

# 凹凸棒土在油枯型有机无机复混肥中的造粒技术研究

张中正<sup>1,2</sup>, 王国栋<sup>3</sup>, 孙玉翠<sup>3</sup>, 李莹莹<sup>3</sup>, 李恒<sup>3</sup>, 朱远蹊<sup>1,2</sup>

(1. 昆明理工大学 化学工程学院, 云南 昆明 650500; 2. 云南省磷化工节能与新材料重点实验室, 云南 昆明 650500;  
3. 云南云天化股份有限公司, 云南 昆明 650228)

**[摘要]** 油枯型有机无机复混肥采用圆盘造粒工艺成粒率低, 颗粒强度小, 运输时容易粉化, 严重影响了产品的外观品质。凹凸棒土由于吸附力强、黏结性好, 是一种较好的复合肥料造粒剂, 但在油枯型有机无机复混肥中的研究很少。选用圆盘造粒工艺, 研究不同添加量的凹凸棒土对油枯型有机无机复混肥成粒的颗粒强度、成粒率、崩解速率以及堆密度的影响。研究表明: 当凹凸棒土的添加量为0.5%时, 油枯型有机无机复混肥的颗粒强度最高, 平均值达到了8.35 N, 并且在此添加量下, 颗粒成粒率为55%, 崩解速率为4.34 g/min。

**[关键词]** 凹凸棒土; 油枯型有机无机复混肥; 造粒剂; 圆盘造粒; 颗粒强度

**[中图分类号]** TQ444 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2024) 07-0049-03

## Study on granulation technology of attapulgite in oil cake organic-inorganic compound fertilizer

ZHANG Zhongzheng<sup>1,2</sup>, WANG Guodong<sup>3</sup>, SUN Yucui<sup>3</sup>, LI Yingying<sup>3</sup>, LI Heng<sup>3</sup>, ZHU Yuanzhi<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Chemical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;  
2. Yunnan Province Key Laboratory of Energy Saving in Phosphorus Chemical Engineering and New Phosphorus Materials, Kunming 650500, China; 3. Yunnan Yuntianhua Co., Ltd., Kunming 650228, China)

**Abstract:** The oil cake organic-inorganic compound fertilizer has a low rate of granulation, weak particle strength, and is prone to pulverization during transportation using the disc granulation process. This significantly impacts the overall quality of the product's appearance. Attapulgite is an effective granulation agent for compound fertilizers due to its powerful adsorption and strong adhesion. However, there is limited research on oil cake organic-inorganic compound fertilizer. This study utilized the disc granulation process to investigate the impact of varying quantities of attapulgite on the strength, granulation rate, disintegration rate and bulk density of oil cake organic-inorganic compound fertilizer. The findings indicate that when the amount of attapulgite added to the oil cake organic-inorganic compound fertilizer is 0.5%, the particle strength is the highest, with the average value of 8.35 N. At this addition level, the particle granulation rate is 55% and the disintegration rate is 4.34 g/min.

**Key words:** attapulgite; oil cake organic-inorganic compound fertilizer; granulator; disc granulation; particle strength

凹凸棒土是一种层链状过渡结构的以含水富镁硅酸盐为主的黏土矿, 其巨大的潜在应用价值使其在黏土矿物学、材料科学、物理化学、土壤科学、环境工程等领域受到广泛的重视<sup>[1]</sup>, 具有吸附力强、黏结性好和密度低的特点<sup>[2]</sup>, 不但可以提高颗粒肥料的成粒率、增强复混肥的造粒速度, 而且造粒强度高、不结块、不返潮、颗粒均匀、表面光滑、色泽度好<sup>[3]</sup>。

凹凸棒土作为造粒剂应用在复合肥料生产中有很多研究。赵美芝等<sup>[4]</sup>研究了有机黏土的特性及其对肥料养分的缓释作用, 使用凹凸棒土与表面活

性剂合成有机黏土, 并作为黏结剂对复混肥进行圆盘造粒, 不仅可以显著地降低返料量, 而且能有效地控制养分释放。凹凸棒石黏土能显著增强复混肥的团聚作用, 使其有效成粒率平均提高30%, 并

