

《水泥窑烟气复合脱硫剂》 团体标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

《水泥窑烟气复合脱硫剂》团体标准项目是由中国水泥协会于2026年2月12日下达的《关于下达2026年第一批中国水泥协会团体标准制定计划的通知》（中水协发〔2026〕13号）标准制定计划，计划编号为2026-CCAS-001。本标准项目由中国水泥协会提出并归口。由广东万引科技股份有限公司、华南理工大学、华润水泥技术研发(广西)有限公司等单位起草。

目前，当前我国新型干法水泥烧成技术在推动行业高效生产的同时，会产生粉尘、SO₂和NO_x等污染物，其危害性不仅体现在其自身的刺激性，还会通过在大气中的扩散、转化，对人体健康、生态环境、建筑与工业设施造成多维度连锁损害。因此，本标准制定的初衷是保证脱硫剂产品质量，提高生产和使用经济效益，同时有利于规范产品的市场秩序，对提升我国水泥工业烟气脱硫产品技术水平。

近年来我国不断加大节能减排力度，在各项政策推进和各方努力下，我国二氧化硫排放量总体上呈现下降趋势。这表明我国在大气污染防治方面采取了有效措施，并取得了显著成效。但我国水泥总产量大，水泥行业已成为仅次于煤电、钢铁行业的第三大排放源，水泥行业的SO₂排放总量仍处于较高水平，水泥行业SO₂减排势在必行、非常迫切。当前水泥行业普遍采用干法钠基/钙基脱硫剂喷注、热生料喷注及湿法脱硫等技术开展烟气SO₂脱除处理，但受水泥窑使用劣质原燃材料、矿产资源品位下滑等因素影响，SO₂排放浓度波动明显，难以稳定控制在100mg/Nm³以内，更无法达到SO₂≤35mg/Nm³的超低排放要求（生态环境部联合有关部门于2024年1月19日印发了《关于推进实施水泥行业超低排放的意见》，明确要求水泥窑及窑尾余热利用系统在基准含氧量10%的条件下，废气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度小时均值分别不高于10mg/m³、35mg/m³、50mg/m³）。且水泥工业烟气脱硫领域仍存在技术照搬套用的问题，不少水泥厂直接沿用电力行业的脱硫技术方案，加之脱硫技术适配性不足、配套设施运行稳定性欠佳、脱硫剂选用与水泥窑工况不匹配等多重因素，导致烟气中SO₂排放始终难以稳定达到国家标准要求。

制定本标准宗旨在制定一套涵盖水泥窑烟气复合脱硫技术用脱硫剂性能质

保、化学组成检验规则、标志、包装与存贮等方面的标准，以保证脱硫剂产品质量，提高生产和使用经济效益，同时有利于规范产品的市场秩序，对提升我国水泥工业烟气脱硫产品技术水平，促进我国环保产业的健康快速发展具有重要意义。

（二）主要工作过程

1. 前期工作

2026年2月7日，项目下达后，按照项目任务书的要求，广东万引科技股份有限公司牵头统筹筹划，第一时间成立标准起草工作小组，明确各成员职责分工，制定标准化总体工作计划，精准划定各工作阶段时间节点与核心目标，严格依据协会标准制修订相关要求推进《水泥窑烟气复合脱硫剂》标准编制工作。工作小组多次组织召开专题研讨会议，围绕标准结构框架、技术指标设定、关键参数选取、检测方法确定等核心内容展开深入研讨，形成标准工作组讨论稿；同时，系统梳理并查阅水泥行业脱硫相关现行标准规范，广泛调研复合脱硫剂在国内水泥生产线的工程应用实际案例，全面收集脱硫剂生产、使用、检测等全环节运行数据与实践经验，为标准编制筑牢技术基础。

2. 启动标准项目，成立标准起草工作组

2026年2月，中国水泥协会组织召开《水泥窑烟气复合脱硫剂》协会标准项目起草工作组成立暨标准草案研讨会，协会及行业内设计单位、制造单位、质量检验单位、使用单位等领域专家受邀参会。会议正式宣布本标准编制工作启动，成立以广东万引科技股份有限公司为牵头单位的标准起草工作组，明确标准制定的工作程序、各单位任务分工及各阶段时间推进节点。与会专家秉持科学严谨的专业态度，对标准草案进行细致研讨，针对脱硫剂技术要求、性能指标、检验规则等内容提出具体修改意见与增补建议。会后，起草工作组成员对专家建议逐条梳理、研讨论证，采纳其中科学合理的内容，对标准草案进行修改完善，形成《水泥窑烟气复合脱硫剂》标准征求意见稿。

3. 征求意见阶段

2026年x月，标准起草小组正式发函，向水泥行业内设计院所、检测机构、脱硫剂制造单位、水泥生产使用单位等相关主体定向征求意见；同时，中国水泥协会通过协会官方网站、行业期刊等平台公开发布标准征求意见稿，面向社会各界广泛征集反馈建议。标准起草组对收集到的所有意见建议进行全面梳理、科学分析和专业论证，严格筛选甄别各单位反馈内容，积极采纳其中科学合理、符合行业实际的意见建议，系统汇总形成标准征求意见汇总处理表。

4. 标准送审稿

2026 年 xx 月，标准起草工作组根据征求意见情况，对标准征求意见稿进行了修改和完善，形成标准送审稿（初稿），提请审查。

标准起草单位、主要起草人及其所做的工作

起草单位：广东万引科技股份有限公司、华南理工大学、华润水泥技术研发(广西)有限公司、中国葛洲坝集团水泥有限公司

本标准主要起草人：本文件主要起草人：张同生、陈新智、陶从喜、余云祥、彭卉

（三）标准起草单位、主要起草人及其所做的工作

起草单位：广东万引科技股份有限公司、华南理工大学、华润水泥技术研发(广西)有限公司、中国葛洲坝集团水泥有限公司

本标准主要起草人：本文件主要起草人：张同生、陈新智、陶从喜、余云祥、彭卉、刘宁

根据任务分工，张同生（华南理工大学）负责标准技术路线的整体规划，承担关键性能指标的理论推导及学术把关；陈新智（广东万引科技股份有限公司）负责标准编制工作的统筹协调与进度管理，组织前期技术资料与工程案例的收集整理，并主导标准征求意见稿的修订完善；陶从喜（华润水泥技术研发（广西）有限公司）负责工艺适配条件、投加设备配置及现场应用规范等条款的起草，提供典型生产线的运行数据作为技术支撑；余云祥（中国葛洲坝集团水泥有限公司）负责系统运维要求、调试程序及异常工况应对措施等内容的编写，同时承担各阶段反馈意见的汇总分析与送审稿的技术复核；彭卉（华南理工大学）负责标准文本的体例格式统一、条文表述的校对与统稿，以及报批材料的整理与归档。

二、国家标准编制原则和确定国家标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据（包括试验、统计数据）

（一）标准编制原则

本标准编制过程中遵循以下原则：

1) 本标准是根据 GB/T 1.1-2000《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写规则》和 GB/T 20001.10《标准编写规则第 10 部分：产品标准》规定以及结合国外先进的产品技术理念和国内产品技术的基本要求，进行编制的。

