用氯化胆碱-草酸从次氧化锌粉尘中梯级分离铟及伴生元素

张良进[1,2],刘勇志[1,3],于奇元[1,3],龙　跃[1,3],张玉柱[1,3]

(1.华北理工大学 冶金与能源学院,河北 唐山 063210;
2.中冶检测认证有限公司,北京　100088;
3.华北理工大学 现代冶金技术教育部重点实验室,河北 唐山　063210)

摘要:为高效富集次氧化锌粉尘中的铟并实现伴生元素的定向分离回收,研究采用氯化胆碱-草酸二水合物低共熔溶剂浸出粉尘中的 Zn、Fe、Pb、In,并结合"水解脱锌铅—紫外光还原除铁"工艺进行分步除杂。结果表明:在液固体积质量比 12 mL/1 g、温度 70 ℃、时间 6 h 的优化浸出条件下,Zn、In、Pb、Fe 浸出率分别达 95.52%、88.91%、80.82% 和 89.13%;浸出液通过水解沉淀可脱除 Zn/Pb,再经紫外光还原沉淀可脱除 Fe;经此分步沉淀除杂处理后,溶液中 In 质量分数由 0.03%提升至 1.5%,能成功实现铟的高效富集,以及 Zn、Pb、Fe 等伴生元素的定向分离回收。

关键词:低共熔溶剂;次氧化锌粉尘;铟;梯级提取;浸出;分离;回收

中图分类号:TF803.21　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1009-2617(2026)01-0052-06

DOI:10.13355/j.cnki.sfyj.2026.01.008

钢铁生产过程中会产生钢渣、冶金粉尘等固体废物。而冶金粉尘经火法富集处理后,可得到次氧化锌粉尘。次氧化锌粉尘作为二次冶金粉尘,与一次冶金粉尘相比,杂质含量更低、目标元素富集度更高。次氧化锌粉尘中富集了大量 In、Ge 和 Ga 等具有高附加值的稀散金属[1-3],相比原生矿或各类伴生矿,其品位极高,是宝贵的矿产资源[4]。若能对二次冶金粉尘进行合理回收利用,不仅能降低钢铁企业的粉尘处理成本,创造可观的经济效益,同时还能减轻企业环境处理负荷,产生显著的社会效益。因此,对二次冶金粉尘进行资源化处理是我国钢铁工业绿色发展的必然选择。

低共熔溶剂(DES)是一种新型浸出剂,其可以定义为含有两种或多种氢键受体和氢键供体的化合物。DES 是在 60～100 ℃下,氢键受体和氢键供体按照特定物质的量比混合,简单机械搅拌一定时间后而形成的低共熔混合物[5]。有研究表明,基于氯化胆碱与羧酸类氢键供体构建的Ⅲ型 DES 在过渡金属氧化物及氯化物的溶解回收领域具有较大应用潜力,尤其在稀散金属选择性浸出方面优势更加明显[6-8]。但当前研究多集中于 DES 体系对 Zn、Fe 等常见金属的溶解效果,而对 In 等稀散金属的选择性富集及伴生元素的分离等方面的研究较欠缺,且多依赖强酸浸出-P204 萃取分离铟,强酸对设备腐蚀问题突出,伴生元素多作为废物处理,二次损失较大[9]。因此,试验研究采用氯化胆碱-草酸二水合物(ChCl-OA)低共熔溶剂(从次氧化锌粉尘中梯级分离铟(In)及伴生金属。通过分步水解脱锌铅与紫外光诱导还原除铁工艺高效富集铟(富集比达 50 倍),并同步将锌、铅、铁转化为草酸盐副产品($ZnC_2O_4 \cdot 2H_2O$、PbC_2O_4、$FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$),以期为二次冶金粉尘中多金属组分的选择性分离和梯级回收提供技术参考。

收稿日期:2025-05-12;**修订日期**:2025-08-17

基金项目:国家自然科学基金区域创新发展联合基金资助项目(U20A20271)。

第一作者简介:张良进(1990—),男,博士研究生,主要研究方向为冶金固废资源化利用。

通信作者简介:张玉柱(1956—),男,博士,教授,主要研究方向为冶金节能与资源优化。E-mail:zyz@ncst.edu.cn。

1　试验部分

1.1　试验原料与方法

试验原料取自某钢厂回转窑富集回收得到的次氧化锌粉尘。经水洗预处理后干燥、研磨，过 200 目筛，保存备用。次氧化锌水洗前、后的主要化学组成见表 1，ICP-MS 分析检测结果见表 2，矿相组成如图 1 所示。

