

# 石油基油包覆磷酸二铵的制备及防结块效果研究

缪志梅<sup>1</sup>, 代金凤<sup>2</sup>, 杜加磊<sup>2</sup>, 吴枫<sup>1</sup>, 龙文恒<sup>2</sup>, 薛河南<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 化学工程学院, 云南 昆明 650500; 2. 云南云天化股份有限公司 研究院, 云南 昆明 650228)

**[摘要]** 石油基包覆油因具有优异的成膜性和稳定性, 成本低, 被广泛应用于磷肥生产中。以沥青、矿物油、石蜡和磷酸酯为主要原料, 进行包覆油的制备和应用性能评价。开发一种石油基油包覆磷酸二铵(DAP)肥料, 该肥料具有良好的防结块性能。通过优化配方, 以沥青和矿物油为主要成分, 配以石蜡和表面活性剂磷酸酯, 磷酸酯添加量为4%时, 制得的包覆油在60℃下黏度为1 164.6 mPa·s, 密度为958.8 kg/m<sup>3</sup>。以0.25%添加量包覆后的DAP肥料颗粒在35℃、70%相对湿度下展现出优异的防吸湿性能(吸湿率<0.5%)和防结块性, 且其L\*、a\*、b\*色度参数符合咖啡色磷肥的色度要求。进一步提高包覆油中磷酸酯的添加量至12%, 可显著改善包膜的均匀性, 防结块效果提高84%。

**[关键词]** 磷酸二铵(DAP); 包覆油; 制备; 防结块效果

**[中图分类号]** TQ440.4; TQ442.14 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566(2025)09-0014-07

## Study on the preparation of petroleum-based coating oil for DAP and its anti-caking effect

MIAO Zhimei<sup>1</sup>, DAI Jinfeng<sup>2</sup>, DU Jialei<sup>2</sup>, WU Feng<sup>1</sup>, LONG Wenheng<sup>2</sup>, XUE Henan<sup>2</sup>

(1. Faculty of Chemical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Research Institute, Yunnan Yuntianhua Co., Ltd., Kunming 650228, China)

**Abstract:** Petroleum-based coating oil is widely used in phosphate fertilizer production due to its excellent film-forming properties and stability, and low cost. The preparation and performance evaluation of coating oil using asphalt, mineral oil, paraffin and phosphate ester as the main raw materials are studied. A petroleum-based oil-coated DAP fertilizer is developed, exhibiting good anti-caking properties. By optimizing the formulation, a coating oil is obtained with asphalt and mineral oil as the main components, supplemented with paraffin and phosphate ester, which demonstrates a viscosity of 1 164.6 mPa·s and a density of 958.8 kg/m<sup>3</sup> at 60 °C with the addition amount of phosphate ester of 4%. Fertilizer granules wrapped with 0.25% coating oil shows excellent anti-hygroscopic properties (moisture absorption rate < 0.5%) and anti-caking performance at 35 °C and 70% relative humidity, with L\*, a\* and b\* color parameters meeting the color requirements for brown phosphate fertilizer. Further increasing the phosphate ester content in the coating oil to 12% significantly, the uniformity of the coating is improved and the anti-caking effect is increased by 84%.

**Key words:** diammonium phosphate (DAP); coating oil; preparation; anti-caking effect

## 0 引言

肥料作为农业生产的重要投入品, 对提高农作物产量和保障粮食安全具有不可替代的作用。根据国际肥料协会(IFA)的数据, 全球肥料需求持续增长, 尤其是复合肥和缓释肥料的市场份额显著提升。磷酸二铵(DAP)是重要的磷肥产品之一, 在生产、储存、运输过程中, 由于产品自身水分以及环境温度、湿度、压强等因素的变化, 面临吸湿、结块<sup>[1]</sup>等问题。为避免产品结块影响销售和使用, 通常在肥料生产过程中, 采用油性包覆剂对其进行喷涂包覆, 形成一层具有一定光泽的保护膜

防止肥料颗粒吸湿和结块。石油基包覆油因其成本低且具有良好的成膜性、化学稳定性等, 在农业领域得到了广泛应用<sup>[2]</sup>。因此, 深入开展石油基油包覆肥料配方优化及应用研究, 获得较优肥料包覆和应用性能对肥料生产具有重要意义。笔者探讨不同

**[收稿日期]** 2025-06-16

**[作者简介]** 缪志梅(2000-), 女, 云南宣威人, 在读硕士研究生, 从事绿色包覆油的开发及应用研究。

**[通信作者]** 薛河南(1982-), 男, 陕西咸阳人, 化工工艺高级工程师, 主要从事湿法磷加工方向技术研发及新产品开发工作。

**[基金项目]** 绿色包覆油开发及应用研究

包覆油配方性能和对磷肥吸湿、防结块性能的影响，为磷肥绿色包覆油的制备提供理论基础。

## 1 实验部分

### 1.1 实验材料与仪器

主要实验材料：90#沥青（工业级）、58#半精炼石蜡、工业级脂肪醇、工业级矿物油（32#、600#）、五氧化二磷、磷酸二铵（DAP）（云南天安化工有限公司提供）、棕色包覆油（采购于湖北富邦科技股份有限公司）。