2) 本标准紧扣国家生态环保与水泥行业超低排放发展要求，以《中共中央国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》《“十四五”节能减排综合工作方案》

《关于推进实施水泥行业超低排放的意见》为指导,推动水泥工业绿色低碳转型。

3) 本标准的编制重点为水泥窑烟气复合脱硫剂的产品特性与应用场景,针对水泥窑低 O_2 、高 CO_2 、高粉尘浓度、高流速的独特烟气工况,解决当前单一钙基脱硫剂效率低、产物易分解,以及市场上脱硫剂产品质量参差不齐、无统一技术规范的行业痛点,明确复合脱硫剂全生命周期的技术要求。

4) 本标准兼顾技术先进性与工程实用性,核心技术指标依托广东万引科技股份有限公司等单位十年工业应用实践及全国28个省400余条水泥生产线运行数据制定,既契合当前行业主流技术水平,又能引导脱硫剂产品技术升级;同时注重与现有国家、行业标准的协调性,符合企业发展要求,也符合国家发展战略。

(二) 确定标准主要内容的论据

本标准的主要内容有:范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求、检验方法、检验规则、标志、包装、运输与贮存。

1. “适用范围”说明

本标准规定了水泥窑烟气复合脱硫剂的产品要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等内容,适用于水泥工业烟气复合脱硫系统用脱硫剂,其他水泥窑型烟气脱硫用复合脱硫剂可参照执行。

2. “规范性引用文件”说明

本标准编制过程中,引用了多项现行有效的国家及行业标准,主要包括:《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915-2013)及第1号修改单、GB 29518-2013 柴油发动机氮氧化物还原剂 尿素水溶液(AUS 32)、GB/T 1345-2005 水泥细度检验方法筛析法、GB/T 2007.1-1987 散装矿产品取样、制样通则 手工取样方法、GB/T 3286.1-2012 石灰石及白云石化学分析方法 第1部分 氧化钙和氧化镁含量的测定 络合滴定法和火焰原子吸收光谱法、B/T 14640-2017 工业循环冷却水和锅炉用水中钾、钠含量的测定、GB 31573-2015 无机化学工业污染物排放标准、GB/T 7469 水质汞的测定高锰酸钾-过硫酸钾消解法 双硫腺分光光度法、GB/T 7470 水质 铅的测定 双硫腺分光光度法、GB/T 7471 水质 镉的测定 双硫腺分光光度法、GB/T 7485 水质 总砷的测定 二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法、HG/T 4120-2009 工业氢氧化钙、HJ 1147-2020 水质 PH 值的测定 电极法、YB-T 5328-2009 五氧化二钒 含量的测定 高锰酸钾氧化-硫酸亚铁铵滴定法等,分别涉及水泥工业污染物排放控制、化工产品水分测定、粉体材料细度检验以及水溶液理化指标检测等领域。上述标准均为各相关领域已成熟应用的技术规范,但在

具体指标设定与检测方法上,尚未针对水泥窑烟气复合脱硫剂的特性进行专门规定。因此,本标准在引用上述标准的基础上,结合复合脱硫剂的产品特点与使用工况,明确了各项性能指标的检验规则与判定依据。在引用顺序上,优先采用国家标准,其次为行业标准,确保标准的权威性与适用性。

3. “术语和定义”说明

本标准对水泥窑烟气复合脱硫剂、脱硫粉剂、脱硫水剂、脱硫效率等核心术语进行明确定义,其他未定义术语可参照《烟气脱硫工艺设计标准》(GB 51284-2018)、《水泥工业术语》(GB/T 41314-2022)等相关标准。

3.1 脱硫粉剂

以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 为主要成分制成的用于水泥窑烟气自脱硫与固硫的粉状固体脱硫剂,投加位置为生料入窑提升机,与生料同时喂入水泥窑预热器。

3.2 脱硫水剂

以钠盐溶液为主要成分制成的配套水泥窑烟气复合脱硫技术使用的液态脱硫剂,喷加位置为 C_2 与 C_1 旋风筒之间的上升风管,通过双流体喷枪,均匀、雾化喷入与烟气混合。

3.3 脱硫效率

脱硫前后烟气 SO_2 浓度差值与脱硫前烟气中初始 SO_2 浓度的百分比。

4. 检验规则与“技术要求”说明

4.1 脱硫粉剂技术要求

脱硫粉剂的技术要求应从物理性能与化学组成两个维度进行严格规定,以确保其在水泥窑烟气脱硫系统中的高效性与稳定性。

4.1.1 45 μm 筛余

参照 GB/T 1345-2005 规定方法进行测定,计算结果表示为筛余百分数,数值以%计。细度要求 45 μm 筛余方孔筛筛余小于 10%。水泥窑烟气高流速工况对粉剂分散性要求较高,该细度指标可控制粉剂的颗粒粒径分布,保证脱硫粉剂在烟气中快速均匀分散,与 SO_2 充分接触反应;若筛余过大,粉剂易团聚沉降,不仅降低脱硫效率,还易造成计量输送设备堵塞。通过采用不同筛余(5%、10%、15%)进行对比试验,结果表明:当筛余超过 10%时,脱硫效率下降 10~20 个百分点。

4.1.2 比表面积

参照 GB/T8074-2008 规定方法进行测定,计算数值以 m^2/g 计。比表面积要

求不小于 $15 \text{ m}^2/\text{g}$ 。 SO_2 气体需与脱硫粉剂接触反应，该指标可控制脱硫反应的接触机会，保证脱硫粉剂与 SO_2 充分接触反应；若比表面积过小，与 SO_2 接触反应的机会少，将明显降低脱硫效率。通过采用不同比表面积（ $10 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $15 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $20 \text{ m}^2/\text{g}$ ）进行对比试验，结果表明：当比表面积低于 $15 \text{ m}^2/\text{g}$ 时，脱硫效率下降 20~30 个百分点。

4.1.3 含水量

参照 GB/T 36055-2018 规定方法进行测定，计算数值以%计。要求不超过 1.5%。脱硫粉剂易吸潮结团，含水率过高会导致粉剂在料仓、输送设备中板结，影响给料精度和系统连续运行；经工业验证，含水率控制在 1.5%以内时，粉剂输送顺畅，给料误差可控制在 5%以内，含水率超过 1.5%时，给料装置故障率提升 30%以上。

4.1.4 化学组成

按 JC/T 478.2-2013、GB/T 36055-2018、HG/T 4120-2009 YB、T5328-2009 等标准方法依次测定酸不溶物、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量、 V_2O_5 含量。脱硫粉剂中要求酸不溶物 $\leq 1.0\%$ ，主要是因为 SiO_2 等惰性成分不参与脱硫反应，而且会对脱硫设备造成磨损，为了保证脱硫效率和设备可靠性对酸不溶物进行要求。氢氧化钙（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）作为主要活性组分，含量应 $\geq 80\%$ ，为脱硫反应提供充足的碱性吸收介质，确保与二氧化硫的酸碱中和反应得以高效进行。脱硫粉剂中要求不得含有 V_2O_5 等氧化剂，主要是因为 V_2O_5 作为剧毒重金属，可能在水泥产品中产生重金属污染问题，存在较大的环境风险，另外其可能氧化 SO_2 生成 SO_3 ，造成 SO_3 排放浓度升高，并生成硫酸氢铵影响 SCR 脱硝系统正常运行。

