

“CO₂+O₂”地浸采铀含矿层防堵技术研究

王亚安,李星浩,姚益轩,原 渊,苏学斌,阙为民,谭亚辉,王嗣晨

(核工业北京化工冶金研究院,北京 101149)

摘要: 某试验采区运行约 200 d,注液井注液压力提高至 1.65 MPa,平均注液量下降了 51.87%,周边含矿层堵塞严重。计算表明,当由天然流场条件转变为抽注浸出流场条件时,地下水流速可快速提高几十、上百倍,水力冲刷作用是抽液井周边含矿层中碎屑析出的动力学条件;浸出液经地表过滤、树脂床吸附后,尾液中含有的矿物碎屑和化学沉淀物在注液井周边含矿层中再沉积,是导致含矿层堵塞的直接原因;矿层堵塞以机械堵塞为主,化学堵塞为辅。根据含矿层最大孔喉直径的研究结果,结合井下电视观察以及浸出液、洗井水中颗粒物粒度、洗井水沉降干渣化学组成分析,确定矿物碎屑主要是黏土粉砂粒级碎屑,化学沉淀物主要有 CaCO₃、MgCO₃、Fe(OH)₃ 及少量 FeCO₃。以“防堵”为切入点,增设了水力旋流器,耦合“自然沉降—旋流分离—机械筛滤”地表固液分离系统,取得了明显防堵效果。

关键词: 地浸采铀;“CO₂+O₂”;含矿层;堵塞;固液分离;水力旋流器

中图分类号: TD853; TB492; TL212 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2024)03-0017-08

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2024.01.07

含矿层堵塞^[1-2]是地浸采铀中常见的技术问题。尽管抽注液井、浸出液进塔前后均有过滤器^[3],树脂床也有一定的过滤功能,但仍不能完全截留浸出液中夹带的矿物碎屑以及溶液和矿石反应产生的化学沉淀物。这些物质在抽注液井周边地层及含矿层中的持续沉淀和积累,导致注液压力升高、抽液井内动水位降低、抽注液量减小。在抽注浸出初期,抽液井周边含矿层中可迁移的矿物碎屑多,堵塞形式主要是机械堵塞,堵塞部位是注液井周边含矿层;在中后期可迁移碎屑少,主要是化学沉淀堵塞,从注液井近井地带沿含矿层纵深、向抽液井近井地带运移。

洗井解堵是恢复钻井产能的主要手段。洗井方法分为化学洗井^[4]、机械洗井^[5]和联合洗井^[6]。为了减少浸出液中夹带的碎屑对离子交换工艺的影响,浸出液被提升至地表后,通常经过集液池/集液罐的初步沉降、袋式过滤器的机械过滤后进入吸附塔;吸附尾液经过滤后注入地下,但含矿层仍存在堵塞情况。近年来,技术人员逐渐意识到

强化地表固液分离、防解堵结合的重要性。新疆一些地浸矿山采用砂滤进行固液分离,取得了显著效果;但砂滤塔体积大,投资高,且设备反冲洗频繁。

某试验采区运行约 200 d,注液井周边含矿层堵塞严重。评估抽注液井周边含矿层堵塞程度,剖析堵塞原因并采取相应解堵措施,优化地表固液分离系统,对缓解含矿层堵塞具有重要意义。

1 试验采区基本情况

1.1 地质与水文地质

试验采区 NE 向长约 350 m,EW 向宽约 400 m。矿体主要赋存于上白垩统姚家组下段砂体中,呈板状、似层状、透镜体状,产状与地层基本一致,倾角小于 5°;含矿层矿化幅度大,钙质砂岩、粉砂质泥岩、泥岩夹层多;矿化岩性以中砂岩、细砂岩为主^[7]。

姚家组下段含水层主要接受地下水的侧向补给,整体由 SW 向 NE 方向径流,顶界埋深为

收稿日期: 2024-01-22

基金项目: 中核集团青年英才项目(地浸采铀新型地表固液分离系统研发及应用)。

第一作者简介: 王亚安(1994—),男,山西介休人,博士,高级工程师,主要从事地浸采铀和化工机械科研工作。

通信作者简介: 原渊(1986—),男,山西长治人,硕士,正高级工程师,主要从事地浸采铀科研和管理工作。

140~330 m,底界埋深为270~430 m,整体厚度为115~191 m,单层砂体厚度为10~65 m。隔水顶板为姚家组下段顶部的紫红色粉砂质泥岩、泥岩,厚度为8~15 m;隔水底板为下白垩统义县组紫红色含砾砂质泥岩、灰绿色凝灰岩,厚度为3~20 m。水文试验表明,C0101抽液井地下水静水位为5.64 m,当水位降深为56.19 m时,稳定抽水量为6.43 m³/h。由此计算,求得过滤器段含矿层渗透系数为0.51 m/d,导水系数为4.25 m²/d。

