

内蒙古某铀矿床东西部采区浸采率差异及其影响因素

任晓平,王如意,赵海军,张传飞,何斌,梁大业,乔鹏,周意如

(中核内蒙古矿业有限公司,内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 浸采率不仅是衡量原地浸出效率的重要指标之一,也是衡量其技术水平的重要依据。针对内蒙古某铀矿床东部和西部采区浸采率差异较大问题,系统分析了该矿床东部与西部采区地质、水文地质特征、采区开拓工艺及运行模式。结果表明:紧贴于含矿含水层隔水底板产出的矿体,比“悬空”状产出的矿体更有利于矿层中铀的浸出;该矿床由西到东渗透系数逐渐增大,在渗透系数最有利区间(1~10 m/d)内,渗透系数1~5 m/d比5~10 m/d更有利于矿层中铀的浸出,渗透系数过大不利于铀浸出;与东部采区相比,西部采区采取独立酸化,且浸出剂酸度提升至14 g/L,将U(IV)氧化为U(VI)的同时,使含矿含水层处于有利于铀浸出的化学环境,浸出效果较好。研究成果可为同类砂岩型铀矿地浸提供借鉴。

关键词: 砂岩型铀矿;地浸采铀;浸采率;浸出效果;渗透系数;空间差异;影响因素

中图分类号: TL212;P619.14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2026)02-0023-11

DOI: 10.13426/j.cnki.yky.2025.08.05

采用地浸工艺开采砂岩型铀矿具有开采成本低、见效快、环境污染小等优势。酸法地浸采铀采用酸性试剂做浸出剂,硫酸是最常用的酸性浸出剂。含硫酸的浸出剂注入含矿含水层后,在水力梯度作用下沿含矿层孔隙运移,改变含矿含水层的地球化学环境,使之达到铀的浸出条件,铀被溶解生成硫酸铀酰,并迁移至抽出井^[1-2]。

地浸采铀浸采率是指在地浸采铀过程中,实际浸出并回收的铀金属量占采区开拓所确定的铀金属储量的百分比,它是衡量地浸采铀工艺效率和资源利用程度的重要指标。地浸采铀已成为中国天然铀生产的主要方法,矿山浸采率一般设计为75%;近几年,考虑到矿床质量,个别地浸采铀矿山将浸采率设计为70%。哈萨克斯坦酸法地浸矿山设计铀浸采率为90%,远高于中国的75%和70%^[3-4]。对于资源禀赋条件好的砂岩型铀矿,资源回收率可达到设计浸出率;但对于资源禀赋条件差、赋存条件复杂的砂岩型铀矿,浸采率低、回收

周期长。

内蒙古某铀矿床采区开拓分为东部采区与西部采区,当前东部、西部采区浸采率存在显著差异。笔者对东部、西部采区的地质、水文地质条件、采区开拓工艺及生产运行模式展开研究,分析浸采率存在差异的原因,以期为同类型铀矿开采提供一定参考。

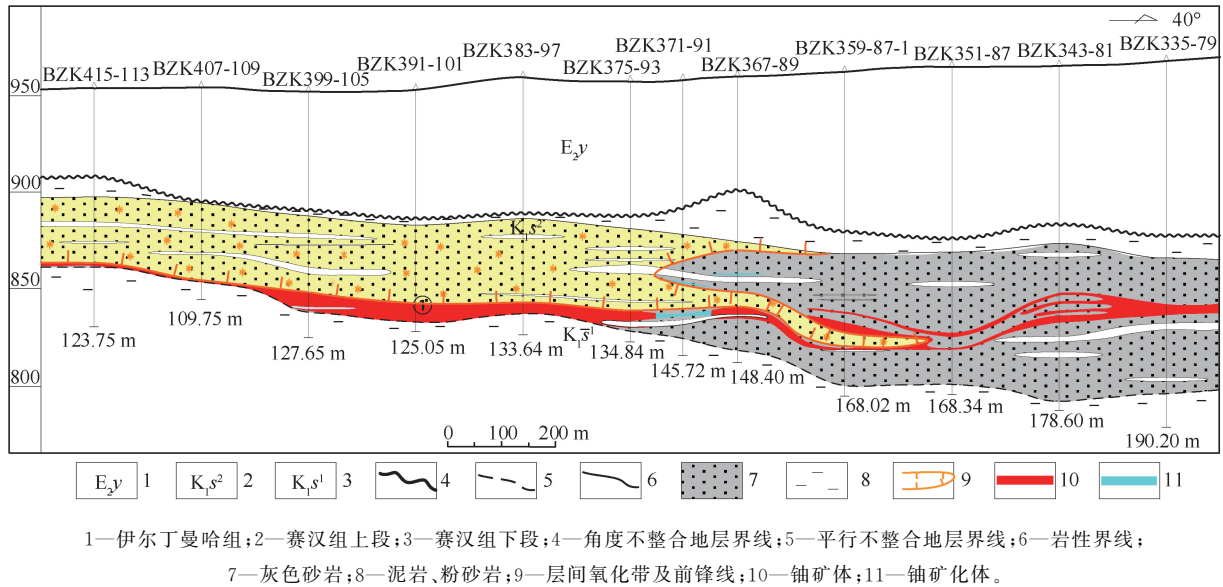
1 矿床地质、水文地质概况

1.1 矿床地质概况

该矿床位于二连盆地马尼特坳陷,处在盆地中央地势相对低洼地带内,地势呈南北两侧高、中部低、北东部略高、向南及西南部缓缓降低特征,海拔高程为959.00~970.00 m,最大高程差为11 m,总体地形平坦^[5-12]。根据钻孔揭露资料,自下而上揭露地层有下白垩统赛汉组下段(K_1s^1)、赛汉组上段(K_1s^2)、古近系伊尔丁曼哈组(E_2y)。其中,赛汉组上段是主要赋铀层位^[13-20],矿体均产于赛汉组上段古河谷砂体中,一般呈单层产出(图1)。

收稿日期: 2025-08-14;修回日期: 2025-10-09

基金项目: 中核铀业青年创新基金项目(NKLUR-2024-QN-013)

