

# 某酸法地浸铀矿山难浸出资源浸出研究

王如意, 桂增杰, 阳奕汉, 任晓宇, 韩军宁

(中核内蒙古矿业有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010)

**摘要:** 地浸采铀受矿床条件、溶浸环境等因素的影响, 部分资源的利用率较低。为实现对这部分资源的合理开发, 设计了浸出剂配制装置, 在局部难浸出区域内, 通过提高浸出剂(硫酸)浓度以强化浸出。试验结果表明, 采用该装置进行浸出剂配制, 浓度相对偏差在1.5%以内, 可实现按区域或单孔精确稳定配酸; 采用15~20 g/L硫酸做浸出剂, 通过有针对性地局部加酸对难浸出铀资源进行强化浸出, 可将单元铀浸采率由24.8%提高到53.7%。局部强化浸出方法的硫酸用量、余酸增量仅为整个采区强化浸出时的11.1%, 能以较低的硫酸消耗实现对难浸出铀资源的浸出, 且对后续水冶工艺的影响较小。

**关键词:** 地浸采铀; 局部强化; 浸出剂配制; 强化浸出

**中图分类号:** TL212.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2025)01-0037-05

**DOI:** 10.13426/j.cnki.yky.2024.07.03

地浸采铀工艺通过注液井将配制好的浸出剂注入矿层, 使浸出剂与铀矿物发生化学反应, 选择性溶解矿石中的铀, 再经抽液井将含铀溶液提升至地表进行铀提取, 是集“采、选、冶”于一体的铀矿开采工艺, 主要适于对砂岩型铀矿的开采<sup>[1-5]</sup>。

自20世纪70年代以来, 中国在新疆、内蒙古等地建立了一批地浸采铀矿山<sup>[6]</sup>。总体上地浸采铀效果较好; 但受铀矿床矿体分布、铀矿物赋存状态、岩性、渗透性、浸出工艺等因素的影响, 存在弱浸出区、非浸出区, 这在一定程度上影响了铀资源的回收<sup>[7-9]</sup>。为了提高铀资源回收利用率, 可通过浸采率、浸出液铀浓度、液固体积质量比、保有资源量、浸出剂消耗等参数确定残存资源赋存位置, 并通过井网优化、加氧化剂、提高酸浓度等物理化学方法强化浸出<sup>[10-18]</sup>。

内蒙古某砂岩型铀矿具有矿石品位低、含矿层渗透性强、含矿含水层厚度较大等特点, 采用酸法地浸采铀工艺开采, 井型设计为“五点型”, 抽注液井间距为27~35 m, 过滤器长度为8~12 m, 浸出剂为8~10 g/L的 $H_2SO_4$ 。目前, 部分浸出单元的浸出液铀质量浓度低于10 mg/L, 其单元

浸采率甚至不足30%。针对该部分难浸出资源, 进行强化浸出研究, 设计可局部强化浸出的浸出剂配制装置, 并在该矿山进行试验验证。

## 1 局部强化浸出的必要性

该铀矿床前期工业试验结果表明, 氧化剂对铀的浸出率影响不大, 而将浸出剂 $\rho(H_2SO_4)$ 提高到15~20 g/L可显著提高铀浸出率。在某采区, 当浸出剂 $\rho(H_2SO_4)$ 由9.3 g/L提升至15 g/L时, 局部单元的浸出液铀浓度得到明显提升; 与此同时, 受现有浸出剂配酸采用主管道加酸方式(图1)的影响, 整个采区浸出液中的 $\rho(H_2SO_4)$ 在2个月内由5.8 g/L上升至10.4 g/L。

当余酸较高的浸出液汇入生产系统时, 吸附原液的 $\rho(H_2SO_4)$ 由6.0 g/L升高至7.0 g/L, 使离子交换树脂的工作容量降低, 导致吸附尾液的铀浓度偏高, 已采出铀金属的回收率偏低。另外, 该配酸方式也导致该采区铀金属的酸耗大幅增加, 达1 000 t/tU, 远超强化浸出前的酸耗(350 t/tU)。鉴于此, 有必要对难浸出资源进行选择性强化浸出, 在实现铀资源开发利用的同时有效控制生产成本, 保障整个生产工艺的有序运行。