1.2 钻孔布局及钻孔结构

试验采区共施工了7个抽液井、24个注液井,抽注液井间距30 m,按正六边形布局形成7组抽注浸出单元(图1)。抽注液井最大井深351 m。抽液井裸眼孔径为 $\phi 215$ mm,护壁套管为 $\phi 148$ mm \times 10 mm变 $\phi 100$ mm \times 10 mm UPVC管。注液井裸眼孔径为 $\phi 171$ mm,护壁套管为 $\phi 100$ mm \times 10 mm UPVC管。过滤管采用 $\phi 110$ mm \times 15 mm UPVC打眼加工,长8 m,外包2层尼龙筛网,网眼直径为0.212 mm。沉砂管为 $\phi 100$ mm \times 10 mm UPVC管,固定长度为4 m。注浆固井后采用空压机间歇式抽水洗井。

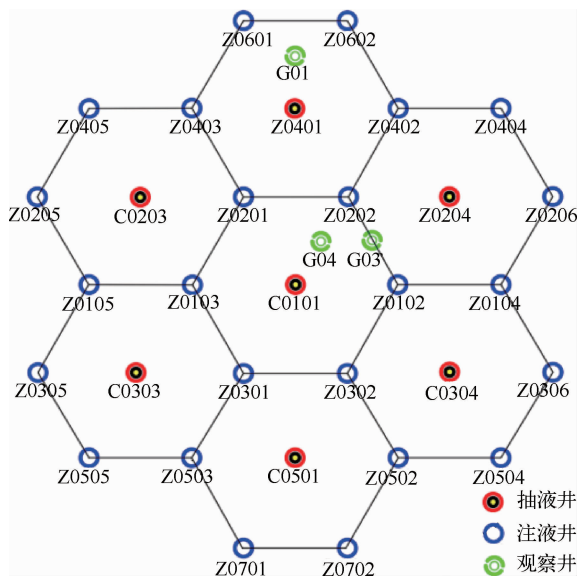


图1 试验采区抽注液井布局

Fig. 1 Layout of wells in the experimental mining area

1.3 采区抽注浸出试验

试验采区采用“CO₂+O₂”浸出。初期仅注入

300 mg/L的O₂,单孔抽液量为6.5 m³/h左右。2个月后注氧量提高到约500 mg/L,同时注入200 mg/L的CO₂;此阶段注液压力持续上升,达到1.60 MPa后,单井注液量开始缓慢下降,抽液量也随之逐步调整。后续阶段再次调整注入CO₂和O₂的浓度,到抽水洗井前,抽注浸出试验持续运行约200 d,注液压力控制在1.65 MPa左右,多数注液井周边含矿层堵塞严重。

2 含矿层堵塞程度

为持续观察抽注浸出前后抽液井内水位变化,评估抽液井堵塞程度,在7个抽液井中安装了Solinst Leverlogger 3001型地下水水位自动记录仪。3个典型抽液井的监测数据见图2。可以看出,7个抽液井抽液量、井内动水位基本稳定,抽液井水位降深普遍较小,表明抽液井及其周边地层没有产生明显的沉淀堵塞。C0304井渗透性最好,抽液量稳定在6.8 m³/h左右,动水位约33.5 m,水位降深约31 m;C0204井渗透性次之,抽液量稳定在5.8 m³/h左右,动水位约55 m,水位降深约41 m。C0101井为采区水文地质试验井,在抽液量大体相当的情况下,动水位比水文地质试验时高13 m;在抽液井周边含矿层没有明显堵塞、抽液量大体相当的情况下,群孔抽注浸出试验抽液井动水位显著高于单井抽水时的动水位。换言之,在水位降深一致的情况下,群孔抽注浸出试验的抽液量要显著大于单井抽水时的抽液量。

浸出初期注液压力上升较快,注液量基本稳定;2个月后注液压力达到1.60 MPa,注液量持续下降。考虑到管道承压能力和注液泵最大输出压力,控制注液压力不超过1.65 MPa。抽水洗井前,全部注液井平均注液量下降了51.87%。

3 堵塞机理研究

3.1 机械堵塞

机械堵塞物多分布在注液井周边含矿层,机械堵塞主要表现为注液压力提高、注液量减少。在水力作用下,由抽液井周边含矿层中失稳产生的、通过浸出液夹带的碎屑,经地表过滤器和树脂床过滤后,仍有部分碎屑存在于尾液中;当尾液从注液井再注入含矿层时,碎屑在周边含矿层沉积和积累,产生机械堵塞。

