

马海盐湖钾矿区北部矿段低品位地表 固体钾矿开发利用主要方法

李海民^{1,2}, 何继辉³, 胡生忠³

- (1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室, 青海 西宁 810008;
2. 青海省盐湖资源开发工程技术研究中心, 青海 西宁 810008;
3. 青海中航资源有限公司, 青海 德令哈 817000)



摘 要:主要叙述了采用“低品位固体钾矿筛分脱泥”和“水溶开采”两种技术对马海盐湖钾矿区北部矿段低品位固体钾矿的开发情况及取得的实效,并对这两种技术的工艺过程进行了简明阐述。

关键词:马海盐湖低品位固体矿; 擦洗脱泥; 溶采技术; 固液转化

中图分类号:TD985 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-858X(2021)03-0001-08

作者简介:李海民(1964-),男,研究员,专业研究方向:盐湖盐类资源开采、盐湖卤水初步浓缩、初步分离及钾盐选矿等领域。
Email:yhsken@isl.ac.cn

1 钾矿资源及开发概况

马海盐湖钾矿区位于柴达木盆地东北部边缘,总体分布面积约3650平方公里,是一个固、液并存的含钾资源盐湖矿床,据“青海省大柴旦镇马海钾矿区普查报告”可知:马海盐湖具工业意义的中型固体钾矿分布于58~59线北部,北纬 $38^{\circ}13'11''35 \sim 38^{\circ}23'59''86$,东经 $94^{\circ}03'31''99 \sim 94^{\circ}17'16''03$ 。按产出部位所属地层层位可划分为三个钾矿层: J_{IV} 钾矿层赋存于 Q_4 地层之化学沉积和碎屑沉积中,包括6个钾矿体,矿体底板埋深0.10~8.59 m; J_{III} 钾矿层赋存于 Q_3 地层之化学沉积中,包括6个矿体,矿体底板埋深13.08~37.71 m; J_{II} 钾矿层赋存于 Q_2 地层之化学沉积中,包括17个钾矿体,矿体底板埋深43.10~120.30 m。各矿层均呈近水平产出^[1]。

本次普查探明钾矿产储量:

钾矿(氯化钾)C+D+E级 $6\,415.84 \times 10^4 t$
(其中固体钾矿 $788.65 \times 10^4 t$)

为进一步核实马海盐湖钾矿区北部矿段钾资源储量,2008年7月青海中航资源有限公司通过招投标的方式委托青海省柴达木综合地质勘查大队进行“青海省冷湖镇马海钾矿区北部矿段生产勘查”。通过勘查工作,查明马海钾矿区北部矿段甲方采矿权范围内保有的固体钾矿(J_{IV})和液体钾矿(W_I)资源储量,为企业摸清资源“家底”,以指导采矿活动,并对采矿权深度之下的承压卤水(W_{II} 、 W_{III})的富水性及开采技术条件进行评价,为编制矿山长期开发利用规划提供依据。

此次勘查确定的马海北部矿段矿床资源储量类别分别有:按照工业品位(固体 $KCl \geq 8\%$;液体 $KCl \geq 0.5\%$)圈定的块段,属于经济的探明的和控制的基础储量121b和122b(其中固体 KCl 单工程见矿块段归类为122b)。按工业品位(固体 $KCl 3\% \sim 8\%$;液体 $KCl 0.3\% \sim 0.5\%$)实际工程

圈定的块段,属于次边际经济的探明的和控制的资源储量 2M21 和 2M22(固体 KCl 单工程见矿块段归类为 2M22)。

本次核实的钾矿富集区内估算的保有的资源储量 KCl 总计为 $426.57 \times 10^4 \text{t}$,其中 121 b 固体 KCl 为 $25.44 \times 10^4 \text{t}$,122 b 固体 KCl 为 $73.57 \times 10^4 \text{t}$,2M21 固体 KCl 为 $87.91 \times 10^4 \text{t}$,2M22 固体 KCl 为 $95.68 \times 10^4 \text{t}$;122 b 液体 KCl 为 $143.17 \times 10^4 \text{t}$,2M22 液体 KCl 为 $0.80 \times 10^4 \text{t}^{[2]}$ 。