4.2 脱硫水剂技术要求

脱硫水剂作为复合脱硫体系的重要组成部分，其技术指标的设定直接关系到脱硫系统的整体效率与运行可靠性。要求从 pH 值、固含量、尿素（ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ）及钠离子（ Na^+ ）含量、重金属含量等各方面对脱硫水剂进行详细规范。

4.2.1 pH 值

参照 HJ 1147-2020 规定方法进行测定，pH 值控制在 8~10 的弱碱性区间，既能为 SO_2 的吸收反应提供充足碱性位点，与粉剂形成协同作用，保证对烟气中 SO_2 的高效捕获，又可避免强碱性水溶液对脱硫水剂输送管道、喷注喷枪等碳钢设备造成腐蚀，从而适配水泥窑脱硫系统常规设备材质，兼顾反应效率与设备使用寿命。针对不同 pH 值（7、8、9、10、11）的水剂进行吸收效率与腐蚀速率

对比试验，结果表明：当 pH 值控制在 8~10 时，脱硫效率可达 95%以上，碳钢腐蚀速率 $\leq 0.1\text{mm/a}$ ；而当 pH 值升至 11 时，腐蚀速率显著上升至 0.5mm/a 以上。

4.2.2 固含量

固含量指标直接影响脱硫水剂的吸收能力与输送雾化性能，要求控制在 5%~10%。通过对 3%、5%、8%、10%、12%的水剂进行输送与雾化测试，结果表明：固含量在 5%~10%时，雾化粒径 $D_{50}\leq 80\mu\text{m}$ ，喷枪维护周期 ≥ 30 天；低于 5%时，水剂有效组分不足，需将喷注量提高至 2t/h 以上，导致烟气温度下降超过 20°C ，并显著增加系统水耗；高于 10%时，水剂黏度超过 $5\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，喷枪堵塞频次增加，雾化效果变差，气液接触不充分，脱硫效率下降。经工业验证，5%~10%的固含量区间能够有效平衡吸收效率、输送稳定性与水泥窑工况适配性。

4.2.3 尿素含量

按 GB 29518-2013 规定方法进行测定，计算结果表示为尿素质量分数，数值以 g/L 计。尿素在脱硫过程中主要作为还原剂或添加剂，在雾化喷射过程中与烟气接触，协同提升脱硫效率，同时具有良好的水溶性和热稳定性，不易结晶堵塞喷射系统。针对尿素含量分别为 30、60、90 g/L 的水剂进行氨逃逸检测，结果表明：当尿素含量为 60 g/L 时，氨逃逸约为 $4\sim 5\text{mg/m}^3$ ；当含量升至 90 g/L 时，氨逃逸将有可能超过 8mg/m^3 的标准限值。

4.2.4 Na^+ 浓度

Na^+ 作为脱硫反应活化剂，可降低 SO_2 与碱性组分的反应活化能，加快气液两相反应速率，提升水剂对逃逸 SO_2 的二次捕获效率，其含量宜控制在不低于 10 g/L。参照 GB/T 14640-2017 规定方法进行测定，计算结果表示为钠离子质量浓度，数值以 g/L 计。通过对 Na^+ 浓度为 0、5、10、20、30、40、50、60 g/L 的水剂进行吸收速率测试，结果表明：含量在 10~50 g/L 时，吸收速率提升 40%，且熟料中 Na_2O 增量控制在 0.1%以内；当含量超 50 g/L 时，熟料强度出现下降趋势。含量低于 10 g/L 时，活化效果不明显，反应速率提升有限；含量高于 50 g/L 时，易造成钠离子在水泥熟料中过量累积，影响熟料品质。经实测，10~50 g/L 的含量区间可在保证熟料质量的前提下，最大化提升脱硫反应效率。

4.2.4 重金属含量

按 GB/T 7469、GB/T 7470、GB/T 7471、GB/T 7485 规定方法进行测定，计算结果表示为汞、铅、镉、砷在水剂产品中的含量，数值以 mg/L 计，其含量需严格按照无机化学工业污染物排放标准进行控制，主要是为了防止其带入工业废

水甚至危险废弃物，在使用过程中造成重金属污染或者水泥中有害重金属含量超标，同时减轻对设备的腐蚀、抑制有害副产物生成，并确保脱产品的安全资源化利用。

4.3 技术要求与脱硫效率

4.2.1 技术要求

当脱硫粉剂与脱硫水剂组合使用时，脱硫效率不低于 95%。脱硫水剂通过雾化喷射，在 C₁至 C₂旋风筒内与烟气中的二氧化硫快速反应，实现高效捕获；脱硫粉剂随生料一同喂入水泥窑预热器，在高温环境下与残余二氧化硫反应，并通过催化与矿化固化作用，将硫稳定固化于熟料中。两者协同作用，显著提升了脱硫效率，满足水泥窑烟气超低排放（二氧化硫排放浓度不高于 35 毫克每标准立方米）的要求。当脱硫粉剂单独使用时，脱硫效率不低于 80%。该使用方式适用于二氧化硫本底排放浓度较低的水泥生产线，或作为组合使用方式的补充方案。脱硫粉剂中的氢氧化钙提供钙基反应基础，催化组分加速脱硫反应进行，氧化钡、氧化镁等矿化组分促进硫的固化，仍可实现较为理想的脱硫效果。

4.2.2 脱硫效率

生料磨停机状态下，停用全部脱硫剂 1 小时后，测得脱硫前烟气中 SO₂ 的折算浓度为 C₁（连续 5 分钟平均数据），投用脱硫剂 10 分钟开始，测得脱硫前烟气中 SO₂ 的折算浓度为 C₂（连续 5 分钟平均数据），脱硫效率指由脱硫前后烟气 SO₂ 浓度差值与脱硫前烟气中原始 SO₂ 浓度的百分比，按公式（2）计算

$$\text{脱硫效率} = (C_1 - C_2) / C_1 \times 100\% \quad (2)$$

式中：

C₁—脱硫前烟气中 SO₂ 的折算浓度（按照 O₂ 含量 10%计算），mg/Nm³；

C₂—脱硫后烟气中 SO₂ 的折算浓度（按照 O₂ 含量 10%计算），mg/Nm³。

5. 检验规则

产品检验批次以每车散装罐车为一个检验批次，不足一车时亦按一个批次计，产品质量由采购方质检部门负责检验。脱硫粉剂与脱硫水剂在进入水泥厂储罐时应分别取样，取样方法按照 GB/T 2007.1-1987 的规定执行，每批次取样总量不少于 2kg，样品等分为两份，一份用于试验检测，另一份密封留存作为备用样。检验项目按照本标准技术要求章节的相应规定执行。样品经检验，各项指标均符合第 4 章要求时，判定该批产品为合格；若有指标不符合要求，应重新取样进行复检，复检结果仍不符合规定的，则判定该批产品整体不合格。

