

# 磷酸二铵产品水分影响因素分析及控制措施

高保亮

(云南三环中化肥有限公司, 云南 昆明 650113)

**[摘要]** 随着磷矿品质下降, 磷酸渣酸中的杂质含量越来越高, 以渣酸为原料制备磷酸二铵产品时因产品水分高而导致装置产能低, 产品褪色、结块等问题。以云南三环中化肥有限公司2套600 kt/a磷酸二铵装置为例, 从原料、生产工艺、设备设施等方面分析产品水分影响因素, 通过原料管控、优化过程工艺控制指标和设备技术革新等措施, 解决磷酸二铵产品水分高、装置产能低的问题。

**[关键词]** 磷酸二铵; 水分脱除; 渣酸利用; 产能

**[中图分类号]** TQ442.14 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 03-0056-05

## Analysis of factors affecting water content in diammonium phosphate products and control measures

GAO Baoliang

(Yunnan Three Circle-Sinochem Fertilizers Co., Ltd., Kunming 650113, China)

**Abstract:** With the decline of phosphate rock quality, the impurities in slag acid of phosphoric acid are getting higher and higher. When slag acid is used to produce diammonium phosphate, the problems of low production capacity, fading and caking of products caused by high water content are appeared. Taking 2 sets of 600 kt/a diammonium phosphate units in Yunnan Three Circle-Sinochem Fertilizers Co., Ltd. as examples, the effect factors of water content in diammonium phosphate products are studied from the aspects of raw materials, production process, equipment and facilities, etc. Through raw material control, optimization of process control indicators and equipment technology innovation, the problems of high water content of diammonium phosphate products and low capacity of the device are solved.

**Key words:** diammonium phosphate; water removal; slag acid utilization; capacity

### 0 引言

近年来, 随着磷化工和新能源行业的发展, 磷矿石品质也在急剧恶化, 磷矿石中铁、镁、铝等酸不溶物比例越来越高, 导致磷酸中MER值持续攀升<sup>[1]</sup>。生产过程中, 企业为了保证下游用酸品质, 在湿法磷酸中添加了部分药剂, 加速磷酸澄清和杂质分离, 进而导致渣酸中杂质含量越来越高。在渣酸用于生产磷酸二铵一等品和合格品过程中, 由于其浓度、杂质的影响, 磷酸二铵产品水含量出现居高不下情况, 企业为确保产品水含量达到国家标准要求, 通常采用降负荷的方式来进行调节。云南三环中化肥有限公司(以下简称公司)2023年第四季度由于产品水含量控制问题, 渣酸生产磷酸二铵装置负荷仅为70%左右, 长期因产品脱水困难而低负荷运行, 不仅造成了产品生产成本增加, 还制约了装置产能的发挥。产品水含量高, 最终导致产品褪色、发白、结块等一系列质量问题。该产品

流入市场后, 部分客户认为是假冒伪劣产品, 甚至以外观质量问题为由要求产品降价处理, 不仅给企业造成了经济损失, 还有损企业品牌形象<sup>[2]</sup>。因此, 如何解决以渣酸为原料的磷酸二铵产品脱水问题, 已然成为企业亟待解决的核心问题。笔者以公司2套600 kt/a 57%磷酸二铵装置为例, 研究了原料、生产工艺、生产设备等因素对磷酸二铵产品水分的影响及控制措施, 以解决以渣酸为原料的磷酸二铵产品水含量高、装置产能低的问题。

### 1 磷酸二铵生产原理

公司采用管式反应器工艺进行生产, 液氨与磷酸进行中和反应, 经过干燥、筛分、冷却、包裹等工序制得产品。

总反应式:

**[收稿日期]** 2024-02-04

**[作者简介]** 高保亮(1993-), 男, 云南昆明人, 助理工程师, 主要从事磷肥、磷酸生产、研究等工作。



## 2 原料磷酸对产品水含量的影响

### 2.1 磷酸浓度对产品水含量的影响

湿法磷酸浓度对磷酸二铵产品水含量的影响显著,主要体现在以下几个方面。

(1) 磷酸浓度直接影响反应体系中的水含量:湿法磷酸中水含量与其浓度成反比,即磷酸浓度越高,其水含量越低。在磷酸二铵的生产过程中,磷酸作为关键原料,其浓度会直接影响反应体系中的水分总量,进而影响最终产品的水含量。

