

河南省化肥行业颗粒物和氨污染防治对策研究

李素玉¹, 李航^{2,3}, 王婷¹, 刘绿怡¹, 李艳丽¹, 王志凯⁴, 王莉^{2,3}

(1. 河南省生态环境技术中心, 河南 郑州 450004; 2. 郑州大学 生态与环境学院, 河南 郑州 450001;
3. 河南省减污降碳协同工程技术研究中心, 河南 郑州 450001; 4. 安阳盈德气体有限公司, 河南 安阳 455000)

[摘要] 河南省化学肥料工业大气污染物排放标准的实施对化肥工业企业的环境污染治理水平提出了新的挑战和要求。重点分析河南省化肥行业颗粒物和氨的排放来源, 并探讨现行治理措施存在的问题。同时, 针对这些问题, 提出提高防治效率的建议, 为化肥企业减少排放提供实际的参考和指导。

[关键词] 化学肥料工业; 大气污染物; 颗粒物; 氨; 防治措施

[中图分类号] X506 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 02-0100-05

Research on the prevention and control countermeasures of particulate matter and ammonia pollution in the fertilizer industry in Henan province

LI Suyu¹, LI Hang^{2,3}, WANG Ting¹, LIU Lyuyi¹, LI Yanli¹, WANG Zhikai⁴, WANG Li^{2,3}

(1. Henan Provincial Ecological Environment Technology Center, Zhengzhou 450004, China;

2. School of Ecology and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

3. Henan Provincial Collaborative Engineering Technology Research Center for Pollution Reduction and Carbon Reduction, Zhengzhou 450001, China; 4. Anyang Yingde Gas Co., Ltd., Anyang 455000, China)

Abstract: The implementation of air pollutant discharge standards for chemical fertilizer industry in Henan Province has put forward new challenges and requirements for the environmental pollution control level of chemical fertilizer industry enterprises. The emission sources of particulate matter and ammonia in the fertilizer industry in Henan province are analyzed, and the problems existing in the current control measures are discussed. At the same time, in view of these problems, suggestions on improving prevention and control efficiency are put forward to provide practical reference and guidance for fertilizer enterprises to reduce emissions.

Key words: chemical fertilizer industry; air pollutants; particulate matter; ammonia; prevention and control measures

0 引言

大气环境质量关系着人民群众的身体健康和生活幸福指数, 深入打好蓝天保卫战、切实解决人民群众关心的突出大气环境问题是我国生态环境领域的一项重要工作。2023年国务院印发了《空气质量持续改善行动计划》(国发〔2023〕24号), 随后河南省发布了《河南省环境空气质量持续改善行动计划》(豫政〔2024〕12号), 2个文件均提出以改善空气质量为核心, 以降低细颗粒物(PM_{2.5})浓度为主线, 大力推动氮氧化物和挥发性有机物(VOCs)减排, 同时提出稳步推进大气氨污染防治, 加强氮肥、纯碱等行业大气氨排放治理。河南省在《河南省环境空气质量持续改善行动计划》中提出到2025年, 全省PM_{2.5}质量浓度要降至42.5 μg/m³及以下, 较十三五末(2020年)52 μg/m³降低

18.3%, 任务十分艰巨, 需要全方位、多行业、多部门共同努力。为促进指标的实现, 河南省提出以协同推进降碳、减污、扩绿、增长为总抓手, 加快推动产业结构、能源结构、交通运输结构优化调整, 完善大气环境管理体系, 有效提升污染防治能力, 推动大气污染综合治理、系统治理、源头治理。化肥行业主要大气污染因素是颗粒物和氨, 其中煤制氮肥行业颗粒物排放量约占全省总排放量的1.8%, 氨排放量约占全省总排放量的4.9%, 同时氨也是其行业特征污染物, 因此做好化肥行业颗粒