试剂：氯化胆碱、水合草酸，均为分析纯。

表 1　次氧化锌粉尘水洗前、后的主要化学组成

Table 1　Main chemical composition of secondary zinc oxide dust before and after water washing　%

水洗	ZnO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	PbO	Cl	其他
水洗前	57.54	6.84	1.51	6.23	3.35	20.46	4.07
水洗后	73.57	1.07	—	7.88	4.37	7.99	5.12

表 2　次氧化锌粉尘中稀少元素组成

Table 2　Composition of rare elements in secondary zinc oxide dust　%

In	Sn	Rb	Ga	Ge	Ti
0.018	0.206	0.202	0.013	0.005	0.005

由表 1、2 看出，粉尘样品富含 K、Na、Fe、Zn、Pb 等金属元素；经水洗预处理后，约 90%的可溶性钾盐与钠盐被有效脱除。在残留组分中，上述金属元素主要赋存于氧化物相，其总量占粉尘质量的 70%以上，具有较大的回收潜力。需要注意的是，相较于 Fe(5.516%)和 Zn(59.038%)等主要金属组分，稀散金属 In 质量分数仅为0.018%，存在明显的含量梯度差异。基于这种组分特征，若要选择性浸出 In，必须重点考虑 Fe、Zn、Pb 对提取 In 的影响，因此，试验考虑采用梯级分离技术，优先去除高浓度金属组分，在富集 In 的同时降低后续纯化工艺难度。

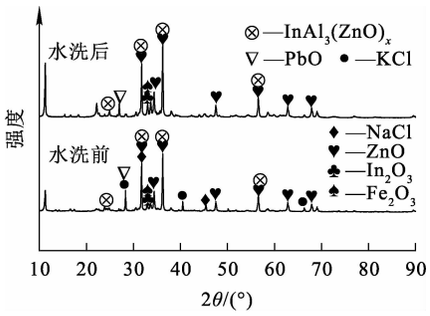


图 1　次氧化锌粉尘水洗前、后的 XRD 图谱

Fig. 1　XRD spectra of secondary zinc oxide dust before and after water washing

由图 1 可知：次氧化锌粉尘中的 Zn 主要以红锌矿(ZnO)、含锌铁尖晶石($InAl_3(ZnO)_x$)存在；Pb 的主要物相为氧化铅(PbO)，Fe 以赤铁矿(Fe_2O_3)为主；In 主要以含锌铁尖晶石($InAl_3(ZnO)_x$)和氧化铟(In_2O_3)物相形式存在，且在水洗后的粉尘中未发现归属于 KCl、NaCl 的衍射峰[10]，说明大部分 KCl 和 NaCl 因具有高水溶性而被去除，这与表 1 结果吻合。

1.2　试验原理与方法

1.2.1　试验原理

氯化胆碱-草酸型 DES 通过酸性溶解—配合稳定—分步分离的协同机制使草酸解离释放 H^+，赋予 DES 弱酸性，反应溶解金属氧化物来实现粉尘中多金属组分的高效、选择性提取。该过程主要发生的化学反应如下：

$$Fe_3O_4+8H^+\longrightarrow 2Fe^{3+}+Fe^{2+}+4H_2O,\quad \Delta G=-9.162\ kJ/mol \tag{1}$$

$$ZnO+2H^+\longrightarrow Zn^{2+}+H_2O,\quad \Delta G=-14.421\ kJ/mol \tag{2}$$

$$PbO+2H^++2Cl^-\longrightarrow PbCl_2+H_2O,\quad \Delta G=-24.438\ kJ/mol \tag{3}$$

$$In_2O_3+6H^+\longrightarrow 2In^{3+}+3H_2O,\quad \Delta G=-18.725\ 2\ kJ/mol \tag{4}$$

$$In_2O_3+6H^++6Cl^-\longrightarrow 2InCl_3+3H_2O,\quad \Delta G=-7.408\ 42\ kJ/mol \tag{5}$$

