

某地浸采铀矿山水冶体系固体颗粒物去除 方法研究与工艺优化

田 爽, 曹俊鹏, 呼日乐, 周原江, 刘天印, 庄治旭, 冯小刚, 徐子昂

(中核通辽铀业有限责任公司, 内蒙古 通辽 028000)

摘要: 某地浸采铀矿山水冶体系中由于固体颗粒物过多而导致系统运行压力升高, 矿层渗透性下降及铀回收效率降低。针对该问题, 通过分析固体颗粒物的来源及迁移规律, 系统研究了工艺优化对固体颗粒物去除效果的影响。通过改进树脂清洗周期, 减少颗粒物在树脂表面的累积; 通过优化贫树脂串联塔序, 提高吸附系统的抗堵塞能力; 通过增设吸附工艺外排工序, 强化颗粒物的动态清除。经过试验研究和实际应用案例分析, 验证了优化工艺在提高固体颗粒物去除效率、提升系统运行稳定性等方面的效果。研究成果为地浸采铀矿山的高效生产提供了重要的技术支持和理论依据。

关键词: 地浸采铀; 吸附; 固体颗粒物; 树脂清洗; 工艺优化

中图分类号: TL212 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2026)01-0091-07

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2025.08.01

目前, 中国地浸采铀产量占全国天然铀总产量的 90% 以上, 地浸采铀创造了显著的经济效益和社会效益^[1]。地浸采铀主要分为井场工艺和水冶工艺。井场工艺主要包括浸出液提升与浸出剂下注; 水冶工艺主要用于浸出液处理, 其中吸附、淋洗、沉淀、板框压滤等工序主要在水冶厂中进行^[2], 浸出液与尾液过滤工序主要在集配液过滤间进行。

在运行过程中, 浸出液会携带部分固体颗粒物进入水冶系统, 对吸附工艺与产品质量产生影响, 使吸附塔穿透体积下降、运行塔压升高并造成系统运行水量波动。为去除系统中的固体颗粒物, 运行期间采用淋洗塔清淤及饱和树脂淋洗塔内冲洗等措施, 长时间运行发现通过定期清淤可以快速清除淋洗塔底部的淤泥, 但无法根除树脂中携带的固体颗粒物; 饱和树脂切塔后, 采用 2 个树脂体积的补加水清洗淋洗塔内的饱和树脂, 清洗液排至集液罐内, 固体颗粒物还在系统中。为解决这些问题, 以某地浸采铀矿山为例, 笔者对水冶系统中固体颗粒物进行研究, 以期找到去除固体颗粒物的方法及措施。

1 某地浸铀矿山水冶工艺概况

地浸铀矿山通过水冶工艺对浸出的含铀溶液进行处理, 提取并纯化铀产品^[3]。本地浸铀矿山为“CO₂ + O₂”原地浸出采铀矿山, 水冶吸附工序采用固定床双塔串联吸附, 浸出液经原液过滤工序(袋式过滤器过滤)后进入吸附塔, 经吸附塔吸附后形成吸附尾液; 吸附尾液经尾液过滤工序后进入井场。吸附塔内装填 201×7 型树脂, 树脂体积 43 m³。201×7 型强碱性阴离子交换树脂是交联度为 7% 的苯乙烯和二乙烯苯共聚体, 其官能团为季铵基[—N(CH₃)₃]OH, 通常呈球形颗粒状^[4]。该矿山地浸采铀工艺流程见图 1。

2 原液固体颗粒物分析

2.1 主要来源

在水冶工艺运行系统中会堆积固体颗粒物, 这些固体颗粒物主要来自抽出井^[5]。在浸出过程中, 矿石的部分细小颗粒会进入浸出液闭路循环系统。在水流冲击和化学反应作用下, 质地较软的矿石易破碎, 从而产生微小颗粒^[6], 如含黏土矿