实验所用主要仪器见表1。

表1 主要实验仪器

Table 1 Main experimental instruments

仪器名称	型号	厂家
恒温恒湿箱	LY-2225-A	广东立一科技有限公司
涂料比重杯	QBB-37型	佛山市慧炬智能科技有限公司
布氏黏度计	NDJ-1D-T	上海绩泰电子科技有限公司
螺旋侧摇测试机台	SC-J-1000N-700+ SH-500	温州韦度电子有限公司
扫描电子显微镜	HITACHI SU8600	日立科学仪器有限公司
测色仪	ColorFlexL2	美国HunterLab公司

### 1.2 油包覆肥料的制备

#### 1.2.1 表面活性剂制备

磷酸酯是具有优良的抗静电性、乳化分散性和耐酸碱等特性的阴离子表面活性剂<sup>[3]</sup>，广泛应用于化纤、纺织、日用化学品等工业领域。采用五氧化二磷与含羟基的长碳链脂肪物酯化工艺<sup>[4-5]</sup>，以14~16个C的脂肪醇（ROH）为原料，在70℃电热板加热融化后<sup>[6]</sup>，按 $n(\text{ROH}) : n(\text{P}_2\text{O}_5) = 4 : 1$ 称取五氧化二磷粉末，多次分批加入烧杯中，在85℃下搅拌反应30 min，反应完成后添加少量纯水水解副产物多聚磷酸酯，制备得到满足要求的白色脆性块状固体。使用电位滴定法测定磷酸酯含量，所制备产物中 $m(\text{单酯}) : m(\text{双酯})$ 为(10%~45%) : (30%~55%)。

#### 1.2.2 包覆油样品制备

实验室包覆油为自制，包覆油配方物料占比如表2所示，按配方称取沥青、石蜡、磷酸酯和矿物油等原料，在水浴锅中加热融化后放置电热板，在125℃、搅拌转速150 r/min条件下混合30 min。

表2 自制包覆油各物料占比

Table 2 Content of various materials in self-made coating oil

$w(\text{沥青}) / \%$	$w(\text{矿物油}) / \%$	$w(\text{磷酸酯}) / \%$	$w(\text{石蜡}) / \%$
50~65	20~40	3~10	3~10

为了比较，获取了市售棕色包覆油。

### 1.2.3 油包覆肥料的膜层工艺

为模拟工业化生产的滚筒喷涂包覆工艺，在实验中利用可加热包衣机对肥料颗粒进行油层包覆。实验过程中，首先称取300 g肥料颗粒置于恒温烘箱中，在55℃条件下预热1 h，去除颗粒表面水分以提高后续油膜附着力。同时，将固态包覆油置于80℃水浴锅中加热至熔融状态。将预热后的肥料颗粒转移至包衣机内，按照肥料质量的0.2%~0.4%添加包覆油。包覆过程中包衣机温度在40~50℃，转速为1300 r/min，时间持续30 min。

## 1.3 表征与测定

### 1.3.1 黏度测定

油品的黏度影响其在肥料颗粒表面的流动性和附着能力。黏度过高会导致涂层过厚、包覆不均匀、容易堵塞设备；黏度过低容易脱落不能形成完整涂层<sup>[7]</sup>。制备好的包覆油在加热板上加热至有明显流动性，置于布氏黏度计中，在40~60℃测试其黏度。

### 1.3.2 密度测定

在温度60℃下，采用QBB-37型涂料比重杯测量其密度，在室温下称量比重杯质量( $m_0$ )；在低于实验温度( $\leq 1$ ℃)条件下，向杯中注满样品并将其置于恒温条件下30 min，擦除表面溢出物质，立即称其质量( $m_1$ )，根据式(1)计算密度。

