

附件3

《水泥工业大气污染物排放标准》 (征求意见稿)

编制说明

《水泥工业大气污染物排放标准》编制组

2021年2月

目录

一、	项目背景.....	1
1.1	任务来源.....	1
1.2	工作过程.....	1
二、	基本概况.....	3
2.1	定义.....	3
2.2	行业基本情况.....	4
2.3	污染概况.....	5
2.4	政策梳理.....	5
2.5	国内标准梳理.....	14
三、	标准制订必要性.....	15
3.1	区域环境质量改善的需求.....	15
3.2	长三角区域绿色发展的需求.....	15
3.3	保护人体健康的需求.....	16
3.4	行业转型发展需要.....	16
四、	总体思路、编制原则和技术路线.....	17
4.1	总体思路.....	17
4.2	编制原则.....	17
4.3	技术路线.....	17
五、	产排污及污染防治技术分析.....	19
5.1	生产工艺.....	19
5.2	产排污现状.....	21
5.3	行业污染防治技术分析.....	29
六、	国内外相关标准简介.....	47
6.1	国内标准简介.....	47
6.2	国外标准简介.....	53
七、	标准主要内容.....	56
7.1	标准适用范围.....	56
7.2	标准结构框架.....	56
7.3	术语与定义.....	56
7.4	污染物项目的选择.....	57
7.5	污染物限值的确定.....	57
7.6	无组织管控要求确定.....	70
7.7	企业边界污染物浓度限值.....	73
八、	与相关标准比较分析.....	74
8.1	与国家现行标准比较.....	74
8.2	与其他省市相关标准比较.....	74
九、	达标技术经济可行性分析.....	76
9.1	技术可行性分析.....	76
9.2	经济可行性分析.....	77
9.3	社会和环境效益.....	79
十、	标准征求意见汇总及反馈.....	80

一、项目背景

1.1 任务来源

2018年7月,《浙江省打赢蓝天保卫战三年行动计划》(浙政发〔2018〕35号)明确要求要以水泥等10个行业为重点,推进工业废气清洁排放改造。2019年12月,党中央、国务院《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》中进一步明确,到2025年,区域内要基本完成钢铁、水泥行业和燃煤锅炉超低排放改造。

2020年12月1日,省市场监督管理局以《关于下达2020年第五批浙江省地方标准值修订计划的通知》(浙市监函〔2020〕325号)的文件,正式立项《水泥工业大气污染物排放标准》,并要求于2021年12月前完成研制。

1.2 工作过程

项目开展期间主要工作包括了标准前期研究工作(包括实地调研、调查、相关单位座谈、历史数据统计、在线监测数据分析等)和标准立项等报批流程(包括省市场监督管理局标准立项工作、省生态环境厅标准公开征求意见工作、以及送审、审评、报批等工作),具体工作内容如下所示。

(1) 工作/研究阶段:

2019年1~6月份,梳理了国家、周边省市、行业协会等相关政策、标准要求,积极跟踪水泥行业超低排放技术进展情况。

2019年1~6月份,对2018年全省36家水泥企业全年的在线监测数据开展统计分析,了解全省水泥行业排放现状。

2019年7~12月份,起草标准文本(草案)和标准编制说明。并结合国家和浙江省《工业炉窑大气污染综合治理方案》以及水泥行业超低排放技术进展情况进行修改完善。

2020年8月~9月,补充完善了相关在线监测数据分析,查询了其他省市在线监测数据情况,并作了达标分析。

2020年10月,在长兴组织召开了水泥行业超低排放改造交流会,与全省主要水泥企业,省水泥协会开展了交流,并参观了长兴地区超低排放改造工程开展

情况。

2020年11月，省生态环境厅印发《浙江省水泥行业超低排放改造实施方案》。

(2) 立项阶段：

2020年1月，《标准》报省市场监督管理局申请立项。

2020年1~6月，根据其他省市水泥排放标准进展情况以及我省水泥改造情况修改完善标准文本和标准编制说明。配合推进《浙江省水泥行业超低排放改造实施方案》。

2020年7月，省市场监督管理局正式发布关于召开《水泥工业大气污染物排放标准》地方标准立项听证会的公告。

2020年9月，省市场监督管理局会同浙江省生态环境厅，组织召开了标准立项听证会，对标准草案提出了意见和建议，并一致肯定标准制定的必要性，通过了标准立项听证。

2020年12月，省市场监督管理局正式下达了《水泥工业大气污染物排放标准》立项通知。

(3) 征求意见阶段：

(4) 送审/报批阶段：

二、 基本情况

2.1 定义

根据《国民经济行业分类》（GB/T 4754-2017）分类，水泥属于 **C30 非金属矿物制品业**中 **C3011 水泥制造**。具体是以水泥熟料加入适量石膏或一定混合材，经研磨设备（水泥磨）磨制到规定的细度，支撑水凝水泥的生产活动，还包括水泥熟料的生产活动。**水泥制品**主要为石膏、水泥制品及类似制品制造（C302）中水泥制品制造（C3021）、砼结构构件制造（C3022）、石棉水泥制品制造（C3023）、其他水泥类似制品制造（C3029）以及涉及水泥的其他建筑材料制作（C3039），具体分别为：水泥制管、杆、桩、砖、瓦等制品制造；用于建筑施工工程的水泥混凝土预制构件的生产活动，以及玻璃纤维增强水泥制品其他未列明的水泥制品的制造。

按照《水泥的命名原则和术语》（GB/T 4131-2014）将水泥定义为：“一种细磨系膜材料，与水混合形成塑性浆体后，能在空气中水硬化，并能在水中继续硬化保持强度和提及稳定性的无机水硬性胶凝材料”。

按其用途及性能可分为通用水泥和特种水泥。通用水泥即一般土木建筑工程通常采用的水泥，特种水泥即具有特殊性能或用途的水泥。

另外，可以按照水泥中的主要水硬性矿物、混合材料、用途和主要特性进行命名和分类。通用水泥以水泥的硅酸盐矿物名称命名，并可冠以混合材料名称或其他适当名称命名。例如硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥等。特种水泥以水泥的主要矿物名称、特性或用途命名，并可冠以不同型号或混合材料名称。例如：铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥、快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、G级油井水泥等。

表 2.1-1 主要水泥类别定义

产品种类	定义
硅酸盐水泥	以硅酸盐水泥熟料和适量的石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，其中允许掺加 0~5%的混合材料。
普通硅酸盐水泥	以硅酸盐水泥熟料和不超过水泥总质量 20% 的混合材料为主要组分，掺加适量的石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。
矿渣硅酸盐水泥	以硅酸盐水泥熟料和粒化高炉矿渣为主要组分，掺加适量的石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。
火山灰质硅酸	以硅酸盐水泥熟料和火山灰质混合材料为主要组分，掺加适量的石膏磨细

盐水泥	制成的水硬性胶凝材料。
粉煤灰硅酸盐水泥	以硅酸盐水泥熟料和 1 粉煤灰为主要组分，掺加适量的石膏磨细制成的水硬性胶凝材料

2.2 行业基本情况

浙江省不是水泥的生产大省，根据《中国统计年鉴 2020 年》，我国水泥生产主要集中在广东、江苏、四川、安徽等地，浙江位居全国**第六位**。由于近年来，因河南、山东等开展错峰生产，浙江省近 4 年水泥产量连续增长，据不完全统计，2019 年水泥产量为 1.34 亿吨，约占全国水泥产量的 5.72%，较 2016 年约增加了 2600 万吨，超过 10 年来产量峰值 1.24 亿吨的水平，见图 2.2-1 (a)。

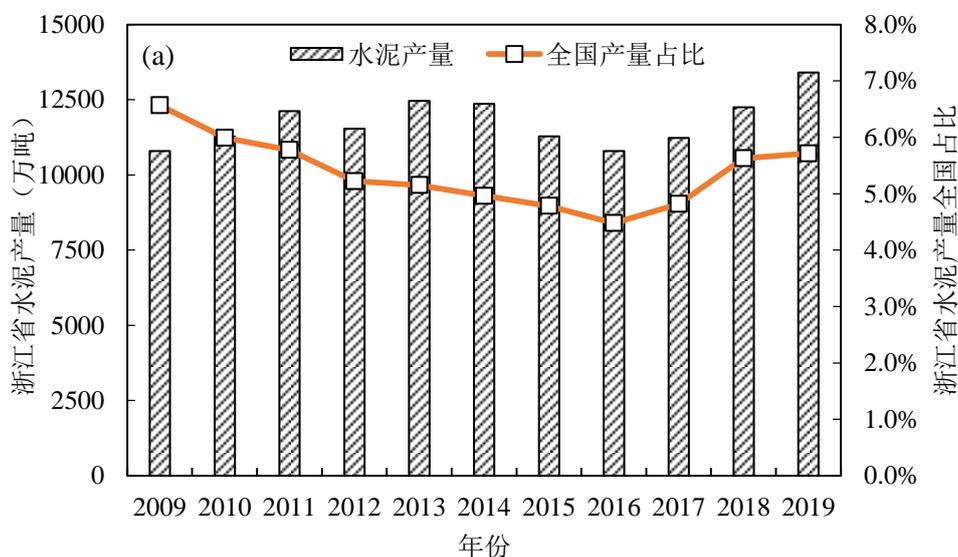


图 2.2-1 (a) 浙江省 2009~2019 年水泥产量情况

我省涉及水泥制造的重点区域主要有衢州、杭州、宁波、嘉兴、金华、绍兴等 7 个地区，占有企业的 90.8%。其中衢州最多，约占 15%，其次为宁波、嘉兴、杭州。

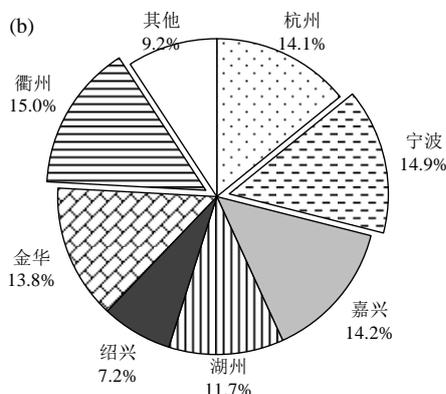


图 2.2-1 (b) 浙江省水泥生产主要地区分布

另外，结合日常工作调度和全国排污许可证管理信息平台初步统计（2019年），浙江省全省水泥制造企业共计 136 家，其中熟料生产企业共计 34 家；全省水泥制品企业约 1300 余家，其中预拌砂浆企业 124 家（预拌干混砂浆），预拌混凝土生产企业 630 家。另外，目前已有 10 家水泥熟料生产企业协同处置固体废物（主要为城市污泥和工业废物）。同时，根据《浙江省水泥工业改造提升实施意见（2018—2022 年）》中要求，到 2022 年末，**浙江省 60%以上水泥窑要实现协同处置**，并实现高效脱硝脱硫，以促进行业向绿色功能产业转型。

2.3 污染概况

根据《浙江省第二次全国污染源普查公报》，浙江省工业源大气污染物排放量：二氧化硫 10.51 万吨，氮氧化物 17.90 万吨，颗粒物 32.27 万吨。其中，非金属矿物制品业的二氧化硫 2.43 万吨（约占 23.1%），氮氧化物 5.13 万吨（约占 28.6%），颗粒物 10.16 万吨（约占 31.5%），分别位居第二位、第二位和第一位。由此可见，水泥作为我省主要的非金属矿物制品业，其对我省二氧化硫、氮氧化物、颗粒物的总量有较大的贡献率。

近年来，我省水泥企业的主要污染物排放水平大幅改善，达到《水泥工业污染物排放标准》（GB4915—2013）特别排放限值要求。但是，与我省已实施的火电、燃煤锅炉、钢铁等行业超低排放改造相比（有组织排放标准颗粒物为 5 或 10mg/m³、二氧化硫为 35 mg/m³、氮氧化物为 50 mg/m³），水泥行业的现行有组织排放标准远高于超低排放水平，无组织控制也有一定差距，已不能满足水泥行业高质量发展的需求。

2.4 政策梳理

2.4.1 国家层面

随着国家提出“推动制造业高质量发展”的要求，水泥制造业作为传统工业行业，各方出台了一系列政策推动其优化升级。重点讨论在环境保护方面的相关要求。

①《关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》（国发〔2013〕41号）

主要目标：通过 5 年努力，化解产能严重过剩矛盾工作取得重要进展：产能

规模基本合理。钢铁、**水泥**、电解铝、平板玻璃、船舶等行业产能总量与环境承载力、市场需求、资源保障相适应，空间布局与区域经济发展相协调，产能利用率达到合理水平。

② 《关于印发“十三五”节能减排综合工作方案的通知》（国发〔2016〕74号）

在“推进工业污染物减排”中要求：“以削减挥发性有机物、持久性有机物、重金属等污染物为重点，实施重点行业、重点领域工业特征污染物削减计划”。在“强化主要污染物减排”中要求：“分区域、分流域制定实施钢铁、**水泥**、平板玻璃、锅炉、造纸、印染、化工、焦化、农副食品加工、原料药制造、制革、电镀等重点行业、领域限期整治方案，升级改造环保设施，确保稳定达标”。

③ 《绿色制造工程实施指南（2016-2020年）》

实施生产过程清洁化改造。以源头削减污染物产生为切入点，革新传统生产工艺装备，鼓励企业采用先进适用清洁生产工艺技术实施升级改造。水泥低氮燃烧和分级燃烧。

④ 《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（国发〔2018〕22号）

加大区域产业布局调整力度。加快城市建成区重污染企业搬迁改造或关闭退出，推动实施一批**水泥**、平板玻璃、焦化、化工等重污染企业搬迁工程。

严控“两高”行业产能。重点区域严禁新增钢铁、焦化、电解铝、铸造、水泥和平板玻璃等产能；严格执行钢铁、水泥、平板玻璃等行业产能置换实施办法；新、改、扩建涉及大宗物料运输的建设项目，原则上不得采用公路运输。

⑤ 《工业炉窑大气污染综合治理方案》（环大气〔2019〕56号）

水泥熟料窑应配备**低氮燃烧器**，采用**分级燃烧**等技术，窑尾配备选择性非催化还原（SNCR）、**选择性催化还原（SCR）**等脱硝设施；

窑头、窑尾配备**覆膜袋式**等高效除尘设施；

窑尾废气二氧化硫不能达标排放的应配备**脱硫**设施。

⑥ 《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》

联合开展大气污染综合防治。联合制定控制高耗能、高排放行业标准，基本完成钢铁、**水泥**行业和燃煤锅炉**超低排放改造**，打造绿色化、循环化产业体系。

⑦ 《产业结构调整指导目录（2019年本）》

鼓励类：

利用不低于 2000 吨/日（含）新型干法水泥窑或不低于 6000 万块/年（含）新型烧结砖瓦生产线协同处置废弃物，水泥窑协同处置垃圾焚烧飞灰使用水洗工艺脱盐预处理；新型干法水泥窑生产硫（铁）铝酸盐水泥、铝酸盐水泥、白色硅酸盐水泥等特种水泥工艺技术及产品的研发与应用；新型静态水泥熟料煅烧工艺技术的研发与应用；新型干法水泥窑替代燃料技术、烟气二氧化碳捕集纯化技术的研发与应用；水泥外加剂的开发与应用；粉磨系统节能改造（水泥立磨、生料辊压机终粉磨等）；水泥包装自动插袋机、包装机、装车机开发与应用。

限制类：

2000 吨/日（不含）以下新型干法水泥熟料生产线（特种水泥生产线除外），60 万吨/年（不含）以下水泥粉磨站

淘汰类：

- 1、干法中空窑（生产铝酸盐水泥等特种水泥除外），水泥机立窑，立波尔窑、湿法窑
- 2、直径 3 米（不含）以下水泥粉磨设备（生产特种水泥除外）
- 3、无覆膜塑编水泥包装袋生产线

⑧ 《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南（2020 年修订版）》（环办大气函〔2020〕340 号）

明确了水泥熟料（含利用电石渣、磷石膏）、粉磨站、矿渣粉、水泥制品等生产企业的应急减排措施要求，并将企业分为 A、B、C、D 四档。其对应的排放限值要求见下表。

指标项目		A 级 (mg/m ³)	B 级 (mg/m ³)	C 级 (mg/m ³)
水泥窑及窑尾余热利用	PM	10	10	20
	SO ₂	35	50	100
	NO _x	50	100	260
	氨	5	8	8
其他产生点	PM	10	10	20

除上述相关政策外，《中华人民共和国大气污染防治法》的**第四十三条**和**第四十八条**均明确提出对建材行业清洁生产、精细化管理的要求，具体如下：钢铁、建材、有色金属、石油、化工等企业生产过程中排放粉尘、硫化物和氮氧化物的，应当采用**清洁生产工艺**，配套建设除尘、脱硫、脱硝等装置，或者采取技术改造等其他控制大气污染物排放的措施（**第四十三条**）。钢铁、建材、有色金属、石

油、化工、制药、矿产开采等企业，应当加强精细化管理，采取集中收集处理等措施，严格控制粉尘和气态污染物的排放（第四十三条）。

2.4.2 省级层面-浙江

①《2018 年全省环保工作要点》（浙环发〔2018〕1 号）

深化清洁排放改造。抓好钢铁、水泥、玻璃、化工和工业锅炉等行业领域废气处理设施深度改造，完成 100 个改造项目，**推进所有水泥制造企业（含独立粉磨站）**和保留的 65 蒸吨/小时以下燃煤工业锅炉废气完成**特别排放限值改造**，探索水泥 SCR **深度脱硝**。巩固燃煤小锅炉整治成果，按国家要求淘汰高污染燃料锅炉。

②《长江经济带生态环境保护规划浙江省实施方案》（浙环函〔2018〕27 号）

提出控制细颗粒物污染。有序推进城市主城区内钢铁、石化、化工、有色金属冶炼、水泥、平板玻璃等大气重污染企业的环保搬迁改造或关停

③《浙江省打赢蓝天保卫战三年行动计划》（浙政发〔2018〕35 号）

全面推进重点行业废气治理。以石化、化工、工业涂装、合成革、纺织印染、橡胶和塑料制品、包装印刷、钢铁、水泥、玻璃等 10 个行业为重点，**全面推进挥发性有机物治理和工业废气清洁排放改造**。优化产业布局。加快城市建成区重污染企业搬迁改造或关闭退出，推动实施一批化工、水泥、平板玻璃、焦化等重污染企业搬迁工程。严控“两高”行业产能。严禁新增钢铁、焦化、电解铝、铸造、水泥和平板玻璃等产能；严格执行钢铁、水泥、平板玻璃等行业产能置换实施办法；新、改、扩建涉及大宗物料运输的建设项目，原则上不得采用公路运输。加大落后产能淘汰和过剩产能压减力度。

④浙江省水泥工业改造提升实施意见（2018—2022 年）

到 2022 年末，水泥工业新布局基本完成，小规模熟料生产线基本关停，产业要素得到释放，产业结构改造提升取得阶段性成果，60% 以上水泥窑实现协同处置，水泥行业绿色发展水平更高，两化融合深度发展，产业竞争力、引领力进一步增强。

⑤《浙江省工业炉窑大气污染综合治理实施方案》（浙环函〔2019〕315 号）

在重点行业工业炉窑大气污染治理要求中明确对水泥窑提出了要求，水泥熟

料炉窑类型要新型干法窑，治理措施要求应配置低氮燃烧器，采用分级燃烧等技术，窑尾配备选择性催化还原（SNCR）、选择性催化还原（SCR）等脱硝设施；窑头、窑尾配备覆膜袋式等高效除尘设施；窑尾废气二氧化硫不能达标排放的应配备脱硫设施；鼓励新型干法水泥生产线逐步实施颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度不高于 10、35、100mg/m³ 的深度治理。

⑥《浙江省水泥行业超低排放改造实施方案》（浙环函〔2020〕260号）

到 2022 年底前，水泥企业完成无组织排放控制和大宗物料产品清洁运输改造，有组织排放控制达到阶段性超低排放水平；到 2025 年 6 月底前，全面完成超低排放改造。具体指标要求如下：

2022 年底前，水泥窑及窑尾余热利用系统烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、50、100mg/m³；采用独立热源烘干的企业应采用天然气、电等清洁热源，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、35、50mg/m³。2025 年 6 月底前，水泥窑及窑尾余热利用系统烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、35、50mg/m³。

指标项目		2022 年底前 (mg/m ³)	2025 年 6 月前 (mg/m ³)
水泥窑及窑尾余热利用	PM	10	10
	SO ₂	50	35
	NO _x	100	50
独立热源烘干	PM	10	/
	SO ₂	35	/
	NO _x	50	/

⑦《浙江省预拌干混砂浆行业清洁生产实施方案的通知》（浙商务联发〔2019〕127号）

实施目标：通过本方案的实施，使全省预拌干混砂浆生产企业符合清洁生产和环保要求，实现砂、水泥等原材料的存储、输送，以及预拌干混砂浆生产、运输、使用全过程的污染控制。预拌干混砂浆行业大气扬尘控制水平达到或优于国家和地方标准，生产固废实现综合利用，废水排放、噪声控制和危险废弃物处置等符合国家相关标准。行业的清洁生产和污染防治水平得到全面提升。同时，淘汰落后产能，进一步优化预拌干混砂浆企业布局，促进市场有序竞争和行业持续健康发展。实施期限到 2021 年底。

强化污染防治，大气污染防治措施中明确规定（具体如下）：

（1）原材料储运和输送过程扬尘防治措施。粉、砂状原材料应在室内储存，

运输应当采用密闭运载工具，防止沿途撒落；砂石等原料堆场采用密闭料场或筒仓，不同规格的砂石设置隔离带分别堆放。厂区内物料应采取封闭方式输送（含码头到料库的物料输送），如需叉车、铲车等搬运输送的，各项操作应在封闭场所内进行，并采取相应的收尘和抑尘措施，操作人员按规定佩戴卫生防护用品。厂区内物料输送过程产尘点应当配备相应的粉尘收集和处理设施。

(2) 生产过程粉尘产排点污染防治措施。生产过程各粉尘产排点，应当配置相应的粉尘收集和处理设施，确保废气污染物稳定达标排放。

(3) 厂区和厂界扬尘防治措施。厂区道路和场地，除绿化区域之外，其余的地面应实施硬化，破损地面应及时修复，根据厂区布局情况，因地制宜种植有抑尘功能的乔木或灌木等植被防护带。

(4) 产品道路运输过程扬尘防治措施。袋装成品库房应全封闭；散装干混砂浆应采用散装干混砂浆运输车运输，预拌砂浆进出运输车时，应当配备和使用收尘设施，盖紧密封装置，确保输送过程不出现扬尘；干混砂浆运输车在进出厂区前应当进行清洁状况检查；厂区和砂浆使用工地出入口处均应设置车辆清扫设施，保证出入厂车辆车身干净，车身上的标识和车牌号码清晰可见；运输途中不得有物料跑冒滴漏。运输车辆达到国四及以上排放标准或使用清洁能源、新能源车。

(5) 产品使用工地扬尘防治措施。采用符合环保要求的砂浆泵送设备和砂浆移动罐；淘汰易扬尘、水灰较难控制的直放式滚筒型搅拌机，配置符合清洁生产和环保要求的搅拌设备（各设区市散装水泥管理机构在落实淘汰直放式、滚动型搅拌机式的砂浆移动罐工作中，需采用统一标准，特殊情况报省散装水泥发展中心组织专家论证确定）；应按规定的气压将散装干混砂浆运输车内的散装砂浆充入砂浆移动罐内，在充料时，移动罐的出气管应当与专用收尘器相连，现场不得有物料撒落和扬尘。

(6) 在厂区主要产尘点周边安装扬尘在线监测设备，加强颗粒物排放管控；按管理部门要求制定重污染天气错峰运输方案。

并提出了浙江预拌干砂浆生产企业清洁生产验收标准，具体如下：

类别	判读依据
清洁生产条件	水泥、粉煤灰、矿粉等原材料必须散装进厂、不得使用袋装产品，散装粉料气送上料管采用硬式密闭接口，气压控制在 0.2MPa 以下
	烘干炉全部采用天然气、液化气等清洁能源，不得使用燃煤和生物质等燃料；