收稿日期: 2025-08-01; 修回日期: 2025-08-24

通信作者: 冯小刚

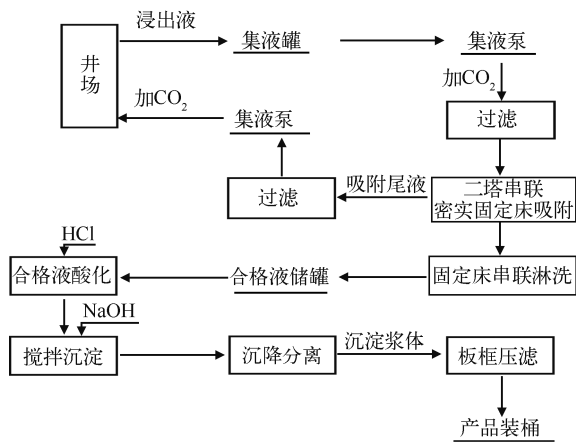


图 1 地浸采铀工艺流程图

Fig. 1 Process flow diagram of in-situ leaching uranium mining

物等杂质的矿石,在浸出液的作用下黏土矿物可能会分散成细小颗粒^[7]而进入溶液;井场所在区域的地层可能较为松散,在液体流动过程中,易使泥沙混入抽液井;若地层中存在断层或破碎带,也会导致泥沙被带入钻井^[8]。

2.2 水质分析

水冶流程中,原液经过过滤后其中的固体颗粒物的微粒数由 15.44 万个/10mL 下降至 13.82 万个/10 mL,进入首塔(贫树脂接进吸附系统先做首塔)后溶液微粒数上升至 14.20 万个/10 mL,经过尾塔后溶液微粒数下降至 13.79 万个/10 mL,这是由于经过长时间运行,吸附塔存在一定过滤能力,将部分固体颗粒物留在了吸附塔中。原液进入系统后,微粒总数逐渐减少,其中原液过滤阶段固体颗粒物减少量为系统排除量,其余阶段的固体颗粒仍在系统内流动与堆积。

原液进入吸附塔前先经过过滤工序,过滤前后各粒级颗粒物占比见图 2。可以计算出,过滤前原液中粒度 $<5\mu\text{m}$ 的固体颗粒物的微粒数为 10.14 万/10 mg/L,占比达 65%,整体呈现出微粒粒度越小占比越多、粒度越大占比越少的特点。这表明在过滤工序中,粒径较小的颗粒物较难完全去除,容易在溶液中积累。粒径较大的颗粒物,其占比相对较低,但由于其尺寸较大,可能对吸附塔的堵塞影响更明显;粒径较小的颗粒物,单个颗粒的影响较小,但其数量大,会在长期运行过程中逐渐积累,影响吸附塔的吸附效果。

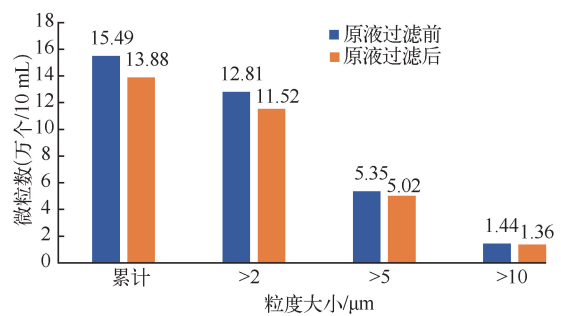


图 2 原液过滤前后各粒径微粒分布

Fig. 2 Particle size distribution before and after raw liquid filtration

3 固体颗粒物对水冶系统的影响

3.1 固体颗粒物对树脂穿透容量的影响

在吸附塔中,浸出液与树脂发生离子交换反应。树脂粒径是影响吸附效率的关键因素之一。树脂粒径减小,吸附速率增大。该现象是由于颗粒粒径减小,单位质量树脂的比表面积增大,导致离子扩散透过介面膜进入树脂内部的速率加快^[9]。对水冶系统的树脂取样发现,部分树脂表面被淤泥包裹,导致树脂接触面积减少,影响了树脂的吸附能力^[10]。

在矿山运行指标方面,当塔组吸附尾液中固体颗粒物持续 3 d 超过 0.1 mg/L 时,定义为塔组穿透,此时的树脂容量定义为树脂穿透容量。定义树脂每饱和、淋洗一次为 1 个周期,每个周期时间随塔组运行瞬时水量及原液铀浓度的不同而存在差异。随着运行时间延长,树脂穿透体积降低,树脂穿透容量呈下降趋势(表 1),需定期对塔底部淤泥进行清理。这是由于在长时间的运行中,吸附塔内的树脂被淤泥包裹,使得金属离子无法

表 1 某地浸矿山 2 号吸附塔组吸附穿透容量

Table 1 Uranium breakthrough capacity of No. 2 adsorption tower unit in ISL adsorption system

