

脱磷渣中有价元素在不同有机酸溶液中的浸出行为

蒋佳霖¹, 李尚兵², 王鑫¹, 杜传明¹

(1. 东北大学 冶金学院, 辽宁 沈阳 110819;
2. 江苏永钢集团有限公司, 江苏 张家港 215600)

摘要: 脱磷渣中含有大量 CaO、SiO₂、FeO、P₂O₅ 等有价值组元, 具有作为土壤改良剂和肥料的潜力。为了推动脱磷渣在农业中的应用, 有必要了解其在有机酸溶液中的浸出行为。考察了 pH 和有机酸类型对脱磷渣中各有价值元素浸出率的影响规律。结果表明: 脱磷渣中的主要矿物相为富铁相(RO 相)、CaFeSiO₄ 基体相和 C₂S-C₃P 固溶体; 渣中 Ca、Si 元素主要分布在含磷固溶体和基体相中, P 元素富集在 C₂S-C₃P 相中, Fe 元素主要分布在 RO 相中; pH 降低可明显促进脱磷渣溶解, 大部分脱磷渣能在枸橼酸溶液中溶解; 在 pH=5 时, Ca、Si、Mg 元素浸出率约为 90%, P 浸出率达 68.84%, 实现了有价值元素的浸出。

关键词: 脱磷渣; 土壤改良剂; 有价值元素; 浸出; 有机酸

中图分类号: TF803.21; TD989; TF09 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2617(2024)02-0140-07

DOI: 10.13355/j.cnki.sfyj.2024.02.005

钢渣是钢铁冶炼过程中产生的主要副产物之一, 含有大量 CaO、SiO₂、FeO、MgO、P₂O₅ 等有价值组元。其中 CaO 可改善土壤酸性, 硅元素会提高磷酸盐在土壤中的生物有效性^[1], 磷元素是作物生长所必需的营养元素之一^[2], 铁元素可促进植物叶绿素合成, 增加作物产量^[3]。此外, 钢渣能够吸附土壤中的 Ni、Cr 及 Pb 等重金属, 对重金属污染土壤起到一定的修复作用^[4]。因此, 钢渣作为土壤改良剂和农业肥料具有一定应用潜力, 日益受到广泛关注。

近年来, 低品位铁矿石用量不断加大, 为了满足洁净钢生产要求^[5], 转炉脱磷工艺正逐步被钢铁企业采用, 采用该工艺时, 会产生脱磷渣。相比于普通转炉钢渣, 脱磷渣碱度较低, 一般为 1.6 左右^[6], 但 P₂O₅ 含量更高, 若脱磷渣能作为土壤改良剂再利用, 不仅能解决冶炼渣堆积引发的一系列环境问题, 还能实现脱磷渣的高效资源化利用。

为了推动钢渣在农业中的应用, 须了解钢渣中有价元素的浸出行为。近年来, 酸浸法被广泛应用于钢渣中磷等元素的回收。国内外研究学者

主要研究了钢渣在无机酸溶液中的浸出行为^[7], 发现有价元素的溶解不充分, 在弱酸性条件下磷元素浸出率仅为 10% 左右, 且这些研究仅考虑到单一元素磷的浸出, 而未考虑其他有价值元素的浸出。有机酸对于植物生长和土壤肥力有着重要的影响, 除了植物根分泌的有机酸之外, 土壤中的动植物残体及微生物也能够产生大量的有机酸。研究人员^[8-9]对土壤进行了色谱分析, 发现每百克土壤中含甲酸 0.51~0.87 mg 和乙酸 0.74~1.01 mg, 且通过质谱分析测定出大麦和小麦根分泌有一定量的草酸等有机酸。此外, 植物吸收有价值元素主要依靠各矿物质在有机酸环境中的溶解, 土壤中的草酸、枸橼酸、甲酸和乙酸的含量远大于其他种类的有机酸^[10]。国内有学者研究了高碱度转炉渣中磷元素在多种有机酸中的浸出行为, 发现磷在部分有机酸溶液中能有效浸出, 浸出率先升高后降低^[11]。