在浸出液中，Fe^{3+} 倾向于与 $C_2O_4^{2-}$ 形成稳定的可溶性草酸铁配合物(如$[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}$)；而 Zn^{2+}、Pb^{2+} 和 In^{3+} 离子则主要与 Cl^- 配位，形成 $[MCl_n]^{m-}$ 型配合物(如$[ZnCl_4]^{2-}$、$[PbCl_4]^{2-}$、$[InCl_4]^-$ 等)。由于锌、铅草酸盐溶解度极低($ZnC_2O_4\cdot 2H_2O$，$K_{sp}\approx 1.38\times 10^{-9}$；$PbC_2O_4$，$K_{sp}\approx 8.5\times 10^{-10}$)[11-12]，通过加入过量水，使 $C_2O_4^{2-}$ 逐步置换锌、铅氯配合物中的氯离子配体，分别形成草酸锌和草酸铅沉淀析出。对于铁离子，其草酸配合物(如$[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}$)溶解度较高，须利用紫外光照射诱导草酸铁配合物发生光化学还原反应，将 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+}，进而生成溶解度更低的草酸亚铁沉淀($FeC_2O_4\cdot 2H_2O$，$K_{sp}\approx 3.2\times 10^{-7}$)析出[12]，从而实现锌、铅和铁离子的分步沉淀与有效分离。同时，In^{3+} 因在酸性水溶液中能形成稳定的氯配合物，并留在液相中，从而实现富集。

1.2.2 试验方法

1)低共熔溶剂的制备:将氯化胆碱(ChCl)、二水合草酸($C_2H_5O_2 \cdot 2H_2O$)在 80 ℃下真空干燥 2 h,干燥后的氯化胆碱和草酸以等物质的量比混匀并置于水浴锅中,边加热边搅拌,直至形成透明澄清液体,所得溶液即为低共熔溶剂。

2)浸出:将次氧化锌粉尘用去离子水洗涤制样,将样品置于烘箱中,设置温度 105 ℃,干燥后用球磨机研磨至 200 目以下,保存备用。取 5 g 样品放入配置好的 DES 中进行浸出试验。为探究不同浸出条件对粉尘中金属元素浸出效果的影响,选择在水浴中进行浸出试验,控制液固体积质量比为 6/1～15/1(mL/g)、温度为 40～80 ℃、时间为 2～7 h。

3)水解与光照:浸出结束后,按体积比 10/1 向浸出液中引入去离子水,控制温度在(25±2)℃,以 300 r/min 的速度磁力搅拌 1 h,之后静置 10 min;通过真空抽滤(0.45 μm PTFE 膜)收集白色沉淀物,于(105±5)℃下恒温干燥 2 h,采用玛瑙研钵研磨过 200 目筛进行物相表征。过滤液采用 UV 175W、365 nm 的高压汞灯进行照射,随后通过0.45 μm滤膜分离后取上清液进行 ICP-OES 分析。

2 试验结果与讨论

2.1 浸出条件试验

2.1.1 液固体积质量比对浸出效果的影响

在温度 70 ℃、浸出时间 3 h 条件下,考察液固体积质量比对 ChCl-OA DES 浸出金属的影响,结果如图 2 所示。可以看出:4 种金属的浸出率均随液固体积质量比增大而升高;液固体积质量比增至 12 mL/1 g 时,Zn、Fe、Pb 和 In 浸出率分别达 95.4%、87.8%、78.6%、88.8%,协同浸出效果较好。这主要是因为随液固体积质量比增大,浸出剂浓度增大,能促进浸出反应进行;但液固体积质量比继续增至 15 mL/1 g 时,非目标组分 Pb 浸出率进一步提升,但过量浸出剂与 PbO 持续反应会导致 Pb 过度浸出,这对后续 In 的选择性分离不利。通过对比分析浸出效率与经济成本,确定适宜的液固体积质量比为 12 mL/1 g。

