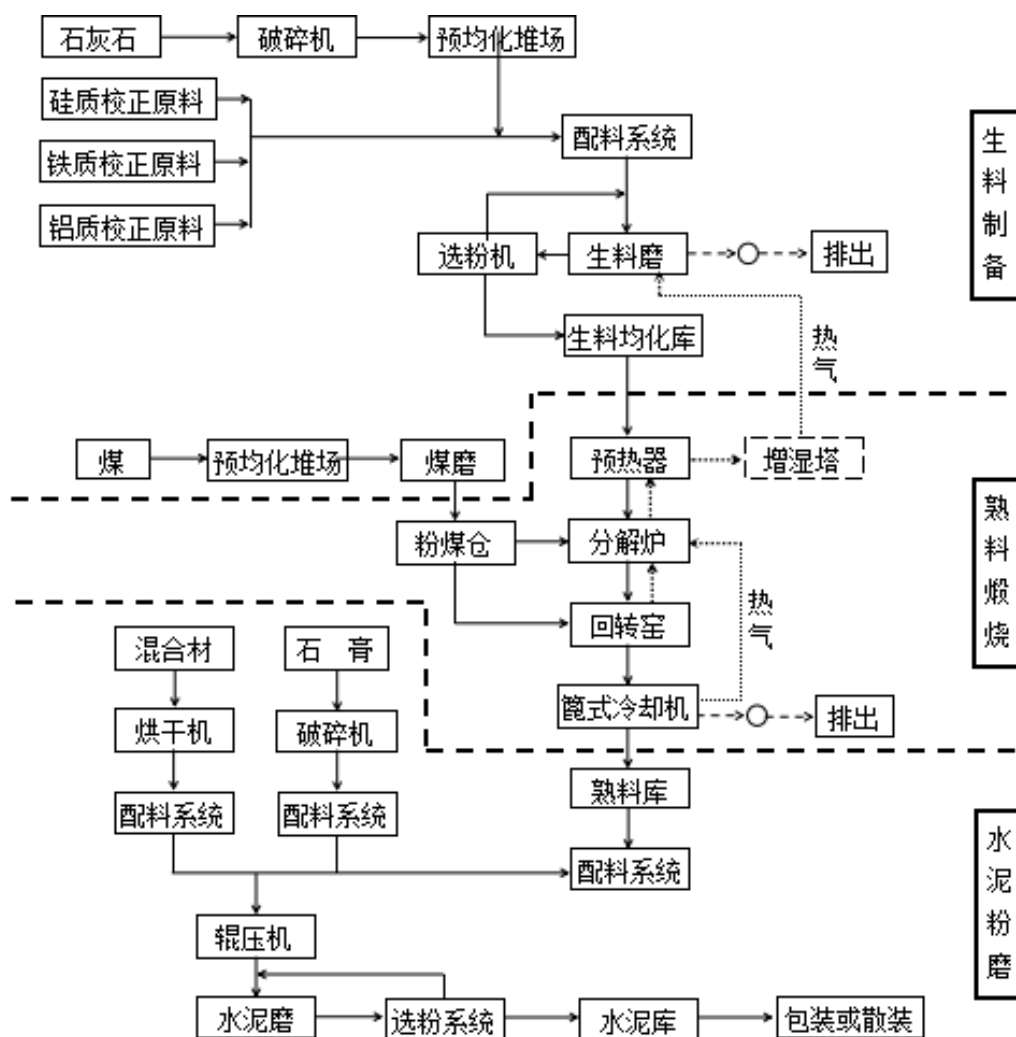


图 4-1 典型水泥生产工艺流程图

4.2 污染防治技术

4.2.1 颗粒物

一般水泥企业有大大小小几十台除尘器，常温通风除尘以袋式除尘技术为主，处理水泥窑煅烧高温气体，袋式除尘和电除尘技术并存，但随着排放标准要求的不断提高，袋式

除尘器所占比例越来越高。

对于水泥窑高温燃烧产生的烟尘，过去多用静电除尘器净化，但随着耐高温滤料、覆膜滤料和高新技术的发展，水泥窑窑尾、烘干机应用袋式除尘器的比例越来越高。由于窑头温度高且工况易变不如窑尾稳定，因此目前部分窑头仍使用静电除尘器，但越来越多的水泥窑窑头使用袋式除尘器。2022年，全国95.45%的水泥窑窑尾采用了袋式除尘或电袋除尘技术，其中84.41%采用了覆膜滤料等高效除尘技术；78.25%的水泥窑窑头采用了袋式除尘或电袋除尘技术，21.75%采用了静电除尘技术。