图1 内蒙古某铀矿床矿体走向剖面图^{[20]58}Fig. 1 Strike profile of the ore body of a uranium deposit in Inner Mongolia^{[20]58}

1.2 矿床水文地质概况

该矿床范围内含水岩组单一,主要为碎屑岩类含水岩组。矿床地下水主要接受北东邻区地下水的侧向补给,其次有北西和南东的侧向微弱补给,地下水总体从北东向南西缓慢径流,最终泄于矿床南西部。含矿含水层由赛汉组上段辫状河砂

体组成,结构疏松,填隙物以黏土矿物为主,具有稳定的隔水顶底板,矿体主要赋存于其中下部和底部。根据图1及区域水文地质条件,得到该铀矿床矿体走向水文地质剖面示意图(图2),自南西向北东,含矿含水层厚度增大,水位埋深加大,承压水头增高。

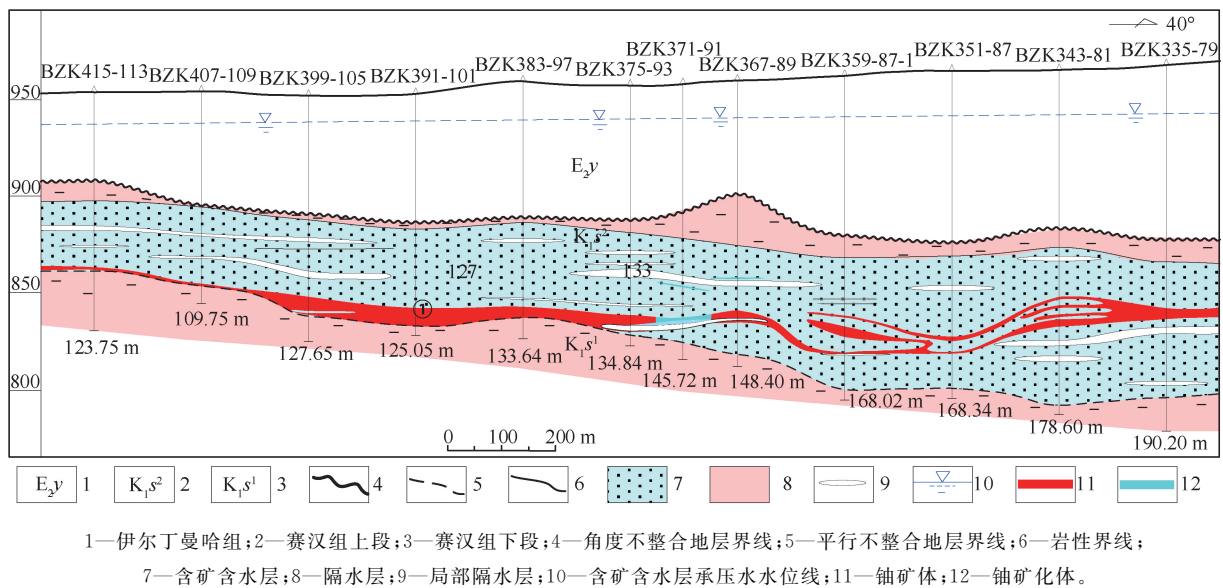


图2 内蒙古某铀矿床矿体走向水文地质剖面示意图

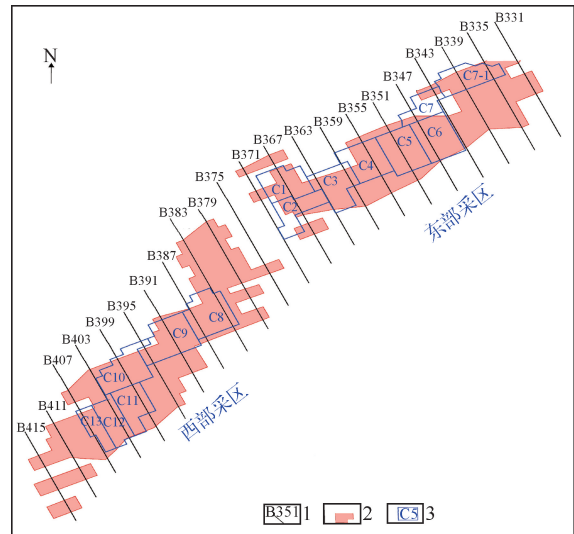
Fig. 2 Hydrogeological profile of the ore body of a uranium deposit in Inner Mongolia

2 矿床东部采区与西部采区浸采率特征

根据矿体的展布特征,矿体在 B375~B371 线因不连续而分成 2 个矿段(东部矿段与西部矿段),B371 线以东为东部矿段,B375 以西为西部矿段(图 3)。根据砂体颜色可宏观判断采区所处的氧化还原环境,B371 线以西,矿层上部以黄色氧化砂体为主;B371 线以东,黄色氧化砂体厚度变薄,至 B351 线以东(C5~C7-1 采区),矿体上下均为灰色还原砂体(图 1)。

当前共计开拓 14 个采区,其中东部矿段 8 个采区(简称东部采区),西部矿段 6 个采区(简称西部采区),自 2015 年陆续生产。东部采区较西部采区投运时间长,浸采率整体较西部采区低(图 4)。同期运行数据对比分析表明,西部采区运行第 1 年、第 2 年、第 3 年的平均浸采率分别为 27.34%、43.52%、48.40%,东部采区运行第 1 年、第 2 年、第 3 年的平均浸采率分别为 12.50%、26.66%、34.11%,运行同期西部采区浸采率高于

东部采区浸采率(图 5)。



1—勘探线及编号;2—矿体范围;3—采区开拓边界及编号。

图 3 内蒙古某铀矿床采区开拓位置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the mining area of a uranium deposit in Inner Mongolia