6. 关键技术指标确定依据

6.1 关键参数

本标准的核心技术指标可归纳为以下关键参数：

(1) 脱硫粉剂的关键指标： $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量($\geq 80\%$)、细度($45\ \mu\text{m}$ 筛余 $\leq 10\%$)、比表面积($\geq 15\text{m}^2/\text{g}$)、含水率($\leq 1.5\%$)、酸不溶物 $\leq 1\%$ 、 V_2O_5 含量($\leq 0.01\%$)。

(2) 脱硫水剂的关键指标：pH 值(8-10)、固含量(5-10%)、尿素含量($\leq 60\text{g/L}$)、 Na^+ 含量(10~50g/L)、不得含有有害重金属成分。

(3) 脱硫效率要求：复合脱硫 $\geq 95\%$ ，粉剂单独脱硫 $\geq 80\%$ 。

6.2 固含量确定依据

为确保脱硫水剂具备良好的吸收能力及雾化输送特性，其固含量需保持在 5%~10% 的范围内，因暂无适用的标准测试方法，固含量按如下方法进行测定。

6.2.1 仪器设备

分析天平（分度值 0.0001g）、鼓风电热恒温干燥箱（温度范围 0-200℃）、以及内盛变色硅胶或无水氯化钙的干燥器。

6.2.2 测试步骤

将洁净的表面皿和 1/4 滤纸放入烘箱内，于 $100\pm 5^\circ\text{C}$ 烘 30min，取出置于干燥器中冷却至室温后称重，重复上述步骤直至恒重，记录质量为 m_0 ；然后将约 2ml 脱硫水剂装入已恒重的表面皿内，在液体表面放上滤纸以吸收水分，称取试样、滤纸及表面皿的总质量为 m_1 ；最后将盛有滤纸试样的表面皿放入烘箱中，升温至 $70\pm 5^\circ\text{C}$ ，烘 1~2 小时，取出冷却至室温，称重得到 m_2 ，并重复此操作直至恒重。

6.2.3 结果表示

固体含量按式 (1) 计算：

$$G=(m_2-m_0)/(m_1-m_0)\times 100\% \quad (1)$$

式中：

G—固体含量，%

m_0 —表面皿和滤纸质量，g

m_1 —表面皿、滤纸加试样的质量，g

m_2 —表面皿加烘干后试样的质量，g

取两次平行测试结果的算术平均值为测定结果，结果保留两位小数，两次平行测试结果的绝对差值不大于 0.5%。

6.3 各关键参数的确定依据

1. 脱硫粉剂 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量 $\geq 80\%$

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 是脱硫反应的主要活性组分，其含量直接决定脱硫剂的 SO_2 吸收能力。参考冶金行业 LJS 烧结烟气干法脱硫对吸收剂的要求， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量 $\geq 60\%$ 、比表面积 $\geq 19\text{m}^2/\text{g}$ 即可应用。本标准对水泥窑复合脱硫提出更高要求，是基于水泥窑烟气温度更高（ $400\text{-}600^\circ\text{C}$ ）、 SO_2 波动更大的工艺特点。此外，根据多条水泥生产线的复合脱硫工程应用数据统计，当粉剂中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量低于 80% 时，为达到相同的脱硫效果，粉剂用量需增加 $20\%\text{-}30\%$ ，导致输送系统负荷增大、仓容不足等问题，难以确保脱硫效果和运行经济性。

2. 脱硫粉剂比表面积 $> 15\text{m}^2/\text{g}$

学术研究的孔结构-活性关系：比表面积是决定脱硫反应速率的关键物理参数。实验表明， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 比表面积与 SO_2 捕获能力呈正相关，比表面积越大，脱硫剂与 SO_2 的气固接触效率越高。当脱硫剂比表面积从 $3.23\text{m}^2/\text{g}$ 提升至 $43.24\text{m}^2/\text{g}$ 时，脱硫效率可从不足 80% 提升至接近 100% 。工业实践表明，比表面积低于 $15\text{m}^2/\text{g}$ 的脱硫剂，在水泥窑高 SO_2 浓度（ $>1000\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）工况下，脱硫效率难以稳定达到 85% 以上，需要过量添加导致成本上升。

3. 脱硫粉剂细度（ $45\mu\text{m}$ 筛余 $< 10\%$ ）

根据颗粒-反应动力学关系，细度直接影响脱硫剂在烟气中的分散性和反应速率。颗粒越细，单位质量的颗粒数越多，与 SO_2 的接触面积越大，反应越充分。学术研究表明，脱硫剂的中位粒径 $D_{50} \leq 45\mu\text{m}$ 时，可满足干法脱硫的工程应用要求。 0.045mm 筛余 $< 10\%$ 相当于 D_{50} 约在 $30\text{-}40\mu\text{m}$ 范围内，符合这一要求。本标准将筛网孔径提高到 0.045mm （更细），是基于复合脱硫技术对粉剂分散性的更高要求，确保粉剂在入窑提升机处与生料均匀混合。

4. 脱硫粉剂 V_2O_5 含量 $\leq 0.01\%$

V_2O_5 （五氧化二钒）是毒性重金属，考虑二次污染控制要求，进入水泥窑系统可能随熟料带入水泥产品，或随烟气排放造成环境风险。本标准参考《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》（GB 30485）对重金属排放限值的要求，严格不允许添加 V_2O_5 等有毒重金属成分。

5. 脱硫水剂 pH 值 8-10、固含量 5-10%

脱硫水剂以钠盐为主要成分，在碱性条件下（ $\text{pH} > 7$ ）与 SO_2 反应生成亚硫酸钠或硫酸钠。 pH 值 8-10 是保证吸收效率的最佳区间： $\text{pH} < 8$ 时，吸收效率下

降；pH>10 时，碱度过高易造成设备腐蚀和氨逃逸风险增加。本标准综合这些数据，将 pH 值范围设定为 8-10，固含量 5-10%（比重约 1.02-1.04），确保水剂具有足够的有效成分。

6. 脱硫水剂尿素含量≤60g/L

基于氨逃逸的控制要求：尿素（ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ）在高温烟气中会分解产生 NH_3 ，过量的 NH_3 会导致氨逃逸超标，并促进硫酸氢铵和 CPM（可凝结颗粒物）生成。逃逸 NH_3 会使 SO_3 平均冷凝比提升至 84%， NH_4^+ 可占无机 CPM 的 44%-96%。本标准设定尿素≤60g/L，是基于对水泥窑烟气温度（400-600℃）下尿素分解率（约 70%-90%）的计算，确保氨逃逸浓度不超过标准限值（如 8mg/m³）。

7. 脱硫水剂 Na⁺含量 10~50g/L

过量的 Na^+ 进入水泥窑会改变熟料矿物组成，影响熟料强度和凝结时间。 Na^+ 含量 10~50g/L 的设定，是基于脱硫水剂用量（≤2t/h）与生料量（约 350t/h）的比例计算，确保熟料中 Na_2O 当量增加不超过 0.1%，不影响熟料品质且不引起水泥窑在生产过程中产生严重结皮。