马海盐湖的钾肥生产起始于 1987 年,2007 年青海中航资源有限公司将马海矿区北部矿段诸多民营小企业进行收购整合,此时,可直接利用的高品位固体钾矿石资源($\text{KCl} \geq 8\%$)已经接近枯竭。从以往马海盐湖开展过的地质普查和地质详查表明:分布于马海盐湖 58~79 勘探线北部的固体钾矿是整个矿区内最主要的固体钾矿层。地质勘察提交的 J_{IV} 钾矿层 KCl 品位 3~8% 的储量为 $191.45 \times 10^4 \text{t}$,其中 KCl 平均品位在 5%~8% 的资源储量为 $137.4 \times 10^4 \text{t}$,KCl 品位 1~3% 的储量为 $195.28 \times 10^4 \text{t}$,KCl 品位 1% 以下的储量估算应达到千万吨的级别。以此来看,这部分低品位的固体钾矿数量相当可观,将是矿山未来开采的主要对象,如何将这部分资源充分高效利用,从而延长矿山服务年限,对其开采技术进行研究是非常有必要的。为此自 2010 年年初开始,生产钾肥

所需钾矿矿源重点由钾肥生产初期的高品位固体钾矿($\text{KCl} \geq 8\%$)及原生晶间卤水向低品位固体钾矿($\text{KCl} \leq 8\%$)开发利用方向转移,主要采用低品位固体钾矿脱泥及水溶法开采加以利用。

2 高不溶物和低品位地表固体钾矿擦洗脱泥技术

在马海盐湖低品位固体钾矿中,有一类固体钾矿其 KCl 品位在 5%~10%,泥含量高于 30%~60%,矿石量约 900 多 $\times 10^4 \text{t}$ (折合 KCl $60 \sim 70 \times 10^4 \text{t}$),该部分矿无法直接利用。针对这部分矿的利用,2009 年,中航资源有限公司联合中科院青海盐湖研究所对此类矿的利用进行了技术攻关,采用擦洗脱泥技术对此矿进行处理,最终建成年处理 $200 \times 10^4 \text{t}$ 高含泥地表固体钾矿的脱泥处理装置,并进行了规模化处理。将氯化钾含量为 5%~10%、含泥量高达 30%~60% 的低品位地表固体钾矿经脱泥处理后用于浮选法钾肥生产,这在国内外尚属首例。该套装置共处理高泥矿 $230 \times 10^4 \text{t}$ ($\text{KCl}\% \approx 5\% \sim 8\%$),产出脱泥精矿 $131 \times 10^4 \text{t}$ ($\text{KCl}\% \geq 7.5\%$,不溶物 $\leq 10\%$),生产氯化钾产品 $4.9 \times 10^4 \text{t}$,实现销售收入 9 106.19 万元,新增利润为 2 937.09 万元,增加税收 2 261.08 万元。