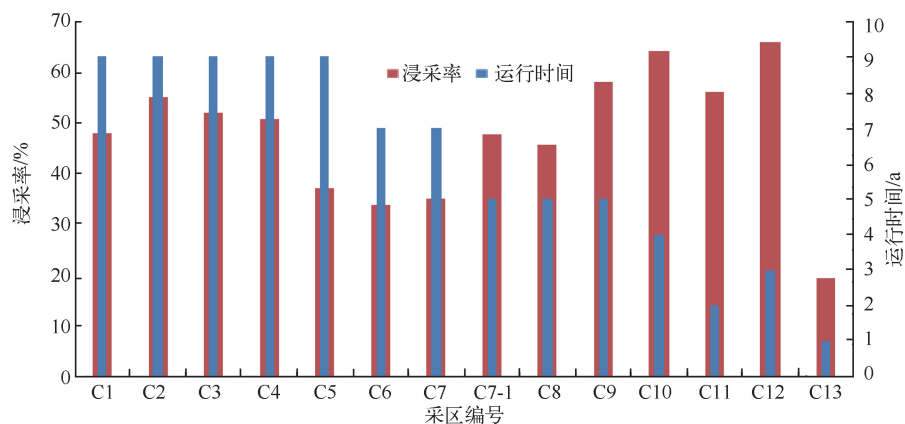


图 4 内蒙古某铀矿床采区当前浸采率对比

Fig. 4 Comparison of the current leaching rate of a uranium deposit in Inner Mongolia

3 矿床东西部采区地质、水文地质特征

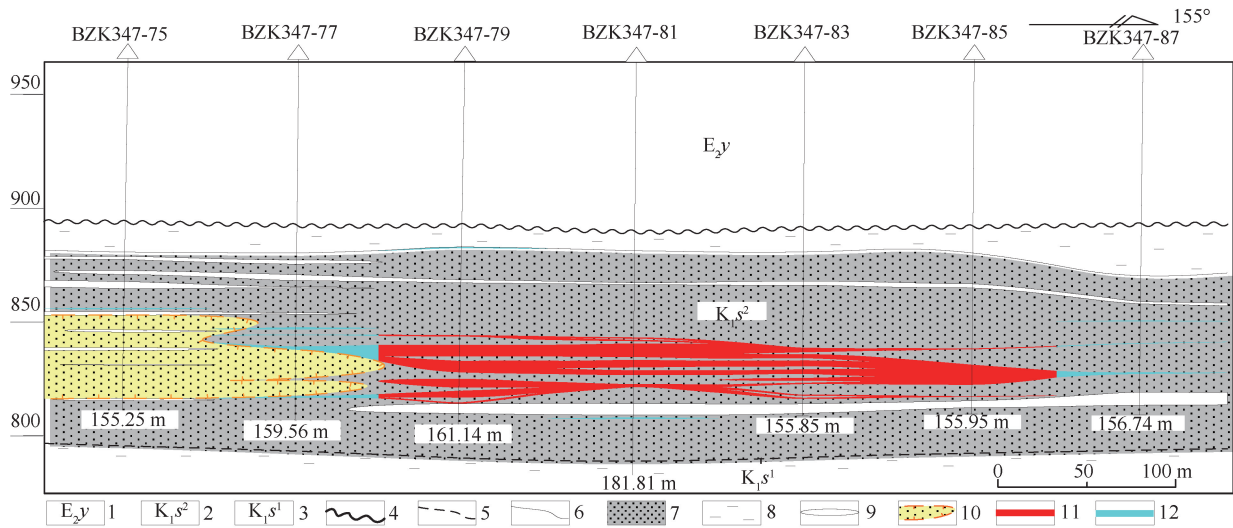
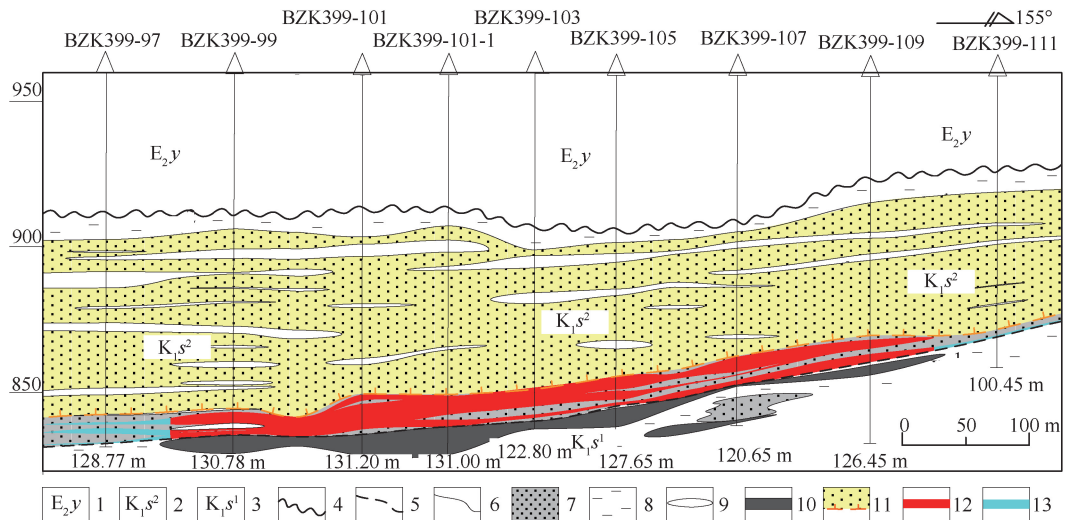
3.1 地质特征对比

3.1.1 矿体的空间分布特征

矿体的空间展布受氧化带的控制作用明显。东部采区岩石地球化学环境偏还原,氧化砂体厚度为 0~10 m,C1 至 C7-1 采区氧化砂体(图 1 中黄色砂体)厚度由西向东逐渐减小,氧化强度逐渐变小;C5 至 C7-1 采区均为还原砂体(图 1 中灰色

砂体)。矿体位于氧化前锋线下翼与卷头部位,呈“悬空”状产出(图 1、图 5),一般由 2~4 个块段组成。

西部采区氧化带厚度较大,含矿含水层上部已完全氧化,仅在底部存在薄层灰色砂体(图 1、图 6)。氧化砂体厚度为 40~45 m,矿体紧贴底板,以板状赋存于底板之上灰色砂体中,产状与地层产状基本一致(近水平状),且矿体只有 1 层。

图 5 东部 C6、C7 采区 B347 号勘探线剖面图^{[20]59}Fig. 5 Profile of exploration line B347 in the eastern C6 and C7 mining areas^{[20]59}图 6 西部 C10、C11 采区 B399 号勘探线剖面图^{[20]59}Fig. 6 Profile of exploration line B399 in the western C10 and C11 mining areas^{[20]59}

