

复合肥料各类转鼓造粒工艺的特点及适用场景

叶坤国, 高璐阳, 钟振, 张建, 张汉卿, 王小蒙, 曾锐, 郭武松

(新洋丰农业科技股份有限公司, 湖北 荆门 448000)

[摘要] 综述复合肥料转鼓造粒工艺的技术演进、特点及适用场景, 重点分析水基造粒、蒸汽造粒、尿熔造粒、氨酸造粒、半料浆氨酸造粒和低温共熔造粒6种工艺。基于新洋丰农业科技股份有限公司的运行数据, 通过定量比较(如原料成本、燃料单耗、成球率)揭示半料浆氨酸造粒和低温共熔造粒工艺的显著优势: 半料浆氨酸造粒工艺较蒸汽造粒工艺原料成本降低118.2元/t, 燃料单耗仅0.018 t/t, 成球率达84.6%~91.8%; 低温共熔造粒工艺无需危险化学品, 适合中小企业, 实现洗涤水零排放。研究指出, 半料浆氨酸造粒工艺适用于具备液氨储存能力的大型企业, 而低温共熔造粒工艺可提升中小企业竞争力。最后, 讨论当前工艺的关键瓶颈(如料浆黏度控制)和改进方向, 强调工艺升级对质量提升和节能降耗的必要性。

[关键词] 复合肥料; 转鼓造粒工艺; 特点及适用场景; 质量提升; 节能降耗

[中图分类号] TQ444 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 08-0059-06

Characteristics of various drum granulation processes for compound fertilizers and applicable scenarios

YE Kunguo, GAO Luyang, ZHONG Zhen, ZHANG Jian, ZHANG Hanqing, WANG Xiaomeng,
ZENG Rui, GUO Wusong

(Xinyangfeng Agricultural Technology Co., Ltd., Jingmen 448000, China)

Abstract: The technological evolution, characteristics, and applicable scenarios of the rotary drum granulation process for compound fertilizers are summarized, with a focus on analyzing six processes: Water-based granulation, steam granulation, urea melt granulation, ammonia granulation, semi slurry ammonia granulation, and low-temperature co-melting granulation. Based on the operational data of Xinyangfeng Agricultural Technology Co., Ltd., significant advantages of semi slurry ammonia granulation and low-temperature co-melting granulation processes are revealed through quantitative comparisons such as raw material cost, fuel consumption, and balling rate. The semi slurry ammonia method can reduce raw material costs by 118.2 RMB Yuan/t compared to steam granulation, with a fuel consumption of only 0.018 t/t and balling rate of 84.6% to 91.8%; The low-temperature co-melting method does not require hazardous chemicals and it is suitable for small and medium-size enterprises to achieve zero discharge of washing water. Research has shown that the semi slurry ammonia process is suitable for large enterprises with liquid ammonia storage capacity, while the low-temperature co-melting process can enhance the competitiveness of small and medium-sized enterprises. Finally, the key bottlenecks of the current process (such as slurry viscosity control) and improvement directions are discussed, emphasizing the necessity of process upgrading for quality improvement and energy conservation.

Key words: compound fertilizer; drum granulation processes; features and applicable scenarios; quality improvement; energy saving and consumption reduction

0 引言

复合肥料转鼓造粒工艺因其建设成本相对适中、配方较为灵活、产品理化性质稳定、能够生产不同养分含量的复合肥料, 得到国内肥料行业的一致认可, 也是至今复合肥料行业采用最为广泛的造粒工艺。国内复合肥料转鼓造粒工艺已经过30余

年的高速发展, 随着复合肥料转鼓造粒工艺技术不断进步, 从20世纪90年代盛行的水基造粒法开

[收稿日期] 2025-04-21

[作者简介] 叶坤国(1981-), 男, 湖北荆门人, 工程师, 从事新型肥料研发与推广。

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2023YFD1701003)

始,经过蒸汽造粒法、尿熔造粒法、氨酸造粒法,到目前先进的半料浆氨酸造粒法、低温共熔造粒法,这些工艺技术的不断升级,离不开行业内各位工艺技术人员持续研发与努力。笔者结合国内行业和新洋丰农业科技股份有限公司(以下简称公司)各类转鼓造粒工艺的运行实况,分析对比其特点、优劣势及适用场景,为肥料企业选择最适合自己的复合肥料转鼓造粒工艺提供参考。