对于常温生产过程产生的粉尘，可根据工艺特点优先采用密闭或封闭产尘设备，减少粉尘的产生。对不能全封闭的产尘设备，可采用集中或分散的除尘系统，并回收利用粉尘。水泥工业粉尘治理广泛应用的是袋式除尘器。

4.2.2 氮氧化物

水泥窑NO_x的控制主要通过源头控制、工艺控制和采取末端治理技术来实现。源头控制主要是通过创新和改进生产工艺减少NO_x产生，工艺控制主要是采取低氮燃烧器、分级燃烧、分解炉含氧量精细化管控（精准喷氨）等措施减少NO_x产生，末端治理主要是烟气脱硝，是水泥窑NO_x减排最有效的手段。

目前水泥窑脱硝技术主要有低氮燃烧、SNCR脱硝、SCR脱硝。目前，适用于水泥窑的高效脱硝技术主要是SCR。近几年出现了多种脱硝新技术，但由于应用时间较短，在技术稳定性和高效率、氨逃逸和其他污染物等方面还需要更多的技术验证。

单独使用某一种脱硝技术难以达到超低排放和经济性的统一。低氮燃烧技术虽然最经济，可从根源上降低NO_x生成，但降幅有限，无法实现末端超低排放。SNCR技术受反应效率所限，控制较低排放指标时需要大量喷氨水，造成氨逃逸。SCR技术可实现超低排放和低氨逃逸，但投资很大，催化剂用量与处理NO_x量成正比，要求去除率高时，运行成本会大幅增加，水泥企业SCR脱硝技术近两年呈明显增长态势。绩效A级水泥企业多采用“低氮燃烧+SNCR+SCR脱硝”联合技术。

根据进入SCR反应器烟气温度和烟尘浓度的不同，水泥窑尾烟气SCR脱硝系统工艺路线主要分为高温高尘、高温中尘和中温中尘。对比应用业绩、技术成熟度、脱硝效率、实际工程案例数量、催化剂价格等因素，现阶段高温高尘、高温中尘SCR脱硝技术的可靠性更高。

2022 年，我国水泥熟料生产线 99% 以上采用了脱硝措施，88.76% 采用以 SNCR 为主体的脱硝技术，配置 SCR 脱硝技术的生产线超过了 150 条。

4.2.3 二氧化硫

SO₂ 排放主要取决于原料、燃料中挥发性 S 含量。水泥窑本身就是性能优良的固硫装置，特别是分解炉内有高活性 CaO 存在，可大量吸收 SO₂。如果将窑尾废气送入正在运行中的生料磨（窑磨一体化运行），会获得额外的 SO₂ 吸收能力，因此窑磨一体化运行时 SO₂ 会显著降低。当原料、燃料中硫含量较高，水泥窑可采用优化窑磨一体化运行或烟气脱硫（包括湿法、干法和复合脱硫技术）实现达标排放。

湿法烟气脱硫采用液体吸收剂洗涤烟气去除 SO₂，反应速度快，脱硫效率高，但脱硫系统相对复杂，投资也相对较高。处理后的烟气温度的大幅降低，烟气含水量增加。如果为了提高扩散，防止烟囱附近形成雨雾，需对烟气进行再加热。湿法脱硫以石灰/石灰石-石膏法应用最为普遍。该技术适用于 SO₂ 产生浓度中高含量（≥1500 mg/m³）的水泥窑烟气治理。

干法烟气脱硫采用粉状或粒状吸收剂、吸附剂或催化剂来脱除烟气中的 SO₂，特点是处理后的烟气温度的降低很少，烟气湿度没有增加，有利于烟囱的排气扩散，同时在烟囱附近不会出现雨雾现象。但吸附或吸收速度较慢，因而脱硫效率相对较低。干法脱硫常用的方法有小苏打干法、高比表氢氧化钙法等。该技术适用于 SO₂ 产生浓度低含量（≤300 mg/m³）的水泥窑烟气治理。

