

水溶性磷酸一铵副产滤渣闪蒸干燥技术改进

徐永胜, 马兴买, 张 通

(云南云天化云峰化工有限公司, 云南 宣威 655413)

[摘要] 水溶性磷酸一铵生产过程中副产的滤渣含有有效的氮和磷, 成分组成在7-37、7-33、6-38、6-39等, 由于副产滤渣黏度较大、水含量较高, 难以直接使用和贮存。为更好地实现资源回收和提升产品附加值, 探索拓展水溶性磷酸一铵副产滤渣的利用途径, 先利用干燥设施对滤渣进行干燥后, 再进行出售或输送到其他复合肥生产装置作为产品原料进行使用。针对水溶性磷酸一铵副产渣干燥过程中闪蒸干燥机存在的设备跳停、清理频繁、产量低等问题, 采用安装锥台导流罩、调整旋转清理抄板角度、改造破碎桨叶、缩短闪蒸机进料溜槽长度和减小体积等措施, 改造后班产量由30 t提升到90~100 t。

[关键词] 磷酸一铵; 副产滤渣; 闪蒸干燥; 产量; 解决措施

[中图分类号] TQ442 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2026) 04-0077-05

Improvement of flash drying for by-products residue of water-soluble monoammonium phosphate

XU Yongsheng, MA Xingmai, ZHANG Tong

(Yunnan Yuntianhua Yunfeng Chemical Co., Ltd., Xuanwei 655413, China)

Abstract: The filter residue produced during the production of water-soluble monoammonium phosphate contains effective nitrogen and phosphorus, its compositions are 7-37, 7-33, 6-38, and 6-39. However, the by-product filter residue has large viscosity and a high moisture content, making it difficult to use directly and inconvenient to store. In order to better resource recovery and improve the added value of products, it is necessary to explore and expand the utilization ways of the by-product filter residue of monoammonium phosphate. First the filter residue is dried using a drying facility, and then it is sold or transported to other compound fertilizer production units as a product raw material for use. In view of the problems equipment tripping, frequent cleaning, and low production during the drying process of the by-product residue of water-soluble monoammonium phosphate, several renovation measures are carried out, such as installing a conical guide cover, adjusting the angle of the rotating cleaning scraper, modifying the crushing paddle, and shortening the length and volume of the material inlet of the flash dryer are taken. After modification, the daily output is increased from 30 tons to 90-100 tons.

Key words: monoammonium phosphate; by-product residue; flash drying; yield; measures

0 引言

工业级磷酸一铵 ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) 又称为磷酸二氢铵, 是一种高效肥料, 同时是磷系阻燃剂及干粉灭火器的主要原料, 广泛应用于木材、纸张、织物。在农业领域, 工业级磷酸一铵具有良好的水溶性, 是 $w(\text{N})$ 12%、 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 61% 的高浓度磷肥, 其适用于滴灌、叶面喷施等现代农业技术。

云南云天化云峰化工有限公司 (以下简称云峰化工) 8 万 t/a 水溶性磷酸一铵装置于 2014 年 10 月建成并正式投入生产, 其初始年设计生产能力为 5

万 t。该装置副产的滤渣含有氮磷有效养分, 但由于其黏度大、水含量高, 难以利用和贮存。因此, 为更好地实现资源回收, 探索拓展水溶性磷酸一铵副产滤渣的利用途径^[1]。

1 水溶性磷酸一铵副产滤渣的来源

该装置采用湿法磷酸为主要原料, 经过磷矿浆粗脱硫等预处理, 再采用碳酸钡精脱硫、通氨中和制得净化料浆 (pH 为 4.1~4.5), 经压滤机压滤出复盐去除铁、镁、铝、钙等杂质, 得到 $w(\text{固}) \leq 0.5\%$ 的精滤液, 采用三效逆流蒸发系统进行浓缩,

