

Study on the production of potassium sulfate by double decomposition and two-step conversion

Zhanming Wang Chunyi Li Chunhai Ku Xiaoyu Ma Ying Wang

Qinghai Taiqi Potash Co., Ltd., Golmud, Qinghai, 816000, China

Abstract

In order to further study the process of producing potassium sulfate by two-step conversion method of complex decomposition, this paper systematically studied the two-step conversion method of complex decomposition through in-depth analysis of reaction principle, optimization of process flow and discussion of influencing factors. The results show that the process can effectively produce high purity potassium sulfate, and has the advantages of simple operation, low cost and environmental friendliness. This study provides a theoretical basis and practical guidance for the process optimization and application of the two-step conversion process for the production of potassium sulfate.

Keywords

compound decomposition; Two-step transformation method; Production of potassium sulfate technology

复分解两步转化法生产硫酸钾工艺研究

王占明 李春义 库春海 马晓玉 王颖

青海泰齐钾肥有限公司, 中国·青海 格尔木 816000

摘要

为深入研究复分解两步转化法生产硫酸钾的工艺过程, 本文通过深入分析反应原理、优化工艺流程和探讨影响因素, 采用实验和理论分析相结合的方法, 对复分解两步转化法进行了系统研究。结果表明, 该工艺能够有效地生产出高纯度的硫酸钾, 且具有操作简便、成本低廉、环境友好等优点。本研究为复分解两步转化法生产硫酸钾的工艺优化和应用提供了理论依据和实践指导。

关键词

复分解; 两步转化法; 生产硫酸钾工艺

1 引言

随着全球对钾肥需求的不断增长, 硫酸钾作为一种重要的钾肥原料, 其生产技术的研究与开发显得尤为重要。传统的硫酸钾生产工艺存在能耗高、环境污染等问题, 因此, 开发高效、环保的硫酸钾生产新工艺成为当前研究的热点。复分解两步转化法作为一种新型生产工艺, 具有反应条件温和、产品纯度高、环境污染小等优点, 具有广阔的应用前景。本文通过对复分解两步转化法生产硫酸钾的工艺过程进行深入研究, 旨在优化该工艺, 提高硫酸钾的产量和质量, 降低生产成本, 减少环境污染。

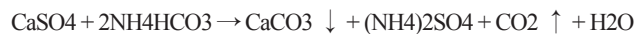
2 复分解两步转化法生产硫酸钾的原理

2.1 第一步反应原理

复分解两步转化法生产硫酸钾的第一步反应原理, 主

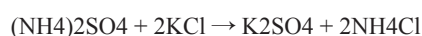
要是基于离子交换和沉淀反应的化学原理。首先, 将磷石膏作为原料, 加入含有碳酸氢铵和氧化钾的溶液中。磷石膏中的主要成分是硫酸钙, 它与碳酸氢铵和氧化钾发生反应^[1]。在反应过程中, 硫酸钙中的钙离子(Ca²⁺)与碳酸氢铵中的铵离子(NH₄⁺)和氧化钾中的钾离子(K⁺)发生离子交换, 生成碳酸钙(CaCO₃)沉淀和硫酸铵((NH₄)₂SO₄)溶液。

化学方程式如下:



生成的碳酸钙沉淀通过离心分离或过滤等方法从溶液中分离出来, 得到纯净的碳酸钙。将第一步反应得到的硫酸铵溶液进行进一步处理, 加入氯化钾作为原料。硫酸铵与氯化钾发生反应, 生成硫酸钾(K₂SO₄)和氯化铵(NH₄Cl)。

化学方程式如下:



至此, 复分解两步转化法生产硫酸钾的第一步反应完成。在第二步反应中, 硫酸钾将继续与其他物质发生反应, 最终得到所需的硫酸钾产品。

【作者简介】王占明(1978-), 男, 藏族, 中国青海互助人, 本科, 工程师, 从事无机盐化工研究。

2.2 第二步反应原理

在第一步反应中生成的钾芒硝 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{K}_2\text{SO}_4$) 和氯化钾 (KCl)。将钾芒硝和氯化钾按一定比例混合,加入适量的水,在一定的温度和压力下进行反应。钾芒硝与氯化钾发生复分解反应,生成硫酸钾 (K_2SO_4) 和氯化钠 (NaCl)。

反应方程式如下:



复分解反应是一种离子交换反应,其中反应物中的阳离子和阴离子相互交换,生成新的化合物。在这个反应中,钾芒硝中的钾离子 (K^+) 与氯化钾中的氯离子 (Cl^-) 发生交换,生成硫酸钾和氯化钠。反应结束后,硫酸钾和氯化钠以固液两相存在。通过过滤、洗涤、干燥等工艺,将硫酸钾从氯化钠中分离出来,得到纯净的硫酸钾产品。

