

以清洁燃料二甲醚为干燥热源提高磷酸二铵产品品质

乌 恒, 陈德高, 张洪绪, 陈 远, 夏文柏, 郑鸿雁

(瓮福(集团)有限责任公司 瓮福化工公司, 贵州 福泉 550501)

[摘要] 瓮福化工公司磷酸二铵装置产品外观颜色变暗, 市场满意度低, 极大影响市场销售。通过分析影响磷酸二铵产品色度的原因, 并结合生产现状, 确定燃煤产生煤灰对磷酸二铵产品颜色产生极大影响。为了减少煤灰对产品外观影响, 对比将沸腾炉改为直排炉、增加高温旋风除尘器、改烧清洁燃料3种方案的改进效果, 最终确定以二甲醚清洁燃料替代燃煤。介绍二甲醚炉系统的建设投用及其效果, 投用后磷酸二铵产品外观颜色得到改善, 极大地提高了产品的市场竞争力, 同时实现尾气粉尘超低排放等环保效益, 减少电耗成本25.7万元/a。

[关键词] 磷酸二铵; 产品颜色; 二甲醚; 干燥燃料

[中图分类号] TQ442.14 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 01-0064-05

Using clean fuel dimethyl ether as drying heat source to improve the quality of DAP products

WU Heng, CHEN Degao, ZHANG Hongxu, CHEN Yuan, XIA Wenbai, ZHENG Hongyan
(Wengfu Chemical Company, Wengfu (Group) Co., Ltd., Fuquan 550501, China)

Abstract: The appearance color of the DAP plant product of Wengfu Chemical Company has darkened, resulting in low market satisfaction and greatly affecting market sales. By analyzing the reasons that affect the color of DAP product and combining them with the current production situation, it is determined that coal ash generated from coal combustion has a significant impact on the color of DAP products. In order to reduce the impact of coal ash on the appearance of the product, the improvement effects of three schemes are compared: changing the boiling furnace to a straight discharge furnace, adding a high-temperature cyclone dust collector, and switching to burning clean fuel. Finally, it is determined to replace coal with dimethyl ether clean fuel. The construction and operation of the dimethyl ether furnace system and its effects are introduced. After the dimethyl ether furnace system is put into operation, the appearance color of the DAP product is improved, greatly enhancing the market competitiveness of the DAP product. At the same time, it achieves environmental benefits such as ultra-low emissions of dust in exhaust gas, reducing the cost of electricity consumption by 257 000 RMB Yuan per year.

Key words: diammonium phosphate(DAP); product color; dimethyl ether; dry fuel

0 引言

近年来, 磷肥市场长期处于过度饱和状态, 市场对产品质量要求越来越高, 在满足产品养分、水分等内在指标条件下, 外观透亮、颜色一致的产品深受市场青睐, 因此产品外观质量成为影响市场销售的关键因素^[1]。由于原料磷矿为不可再生资源, 近年来国家对磷肥出口进行限制。外贸磷酸二铵(DAP)产品主要为深色产品, 磷肥出口限制后, 瓮福化工公司(以下简称公司)近年来DAP装置从以棕色产品为主逐渐转变为以浅色(黄色和本色)产品为主, 2020—2022年浅色和棕色产品产量占比如表1所示。受原料及生产工艺的影响,

DAP装置浅色产品外观颜色与市场同类产品相比较

表1 2020—2022年瓮福化工公司浅色和棕色磷酸二铵产品占比

Table 1 Proportion of light and brown colored DAP products in Wengfu Chemical Company from 2020 to 2022

年份	棕色产品占比/%	浅色产品占比/%
2020	55	45
2021	34	66
2022	0	100

[收稿日期] 2024-06-11

[作者简介] 乌 恒(1997-),男,贵州惠水人,工程师,从事磷肥生产技术研究及管理工作。

暗,客户满意度较低,价格也因此偏低,影响市场端销售。为了稳定市场份额,改善产品外观颜色成为DAP装置亟待攻关的难题。

通过分析影响磷酸二铵产品色度的因素,并结合生产现状,确定燃煤产生的煤灰对磷酸二铵产品颜色产生极大影响。为了减少煤灰对产品外观影响,采用二甲醚清洁燃料替代燃煤作为干燥热源。二甲醚炉系统投用后产品外观颜色改善,极大提高产品的效益。