为验证脱磷渣用作土壤改良剂的可行性, 须研究脱磷渣中多种有价值元素在有机酸环境中的浸出行为。综上所述, 针对低碱度的脱磷渣, 采用

收稿日期: 2023-12-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52104326); 中国博士后科学基金资助项目(2022M721415)。

第一作者简介: 蒋佳霖(1998—), 女, 满族, 硕士研究生, 主要研究方向为钢渣资源化利用。

通信作者简介: 杜传明(1988—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为钢铁冶金。E-mail: duchuanming@smm.neu.edu.cn。

不同种类的有机酸来模拟植物根系的弱酸性环境进行浸出试验,考察 pH 和有机酸类型对渣中各元素浸出率的影响规律,并分析了溶解机制,旨在为脱磷渣在农业中的应用提供理论依据。

1 试验部分

1.1 脱磷渣的合成

根据实际渣成分,试验以 CaO、SiO₂、FeO、MgO 和 MnO 等分析纯试剂为原料来合成脱磷渣,并加入少量 Na₂O 以促进钢渣中磷的浸出^[12]。P₂O₅ 和 Na₂O 分别以 Ca₃(PO₄)₂ 和 Na₂SiO₃ 形式加入。首先将充分混均后的试剂加入到纯铁坩埚中,在氩气氛下加热至 1 723 K 并保温 30 min,形成液态渣;然后将熔渣以 5 K/min 的冷却速率冷却至 1 573 K,以促进各矿物相的结晶析出;最后,冷却至 1 273 K 时从炉中取出钢渣,在空气中冷却。脱磷渣合成时的加热制度如图 1 所示。利用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)分析钢渣的化学成分,结果见表 1,利用扫描电子显微镜(SEM-EDS)和 X 射线衍射仪(XRD)分析钢渣的矿物相形貌和组成。

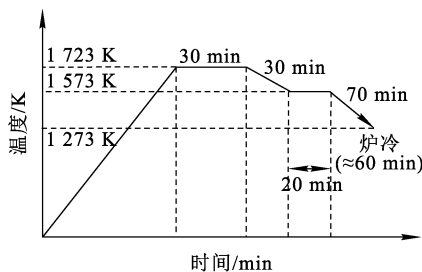


图 1 脱磷渣合成时的加热制度

表 1 脱磷渣的化学组成 %

CaO	SiO ₂	FeO	MnO	P ₂ O ₅	MgO	Na ₂ O
33.45	22.31	27.21	7.97	3.03	2.03	4.00

1.2 浸出试验

将渣样破碎研磨至粒径小于 53 μm。为了模拟土壤环境,将 1 g 渣样放入 300 mL 去离子水中进行机械搅拌,同时通过蠕动泵将有机酸加入溶液中,以控制其 pH 恒定,试验装置如图 2 所示。试验用有机酸分别为枸橼酸、甲酸、草酸、乙酸。浸出条件:温度 298 K,固液质量体积比 1/300,浸

出时间 90 min。反应 90 min 后,抽取 5 mL 溶液并进行过滤,利用 ICP-OES 分析各元素浓度。利用铁氰化钾滴定法测定溶液中的 Fe²⁺ 离子浓度。将剩余溶液过滤,收集残渣干燥后称量,通过 XRD 和 SEM-EDS 分析残渣的矿物相组成及形貌。根据溶液中各元素浓度和溶液体积,利用式(1)计算渣中各元素浸出率 x_M :