3.1.2 矿体厚度变化特征

对东西部采区开拓钻孔矿体厚度进行了统计(表 1), 其中东部采区矿体厚度为 0.02~22.90 m, 平均矿体厚度为 9.05 m, 变异系数为 46.97%; 西部采区矿体厚度为 0.10~14.00 m,

平均矿体厚度为 6.18 m, 变异系数为 54.03%。与西部采区相比, 东部采区矿层厚度大, 稳定性好。从矿体厚度等值线图(图 7)可看出, 西部矿体厚度以 2~8 m 为主, 无突变部位; 东部矿体厚度以 6~12 m 为主。

表 1 东西部采区矿体矿化特征

Table 1 Mineralization characteristics of ore body in the eastern and western mining areas

参数	东部采区				西部采区			
	变化范围	平均值	均方差	变异系数/%	变化范围	平均值	均方差	变异系数/%
厚度/m	0.20~22.90	9.06	4.25	46.96	0.10~14.00	6.18	3.34	54.03
品位/%	0.010~0.063	0.018	0.007	38.54	0.010~0.148	0.025	0.017	66.63
平米铀量/(kg/m ²)	0.04~9.96	3.20	1.74	54.52	0.02~11.21	2.83	1.69	59.75

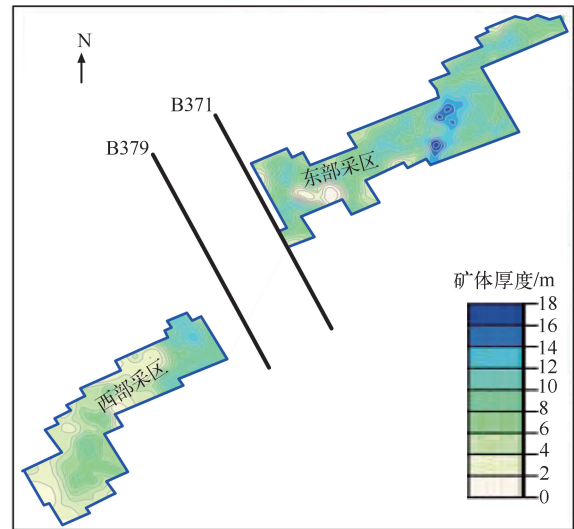


图 7 东西部采区矿体厚度等值线图
Fig. 7 Ore body thickness contour diagram in the eastern and western mining areas

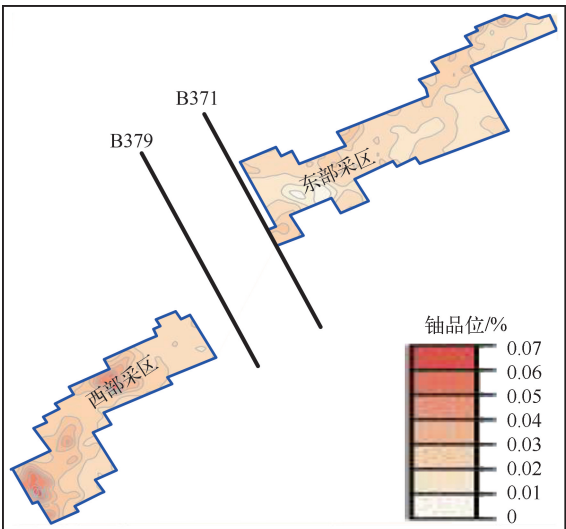


图 8 东西部采区矿体品位等值线图
Fig. 8 Ore body grade contour diagram in the eastern and western mining areas

3.1.3 矿体品位变化特征

从东西部采区开拓钻孔品位统计结果(表 1)及品位等值线图(图 8)可以看出,东部采区矿体铀品位为 0.010%~0.063%,平均矿体铀品位为 0.018%,变异系数为 38.53%;西部矿体铀品位为 0.010%~0.148%,平均矿体铀品位为 0.025%,变异系数为 66.63%。东部矿体比西部矿体平均铀品位低,但品位变化较小。

3.1.4 矿体平米铀量变化特征

对该矿床采区开拓钻孔平米铀量进行统计(表 2、图 9)。结果表明:东部采区矿体平米铀量为 0.04~9.96 kg/m²,平均矿体平米铀量为 3.20 kg/m²,变异系数为 54.52%;西部采区矿体平米铀量为 0.02~11.21 kg/m²,平均矿体平米铀量为 2.83 kg/m²,变异系数为 59.75%。东部采区比西部采区的平米铀量高,平米铀量大于 2 kg/m²的区域呈带状处于矿体中部,展布方向与矿体方向基本一致。

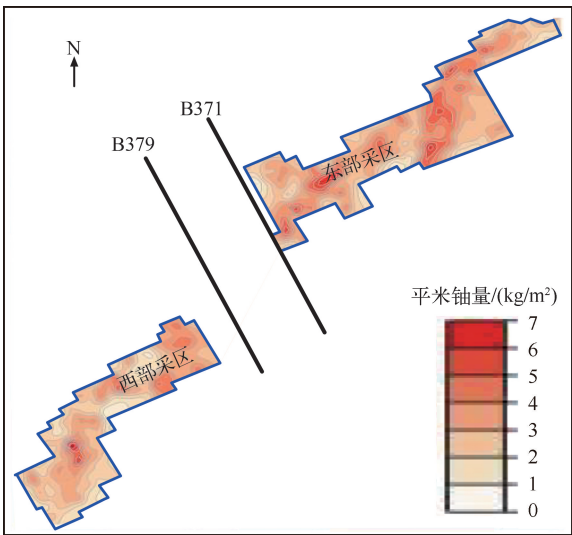


图 9 东西部采区矿体平米铀量等值线图
Fig. 9 Contour diagram of the uranium amount per square meter of the ore body in the eastern and western mining areas