(2) 影响反应速率和平衡:磷酸浓度的变化会影响与氨反应时的反应速率和平衡状态。高浓度的磷酸可能促进反应的进行,使得反应更加完全,从而减少未反应的水分残留。

(3) 影响产品的结晶和脱水过程:在磷酸二铵的结晶和干燥过程中,磷酸的浓度会影响晶体的形成和长大,以及产品的干燥效率。适当的磷酸浓度有助于形成均匀、致密的晶体结构,并促进产品的干燥。

(4) 影响工艺指标控制:在磷酸二铵的生产过程中,通过调整磷酸的浓度,可以优化工艺控制指标,如反应温度、压力、时间等,从而进一步降低产品的水含量。

综上所述,磷酸的浓度越高,带到生产过程中的水含量就越少,在同等条件下,最终进入产品的水分也就越少。但过高的磷酸浓度,不仅增加了湿法磷酸浓缩的负荷,还增加了产品的生产成本<sup>[3]</sup>。因此,在生产中根据杂质含量来调整磷酸浓度,使磷酸浓度满足生产即可,不宜过低也不宜过高,应趋于稳定。

### 2.2 磷酸固相物对产品水含量的影响

磷酸固相物含量增加导致水含量上升:湿法磷酸中的固相物,如未溶解的磷酸盐、杂质等,会占据一定的体积和质量,从而相对减少了磷酸溶液中有效磷酸的浓度。这些固相物本身可能含有一定的水,或者在反应过程中会吸收或保留更多的水,导致最终生成的磷酸二铵产品中的水含量增加。

磷酸固相物会影响反应效率和产品质量:固相物的存在会影响磷酸与氨反应的效率,使得反应不完全或产生副产物。这些副产物或未完全反应的物质可能会以某种形式存在于产品中,进一步增加产品的水含量。同时,固相物还可能影响产品的颗粒结构、流动性等物理性质,从而影响产品的整体质量。

磷酸固相物含量太高会增加干燥难度:在磷酸二铵生产过程中,通常需要通过蒸发、干燥等步骤来去除产品中的水分。固相物的存在会增加脱水的难度,因为固相物本身可能不易被蒸发或干燥,同时还会占据传热和传质的表面积,降低干燥效率。

综上所述,在湿法磷酸中,控制一定的固相物含量有利于降低企业的生产成本,同时也是企业平衡渣的重要手段。因此,控制合理的固含量,有利于产品干燥。

### 2.3 倍半氧化物对产品水含量的影响

湿法磷酸中的倍半氧化物(也称为磷酸的三氧化物或多磷酸盐中的氧化物)对磷酸二铵产品水含量的影响可以从其物理化学性质和反应过程中来分析,主要有以下几点。

(1) 影响反应体系稳定性:倍半氧化物在湿法磷酸中作为杂质存在,它们的存在可能会影响磷酸溶液的稳定性,从而影响后续磷酸与氨反应形成磷酸二铵的效率和过程。磷酸中铁、镁、铝等金属离子与氨、磷酸反应生成枸溶性磷酸盐和结晶水,氨无法完全与磷酸结合,导致反应热降低,同时,形成的沉淀物含结晶水,在反应过程中不易析出。如果反应不完全或不稳定,可能会导致产物中水含量较高。

(2) 可能作为结合水源:倍半氧化物在湿法磷酸中可能含有一定的结合水,这些结合水在后续反应中可能会释放出来,成为产物磷酸二铵中的一部分水分。

(3) 影响结晶过程:倍半氧化物的存在可能影响磷酸二铵的结晶过程,如晶体的形成速度、晶体形态和粒度分布等。这些因素都可能间接影响最终产品的水含量。例如,晶体生长缓慢或形态不规则时,可能会导致水分更难从晶体间排出。