1 复合肥料各类转鼓造粒工艺的特点概述

1.1 转鼓水基造粒工艺

1.1.1 工艺概述

转鼓水基造粒工艺在国内盛行于20世纪90年代,也是转鼓造粒工艺复合肥料国产化初期的主要造粒工艺。该工艺是将含有氮、磷、钾的各类原料与辅料、中微量元素等通过计量系统计量投料,混合后经过输送设备运输至转鼓造粒机(部分生产线采用的是圆盘造粒机+转鼓造粒机工艺,计量后的混合原料先经过圆盘造粒机进行一次造粒,再经过转鼓造粒机进行二次造粒),同时,将水(或蒸汽)采取多点分布的方式输送至造粒机内物料层,借助水(或蒸汽)和原料互溶后的液相黏合,促进团聚成粒,再依次经过烘干、冷却、筛分、包膜、包装,生产出合格的复合肥料。

1.1.2 工艺优劣势

优势:转鼓水基造粒工艺投资门槛相对较低,造粒工段操作较为简单,适合生产中低浓度复合肥料配方,特别是采用过磷酸钙或磷酸氢钙作为部分磷原料的中低浓度复合肥料配方(如18-5-7、15-5-5等);适合生产 $w(\text{总养分}) \leq 30\%$ 的有机、无机复合肥料产品。

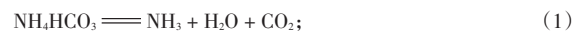
劣势:转鼓水基造粒工艺因在造粒过程中添加大量的水或蒸汽,不适合生产高浓度、高氮型复合肥料,主要原因是高浓度、高氮型复合肥料在生产过程中都要遵循“低温大风量”的烘干原则,而转鼓水基造粒法添加较多的水或蒸汽,在“低温大风量”的烘干方法下,水含量不易合格。随着转鼓造粒技术不断进步,虽然中大型肥料企业基本已经取消了转鼓水基造粒法工艺,但是现在仍有少部分小规模肥料企业还在沿用该工艺。

1.2 转鼓蒸汽造粒工艺

1.2.1 工艺概述

转鼓蒸汽造粒工艺是转鼓水基造粒工艺的升级工艺。该工艺将含有氮、磷、钾的各类原料与辅料、中微量元素等通过计量系统计量投料,混合后

经过输送设备运输至转鼓造粒机,同时将饱和蒸汽采取多点分布的方式,通过埋管式蒸汽喷头输送至造粒机内物料层,借助饱和蒸汽的热量、水分,与原料互溶后产生具有一定黏度的原料或液相,促使各类原料粘连成粒(部分配方会添加碳酸氢铵,碳酸氢铵遇蒸汽加热分解成 NH_3 、 CO_2 、 H_2O ,其中 NH_3 会与磷酸一铵发生反应,生成黏度较大的磷酸二铵,有助于提高成球率),再依次经过烘干、冷却、筛分、包膜、包装工序,生产出合格的复合肥料。该工艺中的化学反应有:



1.2.2 工艺优劣势

优势:转鼓蒸汽造粒工艺是转鼓水基造粒工艺的升级工艺,生产肥料配方灵活,并且明显改善转鼓水基造粒工艺不适合生产中、高浓度复合肥料的问题。该工艺适合在低温、低湿的季节生产高浓度、高氮型复合肥料;适合生产以氯化铵为主要氮源的高氮复合肥料,性价比高。该工艺因其投资相对较小、生产配方相对灵活,无需液氨、硫酸等危险化学品原料,目前一直被众多肥料生产企业采用。

劣势:因在造粒过程中,转鼓蒸汽造粒工艺蒸汽所带入的水导致物料水含量偏高,在高温、高湿季节生产高浓度、高氮型复合肥料时,肥料不易烘干,肥料较黏而导致筛分困难,难以兼顾成球率与成品低水含量;该工艺在高温、高湿季节生产的高浓度、高氮型复合肥料产品颗粒强度偏低,一般为10~20N,长期储存可能会出现结块、粉化的现象。