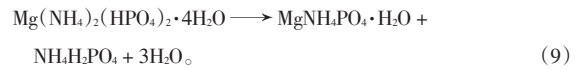
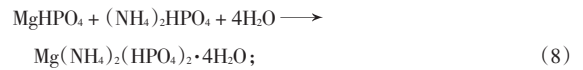
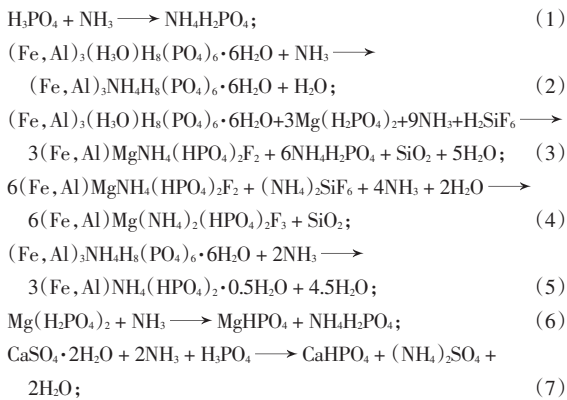
收稿日期: 2025-04-22; 修回日期: 2025-05-22

作者简介: 徐永胜 (1985—), 男, 云南宣威人, 助理工程师, 从事磷肥、复混肥技术研究及生产管理。

再经真空结晶器形成结晶体，由双推离心机液固分离，干燥冷却后产出磷酸一铵成品。

1.1 磷酸和母液与氨的中和反应

云峰化工8万 t/a 水溶性磷酸一铵装置采用两段中和净化的工序，其中一段净化的主要目的在于除去湿法磷酸中的F和硫等阴离子杂质；二段净化过程中加入母液，主要目的是脱除其中的Fe³⁺、Al³⁺、Mg²⁺、Ca²⁺等阳离子杂质。其化学反应如下：



上述反应中，在pH为2.50左右时形成水溶性物质（如反应（1））和枸溶性物质（如反应（2）和（3））；当pH升到4.35时，则生成铁铝复合物（如反应（4）和（5）），同时析出磷酸氢钙和磷酸氢镁（反应（6）和（7））；pH进一步升到5.60以上，会形成磷酸镁铵和磷酸氢钙^[2-3]。

1.2 水溶性磷酸一铵副产滤渣

经过中和反应后产生的料浆，送至脱砷沉降槽沉降后，上部清液送至粗滤液槽，底部稠浆送至料浆槽，经料浆泵送至3#、5#、6#板框压滤机压滤后滤液送至粗滤液槽，产生的滤渣进入渣库；粗滤液经过1#、2#、4#、7#板框压滤机压滤后的清液送至精滤液槽使用，压滤产生的滤渣进入渣库。工艺流程见图1。

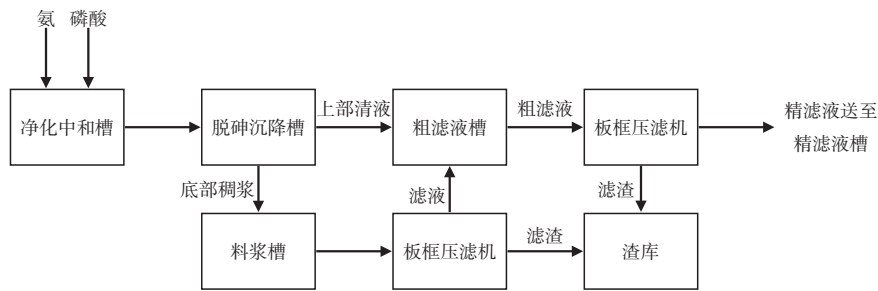


图1 磷酸一铵副产滤渣工艺流程

Fig. 1 Producing process of filter residue in monoammonium phosphate production

2 水溶性磷酸一铵副产滤渣应用探索

2.1 水溶性磷酸一铵副产滤渣特性

水溶性磷酸一铵副产滤渣为含有氮和磷（7-37、6-38、6-39等）2种有效物质的膏糊状物体，同时含有少量硫酸铵、氟硅酸铵、铁和铝的磷酸盐、石膏、磷酸二氢镁、三水磷酸氢镁等杂质^[4]，相对密度1.1~1.2。同时滤渣黏度较大，水含量较高（w(H₂O) 20%~30%），难以直接使用，贮存也不方便。