	燃气烘干炉采用低氮燃烧方式。特殊情况报省散装水泥发展中心组织专家论证确定
	砂、水泥等粉砂状原材料采用密闭方式运输，防止沿途洒落
废气粉尘	烘干炉废气必须配置符合环保要求的废气收集处理设施，确保废气污染物稳定达标排放
	混合机主机区域二层及以上部分必须完全封闭，采光设施必须采用密闭不可开启式；主操作室应与生产区域空间隔离，并具备隔音、防尘条件
	生产过程原材料上下料、破碎工序、干砂分级、烘干、配料、混合搅拌、包装、散装砂浆运输车装卸主要粉尘产生排点，预拌砂浆运输车和移动罐等必须配置相应的粉尘收集和处理设施
	砂石堆料场、配料计量仓斗及输送皮带系统（含码头到料库的物料输送）等完全封闭，并在噪声大的区域封闭墙体中使用隔音板材，以防止粉尘和噪音污染
	粉尘收集处理采用带自动清灰装置的袋式收尘器和分室脉冲反吹式清灰方式，配置的环保设备处理能力符合环保稳定达标排放要求
	采用符合环保要求的干混砂浆专用运载车、砂浆泵送设备和砂浆移动罐；砂浆移动罐必须配置符合环保要求的搅拌设备，不得采用直放式、滚筒型搅拌机式的砂浆移动罐

2.4.3 省级层面-其他

其他省份也根据国家要求出台了各自的水泥行业减排和错峰生产要求，梳理部分省份政策如下：

①江苏省《关于开展全省非电行业氮氧化物深度减排的通知》（苏环办〔2017〕128号）

2019年6月1日前，对照《水泥工业大气污染物排放标准》（GB4915-2013），全省水泥行业实现水泥窑烟气氮氧化物排放浓度不高于100毫克/立方米。

②河南《关于印发河南省污染防治攻坚战三年行动计划（2018—2020年）的通知》（豫政〔2018〕30号）

加大建材行业错峰生产力度。2018年采暖季，全省水泥（含特种水泥，不含粉磨站、粉磨工序和承担居民供暖、协同处置城市垃圾或危险废物生产线）、砖瓦窑（不含以粉煤灰为主要原料、完成煤改气、煤改电且所有原辅材料和生产设施入棚入仓的加气混凝土切块砖企业）、陶瓷（不含以电、天然气、管道煤气等清洁能源为燃料的）、岩棉（不含电炉）、石膏板（不含以天然气为燃料）、耐材企业（不含以电、天然气等清洁能源为燃料或无焙烧工艺的压制成型耐材企业），实施停产。

对2018年10月底前稳定达到超低排放限值的水泥企业，2019年1月1日至3月15日期间，豁免其不再实施错峰生产，但要按当地重污染天气应急预案要求参加污染管控。

探索实施水泥行业超低排放改造。2018年10月底前，鼓励在水泥熟料企业试点开展超低排放改造。完成超低排放改造后，水泥窑废气在基准氧含量10%的条件下，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度要分别不高于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。

③《陕西省2018年错峰生产实施方案》

夏季错峰生产时间为6月1日至8月31日。其中，水泥（含特种水泥，不含粉磨站）行业实施限产30%左右，以设计生产能力核算。

冬季错峰生产时间为2018年11月15日至2019年3月15日。其中，关中地区水泥（含特种水泥，不含粉磨站）、砖瓦窑（不含以天然气为燃料）、陶瓷（不含以天然气为燃料）、石膏板、保温耐火材料、防水材料等建材行业全部实施停产。水泥粉磨站在重污染天气预警期间实施停产。

④《关于在江西全省水泥行业推行错峰生产的通知》

要求，2018年-2020年在全省水泥行业推行错峰生产。全省水泥熟料生产线年度停窑错峰生产时间原则上不少于55天。其中春节期间(2-3月份)不少于35天，夏季酷暑不少于10天，环境敏感期不少于10天。

⑤山西省《关于2018年水泥熟料企业夏季错峰生产工作的指导意见》

全省境内所有水泥熟料生产线(含特种水泥，不含粉磨站)施行夏季错峰生产，每条熟料生产线停窑20天。《晋城市城区“秋冬季”工业企业错峰生产工作方案》明确建材等行业错峰生产时间为2018年11月15日-2019年3月15日。建材行业：水泥(含特种水泥、不含粉磨站)、砖瓦窑(不含以天然气为燃料)、陶瓷(不含以天然气为燃料)、玻璃棉(不含以天然气为燃料)、岩棉(不含电炉)、石膏板(不含以天然气为燃料)、采石、采砂、耐火(不含以天然气为燃料)、矾石(不含以天然气为燃料)、石灰、沥青拌和、混凝土搅拌站，全部实施停产。

⑥重庆

全市33家水泥企业共48条新型干法水泥熟料生产线和2条JT窑水泥生产线全部实行错峰生产，总计错峰生产停窑4825天，平均每条水泥生产线错峰生产停窑96.5天。

⑦河北唐山

唐山市在2018年3月16日至11月14日，水泥窑限产30%(按设计产能计

算),即非采暖季每日生产负荷不得超过设计产能的70%。水泥粉磨站限产30%(按生产天数计算),即在非采暖季每月企业的生产天数不得超过20天。

⑧湖北

《2018年湖北省水泥企业错峰生产计划汇总表》中,对59条水泥生产线的各自停窑时间做出明确规定,约80%的生产线停窑需超过60天,全年每条窑的停产时间超过70天,非冬季错峰的停产天数达到平均30天以上。

⑨贵州

根据贵州省2018黔中地区水泥秋季错峰停窑生产方案,黔中地区所有水泥熟料生产线错峰生产9月至11月累计不少于30天,其中9月30日以前为第一阶段错峰停窑时间不少于15天/条,11月15日以前为第二阶段错峰停窑时间不少于15天/条。

⑩四川省《关于做好2019-2020年水泥行业错峰生产的通知》

根据全省水泥产能和大气污染物排放情况,统筹兼顾区域环境质量、水泥产品种类和污染排放水平等因素,实行差异化水泥错峰生产。根据超低排放改造情况,将水泥企业按照污染排放水平分为A、B、C、D四类,在基准天数基础上按相应比例执行错峰生产(见附表)。年内有环境违法违规记录的企业不参与错峰优惠政策。

除上述情况外,特种水泥占产量100%的特种水泥生产线可不参加错峰生产;特种水泥产量占50%及以上的特种水泥生产线全年错峰生产天数不低于50天;协同处置城市生活垃圾、污泥、危险废物和电石渣的生产线,按省水泥协会《四川省水泥行业水泥窑协同处置项目错峰生产管理办法》《四川省水泥行业水泥窑处理电石渣项目错峰生产管理办法》相关规定执行。

表 2.4-1 水泥企业大气污染物深度减排排放限值与差异化错峰对应表

单位: mg/m³

分类	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物(以NO ₂ 计)	基准含氧量(%)	差异化错峰
A类企业	10	50	50	10	不参加错峰生产
B类企业	10	50	100	10	不低于错峰生产基准天数的80%
C类企业	10	50	150	10	不低于错峰生产基准天数的90%
D类企业	未实施深度减排的达标企业				不低于基准天数
年内有环境违法违规记录的企业不享受错峰政					

2.5 国内标准梳理

目前我国针对水泥工业发布并多次修订了大气污染物排放标准。当前我国以及地方现行的排放标准汇总于表 2.5-1。

表 2.5-1 现行国家和地方水泥行业相关标准

序号	标准名称	地区
1	水泥工业大气污染物排放标准 (GB4915-2013)	国家
2	污染源源强核算技术指南 水泥工业 (HJ 886-2018)	国家
3	水泥工业污染防治技术政策 (公告 2013 年 第 31 号)	国家
4	水泥工业除尘工程技术规范 (HJ 434-2008)	国家
5	排污许可证申请与核发技术规范 水泥工业 (HJ 847-2017)	国家
6	清洁生产标准 水泥工业 (HJ 467-2009)	国家
7	排污单位自行监测技术指南 水泥工业 (HJ848-2017)	国家
8	环境标志产品技术要求 水泥 (HJ 2519-2012)	国家
9	水泥工业大气污染物排放标准 (DB11/1054-2013)	北京
10	建材工业大气污染物排放标准 (DB37/2373-2013)	山东
11	水泥工业大气污染物排放标准 (DB13/2167-2020)	河北
12	水泥工业大气污染物排放标准 (DB41/1953-2020)	河南
13	水泥工业大气污染物排放标准 (DB35/1311-2013)	福建
14	水泥工业大气污染物排放标准 (DB50/656-2016)	重庆
15	水泥工业大气污染物排放标准 (DB44/818-2010)	广东
16	水泥工业大气污染物排放标准 (DB52/893-2015)	贵州
17	水泥工业大气污染物排放标准 (DB 34/3576-2020)	安徽
18	水泥行业大气污染物排放标准 (征求意见稿)	江苏
19	新型干法水泥生产安全规程 (AQ 7014-2018)	国家
20	水泥行业清洁生产评价指标体系 (发展改革委公告 2014 年 第 3 号)	国家
21	水泥行业规范条件 (2015 年本)	国家
22	水泥工厂环境保护设施设计标准 (GB/T 50558-2019)	国家
23	水泥行业绿色工厂评价导则 (JC/T 2562-2020)	国家

三、 标准制订必要性

随着我省大气环境治理的深入推进,对非电领域的超低排放改造的需求也越发强烈,尤其是在现阶段环境空气质量中 NO_2 浓度略有上升的情况(2019 年 NO_2 平均浓度较 2018 年上升 3.3%),以及 2019 年 4 月由生态环境部等 5 部委联合发布《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》,水泥行业的超低排放改造也呼之欲出,各省市均积极探索推进水泥行业超低排放。对于浙江省而言,水泥行业已成为除火电外的第二大颗粒物、氮氧化物的排放源,有必要加快水泥行业的清洁排放改造和超低排放的探索。为此,开展水泥行业大气污染物排放标准的研究制定是十分必要的。

3.1 区域环境质量改善的需求

近年来,我省环境空气质量改善十分明显,是长三角地区首个省级 $\text{PM}_{2.5}$ 达标的省份,2019 年 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度为 $31\mu\text{g}/\text{m}^3$,同比下降 3.1%;但 O_3 最大 8 小时平均浓度第 90 百分位平均为 $154\mu\text{g}/\text{m}^3$,同比上升 5.5%,氮氧化物(NO_2)年均浓度 $31\mu\text{g}/\text{m}^3$ 同比上升 3.3%。另外,日空气质量优良天数比例全省平均为 88.3%,与 2018 年同比下降 0.6 个百分点。从相关数据可知,影响我省环境空气质量的首要污染物由原来的 $\text{PM}_{2.5}$ 逐渐演变为 O_3 ,夏季尤为突出。为此,要进一步改善区域空气,在现有管控 VOCs 的基础上也要加大对 NO_x 的排放进行监管,以便协同推进 O_3 浓度的下降。

3.2 长三角区域绿色发展的需求

《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》中明确指出长三角“要坚持绿色共保,要形成绿色低碳的生产生活方式,共同打造绿色发展底色,探索经济发展和生态环境保护相辅相成、相得益彰的新路子”。水泥行业作为区域内传统重污染行业,更应强调绿色发展,通过行业的超低排放改造,打造绿色化、循环化体系,更有效的落实好《绿色制造工程实施指南(2016—2020 年)》。

3.3 保护人体健康的需求

人体健康的需求体现在两方面，一是空气环境质量改善，有利于区域人体健康。二是水泥行业无组织管控有利于水泥企业内职工的健康。根据《水泥生产企业防尘防毒技术规范》（AQ/T 4247—2015），明确提出在水泥生产工艺过程中要加强防护，防尘方面包括物料破碎、原料粉磨、生料均化剂入窑喂料、煤粉制备、物料烘干、熟料烧成、输送、水泥储存和包装、装车等过程，也是环保管理过程中重点无组织排放源，因此通过标准修订，加强无组织管控，也有利于周围环境质量改善和企业职工健康。

3.4 行业转型发展需要

从 2012 年开始，水泥行业产能利用率明显不足，存在产能明显过剩的情况，我省从 2018 年开始提出《浙江省水泥工业改造提升实施意见(2018—2020 年)》，明确水泥行业要围绕“提质增效”核心，以“搬迁改造升级”为重点，持续推进供给侧结构性改革，以新的生成理念、新的智造方式，满足新的需求，促进水泥产业从资源消耗型向环保功能型方向发展。到 2022 年末，水泥工业新布局基本完成，小规模熟料生产线基本关停，产业要素得到释放，产业结构改造提升取得阶段性成果，60%以上水泥窑实现协同处置，水泥行业绿色发展水平更高，两化融合深度发展，产业竞争力、引领力进一步增强。

四、 总体思路、编制原则和技术路线

4.1 总体思路

通过文献查询、实地调研、现场监测、研讨会等多种方式，多渠道、多方面、详细的了解我省水泥行业基本概况（包括类型、产量、产值、分布等）、企业产排污情况、清洁水平、污染防治技术、污染治理成本及现状等相关行业资料以及其他省市超低排放推进情况。在上述基础上，参考国内先进的污染控制经验和技

术，结合我省产业特色和管理需求，在符合相关国家地方法律、法规基础上，制订符合我省水泥行业特点的大气污染物排放标准。

4.2 编制原则

1、与国家相关法律法规和标准相衔接。浙江省《水泥工业大气污染物排放标准》的制订必须以国家及浙江省环境保护相关法律、法规、政策和规章为依据。符合《地方环境质量和污染物排放标准备案管理办法》《生态环境标准管理办法》等的相关要求；与国家发布的《水泥工业污染防治技术政策》（公告 2013 年 第 31 号）《污许可证申请与核发技术规范 水泥工业》（HJ 847-2017）、《排污单位自行监测技术指南 水泥工业》（HJ848-2017）等相关标准衔接，以及与相关行业标准相衔接；与行业技术政策、污染防治要求相适应；与相关的污染治理工程技术规范相匹配。

2、强化标准的可实施性。考虑到当前我省水泥行业的实际情况，要充分考虑标准的可实施性，尤其是超低排放改造技术路线的可行性。要分阶段逐步推进超低排放改造，以强化标准的可实施性，减弱超低排放改造带来的影响。

3、突出无组织管控。由于水泥行业无组织排放直接影响企业感官，直接反映出行业管理水平的真实性。因此很有必要加强行业无组织管控，减少无组织排放。另外，相对于有组织排放而言，无组织管控难度更大，需要从密封、封闭等一系列细节方面去逐步降低无组织排放。

4.3 技术路线

技术路线如图 4.1-1 所示。

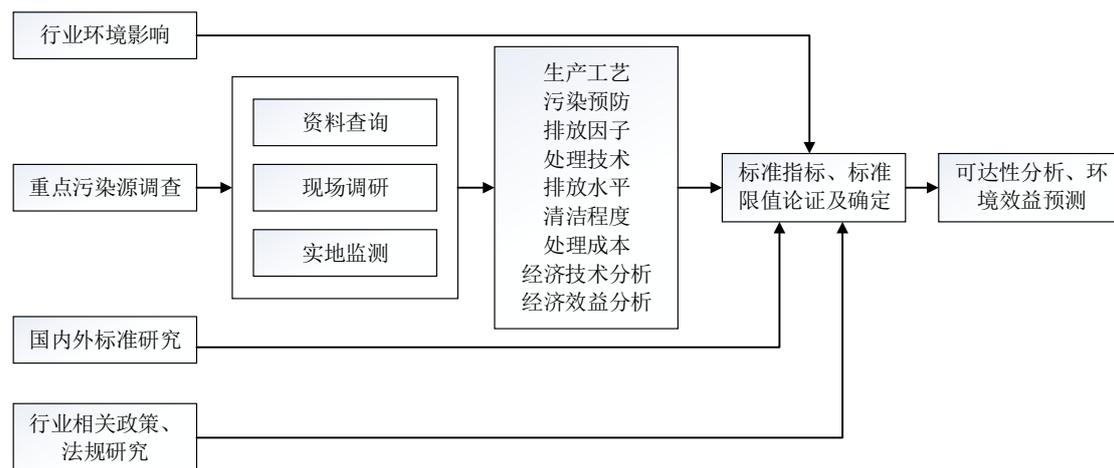


图 4.1-1 标准制定技术路线图

五、产排污及污染防治技术分析

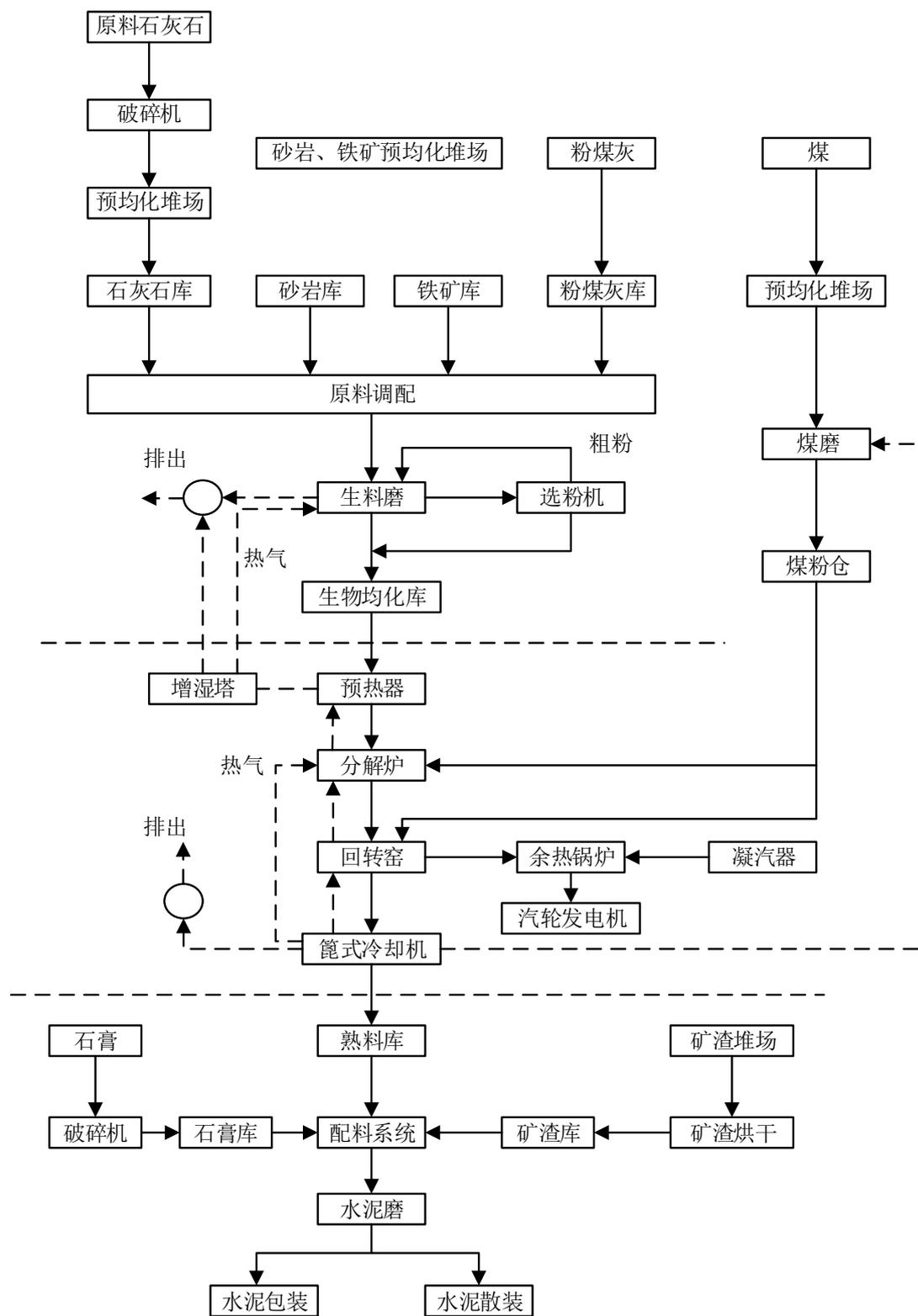
5.1 生产工艺

水泥生产的原料主要有石灰石和黏土等，其它还会添加部分铁矿石、煤、石膏等配料。水泥生产主要经过生料制备、熟料煅烧、水泥粉磨 3 个阶段。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，这一过程称为生料制备；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，称为熟料煅烧；在熟料中加入适量石膏、矿渣、或外加剂共同磨细成为水泥成品，这一过程成为水泥粉磨。经过这一系列工序，再对水泥成品进行检验，合格的水泥就可以包装或散装出厂。水泥生产工艺流程详见图 5.1-1。

水泥熟料煅烧主要有二种方式：一种是以回转窑为主要生产设备，包括新型干法窑、预热器窑、余热发电窑、干法中空窑、立波尔窑、湿法回转窑；另一种则是以立式窑为主要生产设备，包括普通立窑和机械化立窑。据调查浙江省水泥企业的全口径统计，浙江省所有水泥熟料生产线全部为新型干法窑。

新型干法技术的核心是水泥熟料煅烧的窑外预分解技术，它是在悬浮预热技术的基础上发展起来的，不同型式的分解炉与各种预热器组成了不同类型的窑外分解系统。与在回转窑内完成预热、分解、烧结多个过程的传统工艺相比，它将熟料煅烧过程变成为在两套独立的设备内进行的两阶段操作：既在悬浮预热器和分解炉内完成生料预热和石灰石分解($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, 900°C)；在回转窑内高温条件下 ($1400\text{-}1500^\circ\text{C}$) 完成熟料烧成(形成硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙等)。由于在分解炉内引入第二热源(使用约 60% 的燃料)，降低了烧成带热负荷，提高了回转窑运转率和生产能力，同时也使能源消耗、污染物(特别是 NO_x 、 SO_2) 排放大大降低。

现代化新型干法系统集成五级悬浮预热器、改进型分解炉和回转窑、多通道燃烧器、第四代篦冷机、窑头窑尾余热发电等多项技术于一体，再与新型节能粉磨系统、原燃料预均化系统、计量与自动化控制系统等组合在一起，代表着当代水泥生产的最高技术水平。



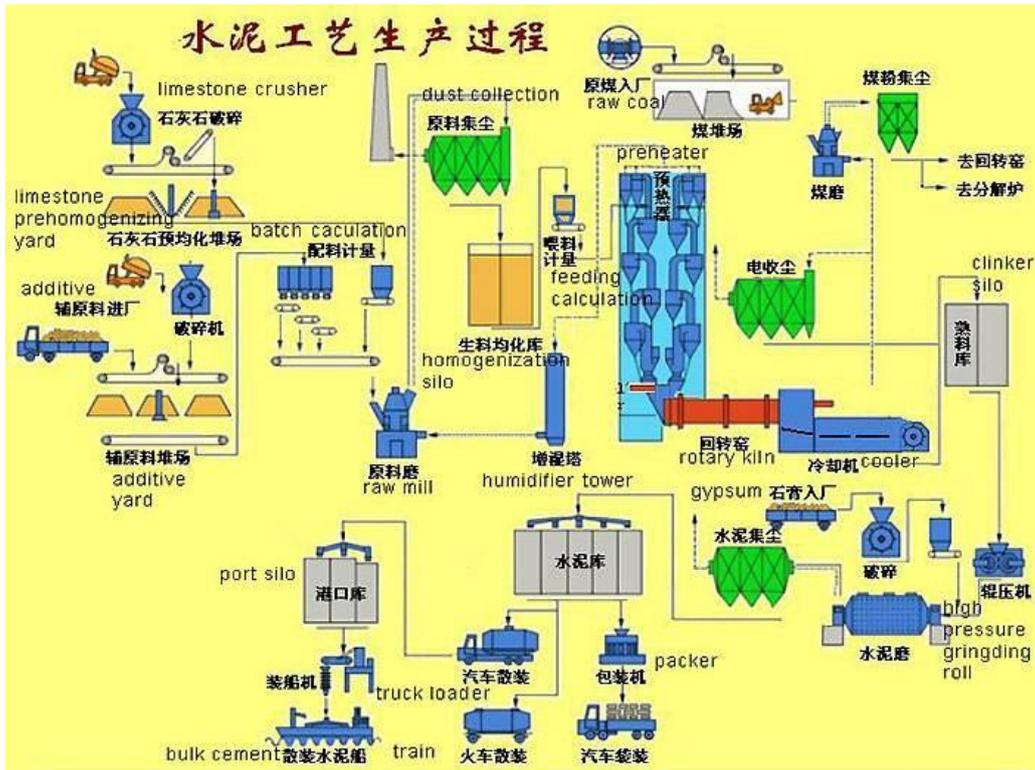


图 5.1-1 水泥生产工艺流程图

由于水泥窑内为碱性气氛，通常情况下 SO_2 排放浓度较低，因此一般不采取专门的脱硫措施，水泥生产企业污染控制措施主要针对颗粒物、氮氧化物污染进行治理。颗粒物治理措施主要包括有组织排放源安装高效布袋除尘器；物料堆存、输送、转运等易产生无组织排放的环节采取措施减少颗粒物的无组织排放等。而 NO_x 的产生与水泥窑型、燃烧状况密切相关，可采取如低 NO_x 燃烧器、分解炉分级燃烧等工艺控制措施；末端治理可采用如 SNCR、SCR 等方法，均是有效去除 NO_x 的环保措施。