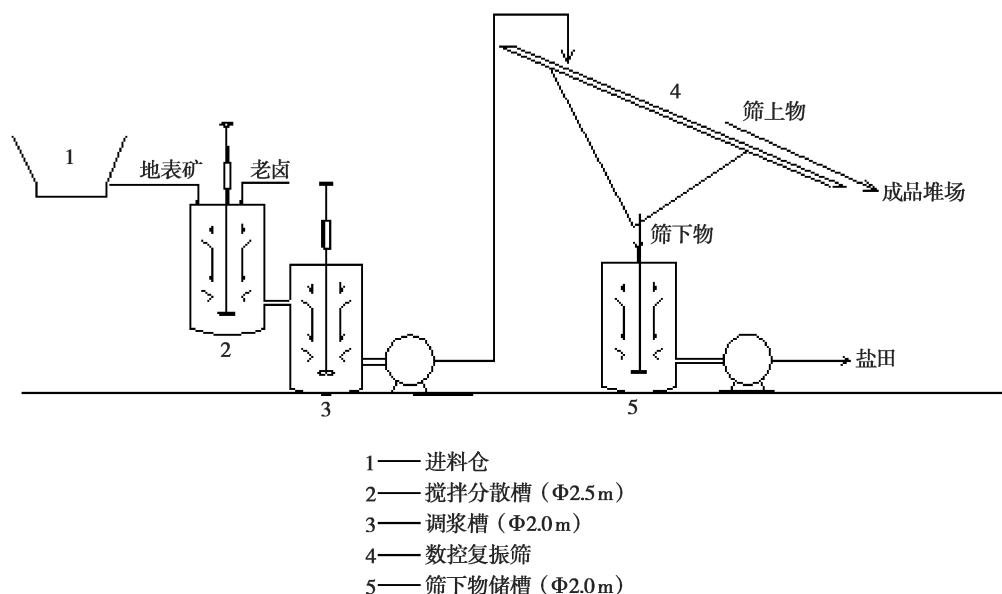


图 1 马海盐湖高不溶物、低品位地表固体钾矿擦洗脱泥技术的工艺原理

Fig. 1 Technological principle of scrub and desliming technology for high insoluble and low grade surface solid potassium ore in Mahai Salt Lake

马海盐湖高不溶物、低品位地表固体钾矿擦洗脱泥技术的简要工艺原理:

以马海盐湖盐田老卤为脱泥介质,对高泥地表低品位固体钾矿进行调浆,调浆浓度依据擦洗效果确定,一般在 45% ~ 55% 之间,调完浆物料进入擦洗工序进行擦洗,主要让固体钾矿与不溶物达到最大程度的分离,擦洗完成物料进入筛分脱泥工序进行筛分脱泥,筛上物料通过物料皮带进行自然堆淋,淋去夹带介质然后送往浮选车间与盐田光卤石矿共同使用生产钾肥,筛下含泥料

浆泵入泥浆池进行自然沉降,沉降清液—调浆介质循环使用,泥浆定期排除。

在进行低品位固体钾矿开发利用技术研究之前,对马海盐湖固体钾矿区的钾矿分布进行了摸底,以 KCl 含量 $\geq$ 或 $\leq$ 5% 为界,对马海盐湖低品位固体钾矿分别进行擦洗筛分处理和水溶处理。马海盐湖低品位固体钾矿(KCl 含量 $\geq$ 5%)的筛分结果见表 1(此表所显示的筛分结果基本代表了马海盐湖低品位固体钾矿氯化钾及不溶物分布情况)。

表 1 脱泥用原料 KCl 9.21% 低品位的地表固体钾矿的筛析结果
Table 1 Sieve analysis results of low grade surface solid potassium ore KCl 9.21% used for desliming

筛分级别 /目	产率/%	组分/%		KCl 分配率 /%	水不溶物分配率 /%
		KCl	不溶物		
+20	12.50	16.25	16.32	22.05	3.44
-20 ~ +60	18.00	26.58	8.84	51.95	2.68
-60 ~ +100	5.00	28.18	14.01	15.30	1.18
-100 ~ +140	1.25	18.00	34.64	2.44	0.73
-140	63.25	1.20	86.32	8.25	91.97
合 计	100.00	9.21	59.36	100.00	100.00

从表 1 的筛析结果可看出,品位 9.21% 的地表矿,在 +100 目的粒级中,KCl 分布占到 89.30%,水不溶物占 7.30%,即有 92.70% 的水不溶物全部分布在 -100 目的粒级中。如用 100 网筛筛分,KCl 的回收率可达 89.30%,脱泥率高

达 92.70%,产率为 35.50%。此外,地表矿中有 7.30% 的水不溶物与有用矿物紧密共生或紧密附着,靠筛分、旋流等物理分离方法难以脱除。

表 2 示出了经工业化处理后的具有代表性的低品位地表固体钾矿的处理结果。

表 2 原料 KCl8.5% 低品位的地表固体钾矿筛分脱泥处理结果
Table 2 Screening desliming treatment results of 8.5% low grade surface solid potassium ore of raw material KCl