**收稿日期:** 2024-07-10

**基金项目:** 中国铀业有限公司铀矿冶科研项目(巴彦乌拉铀矿床巴润矿段地浸采铀工业性试验研究)。

**第一作者简介:** 王如意(1982—), 男, 内蒙古呼和浩特人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为地浸采铀。

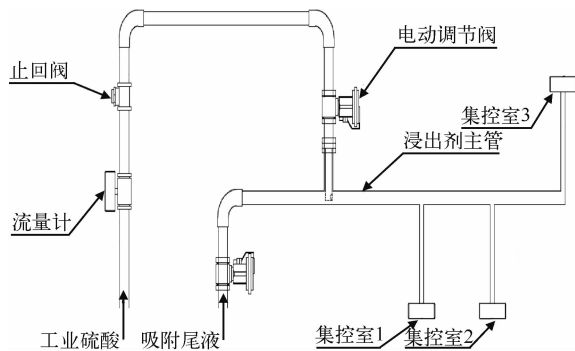


图1 现有浸出剂配制装置(主管统一加酸)

Fig. 1 Existing preparation device of the leaching agent (adding sulfuric acid in main pipe)

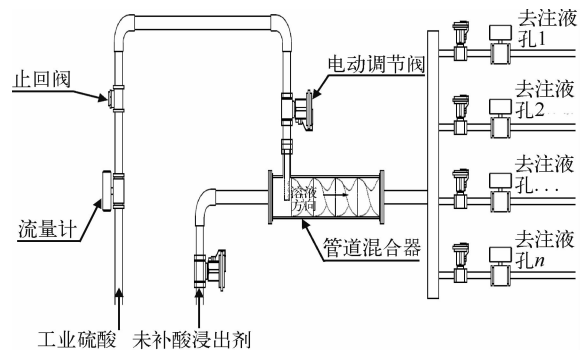


图2 局部强化浸出装置(统一配酸)

Fig. 2 Locally strengthened leaching device (unified acid blending)

## 2 局部强化浸出的浸出剂配制装置

单个注液井的注液量较小(一般小于 $10\text{ m}^3/\text{h}$ ),在浸出液中需要补充的工业硫酸量不超过 $0.07\text{ m}^3/\text{h}$ 。在操作时,不易控制硫酸流量,工业硫酸中夹杂的微量酸泥易使管道堵塞。

为此设计了局部强化浸出装置。在待强化浸出区的集控室内安装一个管道混合器,从集控室内的注液主管引出未补酸的溶液至管道混合器,经计量的工业硫酸从管道混合器上部加入,与未补酸的溶液混合。在操作过程中,可根据强化浸出区域采用统一配酸方案或差异化配酸方案,而灵活调整设备的连接方式。在统一配酸时,向未补酸的溶液中加入所需的工业硫酸,一步配酸到位,补酸后的浸出剂经过计量后直接通过注液支管注入相应注液井(图2);在差异化配酸时,使用该装置对工业硫酸进行稀释(一般稀释10倍以上),再根据单孔酸度需要,将稀释后的硫酸溶液与未补酸溶液在注液支管中按比例混合,然后再注入相应注液井(图3)。

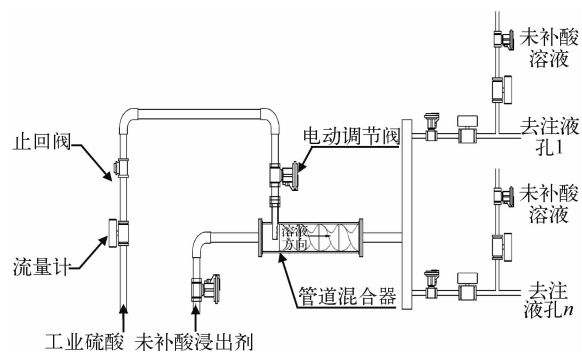


图3 局部强化浸出装置(差异化配酸)

Fig. 3 Locally strengthened leaching device (differentiated acid blending)

## 3 局部强化浸出试验区基本情况

该铀矿某采区采用“五点型”井型,抽注液井间距为 $35\text{ m}$ ,已运行 $2.5$ 年,采区浸采率为 $57.33\%$ ,浸出液 $\rho(\text{U})$ 为 $9.83\text{ mg/L}$ 。该采区共有 $36$ 个浸出单元,其中浸采率低于平均浸采率 $70\%$ 的单元有 $7$ 个,占总浸出单元的 $19.4\%$ ,选择浸采率为 $24.6\%$ 的KC15460单元(图4)进行强化浸出试验,试验单元基本情况见表1。

