

饲料级磷酸氢钙制备磷酸二氢钾工艺研究

沈海龙, 侯屹东, 张 然, 张蓉蓉

(云南磷化集团有限公司 磷化工事业部, 云南 昆明 650600)

[摘 要] 为降低磷酸二氢钾的生产成本, 探究以饲料级磷酸氢钙为原料制备磷酸二氢钾的新工艺, 分析不同因素对磷收率的影响。在最佳工艺条件下, 即 $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为0.4、磷酸氢钙悬浮液的液固体积质量比为5 mL/g、硫酸氢钾与磷酸氢钙摩尔比为1.0、硫酸氢钾加入时间为0.5 h、反应温度65 °C、反应时间为1.5 h的条件下, 制备的磷酸二氢钾产品纯度达到98%以上, $w(\text{H}_2\text{O})$ 控制在0.5%以下, $w(\text{杂质})$ 低于0.2%, 完全满足国家标准GB/T 1279—2008《工业磷酸二氢钾》的要求; 磷收率高达95.78%, 表明原料中的磷得到了高效利用。采用新工艺生产的磷酸二氢钾的总成本约为5 000元/t, 较传统工艺下降45.7%, 具有显著的成本优势, 适合工业化推广和应用。

[关键词] 磷酸二氢钾; 饲料级磷酸氢钙; 工艺方法; 生产成本

[中图分类号] TQ126.3'5 [文献标志码] A [文章编号] 2097-4566 (2025) 04-0021-06

Research on preparation process of potassium dihydrogen phosphate from feed grade calcium hydrogen phosphate

SHEN Hailong, HOU Yidong, ZHANG Ran, ZHANG Rongrong

(Phosphorus Chemical Business Unit, Yunnan Phosphate Group Co., Ltd., Kunming 650600, China)

Abstract: In order to reduce the production cost of potassium dihydrogen phosphate, a new process for preparing potassium dihydrogen phosphate from feed grade calcium hydrogen phosphate is explored, and the influence of different factors on phosphorus yield is analyzed. Under the optimal process conditions: Phosphoric acid and calcium hydrogen phosphate molar ratio of 0.4, liquid-solid mass ratio of 5 mL/g for calcium hydrogen phosphate suspension, potassium bisulfate and calcium hydrogen phosphate molar ratio of 1.0, potassium bisulfate addition time of 0.5 h, reaction temperature at 65 °C, and reaction time of 1.5 h, the purity of the prepared potassium dihydrogen phosphate product reaches over 98%, the water content is controlled below 0.5%, and the impurity content is less than 0.2%, fully meeting the requirements of the national standard GB/T 1279—2008 “Industrial Potassium Dihydrogen Phosphate”; The phosphorus yield reaches 95.78%, indicating that the phosphorus in the raw material is efficiently utilized. The total cost of producing potassium dihydrogen phosphate using the new process is about 5 000 RMB Yuan per ton, which is 45.7% lower than the traditional process cost. It has significant cost advantages and is suitable for industrial promotion and application.

Key words: potassium dihydrogen phosphate; feed grade calcium hydrogen phosphate; process method; production cost

0 引言

磷酸二氢钾, 作为一种重要的化工原料, 拥有广泛的应用领域, 涵盖农业、医药以及化工等多个行业。传统生产方法依赖于热法磷酸和钾碱的中和反应, 中和反应通常在高温下进行, 通过将磷酸和钾碱混合并加热至一定温度, 使它们发生化学反应生成磷酸氢钾盐, 并释放出水和二氧化碳^[1]。传统生产方法存在原料成本高、生产工艺复杂等问题, 迫切需要寻找新的生产方法, 以提高磷酸二氢钾的

生产效率和降低生产成本^[2-3]。气提法、熔盐法和离子交换法等方法的生产规模较小、成本较高, 限制了其在工业上的应用和发展。

饲料级磷酸氢钙中磷含量高, 且价格相对较

[收稿日期] 2025-01-16

[作者简介] 沈海龙(1987-), 男, 云南玉溪人, 工程师, 从事磷酸氢钙生产工艺技术管理工作。

[基金项目] 中央引导地方科技发展专项资金“贫杂磷矿高效生产高品质绿色饲料磷酸钙盐产业化技术开发与转化”(202207AC110017)

