

制定《含硫废气碳基催化脱硫方法》
国家标准编制说明
(草案)

编制单位：《含硫废气碳基催化脱硫方法》国家标准起草小组

编制日期：2025 年 6 月

制定《含硫废气碳基催化脱硫方法》国家标准编制说明

(草案)

一、工作简况

1 基本信息

1) 任务来源

根据国家标准化管理委员会《关于下达 2024 年第十批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》的要求（国标委发【2024】60 号），于 2026 年 6 月前完成《含硫废气碳基催化脱硫方法》国家标准的制定工作（计划编号 20243714-T-606）。本标准归口单位为全国废弃化学品处置标准化技术委员会。中海油天津化工研究设计院有限公司、四川大学、成都达奇科技股份有限公司、四川发展龙蟒股份有限公司等公司共同负责起草。

2) 制定标准的目的、意义

习近平总书记在“发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点”的讲话中提到：“及时将科技创新成果应用到具体产业和产业链上，改造提升传统产业，培育壮大新兴产业”以及“新质生产力本身就是绿色生产力，必须加快发展方式绿色转型，助力碳达峰碳中和。”标志着在新质生产力发展以及双碳目标下，国家整体战略要求现代工业进行产业升级和能源转型，以提高出口产品国际竞争力、优化产业形象。《“十四五”循环经济发展规划》中提到：“无论从全球绿色发展趋势和应对气候变化要求看，还是从国内资源需求和利用水平看，我国都必须大力发展循环经济，着力解决突出矛盾和问题，实现资源高效利用和循环利用，推动经济社会高质量发展。”而循环经济以资源的高效利用和循环利用为核心，以“减量化、再利用、资源化”为原则，以低消耗、低排放、高效率为基本特征。

中国的硫资源分为天然硫磺矿、金属硫化物、硫化氢以及硫酸盐，且存在硫资源供需不平衡、硫铁矿资源相对丰富但品位低（总储量约为 63 亿吨）、天然硫磺矿短缺、回收硫磺产量不高、硫资源循环利用不足等特点。硫资源的循环利用成为社会关注的重要课题之一，如何高质量、绿色低碳地提高硫资源的循环利用效果是目前亟待解决的问题，本项目就是基于以上背景提出，聚焦于含硫废气的减量化排放和硫资源回收利用，通过标准规范和推动脱硫技术进步，促进行业绿色可持续发展。

含硫废气来源广泛，如燃煤烟气、工业含硫烟气、冶炼烟气等，广泛存在于化工、有色、工业锅炉/炉窑和建材等行业，含硫废气传统的综合利用方式多采用碱吸收法，根据所采用工艺技术不同，会产生脱硫石膏、硫酸铵、硫酸亚铁等副产品。其中对于脱硫石膏的消纳问题，曾探索一条石膏制水泥熟料副产硫酸的工艺路线，但该工艺能耗高，化石燃料使用量大，温室气体排放量达规模以上企业将逐步纳入碳配额交易体系，从当前政策层面上发展受阻。再者，建材行业作为硫石膏最大的下游市场，近年来受房地产行业影响较大，硫石膏无法消纳造成的二次污染风险较高。硫酸盐类产品下游市场对其质量要求较高，资源回收类硫酸盐产品需进行的深加工净化，产业链长、工艺复杂、资源耗量大、处理成本高，经济及环境效益均不高，故而应用场景极为有限。

四川大学联合成都达奇科技股份有限公司开发出的碳基催化法技术，可实现含硫废气通过碳基催化剂床层脱硫同时副产稀硫酸，该技术具有流程短、设备少，操作简单运行稳定，脱硫效率高，无二次污染，副产物稀硫酸品质好，可资源化利用，运行成本低等优势，为硫资源循环利用提供了新的方