烟气复合脱硫^[3]技术包含脱硫粉剂和脱硫水剂。脱硫粉剂从入窑提升机加入，在 C1、C2 旋风筒内与生料混合均匀，脱硫剂中的强氧化剂将 SO₂ 氧化为 SO₃，SO₃ 与钙基组分反应生成 CaSO₄，实现烟气快速脱硫。脱硫水剂通过在 C2 至 C1 上升风管处雾化喷入，形成一定水雾层，与逃逸的 SO₂ 气体充分接触：一方面减缓 SO₂ 气体的逃逸速度，增加了脱硫反应时间；另一方面水剂与 SO₂ 气体反应生成硫酸后吸附于生料颗粒表面，实现对逃逸 SO₂ 的二次捕获。复合脱硫技术投资和运行成本较低，可以实现快速、高效脱硫。该技术适用于 SO₂ 产生浓度中高含量（200~2000 mg/m³）的水泥窑烟气治理。

2022 年，全国 72.7% 生产线在未采取脱硫措施的情况下，SO₂ 能满足绩效分级或排放标准的要求。约 15% 的生产线采用复合脱硫技术，生产线分布在全国 20 多个省区市，其

[3] 张同生等 烟气复合脱硫技术最新进展 水泥[J], 2017 (7) : 52-56

中安徽、广东、湖南、湖北、福建数量较多，约 11.2%的生产线采用湿法脱硫技术，采用干法脱硫技术的较少。部分企业将复合脱硫、干法脱硫等技术作为备用技术，在生料磨停机时启用，在经济性和灵活性方面更有优势。

随着水泥行业超低排放和环保绩效提升对 SO₂ 排放限值要求的加严，会有越来越多的水泥熟料生产线采取脱硫措施。

5 与国内外同类标准或技术法规的对比分析

本标准的制订是基于《现行指南》中的“重污染天气重点行业绩效分级及减排措施 水泥”进行编制，同时对比了国内外相关排放标准和超低排放等相关要求。

5.1 排放标准

排放标准是环境管理的基本手段，各国都非常重视，并且随着技术、经济的发展不断提高排放控制要求。从全球范围看，美国分行业制订的新固定源标准（NSPS）和危险空气污染物国家排放标准（NESHAP），欧盟发布的工业排放指令（IED）及其配套的行业 BAT 指南文件，日本主要按污染物项目规定统一的排放限值（很少区分行业、工艺），三者在污染物排放管理方面最具典型性。将它们与我国水泥行业排放标准进行比较。与国外标准相比，我国排放浓度限值是 1 小时平均值，而国外一般为日均值，相同排放限值情况下，我国排放标准要求更严。我国国标 PM 控制要求略为宽松，部分重点区域的地方标准和要求严于国外主要标准，PM 控制需要采用高效袋式除尘器。我国国标 NO_x 控制要求略为宽松，部分重点区域地方标准和要求严于国外主要标准，并且有进一步加严的趋势。

我国水泥工业执行的是《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915-2013），该标准排放限值的要求已远远不能满足生态环境部门对行业污染物排放的管控要求。近年来，北京、山东、河北、安徽、河南、四川等多个省市制订了地方排放标准，河南、浙江、宁夏、山西、山东、福建等先后制订了水泥行业超低排放改造实施方案，河北发布了《河北省重点行业环保绩效 A 级标准 水泥行业》（试行），明确了水泥行业排放水平和绩效提升的要求，不同省市间的排放标准和提升改造要求有较大差异。

我国地方排放标准中 PM 排放限值要求最严的是 10 mg/m³，水泥窑 SO₂ 排放限值最严的是 20 mg/m³，水泥窑 NO_x 排放限值多个省市的要求是 100 mg/m³，远远严于国标排放限值要求。大部分制订了超低排放实施方案的省，水泥窑及窑尾余热利用系统的 NO_x 浓度加严到 50 mg/m³。部分省提出了独立热源烘干系统的 NO_x 浓度限值加严到 50 mg/m³，有些