1 影响磷酸二铵产品色度的因素分析及控制标准

1.1 产品颜色影响因素

1.1.1 矿源对产品颜色的影响

因磷酸生产过程中所用的磷矿来源不同,或贫矿和富矿不同配矿比例下,磷酸中 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 等金属氧化物杂质含量存在差异。在DAP生产中,磷酸与氨反应时,存在的杂质会参与反应,生成一系列颜色不一致的复杂化合物,对DAP产品颜色影响明显^[2]。

1.1.2 磷酸品质对产品颜色的影响

DAP生产所用的磷酸为湿法磷酸,湿法磷酸中含有大量的活性二氧化硅及难沉淀的磷石膏杂物,这些杂物使磷酸难以及时澄清,并形成大量的胶体分子团。在磷酸和氨的反应中,这些胶体分子团将会严重破坏磷酸二铵分子间的结合力,不仅使磷酸二铵颗粒强度下降,也会影响其外观颜色^[2]。

1.1.3 料浆中和度对产品颜色的影响

中和度表示氨和磷酸中和程度,磷酸中的杂质含量随着中和度的变化而呈现不同的状态。中和度 <1 时,中和料浆颜色为乳白色,当中和度增大到一定值后,中和料浆颜色会不断加深^[3]。所以生产过程中中和度不同会对磷酸二铵产品颜色有一定的影响。

1.1.4 生产过渡料加入对产品颜色的影响

现如今,市场差异化需求,磷酸二铵装置可以通过添加不同着色剂,生产本色、黄色、棕色、红棕色等不同颜色产品。在转产不同颜色产品过程中,会产生过渡花料,花料主要通过加入系统中破碎后重新造粒,过渡料的加入量对产品颜色产生了极大的影响。

1.1.5 沸腾炉烟尘带入的影响

沸腾炉燃烧煤过程中会产生一定量的煤灰,煤灰颜色呈土灰色,随着高温烟气进入干燥机中。在磷酸二铵生产过程中,系统中物料混合造粒,煤灰掺入产品内,会导致产品颜色变暗。且煤灰与磷酸

混合后进行氨中和,会导致磷铵料浆颜色变化,影响产品颜色稳定^[4]。

1.1.6 水含量对产品颜色的影响

产品水含量高时,在缓慢蒸发过程中,水从颗粒内部向外扩散,同时溶解在水中的盐类也随着水扩散至粒子表面,即所谓的盐类渗出,盐类之间又发生缓慢的反应,在颗粒表面析出新盐结晶,造成产品粒子褪色、变白、变花,从而影响磷酸二铵产品颜色^[5]。

1.2 产品颜色控制标准

磷酸铵产品颜色按色度值进行控制,经色度仪对产品色彩进行检测,控制色度在一定范围内,防止出现色差,确保出库产品颜色统一、质量稳定。表2为黄色和棕色磷铵产品色度值控制要求^[6]。

表2 磷酸铵产品颜色控制标准

Table 2 Color control standards for ammonium phosphate products

项目	亮度 L	色度 a	色度 b
色标值域	0~100 ^①	+127~-128 ^②	+127~-128 ^③
黄色产品控制	50~60	5~8	29~33
棕色产品控制	27~29	4~5	8~12

注:①表示黑色(0)过渡至白色(100), L 为50时为50%的黑色;②表示品红色(+127)过渡至绿色(-128), $a < 0$ 指示绿色, $a > 0$ 指示品红;③表示黄色(+127)过渡至蓝色(-128), $b < 0$ 指示蓝色, $b > 0$ 指示黄色。