周期	树脂穿透容量/(g/L)	周期	树脂穿透容量/(g/L)
1	32.70	8	30.89
2	32.36	9	26.89
3	30.10	10	27.30
4	28.26	11	25.31
5	32.34	12	23.79
6	27.69	13	28.22
7	29.11	14	24.13

被固定在树脂上,从而减少了穿透容量。这种变化不仅反映了吸附塔在运行过程中的动态特性,也为地浸矿山水冶工艺优化提供了重要参考。

3.2 固体颗粒物对吸附运行压力的影响

随吸附塔运行时间延长,系统压力呈递增趋势(表 2)。这一变化是多种因素共同作用的结果:1)树脂床孔隙堵塞效应。在长期运行过程中,树脂持续吸附原液中的溶质及固体颗粒物,杂质进入树脂塔会附着在树脂表面,影响交换能力,严重时还会堵塞排水孔道增加阻力^[11]。2)杂质累积效应。运行时间的延长使得固体颗粒物等杂质在塔内不断积累,对系统压力产生叠加影响^[12]。

表 2 吸附塔组累计吸附水量与塔压变化

Table 2 Cumulative adsorbed water volume and tower pressure changes in the adsorption tower unit

塔组	吸附水量 $1 \times 10^5 \text{ m}^3$		吸附水量 $1 \times 10^6 \text{ m}^3$		吸附水量 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$		最高塔压/MPa	
	首塔塔压/MPa	尾塔塔压/MPa	首塔塔压/MPa	尾塔塔压/MPa	首塔塔压/MPa	尾塔塔压/MPa	首塔	尾塔
B-T2	0.35	0.17	0.36	0.21	0.41	0.22	0.43	0.27
B-T3	0.22	0.14	0.38	0.19	0.43	0.20	0.46	0.25

塔压升高会改变吸附塔内的流体动力学条件,影响树脂对铀的吸附效率。塔压分布不均匀可能导致树脂出现局部过饱和或不饱和情况^[13]。当塔压分布不均匀时,流体在吸附塔内的流动也变得不均衡。在压力较高区域,流体流速相对较快,树脂可能会在较短时间内接触到大量的原液,出现局部过饱和现象;在压力较低区域,流体流速相对较慢,树脂与原液的接触机会减少,可能出现局部不饱和现象。这种局部过饱和或不饱和情况会显著影响吸附的均匀性,使树脂的吸附作用发挥不充分,浸出液中的铀无法被有效回收,从而降低树脂的吸附效率。

3.3 固体颗粒物对井场运行水量的影响

吸附塔尾液经设置在集配液泵房的过滤器过滤后,由配液泵加压输送至井场用于浸出铀。当树脂吸附饱和后,进行切塔作业,将吸附塔内树脂移至淋洗塔中,此情况下系统水量随之波动(表 3)。可以看出,双塔串联吸附,运行的 5 组塔(塔号为 A-3 至 A-8、B-1 至 B-4),在 20 d 内进行 5 次切塔,且每次切塔后运行水量均有不同幅度的下降。

系统内水量下降的主要原因在于注液井的水量出现了下降,浸出剂注入受阻会直接影响

吸附塔设计运行压力为 0.5 MPa,最大运行压力为 0.7 MPa,运行压力升高会对水冶系统产生不利影响:1)塔压升高会导致吸附进液流量下降,单位时间内浸出液处理量下降,降低整个水冶工艺的生产效率,影响金属产量,严重时配液泵抽真空出现泵气堵,导致矿山停产;2)吸附塔压力升高导致原液易发生偏流、沟流,原液优先从阻力较小的树脂床区域穿过,这种不均匀流动造成了树脂的局部饱和,从而显著降低整体吸附效率;3)承压组件(包括塔体、管道、阀门等)长期处于超设计工况运行状态,关键部件特别是密封元件、连接部件等在持续高压状态下磨损加速。

整体系统内原液的流量^[14]。在水冶工艺中,原液流量对于铀的提取和纯化起着至关重要的作用^[15]。原液流量减小,会降低生产效率,还可能影响吸附塔等设备的正常运行,进而影响树脂对铀的吸附效率,以及后续的分离和纯化过程。

