

高镁铁尾矿制备 K_2MgSiO_4 型矿物肥及缓释性能胡攀^{1,2}, 陈彪¹, 张杨建峡¹, 陈润达¹, 张以河², 田键^{1,3}

(1. 湖北大学材料科学与工程学院, 功能材料绿色制备与应用教育部重点实验室, 工业废弃物绿色产业化应用技术湖北省工程研究中心, 湖北 武汉 430062; 2. 中国地质大学(北京)材料科学与工程学院, 北京 100083; 3. 湖北湖大天沭新能源材料工业研究设计院有限公司, 湖北 武汉 430062)

摘要: 以河北涞源地区高镁铁尾矿为原料, 利用固相烧结法制备以枸溶性 K_2MgSiO_4 矿物为主要组成的矿物肥, 并进一步探究溶出释放特性及模拟缓释性能。在水、20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L HCl 中制备的样品 K、Mg、Si 溶出效率明显提高, 84 d 缓释实验, 制备样品在水、20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L 盐酸中 K 累计释放量达到 33.75%、73.84% 及 93.81%, Si 累计释放量达 26.05%、56.13% 及 83.09%, Mg 累计释放量达 2.00%、45.01% 及 72.04%。其主要营养元素能够良好释放和缓释, 表明其能成为一种性能优良的矿物肥。

关键词: 铁尾矿; K_2MgSiO_4 ; 枸溶性矿物; 矿物肥; 缓释性能

doi:10.12476/kczhly.202210260676

中图分类号: TD981 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2025) 05-0204-07

引用格式: 胡攀, 陈彪, 张杨建峡, 等. 高镁铁尾矿制备 K_2MgSiO_4 型矿物肥及缓释性能[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(5): 204-210.

HU Pan, CHEN Biao, ZHANG Yangjianxia, et al. Preparation and properties of k_2mgsio_4 mineral fertilizer from high magnesium iron tailings[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(5): 204-210.

铁尾矿是铁矿石经过分选工艺选取铁精矿后剩余的废渣, 每生产 1 t 铁精矿产生铁尾矿 2.50~3.00 t。据《大、中城市固体废弃物污染环境防治年报 2020》数据显示, 2019 年我国尾矿产生量 10.3 亿吨, 其中黑色金属(铁)采选业尾矿产生 4.4 亿吨, 综合利用率仅为 23.4%。截止至 2021 年, 全国铁尾矿的堆存已超过 90 亿吨^[1]。铁尾矿的大量堆存, 占用大量的宝贵土地, 存在严重的安全隐患, 同时对尾矿库周边大气、地下水等造成不同程度的危害, 所以铁尾矿的大规模资源化利用一直是铁矿行业绿色可持续发展研究热点。

铁尾矿由于各地区矿产不同, 成分十分复杂, 目前其资源利用主要集中在有价金属的提取、建筑材料、路基材料、复合材料填料等方面

的应用。由于铁尾矿化学成分主要为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、CaO、MgO 等, 都是植物生长必不可少的营养元素^[2], 近年来, 许多学者开始探究其在土壤改良方面的应用^[3-4]。但由于铁尾矿中大部分矿物均是较稳定的矿物结构, 其在水溶液或者植物分解弱酸环境下很难发生溶解或者分解, 营养元素释放困难, 导致目前土壤改良及促进植物生长效果不明显。近年来, Hu 等^[5]利用碱固相烧结的方法对铁尾矿进行改性活化, 提高铁尾矿中有效硅的含量, 进而探究其施用对小麦草生长促进作用。此外, 马曦等^[6]利用钾长石综合利用制备缓释钾肥并探究了其缓释性能。Ma 等^[7]利用黑云母酸浸渣制备了以 $K_2MgSi_3O_8$ 为主要矿物的缓释钾肥, 同时进一步研究 4 种典型的 K_2O -MgO-

收稿日期: 2022-10-26

基金项目: 中国博士后面上资助项目(2018M631537); 湖北大学青年科学基金(201911304000001)

作者简介: 胡攀(1988-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为固废利用及环境能源新材料。

SiO_2 化合物的释放特性^[8]。Hu 等^[9]利用赤泥酸浸渣制备了以 $K_2MgSi_3O_8$ 为主要矿物的肥料。另外也有利用镁渣制备新型缓释钾肥的研究^[10]。