(4) 反应条件的敏感性:倍半氧化物的存在可能使反应条件变得更加敏感,如温度、压力、搅拌速度等。如果反应条件控制不当,可能会导致产品无法有效干燥,从而影响产品质量。

综上,控制磷酸中MER值就显得格外重要,有助于产品干燥, MER值越低,引入杂质越少,越有利于降低产品水含量。

### 2.4 氢离子活性对产品水含量的影响

湿法磷酸中的氢离子(H<sup>+</sup>)活性直接影响磷酸参与的反应速率。在磷酸二铵的生产过程中,磷酸与其他反应物(如氨)的反应速率会受到氢离子活性的影响。较高的氢离子活性可能促进反应速率的

增加,进而影响反应热和生成水分的量。

氢离子活性还会影响磷酸二铵等产物的生成和性质。在反应过程中,氢离子可能参与形成不同的磷酸盐物种,这些物种的生成比例和稳定性会影响最终产品的结构和含水量。

综上,磷酸中氢离子活性越高,在反应过程中越激烈,反应热越高,活性越低,反应热就越低。

### 3 反应料浆密度对产品水含量的影响

料浆相对密度与磷酸二铵产品水含量的关系见表1。由表1得出,随着反应料浆相对密度提高,造粒出口物料温度随之升高,造粒出口产品水含量逐渐降低。因此,提高料浆密度,有利于提高产品反应热及产品干燥。反应料浆密度是生产操作控制的核心工艺参数,通常反应料浆 $w(\text{H}_2\text{O})$ 为15%~25%,反应料浆密度越高,水含量越低,参与反应的水就越少,带到管式反应器、造粒机和干燥系统的水越少,在相同干燥负荷下,则产品的水含量必然也越少<sup>[3]</sup>。如波动较大,则会导致操作工艺参数发生变化,最终导致产品水分超标。针对固含量较高的渣酸,料浆的搅拌强度决定了反应料浆的均匀性,反应料浆密度越稳定越有利于产品干燥。拟采用提高料浆密度来提高产品干燥效率,降低热风系统能耗,料浆密度越高,氨酸配比一定情况下,颗粒成长周期延长,颗粒细小,负面影响就是洗涤系统 $n(\text{N})/n(\text{P})$ 会升高,如 $n(\text{N})/n(\text{P})$ 控制失衡,则会导致洗涤系统堵塞,造成装置停车。针对57%磷酸二铵产品,经过研究,反应料浆相对密度参考控制范围在1.58~1.65。

表1 料浆相对密度与磷酸二铵产品水分的关系

Table 1 The relationship between relative density of slurry and water content of diammonium phosphate product

编号	料浆相对密度	实测造粒出料温度/℃	产品 $w(\text{H}_2\text{O})/\%$
1#	1.540	91.0	2.99
2#	1.565	92.5	2.81
3#	1.580	92.8	2.78
4#	1.590	93.3	2.73
5#	1.615	96.0	2.43
6#	1.620	99.0	2.48
7#	1.621	98.9	2.22
8#	1.622	100.7	2.30

综上,料浆密度增加意味着单位体积内溶质量增加,这有助于在反应过程中更快地形成固体颗粒,并减少水含量。高密度的料浆在造粒过程中更容易形成较大的颗粒,从而提高了干燥效率。

### 4 造粒系统对产品水含量的影响

造粒、干燥系统产品的水含量见表2。由表2得出,随着造粒机出口水含量逐渐降低,干燥出口

产品水含量也在逐渐降低。造粒机是整个磷肥生产的“心脏”,造粒的效果直接决定了产品的内外在质量,主反应是在造粒机中进行的,中和反应的物料由内到外扩散水分,是脱水的核心。

表2 造粒、干燥系统产品的水含量

Table 2 Water content of products in granulation and drying system

编号	造粒出口 $w(\text{H}_2\text{O})/\%$	干燥出口 $w(\text{H}_2\text{O})/\%$	干燥 脱水率/%	成品 $w(\text{H}_2\text{O})/\%$
1#	3.05	2.66	12.8	2.54
2#	2.96	2.60	12.2	2.45
3#	2.76	2.53	8.3	2.25
4#	2.61	2.50	4.2	2.21
5#	2.52	2.29	9.1	2.15
6#	2.49	2.24	10.0	2.13