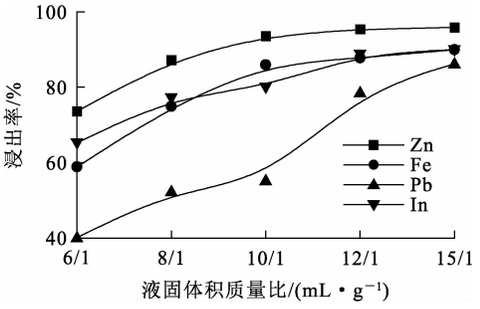


图 2 液固体积质量比对金属浸出率的影响

Fig. 2 Effect of liquid volume to solid mass ratio on leaching rates of metals

2.1.2 浸出温度对浸出效果的影响

升高温度可使低共熔溶剂黏度降低,增强传质效率并加速粉尘颗粒与溶剂的相互作用,此外还能降低反应活化能,提升反应速率常数,这符合阿伦尼乌斯方程的理论规律。在液固体积质量比 12 mL/1 g、浸出时间 6 h 条件下,考察浸出温度对 ChCl-OA DES 浸出金属的影响,结果如图 3 所示。可以看出,随浸出温度升高,Zn、Fe、Pb、In 浸出率升高。由于温度超过临界值后,体系中的草酸会受热分解生成二氧化碳气体,影响浸出效果,因此确定适宜的浸出温度为 70 ℃。

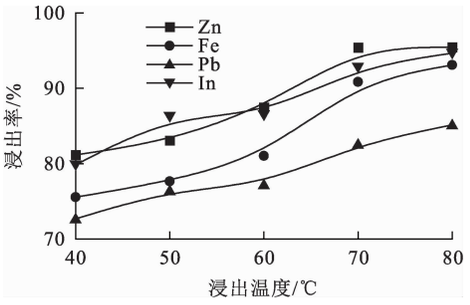


图 3 浸出温度对金属浸出率的影响

Fig. 3 Effect of leaching temperature on leaching rates of metals

2.1.3 浸出时间对浸出效果的影响

在液固体积质量比 12 mL/1 g、浸出温度 70 ℃条件下,考察浸出时间对 ChCl-OA DES 浸出金属的影响,结果如图 4 所示、可以看出:随浸出时间延长,4 种金属浸出率均升高;浸出 6 h 时,Zn、Pb、In 浸出率均超过 80%;继续延长浸出时间,3 种金属浸出率提升幅度均不超过 5%。考虑到成本等因素,确定适宜的浸出时间为 6 h。

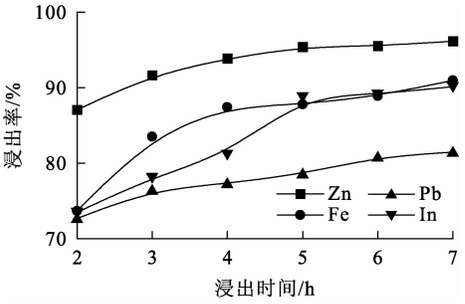


图 4　浸出时间对金属浸出率的影响

Fig. 4　Effect of leaching time on leaching rates of metals

2.2　锌的水解

浸出液过滤后加入去离子水，溶液颜色从深棕色变成黄绿色，并有白色沉淀生成。白色沉淀的 XRD 图谱如图 5 所示。

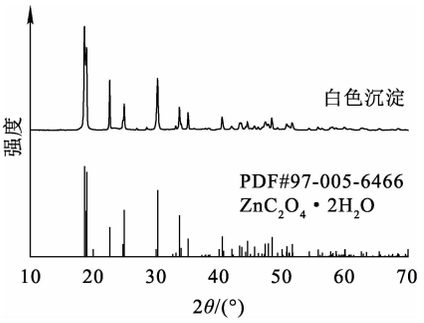


图 5　白色沉淀的 XRD 图谱

Fig. 5　XRD pattern of white precipitate

由图 5 看出，沉淀物的衍射峰峰形与标准卡片（$ZnC_2O_4 \cdot 2H_2O$）基本一致，推测该过程发生的主要化学反应如下：

$$ZnO+H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O+Cl^- \longrightarrow [Zn(C_2O_4)(H_2O)_2Cl]^- +H_2O \quad (6)$$

$$[Zn(C_2O_4)(H_2O)_2Cl]^- \xrightarrow{H_2O} ZnC_2O_4 \cdot 2H_2O\downarrow +Cl^- \quad (7)$$