筛分试验/组		A	B	C
地表矿料浆浓度/%		35.00	35.70	25.30
卤水消耗量/(t/h)		2.41	3.15	6.32
	KCl 含量/%	8.60	8.74	8.51
地表矿料浆	泥含量/%	45.07	40.91	42.81
	处理重量/(t/h)	1.30	1.75	2.14

续表 2:

筛分试验/组		A	B	C
筛上物	KCl 含量/%	22. 52	18. 40	18. 15
	泥含量/%	10. 56	10. 71	10. 22
	重量/(t /h)	0. 41	0. 63	0. 94
筛下物	KCl 含量/%	1. 68	2. 21	1. 27
	泥含量/%	58. 74	52. 95	70. 20
	重量/(t /h)	0. 89	1. 12	1. 20
脱泥率/%		88. 98	82. 71	91. 76
品位富集比		2. 62	2. 10	2. 13
产率/%		31. 73	36. 10	44. 04
KCl 回收率/%		83. 08	76. 00	93. 93

从表 2 可看出,品位约 8.5%,含泥 42% 左右的地表矿浆经三组试验筛分后,泥含量位于 10%~11% 之间,脱泥率均达 85% 左右;产品氯化钾的含量均可达 18% 以上,品位大大提高,氯化钾的富集比高于 2;筛下物氯化钾的含量为 2% 左右,氯化钾损失量较小,回收率高于 75%;产率约为地表矿的 40%,在地表矿向车间的运输过程中,可节约 40% 的成本。各指标均符合生产要求。

3 低品位、难利用钾资源固液转化—水溶开采法

在马海钾矿区,除了可以通过擦洗脱泥后直接用于浮选的高泥钾矿以外(KCl 品位≥5%~10%),还有一部分固体钾矿 KCl 品位低于工业指标(KCl 品位在 6% 以下),即使通过脱泥处理也难以加以利用,必需经过“固转液”工艺才能实现其潜在价值,这部分矿即是 KCl 品位≤5% 以下的所有固体钾矿,储量估算达到千万吨。

对于易溶于水的盐类矿床开采来说,水溶法与其他开采方法相比,最为明显的优势是在一定条件下可扩大可采储量,提高资源的可利用率,简化生产工序,降低开采难度和生产成本。20 世纪 70 年代位于美国犹他州 Paradox 盆地的 Texas Gulf 公司尝试使用水溶法开采技术开采低品位固体钾矿用于生产钾肥,目前该矿山年产钾肥 4 ×

10⁵ t。青海盐湖集团针对别勒滩区段低品位固体钾矿开展工业性溶采试验,对于有一定埋深的固体钾矿也采用水溶法开采,溶矿后卤水中的 KCl 含量较采前晶间卤水有所提升,地层中 KCl 平均含量减少 0.73%,该方法在实际生产中经过多年生产验证是可行的。

2009 年,马海盐湖潜层液体钾矿矿区中心部位水位由最初的 0.5 m 左右下降至 6 m 左右,品位大幅下降,年采卤量不足 1 000 × 10⁴ m³,年产 12 × 10⁴~15 × 10⁴ t 钾肥采卤量在 3 000~3 500 × 10⁴ m³,仅靠现有的潜层液体钾矿资源已不能满足生产需求。为延长矿山服务年限,提升企业生产效率,2010 年下半年开始开展实施马海钾矿区低品位固体钾矿引水溶采工作,从矿区东部鱼卡河引淡水,将不能直接利用的低品位固体钾矿进行水溶开采利用,其低品位固体钾矿溶矿开采流程为:上游注水,下游抽水,依据溶采影响半径,形成水力坡度,在水流的运动过程中溶解低品位地表固体含钾矿物及其他盐类矿物。在溶解的过程中,定期对水质进行检测分析,配合地面工程干预,不断调整注水量和抽水量,达到固体钾盐“固转液”的目的,再通过盐田蒸发工艺晒制出适合浮选厂使用得高品质的含钾矿物。