3.1.5 地质条件研究结果

西部采区含矿含水层的氧化强度大于东部采区含矿含水层的氧化强度,西部采区有利于铀的浸出;东部采区矿体呈“悬空”状产出,而西部采区的矿体紧贴于含矿含水层隔水底板。当矿体位于不透水层之上时,浓度较大的浸出剂因重力向下移动,能让矿体与溶浸液充分接触,降低试剂消耗^[21]。结合当前东西部采区的浸采效果,矿体紧贴于含矿含水层隔水底板较“悬空”状产出更有利于铀的浸出。与东部采区相比,西部采区矿体埋深浅、品位高,更有利于铀的浸出;但西部采区矿体厚度相对偏小,平米铀量相对偏低。

3.2 水文地质特征对比

3.2.1 含矿含水层厚度特征

含矿含水层厚度为 40~100 m,其中东部采区厚度为 60~100 m(平均厚度 75.70 m);西部采区厚度为 40~70 m(平均厚度 63.18 m);含矿含水层向南西角相对变薄,整体呈现从西到东含矿含水层厚度增加(图 10)。根据《地浸砂岩型铀矿水文地质勘查规范》(EJ/T 1194—2005)^[22]

中的地浸砂岩型铀矿水文地质条件评价方法(表 2),含矿含水层厚度 10~80 m 是地浸不利区段,东部采区中部存在不利区段,评价等级为较有利-不利,西部采区评价等级为有利-较有利。

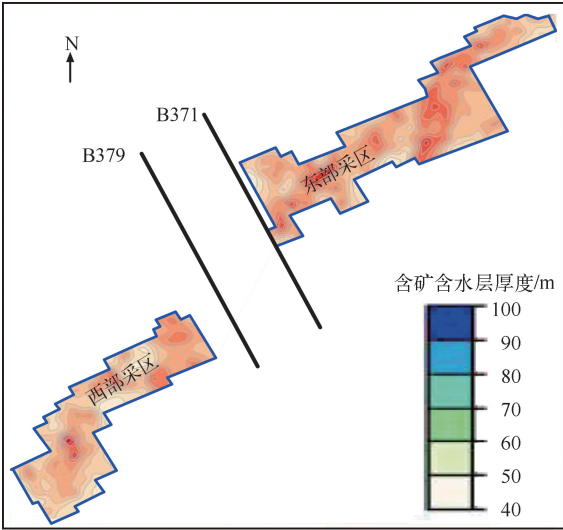


图 10 东西部采区含矿含水层厚度等值线图
Fig. 10 Contour diagram of the thickness of an ore-bearing aquifer in the eastern and western mining areas

表 2 地浸砂岩型铀矿水文地质条件评价参数

评价参数	地浸水文地质条件评价等级				东部采区	西部采区
	最有利	有利	较有利	不利		
渗透系数/(m/d)	10~1	1~0.5	0.5~0.1	≥10 或 <0.1	7.16~13.2	1.32~5.97
含矿含水层厚度/m	20~30	30~50 或 10~20	50~80	≥80 或 <10	60~100, 平均 75.70	40~70, 平均 63.18
水文地质结构	具有稳定的 隔水顶、底板	具有稳定的 隔水顶、底板	隔水顶、底板 稳定性较差	隔水顶、 底板缺失	具有稳定的 隔水顶、底板	具有稳定的 隔水顶、底板

3.2.2 含矿含水层顶、底板隔水层特征

东西部采区含矿含水层均具有稳定的隔水顶、底板。其中,隔水顶板为赛汉组上段顶部的绿灰色夹红色泥岩、粉砂质泥岩,厚度为 5~30 m;隔水底板由赛汉组下段湖沼相沉积的灰色、灰黑色泥岩、粉砂质泥岩、炭质泥岩夹褐煤层组成,厚度较大,采区开拓钻孔未揭穿,揭露厚度为 5~10 m。隔水顶、底板分布连续、稳定,隔水性能好。东部采区与西部采区地浸评价等级均为最有利。

3.2.3 含矿含水层水文地质参数特征

据矿床水文地质孔及开采开拓钻孔抽水试验资料,东部采区含矿含水层水位埋深为

20.92~26.02 m,承压水头为 61.48~71.48 m,渗透系数为 7.16~13.2 m/d,导水系数为 483.10~569.48 m²/d;西部采区含矿含水层水位埋深为 18.99~19.72 m,承压水头为 40.41~48.38 m,渗透系数为 1.32~5.97 m/d,导水系数为 63.27~379.69 m²/d(表 3)。总体上,东部采区较西部采区渗透性强、导水系数大。
根据《地浸砂岩型铀矿水文地质勘查规范》(EJ/T 1194—2005),地浸渗透系数最有利区间为 1~10 m/d,不利区间为 ≥10 m/d 或 <0.1 m/d,东部采区存在渗透性系数不利影响因素。从东西部采区浸出效果来看,渗透系数 1~5 m/d 比 5~

10 m/d更有利于矿层铀的浸出。

表 3 某铀矿床含矿含水层水文地质参数
Table 3 Hydrogeological parameters of ore-bearing aquifer in the eastern and western mining areas

采区	井号	含矿含水层 厚度/m	水位 埋深/m	承压 水头/m	水位 降深/m	渗透 系数/(m/d)	导水 系数/(m ² /d)	备注
C2	CDⅢ-1	38.80	21.17	64.24	2.17	13.20	483.10	东部 采区
	CDⅠ-2	59.70	20.92	61.48	3.18	9.50	569.48	
C7-1	SWZK335-83	75.50	26.02	71.48	0.40	7.16	514.10	
C8	SWZK383-97	63.60	18.99	40.01	3.83	5.97	379.69	
C11	CDⅡ-1	46.50	19.72	48.38	10.78	2.90	130.70	西部 采区
	KC13450	57.30			3.46	1.99	114.02	
	KC13856	57.40			3.54	1.75	100.45	
	KC15450	47.95			6.64	1.32	63.29	
C12	KC15056	43.45			3.33	2.87	124.70	
	KC15060	41.35			6.70	1.53	63.27	