1.3 转鼓尿熔造粒工艺

1.3.1 工艺概述

转鼓尿熔造粒工艺兴起于20世纪90年代末期,适合生产以尿素为主要氮源的复合肥料配方。转鼓尿熔造粒工艺是将含有氮、磷、钾的各类原料与辅料、中微量元素等通过计量系统计量投料,混合后经过输送设备运输至转鼓造粒机。同时将尿素计量后输送至带有加热盘管、搅拌桨的加热熔融槽,同步计量加入部分无机盐原料,有利于降低尿素熔融温度,降低缩二脲含量,熔融温度为115~120℃,尿素熔融液体通过离心泵、管道、流量计输送至造粒机内,采取多点分布的方式,经多个喷头喷洒在造粒机内物料层表面,借助尿素熔融液体的黏性、热量、冷凝等特点,与原料粘黏、

冷凝成粒，再依次经过烘干、冷却、筛分、包膜、包装工序，生产出合格的复合肥料。

1.3.2 工艺优劣势

优势：转鼓尿熔造粒工艺生产肥料产品配方灵活，特别适合以尿素为主要氮源的中、高浓度复合肥料生产。该工艺生产的复合肥料产品，颗粒强度高（20~30 N），颗粒圆润光滑，外观品质好。

劣势：转鼓尿熔造粒工艺主要用于生产以尿素为主要氮源的中、高浓度复合肥料，而按照单养分价值计算，尿素的单养分价值与硫酸铵、氯化铵相比，是最高的，所以该工艺生产出的复合肥料成本也偏高，该工艺目前在国内基本不被采用了。

1.4 转鼓氨酸造粒工艺

1.4.1 工艺概述

转鼓氨酸造粒工艺兴起于2010年前后，适合生产各种配方类型的复合肥料。转鼓氨酸造粒工艺是将含有氮、磷、钾的各类原料与辅料、中微量元素等原料通过计量系统计量投料，混合后经过输送设备运输至转鼓造粒机。同时将氨、预制稀硫酸通过计量后输送至管式反应器（也有将浓硫酸与水同时输送至管式反应器进行在线配制稀硫酸的方法），反应生成的硫酸铵料浆经喷头喷洒在造粒机内物料层表面，借助硫酸铵料浆的黏性、热量、水分等，与原料粘黏成粒，再依次经过烘干（新工艺为两次烘干工艺）、冷却、筛分、包膜、包装工序，生产出合格的复合肥料^[1-3]。

1.4.2 工艺优劣势

优势：与之前的转鼓水基造粒工艺、转鼓蒸汽造粒工艺、转鼓尿熔造粒工艺相比，转鼓氨酸造粒工艺功能广泛，生产肥料配方更加灵活。优势一，在当时行业内统一执行GB 15063—2009《复混肥料（复合肥料）》国标时，采用转鼓氨酸造粒工艺生产的肥料，可以标识“复合肥料”，而转鼓水基造粒工艺、转鼓蒸汽造粒工艺、转鼓尿熔造粒工艺生产的肥料，只能标识“复混肥料”，从而提高了产品的竞争力；优势二，转鼓氨酸造粒工艺可以大幅度提高成球率，颗粒强度高（20~30 N），能有效利用氨酸化学反应热而降低能耗，可消耗部分尾气洗涤液而减轻洗涤水处理压力。该工艺在2010年后，被众多大型肥料企业采用。

劣势：转鼓氨酸造粒工艺需要使用液氨、硫酸等危险化学品，投资较大。液氨、硫酸等危险

化学品在储存和使用过程中，对肥料企业的安全生产管理水平和员工操作技术水平提出了更高的要求，只有大型肥料企业具备这些能力，小规模肥料企业基本不具备采用转鼓氨酸造粒工艺的能力。

1.5 转鼓半料浆氨酸造粒工艺^[4-10]

1.5.1 工艺概述

转鼓半料浆氨酸造粒工艺兴起于2015年前后，由LNPJGQ公司发明并取得专利授权许可，该工艺是转鼓氨酸工艺的重要升级，适合生产各种配方类型的复合肥料。转鼓半料浆氨酸工艺将料浆法与固体团粒法进行了有效结合。为保证造粒系统的液固平衡及装置控制的可靠性、稳定性，取部分磷酸一铵以液态形式进入管式反应器，与氨、硫酸进行化学反应，生成磷酸二铵料浆喷到造粒机料层中进行造粒。同时通过料层中的氨埋管通入气氨，与粉状磷酸一铵反应生成磷酸二铵，利用磷酸二铵的黏性团聚成粒。该工艺液相量（磷酸二铵料浆）充足并可以随时根据系统进行调节，成球率高，颗粒强度高，可不使用黏土，生产成本大幅度降低。经过造粒工段后，再依次经过烘干（两次烘干）、冷却、筛分、包膜、包装工序，生产出合格的复合肥料。

