

磷酸二铵装置转产硫基复合肥系列产品技术改造

吴江琴, 陈梅, 钟林芮, 吴玉蓉, 潘礼富

(贵阳开磷化肥有限公司, 贵州 贵阳 551109)

[摘要] 针对传统磷酸二铵(DAP)装置能耗高、资源利用率低、产品结构单一的问题,通过技术改造将DAP装置与复合肥生产装置结合,实现了硫基复合肥系列产品的柔性生产。介绍改造前后的工艺流程及技术改造内容。技术改造内容包括新增投料系统、除尘系统、无尘冷却系统和产品输送系统,优化了工艺流程。改造后,在磷酸二铵装置(DAP)上实现复合肥系列产品的生产,成功生产出多种规格的硫基复合肥(如17-17-17型),产品一次合格率提高了27.43个百分点,尾气中颗粒物平均质量浓度降低至 12.60 mg/m^3 ,包装产品超养分降低了68.06%。改造的DAP装置既保持了DAP产品生产的优势,又实现了复合肥的生产,增强了市场响应能力,达到了多元化生产和磷资源合理利用的目标。

[关键词] 硫基复合肥;磷酸二铵(DAP)装置;技术改造;氨酸造粒法;资源利用

[中图分类号] TQ442.14 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-4566(2026)03-0030-05

Technical transformation for production of sulfur-based compound fertilizer series products with diammonium phosphate plant

WU Jiangqin, CHEN Mei, ZHONG Linrui, WU Yurong, PAN Lifu

(Guiyang Kailin Fertilizer Co., Ltd., Guiyang 551109, China)

Abstract: To address the issues of high energy consumption, low resource utilization rate and a single product structure in traditional diammonium phosphate (DAP) production plant, the DAP plant is transformed and integrated with a compound fertilizer production plant, enabling flexible production of a series of sulfur based compound fertilizers. The process flows before and after the transformation, along with the technical modifications are introduced. The technical transformation includes the addition of a new feeding system, dust removal system, dust-free cooling system, and product conveying system, while optimizing the process flow. After transformation, the DAP plant can successfully produce series sulfur-based compound fertilizers (such as 17-17-17 type), the first-pass yield rates are increased by 27.43 percentage points, the average mass concentration of exhaust particulate matter is decreased to 12.60 mg/m^3 , and the super nutrients in packaged products are decreased by 68.06%. The upgraded DAP plant not only retains the advantages of DAP production but also enable compound fertilizer manufacturing, enhancing market responsiveness and achieving diversified production alongside rational utilization of phosphorus resources.

Key words: sulfur-based compound fertilizer; diammonium phosphate (DAP) plant; technical transformation; amino acid granulation method; resource utilization

随着全球农业可持续发展理念深化与化肥行业绿色转型加速,传统磷酸二铵生产装置正面临着能耗高、资源利用率低、产品结构单一等多重挑战。为适应“双碳”目标下的减排要求^[1]以及市场对高效、专用、环保型肥料日益增长的需求,对现有磷酸二铵装置进行技术改造与升级已不再是可选

项,而是行业可持续发展的必然路径。

与此同时,化肥工业也受到科技创新、相关学科交叉发展、市场需求动态变化以及生态环境保护等多重因素的深刻影响,这些因素共同推动其技术研发与创新向着更高标准、更系统化的方向演进^[2]。

硫是农作物生长必需的四大营养元素之一^[3],

收稿日期:2025-11-10

作者简介:吴江琴(1998—),女,贵州岑巩人,助理工程师,主要从事化工生产工艺工作。

通信作者:潘礼富(1982—),男,贵州都匀人,高级工程师,主要从事化工生产工艺工作。

参与氨基酸、蛋白质和叶绿素的生物合成，也是氮代谢酶的关键元素^[4-5]。硫基复合肥是一种含硫元素的多元复合肥，具有养分浓度高、既可作基肥又可作追肥以及有效防止土壤板结等优点^[6]。

我国是农业大国，耕地肥力不足问题普遍存在。硫基复合肥料不仅为土壤补充氮、磷等必需营养元素，同时还可提供硫元素，满足农作物生长需求，提高农作物产量与品质，对保障农业可持续发展具有重要意义。