L 值表示亮度,值越大,颜色越偏向白色,值越小,颜色越暗^[7]。

2 磷酸二铵生产现状

公司2×600 kt/a DAP装置包括反应、造粒、干燥、筛分、冷却、包裹、尾气洗涤等工序,干燥工序中采用沸腾炉燃烧无烟煤产生高温烟气对产品进行干燥。

沸腾炉热利用率虽较高,但少量煤灰在沸腾时随着烟气进入干燥系统,经过沉降和洗涤后,煤灰进入产品中,每吨产品含煤灰1.5~2.0 kg。煤灰色度 L 值为20~25,极大影响了浅色产品外观质量。以黄色 $w(N+P_2O_5)$ 64%的磷酸二铵产品为例,市场需求及其他生产基地产品 L 值 ≥ 50 ,颜色均匀、透亮,但公司磷酸二铵装置正常生产时产品 L 值在43~48,颜色较其他生产基地产品暗,对产品销售产生了一定影响。

随着产业链延伸,磷酸调配量向其他产品倾斜,近年磷酸二铵装置开车率不足50%,频繁进入待料停车状态,每一次恢复开车需经过6~12 h

升温。受燃煤产生煤灰的影响，浅色产品L值最低降至35，接近棕色产品，单次开车会导致产生过渡花料500 t左右。花料回收极大地增加了生产成本，同时回收过渡花料，会导致产品夹带花料，对产品外观质量影响较大。

3 改善磷酸二铵产品颜色方案的研究

为了减少煤灰对磷酸二铵产品外观影响，策划了3种方案，分别为将沸腾炉改为直排炉、改为二甲醚炉、增加高温旋风除尘器。3种方案的对比见表3。

表3 沸腾炉改造方案对比

Table 3 Comparison of boiling furnace renovation plans

方案	费用/ 万元	燃料成本/ (元·t ⁻¹)	优点	缺点	产品颜色改善评估
现状	0	22.24	热利用率高	影响产品颜色及尾气排放指标	1~2 kg 煤灰进入吨产品
沸腾炉改直排炉	246	23.07	产生粉尘量少,可提升产品色度,有利于尾气排放指标控制	煤耗增加	≤1 kg 的煤灰进入吨产品
沸腾炉改二甲醚炉	245	50.54	清洁,提升产品色度佳,有利于尾气排放指标控制	生产成本高	无煤灰进入产品
增加高温旋风除尘器	353	24.76	可提升产品色度,有利于尾气排放指标控制	占地面积大,高温烟气流机故障率高,热损失增加	进入产品煤灰量可降低60%左右

增加高温旋风除尘器或将沸腾炉改直排炉虽然成本低，但现场场地受限，需对厂房周边的管廊架及值班室进行移位，现场布置不满足技改条件；且技改后仍有部分煤灰进入系统中。参考其他粒状肥料生产装置直排炉或“煤炉+高温旋风除尘器”生产工艺，对产品色度改善并不明显。

二甲醚在常温下是一种无色、无味、无臭、无毒气体，无腐蚀性，无致癌性。二甲醚作为一种新兴的基本化工原料，由于自身含氧、组分单一、碳链短，因此燃烧性能好、热效率高、无残渣、无黑烟、燃烧安全，和甲醇燃料、醇醚燃料相比更具优势，是城市煤气、液化气的最佳替代品之一，是一种具有广泛发展前景的清洁燃料^[8]。公司所在的园区内，贵州天福化工有限责任公司生产二甲醚产品，可通过管道输送至装置，具备稳定供应条件，故考虑采用二甲醚代替无烟煤作为燃料。

通过综合分析，将沸腾炉改为二甲醚炉方案虽成本最高，但磷酸二铵产品颜色改善效果最佳，同时有助于改善尾气排放指标，最终选择二甲醚炉方案。

4 二甲醚炉系统建设

因沸腾炉与干燥机进口距离短，无法增加高温旋风除尘器或沉降设备，同时为实现碳达峰和碳中和的目标，考虑燃烧清洁燃料代替燃煤，所以将二甲醚在磷肥行业应用作为研发课题，以改善磷酸二铵产品质量。二甲醚炉系统于2023年6月开始建设，2023年8月中旬开始投用。