通过多年不断尝试和调整,利用水溶法开采技术使得马海矿区低品位固体钾矿“固转液”变为可利用的资源,确保了钾肥生产所需的矿源,为

企业完成生产目标提供了重要的资源保障,现已延长矿山服务年限近10年左右。

3.1 采用的基本溶采方法及影响因素

1) 注水方式

在溶采初期,采用大水漫灌的注水方式,对低品位固体钾矿富存区域进行注水,即地表注水,以溶解其中的固体钾矿,使之变为含钾盐溶液,然后收集输入盐田加以利用。该方式在早期,溶采效果比较明显,但比较粗放,存在如下问题:①受限于注水量大小,及矿层地质结构的影响,容易在地表形成固定的过水区域,且覆盖面积相对较小。随着注水周期的延长,低品位固体钾矿区域的碎屑及泥沙沉积后在地表形成隔水层,阻隔了溶剂与下部矿层的进一步接触,溶采后的卤水中KCl含量下降明显;②容易破坏矿床骨架,后期若要改变过水区域,需要做大量的地面工程进行干预,成本过高。由此,在溶采后期采用渠道进行注水,溶剂注入提前开挖好的渠道中,溶剂侧向渗流入矿层,从而实现垂、侧、纵向溶矿,相比前一种方式优势明显:溶采覆盖面积可以根据注水渠道长度进行调整,垂向上根据渠道深度实现立体溶矿;溶剂入渗面积增大,在渗流过程中水头驱动力减弱,和矿层的接触时间延长,溶出液中KCl含量下降趋势减缓;溶剂在矿层中移动,地表优势过水通道减少,可重复溶采。

2) 溶剂组分及浓度的影响

合适的溶剂组分及浓度对溶矿效率的影响及矿床骨架保护至关重要,察尔汗盐湖针对溶剂选择做了大量的试验研究,最终采用老卤和淡水勾兑制备不饱和的镁钠溶剂。马海盐湖属于硫酸盐型盐湖,制备镁溶剂的资源有限,经过多年实践和调整,由最初的低浓度钠盐溶剂、淡水溶剂调整为高浓度近饱和的钠盐溶剂。相对来讲,高浓度钠盐溶剂在很大程度上确保了矿床结构的完整性,避免了溶采区域地表大面积塌陷,形成优势过水通道。

为保证溶剂浓度,初期以机械干预为主,其成本过高,在丰水期波动起伏较大,控制效果不理想,NaCl含量在10%左右,后期选用石盐纯度较高的区域作为溶剂制备区,通过控制注水和排水节奏进行自然溶解石盐,NaCl含量在20%左右,

溶剂浓度可控程度大幅提高,并逐渐稳定下来。

3) 渠系工程的配置

渠道水溶法开采技术涉及到的主要地面工程为渠系开挖工程,矿区早期的采卤渠系主要分布于沉积中心地带,依据矿体水平分布走势布置,对这部分渠系加以充分利用,以节省工程费用投入。渠系的部署及功用在选择时,主要考虑矿体垂向走势,即注水渠布置在沉积中心外围,收水渠选择部署在沉积中心,从中心采卤,水位下降后,形成较大的水力梯度,能够提高采卤效率。此外,采卤深度对矿层垂向溶采深度影响明显,从现场钻探固体样品分析数据来看,垂向溶采深度要小于水位下降深度,这与采卤渠深度有关。

4) 区块划分

马海矿区地质条件在水平和垂向分布上差异明显,现场结合早期固有的渠系工程、矿层走势、层位变化、矿石品位、构造、次级盆地等因素划分为多个溶采区块,区块之间的“边界线”以渠道为准,以提高对溶采过程管控的计划性和可控性。由于区块之间的“边界线”是以渠道为准,各个区块并不能形成严格意义上的独立的封闭空间,其设置的合理性尚存在争议。