未明确含氧量，但水泥国标中明确要求独立烘干热源的基准含氧量为 8%，各省超低排放含氧量应与国标要求保持一致。由于物料烘干过程中掺入了大量冷风，烘干烟气的实际含氧量多在 18%左右，折算成基准含氧量 8%后，使用天然气做烘干燃料也可能需要采取烟气脱硝，而水泥粉磨物料烘干通常不连续生产，即使上了高效脱硝设施，运行也难以长期稳定，此外还需要上高效袋式除尘才能满足排放要求。使用独立烘干热源的独立粉磨站，应优先购买粉磨后的矿渣粉等原料，减少原辅材料在企业的烘干。

本标准绩效 A、B、C 级企业 PM、SO₂、NO_x 与国家标准比较较为严格；本标准绩效 A 级企业 NO_x 排放限值要求 50mg/m³ 与地方标准比较较为严格，多个地方排放标准 NO_x 在 100~200 mg/m³ 之间；近三年多个省出台的超低排放实施方案 NO_x 限值多为 50 mg/m³，与本标准限值要求一致。本标准绩效 B 级企业 NO_x 排放标准限值为 100 mg/m³，要求与地方标准比较水平相当，与超低排放实施方案相比较为宽松。

本标准绩效引领企业独立烘干热源可以是天然气锅炉或热风炉。如干燥热源为锅炉，PM、SO₂、NO_x 与国家锅炉排放标准相比是加严的，但与部分地方标准水平相当；如干燥热源为热风炉，PM、SO₂、NO_x 与水泥标准相比也是加严的。本标准绩效 B 级企业 NO_x 排放限值 150mg/m³ 与地方标准比较适中，多个地方排放标准 NO_x 在 100~200 mg/m³。近三年多个省出台的超低排放实施方案 NO_x 限值多为 50 mg/m³，本标准绩效 B 级企业 NO_x 排放标准限值 100 mg/m³ 与多个国内地方标准水平相当。

5.2 重污染应对及绩效分级标准

重污染天气在国内外都时有发生，但在国外特别是发达国家，主要是在区域联防联控机制建设方面做了大量有效工作，制订长期的空气质量改善计划，减少重污染天气的发生，从而实现空气质量的达标。针对短期的污染事件主要采取临时管控措施，没有制订专门的重污染天气应对技术标准。

2013 年以来重污染天气频繁发生，引起了国家和生态环境部门的重视，之后开展了重污染应对技术的相关研究与应用，其中制订重点行业应急减排措施并开展应急响应成为重要的应对手段。2019 年生态环境部 648 号文件对 15 个重点行业进行了绩效分级并实施差异化管控。为落实习近平总书记精准治污、科学治污、依法治污的重要批示精神，积极有效应对重污染天气，2020 年生态环境部印发了《现行指南》，扩大绩效分级行业范围至 39 个重点行业，完善了相关技术指标和减排措施。水泥行业作为 39 个重点行业之一，通过绩效分级大幅提升了行业的污染防治水平，特别是重点地区在差异化减排措施的鼓励

下，提高了企业绩效水平提升的积极性，但在实施过程中发现了绩效指标和减排措施中存在一些指标不合理、可操作性差等问题，需要进一步修改完善。

由于重污染天气应对是一项长期持续的工作，之前主要是生态环境部根据需要每年发布相关文件提出要求，没有上升成为标准规范，文件的执行力度不足，并且适用范围主要是重点区域，在应用过程中受到一定限制。为进一步规范重点行业绩效分级，生态环境部将《现行指南》分批转化为系列生态环境技术标准，《水泥工业标准》成为生态环境部第一批制订的绩效分级标准之一。

6 标准制修订基本原则、方法和技术路线

6.1 制订原则

标准的制订遵循科学性、前瞻性、创新性和适用性的原则。

标准的制订，应满足相关环保标准和环保工作要求，指导水泥工业开展绩效评级以及重污染天气减排、核查，具有普遍适用性和实际可操作性。

6.2 采用的方法

本标准编制通过文献调研、企业调研、行业性会议、行业专家研讨、各级生态环境部门绩效分级评审、第三方环保公司交流等多种方式收集相关资料，对标《现行指南》及补充说明相关指标，筛选出需要增加和调整的指标，对绩效先进企业技术指标进行现场调研与监测数据收集，修改和完善技术指标。制订本标准具体技术方法为：