5.2 产排污现状

对全省 2019 年和 2020 年水泥熟料生产线的在线监测数据进行统计分析，以充分反映现行水泥颗粒物、氮氧化物、二氧化硫等污染物的排放现状。同时也对氧含量情况进行分析。

另外，为有效表征统计数据分布情况，对部分低于检出限、0 值和负值进行剔除。检出限以相关国家分析方法为基础确定，具体如下。

表 5.2-1 分析方法检出限

序号	污染物项目	方法标准名称	检出限	测定下限
1	颗粒物	固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法	1	
		固定污染源烟气 (SO ₂ 、NO _x 、颗粒物) 排放连续监测系统技术要求及检测方法	1	
2	二氧化硫	固定污染源排气中二氧化硫的测定 定电位电解法	3	12
		固定污染源废气 二氧化硫的测定 便携式紫外吸收法	2	8
		固定污染源烟气 (二氧化硫和氮氧化物) 便携式紫外吸收法测量仪器技术要求及检测方法	1%量程	
		固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法	3	10
3	氮氧化物	固定污染源废气 氮氧化物的测定 非分散红外吸收法	3 (NO ₂)	12 (NO ₂)
		固定污染源废气 氮氧化物的测定 定电位电解法	3 (NO ₂)	12 (NO ₂)
		固定污染源废气 氮氧化物的测定 便携式紫外吸收法	2 (NO ₂)	8 (NO ₂)

5.2.1 颗粒物情况

(1) 窑头

①2019 年

2019 年相关水泥熟料窑头在线监测数据统计分析如下。

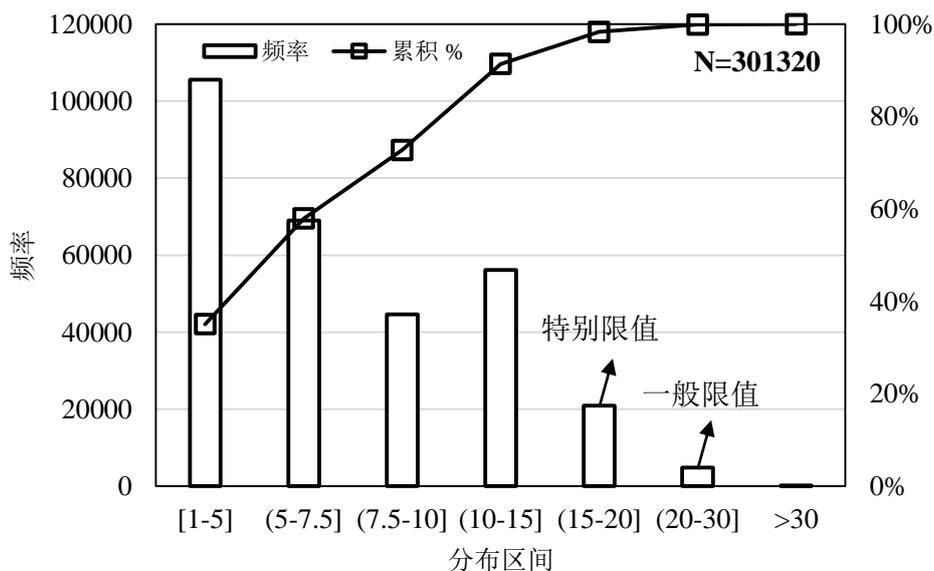


图 5.2-1 2 窑头颗粒物排放浓度分布图 (2019 年)

表 5.2-2 窑头颗粒物统计情况（2019 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	1	154.65	7.62	6.4	2.3	3.9	10.5	14.6

由上图和表可知,98.3%的统计数据满足 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求,即达到 GB 4915 特别排放限值要求;99.9%的统计数据满足 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求,达到 GB 4915 一般限值要求,个别小时均值超过 $30\text{mg}/\text{m}^3$,最大值为约为 $154\text{mg}/\text{m}^3$ 。另外,约有 72.8%的统计数据低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。另外,从统计的均值为 $7.62\text{mg}/\text{m}^3$,中位数 $6.4\text{mg}/\text{m}^3$ 均低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$,75%分位数为 $10.5\text{mg}/\text{m}^3$,略高于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

②2020 年

2020 年相关水泥熟料窑头在线监测数据统计分析如下。

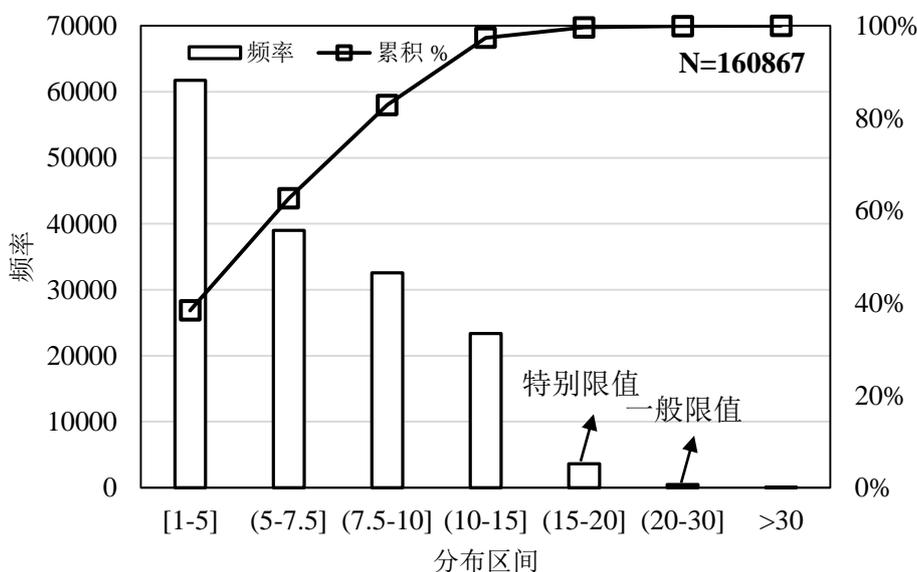


图 5.2-2 窑头颗粒物排放浓度分布图（2020 年）

表 5.2-3 窑头颗粒物统计情况（2020 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	1	130.2	6.73	6.24	2.31	3.7	8.7	11.9

2020 年统计数据表明,99.6%的统计数据满足 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求,较 2019 年有所提升,主要是 2020 年 7 月开始实施行业特别排放限值。另外,约有 82.9%的统计数据低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$,也较 2019 年增加近 10 个百分点。也表明即在实施特别排放限值时,窑头颗粒物浓度有所下降。

(2) 窑尾

①2019 年

2019 年相关水泥熟料窑尾在线监测数据统计分析如下。

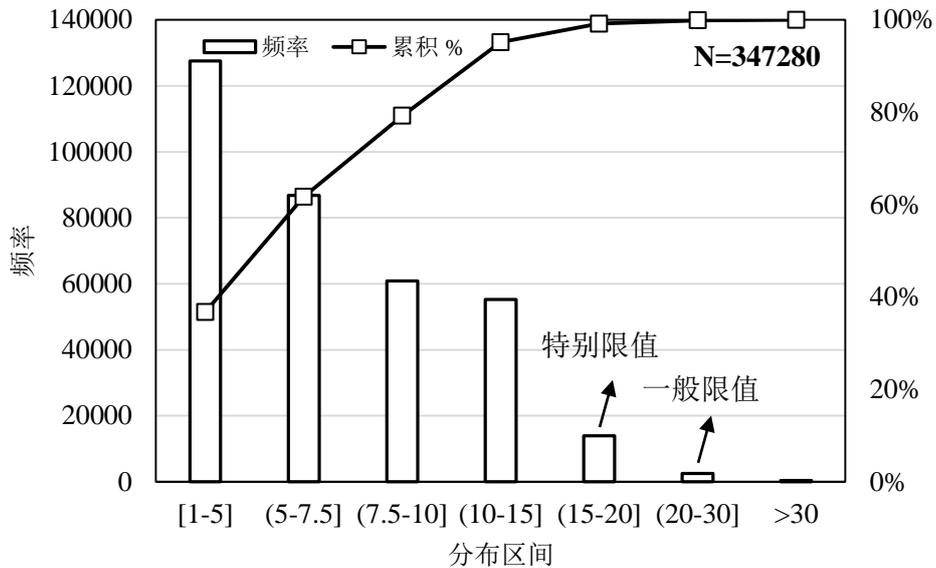


图 5.2-3 窑尾颗粒物排放浓度分布图（2019 年）

表 5.2-4 窑尾颗粒物统计情况（2019 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	1	600.1	7.00	6.4	2	3.6	9.4	12.8

由上图和表可知,99.2%的统计数据满足 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求,即达到 GB 4915 特别排放限值要求;99.9%的统计数据满足 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求,达到 GB 4915 一般限值要求,个别小时均值超过 $30\text{mg}/\text{m}^3$,最大值为约为 $600.1\text{mg}/\text{m}^3$ (氧含量则算后造成浓度限值偏大)。另外,约有 79.2%的统计数据低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。从统计的均值为 $7.0\text{mg}/\text{m}^3$,中位数 $6.4\text{mg}/\text{m}^3$ 均低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$,75%分位数为 $9.4\text{mg}/\text{m}^3$,低于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。相比窑头而言,窑尾颗粒物排放浓度较为稳定,且整体低于窑头。

②2020 年

2020 年相关水泥熟料窑尾在线监测数据统计分析如下。

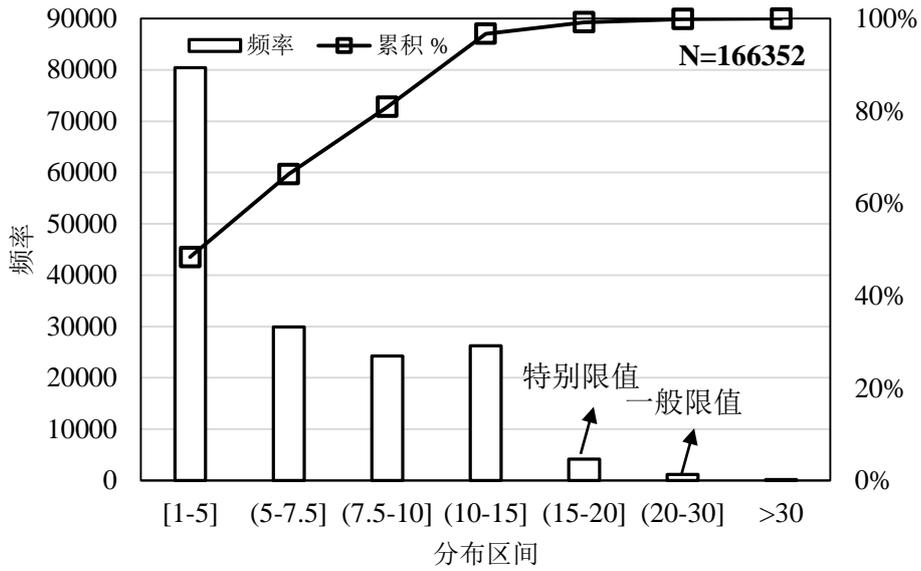


图 5.2-4 窑尾颗粒物排放浓度分布图（2020 年）

表 5.2-5 窑尾颗粒物统计情况（2020 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	1	234.2	6.32	5.2	1.8	2.9	8.94	12.2

2020 年统计数据表明，99.2%的统计数据满足 20mg/m³ 限值要求，与 2019 年一致。另外，约有 80.9%的统计数据低于 10mg/m³，也较 2019 年略有增加。另外，均值、中位数以及各分位数均较 2019 年有所降低，也表明了行业在颗粒物管控上有所提升。

5.2.2 二氧化硫情况

(1) 2019 年

2019 年相关水泥熟料窑尾二氧化硫在线监测数据统计分析如下。

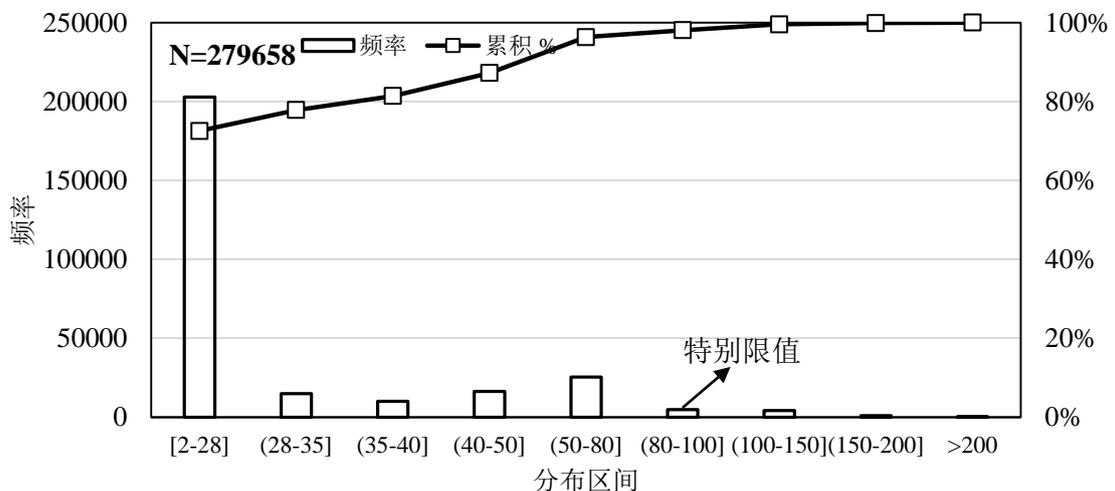


图 5.2-5 窑尾二氧化硫排放浓度分布图（2019 年）

表 5.2-6 窑尾二氧化硫统计情况（2019 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	2	1686	22.54	12	2.7	5	31.3	56

由上图和表可知，98.5%的统计数据满足 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求，即达到 GB 4915 特别排放限值要求；99.86%的统计数据满足 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求，达到 GB 4915 一般限值要求，个别小时均值超过 $200\text{mg}/\text{m}^3$ ，最大值为约为 $1686\text{mg}/\text{m}^3$ （氧含量则算后造成浓度限值偏大）。另外，约有 87.2%的统计数据低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，77.8%的统计数据低于 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 。从统计的均值为 $22.54\text{mg}/\text{m}^3$ ，中位数 $12\text{mg}/\text{m}^3$ 均低于 $35\text{mg}/\text{m}^3$ ，75%分位数为 $31.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 。

（2）2020 年

2020 年相关水泥熟料窑尾二氧化硫在线监测数据统计分析如下。

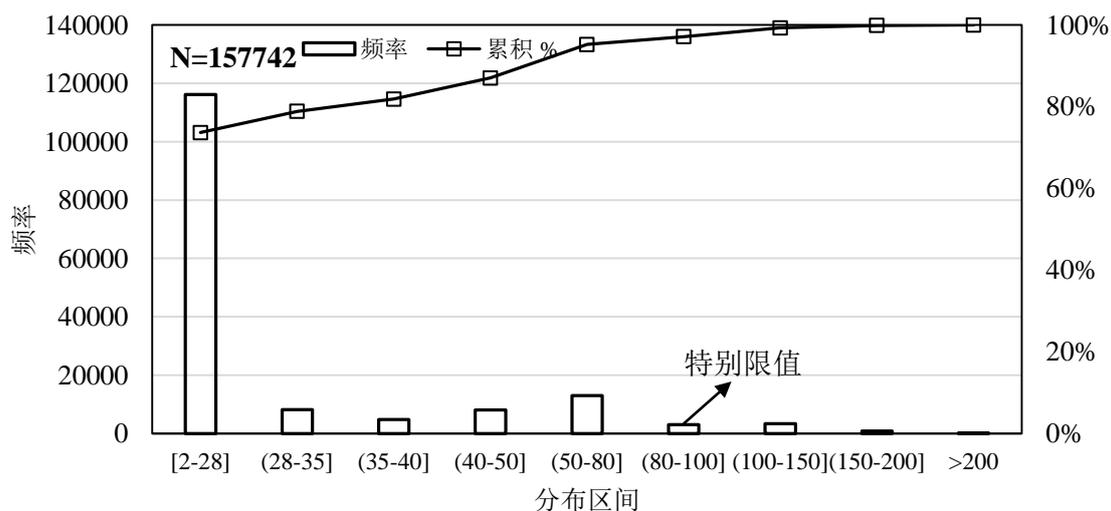


图 5.2-7 窑尾二氧化硫排放浓度分布图（2020 年）

表 5.2-8 窑尾二氧化硫统计情况（2020 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	2	1295.1	23.5	12.5	2.7	4.6	30.7	58.6

2020 年统计数据表明，97.15%的统计数据满足 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求，略低于 2019 年。另外，约有 87.0%的统计数据低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，与 2019 年基本一致。约有 78.8%的统计数据低于 $35\text{mg}/\text{m}^3$ ，与 2019 年基本一致。

5.2.3 氮氧化物情况

（1）2019 年

2019 年相关水泥熟料窑尾氮氧化物在线监测数据统计分析如下。

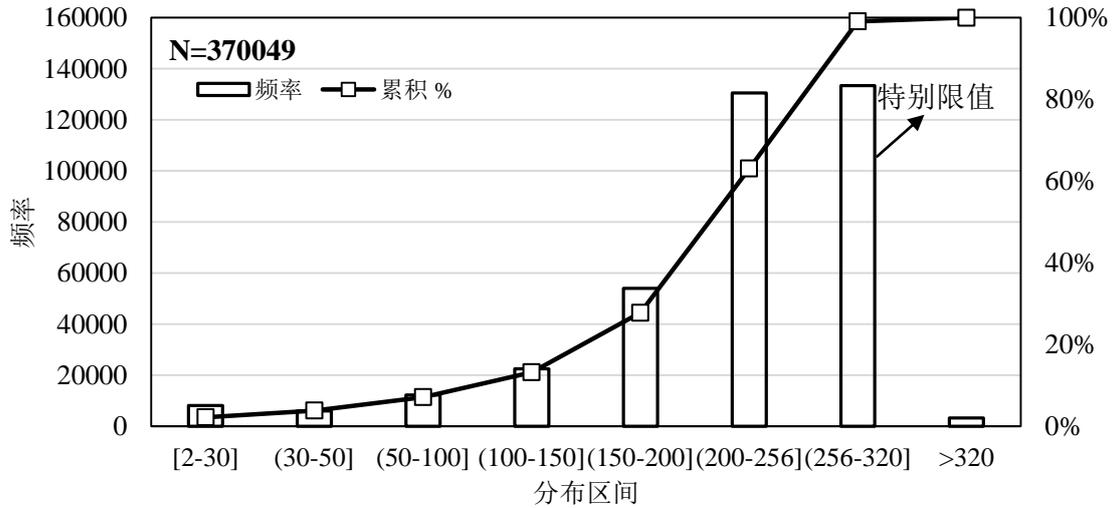


图 5.2-8 窑尾氮氧化物排放浓度分布图（2019 年）

表 5.2-9 窑尾氮氧化物统计情况（2019 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	2	4022.7	221.4	241.1	127.1	193	267.3	281.39

由上图和表可知，99.12%的统计数据满足 $320\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求，即达到 GB 4915 特别排放限值要求；个别小时均值超过 $320\text{mg}/\text{m}^3$ ，最大值为约为 $4022\text{mg}/\text{m}^3$ （氧含量则算后造成浓度限值偏大）。另外，约有 7.12%的统计数据低于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，3.82%的统计数据低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。从统计的均值为 $221.4\text{mg}/\text{m}^3$ ，中位数 $241.1\text{mg}/\text{m}^3$ 均低于 $320\text{mg}/\text{m}^3$ ，75%分位数为 $267.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，低于 $320\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 2020 年

2020 年相关水泥熟料窑尾氮氧化物在线监测数据统计分析如下。

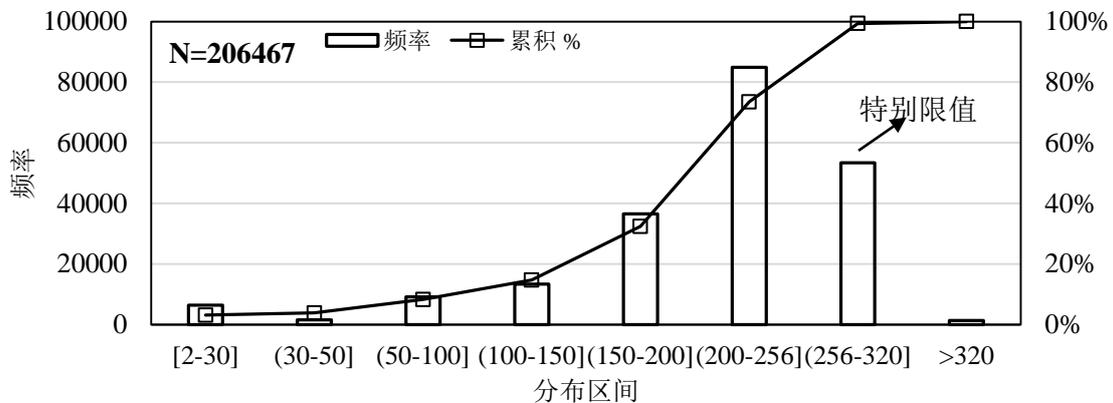


图 5.2-9 窑尾氮氧化物排放浓度分布图（2020 年）

表 5.2-10 窑尾氮氧化物统计情况（2020 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	2	4687.6	211.6	227.9	117.7	184.2	257.4	274.5

2020 年统计数据表明，99.3%的统计数据满足 $320\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求，略高于 2019 年。另外，约有 8.28%的统计数据低于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，略高于 2019 年，约有 3.87%的统计数据低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，基本与 2019 一致。总体来讲，氮氧化物的管控基本与 2019 年保持了一致，稳定在 $260\text{mg}/\text{m}^3$ 左右。