$$x_M = \frac{\rho_M V}{m_M} \quad (1)$$

式中: ρ_M —元素 M 质量浓度,mg/L; V —溶液体积,L; m_M —1 g 钢渣中元素 M 质量,mg。

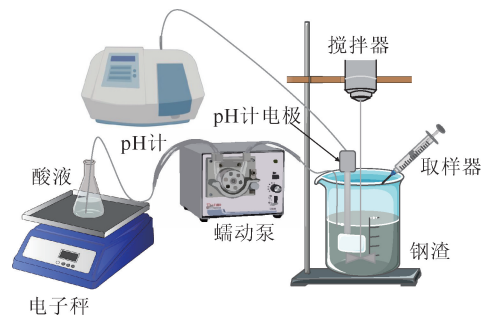


图 2 浸出试验装置

2 试验结果与讨论

2.1 钢渣的矿物相组成

图 3 为脱磷渣中各矿物相的微观形貌,各矿物相的平均化学成分见表 2。可以看出:脱磷渣主要由 3 种矿物相组成,白色椭圆状矿物相(点 1)中 FeO 质量分数为 95.43%,还有少量 MgO,为 RO 相,几乎不含 P₂O₅;浅灰色矿物相(点 2)中 CaO、SiO₂、FeO 质量分数分别为 32.68%、33.68%和 27.82%,为 CaFeSiO₄ 基体相,该相中含有少量 MgO 和 P₂O₅;深灰色矿物相(点 3)主要由 CaO、SiO₂、P₂O₅ 组成,其中 P₂O₅ 质量分数为 16.72%,远高于其他矿物相中的含量,FeO 含量极低,该相为 C₂S-C₃P 相,即 P₂O₅ 的富集相。Na 元素主要分布在 C₂S-C₃P 相中,表明 Na₂O 与 P₂O₅ 易结合,这有利于钢渣中 P 的浸出。渣中一部分 FeO 分布在 RO 相中,另外一部分存在于 CaFeSiO₄ 基体相中。图 4 为脱磷渣的 XRD 图谱,可以看出:该渣主要由 RO 相、含磷固溶体和 CaFeSiO₄ 相组成,与上述的扫描电镜结果基本一致。

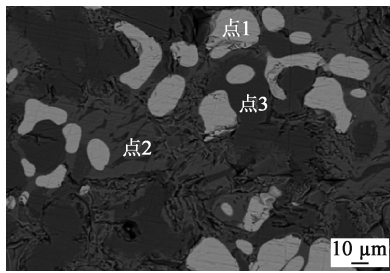


图 3 脱磷渣的微观形貌

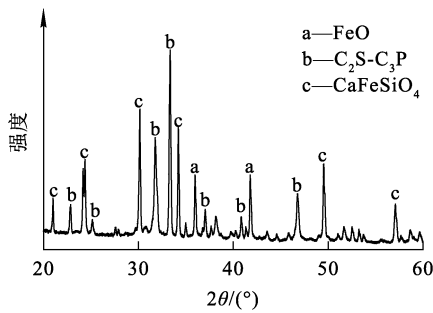


图 4 脱磷渣的 XRD 图谱

表 2 脱磷渣中各物相的化学成分 %

矿物相	CaO	SiO ₂	FeO	P ₂ O ₅	MgO	Na ₂ O
点 1	0.50	0.17	95.43	0.03	3.61	0.26
点 2	32.68	33.68	27.82	1.34	3.99	0.49
点 3	47.95	22.03	6.42	16.72	0.54	6.34

2.2 钢渣中主要元素的浸出行为

钢渣在酸溶液中溶解时,其主要元素的浸出率与酸耗量呈正相关性^[13],因此,可通过浸出时酸耗量变化来评价元素浸出速率。图 5 为不同有机酸溶液(pH=5)浸出脱磷渣时酸耗量随时间的变化关系,可以看出:在反应前 20 min 内,各有机酸耗量急剧上升,说明钢渣浸出速率较快;而反应 40 min 后,酸耗量变化较小,表明钢渣溶解速率较慢,溶解反应趋于平衡。相比于其他酸溶液,枸橼酸溶液的耗量最大。