8. 脱硫效率要求（复合≥95%、粉剂单独≥80%）

采用本标准脱硫剂的工业试验数据表明，当 5000t/d 生产线烟囱 SO_2 本底排放值在 100-1500mg/Nm³ 范围内变化时，粉剂与水剂复合使用（粉剂 0.3%-0.5%、水剂 2m³/h），脱硫效率可达 90%以上；粉剂单独使用（生料喂料量的 3%-4%），可在 8 分钟内将 SO_2 从 1500mg/Nm³ 以上降至 35mg/Nm³ 以下，脱硫效率超过 95%。

根据《水泥工业大气污染物排放标准》（GB 4915-2013），水泥窑 SO_2 特别排放限值 100mg/Nm³，及超低排放政策要求水泥窑 SO_2 排放不得超过 35mg/Nm³ 的要求。以典型工况 SO_2 本底浓度 600mg/Nm³ 计算，脱硫效率需达到 94.1%。本标准设定复合脱硫≥95%，可确保在最不利工况下仍能满足超低排放要求。粉剂单独脱硫≥80%的要求，是基于停磨等特殊工况下的应急需要。研究表明，单独使用粉剂时，增加粉剂用量可将脱硫效率提升至 90%以上，但经济性较差。本标准通过设定两个效率指标，区分常规工况（复合脱硫）和特殊工况（粉剂单独），兼顾了环保达标与经济性。

三、主要试验（或验证）的分析，综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

1. 新型干法水泥窑烟气复合脱硫固硫系统概述

脱硫粉剂由散状物料运输车进厂，利用车载气力泵直接泵送进脱硫粉剂储仓。

储仓内的脱硫粉剂经计量输送系统进入生料均化库库底入窑生料输送斜槽（图 3-1），与生料粉混合后经入窑提升机进入预热器内。

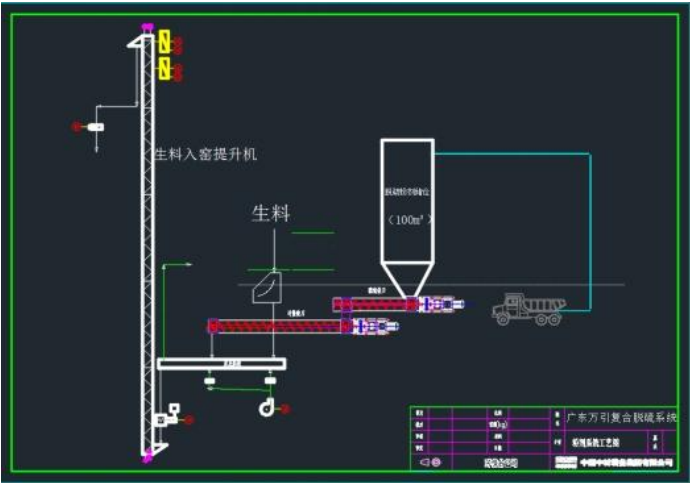


图 3-1 脱硫固硫粉剂投加装置示意图

脱硫水剂由液体槽罐车运输进厂，利用离心泵将脱硫水剂直接泵送进脱硫水剂储罐。在预热器C₂ 旋风筒上升风管处均匀对称布置喷枪，喷雾系统采用了特别设计的双流体内混式喷枪（图 3-2），将脱硫水剂雾化成平均粒径为几十微米的细小液滴，确保了喷雾的覆盖率，从而延长脱硫的反应时间，加快反应速度，提高反应效率。

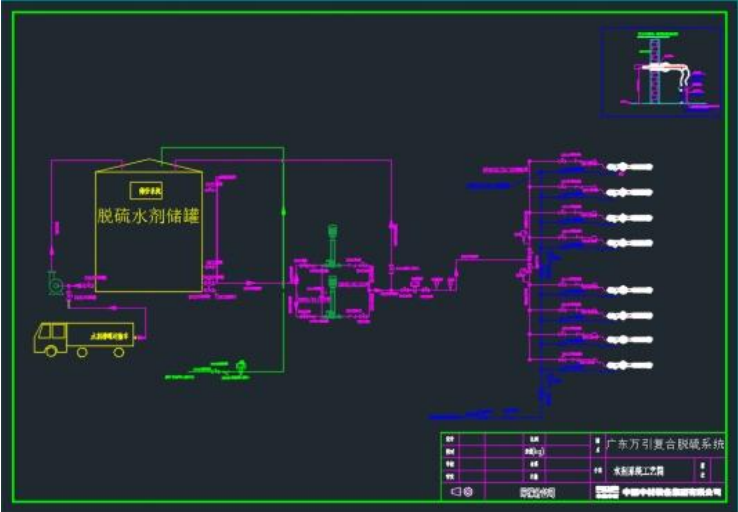


图 3-2 脱硫水剂喷加装置示意图

新型干法水泥窑烟气复合脱硫固硫系统占地面积约 35m²，生料均化库旁 4m*8m 长方形场地即可，脱硫系统总装机功率约 35kw，总工期约 30 天，脱硫自动化控制采用独立 PLC 系统，中控室增加工控机。具体组成见表 3-1。

表3-1新型干法水泥窑烟气复合脱硫固硫系统

序号	名称	数量	单位
----	----	----	----

1	脱硫粉剂储仓	1	个
2	计量输送系统	2	套
3	收尘设备	1	台
4	辅助下料系统	1	套
5	料位探测设备	1	套
6	不锈钢脱硫水剂储罐	1	个
7	喷射与计量控制系统	1	套
8	雾化喷枪	8	套
9	液位探测设备	1	套
10	水剂循环均化系统	1	套
11	电气控制柜系统	1	套
12	控制模块、接 DCS 系统相关设备	1	套

2. 复合脱硫固硫技术工业试验

2.1 脱硫试验

为验证上述脱硫剂及催化剂在工业水泥窑中的 SO_2 捕集效果，在某 5000t/d 水泥生产线进行工业试验。该生产线石灰石硫含量约为 0.9%，窑尾烟气中 SO_2 浓度约为 $900\text{mg}/\text{Nm}^3$ （开磨期）。选取 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作为脱硫剂，选取多种过渡金属作为 SO_2 捕集过程中的催化剂与矿化剂。其中，脱硫剂投加量为生料投加量的 0.2%~0.5%，四种催化剂与脱硫剂的摩尔比均为 0.5%（见表 3-2）。脱硫剂与催化剂混合均匀后随生料一起投加入水泥窑中。

表 3-2 脱硫剂投加量及催化剂掺量表

脱硫剂	催化剂掺量 (占脱硫剂比例)	脱硫剂投加量 (占生料质量比例)	钙硫比
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0.5%	0.2%	2
		0.3%	3
		0.4%	4
		0.5%	5