4.1 工艺流程

二甲醚炉系统主要设备有气化器、二甲醚炉、

助燃风机、稀释风机，由装置界区而来的液态二甲醚通过管道输送到汽化器，在蒸汽的作用下，二甲醚汽化成二甲醚气体，再通过管道输送至二甲醚炉。其中通过流量比例调节器，将二甲醚气体与助燃空气调节到一定比例后送入二甲醚炉进行燃烧，燃烧产生的高温尾气与稀释风机送入的空气混合调节到磷酸二铵产品烘干所需的温度后，送入干燥机内烘干物料。

二甲醚炉工艺流程如图1所示。

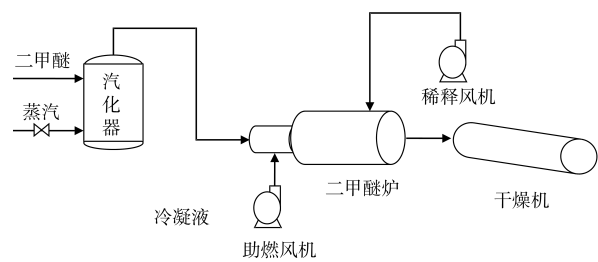


图1 二甲醚炉工艺流程

Fig. 1 Process flow of dimethyl ether furnace

1) 汽化器 汽化器是一种蒸汽加热式汽化器，采用同轴套管式蒸发器，内管中的饱和蒸汽由下而上的过程中加热外层中的冷凝水，而冷凝水则以相对温和的方式把热量传递给管外的液态二甲醚，二甲醚经加热后蒸发、汽化，经调压后，输送至二甲醚炉燃烧。

2) 助燃风机 助燃风机的主要作用是将空气加速输送至二甲醚炉内，增加炉内氧气含量和气流速度，促进燃烧。

3) 稀释风机 稀释风机的主要作用是通入空气，降低二甲醚炉体及烟道温度，防止因设备温度

过高而损坏设备。

4.2 自动化控制

液相二甲醚、气相二甲醚、蒸汽的流量通过调节阀来控制,汽化器出口设置有减压阀,将汽化后二甲醚压力降低至适合二甲醚燃烧的工作压力,根据汽化器温度设定调节蒸汽进气量。

系统设置有气相二甲醚压力、助燃风机压力、炉膛温度、炉膛压力、火焰检测信号、助燃风机运行信号、干燥尾气风机运行信号及现场可燃气体泄漏等安全连锁,见表4。生产过程中若工艺指标偏离控制范围或无运行信号,系统自动跳停,并完成吹扫,确保系统安全性。

表4 二甲醚炉安全连锁

Table 4 Safety interlock for dimethyl ether furnace

序号	仪表名称	报警属性	报警值	动作路径
1	可燃气体检测仪	高高报	$\varphi(\text{可燃气体}) \geq 100 \times 10^{-6}$	二甲醚炉连锁停车
2	气相二甲醚压力	高高报或低低报	$\geq 30 \text{ kPa}$ 或 $\leq 5 \text{ kPa}$	二甲醚炉连锁停车
3	助燃风机	无电流信号		二甲醚炉连锁停车
4	干燥系统引风机	无电流信号		二甲醚炉连锁停车
5	炉膛温度	高高报	$\geq 1150 \text{ }^\circ\text{C}$	二甲醚炉连锁停车
6	助燃风机压力	低低报	$\leq 0.2 \text{ kPa}$	
7	炉膛压力	高高报或低低报	$\geq 100 \text{ kPa}$ 或 $\leq -850 \text{ kPa}$	二甲醚炉连锁停车
8	汽化器液位	高高报	$\geq 85\%$	切断二甲醚进料

4.3 工艺指标

二甲醚炉正常投用后,在满足产品质量条件下,二甲醚炉和沸腾炉关键工艺参数对比如表5所示。

二甲醚炉投用后,磷酸二铵产品色度值得到了极大提升,但二甲醚消耗偏高,吨产品二甲醚消耗

量达18 kg。为降低二甲醚消耗,采用调节助燃风机空气流量和气相二甲醚流量比值,调整稀释风机、尾气风机运行频率等措施,通过总结摸索,找出较佳控制参数(见表6),既满足生产要求,同时又降低吨产品二甲醚消耗量至10~12 kg。

