多功能磷肥装置转产高氮复合肥关键技术改造与效果分析

郭家军[1]，王采艳[2]，陈　梅[2]，李小波[1]

（1. 贵阳开磷化肥有限公司，贵州 贵阳　551109；2. 贵州开磷集团股份有限公司，贵州 贵阳　550300）

［摘　要］针对贵阳开磷化肥有限公司200 kt/a多功能磷肥装置转产高氮复合肥时出现的原料投料不精准、干燥机结壁严重、筛分机糊网、成品温度偏高和产能偏低问题，开展系统性技术改造。通过原料投料系统优化、干燥机抄板结构优化、筛分机选型升级和增设二级冷却系统，有效解决高氮复合肥生产瓶颈，产量提升了50%，产品一次合格率达到88%以上，成品$w(H_2O)$控制在2%以下，颗粒强度由30 N提升到约42 N，装置运行可靠性与经济性大幅度提高，满足高氮复合肥连续化、规模化的生产需求。

［关键词］多功能磷肥装置；高氮复合肥；技术改造

［中图分类号］TQ444　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2026）08-0047-06

Technological transformation and operation effect of high-nitrogen compound fertilizer retrofit for multi-functional phosphate fertilizer plant

GUO Jiajun[1], WANG Caiyan[2], CHEN Mei[2], LI Xiaobo[1]

(1. *Guiyang Kailin Chemical Fertilizer Co., Ltd., Guiyang* 551109, *China*;
2. *Guizhou Kailin Group Co., Ltd., Guiyang* 550300, *China*)

Abstract: In response to the problems encountered during the conversion of the 200 kt/a multi-functional phosphate fertilizer plant of Guiyang Kailin Chemical Fertilizer Co., Ltd. to produce high-nitrogen compound fertilizers, such as inaccurate raw material feeding, severe caking of the dryer, clogged screens of the screening machine, high finished product temperature and low production capacity, a systematic technical transformation is carried out. Through optimizing the raw material feeding system, improving the structure of the dryer's scraper plates, upgrading the screening machine's selection, and adding a secondary cooling system, the production bottlenecks of high-nitrogen compound fertilizers are effectively solved. The output is increased by 50%, the product first-pass qualification rate reaches over 88%, the $w(H_2O)$ of the finished products is controlled below 2%, the particle strength is increased from 30 N to 42 N, the operational reliability and economic efficiency of the plant are significantly improved, meeting the continuous and large-scale production demand for full-load high-nitrogen compound fertilizers.

Key words: multi-functional phosphate fertilizer plant; high-nitrogen compound fertilizer; technical transformation

0　引言

国内磷复肥行业正加速向高浓度、高氮型、多元化、专用化方向转型升级，传统多功能磷肥装置受限于原始工艺设计与固有设备配置，在转产高氮复合肥生产过程中，普遍存在工艺匹配度不足、关键设备故障率高、产能不足、产品质量难以达标等突出问题[1]。贵阳开磷化肥有限公司（以下简称公司）现有200 kt/a多功能磷肥装置，原设计生产磷酸二铵（DAP）、重过磷酸钙（重钙）等产品，装置改产氯基型高氮复合肥后，原料投料、干燥、分级筛分、成品冷却等核心工序运行工况大幅度恶化。主要痛点集中在：原料投料系统配置不完善、回转干燥机结疤频发、筛分设备糊网堵塞严重、成品冷却工况不达标，直接造成装置实际产能偏低、产品

收稿日期：2026-06-03

作者简介：郭家军（2000—　），男，贵州遵义人，助理工程师，主要从事化工生产管理工作。

合格率下滑、生产运行成本居高不下，严重削弱了装置市场适配能力与综合经济效益。

为破除生产瓶颈、实现老旧装置柔性转产与提质增效目标，本次技术改造遵循优化原料投料、强化干燥工况、畅通分级筛分、完善成品冷却的总体思路，针对投料、干燥、筛分、冷却四大核心系统开展专项升级优化。通过系统性解决高氮复合肥生产中的关键制约短板，重构工艺流程适配性与设备运行稳定性，可为国内磷复肥行业同类老旧磷肥装置转产高浓度、高氮复合肥提供成熟可复制的工程实践案例与技术借鉴。