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V} \quad (1)$$

### 1.3.3 吸湿性能测试

肥料吸湿是肥料饱和水溶液的平衡蒸气压小于大气中的水蒸气分压时，肥料水含量增加的现象<sup>[8]</sup>。复合肥料由多种盐类混合而成，其临界相对湿度(CRH)并非单一固定值，而是随原料配比波动。生产中产品CRH值受到原料反应后的pH和环境温度影响<sup>[9]</sup>。温度对吸湿性影响显著：每升高10℃，CRH下降5%~10%，这使得高温高湿环境下肥料更易吸湿结块<sup>[10]</sup>。通过恒温恒湿箱模拟在极端湿热条件下堆存包覆后肥料的吸湿性，称取包覆后的DAP样品30 g( $m_1$ )置于表面皿中，称其总质量( $m_2$ )，置于 $t=35$ ℃、相对湿度为70%的恒温恒湿箱中，每间隔1 h取出置于干燥器中冷却后，称其质量( $m_3$ )。根据式(2)计算得到吸湿率。

$$\text{吸湿率} = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.3.4 防结块性能测试

在恒温恒湿箱中使用24 h快速模拟半年时间内

极端环境（温度、湿度）的变化<sup>[11]</sup>，筛选出温度湿度程序（见图1a.）测定结块率和结块强度。肥料结块率测定：称取65 g ( $m_4$ ) 包覆后的肥料样品加入模具（见图1b.）中，放置在恒温恒湿箱内，根据图1a.的程序，按照仓库堆放最下层压力来设定砝

码质量，运行24 h，取出后于1 m高度摔下，称取结块的质量 ( $m_5$ )。根据式（3）计算得到结块率。

$$\text{结块率} = \frac{m_5}{m_4} \times 100\% \quad (3)$$

肥料结块强度测定：程序运行结块后的肥料用螺旋测手摇测试台进行强度测量。

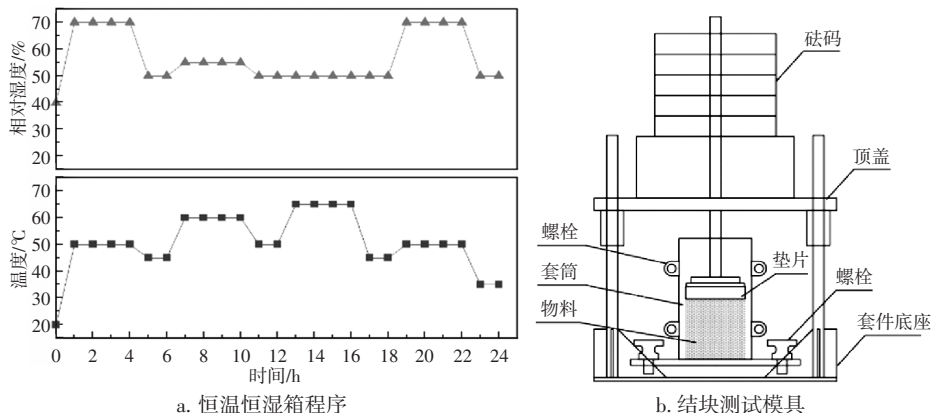


图1 结块测试

Fig. 1 Clumping test

### 1.3.5 扫描电子显微镜 (SEM)

使用扫描电子显微镜观察肥料颗粒的结构形态，将肥料颗粒在55℃下低温干燥，去除水分，在恒温恒湿箱 ( $t=35\text{℃}$ 、相对湿度=70%) 中吸湿5 h后，将肥料颗粒固定在样品台上通过喷金处理增强颗粒导电性。

### 1.3.6 色度测试

使用ColorFlexL2测色仪对包覆后肥料进行色度测试。CIELAB颜色空间由 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$  3个值组成<sup>[12]</sup>。亮度的 $L^*$ 值：纯黑色到纯白色范围从0到100。 $a^*$ 值绿色至红色：范围从-128到+127。 $b^*$ 值蓝色至黄色：范围从-128到+127<sup>[13]</sup>。将不同包覆剂包覆的磷肥装入测量杯，装样量为测量杯体积的2/3，放置于色度测试仪测试口，在D65/10的光源测试磷肥表面包覆剂的明度值 $L^*$ 以及色度值 $a^*$ 、 $b^*$ 。DAP的CIELAB值见表3。

表3 DAP的CIELAB值

Table 3 CIELAB values of DAP

外观颜色	$L^*$	$a^*$	$b^*$
咖啡色	25 ~ 29	+3 ~ +5	+9 ~ +13
黄色	56 ~ 62	+7 ~ +8	+38 ~ +46
绿色	48 ~ 56	-14 ~ -10	+22 ~ +28

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同包覆量对吸湿率的影响

按  $m(90\#$ 沥青) $:m(32\#$ 矿物油) $:m(600\#$ 矿物

油) $:m(58\#$ 半精炼石蜡) $:m($ 表面活性剂)为60:16:16:4:4自制包覆油。将包裹油加热至有明显流动性，称取64%DAP肥料在55℃烘箱中预热1 h后在加热包衣机中进行包覆。对不同包覆量的DAP进行吸湿率测试，结果如图2所示。