I号和II号溶采区在很大程度上,一方面作为溶剂调节区,用于提升溶剂浓度,另一方面当上游来水量增加时,作为溶剂缓冲区,避免溶剂直接进入主集卤渠,起不到提高卤水品质的作用。VIII号和IX号溶采区由于地处矿区边界,另外底板埋深向东南方向倾斜,不利于溶出液的回收。V号溶采区靠近盐田,拟计划作为新建盐田区域,故可溶区域目前划定为III号、IV号、VI号、VII号溶采区。总体来说,溶采区划分面积过大,人为可控程度较低。

5) 取得的成果

引水溶采工业化生产自2010年起,经历了由淡水直接溶采转为将淡水调制成淡盐水进行溶采;溶采的方式采用大水地表漫灌与渠道侧向渗透相结合。同时,开展了洼地中心抽水、四周注水的并溶试验,以期拓展矿层孔隙度,对较深部矿体进行溶解。据初步统计资料:2010~2017年累计注入溶采区溶剂 $15\,383.7\times 10^4\text{m}^3$,累计抽取溶出液 $13\,815.64\times 10^4\text{m}^3$,溶出液回收率89.8%,固体钾矿固液转化量 $183.62\times 10^4\text{t}$,见表3、表4。

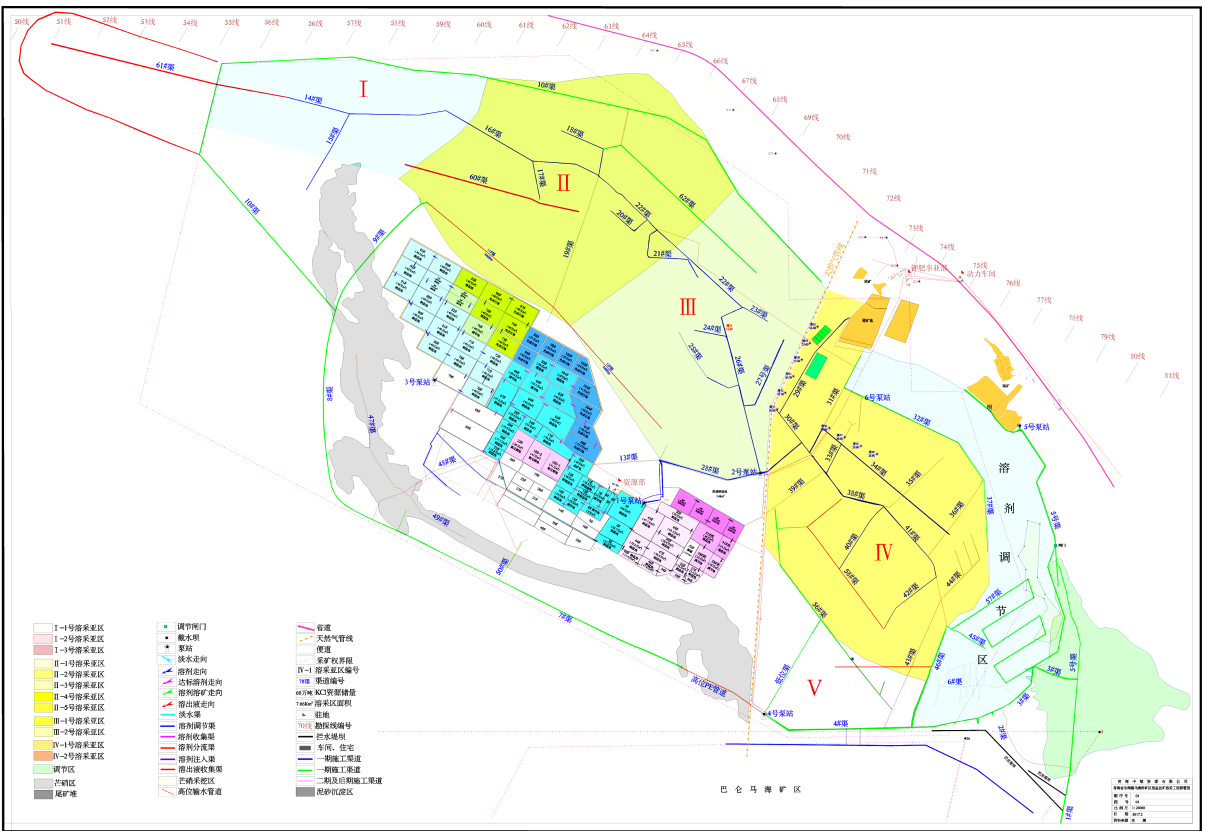


图 2 马海钾矿区溶采区划分
Fig. 2 Division of dissolved mining area in Mahai potassium mining area