向，该技术的应用可在一定程度上从源头解决石膏类固废的产生，克服传统的废气硫资源回收利用技术存在的能耗高、辅料投入多、碳排放量高等问题，为绿色、环保的脱硫方式，已在化工（硫酸）、钢铁（焦化）、有色冶炼、工业锅炉等非电行业含硫废气硫资源循环利用中实现了工程化应用。截至目前，已建成国内工业化装置超过 100 套，国外建成 2 套。建成装置每年消减二氧化硫约 17 万吨，年回收稀硫酸约 105 万吨。该技术 2018 年被列入国家生态环境部《国家先进污染防治技术目录》，2020 年入选《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录》，2024 年获全国《原材料工业“二十大”先进适用低碳技术》。

《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中指出：“加快发展循环经济，加强资源综合利用，不断提升绿色低碳发展水平。”《2030 年前碳达峰行动方案》中指出：“抓住资源利用这个源头，大力发展循环经济，全面提高资源利用效率，充分发挥减少资源消耗和降碳的协同作用。”《国家发展改革委 生态环境部关于印发工业领域碳达峰实施方案的通知》中指出：“优化资源配置结构，充分发挥节约资源和降碳的协同作用，通过资源高效循环利用降低工业领域碳排放。”《“十四五”循环经济发展规划》中指出：“推进废水废气废液的资源化利用。”《“十四五”节能减排综合工作方案》中指出：“加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系。”《“十四五”工业绿色发展规划》中指出：“削减工业固废、废水产生量，加强工业资源综合利用。”等。

2 简要情况

据生态环境部发布的《2022 年生态环境统计年报》和《2022 年中国生态环境状况公报》显示，全国工业源废气二氧化硫排放量为 183.5 万吨，二氧化硫去除率为 96.5%。依据以上数据进行估算，2022 年全国工业源废气二氧化硫产量为 5243 万吨，去除量为 5059 万吨。若全部采用石灰石/石膏法进行脱硫，所需碳酸钙为 7905 万吨，产生石膏 13597 万吨。脱硫副产石膏处置费平均按照 40 元/吨进行估算，处置成本约为 54 亿元。石灰石/石膏法脱硫过程同时产生二氧化碳直接排放量约 3478 万吨，相关企业一旦纳入碳配额交易体系，按 90 元/二氧化碳当量进行计算，碳排放成本预期约为 31 亿元。

通过含硫废气碳基催化脱硫技术对含硫废气中的硫资源进行循环利用，不仅满足循环经济的要求，该技术在运营过程中对能源资源的消耗相比于其他回收技术而言更低，所用核心催化剂生产和使用过程对化石燃料的使用也更少，过程温室气体排放量少，符合我国碳达峰碳中和战略规划，同时该技术属于新型技术领域，与传统技术产业相比，更加符合新质生产力发展的内在要求。

方法的基本原理是：烟气中的二氧化硫、水、氧气被吸附在催化剂上并在活性组分的催化作用下发生反应生成硫酸；当催化剂上附着的硫酸达到一定程度后，再使用稀硫酸或水作为再生液对该催化剂进行循环喷淋再生，从而去除附着在催化剂上的硫酸并释放催化剂活性位；副产物为浓度约为 20% 的稀硫酸。该稀硫酸可以直接回用至项目所在企业，用于硫酸生产干法工段、焦化行业硫铵工段、金属矿的洗选等，也可经浓缩达到相关要求后作为产品硫酸，应用于磷复肥生产、钛白粉生产等过程。

综上所述，本项目具备较好的技术可行性，并符合国家对于推进废水废气废液的资源化利用，加强工业资源综合利用的原则，制定《含硫废气碳基催化法脱硫方法》国家标准是行业所需，势在必行，将对我国实现可持续发展起到积极促进作用，具有深远的现实意义。

2 国内外标准资料

1) 国内外标准资料

国内尚未出台任何含硫废气碳基催化脱硫的相关国家标准、行业标准、地方标准、团体标准；也未见国外有相关含硫废气碳基催化脱硫方法的国际、国外或地区标准的报道。

2) 采标情况

目前未收集到相关标准，本次制定标准无标可采。

二、 主要工作过程

1、起草阶段（2025.1～2025.3）

①起草工作组

2025 年 1 月全国废气化学品处置标准化技术委员会同四川大学、成都达奇科技股份有限公司成立了国家标准制定起草工作组，各成员单位认真查阅了国内外标准及有关技术资料，并向生产、使用单位发函，进行调查并广泛征求对制标的意见，在此基础上编制了文献小结及工作组讨论稿。起草工作组由中海油天津化工研究设计院有限公司、四川大学、成都达奇科技股份有限公司、四川发展龙蟒股份有限公司等公司等多家单位组成。