**[收稿日期]** 2024-01-12

**[作者简介]** 张中正(1999-), 男, 山东泰安人, 研究方向为新型肥料开发。E-mail: 274450298@qq.com

**[通信作者]** 朱远蹊, 男, 副教授, 研究方向为磷系新材料及其光、电催化应用研究。E-mail: yuanzhi\_zhu@kust.edu.cn

**[基金项目]** 洱海流域农业高质量发展与面源污染防控协同的创新模式构建与示范(202202AE090034)

对其养分释放具有明显的延缓作用,有望成为缓释复混肥的廉价包膜材料和防止结块的调理剂<sup>[4]</sup>。

有机无机复混肥主要以生物发酵和无害化处理的有机质为基础,配以作物所需的无机营养元素NPK加工而成,具有有机、无机营养,在果树、蔬菜等经济作物上增产增效较为明显<sup>[5]</sup>。造粒工序是颗粒有机复混肥生产的关键过程,而黏结剂是影响有机-无机复混肥颗粒化生产的一个关键因素<sup>[6]</sup>。在传统的粒状有机复混肥生产中常用的黏结剂主要是无机黏土类矿物(包括黏土、白垩土、高岭土、海泡石粉等)、凹凸棒土、膨润土、磷石膏和钙镁磷肥等<sup>[7]</sup>。凹凸棒土具有生产成本低、黏结性能优异以及遇水浸泡容易崩解的特性,在水溶肥造粒中有着较大的优势。

有机无机复混肥的成粒效果与有机质的来源有关,以秸秆为主要有机质来源的有机无机复混肥成粒效果好,强度大,采用圆盘造粒可以生产颗粒圆润、强度适中的合格产品;以油枯为主要有机质来源的有机无机复混肥采用圆盘造粒工艺成粒率低,颗粒强度小,运输时容易粉化,严重影响了产品的外观品质<sup>[8]</sup>。

为解决油枯型有机无机复合肥料颗粒强度小易粉化的品质问题,采用圆盘造粒方式,研究不同添加量的凹凸棒土对油枯型有机无机复混肥成粒率、成粒颗粒强度、崩解速率以及堆密度的影响是很有必要的。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料及仪器

实验原料包括凹凸棒土、油枯型有机无机复混肥,该复混肥由质量分数为22%磷酸一铵、8%尿素、19.5%硫酸铵、20.5%硫酸钾、30%油枯混匀制备而成。各原料养分含量如下:磷酸一铵, $w(\text{N})$  11%, $w(\text{P}_2\text{O}_5)$  47%;尿素, $w(\text{N})$  46%;硫酸铵, $w(\text{N})$  21%;油枯, $w(\text{有机质})$  40%。所有原料粉碎后过50目(孔径0.287 mm)的标准筛。

实验仪器包括圆盘造粒机、喷壶、电子天平、鼓风干燥箱、粉碎机、试验筛、瓷托盘、铁勺。

### 1.2 实验方法

将预处理后的原料通过给料装置均匀地投入到圆盘造粒机的进料口,圆盘造粒机内部有一个倾斜的旋转圆盘,原料在圆盘的作用下产生离心力,同时受到重力的作用,形成一定厚度的料层,将黏结剂添加至料层中或加水配制黏结剂溶液喷洒在料层表面,所有原料在圆盘旋转和离心力的作用下逐

渐形成球形颗粒,同时,颗粒在圆盘内不断滚动、摩擦和碰撞,使颗粒表面逐渐光滑并增加强度,制备的颗粒含有一定的湿度,需要进行干燥和冷却处理,以提高颗粒的质量和稳定性<sup>[9]</sup>。

### 1.3 实验过程

造粒实验:取100份质量的油枯型有机无机复混肥,设置凹凸棒土的添加量分别为0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%、0.8%、0.9%、1.0%。将凹凸棒土造粒剂添加到粉状有机无机复混肥中,并充分混合均匀,向圆盘中加入约150~200 g粉状干料,启动圆盘,调整转速50 r/min,向圆盘中缓慢喷水。随后加入少许干料,使颗粒与干料混合且充分翻滚一段时间后。重复上述步骤,直到干料全部加入圆盘中。待干料在圆盘中翻滚一段时间基本成粒后停止造粒,将颗粒取出置于托盘中,称量后放入鼓风干燥箱中进行烘干,并记录烘干后的质量,整体加水量控制为20%。