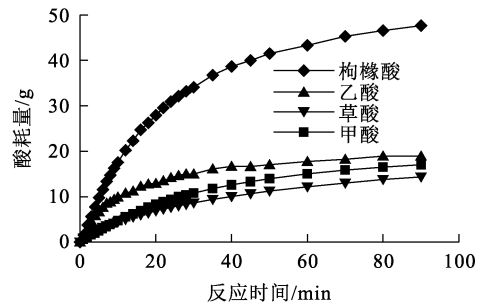
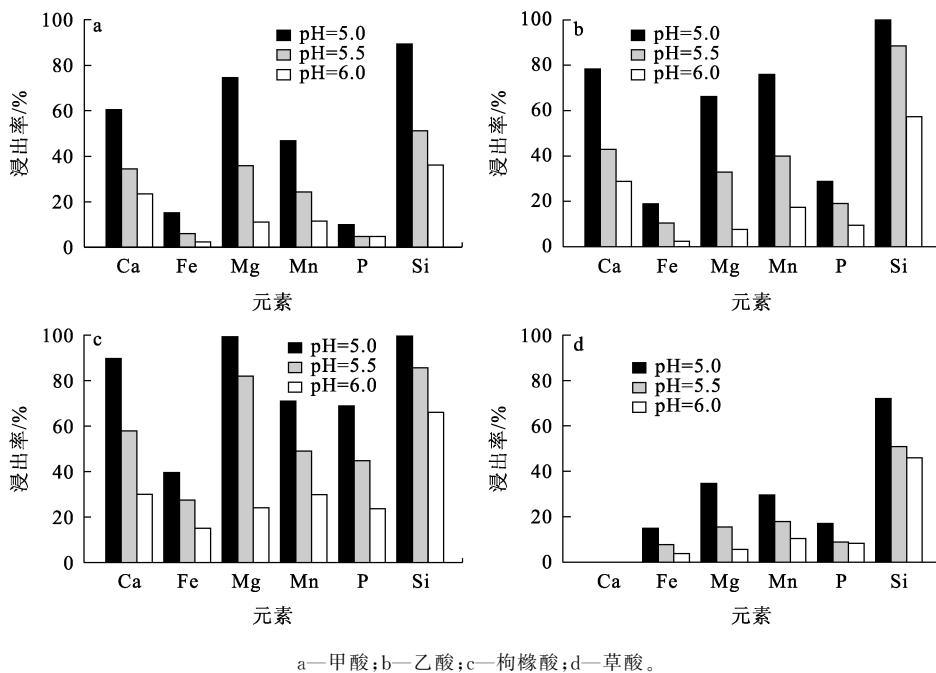


图 5 不同有机酸浸出脱磷渣时的酸耗量

图 6 为脱磷渣中主要元素在 4 种有机酸溶液中的浸出率。

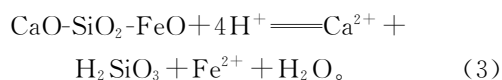
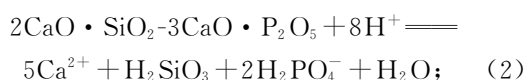


a—甲酸;b—乙酸;c—枸橼酸;d—草酸。

图 6 不同 pH 条件下脱磷渣主要元素在各有机酸中的浸出率

由图 6 看出:在不同有机酸溶液中,Ca、Si、Mg、Mn 浸出率较高,而 P 和 Fe 元素浸出率相对较低。pH=6 时,脱磷渣在枸橼酸溶液中的溶解效果最好,各元素浸出率远高于在其他有机酸溶液中的浸出率,其中 Si 浸出率最高,达 66.02%,P、Fe 浸出率分别为 23.60%、15.10%。pH 降低显著促进脱磷渣的溶解,使各元素浸出率提高,在 pH=5.5 的枸橼酸溶液中,Fe、P 浸出率分别升至 27.43%、44.84%。pH=5.5 时,在甲酸和草酸溶液中,P、Fe 浸出率仍较低,均小于 10%,而在乙酸溶液中 P、Fe 浸出率分别为 19.05%、10.45%。pH 降至 5 时,大部分脱磷渣能在枸橼酸溶液中溶解,Ca、Si、Mg 浸出率均超过 90%,P 浸出率达 68.84%。在乙酸溶液中,Si 元素几乎都溶解,Ca、Mg、Mn 浸出率均超过 70%,P 浸出率达 28.73%。而在甲酸和草酸溶液中,各元素浸出率相对较低,其中 P、Fe 浸出率均低于 20%。在不同 pH 条件下,脱磷渣中主要元素在枸橼酸溶液中的浸出效果最好,在乙酸和甲酸中的浸出效果次之,在草酸溶液中的浸出效果最差。其结果与图 5 中各有机酸耗量相对应,元素浸出率越高,反应过程中酸耗量也越多。