②分工情况

起草工作组组织单位（中海油天津化工研究设计院有限公司）主要负责标准制定工作总体协调，及资料收集、编写文献小结、组织召开标准工作会议、提出工作方案、收集相关统计数据、组织编写标准各阶段草案、编制说明及相关附件等工作。

四川大学及其他起草工作组成员单位主要负责对各阶段标准草案文件的技术部分进行细化，提出建议和意见，收集、统计各企业生产过程中实际的减排情况，商讨确定标准中的具体减排技术和装备等内容。

③调查研究过程

起草工作组根据下达的对《含硫废气碳基催化脱硫方法》国家标准的制定计划，首先查阅了国内外标准及有关技术资料，并向生产、使用单位发函，进行调查并广泛征求对标准制定工作的意见，在此基础上提出了文献小结。2025 年 3 月在天津召开了国家标准制定工作方案会，会上生产单位就各自的生产工艺、碳基催化脱硫技术等情况进行了介绍。与会代表就此标准的主要内容进行了深入、细致的讨论，提出了工作方案，并对各项工作任务及工作进度做了详细的安排。

本次标准制定的重点内容是根据目前我国含硫废气碳基催化脱硫技术的应用情况，提出相应的脱硫方法。通过本标准制定，结合四川大学的含硫废气碳基催化脱硫技术的科研成果及国内具体应用经验固化成标准，并进行推广，为含硫废气中的硫资源开展资源化循环利用提供一条新途径。

2、标准征求意见阶段（2025.5～2025.7）

1) 广泛征求意见

在起草阶段工作基础上，2025 年 6 月，标准制定小组根据前期工作情况，由负责起草单位起草了标准的征求意见稿及编制说明。向全国废弃化学品处置标准化技术委员会的委员、使用及检验机构等单位发送了电子文件征求意见稿及编制说明，并在网上（www.trici.com.cn）公开征求意见。

2) 意见的反馈与处理

发送征求意见稿的单位数 个，收到征求意见稿后回函单位数 个，收到征求意见稿后回函并有建议或意见的单位数 个，没有回函的单位数 个。对收到的意见全部进行处理，处理意见详见意见汇总处理表。

三、 标准编制原则、标准体系及确定国家标准主要内容

（一）编制标准的原则、标准体系和编制依据

1 标准编制原则

制定标准时尽可能地做到简化、统一、协调、优化；既要考虑其先进性，也要考虑其实用性、可行性；既要符合国内外发展的需要，也要结合国内目前产业的实际状况。

- 符合国家的政策，贯彻国家的法律法规；
- 充分考虑使用要求；
- 简化、选优和通用互换；
- 技术先进、经济合理；
- 从全局出发，考虑各方的综合效益。

2 标准体系

本标准在体系表编号为：本标准属于全国废弃化学品处置标准化技术委员会体系中的“03 方法-02 处理处置方法-09 废气处理处置方法”范畴，体系编号为“01-294-03-02-09-09”。

3 编制标准的依据

本标准的制定是以相关标准为基础，按 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》。

GB/T 534 工业硫酸

GB/T 6003.1-2022 试验筛 技术要求和检验 第1部分：金属丝编织网试验筛

GB 50009 建筑结构荷载规范

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50017 钢结构设计规范

GB/T 50046 工业建筑防腐蚀设计标准

GB 50160 石油化工企业设计防火规范

GB 50191 构筑物抗震设计规范

GB/T 50726 工业设备及管道防腐蚀工程技术标准

HG/T 20592 钢制管法兰（PN系列）

HG/T 21633 玻璃钢管和管件

JB/T 4735 钢制焊接常压容器

NB/T 47003.1 钢制焊接常压容器

（二）确定国家标准主要内容的论据

1. 含硫废气催化脱硫技术简介

含硫废气主要来自于火电、钢铁、水泥、化工等行业，脱硫技术主要分为湿法脱硫技术、干法脱

硫技术、半干法脱硫技术三大类。

湿法脱硫技术是目前国内应用最广泛的技术，如石灰石石膏法、氨法、双碱法等，其中石灰石-石膏法在国内火电厂中占比超过 90%，是主流的脱硫技术，但该技术初期投资大、占地面积广，运行成本高，还会产生废水、固废等二次污染。