5.2.4 氧含量情况

考虑到部分氧含量数据小于 3%或大于 22.5%，该部分数据全部剔除，确保氧含量在合理范围。

(1) 2019 年

2019 年相关水泥熟料窑尾氧含量的在线监测数据统计分析如下。

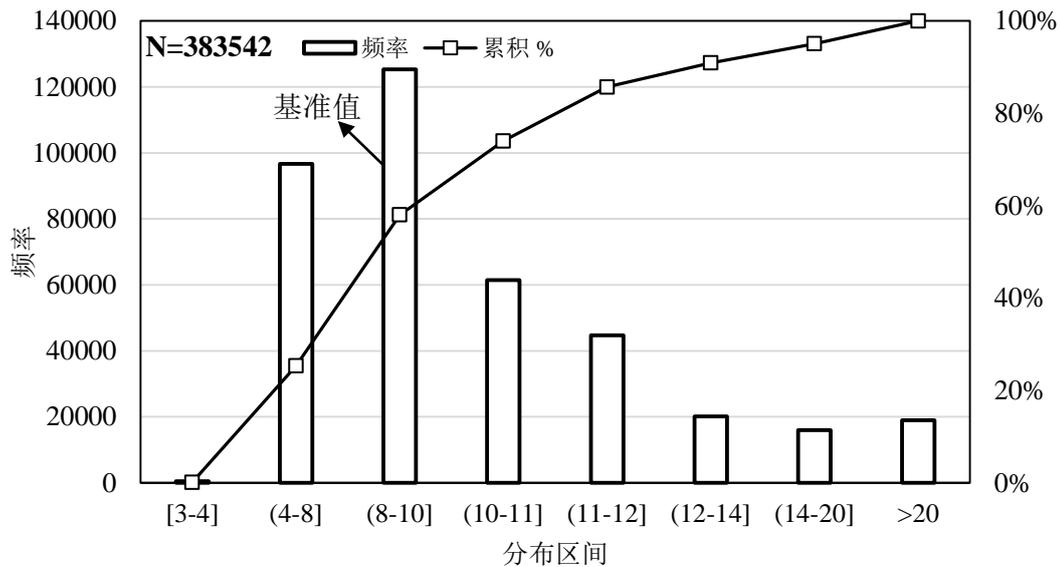


图 5.2-10 窑尾氧含量排放浓度分布图（2019 年）

表 5.2-11 窑尾氧含量统计情况（2019 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	3	22.5	10.06	9.53	6.75	7.98	11.06	13.5

由上图和表可知，58%的统计数据满足氧含量 10%的要求，不需要开展污染物浓度折算，其余 42%的需要进行浓度折算。另外，氧含量主要控制在 8-10%之间，约占统计总数的 28%。氧含量在 10-20%之间的约占 37%，最大折算倍数为

11 倍。另外，在在线监测数据中，对于低于 10% 的氧含量也进行了折算，影响了二氧化硫、氮氧化物、颗粒物浓度实际排放浓度。

(2) 2020 年

2020 年相关水泥熟料窑尾氧含量的在线监测数据统计分析如下。

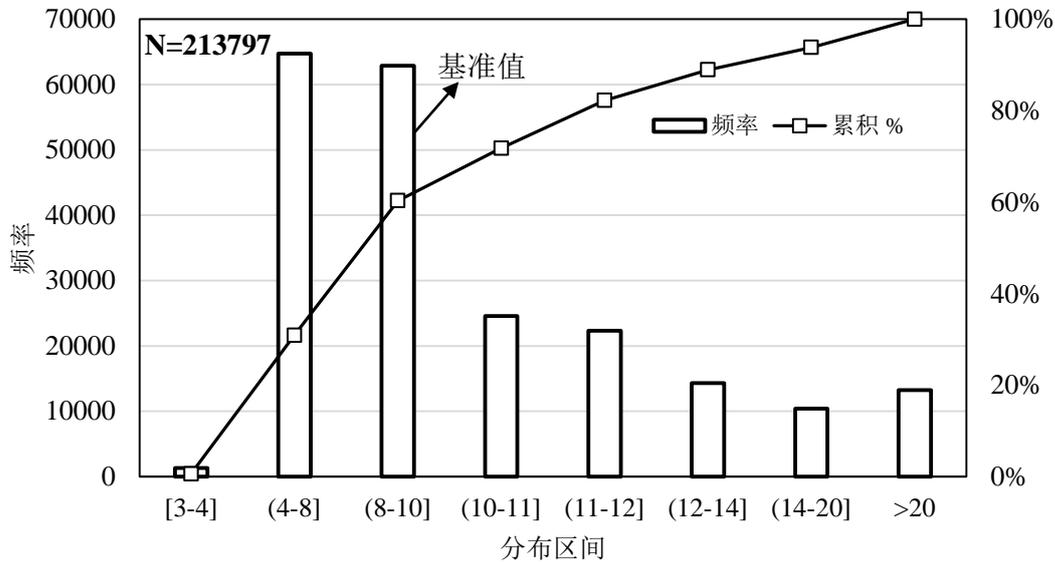


图 5.2-11 窑尾氧含量排放浓度分布图（2020 年）

表 5.2-12 窑尾氧含量统计情况（2020 年）

类型	最值		均值	中位数	分位数			
	最小值	最大值			10%	25%	75%	90%
统计值	3	22.5	10.1	9.37	6.58	7.58	11.25	14.51

与 2019 年基本一致，氧含量浓度更加集中，主要集中在 4-10% 之间，处于合理水平。

5.3 行业污染防治技术分析

5.3.1 颗粒物

我省水泥工业目前使用的除尘技术主要是布袋除尘以及电袋复合除尘器。水泥窑的窑头、窑尾，采用布袋除尘器或电袋复合除尘器均可，根据烟气性质，一般需要对烟气降温调质，采用增湿等措施将高温气体降到 150℃ 以下和适宜的比电阻 ($<1011\Omega \cdot \text{cm}$)。其他通风生产设备、扬尘点大多采用布袋除尘器。

(1) 布袋除尘

布袋除尘技术是利用纤维织物的过滤作用（纤维过滤、膜过滤和颗粒过滤）

对含尘气体进行净化。它处理风量范围大、使用灵活，适用于水泥工业各个工序废气的除尘治理。

选择适当的过滤材料是布袋除尘器的关键，目前可供选择的滤料材质主要有涤纶（聚酯）、丙纶（聚丙烯）、亚克力（聚丙烯腈）、PPS（聚苯硫醚）、诺梅克斯（芳香族聚酰胺）、玻璃纤维、P84（聚亚酰胺）和PTFE（聚四氟乙烯）覆膜滤料等。

目前我省大部分水泥熟料生产企业窑尾布袋除尘器过滤材料均选用覆膜滤料，布袋除尘技术的除尘效率可达99.80-99.99%，窑尾颗粒物排放浓度可控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，甚至更低，运行费用主要来自于更换滤袋和引风机电耗。

(2)电袋复合

电袋复合除尘器，就是在除尘器的前部设置一个除尘电场，发挥电除尘器在第一电场能收集80-90%粉尘的优点，收集烟气中的大部分粉尘，而在除尘器的后部装设滤袋，使含尘浓度低的烟气通过滤袋，这样可以显著降低滤袋的运行阻力，延长清灰周期，缩短脉冲宽度，降低喷吹压力，延长滤袋的使用寿命，相应减少了运行维护成本。

电袋复合除尘技术特别适用于原有静电除尘器的改造，它充分结合了电、袋除尘的优点，除尘效率可达99.80-99.99%，颗粒物排放浓度小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，甚至更低。

5.3.2 二氧化硫

水泥窑中大部分硫以硫酸盐的形式固化在水泥熟料中。当使用挥发性硫含量较高的原/燃料时，宜采用以下一种或几种措施：

(1) 优化生产过程。在保持水泥窑平稳运行的条件下，控制物料在预热器、分解炉、水泥窑中均匀分布，加大硫与碱性物质的接触面积，同时控制合适的硫碱比、烧成带的一氧化碳含量及火焰形状等。

(2) 优化燃烧器设计。通过改善水泥燃烧器的设计和操作（气氛调整加温度控制等技术措施），控制窑和预热器之间的硫循环。

(3) 采用窑磨（立式生料磨）一体机。窑磨一体机用预热器废气作生料立式磨烘干热源，立式磨中的高活性生料加上原料中蒸发的水分，可加速碳酸钙吸收二氧化硫的过程。

(4) 采用袋式除尘器。袋式除尘器滤袋表面捕集的碱性物质与通过滤袋的酸性物质结合成盐类，可降低酸性气体的浓度。

目前水泥工业脱硫技术主要有：

(1) 干法脱硫。干法脱硫包括水泥窑自脱硫技术和碱基干法脱硫，水泥窑自脱硫技术是利用分解炉中石灰石煅烧产生的活性 CaO 实现脱硫，在燃原料含硫率较低时，水泥窑自脱硫可实现 SO_2 排放浓度 $< 20\text{mg}/\text{m}^3$ ；当燃原料含硫率较高时，自脱硫后 SO_2 浓度仍可高达 $600\text{-}800\text{ mg}/\text{m}^3$ ，需要进一步采用末端治理设施进行脱硫。碱基干法脱硫根据使用的脱硫剂分为钙基干法脱硫和钠基干法脱硫，钙基干法脱硫是在 C1 和 C2 级旋风预热器之间喷注干粉状的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 CaO ，钠基干法脱硫是在 C1 级旋风预热器出口、余热锅炉出口或是窑尾袋除尘器前喷注干粉状的 NaHCO_3 。纯干粉活性较低，应用较少。

(2) 半干法脱硫，也叫喷雾干燥法脱硫，使用少量水与 CaO 形成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，在窑尾增湿塔喷入，在我省也有较多应用，在燃原料含硫量较高自脱硫后 SO_2 浓度仍高达 $600\text{-}800\text{mg}/\text{m}^3$ 时使用，可以稳定控制 SO_2 排放浓度 $< 200\text{mg}/\text{m}^3$ ，若要控制 SO_2 排放浓度 $< 100\text{mg}/\text{m}^3$ 稳定性欠佳。

(3) 湿法脱硫，包括石灰石—石膏湿法脱硫（钙基湿法脱硫）、钠基湿法脱硫和氨法脱硫，钠基湿法脱硫和氨法脱硫目前在水泥工业应用较少，石灰石—石膏湿法脱硫则应用成熟，脱硫率可达 99%，可有效控制 SO_2 浓度在 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

5.3.3 氮氧化物

NO_x 的产生于燃烧状况密切相关，因此可采取工艺控制措施，如低 NO_x 燃烧器、分解炉分级燃烧。也可采用末端治理的方法，如 SNCR、SCR，是有效去除 NO_x 的环保措施。

(1) 清洁生产工艺

新型干法水泥生产用燃料分别从窑头和分解炉喷入，窑头煤粉燃烧最高温度可达 1600°C 以上，且烧成废气在高温区停留时间较长；煤粉在分解炉处于无焰燃烧状态，燃烧温度为 900°C 左右。由于 60% 的燃烧料在分解炉内燃烧，燃烧温度低，在此几乎没有热力型 NO_x 生成，只产生燃料型 NO_x ，因此与普通回转窑 ($2.4\text{kgNO}_x/\text{t}$ 熟料) 相比，削减了 1/3 的 NO_x 排放，可使新型干法工艺 NO_x 排放

量控制在 1.6kgNO_x/t 熟料。

(2)工艺控制措施

工艺控制措施包括基于国家标准（GB4915-2013）的传统路线和基于超低排放控制的新型措施。其中，传统工艺控制措施主要是应用低 NO_x 燃烧器、分解炉分级燃烧，以及保证水泥窑的均衡稳定运行，通常认为脱硝率可达 30%。基于超低排放的新型措施的高效低氮燃烧器，据报道可实现 NO_x 排放浓度控制在 50~100 mg/m³ 以下。

①传统工艺措施

低 NO_x 燃烧器具有多通道设计，一般为三、四通道，分为内风、煤风、外风，各有不同的风速和风向（轴向、径向），在出口汇合形成同轴旋转的复杂射流。操作时通过调整内、外风速和风量比例，可以灵活调节火焰形状和燃烧强度，使煤粉分级燃烧，减少在高温区的停留时间，相应减少了 NO_x 产生量。根据《水泥工业污染防治最佳可行技术指南》，采用低氮燃烧器可减少氮氧化物产量是 5~15%。

分解炉分级燃烧包括空气分级和燃料分级两种，都是通过对燃烧过程的控制，在分解炉内产生局部还原性气氛，使生成的 NO_x 被部分还原，从而实现水泥窑系统 NO_x 减排。根据《水泥工业污染防治最佳可行技术指南》，采用分解炉分级燃烧技术可减少氮氧化物产量是 10~20%。

工艺稳定：工艺波动会造成水泥窑 NO_x 浓度的剧烈变化（NO_x 浓度可以作为水泥窑工艺控制参数），需要保持水泥窑系统的均衡稳定运行。通过保持适宜的火焰形状和温度，减少过剩空气量，确保喂料量和喂煤量准确均匀稳定，可有效降低 NO_x 排放。

上述工艺控制措施综合使用，大约可降低 30~70%的 NO_x 排放量，相应 NO_x 排放浓度可控制在 300-600mg/m³，相当于末端治理前初始浓度在 300-600mg/m³。

②新型工艺措施

高效低氮燃烧器：基于超低排放的新型措施的高效低氮燃烧器，通过对窑尾烟室和分解炉进行扩容改造增设低氮管，即从窑尾烟室引出烟气，引至高效低氮管的上升管，向低氮管内喷入煤粉，利用燃料中的炭在贫氧环境下将来自回转窑的烟气中的 NO_x 控制到较低水平，经倒 U 形管转向后和下降管连接，并通过下

降管的底部送至分解炉锥部返回送至分解炉。可实现进入分解炉前端烟气中氮氧化物排放浓度控制到 100 mg/m^3 以下，据报道最佳可控制到 50 mg/m^3 以下。

(3) 末端治理措施

主要包括选择性非催化还原技术 (SNCR) 和选择性催化还原技术 (SCR)。SNCR 技术是通过向高温烟气 ($850^\circ\text{C}\sim 1100^\circ\text{C}$) 中喷入还原剂 (常用液氨、氨水和尿素)，将烟气中的氮氧化物还原成氮气和水。该技术系统简单， NO_x 去除效率约 60-70%，排放浓度可控制在 $100\text{-}240\text{mg/m}^3$ 。SCR 技术是在适当的温度 ($300^\circ\text{C}\sim 400^\circ\text{C}$) 下，在水泥窑预热器出口处的催化反应器前，喷入还原剂 (如氨水或尿素)，在催化剂的作用下，将烟气中的氮氧化物还原成氮气和水。该技术 NO_x 去除效率可达 85-90%，可进一步降低 NO_x 浓度。但该技术一次性投资较大，运行成本主要取决于催化剂寿命。因水泥窑废气颗粒物浓度高，且含有碱金属，易使催化剂磨损、堵塞和中毒，需要采用可靠的清灰技术和合适的催化剂。

从目前水泥行业的 SCR 技术的发展情况来看，有两种选择：一是将 SCR 设备安装在除尘器之前，这时烟气温度较高，可满足催化还原反应要求，但由于粉尘浓度过高，会造成催化剂磨损和堵塞。另一种选择是将 SCR 设备安装在除尘器之后，这时粉尘浓度非常低，没有了催化剂堵塞问题，但由于温度下降较多，催化还原反应温度不够。大多数专家倾向于将 SCR 设备安装在除尘器之后，希望通过加温的方式将烟气温度提高，从而满足 SCR 的催化还原反应温度要求。

另外，早在 2013 年《水泥工业污染防治技术政策》中提出对水泥窑 NO_x 排放控制上提出采用 SCR、SNCR-SCR 等处理技术，具体为在低氮燃烧技术 (低氮燃烧器、分解炉分级燃烧、燃料替代等) 的基础上，选择采用选择性非催化还原技术 (SNCR)、选择性催化还原技术 (SCR) 或 SNCR-SCR 复合技术。新建水泥窑鼓励采用 SCR 技术、SNCR-SCR 复合技术。

5.3.4 其他污染物

水泥窑的高温、长停留时间、氧化气氛、碱性条件，有利于酸性气体 (HCl 、 SO_2)、有机物的去除，重金属 (Hg 除外) 固结在水泥熟料中，因此其他大气污染物排放量相对很少。

5.3.5 无组织排放控制

水泥行业的粉尘无组织排放是一个突出的环境问题，但是对其无组织的管控

却十分缺乏。目前重点仍是从水泥生产角度对其无组织进行管控，而在水泥制品方面较为欠缺。相关无组织管控要求如下。

表 5.3-1 相关水泥工业无组织管控政策标准

序号	名称	适用范围	管控方式
1	水泥工业大气污染物排放标准 (GB4915-2013)	原料开采, 水泥生产、水泥制品	无组织排放限值+关键生产节点管控
2	水泥工业污染防治技术政策	原料开采, 水泥生产	逸散粉尘管控要求
3	水泥工业除尘工程技术规范 (HJ 434-2008)	水泥生产	关键生产节点管控
4	排污许可证申请与核发技术规范 水泥工业 (HJ 847-2017)	水泥生产	工艺过程管控
5	水泥工业大气污染物排放标准修改单 (征求意见稿)	原料开采, 水泥生产、水泥制品	关键生产节点管控
6	大气污染物综合排放标准修改单 (征求意见稿)	/	颗粒物无组织管控
7	工业炉窑大气污染综合治理方案	水泥生产	无组织排放管理+界定要求
8	重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南 (2020 年修订版)	水泥生产、水泥制品	无组织管控要求
9	浙江省水泥行业超低排放改造实施方案	水泥生产	无组织管控要求
10	浙江省预拌混凝土行业清洁生产实施方案	水泥制品	清洁生产
11	浙江省预拌干混砂浆行业清洁生产实施方案	水泥制品	清洁生产

(1) 水泥工业大气污染物排放标准 (GB4915-2013)

4.2.1 水泥工业企业的物料处理、输送、装卸、储存过程应当封闭, 对块石、粘湿物料、浆料以及车船装卸料过程也可采取其它有效抑尘措施, 控制颗粒物无组织排放。

表 5.3-2 GB 4915-2013 规定的大气污染物无组织排放限值

序号	污染物项目	限值	限值含义	无组织排放监控位置
1	颗粒物	0.5	监控点与参照点总悬浮颗粒物 (TSP) 1 小时浓度值的差值	厂界外 20m 处上风向设参照点, 下风向设监控点
2	氨	1.0	监控点处 1 小时浓度平均值	监控点设在下风向厂界外 10 m 范围内浓度最高点

(2) 水泥工业污染防治技术政策

(十七) 逸散粉尘的设备和作业场所均应采取控制措施, 在工艺条件允许的前提下, 宜优先采用密闭、覆盖或负压操作的方法, 防止粉尘逸出, 或负压收集含尘气体净化处理后排放。通过合理工艺布置、厂内密闭输送、路面硬化、清扫洒水等措施减少道路交通扬尘。提高水泥散装比例, 减少水泥包装及使用环节的

粉尘排放。

(3) 水泥工业除尘工程技术规范 (HJ 434-2008)

无组织防治:

9.1 一般规定

9.1.1 无组织排放应符合 GB4915 的要求。

9.1.2 应减少物料露天堆放,干物料应封闭储存;取消生产中间过程各种车辆运输;消除生产中物料的跑、冒、漏、撒。

9.1.3 对库底、配料、转运、包装等多发生无组织排放的地方,应把无组织排放转化成有组织排放进行治理。

9.2 分散扬尘点的治理

9.2.1 各物料储存库库顶应设排风口并设置除尘器,杜绝含尘气体无组织外泄。

9.2.2 散装应采用带抽风口的散装卸料装置,物料装车与除尘同时进行,抽吸的气体除尘后排放。

9.2.3 物料卸出或转运应降低落差,出料倾角应适当,减少物料扬起,在落料点周围设置风罩抽风除尘。

(4) 排污许可证申请与核发技术规范 水泥工业 (HJ 847-2017)

排污许可证中规定水泥工业排污单位无组织排放控制要求见下表。

表 5.3-3 水泥工业无组织排放控制措施要求标准

序号	主要生产单元		无组织排放控制要求	
			重点地区	一般地区
1	矿山开采		(1) 矿山机械钻孔机应配置除尘器或其他有效除尘设施; (2) 矿山爆破采用微差爆破等扬尘较低的爆破技术,爆堆应喷水; (3) 运矿道路应进行适当硬化并定期洒水,道路两旁进行绿化; (4) 运输皮带封闭,矿石厂外汽运车辆应采用封闭或覆盖等抑尘措施。	
			(5) 石灰石转载、下料口等产尘点应设置集气罩并配备 高效袋式除尘器	(5) 石灰石转载、下料口等产尘点应设置集气罩并配备袋式除尘器
2	熟料生产	原辅料堆存	(1) 粉状物料全部 密闭储存 ,其他物料全部 封闭储存 。	(1) 粉状物料密闭储存,其他块石、粘湿物料、浆料等辅材设置不低于堆放物高度的严密围挡,并采取有效覆盖等措施防治扬尘污染。
		原辅料转运	(2) 运输皮带、斗提、斜槽等应全封闭,各转载、下料口等产尘点应设置集气罩并配置 高效袋式除尘器 。	(2) 运输皮带、斗提、斜槽等应封闭,对块石、粘湿物料、浆料等装卸过程也可采取其他有抑尘措施的运输方式,各转载、下料口等产尘

序号	主要生产单元	无组织排放控制要求		
		重点地区	一般地区	
			点应设置集气罩并配备袋式除尘器。	
		原煤储存	(3) 原煤采用 封闭储库 ，或设置不低于堆放物高度的严密围挡并配套洒水抑尘装置。	
		煤粉制备及转运	(4) 煤粉采用 密闭储仓	(5) 运输皮带、绞刀、斜槽等应封闭，各转载、破碎、下料口等产生尘点应设置集尘罩并配备 高效除尘器 。
			(5) 运输皮带、绞刀、斜槽等应封闭，各转载、破碎、下料口等产生尘点应设置集尘罩并配备 高效除尘器 。	
		熟料储存	(6) 熟料全部 封闭储存	(6) 熟料封闭储存，或者设置不低于堆放物高度的严密围挡存储，并采取有效覆盖等措施防治扬尘污染。
		熟料输送及转运	(7) 运输皮带、斗提等应封闭，各转载、下料口等产生尘点应设置集尘罩并配置 高效袋式除尘器 ，库顶等泄压口配备 高效袋式除尘器 。	(7) 运输皮带、斗提等应封闭，各转载、下料口等产生尘点应设置集尘罩并配置 袋式除尘器 ，库顶等泄压口应配备 袋式除尘器 。
			(8) 熟料散装车辆应采用 封闭或覆盖 等抑尘措施	
脱硝	(9) 氨水用全封闭罐车运输、配氨气回收或吸收回用装置、氨罐区设氨气泄漏检测设施。			
3	协同处置	(1) 固体废物密闭贮存、转载、预处理处于微负压状态并将废气引入水泥窑高温区焚烧； (2) 贮存、预处理排气筒设活性炭吸附、生物除臭等装置； (3) 筛余、飞灰等密闭储存。		
4	水泥粉磨	物料堆存	(1) 粉状物料全部 密闭储存 ，其他物料全部 封闭储存 。	(1) 粉状物料全部密闭储存，其他块石、粘湿物料、浆料等辅材设置不低于堆放物高度的严密围挡，并采取有效覆盖等措施防治扬尘污染。
		物料转运	(2) 封闭式皮带、斗提、斜槽运输，各物料破碎、转载、下料口应设置集尘罩并配置 高效袋式除尘器 ，库顶等泄压口配备 高效袋式除尘器 。	(2) 封闭式皮带、斗提、斜槽运输，对块石、粘湿物料、浆料等装卸过程也可采取其他有抑尘措施的运输方式，各转载、下料口等产生尘点应设置集尘罩并配备 袋式除尘器 ，库顶等泄压口配备 袋式除尘器 。
			(3) 粉煤灰采用 密闭罐车 运输	
		水泥散装	(4) 水泥散装采用 密闭罐车 ，散装应采用带抽风口的散装卸料装置，物料装车与除尘设施同步运行。	
包装运输	(5) 包装车间 全封闭 ； (6) 袋装水泥装车点位采用 集中通风除尘系统 。			
5	公共单元	码头发运	(1) 物料采用封闭式皮带、斗提、斜槽运输，各转载、下料口等产生尘点应设置集尘罩并配备 高效袋式除尘器 ，库顶等泄压口配备 高效袋式除尘器 ； (2) 水泥及熟料等物料采用	(1) 物料采用封闭式皮带、斗提、斜槽运输，各转载、下料口等产生尘点应设置集尘罩并配备 袋式除尘器 ；库顶等泄压口配备 袋式除尘器 ； (2) 水泥及熟料等物料采用 密闭库 存储，其他块石、粘湿物料、浆料等辅材设置不低于堆放物高度的严