表 3 吸附塔组吸附水量

Table 3 Water treatment capacity of the adsorption tower unit

天数/d	注液压力/ MPa	运行水量/ (m^3/h)	吸附塔切塔 塔号	水量变化/ (m^3/h)
1	1.74	1 726	A-4	-12.31
7	1.74	1 743	A-5	-15.07
12	1.75	1 741	A-7	-24.58
14	1.75	1 712	B-3	-14.46
17	1.76	1 679	A-3	-17.91

在相同切塔作业时间内,井场单井流量变化见图 3。选取 7 个注液井进行跟踪分析,发现每个井的运行流量均出现不同程度下降,其中运行流量出现明显下降的 3 个钻井的流量降幅均在 10% 以上,说明固体颗粒物可能造成了局部堵塞。

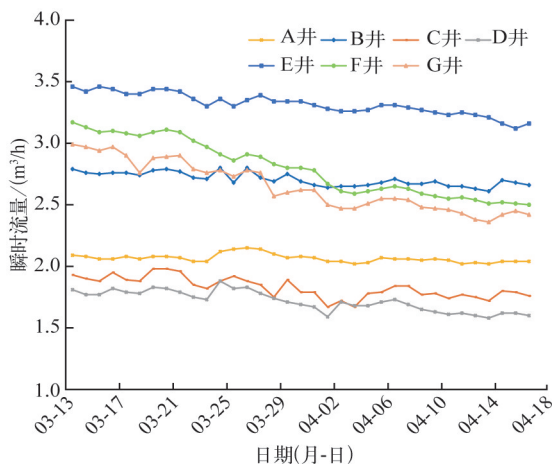


图3 井场单井运行流量

Fig. 3 Flow rate performance of an individual injection well in the well field

3.4 淤泥对吸附塔树脂吸附性能的影响

淤泥由细小的固体颗粒、有机质、微生物等组成。在吸附塔吸附过程中,淤泥在树脂表面形成物理屏障(图4),阻碍树脂与浸出液的充分接触^[16];同时微细的胶体或颗粒物会附着在树脂颗粒的表面,物理覆盖其上的活性官能团,导致树脂的有效吸附容量下降,需要更频繁地再生或更换树脂。

淤泥是地浸采铀山水冶系统吸附塔高效稳定运行的主要威胁之一。其影响是渐进性和累积性的,相较于影响塔压与限制流量,淤泥包裹树脂进而改变树脂的表面性质,是较难处理的。淤泥可能覆盖树脂的活性位点,减少可供铀离子结合的位点,从而降低树脂的吸附容量;淤泥的存在可能改变树脂表面的电荷分布,影响铀离子与树脂之间的静电相互作用^[17]。综上所述,淤泥包裹对树脂吸附性能产生多方面的不利影响,在地浸采铀工艺中应采取相应措施加以解决。



图4 污泥包裹的树脂

Fig. 4 Resin coated with sludge

4 工艺优化措施及效果

4.1 树脂清洗频次优化

在水冶工艺流程中,随着工艺的运行,树脂会逐渐被杂质污染,需定期清洗树脂^[18]。实践表明,贫树脂清洗2个周期后,清洗液才可达水质清澈,具备接入系统的条件。即:以清洗树脂倒运中转罐容积(6 m^3)计量,设定用7罐溶液清洗树脂为1个清洗周期,清洗14罐体积溶液后树脂接入系统。清洗不同周期后清洗液水质情况见图5。

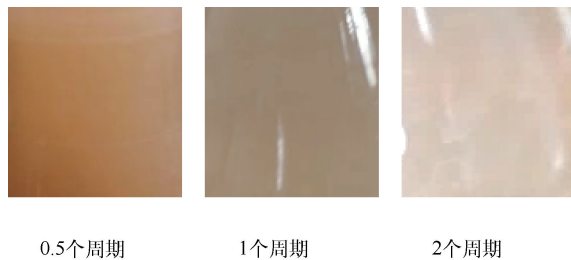


图5 树脂清洗不同周期后水样

Fig. 5 Effluent water monitoring during resin cleaning

对贫树脂清洗0.5个周期(3~4罐)后,清洗液水样浊度仍较高,水样中固体颗粒物明显;清洗1个周期(7罐)后,水质浊度明显降低;清洗2个周期(14罐)后,水质明显提升。选取4组贫树脂做清洗对照试验,对3个不同清洗阶段的水样进行静置对比试验,采用相同容器(烧杯:直径12.8 cm,高20 cm),取样体积2 000 mL,静置24 h,底部沉淀淤泥高度见表4。可以看出,静置后,清洗0.5个周期的水样底部淤泥高度为2.5~3.5 mm,清洗1个周期的水样底部淤泥高度为1.0~1.5 mm,清洗2个周期的水样底部淤泥高度在1.0 mm以下。树脂清洗周期增加,树脂中的固体颗粒物去除的效果提升。