表1 强化浸出试验单元基本情况

Table 1 Basic situation of the intensified leaching test unit

井号	浸出液 $\rho(\text{U})/(\text{mg/L})$	浸出液 $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)/(\text{g/L})$	浸出液 $Eh/\text{mV}$	浸采率/%	开拓平米轴量/ $(\text{kg}/\text{m}^2)$	保有平米轴量/ $(\text{kg}/\text{m}^2)$
KC15460	10.71	4.80	299	24.6	2.75	2.07

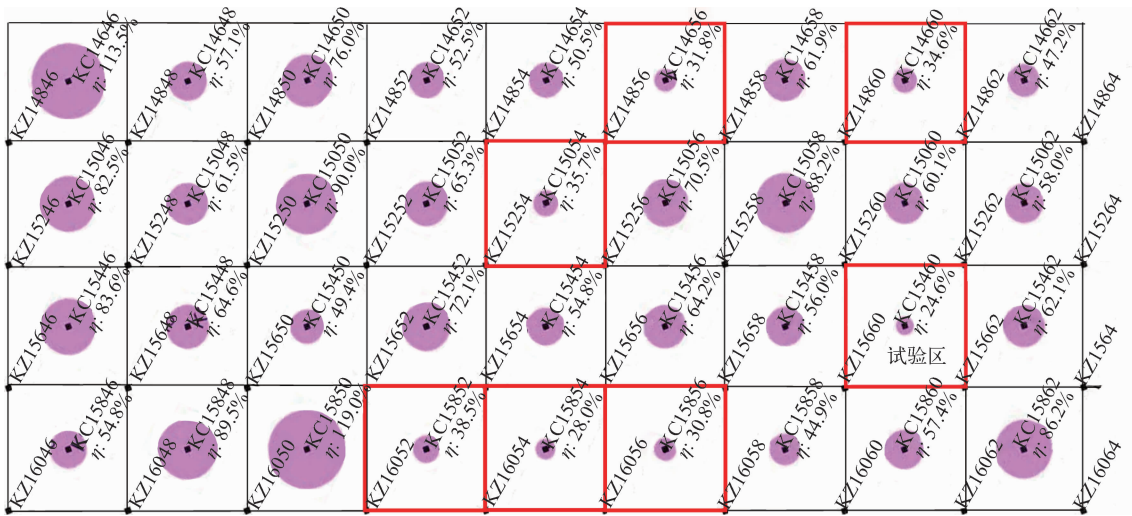


图 4 采区内试验单元平面布置图

Fig. 4 Layout plan of experimental units within mining area

#### 4 局部强化浸出装置运行效果

局部强化浸出装置采用自动化设备控制单孔抽注液量为  $8.0 \sim 8.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , 浸出剂  $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)$  为

$20 \text{ g/L}$ 。从对应的 4 个注液井每隔 1 h 取样 1 次, 连续取样 8 次。测定样品中的硫酸浓度, 结果见图 5。试验过程中单元浸出情况见图 6。