序号	主要生产单元	无组织排放控制要求	
		重点地区	一般地区
		密闭库存储； (3) 装卸船机配备高效袋式收尘器。	密围挡，并采取有效覆盖等措施防治扬尘污染； (3) 装卸船机配备袋式收尘器。
	其他	(4) 厂区、码头运输道路全硬化，定期洒水，及时清扫； (5) 各收尘器、管道等设备应完好运行，无粉尘外溢； (6) 厂区设置车轮清洗、清扫装置。	

(5) 水泥工业大气污染物排放标准（修改单）征求意见稿

(1) 一般地区无组织排放控制

——**开采**。加强矿山道路维护保养，根据气候条件定时洒水，控制道路扬尘。

——**破碎**。石灰石、石膏、熟料、煤、混合材等物料厂内破碎时，应在破碎机进料口设置集气罩，出料口采用密闭装置，并配备除尘设施。

——**粉磨**。磨前喂料装置应密闭。磨尾卸料口和除尘器出灰口应安装锁风装置。

——**烘干**。烘干机与集气罩的连接处应密闭，其卸料口和除尘器出灰口应安装锁风装置。

——**煅烧**。

a) 窑系统应保持微负压，定期检查，漏风、漏料应及时处理。 b) 熟料冷却机卸料口应设置集气罩，并配备除尘设施。

c) 氨水罐区应采取氨气泄漏检测措施，加强巡检，防止跑冒滴漏。

——**输送**。开放式物料输送设备在转运点、上料口、下料口应设置集气罩，并配备除尘设施。

——**均化与储存**。

a) 各类物料应设置专用储库或堆棚。对临时露天存放的物料应覆盖或采取其他防尘措施。

b) 各粉料库（仓）应在顶部卸压口安装除尘设施。

c) 原料及熟料库底配料下料口应设置集气罩，并配备除尘设施。 d) 物料均化应在封闭、半封闭储库或堆棚中进行。

——**包装与发运**。

a) 包装机应配备除尘设施。

b) 袋装水泥输送过程应设置集气罩，捕集输送皮带及水泥袋表面散落的水泥尘。

c) 水泥库的散装机出口应安装除尘设施；发运码头的装船机应安装除尘设施。

——**共处置废物**。水泥厂协同处置废物的装卸、储存、输送和预处理过程应密闭。

——**厂区道路**。厂区道路应硬化，并定期清扫、洒水保持清洁。

(2) 重点地区无组织排放控制

——**开采**。

a) 矿山开采应使用配备除尘器的钻机。

b) 矿山道路应硬化，定时清扫、洒水，控制道路扬尘。

——**输送**。物料输送设备应密闭或置于封闭通廊内，转运点应安装除尘设施。

——**均化与储存**。

a) 各类物料应设置专用储库或堆棚，不得露天存放。

b) 库顶（底）除尘、物料均化等其他环节的无组织排放控制措施与一般地区相同。

——**其他要求**。破碎、粉磨、烘干、煅烧、包装与发运、共处置废物、厂区道路的无组织排放控制措施与一般地区相同。

——**生产工艺设备、废气收集系统以及污染治理设施应同步运行**。废气收集系统或污染治理设施发生故障或检修时，应停止运转对应的生产工艺设备，待检修完毕后共同投入使用。

——**因安全因素或特殊工艺要求不能满足本标准规定的无组织排放控制要求**，经环境保护主管部门批准，可采取其他有效污染控制措施。

(6) 大气污染物综合排放标准修改单（征求意见稿）

7.7.1 颗粒物无组织排放控制

7.7.1.1 物料运输

a) 运输散装粉状物料应采用密闭车厢或罐车。

b) 运输袋装粉状物料，以及粒状、块状等易散发粉尘的物料应采用密闭车厢，或使用防尘布、防尘网覆盖物料，捆扎紧密，不得有物料遗撒。

c) 厂区道路应硬化，并定期清扫、洒水保持清洁。车辆在驶离煤场、料场、储库、堆棚前应清洗车轮、清洁车身。

7.7.1.2 物料装卸

装卸易散发粉尘的物料应采取以下方式之一：

- a) 密闭操作；
- b) 在封闭式建筑物内进行物料装卸；
- c) 在装卸位置采取局部气体收集处理、洒水增湿等控制措施。

7.7.1.3 物料储存

a) 粉状物料应储存于密闭料仓或封闭式建筑物内。

b) 粒状、块状等易散发粉尘的物料储存于储库、堆棚中，或储存于密闭料仓中。储库、堆棚应至少三面有围墙（或围挡）及屋顶，敞开侧应避开常年主导风向的上风方位。

c) 露天储存粒状、块状等易散发粉尘的物料，堆置区四周应以挡风墙、防风抑尘网等方式围挡（出入口除外），围挡高度应不低于堆存物料高度的 1.1 倍，同时采取洒水、覆盖防尘布（网）或喷洒化学稳定剂等控制措施。

d) 临时露天堆存粒状、块状等易散发粉尘的物料，应使用防尘布、防尘网覆盖严密。

7.7.1.4 物料转移和输送

厂内转移和输送易散发粉尘的物料应采取以下方式之一：

- a) 采用密闭输送系统；
- b) 在封闭式建筑物内进行物料转移和输送；
- c) 在上料点、落料点、接驳点及其他易散发粉尘位置采取局部气体收集处理、洒水增湿等控制措施。

7.7.1.5 物料加工与处理

a) 物料加工与处理过程中易散发粉尘的工艺环节（如破碎、粉磨、筛分、混合、打磨、切割、投料、出料（渣）、包装等）应采用密闭设备，或在密闭空间内进行。不能密闭的，应采取局部气体收集处理、洒水增湿等控制措施。

b) 密闭式生产工艺设备、废气收集系统、除尘设施等应密封良好，无粉尘外逸。

表 5.3-4 颗粒物无组织排放环节与控制措施

序号	通用操作	控制措施	性能描述
1	物料运输	①密闭车厢或罐车	适用于粉状物料
		②防尘布、防尘网覆盖	适用于粒状、块状等易散发粉尘的物料
		③地面硬化、清扫洒水	适用于厂区道路
		④清洗车轮	
2	物料装卸	①密闭操作	
		②在封闭建筑物内进行	
		③其他方式装卸物料	局部气体收集处理、洒水增湿等有效措施
3	物料储存	①密闭料仓；封闭式建筑物	适用于粉状物料
		②储库、堆棚	至少三面有围墙（或围挡）及屋顶
		③露天储存	挡风墙、防风抑尘网；同时洒水、覆盖防尘布（网）或喷洒化学稳定剂
		④临时露天堆存	防尘布、防尘网覆盖严密
4	物料转移和输送	①密闭输送系统	
		②在封闭建筑物内进行	
		③其他方式转移和输送物料	局部气体收集处理、洒水增湿等有效措施
5	物料加工与处理	①密闭设备	密封良好，无粉尘外溢
		②密闭空间	
		③不能密闭的	局部气体收集处理、洒水增湿等有效措施

(7) 工业炉窑大气污染综合治理方案（环大气〔2019〕56号）

涵盖建材水泥窑，并提出了工业炉窑的无组织排放控制措施界定和无组织排放管理要求。具体如下：

全面加强无组织排放管理。严格控制工业炉窑生产工艺过程及相关物料储存、输送等无组织排放，在保障生产安全的前提下，采取密闭、封闭等有效措施，有效提高废气收集率，产尘点及车间不得有可见烟粉尘外逸。生产工艺产尘点（装置）应采取密闭、封闭或设置集气罩等措施。煤粉、粉煤灰、石灰、除尘灰、脱硫灰等粉状物料应密闭或封闭储存，采用密闭皮带、封闭通廊、管状带式输送机或密闭车厢、真空罐车、气力输送等方式输送。粒状、块状物料应采用入棚入仓或建设防风抑尘网等方式进行储存，粒状物料采用密闭、封闭等方式输送。物料输送过程中产尘点应采取有效抑尘措施。

表 5.3-5 无组织排放控制措施界定

序号	作业类型	措施界定	示例
1	密闭	物料不与环境空气接触，或通过密封材料、密封设备与环境空气隔离的状态或作业方式。	—
2	密闭储存	将物料储存于与环境空气隔离的建（构）筑物、设施、器具内的作业方式。	料仓、储罐等
3	密闭输送	物料输送过程与环境空气隔离的作业方式。	管道、管状带式输送机、气力输送设备、罐车等

序号	作业类型	措施界定	示例
4	封闭	利用完整的围护结构将物料、作业场所等与周围空间阻隔的状态或作业方式，设置的门窗、盖板、检修口等配套设施在非必要时应关闭。	—
5	封闭储存	将物料储存于具有完整围墙（围挡）及屋顶结构的建筑物内的作业方式，建筑物的门窗在非必要时应关闭。	储库、仓库等
6	封闭输送	在完整的围护结构内进行物料输送作业，围护结构的门窗、盖板、检修口等配套设施在非必要时应关闭。	皮带通廊、 封闭车厢等
7	封闭车间	具有完整围墙（围挡）及屋顶结构的建筑物，建筑物的门窗在非必要时应关闭。	—

（8）重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南（2020年修订版）

2020年，《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南（2020年修订版）》（环办大气函〔2020〕340号）中对水泥行业无组织管控也提出了明确的要求，并对相关术语做出来明确的定义。

（1）相关术语和定义

——密闭：是指物料不与外界环境空气接触，或通过密封材料、密封设备与环境空气隔离点状态或作业方式。

——密闭储存：是指将物料储存于与环境空气隔离点建（构）筑物、设施、器具内的作业方式。

——密闭输送：是指物料输送过程与环境空气隔离的作业方式。

——密闭空间：是指利用完整的围护结构将污染物质、作业场所等与周围空间阻隔所形成的封闭区域或封闭式建筑物。该封闭区域或封闭式建筑物除人员、车辆、设备、物料进出时，以及依法设立的排气筒、通风口外，门窗及其他开口（孔）部位应随时保持关闭状态。

——封闭：是指利用完整的围护结构将物料、作业场所等与周围空间阻隔的状态或作业方式，设置的门窗、盖板、检修口等配套设施在非必要时应随时保持关闭状态。

——封闭储存：是指将物料储存于具有完整围墙（围挡）及屋顶结构的建筑物内的作业方式，建筑物的门窗在非必要时应随时保持关闭状态。

——半封闭储存：是指物料储存于至少三面有围墙（围挡）及屋顶结构的建筑物内的作业方式。

——封闭输送：是指在完整的围护结构内进行物料输送作业，围护结构的门

窗、盖板、检修口等配套设施在非必要时应随时保持关闭状态。

——封闭车间：是指具有完整围墙（围挡）及屋顶结构的建筑物，建筑物的门窗在非必要时应随时保持关闭状态。

（2）无组织管控要求

具体要见下表。

一、水泥熟料企业			
	A 级企业	B 级企业	C 级企业
无组织排放要求	1、煤、粉状物料全部密闭或封闭储存； 2、物料采用封闭式皮带、斗提、斜槽运输，各物料破碎、转载、下料口设置集尘罩并配置袋式除尘器，库顶等泄压口配备袋式除尘器；		
	料棚配备抑尘设施，料棚出入口配备自动门，其他物料全部封闭储存；熟料卸车点位采用集中通风除尘系统，水泥包装车间全封闭；袋装水泥装车点位采用集中通风除尘系统，水泥散装采用密闭罐车，并配备带抽风口的散装卸料器	料棚出入口配备自动门，其他物料全部封闭储存或半封闭储存；熟料卸车点位采用集中通风除尘系统，水泥包装车间全封闭；袋装水泥装车点位采用集中通风除尘系统，水泥散装采用密闭罐车，并配备带抽风口的散装卸料器	其他块石、粘湿物料等辅材设置不低于堆放高度的严密围挡，并采取有效覆盖等措施，水泥包装车间全封闭，水泥散装采用密闭罐车。
二、粉磨站（系统）、矿渣粉、水泥制品			
无组织排放要求	1、粉状物料全部密闭储存； 2、物料采用封闭式皮带、斗提、斜槽运输，各物料破碎、转载、下料口设置集尘罩并配置袋式除尘器，库顶等泄压口配备袋式除尘器； 3、料棚配备喷雾抑尘设施或物料全部封闭储存，出入口配备自动门，水泥包装车间全封闭，袋装水泥装车点位采用集中通风除尘系统，水泥散装采用密闭罐车，并配备抽风口的散装卸料器。		

(9) 浙江省水泥行业超低排放改造实施方案

浙江省的水泥行业超低排放改造实施方案中也明确规定了无组织排放管控要求，具体见下表。

表 5.3-6 浙江超低排放改造中无组织控制要求

序号	主要管控单元		控制要求
1	矿山开采		(1) 矿山机械钻孔机应配置除尘器或其他有效除尘设施； (2) 矿山爆破采用微差爆破等扬尘较低的爆破技术；爆堆应喷水； (3) 运矿道路应进行硬化并定期洒水，道路两旁进行绿化； (4) 运输皮带封闭，矿石厂外汽运车辆应采用封闭或全覆盖等抑尘措施； (5) 石灰石转载、下料口等产尘点应设置集气罩或喷淋等抑尘措施，集气罩应同步配套高效袋式除尘器
2	熟料生产	原辅料堆存	(1) 粉状物料全部密闭储存，其它物料全部封闭储存
		原辅料转运	(2) 运输皮带应封闭，斗提、斜槽、拉链机等应密闭，各转载、下料口等产尘点应设置集气罩，并配套高效袋式除尘器
		原煤储存	(3) 原煤应封闭储存
		煤粉制备及转运	(4) 煤粉采用密闭储存； (5) 运输皮带应封闭，铰刀、斜槽等应密闭，各转载、破碎、下料口等产尘点应设置集气罩并配套高效袋式除尘器
		熟料储存	(6) 熟料全部封闭储存
		熟料输送及转运	(7) 运输皮带、斗提等应封闭，各转载、下料口等产尘点应设置集气罩并配套高效袋式除尘器，库顶等泄压口配套高效袋式除尘器； (8) 熟料散装车辆应采用封闭或覆盖等抑尘措施
		脱硫	(9) 石灰石、石灰等粉状物料应密闭保存； (10) 石灰石、石灰等粉状物料下料应采用密闭管道输送； (11) 石灰石库、石灰粉仓等泄压口应配套高效袋式除尘器
		脱硝	(12) 氨水用密闭罐车运输，配氨气回收或吸收回用装置； (13) 氨罐区及易泄露点位设氨气泄漏检测设施
3	协同处置		(1) 固体废物按规范贮存、转运，预处理处于微负压状态并将废气引入水泥窑高温区焚烧； (2) 贮存、预处理排气筒应设置活性炭吸附等装置； (3) 飞灰等粉状物料密闭储存
4	水泥粉磨	物料堆存及运输	(1) 粉状物料全部密闭储存，其它物料全部封闭储存； (2) 运输皮带应封闭，斗提、斜槽等应密闭；各物料破碎、转载、下料口等产尘点应设置集气罩，并配套高效袋式除尘器；库顶等泄压口应配套高效袋式除尘器
			(3) 粉煤灰采用密闭罐车运输

序号	主要管控单元	控制要求
	水泥散装	(4) 水泥散装采用密闭罐车(灌装船); 散装应采用带抽风口的散装卸料装置, 物料装车(船)与除尘设施同步运行
	包装运输	(5) 包装车间应封闭; (6) 袋装水泥装车点位采用集中通风除尘系统
5	发运	(1) 物料采用封闭式皮带, 密闭式斗提、斜槽运输; 各转载、下料口等产尘点应设置集气罩, 并配套高效袋式除尘器; 库顶等泄压口应配套高效袋式除尘器; (2) 水泥及熟料等物料采用密闭库储存; (3) 装卸船机配套高效袋式除尘器
6	其它	(1) 厂区、码头运输道路应全硬化, 定期洒水、及时清扫; (2) 各除尘器、运输管道、廊道等应完好运行, 无粉尘外逸; (3) 厂区设置车轮和车身清洗、清扫装置

(10) 浙江省预拌混凝土行业清洁生产实施方案

原材料储运和输送过程扬尘防治措施。粉沙状原材料运输必须采用密闭运载工具, 防止沿途洒落。砂石等原料堆场采用密闭料场或筒仓, 不同规格的砂石设置隔离带分开堆放。厂区内物料应采取封闭式皮带运输(含码头到料库的物料输送), 如需叉车、铲车等搬运输送的, 各项操作应在封闭场所内进行, 并应采取密闭措施或相应的抑尘措施。输送过程原辅材料的转运、筛分、破碎等产尘点必须配备有效的捕集装置和袋式除尘器。

生产过程粉尘排点污染防治措施。生产过程各粉尘排点, 必须配置相应的粉尘收集和处理设施, 设施运行完好率必须达到相应的环保标准要求。

厂区和厂界扬尘防治措施。厂区道路和场地, 除绿化区域之外, 其余的地面应实施硬化, 破损地面应及时修复。企业应根据企业厂区布局情况, 因地制宜种植有抑尘功能的乔木或灌木等植被防护带。

产品运输和使用过程扬尘防治措施。预拌混凝土运输车在厂区的出入口处均应设置车辆冲洗装置, 保证出入车辆车身干净, 车身上的标识和车牌号码清晰可见; 运输途中不得有物料抛冒滴漏。

表 5.3-7 浙江省预拌混凝土生产企业清洁生产验收标准

类别	序号	判断依据	条件类型
粉尘和噪声处理	33	搅拌站(楼)主体二层及以上部分必须完全封闭, 采光设施必须采用密闭不可开启式, 主操作室应密封严密与主站空间隔离	强制性条件
	34	搅拌站(楼)生产工艺过程中的上料、配料、搅拌等环节必须实施封闭, 达到降低噪声和粉尘排放指标的要求	
	35	砂石堆料场、配料计量仓斗及输送皮带系统(含码头到料库的物料输送)等完全封闭, 以防止粉尘和噪声污染	

类别	序号	判断依据	条件类型
	36	粉尘收集处理用布袋除尘方式,配置的环保设备处理能力符合稳定达标排放要求	
	37	有组织排放的排气筒应设置粉尘永久采样孔和采样测试平台	
	38	厂区大门口应设置车辆冲洗设施,对车轮、罐体、料斗及斜槽等进行冲洗,避免脏车出厂	
	39	料场配置收尘或喷淋装置以降低粉尘污染★	原有企业: 引导性条件 新建企业: 强制性条件

(11) 浙江省预拌干混砂浆行业清洁生产实施方案

具体见 2.4.2③《浙江省预拌干混砂浆行业清洁生产实施方案的通知》（浙商务联发〔2019〕127号）。

六、 国内外相关标准简介

6.1 国内标准简介

6.1.1 国家标准

国家现行的《水泥工业大气污染物排放标准》（GB4915-2013）的相关限值见表1。

表6.1-1 国家标准限值

单位：mg/m³

生产设备	污染物	现行标准	
		现有/新建	重点地区
水泥窑及窑磨一体机	颗粒物	30	20
	二氧化硫	200	100
	氮氧化物	400	320
	氟化物	5	3
	氨	10	8
	汞及其化合物	0.05	0.05
烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	颗粒物	30	20
破碎机、磨机、包装机及其它通风生产设备	颗粒物	20	10
散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	20	10

注：(1)适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂，去除烟气中氮氧化物。
(2)适用于采用独立热源的烘干设备。

6.1.2 水泥行业清洁生产评价指标体系

在环保设施、污染物排放方面提出了明确的要求。具体如下。

表6.1-2 清洁生产评价指标体系

类型（指标）		要求
环保设施	气体收集系统和净化装置	按 HJ 434 和 GB 4915，对产生大气污染物的生产工艺和装置必须设立局部或整体气体收集系统和净化处理装置，达标排放。
	无组织排放控制	物料处理、输送、装卸、储存等逸散粉尘的设备和作业场所均应采取控制措施，采用密闭、覆盖、减少物料落差或负压操作等措施，防止粉尘逸出，或负压收集含尘气体净化处理后排放。通过合理工艺布置、厂内密闭输送、路面硬化、清扫洒水等措施减少道路交通扬尘，确保无组织排放限值符合 GB4915 要求。
	脱硝设施	采用适宜的脱硝设施，确保氮氧化物达标排放。
	自动监控设备	水泥窑及窑磨一体机排气筒安装烟气颗粒物、二氧化硫和氮氧化物自动监控设备，冷却机排气筒安装烟气颗粒物自动监控设备，并经环境保护部门检查合格、正常运行。
	噪声污染防治	鼓励采用低噪声设备，并对设备或生产车间采取隔声、吸声、消声、隔振等措施，降低噪声排放。宜通过合理的生产布局、建（构）

		筑物阻隔、绿化等方法减少对外界噪声敏感目标的影响。
	焚烧固体废弃物控制	利用水泥生产设施处置固体废弃物，应根据废物性质，按照GB50634和水泥窑协同处置危险废物相关环境保护技术规范等要求，采取相关措施，并做好污染物监测工作，防范环境风险。
污染物产生指标	二氧化硫产生量 kg/t	<0.15 (I级基准值)
	氮氧化物产生量 kg/t	<1.8 (I级基准值)
	氟化物产量 kg/t	<0.006 (I级基准值)

6.1.2 北京市地方标准

北京市《水泥工业大气污染物排放标准》(DB11/1054-2013)规定：自2016年1月1日起，现有污染源执行表2中第II时段的排放限值。

表6.1-3 北京市地方标准

单位：mg/m³

时段	受控工艺或设备		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物(以NO ₂ 计)	氟化物(以总F计)	汞及其化合物(以Hg计)	氨 _a
第II时段	水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	20	20	200	2	0.05	5
		烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	20	—	—	—	—	—
		破碎机、磨机、包装机及其它通风的生产设备	10	—	—	—	—	—
	散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其它需要通风的生产设备	10	—	—	—	—	—

a 适用于水泥窑烟气脱硝使用含氨还原剂的情况。

6.1.3 山东省地方标准

山东省《建材工业大气污染物排放标准》(DB37/2373-2018)规定：现有企业和新建企业分别执行表8中规定的“现有企业”与“新建企业”大气污染物排放浓度限值。

表6.1-4 山东省建材工业大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³

工业	受控工艺或设备	污染物项目	现有企业	新建企业	
				重点控制区	一般控制区
水泥	矿山开采：破碎机及其他通风生产设备	颗粒物	20	10	20
		颗粒物	20	10	20
	水泥制造：水泥窑及窑尾余热利用系统	二氧化硫	100	50	100
		氮氧化物(以NO ₂ 计)	300	100	200

		氟化物（以总 F 计）	5	5	5
		汞及其化合物	0.05	0.05	0.05
		氨 ^a	8	8	8
	水泥制造：烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	颗粒物	20	10	20
		二氧化硫 ^b	100	50	100
		氮氧化物 ^b （以 NO ₂ 计）	300	100	200
	水泥制造：破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备 散装水泥中转站及水泥制品生产：水泥仓及其他通风生产设备	颗粒物	20	10	20
颗粒物		20	10	20	

6.1.4 河北省地方标准

河北省《水泥工业大气污染物排放标准》（DB13/2167-2015）中规定，自本标准实施之日起，新建企业执行表 1 中第 II 时段的大气污染物排放限值。自 2015 年 7 月 1 日起，现有企业执行表 1 中第 II 时段的大气污染物排放限值。

表6.1-5 第II时段企业大气污染物最高允许排放浓度

单位：mg/m³

生产过程	生产设备	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物 (以 NO ₂ 计)	氟化物 (以总 F 计)	汞及其 化合物	氨
矿山开采	破碎机及其他通风生产设备	10	-	-	-	-	-
水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	20	50	260	3	0.05	8 ⁽¹⁾
	烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	20	400 ⁽²⁾	300 ⁽²⁾	-	-	-
	破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10	-	-	-	-	-
散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10	-	-	-	-	-