1 原装置生产工艺简介及存在的主要问题

1.1 原装置生产工艺简介

公司 200 kt/a 多功能磷肥装置具备柔性生产能力，可根据市场需求及生产调度灵活生产磷酸二铵与重钙产品。

受重钙市场订单持续萎缩影响，装置现阶段以磷酸二铵为主要生产品类。在转产生产 DAP、NPS 及 NKP 等系列产品时，整体工艺流程如下：生产前按照产品质量指标要求，各类原辅材料经人工计量、搅拌均匀后，送入原料仓；原料仓物料卸料到原料汇总皮带机，由皮带输送至造粒机。

同时，配酸槽输送的混合料浆与氨站供给的液氨一同进入管式反应器进行充分反应混合，形成反应料浆后喷淋至造粒机料床，完成喷浆造粒[2]。

造粒后的物料送入干燥机脱水固化，再由干燥斗提机输送至两级筛分设备进行粒度分级，筛分出的大块粗物料经链式破碎机破碎后，汇入主返料皮带机。筛分出的细粉料及收尘系统收集的粉尘，通过输送管道一并送入主返料皮带机全部作为返料回流至造粒机参与二次造粒。

两级筛分后的合格中间半成品物料，经溜槽进入斗提机，提升送至三级筛再次分级，合格物料进入无尘冷却器完成降温处理。冷却后的物料由成品斗提机输送至成品筛精筛，随后送入包裹机进行包膜改性，最终输送至散料库堆存库。其生产工艺流程如图 1 所示。