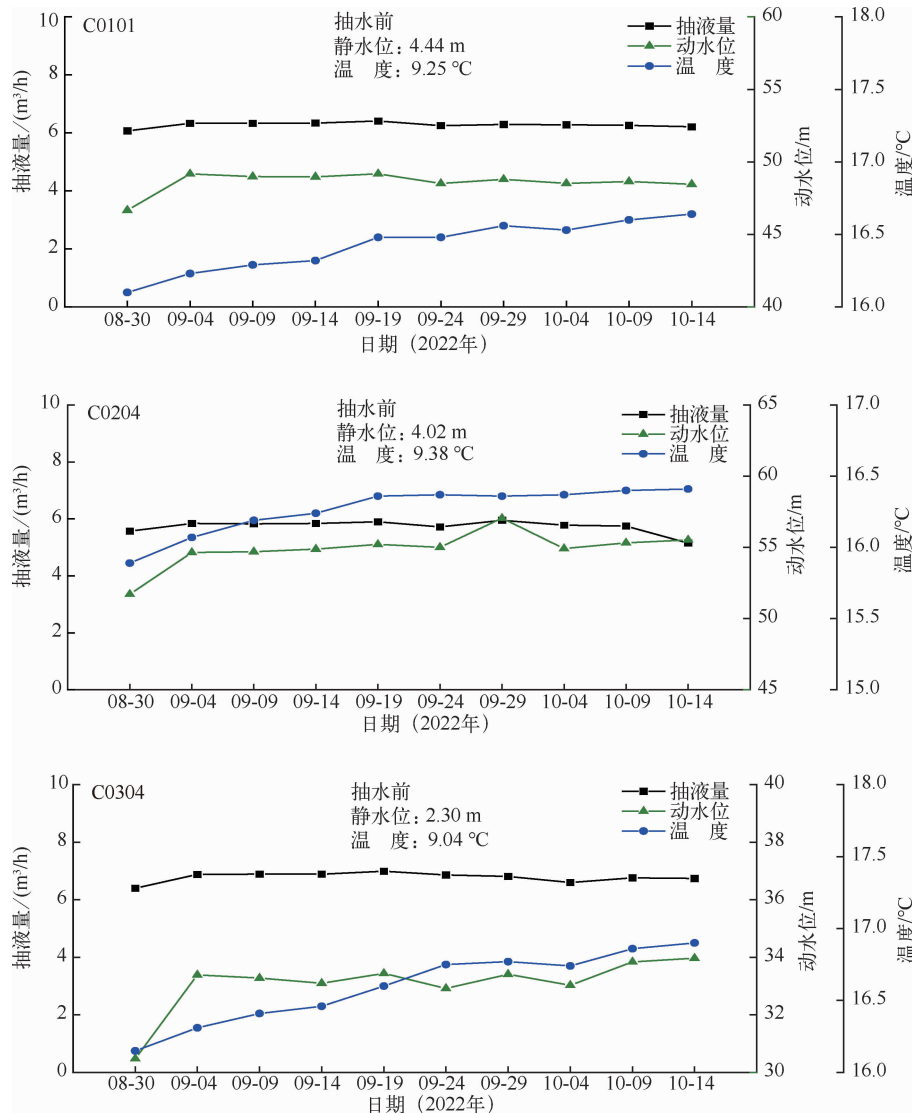


图 2 典型抽液井抽液量与水位记录仪数据

Fig. 2 Extraction flowrate and water level data of typical wells

3.1.1 水力冲刷作用

在天然流场条件下,假设含矿层地下水流速为 5 m/a(0.013 7 m/d)^[8]。当开始浸出时,注液压力约为 0 MPa,抽液井动水位为 50 m,抽注液井间距为 30 m,渗透系数为 0.51 m/d,水力坡度为 1.67,计算得出溶液实际流速为 0.85 m/d,该流速是天然流场条件下地下水流速的 62 倍。随着注液压力的提高,钻井注液量基本稳定,但含矿层已出现堵塞现象。井间距保持不变,假设注液压力为 1.60 MPa,抽液井动水位为 50 m,渗透系数为 0.51 m/d,则水力坡度为 7.0,计算得出溶液实际流速为 3.57 m/d,该流速是地下水流速的 260 倍。若注液压力维持在 1.65 MPa,注液量持

续降低,含矿层渗透性降低,渗透系数按 0.25 m/d 计算,则水力坡度为 7.17,溶液实际流速为 1.79 m/d,该流速是地下水流速的 130.78 倍。

含矿层地下水从天然流场条件转变为抽注浸出流场条件时,流速从 0.013 7 m/d 快速提高几十、上百倍,造成抽液井周边含矿层中失稳碎屑的迁移和析出;失稳碎屑被浸出液夹带,导致注液井周边含矿层堵塞。注液压力不断提升、注液量持续降低就是以机械堵塞为主导导致的结果。