干法脱硫技术主要是干法吸收法、吸附法和催化法技术，干法吸收法主要用碱性物质(如石灰、碳酸钠等)的干燥剂喷入烟气中与二氧化硫反应，吸附法技术以活性焦法应用最广，主要用于焦化行业，但该类技术存在投资大、运行能耗高、效率低等问题，主要适用于浓度较低的含硫废气。而碳基催化脱硫技术是一种新型的干法脱硫技术，近年来在国内外开始广泛应用于硫酸行业、焦化行业、锅炉行业等，出口二氧化硫浓度均小于 30mg，能实现超低排放。

半干法脱硫结合了湿法和干法的优点，是介于二者之间的脱硫工艺，主要有旋转喷雾干燥法（SDA）、循环流化床法（CFB-FGD）。该类技术投资和能耗低于湿法脱硫技术，无废水排放，适合中小气量和含硫废气浓度较低的场景。但是该技术存在脱硫效率较低，副产物利用价值低（多为填埋处理），喷嘴易磨损，维护成本高等问题。

国内含硫废气脱硫技术呈现多样化特点，其中湿法脱硫技术占据主导地位，干法和半干法在快速发展中，未来有望成为主要的脱硫手段，表 1 给出了湿法脱硫和干法脱硫比较典型工艺的情况对比，半干法是介于二者之间的工艺且尚有一些问题需要解决，本次不参加对比。

表 1 含硫废气处理工艺情况对比

方法	湿法脱硫				干法脱硫	
工艺类型	石灰石石膏法	双碱法	氧化镁法	氨法	活性焦法	新型催化法
脱硫剂/催化剂	石灰石、石灰	纯碱+石灰	氧化镁	氨水	活性焦脱硫剂	碳基脱硫催化剂
反应程度	较完全	完全	较完全	完全	一般	完全
吸收剂利用率	较高	高	较高	高	——	——
吸收剂价格	低	中	中	高	——	——
脱硫效率	>90	>90	>95	>95	>90	>95
工艺复杂程度	复杂	简单	简单	复杂	复杂	简单
占地面积	大	适中	适中	大	大	适中
工程投资	低	高	低	高	高	适中
运行费用	高	较高	较高	较高	高	低
系统稳定性	差	较好	较好	一般	一般	好

副产物	石膏	Na ₂ SO ₃ 或 Na ₂ SO ₄	MgSO ₃ 或 MgSO ₄	(NH ₃) ₂ SO ₃ 或 (NH ₃) ₂ SO ₄	S	H ₂ SO ₄
脱硫副产物利用	难以利用	难以利用	可以利用	可以利用	可以利用	高
废水	有	无	无	无	无	无
其他废气	CO ₂	CO ₂	CO ₂	NH ₃	CO ₂	无

随着环保要求的不断提高，国内脱硫技术将朝着更加高效、低能耗、绿色环保的方向发展，碳基催化脱硫技术在国内的应用已逐步发展，如襄阳龙蟒钛业 40 万 t/a 亚铁掺烧硫酸尾气脱硫、湖北丰利化工 20 万 t/a 硫磺制酸尾气脱硫、襄阳泽东化工 35 万 t/a 硫酸尾气脱硫、攀钢钛业 30 万 t/a 硫酸尾气脱硫、四川龙蟒磷化工 30 万 t/a 硫酸尾气脱硫等均应用了碳基催化脱硫技术，随着技术的不断进步和环保要求的提高，碳基催化脱硫技术在未来会得到更广泛的应用。