当生产重钙时，前工段混合、化成和熟化具有

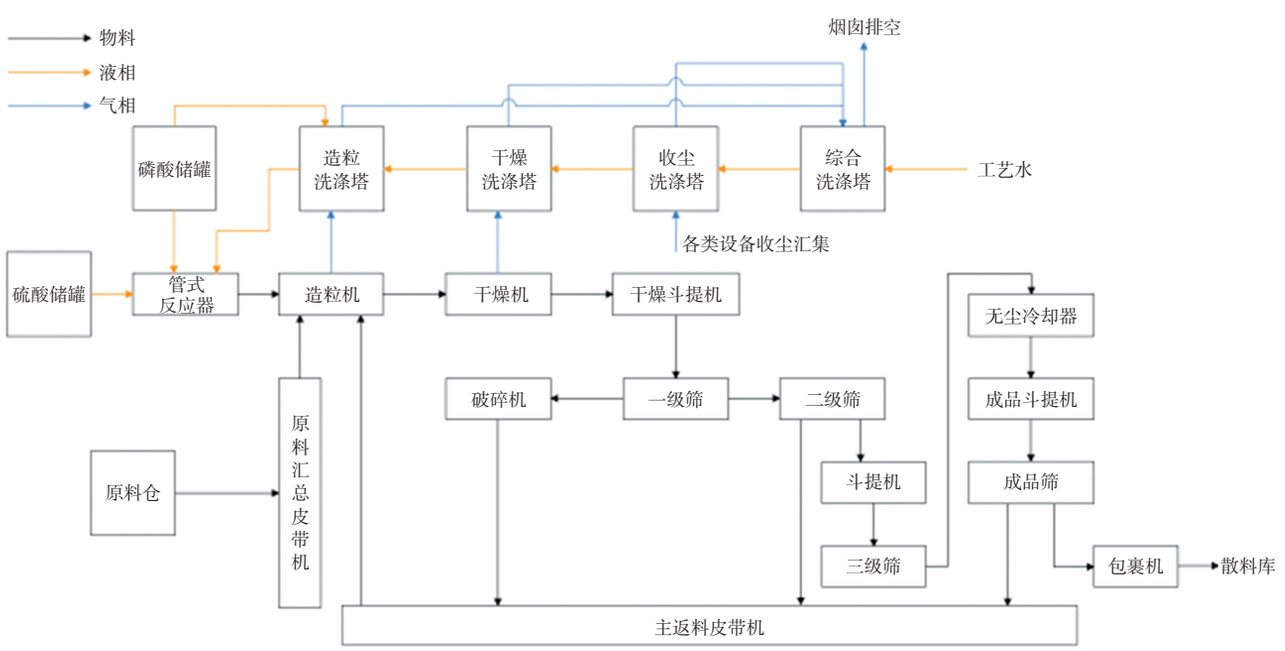

图 1 改造前装置工艺流程

Fig. 1 Production process flow of the plant before modification

独立的系统，熟化期满后将其中过高的游离磷酸用中和剂中和，再投入原料仓通过原料汇总皮带机送入造粒机无氨造粒，其后工艺流程与 DAP 生产流程相同[3]。

1.2 生产高氮肥时存在的主要问题

本装置在高氮肥生产期间，设备与工艺不适配问题突出，主要表现如下。

（1）投料系统：当前原料投料环节仍采用人工称量、人工预混合、人工投料的传统作业模式，全程依赖人工操作。一方面，人工称量难以精准控制原料配比，配料精度无法满足高氮肥生产的工艺要求，直接影响产品均一性；另一方面，人工操作不仅大幅度增加岗位劳动强度，而且作业过程中还存在物料粉尘接触、投料操作失误等隐患，带来显著

的安全生产风险与职业健康危害。

（2）干燥系统：装置配套干燥设备采用勺斗型抄板结构，该结构与高氮肥物料理化特性适配性较差。生产过程中物料极易黏附在设备内壁及抄板上，出现严重的结疤现象，且结块紧实难以自然脱落。为保障物料干燥效果，每周需强制停机清理，单次清理时间不少于2 d，频繁停机检修大幅度压缩有效生产时间，严重限制装置整体产能的充分释放。

（3）筛分系统：装置原配置高频振网式筛分机，物料携带的高温水在筛分过程中会快速冷凝液化，导致筛网表面持续黏附物料、形成厚重敷料，堵塞筛网孔隙。同时该设备不具备在线清理功能，筛网敷料问题无法及时解决，直接降低筛分效率与筛分精度，影响后续工序正常运行。

（4）冷却系统：二次筛分后的成品物料仅通过板式无尘冷却器单一设备进行冷却，冷却能力不足。尤其夏季高温环境下，冷却后成品温度仍≥46 ℃，无法达到合格成品温度标准；同时板式冷却器自身结构易导致物料吸潮贴壁，进一步引发成品粉化、结块等质量问题，大幅度提升产品不合格风险。

综合以上因素，装置平均日产能仅360 t，无法满足规模化稳定生产需求，且存在产品指标波动大、一次合格率低、装置运行负荷低等问题，亟须通过系统性技术改造予以解决。

2　核心技术改造方案

本次改造以“优投料、强干燥、畅筛分、冷成品”为总体思路，对关键设备与工艺流程进行全面优化。

2.1　原料投料系统优化

本装置改造前，原料配料全程采用人工称量、人工投料模式，仅设置单个原料投料仓。对于复合肥生产而言，配料精度是保障产品养分达标的核心关键因素之一[4]。同时原有人工投料方式作业扬尘量大、现场安全风险高，不仅污染生产环境，还对岗位人员职业健康与操作安全构成较大隐患，有研究显示，磷肥生产单元进料岗位作业危害程度为Ⅰ级，属于职业病危害风险严重岗位[5]。

针对以上短板，本次对原料投料及配料系统进行专项优化升级：首先是新增4个专用原料投料仓，每个料仓下方配套设置1台计量皮带机，实现各类原料独立精准定量给料，从源头提升配料配比精度，保障成品养分指标稳定合格。需要特别注意的是，因现场物料特性会导致计量皮带黏料严重，皮带往一边跑进而导致称量不准，所以要重视平时维护保养，维护岗位要制定检维修计划，进行周期性维护[6]。