贵阳开磷化肥有限公司（简称公司）为推动复合肥多元化生产以及磷资源合理化利用，对24万t/a磷酸二铵（DAP）装置进行升级改造，使其可同时生产不同规格的DAP和硫基复合肥。

1 DAP生产工艺简介

公司24万t/a DAP装置于2003年建成，至今已投入运行22年，主要采用喷浆造粒工艺^[7]结

合固体原料的形式。中和槽中磷酸与液氨反应生成中和度为1.2的料浆，随后喷洒在造粒机内不断滚动的返料上。液氨由埋在料层下面的氨分布器送入，使料浆进一步中和，形成粒状磷铵物料。

磷铵物料送入干燥机与热风炉的热空气进行并流换热，经过工艺筛、成品筛、精品筛3次筛分后合格物料进入流化床装置冷却，然后进入包裹机进行包裹处理后进入散料库。大颗粒物料经链破机破碎后与返料和小颗粒物料通过主返料皮带返回造粒机进行二次造粒。干燥系统产生的粉尘经旋风除尘器后送入干燥洗涤系统，洗涤达标后排空。这样生产的产品具有颗粒圆润、强度高、不易粉化、颜色稳定等优点。

生产DAP/NPS产品时，在混合槽内定量添加S单质或微量元素，经过泵输送至中和槽，生产工艺流程如图1所示。

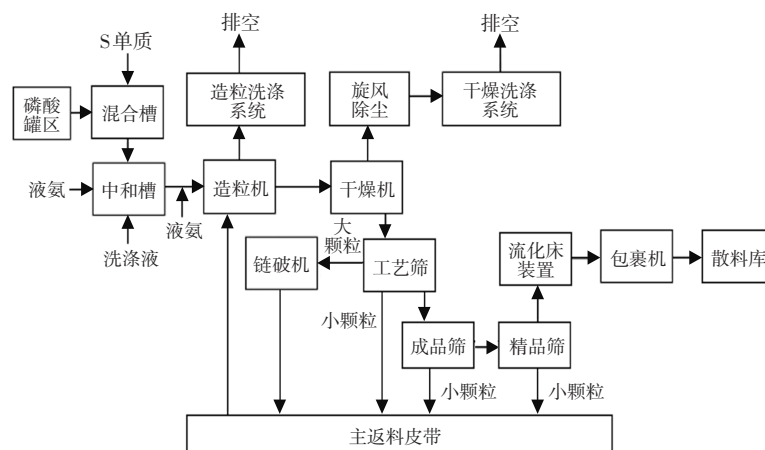


图1 DAP生产工艺流程

Fig. 1 Process flow of DAP production

2 技术改造内容

2.1 投料系统

公司24万t/a DAP装置无原料投料系统，根据装置生产能力，修建原料仓地坑及投料斗提机地坑，新增4个原料投料仓、1个返料仓、4台计量皮带和1条原料皮带。根据所需的生产配方，调整氨、酸中和反应过程，指导固体原料投入量，实现生产系统的产出与投入平衡，同时为确定后续产品包裹使用的油料配比提供参考数据^[8]。

原料计量皮带进行保温处理并增设保温装置，同时采用PLC控制（可编程逻辑控制），引信号进入DCS系统（分布式控制系统），有效提升自动化水平，满足工艺安全及生产安全要求。投料平台上每个锥形下料口左右两侧需增加隔断。在此基础