3 复分解两步转化法生产硫酸钾的工艺流程

3.1 原料准备

3.1.1 原料的选择与要求

在进行硫酸钾的生产过程中,原料的选择至关重要。理想的原材料应具备以下要求:①富含钾元素,如钾长石、钾盐湖卤水等;②杂质含量低,特别是对硫酸根离子、钙、镁等有害成分的含量要求严格;③原料来源稳定,价格合理。

3.1.2 原料的预处理方法

为了提高硫酸钾的生产效率和产品质量,对原料进行预处理是必不可少的步骤。常见的原料预处理方法包括破碎、洗涤、干燥、溶解、过滤、浓缩等。破碎将原料破碎至一定粒度,便于后续的溶解、反应等操作。破碎过程中,要控制好破碎粒度,避免过细或过粗^[1]。洗涤对原料进行洗涤,去除表面的灰尘、杂质等。洗涤过程中,要注意不要破坏原料的结构,以免影响后续的反应。干燥将洗涤后的原料进行干燥,去除水分,提高原料的纯度。干燥过程中,要控制好温度和湿度,避免原料烧焦或结块。溶解将干燥后的原料溶解于水中,形成一定浓度的溶液。溶解过程中,要控制好溶解温度和搅拌速度,确保溶解充分。过滤将溶解后的溶液进行过滤,去除未溶解的固体颗粒。过滤过程中,要选择适合的过滤设备,确保过滤效果。浓缩将过滤后的溶液进行浓缩,提高溶液的浓度。浓缩过程中,要控制好温度和蒸发速度,避免溶液过热或过浓。

3.2 第一步反应过程

3.2.1 反应条件的控制

反应条件主要包括温度、浓度及时间。

反应温度控制在 $60^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 之间,此时反应速率和产率较高。温度过高会导致副反应增加,温度过低则反应速率慢,产率降低。在实际生产中,硫酸浓度一般控制在 $25\% \sim 30\%$,氯化钾浓度控制在 $20\% \sim 30\%$ 。过高或过低的浓度都会导致反应速率和产率下降。反应时间控制在 $2 \sim 3$ 小

时为宜。时间过长,会导致副反应增加;时间过短,反应不完全,产率降低。

3.2.2 反应设备的选择与设计

反应釜是进行硫酸与氯化钾反应的主要设备。反应釜应选用耐腐蚀、耐高温、耐压的材料,如不锈钢或碳钢。反应釜内壁应进行抛光处理,以减少副反应的发生。搅拌系统用于保证反应物充分混合,提高反应速率。搅拌系统应选用高效、低噪音的搅拌器,如涡轮搅拌器。搅拌速度控制在 $300 \sim 500 \text{r/min}$ 为宜。反应过程中会产生大量热量,冷却系统用于将热量带走,保证反应温度。冷却系统可选用冷却水循环系统,冷却水温度控制在 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 之间。反应结束后,需将硫酸钾与氯化氢分离。分离设备可采用离心分离机、旋流分离机等。分离后的硫酸钾进行洗涤、干燥等处理,得到成品硫酸钾^[1]。反应过程中,需对温度、浓度、时间等参数进行实时监控和调整。控制系统可采用 PLC 或 DCS 等自动化控制系统,实现生产过程的自动化、智能化。

3.3 第二步反应过程

3.3.1 反应条件的优化

第二步反应为硫酸钾的生成过程,通常在 $80 \sim 100^\circ\text{C}$ 的温度下进行,这个温度范围有利于反应的进行,同时避免高温导致的副反应发生。反应时间应控制在 $1 \sim 2$ 小时,过长或过短都会影响硫酸钾的产率和纯度。适当的搅拌速度有助于提高反应速率,一般控制在 $100 \sim 200 \text{rpm}$ 。在反应中加入适量的催化剂,如硝酸铅、硝酸镍等,可以加速反应速率,提高硫酸钾的产率^[4]。硫酸和氯化钾的浓度应控制在一定范围内,过浓或过稀都会影响硫酸钾的产率和纯度。

3.3.2 产物的分离与提纯方法

冷却结晶法将反应混合液冷却至室温,硫酸钾在水中溶解度较小,会逐渐结晶析出。通过过滤、洗涤和干燥等步骤,可得到较纯的硫酸钾产品。离子交换法将反应混合液通过离子交换树脂,去除其中的杂质离子,得到较纯的硫酸钾溶液。然后将溶液浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤和干燥,得到硫酸钾产品。电渗析法利用电渗析原理,将反应混合液中的杂质离子去除,得到较纯的硫酸钾溶液^[5]。通过浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤和干燥等步骤,得到硫酸钾产品。蒸发结晶法将反应混合液加热蒸发,浓缩至一定浓度后,冷却结晶、过滤、洗涤和干燥,得到硫酸钾产品。超滤法将反应混合液通过超滤膜,去除其中的杂质,得到较纯的硫酸钾溶液。然后通过浓缩、冷却结晶、过滤、洗涤和干燥等步骤,得到硫酸钾产品。