造粒机对磷酸二铵干燥效率的影响是多方面的,主要体现在以下几个方面。

(1) 料浆的喷涂与分布:造粒机通过其特殊的结构和设计,使反应料浆能够均匀、有效地喷涂在造粒机的内壁上,这有助于料浆中的水在喷涂过程中迅速蒸发。均匀分布的料浆使得每一部分都能得到充分的干燥,从而提高干燥效率。

(2) 闪蒸空间与水分蒸发:造粒机内部提供了足够的闪蒸空间,即料浆雾化后与水蒸气分离的空间。这个空间允许水分在负压抽风的作用下迅速蒸发并排出系统,从而降低产品中的水含量。闪蒸空间的设置和优化对于提高干燥效率至关重要<sup>[4]</sup>。

(3) 造粒床层高度:造粒床层高度对干燥效率也有显著影响。通过控制造粒床层高度,可以增加造粒机内含湿物料的置换频率和参与反应物料的表面积,这有助于延长物料在造粒机内的停留时间,提高水分的蒸发效率。同时,合适的床层高度还能提高物料的流动性和稳定性,确保干燥过程顺利进行。

(4) 温度与压力控制:造粒机内的温度和压力是影响干燥效率的重要因素。通过优化操作参数,如提高料浆密度、生产负荷和反应压力,可以提高系统温度,增加水分蒸发的动力。同时,稳定的反应温度和压力有助于保持造粒过程的连续性和稳定性,从而提高干燥效率。

(5) 二次氨化效果:在造粒过程中,二次氨化效果的好坏也直接影响产品的干燥效率。良好的二次氨化可以进一步降低产品中的水含量,提高产品质量。因此,在造粒机的设计和操作过程中,需要充分考虑如何优化二次氨化效果。

造粒有3种成粒方式,即喷浆物料均匀涂布在颗粒表面上的涂布造粒,物料黏结成较大颗粒的黏结成粒,湿物料雾化成细小雾滴在热气流中水分蒸发面形成小颗粒的自成粒<sup>[5]</sup>。

在生产过程中,以涂布造粒为主,自成粒为辅,造粒质量主要取决于设备硬件和生产操作控制两个部分。在设备硬件部分:目前公司现有造粒机为转筒式造粒机,设计单管生产能力55 t/h,处理能力560 t/h,最大处理量650 t/h。首先影响产品脱水最大的是管式反应器,同等条件下,由于管式反应器反应速率快,在瞬间释放反应热,产生的水蒸气由抽风系统迅速带走,此部分脱水占整个脱水的80%以上,反应料浆借助管反喷口迅速喷浆涂布,大幅度减少了氨化过程中枸溶性或不溶性物质的生成比例,有效降低了产品脱水的难度。因此,管式反应器喷嘴大小、反应器角度、反应料浆密度、反应压力和二次氨化效果是保证反应效果的核心。其次,是造粒闪蒸空间,也就是料浆雾化闪蒸空间,通俗讲就是料浆与床层之间的高度。参与反应的物料除了要有较好的反应外,还应该有一个良好的水分闪蒸空间,管式反应器喷出来的料浆闪蒸距离越短,其水分闪蒸的效果就越差,反应释放的水分无法完全蒸发,会造成造粒机出口物料水含量较高。最后是床层高度,造粒床层高度是由出料挡板高度决定的,通过反复生产研究,提高造粒床层高度控制造粒返料量,主要是增加造粒机含湿物料置换和增加参与反应物料的面积,同时可以延长物料生长速率,提高产品脱水率,经过研究造粒床层高度可控制在550~600 mm。操作控制部分:通常反应器操作压力控制在0.2~0.4 MPa,返料进料温度90℃,造粒出口物料温度105~110℃,出料产品 $w(\text{H}_2\text{O})$ 在2%~4%。