低。本研究利用饲料级磷酸氢钙作为原料，提出了一种制备磷酸二氢钾的新方法：在复分解反应之前，将磷酸与饲料级磷酸氢钙进行预反应，以提高磷酸氢钙中磷的收率^[4]。同时，通过优化复分解反应的反应条件，进一步提升磷酸氢钙的磷收率指标^[5]。

1 实验材料

1.1 原料与仪器

1.1.1 原料

所用实验原料如表1所示。

表1 实验原料

Table 1 Experimental raw materials

序号	类别	原料名称
1	磷源材料	饲料级磷酸氢钙(P ₂ O ₅ 质量分数为40.10%)
2	钾源材料	硫酸氢钾(质量分数为98%~100%,分析纯)
3	辅助原料	磷酸(质量分数为85%,分析纯)

1.1.2 仪器

所用实验仪器如表2所示。

表2 实验仪器

Table 2 Experimental equipments

序号	仪器名称	具体用途
1	水浴锅	用于提供恒定温度的加热设备
2	三口圆底烧瓶	用作反应容器
3	分析天平	用于准确称量实验所需的化学品
4	真空泵	用于提供真空条件
5	蠕动泵	用于提供反应过程中所需的搅拌
6	恒压式分液漏斗	用于控制反应过程中液体的流动
7	干燥箱	用于干燥产物以及实验装置

1.2 实验方法与原理

1.2.1 实验方法

1) 准备工作 获取所需实验器材和试剂，包括烧瓶、恒温水浴锅、饲料级磷酸氢钙、磷酸、硫酸氢钾等。准备实验室环境，确保清洁、安全。

2) 制备悬浮液 将适量饲料级磷酸氢钙与水于烧瓶中进行混合，并将其置于恒温水浴锅中控制温度进行处理。

3) 预分解反应 预先配制好磷酸溶液，然后缓慢加入烧瓶中进行预分解反应。

4) 复分解反应 向预分解反应液中缓慢、均匀地加入硫酸氢钾溶液。

5) 滤渣处理 将反应混合物进行过滤操作，对滤渣进行洗涤处理。将洗涤后的滤渣置于45℃下进行烘干处理。

6) 滤液处理 将滤液进行浓缩处理，随后冷却结晶。对结晶产物进行固液分离，将得到的磷酸

二氢钾晶体于45℃下烘干至恒质量(4~6h)。

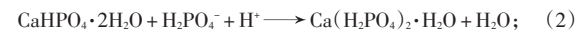
7) 分析检测 对烘干后的滤渣进行磷和钾含量的检测，根据检测结果计算复分解反应阶段磷和钾的收率。

8) 数据记录与分析 记录实验操作过程中的关键参数和观察结果，分析实验数据，评估实验结果的准确性和可重复性。

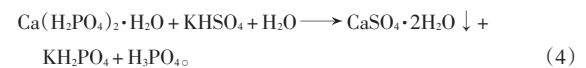
9) 清洁与安全 清洁实验器材和工作区域，确保实验室环境整洁。遵守实验室安全操作规程，确保实验过程安全。

1.2.2 实验原理

预分解反应的方程式为：



复分解反应的方程式为：



1.3 检测方法

P₂O₅测定采用磷钼酸喹啉重量法，K₂O测定采用火焰原子吸收法。将滤渣中的磷含量和钾含量与饲料级磷酸氢钙中的磷含量和硫酸氢钾中的钾含量进行比较，以计算复分解反应阶段磷和钾的收率。

磷酸二氢钾质量指标检测：纯度测定，采用高效液相色谱法或电位滴定法，参考GB/T 1279—2008；水含量测定，采用卡尔·费休法，依据GB/T 6283—2008；金属杂质含量测定，采用电感耦合等离子体发射光谱法，参照GB/T 23942—2009。

2 结果与讨论

根据前期实验数据，钾收率与磷收率变化趋势基本一致，波动范围小于±1.5%。后续实验仅以磷收率为主要考核指标，以简化数据分析和工艺优化过程。

2.1 n(磷酸)/n(磷酸氢钙)对磷收率的影响

设定以下条件，磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比为5 mL/g，加入硫酸氢钾的时间为30 min，n(硫酸氢钾)/n(磷酸氢钙)为1.0，反应温度持续控制在70℃，反应时间为60 min，分析磷酸与磷酸氢钙比例对磷收率的影响，结果如图1所示。