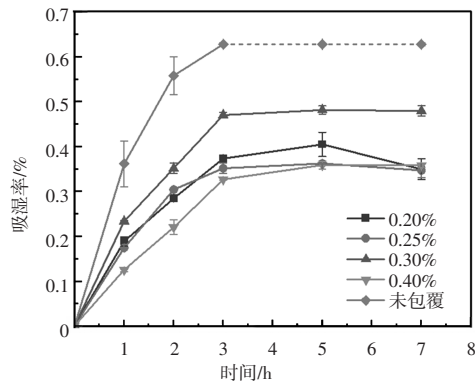


图2 不同包覆量下DAP的吸湿率

Fig. 2 Moisture absorption rates of DAP with different coating amounts

由图2可知，包覆油添加量对肥料吸湿特性具有显著影响。当包覆油添加量从0.20%增至0.40%时，肥料吸湿率先缓慢增加后降低，油膜对肥料颗粒表面的有效包覆阻断了水分渗透路径。未包覆肥料颗粒在湿度吸收过程中变化明显，吸湿初期(2 h)表面生成白色晶体，随着吸湿时间延长至3 h以上，颗粒间发生明显团聚现象，形成板结结构，无实验意义。然而，过量添加包覆油(添加量 $\geq$

0.4%) 会造成表面油膜过厚, 导致颗粒间产生黏结现象, 形成假性结块, 直接影响输送和包装工序; 且生产成本随添加量线性增加, 当包覆油添加量达0.4%时, 包膜成本上升60%。平衡防潮性能、工艺可行性与经济性, 考虑以0.25%为最佳添加量并应用于后续肥料包覆实验。

## 2.2 不同包覆油配方对肥料结块的影响

包覆油主要通过隔绝空气中的水分、防止颗粒吸湿和粉尘污染, 阻止肥料颗粒之间晶桥的形成来降低结块风险<sup>[14]</sup>。自制包覆油配方见表4, 在图1a.恒温恒湿程序下, 不同配方自制包覆油对肥料吸湿性能的影响如图3a.所示, 各配方吸湿率均值分布在0.2%~0.5%, 肥料包覆后吸湿能力先增加后降低, 在5 h达到峰值, 且吸湿率都小于0.5%。未包覆肥料在该条件下, 吸湿2 h后颗粒表面发

白、吸潮结晶出现板结现象。含石蜡的1#包覆油防潮能力强且随时间增加吸湿率增长缓慢; 未添加石蜡的2#包覆油防吸湿较差, 石蜡作为碳链更长的直链烷烃, 疏水性更强, 能在降低肥料吸湿率上发挥重要作用; 3#包覆油与外购包覆油防吸湿性能相近。3#和1#自制包覆油配方防潮性能较好。肥料的结块率如图3b.所示, 与未包覆肥料相比, 添加包覆油的肥料防结块率得到大幅度提升, 3#油包覆DAP颗粒结块率降低到23.1%。

表4 自制包覆油配方

Table 4 Formulation of self-made coating oil %					
编号	w(90# 沥青)	w(32# 矿物油)	w(600# 矿物油)	w(58#半精 炼石蜡)	w(表面 活性剂)
1#	60	16	16	4	4
2#	60	13	22		5
3#	60	35			5

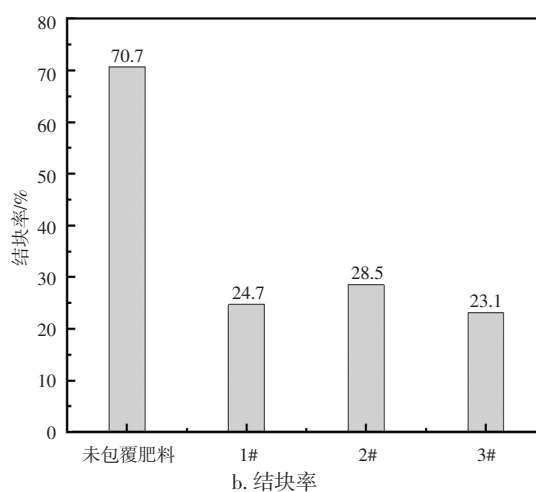
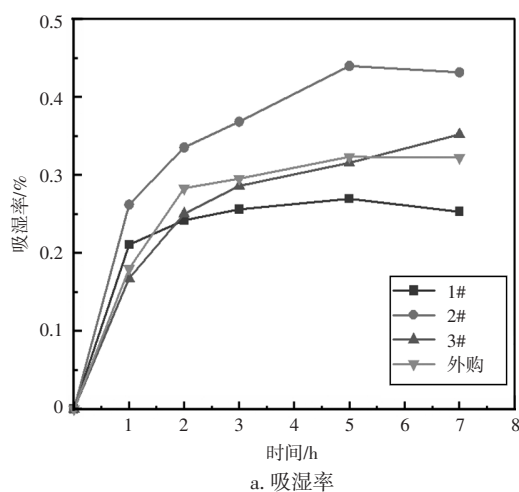