[收稿日期] 2024-07-23

[作者简介] 李素玉(1978-), 女, 河南南阳人, 高级工程师, 从事生态环境保护工作。

[通信作者] 王莉(1973-), 女, 河南长垣人, 教授, 从事环境规划与管理、减污降碳政策工作。

物和氨污染防治工作势在必行。

河南省是国内化肥制造的重要基地之一，有氮肥、磷肥、钾肥和复合肥制造企业，门类覆盖《国民经济行业分类和代码》(GB/T 4754—2017)中的肥料制造2621—2624。截至2022年6月，河南省有9家氮肥企业，3家磷肥企业，1家钾肥企业，65家复合肥企业，合成氨产能达到400万t/a。2022年河南省化肥行业原料煤消耗约为400万t/a，燃料煤消耗约为380万t/a，约占河南省全年煤炭消耗总量的5%，是能源消费大户之一，由燃煤和以煤为原料产生的主要污染物颗粒物和氨的排放也很大，据有关统计数据，2022年河南省化肥行业颗粒物排放量为121.5 t，约占全省工业企业颗粒物总排放量的2%，在所有行业的排名中位居第十，氨排放为50.7 t，约占全省工业企业氨总排放量的5%，在所有行业的排名中位居第五。

颗粒物根据粒径的不同有诸多划分，其中粒径小于10 μm的颗粒可以被人体吸入，沉积在呼吸道、肺泡等部位，粒径越小进入呼吸道的部位越深^[1]，然而化肥生产备煤、造粒等多个环节会排放大量粒径小于10 μm的颗粒物，对环境和人体健康的影响不容小觑。氨是一种无色且具有强烈刺激气味的无色气体，高浓度的氨环境可导致皮肤灼伤、眼睛刺激以及呼吸道黏膜受损，这也是化肥厂经常面临居民举报的原因之一^[2]。有研究表明氨排放促进了PM_{2.5}的形成，加大对氨排放的控制对缓解PM_{2.5}空气污染具有重要意义^[3]。目前，河南省在治理大气污染方面仍然处于攻坚阶段，为了有效降低污染物排放量，提升环境空气质量水平，实现河南省环境空气质量持续改善行动计划的目标，强化对化肥行业污染物的管控迫切且必要。河南省于2023年12月发布了地方标准《河南省化学肥料工业大气污染物排放标准》(DB 41/2557—2023)，加强了化学肥料工业污染物颗粒物和氨的排放限值要求，从环境管理层面面对化肥企业大气污染物的治理提出了更高的要求。

1 新标准实施后颗粒物和氨排放控制的变化

在《河南省化学肥料工业大气污染物排放标准》(DB 41/2557—2023)实施前，河南省化肥行业颗粒物和氨排放执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)和《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)，新标准实施后按照该标准执行。《化学肥料工业大气污染物排放标准》(DB 41/2557—2023)与原执行标准的限值差异见图1。

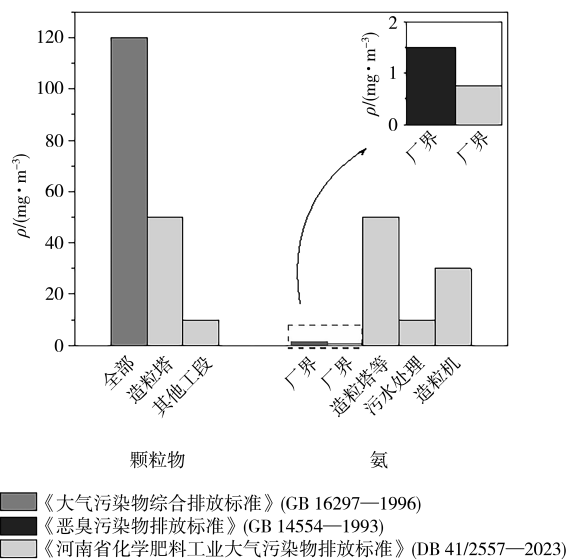


图1 《化学肥料工业大气污染物排放标准》(DB 41/2557—2023)与原执行标准的限值差异

Fig. 1 Limit difference between the emission standard of air pollutants for chemical fertilizer industry (DB 41/2557—2023) and the original implementation standard