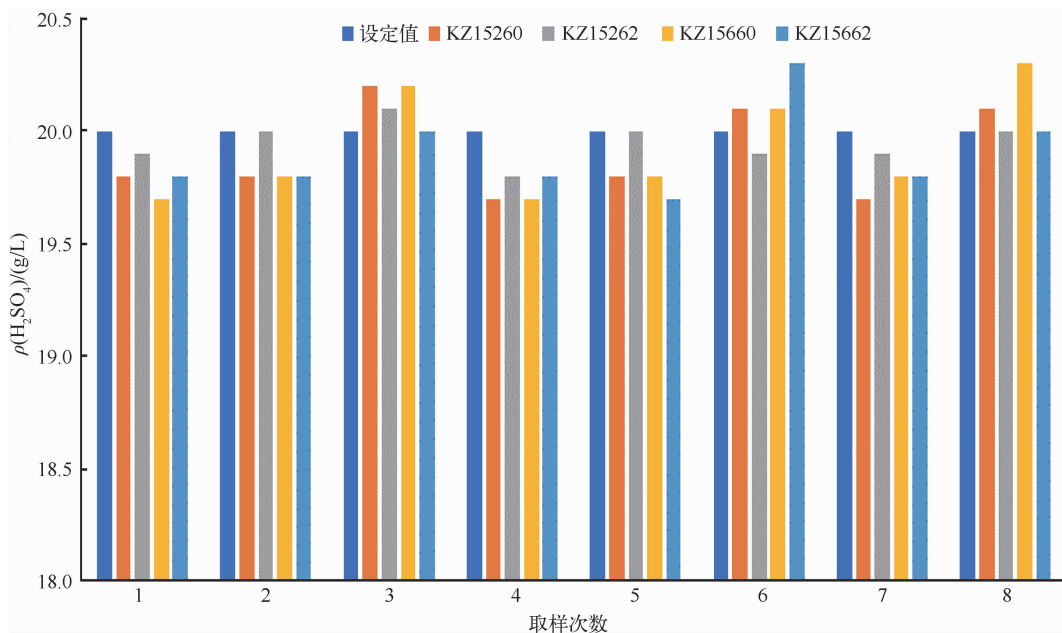


图 5 局部强化浸出注液酸度情况

Fig. 5 Injection acidity of the locally strengthened leaching

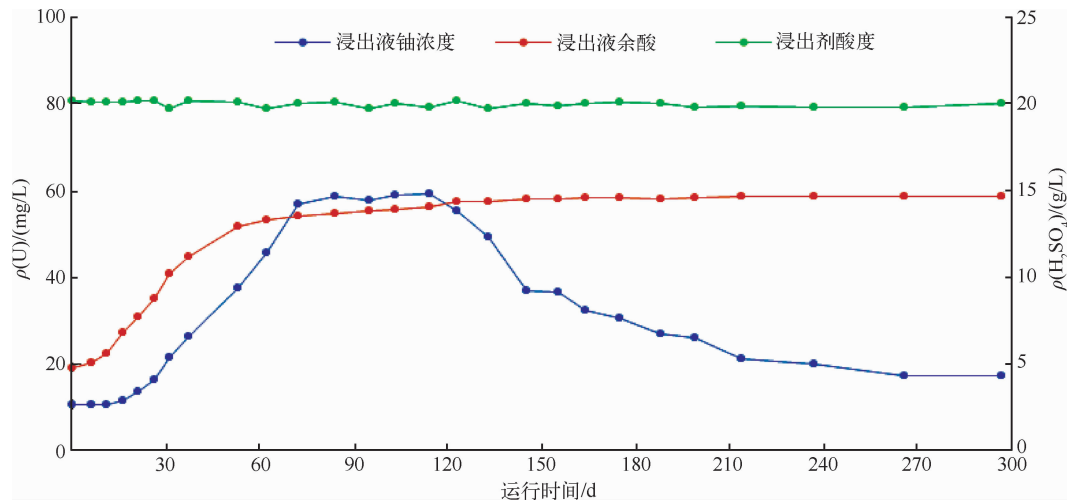


图6 强化浸出单元浸出变化情况

Fig. 6 Changes in the leaching of the strengthened leaching unit

由图5~图6计算可得出:1)8次取样中 $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 单次极差最大值为0.4 g/L(第6次),相对偏差为2.0%,该差异在化学分析方法的允许范围内,表明通过管道混合器能将工业硫酸与溶液混合均匀。2)8次取样的化学分析结果较稳定,实际酸度与设定的浸出剂酸度的最大偏差为0.3 g/L,相对偏差为1.5%,浸出剂的配制稳定可靠。3)强化浸出初期浸出液余酸迅速上升,主要是因为浸出剂配酸的提高;其后浸出液余酸缓慢上升,主要是因为随着浸出的进行单元内的耗酸物质逐步减少。4)局部加酸强化浸出过程中,浸出液铀浓度呈现迅速上升然后逐渐下降趋势,可见该矿石中铀浸出需要的酸度较高,提升浸出剂酸度是提升浸出液铀浓度和浸出效率的有效方法;浸出液铀浓度逐渐下降,主要是试验单元内保有资源量随着浸出过程的进行而减少所导致的,此时高配酸的作用已大幅减弱。5)根据浸出液铀浓度与浸出液量统计,在强化浸出的300 d内,浸出铀金属占单元开拓金属量的28.9%,单元浸采率由24.8%提升到53.7%,铀资源得到有效浸出。6)采用局部加酸方式对一个单元强化浸出,在4注1抽情况下(注液井注入的溶液既流向试验单元也流向周边单元),将局部浸出剂 $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 由9.3 g/L提高到20 g/L后,对应单元浸出液 $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 由4.8 g/L提高到14.7 g/L。以此作为平均值进行计算,预计硫酸消耗和试验单元所在采区余酸仅为整采区强化浸