由图1可以看出，在一定范围内增加n(磷酸)/n(磷酸氢钙)能够显著提高磷收率。这是因为适量的磷酸加入可以促进磷酸氢钙向磷酸二氢钙的转化，从而增加了反应产物中磷的含量^[6]。这一过程能够有效提高磷酸氢钙的利用率，使得磷收率随着

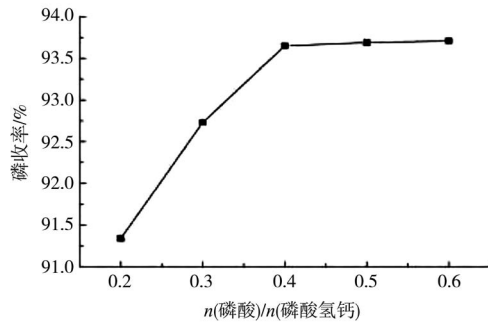


图1 $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 对磷收率的影响

Fig. 1 The effect of $n(\text{phosphoric acid})/n(\text{calcium hydrogen phosphate})$ on phosphorus yield

磷酸添加量的增加而增加。但是随着 $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 进一步增加,磷收率并不会持续增加,而是趋于平衡甚至有所下降。这可能是由于过量磷酸加入导致了溶液中磷酸二氢根离子的过度释放,或者引发了其他不利反应的发生,从而影响了磷收率。因此,确定一个合适的磷酸与磷酸氢钙比例对于磷收率最大化至关重要。在本研究中,由图1观察到当 $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为0.4时,磷收率为93.65%,基本处于平衡值状态,进一步增加比例后,磷收率基本保持不变。

因此,在实际生产中,选择 $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为0.4较为合适,能够在保证磷收率的同时,最大限度地降低药剂成本。

2.2 磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比对磷收率的影响

通过设定以下条件, $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为0.4,硫酸氢钾的加入时间为30 min, $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为1.0,反应温度控制在70℃,反应时间为60 min,分析磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比对磷收率的影响,结果如图2所示。

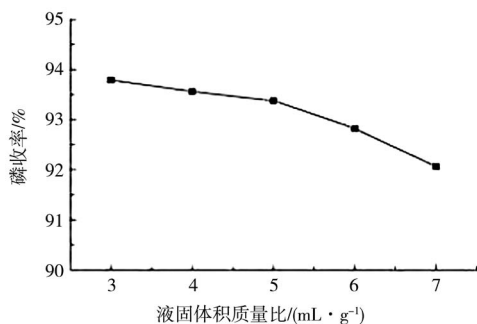


图2 磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比对磷收率的影响

Fig. 2 The effect of volume to mass ratio of liquid and solid of calcium hydrogen phosphate suspension on phosphorus yield

由图2可以看出,在固定其他条件(如硫酸氢钾加入时间、反应温度等)的前提下,当磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比小于5 mL/g时,随着液固体积质量比不断增加,磷收率呈现出逐步降低的趋势。当液固体积质量比处于低位时,悬浮液的稠度有所增加,致使滤液在过滤时进程变得较为缓慢,影响了反应的进行和产物的生成。但是当液固体积质量比超过5 mL/g时,磷收率下降速度陡然加快。这可能是由于过高的液固体积质量比导致了反应物之间的扩散受限,进而影响了反应的进行和产物的生成^[7]。

综合考虑实际生产过程中的时间成本和磷收率,选择磷酸氢钙悬浮液最佳液固体积质量比为5 mL/g,此时磷收率可以达到93.38%的水平。结果表明,在实际生产中,通过合理控制液固体积质量比可以提高磷酸二氢钾的生产效率和经济性。

2.3 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 对磷收率的影响

通过设定以下条件,磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比为5 mL/g, $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为0.4,加入硫酸氢钾的时间为30 min,反应温度控制在70℃,反应时间为60 min,考察 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 对磷收率的影响,结果如图3所示。

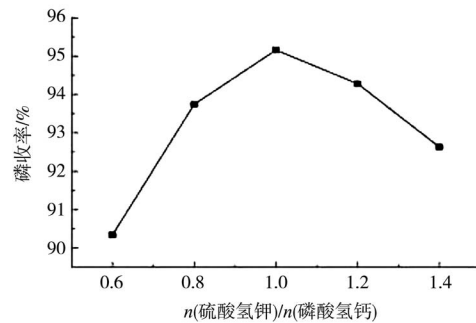


图3 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 对磷收率的影响

Fig. 3 The effect of $n(\text{potassium bisulfate})/n(\text{calcium hydrogen phosphate})$ on phosphorus yield