3.1.2 浸出液粒度测试

砂岩铀矿石通常由多种粒径(d_s)的碎屑组成,按照自然粒级标准可将碎屑分为砾石($d_s > 2.0$ mm)、粗砂(2.0 mm $\geq d_s > 0.5$ mm)、中砂

($0.5\text{ mm} \geq d_s > 0.25\text{ mm}$)、细砂($0.25\text{ mm} \geq d_s > 0.05\text{ mm}$)、粉砂($0.05\text{ mm} \geq d_s > 0.005\text{ mm}$)和黏土($d_s \leq 0.005\text{ mm}$)。从云南、内蒙某矿床的含矿层岩石圆柱状样压汞试验结果^[9]可知,砂岩铀矿含矿层岩石最大孔喉直径为 0.032 mm ,也即只有粉砂和黏土细碎屑能在水力作用下迁移。

洗井前,从集控室采取浸出液集合样,分析其中的颗粒物粒度,分析结果(测试仪器为 KB-3A 颗粒计数器^[10])见图 3。可以看出,颗粒物以 $d_s \leq 10\ \mu\text{m}$ 的细碎屑为主,占颗粒物总数的 95.58%。当开始抽注浸出时,浸出液中夹带的粒径稍大碎屑的占比可能更高。

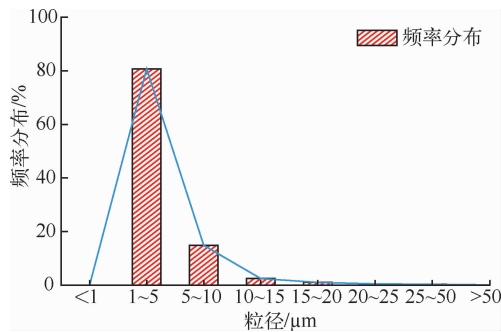


图 3 洗井前集控室浸出液集合样颗粒物粒度

Fig. 3 Particle size of the leachate before well washing

试验采区钻孔过滤器与孔壁之间未充填砾石,理论上认为在水力作用下抽液井井壁可能垮塌掉砂,导致短时间内出现浸出液浑浊、含砂量增大、过滤器压力迅速增高的现象,此时浸出液中会夹带不大于 0.212 mm 、粒径更大的细砂碎屑。从浸出过程对浸出液浑浊度的长期观察可知,浸出液中含有少量细颗粒;但浑浊度总体稳定,试验采区钻孔垮塌掉砂现象少。

3.2 化学沉淀堵塞

3.2.1 洗井水干渣样分析

根据科技部 863 计划“地浸采铀模拟与控制技术”项目^[11]对纳岭沟和钱 II 矿床中性地浸采铀浸出液中生成沉淀物的预测结果,浸出液中的化学沉淀物有 CaCO_3 、 MgCO_3 、 FeCO_3 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 等。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀物呈黄色、棕色或褐色,在抽液井潜水泵、过滤袋截留物、洗井水及其沉降干渣较常见,肉眼易识别。在浸出过程中,含矿层地下水溶解有游离 O_2 , Fe^{2+} 易被氧化成 Fe^{3+} ,水解后生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀。从沉降物干渣化学组分分

析可知,Z0201 干渣样的 Fe_2O_3 明显高于 Z0202 干渣样和浸出试验样,且洗井水呈褐色,系 Fe^{3+} 含量高导致,故其沉降物中含有大量 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (图 4)。浸出液中 CaCO_3 、 MgCO_3 饱和指数(SI 值)一般在 1.5 以上^[12],在溶液中沉淀物呈微晶,粒径通常较小,白色微黄,肉眼不易识别。



图 4 洗井水沉降物干渣照片

Fig. 4 Photos of dry sediments from well washing water

电镜扫描结果(图 5)显示,干渣样形貌以片状及其集合体、细颗粒状碎屑为主,粒径从几微米到几十微米不等,主要是黏土、粉砂碎屑和少量细砂碎屑。片状及其集合体多为黏土矿物,细颗粒则为石英、长石等矿物。

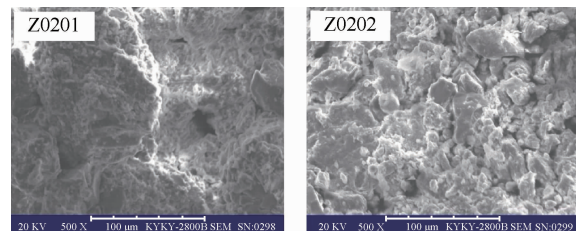


图 5 洗井水沉降物干渣电镜扫描照片

Fig. 5 Scanning electron microscope photos of dry slag settled by well washing water