其次是4台计量皮带机物料统一汇送至原料汇总皮带机，并在汇总皮带机中段增设原料混合机，使多种原料充分混匀后再送入造粒机进行造粒作业，进一步提升物料均质性与造粒工况稳定性。最后是配套增设密闭收尘管道，分别对接各原料投料仓及计量皮带机下料产尘点，实现有组织集尘，有效抑制无组织扬尘，显著改善现场作业环境，降低职业健康危害与安全隐患。

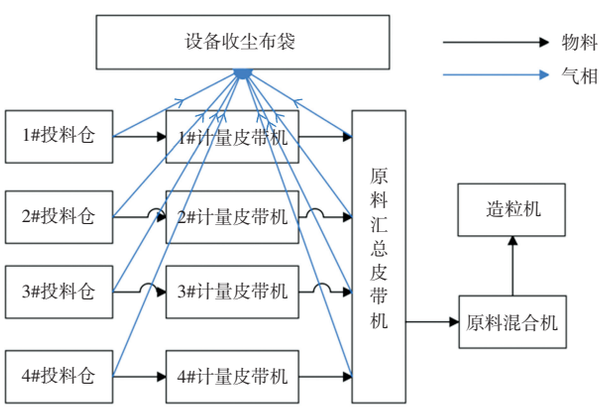

图2　原料投料系统优化后工艺流程

Fig. 2　The optimized process flow of the raw material feeding system

2.2　干燥机内部优化

在高氮肥生产过程中，物料在干燥机内烘干时极易黏附筒壁，结疤问题已成为制约装置产能提升的关键瓶颈。为有效解决这一制约因素，保障干燥效率与连续运行，本次针对性改造措施如下。

（1）扬料系统结构优化：将原干燥机内部配置的勺斗型抄板整体更换为爪型扬料板。通过改进扬料板结构，显著提升物料在筒体内的抛撒均匀度，扩大物料与热风的接触面积，强化热交换效率，从源头上减少物料因堆积、滞留而产生的黏壁现象[7]。

（2）振打清堵系统强化：原干燥机仅在筒体中部布置4组共计28个振打锤，清堵范围有限、效果不足。本次改造在原有基础上新增10组振打锤（见图3），并按工艺要求均匀布置于干燥机筒体前部、中部、后部各关键点位，实现全筒体范围的有效振打，进一步减轻和预防物料在筒壁结疤，保障干燥机长期稳定运行[8]。