图3 包覆油添加量为0.25%时包覆64%DAP的吸湿率和结块率

Fig. 3 Moisture absorption rate and clumping rate of 64% DAP wrapped with 0.25% coating oil

磷酸二铵晶体表面暴露的 $\text{HPO}_4^{2-}$ 和 $\text{NH}_4^+$ 均为强极性基团, 通过氢键和离子-偶极作用吸附水分子, 使DAP颗粒更容易吸湿结块, 使用油包覆肥料后, 油相中的长链烷烃结构( $-\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ ,  $n$ 为12~20)具有较强的疏水性, 可以很好隔绝水分, 石蜡和沥青熔点较高, 冷却后膜的形成性好, 表面活性剂脂肪醇磷酸酯的疏水基团为 $\text{C}_{14-16}$ 的直链烷基, 能很好地和石蜡、沥青和矿物油相溶, 磷酸酯( $-\text{PO}(\text{OH})_2$ )基团作为亲水性头部与化肥表面接触产生相互作用, 会定向排列在油-固体表面界面, 使包裹油更均匀地铺展在DAP颗粒表面, 同时降低界面张力, 避免包覆油局部堆积或薄弱, 形成更致密连续的疏水膜层(见图4)。

在工业生产中, DAP颗粒主要通过喷浆造粒工

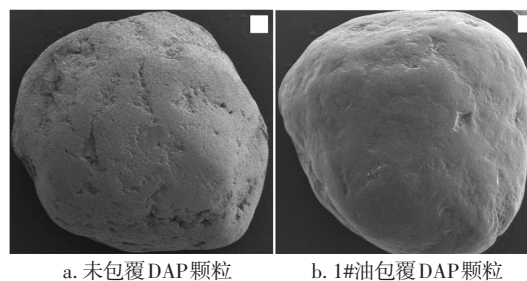


图4 DAP颗粒外观SEM图

Fig. 4 SEM images of DAP granules

艺制备, 其形态多呈不规则球形<sup>[14]</sup>, 表面因水分急剧蒸发而形成微裂纹及凹凸不平区域, 见图5a.。当未包覆的DAP晶体暴露于高湿环境时, 表面吸附水分引发再结晶, 见图5b.。吸湿后形成多晶聚集体, 尺寸增大, 小晶体溶解并向大晶体表面沉

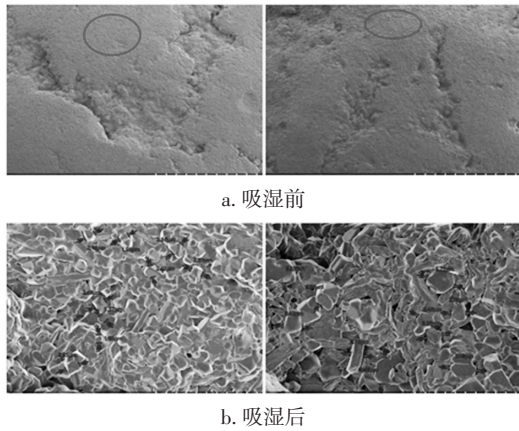


图5 未包覆DAP肥料颗粒吸湿前后SEM图

Fig. 5 SEM images of uncoated DAP fertilizer particles before and after moisture absorption

积, 导致颗粒强度下降及吸湿性增强, 严重影响储存稳定性。而对DAP颗粒进行疏水性油膜表面包覆后, 颗粒表面形成连续光滑膜层, 在恒温恒湿箱中吸湿5 h后, 油膜仍完整覆盖颗粒主体, 见图6。仅局部凹凸区域因水分渗透出现发白现象, 推测为油膜在该界面处发生微相分离或未包覆上。

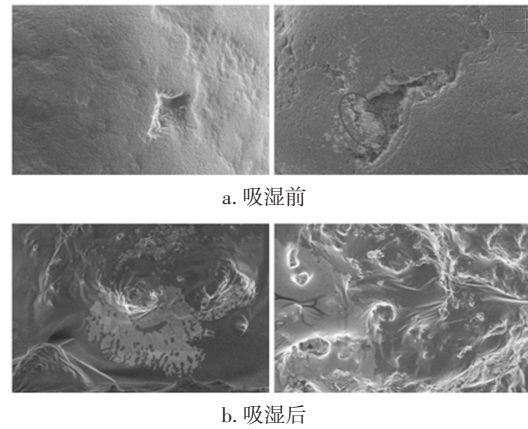


图6 油包覆DAP肥料颗粒吸湿前后SEM图

Fig. 6 SEM images of DAP fertilizer particles coated with oil before and after moisture absorption