3.2.2 井下沉淀物观察

在注液井抽水洗井前,采区停止了抽注浸出作业,拔出了部分钻孔的井内设施;静置至少 2 d 后,利用井下电视对多个注液井、抽液井和浸出率观测井进行了观察(图 6)。观察发现,所有注液井井筒内溶液较为浑浊,呈乳白色,都漂浮有大量星点状、团块状、条带状絮凝物,少数井管内壁有环状絮凝物带,过滤器内壁飘挂有丝状、条带状絮凝物,絮凝物多数呈白色、淡黄色、褐色。经过探头升降搅动后,绝大多数絮凝物迅速分散成细小微粒,溶液变得更浑浊,能见度降低。

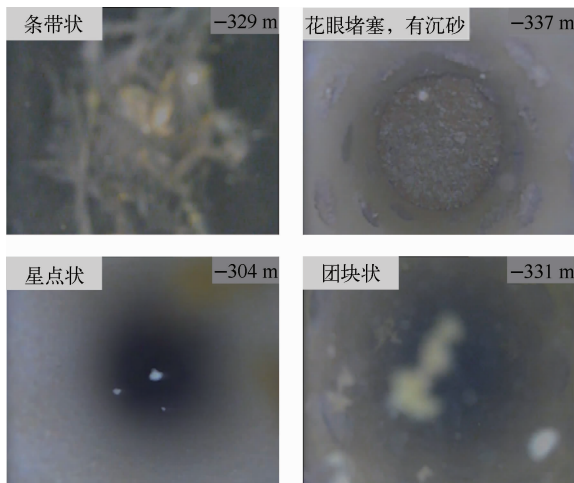


图 6 注液井井下电视视频截图(2023-04)

Fig. 6 Video screenshots of downhole television for liquid injection wells(2023-04)

该试验基地在井场设置了浸出率观测井,位置处于抽液井和注液井、注液井和注液井之间。在浸出率观测井中放入矿样,不同时间取出矿样分析铀浓度及其他离子浓度,作为评价浸出剂运移和井场浸出率等的依据之一。抽液井井下电视(图 7)观察到井筒内溶液及漂浮的絮凝物性状与注液井类似,但程度低于注液井。浸出率观测井没有抽注活动,G04 观测井位于抽注液井连线的中点,G03 观测井为相邻注液井连线中点,所在位置被视为“溶浸死角”^[13],其井筒内也漂浮有絮凝物,且 G04 井内絮凝物明显多于 G03 井(图 8)。据此判断,絮凝物应该是粒度更小(粒径<1 μm)的 CaCO₃、MgCO₃、Fe(OH)₃等化学沉淀及其聚合物,含矿层溶液中也析出了化学沉淀物。

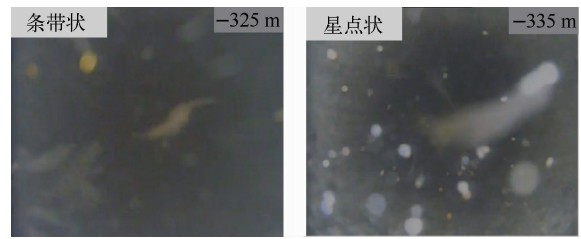


图 7 抽液井井下电视视频截图(2023-04)

Fig. 7 Video screenshots of downhole television for liquid extraction wells(2023-04)

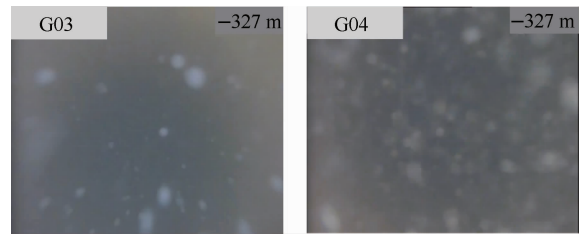


图 8 浸出率观测井井下电视视频截图(2023-04)

Fig. 8 Video screenshots of downhole television for leaching rate observation wells(2023-04)

4 固液分离防堵技术改进

为抽出沉积在井壁和周边含矿层孔隙中的细碎屑和化学沉淀物,解除注液井堵塞,最大限度地恢复注液井产能,选取了 3 组浸出单元(C0101、C0304 和 C0501)的 13 个注液井进行了洗井工作,分析了洗井水中颗粒物的粒度。优选了一种水力旋流器,与集液罐和袋式分离器组合形成了地表固液分离系统以减轻含矿层堵塞,降低洗井频率。