以河北涞源地区高镁铁尾矿为原料，充分利用其高镁高硅、矿物易分解活化特点，通过与碳酸钾活化剂高温烧结制备合成以枸溶性矿物 K_2MgSiO_4 为主要组成的 $K_2O-MgO-SiO_2$ 型复合肥，并探究其营养元素释放特性及缓释性能，以期扩展铁尾矿在土壤改良及矿物肥料方向提供技术支持。

1 实验

1.1 原材料

本实验用铁尾矿为河北省保定市涞源地区铁尾矿，其余原料均采用分析纯试剂。

1.2 样品制备及表征

以铁尾矿及 K_2CO_3 等按照不同的比例在球磨机中研磨均匀后，放入坩埚中，置于马弗炉中进行烧结，冷却后磨细至 0.074 mm 筛余小于 2% 的矿物肥样品。

采用 X 射线荧光分析仪（XRF）、X 射线衍射仪（XRD）和激光粒度分析仪对铁尾矿及制备的样品进行化学全组分、矿物组成及粒径分布分

析。采用扫描电子显微镜（SEM）观察样品溶出前后的颗粒表面形貌。

依照我国农业标准《NY/T 2272—2012 土壤调理剂 钙、镁、硅含量的测定》和《NY/T 2273—2012 土壤调理剂 磷、钾含量的测定》等方法对上述制备的样品进行肥效的测定，缓释性能依据《GB/T 23348—2009 缓释肥料》标准进行实验。依照《GB/T 23349—2009 肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标》方法对铁尾矿及制备的样品进行重金属含量检测。

2 结果与分析

2.1 铁尾矿制备矿物复合肥可行性分析

铁尾矿原料重金属含量检测结果见表 1，其汞、砷、镉、铅、铬及其化合物含量分别为 0.3、10.7、2.5、58.3 及 24.6 mg/kg，与现行各型号肥料标准中典型重金属的限量值进行比较，均远小于各肥料标准限量值，表明其在重金属生态环保方面制备矿物复合肥是可行的。实验原料铁尾矿化学成分见表 2，其含有大量的 SiO_2 、 MgO 和 CaO ，三者合计 76.26%，是良好制备新型矿物复合肥 $K_2O-MgO-SiO_2$ 矿物的原料。其矿物组成分析结果表明（表 3）其主要由方解石、白云石、辉

表 1 河北保定涞源地区铁尾矿的典型重金属含量与相关标准对比

Table 1 Comparison between related standards and typical heavy metal contents of iron tailings in Laiyuan Area of Baoding, Hebei Province					
参数指标	汞及其化合物 (以Hg计) / (mg/kg)	砷及其化合物 (以As计) / (mg/kg)	镉及其化合物 (以Cd计) / (mg/kg)	铅及其化合物 (以Pb计) / (mg/kg)	铬及其化合物 (以Cr计) / (mg/kg)
铁尾矿	0.3	10.7	2.5	58.3	24.6
GB 18877—2009有机-无机复混肥料	≤5.0	≤50.0	≤10.0	≤150.0	≤500.0
GB/T 23349—2009肥料中砷、镉、 铅、铬、汞生态指标	≤5.0	≤50.0	≤10.0	≤200.0	≤500.0
NY/T 798—2004 复合微生物肥料	≤5.0	≤75.0	≤10.0	≤100.0	≤150.0
NY 884—2012生物有机肥	≤2.0	≤15.0	≤3.0	≤50.0	≤150.0
NY 1110—2006水溶肥料汞、砷、镉、 铅、铬的限量及其含量测定	≤5.0	≤10.0	≤10.0	≤50.0	≤50.0

表 2 河北保定涞源地区铁尾矿的化学成分

单位: %

Table 2 Chemical composition of iron tailings in Laiyuan Area of Baoding, Hebei Province										
SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	MnO	LOSS
39.46	13.40	23.40	7.03	3.13	0.15	0.06	0.16	0.48	0.39	10.27

表 3 河北保定涞源地区铁尾矿的矿物组成

单位: %

Table 3 Mineral composition of iron tailings in Laiyuan Area of Baoding, Hebei Province									
方解石	白云石	辉石	斜长石	蒙脱石	伊利石	绿泥石	蛇纹石	沸石	闪石
17	16	10	5	4	6	7	14	11	10