上，安装原料混合器1台，满足原料混配的需求，实现产品性能均一化。

投料系统的布置如图2所示。

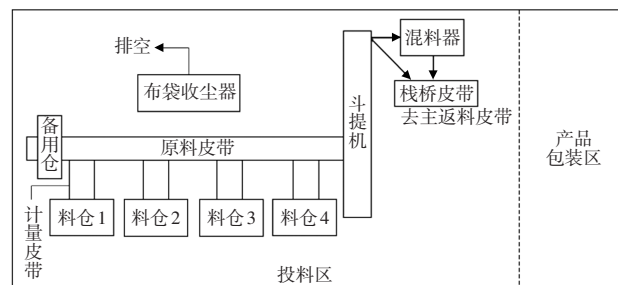


图2 投料系统的工艺流程

Fig. 2 Process flow of feeding system

2.2 除尘系统

在复合肥生产过程中，从原料投入到产品包

装,各工段均易产生大量粉尘颗粒^[9]。为了有效控制车间内的扬尘污染、改善员工的工作环境,并降低职业健康风险,公司增设1套布袋除尘系统。该系统将覆盖投料、筛分、破碎、输送和包装等多个工艺环节产生的扬尘,确保车间内粉尘能够被高效收集。

2.3 物料冷却系统

在DAP生产过程中,经筛分合格的产品进入流化床装置,与来自流化床底部的自然风进行换热,随后进入包裹机。然而,实际运行表明,流化床装置虽能基本满足产品降温需求,但由于冷却效果不充分,产品易发生结块现象^[10]。

此外,流化床装置风量较大,在运行负荷不匹配的情况下,尾气中会含有大量粉尘颗粒,必须经洗涤系统处理达标后方可排放。

为此,公司选用处理能力60万t/a的固体无尘冷却技术来替代传统的流化床装置。

固体无尘冷却装置采用脱盐水作为冷却介质,将筛分合格的物料与来自凉水塔的循环水在装置中进行间壁式换热。物料依靠重力缓慢流经自落式换热板组合塔通道,延长冷却时间,冷却充分,不易产生粉尘^[11-12]。除湿后的干燥空气介入,降低物料含湿量及露点温度,防止冷却板上结露、结块。无尘冷却工艺流程如图3所示。这种无尘冷却器技术不仅能有效保障冷却效果,还比现有冷却系统节能85%。

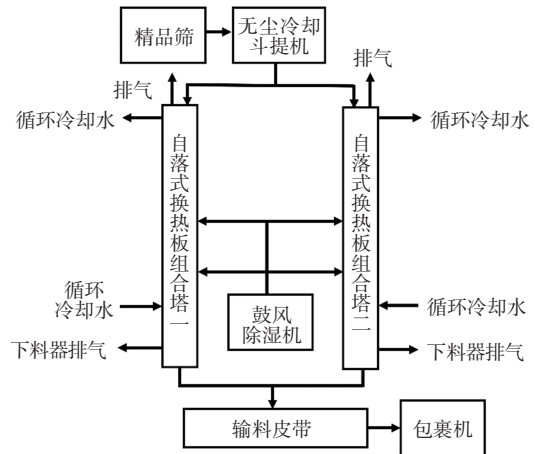


图3 无尘冷却工艺流程

Fig. 3 Process flow of dust free cooling

2.4 产品输送系统

24万t/a DAP装置经冷却包膜后的产品原工艺为经皮带输送进入散料库堆存,因高浓度复合肥产品吸湿性较强,散料库堆存的物料短时间内就出现吸潮、粉化等现象。

因此,在成品皮带末端增加末级筛分机,粒子经筛分后经过溜管进入成品仓,不再入散料库。采用产品直包,缩短物料输送路径,有效解决在输送及堆存过程中产生的粒子破损、吸潮、粉化等现象。