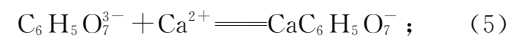
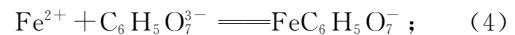
脱磷渣中含磷的 C_2S-C_3P 相在稀酸溶液中易溶解, $CaFeSiO_4$ 基体相溶解相对较差,而含铁的 RO 相难以溶解^[14],因此在各有机酸溶液中脱磷渣中的 Ca、Si 等浸出率远高于 Fe 浸出率。浸出过程中主要发生反应(2)和(3)。此外,对浸出液使用铁氰化钾滴定分析 Fe^{2+} 离子含量,结果表明,溶液中铁大部分为 Fe^{2+} , Fe^{3+} 含量极低,故后续主要考虑 Fe^{2+} 与溶液中其他离子的反应。脱磷渣中大部分 C_2S-C_3P 相被溶解,但 P 浸出率低于 Ca 和 Si 浸出率。主要原因是在弱酸性条件下,溶液中磷酸根离子极易与 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 等金属离子反应,生成磷酸盐沉淀,从而降低 P 浸出率^[15]。矿物相的溶解须消耗有机酸中解离出的 H^+ ^[16],随 pH 降低,溶液中 H^+ 浓度增加,可促进反应(2)、(3)的正向进行,提高各元素浸出率。



枸橼酸是三元酸,也是一种优良的螯合

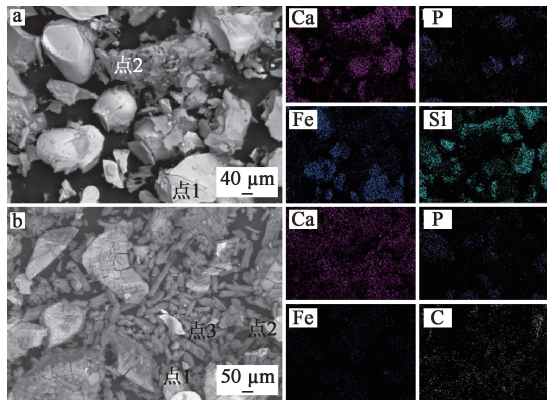
剂,枸橼酸根($C_6H_5O_7^{3-}$)离子能与 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 发生螯合反应,如反应(4)~(6)所示,生成 $CaC_6H_5O_7^-$ 、 $FeC_6H_5O_7^-$ 等金属配合物,这不仅更易破坏矿物相的晶体结构,提高各元素浸出率,也能减少溶液中自由 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 含量,从而抑制磷酸盐沉淀的形成。因此,脱磷渣中主要元素在枸橼酸溶液中的浸出效果最好,在 pH=5 时大部分元素都能被溶解。稀枸橼酸溶液也常用来测试磷肥的枸溶性^[17]。

甲酸和乙酸都属于一元羧酸,其中乙酸为二聚体结构,含有 1 个甲基和 1 个羧基。当乙酸溶于水,二聚体间的氢键会很快断裂与钢渣发生反应,故在乙酸溶液中钢渣主要元素的浸出效果略优于甲酸溶液^[18]。在草酸溶液中,从脱磷渣中溶解的 Ca^{2+} 会与草酸根离子($C_2O_4^{2-}$)发生反应(6),生成 CaC_2O_4 草酸钙沉淀,导致 Ca 浸出率几乎为 0。浸出过程中 $C_2O_4^{2-}$ 离子与 Ca^{2+} 和 Fe^{2+} 生成的草酸盐沉淀会附着在脱磷渣颗粒表面,从而阻碍脱磷渣中矿物相与溶液中 H^+ 接触,抑制主要元素的浸出^[19],导致浸出率较低。