石、蛇纹石等矿物组成,大部分矿物分解温度较低,后续的制备过程可进一步降低制备过程的温度,降低生产的相关成本。

2.2 K_2MgSiO_4 型矿物复合肥料制备条件优化

通过对涿源地区典型铁尾矿的化学全组分分析可知,其主要组分为 SiO_2 和 MgO ,含量分别为 39.46% 和 23.40%,合计可达到 62.86%,同时 SiO_2 和 MgO 的摩尔比接近 1:1,如果利用其制备 K_2MgSiO_4 型矿物肥理论上可省去 Mg 源的添加,只需要添加活化剂 K_2CO_3 即可,大大节约矿物肥的原料成本。本实验活化剂 K_2CO_3 根据 K_2MgSiO_4 理论添加量添加。

研究升温速率 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,煅烧保温时间为 60 min 条件下,煅烧温度分别为 700、800、900、1 000 及 1 100 $^{\circ}\text{C}$ 条件下对制备样品矿物晶型的影响,

煅烧前后样品 XRD 见图 1a。从图中可以看出,随着温度的升高,样品的 XRD 特征峰逐渐向 K_2MgSiO_4 (PDF 39-1426) 转变,当温度达到 800 $^{\circ}\text{C}$ 时,可以看到样品的主要物相为 K_2MgSiO_4 ,有少量的 $MgSiO_4$ (PDF 34-0189),当煅烧温度进一步升高至 900 $^{\circ}\text{C}$ 时,样品此时主要显示 K_2MgSiO_4 的特征峰,进一步升高温度,样品的 XRD 特征峰变化不明显,故选定铁尾矿矿物复合肥的煅烧温度为 900 $^{\circ}\text{C}$ 。

在 900 $^{\circ}\text{C}$ 的基础上,探索了煅烧时间 30、60 及 90 min 对制备样品矿物晶型的影响,其制备的样品 XRD 图谱见图 1b。当煅烧时间为 30 min 时,制备的样品还含有少量的 $MgSiO_4$,这说明此时铁尾矿中还有部分的 Mg 和 Si 未与 K 结合生成 K_2MgSiO_4 。当煅烧时间延长至 60 min 时,可以看