2.3　筛分机更换

装置原有筛分设备采用高频振网式筛分机，在

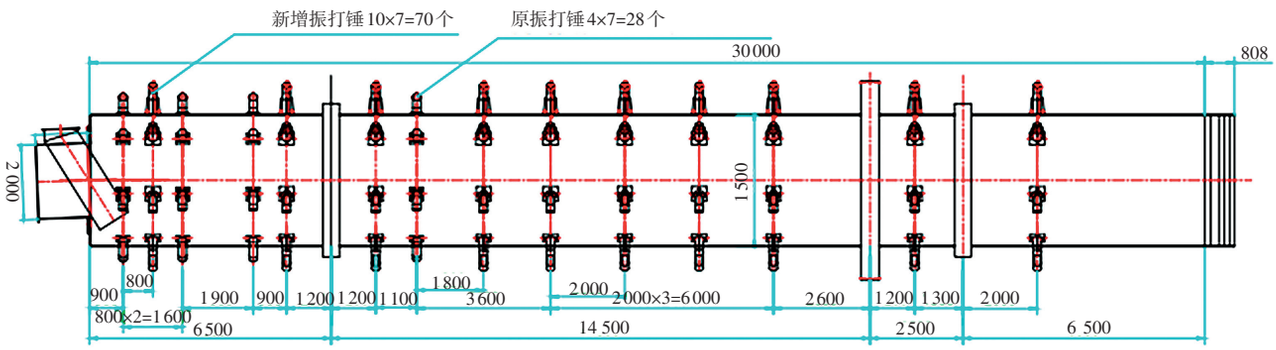

图 3　干燥机振打锤布置

Fig. 3　Layout drawing of dryer vibrating hammers

高氮复合肥生产工况下，物料温度高、黏性大，振网筛极易出现热筛糊网、黏网堵塞问题，直接造成筛分效率大幅度下降[9]，制约装置连续稳定运行。

针对筛分工序瓶颈，本次实施专项改造：将一级粗筛原有高频振网筛更换为滚筒筛，同时配套优化筛分机架、进出料斗及除尘风管结构。

滚筒筛对高含水、强黏性物料的适应性远优于高频振网筛，具备结构简洁、运行平稳、故障率低、密封性能好、粉尘管控效果佳等优势，更适配高氮复合肥生产工况。改造后可显著减少筛网糊堵频次，保障筛分过程连续稳定，彻底破解高氮复合肥生产中的筛分瓶颈制约。

2.4　新增二次冷却系统

装置原工艺流程物料仅经过一次冷却，但一次冷却后物料温度夏季高达 55 ℃，在后续流程中易吸潮引发质量风险[10]，此次改造重构冷却工艺流程：将现二级筛下料口旁路接入冷却机，新增冷却出口斗提机和冷却皮带机，由冷却皮带机接入原斗提机，后续沿用原流程。

改造后装置生产工艺流程见图 4。

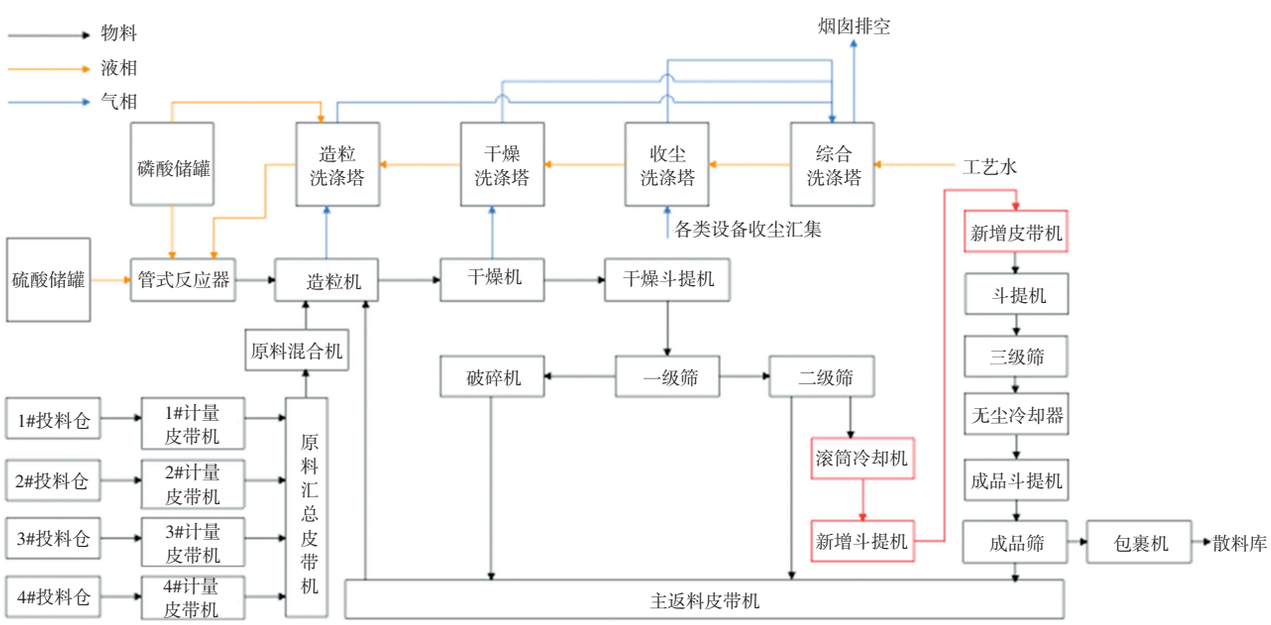

图 4　改造后装置生产工艺流程

Fig. 4　Production process flow of the plant after transformation

3　改造后效果

3.1　清理强度降低

干燥机清理周期由每周 1 次延长至每月 1 次，每次停机清理时间为 2 d；筛分设备密封性好，有自清功能，清理周期由每班 1 次延长至每月 1 次，生产现场环境得到显著改善。