1.5.2 工艺优劣势

优势：转鼓半料浆氨酸造粒工艺功能广泛，生产肥料配方更加灵活。优势一，在当时行业内统一执行GB 15063—2009《复混肥料（复合肥料）》国标时，采用转鼓半料浆氨酸造粒工艺生产的肥料，可以标识“复合肥料”，从而提高了产品的竞争力；优势二，转鼓半料浆氨酸造粒工艺可以明显提高成球率，多数配方都不需要使用黏土，并且颗粒强度高（25~35 N）；优势三，由于该工艺成球率高、部分磷酸一铵可以制浆，从而能够消耗部分黏性较差的工业磷铵副产的渣酸磷铵；优势四：与转鼓蒸汽造粒工艺相比，转鼓半料浆氨酸造粒工艺能有效利用氨、硫酸、磷酸一铵料浆的化学反应热而降低能耗，造粒机出口物料 $w(\text{H}_2\text{O})$ 可以控制 $\leq 2.8\%$ ，大幅度降低燃煤或天然气消耗量（15%~20%），可全部消耗尾气洗涤液，实现洗涤水零排放。该工艺在2015年后，被众多大型肥料企业如中化化肥有限公司、中农集团控股股份有限公司、云南云天化股份有限公司、新洋丰农业科技有限公司等采用，核心造粒工段工艺流程见图1。

劣势：转鼓半料浆氨酸造粒工艺劣势与转鼓氨酸造粒工艺相同。

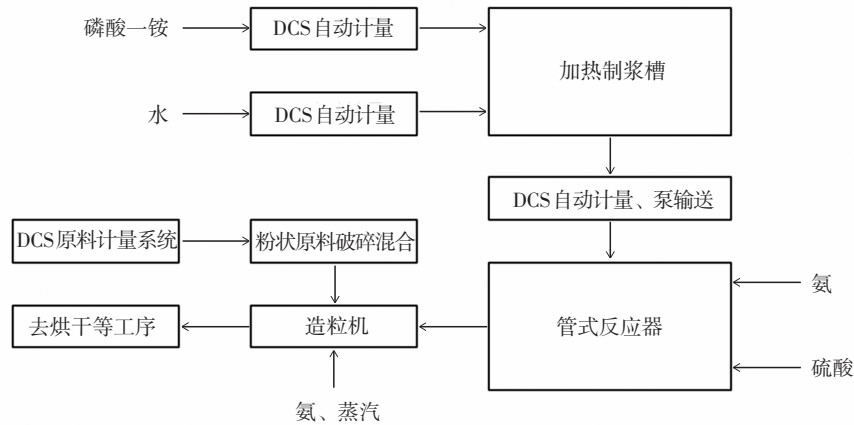


图1 转鼓半料浆氨酸法造粒工段工艺流程

Fig. 1 The process flow of the rotary drum semi-slurry acid granulation section

1.6 转鼓低温共熔造粒工艺

1.6.1 工艺概述

转鼓低温共熔造粒工艺于2020年前后由LNPJGQ公司发明并取得专利授权许可，该工艺实现了不需要氨、硫酸的料浆法，适合生产各种配方类型的复合肥料。转鼓低温共熔造粒工艺是先将各类氮磷钾原料及辅料经过计量后输送至造粒机内，同时尾气洗涤水计量后输送至带蒸汽加热盘管、搅拌浆的低温共熔料浆槽，加热至一定温度，再将尿素、磷酸一铵分别计量后（无尿素配方则不需添加尿素）输送至低温共熔料浆槽，与预热的洗涤水充分混合，制取低温共熔料浆，将 $w(\text{H}_2\text{O})$ 约15%的低温共熔料浆计量后输送到造粒机内，通过多个喷头喷洒在粉状物料层，由于低温共熔料浆具有较好的黏性，可与各类粉状原料混合后团聚成粒。该工艺液相量（低温共熔料浆）充足并可以随时根据系统进行调节，成粒率高，颗粒强度高，可不使用黏土，大幅度降低生产成本。经过造粒工段后，再依次经过烘干（两次烘干）、冷却、筛分、包膜、包装工序，生产出合格的复合肥料。