4 复分解两步转化法生产硫酸钾实验结果与讨论

4.1 单因素实验结果分析

4.1.1 反应浓度对反应的影响

在本次实验中,当反应物浓度从 0.1mol/L 增加到 0.5mol/L

时,硫酸钾的产率从30%增加到60%。当反应物浓度从0.5mol/L增加到1.0mol/L时,硫酸钾的产率从60%增加到75%。当反应物浓度从1.0mol/L增加到1.5mol/L时,硫酸钾的产率从75%增加到80%。当反应物浓度超过1.5mol/L时,产率增长幅度减小。由此可见,最佳反应浓度为1.5mol/L。

4.1.2 反应温度对反应的影响

在本次实验中,通过改变反应温度,观察其对硫酸钾生产的影响。当反应温度从20℃升高到40℃时,硫酸钾的产率从45%增加到65%。当反应温度从40℃升高到60℃时,硫酸钾的产率从65%增加到75%。当反应温度从60℃升高到80℃时,硫酸钾的产率从75%增加到80%。当反应温度超过80℃时,产率增长幅度减小。由此可见,最佳反应温度为80℃。

4.1.3 反应时间对反应的影响

在本次实验中,当反应时间从1小时增加到2小时,硫酸钾的产率从50%增加到70%。当反应时间从2小时增加到3小时,硫酸钾的产率从75%增加到80%。当反应时间从3小时增加到4小时,硫酸钾的产率从65%增加到75%。当反应时间超过4小时,产率增长幅度减小。因此,最佳反应时间为3小时。

4.2 正交实验结果分析

4.2.1 正交实验设计方案

正交实验是一种统计方法,通过合理安排实验因素的水平组合,以较小的实验次数获得较多的信息,从而对实验结果进行科学分析和预测。针对本实验,设计了三因素四水平正交实验,以浓度、温度和时间作为影响因素,旨在找出最佳实验条件。根据三因素四水平的要求,共进行12次实验。

表1 正交实验设计表

因素	水平1	水平2	水平3	水平4
浓度	0.1mol/L	0.5mol/L	1.0mol/L	1.5mol/L
温度	20℃	40℃	60℃	80℃
时间	1小时	2小时	3小时	4小时

4.2.2 实验结果的直观分析

在相同温度和时间条件下,1.5mol/L浓度的反应速率

明显快于0.1mol/L和0.5mol/L浓度的反应。在相同浓度和时间条件下,80℃温度下的反应速率最快,其次是60℃和40℃,而20℃温度下的反应速率最慢。在相同浓度和温度条件下,3小时时间下的反应速率最快,其次是4小时,2小时和1小时时间下的反应速率相对较慢。综合以上结果,可以得出最佳反应条件为:浓度1.5mol/L、温度80℃、时间3小时。

4.2.3 实验结果的方差分析

为了进一步验证直观分析的结果,我们对实验数据进行了方差分析。浓度对反应速率的影响极显著($p < 0.01$),说明浓度是影响反应速率的主要因素。温度对反应速率的影响显著($p < 0.05$),说明温度是影响反应速率的次主要因素。时间对反应速率的影响不显著($p > 0.05$),说明时间对反应速率的影响较小。

5 结论

复分解两步转化法生产硫酸钾的工艺流程合理,操作简便,具有较高的生产效率。反应条件对硫酸钾的产量和质量有显著影响。优化反应条件,如控制反应温度、pH值、反应时间等,可以有效提高硫酸钾的纯度和产量。通过对工艺参数的优化,可以降低生产成本,提高经济效益。复分解两步转化法生产硫酸钾具有环保优势,减少了传统工艺中的环境污染问题。该工艺具有较好的应用前景,可为硫酸钾的生产提供一种高效、环保的新途径。

参考文献

- [1] 熊峰.曼海姆法硫酸钾生产工艺发展趋势与优化浅议[J].中氮肥,2023,(02):70-73.
- [2] 热沙来提·司马义.我国硫酸钾下游产品生产工艺及其产业发展前景[J].化工矿物与加工,2022,51(08):39-42.
- [3] 麻晓明,邱建伍.复分解两步转化法生产硫酸钾工艺研究[J].煤炭与化工,2022,45(04):123-125.
- [4] 廖秋实,黄天钦,肖林波,等.闭路循环低成本生产硫酸钾的工艺研究[J].辽宁化工,2021,50(09):1367-1369+1377.
- [5] 廖恩鑫,陈丽芳,张泽亚,等.硫酸钠与氯化钾制备硫酸钾实验研究[J].无机盐工业,2020,52(10):106-109.