大量去离子水的加入改变了浸出液中金属离子的配位环境[13-14]，并促使金属离子以草酸盐形式逐渐沉淀。作用机制为：加入大量去离子水可削弱 DES 体系的氢键网络，降低 DES 体系黏度，并促使氯化胆碱-草酸型 DES 发生结构解离，形成离散的胆碱阳离子与草酸的混合溶液，导致 DES 转化为水溶液形式，致使溶液中金属离子存在形式发生变化，具体表现为草酸根逐步置换氯离子形成二水合草酸锌（$ZnC_2O_4 \cdot 2H_2O$）沉淀。

加入大量去离子水后，Pb 元素理论上可形成草酸铅沉淀，但在 XRD 图谱中未检出其特征衍射峰。为进一步确定沉淀中是否存在 Pb，进行王水消解—ICP-OES 分析，结果表明，沉淀中 Zn、Pb 质量分数分别为 29.8%和 2.0%，对应二水合草酸锌（$ZnC_2O_4 \cdot 2H_2O$）和草酸铅（PbC_2O_4）的理论质量分数分别为 84.3%和 2.8%，说明 Pb 发生了沉淀反应，但含量较低。此外，沉淀中还检测到微量铁残留（<1%），说明铁离子主要留在溶液中，这与滤液呈浅绿色（Fe^{2+} 水合离子特征色）吻合。沉淀物中未检出 In 元素，表明 In 未与 Zn、Pb 共沉淀。

2.3　铁的还原分离

在水解沉淀铅锌后，将浸出液在室温下静置，经光照后发现浸出液颜色变浅，由浅绿色逐渐变成无色并出现黄色沉淀，而避光对照组未观察到沉淀。结合铁-草酸配位化学特性，推断该现象源于浸出液中光敏性 $[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}$ 配合物的选择性光还原[15]：在可见光激发下，配合物发生电荷转移，Fe^{3+} 被还原为 Fe^{2+} 并脱离配体，进而与游离草酸根结合形成难溶草酸亚铁水合物沉淀。黄色沉淀的 XRD 图谱（图 6）证实该沉淀为二水合草酸亚铁（$FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$），说明该过程发生的主要化学反应如下[16]：

$$2Fe(C_2O_4)_3^{3-} \xrightarrow{h\nu} Fe(C_2O_4)_2^{2-} +C_2O_4^{2-} +2CO_2\uparrow \quad (8)$$

$$Fe(C_2O_4)_2^{2-} +2H_2O \longrightarrow FeC_2O_4 \cdot 2H_2O\downarrow +C_2O_4^{2-} \quad (9)$$

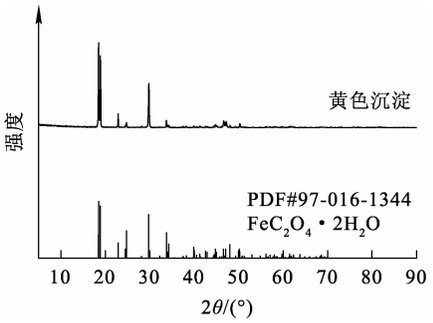


图 6　黄色沉淀的 XRD 图谱

Fig. 6　XRD pattern of yellow precipitate

为探索 Fe 的紫外光化学还原动力学过程，试验采用紫外光化学还原分离 Fe^{3+} 和 In^{3+}[17]。照射时间对溶液中金属离子沉淀率的影响如图 7 所示。可以看出：随照射时间延长，Fe^{3+} 质量浓

度逐渐降低；照射 90 min 时，Fe^{3+} 质量浓度降至 366.2 mg/L(沉淀率 88.54%)，而 In^{3+} 质量浓度仅下降 3.77 个百分点，说明采用该法可选择性分离铁；照射时间延长至 180 min 时，Fe^{3+} 沉淀率仅小幅升高至 89.2%。因此，确定 90 min 为最佳照射时间。

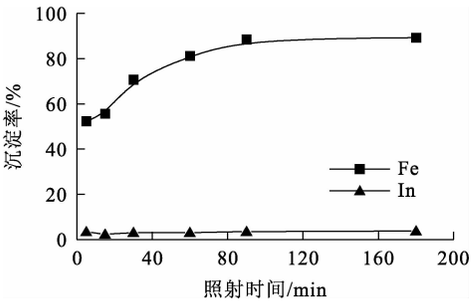


图 7 照射时间对溶液中金属离子沉淀率的影响

Fig. 7 Effect of irradiation time on precipitation rates of metal ions in solution