3 技改后硫基复合肥的生产工艺流程

24万t/a DAP装置技改生产硫基复合肥工艺流程如图4所示。

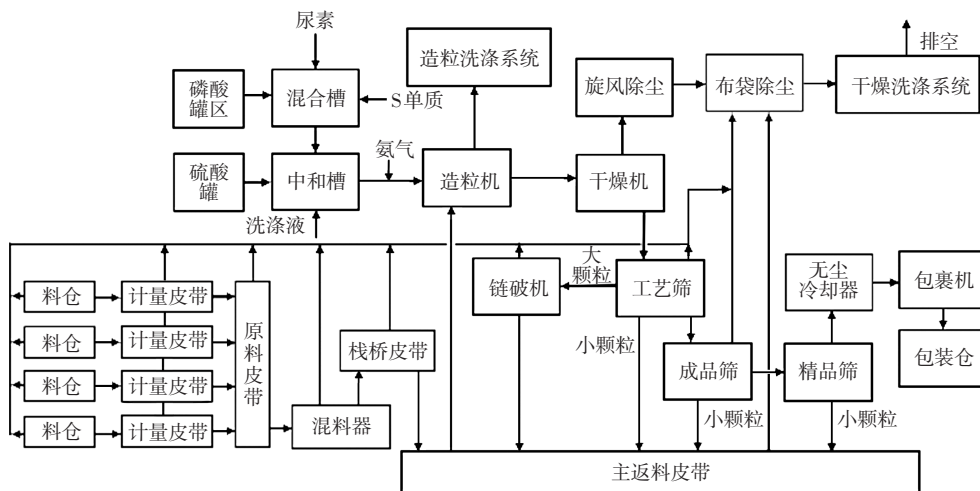


图4 DAP装置技改生产硫基复合肥工艺流程

Fig. 4 Process flow of sulfur-based compound fertilizer production with DAP plant after technical transformation

3.1 物料走向

根据硫基复合肥产品的配方,将所需原料称量后送入原料皮带,然后输送至混料器内进行混合。

混合后的原料经过栈桥皮带送至主返料皮带,与系统中的返料一起进入造粒机,形成均匀的料层。

S单质、尿素与磷酸在混合槽中混合后,经泵

输送至中和槽与硫酸混合。混合后的物料进入管式反应器，与液氨发生反应，随后喷洒到造粒机的料床上进行造粒。造粒后物料通过干燥机与来自热风炉的热空气并流换热后形成半成品， $w(\text{H}_2\text{O})$ 为 1.8%~2.5%。

物料经三级筛分后，合格颗粒进入无尘冷却器进行冷却，随后送入包裹机进行处理，最后完成包装。筛分出的大颗粒经过链破机破碎后，与小颗粒、返料一同通过主返料皮带返回造粒机进行二次造粒。

3.2 气相走向

在造粒机内，由于氨酸在管式反应器中的反应过程剧烈，释放出大量热量，水分、少量氨气和氟化物气体蒸发逸出。这些气体经造粒尾气风机一同送入造粒洗涤系统，充分吸收氨气和粉尘后进行排放。

在干燥过程中，气相主要由含水蒸气的热空气和物料粉尘组成。干燥机出口尾气首先经过旋风除尘器进行一级除尘，随后进入布袋除尘器进行二级除尘，最后由风机送入干燥洗涤系统进行洗涤后排空。

物料在计量、筛分、破碎、皮带输送等环节产生的粉尘，通过布袋除尘器除尘后，气体直接排空。

两级除尘器收集的粉尘作为返料，返回造粒机进行二次造粒，从而实现资源的循环利用。

4 改造后的生产效果

4.1 复合肥技术指标

通过对 24 万 t/a DAP 装置实施技术改造，使其成功具备了生产复合肥的能力。该装置于 2024 年 6 月试生产，目前已成功生产出 17-17-17 硫基型、15-15-15 硫基型、16-9-23 硫基型等多种复合肥产品，有效满足市场需求并丰富了产品结构。

截至 2025 年 4 月，投料系统调试后，24 万 t/a 复合肥包装产品超养分从 2024 年的每月 28.40 t 降至 9.07 t，降低了 19.33 t，降低了 68.06%，超养分控制水平显著提高，有效减少了养分浪费。

无尘冷却器投用后，产品进入包裹机温度从 50℃ 降至 35℃ 左右，生产线年均一次合格率提升 27.43 个百分点（由 2024 年的 52.31% 提升至 2025 年的 79.74%），产品合格率显著提高。

4.2 尾气指标

布袋除尘系统投用后，2025 年尾气中颗粒物平均质量浓度降低至 12.60 mg/m^3 ，较 2024 年的 70.03 mg/m^3 显著降低，有效减少复合肥生产过程中

的粉尘逸出，从而消除潜在环保风险，保证生产清洁环保，并降低工人患职业病风险。

4.3 边际贡献

边际贡献是管理会计中的核心概念之一，指销售收入扣除变动成本后的余额，是衡量产品盈利能力与决策价值的关键指标^[13]。将边际贡献分析应用于复合肥生产，是企业实现精准盈利管控的核心工具。