3.2.4 水文地质条件研究结果

东部采区与西部采区均具有稳定的隔水顶、底板,含矿含水层厚度及水文地质参数存在差异。东部采区含矿含水层厚度、渗透系数分别大于西部采区的含矿含水层厚度、渗透系数。相比之下,西部采区浸出过程中浸出剂稀释趋势更小,更有利于含矿层中铀的浸出。东部采区存在渗透性系数 ≥ 10 m/d的地浸不利区段,渗透系数平均为 9.95 m/d,影响矿层中铀的浸出。且在渗透系数最有利区间(1~10 m/d)内,渗透系数 1~5 m/d 比 5~10 m/d 更有利于矿层铀的浸出,渗透系数越大,越不利矿层中铀的浸出。

4 采区开拓工艺及运行状况对比

4.1 采区开拓情况

该铀矿床于 2013 年陆续进行采区开拓,采区设计均采用五点式井型。其中,C1~C10 抽注液井间距 35 m;西部采区 C11~C13 通过三维地质建模、溶质运移模拟及“数字建井”技术^[23],井距及过滤器长度有所调整,井距调整为 30 m 或 27 m(C11 抽注液井间距 30 m,C12、C13 抽注液井间距 27 m)。东部采区过滤器长度以 8~10 m 为主,西部采区过滤器长度以 5~8 m 为主;C1~C12 使用填砾式工艺,C13 使用二次成井工艺。采区开拓基本参数见表 4。

表 4 某铀矿床采区开拓基本参数
Table 4 Basic exploitation parameters of a uranium deposit

采区	抽出井数/个	注入井数/个	井型	井距/m	过滤器长度/m	成井工艺	采区所属范围
C1	31	40	五点型	35.00	8~10	填砾式	东部采区
C2	30	44					
C3	32	39					
C4	32	39					
C5	35	41					
C6	35	40					
C7	20	22					
C7-1	31	43					
C8	38	52	五点型	35.00	8	填砾式	西部采区
C9	40	49		35.00	5~6	填砾式	
C10	35	44		35.00	5~6	填砾式	
C11	36	40		30.00	5~6	填砾式	
C12	39	46		27.00	6~7	填砾式	
C13	26	29		27.00	5	二次成井	

东部采区与西部采区的平均渗透系数分别为 9.95 m/d、2.61 m/d。理论研究认为,在过滤器段矿层渗透性均匀的情况下,沿过滤器纵向的进水量由上往下逐渐减少^[24-26];过滤器长度越长,且矿床渗透系数越大,从过滤器上端扩散的溶液的占比也越大。东部采区过滤器长度为 8~10 m,相对西部采区的过滤器长度(5~6 m)更长,东部采区下部矿体浸出效果较上部差,不利于整体浸出。西部采区矿体相对较薄,过滤器较短,对矿体浸出较有利,浸采效果更好。整体而言,西部采区在井距与过滤器长度联合作用下,其浸出效果优于东部采区。

4.2 采区运行状况

该铀矿床于 2015 年陆续投入生产运行,目前共运行 14 个采区。其中,东部采区 C1~C5 于 2015 年开始投运,C6、C7 于 2017 年开始投运,C7-1 于 2019 年开始投运;西部采区则于 2019—2023 年陆续开始投运。东部采区浸出剂初始酸度为 7.0~9.5 g/L,西部采区浸出剂初始酸度为 9.5~13.0 g/L,东部采区酸度较西部采区低;东部采区初始单井运行水量为 9~12 m³/h,西部采区初始单井运行水量为 5.0~9.0 m³/h,东部采区运行水量高于西部采区。东部采区峰值铀浓度及单元最高铀浓度小于西部采区相应值。采区生产运行基本参数见表 5。

表 5 采区生产运行基本参数
Table 5 Basic parameters of production and operation in mining area

采区	投运 时间/年	酸化 模式	初始酸度/ (g/L)	初始单井运行 水量/(m ³ /h)	采区峰值铀 质量浓度/(mg/L)	单元最高铀 质量浓度/(mg/L)	当前运行参数		
							酸度/ (g/L)	铀质量浓度/ (mg/L)	浸采率/ %
C1	2015	未独立 酸化	9.0~9.5	11~12	21.27	56.53		4.58	48.06
C2	2015				25.96	98.11		5.54	55.13
C3	2015				29.51	63.24	6.75	6.21	51.94
C4	2015				27.75	50.62		5.48	50.62
C5	2015				25.14	73.11		6.50	37.10
C6	2017		7.0~7.5	9~10	18.06	82.46		6.51	33.72
C7	2017				19.82	41.89	6.75	6.58	35.10
C7-1	2019				21.65	70.00		6.31	47.76
C8	2019		9.5~10.0	8~9	28.89	68.61		8.43	45.72
C9	2019				24.69	84.49	9.42	9.47	58.03
C10	2020	独立 酸化	9.0~9.5	8~9	31.91	141.03		11.39	64.21
C11	2022		14.5~15.0		59.72	164.67	12.69	18.47	56.09
C12	2021		14.5~15.0	5~6	47.19	103.91	12.80	14.48	65.78
C13	2023		12.5~13.0		34.36	86.41	13.04	23.57	19.29

通过开展采区投运效果对比发现,东部采区未进行系统性酸化,浸出剂直接从注液井下注,与矿石接触反应,生成的含铀溶液在水力梯度作用下迁移至抽液井,再经潜水泵提升至地表用于吸附处理。浸出剂酸度增加,浸出液铀浓度相应增加,浸出周期缩短,且浸出速度与液固相接触面积及扩散层表面的浸出剂酸浓度之差成正比^[27]。而东部采区浸出剂酸度仅为 10 g/L,远低于西部采区;且东部采区渗透性较西部采区好,浸出剂渗流场范围可能较大,易导致浸出剂稀释,不利于矿石中铀浸出。

以东部采区生产实践为基础,优化西部采区运行模式,采取独立酸化与提升浸出剂酸度至 14 g/L 相结合的方式。酸度提升后,浸出剂的氧化性提升,有利于矿石中的 U(IV)氧化成 U(VI)。监测浸出效果发现,浸出液铀浓度上升速度加快,浸出效率明显提升,整体运行效果良好。综上,现有西部采区运行模式较东部采区存在明显优势。

5 结论

1) 相较于东部采区,西部采区在铀浸出方面

具备更为优越的地质环境。东部采区的矿体呈“悬空”状态产出,而西部采区的矿体则紧贴含矿含水层的隔水底板产出。相较之下,紧贴含矿含水层隔水底板产出的矿体,在铀的浸出方面更有利。