由图3可以看出,当 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 达到1.0时,磷收率最高,为95.16%。在该反应体系中,硫酸氢钾与磷酸二氢钙反应生成磷酸和磷酸二氢钾。这一反应的速率和完全程度受到反应物摩尔比的影响。当 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为1.0时,反应物的配比最为适宜,有利于反应的进行,从而产生较高的磷收率。化学反应达到平衡时,产物与反应物的浓度比例对反应收率产生重要影响。当 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为1.0时,可能有利于维持反应体系中的平衡状态,进而促进磷

收率的提高。

硫酸氢钾与磷酸氢钙的反应速率受到反应温度和时间的影响。在 70 °C 下反应 1.0 h 是通过实验确定的最佳条件，结合适当的物质的量之比 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 1.0，有助于提高反应速率和磷收率。

这一过程是由于溶液中 SO_4^{2-} 的浓度增加，与 Ca^{2+} 反应生成 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 沉淀，促进了磷酸二氢钾的生成。但是当硫酸氢钾的比例过高时，生成的 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 沉淀很可能会附着于磷酸氢钙颗粒的表面，不利于磷酸氢钙的溶解，进而降低了磷收率。这一过程的核心在于溶液中硫酸氢钾 (HSO_4^-) 的浓度增加，与其中的钙离子 (Ca^{2+}) 发生反应，形成了硫酸钙 (CaSO_4) 沉淀，通常以 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的形式存在。这个沉淀物的生成有助于促进磷酸二氢钾 (KH_2PO_4) 的产生。但是如果硫酸氢钾的添加量过多，就会导致溶液中 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 沉淀过量生成。这些沉淀物可能会附着在磷酸氢钙颗粒的表面，形成覆盖层。这一覆盖层会妨碍磷酸氢钙颗粒与反应溶液中其他反应物的接触，导致磷酸氢钙溶解受到限制^[8]，进而导致磷酸氢钙无法充分参与反应，使得最终的磷收率下降。

因此，在确定最佳硫酸氢钾与磷酸氢钙比例时，需要综合考虑成本和磷收率。在本研究中，确定 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为 1.0 时效果最佳。

2.4 硫酸氢钾加入时间对磷收率的影响

通过设定以下条件，磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比为 5 mL/g， $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为 0.4， $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为 1.0，反应温度为 70 °C，反应时间为 60 min，考察硫酸氢钾加入时间对磷收率的影响，结果如图 4 所示。

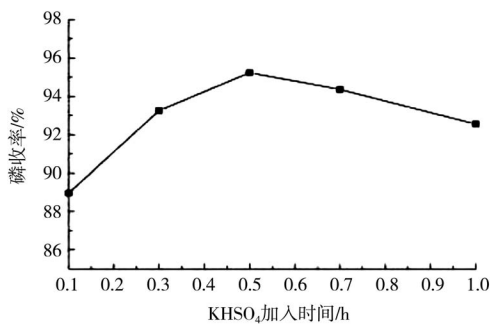


图 4 硫酸氢钾加入时间对磷收率的影响

Fig. 4 The effect of addition time of potassium bisulfate on yield of phosphorus yield

由图 4 可以看出，硫酸氢钾加入时间为 0.5 h 时

磷收率达到峰值，磷收率为 95.78%。由此表明，硫酸氢钾加入时间往往会直接影响到反应进行的速率。在早期加入硫酸氢钾，可以提前引发反应，促使磷酸与磷酸氢钙迅速反应。这有助于更充分地利用反应时间，从而提高磷收率。在不同的反应时段，溶液里的反应物与生成物浓度不一，会影响到最终的反应平衡。在合适的硫酸氢钾加入时间下，可以更好地维持反应平衡，使反应朝着生成磷酸二氢钾的方向进行，从而增加磷收率。

2.5 反应温度对磷收率的影响

通过设定以下条件，磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比为 5 mL/g， $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为 0.4， $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 控制在 1.0，加入硫酸氢钾的时间为 30 min，反应时间为 60 min，考察反应温度对磷收率的影响，结果如图 5 所示。