2. 标准范围

本文件规定了含硫废气碳基催化脱硫方法的废气的来源及组成、碳基催化脱硫方法、脱硫装备要求、脱硫效果及环境保护。

本文件适用于含硫废气碳基催化脱硫技术的应用。采用单级脱硫方式催化脱硫处理含硫废气的浓度不大于 10000 mg/m³。

3. 术语定义

为更好的理解标准内容，标准中给出的术语定义，包括：含硫废气、碳基脱硫催化剂、再生系统、硫酸精制系统、硫容、活性组分、纳米限域效应等。

4. 含硫废气的碳基催化脱硫方法

1) 来源

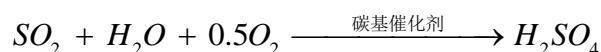
含硫废气的来源于化工、钢铁、石油炼制、有色金属、建材等行业的生产过程。

2) 组成

含硫废气的主要污染物是 SO₂，其他污染物成分包含 SO₃、CO₂、CO、NO_x、HCl、HF 等，各污染物含量与废气的来源有关。相关行业废气组成示例见附件 1。

3) 碳基催化脱硫的原理

以多孔炭材料为载体负载活性组分（含 N、S 前驱体如硫脲、硫氰化铵、硫磺、尿素、三聚氰胺等），耦合炭材料纳米限域效应及活性组分催化作用，其化学反应式为：



碳基催化法在低温下将废气中的二氧化硫催化氧化为三氧化硫并与废气中的水蒸气反应生成硫酸，储存在催化剂孔隙内，实现脱硫制酸。但催化剂吸附容量有限，当催化剂的硫容量达到设计硫容

时，需要对催化剂床层进行洗涤再生，使得催化剂的活性得到恢复。

4) 工艺流程

含硫废气进入装有碳基脱硫催化剂的脱硫制酸塔中， SO_2 被催化剂吸附、催化氧化为 SO_3 ，并与废气中水蒸汽反应生成硫酸。当催化剂的脱硫量达到设计硫容时，对催化剂床层进行再生，再生系统采用梯级循环再生方式，通过不同浓度的稀硫酸从高到低喷淋洗涤，最终将床层内的硫酸转移到再生液中，催化剂的活性得到恢复，同时获得质量浓度不低于20%的硫酸副产品。

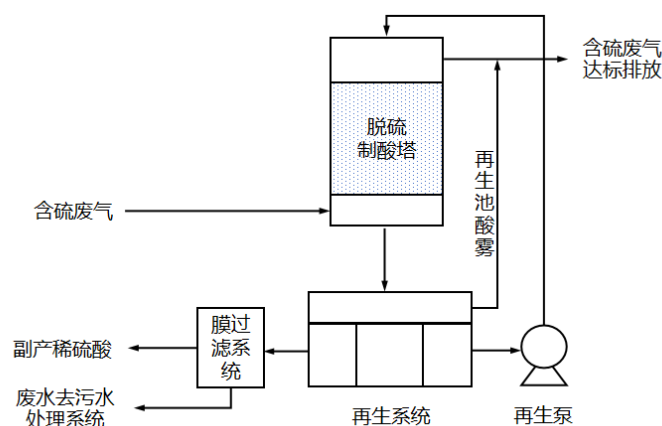


图1 含硫废气碳基催化脱硫工艺简图

5) 含硫废气的要求

为满足碳基催化剂的脱硫要求，需要根据废气的情况对含硫废气进行处理，标准中给出了进入脱硫制酸塔前废气的温度、湿度、颗粒物和氧含量的具体要求：

a) 废气的温度应控制在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

控制废气的温度，以确保碳基催化剂的催化活性和稳定性。温度过低会导致反应速率下降，催化活性不足；温度过高则可能引发催化剂烧结、活性组分失活或副反应（如碳基材料氧化分解）等问题。