成粒率计算方法:将烘干后的肥料称量( $m_0$ ),过筛之后称量粒径范围2~4 mm的颗粒质量( $m_1$ ),成粒率= $(m_1/m_0) \times 100\%$ 。使用KQ-3型强度测定仪测量颗粒强度。堆密度测定方法参考《肥料堆密度的测定第1部分:疏松堆密度》(GB/T 13566.1—2008)。崩解速率的测定方法为:取粒径范围2~4 mm的肥料约10 g( $m_2$ )放入500 mL蒸馏水中,观察其完全溶散开所需要的时间( $t$ ),崩解速率= $m_2/t$ 。

## 2 实验结果分析

### 2.1 不同用量凹凸棒土对肥料成粒率的影响

肥料成粒率在肥料生产中是一个极其关键的因素,成粒率的大小对生产成本、能耗以及整个肥料生产有着很大的影响。较高的成粒率可以极大地降低成本,还可以减少废料的产生,减少浪费。添加不同用量的凹凸棒土作造粒剂所制备的油枯型有机无机复混肥颗粒成粒率见表1。

表1 凹凸棒土不同添加量下油枯型有机无机复混肥成粒率

| 凹凸棒土添加量/% | 成粒率/% | 凹凸棒土添加量/% | 成粒率/% |
|-----------|-------|-----------|-------|
| 0         | 46    | 0.6       | 52    |
| 0.1       | 44    | 0.7       | 51    |
| 0.2       | 47    | 0.8       | 49    |
| 0.3       | 49    | 0.9       | 47    |
| 0.4       | 50    | 1.0       | 45    |
| 0.5       | 55    |           |       |

由表1可知,随着凹凸棒土添加量逐渐增加,油枯型有机无机复混肥颗粒的成粒率呈现出先增加再降低的趋势。当凹凸棒土添加量为0.1%时,颗

粒成粒率为44%，低于空白不添加凹凸棒土处理的成粒率（46%）。原因可能是凹凸棒土的添加量较小，在同样的造粒条件下，其黏结性偏低，不足以使油性物料团结成粒。当凹凸棒土的添加量为0.5%时，肥料颗粒的成粒率为55%，达到最大值，此条件下的成粒效果最佳，是本实验条件下的最优添加量。当凹凸棒土的添加量为1.0%时，颗粒的成粒率降至45%，与添加量为0、0.1%处理的颗粒成粒率相比差异不大，原因可能是添加量过多，其吸水膨胀性高于其黏结性，导致成粒率偏低。

### 2.2 不同用量凹凸棒土对肥料颗粒强度的影响

肥料颗粒强度是指肥料颗粒破碎时的最大强度值，同时是评价肥料流动性和传输性能的重要指标之一，它可以直观地判断物料的流动性、坍塌性、分散性等特性，对于物料的生产、运输和仓储具有重要指导意义<sup>[10]</sup>。当复合肥颗粒的颗粒强度不高时，容易在储存和搬运过程中发生变形和破碎，同时也极易粉化结块，而强度过高会导致不易溶于水，对养分的释放产生影响。添加不同量的凹凸棒土作造粒剂所制颗粒肥料（不同粒径）的颗粒强度如表2所示。

表2 凹凸棒土不同添加量下油枯型有机无机复混肥颗粒强度

| 凹凸棒土<br>添加量/% | 不同粒径(mm)颗粒强度/N |      |       | 平均颗粒<br>强度/N |
|---------------|----------------|------|-------|--------------|
|               | 2~3            | >3~4 | >4    |              |
| 0             | 4.56           | 6.34 | 9.72  | 6.87         |
| 0.1           | 3.75           | 4.56 | 6.32  | 4.88         |
| 0.2           | 4.16           | 4.82 | 6.78  | 5.25         |
| 0.3           | 4.96           | 5.65 | 7.53  | 6.05         |
| 0.4           | 5.03           | 5.86 | 8.24  | 6.38         |
| 0.5           | 6.17           | 7.92 | 10.96 | 8.35         |
| 0.6           | 5.42           | 6.43 | 7.98  | 6.61         |
| 0.7           | 5.06           | 6.17 | 7.36  | 6.20         |
| 0.8           | 3.09           | 4.69 | 6.90  | 4.89         |
| 0.9           | 2.96           | 4.19 | 5.37  | 4.17         |
| 1.0           | 2.38           | 3.08 | 4.52  | 3.33         |