### 2.3 磷酸酯添加量对包覆油性能的影响

为精准调控包覆油性能, 在降低吸湿率和防结块效果最优的1#配方基础上探究表面活性剂添加量对油品黏度、密度等性能的影响。磷酸酯的添加量从0逐步增加至12% (所得包覆油分别编号为1、2、3、4、5), 对包覆油性能的影响见图7。

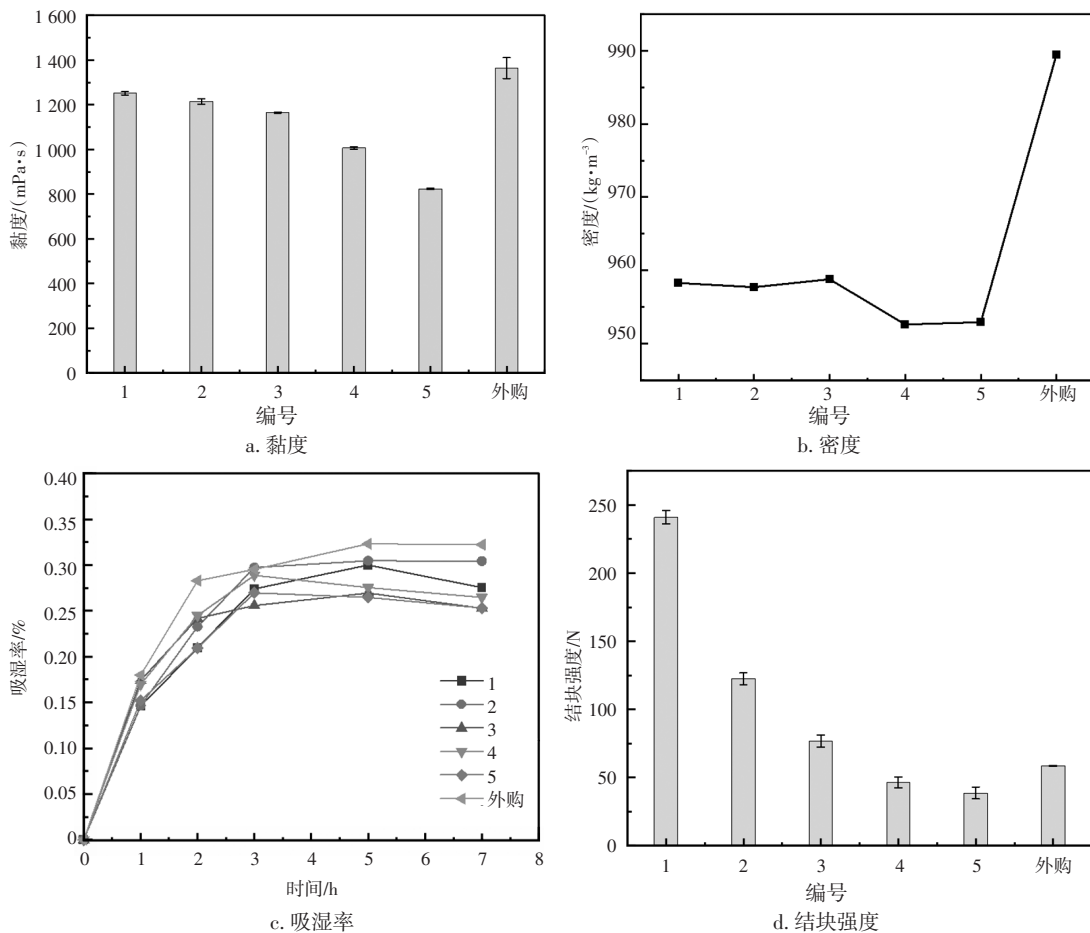


图7 不同磷酸酯添加量下包覆油的性能

Fig. 7 Performance of coating oil with different phosphate ester additions

随着磷酸酯添加量增加, 包覆油的黏度显著降低, 从1 250 mPa·s降低到824 mPa·s, 降幅达到34.08%。磷酸酯的加入能够有效改善包覆油的流动性, 使其更易于分散和操作。并且, 包覆油的密度在952.6~958.8 kg/m<sup>3</sup>波动, 变化幅度较小, 整体趋势平稳, 数据相对稳定。

除了对黏度和密度的优化, 磷酸酯的添加显著改善了包覆油的防结块效果和成膜性。结块强度从241.0 N减少到38.6 N, 防结块效果提升了84%。这一改进不仅提高了产品的储存稳定性, 还减少了因结块导致的物料损失和生产效率下降的问题。此外, 实验中发现, 不添加磷酸酯的1号配方在进行DAP包覆时, 包覆油分散不均匀, 所需时间长, 包覆难度大。

虽然磷酸酯的添加带来了诸多优势, 但当其添加量超过一定临界值时, 包覆油的流动性开始大幅度增加, 可能导致包覆油包覆过于稀薄, 反而影响其在实际应用中的操作性。在实际应用中, 磷酸酯的添加量在4%~8%最优。磷酸酯添加量为4%时, 包膜DAP的密度为958.8 kg/m<sup>3</sup>, 黏度为1 164.6 mPa·s。

