

◆减污降碳协同与资源全元素高效利用◆

磷铵浓缩装置与喷浆复合肥装置联产颗粒氮磷
二元肥

李先亮, 张广忠, 严东宁, 闫涛, 李文玉, 李洪强, 李虎

(松滋史丹利宜化新材料科技有限公司, 湖北 荆州 434200)

[摘要] 工业磷酸一铵生产过程中会产生大量渣浆, 并且史丹利农业集团股份有限公司对58%以上的粉状磷酸一铵需求量较大, 为满足相关需求, 提高粉状磷酸一铵产品的养分, 渣浆的消纳成为亟须解决的难题。松滋史丹利宜化新材料科技有限公司根据现场装置实际状况, 采用磷铵浓缩装置与喷浆复合肥装置联合试产氮磷二元肥(低养分)。通过2个阶段试生产, 探索生产过程中的关键控制指标, 梳理试生产中遇到的各种问题, 为公司后期系统改造提供依据。

[关键词] 渣浆; 工业磷酸一铵; 磷铵浓缩; 喷浆复合肥; 氮磷二元肥

[中图分类号] TQ444.2 [文献标志码] A [文章编号] 2097-4566 (2025) 10-0088-05

Production of granular NP binary fertilizer with ammonium phosphate concentration unit
and spray granulation compound fertilizer unitLI Xianliang, ZHANG Guangzhong, YAN Dongning, YAN Tao, LI Wenyu, LI Hongqiang, LI Hu
(Songzi Stanley Yihua New Material Technology Co., Ltd., Jingzhou 434200, China)

Abstract: During the production of industrial monoammonium phosphate (MAP), a large amount of slag slurry is generated. Meanwhile, the Stanley Agricultural Group Co., Ltd. has greater demand for more than 58% powdered MAP. To satisfy this demand and improve the product nutrient of the powdered MAP, the effective utilization of slag slurry has become an urgent challenge. Songzi Stanley Yihua New Material Technology Co., Ltd. has conducted a joint trial production of nitrogen phosphorus binary fertilizer (low nutrient) by combining the ammonium phosphate concentration unit and the spray coating compound fertilizer unit based on the actual situation. Through 2-stage trial production, key control indicators within the production process are explored and various issues encountered are documented, thereby providing a basis for subsequent system upgrades.

Key words: slag slurry; industrial monoammonium phosphate; ammonium phosphate concentration; spraying compound fertilizer; NP binary fertilizer

0 引言

松滋史丹利宜化新材料科技有限公司(以下简称公司)作为史丹利农业集团股份有限公司的控股子公司,在复合肥领域占据重要地位。从市场需求角度来看,公司每年掺混肥产量高达30万t(目前公司有22-15-8、25-13-7、25-12-8 3种产品),对氮磷二元肥($w(\text{N}) \geq 8.5\%$ 、 $w(\text{P}_2\text{O}_5) \geq 39\%$)的需求量为8.4万t/a(需求 P_2O_5 共3.3万t/a),生产氮磷二元肥符合公司整体利益需求。

目前公司已建成2套20万t/a粉状磷铵装置、4套10万t/a喷浆硫基复合肥装置^[1]、1套5万t/a工业磷酸一铵装置以及1套10万t/a精制磷酸装置(以

P_2O_5 计)。这些装置在运行过程中产生大量含磷余料(萃余酸^[2]、渣浆^[3]),其中工业磷酸一铵生产过程中产生的渣浆(年产 P_2O_5 5万t)问题尤为突出。

磷酸与氨进行中和反应后,磷酸所含的铁、镁、铝、氟、硫酸根等杂质以复盐的形式在料浆中析出^[4]。经过沉降、压滤等液固分离操作后,得到的固相物料即为渣浆,该渣浆还包含部分液相物料。渣浆中含有一定的氮、磷元素,其中不溶磷占比较大。这些渣浆若不加以合理利用,不仅会造

[收稿日期] 2025-08-09

[作者简介] 李先亮(1984-),男,湖北兴山人,化工工艺工程师。

[通信作者] 闫涛(1988-),男,山东嘉祥人,化工工艺工程师。

成资源的严重浪费，还可能带来环境污染等一系列问题。因此，采用生产氮磷二元肥的方式来消化工业磷酸一铵渣浆，成为解决当前困境、释放工业磷酸一铵产能、实现公司整体效益最大化的关键举措。

1 试生产前准备

在试生产准备阶段，充分考虑到后期技改系统的适配性，公司决定利用已建喷浆造粒复合肥装置进行氮磷二元肥试产。物料情况如表1、表2所示。

表1 工业磷酸一铵滤饼指标分析结果

Table 1 Analysis results of indicators for industrial monoammonium phosphate filter cake %