4.1 洗井水分析和洗井效果评价

洗井水激光粒度分析结果见图 9。可以看

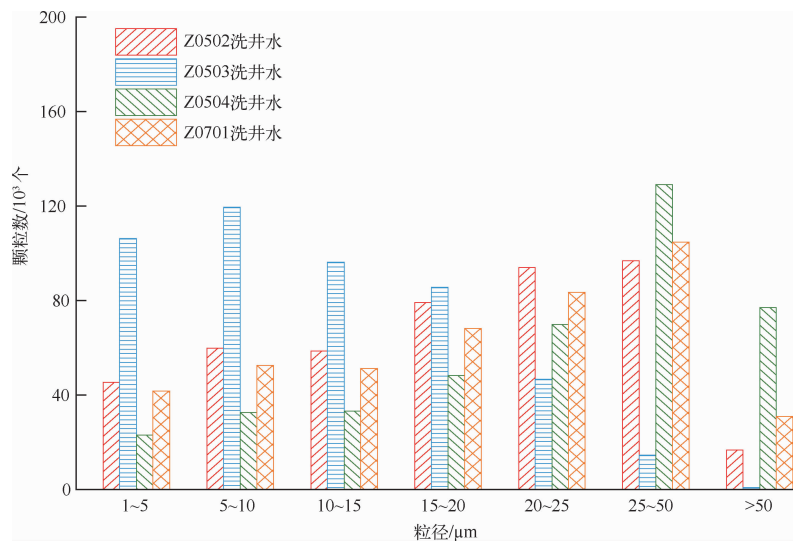


图 9 洗井水激光粒度分析结果

Fig. 9 Results of laser particle size analysis for well washing water

出,洗井水中的颗粒物在 1~50 μm 粒级范围均有分布,少数颗粒直径超过 50 μm 。粒径稍大的颗粒占比高出浸出液集合样中相应直径颗粒的占比,部分颗粒直径也大于含矿层岩石最大孔喉直径(32 μm)。直径超过 32 μm 的大部分颗粒疑似

为注液井周边含矿层自身的碎屑。

洗前后的注液量见表 1,洗井对注液量的恢复效果较好。但由于各阶段注液压力不同、各部位堵塞程度和溶液分配差异,洗井后的注液量并不能完全反映单井注液能力和洗井效果。

表 1 注液钻井洗井效果评估

Table 1 Evaluation of the effect of liquid injection well after well washing

钻井编号	井深/m	最大注液量/(m^3/h)	洗井前注液量/(m^3/h)	注液量降幅/%	洗井后注液量/(m^3/h)
Z0701	348.5	0.99	0.92	7.07	1.93
Z0702	351.0	2.06	1.35	34.47	1.88
Z0503	339.5	1.72	0.84	51.16	1.46
Z0502	351.0	1.76	0.60	65.91	1.54
Z0504	344.0	2.41	1.38	42.74	2.17
Z0301	344.0	1.88	1.07	43.09	1.92
Z0302	348.0	1.20	1.09	9.17	2.35
Z0306	340.0	2.93	1.17	60.07	1.26
Z0102	342.0	2.06	0.53	74.27	1.68
Z0104	343.5	2.09	0.46	77.99	1.85
Z0201	338.0	2.37	0.71	70.04	1.21
Z0202	345.0	2.50	1.13	54.80	1.85
Z0103	342.0	2.11	0.81	61.61	1.35

4.2 新型地表固液分离系统搭建与应用

4.2.1 地表固液分离系统搭建

从地表进行固液分离是预防含矿层堵塞的必然选择,当前铀矿冶领域使用较多的固液分离技术主要基于过滤原理。工业上常见的固液分离设备还有重力分离器、惯性分离器、水力旋流器、真空过滤机、纳滤膜过滤装置等。其中,水力旋流器结构紧凑,无运动部件,工作原理简单,在诸多行业应用广泛^[14-17],其常规结构由切向入口、筒体、锥体、溢流口和底流口组成(图 10)。

水力旋流器的使用效果主要取决于固液两相间的密度差。采用“倒出法”测得该采区浸出液集合样密度为 1.03 g/cm^3 ;而黏土、粉砂的密度范围一般为 1.4~2.0 g/cm^3 。固液密度比大于 1.1~1.2,则可用水力旋流器进行固液分离^[18];本例固液密度比为 1.35~1.94,理论上可将水力旋流器引入地浸采铀地表固液分离流程。为此,根据处理量与溶液粒径分布,初步选择了一种 $\phi 377$ mm 的水力旋流器,并结合试验采区实际,建立了地浸采铀地表固液分离系统及方法,耦合“自然沉降—旋