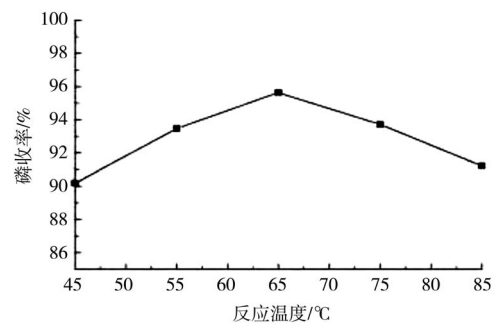


图 5 反应温度对磷收率的影响

Fig. 5 The effect of reaction temperature on phosphorus yield

由图 5 可以看出，当反应温度升高时，磷收率呈现先上升后下降的趋势。当反应温度达到 65 °C 时，磷收率达到峰值，为 95.64%。但是当反应温度超过 65 °C 之后，磷收率的数值便出现明显下滑。这一结果说明温度在 65 °C 左右时，能够有效促进反应的进行，从而提高磷收率。但是需要注意的是，过高的反应温度可能会导致产生的 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 沉淀增多。这是因为高温下反应速率加快，可能导致硫酸氢钾与磷酸二氢钙反应生成过多的 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 沉淀物^[9]。这些沉淀物有可能在反应体系中堆积，附着在磷酸氢钙颗粒表面，阻碍了磷酸氢钙颗粒与反应溶液中其他反应物的有效接触，进而影响了磷收率的提高。

因此，综合考虑反应效率和产物生成量，选择适宜的反应温度至关重要。在本实验条件下，65 °C 左右被确认为最佳温度，既有利于反应进行，又能够控制产物的生成量，从而保证了高磷收率的同时，也减少了不必要的成本和资源浪费。

2.6 反应时间对磷收率的影响

通过设定以下条件，磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比为5 mL/g， $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为0.4， $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 控制在1.0，加入硫酸氢钾的时间为30 min，反应温度控制在65 °C，考察反应时间对磷收率的影响，结果如图6所示。

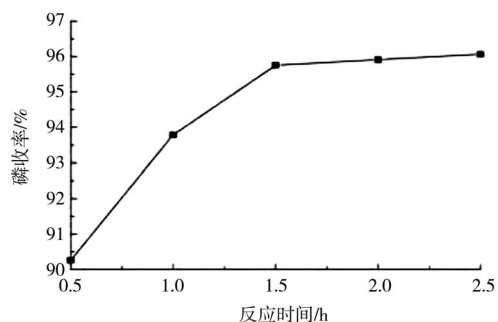


图6 反应时间对磷收率的影响

Fig. 6 The effect of reaction time on phosphorus yield

由图6可以看出，随着反应时间延长，磷收率逐渐上升，并在反应时间为1.5 h时达到了稳定值，为95.78%。这表明在一定时间内，体系中的反应仍在进行，导致磷收率持续提高。然而，当反应时间超过一定阈值后，磷收率趋于稳定，不再随时间变化。这一结果反映了反应过程中磷酸氢钙的溶解和沉淀包裹的动态变化。在反应初期，磷酸氢钙颗粒逐渐溶解释放出磷酸离子，促使反应的进行，从而提高磷收率^[10]。随着反应的进行，产生的 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 沉淀可能会逐渐包裹在磷酸氢钙颗粒表面，导致溶解速率减缓，反应逐渐趋于平衡状态^[11]。因此，当反应达到平衡时，磷收率达到稳定值。在本研究中，确定反应时间为1.5 h时效果最佳。

2.7 产品指标分析

在最佳工艺条件下，即 $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为0.4、磷酸氢钙悬浮液的液固体积质量比为5 mL/g、 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为1.0、硫酸氢钾加入时间为30 min、反应温度控制在65 °C、反应时间为1.5 h的条件下，制备的磷酸二氢钾产品具有优异的性能指标。实验结果表明，磷收率高达95.78%，表明原料中的磷得到了高效利用，显著提升了生产效率。同时，产品磷酸二氢钾纯度达到98%以上，完全满足国家标准GB/T 1279—2008《工业磷酸二氢钾》中对纯度的要求（ $\geq 98\%$ ）。水含量控制在 $w(\text{H}_2\text{O})$ 0.5%以下，符合标准中 $w(\text{H}_2\text{O}) \leq 0.5\%$ 的规定，确保了产品的稳定性和储