首先,稳定反应指标,提高反应热是确保产品脱水效率的前提条件。氨酸配比稳定,提高料浆密度与氨酸原料的温度,保持反应温度在120℃以上,保持氨酸反应温度和压力,有利于增加涂布造粒占比,粒子粗糙,颗粒小,可增加产品水分扩散路径。为提高系统温度,比较经济的做法是提高料浆密度、生产负荷及反应压力。当料浆密度和反应压力在同等条件下,生产负荷决定了整个系统温度。当生产负荷较小时,自身的反应热有限,在造粒机中随负压抽风易散失,仅靠热风系统提供的热量,很难将干燥机内几百吨物料内的水分蒸发出来。当生产负荷较高时,反应热大,蒸发出来的水

就多,但反应生成的物料在造粒系统中停留时间有限,如闪蒸出来的水蒸气不能完全被负压抽走,水蒸气冷凝后又附着在物料表面,磷酸二铵易溶于水,部分水还渗透到物料内部,造成产品的水含量升高<sup>[5]</sup>。反应器压力直接影响反应温度高低,进而决定造粒物料水分蒸发量。压力过高,喷出的料浆自成粒的小颗粒较多,不利于物料的合理粒径分布,因此,管式反应器反应压力控制在0.4~0.5 MPa较适中。其次,确保造粒系统负压,稳定的负压有利于带走水分的扩散。若负压不足,闪蒸水分抽不走,仍然会导致产品水分偏高。最后,稳定造粒出口产品粒径分布,是决定产品水含量的关键点。在同等条件下,细颗粒物料的比表面积比大颗粒物料大,在参与造粒和干燥过程中水分更易蒸发。通常返料中粒径2~3 mm的颗粒占比控制在70%左右,粒径2 mm以下的颗粒占比控制在25%左右,尽量避免粒径大于4.5 mm的大颗粒产生。由于生产负荷增加后,进造粒机、干燥机的返料量控制不准确,喷浆量与返料量控制不匹配后,导致造粒机粒度不好控制,造粒机出口物料粒度不均匀,导致产品水含量也非常不稳定。因此控制造粒出口产品 $w(\text{H}_2\text{O})$  2.5%以内是目标,造粒机出口物料水分越低,证明反应越彻底,闪蒸效果越好。

## 5 干燥系统对产品水含量的影响

干燥系统对磷酸二铵产品水含量的影响是显著的,它直接关系到产品的最终水含量。以下从多个方面详细阐述干燥系统对磷酸二铵产品水含量的影响。

(1) 温度控制:干燥系统的温度是控制产品水含量的关键因素之一。在干燥过程中,提高干燥温度可以增加物料表面的蒸汽压,促进水分子从物料内部向表面扩散,并加快水分在干燥介质中的传质速率,从而有效降低产品水含量。

(2) 风量与风速:干燥系统内的风量和风速对水分的去除也起着重要作用。适当的风量和风速可以确保热风与物料充分接触,增加传热传质效率,促进水分的蒸发和排出。如果风量不足或风速过低,可能导致物料表面温度不均,干燥效率下降,产品水含量偏高。

(3) 干燥时间:干燥时间的长短直接影响产品的水含量。在其他条件不变的情况下,延长干燥时间可以进一步降低产品的水含量。然而,过长的干燥时间也会增加能耗和设备磨损,因此需要找到最佳的干燥时间平衡点。

(4) 设备结构与设计: 干燥系统的设备结构和设计对其性能有着重要影响。例如, 床层高度、热风分布装置等都会影响到热风与物料的接触方式和效果, 进而影响产品的水含量。

(5) 操作与维护: 干燥系统的操作和维护状态也会影响到其效率。例如, 定期清理和维护干燥设备可以避免堵塞和积料, 保证热风和物料的正常接触和传质; 同时, 稳定的操作参数和合理的操作控制也是确保干燥系统高效运行的重要条件。