产品年度边际贡献变化如图 5 所示，由图 5 可知，2025 年硫基型复合肥（17-17-17）与 57% 磷酸二铵的边际贡献值较 2024 年显著下降，而 64% 磷酸二铵的边际贡献则呈现出较大幅度的增长，增长率为 78.87%。

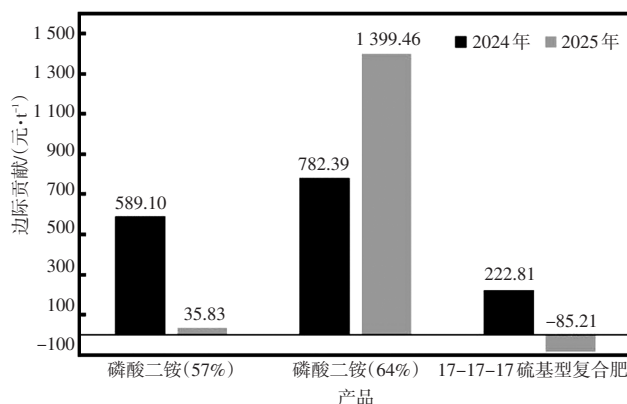


图5 产品年度边际贡献变化

Fig. 5 Annual marginal contribution change of product

在此背景下，企业依托其 24 万 t/a DAP 装置的柔性生产能力，能够根据市场需求灵活调整产品结构，实现硫基复合肥与磷酸二铵之间的快速转产，从而高效响应市场变化，优化产品组合，最终推动整体利润最大化。

5 结论

通过对 24 万 t/a DAP 装置实施适应性技术改造，既保留了原有磷酸二铵系列产品的稳定供应能力，又新增了生产各类硫基复合肥产品的工艺，提升了产品一次合格率，降低了粉尘排放，增强了市场响应能力，达到多元化生产和磷资源合理利用的目标。这一关键升级，为公司推动产品结构优化、加速业务转型升级，实现产品线的全面升级换代，奠定了坚实的技术与产能基础。

[参考文献]

- [1] 张康洁,于法稳.“双碳”目标下农业绿色发展研究:进展与展望[J].中国生态农业学报(中英文),2023,31(2):214-225.
ZHANG K J, YU F W. Research on green agricultural