3.2　产量提升

改造前装置生产高氮复合肥平均日产量为 360 t，通过对干燥机、筛分机的改造，2026 年 3 月至 2026 年 4 月，连续 30 d 的实际产量如图 5 所示。除去生

产过程中其他因素导致停机的时间，正常生产时平均日产量已达543 t，产量提升了50%。目前已成功生产的高氮复合肥产品有18-18-18氯基型、20-10-15氯基型、20-8-10氯基型、20-9-9氯基型，多元化产品结构满足了市场需求。

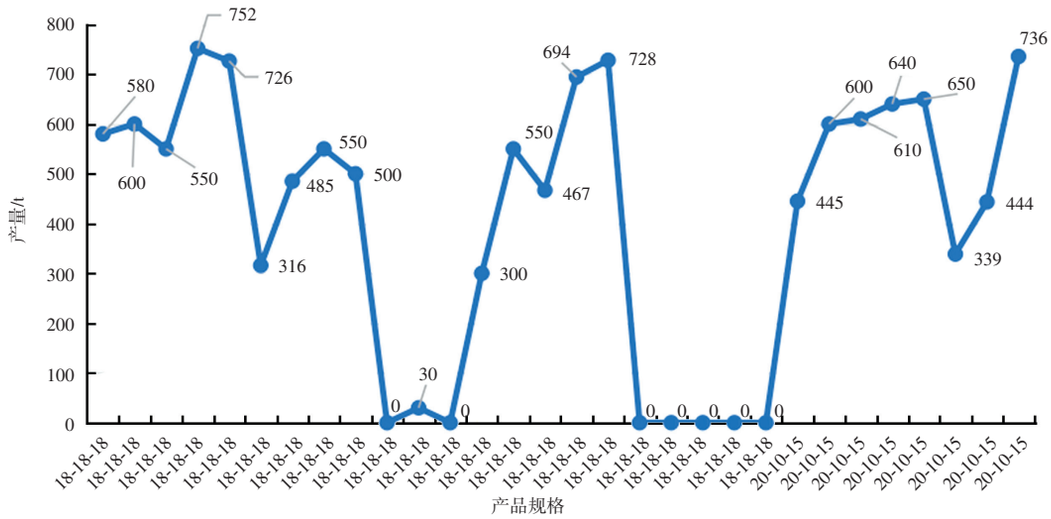

图5　装置改造后连续30 d高氮复合肥日产量

Fig. 5　Daily output of high-nitrogen compound fertilizer for 30 consecutive days after device transformation

3.3　质量提升

原料投料工序优化提高了配料精准度，从质量源头严格把关。干燥机抄板更换和新增振打锤精准适配高氮肥物料特性，改造后烘干能力显著提升。冷却系统重构减轻产品吸潮、粉化等问题，加强中间过程质量管控。如图6、图7、图8所示，通过上述改造，产品一次合格率达到88%以上，较改造前提升了20百分点；成品$w(H_2O)$稳定控制在2%以下；粒子圆润度提高、平均强度由30 N提升至约42 N，产品综合竞争力大幅度提升。