项目	$w(N_{总})$	$w(P_2O_5)$	$w(H_2O)$
2025-02-18	8.11	17.65	31.40
2025-02-19	8.49	19.59	30.50
2025-02-19	7.64	17.35	33.41
2025-02-20	8.22	19.12	32.07
2025-02-20	7.93	16.98	29.10
2025-02-21	7.47	17.61	29.40
2025-02-21	6.41	15.57	27.01
2025-02-22	7.35	17.46	25.75
平均	7.66	17.81	30.16

表2 工业磷酸一铵渣浆指标分析结果

Table 2 Analysis results of indicators for industrial monoammonium phosphate slag slurry

项目	$w(N_{总})/%$	$w(P_2O_5)/%$	密度/(g·mL ⁻¹)
2025-02-17	4.48	12.56	1.325
2025-02-18	7.33	13.18	1.315
2025-02-19	7.40	11.85	1.296
2025-02-19	7.41	11.01	1.335
2025-02-20	7.27	13.63	1.306
2025-02-20	7.29	10.59	1.347
2025-02-21	6.91	11.05	1.354
2025-02-21	7.35	13.71	1.357
2025-02-22	6.64	11.54	1.341
平均	7.12	12.40	1.340

注：渣浆为滤饼与澄清渣的混合物。

在整个生产流程中，终点料浆的密度和中和度是影响造粒成粒效果的关键因素。

为此，公司采用渣浆与中和料浆进行掺混的方式，来精准控制中和度，经过磷铵装置浓缩后，将物料送往复合肥喷浆地下槽，再通过造粒、筛分、冷却等工序得到氮磷二元肥成品。试生产流程如图1所示。

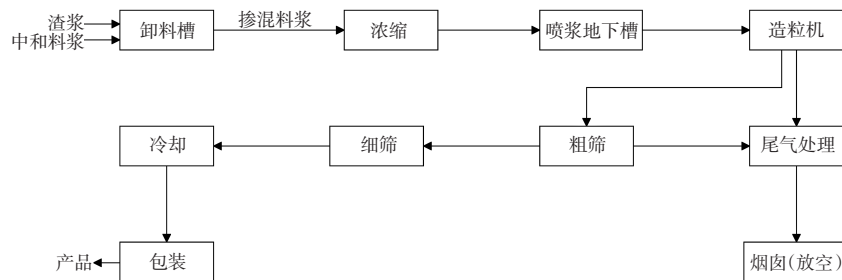


图1 利用渣浆试生产氮磷二元肥工艺流程

Fig. 1 Process flow of trial production of NP binary fertilizer using slag slurry

2 第一阶段试生产

依据确定的试生产方案，公司于2月首先完成了相关管道的改造工作，随后正式组织开展第一阶段试生产。在试生产初期，将储罐中的工业磷酸一铵渣浆通过输送泵送至卸料槽，再输送至磷铵浓缩系统进行浓缩。当料浆浓缩至密度为1.45 g/mL时，启动复合肥热风炉进行升温操作。待造粒机尾温度达到80℃，且机头温度超过300℃后，开始向造粒机喷浆，此时喷浆料浆中和度为0.97，密度为1.51 g/mL，同时将喷浆流量控制在15 m³/h，文丘里循环泵流量设置为81 m³/h，管式洗涤器流量为44 m³/h，尾洗塔水洗循环槽流量为167 m³/h。

在喷浆过程中发现，喷浆雾化的效果并不理

想。为改善这一状况，将料浆密度调整为1.47~1.48 g/mL，并通过中和排料（物料中和度1.06）的方式，将喷浆料浆的中和度提升至1.04。同时，由于观察到机尾物料水分较低，为提高成球率，进一步将机头温度控制在327℃，机尾温度控制在67℃。造粒系统经过4h的运行，对成品粒度进行检测，结果显示粒度指标达到标准，其中粒径≤1.0 mm的颗粒占比为0.31%，>1.0~2.0 mm的颗粒占比为1.52%，>2.00~4.75 mm的颗粒占比为97.77%，>1.00~4.75 mm的颗粒占比为99.29%，>4.75 mm的颗粒占比为0.4%。