- development under the dual-carbon goal: Review and perspectives [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023, 31(2): 214-225.
- [2] 李玉峰. 复合肥生产工艺综述[J]. 攀枝花学院学报, 2002, 19(5): 83-85.
- [3] 马保存, 邹扬. 硫基复合肥生产难点与解决措施[J]. 磷肥与复肥, 2022, 37(9): 20-21.
MA B C, ZOU Y. Production difficulties and solutions of sulfur based compound fertilizer[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(9): 20-21.
- [4] CAMPBELL W H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1999, 50(1): 277-303.
- [5] JAMAL A, MOON Y S, ABDIN M Z. Sulphur-a general overview and interaction with nitrogen [J]. Australian Journal of Crop Science, 2010, 4(7): 523-529.
- [6] 汪家铭. 硫基复合肥生产及市场现状[J]. 小氮肥设计技术, 2006, 27(2): 53-54.
- [7] 王磊. 利用料浆法磷酸铵生产装置生产三元复合肥[J]. 化肥工业, 2018, 45(4): 13-16.
WANG L. Production of NPK Compound Fertilizers in Ammonium Phosphate Unit with Slurry Concentration Process [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2018, 45(4): 13-16.
- [8] 祁维军. 复合肥装置皮带秤误差分析及解决措施[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(2): 89-90.
QI W J. Error Analysis and Solution of Belt Scale in Compound Fertilizer Plant [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2020, 46(2): 89-90.
- [9] 赵建勇, 蒋世国. 布袋除尘器在复合肥尾气处理中的应用[J]. 磷肥与复肥, 2018, 33(11): 48-50.
ZHAO J Y, JIANG S G. Application of bag filter in tail gas treatment of compound fertilizer [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2018, 33(11): 48-50.
- [10] 赵江华. 磷酸二铵装置冷却系统板式冷却技术改造[J]. 磷肥与复肥, 2020, 35(9): 19-20.
ZHAO J H. Technical transformation of DAP plant cooling system with plate cooling technology [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2020, 35(9): 19-20.
- [11] 王平飞. 固体无尘冷却器在磷酸二铵生产中的应用[J]. 肥料与健康, 2020, 47(1): 54-56.
WANG P F. Application of Solid Dust-Free Cooler in Production of Diammonium Phosphate [J]. Fertilizer & Health, 2020, 47(1): 54-56.
- [12] 周勇, 廖吉星, 吴有丽, 等. 100 kt/a 高氮型复合肥装置无尘冷却技术研究[J]. 磷肥与复肥, 2016, 31(11): 16-17.
ZHOU Y, LIAO J X, WU Y L, et al. Study on dust free cooling technology for 100 kt/a high nitrogen compound fertilizer [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016, 31(11): 16-17.
- [13] 张平. 边际贡献分析法在生产经营中的应用[J]. 统计与信息论坛, 2001, 16(4): 23-26.
ZHANG P. Marginal Contribution Analysis in Production and Operation [J]. Statistics and Information Forum, 2001, 16(4): 23-26.
- ~~~~~
- (上接第29页)
- [7] 周小厚. 湿法磷酸制备高浓度氮磷钾悬浮肥及其流变性能研究[D]. 成都: 四川大学, 2021.
ZHOU X H. Preparation of fully water-soluble suspension fertilizer by wet phosphoric acid and its rheological properties[D]. Chengdu: Sichuan University, 2021.
- [8] 卢飞. 一种液体肥料的制备及其在康乃馨和一叶兰上的施用效果[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
LU F. Preparation of a Liquid Fertilizer and Its Application Effect on Carnation and Aspidistra Elatior[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022.
- [9] 桑文, 赵亚光, 张霖峰, 等. 化肥减量配施有机液体肥对加工番茄生长及土壤酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(2): 53-60.
SANG W, ZHAO Y G, ZHANG J F, et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with organic liquid fertilizer on processed tomato growth and soil enzyme activity[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021(2): 53-60.
- [10] 李建峰, 杨延龙, 马超, 等. 施用含不同磷源和腐殖酸液体肥料对棉花生长发育和磷肥利用率的影响[J]. 肥料与健康, 2023, 50(4): 38-43.
LI J F, YANG Y L, MA C, et al. Effects of Applying Liquid Fertilizers Containing Different Phosphorus Sources and Humic Acid on Cotton Growth and Phosphorus Fertilizer Utilization Efficiency[J]. Fertilizer & Health, 2023, 50(4): 38-43.
- [11] 马红红, 吴湘琳, 蒲胜海, 等. 液体肥施用对滴灌棉田土壤无机氮素转化的影响[J]. 西北农业学报, 2025, 34(1): 153-160.
MA H H, WU X L, PU S H, et al. Effect of Liquid Fertilizer Application on Soil Inorganic Nitrogen Transformation in Drip Irrigation Cotton Fields [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2025, 34(1): 153-160.
- [12] 郝先哲. 有机液体肥施用量对棉花产量及养分利用效率的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2021.
HAO X Z. Effects of Organic Liquid Fertilizer Application Rate on Cotton Yield and Nutrient Utilization Efficiency [D]. Shihezi: Shihezi University, 2021.
- [13] 徐柠. 腐植酸型碱性液体肥料及其应用效果研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
XU N. Effects of Alkaline Humic Acid Liquid Fertilizer on Banana Growth and Soil Fertility [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018.
- [14] 付洋. 海藻液体肥制备工艺研究及肥效初探[D]. 福州: 福建师范大学, 2018.
FU Y. Studies on the Preparation Technology and Preliminary Manurial Efficiency of Seaweed Liquid Fertilizer [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2018.
- [15] 李建峰, 孙文广, 郑继亮. 浅谈聚磷酸铵在液体肥料生产中的应用[J]. 新疆农业科技, 2021(4): 19-20.