2.2 滤渣再浆生产二元复合肥

利用云峰化工8万 t/a 磷酸一铵滤渣库内的地槽，加入硫酸和磷酸，经过搅拌浆再浆形成一定密度的渣浆（相对密度1.52~1.55），通过渣浆泵送至云峰化工10万 t/a 装置B系列中和槽并加入适量的氨进行中和反应（N、P摩尔比控制在0.3~0.5），同时中和槽内加入适量的硫酸和洗涤液，混合后料

浆经给料泵送至管式反应器通氨氨化后进行转鼓造粒，造粒物料经干燥、筛分、破碎、冷却、包裹等工序，生产出合格的二元复合肥（13-32）产品（见图2）。

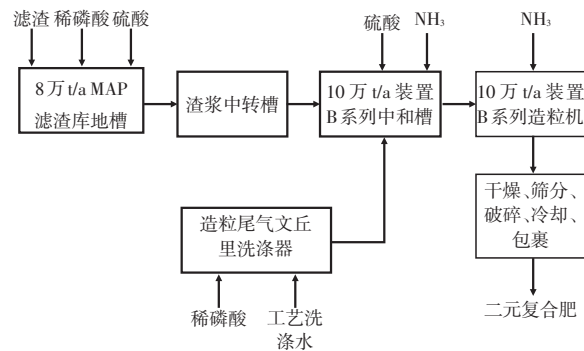


图2 滤渣再浆生产二元复合肥工艺流程

Fig. 2 Producing process of binary compound fertilizer by filter residue

利用硫酸、磷酸、磷酸一铵副产滤渣生产二元复合肥时,由于渣浆杂质含量高,反应生成的料浆黏度大,喷浆造粒过程中,料将会附着在造粒机抄板上形成结疤;同时,料浆黏度增加会导致物料颗粒相互黏结,物料极易形成大粒子,在经过破碎机破碎后,就会出现大量不规则物料,喷浆造粒成球率低,导致造粒效果变差,严重影响产品的外观质量^[5]。此外,为确保渣浆的流动性,还需补入一定量的洗涤液,影响了产品反应热量,导致物料干燥温度需求变高,而且产品水含量偏高(平均 $w(\text{H}_2\text{O}) > 3.0\%$)。

2.3 滤渣干燥生产硫基复合肥

2020年5月,云峰化工通过系统升级改造,8万t/a水溶性磷酸一铵装置浓缩II系列顺利投入运行,装置的设计生产能力由原5万t/a提升到了8万t/a。生产过程中副产的7-37磷酸一铵滤渣产量大幅度增加,积压库存增长,已制约云峰化工发展。为确保副产物能够有效利用,并形成商品销售,消除生产瓶颈,结合水溶性磷酸一铵副产滤渣的特性以及滤渣再浆生产氮磷二元复合肥(13-32)存在的问题,云峰化工结合市场需求,利用20万t/a MAP装置干燥工序对滤渣进行干燥后,再添加硫黄,成功生产出含硫低氮高磷的粒状8-40复合肥产品,并获得了市场认可。

不同干燥方式的能效对比如表1所示。由表1可知,8万t/a水溶性磷酸一铵装置采用闪蒸干燥的方式对云峰化工水溶性磷酸一铵装置副产滤渣进行干燥,热效率最高,能耗最小,通过稳定滤渣干燥后水分,最小程度减少干燥产品加入系统后对产品质量的影响,能更好地发挥生产装置产能和保证产品质量^[6]。

表1 不同干燥方式能效对比

Table 1 Comparison of efficiency of different drying methods

干燥方式	适用初始 $w(\text{H}_2\text{O})/\%$	热效 率/%	产品粒 度/mm	吨水耗能 费用/元
闪蒸干燥	20~80	60~75	0.05~2.00	80~120
喷雾干燥	40~90	40~55	0.01~0.30	150~200
流化床干燥	10~50	50~65	0.30~5.00	100~150