表 3 2010 – 2017 年引水溶采供卤情况回顾

Table 3 Review of brine supply by water diversion solution from 2010 to 2017

年 份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	合 计
引入淡水 / $\times 10^4 \text{ m}^3$	1 050.2	1 295.6	2 098	2 667.1	2 253.92	2 056.3	2 010.32	1 667	15 383.7
溶出卤水 水量/ $\times 10^4 \text{ m}^3$	357.43	1 917.6	1 718.3	2 021	1 773.9	2 224.47	1 902.95	1 900	13 815.64
KCl 品位 /%	1.2	1.26	1.35	1.18	1.1	0.9	0.98	1.02	8.99
折合 KCl 资源量/ $\times 10^4 \text{ t}$	5.15	28.99	27.84	28.62	23.42	24.02	22.38	23.2	183.62

表 4 2010 – 2017 年溶出液水质分析数据统计表

Table 4 Statistical table of dissolved liquid brine quality analysis data from 2010 to 2017

年 份	溶出液化验结果/ $w_i \%$					
	K^+	Na^+	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	H_2O
2010	0.72	6.54	2.13	1.56	15.93	73.12
2011	0.64	7.82	1.36	1.19	15.87	73.12

续表 4:

年 份	溶出液化验结果/ $w_i\%$					
	K^+	Na^+	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	H_2O
2012	0.73	7.99	1.41	1.37	15.88	70.86
2013	0.55	7.58	1.31	1.32	15.37	73.86
2014	0.55	7.85	1.30	1.10	15.94	73.27
2015	0.47	8.36	1.10	1.47	15.47	73.13
2016	0.52	8.16	1.23	1.34	15.67	73.08
2017	0.53	8.42	1.16	1.45	15.58	73.10

3.2 存在的问题及建议

水溶法开采技术的应用延长了马海盐湖的钾资源服务年限:自2010年起至2020年底,通过低品位地表固体钾矿的水溶开采,有力的保障了公司平均年产10余 $\times 10^4$ t氯化钾的生产资源需求,也证实了马海盐湖地区低品位固体钾矿可以通过水溶法固液转化加以利用是可行的,但同时,也要认识到水溶法开采过程是一个动态的变化过程,随着溶采轮次的增加及时间的延长,矿床条件发生了改变,从生产角度考虑,这种变化对后期生产的影响尚不能科学预测,无法有针对性地布置溶采工程,所以后期需要从以下几个方面开展相关工作。

1)针对不同钾盐矿物类型、不同KCl品位的矿体,研究在不同成分溶剂浸泡下的反应机制,揭示其固液转化机理,明确溶剂成分、水量在不同溶采作业区块的调整方向。

2)研究溶剂进入矿层后的水动态力场和化学场变化规律,确定合理的浸泡时间,在钾矿品位不断下降的情况下,优化溶剂输送支渠和采卤渠等溶采工程的布设方案,提高溶采工作效率。

3)渠式水溶法开采技术主要适用于埋深较浅的盐湖固体矿床开采,但对于埋深较深的资源应用和开采技术(如井-渠式水溶开采法)尚未有成熟的应用案例,是否适用于马海矿区埋深较深的固体钾矿开采还需做相关的工程化试验研究。