采用 ICP-OES 检测技术对梯级分离工艺处理前后浸出液中 Zn、Fe、Pb 和 In 离子含量进行定量分析，结果见表 3。可以看出：初始浸出液中 In 离子质量分数仅为 0.03%；而通过水解沉淀及光化学处理后，溶液中浓度较高的 Zn、Fe 和 Pb 离子被选择性去除，使得光照后浸出液中 In 质量分数显著提升至 1.50%，其含量比其他残余离子低，但与初始浸出液中的含量相比，富集倍数达 50 倍，说明该溶剂对稀散金属具有选择性富集优势。

表 3 梯级分离工艺处理前、后浸出液中金属离子质量分数

Table 3 Mass fraction of metal ions in leaching solution before and after stepwise separation process

金属离子	浸出液中 w_B/%		
	初始	水解后	光照后
Zn	86.05	5.82	2.20
Fe	8.32	84.42	31.96
Pb	5.60	9.49	64.27
In	0.03	0.27	1.50

3 结论

采用氯化胆碱-水合草酸低共熔溶剂从次氧化锌粉尘中梯级回收 Zn、In、Pb 和 Fe 是可行的。在浸出温度 70 ℃、液固体积质量比 12 mL/1 g、浸出时间 6 h 条件下，该 DES 体系对 Zn、In、Pb、Fe 的浸出率分别达 95.52%、88.91%、80.82% 和 89.13%，说明其在复杂多金属协同浸出方面优势明显。采用水解法和紫外光诱导还原沉淀法可分别去除和分离浸出液中的 Zn、Pb 和 Fe，生成 $ZnC_2O_4 \cdot 2H_2O$ 和 $FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$ 副产物，经梯级分离工艺处理后浸出液中 In 含量是初始浸出液中的 50 倍，实现了目标金属 In 的高效富集，能为实现后续 In 的萃取回收提供理论依据。

该 DES 具有绿色、成本低、浸出率高等优势，但在浸出试验中，最佳液固体积质量比为 12 mL/1 g，这在工业中可能面临溶剂消耗量过高的问题，为有效降低工业生产的成本，有必要进一步优化降低液固体积质量比；此外，该研究重点在于富集，后续高纯铟的萃取、反萃、精炼等具体工艺参数和效率还有待继续加强研究，从而实现全链条回收。

参考文献：

[1] 佘雪峰，薛庆国，董杰吉，等. 钢铁厂典型粉尘的基本物性与利用途径分析[J]. 过程工程学报，2009，9(增刊 1)：7-12.
SHE Xuefeng，XUE Qingguo，DONG Jieji，et al. Study on basic properties of typical industrial dust from iron and steel plant and analysis of its utilization[J]. The Chinese Journal of Process Engineering，2009，9(Sup. 1)：7-12.

[2] PUTA W D. The recovery of zinc from eaf dust by the waltz process[J]. Steel Times，1989，117(4)：194-195.

[3] 李敏. 冶金固废资源化利用现状及发展[J]. 世界有色金属，2019，25(12)：14.
LI Min. Present situation and development of utilization of solid metallurgical waste resources[J]. World Nonferrous Metals，2019，25(12)：14.

[4] CHANG J，ZHANG E D，ZHANG L B，et al. A comparison of ultrasound-augmented and confventional leaching of silver from sintering dust using acidic thiourea[J]. Ultrasonics Sonochemistry，2017，34(1)：222-231.

[5] ABBOTT A P，CAPPER G，DAVIES D L，et al. Solubility of metal oxides in deep eutectic solvents based on choline chloride[J]. Journal of Chemical and Engineering Data，2006，51(4)：1280-1282.

[6] ABBOTT A P，BOOTHBY D，CAPPER G，et al. Deep eutectic solvents formed between choline chloride and carboxylic acids：versatile alternatives to ionic liquids[J]. Journal of the American Chemical Society，2004，126(29)：9142-9147.