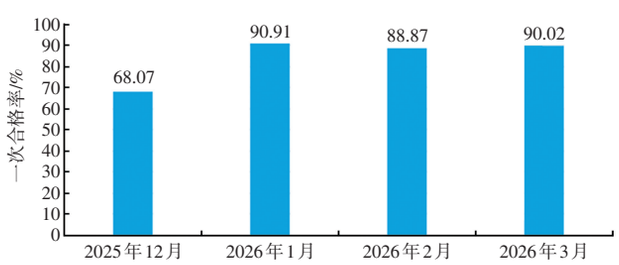

图6　改造前后产品一次合格率

Fig. 6　Primary qualification rate before and after transformation

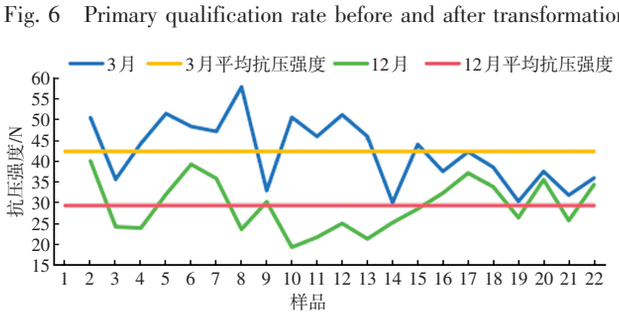

图7　2025年12月与2026年3月成品粒子抗压强度对比

Fig. 7　Comparison of particle compressive strength on December 2025 and March 2026

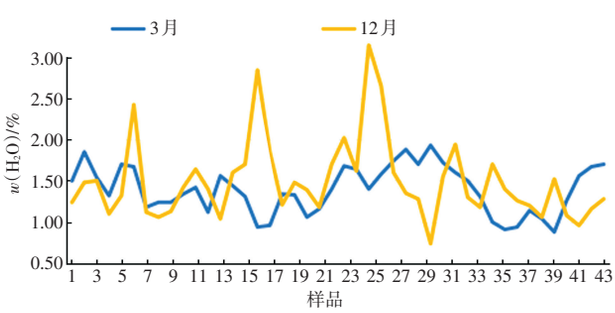

图8　2025年12月与2026年3月成品水分对比

Fig. 8　Comparison of finished product moisture content on December 2025 and March 2026

4　结论与展望

本次200 kt/a多功能磷肥装置转产高氮复合肥技术改造，精准聚焦原生产高氮复合肥过程中存在的产能受限、工况不稳定、产品品质不佳等核心痛点问题。项目针对性落地四大核心优化改造举措，分别完成原料投料系统工艺优化、干燥机设备结构升级、老旧筛分设备整体更换升级、新增物料二次冷却工艺流程，技改完成后整套生产装置的工艺适配性与运行稳定性大幅度提升，满足高氮复合肥连续化、规模化的生产需求。后续生产将持续推进生产线智能化升级改造，依托自动化控制系统，动态优化生产工艺参数，持续深化装置生产全过程的精细化、标准化管控，进一步提升高氮复合肥产品品质与生产稳定性，强化产品核心市场竞争力，为企

业提质增效、高质量可持续发展提供坚实的技术支撑。

[参考文献]

[1] 黄安智.大型磷酸二铵装置改产NPK复合肥的技术探讨[J].磷肥与复肥,2016,31(11):14-15.
Huang Anzhi. Dircussion on technology of NPK compound fertilizer for large-scale diammonium phosphate plant [J]. Phosphate & Compound Fertilizer,2016,31(11):14-15.

[2] 白涛.磷铵装置的技术改造[J].磷肥与复肥,2004,19(2):41-43.
Bai Tao. Revamping of AP plant [J]. Phosphate & Compound Fertilizer,2004,19(2):41-43.

[3] 黄世刚,张红映.TPM在瓮福DAP装置上的应用[J].石油和化工设备,2005(5):43-45.

[4] 荆云峰.15万t/a转鼓复合肥装置改造总结[J].磷肥与复肥,2017,32(3):13-15.
Jing Yunfeng. Summary on transformation of 150 kt/a compound fertilizer plant by drum granulating[J]. Phosphate & Compound Fertilizer,2017,32(3):13-15.

[5] 周天文,张恒东.某磷肥复合肥制造企业职业病危害现状评价[J].职业与健康,2016,32(13):1735-1739,1743.
Zhou Tianwen, Zhang Hengdong. Present situation evaluation of occupational hazards in a phosphate compound fertilizer manufacturing Enterprise [J]. Occupation and Health, 2016, 32(13):1735-1739,1743.

[6] 祁维军.复合肥装置皮带秤误差分析及其解决措施[J].化工设计通讯,2020,46(2):89-90.
Qi Weijun. Error Analysis and Solutions of Belt Scale in Compound Fertilizer Plant [J]. Chemical Engineering Design Communications,2020,46(2):89-90.