2.3 浸出残渣分析

在 pH=5.5 时,脱磷渣在枸橼酸和草酸溶液中浸出后残渣的微观形貌及主要元素的分布如图 7 所示。残渣中主要矿物相中的化学成分见表 3。可以看出:在枸橼酸溶液中浸出后残渣主要由 2 种矿物相组成,白色矿物相(点 1)主要含有 FeO_x ,为 RO 相;灰色矿物相(点 2 和 3)中 P_2O_5 含量较低,为 $CaFeSiO_4$ 基体相;未明显发现富含磷的矿物相,说明大部分 C_2S-C_3P 固溶体被溶解分离;但在元素面扫描分析中,发现了 P 元素的富集区域,其中 Ca、Si 元素含量也较高,为未溶解的 C_2S-C_3P 固溶体。在草酸溶液中浸出后,残渣也主要由 RO 相和 $CaFeSiO_4$ 基体相,表面未发现 C_2S-C_3P 固溶体;此外,还存在很多棒状的矿物相(点 3),主要由 Ca 和 C 元素组成,为沉淀析出的草酸钙沉淀,这与图 6(d)中 Ca 元素浸出率结果相对应。浸出的 Ca 以沉淀形式留在残渣中,导致浸出液中几乎不含 Ca 元素。



a—枸橼酸;b—草酸。

图 7 不同有机酸浸出后残渣的 SEM 分析及元素分布

图 8 为脱磷渣及在 pH=5.5 的不同有机酸溶液中浸出所得残渣的 XRD 图谱。脱磷渣主要由 C₂S-C₃P 固溶体、CaFeSiO₄ 基体相、RO 相组成,与扫描电镜分析结果一致。浸出后,C₂S-C₃P 相和 CaFeSiO₄ 基体相中的特征峰强度减弱,而 RO 相峰值强度变化较小,这说明含 Ca 和 Si 的矿物相较易溶解。结合图 6 看出:Fe 浸出率在相同条件下低于其他有价元素,特别是在枸橼酸溶液中溶解后,C₂S-C₃P 相和 CaFeSiO₄ 相的特征峰强度明显减弱,说明浸出效果较好。在草酸和甲酸溶液中溶解后,残渣中各矿物相的特征峰强度与脱磷渣的类似,说明矿物相的溶解效果较差。此外,在草酸溶液中溶解后的残渣中还出现少量草酸钙相的特征峰,这与上述扫描电镜结果一致。

表 3 脱磷渣浸出后中表面矿物相的化学成分

残渣类型	矿物相	Ca	Si	Fe	P	Mn	C	矿物相
枸橼酸浸出残渣	点 1	0.97	0.72	87.79	0.00	0.11	0.00	RO 相
	点 2	31.14	10.69	28.47	0.37	0.43	0.00	CaFeSiO ₄ 基体相
草酸浸出残渣	点 1	0.80	0.72	55.72	0.00	3.79	3.49	RO 相
	点 2	19.43	13.59	17.59	0.89	2.91	1.99	CaFeSiO ₄ 基体相
	点 3	18.98	0.00	1.20	0.00	0.00	21.01	CaC ₂ O ₄

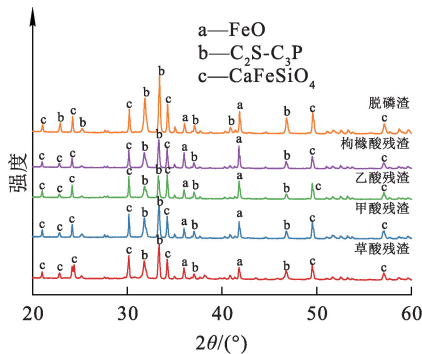


图 8 脱磷渣及不同有机酸浸出残渣的 XRD 图谱

所示。可以看出:钢渣中 C₂S-C₃P 固溶体的质量分数最高,为 43.71%,其次是 CaFeSiO₄ 基体相,RO 相质量分数较低,仅为 16.83%。大部分脱磷渣在枸橼酸溶液中被溶解,剩余残渣质量分数为 33.07%。在乙酸溶液中,约 52.19% 的脱磷渣可被溶解;而在甲酸溶液中,仅有 38.48% 的脱磷渣被溶解。由于在草酸溶液中会生成草酸钙沉淀,导致残渣质量略大于加入的脱磷渣量。