注：(1)适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂，去除烟气中氮氧化物。
(2)适用于采用独立热源的烘干设备。

2018 年，河北省对标准开展修订并发布了《水泥工业大气污染物排放标准》（征求意见稿），其中规定现有企业 2019 年 12 月 31 日前仍执行 DB13/2167-2015，自 2020 年 1 月 1 日起执行表 1 规定的大气污染物最高允许排放浓度，新建企业自本标准实施之日起执行表 1 规定的大气污染物最高允许排放浓度。该征求意见

稿中表 1 对水泥窑及窑尾余热利用系统的氮氧化物指标进行了加严,其余指标与 DB13/2167-2015 第 II 时段一致。加严部分如表所示

表6.1-6 现有与新建企业大气污染物最高允许排放浓度

单位: mg/m³

生产过程	生产设备	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物 (以 NO ₂ 计)	氟化物(以 总 F 计)	汞及其化 合物	氨
水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10	50	150	3	0.05	8 ⁽¹⁾

注: (1)适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂,去除烟气中氮氧化物。

6.1.5 福建省地方标准

福建省《水泥工业大气污染物排放标准》(DB35/1311—2013)自 2014 年 1 月 1 日起,现有生产线各生产设备(设施)排气筒中的颗粒物和气态污染物最高允许排放浓度及单位产品排放量不得超过表 2 规定的限值。

表6.1-7 福建省水泥工业大气污染物排放浓度限值

单位: mg/m³

生产过程	生产设备	颗粒物		二氧化硫		氮氧化物 (以 NO ₂ 计)		氟化物 (以总氟计)		氨 ^b
		排放浓度 mg/m ³	单位产品排放量 kg/t	排放浓度 mg/m ³	单位产品排放量 kg/t	排放浓度 mg/m ³	单位产品排放量 kg/t	排放浓度 mg/m ³	单位产品排放量 kg/t	排放浓度 mg/m ³
矿山开采	破碎机及其它通风生产设备	20	-	-	-	-	-	-	-	-
水泥制造	水泥窑及窑磨一体机 ^a	30	0.1	100	0.30	400	1.20	5	0.015	8
	烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	30	0.1	-	-	-	-	-	-	-
	破碎机、磨机、包装机及其它通风生产设备	20	0.024	-	-	-	-	-	-	-
水泥制品生产	水泥仓及其它通风生产设备	20	-	-	-	-	-	-	-	-
散装水泥	水泥仓及其它通风	20	-	-	-	-	-	-	-	-

中转站	生产设备								
a: 指烟气中 O ₂ 含量 10% 状态下的排放浓度。									
b: 适用于水泥窑烟气脱硝使用含氨还原剂的情况。									

6.1.6 重庆市地方标准

《水泥工业大气污染物排放标准》（DB 50/656-2016）自标准实施之日起，新建企业执行表 2 规定的大气污染物排放限值。

表6.1-8 重庆市水泥工业大气污染物排放限值

单位：mg/m³

生产过程	生产设备		二氧化硫	氮氧化物（以 NO ₂ 计）	颗粒物	氟化物（以总 F 计）	汞及其化合物	氨
矿山开采	破碎机及其它通风生产设备	主城区	-	-	10	-	-	-
		其他区域	-	-	20	-	-	-
水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	主城区	100	250	15	3	0.05	8
		其他区域	200	350	30	5	0.05	10
	烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	主城区	400	300	20	-	-	-
		其他区域	600	400	30	-	-	-
	破碎机、磨机、包装机及其它通风生产设备	主城区	-	-	10	-	-	-
		其他区域	-	-	20	-	-	-
散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其它通风生产设备	主城区	-	-	10	-	-	-
		其他区域	-	-	20	-	-	-

注：(1) 适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂，去除烟气中氮氧化物。
(2) 适用于采用独立热源的烘干设备。

6.1.7 河南省地方标准

河南省于 2019 年公开征求《水泥行业大气污染物排放标准》（征求意见稿），2020 年正式发布，规定指标具体如下。

表6.1-9 河南水泥工业大气污染物排放限值

单位：mg/m³

生产过程	生产设备	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物（以总 F 计）	汞及其化合物	氨
矿山开采	破碎机及其它通风生产设备	10	—	—	—	—	—

水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10	35	100	3	0.05	8 ^a
	烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	10	50	150 ^b	—	—	—
	破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10	—	—	—	—	—
散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10	—	—	—	—	—

注：(a) 适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂，去除烟气中氮氧化物。
(b) 适用于采用独立热源的烘干设备。

6.1.8 安徽省地方标准

目前，长三角地区唯一安徽于 2020 年发布了《水泥工业大气污染物排放标准》，具体指标如下。

表6.1-10 安徽省水泥工业大气污染物排放限值

单位：mg/m³

生产过程	生产设备	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物（以总 F 计）	汞及其化合物	氨
矿山开采	破碎机及其通风生产设备	10	—	—	—	—	—
水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10	50	100	3	0.05	8 ¹
	破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10	—	—	—	—	—
散装水泥中转站及水泥制品生产	水泥仓及其他通风生产设备	10	—	—	—	—	—

注：(1) 适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂，去除烟气中氮氧化物。

6.1.9 江苏省地方标准

目前，长三角地区江苏公开征求了《水泥行业大气污染物排放标准》（征求意见稿），具体指标如下。

表6.1-11 江苏省水泥行业大气污染物排放限值

单位：mg/m³

生产过程	生产设备	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物（以总 F 计）	汞及其化合物	氨
矿山开采	破碎机及其通风生产设备	10	—	—	—	—	—
水泥制造	水泥窑及窑尾余热利用系统	10	35	50	3	0.05	8 ⁽¹⁾
	烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机	10	35 ⁽²⁾	50 ⁽²⁾	—	—	—
	破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备	10	—	—	—	—	—

散装水泥中 转运及水泥 制品生产	水泥仓及其他通风生 产设备	10	—	—	—	—	—
注：(1) 适用于使用氨水、尿素等含氮物质作为还原剂，去除烟气中氮氧化物。 (2) 适用于独立热源的烘干设备。							

6.2 国外标准简介

美国、欧盟、德国、日本等国家和地区的水泥行业大气污染物排放标准限值大致如下。

(1) 美国

美国在联邦法规典 40 CFR 60 Subpart F 中列出了针对水泥行业常规大气污染物的排放控制限值，排放限值见表 3，其限值制定是基于最佳示范技术 (BDT)。

表6.2-1 美国水泥工业相关标准限值

受控设施/工艺	污染物	1971.8.17-2008 .6.16 建设、重 建、改建	2008.6.16 后建 设、重建、改 建	说明
水泥窑（包括）	PM	0.3 磅/吨生料 （干态）	0.01 磅/吨熟料 （~2mg/m ³ ）	1 磅≈0.454kg， 按每吨熟料 2000~3000m ³ 烟气量计算
	不透光率	20%	20%	—
	NO _x	—	1.5 磅/吨熟料 （~300mg/m ³ ）	—
	SO ₂	—	0.4 磅/吨熟料 （~80mg/m ³ ）	—
熟料冷却机	PM	0.1 磅/吨生料 （干态）	0.01 磅/吨熟料	—
	不透光率	10%	10%	—
其他——原料磨；水泥磨；原料干燥机；原料、熟料及水泥产品贮库；输送系统转运点；包装；散装水泥装卸系统等	不透光率	10%	10%	—

还包括 HAPs 物质，如二恶英、汞等污染物，以及 THC（总酸氯）和 HCl（氯化氢），NESHAP 标准新建源（2009 年后建设）具体限值为 0.4ng/dscm、0.4ug/m³、47mg/m³、5mg/m³。

(2) 欧盟

欧盟在其综合污染预防与控制（IPPC）指令中，对各典型行业（包括水泥行业）提出污染物排放要求。为配合 IPPC 指令以及许可证制度的实施，根据各成员国和工业部门的信息交流成果，欧盟委员会出版了 33 份行业 BAT 参考文件（BREF）。水泥行业 BAT 文件最初发布于 2001 年 12 月，最新的文件是 2010 年 5 月，相应 BAT 排放要求见表 6.2-2。

表6.2-2 欧盟水泥工业相关标准限值

污染物	排放源	BAT 相关排放水平	说明
颗粒物	水泥窑	<10-20mg/m ³	
	冷却、粉磨	<10-20mg/m ³	
	其他产尘点	<10mg/m ³	
NO _x	预热器窑	<200-450mg/m ³	1.窑况良好时，可实现<350mg/m ³ 有三家企业可达到 200mg/m ³ 排放水平。 2.如果采用初级措施/技术后，NO _x >1000mg/m ³ ，则 BAT 排放水平为 500mg/m ³ 。
	立波尔窑、长窑	400-800mg/m ³	基于初始排放水平和氨溢出率。
SO ₂	水泥窑	<50-400mg/m ³	与原料中 S 含量有关

(3)德国

德国在《联邦排放控制法》下辖的《空气质量控制技术指南》中规定了对水泥工业的大气污染排放限值。最新版(2002年)的《空气质量控制技术指南》对水泥行业的污染物排放要求为：颗粒物 20mg/m³、SO₂350mg/m³、NO_x500mg/m³（一般行业为 350mg/m³）、氟化物 3mg/m³。

(4)日本

日本对水泥工业的颗粒物排放限值区分了一般地区和特殊地区，一般地区的限值为 100mg/m³，特殊地区的限值为 50mg/m³。对水泥工业的 NO_x 排放限值要求为 500mg/m³ 和 700mg/m³。

(5)世界银行

《污染防治与削减手册》。回转窑排放废气中粉尘的收集和循环利用对提高生产效率和降低大气排放物是非常重要的良好设计、良好操作和良好维护的生产工序采用粉尘回收系统后一般产生 0.2kg/t 熟料的粉尘,通过采用合适的窑炉设计、低 NO_x 燃烧护和过量空气的最优化就可以使 NO_x 的排放得到控制。从带有预热和预分解的干法回转窑产生 NO_x 为 1.5kg/t 熟料，而湿法回转窑为 4.5kg/t 熟料，NO_x 通过在一个还原氧氛中通过再燃烧可以进一步降到 0.5kg/t 熟料而热量通过

预热和预分解系统得到回收。满负荷情况下，烟道气中颗粒物最大浓度为 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，等于 $0.2\text{kg}/\text{t}$ 熟料，该排放物浓度是通常运行良好的工厂所获得的值， SO_x 最大值 $400\text{mg}/\text{Nm}^3$ ， NO_x 为 $600\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

七、 标准主要内容

7.1 标准适用范围

本标准适用于现有水泥工业企业或生产设施的大气污染物排放管理，以及水泥工业建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收、排污许可证核发及其投产后的大气污染物排放管理。

利用水泥窑协同处置固体废物，除执行本标准外，还应执行国家相应的污染控制标准的规定。

7.2 标准结构框架

本标准的主要内容包括前言、范围、规范性引用文件、术语和定义、污染物排放控制要求（有组织排放控制要求、无组织排放控制要求）、污染物监测要求、实施与监督等部分。

污染物排放控制要求是标准的主体部分。提出了排放浓度限值要求。其中，排放浓度限值方面共计指标项目 5 项，无组织浓度限值方面共 2 项指标，并对颗粒物、二氧化硫、氮氧化物的排放绩效作了要求。另外，有组织方面分两阶段实施，逐步推进超低排放改造，一方面让技术充分的探索，充分借鉴其他省市推进工作经验；另一方面也让企业提前准备，做好过渡与衔接。

7.3 术语与定义

标准共设置了 18 个术语，包括水泥工业，水泥窑，窑尾余热利用系统，烘干机、烘干磨、煤磨及冷却机，破碎机、磨机、包装机及其他通风生产设备，采用独立热源的烘干设备，散装水泥中转站，水泥制品生产，密闭，封闭，标准状态，排气筒高度，无组织排放，测定均值，小时均值，排放绩效、现有企业，新建企业等。上述定义均来自国家和地方标准，如水泥工业大气污染物排放标准（GB 4915-2013）、《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822-2019）、《燃煤电厂大气污染物排放标准》（DB 33/2147-2018）。

7.4 污染物项目的选择

严格对照国家标准《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915-2013）、《排污许可证申请与核发技术规范 水泥工业》（HJ 847-2017）以及省内排污许可证申报情况，确定控制的污染物指标项目，主要为颗粒物、二氧化硫、氮氧化物（以NO₂计）、氟化物（以总F计）、汞及其化合物、氨共6项污染物指标项目。

对于协同处置固体废物的水泥窑，在本标准的基础上，还应执行《水泥窑协同处置固体废物污染物控制标准》（GB 30485-2013）相关污染物控制要求。

7.5 污染物限值的确定

7.5.1 颗粒物

水泥行业颗粒物来源十分广泛，基本上贯穿整个生产过程，包括源头的矿山开采（破碎机、其他通风生产设备）、熟料生产（破碎机、通风生产设备、生料磨、煤磨、水泥窑及窑尾余热利用系统、冷却机窑头）、水泥粉磨、转运站及水泥制品生产等。因此，十分有必要对颗粒物进行管控。GB 4915-2013对重点地区颗粒物的要求为20mg/m³，结合我省水泥行业监督性监测数据，平均值为7.20mg/m³，以及参考国家《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》（环大气〔2019〕35号）（超低排放颗粒物、二氧化硫、氮氧化物分别是10、35和50mg/m³）和其他省市水泥标准对颗粒物限值要求，建议颗粒物浓度限值为10mg/m³。

从技术层面讲，根据实际情况，建议使用湿式静电除尘器、覆膜滤料袋式除尘器、滤筒除尘器、电袋复合除尘等工艺。

此外，从颗粒物分析方法来看，依据《固定污染源废气 低浓度颗粒物的测定 重量法》（HJ 836-2017）当采样体积为1m³时，检出限为1.0mg/m³，可控制监测方法干扰因素为10%，以减少因分析方法而造成超标情况。

7.5.2 二氧化硫

水泥行业的SO₂排放主要集中在窑尾烟气中，与所用原、燃料中的S含量密切相关。由于水泥窑是碱性环境，其SO₂排放浓度通常比较低。不论是在线监测数据统计还是监督性监测数据统计，SO₂平均浓度基本20mg/m³左右，是可以实现且能达到超低排放的，为此，设定SO₂浓度限值为35mg/m³。另外，考虑到石

灰含硫量以及浙江低品位矿石，分两阶段推进，第一阶段 SO_2 浓度限值为 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，第二阶段设定 SO_2 浓度限值为 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 。

从水泥生产工艺全流程、污染物排放全面管控角度，推荐使用干法、半干法脱硫工艺，其中钙基脱硫剂具有原料易得、价格低廉等特点，而且无废水排放，但脱硫效率有限，不适用于 SO_2 浓度较高的企业。若 SO_2 超低排放限值收严到 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 或 $35\text{mg}/\text{m}^3$ ，宜采用湿法脱硫：石灰石—石膏湿法脱硫工艺最为成熟，钠基、氨法湿法脱硫也可以使用。

另外，对于独立热源的烘干设备，设定为 $35\text{mg}/\text{m}^3$ ，严格按照超低排放要求，鼓励企业采用天然气、电等清洁热源。

7.5.3 氮氧化物

目前，我省水泥窑实现了 SNCR 脱硝工艺全覆盖，从现有监测水平，平均浓度在 $230\text{mg}/\text{m}^3$ ，中位数约为 $250\text{mg}/\text{m}^3$ ，实现了与欧盟控制水平相一致，即在使用低氮燃烧器、分级燃烧、添加矿化剂、工艺优化控制（系统均衡稳定运行）等工艺措施后，结合 SNCR 处理工艺，排放控制水平可达到 $100\sim 240\text{mg}/\text{m}^3$ 。要进一步降低 NO_x 浓度，目前主流的观点是实施全流程控制，首先在工艺控制角度实施高效低氮改造，实现进入分解炉的烟气达到近零水平；其次对现有 SNCR 脱硝实施智能化改造，做到精准预测和精准喷氨，必要时则需要采用 SCR 工艺进一步脱硝，考虑其对 NO_x 去除效率为 $85\sim 90\%$ 之间，较 SNCR 可提高 20 到 25 个百分点，基本可实现排放浓度控制在 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。为此，本标准 NO_x 排放浓度 I 阶段限值设置为 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ；II 阶段限值设定为 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，与国家钢铁超低排放改造要求一致。对于 I 阶段限值，企业可以采用“分级燃烧+智能 SNCR”技术，达到 I 阶段限值要求。II 阶段限值需要在 I 阶段的基础上，增加 SCR 处理或源头**高效低氮改造**（如新型管道炉脱硝）等技术，确保 NO_x 控制在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

（1）I 阶段限值改造案例

目前，达到 I 阶段限值技术已成熟，且一次性投入成本也大幅下降，主要采用“分级燃烧+智能 SNCR”，改造成本约在 400 万元左右。典型案例如下。

①四川 ██████████ 有限公司 $\text{NO}_x \leq 100\text{mg}/\text{m}^3$ 改造案例

采用现有工艺整体优化改造达到 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。具体如下：

一是采用低 NO_x 燃烧控制技术作为前置脱硝技术手段，对分解炉煤粉燃烧系统进行改造，通过改变分解炉的喷煤方式及位置将原来的两支煤管改为 4 台分解炉专用燃烧器，改变燃烧区环境气氛，实现前置脱硝，即：在分解炉锥部建立还原区，在中部建立再燃区，通过控制窑尾煤粉的燃烧及三次风的流向，还原来自窑头及主燃区内产生的氮氧化物，在保证分解炉正常燃烧速度及燃尽率的同时，进一步提高脱硝效率。降低 SNCR 脱硝系统的处理量，降低氨水消耗量。据测算，采用低氮燃烧的脱硝效率在 35% 以上。

二是采用分阶段脱硝的工艺方案，同时应用蒸汽低氮燃烧技术，在分解炉下位两台燃烧器上加入蒸汽脱硝，并且在氨水喷枪喷入位置也进行了 3 处优化技改，实现 SNCR 脱硝效率最大化，减少氨逃逸量，降低氨水用量。

三是采用高效脱硫工艺方案，优化改进了原有的水泥预热预分解技术及装备，利用热生料中包含大量的活性 CaO，在钙硫比为 5~6 的情况下，脱硫效率可以达到 25%~30%。对石灰石原料中硫铁矿含量高的水泥厂而言，大约用 5%~10% 分解炉废气即可满足要求，从而实现了 SO₂ 的排放减少 76.67%，NO_x 的排放减少 19.5%。

改造后窑尾污染物监测数据见表 7.5-1。

表7.5-1 某企业改造后窑尾排放情况

时间	窑头	窑尾			
		粉尘	SO ₂	NO _x	含氧量/%
6月1周	6.10	7.03	36.08	63.98	11.05
6月2周	6.44	6.03	27.47	61.56	9.65
6月3周	6.99	7.53	9.34	65.31	9.62
6月4周	7.29	7.48	7.62	79.13	10.15
6月均值	6.71	7.02	20.13	67.5	10.11
7月1周	7.99	8.12	29.89	74.47	10.43
7月2周	6.36	6.74	6.75	12.39	9.19
7月3周	6.35	7.23	33.95	72.33	9.94
7月4周	7.79	4.06	33.67	64.67	8.71
7月均值	7.12	6.53	26.07	55.97	9.57
8月1周	8.52	5.08	8.88	64.49	8.65
8月2周	8.49	5.67	19.97	64.39	8.86
8月3周	9.10	6.66	16.34	61.26	8.82
8月均值	8.70	5.81	15.06	63.38	8.78
三个月平均	7.51	6.45	20.42	62.28	9.49

②湖州某水泥企业 7500 吨/日熟料生产线改造案例

湖州某水泥企业 7500 吨/日熟料生产线(3#线) NO_x 排放通过深度脱硝(“分

级燃烧+智能 SNCR”技术)，稳定控制在 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，成为省内首条水泥深度脱硝示范减排工程。

通过分级燃烧将初始 NO_x 浓度降到 $400\text{--}500\text{mg}/\text{m}^3$ ，再通过过精准 SNCR 技术将 NO_x 降到 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。现已稳定运行。

分级燃烧：分级燃烧改造主要是通过分解炉分煤（更换新型喷煤管，根据现场实际情况设置 2-4 个入煤点），分料（调整 C4 下料管位置，C4 下料管多点下料），更改三次风管位置等方式在分解炉锥体部位形成还原区，减低 NO_x 的生成。改造后确保窑产量不降低，初始 NO_x 基本上在 $450\text{mg}/\text{m}^3$ 左右，控制在原排放指标时氨水消耗量降低 50% 左右。

精准 SNCR：根据预热器各个位置的温度，优化氨水喷枪的位置，寻找到合适的反应窗口，通过软件计算优化各个喷枪的氨水喷入量，使得喷入的氨水发挥最大效力。Steag 的高效 SNCR 通过在 5 级筒，分解炉等合适的不同部位都装上高精度喷枪，每组喷枪可以独立控制，然后通过智能控制软件（跟窑磨智能控制软件是同一些列的）进行 NO_x 的预测，并根据工况波动自动寻优，确定在什么地方喷氨，用哪些喷枪以及喷多少，自动调整，以实现在 NO_x 达标的情况下尽量少用氨水，或者在 NO_x 的情况下尽量低的氨逃逸。该方案可实现 90% 的脱硝效率，在同等排放标准的情况下，通常可以比普通的 SNCR 少用 20%-40% 的氨水。

③其他说明

从河南水泥脱硝改造来看，水泥生产线通过低氮燃烧、分级燃烧和 SNCR 脱硝等组合技术，并对喷枪位置和控制方法进行优化，实现了 14 条生产线 NO_x 浓度控制在 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，且运行稳定。

（2）II 阶段限值改造案例

① [] 水泥有限公司高效低氮改造控制 NO_x 浓度小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$

经查询河南省生态环境厅自行监测报告，《[] 水泥有限公司 2019 年度自行监测总结报告》，公司投资 4000 余万元，采用德国洪堡公司的 PYROCLON® REDOX 烟气脱硝深度治理技术，对分解炉及燃烧系统进行改造。该烟气脱硝深度治理工程于 2019 年 6 月份开工建设，9 月底建设完成，该改造项目投入运行后，窑尾 NO_x 排放浓度由改造前的小时平均 $75\text{mg}/\text{m}^3$ 降低到

37mg/m³，NO_x 日均排放总量由改造前的 2.4t 降低至 1.5 t，同时氨水使用量由原来的 3.1m³/h 降低至 1.8m³/h，氨逃逸小于 5 mg/m³，实现污染物减排和节能双重效果，并于 2019 年 10 月 15 日通过荥阳市生态环境局的现场核查验收。

②湖州某水泥中低温高尘 SNCR+SCR 技术

湖州某水泥窑尾 NO_x 超低排放中低温 SCR 脱硝中试示范，于 2018 年 9 月开始投运，经一年多在不同工况条件下运行，烟气经中低温 SCR 反应装置后均能将烟气中 NO_x 浓度降低到 50mg/m³，烟气脱硝效率达 85-95%。2020 年 2 月份，进行工业化放大工程，采用氨水为还原剂的选择性催化还原法(SCR)脱硝工艺。该工艺主要是在烟气温度为 180~220℃范围内，将适量的氨喷入烟道内，氨与烟气充分混合，氨在催化剂的作用下，将烟气中的 NO_x 还原成 N₂ 和 H₂O，从而达到脱除 NO_x 的效果。SCR 脱硝工艺脱硝效率高，可以达 90%以上，NH₃ 的逃逸在 8 mg/m³ 以下，脱硝效率稳定。2020 年 12 月，该项目中低温烟气 SCR 脱硝工程项目通过专家评审，成为国内外首台套水泥窑炉烟气中低温 SCR 脱硝反应器及其工艺技术装备，从 7 月开始在企业 5000t/d 水泥熟料生产线实现工业化应用，连续运行表明：脱硝效率达到 90%、NO_x 排放浓度小于 50mg/m³、氨逃逸小于 5mg/m³。