由图1可以看出，《化学肥料工业大气污染物排放标准》与原标准相比，颗粒物和氨排放浓度限值更加严格，同时新增了对生产工段污染物的排放要求。按照《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)颗粒物执行的排放质量浓度是120 mg/m³，《化学肥料工业大气污染物排放标准》(DB 41/2557—2023)实施后除造粒塔外颗粒物执行的排放质量浓度是10 mg/m³，降幅达91.7%；造粒塔颗粒物排放质量浓度是30 mg/m³，降幅达75%。对于氨排放的控制，原有标准仅在《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)中对厂界质量浓度进行控制，二级标准限值为1.5 mg/m³，《化学肥料工业大气污染物排放标准》(DB 41/2557—2023)实施后厂界质量浓度控制在0.75 mg/m³，降幅达50%，同时明确对脱硫再生、放空气、造粒塔等工段氨的排放质量浓度控制在50 mg/m³，造粒机氨的排放质量浓度控制在30 mg/m³。

国内不少研究已经开始重视化肥工业颗粒物和氨的排放控制措施。孙泽渊^[4]对煤化工颗粒物、氨等大气污染物的治理技术进展进行了论述，并指出未来的发展方向。曹占高等^[5]基于环保政策、文件对氮肥行业颗粒物、氨排放等新要求进行了论述，并提出了相应的治理措施。李春启^[6]开发了尿素装置尾气氨治理之超低排放技术，使尿素装置排放尾气中的氨质量浓度低于20 mg/m³。裴宇峰

等^[7]采取增设放空气净氨塔、0.15 MPa吸收塔、改造常压吸收塔洗涤液等措施,使尿素放空筒尾气中氨体积分数低于0.001%。笔者也收集了河南省化肥企业的污染防治措施和达到的排放浓度,对其是否满足《化学肥料工业大气污染物排放标准》(DB 41/2557—2023)进行了分析,并对不达标的情况提出了建议措施。

2 颗粒物排放的研究分析

2.1 无组织排放

2.1.1 排放来源及限值

化肥企业的颗粒物无组织排放主要集中在厂区道路扬尘、煤等大宗物料的装卸及输送、原辅料装卸、下料及输送等环节。自2022年起,生态环境部调整了对企业颗粒物无组织排放的控制要求,2022年发布的《电石工业大气污染物排放标准》等4个国家标准明确规定了企业厂房、装置或设施的门口或通风口等排放口的控制要求,要求颗粒物的小时质量浓度不超过3 mg/m³。在此之前,控制是基于厂界颗粒物质量浓度限值(1 mg/m³)进行的,但这种方法存在一些问题,例如厂界邻近城市道路可能因道路扬尘导致厂界颗粒物浓度超标,以及邻近企业之间责任不清的情况。《化学肥料工业大气污染物排放标准》(DB 41/2557—2023)同样采用了厂区内颗粒物浓度限值来替代厂界颗粒物浓度限值,考虑到化肥生产过程中原料和产品颗粒物的高比例,新标准的设定能够更有效地管理和减少颗粒物的无组织排放,更准确地掌握企业内部颗粒物的排放情况。

2.1.2 控制措施及效果

在厂区道路扬尘控制方面,除了严格要求进出厂区的车辆进行清洁,也需要确保厂区内道路的定期清洁,这些措施能有效控制颗粒物的排放。煤的装卸和运输是颗粒物排放集中且排放量大的环节,常见的控制措施包括增加煤的水含量、封闭卸煤区域、采用喷淋措施以及厂区内采用皮带廊运输等方式。管理水平较差的企业仍然面临颗粒物浓度较高的问题。目前一些企业采用先进的封闭措施,如完全封闭煤的卸车区域,以及在厂区内采用密闭管道进行物料运输,显著降低了颗粒物的排放量。针对原辅料装卸,目前好的做法包括封闭原辅料装卸车间和下料车间,并定期清扫,同时在下料处上方安装高效袋式除尘器。综上所述,通过封闭装卸区域、使用高效除尘设备、增加物料水含量、采用喷淋和密闭输送等技术和措施(见表1),化肥企

业能有效降低颗粒物的无组织排放,达到环保要求。

表1 颗粒物无组织排放来源及治理措施

Table 1 Sources and control measures of unorganized emission of particulate matter

污染物排放环节	污染物	治理措施
道路扬尘	颗粒物	进出车辆清洁、道路定期清洁
物料装卸、运输	颗粒物	增加煤的水含量、封闭装卸区域等
下料	颗粒物	高效袋式除尘器