3 闪蒸干燥机的工作原理及性能特点

3.1 闪蒸干燥机的工作原理

云峰化工水溶性磷酸一铵副产滤渣干燥装置(以下称7-37磷酸一铵干燥装置)使用的是济南华骏节能技术有限公司提供的GSX1850型闪蒸干燥机,

该干燥机工作原理:烘干物料进入干燥机内,被底部旋转进入的高温气流冲击,同时受到高速旋转叶片的撞击、切削,边粉碎边干燥,比表面积迅速增大,在非常短的时间内完成传质和传热过程。然后,粒度较小且干燥完成的粉料随旋转气流上升,在干燥机顶部分级环处,粒度合格、水含量合格的物料被气流带出干燥机,粒度与水含量还未达到要求的物料则被分离下来,继续在干燥室内破碎干燥,最后,完成全部物料的粉碎与干燥,生产出合格产品。

3.2 闪蒸干燥机的性能特点

(1) GSX 1850型闪蒸干燥机单机设备干燥强度大,吨产品的设备投资小,单机设备的脱水能力可达1 000~2 500 kg/h。

(2) 单机设备占地面积小,本设备占地面积约10 m²。

(3) 可连续性操作,可适合于30%~100%负荷的生产需要。

(4) 热源可根据需要进行匹配,既可采用蒸汽、电热,又可采用燃气、燃油、燃煤高效节能热风炉。

(5) 本机采用的是SEW减速机减速,电机与减速机利用皮带进行传动,可以避免对设备产生冲击,保护设备。SEW减速机可以保证干燥机的连续正常使用,延长检修时间。

3.3 7-37磷酸一铵滤渣干燥工艺流程

经空气风机加压的空气和尾气逆流换热后,进入蒸汽换热器,用中压蒸汽加热,再送入燃气热风炉内形成热风,进入闪蒸干燥机风室。用双螺旋加料机将湿渣匀速加入干燥机内,与风室底部的高速高温热风接触,并且大块物料在高速旋转的干燥机的平叶片的作用下,不断被破碎成小块,物料中水分被蒸发,物料被干燥。

干燥完成后的物料是细粉状,已经完全干燥的合格产品在上升气流作用下被带出干燥机,水含量较大的颗粒则因为离心力的作用被干燥机顶部的分级环分离下来,重新干燥直到水含量合格,才被夹带出干燥机。

从干燥机出来的尾气含有大量的物料以及水蒸气,经过布袋除尘器,产品物料被收集下来。尾气经尾气风机送至换热器预热空气回收热量后,进入卧式洗涤器和洗涤塔(T101),经水洗后排放,洗涤液送至10万t/a A系列循环水管。

7-37磷酸一铵滤渣干燥工艺流程见图3。

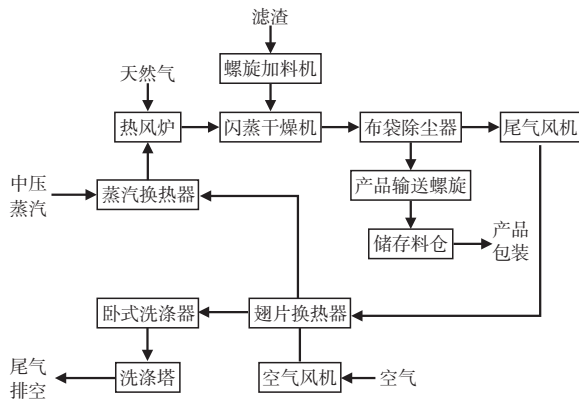


图3 7-37磷酸一铵滤渣干燥工艺流程

Fig. 3 Drying process flow of residue of 7-37 monoammonium phosphate plant

4 闪蒸干燥机运行情况及问题原因分析

云峰化工7-37磷酸一铵干燥装置于2020年12月31日建成投入使用，由于副产的7-37磷酸一铵滤渣属于高湿高黏度物料，干燥装置的闪蒸干燥系统对物料的干燥不够彻底，装置运行连续性差，干燥产量不达标。

4.1 运行情况

闪蒸干燥过程中高温热风从底部切线进入，在干燥机内形成上升漩涡的热气流（约280℃），使 $w(H_2O)$ 在23%~30%的滤渣物料处于悬浮状态，充分与物料接触达到干燥目的。由于闪蒸机内部锥台导流罩较小（高200mm、直径500mm），高温气流进入后空间突然变大，流速降低，物料重力与气流压力不平衡，导致部分物料逐渐沉到底部堵塞气流通道，堆积物料量达到一定程度时，迫使旋转抄板及桨叶受阻停止而整机堵死。只能通过控制物料的较小加入量来保证闪蒸机连续运行，但是遇到稍大一点的块状物料依然会造成堵塞停车，最终导致堵塞清理频次高、连续运行时间短、产量较低等恶性循环的生产状态。