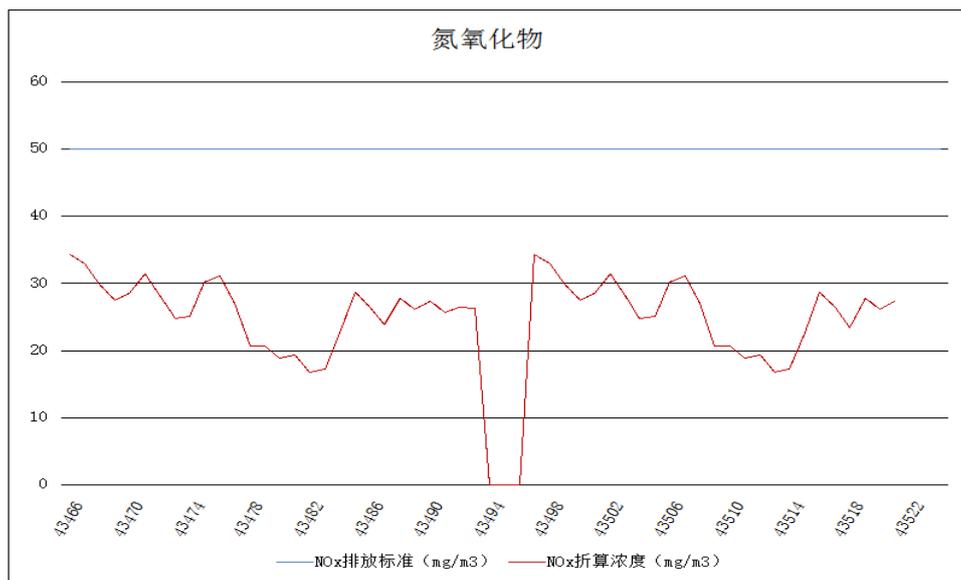
③杭州某水泥 SNCR+中温高尘 SCR 技术

杭州某水泥熟料生产企业试点 SNCR+中温高尘 SCR 技术，其中 SNCR 脱硝系统位于分解炉及 C5 级旋风预热器区段，在 850~1050℃的温度区段合适点位喷入氨水；SCR 脱硝中试装置位于 C1 级旋风预热器去余热锅炉的烟道（余热锅炉上游烟道）旁路上，引接烟气体积流量为 10000m³/h，CO 常规质量浓度小于 200mg/m³，O₂ 体积分数为 2%~3%，该点位位于 SNCR 脱硝系统下游。烟气中的 NO_x 在入口烟道与氨进行初步混合，依次经 SCR 反应器入口渐扩管、整流器进一步混合后，进入 SCR 反应腔，在催化剂的作用下与氨反应后，经引风机送至高温风机入口烟道（余热锅炉下游），催化剂主要成分为 V₂O₅、TiO₂。为了解决高灰积尘，除高于火电气流速度的控制外，各层催化剂上部配有蒸汽吹灰器，底部设置有灰斗和仓泵，将积灰输送至厂区灰库。脱硝产生的压损，通过反应器下游配置引风机解决。还原剂采用质量分数为 20%的氨水，取自原 SNCR 脱硝系统的氨水储罐，通过输送模块、计量模块送至双流体喷枪喷入系统。

经 2100 小时连续试运行表明，SCR 段脱硝率高达 90.8%，SNCR-SCR 联合脱硝率高达 96% 以上，SCR 反应器出口 NO_x 平均浓度 23.4mg/m³，氨排放浓度 0.98 mg/m³。

④某企业 NO_x ≤ 50mg/m³ 改造案例

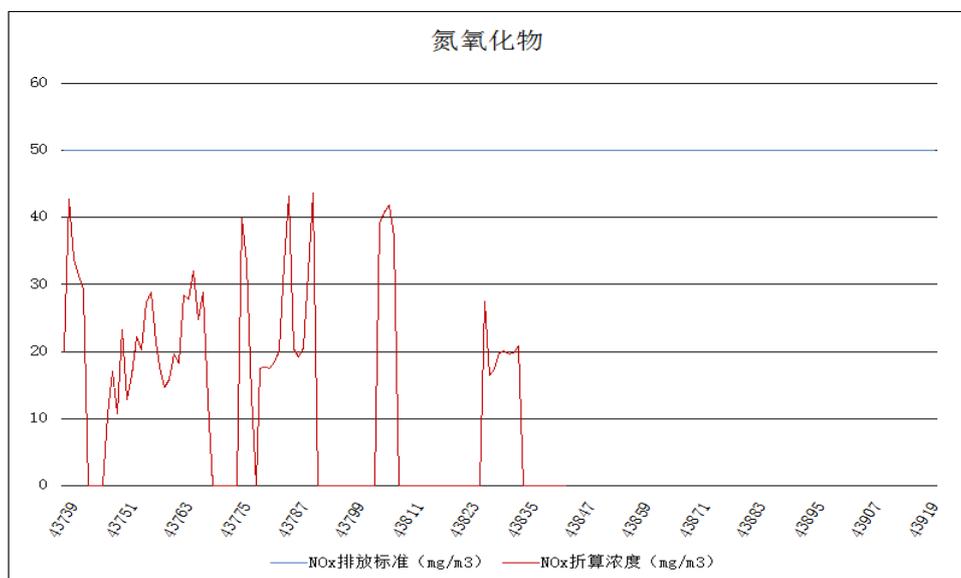
1 条 3200t/d 水泥熟料生产线，燃用原煤，烟气脱硝工艺采用热碳催化还原脱硝技术。



窑尾烟气 2019 年 1 月-2019 年 2 月的在线监测数据 NO_x 浓度介于 16.7~34.34mg/m³ 之间。

⑤某企业 NO_x ≤ 50mg/m³ 改造案例

1 条 4500/d 水泥熟料生产线，燃用原煤，烟气脱硝工艺采用 SNCR+高温电除尘器+SCR 脱硝技术。

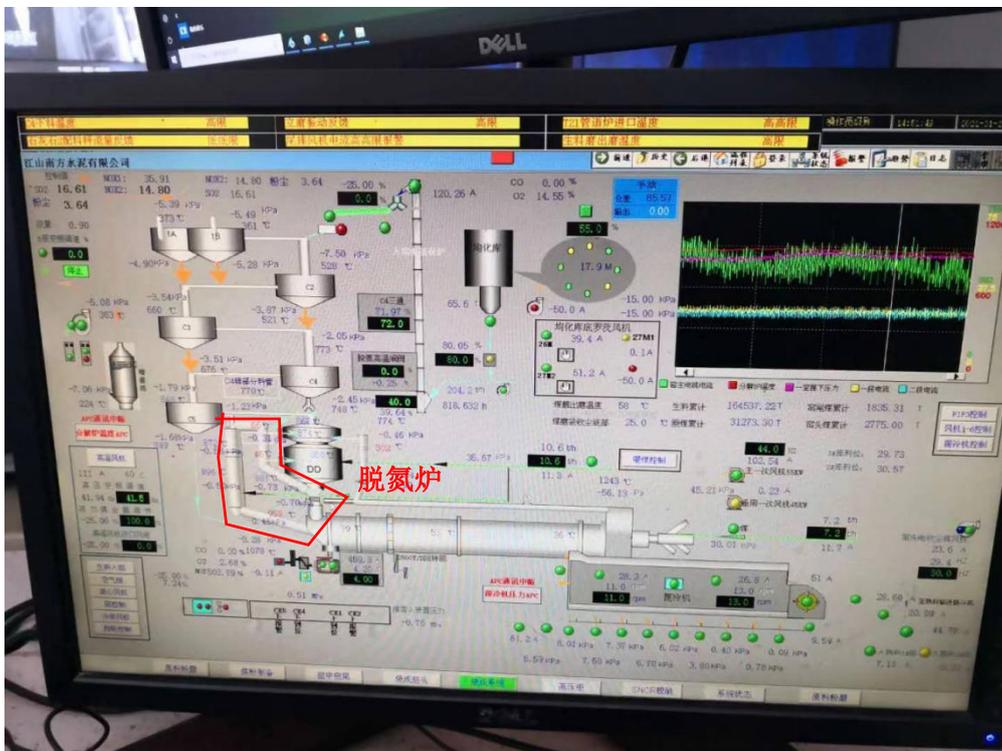


窑尾烟气 2018 年 10 月-2019 年 3 月的在线监测数据显示，氮氧化物排放浓度为 10.53~43.65mg/m³。

⑥新型高效低氮改造技术

浙江某水泥企业 2020 年 8 月份启动 2500t/d 熟料线 NO_x 超低排放技改项目，采用在窑尾烟气室与分解炉之间新建管道脱硝炉，并对窑尾烟室、三次风管及分级燃烧风管进行配套改造，喷入煤粉。拟在不喷氨水情况下，NO_x 排放浓度小于 300mg/m³，当 NO_x 排放浓度降低至 50mg/m³ 以下时，氨水喷量小于 300L/h，总投资预计 1633 万元以内。该技术通过新建管道炉，在管道炉内产生还原气氛，将窑内产生的 NO_x 还原成 N₂ 等无污染气体。项目建成后年减少 NO_x 排放 350 吨，回转窑产质量不变、煤耗不变，运行后氮氧化物浓度可控制在 50mg/m³ 以下。实际投资费用约 2500 万元，喷氨量较现状有所降低，从现状的 350L/h 最多降低至 280L/h，进而运行费用方面较现有的 SNCR 降低约 0.4 元/吨。相关改造前后参数如下表所示。

	NO _x 排放浓度	喷氨量	C1 出口 CO	水泥钙含量	煤耗
改造前	300	350	407	1.04	125
改造后	42.7	280	502.4	1.02	124.5



⑦其他典型企业改造情况

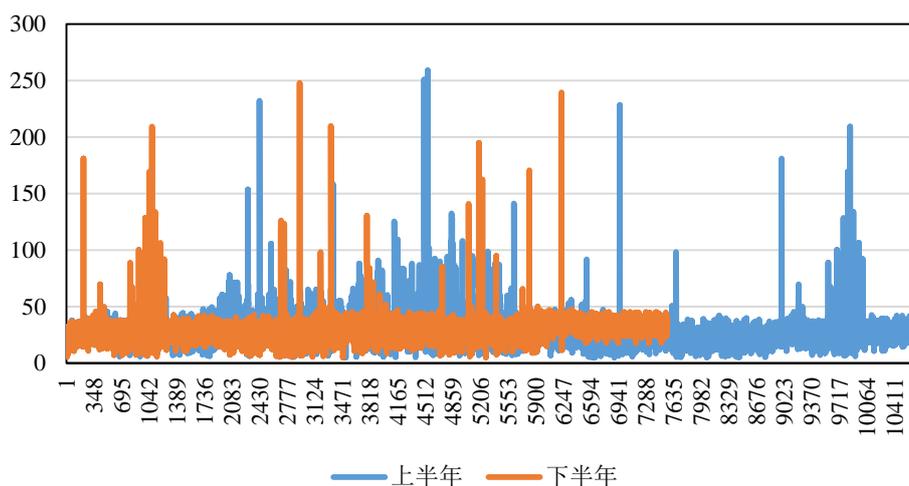
重点收集了安徽、河北、河南相关水泥企业改造后 2020 年氮氧化物排放情

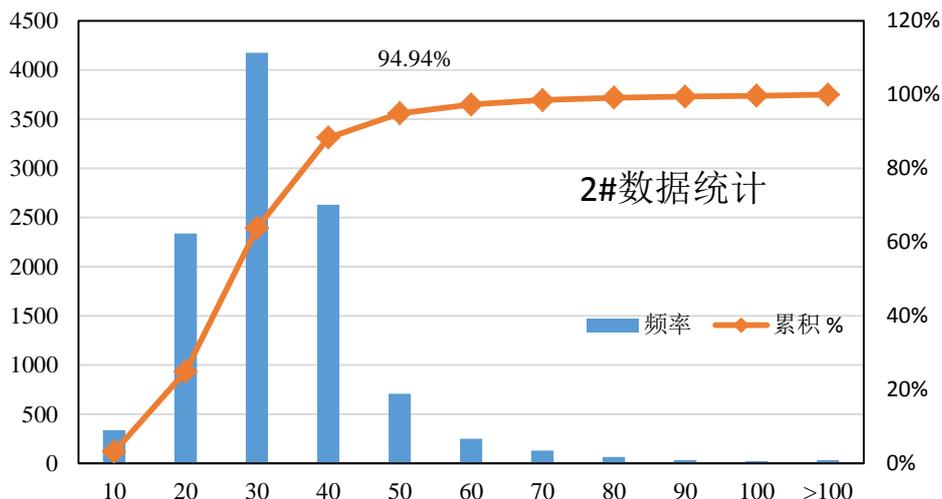
况，企业基本情况见下表。

省市	编号	企业名称	生产线规格	脱硝技术	配套技术
安徽	1	安徽海螺水泥股份有限公司 [] 泥厂	5000t/d	SCR	高温电除尘
河北	2	[] 有限责任公司#1 线	2500 t/d	SCR	高温电除尘
河北	3	[] 有限责任公司#2 线	5000 t/d	SCR	高温电除尘
河北	4	[] 有限责任公司#3 线	5000 t/d	SCR	高温电除尘
河北	5	[] 水泥 [] 有限公司	/	/	/
河北	6	[] 水泥有限公司	4000 t/d	稳定煅烧+分级燃烧+高效智能 SNCR 脱硝	
河北	7	[] 水泥 [] 分公司	/	/	/
河北	8	[] 水泥有限公司	/	/	/
河北	9	[] 水泥有限公司	/	/	/
河南	10	[] 水泥有限公司	/	PYROCLON®REDOX	

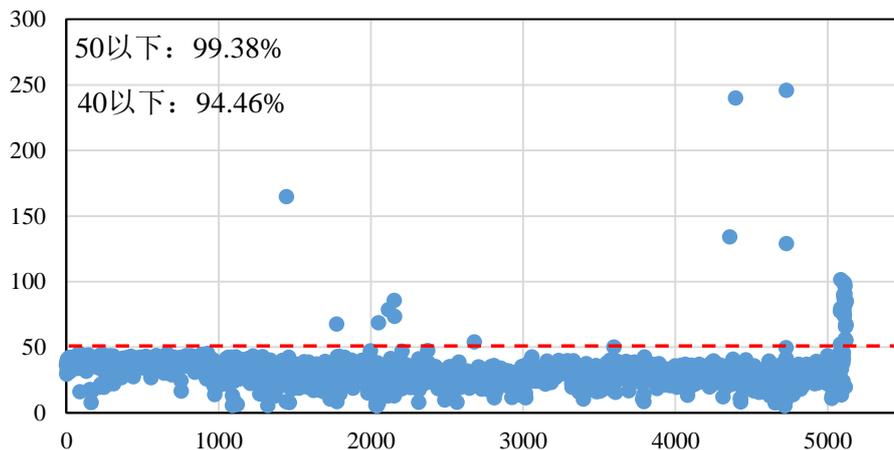
典型企业改造后氮氧化物在线监测浓度情况见下图。

2#企业SCR脱硝





9#企业浓度



由上图可知,2#企业采用 SCR 脱硝后,基本氮氧化物能到达 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 以下,约有 94.5% 的数据符合标准要求。9#企业统计数据量较少,从统计数据来看约 99.4% 的数据能满足 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 要求,约 94.5% 的数据在 $40\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。总体来看,氮氧化物 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 具备可达性。

⑧其他补充说明

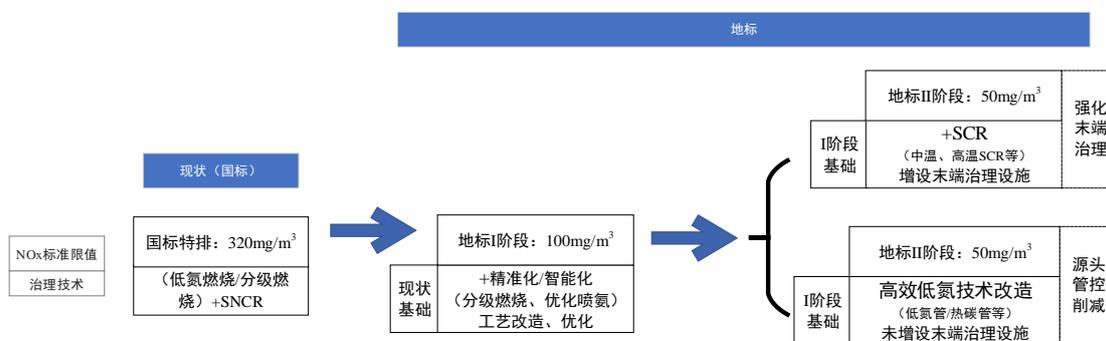
水泥重点生产大省氮氧化物 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 改造统计情况。

地区	NO _x 超低限值	标准/政策要求	执行情况
河北	50	2021年10月1日	截至2019年,18条线按 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 实施完成低氮改造
邯郸	50	2021年12月31日前	1) 2019年完成4家水泥厂超低排放改造,其中新峰水泥有限公司3条线实施 SCR 脱硝工程,脱硝效率高达90%,氮氧化物排放浓度 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 左右,氨逃逸值小于 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 左右
唐山	50	2019年10月底	2019年上半年完成10家水泥厂超低排放改造

		前	
邢台	50	/	1) 邢台金隅冀东水泥有限公司 4000t/d 2) 邢台金隅冀东水泥有限公司牛山分公司 4000t/d 均采用“稳定煅烧+分级燃烧+高效智能 SNCR 脱硝”, NO _x 可达 $\leq 50 \text{ mg/m}^3$
河南	50	力争实现	1) 天瑞郑州水泥厂, PYROCLON® REDOX 技术, NO _x 可达低于 50 mg/m^3 2) 宏昌水泥采用 SCR 脱硝技术, NO _x 可达 $\leq 50 \text{ mg/m}^3$

⑨脱硝改造技术路线

从目前深度脱硝改造技术路线来看,主要包括以下两大类一是进一步强化末端治理,通过 SCR(高温、中温)等方式在原有 SNCR 基础上进行深度脱硝,按照 I 阶段限值 100 mg/m^3 基础上,进一步提升至 II 阶段限值,只需要 SCR 末端去除效率超过 50% 即可,也是目前燃煤电厂、钢铁超低排放改造的主流技术,为此,改造技术路线成熟稳定。二是强化源头 NO_x 管控,即在现有 SNCR 基础上,降低 NO_x 进入治理设施浓度,从现阶段的 $500\sim 600 \text{ mg/m}^3$,通过脱氮炉将氮氧化物浓度降低至 10ppm;充分利用现有精准 SNCR 治理技术,将 NO_x 排放浓度控制在 50 mg/m^3 。相比增加末端 SCR 技术而言,源头管控技术降低了末端治理设施运行费用,降低了 SCR 催化剂不稳定性的风险,管理也相对简单,相对而言更具有前瞻性。



7.5.4 汞及其化合物

按照国际汞公约,需要对汞的排放进行监管。另外,GB 4915-2013 对汞也提出了明确的管控要求。为此,本标准继续沿用国家标准中要求,对汞提出管控要求。目前,国家水泥标准、燃煤电厂标准中汞的浓度限值分别为 0.05 mg/m^3 和 0.03 mg/m^3 。此外,上海大气综合排放标准、省标准燃煤电厂大气污染物排放标准、上海燃煤电厂大气污染物排放标准中均对汞的排放提出了排放要求,分别是 0.01 mg/m^3 、 0.03 mg/m^3 和 0.03 mg/m^3 。

考虑到水泥、燃煤电厂的汞来源是一致的，废气处理工艺也基本相一致，汞的去除主要依靠脱硫、脱硝以及除尘设备的协同去除。因此，本标准汞的浓度限值 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。

7.5.5 氟化物

水泥生产中，如不专门使用含氟矿化剂（例如萤石）用于降低烧成温度，一般窑尾排放的氟化物会很低。本标准仍沿用 GB 4913-2013 中氟化物浓度限值，为 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

7.5.6 氨

氨主要源于 SNCR、SCR 等二次措施，需要使用尿素、氨水等还原剂，与 NO_x 反应时，会有部分氨逃逸。根据水泥工业污染防治最佳可行技术指南，SNCR 脱硝系统氨逃逸浓度应低于 $8\text{mg}/\text{m}^3$ ，SCR 脱硝系统氨逃逸浓度应低于 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

另外，在《燃煤电厂超低排放烟气治理工程技术规范》（HJ 2053-2018）中明确火电超低排放脱硝中氨逃逸要求，具体见下表。

表7.5-2 火电超低脱硝系统有关参数

项目	单位	SCR 脱硝	SNCR 脱硝	SNCR/SCR 联合脱硝
运行温度	—	一般在 $300\sim 420^\circ\text{C}$	尿素： $900^\circ\text{C}\sim 1150^\circ\text{C}$ ； 液氨/氨水： $850\sim 1050^\circ\text{C}$	SNCR 区域：尿素： $900^\circ\text{C}\sim 1150^\circ\text{C}$ ；液氨/氨水： $850\sim 1050^\circ\text{C}$ ； SCR 区域：一般在 $300\sim 420^\circ\text{C}$
氨逃逸浓度	mg/m^3	≤ 2.5	≤ 8	≤ 3.8
氨氮摩尔比	—	<1.05 一般取 $0.8\sim 0.85$	$1.2\sim 1.5$	$1.2\sim 1.8$
锅炉热效率降低	%	—	≤ 0.3	≤ 0.3

此外，《火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性非催化还原法》（HJ 563—2010）规定氨逃逸浓度低于 $8\text{mg}/\text{m}^3$ ；《火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性催化还原法》（HJ 562—2010）规定氨逃逸浓度低于 $2.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。而《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南（2020 年修订版）》中 A 类企业氨逃逸浓度要求为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

为防止水泥企业过度使用还原剂造成不必要的浪费，减少臭味扰民，以及达到超低排放企业基本符合 A 类企业要求，为此，氨 I 阶段浓度设定为 $8\text{mg}/\text{m}^3$ ；II 阶段设定为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

7.5.7 独立热源

对于采用独立热源烘干的,对照《浙江省水泥行业超低排放改造实施方案》,应采用天然气、电等清洁热源。根据国务院、浙江省打赢蓝天保卫战三年行动计划“35 蒸吨/小时及以上高污染燃料锅炉完成节能和超低排放改造”“燃气锅炉基本完成低氮改造”“取缔燃煤热风炉”相关部署,确定颗粒物、SO₂、NO_x 浓度限值 10mg/m³、35mg/m³ 和 50mg/m³。

7.5.8 排放绩效核算

排放绩效标准 (Generating Performance Standard, 简称 GPS) 一般以单位产品产量所排放污染物来表征,即相当于污染物排放强度,对于水泥熟料而言是指每生产 1 吨熟料所排放污染物的量,反映了生产单位熟料的污染物排放强度。根据污染因子的不同可进一步细分,如 SO₂ 排放绩效、NO_x 排放绩效等。是除排放浓度控制外的,另一种标准限值的控制手段。其不再依据水泥熟料生产线燃料及原料含硫量、含氮量、分解炉型式、除尘、脱硫、脱硝技术等进行不同的分类控制。充分体现了“一视同仁”的公平公正,使所有水泥熟料生产企业都遵守同等的环境管理要求。

水泥厂熟料生产在核算绩效时,可采用以下公式计算:

$$GSP = \frac{V \times C}{\frac{PC}{24} \times T} \times 10^{-6}$$

式中:

GSP 为排放绩效, kg/t 熟料;

V 为窑尾标态烟气排放量, m³;

C 为污染物浓度, mg/m³;

PC 为日实际生产能力, t 熟料/天;

T 为年利用小时数,以达标排放时间核算。

根据原环境保护部印发的《排污许可证申请与核发技术规范 水泥工业》(HJ847-2017),依据《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915-2013)和《浙江省生态环境厅关于执行国家排放标准大气污染物特别排放限值的通告》(浙环发(2019)14号)要求,按照上述计算公式给出了相应指标项目的排放绩效值,详见下表。