1.6.2 工艺优劣势

优势：转鼓低温共熔造粒工艺功能广泛，生产肥料配方更加灵活。优势一，转鼓低温共熔造粒工艺不需要使用氨、硫酸等危险化学品，即可实现半料浆法造粒，让众多没有危险化学品储存和使用资质的小型肥料企业也可以使用该工艺提质降耗；优势二，转鼓低温共熔造粒工艺的成球率比半料浆氨酸造粒工艺更高，配方不需要使用黏土，并且颗粒强度高（25~35 N）；优势三，与转鼓蒸汽造粒工艺相比，转鼓低温共熔造粒工艺

能有效利用低温共熔料浆的高热量、低水分等特点，造粒机出口物料 $w(\text{H}_2\text{O})$ 可以控制 $\leq 2.5\%$ ，大幅度降低燃煤或天然气消耗量（15%~20%），可全部消耗尾气洗涤液，实现洗涤水零排放。该工艺目前已被部分肥料企业采用，核心造粒工段工艺流程见图2。

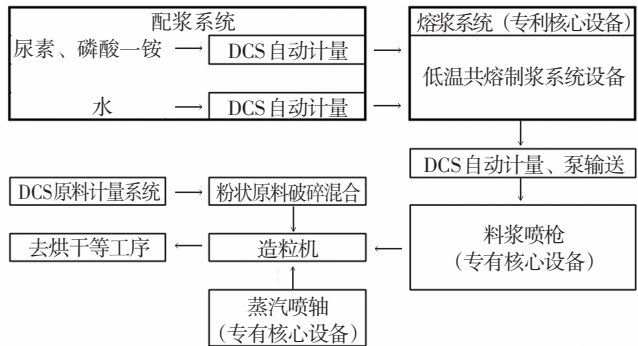


图2 转鼓低温共熔造粒工段工艺流程

Fig.2 The process flow of the low-temperature co-melting granulation section of the rotary drum

劣势：相比蒸汽造粒工艺，投资略大；新增了制取低温共熔料浆工段，与蒸汽造粒工艺相比，工作量有所增加，同时对员工的理论水平和操作技术水平要求更高，需要正确控制低温共熔料浆的配比、温度、水含量等重要指标，以及能够正常操作和维护该工段的计量、加热、熔融、输送泵等设备。

2 公司3种具有代表性的转鼓造粒工艺对比分析

公司的转鼓造粒工艺经历了多次升级与换代，从20世纪90年代的水基造粒法开始，经历了蒸汽造粒法、尿熔造粒法、氨酸造粒法、半料浆氨酸造粒法、低温共熔造粒法（正在技改中）等工艺的不断升级。根据多年来的运行状况，目前公司正在运

行的转鼓半料浆氨酸造粒工艺在产品质量、成本、能耗、环保等方面均优于上述其他造粒工艺（低温共熔造粒工艺正在技改中，暂无运行数据，此处不做对比），笔者将根据装置实际运行情况，选取蒸汽造粒法、氨酸造粒法、半料浆氨酸造粒法工艺进行详细对比分析。

3种工艺的原料组分与成本对比见表1。通过

表1可以看出，半料浆氨酸造粒工艺不需要使用黏土即可正常生产，而蒸汽造粒工艺、氨酸造粒工艺均需要使用不同比例的黏土才能正常生产。由于半料浆氨酸造粒工艺不使用黏土，每吨原料成本合计比蒸汽造粒工艺低118.2元，大幅度降低该产品的原料成本，使产品具有一定的成本优势。

3种工艺的烘干温度、燃煤单耗对比见表2。

表1 25-10-12复合肥料的原料组分与成本对比

Table 1 Comparison of raw material components and costs for compound fertilizer 25-10-12

项目	原料 w(总养分)/%	蒸汽造粒工艺		氨酸造粒工艺		半料浆氨酸工艺	
		原料组分/kg	原料成本/元	原料组分/kg	原料成本/元	原料组分/kg	原料成本/元
尿素	46	490	931.00	440	836.00	380	722.00
氯化铵	25	0	0	60	30.00	170	85.00
磷酸一铵	58	210	735.00	210	735.00	210	735.00
氯化钾	60	200	564.00	200	564.00	200	564.00
黏土		90	16.20	50	9.00	0	0
液氨	82	0	0	20	52.00	20	52.00
硫酸	98	0	0	20	10.00	20	10.00
碳酸氢铵	按干基	10	40.00	0	0	0	0
合计		1 000	2 286.20	1 000	2 236.00	1 000	2 168.00