4)一般盐湖成矿规律和新成矿理论表明,马海盐湖中深部仍有大量碎屑矿体和卤水资源尚未

查明,具较大远景资源潜力,建议进一步开展研究和勘查工作,查明资源潜力,开辟第二找矿空间,在此基础上,寻求合适的采矿方法。

5)由于溶采后的卤水为高钠卤水,后续生产需要占用较多的盐田面积析出氯化钠,经济性差,蒸发周期长,且镁钾比降低,硫镁比及硫钾比升高,卤水蒸发结晶过程中析出矿物类型增多,盐田生产受到影响,后续的盐田生产工艺及选矿工艺要及时跟进和调整优化。

6)溶出液品位逐年下降

造成溶出液品位下降的原因有多方面的因素,包括固体矿中的钾含量随溶采次数增加而逐年降低、矿床特征、注入溶剂量多少、溶浸时间、生产节奏等,主要问题如下:

①矿区高品位固体钾矿多位于浅表0~1 m,溶剂引入溶采区后,工程化干预措施单一,水位抬升触及不到地表,地表矿体未能有效利用;

②没有实现轮采,矿区溶采区面积约120 km²,但实际过水面积约50~60 km²,由于客观条件限制,部分区域持续重复溶采,没有足够的溶浸停留时间,造成品位下降;

③区块划分不够精细,面积过大,存在大水漫灌现象,可控程度有限;

④溶采观念陈旧,数据收集、整理、分析工作缺失,没有形成完整的数据链,对后期工程布置提供的指导意义不大。

4 后 记

低品位矿石一般是指在该矿产资源开发利用

过程中,在一定的历史条件下,由于品位较低,单独开采此类矿物资源,不具备经济盈利能力的矿石。低品位矿物既是一个经济概念(无单独开采经济意义),又是一个相对概念(相对于工业品级矿物)。随着矿产资源的开发进程,矿产资源的逐步匮乏,矿产品价格会逐渐提高,当其产品价格使其具有经济开发意义时,该品位的矿物也就具备了经济开发利用价值。马海盐湖低品位地表固体钾矿的开发利用即属此类情况。在 20 世纪 80 年代,氯化钾的平均价格水平随品位的不同一般在 600~800 yuan/t 范围波动,进入二十一世纪,氯化钾的平均价格水平随品位的不同达到了 1 700~2 200 yuan/t。此时,在 20 世纪 80 年代无经济开发利用价值的低品位固体钾矿已具备了开发利用价值。

通过近 10 年的低品位地表固体钾矿资源的

开发利用,已累计生产钾肥 100 多 $\times 10^4$ t,累计实现销售收入 20 多亿元,有效延长了矿山的服务年限,最大限度提高了钾矿资源的开采利用率。由于马海盐湖钾矿资源的自然禀赋特点,使其钾矿资源在开发利用过程中的枯竭速度远快于国内其他盐湖,所以马海盐湖率先进入了低品位固体矿的开发利用过程。由此,马海盐湖低品位地表固体钾矿资源的开发利用方法,对我国其他盐湖后继固体钾矿资源的开发利用具有较好的参考借鉴意义。

参考文献:

- [1] 青海省大柴旦镇马海钾矿区普查报告[R]. 大柴旦:青海省柴达木综合地质勘查大队,1991:11.
- [2] 青海省冷湖镇马海钾矿区北部矿段矿产资源储量核实报告[R]. 冷湖镇:青海省柴达木综合地质矿产勘查院,2009:7.

Main Methods of Development and Utilization of Low Grade Surface Solid Potassium Ore in the North Section of Mahai Salt Lake Potassium Mining Area

LI Hai-min^{1,2}, HE Ji-hui³, HU Sheng-zhong³

- (1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;
2. Qinghai Engineering and Technology Research Center of Salt Lake Resources Development, Xining, 810008, China;
3. Qinghai Zhonghang Resources Co., Ltd., Delingha, 817000, China)

Abstract: This paper mainly describes the development methods of low grade solid potassium ore in the northern section of Mahai Salt Lake Potassium Mine by using the two technologies of sieving and desliming of low grade solid potassium ore and water-soluble mining, and briefly describes the technological process of the two technologies.

Key words: Mahai salt lake low grade solid ore; Scrubbing and desliming; Solution mining technology; Solid-liquid conversion