表4 树脂清洗水样静置结果

Table 4 Setting result of resin cleaning effluent

贫树脂清洗周期	水样静置淤泥高度/mm			
	塔组1	塔组2	塔组3	塔组4
0.5个周期	2.5	3.0	3.5	2.5
1个周期	1.0	1.5	1.5	1.5
2个周期	0	0	0.5	0

4.2 吸附工艺增加外排工序

改造区域共5处(图6中红色标记处),在第

1、2处增加连通管线,安装控制阀门,使排空管线与外排管线连接;在第3处增加球阀,控制排空管线与集液罐连通;在第4、5处(1-1、2-1淋洗塔补加水管处)增加淋洗塔冲洗管线,使补加水管道与淋洗塔顶端连接。吸附塔改造后,排空管线与淋

洗塔外排管线连通,在通向集液罐总管处安装控制阀门,作业过程中多余液体通过连通管线进入外排管线,最终进入蒸发池(外排水量较少,基本不影响蒸发池运行)。

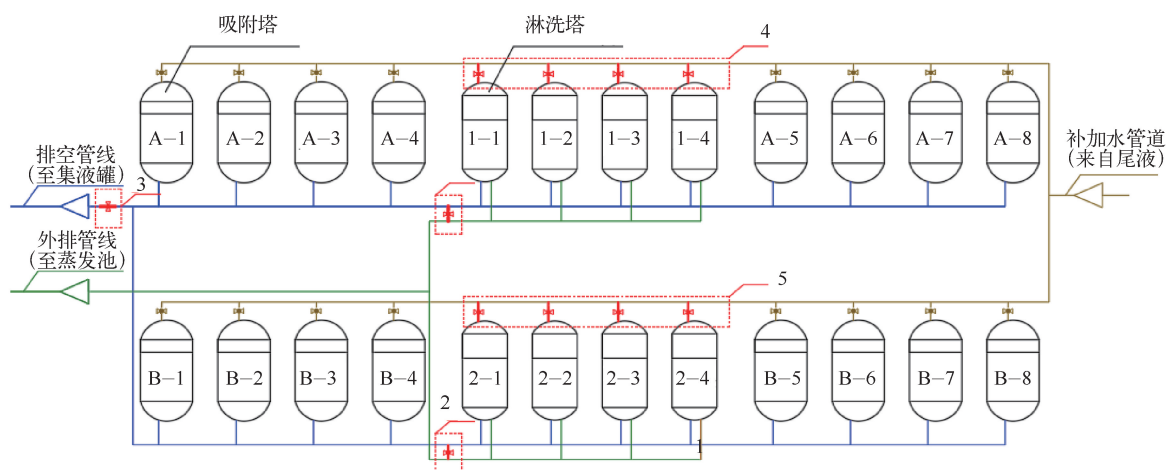


图6 管线改造示意图

Fig. 6 Pipeline modification schematic diagram

4.3 调整吸附塔序

吸附工序采用双塔串联运行方式,该方式可实现每组吸附塔“首塔-尾塔”互相切换。原工艺流程是在贫树脂重新接入吸附系统后作为尾塔运行,当前塔组首塔饱和切塔后,此尾塔再转为首塔运行。转型后贫树脂经振动筛清洗、直接接入尾塔吸附时,因树脂中仍有部分游离的固体颗粒物未清理彻底,作为尾塔运行会导致这部分固体颗粒物进入吸附尾液,造成浸出剂中固体颗粒物含量升高,进而制约浸出剂注入量。

对此,结合吸附塔运行模式,将清洗后贫树脂接入系统的方式进行优化。即:清洗后贫树脂先接入系统,作为首塔运行约 50 BV 后,再切换至尾塔运行,使树脂床中的游离固体颗粒物由首塔进入到尾塔,被过滤后留在塔中,减少固体颗粒物进入吸附尾液的量。因树脂穿透体积较大($>1\ 500$ BV),该优化方式不会造成该塔组吸附尾液铀浓度明显变化。经检测,吸附优化后吸附尾液 SS 由优化前的 23 mg/L 下降至 0.25 mg/L 。