根据2021年1月至2月的生产运行统计记录，7-37磷酸一铵干燥装置月运行率不足50%，月停车清理、检修近20次，班产量仅达到30t。

4.2 原因分析

生产负荷不达标主要是闪蒸干燥机搅拌破碎桨叶片、风道等内件布置设计不合理造成的，由于闪蒸干燥机底部较平坦且低于干燥热风进口，当热风进入闪蒸干燥机时不能随风道导入形成上升漩涡气流，而是无序气流，当物料进入闪蒸干燥机时，即落入闪蒸干燥机底部聚集，造成闪蒸干燥机负荷过高，最终导致跳停。

4.3 解决措施

为确保闪蒸干燥机运行正常，保持闪蒸机的热风通道，必须降低大块物料的堆积量，具体措施如下。闪蒸干燥机改造示意图4。

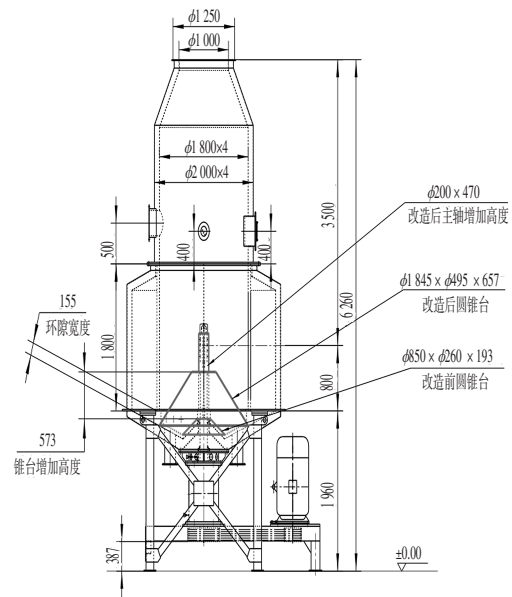


图4 闪蒸干燥机改造示意

Fig. 4 Renovation of flash evaporation dryer

(1) 制作底边直径与闪蒸机内筒直径一致的圆形锥台导流罩（高657mm、直径1845mm），安装于机体底部，并调整两组旋转清理抄板角度，用于引导干燥热风旋转于闪蒸干燥机内再由引风机引导至布袋除尘器。

(2) 安装锥台后为保障闪蒸干燥机的正常运行，将主轴加高470mm，并制作加工轴套安装于主轴上，端面略高于锥台端面，使叶片与锥台保持一定的运行空间。

(3) 对破碎桨叶进行改造，由原来的8级破碎桨叶改造为10级破碎桨叶，并将梯形桨叶加宽16mm，由下向上逐级加长10mm，物料破击面由平面改为V型面，加强筋板厚度及焊接长度，提升破碎能力及抗击强度^[7-8]；破碎桨叶改造示意图5。

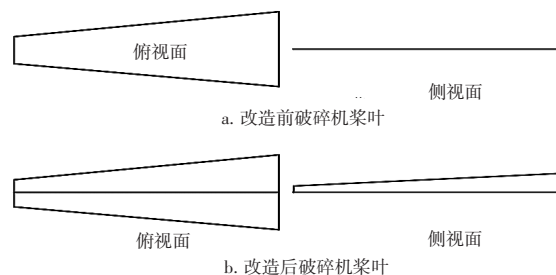


图5 破碎桨叶改造示意

Fig. 5 Schematic diagram of broken blade modification

(4) 为避免部分下沉物料落入主轴间隙再进入轴承箱损坏轴承,在锥台端面与叶片间隙(18 mm)之间设计制作安装迷宫密封装置,确保不漏料,延长轴承的使用寿命。

(5) 缩短闪蒸干燥机物料加入口进料溜槽长度,减小体积,减小旋流阻力。

4.4 效果评价

改造后闪蒸干燥机气流入口面积缩小,提高了风速,物料与热风混合悬浮空间减小,物料旋转速度加快,加入物料能够快速受热干燥送入布袋除尘器进行收集包装,减轻了抄板、破碎桨叶负荷。锥台导流罩对气流的导流能力有效提高,设备清理检修频次明显下降,装置运行率显著提高。