表5 二甲醚炉和沸腾关键炉关键工艺参数对比

Table 5 Process parameters comparison between dimethyl ether furnace and boiling furnace

项目	炉膛温度/ °C	炉膛负压/ Pa	热风炉出口温度/ °C	干燥尾气温度/ °C	液态二甲醚压力/ MPa	气态二甲醚压力/ kPa	汽化器液位/ %	气态二甲醚温度/ °C
二甲醚炉	850~950	-50~200	400~650	82~92	0.5~0.6	8~20	30~80	50~85
沸腾炉	800~1050	-15~-5	450~650	85~95				

表6 降低二甲醚消耗关键参数

Table 6 Key parameters for reducing consumption of dimethyl ether

助燃风机 频率 ^① /%	气相二甲醚调节阀开度/ 助燃风机频率	稀释风机 频率 ^① /%	干燥风机 频率 ^① /%
40~45	0.65~0.72	30~35	68~75

注:①与最大设计频率之比,下同。

5 取得效果

5.1 产品外观质量改善明显

二甲醚炉投用后磷酸二铵产品外观质量显著改善,色度值提升明显,浅色产品色度值(L值)从43~48提升至53~57,生产系统产品颜色由深暗变为颜色透亮,产品外观颜色赶超同行业,市场认可度提高。优质的产品外观为其在市场竞争中赢得了更多优势,进一步增强了产品的市场竞争力。同时单次开车时过渡花料从500 t减少至50 t以下,极

大地减少了返料成本。

5.2 环保及其他效益

5.2.1 尾排粉尘超低排放

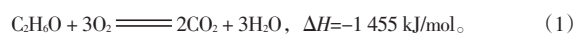
二甲醚炉投用前,排放尾气中 $\rho(\text{粉尘})$ 平均值为 65 mg/m^3 ,项目投用后为 25 mg/m^3 以内,实现粉尘超低排放。DAP装置尾气排放量为 $38 \text{ 万 m}^3/\text{h}$,粉尘排放减少:

$$(380000 \text{ m}^3/\text{h}) \times (65-25) \text{ mg/m}^3 = 15.2 \text{ kg/h}.$$

同时燃烧二甲醚没有二氧化硫、氮氧化物等有害气体产生,减少对环境的污染。

5.2.2 减少碳排放

沸腾炉燃煤消耗量为标准煤1.15 t/h,查阅资料1 t标准煤排放二氧化碳为2.54 t^[9],二甲醚炉二甲醚消耗量为0.95 t/h,DAP装置目前运行率为60%。根据二甲醚燃烧化学反应方程式:



燃烧二甲醚一年将减少碳排放:

$$(2.54-0.95 \times 88/46) \times 365 \times 24 \times 0.6 \text{ t} = 3\ 798 \text{ t}.$$

5.2.3 无固体废弃物产生

采用无烟煤作为燃料时,单系列装置按磷酸二铵年产量20万t计,吨产品煤耗13.9 kg,煤渣产生量15%,年产生煤渣量:

$$200\ 000 \text{ t} \times (13.9 \text{ kg/t}) \times 15\% = 417 \text{ t}.$$

改用二甲醚作为燃料时无固体废弃物产生,可减少固体废弃物417 t/a。

5.2.4 烟囱拖尾白烟得到治理

二甲醚投用之后,烟囱拖尾白烟的情况有了明显改善。尤其值得一提的是,除了冬天因气候特殊因素外,在晴朗的天气状况下,烟囱拖尾现象肉眼几乎感受不到。这一显著变化,充分彰显了二甲醚炉投用带来的积极成效。

5.2.5 降低能耗

采用无烟煤作为燃料时,电雾除尘器(220 kW)运行工况为电压65 kV、电流1 200 mA;二甲醚炉投运后,尾气中粉尘含量下降,电雾除尘器低档运行(电压35 kV、电流200 mA),每小时可节约用电:

$$(65 \times 1.2 - 35 \times 0.2) \text{ kW} \cdot \text{h} = 71 \text{ kW} \cdot \text{h}.$$