(1) 典型企业实地监测和调研：结合行业分支、管控类型和生产线及产品类型等特点，选择具有代表性的典型源企业名单，收集企业相关生产、环保治理设施情况和监测数据，并对部分排放状况进行数据补充监测。

(2) 文献调研、经验分析：调研行业现状、主要生产工艺、产排污节点及控制措施、典型企业排污许可、国内外相关标准等，总结相关标准经验，以确保标准制订前开展充分的可行性分析。

(3) 专家研讨、论证：邀请行业专家进行研讨论证，对排放标准中涉及的技术问题进行审查，以确保标准制订过程中研究方向和技术路线的正确性。

6.3 技术路线

标准编制技术路线见图 6-1。

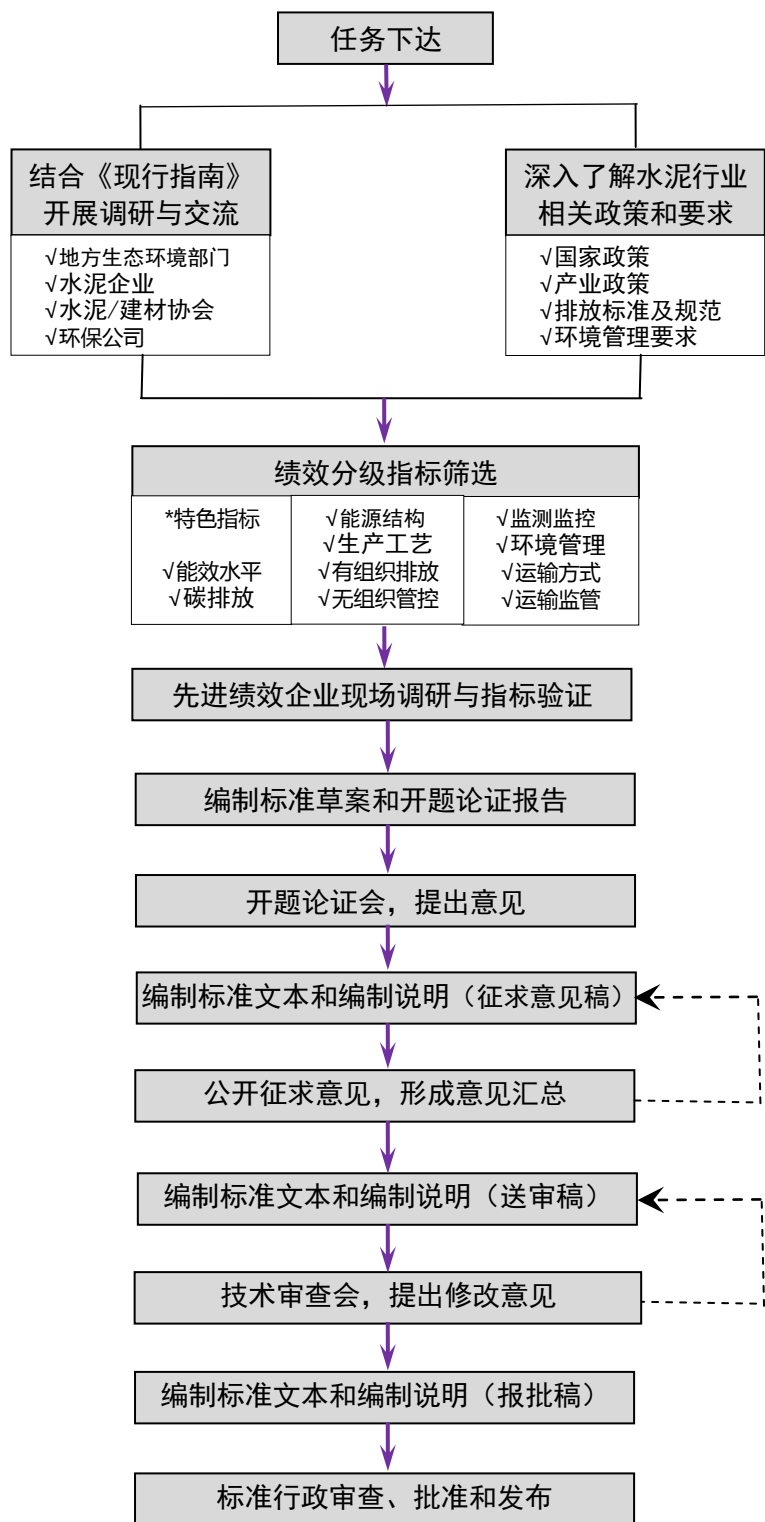


图 6-1 技术路线图

7 标准主要技术内容及说明

7.1 标准框架

本标准包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、总体要求、绩效指标分级要求、减排措施要求、核查方法、实施与监督共八项内容。

7.2 适用范围

本标准规定了制订水泥企业的绩效分级、重污染天气减排措施与核查要求。

本标准适用于水泥企业，包括水泥熟料（含利用水泥渣、磷石膏）生产、独立粉磨站、矿渣粉生产、水泥制品（预拌混凝土、砂浆和混凝土预制件生产）生产企业。主要包括《国民经济行业分类》（GB/T 4754-2017）中 C3011（水泥制造）、C3021（水泥制品制造）、C3022（砼结构构件制造），其他以水泥为主要原料的制品制造参照本标准的水泥制品生产企业。

本标准不适用于水泥矿山原料开采企业或生产工序。

7.3 规范性引用文件

本标准涉及的相关政策文件、技术规范、标准等作为规范性引用文件列入。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

7.4 术语与定义

本标准术语和定义共有 12 个，其中水泥工业、水泥窑协同处置、独立粉磨站等 3 个术语采用了行业相关定义并根据重污染天气应急减排效果要求，进行了必要调整和明确适用范围，有利于减排措施的识别；密闭、密闭储存、封闭、封闭储存、封闭运输、封闭车间、无组织排放、清洁运输方式等 8 个术语的定义与已发布的相关国家污染物排放标准一致；重污染天气 1 个术语的定义为标准编制组和专家、环境管理部门共同商议后确定。