综上, 在磷酸二铵生产过程中, 当原料磷酸质量、料浆密度、粒度、出料温度、颗粒强度等生产条件相近时, 干燥系统是确保产品  $w(\text{H}_2\text{O})$  达标的最后一个环节, 干燥系统脱水率占整个系统脱水效率的10%左右。在干燥机中, 为避免物料过热造成氨的逸出, 热风 and 湿物料通常采用并流操作, 过高的温度虽可保证产品水含量要求, 但能耗大, 不经济, 且脱水效率有限。因此, 重点还是应控制造粒出口物料水含量, 控制干燥系统返料量是为了进一步脱除水分。保证干燥热风通道通畅, 提供充足的热量, 如系统大量冷风进入, 会造成干燥系统热量损失, 导致生产成本增加。引入热风越多, 干燥温度越高, 脱水效率越高。热风炉提供的热量是恒定的, 非特殊情况下, 不作为调节产品水含量的主要手段。干燥机内抄板由于操作控制问题, 经常会出现潮料, 潮料黏结在干燥机抄板上, 随着周期延长, 抄板被物料覆盖, 有效运行效率降低, 导致抄板抄不起物料, 物料不能形成料幕, 热风从干燥机的上方通过, 不能与物料很好地进行热交换, 导致物料中的大量水分还残留在物料内部, 降低了干燥系统脱水效率。根据试验分析得出, 随着干燥机出风温度升高, 产品中水含量逐渐降低。

## 6 结论

在原料磷酸方面, 控制磷酸浓度, 浓度越高, 带到生产过程中的水含量就越少, 磷酸浓度建议控制在  $w(\text{P}_2\text{O}_5)$  44.5% ~ 45.5%; 控制固相物, 固相物越高, 杂质引入越多, 磷酸固相物建议控制在

17% ~ 23%; 控制倍半氧化物含量, 建议MER值 < 0.160。

反应料浆密度方面, 高密度的料浆在造粒过程中更容易形成较大的颗粒, 从而提高了脱水效率。相对密度参考控制范围在1.58 ~ 1.65。

造粒系统方面: 控制造粒出口  $w(\text{H}_2\text{O}) < 2.5\%$ , 造粒机出口物料水含量越低, 证明反应越彻底, 闪蒸效果越好。

干燥系统方面: 保证干燥热风通道通畅, 提供充足的热量, 保证抄板正常操作形成料幕。

通过对57%磷酸二铵产品脱水机制研究, 解决了渣酸产品水含量高、装置产能低的问题。2024年1月在保证产品水分的前提下, 装置日产能由原来的1 500 t提升至2 000 t以上, 产品水分一次下线合格率由原来的75%提升至90%以上。

## [参考文献]

- [1] 韩木贵. 杂质对磷酸、磷铵生产的影响及控制措施[J]. 磷肥与复肥, 2017, 32(4): 17-19.  
HAN M G. Effect of impurity on phosphoric acid and phosphate ammonium productions and its control measures [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 32(4): 17-19.
- [2] 高保亮. 磷酸二铵产品外观质量的影响因素及控制措施[J]. 磷肥与复肥, 2023, 38(2): 12-15.  
GAO B L. Influencing factors and control measures of appearance quality of DAP products [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(2): 12-15.
- [3] 李沪萍, 罗康碧, 周远清, 等. 影响磷酸二铵产品水分含量因素分析[J]. 化肥工业, 2007(4): 30-32, 37.  
LI H P, LUO K B, ZHOU Y Q, et al. Analysis of factors affecting moisture content of diammonium phosphate product [J]. Chemical Fertilizer Industry, 2007(4): 30-32, 37.
- [4] 王平飞. 影响磷酸二铵水分含量的因素与措施[J]. 云南化工, 2015, 42(1): 69-70.  
WANG P F. Factors affecting the moisture content of DAP and measures [J]. Yunnan Chemical Technology, 2015, 42(1): 69-70.
- [5] 张良成. 磷酸二铵水含量的控制措施[J]. 磷肥与复肥, 2018, 33(2): 13-14.  
ZHANG L C. Control measures of water content in DAP [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2018, 33(2): 13-14.