对成品首检样进行分析，其总氮质量分数为10.15%，有效磷质量分数为43.95%，总养分质量分数为54.1%，水质量分数为0.51%。虽然部分指标

符合要求,但总养分含量偏高,与预期的低养分氮磷二元肥目标存在偏差。

为降低成品氮含量并提升雾化效果,对喷浆料浆的中和度和密度进行再次调整,将中和度控制在1.01,密度控制在1.44 g/mL。然而,此次调整后,机尾粉尘含量显著增加,随后将机尾温度下降至60 ℃,在此条件下造粒系统运行2 h后,粒度分布异常进一步加剧,表现为粉尘量大幅度增加、小颗粒增多;运行3 h后,造粒系统内物料基本均为细粉,试生产被迫停止。

2.1 原因分析

事后对系统粉化严重原因进行分析,主要存在以下几个方面的问题:

(1) 磷铵料浆密度、硫基复合肥料浆密度与水含量的关系存在差别,采用复合肥密度指标来控制粒状磷酸一铵,导致喷浆物料水含量偏高,造粒过程中黏结作用增大,造粒系统粒度分布不在正常的区间,整个系统中细粉量增多,长时间运行后系统物料出现粉化状态,生产难以运行^[5];

(2) 终点料浆中和度严重偏低,很长一段时间中和度低于1,导致粒浆的成粒性差^[6],同时酸性物料会导致造粒机结疤,情况严重时会导致系统停机清疤;

(3) 浓缩物料输送距离远,热量损失大,导致进入造粒系统的物料温度严重偏低,物料黏度偏大,造成喷浆雾化效果欠佳,自成粒的情况严重,同时固相析出,减少液相量,不利于固相的水分挥发^[7];

(4) 未建立统一的指挥系统,下达指令的人员过多,导致过程控制指标波动大,出现问题时也不能第一时间进行解决。

2.2 解决措施

2.2.1 提高料浆密度

(1) 对物料进一步浓缩提浓,将浓缩料浆密度控制在1.53~1.55 g/mL。料浆密度过大容易造成管道堵塞,清理难度大,进一步降低浓缩物料水含量。

(2) 严格控制尾洗返系统量,避免将中和槽物料稀释,同时进一步降低系统物料的温度。

2.2.2 提升中和度

(1) 进入磷铵浓缩的物料仅为工业磷酸一铵渣浆,避免送至复合肥的物料中和度波动过大,避免二次中和时,中和度难以进行调控。

(2) 磷铵浓缩的物料送至复合肥中和槽,开启中和槽循环泵,进行二次通氨,提高喷浆物料的中和度。

2.2.3 提升物料温度

(1) 对磷铵浓缩送至复合肥的输送管道,采用保温棉^[8]进行保温(进入复合肥系统物料温度由68~70 ℃升高到73~75 ℃),减少过程热量损失。

(2) 磷铵送至复合肥的物料进行二次中和,对二次中和的反应热加以利用。

(3) 在喷浆地下槽通入蒸汽^[9],对喷浆物料进行升温,确保进入造粒机物料温度控制在95 ℃以上。

2.2.4 加强过程管控

成立试生产小组,进行职责分工,过程控制指标由专人负责,出现异常情况由专人下达处理指令。

3 第二阶段试生产

为避免出现过程控制失控,以生产部牵头与车间组成氮磷二元肥试生产小组,所有指标均由组长下达、调整,并且根据第一阶段出现的问题进行工艺指标优化、相关管道的变更。其中过程控制指标如表3所示。

此次试生产的产品指标均合格,造粒系统颗粒逐步转入正常,开始出产品,成品产出量达20 t/h,粒径>2.00~4.75 mm产品占比达97.0%,但是成品总养分含量过高。试产小组成员根据3月20日白班、夜班产品瞬时样、综合样检测结果,召开现场分析会,就养分含量控制的措施和方式方法,对磷石膏、磷尾矿粉、硫酸钠、白土、硫酸等填充物的

表3 第二阶段试生产过程控制指标

Table 3 Control indicators for the second stage trial production process

时间	中和度	送料密度/ (g·mL ⁻¹)	蒸发温 度/℃	二次 中和度	氨单耗/ (kg·t ⁻¹)	闪蒸槽料浆 密度/(g·mL ⁻¹)	料浆温 度/℃	喷浆量/ (m ³ ·h ⁻¹)	压缩空气 压力/MPa	机尾温 度/℃
16:30	1.01	1.53	103.3	1.24	25.04	1.54	25.1	22	0.14	76.1
18:40	1.03	1.52	102.7	1.26	25.90	1.53	28.9	22	0.25	69.1
20:20	1.03	1.51	103.4	1.27	29.33	1.50	65.0	19	0.37	70.0
21:30	1.03	1.52	103.7	1.29	26.39	1.51	64.0	20	0.39	70.0
22:30	1.03	1.53	104.1	1.27	24.62	1.52	64.0	21	0.35	74.0