7.5 总体要求

水泥熟料生产企业绩效指标主要包括装备水平、污染治理技术、排放限值、无组织排放、监测监控水平、环境管理水平、运输方式、运输监管和余热利用与碳排放水平等 9 个方面；独立粉磨站、矿渣粉和水泥制品生产企业绩效指标主要包括装备水平、能源类型、

排放限值、无组织排放、监测监控水平、环境管理水平、运输方式、运输监管等 8 个方面。

水泥生产企业环境管理水平指标应满足《排污许可管理条例》的规定，环境管理台账记录要求应符合 HJ 847 的要求，自行监测信息记录和报告应符合 HJ 848 的要求。

根据企业绩效指标的差异化情况，本标准将水泥熟料生产企业分为 A 级、B 级、C 级和 D 级四个级别，将独立粉磨站、矿渣粉生产和水泥制品生产企业分为绩效引领性企业 and 非绩效引领性企业。

差异化绩效等级即可作为重污染天气期间企业执行差异化减排措施的依据，也可作为相关管理部门出台企业差异化支持政策和监管政策的依据。

7.6 绩效指标分级要求

本标准绩效指标的制订是以《现行指南》及补充说明为基础，通过对多家企业实地调研现状，结合《水泥超低意见》和全国各地超低排放实施方案，确定了差异性较强、可操作性较高的指标要求，其中 A 级企业各项指标与超低排放指标的要求相同或更为严格。

7.6.1 装备水平

与《产业结构调整指导目录（2024 年本）》保持一致，限制类生产工艺或装备不能评为 A、B 级或绩效引领性企业。

7.6.2 污染治理技术

本标准对 A 级企业脱硝技术的写法进行了调整，与《水泥超低意见》保持一致，并预留了采用其他成熟高效脱硝技术的可能性。

本标准对 A 级企业脱硝氨水消耗进行了调整加严，与《水泥超低意见》保持一致，为每吨熟料脱硝氨水消耗量小于 3.5 千克（以氨水质量浓度 20% 折算）。如果地方要求 NO_x 排放限值长期控制在 35mg/m³ 及以下时，平均吨熟料氨水的消耗量必然会增加。氨水消耗量限值应相应调整，建议每吨熟料脱硝氨水消耗量小于 4 千克（以氨水质量浓度 20% 折算）。