[7] 曾贞,刘伟.尿基复合肥转筒干燥机内物料滞留的影响因素[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(11):40-44.
Zeng Zhen, Liu Wei. Affecting factors of material retention in rotary dryer of urea-based compound fertilizer[J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering,2024,39(11):40-44.

[8] 许洪兴.复合肥干燥机防粘壁技术[J].磷肥与复肥,2007,22(1):46-47.
Xu Hongxing. Anti-wall scaling technique for compound fertilizer drying[J]. Phosphate & Compound Fertilizer,2007,22(1):46-47.

[9] 王海川,杨振军.尿基复合肥筛网糊筛的原因分析[J].化肥工业,2015,42(1):13-14.
Wang Haichuan, Yang Zhenjun. Analysis of Causes for Paste Screen of Screen for Urea-Based Compound Fertilizers [J]. Chemical Fertilizer Industry,2015,42(1):13-14.

[10] 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 Yong, Liao Jixing, Wu Youli, et al. Study on dust free cooling technology for 100 kt/a high nitrogen compound fertilizer plant[J]. Phosphate & Compound Fertilizer,2016,31(11):16-17.

（上接第46页）

（5）年减少P_2O_5损失约2 304 t，年直接经济效益1 404万元，为企业创造了显著经济效益。同时磷石膏品质提升为下游资源化利用提供了保障。

7.2 创新点

（1）将MgO的“SO_3当量浓度”概念系统应用于二水湿法磷酸的新反应体系构建，建立了杂质含量与SO_3浓度的定量关系。

（2）将Aspen Plus用于二水湿法磷酸多反应室、多加入点的分支比例全局优化，并完成了基础工况、最大负荷和技改方案的多层次优化。

（3）设计了七室反应槽技改方案，预测w(非水溶性磷）可低至0.30%，为未来改造提供了明确方向。

7.3 展望

（1）高负荷下合格率有待提高，需进一步优化分支比例并引入自动控制。

（2）研究成果可推广至其他湿法磷酸企业，特别是处理中低品位磷矿的装置。

（3）探索半水-二水法工艺，从根本上降低磷石膏中磷含量。

[参考文献]

[1] 钟剑锋,陈葵,朱家文,等. 湿法磷酸熔融结晶的静态与悬浮过程研究[J].化工矿物与加工,2015(4):18-21.
Zhong Jianfeng, Chen Kui, Zhu Jiawen, et al.Research on melt-crystallization of phosphoric acid in static and suspension process[J].Industrial Minerals & Processing,2015(4):18-21.

[2] Rashad A M. Phosphogypsum as a construction material: A review[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 166: 732-743.

[3] 唐向阳,何新建,谢陈鑫,等.磷石膏资源化研究现状及展望[J].无机盐工业,2025,57(6):18-26.
Tang Xiangyang, He Xinjian, Xie Chenxin, et al. Research status and prospects of phosphogypsum resource utilization[J].Inorganic Chemicals Industry,2025,57(6):18-26.

[4] 国家发展和改革委员会.关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见[Z].2021.

[5] 中华人民共和国工业和信息化部.磷石膏综合利用行动方案[Z].2023.

[6] 宁廷建,彭家惠,李美.湿法磷酸工艺对磷石膏中残磷含量的影响[J].贵州化工,2011,36(2):23-26.
Ning Tingjian, Peng Jiahui, Li Mei. Effect of Wet-process Phosphoric Acid Technology on the Residual Phosphorus Content in Phosphogypsum[J]. Guizhou Chemical Industry,2011,36(2):23-26.

[7] 贺雷,朱干宇,郑光明,等.湿法磷酸体系磷石膏结晶过程与机理研究[J].无机盐工业,2022,54(7):110-116.
He Lei, Zhu Ganyu, Zheng Guangming, et al.Study on crystallization process and mechanism of phosphogypsum in wet process phosphoric acid system[J].Inorganic Chemicals Industry, 2022,54(7): 110-116.

[8] 刘代俊,蒋文伟.磷化工工艺学[M].北京:化学工业出版社,2019.