出的11.1%,局部强化浸出具有明显优势。

## 5 结论

采用局部强化浸出装置,将多个注液井所需硫酸统一配制,再进行二次分配,能有效解决单井加酸时硫酸流量过小而产生的堵塞和加入量不稳定问题;通过连接方式的变化可实现区域性统一配酸和差异化配酸。局部强化浸出方式既可优化局部浸出环境,又避免了浸出液余酸过高问题,是一种实现难浸出铀资源开发的可行方法。

## 参考文献:

- [1] IAEA. In-situ leach uranium mining: An overview of operations[R]. IAEA Nuclear Energy Series NF-T-1.4, Vienna: IAEA, 2016.
- [2] 阙为民,王海峰,田时丰,等.我国地浸采铀研究现状与发展[J].铀矿冶,2005,24(3):113-117.  
QUE Weimin, WANG Haifeng, TIAN Shifeng, et al. Research status and development of in-situ leaching uranium techniques[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2005, 24(3): 113-117 (in Chinese).
- [3] 张飞凤,苏学斌,邢拥国,等.地浸采铀新工艺综述[J].中国矿业,2012,21(S1):9-12.  
ZHANG Feifeng, SU Xuebin, XING Yongguo, et al. New progresses on in-situ leaching of uranium deposit[J]. China Mining Magazine, 2012, 21(S1): 9-12 (in Chinese).

- [4] 苏学斌,杜志明.我国地浸采铀工艺技术发展现状与展望[J].中国矿业,2012,21(9):79-83.  
SU Xuebin,DU Zhiming. Development and prospect of China uranium in-situ leaching technology [J]. China Mining Magazine,2012,21(9):79-83(in Chinese).
- [5] 苏学斌.高效绿色发展推进铀矿大基地建设[Z].中国核工业,2016(11):16-19.
- [6] 李孝君.地浸采铀方法研究及展望[J].绿色科技,2018(6):54-56.  
LI Xiaojun. Present situation and prospect of in-situ leaching uranium mining [J]. Journal of Green Science and Technology,2018(6):54-56(in Chinese).
- [7] 刘江.某铀矿床酸法地浸采铀工艺中几个不利因素的分析[J].南华大学学报(自然科学版),2006(1):77-80.  
LIU Jiang. Unfavourable factors affecting acidic in-situ leaching of uranium in some uranium deposit [J]. Journal of University of South China (Science and Technology),2006(1):77-80(in Chinese).
- [8] 刘红静,高柏,于长贵,等.新疆某铀矿床浸采末期资源赋存位置的研究[C]//中国核学会.中国核科学技术进展报告(第七卷):中国核学会 2021 年学术年会论文集:第 1 册.北京:中国原子能出版社,2021.
- [9] 成弘.地浸矿山二次开发:井场溶浸死角问题研究[C]//中国核学会.中国核科学技术进展报告(第五卷):中国核学会 2017 年学术年会论文集:第 2 册.北京:中国原子能出版社,2017.
- [10] 成弘,刘乃忠.地浸铀矿山的“二次开发”:以通辽钱 II 块铀矿床 C1 采区为例[C]//中国核学会.中国核科学技术进展报告(第四卷):中国核学会 2015 年学术年会论文集:第 1 册.北京:中国原子能出版社,2015:455-461.
- [11] 成弘,徐影,刘乃忠.地浸铀矿山二次开发技术:增强 CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>溶浸效果的技术措施[C]//中国核学会.中国核科学技术进展报告(第五卷):中国核学会 2017 年学术年会论文集:第 2 册.北京:中国原子能出版社,2017:349-354.
- [12] 雷奇峰.酸法地浸采铀步骤与程序规范初论[J].铀矿冶,2005,24(1):19-22.  
LEI Qifeng. Discussion on the mining steps and related program norm in acidic in-situ leaching of uranium [J]. Uranium Mining and Metallurgy,2005,24(1):19-22(in Chinese).
- [13] 王辘鹏.可地浸砂岩型铀矿井型井距优化:以 5 点型和 7 点型为例[J].西部探矿工程,2020,32(9):171-174.  
WANG Zipeng. Optimization of well spacing for leachable sandstone type uranium mine: Taking 5-point and 7-point patterns as examples [J]. West-China Exploration Engineering,2020,32(9):171-174 (in Chinese).
- [14] 刘红静.511 矿床地浸采铀末期溶浸方法的研究[D].抚州:东华理工大学,2018.
- [15] 王如意,阳奕汉,桂增杰,等.内蒙古某砂岩型铀矿地浸采铀技术的高效优化与应用[J].有色金属(矿山部分),2024,76(3):56-64+78.  
WANG Ruyi, YANG Yihan, GUI Zengjie, et al. Efficient optimization and application of in-situ leaching of uranium technology in a sandstone-type uranium deposit in Inner Mongolia [J]. Nonferrous Metals(Mining Section),2024,76(3):56-64+78 (in Chinese).
- [16] 许影,成弘,张万亮,等.某酸法地浸矿山终采区铀资源强化浸出试验研究[J].中国矿业,2022,31(7):147-155  
XU Ying, CHENG Hong, ZHANG Wanliang, et al. Study of enhanced leaching technology for uranium resources in the decommissioned mining area of an acid in-situ leaching mine [J]. China Mining Magazine,2022,31(7):147-155(in Chinese).
- [17] 赵利信,许影,邓锦勋,等.新疆某地退役采区矿石的强化浸出工艺研究[J].中国资源综合利用,2019,37(5):32-35.  
ZHAO Lixin, XU Ying, DENG Jinxun, et al. Study on enhanced leaching process of ore in leaching mining area in a certain area of Xinjiang [J]. China Resources Comprehensive Utilization,2019,37(5):32-35(in Chinese).
- [18] 李海龙,李峰,丁德馨.西北某铀矿山强化地浸实践[J].南华大学学报(自然科学版),2020,34(5):51-57.  
LI Hailong, LI Feng, DING Dexin. Practice on intensified in-situ leaching in a uranium mine in North West China [J]. Journal of University of South China (Science and Technology),2020,34(5):51-57(in Chinese).