存性能。此外，产品中 $w(\text{杂质})$ 低于0.2%，低于国家标准中对杂质含量的限制（ $\leq 0.2\%$ ），表明新工艺能够有效减少杂质的引入，保证了产品的高品质^[12-13]。

与传统方法相比，新工艺在产品质量上表现出色。传统方法虽然也能制备出符合国家标准的磷酸二氢钾，但其磷收率通常较低，为85%~90%，且生产过程中容易引入较多杂质，导致产品纯度波动较大。而新工艺通过优化反应条件，不仅将磷收率提升至95.78%，还显著降低了杂质含量，确保了产品的一致性和稳定性。此外，新工艺的反应条件温和，避免了高温反应可能导致的副反应和产品质量下降问题，进一步提升了产品的综合性能。

2.8 成本分析

传统生产磷酸二氢钾的方法主要依赖于热法磷酸和钾碱的中和反应，其成本较高。根据市场调研，传统方法的原料成本中，热法磷酸的价格约为5 000元/t，钾碱的价格约为6 000元/t，而每生产磷酸二氢钾1 t需要消耗热法磷酸约0.8 t和钾碱0.6 t，仅原料成本就达到约7 600元/t。此外，传统方法需要在高温（通常高于100 °C）下进行反应，能源消耗较大，产品的能源成本约为800元/t。设备方面，高温反应设备需要耐高温、耐腐蚀的特殊材料，设备投资和维护成本较高，产品的设备折旧和维护费用约为500元/t。环保方面，传统方法产生的废气和废水处理成本较高，产品的环保处理费用约为300元/t。综合计算，传统方法生产磷酸二氢钾的总成本约为9 200元/t。

相比之下，本研究提出的新工艺以饲料级磷酸氢钙为原料，原料成本显著降低。饲料级磷酸氢钙的市场价格约为2 000元/t，硫酸氢钾的价格约为4 000元/t，每生产磷酸二氢钾1 t需要消耗饲料级磷酸氢钙约1.2 t和硫酸氢钾0.5 t，原料成本约为4 400元/t。新工艺的反应温度控制在65 °C，远低于传统方法的高温要求，能源消耗大幅度降低，产品的能源成本约为300元/t。设备方面，反应条件温和，设备要求较低，产品的设备折旧和维护费用约为200元/t。环保方面，新工艺产生的副产物较少，环保处理成本较低，产品的环保处理费用约为100元/t。综合计算，新工艺生产磷酸二氢钾的总成本约为5 000元/t。

通过对比可以看出，新工艺在原料、能源、设备和环保成本方面均显著低于传统方法，总成本从

传统方法的9 200元/t降低至5 000元/t,降幅达到45.7%。这一显著的成本优势使得新工艺在经济上具有更强的竞争力,适合工业化推广和应用。

3 结论

综合以上实验结果和分析,得出以下结论:在制备磷酸二氢钾的过程中,硫酸氢钾的加入时间、反应温度和反应时间都对磷收率产生显著影响。在其他条件固定的情况下,当硫酸氢钾加入时间为0.5 h时磷收率达到最大值,过长或过短的加入时间都会导致磷收率降低。在其他条件固定的情况下,反应温度为65℃时,磷收率最高。低温不利于反应进行,而高温会导致反应产物沉淀增加,降低磷收率。在其他条件固定的情况下,随着反应时间的延长,磷收率逐渐上升,并在1.5 h时趋于稳定。总体而言,最佳的工艺条件为 $n(\text{磷酸})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为0.4、磷酸氢钙悬浮液液固体积质量比为5 mL/g、 $n(\text{硫酸氢钾})/n(\text{磷酸氢钙})$ 为1.0、加入硫酸氢钾的时间为0.5 h、反应温度为65℃、反应的时间为1.5 h,在此条件下磷收率能达到稳定值,高达95.78%。

采用新工艺生产的磷酸二氢钾产品质量指标满足GB/T 1279—2008《工业磷酸二氢钾》的要求,且生产成本较传统工艺下降45.7%,具有显著的成本优势,适合工业化推广应用。

[参考文献]