2.2 脱硫性能

试验开始前 3h 对该生产线窑尾烟气 SO_2 排放进行监测，由图 3-3 可知， SO_2 本底排放为 $1000\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右。第 3 小时开始投加脱硫剂及催化剂（生料质量的 0.2%），3~4h 内 SO_2 排放量变化较小，5h 后 SO_2 排放量开始下降并稳定于 $700\sim 800\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，12~13.5h 内， SO_2 排放量仍稳定于 $700\sim 800\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。13.5h 后脱硫剂投加量增加至生料质量的 0.3%， SO_2 排放量开始平稳降低，19h 降低至 $600\text{mg}/\text{Nm}^3$ 且稳定至 20h。实验第 20 小时，脱硫剂投加量增加至生料质量的 0.4%， SO_2 排放量继续下降，27h 降至 $500\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右，36h~37.5h 内 SO_2 排放量下降至 $400\text{mg}/\text{Nm}^3$ 左右（6~12h、27h~36h 为停磨期为采集数据），37.5h 后脱硫剂投加量增加至生料质量的 0.5%， SO_2 排放量持续降低，47h 时降至最低值（ $70\text{mg}/\text{Nm}^3$ ），并始终稳定在 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以内；实验第 49 小时停止投加脱硫剂与催化剂， SO_2 排放由 $400\text{mg}/\text{Nm}^3$ 迅速恢复至 $1200\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

由上可知，含催化剂 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 可有效降低水泥窑 SO_2 排放量，且随脱硫剂投加量的增加 SO_2 排放量逐渐降低，当脱硫剂投加量为生料质量的 0.5% 时， SO_2 排放量降低至 $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下。脱硫剂及催化剂加入预热器后，1h 内 SO_2 排放量不会降低，说明脱硫剂及催化剂在预热器中达到一定浓度或形成一定氛围后，脱硫剂及催化剂才开始发挥作用。停止投加脱硫剂后，预热器中的脱硫氛围不会立即消失，表现为 SO_2 排放量缓慢回升。

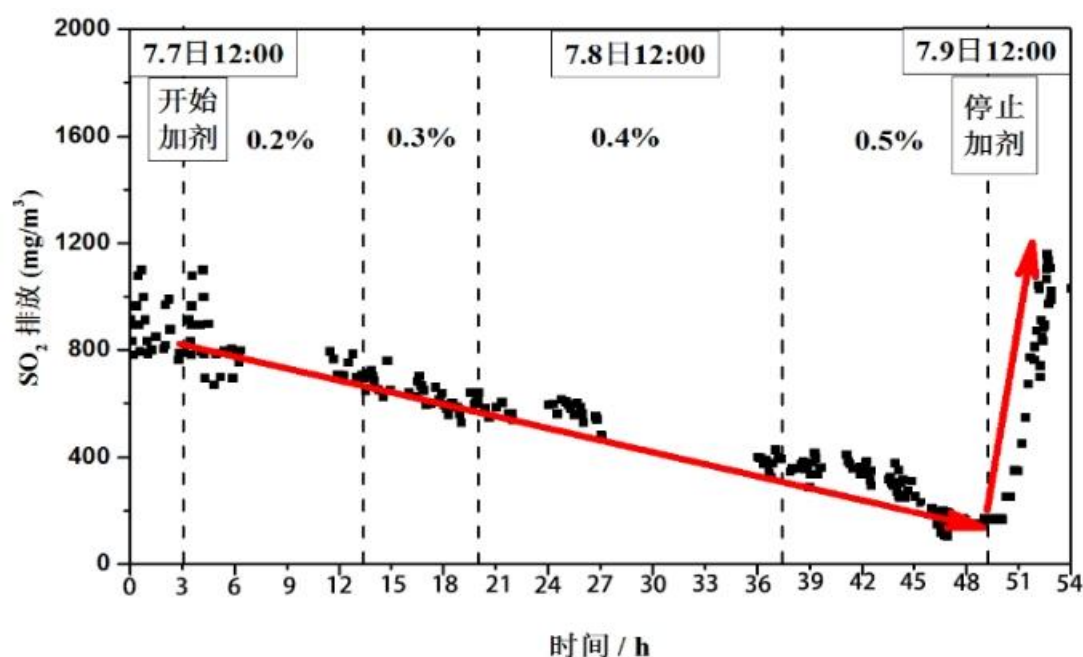


图 3-3 工业 SO_2 捕集试验中窑尾烟气硫排放量变化

2.3 硫平衡核算

水泥窑中的硫由生料及煤引入，在水泥窑系统内部进行迁徙，最终由熟料及烟气带出水泥窑，在此过程中存在硫的输入与输出平衡，即生料、煤引入的 SO_3 量应等于熟料、烟气带出的 SO_3 量。为进一步验证工业实验中脱硫剂对 SO_2 的捕集效果及水泥窑中硫的迁徙途径，对上述 5000t/d 水泥生产线进行长期脱硫实验，依据原、燃料及熟料的全硫含量（如表 3-3 所示），分别计算该水泥生产线在脱硫试验前及脱硫试验过程中单位时间（1h）内硫的输入量及输出量（以 SO_3 质量表示）。

该水泥生产线所用生料的含硫量为 $\text{SO}_3(\text{生料})=0.898\%$ ，1h 内生料的投加量为 $m(\text{生料})=380\text{t}$ ，1h 内由生料带入水泥窑的 SO_3 质量 $M(\text{生料})$ 计算如下：

$$M(\text{生料})=\text{SO}_3(\text{生料})\times m(\text{生料})=0.00898\times 380\text{t}=3.41\text{t}$$

所用煤的含硫量为 $\text{SO}_3(\text{煤})=1.23\%$ ，1h 内耗煤量为 $m(\text{煤})=33\text{t}$ ，1h 内由煤带入水泥窑的 SO_3 质量 $M(\text{煤})$ 计算如下：

$$M(\text{煤})=\text{SO}_3(\text{煤})\times m(\text{煤})=0.0123\times 33\text{t}=0.41\text{t}$$

脱硫试验前后，产熟料的含硫量分别为 $\text{SO}_3(\text{熟料前})=1.34\%$ ， $\text{SO}_3(\text{熟料中})=1.53\%$ ，1h 内的熟料产量为 $m(\text{熟料})=245\text{t}$ ，故两种条件下中所产熟料中 SO_3 质量 $M(\text{熟料前})$ 及 $M(\text{熟料中})$ 分别计算如下：

$$M(\text{熟料前})=\text{SO}_3(\text{熟料前})\times m(\text{熟料})=0.0134\times 245\text{t}=3.28\text{t}$$

$$M(\text{熟料中})=\text{SO}_3(\text{熟料中})\times m(\text{熟料})=0.0153\times 245\text{t}=3.75\text{t}$$

脱硫试验前后，水泥窑烟气 SO_2 排放分别为 $1000\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，1h 内窑尾烟气排放量为 $V(\text{烟气})=400000\text{Nm}^3/\text{h}$ ，则 1h 内随烟气排出 SO_3 质量为：

$$M(\text{烟气前})=C_{\text{SO}_2}\times V(\text{烟气})\times 80/64=1000\times 80/64\times 10^{-9}\times 400000\text{t}=0.50\text{t}$$

$$M(\text{烟气后})=C_{\text{SO}_2}\times V(\text{烟气})\times 80/64=200\times 80/64\times 10^{-9}\times 400000\text{t}=0.10\text{t}$$

综上所述，脱硫试验前 1h 内水泥窑系统硫平衡如下：

$$M(\text{熟料前})+M(\text{煤前})=3.41\text{t}+0.41\text{t}=3.82\text{t}\approx 3.28\text{t}+0.5\text{t}=M(\text{熟料前})+M(\text{烟气前})$$