根据脱磷渣化学成分和矿物相成分,通过式(7)计算渣中各矿物相的质量分数。

$$\sum \{w(\text{MO})_i \times X_i\} = w(\text{MO})_s; \quad (7)$$

$$\sum X_i = 1. \quad (8)$$

式中:w(MO)_i—钢渣 i 相中氧化物 MO 质量分数,%;X_i—i 相的质量分数,%;w(MO)_s—脱磷渣中氧化物 MO 总质量分数,%。

脱磷渣中各矿物相质量分数及在 pH=5 的不同有机酸溶液中浸出所得残渣质量分数如图 9

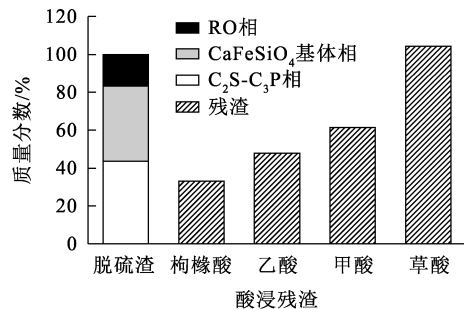


图 9 脱磷渣中各矿物相及不同有机酸浸出残渣的质量分数

在弱酸性条件下,脱磷渣中主要元素均能有效浸出。在乙酸和甲酸溶液中 Ca、Si、Mg 元素的浸出率在 60%左右,但浸出过程中有磷酸盐沉淀产生造成 P 浸出率较低。在草酸溶液中产生的草酸钙沉淀抑制了其他有价元素的浸出,浸出效果不理想。脱磷渣在枸橼酸溶液中有价元素的浸出效果最好。玉米、大豆等作物根系会分泌大量枸橼酸,因此将脱磷渣施加到种植这些作物的土壤中,渣中大部分有价元素能有效浸出,发挥较好的肥料效果。

3 结论

为推进脱磷渣作为土壤改良剂在农业中的应用,考察了 pH 和有机酸类型对脱磷渣中有价元素浸出行为的影响,得出以下结论:

1)脱磷渣中主要矿物相为 RO 相、CaFeSiO₄ 基体相和 C₂S-C₃P 固溶体。渣中 Ca、Si 元素主要分布在含磷固溶体和基体相中,P 元素富集在 C₂S-C₃P 相中。Fe 元素主要分布在 RO 相中,少量存在于基体相中。在各有机酸溶液中浸出后,残渣主要由 RO 相和 CaFeSiO₄ 基体相组成,说明大部分含磷固溶体被溶解。

2)pH 降低显著促进脱磷渣的溶解。pH=5 时在枸橼酸溶液中 Ca 和 Si 浸出率分别为 89.61%和 99.57%,P 浸出率达 68.84%,实现了脱磷渣中多种有价元素的浸出。在乙酸和甲酸溶液中 Ca、Si、Mg 元素浸出率在 60%左右,但 P 浸出率较低。在草酸溶液中产生的草酸钙沉淀抑制了其他有价元素的浸出。

3)pH=5.5 时在枸橼酸溶液中溶解的脱磷渣质量分数为 66.7%;在甲酸和乙酸中,溶解的渣质量分数仅为 38.48%和 52.19%。因此,将脱磷渣施加到种植玉米、大豆等作物中的土壤中,大部分有价元素能被溶解,发挥较好的肥料效果。

参考文献:

[1] 高本恒,郝以党,张淑苓,等. 钢渣综合利用现状及发展趋势[J]. 环境工程,2016,34(增刊1):776-779.
 [2] 郝荣. 含磷钢渣用作土壤磷素补充剂的可行性[J]. 环境工程,1992,10(1):33-37.
 [3] 白亚君,母树宏. 植物对铁的吸收运转及铁与叶绿素的关系[J]. 河北农业大学学报,1994(增刊1):121-125.