b) 含湿量不小于 0.5 %；

满足脱硫制酸工艺过程中产生的 SO_3 生成硫酸的消耗，标准中要求含硫废气水蒸气含量应不低于 0.5%。

c) 颗粒物浓度不大于 30 mg/Nm^3 ；

废气中的颗粒物（如粉尘）会沉积在催化剂表面，堵塞孔隙，增大反应器压降，降低催化剂活性和有效吸附位，所以需对颗粒物的浓度进行控制。

d) 氧的浓度不小于 3 %。

碳基催化脱硫工艺需氧气参与氧化反应，氧含量不足可能导致反应不完全，脱硫效率下降，因此需要控制氧浓度不小于 3%。

6) 催化剂要求

标准中给出了碳基脱硫催化剂的要求，主要从工作温度，强度、脱硫的效率和硫容及使用寿命几个方面给出了具体的要求，其中强度包括初始强度和耐酸强度。初始强度是指未使用的碳基脱硫催化剂的强度值。耐酸强度是将一定温度的碳基脱硫催化剂经硫酸冷激、浸泡、洗涤、干燥后，再进行循环冷激、浸泡等操作，经过十次循环后所测定的碳基脱硫催化剂的强度值，它们是催化剂重要的性能指标，脱硫效率和硫容是催化剂的重要使用指标，标准中都给出了明确的要求。

温度过低会导致反应速率下降，催化活性不足（如 SO_2 与氧气的氧化反应需一定活化能），温度过高可能引发催化剂烧结、活性组分氧化分解或碳基材料氧化（如活性炭在高温下自燃），导致活性位点减少。高温可能促进 SO_2 过度氧化为 SO_3 ，生成酸性液滴腐蚀设备或堵塞催化剂孔隙。所以标准中给出了催化剂的工作温度要求。

强度包括初始强度和耐酸强度。催化剂需在反应器中承受气流冲刷、颗粒物磨损及温度变化带来的机械应力。初始强度低的催化剂易在气流冲刷或温度变化中粉化，导致床层压降增大。脱硫过程中生成的硫酸可能腐蚀催化剂，酸性环境可能会破坏碳材料的孔隙结构，降低催化剂强度，产生碎化，所以标准中给出了强度的要求。

硫容直接影响催化剂的再生周期和运行成本，硫容低会导致频繁再生，增加能耗和维护成本，高的硫容可延长单次运行时间，降低单位处理成本。所以标准在对硫容提出了要求。

脱硫效率是本方法的重要指标，体现碳基催化脱硫技术的实施效果，也是满足环保法规和经济性的核心指标，所以标准中对脱硫效率提出了要求。

催化剂使用寿命直接影响运行成本，催化剂寿命段、更换周期频繁，增加项目运行的成本，因此标准中要求使用寿命不低于 3 年。

7) 工艺控制要求

a) 为保障含硫废气的脱硫效率，标准中提出脱硫制酸塔入口 SO_2 浓度宜不高于 10000 mg/Nm^3 ，若浓度高于 10000 mg/Nm^3 ，宜采用二级脱硫。

b) 标准中要求脱硫制酸塔入口硫酸雾浓度宜不高于 400 mg/Nm^3 ，若浓度高于 400 mg/Nm^3 ，宜采用二级脱硫。

c) 为避免高温引起催化剂燃烧，标准中要求含硫废气温度应为 $30^\circ\text{C}\sim 150^\circ\text{C}$ ，高于 150°C 的废气，宜先进行降温，再进行脱硫。

d) 高压降会增加系统的负荷，导致风机超负荷运转，增加能耗，因此在设计过程中装填量和装填高度会合理设计，标准中要求一级脱硫系统压力降应不高于 3000 Pa 。

e) 为满足催化剂催化氧化 SO_2 的接触时间要求，标准中要求脱硫制酸塔内设计流速宜不高于 0.4 m/s 。

f) 喷淋密度指单位时间内单位塔截面积的脱硫液循环量，喷淋密度高可使再生液和催化剂床层充分接触，促进催化剂上富集的硫酸快速脱附，使得催化剂恢复初始活性，所以标准中要求喷淋密度应不低于 $20\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 。

g) 再生级数和再生时间影响催化剂上的硫酸脱附效果，若级数过少，再生时间不足，催化剂床层会残留部分硫酸，影响催化剂的硫容，增加再生频率，进而增加运行成本，因此标准中提出了单次再生周期应不低于6 h，再生级数不低于3级。