单系列装置年产量20万t,按运行率为60%左右,电价为0.69元/(kW·h)计算,一年减少电耗成本:

$$365 \times 24 \times 0.6 \times 71 \times 0.69 \text{ 元} = 25.7 \text{ 万元}.$$

6 结论

二甲醚炉成功建设并投入使用,实现了磷酸二铵产品新干燥方式,其成效显著。在浅色磷铵产品方面,极大地改善了产品外观质量,以往可能存在的瑕疵或不足得以消除,产品以更加完美的形态呈现于市场,显著提高了产品的市场认可度。同时也为清洁能源二甲醚在磷肥行业的应用提供了极具价值的可行性案例。这意味着在能源利用方面,磷肥行业有了更多绿色、高效、可持续的选择。通过这种新的能源运用方式,不仅实现了尾气中粉尘的超低排放,大幅度降低了对环境的污染,而且减少了二氧化碳排放,符合国家碳达峰、碳中和发展目标,助力推进新时代生态文明建设^[10],为应对全球

气候变化贡献了积极的力量。同时有力地推动了公司的绿色转型,助力公司高质量发展。

[参考文献]

- [1] 王永宏.改善磷酸二铵产品外观质量的分析与对策[J].磷肥与复肥,2011,26(2):28-32.
WANG Y H. Analysis on improving DAP appearance quality and its countermeasures [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2011, 26(2):28-32.
- [2] 何世杰.影响磷酸二铵产品颜色的因素分析[J].磷肥与复肥,2004,19(2):39-40,43.
HE S J. Analyzing factors affecting the colour of DAP product [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2004, 19 (2):39-40,43.
- [3] 经久艳.磷酸二铵专用着色剂的制备与研究[D].武汉:华中师范大学,2008.
JING J Y. Preparation research of a brown waterborne colorant and for diammonium hydrogen phosphate (DAP) fertilizer [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2008.
- [4] 沈立莹,林高雁,何春云.稳定控制磷酸二铵产品颜色的研究[J].磷肥与复肥,2012,27(4):35-38.
SHEN L Y, LIN G Y, HE C Y. Study on stability control of DAP color [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2012, 27(4):35-38.
- [5] 王维平,罗洪波,许文科,等.磷铵成品粒子褪色原因分析[J].磷肥与复肥,2011,26(1):23-25.
WANG W P, LUO H B, XU W K, et al. Analysis on fading reasons for product particle of ammonium [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2011, 26(1):23-25.
- [6] 王海,徐春,邓永达,等.2×600 kt/a磷酸二铵装置生产工艺和设备的优化[J].硫磷设计与粉体工程,2015(4):26-29.
WANG H, XU C, DENG Y D, et al. Optimization of Process and Equipment for 2×600 kt/a Diammonium Phosphate [J]. Sulphur Phosphorus & Bulk Materials Handling Related Engineering, 2015 (4):26-29.
- [7] 张玉彬,沈光祖,潘建英,等.Lab色度系统与肉眼视觉感受在黑白色度评价中的异同[J].环境与职业医学,2006(4):315-316,348.
ZHANG Y B, SHENG G Z, PAN J Y, et al. Relationship between Lab Color System and Human Color Vision on Black-White Discrimination [J]. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2006(4):315-316,348.
- [8] 张亚利.清洁燃料二甲醚[J].河北化工,2011,34(2):62-63.
ZHANG Y L. Clean Fuel Dimethyl ether [J]. Hebei Chemical Industry, 2011, 34(2):62-63.
- [9] 涂华,刘翠杰.标准煤二氧化碳排放的计算[J].煤质技术,2014(2):57-60.
TU H, LIU C J. Calculation of CO₂ emission of standard coal [J]. Coal Quality Technology, 2014(2): 57-60.
- [10] 钱靖.积极稳妥推进碳达峰碳中和,助力推进新时代生态文明建设[J].环境与生活,2024(6):28-32.