窑磨同步利于污染物的减排，但如果追求更高的窑磨同步率，会提高磨机的能耗，不利于企业的节能降碳，同时也不利于企业使用低谷电降低生产成本。本标准结合行业实际，提出鼓励生料磨和水泥窑应提高同步运转时间，以降低 SO₂ 浓度和氨逃逸，但取消了窑磨同步运转率大于 80% 的具体指标要求。

7.6.3 排放限值

本标准将 A 级企业的水泥窑及窑尾余热利用系统的氨逃逸从 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ 调整到 $\leq 8\text{mg}/\text{m}^3$ ；对 A、B、C 级烘干系统要求利用水泥窑余热，PM、SO₂、NO_x 排放浓度与窑头或窑尾烟气限值要求相同。

本标准增加了绩效引领企业独立热源烘干机、烘干磨热源 SO₂ 排放浓度要求，明确了采用天然气锅炉和采用热风炉为热源的污染物排放浓度限值和基准含氧量要求。

7.6.4 无组织排放

本标准提出在保障安全生产的前提下，应优先采取密闭、封闭等措施，通过增加集尘罩面积、增大负压等方式有效提高废气收集率，产尘点及车间无可见烟粉尘外逸。

本标准对无组织排放控制措施进行了细化，分为物料装卸、储存、输送、生产工序、车辆冲洗、扬尘防控等；增加了车辆冲洗要求，A 级和绩效引领企业的洗车要求较为严格。

7.6.5 监测监控水平

本标准规定了 A、B 级企业主要生产装备和污染治理设施安装分布式控制系统(DCS)，重点环节安装高清视频监控设施，分生产线记录企业生产设施运行及相关生产过程主要参数要求；提出 A、B 级煤磨安装 CEMS 要求；明确了 A、B 级企业安装高清视频监控设施的点位要求。规定了各级别自动监测数据达标占比要求在 95% 及以上的要求为一年内工况标记为正常运行期间的 PM、SO₂ 和 NO_x 自动监测小时均值数据。上述相关要求与《水泥超低意见》保持一致。

本标准根据《固定污染源烟气(SO₂、NO_x、PM)排放连续监测系统技术要求及检测方法》(HJ 76-2017)标准要求，明确了 CEMS 数据保存的内容和时间要求，至少包括最近 12 个月的 1 分钟均值、36 个月的 1 小时均值及 60 个月的日均值和月均值。

7.6.6 环境管理水平

本标准主要参照《排污许可证申请与核发技术规范 水泥工业》(HJ 847-2017)，细化了 A、B 级企业环境管理台账应记录的内容，主要包括企业生产设施基本信息和生产设施运行管理信息、废气污染防治设施基本信息和运行管理信息、监测记录信息等。

7.6.7 运输方式

本标准 A 级企业的原燃料、产品运输方式要求略高于《水泥超低意见》重点区域清洁运输要求，B 级企业加严为略高于《现行指南》A 级企业运输要求，C 级企业也进行了适当加严。

本标准对进出企业的原燃料、产品及生产相关货物应按日进行登记的内容提出了具体要求。提出建立全厂运输电子台账，并根据每日进厂原燃料总量，对清洁运输方式、新能源汽车或国六及以上排放标准的车辆运输比例进行统计的要求。

7.6.8 运输监管

A、B、C 级和绩效引领企业应按照 HJ 1321 要求，在全部生产物料进出企业大门建立门禁及视频监控系统，对车辆进出进行识别监控，建立相应的台账管理制度。

A、B 级和绩效引领企业要求按统一技术参数要求与市级、省级、国务院生态环境主管部门监管系统联网，实时报送相关数据；C 级企业要求按统一要求与生态环境主管部门监管系统联网。