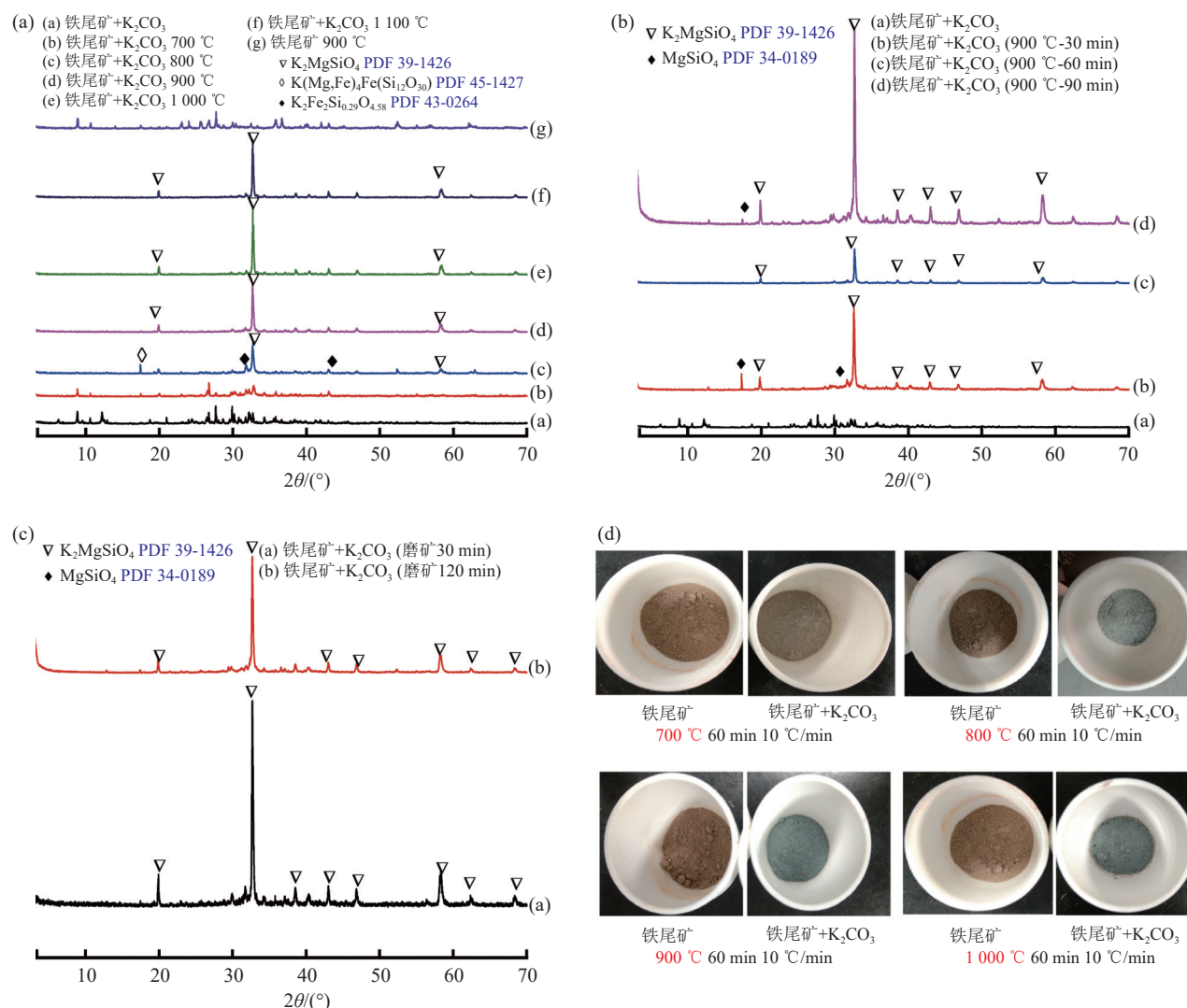


图 1 不同煅烧温度及时间下制备的样品的 XRD

Fig.1 XRD of samples prepared at different calcination temperatures and time

出MgSiO₄特征峰明显减弱,进一步延长煅烧时间至90 min,样品的XRD图谱变化不明显。考虑到经济性,涞源地区高镁铁尾矿制备K₂MgSiO₄矿物肥的制备条件900℃煅烧60 min。

从表4可知铁尾矿原料D90为74.121 μm,随着球磨时间的延长,铁尾矿和K₂CO₃混合物的粒径呈现逐渐变小的趋势。对上述混合物在球磨机中球磨细化30 min和120 min的物料,在900℃煅烧60 min,其产品样品XRD见图1c,研磨时间的增加,D90为65.324 μm物料与D90为45.266的物料烧结产物XRD特征峰变化不明显,主要产物都为K₂MgSiO₄。研磨时间延长会增加能耗,物料球磨时间选择30 min。所以通过上述的优化实验,最终选择K₂MgSiO₄矿物肥制备条件为球磨30 min,900℃煅烧60 min,此条件下制备的样品命名为KMF-900。

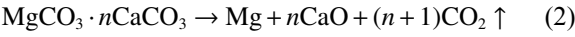
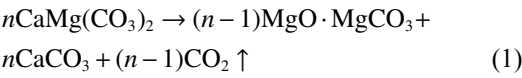
表4 河北保定涞源地区铁尾矿粒径分布 Table 4 Particle size distribution of iron tailings in Laiyuan Area of Baoding, Hebei Province					
样品名称	D10/ μm	D25/ μm	D50/ μm	D75/ μm	D90/ μm
铁尾矿	4.062	9.268	20.926	41.895	74.121
铁尾矿+K ₂ CO ₃ (球磨30 min)	3.859	7.268	16.279	37.256	65.324
铁尾矿+K ₂ CO ₃ (球磨120 min)	2.925	5.234	12.236	20.568	45.266

2.3 制备机理

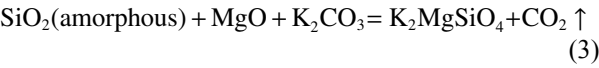
依据表2和表3可知,高镁铁尾矿其矿物主要为方解石和白云石,运用K₂CO₃烧结后主要产物为K₂MgSiO₄矿物,从而可以推测出高温烧结过程主要发生的反应。

随着温度的升高,白云石首先发生分解,白云石分解分为两步,第一步分解温度在700℃左

右,第二步分解温度在900℃左右。



在900℃左右时,无定型的SiO₂与MgO在K₂CO₃存在的环境下结合生成K₂MgSiO₄^[4-6]。



2.4 溶出释放及缓释性能

利用XRF测试对KMF-900样品进行化学成分分析可知KMF-900主要成分为K₂O、SiO₂、MgO,其含量分别为37.67%,22.73%和16.51%,摩尔比为1:1.03:0.98,与K₂MgSiO₄矿物中K₂O、SiO₂、MgO摩尔比1:1:1非常接近,三种总含量达到76.91%。