- [15] 杨立志,常京涛,李晓剑,等.分层填砾钻孔结构在多层砂岩铀矿床地浸采铀中的应用[J].铀矿冶, 2014, 33(3):121-125+129.  
YANG Lizhi, CHANG Jingtao, LI Xiaojian, et al. Application of layered gravel-filling hole structure for in-situ leaching of multilayer sandstone uranium deposit[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2014, 33(3):121-125+129(in Chinese).

### Study on the Mining Method of Multi-layer Ore for an In-situ Leaching Uranium Mine

HU Rile, LIU Xiaokui, ZHANG Bo, CAO Junpeng, LI Nan, TIAN Zhiyu

(Tongliao Uranium Co., Ltd., CNNC, Tongliao 028000, China)

**Abstract:** For a multi-layer sandstone-type uranium ore in an in-situ leaching uranium mine in Inner Mongolia, four experimental methods of layered injection and layered extraction, layered injection and mixed extraction, mixed injection and layered extraction, mixed injection and mixed extraction were designed. The amount of injected liquid, leaching situation, advantages and disadvantages of each schemes were analyzed. The feasibility of single well layered injection was explored, and the key technology of single well layered extraction was solved. The results show that the layered injection and layered extraction method has the fastest increase in uranium concentration of the leachate, the best leaching effect, and lower construction cost, which has good application and promotion prospects.

**Key words:** in-situ leaching of uranium; sandstone-type uranium deposit; multi-layer ore; mining method; layered mining

(Continued from page 41)

### Leaching Method for Difficultly Leaching Resources in a Acid Leaching Uranium Mine

WANG Ruyi, GUI Zengjie, YANG Yihan, REN Xiaoyu, HAN Junning

(Inner Mongolia Mining Co., Ltd., CNNC, Hohhot 010010, China)

**Abstract:** The in-situ leaching of uranium is influenced by deposit conditions, leaching environments, and various other factors, resulting in a low utilization rate for certain resources. To facilitate the rational development of these resources, a device for preparing leaching agents was designed to enhance the leaching process by increasing the concentration of sulfuric acid in areas where the resources is difficult to leach. The results show that the relative deviation in concentration remains below 1.5%, allowing for precise and stable preparation of acid either regionally or at individual boreholes. By using a 15~20 g/L sulfuric acid solution as a leaching agent, the unit uranium leaching rate of the refractory leaching uranium resources can be increased from 24.8% to 53.7%. The amount of sulfuric acid used and the increase in residual acid are only 11.1% of those used for strengthening leaching results in the entire mining area. This device achieves the leaching of the refractory leaching uranium resources with low consumption of sulfuric acid and has little impact on subsequent hydrometallurgical processes.

**Key words:** in-situ leaching of uranium; local intensification; preparation of leaching agent; enhancing the leaching