脱硫试验前 1h 内水泥窑系统硫平衡如下：

$$M(\text{生料前})+M(\text{煤前})=3.41\text{t}+0.41\text{t}=3.82\text{t}\approx 3.75\text{t}+0.1\text{t}=M(\text{熟料前})+M(\text{烟气前})$$

可见，复合脱硫的本质是将烟气中的 SO_2 固化于水泥熟料中。

表 3-3 某 5000t/d 水泥生产线中原、燃料及熟料全硫含量

样品	石灰石	生料	煤	熟料	SO_2 排放 (mg/Nm^3)
脱硫试验前	0.875%	0.898%	1.23%	1.34%	1000

脱硫试验中	0.875%	0.898%	1.23%	1.53%	200
-------	--------	--------	-------	-------	-----

3. 经济与社会效益分析

3.1技术经济论证

新型干法水泥窑烟气复合脱硫技术针对水泥生产线工艺特点，提出将干法脱硫技术和半干法脱硫技术有机复合的新思路，大幅度提高了烟气脱硫速度、效率。通过调控脱硫粉剂和脱水剂在新型干法生产线的投加位置，实现了快速烟气脱硫（6-8min 内将烟气中 SO₂ 浓度降低至 35mg/m³）和烧成过中熟料高效固硫（将>97% 原材料硫固化于熟料），最终实现了新型干法水泥窑烟气低成本、高效脱硫，该技术与当前同类技术主要参数对比见表 3-4。可见，复合脱硫技术低投入、低成本、低能耗、高效率，建设成本是湿法脱硫的 1/20，运行成本是其它脱硫技术的 1/2；占地面积 30m²，装机功率小于 40kW，建设周期不超过 35 天。

复合脱硫技术能够满足水泥工业大气污染物排放更严格的标准，该技术建设成本少、运行成本低、装机功率小、脱硫效率高，简便易行，系统稳定可靠，是水泥行业 SO₂ 减排技术的首选方案，

表 3-4 复合脱硫技术运行成本测算

入窑生料 SO ₃ (%)	SO ₂ 排放最高浓度 (mg/Nm ³)	控制 50mg/Nm ³ 成本（元 /t.ccl）	控制 35mg/Nm ³ 成本（元 /t.ccl）
0.1-0.15	200	0.4-0.6	0.6-0.8
0.15-0.2	300	0.6-0.8	0.8-1.0
0.2-0.3	500	1.2-1.6	1.3-2.0
0.3-0.4	800	1.8-2.0	2.0-2.6
0.4-0.5	1000	2.2-2.8	2.5-3.2
0.5-0.6	1300	2.3-3.2	2.8-3.5
0.6-0.7	1600	3.0-3.5	3.5-4.0

总结水泥行业各种烟气脱硫工艺技术的性能和优缺点发现，石灰石（石灰）/石膏法湿法烟气脱硫技术的脱硫效率达到了 95%以上，但工艺较为复杂、设备容易腐蚀，导致投资和运行成本大，且湿法脱硫若经过除雾或除雾不完全，可能导致脱硫石膏随烟气排出，在排放源周围形成明显的硫酸盐沉降，也就是俗称的“石膏雨”现象，另外湿法脱硫浆液中毒导致脱硫效率显著下降也是水泥行业需要重点关注的问题之一。目前湿法烟气脱硫技术主要适用于烟气排放量大，SO₂ 浓度高的生产线。

干法烟气脱硫技术流程简单、设备占地面积小、投资较少，但需大量使用Ca(OH)₂，会造成水泥生料易烧性变差，本身脱硫反应效率与速率均较差，很难满足现阶段超低排放控制要求。

总体来看，干法/半干法脱硫效率偏低，不太能够适应水泥超低排放指标要求，湿法脱硫与复合脱硫技术效率较高，均能够满足超低排放要求，二者运行成本也较为接近，但湿法脱硫的建设投资约为复合脱硫的15~20倍，湿法脱硫电耗约为复合脱硫的100倍，湿法脱硫更适合于SO₂本底浓度超高(>1500mg/Nm³以上)的生产线，对于中低浓度SO₂的生产线，复合脱硫在建设投资、运行成本、能耗等关键指标上均具有显著优势。

表 3-5 新型干法水泥窑烟气复合脱硫技术与当前同类技术主要参数对比

脱硫技术	干法脱硫	湿法脱硫	复合脱硫
脱硫剂	石灰粉	CaO、CaCO ₃	脱硫水剂、粉剂
脱硫效率	50~60%	90~99%	≥98%
对生产影响	影响易烧性	增加系统阻力约 1000Pa	降低预热器出口温度<5℃
运行成本	5~10 元/t.cel (连续运行)	2~5 元/t.cel	0.5~3.8 元/t.cel
运行能耗	10~20kw	800~1500kw	7.5~15kw
主要成本	脱硫剂	电耗、水耗、脱硫剂	脱硫剂
投资额度	≤100 万元	≥1800 万元	≤118 万元
适用水平	≤300mg/Nm ³	≥1500mg/Nm ³	≤1500mg/Nm ³
主要优势	系统简单可靠	脱硫效率高	成本低，效率高
主要劣势	成本高，效果不稳定	投资高，电耗高 占地大、设备腐蚀、运维成本高	指定专利产品

3.2预期经济效益

复合脱硫系统占地小、能耗低，初期投资成本仅为湿法脱硫的1/20，运行成本为其他脱硫技术的1/2，效果稳定可靠。在常规水泥窑工艺条件下，该系统可使烟气中SO₂排放浓度(200~1500mg/Nm³)在5~8分钟内降至35mg/Nm³以下，脱硫成本控制在0.5~3.8元/吨熟料。标准中设定的脱硫粉剂和水剂指标已通过多条生产线的实际验证，脱硫粉水剂所含主要成分均为常见工业原料，来源

稳定，供应充足。技术风险主要在于脱硫剂品质波动对效果的影响，本标准通过设定严格的指标要求，有效控制了这一风险。复合脱硫技术已完成工业试验验证，技术成熟度达到 TRL9 级（技术成功商业化，广泛应用于市场）。

该技术已在中国建材、金隅冀东、海螺水泥、华润水泥、华新水泥、红狮水泥、山水集团等大型水泥集团的 400 多条水泥生产线上成功应用，均能将烟气中 SO_2 排放稳定降至 $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下，满足国家及地方相关环保标准要求，技术经济指标达到国际领先水平。以 $5000\text{t}/\text{d}$ 水泥生产线为例，按本底排放 $1000\text{mg}/\text{Nm}^3$ 计算，采用复合脱硫技术后，每年可减少 SO_2 排放约 2850 吨，显著降低排污费用，具有突出的经济、社会与环境效益。本标准通过对脱硫粉剂和水剂技术指标的统一规范，有利于保障脱硫效果、降低用户选型成本、促进技术推广应用，对水泥行业 SO_2 超低排放改造具有重要支撑作用。