依据1.2中矿物肥有效营养成分测试方法,分别用蒸馏水、20 g/L柠檬酸溶液和0.50 mol/L盐酸溶液对其进行溶出实验,KMF-900中有效K、有效P及可溶性Si含量结果见表5。在酸性溶液中,KMF-900样品中主要营养元素溶出效果明显好于水中,这是由于制备KMF-900是一种偏碱性的肥料,当溶于水时,溶液呈碱性,主要矿物是微溶于水中。而Mg、Ca等离子以Mg(OH)₂、Ca(OH)₂等形式沉淀留在固体残留物中,只有少量进入溶液中最终导致Mg、Ca等离子在溶液中含 量较低。在酸溶液中,肥料中的主要矿物K₂MgSiO₄发生分解,K、Mg、Ca等离子在溶液中能以可溶性盐的形式存在,从而被检测。0.5 mol/L盐酸中溶出效果也是明显好于20 g/L柠檬酸中,这是由于0.50 mol/L盐酸溶液的pH值为

表5 KMF-900在不同溶液中溶出效果 Table 5 Dissolution effect of KMF-900 in different solutions						
样品	释放溶液	K ₂ O/(g/L)	MgO/(g/L)	SiO ₂ /(g/L)	CaO/(g/L)	溶出率/%
铁尾矿	蒸馏水	0.002 4	0.001 7	0.000 2	0.021 0	2.32
	20 g/L柠檬酸	0.014 5	0.183 3	0.348 6	0.128 8	10.54
	0.5 mol/L HCl	0.018 1	0.500 0	0.609 6	0.214 5	23.53
铁尾矿-900	蒸馏水	0.001 2	0.000 2	0.000 2	0.021 0	5.76
	20 g/L柠檬酸	0.011 4	0.486 7	0.176 4	0.044 8	13.98
	0.5 mol/L HCl	0.007 8	0.828 3	0.288 2	0.242 5	32.54
KMF-900	蒸馏水	0.543 8	0.000 3	0.002 1	0.014 0	19.19
	20 g/L柠檬酸	1.629 5	0.901 8	0.930 0	0.030 8	71.23
	0.5 mol/L HCl	2.066 0	1.038 7	1.339 3	0.188 3	87.33

0.2, 而 20 g/L 柠檬酸溶液的 pH 值为 2.0, 酸性越强, 营养元素溶出效果越明显。溶出后样品的质量损失, 能进一步验证上述结论。

在水溶液 20 g/L 柠檬酸及 0.5 mol/L 盐酸溶液溶出前后的 KMF-900 样品 XRD 图 2 可以看出 KMF-900 在溶出后特征峰发生了较大变化, 在水溶液中溶解后, K_2MgSiO_4 特征峰强度有减弱的趋势, 同时产生了 $MgCO_3$ (PDF 08-0479) 物相, 这可能是由于释放到水溶液的 Mg 离子, 与样品中残留过量的 CO_3^{2-} 结合, 生成 $MgCO_3$ 的缘故。在柠檬酸和盐酸溶液中, 溶出后残渣中主要为 Mg_2SiO_4 (PDF 34-0189), K_2MgSiO_4 特征峰完全

消失, 这说明在酸溶液中 K_2MgSiO_4 接近完全分解。但是弱碱性环境下, Mg^{2+} 水化为 $[Mg(OH)_3]^-$, Si 水化为 $[H_2SiO_4]^{2-}$ 形式, 共同形成 Mg-Si 的沉淀最终形成 Mg-Si (Mg_2SiO_4) 共沉淀体, 这也是溶出溶液中 Si 和 Mg 含量较 K 低的原因。通过在三种溶液中溶出后残渣的 SEM 可以看出, 在柠檬酸和盐酸中溶出的残渣出现明显的孔洞结构, 从 BET 测试结果表明其比表面积和孔容呈现明显的增大趋势, 结合表 4 溶出质量的损失及 XRD 的变化, 说明在酸性溶液中 KMF-900 中的主要矿物 K_2MgSiO_4 发生分解释放, 主要营养元素进入溶液中。