7.7 减排措施要求

本标准对不同绩效级别的水泥熟料企业的水泥粉磨工序提出了减排措施要求。

本标准明确了 C、D 级企业新能源车辆运输预警期间不受影响，引导企业增加新能源车辆运输的积极性。

本标准调整了限产措施减排基数。B 级企业水泥窑限产 20%（以预警发布前水泥窑正常生产日最近 10 天的平均日产量为核算依据），水泥窑 NO_x 日排放量降低 20%（以预警发布前水泥窑正常生产日最近 10 天窑尾 NO_x 日平均排放量为核算依据）；企业有单条粉磨生产线的停产，有多条粉磨生产线的停产 50%，粉磨工序 PM 日排放量降低 50%（以预警发布前水泥磨正常生产日最近 10 天 PM 日平均排放量为核算依据）。

本标准明确了单条生产线和多条生产线的减排措施要求和区域统筹。C 级企业黄色预警有单条水泥窑的停产，有多条水泥窑的停产 50%，水泥窑 NO_x 日排放量降低 50%（以预警发布前水泥窑正常生产日最近 10 天窑尾 NO_x 日平均排放量为核算依据）；企业有单条粉磨生产线的停产，有多条粉磨生产线的停产 50%，粉磨工序 PM 日排放量降低 50%（以预警发布前水泥磨正常生产日最近 10 天 PM 日平均排放量为核算依据）。

本标准明确了协同处置废物企业，根据企业的绩效级别和处置废物量采取不同的减排措施。**橙色预警期间**，企业单条水泥窑协同处置生活垃圾与污泥、危险废物总量分别在 200 吨/日、150 吨/日及以上的（以预警发布前水泥窑正常生产日最近 10 天的平均日处置量为核算依据），自主采取减排措施；不满足上述处置量的水泥窑，按企业绩效等级要求采取相应的减排措施。**红色预警期间**，企业单条水泥窑协同处置生活垃圾与污泥、危险废物总量分别在 400 吨/日、200 吨/日及以上的（以预警发布前水泥窑正常生产日最近 10 天的平均日处置量为核算依据），自主采取减排措施；不满足上述处置量的水泥窑，按企业绩效等级要求采取相应的减排措施。

本标准规定了利用水泥窑协同处置废物的 C 级企业，自本标准发布之日起一年内可按协同处置废物企业采取减排措施，评为 D 级的企业不能按协同处置废物企业采取减排措施。促进协同处置废物水泥企业的绩效提升动力。原则上 C、D 级不能纳入豁免。

7.8 核查方法

核查方法是标准能够顺利实施的重要保障。《水泥工业标准》在现行指南对水泥企业差异化管控措施核查的基础上，增加了绩效分级情况的核查，并细化了减排措施核查方法和绩效等级核查方法。其中，减排措施核查方法包括现场核查、台账核查和运输核查，绩效等级核查方法包括现场核查、资料核查和运输核查。运输核查是根据企业绩效等级、预警级别和企业移动源减排措施要求，按照 HJ 1321 技术要求对企业的运输方式、排放标准和运输管理等内容进行核查。

8 环境效益和实施建议

《水泥工业标准》通过绩效分级和差异化管控措施，可以有效推动水泥企业从源头、生产过程和末端相结合的全流程大气污染物减排。在有组织排放方面，注重水泥窑深度脱硝的同时，倒逼企业采取合理措施减少氨逃逸；在无组织排放控制方面，明确提出了各环节控制措施要求，有效减少 PM 无组织排放；在移动源方面，提出了更为严格的运输车辆和非道路移动机械的排放标准要求，大幅降低运输造成的 PM 和 NO_x 的排放量；提出了余热的利用方式及排放浓度要求。

《水泥工业标准》的实施，旨在推动水泥工业企业革新生产工艺、改造生产设施、提升末端治理水平、完善环境管理制度，最终将提升行业的整体水平。同时，也为生态环境主管部门精细化管控提供政策支持，为水泥行业进一步减污降碳指明了方向和思路。

《水泥工业标准》应根据产业政策、环保政策、环境管理等变化，及时进行修订，实现对行业的动态化管理，促进水泥行业最大限度地减排污染物，有序推进水泥行业绿色、低碳和循环发展。