特性、成本、添加方式、是否会影响造粒成粒率等问题展开讨论。硫酸钠、白土需另外采购，增加了成本，摒弃不用；添加硫酸虽降含量但会增氮；取样观测磷石膏、磷尾矿粉，考虑磷石膏为晶体结构不利于造粒，磷尾矿粉颜色较深，但对造粒的影响

小于磷石膏，决定添加尾矿粉。经过化验分析原始物料养分质量分数在53%，通过计算^[10]得出吨成品需要加入尾矿粉103 kg，成品产量按照每小时15 t进行计算，可得出需要添加磷尾矿粉1.545 t/h。添加磷尾矿粉前后成品养分含量变化情况见表4。

表4 添加磷尾矿粉前后成品养分含量变化情况

Table 4 Changes in nutrient content of finished products before and after adding phosphate tailings powder

月-日	时间	成品瞬时样(在皮带处取样)				成品综合样(取样机持续取样)					
		w(总氮)/%	w(总磷)/%	w(总养分)/%	w(H ₂ O)/%	w(总氮)/%	w(总磷)/%	w(总养分)/%	w(水溶磷)/%	w(H ₂ O)/%	粒径 > 2.00~4.75 mm 占比/%
3-20	17:30	10.19	44.51	54.70	2.05	10.08	43.96	54.04	74.9	2.72	94.7
	20:20	10.21	43.08	53.29	4.09	10.18	41.81	51.99	74.6	3.59	98.6
3-21	3:00	9.85	41.65	51.50	3.39	9.85	42.7	52.55	69.8	2.63	96.7
	5:00	9.76	42.50	52.26	2.85						
	8:00	9.80	43.21	53.01	2.50						
	11:00	9.55	42.14	51.69	2.40	9.65	42.36	52.01	67.5	1.65	97.0
	14:00	9.48	40.84	50.32	2.91						
	18:00	9.47	39.41	48.88	3.36	9.44	40	49.44	68.8	2.79	97.3
	21:00	9.37	39.98	49.35	3.30	9.37	39.76	49.13	68.2	3.19	98.5

注:3月20日未添加磷尾矿粉;3月21日添加磷尾矿粉。

通过往系统加入尾矿粉，逐步将养分含量降至要求的范围内，并且产品粒度符合使用要求，但是仍然存在其他的问题：

(1) 氨管原本是生产颗粒磷酸二铵用，管径及控制阀门太大，不利于气氨添加、中和度调控；

(2) 渣浆槽存储量偏小，安全库存满也只有500 m³，按照喷浆量20 m³仅够1 d用量，且养分含量不稳定，不利于产品质量控制；

(3) 添加尾矿的成品为灰色，与尿素及高钾肥进行掺混后，会造成物料色差明显（见图2），因

而需要用采用白度高的物料代替，考虑到经济性采用元明粉代替；

(4) 磷尾矿粉水含量偏高，生产使用时，不利于成品烘干，添加不易打散，容易团结成松散颗粒（表面干、内部散），如进入成品易碎影响外观；

(5) 由于需要稳定成品的养分，因而需要往系统添加填充料，用于降低成品的养分，如果人工投用劳动强度较大，需要新增设置送料螺旋。

4 利用氮磷二元肥生产掺混肥的可行性

通过理论计算可以得出，颗粒氮磷二元肥与尿素及高钾产品进行掺混后（见表5至表7），各养分

表5 掺混肥22-15-8产品配方

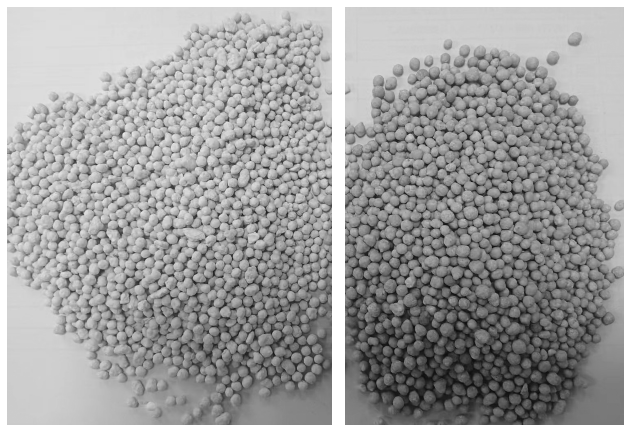
Table 5 Product formula of blended fertilizer 22-15-8 %

项目	w(N)	w(P ₂ O ₅)	w(K ₂ O)	质量占比
氮磷二元肥	9.37	39.76		28
13-10-20(高钾)	12.40	11.10	19.81	41
尿素	46.20			31
搭配后产品	22.03	15.68	8.12	