表2 25-10-12复合肥料的烘干温度、燃料单耗对比

Table 2 Comparison of drying temperature and fuel consumption for compound fertilizer 25-10-12

工艺	投料量/ (t·h ⁻¹)	烘干机进 口温度/℃	烘干机出 口温度/℃	吨肥燃料 消耗/t
蒸汽造粒法	25	150~160	60~65	0.023
氨酸造粒法	25	135~145	60~65	0.020
半料浆氨酸造粒法	25	130~140	60~65	0.018

从表2可以看出，半料浆氨酸造粒工艺复合肥料25-10-12的烘干机进口温度、燃料单耗均低于蒸汽造粒工艺、氨酸造粒工艺，实现了节能降耗。

3种工艺洗涤水消耗量、理化指标对比见表3。

表3 25-10-12复合肥料的产品洗涤水消耗量、理化指标对比
Table 3 Comparison of washing water consumption and physical and chemical indicators of compound fertilizer 25-10-12

工艺	洗涤水产生量/ (t·t ⁻¹)	洗涤水消耗 量/(t·t ⁻¹)	颗粒强 度/N	pH
蒸汽造粒法	0.03~0.04	0	13~20	5.9
氨酸造粒法	0.03~0.04	0.02	20~30	6.2
半料浆氨酸造粒法	0.03~0.04	0.06	25~35	6.3

从表3可以看出，蒸汽造粒工艺无法消耗洗涤水，半料浆氨酸造粒工艺每吨肥料消耗洗涤水0.06 t，每天可以消耗洗涤水约36 t，完全实现了洗涤水零排放，同时还消耗公司高塔车间洗涤水。

3种工艺造粒机出口成球率、造粒机出口物料水分、成品水分对比见表4。

表4 3种工艺造粒机出口成球率、物料水分、成品水分
Table 4 Comparison of ball forming rate, material moisture content, and finished product moisture content at the outlet of three types of granulators

工艺	造粒机出口 成球率/%	造粒机出口 物料w(H ₂ O)/%	成品w(H ₂ O)/ %
蒸汽造粒法	57.8~64.7	5.2~6.4	1.5~1.8
氨酸造粒法	72.6~83.8	3.5~4.3	1.3~1.5
半料浆氨酸造粒法	84.6~91.8	2.5~2.8	0.8~1.2

从表4可以看出，3种转鼓造粒工艺中半料浆氨酸造粒工艺的成球率明显高于其他两种工艺，有利于生产效率的提高；半料浆氨酸造粒工艺的造粒机出口物料水分、成品水分明显低于其他两种工艺，有利于降低燃料消耗量，降低碳排放量。

3 总结和思考

3.1 最具优势的两种转鼓造粒工艺

半料浆氨酸造粒工艺、低温共熔造粒工艺在提高成球率、降低原料成本、节能降耗、洗涤水零排放等方面，比其他转鼓造粒工艺具有明显优势，是当下优先选择的转鼓造粒工艺。

3.2 两种转鼓造粒工艺的选择

在当前肥料产品竞争激烈、安全环保管理日趋严的环境下，更能体现出转鼓半料浆氨酸造粒工

艺、转鼓低温共熔造粒工艺的优势。

转鼓半料浆氨酸造粒工艺适合具备液氨、硫酸生产和储存的肥料企业，可利用液氨、硫酸的低成本优势，以及半料浆氨酸造粒工艺的诸多优势，提高复合肥料产品的质量和市场竞争力。

转鼓低温共熔造粒工艺适合考虑进一步提升产品质量和竞争力，但不具备液氨、硫酸生产和储存的肥料企业，发挥转鼓低温共熔造粒工艺的诸多优势，从而提高复合肥料产品的质量和市场竞争力。

3.3 当前主流转鼓造粒工艺存在的技术瓶颈及改进方向

3.3.1 转鼓半料浆氨酸造粒工艺存在的技术瓶颈及改进方向

转鼓半料浆氨酸造粒工艺存在需使用液氨和硫酸等危险化学品、造粒岗位操作指标复杂等技术瓶颈，从而限制了该工艺的普及。还需在规范使用液氨和硫酸等危险化学品时完善安全生产管理制度，对不同生产配方的料浆密度、硫酸单耗、造粒温度、烘干温度等工艺指标，以及造粒自动化方面进行摸索和改进，从而进一步提高成球率和降低能耗。