河南省化肥企业厂区内颗粒物无组织排放,在有物料装卸、物料运输、物料处理、物料储存等生产过程时更加明显,并随季节、天气和时段而变化,总体上夏季好于春季、秋季、冬季,雨季好于干燥天气。有企业对厂房内无组织颗粒物的监测1 h平均质量浓度范围在9~16 mg/m³,考虑到厂房的遮挡作用,厂房外颗粒物质量浓度在1.7~4.8 mg/m³。因此,在严格落实厂区抑尘控制要求下,企业是可以满足厂区内颗粒物质量浓度3.0 mg/m³的控制要求,但是如果抑尘措施不力或者落实不到位则有超标现象发生。

2.2 有组织排放

2.2.1 排放来源及限值要求

化肥工业颗粒物有组织的排放源包括多个步骤和工序:氮肥企业涵盖备煤、输送及进料、原料煤干燥、天然气转化加热炉、造粒、进料和包装工序以及热风炉等;磷肥企业主要涉及备料、中和/酸解、造粒、干燥、筛分、破碎等工序;钾肥企业主要包括复分解反应和备料、冷却、破碎和包装等步骤;复混肥料企业则涉及造粒塔、造粒机、干燥、备料、破碎、筛分和包装等工序。新标准下造粒塔外颗粒物的排放执行的排放质量浓度限值是10 mg/m³,造粒塔颗粒物排放质量浓度限值是30 mg/m³。

2.2.2 控制措施及效果

目前国家标准《排污许可证申请与核发技术规范 化肥工业—氮肥》(HJ 864.1—2017)、《排污许可证申请与核发技术规范 磷肥、钾肥、复混肥料、有机肥料及微生物肥料工业》(HJ 864.2—2018)中推荐的可行的除尘措施有电除尘、袋式除尘、湿式电除尘、洗涤、袋式除尘+洗涤等。河南省企业去除颗粒物采用较多的高效除尘方式是袋式除尘、旋风除尘+袋式除尘、袋式除尘+喷淋等,如表2所示,可以看出采取高效的除尘方式,备煤、输送及进料、原料煤干燥等工段颗粒物排放可以满足10 mg/m³的排放标准。同时有数据资料表明,在

设施出现故障或人为操作不当的情况下有超标现象。对于生产尿素或者复合肥的高塔造粒工段,出现颗粒物排放未能达到标准^[8]的情况较多,这是因为造粒塔高约80 m、口径20~28 m,顶端是敞开式的,在不采取措施的情况下,颗粒物没有得到处理就直接排放,导致颗粒物排放严重超标。有企业采用简易的洗涤设施或者洗涤塔,处理效率较低,颗粒物排放仍然超标。同时河南省内部分复合肥生产企业,没有采取先进的除尘措施,仍采取沉降+旋风除尘^[9]、箱式除尘+水洗、旋风除尘+两级文丘里+沉降室+洗涤塔等多级、低效的除尘措施^[10],导致不能达标排放。

表2 颗粒物有组织排放来源、治理措施及平均排放浓度
Table 2 Sources, control measures and average emission concentration of organized emission of particulate matter

污染物排放环节	污染物	治理措施	平均排放质量浓度/(mg·m ⁻³)
备煤、输送及进料	颗粒物	袋式除尘、旋风除尘+袋式除尘	8.5
原料煤干燥	颗粒物	袋式除尘	8.2
造粒塔	颗粒物	袋式除尘+洗涤	35
造粒机	颗粒物	袋除尘、洗涤塔	8.3
干燥、包装	颗粒物	袋式除尘	8.2

针对没有对造粒塔尾气进行处理的企业,需要尽快制定方案并落实到位。复合肥企业可以考虑通过拆除现有设施或改进现有除尘设施的方式来达到颗粒物排放标准。建议采用高效、加密的袋式除尘器、旋风+袋式除尘器或湿电除尘器等技术^[11],并加强设备的运行维护,以确保颗粒物稳定达标排放。

3 氨排放的研究分析

3.1 无组织排放

3.1.1 排放来源及限值要求

氨是煤制氮肥(包括天然气制氮肥)的主要中间产品,同时也是复合肥生产的重要原料。然而,如果氨的储存和输送不当,会导致大量氨的无组织排放。针对氨的无组织排放,标准设定了厂界的控制要求,规定了氨的排放质量浓度限值为0.75 mg/m³。氨无组织排放点主要包括污水处理厂、液氨储罐的呼吸口、放空管以及卸车时的鹤管等位置。