3.3 社会效益分析

（1）环境影响方面：

通过预热器快速脱硫、回转窑高效固硫，显著提高生产过程协同烟气脱硫效率，无需额外设备、能耗，不产生废液和固废等其他二次污染。水泥行业作为我国主要大气污染物的第三大行业，具有实施本技术的可行性和需求，是本技术大规模推广应用的重要基础。若将本技术推广至全国 70% 的水泥企业，并且按照平均减排二氧化硫 60% 计算，预计每年可减少超过 10 万吨的 SO_2 排放，对改善空气质量和环境保护具有重大意义。另外与传统湿法脱硫相比，复合脱硫技术避免了高含水量烟气排放，减少了烟囱白雾浓烟现象，有效避免了“石膏雨”的二次污染，同时改善了视觉观感。

（2）水泥工业经济效益方面：

复合脱硫技术通过最大限度发挥新型干法水泥工艺自身脱硫和固硫能力，将硫固化于熟料但不影响熟料品质，可显著降低窑内硫循环、减少结皮堵塞等问题，提高水泥窑运转效率。该技术设备简单、可靠，其建设成本仅为湿法脱硫系统的 5%，后期运行成本仅为其它脱硫技术的一半，大幅度降低了水泥生产企业 SO_2 环保达标成本。另外目前水泥工业可利用的替代原燃料通常含硫量较高，大量使用后导致 SO_2 排放超标，无法大比例替代现有原燃料，应用本技术后可降低烟气脱硫成本，提高含硫替代燃料用量，产生显著经济效益。复合脱硫技术已经成为水泥工业烟气脱硫的趋势，对整个水泥行业节能、减排产生深远的影响和积极的

推动作用。

（3）资源综合利用方面：

我国水泥产量和消耗均居世界首位，但优质石灰石等原燃料资源短缺，仅供40~50年使用。由于含硫废弃物协同处置、高品位资源减少、地域限制水泥厂不得不使用高硫原料，导致水泥窑烟气硫排放必然增加。复合脱硫技术恰好弥补了这一技术空白，技术实施后，水泥厂可大量应用此前无法利用的高硫原燃材料，如高硫石灰石、煤等，减少了资源浪费，并降低了原燃材料采购成本；还可促进矿山科学开采，实施本技术后，水泥窑用石灰石不再需要关注硫含量，矿山高硫石灰石得以利用，实现矿山开采的各种品质矿石的综合消纳，避免开采后的闲置浪费，有利于实现矿山科学开采与全面利用；对于煤矸石（普遍 $St_{ad} > 1.0\%$ ）等高硫固废，本技术的应用使得大量煤矸石可作为水泥替代原料使用而不会导致烟气硫排放超标，充分利用其热值，降低生产成本，并实现固废的资源化利用。可促进水泥窑协同处置含硫废弃物、高硫原料利用等技术的推广，对水泥工业节能减排、可持续发展和实现资源高效综合利用具有重要的经济、社会和环境意义。

四、国内外相关标准调研情况

（一）国内外研究情况

我国针对水泥行业传统湿法、干法脱硫技术的短板，自主创新研发出水泥窑烟气复合脱硫剂相关技术，该脱硫剂整合催化剂、矿化剂与吸附剂，通过雾化增湿将脱硫反应由气-固转化为液-固反应，能在水泥窑预热器内快速捕获并固化 SO_2 ，使脱硫效率较单一钙基脱硫剂提升约30%，且已在全国400余条水泥生产线成功应用；同时国内研究发现，该脱硫剂中Ti、Ce等催化活性组分的种类与比例对脱硫效率影响显著，不同 SO_2 本底排放浓度的水泥生产线所需最优配比差异较大，目前针对各类典型工况的脱硫剂组成设计与使用方法尚未形成统一规范，相关研究与标准制定仍处于探索完善阶段。

目前国际上尚未针对水泥窑烟气复合脱硫剂开展专项研究，也无相关专用标准，仅有部分适用于各行业的烟气脱硫通用技术及脱硫剂检测类标准。

（二）项目与国际标准或国外先进标准采用程度

本标准编制过程中对国际及国外先进标准进行了全面检索查询，美国机械工程师协会发布的ASME PTC 40-2017《烟气脱硫装置》对湿法、半干法、干法脱硫的工艺流程、主要设备及脱硫效率测试作出规定，美国材料实验协会发布的ASTM C1318-15a(2020)、ASTM D8339-20则分别规范了烟气脱硫用石灰的相关

检测方法、热重法测定脱硫剂硫含量的技术手段与评价标准，上述标准均为适用于各领域脱硫技术及脱硫剂的普适性标准，目前尚未检索到与水泥窑烟气复合脱硫技术及脱硫剂直接对应的国际标准和国外先进标准，故本标准编制无直接可采用的国际及国外先进标准。

（三）与国内相关标准间的关系

我国已发布一系列工业烟气脱硫相关标准，形成了通用工艺与行业专用相结合的标准体系，其中《烟气脱硫工艺设计标准》GB 51284-2018 作为通用基础标准，规范了有色金属、电力、钢铁等行业的脱硫工艺、材料及设备设计要求；同时针对各行业工艺特点，发布了 HJ/T 179-2005、YS/T 1511-2021、YB/T 4977-2021 等行业专用标准，分别明确了火电、电解铝、冶金等行业特定脱硫技术的应用要求与产品规范，另有 GB/T 30201-2013、DL/T 323-2010、DB13/T 2032-2014 等标准，对干法、湿法脱硫主流技术所用脱硫剂产品指标作出了具体限定。上述标准主要覆盖电力、冶金、有色等行业的传统脱硫技术，目前尚无与水泥行业烟气脱硫适配的专属标准，尤其缺乏针对水泥窑烟气复合脱硫技术及配套脱硫剂、脱硫催化剂的相关标准，形成了行业标准空白。

本标准聚焦水泥窑烟气复合脱硫剂生产核心要求，编制过程中将充分衔接、参考国家现行相关标准内容，结合水泥工业烟气脱硫技术发展现状，针对性制定水泥窑烟气脱硫用稀土基粉剂与水剂复合脱硫剂的技术标准，填补国内水泥行业复合脱硫剂领域的标准空白，完善我国工业烟气脱硫标准体系。

五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与现行国家相关法律、法规、规章及强制性标准具有兼容性，无冲突。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议本标准作为推荐性国家标准发布实施。

八、贯彻国家标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）

各有关企业应积极完善产品技术图样、配套工艺装备，开展相应技术升级改造工作。待本标准发布实施后，建议由标委会秘书处协助起草工作组，面向行业内脱硫剂制造、使用、质量检测等单位开展标准宣贯工作，建议本标准于发布半年后正式实施。

本标准发布后，由起草工作组牵头组织全行业标准宣贯培训，望各复合脱硫剂生产、应用相关企业积极组织技术、生产、质检等相关人员学习标准内容、掌握技术要求。本标准实施 10 个月后，凡从事水泥窑烟气复合脱硫剂生产、检验及相关应用设计的企业，均须严格按照本标准开展产品设计、生产制造、质量检验等相关工作。

九、废止现行有关标准的建议

本标准为新制定国家标准，不存在相关标准废止问题。

十、其他应予说明的事项

无。