- [1] 彭伟,王振杰,刘安荣,等.饲料级磷酸氢钙制备磷酸二氢钾工艺研究[J].磷肥与复肥,2022,37(4):20-22.
PENG W, WANG Z J, LIU A R, et al. Preparation of potassium dihydrogen phosphate from feed grade calcium hydrogen phosphate[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(4): 20-22.
- [2] 王拥军,张蓓.磷酸二氢钾行业发展前景展望[J].焦作大学学报,2020,34(3):93-96.
WANG Y J, ZHANG B. Prospects for the Development of Potassium Dihydrogen Phosphate Industry[J]. Journal of Jiaozuo University, 2020, 34(3): 93-96.
- [3] 王硕磊,陈葵,周晓葵,等.以制备饲料级磷酸氢钙的副产物为原料制备水溶肥料[J].化工矿物与加工,2019,48(1):46-51,69.
WANG S L, CHEN K, ZHOU X K, et al. Preparation of water-soluble fertilizer from by-products of feed grade calcium hydrophosphate[J]. Industrial Minerals & Processing, 2019, 48(1): 46-51, 69.
- [4] 吕莉,卢珂,罗洪波.磷酸二氢钙制备磷酸二氢钾过程研究[J].辽宁化工,2017,46(12):1147-1149.
LV L, LU K, LUO H B. Preparation of potassium dihydrogen phosphate from calcium dihydrogen phosphate [J]. Liaoning Chemical Industry, 2017, 46(12): 1147-1149.
- [5] 方文化,陈葵,周晓葵,等.以饲料级磷酸氢钙制备磷酸二氢钾的工艺研究[J].无机盐工业,2017,49(9):42-44.
FANG W H, CHEN K, ZHOU X K. Study on preparation of potassium dihydrogen phosphate with feed grade dicalcium phosphate[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2017, 49(9): 42-44.
- [6] 郭强.硫酸法制备磷酸二氢钾新工艺研究[D].成都:成都理工大学,2017.
GUO Q. Research on the New Process of Preparing Potassium Dihydrogen Phosphate by Sulfuric Acid Method [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017.
- [7] 徐联菊.一种利用废石灰渣生产碳酸钾和氢氧化钙的方法:CN105883861A[P].2016-08-24.
- [8] 喻莹.可注射载药型多孔磷酸镁基骨水泥的制备与表征[D].武汉:武汉理工大学,2016.
YU Y. Preparation and characterization of injectable drug loaded porous magnesium phosphate based bone cement [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2016.
- [9] 黄李蓉.饲料级磷酸氢钙、磷酸二氢钾和磷酸氢二钾质量特性研究[D].雅安:四川农业大学,2013.
HUANG L R. Research on the Quality Characteristics of Feed Grade Calcium Hydrogen Phosphate, Potassium Dihydrogen Phosphate, and Potassium Dihydrogen Phosphate [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2013.
- [10] 李春丽,关云山,张志强,等.磷酸氢钙制备磷酸二氢钾的工艺研究 II——母液的净化、蒸发和结晶[J].无机盐工业,2011,43(8):51-53.
LI C L, GUAN Y S, ZHANG Z Q, et al. Study on preparation potassium dihydrogen phosphate with calcium hydrogen phosphate II: purification, evaporation, and crystallization of mother liquor [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2011, 43(8): 51-53.
- [11] 李春丽,张志强,关云山,等.磷酸氢钙制备磷酸二氢钾的工艺研究 I [J].无机盐工业,2011,43(7):48-50.
LI C L, ZHANG Z Q, GUAN Y S, et al. Study on preparation of potassium dihydrogen phosphate with calcium hydrogen phosphate I [J]. Inorganic Chemicals Industry, 2011, 43(7): 48-50.
- [12] 陈力军.肥料磷酸氢钙和氯化钾生产磷酸二氢钾的工艺研究 [D].成都:四川大学,2004.
CHEN L J. Research on the Process of Producing Potassium Dihydrogen Phosphate from Fertilizer Calcium Hydrogen Phosphate and Potassium Chloride [D]. Chengdu: Sichuan University, 2004.
- [13] 丁凤平,张秀芝.碱性果胶酶的研制[J].药物生物技术,1994,1(2):36-39.
DING F P, ZHANG X Z. The preparation and property of PATE [J]. Pharmaceutical Biotechnology, 1994, 1(2): 36-39.