改造前后运行情况如表2所示。

表2 改造前后运行情况

Table 2 Operation status before and after renovation

项目	装置运行率/%	天然气消耗/(m ³ ·t ⁻¹)	班产量/t	平均月产量/t
改造前	50	60~65	30	1 900
改造后	80	30~32	90~100	5 500

由表2可以看出,改造后装置运行率提升了30个百分点,班产量提高了60~70 t,平均月产量提升了3 600 t;热风炉的天然气消耗下降了约30 m³/t,天然气按2.6元/m³计算,吨产品生产成本下降约78元。

干燥滤渣产量如表3所示。

表3 干燥滤渣产量

Table 3 Production of dry filter residue

年份	干燥滤渣产量/t
2021	51 153
2022	64 885
2023	67 271

由表3可以看出,云峰化工7-37磷酸一铵干燥装置闪蒸干燥机改造完成后,滤渣处理能力有效提高。

5 总结

(1) 通过安装与闪蒸干燥机内筒直径一致的圆形锥台导流罩,缩小物料与热风混合悬浮空间,提高干燥热风旋流速度,有效避免了物料堵塞闪蒸干燥机。

(2) 破碎桨叶物料破击面由平面改为V型面,提升了破碎能力及抗击强度。

(3) 云峰化工8万t/a水溶性磷酸一铵装置年平

均减少固体排放量6万~7万t。

(4) 8-40含硫低氮高磷复合肥产品具有较高适应性,既能够满足南美洲市场需要的含硫低氮高磷配方,也能在国内市场推广^[5]。硫基8-40复合肥研发至今共生产产品约20万t,创造价值约5 000万元。

[参考文献]

- [1] 李英翔,吴长莹,念吉红.工业级磷酸一铵滤渣在复合肥生产中的应用[J].磷肥与复肥,2017,32(11):13-14,17.
LI Y X, WU C Y, NIAN J H. Application of industrial-grade MAP residue in compound fertilizer production[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2017, 32(11):13-14, 17.
- [2] 赵国军,冷为贵,程静,等.硝酸分解磷矿生产工业磷铵及净化磷酸技术开发与实施[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(8):26-31.
ZHAO G J, LENG W G, CHENG J, et al. Technological development and implementation of industrial ammonium phosphate and purified phosphoric acid produced by nitric acid decomposition of phosphate rock[J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(8):26-31.
- [3] 周飞.利用工业磷酸一铵滤渣制备含聚磷酸铵的二元肥料[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(3):51-55.
ZHOU F. Preparation of binary fertilizer containing polyphosphate ammonium by using industrial monoammonium phosphate filter residue[J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(3):51-55.
- [4] 舒艺周,马航,张恒,等.工业磷酸一铵滤渣综合利用技术研究现状与建议[J].磷肥与复肥,2023,38(11):34-37.
SHU Y Z, MA H, ZHANG H, et al. Research status and suggestions for comprehensive utilization technology of industrial MAP filter residue[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(11):34-37.
- [5] 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.
- [6] 赵德松.水溶磷酸一铵副产渣生产含硫低氮高磷复合肥[J].磷肥与复肥,2024,39(3):24-25.
ZHAO D S. Production of compound fertilizer with sulfur, low nitrogen and high phosphorus from by-product residue of water-soluble MAP[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2024, 39(3):24-25.
- [7] 邢晓林,郭宏伟.化工设备[M].北京:化学工业出版社,2019.
- [8] 何亮,杨德安,周智武.饲料级磷酸氢钙装置打散系统优化改造[J].磷肥与复肥,2017,32(11):47-49.
HE L, YANG D A, ZHOU Z W. Optimal and modification on beat of feed-grade calcium hydrogen phosphate plant[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2017, 32(11):47-49.