表7.5-3 水泥厂（熟料线）特别排放限值绩效值

污染物	标准限值 (mg/m ³)	绩效值 (kg/吨熟料)
颗粒物	20	0.05
二氧化硫	100	0.25
氮氧化物	320	0.80

根据本标准的水泥行业大气污染物排放标准要求，熟料生产中颗粒物、SO₂和NO_x的指标限值分别为10mg/m³、50（II时段35）mg/m³和100mg/m³（II时段50mg/m³）。对比国家水泥工业特别排放限值标准要求及绩效要求，在同等计算条件下，进行绩效值转换计算，结果如下：

表7.5-4 我省水泥厂（熟料线）标准绩效值

污染物		标准限值 (mg/m ³)	绩效值 (kg/吨熟料)
颗粒物	窑尾	10	0.025
	窑头	10	0.018
二氧化硫		50 (35)	0.125 (0.0875)
氮氧化物		100 (50)	0.25 (0.125)

注：括号内的绩效要求为II时段熟料企业。

具体计算案例如下：

例 1: 某水泥厂 2500 吨/天熟料生产线经清洁排放改造后，年均颗粒物、SO₂、NO_x 浓度限值分别为 8mg/m³、17mg/m³ 和 63mg/m³；实际年运行时间为 7565.0 小时，均达标排放，年均风量为 260000m³/h，日均熟料实际产量为 2850 吨/天。经计算，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放绩效值分别为 0.018kg/t 熟料，0.037kg/t 熟料，0.138kg/t 熟料，符合 I 时段标准绩效限值要求。

例 2: 某水泥厂 5000 吨/天熟料生产线经清洁排放改造后，年均颗粒物、SO₂、NO_x 浓度限值为 3.56mg/m³、18.50mg/m³ 和 34mg/m³；实际年运行时间为 6002.27 小时，年均风量为 520000m³/h，日均熟料实际产量为 5600 吨/天。经计算，颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放绩效值分别为 0.008kg/t 熟料，0.041kg/t 熟料，0.076kg/t 熟料，符合 II 时段标准绩效限值要求。

7.5.9 指标限值汇总

本标准各污染物排放浓度限值见表 7.5-5。

表7.5-5 标准限值汇总表

序号	生产过程	生产设备	时段	颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物 (以总)	汞及其化	氨
----	------	------	----	-----	------	------	-------------	------	---

						(以 NO ₂ 计)	F计)	合物				
1	矿山开采	破碎机及其他 通风生产设备	I阶段	10	—	—	—	—	—			
			II阶段									
2	水泥制造	水泥窑及窑尾 余热利用系统	I阶段	10	50	100	3	0.05	8 ¹			
			II阶段							10	35	50
		烘干机、烘干 磨、煤磨及冷 却机	I阶段	10	35 ²	50 ²				—	—	8 ¹
			II阶段									
		破碎机、磨机、 包装机及其他 通风生产设备	I阶段	10	—	—				—	—	—
			II阶段									
3	散装水泥 中转站及 水泥制品 生产	水泥仓及其他 通风生产设备	I阶段	10	—	—	—	—	—			
			II阶段									
注1: 适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂, 去除烟气中的氮氧化物。												
注2: 适用于独立热源的烘干设备。												

7.6 无组织管控要求确定

7.5.1 管控要求

在《排污许可证申请与核发 水泥工业》《工业炉窑大气污染综合治理方案》《重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南（2020 年修订版）》《浙江省水泥行业超低排放改造实施方案》《浙江省预拌干混砂浆行业清洁生产实施方案的通知》的基础上, 确定相关无组织管控要求。具体如下表 7.6-1 所示。

表7.6-1 无组织排放管控要求

序号	主要管控单元		控制要求 ¹
1	矿山开采		(1) 矿山机械钻孔机应配置除尘器或其他有效除尘设施; (2) 矿山爆破采用微差爆破等扬尘较低的爆破技术; 爆堆应喷水; (3) 运矿道路应进行硬化并定期洒水, 道路两旁进行绿化; (4) 运输皮带封闭, 矿石厂外汽运车辆应采用封闭或全覆盖等抑尘措施; (5) 石灰石转载、下料口等产尘点应设置集气罩或喷淋等抑尘措施, 集气罩应同步配套高效袋式除尘器。
2	熟料生产	原辅料堆存	(1) 粉状物料全部密闭储存, 其它物料全部封闭储存。
		原辅料转运	(2) 运输皮带应封闭, 斗提、斜槽等应密闭, 各转载、下料口等产尘点应设置集气罩, 并配套高效袋式除尘器。
		原煤储存	(3) 原煤应封闭储存。

		煤粉制备及转运	(4) 煤粉采用密闭储存; (5) 运输皮带应封闭, 较刀、斜槽等应密闭, 各转载、破碎、下料口等产尘点应设置集气罩并配套高效袋式除尘器。
		熟料储存	(6) 熟料全部封闭储存。
		熟料输送及转运	(7) 运输皮带、斗提等应封闭, 各转载、下料口等产尘点应设置集气罩并配套高效袋式除尘器, 库顶等泄压口配套高效袋式除尘器; (8) 熟料散装车辆应采用封闭或覆盖等抑尘措施。
		脱硫	(9) 石灰石、石灰等粉状物料应密闭储存; (10) 石灰石、石灰等粉状物料下料应采用密闭管道输送; (11) 石灰石库、石灰粉仓等泄压口应配套高效袋式除尘器。
		脱硝	(12) 氨水用密闭罐车运输, 配氨气回收或吸收回用装置; (13) 氨罐区设置氨气泄漏检测设施。
3	水泥粉磨	物料堆存及运输	(1) 粉状物料全部密闭储存, 其它物料全部封闭储存; (2) 运输皮带应封闭, 斗提、斜槽等应密闭; 各物料破碎、转载、下料口等产尘点应设置集气罩, 并配套高效袋式除尘器; 库顶等泄压口应配套高效袋式除尘器。
			(3) 粉煤灰采用密闭运输。
		水泥散装	(4) 水泥散装采用密闭方式散装; 散装应采用带抽风口的散装卸料装置, 物料装车(船等)与除尘设施同步运行。
		包装运输	(5) 包装车间应封闭; (6) 袋装水泥装车点位采用集中通风除尘系统。
4	水泥制品		(1) 粉状、砂状物料应密闭存储, 块状等砂石物料应封闭储存; (2) 厂区内粉状物料输送应采用密闭方式, 其他物料运输应采用封闭方式输送; (3) 物料混合过程(混合机主机区域)应封闭; (4) 配料计量仓斗、输送皮带系统(含码头到料库的物料输送)应封闭; (5) 预拌干混砂浆袋装成品库房应全封闭。
5	发运		(1) 物料采用封闭式皮带, 密闭式斗提、斜槽运输; 各转载、下料口等产尘点应设置集气罩, 并配套高效袋式除尘器; 库顶等泄压口应配套高效袋式除尘器; (2) 水泥及熟料等物料采用密闭库储存; (3) 装卸船机配套高效袋式除尘器; (4) 散装干混砂浆应采用散装干混砂浆运输车运输, 预拌砂浆进出运输车时, 应配备和使用收尘设施, 紧密封装置。
6	其它		(1) 厂区、码头运输道路应全硬化, 定期洒水、及时清扫; (2) 各除尘器、管道等应完好运行, 无粉尘外逸; (3) 厂区设置车轮和车身清洗、清扫装置。
注1: 控制措施界定见附录A。			

相关无组织排放管控措施具体界定见表 7.6-2。

表7.6-2 无组织排放管控措施的界定

序号	作业类型	措施界定	示例
1	密闭储存	将物料储存于与环境空气隔离的建(构)筑物、设施、器具内的作业方式。	料仓、储罐等

2	密闭输送	物料输送过程与环境空气隔离的作业方式。	管道、带式输送机、气力输送设备、罐车等
3	封闭储存	将物料储存于具有完整围墙（围挡）及屋顶结构的建筑物内的作业方式	储库、仓库等
4	封闭输送	在完整的围护结构内进行物料输送作业	皮带通廊、封闭车厢等
5	封闭车间	具有完整围墙（围挡）及屋顶结构的建筑物	—
注：封闭区域或封闭式建筑物除人员、车辆、设备、物料进出时，以及依法设立的排气筒、通风口外，门窗及其他开口（孔）部位应随时保持关闭状态。			

对比《排污许可证申请与核发 水泥工业》《浙江省水泥行业超低排放改造实施方案》，本标准无组织管控要求删除了协同处置的相关要求，具体协同处置过程中的无组织管控要求，按照水泥窑协同处置标准规定。同时，也增补了水泥制品无组织管控要求。相关水泥制品无组织管控要求按照《浙江省预拌干混砂浆行业清洁生产实施方案的通知》中强制性要求确定。

另外，对于规范性附录中无组织管控措施的界定，参考了《工业炉窑大气污染综合治理方案》《浙江省水泥行业超低排放改造实施方案》等确定，结合水泥行业实际情况进行了明确。

7.5.2 厂区颗粒物限值

参考《铸造工业大气污染物排放标准》（GB 39726-2020）5.5 企业厂区内无组织排放监控要求“地方可根据当地环境保护需要，对厂区内颗粒物和 VOCs 无组织排放状况进行监控，具体实施方式由地方生态环境主管部门报省级人民政府批准确定。厂区内无组织排放监控要求参加附录 A。”

附录 A 如下：

（1）厂区内无组织排放限值

企业厂区内颗粒物、VOCs 无组织排放监控点浓度应符合下表的规定

污染物项目	监控点限值 mg/m ³	限值含义	无组织排放监控位置
颗粒物	5	监控点处 1 小时平均浓度值	在厂房外设置监控点
NMHC	10	监控点处 1 小时平均浓度值	
	30	监控点处任意一次浓度值	

（2）厂区内无组织排放监测

①对厂区内无组织排放进行监控时，在厂房门窗或通风口、其他开口（孔）等排放口外 1 m，距离地面 1.5 m 及以上位置处进行监测。若厂房不完整（如有

顶无围墙),则在操作工位下风向 1 m,距离地面 1.5 m 及以上位置处进行监测。

②厂区内颗粒物任意 1h 平均浓度的监测采用 GB 15432 规定的方法,以连续 1h 采样获取平均值,或在 1 h 内以等时间间隔采集 3~4 个样品计平均值。

③厂区内 NMHC 任何 1 小时平均浓度的监测采用 HJ 604 规定的方法,以连续 1 小时采样获取平均值,或在 1 小时内以等时间间隔采集 3~4 个样品计平均值。厂区内 NMHC 任意一次浓度值的监测,按便携式监测技术规范等相关规定执行。

考虑到水泥企业主要是颗粒物的无组织排放,为此本标准仅规定颗粒物厂区限值。限值直接引用 GB 39726-2020 中的限值,限值为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

7.7 企业边界污染物浓度限值

考虑到国家对企业边界(厂界)无组织管控要求进行了调整,确定了防范环境风险为前提,重点监管有毒有害大气污染物。为此,确定了本标准企业边界管控的污染物为氨。颗粒物作为常规污染物,不再企业边界进行管控。具体厂界管控限值确定如下。

氨作为恶臭物质,进行企业边界无组织管控,参考 GB 4915-2013 中表 3 大气污染物无组织排放限值中要求,确定限值浓度为 $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。并于 GB 4915-2013 中适用范围保持一致,即适用于使用氨水、尿素等含氨物质作为还原剂,去除烟气中氮氧化物。

八、与相关标准比较分析

8.1 与国家现行标准比较

与国家 GB 4915-2013 主要污染物比较结果如下。

表8.1-1 本标准主要污染物与国家标准比较情况

标准		标准限值（单位：mg/m ³ ）					
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物	汞及其化合物	氨
国家标准	重点地区	20	100	320	3	0.05	8
本标准	I 阶段	10	50	100	3	0.05	8
	II 阶段	10	35	50	3	0.05	5
比较结果		更严	更严	更严	相同	相同	相同/更严

由上表可知，本标准严于国家标准要求。

8.2 与其他省市相关标准比较

考虑到水泥重点生产省份都在积极推进水泥行业超低排放。为此，本标准重点与重点行业、长三角地区水泥相关标准进行比较，相关结果如下。

表8.2-1 本标准主要污染物与安徽标准比较情况

标准		标准限值（单位：mg/m ³ ）					
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物	汞及其化合物	氨
安徽地标		10	50	100	3	0.05	8
本标准	I 阶段	10	50	100	3	0.05	8
	II 阶段	10	35	50	3	0.05	5
比较结果	I 阶段	相同	相同	相同	相同	相同	相同
	II 阶段	相同	更严	更严	相同	相同	更严

表8.2-2 本标准主要污染物与江苏标准比较情况

标准		标准限值（单位：mg/m ³ ）					
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物	汞及其化合物	氨
安徽地标		10	35	50	3	0.05	8
本标准	I 阶段	10	50	100	3	0.05	8
	II 阶段	10	35	50	3	0.05	5
比较结果	I 阶段	相同	宽松	宽松	相同	相同	相同
	II 阶段	相同	相同	相同	相同	相同	更严

表8.2-3 本标准主要污染物与河北标准比较情况

标准		标准限值 (单位: mg/m ³)					
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物	汞及其化合物	氨
河北标准		10	30	100	3	0.05	8
本标准	I 阶段	10	50	100	3	0.05	8
	II 阶段	10	35	50	3	0.05	5
比较结果	I 阶段	相同	宽松	相同	相同	相同	相同
	II 阶段	相同	宽松	更严	相同	相同	更严

表8.2-4 本标准主要污染物与河南标准比较情况

标准		标准限值 (单位: mg/m ³)					
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物	汞及其化合物	氨
河南标准		10	35	100	3	0.05	8
本标准	I 阶段	10	50	100	3	0.05	8
	II 阶段	10	35	50	3	0.05	5
比较结果	I 阶段	相同	宽松	相同	相同	相同	相同
	II 阶段	相同	相同	更严	相同	相同	更严

表8.2-5 本标准主要污染物与山东标准比较情况

标准		标准限值 (单位: mg/m ³)					
		颗粒物	二氧化硫	氮氧化物	氟化物	汞及其化合物	氨
山东 DB37/2373	新建	10	50	100	3	0.05	8
本标准	I 阶段	10	50	100	3	0.05	8
	II 阶段	10	35	50	3	0.05	5
比较结果	I 阶段 VS 辖区内	相同	相同	相同	相同	相同	相同
	II 阶段 VS 辖区内	相同	更严	更严	相同	相同	更严

由上述比较可知,本标准严于安徽和山东地方标准,与河南基本持平,略宽于河北地方标准。II 阶段的超低排放与燃煤火电、钢铁超低排放改造相一致,与江苏一致。总体而言,我省地方充分结合了我省实际,在现有技术成熟稳定的基础上分阶段推进,最终实现并达到“超低排放”的要求。

九、 达标技术经济可行性分析

9.1 技术可行性分析

从目前水泥行业脱硝技术来看,我省 I 阶段限值从技术角度来讲已基本工业化且快速优化发展,投资成本趋于稳定,不存在技术难题和壁垒问题。II 阶段限值方面,主流工艺包括了 SCR 脱硝、智能 SNCR 脱硝、LCR 脱硝,高效低氮改造等。相对来说,SCR 技术,脱硝效率高,脱除率可到 90%以上,也是目前燃煤电厂、钢铁超低排放改造的主流技术,采用该技术可稳定达到标准限值。对于“低氮燃烧+分解炉分级燃烧+SNCR”智能脱硝工艺,从技术层面通过增加氨使用量,提高氮氧化物脱除率等措施可达到 II 阶段限值,但其脱硝效率最高为 70%,一般在 60~70%之间,且受窑皮的掉落、来料波动、窑内烧成气氛等工艺状况影响较大,脱硝稳定性较差,较难稳定达到 II 阶段限值,且会存在氨逃逸超标的风险。LCR 脱硝系统,要增设脱硝塔,系统复杂,阻力损失大。新型高效低氮改造重点强化分解炉中氮氧化物产生浓度的控制,在源头实施氮氧化物控制和削减,进而减少末端治理设施的提升与改造。

总体来讲,目前最成熟的脱硝技术仍是 SCR 技术,且能稳定达到 II 阶段限值要求。相关清华大学 SCR 选择性催化还原脱硝技术已有研究成果,金隅冀东水泥、中建材等行业集团也在进行深入技改试验。我省湖州市水泥企业 SCR 工业化也取得了成功,通过标准实施过渡期,预计未来 SCR 在水泥上技术更成熟和稳定,II 阶段限值具备可达性。另外,最有发展潜力的技术应该是新型高效低氮改造技术,即在源头控制了氮氧化物的产物,无需对现有末端治理设施进行改造升级,也无需额外增加运行费用以及增加 SCR 而造成废催化剂所带来的问题。

表9.1-1 水泥脱硝主流技术指标比选情况

技术指标	SCR 脱硝	智能 SNCR 脱硝	LCR 脱硝	高效低氮改造
净烟气中 NO _x 浓度/mg/m ³	可达≤50 相对适宜≤100	可达≤80 相对适宜≤100	可达≤50 相对适宜≤100	可达≤50 相对适宜≤100
系统压降	需配套高温预除尘,综合压损 2500 Pa	50-100 Pa	100-200 Pa	略有增加 50-100 Pa
改造难度	大	小	中	大
氨逃逸率	以<5 mg/m ³ 为	<传统 SNCR 脱	<传统 SNCR 脱	<传统 SNCR 脱

	宜	硝	硝	硝
促进 SO ₂ /SO ₃ 转化	有	无	无	无
副产物	废弃催化剂	无	废水排放	无
系统风险	对主体工程影响不大，但催化堵塞、中毒等问题存在较高隐患，易导致生产线停运	无	较小	对主生产系统的改造量比较大，需要可靠的技术方实施改造
系统可靠性	低	高	中	高
综合性能	差	优	中	中

表9.1-2 污染防治可行技术汇总一览表

生产工序	污染因子	排放限值 (mg/m ³)	预防技术	现有治理技术
水泥窑烟气	颗粒物	10		①袋式除尘器②电除尘器 ③电-袋复合除尘④滤筒除尘器
	二氧化硫	50/35	①立式磨技术 ②控制原料含硫量	
	氮氧化物	100/50	①低氮燃烧器②分级燃烧 ③精细投料④控制烧成温度⑤减少漏风⑥高效低氮	①全系统综合脱硝②SNCR+SCR 组合脱硝③热碳催化还原复合脱硝技术 ④脱氮炉

9.2 经济可行性分析

本《标准》主要规定了“有组织排放控制”“无组织排放控制”方面要求：其中，“有组织排放控制”方面，只涉及经熟料生产企业。经查阅在线监测和监督性监测数据，我省绝大多数水泥企业的颗粒物、二氧化物指标已达到超低排放要求，改造成本主要在氮氧化物指标方面。“无组织排放控制”相关要求主要来自《排污单位自行监测技术指南 水泥工业》（HJ 848—2017）、《浙江省预拌干混砂浆行业清洁生产实施方案的通知》（浙商务联发〔2019〕127号）、《关于印发浙江省预拌混凝土行业清洁生产实施方案的通知》，在有相关工作的基础上，改造成本相对较小。

综上，改造成本主要集中在氮氧化物的改造上，省外相关改造情况参考如下：

（1）SNCR+SCR 组合脱硝

以河南省某水泥厂 4500t/d 水泥为例，水泥窑烟气采用“SNCR+布袋除尘器

+高温静电除尘+SCR 脱硝”处理工艺,工程一次性总投资在 2000-3000 万元之间,运行费用约新增 20-50 万元/年。运行期间氨使用量减少,吨熟料成本约减少 1.61 元,SCR 系统运行成本约 2.95 元/吨熟料,在当地存在环保税减免政策的条件下,改造完成后,该企业吨熟料水泥成本约为 0.51 元。在不考虑环保税减免政策的情况下,改造工程完成后吨熟料水泥成本增加 1.34 元。氨逃逸指标约为 $1\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右。改造后,可达到氮氧化物小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 智能 SNCR 脱硝

以河北省某水泥厂 4500t/d 水泥窑为例,通过采用“源头控制+末端治理”的全系统综合脱硝技术,实现水泥窑烟气氮氧化物超低排放。具体改造如下:①源头控制:实现入料精细管理,煅烧过程中严格通过控制烧成温度,同时通过采用低氧、低氮、控高温的低氮燃烧器减少氮氧化物的生成;②末端治理:采用“分级燃烧+SNCR”组合脱硝工艺,通过扩大分级燃烧还原区、减少漏风、辅以调整喷氨量。该改造工程一次性投资约 500 万元。改造后,可达到氮氧化物小于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。

改造前吨熟料氨水消耗 2.69 千克,改造后吨熟料消耗氨水 4.26 千克,以现阶段氨水含税价格核算,吨熟料成本上升 1.28 元。改造后,吨熟料氨水消耗量增加,氨逃逸指标约为 $1\sim 3\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右。

(3) 高效低氮改造

以河南省某水泥厂 3200t/d 水泥为例,水泥窑烟气采用热碳催化还原复合脱硝技术,以两级还原降低烟气中氮氧化物排放浓度。工程一次性总投资在 2000 万元左右。运行期间增加了催化剂和氨的使用量,吨熟料成本约为 6 元。根据实际运行数据,改造完成后氨逃逸浓度可控制在 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。改造后,可达到氮氧化物小于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。改造完成投入使用后, NO_x 排放浓度控制在 $50\sim 70\text{mg}/\text{m}^3$ 。经调试和优化, NO_x 排放浓度可稳定在 $50\text{mg}/\text{m}^3$ (小时均值控制在 $35\text{mg}/\text{m}^3$),且氨逃逸浓度在 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 左右。

日期	熟料产量 t/d	实物煤耗 kg/t	氮氧化物 mg/m^3	氨逃逸 mg/m^3
18-10	4401.6	129.02	45.56	未安装
18-11	4263.8	127.85	38.57	未安装
19-01	4250.1	129.01	25.05	未安装
19-02	4278.3	128.71	25.93	未安装
19-04	4319.2	127.69	30.02	1.35

19-05	4455.2	127.41	30.45	1.83
19-07	4277.2	127.07	35.34	3.30

浙江某水泥厂 2500t/d 熟料高效低氮改造，采用脱氮管进行脱氮，投加煤粉在脱氮管中实现还原气氛，一次性投资成本 2500 万元，运行费用较现有费用降低 0.4 元/吨。

该脱硝系统超低排放技术改造方案，与 SCR 方案相比，投资费用低，运行成本低，维修费用低。该项改造方案实施之后，有效地节约了脱硝系统的氨水用量，降低了生产过程中的能源消耗，降低了生产成本。

表9.2-1 典型技术经济指标比较

经济指标	SCR 脱硝	智能 SNCR 脱硝	LCR 脱硝	高效低氮改造
建设成本 (5000t/d 级)	3500-6000 万元	450-700 万元	3000 万元	2500 万元
运行成本 (元/吨熟料)	6~8	1~2	3~4	0 (-0.4)

(4) 全省水泥熟料投资改造初步测算

I 阶段限值：主流的 2500、5000t/d 水泥窑预计改造成本分别为 250~400、400~450 万元，全省近期实施改造投资约为 1.7 亿元。

II 阶段限值：主流的 2500、5000t/d 水泥窑预计改造成本分别 2500~3000、3000~3500 万元，全省此次超低排放改造合计投资约为 13.5 亿元。随着高效低碳改造技术成熟、新技术突破、改造范围扩大等，改造成本、运行成本会进一步降低。

9.3 社会和环境效益

本标准实施后，据初步测算，全省水泥工业可减排颗粒物 1.8 万吨/年、氮氧化物 3.3 万吨/年，同时有助于促进水泥行业技术进步和清洁生产。为此，浙江省水泥工业的大气污染物排放量将大大降低，环境效益显著，也将进一步推动我省水泥行业转型升级和绿色发展。

十、 标准征求意见汇总及反馈