8) 设备要求

标准中给出了碳基催化脱硫设备的总体要求、脱硫制酸塔、再生系统、硫酸精制系统的要求。

9) 脱硫效果

脱硫效果包括废气经过碳基催化脱硫后经烟囱排放的排放气中 SO_2 的排放浓度和利用碳基催化脱硫得到副产稀硫酸的要求。

标准中要求烟囱排放气中 SO_2 的排放浓度应满足国家或地方标准的要求，地方标准的要求严于国家标准，具体可见下表：

表2 各类型排放标准中 SO_2 浓度的要求

标准号	标准名称	类别	SO_2 浓度 (mg/m^3)
DB11/139-2015	北京市锅炉大气污染物排放标准	新建燃气锅炉	10
		新建燃油锅炉	20
DB31/933-2015	上海市大气污染物综合排放标准	钢铁行业烧结机头烟气中	50
DB13/2169-2018	河北省钢铁工业大气污染物超低排放标准	烧结机头烟气	35
DB37/2376-2019	山东省区域性大气污染物综合排放标准	核心控制区	50
		重点控制区	35
		一般区域	100
GB 16297-1996	大气污染物综合排放标准	新污染源	80
GB 13271-2014	锅炉大气污染物排放标准	新建燃煤锅炉	300
		现有燃煤锅炉	400
		新建燃油锅炉	200
		现有燃油锅炉	300
		新建燃气锅炉	50
		现有燃气锅炉	100
GB 13223-2011	火电厂大气污染物排放标准	新建燃煤锅炉	100
		现有燃煤锅炉	200
		新建燃油锅炉	100
		现有燃油锅炉	200
		天然气锅炉	35

		其他燃气锅炉	100
		特别排放限值燃气	35
		特别排放限值燃煤、燃油	50
GB 28662-2012	钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准	新建烧结工序	200
		现有烧结工序	400
		新建球团工序	180
		吸纳有球团工序	300
GB 31571-2015	石油化学工业污染物排放标准	新建企业	100
		现有企业	100
		特别排放限值	50

另外经碳基催化脱硫后副产的硫酸为稀硫酸，浓度不小于20%，该稀硫酸可以直接在企业内部回用，如用于硫酸生产、硫铵生产、金属矿的洗选等工序。也可经浓缩等相关工序精制后，生产符合GB/T 534要求的硫酸产品，应用于磷复肥、钛白粉生产等工业过程。

四、 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

通过含硫废气碳基催化脱硫技术对含硫废气中的硫资源进行循环利用，不仅满足循环经济的的要求，该技术在运营过程中对能源资源的依赖相比于其他回收技术而言更低，所用核心催化剂原材料为竹子，生产和使用过程对化石燃料的使用也更少，过程温室气体排放量少，流程短设备少，操作简单运行稳定，脱硫效率高，无二次污染，副产物稀硫酸品质好，可资源化利用，无需不断添加脱硫剂，泵类间歇使用，运行成本低，符合我国碳达峰碳中和战略规划，同时该技术属于新型技术领域，与传统技术产业相比，更加符合新质生产力发展的内在要求。该技术已在多行业实现工业化应用，如在襄阳龙麟钛业、湖北丰利化工、襄阳泽东化工、攀钢钛业、四川龙麟磷化工硫酸尾气脱硫等，其SO₂的排放浓度优于国家、行业标准的要求，具有显著的环境、社会和经济效益，该技术获中国化工工程建设科技创新成果特等奖、四川省科技进步一等奖，目前已在多领域实现工业化应用。相关行业的含硫废气的组成及含硫废气碳基脱硫技术在该领域应用后处理的效果见附件1。

五、 采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况

（一）采用国际标准和国外先进标准的程度

本标准没有采用国际标准和国外先进标准，本标准属于我国自主研发的标准，没有对应的国际和国外先进标准。

（二）水平分析

本次制定标准，没有收集到相关的国际标准，本标准制定时充分考虑了到国内含硫废气碳基脱硫工艺技术特点，依据含硫废气中碳基催化脱硫技术在国内的实际工业化应用情况，给出了对于各个过