表6 掺混肥25-13-7产品配方

Table 6 Product formula of blended fertilizer 25-13-7 %

项目	w(N)	w(P ₂ O ₅)	w(K ₂ O)	质量占比
氮磷二元肥	9.37	39.76		23
13-10-20(高钾)	12.40	11.10	19.81	37
尿素	46.20			40
搭配后产品	25.22	13.25	7.33	



a. 未加磷尾矿粉 b. 添加磷尾矿粉

图2 添加磷尾矿粉前后成品颜色变化

Fig. 2 Color change of finished product before and after adding phosphate tailings powder

表7 掺混肥25-12-8产品配方

Table 7 Product formula of blended fertilizer 25-12-8 %

项目	w(N)	w(P ₂ O ₅)	w(K ₂ O)	质量占比
氮磷二元肥	9.37	39.76		0.20
13-10-20(高钾)	12.40	11.10	19.81	0.41
尿素	46.20			0.40
搭配后产品	25.16	12.30	8.12	

均满足掺混肥标准。因而采用氮磷二元肥、尿素、高钾产品制掺混肥可行。

5 结论

公司结合现场装置的实际情况,通过磷铵浓缩装置与喷浆硫基装置联产氮磷二元肥,为摸索出最佳数据,以及发现生产过程中产生的问题,进行了两次试生产,第二阶段试生产为期36 h以上,摸索出生产氮磷二元肥的工艺指标控制范围,为解决工业磷酸一铵渣浆的消化找到了一种新的方式。同时在试生产过程中遇到各种问题,后期进行系统技术改造时,需要考虑这方面的问题,以确保装置适配性达到最佳,让产品质量、产量更加稳定,根据产生的成品养分进行计算得出,生产的氮磷二元肥满足掺混肥的使用要求。

[参考文献]

- [1] 夏文柏,张洪绪,朱胜.硫酸铵喷浆造粒工艺优化[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(4):62-66.
XIA W B, ZHANG H X, ZHU S. Optimization of ammonium sulfate spray granulation process [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(4):62-66.
- [2] 王崴,范丹,谢滨逊,等.湿法磷酸净化副产萃余酸应用现状及展望[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(1):43-47.
WANG W, FAN D, XIE B X, et al. Situation and prospect for application of residual acid from wet-process phosphoric acid purification [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(1):43-47.
- [3] 廖国刚,张晓红,陈德高,等.工业级磷酸一铵滤渣生产硫基复合肥[J].磷肥与复肥,2021,36(3):13-15.
LIAO G G, ZHANG X H, CHEN D G, et al. Production of sulfur based compound fertilizer from industrial grade MAP filter residue [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2021, 36(3):13-15.
- [4] 庄艳萍.湿法磷酸制备工业级磷酸一铵试验研究[J].磷肥与复肥,2009,24(5):14-16.
ZHUANG Y P. Trial study on preparation of industrial-grade MAP by WPA [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2009, 24(5):14-16.
- [5] 杨雄.影响粒状磷酸一铵产品质量因素分析[J].云南化工,2018,45(11):25-26,42.
YANG X. Analysis of Factors Affecting the Quality of Granular Monoammonium Phosphate [J]. Yunnan Chemical Technology, 2018, 45(11):25-26,42.
- [6] 靳同义,魏会林,刘俭平,等.影响磷酸一铵浆喷浆造粒质量的因子分析[J].磷肥与复肥,1998,15(3):46-48.
- [7] 张军,刘宏.喷浆造粒成粒率的影响因素及作用机制[J].磷肥与复肥,2016,31(8):22-23,27.
ZHANG J, LIU H. Effect factors of granulating rate of spraying granulation and its impact mechanism [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016, 31(8):22-23,27.
- [8] 许招根.热网管道保温的重要性和管道运行经济效益分析[J].科技创新导报,2013(32):45.
- [9] 刘通,王赫,罗祎青,等.液滴-蒸汽直接接触换热的研究[J].化学工业与工程,2014,31(1):48-52.
LIU T, WANG H, LUO Y Q, et al. Experimental and Theoretical Research on Direct-Contact Heat Transfer Between Liquid Drops and Vapor [J]. Chemical Industry and Engineering, 2014, 31(1):48-52.
- [10] 张宗彩,王洪富,崔然,等.喷浆造粒工艺复合肥料配方计算方法[J].化肥工业,2017,44(4):24-26,29.
ZHANG Z C, WANG H F, CUI R, et al. Compound Fertilizer Formula Calculation Method for Spray Granulation Process [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2017, 44(4):24-26,29.