3.1.2 控制措施及效果

化肥企业的氨排放以无组织排放为主,厂区内应设置泄漏报警系统和泄漏检测装置,及时发现和处理氨的泄漏情况。对于厂区内的污水处理厂,建

议采用密闭污水处理池,并对废气进行收集和处理好再排放,以确保氨的排放质量浓度控制在10 mg/m³以内。对于液氨储罐呼吸口和鹤管应设置氨回收装置,减少氨排放(见表3)。

表3 氨无组织排放来源及治理措施

Table 3 Sources and control measures of unorganized emission of ammonia

污染物排放环节	污染物	治理措施
污水处理厂	氨	密闭污水处理池、废气收集处理
液氨储罐的呼吸口	氨	设置氨回收装置、氨泄漏报警系统和
鹤管	氨	泄漏检测装置

3.2 有组织排放

3.2.1 排放来源及限额

氨的有组织排放涉及多个化肥生产工段,包括:氮肥尿素生产中的低压、常压吸收塔放空气^[6]和尿素造粒废气、磷铵生产的中和和造粒干燥工段、复混肥料的造粒工段。新标准实施后脱硫再生、放空气、造粒塔等工段氨的排放质量浓度需控制在50 mg/m³以下,造粒机氨的排放质量浓度控制在30 mg/m³以下。

3.2.2 控制措施及效果

在氮肥生产中,低压和常压吸收塔放空气气量虽小,排放时间短,但氨排放质量浓度高,可达1 800~2 000 mg/m³。企业通常采用水洗或酸洗方法去除。尿素造粒机排放的氨气量相对较少,易于收集,常用水喷淋除尘技术来控制,氨排放质量浓度在30 mg/m³以内。尿素造粒塔废气量大、塔口宽,不易集中处理,目前常见的处理方法包括喷淋、水洗以及水洗结合酸洗等措施。表4为河南省化肥企业常用的氨治理措施及平均排放质量浓度。

表4 氨有组织排放来源、治理措施及平均排放浓度

Table 4 Sources, control measures and average emission concentration of organized emission of ammonium

污染物排放环节	污染物	治理措施	平均排放质量浓度/(mg·m ⁻³)	
尿素	放空气	氨	氨吸收塔	42.2
	洗涤塔		喷淋	62
造粒	造粒塔	氨	除尘喷淋加吸收	32.2
	造粒机	氨	除尘+吸收塔	25
废气收集处理	废水沉淀池废气	氨	密闭收集处理+活性炭吸附	9.3
系统	集处理		密闭收集(调节池、污泥浓缩池)+酸洗+碱洗+活性炭吸附	2.1

在尿素放空气洗涤塔工段,采用氨吸收塔的治

理措施氨的平均排放质量浓度为 42.2 mg/m^3 ，采用喷淋措施的平均排放质量浓度 62 mg/m^3 。按照 50 mg/m^3 的标准要求，未达标的企业可通过增加喷淋层级、加强酸洗等措施，同时需加强污染治理设备的运行管理。在废水处理系统，采用密闭收集外加酸洗、碱洗和活性炭吸附措施的氨排放浓度远小于仅采用密闭收集处理然后活性炭吸附的处理方式。

在磷肥生产的中和工段，氨与磷酸反应时会有逸出，通常与造粒（粉）干燥废气一同排放。在造粒和造粉过程中，热风炉烟气与物料直接接触，烟气中的氮氧化物与氨反应生成氮气，造粒废气中的氨和氮氧化物浓度可通过水洗或酸洗降低，从而满足质量浓度小于 30 mg/m^3 的排放要求。

4 结论

在《化学肥料工业大气污染物排放标准》（DB 41/2557—2023）实施后，河南省化肥企业颗粒物和氨两种大气污染物的排放限值将有明显降低，笔者对照标准要求对两种污染物的产生及排放现状进行分析，得出以下结论：