2)该矿床渗透系数由西至东逐渐增大,从当前运行情况来看,综合考虑东部、西部采区地质特征、水文地质特征、井距、过滤器长度、加酸浓度等差异,可得出在渗透系数最有利区间(1~10 m/d)内,渗透系数 1~5 m/d 比 5~10 m/d 更有利于矿层中铀的浸出。

3)西部采区采取独立酸化,且浸出剂酸度达 14 g/L,有利于将 U(IV)氧化为 U(VI),同时使含矿含水层处于有利于铀浸出的化学环境,浸出效果更好,具有明显的优势。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 胡鹏飞,邢拥国,刘金辉.某酸法地浸采铀矿山中硅的迁移及对生产系统的影响[J].有色金属(冶炼部分),2021(8):56-64.
HU Pengfei, XING Yongguo, LIU Jinhui. Influence of silicon migration on production system of acid in-situ leaching uranium mine[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2021(8): 56-64.
- [3] 王海峰,徐屹群,汤庆四,等.我国地浸采铀矿山采区浸出率现状分析[J].东华理工大学学报(自然科学版),2017,40(1):66-70.
WANG Haifeng, XU Yiqun, TANG Qingsi, et al. Mining block leaching rate for in-situ leaching uranium mines in China[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 2017, 40(1): 66-70.
- [4] 王海峰,汤庆四,姚光怀,等.提高地浸采铀矿山设计资源利用率的方法[J].铀矿冶,2015,34(3):139-143.
WANG Haifeng, TANG Qingsi, YAO Guanghuai, et al. The method for improving design resource utilization rate of uranium in-situ leaching mine[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2015, 34(3): 139-143.
- [5] 刘晓敏,任晓平,朱国明,等.巴彦乌拉铀矿床芒来地段铀矿体分布与铀矿物赋存特征[J].世界核科学地质,2024,41(3):472-482.
LIU Xiaomin, REN Xiaoping, ZHU Guoming, et al. Distribution of uranium ore bodies and occurrences characteristics of uranium minerals in Manglai section of Bayanwula uranium deposit[J]. World Nuclear Geoscience, 2024, 41(3): 472-482.
- [6] 郭宏伟.内蒙古巴彦乌拉铀矿床成矿特征及成矿规律研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
- [7] 刘波,杨建新,秦彦伟,等.二连盆地中东部赛汉组古河谷砂岩型铀矿床控矿成因相研究[J].地质与勘探,2016,52(6):1037-1047.
LIU Bo, YANG Jianxin, QIN Yanwei, et al. Research on the ore-controlling genetic facies of the sandstone type uranium deposits in the palaeovalley of Saihan Formation of the Erlian Basin[J]. Geology and Exploration, 2016, 52(6): 1037-1047.
- [8] 邢拥国,刘金辉,唐华章,等.巴彦乌拉矿床铀矿体分布与铀矿物赋存特征[J].东华理工大学学报(自然科学版),2017,40(1):1-6.
XING Yongguo, LIU Jinhui, TANG Huazhang, et al. Characteristic of uranium body distribution and uranium mineral storage in Bayanwula uranium deposit[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 2017, 40(1): 1-6.
- [9] 康世虎,杨建新,刘武生,等.二连盆地中部古河谷砂岩型铀矿成矿特征及潜力分析[J].铀矿地质,2017,33(4):206-214.
KANG Shihu, YANG Jianxin, LIU Wusheng, et al. Mineralization characteristics and potential of paleo-valley type uranium deposit in central Erlian Basin, Inner Mongolia[J]. Uranium Geology, 2017, 33(4): 206-214.
- [10] 高贺伟,王贵,唐大伟,等.二连盆地巴彦乌拉铀矿床赛汉组下段煤层与铀成矿关系研究[J].世界核地质科学,2017,36(3):131-136.
GAO Hewei, WANG Gui, TANG Dawei, et al. Study on relations between coal bed and uranium mineralization at lower member of Sanhan Formation in Bayanwula uranium deposit of Erlian Basin[J]. World Nuclear Geoscience, 2017, 36(3): 131-136.
- [11] 任晓平,刘晓敏,彭瑞强,等.巴彦乌拉铀矿床芒来