由表2可知，当凹凸棒土的添加量一致时，肥料颗粒的颗粒强度随颗粒粒径的增加而增加；当肥料颗粒的粒径相同时，凹凸棒土添加量的变化直接影响肥料颗粒的颗粒强度。在凹凸棒土添加量为0.1%~1.0%范围内，随着凹凸棒土添加量增加，不同粒径的颗粒强度和平均颗粒强度均呈现先增加再降低的趋势。在添加量为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%时，同等粒径颗粒的强度均低于不添加凹凸棒土的处理，原因可能是凹凸棒土的添加量小，同样造粒条件下，其黏结性偏低，分散性偏高，导致颗粒强度低于空白不添加处理。当凹凸棒土添加量为

0.5%时，颗粒强度达到最大值，平均颗粒强度8.35 N，高于其他添加量处理以及空白不添加处理。当凹凸棒土添加量大于0.5%时，颗粒强度逐渐降低。原因可能是添加量过多导致凹凸棒土吸水溶胀，崩解性高于黏结性，造成了颗粒强度降低。从颗粒强度整体分析，最优凹凸棒土添加量为0.5%，此结论和成粒率结果是一致的。

### 2.3 不同用量凹凸棒土对肥料颗粒崩解速率的影响

肥料颗粒崩解速率是指单位质量的肥料颗粒完全溶解于水中所需要的时间，在水中溶解速率快慢是水溶肥的一项重要指标，在不影响肥料养分释放的情况下，溶于水的速率自然是越快越好，大大提高了施肥的效率<sup>[11]</sup>。为了探究以凹凸棒土作造粒剂制备的油枯型有机无机复混肥的崩解特性，参考水溶肥产品的崩解性试验开展崩解速率实验研究，结果见表3。

表3 凹凸棒土不同添加量下油枯型有机无机复混肥崩解速率

| 凹凸棒土<br>添加量/% | 溶解时<br>间/min | 崩解速率/<br>(g·min <sup>-1</sup> ) | 凹凸棒土<br>添加量/% | 溶解时<br>间/min | 崩解速率/<br>(g·min <sup>-1</sup> ) |
|---------------|--------------|---------------------------------|---------------|--------------|---------------------------------|
| 0             | 2.2          | 4.55                            | 0.6           | 2.8          | 3.57                            |
| 0.1           | 2.3          | 4.35                            | 0.7           | 2.8          | 3.57                            |
| 0.2           | 2.5          | 4.00                            | 0.8           | 2.6          | 3.85                            |
| 0.3           | 2.7          | 3.70                            | 0.9           | 2.5          | 4.00                            |
| 0.4           | 2.8          | 3.57                            | 1.0           | 2.3          | 4.35                            |
| 0.5           | 2.9          | 3.45                            |               |              |                                 |

由表3可知，随着凹凸棒土添加量增加，油枯型有机无机复混肥的溶解时间呈现先增加后降低的趋势，崩解速率则是呈现先降低后升高的趋势。当凹凸棒土的添加量为0.5%时，肥料颗粒所需的溶解时间最长，溶解时间为2.9 min，崩解速率为3.45 g/min。这是因为在凹凸棒土的添加量为0.5%时，凹凸棒土黏结性大，与其他处理相比，肥料的颗粒强度也是最大的，增加了其在水中的溶解速率，导致其崩解速率较慢。整体来看，凹凸棒土对油枯型有机无机复混肥颗粒的溶解时间及崩解速率影响较小，肥料颗粒均能快速溶解。

### 2.4 不同用量凹凸棒土对肥料颗粒堆密度的影响

肥料堆密度是固体肥料经倾注自由流入容器后，单位体积肥料的质量，颗粒越小，堆密度越大，单位体积的质量越大，堆密度关系到肥料的储存、运输等方面。因此，一个较为合适的堆密度对肥料工业化生产有着较大的影响。该实验堆密度测量采用的颗粒粒径为2~4 mm，所制的肥料颗粒堆密度如表4所示。

(下转第75页)