#### 2.4 添加包覆油后对DAP外观的影响

肥料外观很大程度上取决于制造肥料的原材料性能, 但制造工艺、杂质、水含量等也会影响肥料颜色及外观<sup>[15]</sup>。颜色是区分肥料的一大重要特征, 在实际使用中, 常常使用独特颜色来对不同营养成分的肥料进行分类, 或者通过染色来克服原材料的波动, 稳定生产所需颜色的产品。施用者也可以通过颜色识别并正确使用农作物在不同生长阶段所需的肥料<sup>[16]</sup>。对于DAP肥料产品, 消费者更认可咖啡色颗粒。不同包覆油包覆后DAP颗粒色度如表5所示。由表5可以看出, 包覆油包覆后的DAP肥料颗粒, 亮度 $L^*$ 值在26~29, 色度 $a^*$ 在4~5, 色度 $b^*$ 在10~12。与市售咖啡色肥料色度值相

表5 不同包覆油包覆的DAP颗粒色度

Table 5 Chroma of DAP particles coated with different coating oils

肥料样品	亮度 $L^*$	色度 $a^*$	色度 $b^*$
包覆1号包覆油	28.868	4.551	10.859
包覆2号包覆油	26.934	4.873	11.324
包覆3号包覆油	26.952	4.939	11.467
包覆4号包覆油	28.323	4.651	11.238
包覆5号包覆油	28.552	4.976	11.903
包覆外购包覆油	27.084	4.474	10.413
市售肥料	26.521	4.884	11.619
未包覆肥料	36.711	3.950	5.966

近, 在色差波动范围内。包覆剂不仅提供良好的抗结块防吸湿特性来提高产品质量, 还赋予肥料咖啡色的外观颜色。

### 3 结论

本研究系统分析了包覆油对磷酸二铵结块的影响及其中各组分的作用。DAP的吸湿结块行为与自身水含量及粒径、环境温度湿度密切相关, 而包覆油通过物理隔离作用, 可有效降低材料表面的吸湿性, 显著改善其结块率, 提升储存稳定性。以沥青为基底的1#棕色包覆油配方在高温高湿( $t=35\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度=70%)条件下表现出最优防吸湿性能, 石蜡与表面活性剂协同作用提升材料的防吸湿率和防结块性能; 石蜡可增强疏水性, 表面活性剂(4%~8%)可优化包覆油黏度、成膜性及抗结块效果, 但要避免其过量添加导致的流动性下降和成本升高问题。但石油基材料的环保缺陷和原料依赖性限制了其长期应用, 未来应围绕绿色可降解、低成本的目标, 探索以生物基材料和天然高分子为主体的新型复合包覆体系, 兼顾配方工艺适配性、防结块效果与经济可行性, 为开发环境友好型肥料包覆剂提供支撑。

#### [参考文献]

- [1] HONG W, PENG G R, WU S, et al. Effect of Potassium Nitrate on Anti-Caking Performance of AN-based NPK Granular Compound Fertilizer[J]. Integrated Ferroelectrics, 2020, 208(1): 17-27.
- [2] ZHOU G, XING Z Y, TAN Y C, et al. An environmental-friendly oil-based dust suppression microcapsules[J]. Process Safety & Environmental Protection, 2022, 165:453-462.
- [3] 张春霞, 张应军, 徐扬, 等. 表面活性剂在化肥防结块剂中的应用[J]. 日用化学工业, 2002(6):44-48.  
ZHANG C X, ZHANG Y J, XU Y, et al. Application of surfactant in anti-caking agent for fertilizer[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2002(6):44-48.
- [4] 吕婧潇. 磷酸酯表面活性剂的合成与性能研究[D]. 上海: 上海大学, 2015.  
LV J X. Study on the Synthesis and Properties of Phosphate Surfactants[D]. Shanghai: Shanghai University, 2015.
- [5] 林子云. 磷酸酯类表面活性剂及其应用[J]. 胶体与聚合物, 2004, 23(4):43-44.
- [6] 林祥斌, 马继伟, 史铁京. 脂肪醇磷酸酯在复合肥防结块剂中的应用[J]. 磷肥与复肥, 2015, 30(6):6-8.  
LIN X B, MA J W, SHI T J. Application of fatty alcohol phosphate in anti-caking agent for compound fertilizer [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2015, 30(6):6-8.
- [7] 李正军. 磷酸酯合成工艺的改进及单双酯含量的检测[J]. 西部皮革, 2007(2):31-34.  
LI Z J. Improvement in Synthesizing Processes of Phosphates