- 地段地浸水文地质条件初步分析评价[J]. 世界核地质科学, 2022, 36(1): 70-76.
- REN Xiaoping, LIU Xiaomin, PENG Ruiqiang, et al. Preliminary analysis and evaluation of in-situ leaching hydrogeological conditions in Manglai area of Bayanwula uranium deposit[J]. World Nuclear Geoscience, 2012, 36(1): 70-76.
- [12] 晏彦, 张展适, 史清平. 二连盆地巴彦乌拉铀矿床微量元素地球化学特征[J]. 世界核地质科学, 2019, 36(1): 21-29.
- YAN Yan, ZHANG Zhanshi, SHI Qingping. Trace element geochemical characteristics of Bayanwula uranium deposit in Erlian Basin[J]. World Nuclear Geoscience, 2019, 36(1): 21-29.
- [13] 任晓平, 刘晓敏, 彭瑞强, 等. 二连盆地巴彦乌拉铀矿床水文地质条件与铀成矿关系[J]. 世界核地质科学, 2022, 39(3): 554-560.
- REN Xiaoping, LIU Xiaomin, PENG Ruiqiang, et al. The relationship between hydrogeological conditions and uranium mineralization of Bayanwula uranium deposit in Erlian Basin[J]. World Nuclear Geoscience, 2022, 39(3): 554-560.
- [14] 刘波, 杨建新, 乔宝成, 等. 二连盆地巴彦乌拉铀矿床控矿成因相特征及成矿规律研究[J]. 矿产勘查, 2017, 8(1): 17-27.
- LIU Bo, YANG Jianxin, QIAO Baocheng, et al. Characteristics of ore-controlling genesis facies and metallogenic regularity in Bayanwula uranium ore deposit[J]. Mineral Exploration, 2017, 8(1): 17-27.
- [15] 鲁超, 彭云彪, 刘鑫扬, 等. 二连盆地马尼特坳陷西部砂岩型铀矿成矿的沉积学背景[J]. 铀矿地质, 2013, 29(6): 337-343.
- LU Chao, PENG Yunbiao, LIU Xinyang, et al. Sedimentary backgrounds of sandstone-type uranium deposits in western Manite depression of Erlian Basin[J]. Uranium Geology, 2013, 29(6): 337-343.
- [16] 卫三元, 秦明宽, 李月湘, 等. 二连盆地晚中生代以来构造沉积演化与铀成矿作用[J]. 铀矿地质, 2006, 29(6): 76-82.
- WEI Sanyuan, QIN Mingkuan, LI Yuexiang, et al. Tectono-sedimentary evolution of Erlian Basin since Late Mesozoic and sandstone-hosted uranium metallogenesis[J]. Uranium Geology, 2006, 29(6): 76-82.
- [17] 聂逢君, 陈安平, 胡青华, 等. 内蒙古二连盆地早白垩世砂岩型铀矿目的层时代探讨[J]. 地层学杂志, 2007, 31(3): 272-279.
- NIE Fengjun, CHEN Anping, HU Qinghua, et al. Discussion on the Early Cretaceous sandstone-type uranium deposits, Erlian Basin, Inner Mongolia[J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(3): 272-279.
- [18] 凡秀君, 聂逢君, 陈益平, 等. 二连盆地巴彦乌拉地区砂岩型铀矿含矿地层时代与古地理环境探讨[J]. 铀矿地质, 2008, 24(3): 150-154.
- FAN Xiujun, NIE Fengjun, CHEN Yiping, et al. Discussion on age and paleo geographical environment of ore bearing strata for sandstone-type uranium deposits in Bayanwula area, Erlian Basin[J]. Uranium Geology, 2008, 24(3): 150-154.
- [19] 李月湘, 于金水, 秦明宽, 等. 二连盆地可地浸砂岩型铀矿找矿方向[J]. 铀矿地质, 2009, 25(6): 338-343.
- LI Yuexiang, YU Jinshui, QIN Mingkuan, et al. Exploration orientation of leachable sandstone type uranium deposit in Erlian Basin[J]. Uranium Geology, 2009, 25(6): 338-343.
- [20] 杨建新, 梁齐端, 何大兔, 等. 内蒙古苏尼特左旗巴彦乌拉铀矿床 B415-B319 线详查地质报告[R]. 包头: 核工业二〇八大队, 2012.
- [21] 国家原子能机构. 酸法地浸采铀工艺手册[M]. 马飞, 等译. 北京: 原子能出版社, 2023.
- [22] 地浸砂岩型铀矿水文地质勘查规范: EJ/T1194—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [23] 阳奕汉, 苏学斌, 陈梅芳, 等. “数字建井”在砂岩型铀矿地浸开发中的探索与应用[J]. 中国矿业, 2022, 31(12): 64-69.
- YANG Yihan, SU Xuebin, CHEN Meifang, et al. Exploration and application of “digital well construction” in in-situ leaching of sandstone uranium deposit[J]. China Mining Magazine, 2022, 31(12): 64-69.
- [24] 姚益轩, 阙为民, 苏学斌, 等. 地浸采铀工程技术经济分析[J]. 铀矿冶, 1999, 18(4): 230-236.
- YAO Yixuan, QUE Weimin, SU Xuebin, et al. Technical and economic analysis of uranium extraction engineering[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 1999, 18(4): 230-236.
- [25] 王海峰, 张斌, 利广杰. 重叠矿体地浸开采方法探索[J]. 铀矿冶, 2011, 30(4): 169-174.
- WANG Haifeng, ZHANG Bin, LI Guangjie. Discussion on in-situ leach mining of multi-layer deposit[J]. Uranium Mining and Metallurgy, 2011, 30(4): 169-174.

- [26] 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.
ZHOU Yipeng, LI Guangrong, XU Lingling, et al. Numerical simulation of influence of drilling filter on solution seepage during in-situ leaching of uranium[J]. Journal of East China University of Technology(Natural Science), 2018, 41(4): 301-306.
- [27] 李鹏.某地浸采铀现场条件试验浸出液铀浓度影响因素分析[C]//中国核学会.全中国核科学技术进展报告(第三卷):中国核学会2013年学术年会论文集:第2册.哈尔滨:[出版者不详],2013.

Leaching Rate Difference and Its Influencing Factors between Eastern and Western Mining Areas of a Uranium Deposit in Inner Mongolia

REN Xiaoping, WANG Ruyi, ZHAO Haijun, ZHANG Chuanfei, HE Bin,
LIANG Daye, QIAO Peng, ZHOU Yiru

(China National Nuclear Corporation Inner Mongolia Mining, Hohhot 010020, China)

Abstract: The leaching rate is an important indicator for measuring the in-situ leaching efficiency, it is also an important basis for assessing its technical level. A uranium deposit in Inner Mongolia is mined by acid in-situ leaching process, which is divided into eastern and western mining areas. In recent years, the operation shows that there is a large difference in leaching rate between the eastern and western mining areas, and the leaching rate in the eastern mining area is significantly lower than that in the western mining area. In this paper, the geology, hydrogeological characteristics, mining development technology and operation mode of the eastern and western mining areas of the deposit were systematically analyzed, and the results show that the ore body close to the waterproof floor of the ore-bearing aquifer is more conducive to the leaching of uranium in the ore layer than the “suspended” output. The permeability coefficient of the deposit gradually increases from west to east, and the permeability coefficient of 1~5 m/d is relatively more conducive to the leaching of uranium in the ore layer than that of 5~10 m/d in the most favorable range of the permeability coefficient of 1~10 m/d. Independent acidification was adopted in the western mining area, and the acidity of the leaching agent was increased to 14 m/d, which oxidized U(IV) to U(VI) and placed the ore-bearing aquifer in a favorable chemical environment for uranium leaching, which significantly improved the leaching effect compared with the eastern mining area, which had obvious advantages. The research results can provide a useful reference for the leaching of similar in-situ leaching sandstone-type uranium deposits.

Key words: sandstone-type uranium deposit; in-situ leaching uranium; leaching rate; leaching effect; hydraulic conductivity; spatial difference; influencing factors