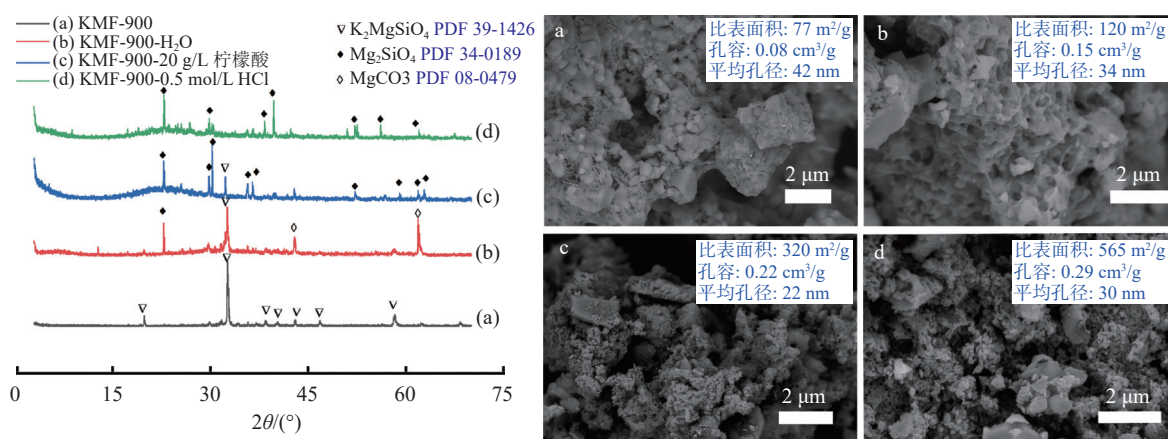


图 2 KMF-900 在水溶液、20 g/L 柠檬酸及 0.5 mol/L 盐酸溶出 XRD 与 SEM

Fig.2 XRD and SEM of KMF-900 dissolved in aqueous solution, 20 g/L citric acid and 0.5 mol/L hydrochloric acid

依据 1.2 肥料缓释性能测试方法, 对制备的 KMF-900 进行缓释性能测试, 分别在水溶液、20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L 盐酸中释放 84 d 进行对比, 缓释结果见图 3。K、Mg 和 Si 整体累计释放量 0.5 mol/L 盐酸最大, 20 g/L 柠檬酸次之, 水中最小, 这是由于三种溶液的 pH 值不同, 在酸性环境下, 碱性矿物 K_2MgSiO_4 更容易发生分解从而释放 K、Mg 和 Si 等营养元素。84 d 时, K 累计释放量在水、20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L 盐酸分别达到 33.75%、73.84% 及 93.81%, Si 累计释放量达 26.05%、56.13% 及 83.09%, Mg 累计释放量达 2.00%、45.01% 及 72.04%, 可见 KMF-900 在水中具有良好的缓释效果, 在 0.5 mol/L 盐酸和 20 g/L 柠檬酸溶液, 也具有一定的缓释效果。同时, 在水、20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L 盐酸, 开始阶段, K 和 Si 都是呈现快速释放趋势。在 20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L 盐酸酸性环境下, Mg 在起始

阶段也是快速释放, 但在水溶液中, Mg 累计释放率很低, 接近于 0, 这是由于在水溶液释放时, KMF-900 和水溶液混合后溶液呈现较强的碱性, Mg 在碱性条件下以沉淀形式存在于固体残渣中, 无法进入到滤液中, 导致滤液中 Mg 含量很低。

3 结 论

以河北保定涞源地区高镁铁尾矿为原料, K_2CO_3 烧结的方法制备出 K_2MgSiO_4 为主要矿物的矿物肥。在烧结温度 900 °C, 烧结时间为 60 min 时, 可制备出以 K_2MgSiO_4 为主要矿物的矿物肥 KMF-900; 其主要营养元素 K、Mg、Si 在水、20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L HCl 中溶出含量均高于铁尾矿; 在 84 d 时, 在水、20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L 盐酸中, K 累计释放量分别达到 33.75%、73.84% 及 93.81%, Si 累计释放量达 26.05%、56.13% 及 83.09%, Mg 累计释放量达