[7] 雷震，徐存英，卢东辉，等. 低共熔溶剂处理含锌烟尘的研究[J]. 有色金属(冶炼部分)，2017(8)：5-8.

LEI Zhen,XU Cunying,LU Donghui,et al. Study on treatment of zinc dust with deep eutectic solvents[J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy),2017(8):5-8.

[8] 张远. 低共熔溶剂型离子液体浸出氧化锌矿的研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2016.

[9] 冯彦琳,王靖芳,王爱英. 乳状液膜法提取铟的研究[J]. 稀有金属,1997,21(1):38-40.
FENG Yanlin, WANG Jingfang, WANG Aiying. Research on indium extraction by emulsion film method[J]. Rare Metals,1997,21 (1):38-40.

[10] NAVARRO C,DIAZ M,VILLA-GARCIA M A. Physicochemical characterization of steel slag:study of its behavior under simulated environmental conditions[J]. Environmental Science & Technology,2010,44(14):5383-5388.

[11] CHEN X, LIU X, HUANG K. Facile synthesis of flake-like dihydrate zinc oxalate particles[J]. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 2019, 26(2): 234-240.

[12] LEE S I,KIM H R,PARK J K,et al. Precipitation of ferrous oxalate from ferrous ammonium sulfate in oxalic acid solution [J]. Processes, 2022, 10 (11). DOI: 10.3390/pr10112420.

[13] ZHANG G J,TANG F Y,WANG X,et al. Atomically dispersed co-s-n active sites anchored on hierarchically porous carbon for efficient catalytic hydrogenation of nitro compounds[J]. ACS Catalysis,2022,12(10):5786-5794.

[14] ZURNER P,FRISCH G. Leaching and selective extraction of indium and tin from zinc flue dust using an oxalic acid-based deep eutectic solvent[J]. ACS Sustainable Chem Eng,2019,7(5):5300-5308.

[15] WANG Y, ZHAO J, LIU H H, et al. Photooxidation of methacrolein in Fe(Ⅲ)-oxalate aqueous system and its atmospheric implication[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2021,38(7):1252-1263.

[16] POZDNYAKO I P,KEL O V,PLYUSNIN V F,et al. New insight into photochemistry of ferrioxalate.[J]. The Journal of Physical Chemistry:A,2008,112(36):8316-8322.

[17] PHATCHADA S,SHINJI K,AAKA M,et al. Sustainable iron-making using oxalic acid:the concept,a brief review of key reactions, and an experimental demonstration of the iron-making process[J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering,2020,8(35):13292-13301.

Step-up Separation of Indium and Associated Elements from Zinc Oxide Dust Using Choline-Oxalic Acid Chloride

ZHANG Liangjin[1,2],LIU Yongzhi[1,3],YU Qiyuan[1,3],LONG Yue[1,3],ZHANG Yuzhu[1,3]

(1. *School of Metallurgy and Energy,North China University of Science and Technology,Tangshan* 063210,*China*;
2. *Inspection and Certification Co.,Ltd.,MCC,Beijing* 100088,*China*;
3. *Key Laboratory of Modern Metallurgical Technology,Ministry of Education,North China University of Science and Technology,Tangshan* 063210,*China*)

Abstract: In order to efficiently enrich indium (In) in zinc oxide dust and realize the directional separation and recovery of associated elements, Zn, Fe, Pb and In were leached from the dust by choline chloride-oxalate dihydrate low eutectic solvent, and the "hydrolytic removal of zinc and lead — ultraviolet light reduction iron removal" process was used to remove impurities step by step. The results show that the leaching rates of Zn, In, Pb and Fe can reach 95.52%, 88.91%, 80.82% and 89.13%, respectively, under the optimal leaching conditions of liquid volume to solid mass ratio of 12 mL/1 g, temperature of 70 ℃ and time of 6 h. Zn/Pb is removed by hydrolytic precipitation, and then Fe is removed by ultraviolet reduction precipitation. After the step-by-step precipitation and impurity removal treatment, the mass fraction of indium in the solution has increased from 0.03% to 1.5%, successfully achieving efficient enrichment of indium and directional separation and recovery of associated elements such as Zn, Pb, and Fe.

Key words: deep eutectic solvent; zinc oxide dust; indium; cascade extraction; leaching; separation; recovery