程中的工艺控制要求，符合实际生产情况，具有可操作性，为相关生产企业完善生产管理、提高含硫废气碳基脱硫的技术水平，并提供了技术依据和支撑。

综上所述，本标准达到国内先进水平。

六、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

与现行相关法律、法规、规章及相关标准无冲突。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧。

八、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议作为推荐性国家标准。

九、贯彻国家标准的要求和措施建议

建议尽快发布实施本标准。建议标准实施后组织标准宣贯，使相关单位了解标准内容，促进标准顺利实施。

十、废止现行有关标准的建议

无。

十一、公平竞争审查说明

标准制定过程没有限制或者变相限制市场准入和退出、没有限制或者变相限制商品要素自由流动，没有影响经营者生产经营成本、没有影响经营者生产经营行为。本标准经审查不存在违反《公平竞争审查条例》规定的内容。

十二、其他应予说明的事项

无。

附件：相关行业的含硫组成及碳基脱硫方法在该领域应用效果实例

表 1 钢铁行业含硫废气参数

项目	数值
温度/°C	120~180
SO ₂ /浓度 mg Nm ⁻³	3000
H ₂ O 体积分数/%	8~12
O ₂ 体积分数/%	16~18
CO 浓度/mg Nm ⁻³	5000
NO _x 浓度/mg Nm ⁻³	350
处理后 SO ₂ 浓度 mg Nm ⁻³	<35
装置脱硫效率/%	>99

表 2 燃煤（气）锅炉含硫废气参数

项目	数值
温度/°C	120~140
SO ₂ /浓度 mg Nm ⁻³	3000
H ₂ O 体积分数/%	6~8
O ₂ 体积分数/%	4~10
CO ₂ 体积分数/%	4~6
NO _x 浓度/mg Nm ⁻³	400
处理后 SO ₂ 浓度 mg Nm ⁻³	<35
装置脱硫效率/%	>99

表 3 焦化行业含硫废气参数

项目	数值
温度/°C	180~220
SO ₂ /浓度 mg Nm ⁻³	300
H ₂ O 体积分数/%	18~20
O ₂ 体积分数/%	3~5
NO _x 浓度/mg Nm ⁻³	900
处理后 SO ₂ 浓度 mg Nm ⁻³	<35
装置脱硫效率/%	>90

表 4 硫酸行业含硫废气参数

项目	数值
温度/°C	60~80
SO ₂ /浓度 mg Nm ⁻³	1000
H ₂ O 体积分数/%	0~5
O ₂ 体积分数/%	3~5
NO _x 浓度/mg Nm ⁻³	100
处理后 SO ₂ 浓度 mg Nm ⁻³	<35
装置脱硫效率/%	>97

表 5 垃圾焚烧行业含硫废气参数

项目	数值
温度/°C	180~250
SO ₂ /浓度 mg Nm ⁻³	100~500
HCl/浓度 mg Nm ⁻³	800~1500
H ₂ O 体积分数/%	20~30
O ₂ 体积分数/%	9~14
CO 浓度/mg Nm ⁻³	200~2000
NO _x 浓度/mg Nm ⁻³	250
二噁英/ng TEQ/m ³	1~50
铅/mg Nm ⁻³	5~20
汞/mg Nm ⁻³	0.5~2
处理后 SO ₂ 浓度 mg Nm ⁻³	<35
装置脱硫效率/%	>97

表 5 氟化氢尾气含硫废气参数

项目	数值
温度/°C	35~40
SO ₂ /浓度 mg Nm ⁻³	12000
HF/浓度 mg Nm ⁻³	200
H ₂ O 体积分数/%	>1%
O ₂ 体积分数/%	>1%
处理后 SO ₂ 浓度 mg Nm ⁻³	<35
装置脱硫效率/%	>99

含硫废气碳基催化脱硫方法

国家标准起草小组 编制日期：2025.6