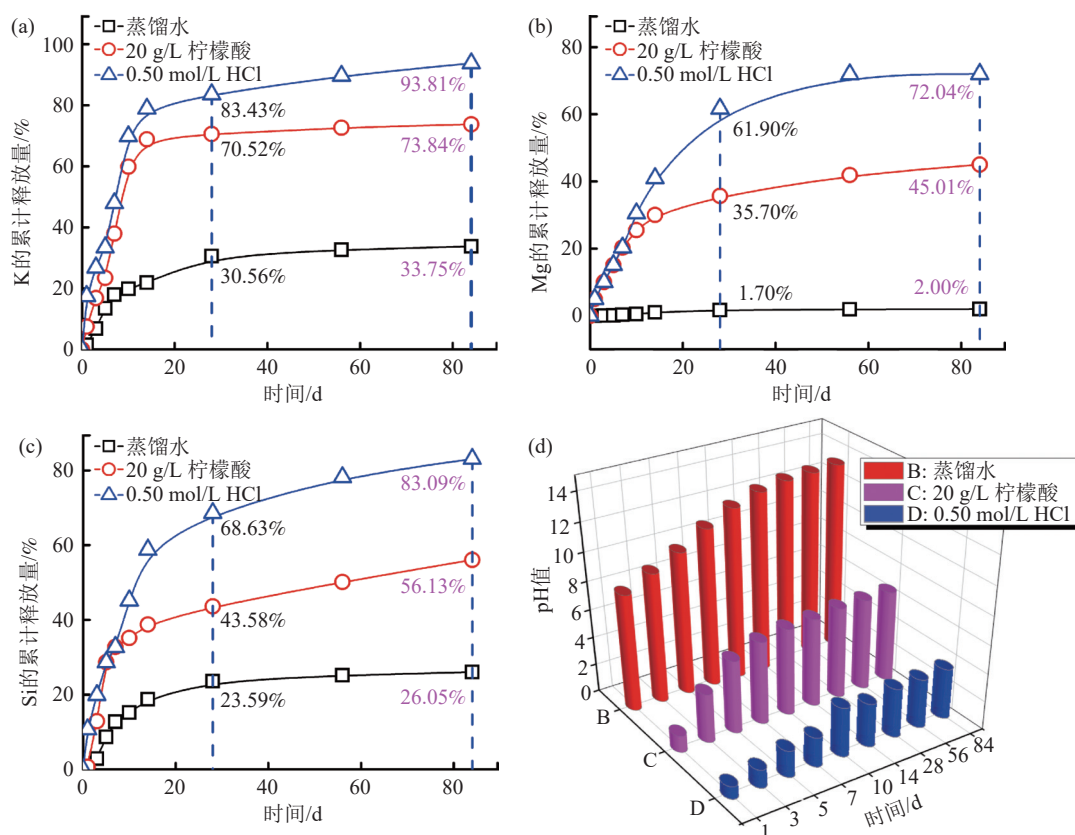


图3 KMF-900 在水、20 g/L 柠檬酸和 0.5 mol/L 盐酸中 84 d 缓释结果

Fig.3 Sustained release of KMF-900 in water, 20 g/L citric acid and 0.5 mol/L hydrochloric acid for 84 d

2.00%、45.01% 及 72.04%，表明 KMF-900 在上述三种溶液中均具有较好的缓释效果。综上，利用铁尾矿制备的 KMF-900 能成为一种潜在性能良好的矿物肥料。

参考文献：

- [1] 张以河, 胡攀, 张娜, 等. 铁矿废石及尾矿资源综合利用与绿色矿山建设[J]. 资源与产业, 2019, 21(3):1-13.
- [2] ZHANG Y H, HU P, ZHANG N, et al. Comprehensive utilization of iron ore waste rock and tailing resources and green mine construction[J]. Resources and Industries, 2019, 21(3):1-13.
- [3] MANNING DAVID A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition: a review[J]. Agron. Sustain. Dev., 2010, 30:281-294.
- [4] 陈贤树, 曲生华, 张琼琼, 等. 利用选铁尾矿及铁矿副产品制备土壤调理剂关键技术及应用研究[J]. 新型建筑材料, 2021, 48(02):106-109.
- [5] CHEN X S, QU S H, ZHANG Q Q, et al. Research on key technology and application of soil conditioner prepared by utilizing iron beneficiation tailings and iron ore by-products[J]. New Building Materials, 2021, 48(02):106-109.
- [6] 杨孝勇. 基于铁尾矿的新型盐碱地复合改良剂的研制及应用[D]. 济南: 山东大学, 2020.
- [7] YANG X Y. Development and application of new saline alkali soil composite modifier based on iron tailings[D]. Jinan: Shandong University, 2020.
- [8] HU P, ZHANG Y H, ZHOU Y R, et al. Preparation and effectiveness of slow-release silicon fertilizer by sintering with iron ore tailings[J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2018.
- [9] 马曦. 钾长石综合利用制备缓释钾肥的实验研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [10] MA X. Experimental study on preparation of slow-release potassium fertilizer by comprehensive utilization of potassium feldspar [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013.
- [11] MA X, MA H W, YUAN J Y, et al. Synthesis of $K_2O-MgO-SiO_2$ compounds as slow-release fertilisers from acid-leached biotite residues[J]. Ceram. Int., 2020, 46(2):1403-1410.
- [12] MA X, MA H, YANG J. Sintering preparation and release properties of $K_2MgSi_3O_8$ slow-release fertilizer using biotite acid-leaching residues as silicon source[J]. Ind. Eng. Chem. Res., 2016, 55:10926-10931.