（1）颗粒物和氨的无组织排放主要存在于企业的辅助生产环节，控制效果与企业的管理水平相关，在做好系统管理并落实好管控措施后，颗粒物和氨的无组织排放是可以得到较好控制的。

（2）颗粒物和氨的有组织排放存在于企业的生产环节，排放浓度与污染物治理设施水平相关，根据目前已经可以做到达标排放的企业的经验，采用先进、高效的处理设施是可以满足标准要求的，措施运行水平较低且不能满足排放标准要求的企业应尽快更换处理设施。

（3）氨的治理目前的措施主要为水洗和酸洗，存在着处理效率不高、副产物处置困难的问题，有待于新技术的研发和推广。

【参考文献】

- [1] 王阳,马俐,李广科,等.空气细颗粒物造血毒性与生物学机制研究进展[J].环境化学,2023,42(4):1057-1066.
WANG Y, MA L, LI G K, et al. Research progress on hematopoietic toxicity and biological mechanism of ambient fine particulate matters [J]. Environmental Chemistry, 2023, 42(4): 1057-1066.
- [2] 龚苏宁,王业明,刘荣桂.我国将加强氨排放治理[J].生态经济,2020,36(11):9-12.
GONG S N, WANG Y M, LIU R G. China will strengthen the control of ammonia emissions [J]. Ecological Economy, 2020, 36(11):9-12.
- [3] MENG F, ZHANG Y, KANG J, et al. Trends in secondary inorganic aerosol pollution in China and its responses to emission controls of precursors in wintertime [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2022, 22(9):6291-6308.
- [4] 孙泽渊.煤化工大气污染治理技术进展及发展方向[J].化学工程与装备,2021(6):234-235.
SUN Z Y. Progress and development direction of air pollution control technology in coal chemical industry [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2021(6):234-235.
- [5] 曹占高,王亚楠,王辉.氮肥行业环保管理新要求和环保工作新重点[J].氮肥技术,2019,40(1):1-7.
CAO Z G, WANG Y N, WANG H. New requirement of environmental protection management and new emphasis of environmental protection work in nitrogenous fertilizer industry [J]. Nitrogenous Fertilizer Technology, 2019, 40(1):1-7.
- [6] 李春启.尿素装置尾气氨治理之超低排放技术应用总结[J].中氮肥,2024(2):18-22.
LI C Q. Summary of the application of ultra-low emission technology for ammonia treatment of urea plant tail gas [J]. M-Sized Nitrogenous Fertilizer Progress, 2024(2):18-22.
- [7] 裴宇峰,刘国斌,韩锋利,等.尿素放空筒含氨尾气回收治理总结[J].氮肥与合成气,2023,51(6):1-3.
PEI Y F, LIU G B, HAN F L, et al. Summary of the application of ultra-low emission technology for ammonia treatment of urea plant tail gas [J]. Nitrogenous Fertilizer & Syngas, 2023, 51(6):1-3.
- [8] 孔亦周,唐坤斌,王好斌.高塔复合肥工艺的有害物质排放及处理[J].磷肥与复肥,2016,31(4):12-13,27.
KONG Y Z, TANG K B, WANG H B. Harmful substance of compound fertilizer production by tower granulation and its treatment [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016, 31(4):12-13,27.
- [9] 李飞阔,张素霞,张庆安,等.低温转化法生产硫基复合肥尾气处理的技改总结[J].化肥设计,2017,55(5):54-55,58.
LI F K, ZHANG S X, ZHANG Q A, et al. Summary of technical transformation of sulfur-based compound fertilizer tail gas treatment produced by low-temperature conversion method [J]. Chemical Fertilizer Design, 2017, 55(5):54-55,58.
- [10] 唐启敬,赵铁石,边辉,等.基于双目视觉的复合肥颗粒检测系统[J].农业机械学报,2012,43(7):206-211.
TANG Q J, ZHAO T S, BIAN H, et al. Binocular vision-based compound fertilizer particle detection system [J]. Transactions of the CSAM, 2012, 43(7):206-211.
- [11] 刘刚.湿式电除尘器在复合肥生产尾气综合治理中的应用[J].磷肥与复肥,2016,31(1):41-43.
LIU G. Application of wet-type electric precipitator in tail gas comprehensive treatment of compound fertilizer production [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016, 31(1):41-43.