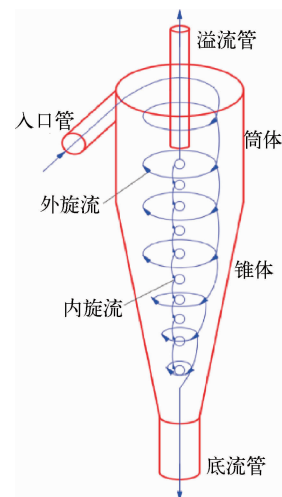


图 10 水力旋流分离器结构和工作原理示意图
Fig. 10 Schematic diagram of the structure and working principle of a hydrocyclone separator

流分离—机械筛滤”作用于一体,以达到强化地表固液分离性能的目的。新型地表固液分离系统由两级集液罐、水力旋流器和袋式过滤器组成(图 11)。

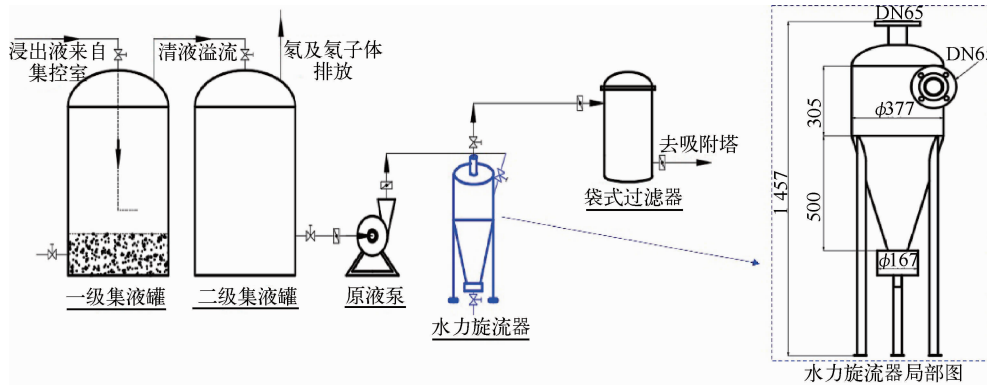


图11 新型地表固液分离系统

Fig. 11 New surface solid-liquid separation system

新型固液分离工艺流程:浸出液先流入第一级集液罐,然后自溢流管溢流至第二级集液罐;为防止浸出液冲击卷扬底部固体,伸入到第一级集液罐的管路底部通过弯头将竖直流转为水平流;当第二级集液罐充至半罐时,打开原液泵、水力旋流器进口管和溢流管阀门,流体便从第二级集液罐底部的出口流出,并高速泵入到水力旋流器;固液两相在水力旋流器中分离,分离后的上清液自旋流器溢流口输送至袋式过滤器进行过滤。

4.2.2 地表固液分离系统应用效果

新型地表固液分离系统实现了稳定连续运行,水力旋流器底部分离出了肉眼可见的颗粒物,顶部溢流管流出的液体较为清洁。在相近运行条件下,采用新型固液分离系统后,系统注液压力增长缓慢,2个月左右注液压力增长至1.26 MPa。水力旋流器发挥了重要的分离作用,缓解了机械堵塞,延长了袋式过滤器滤袋的使用寿命。新系统应用后,原液袋式过滤器滤袋更换频率由每7天3次降低为每7~10天1次。

5 结论

1)研究期内抽液井的抽液量和动水位基本稳定,注液井的注液压力升高、注液量下降(平均注液量下降51.87%),这表明抽液井周边含矿层无明显堵塞,注液井周边含矿层出现了严重堵塞。含矿层溶液中含有较多的CaCO₃、MgCO₃、Fe(OH)₃等絮凝物,这可能是含矿层堵塞的主因,并导致钻井抽注液量的减小。

2)注液井周边的含矿层堵塞物源自浸出液中夹带的细碎屑,含矿层堵塞以机械堵塞为主,主要成分是粉砂黏土粒级矿物碎屑,伴有少量化学沉

淀物。

3)水力旋流器用于地浸采铀地表固液分离系统中,可有效减缓袋式过滤器的运行压力,降低滤袋更换频率,提高总体分离效率。耦合“自然沉降—旋流分离—机械筛滤”的新型地表固液分离系统应用效果较好,后续将对水力旋流器进行结构优化,进一步提升其分离性能。

参考文献:

- [1] 刘石玉,刘金辉,周义朋,等.地浸采铀过程中含矿层堵塞特征研究[J].有色金属(冶炼部分),2022(8):65-75.
- [2] 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.
- [3] 周义朋,黎广荣,徐玲玲,等.地浸采铀钻孔过滤器对溶液渗流影响的数值模拟[J].东华理工大学学报(自然科学版),2018,41(4):301-306.
- [4] 李栋,苗彦平,许双龙,等.确定油井化学药剂洗井工艺参数的新方法[J].长江大学学报(自然科学版),2019,16(4):31-33+5.
- [5] 李建东,原渊,利广杰,等.空化射流洗井方法在地浸采铀中的应用[J].铀矿冶,2012,31(2):70-73.
- [6] 冯亿年.多种方法联合洗井增大供水井出水量的实例[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007(8):6-8.
- [7] 任锦荣,夏毓亮,张振强,等.松辽盆地钱家店铀矿床地浸开采水文地质条件研究[J].铀矿冶,2022,41(1):21-29.
- [8] 李胜祥.松辽盆地地质演化史与砂岩型铀矿找矿方向研究[D].北京:核工业北京地质研究院,2002:146-148.
- [9] 姚益轩,王亚安,胥国龙,等.地浸采铀钻孔过滤器建造与过滤机理研究[J].铀矿冶,2023,42(3):17-23.

- [10] 高尚, 廖文胜, 王立民, 等. 颗粒计数器在地浸采铀中的应用研究[J]. 铀矿冶, 2022, 41(2): 132-136.
- [11] 牛玉清, 闻振乾, 姚益轩, 等. 国家高技术研究发展计划(863计划)课题验收报告[R]. 中华人民共和国科学技术部, 2016: 119-157.
- [12] 原渊, 江国平, 廖天伟, 等. 地浸采铀碳酸钙结垢主要影响因素研究[J]. 中国矿业, 2019, 28(11): 128-130.
- [13] ZHANG C, XIE T T, TAN K X, et al. Hydrodynamic simulation of the influence of injection flow-rate regulation on leaching range [J]. Minerals, 2022(12): 787.
- [14] 曾涛, 刘帅, 柳忠彬, 等. 水力旋流器在油田采出液应用的研究进展[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(24): 10190-10198.
- [15] 季安坤, 姜程阳, 王丽娟, 等. 水力旋流器在铁尾矿选磷工艺中的应用[J]. 矿山机械, 2022, 50(12): 40-43.
- [16] 张俊鹏, 黄卫, 董亚康, 等. 高浓度含砂废水旋流器分离效果试验研究[J]. 长江科学院院报, 2022, 39(8): 140-144.
- [17] 吴泽洲, 李永峰, 王丽娟, 等. 水力旋流器在尾矿处理中的应用[J]. 有色冶金设计与研究, 2022, 43(2): 10-13.
- [18] 陈云富. 旋转流场中颗粒运动与分布的特性研究[D]. 南京: 东南大学, 2016: 77-82.

Preventing Blocking Technology of Ore-bearing Layers in “CO₂ + O₂” In-situ Leaching of Uranium

WANG Ya'an, LI Xinghao, YAO Yixuan, YUAN Yuan, SU Xuebin, QUE Weimin,
TAN Yahui, WANG Sichen

(Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, Beijing 101149, China)

Abstract: Blockage of ore bearing layers is the most common technical problem in in-situ leaching of uranium. A certain experimental mining area has been operating for about 200 days, and the injection pressure of the injection well has increased to 1.65 MPa, and the average injection flow rate has decreased by 51.87%, and serious blockage has occurred in the surrounding ore-bearing layers. The calculation shows that when the natural flow field conditions are transformed into the leaching flow field conditions, the groundwater flow velocity can be rapidly increased by tens to hundreds of times. Hydraulic erosion is the dynamic condition for the migration and precipitation of debris in the ore-bearing layers around the pumping well. The mineral debris and chemical precipitation carried in the leaching solution, which are retained in the tail liquid after surface filtration and resin bed adsorption, are re-deposited and accumulated in the ore bearing layer around the injection well, which is the direct cause of its blockage. During the research period, mechanical blockage was the main factor, accompanied by chemical precipitation blockage. Based on the research results of the maximum pore throat diameter of previous ore bearing layers, combined with underground television observation, the particle size of the leaching solution, well washing water, and the chemical composition analysis of the settling dry residue of the well washing water, it is determined that the mineral debris is mainly clay powder sand particle level debris, and the chemical precipitation is mainly CaCO₃, MgCO₃, Fe(OH)₃, with a small amount of FeCO₃. For this reason, with the goal of “preventing blocking”, a hydrocyclone separator has been added. The surface solid-liquid separation system coupled with “natural sedimentation-hydrocyclone separation-mechanical screening” has achieved obvious results, which is expected to be popularized and applied after further research.

Key words: in-situ leaching of uranium; “CO₂ + O₂”; ore-bearing layers; blockage; solid-liquid separation; hydrocyclone separator