[9] HU P, ZHANG Y H, WANG X K et al. $K_2MgSi_3O_8$ in slow-release mineral fertilizer prepared by sintering of by-product of red mud-based flocculant[J]. *Environ. Eng. Sci.*, 2018, 35(8):829-835.

[10] LI Y L, CHENG F Q. Synthesis of a novel slow-release potassium fertilizer from modified Pidgeon magnesium slag by potassium carbonate[J]. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 2016, 66:758-767.

Preparation and Properties of K_2MgSiO_4 Mineral Fertilizer from High Magnesium Iron Tailings

HU Pan^{1,2}, CHEN Biao¹, ZHANG Yangjianxia¹, CHEN Runda¹, ZHANG Yihe², TIAN Jian^{1,3}

(1.School of Materials Science and Engineering, Hubei University, Key Laboratory of Green Preparation and Application for Functional Materials, Ministry of Education, Hubei Engineering Research Center for Green Industrialization Technology of Industrial Waste, Wuhan, Hubei 430062, China; 2.School of Materials Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3.Hubei Huda Tianshu New Energy Materials Industrial Research and Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430062, China)

Abstract: In this study, K_2MgSiO_4 mineral fertilizer were prepared by solid-phase sintering method with the high magnesium iron tailings from Laiyuan Area, Hebei Province. The dissolution release characteristics and simulated sustained-release performance of K_2MgSiO_4 mineral fertilizer were further investigated. The dissolution efficiency of K, Mg and Si prepared in water, 20 g/L citric acid and 0.5 mol/L HCl was significantly improved. The cumulative release amounts of K and Si in water, 20 g/L citric acid and 0.5 mol/L HCl reached 33.75%, 73.84% and 93.81%, 26.05%, 56.13% and 83.09%, 2.00%, 45.01% and 72.04%, respectively. The main nutrient elements can be released well and slowly, indicating that it can become a mineral fertilizer with excellent properties.

Keywords: iron tailings; K_2MgSiO_4 ; soluble mineral of citrate; mineral fertilizer; slow release performance

////////////////////////////////////
(上接第 195 页)

Application Technology and Economic Analysis of Low Carbon Cement Prepared by Titanium Gypsum

MENG Hua¹, QIN Chuan², LIANG Yuxiang², MENG Xianzhang³, WANG Ye²

(1.Chongqing Chemical Industry Vocational College, Chongqing 400020, China; 2.School of Chemical Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China; 3.Pangang Metallurgical Materials Co., Ltd., Panzhihua, Sichuan 617000, China)

Abstract: To deal with global climate change, people have to strike a balance between "cement" and "CO₂ reduction". A new method was proposed to produce super sulfate cement (SSC) by pressing and filtering the titanium gypsum raw material with 50% water content in Panxi Area, and fully mixed it with other solid wastes such as titanium extraction tailings, steel slag, furnace slag and fly ash. This gelling properties of Fe and Millpebs ball mill technology were used to combine with other wastes innovatively. The low-carbon preparation process with "One Mill" process and hydration mechanism of SSC were clarified by physical and mechanical analysis, and the CO₂ emission reduction effect was also calculated. The goals of heighten the ratio of titanium gypsum (content > 10%) in the SSC and reduction the cost were not only achieved, the performance of SSC were in line with national standard (32.5). It will make a contribution to realize the carbon peak and carbon neutralization.

Keywords: titanium gypsum; super sulfate cement (SSC); hydration mechanism; CO₂ emission