5 结论

1)某地浸采铀矿山原液水质较差,原液过滤

效率低,残留的固体颗粒物进入系统对系统运行水量、压力产生明显影响。

2)在增加树脂清洗频次后,树脂清洗水样清澈度明显提高,去除贫树脂含泥量效果明显。优化吸附工艺、增加外排工序后,通过将含有固体颗粒物的树脂冲洗水排至蒸发池,使其对其他工序的影响降到了最低,同时系统运行水量的稳定性也得到明显提升。对切塔淋洗后贫树脂接入首尾塔的串联顺序进行调整后,吸附尾液 SS 明显下降,有效减少了固体颗粒物向注液井的迁移。在现有过滤条件下,以上措施对改善水冶系统运行效果具有显著作用。

致谢

固体颗粒物粒级分布数据由中核矿业科技集团有限公司廖文胜博士提供。

参考文献:

- [1] 孙明源,苏学斌:地浸采铀,从“跟跑”到“领跑”的飞跃[N].科技日报,2023-10-09.
- [2] 杨少武,原渊,阮志龙,等.中性地浸采铀水冶工艺淋洗剂的优化[J].铀矿冶,2023,42(3):41-45.

- YANG Shaowu, YUAN Yuan, RUAN Zhilong, et al. Optimization of leaching agent for metallurgy process of neutral in-situ leaching uranium[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2023, 42(3):41-45.
- [3] 苏学斌,王海峰,刘乃忠. $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 原地浸出采铀工艺[M]. 北京:中国原子能出版社, 2016:5-25.
- [4] 朱国明,王艺,何斌,等. 地浸采铀中 201×7 型树脂硅中毒的解毒工艺探索[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2021, 44(4):382-387.
- ZHU Guoming, WANG Yi, HE Bin, et al. The Detoxification process of 201×7 type resin silicon poisoning in in-situ leaching of uranium[J]. Journal of East China University of Technology(Natural Science), 2021, 44(4):382-387.
- [5] 王亚安,原渊,程威,等. 中性地浸采铀全流程溶液中颗粒粒径分布及过滤建议[J]. 铀矿冶, 2024, 43(2):39-46.
- WANG Ya'an, YUAN Yuan, CHENG Wei, et al. Particle size distribution and filtration suggestions in the whole process solution of neutral in-situ leaching of uranium[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2024, 43(2):39-46.
- [6] 尹升华,吴爱祥,王少勇,等. 溶液对斑岩铜矿废石的浸蚀机理及其力学特性[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(1):309-314.
- YIN Shenghua, WU Aixiang, WANG Shaoyong, et al. Erosion mechanism of waste rocks and its mechanical properties during dump leaching[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44(1):309-314.
- [7] 王学霞,于梅,王烨敏,等. 微细粒煤泥浮选分离强化方法和技术研究进展[J]. 洁净煤技术, 2024, 30(8):185-202.
- WANG Xuexia, YU Mei, WANG Yemin, et al. Research progress on methods and technologies for enhancing flotation separation of fine coal slime[J]. Clean Coal Technology, 2024, 30(8):185-202.
- [8] 凡净,李晓昭,黄震,等. 导水夹泥断裂破碎岩内在结构与渗透性[J]. 中国公路学报, 2018, 31(10):160-166.
- FAN Jing, LI Xiaozhao, HUANG Zhen, et al. Internal structural characteristics and permeability of karst rocks in geological structures filled with water and mud[J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(10):160-166.
- [9] 吴香梅,莫建军. 大孔膦酸树脂对铀的吸附性能研究[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2006(4):435-438.
- WU Xiangmei, MO Jianjun. Studies on the absorption of macroporous phosphonic acid resin for terbium(III)[J]. Journal of Zhejiang Normal University: Natural Sciences, 2006(4):435-438.
- [10] 向波,刘晨明,曹仁强,等. 大孔树脂对镍钴萃取废水中有机物的吸附性能[J]. 过程工程学报, 2024, 24(2):227-237.
- XIANG Bo, LIU Chenming, CAO Renqiang, et al. Adsorption properties of macroporous resin for organic pollutants in nickel-cobalt solvent extraction wastewater[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2024, 24(2):227-237.
- [11] 程殿彬. 使用管式过滤器和树脂塔的注意事项[J]. 氯碱工业, 2000(9):16-20.
- CHENG Dianbin. Matters needing attention for the operation of tubular filter and resin column[J]. Chlor-Alkali Industry, 2000(9):16-20.
- [12] 王库,韩思远,胡南,等. 密实固定床吸附塔床层阻力研究[J]. 中国矿业, 2023, 32(11):230-235.
- WANG Ku, HAN Siyuan, HU Nan, et al. Study on bed resistance of dense fixed bed adsorption tower[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(11):230-235.
- [13] 郭强,赵文凯,肖永厚. 增强流体扰动强化变压吸附甲硫醚/氮气分离的数值模拟[J]. 化工进展, 2023, 42(S1):64-72.
- GUO Qiang, ZHAO Wenkai, XIAO Yonghou. Numerical simulation of enhancing fluid perturbation to improve separation of dimethyl sulfide/nitrogen via pressure swing adsorption[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2023, 32(11):230-235.
- [14] 廖文胜,王立民. 地浸采铀过程中抽注液量影响因素分析[J]. 铀矿冶, 2022, 41(2):104-110.
- IAO Wensheng, WANG Limin. Impact factors of production capacity during in-situ leaching uranium[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2022, 41(2):104-110.
- [15] 侯洪国,矫彩山,马海燕,等. 脉冲萃取柱传质性能的计算流体力学模拟[C]//中国核学会. 中国核科学技术进展报告(第二卷):中国核学会 2011 年学术年会论文集:第 5 册. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2011:369-378.
- [16] 姜子英,张燕齐,温保印,等. 反应堆石墨废物最小化研究进展[J]. 核安全, 2015, 14(1):78-84.
- JIANG Ziying, ZHANG Yanqi, WEN Baoyin, et al.