[4] 王安,吴美玲,李忠元,等. 钢渣应用于土壤修复的研究进展[J]. 环境工程技术学报,2023,13(4):1535-1543.
 [5] 王星,胡显堂,危尚好,等. 转炉冶炼低磷洁净钢的工艺开发和实践[J]. 钢铁,2022,57(11):53-63.
 [6] 董文亮,罗磊,田志红,等. “全三脱”工艺流程中脱碳渣返回脱磷转炉利用[J]. 钢铁,2017,52(5):36-42.
 [7] 李翔,汪骏翔,王鑫,等. 转炉钢渣和脱磷钢渣中磷的选择性浸出试验研究[J]. 湿法冶金,2023,42(4):359-366.
 [8] SCHWARTZ S M, VARNER J E, MARTIN W P. Separation of organic acids from several dormant and incubated Ohio soils[J]. Soil Science Society of America Journal,1954,18(2):174-177.
 [9] VAN ĆURA V, HOVADIK A. Root exudates of plants: composition of root exudates of some vegetables[J]. Plant and Soil,1965,22(1):21-32.
 [10] 莫淑勋. 土壤中有机的产生、转化及对土壤肥力的某些影响[J]. 土壤学进展,1986(4):1-10.
 [11] 杨金星,吕宁宁,苏畅,等. 钢渣中磷元素在不同种类有机酸中溶出行为的研究[J]. 矿产综合利用,2020(1):157-162.
 [12] DU C, GAO X, UEDA S, et al. Effect of Na₂O addition on phosphorus dissolution from steelmaking slag with high P₂O₅ content[J]. Journal of Sustainable Metallurgy,2017,3(4):671-682.
 [13] YU Y, DU C, YU J, et al. Effect of BOF slag modification on the dissolution behavior of phosphorus from practical dephosphorization slag[J]. Metallurgical and Materials Transactions: B,2022,53(6):3635-3647.
 [14] DU C, GAO X, UEDA S, et al. Effects of cooling rate and acid on extracting soluble phosphorus from slag with high P₂O₅ content by selective leaching[J]. ISIJ International, 2017,57(3):487-496.
 [15] DU C, GAO X, KIM S, et al. Effects of acid and Na₂SiO₃ modification on the dissolution behavior of 2CaO · SiO₂-3CaO · P₂O₅ solid solution in aqueous solutions[J]. ISIJ International,2016,56(8):1436-1444.
 [16] DU C, GAO X, UEDA S, et al. Recovery of phosphorus from modified steelmaking slag with high P₂O₅ content via leaching and precipitation[J]. ISIJ International,2018,58(5):833-841.
 [17] SHIBA N, NTULI F. Extraction and precipitation of phosphorus from sewage sludge[J]. Waste Management, 2017,60:191-200.
 [18] 肖飞,郑治,王剑龙. 新型支架材料磷酸钙骨水泥-聚乳酸聚羟基乙酸二聚体复合物生物相容性的研究[J]. 中华实验外科杂志,2006(10):1254-1256.
 [19] 陈昊铭. 市政污泥焚烧过程磷形态转变及焚烧灰草酸浸出磷回收的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2019.

Dissolution Behavior of Valuable Elements from Dephosphorization Slag in Different Kinds of Organic Acids

JIANG Jialin¹, LI Shangbing², WANG Xin¹, DU Chuanming¹

(1. School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Jiangsu Yonggang Group Co., Ltd., Zhangjiagang 215600, China)

Abstract: Dephosphorization slag contains a large amount of valuable components such as CaO, SiO₂, FeO, P₂O₅, etc., and has the potential to be used as soil amendment and fertilizer. To promote utilization of dephosphorization slag in agriculture, it is necessary to understand its dissolution behavior in the organic acid solution. The influence of pH and organic acid type on the dissolution ratios of various valuable elements from dephosphorization slag was investigated. The results show that the main mineral phases in the dephosphorization slag are RO phase, CaFeSiO₄ matrix phase, and C₂S-C₃P solid solution. Ca and Si elements in the slag are mainly distributed in the C₂S-C₃P solid solution and CaFeSiO₄ matrix phase, while the P element is enriched in the C₂S-C₃P solid solution. Fe element is mainly distributed in the RO phase. As the pH value decreased, the dissolution of slag is significantly promoted, and most of the dephosphorization slag can be dissolved in the citric acid solution. At pH=5, the dissolution ratios of Ca, Si, Mg elements are about 90%, and the P dissolution ratio is 68.84%, achieving the dissolution of valuable elements.

Key words: dephosphorization slag; soil amendment; valuable elements; leaching; organic acid