3.3.2 转鼓低温共熔造粒工艺存在的技术瓶颈及改进方向

转鼓低温共熔造粒工艺存在高黏度料浆制备技术、料浆高密度运行的稳定性等技术瓶颈，需要肥料生产企业进一步提高员工理论知识及实践经验，在高黏度料浆制备技术、高密度料浆输送、造粒自动化等方面进行摸索和改进，从而进一步提高产品质量和成球率。

3.3.3 转鼓蒸汽造粒工艺存在的技术瓶颈及改进方向

转鼓蒸汽造粒法工艺目前在中小企业中使用的较多，主要原因是老装置至今未进行技术改造升级。该工艺生产的肥料存在颗粒强度低、易结块、易粉化等问题，产品质量不稳定。随着肥料需求方对肥料产品质量要求越来越高，目前很多肥料企业都在考虑将该工艺升级为半料浆氨酸造粒工艺或低温共熔造粒工艺，从而改善产品防结块率、防粉化率、水分等指标，以解决产品存在的质量问题。

4 结语

随着时代的进步，转鼓造粒工艺技术升级也势在必行。在提高无黏土肥料产品的成球率、造粒自动化等方面还需要我们科研技术人员不断探索和实验，优化工艺和投资，进一步推动转鼓工艺复合肥

料产品的质量提升和效率提升。

[参考文献]

- [1] 汪澈.氨酸造粒法复合肥生产技术[J].安徽化工,2015,41(3):41-42.
- [2] 罗斌,束维正.氨酸法造粒工艺在尿基复合肥生产装置的应用[J].化肥设计,2011,49(1):35-37.
LUO B, SHU W Z. Application of Prilling Process by Ammonia/Acid Method in Productive Plant of Urea Base Compound Fertilizer[J]. Chemical Fertilizer Design, 2011, 49(1):35-37.
- [3] 张宏坚.氨酸法生产复合肥工艺的技术升级与实施[D].长春:长春工业大学,2015.
ZHANG H J. Technical upgrading and implementation of producing compound fertilizer by amino acid method [D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2015.
- [4] 冯玉海,邵双剑,陈大凡,等.半料浆法管式反应器复合肥生产工艺技术[J].磷肥与复肥,2015,30(11):17-18.
FENG Y H, SHAO S J, CHEN D F, et al. Production technology of compound fertilizer with half slurry concentration-tubular reactor[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2015, 30(11): 17-18.
- [5] 冯玉海,岳广宇,陈春良,等.两步氨化造粒技术在氨化转鼓硫基复合肥装置中的应用[J].磷肥与复肥,2016,31(5):22-23.
FENG Y H, YUE G Y, CHEN C L, et al. Application of two step ammoniation granulation technology in production of S-based compound fertilizer with ammoniation drum granulation [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016, 31(5):22-23.
- [6] 叶坤国,王德兵,王刚,等.转鼓氨酸工艺生产含生化黄腐酸钾复混肥料的问题及对策[J].磷肥与复肥,2017,32(8):18-19.
YE K G, WANG D B, WANG G, et al. Problem existing in production of compound fertilizer containing biochemical fulvic acid potassium by drum process and its countermeasures [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2017, 32(8):18-19.
- [7] 叶坤国,郭武松,苏强,等.半料浆氨酸工艺与普通氨酸工艺运行情况对比[J].磷肥与复肥,2018,33(9):19-20.
YE K G, GUO W S, SU Q, et al. Comparison of operation conditions between semi-slurry ammonia acid process and common ammonia acid process [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2018, 33(9):19-20.
- [8] 胡婷婷,陈骏,许焱炜,等.氨酸转鼓造粒与高塔熔体造粒工艺比较研究[J].中国盐业,2020(20):38-43.
- [9] 崔尚宝,董正远,王洪富,等.滚筒造粒复合肥装置半料浆双氨化工艺技术升级改造[J].磷肥与复肥,2021,36(7):19-22.
CUI S B, DONG Z Y, WANG H F, et al. Technology upgrading of double ammoniation process of semi slurry in drum granulation compound fertilizer plant [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2021, 36(7):19-22.
- [10] 崔尚宝,董正远,肖朋,等.利用滚筒生产线进行生物有机肥项目改造[J].磷肥与复肥,2021,36(8):17-19.
CUI S B, DONG Z Y, XIAO P, et al. Renovation of bio-organic fertilizer project with roller production line [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2021, 36(8):17-19.