- Research progress on radioactive graphite waste minimization [J]. Nuclear Safety, 2015, 14 (1): 78-84.
- [17] 凌晨,李平海,韦蒙蒙,等.新型多胺树脂选择性去除焦磷酸镀铜清洗废水中 Cu^{2+} 的特性[J].离子交换与吸附 2019,35(5):450-460.
- LING Chen, LI Pinghai, WEI Mengmeng, et al. The removal of Cu^{2+} by a novel polyamine chelating resin in the presence of pyrophosphate [J]. Ion Exchange and Adsorption, 2019, 35(5):450-460.
- [18] 滕飞,曹俊鹏,李瑞东,等.振动式树脂清洗工艺的研究与应用[J].铀矿冶,2020,39(3):204-206.
- TENG Fei, CAO Junpeng, LI Ruidong, et al. Research and application of vibrating resin cleaning technology [J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2020, 39(3):204-206.

Solid Particulate Removal Methods and Process Optimization in the Hydrometallurgical System of an In-situ Leaching Uranium Mine

TIAN Shuang, CAO Junpeng, HU Rile, ZHOU Yuanjiang, LIU Tianyin,
ZHUANG Zhixu, FENG Xiaogang, XU Ziang
(Tongliao Uranium Co., Ltd., CNNC, Tongliao 028000, China)

Abstract: With the continuous development of in-situ leaching uranium mining technology, how to effectively remove solid particles has become a key issue of in-situ leaching uranium mines. In this paper, the removal method of solid particles in an in-situ leaching uranium mine was studied in depth, and the process was optimized. Firstly, the principle of in-situ leaching uranium process was summarized. The sources of solid particles and their negative effects on production were described in detail, such as increasing the operating pressure of the system, reducing the permeability of the ore layer, and affecting the efficiency of uranium recovery. Then, the existing solid particle removal methods were analyzed. On this basis, a series of optimization strategies for solid particle removal process were proposed, including improving resin cleaning cycle, optimizing resin tower sequence, and increasing discharge process in adsorption process. Through experimental research and practical application case analysis, it is verified that the optimized process has significant effects in improving the removal efficiency of solid particles and improving the stability of system operation. The research results provide important technical support for the efficient production of in-situ leaching uranium mines.

Key words: in-situ leaching of uranium; adsorption process; solid particles; resin cleaning; process optimization