- and Determination of the Content of Monoester and Diester [J]. West Leather, 2007(2):31-34.
- [8] 董旭,董茂忠,董茜,等.复合肥料防结块性能快速测试方法探讨[J].山东化工,2020,49(5):65-69,86.  
DONG X, DONG M Z, DONG Q, et al. Exploration on Fast Test of Anti-blocking Property of Compound Fertilizers [J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(5):65-69, 86.
- [9] KEENEN G F. Hygroscopicity of Mixed Fertilizers [J]. Industrial & Engineering Chemistry, 2002, 31(7):903-908.
- [10] 茹铁军,王金铭,乔荣广.复合肥料的吸湿性及其影响因素[J].磷肥与复肥,2010,25(4):50-51.  
RU T J, WANG J M, QIAO R G. Study on the hygroscopicity of compound fertilizer and its influence factors [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2010, 25(4):50-51.
- [11] 周晶晶,姜振胜,唐丽丹.复合肥料防结块性能测试方法的比较和探讨[J].磷肥与复肥,2022,37(5):9-11.  
ZHOU J J, JIANG Z S, TANG L D. Comparison and discussion on test methods of anti-caking performance of compound fertilizers [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(5):9-11.
- [12] CHARLIE J S, WULANDARI M, NURWIJAYANTI. Classification of Fertilizer Using OpenCV Based on Color Characteristic [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 1007(1):012053.
- [13] 曲娟娟,邓素琴.表面活性剂型防结块剂的研究进展[J].广东化工,2017,44(20):109-110.  
QU G J, DENG S Q. The Research Progress of Anti-Caking Agent Produced from Surfactant [J]. Guangdong Chemical Industry, 2017, 44(20):109-110.
- [14] 张灿,伍华,木强,等.基于不同辅料和基料的肥料包裹剂的防潮效果评价[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(10):35-39.  
ZHANG C, WU H, MU Q, et al. Evaluation of moisture-proof effects of fertilizer wrapping agents based on different auxiliary materials and base materials [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024, 39(10):35-39.
- [15] 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 and Research of a Brown Waterborne Colorant for Diammonium Hydrogen Phosphate (DAP) Fertilizer [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2008.
- [16] 谢汪洋.磷酸二铵存储过程中外观质量变化的研究与应用[D].武汉:武汉工程大学,2014.  
XIE W Y. Research and application of appearance quality of diammonium phosphate in the storage process of change [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2014.

## “第九届全国磷氟生态产业技术创新（贵州磷化）论坛” 在贵州省遵义市成功举办

2025年8月26—29日，由郑州大学、贵州磷化（集团）有限责任公司、四川大学、昆明理工大学主办，郑州大学生态与环境学院、郑州大学出版社有限公司（郑州大学期刊中心）、全国磷复肥与磷化工信息中心、《生态产业科学与磷氟工程》编辑部等单位承办的“第九届全国磷氟生态产业技术创新（贵州磷化）论坛”（以下简称“论坛”）在贵州省遵义市成功举办。贵州省副省长杨同光，贵州磷化（集团）有限责任公司党委书记、董事长何光亮，郑州大学副校长刘春太，遵义市副市长李红林出席开幕式并致辞。遵义市委副书记、市长黄伟，工信部节能司一级巡视员尤勇出席开幕式，郑州大学教授、《生态产业科学与磷氟工程》主编汤建伟主持开幕式。第十四届全国政协委员、第二届国家新材料专咨委主任、工信部电子科技委主任、工信部原副部长、研究员级高级工程师王江平，中国工程院院士、清华大学教授金涌，中国工程院院士、中国农业大学农业绿色发展研究院院长张福锁，贵州磷化（集团）有限责任公司党委委员、副总经理刘松林，国际锌协会植物营养和肥料科技部主任樊明宪做大会主旨报告。

论坛以“科技创新、资源协同、能效提升、产业生态”为主题，聚焦磷氟资源全生命周期过程中的科技突破与产业升级，旨在加强产学研协同，推动传统磷化工向绿色、低碳、高值化方向转型，为“十五五”产业高质量发展奠定基础。会议设置3场主题报告和4场专题分会，覆盖发展战略、资源规划、科技创新、磷石膏利用、磷复肥技术、高端材料创制及中低品位磷资源利用等方向。来自清华大学、天津大学、郑州大学、四川大学等15所高校，约10家行业协会及多家科研院所、企业的60余位专家分享报告，全国600余名代表参会交流。

开幕式上，与会嘉宾为24篇优秀论文作者颁发“全国生态产业科学与磷氟工程（富邦杯）优秀科技论文奖”，并向钟本和、陈玉如两位行业专家颁发“秀成一以中肥料创新奖”。会后，与会代表考察了贵州磷化（集团）有限责任公司在新能源、氟硅材料、环保建材等领域的重点项目。