

老挝万象钾盐矿开采方法的探讨

续培信

(中盐勘察设计院,湖南省长沙市,410014)

摘要:作者就老挝万象钾盐矿的特点,提出采用定向钻进连通法,选择性溶解开采工艺开采氯化钾。

关键词:光卤石;定向钻井;选择性溶解;探讨

中图分类号:TS32

文献标识码:A

文章编号:1001-0335(2005)04-0028-04

Discussion on the Mining Process of Potash Mine in Vientiane of Laos

Xu Peixin

(CNSIC Prospecting and Design Institute Changsha, Hunan 410014)

Abstract:Based on the characteristics of potash mine in Vientiane of Laos, the author proposes to extract potassium chloride with directional drilling communicated method and selective solution mining method.

Key Words: Carnallite; directional well drilling; selective solution; approach

1 前言

植物所需的氮、磷、钾三大元素之一钾肥,主要来源于钾盐,而钾盐是我国亟待勘探开发的50个急缺矿种之一。由于钾盐矿资源严重匮乏,严重制约着我国农副产品的产量和质量。在资源全球化时代,实施走出去战略,充分利用“两种资源”、“两个市场”,到国外勘查开发钾盐矿,建立我国钾肥基地,是解决我国钾肥短缺的重要途径之一。云南省地矿局从2001年3月在老挝万象盆地开始了为期3年的地质勘查工作,初步查明万象地区含钾盆地面积约2600km²,在1970km²的初勘面积内预测地质资源量140.8亿t,控制工业储量6.15亿t。主要为富含氯化镁的光卤石型固体钾矿,其中开采技术在国内外尚无大规模的生产先例。在此,我就如何开采老挝万象钾盐矿提出自己的看法。

2 老挝万象地质资源

2.1 地质概况

2.1.1 矿区地质概况

万象钾镁盐矿位于老挝人民民主主义共和国首都万象及以北地区,南以湄公河为界,面积8366km²,初勘面积1970km²,首采矿区300km²。

(1) 矿区地层

区内地层较齐全,地表自二叠系至第四系均有出露,其中古新统塔贡组为含矿层位,即钾镁盐主要赋存在塔贡组第一段岩盐亚段中。地层倾角小,第四系发育。

(2) 构造

区内构造不发育,以褶皱为主,断裂次之,未见岩浆岩,仅在勘查区北部推测一区域性断层。勘查区内以成盐后的盐背斜为主。

作者简介:续培信(1960-),男,江西五台县人,大学本科,高级工程师,注册投资咨询工程师,中盐勘察设计院总工程师。

某些缺陷,可考虑使用无线随钻测斜仪。

(4)上部井段的漂移规律和定向井段的增造斜规律需不断分析、总结并加以控制,这是水平对接井施工顺利和成功的基础。

(5)该井水平段长度(338m)说明了在深层巨

厚岩盐层中,施工中长水平段水平井是可行的。有利于提高卤水产量、卤水质量和岩盐采收率,有利于降低卤水成本,提高企业经济效益。

(收稿日期:2005-03-18)

(编辑廖清和)

2.1.2 矿体特征

矿体呈层状,宽缓平透镜体状。

万象平原全区含盐,其基底西高东低,最大埋深达 1400m,其中三勘区盐岩体埋深 174.33~437.10m,首采区矿体厚 18.39~110.94m,KCl 平均品位 8.37%~25.67%,钾镁盐矿直接顶底板均为含石膏盐岩,钾盐矿石以光卤石型为主,其中光卤石为 43.11%~60.08%,石盐 23.69%~48.81%,溢晶石 0.10%~23.75%,钾石盐 0%~1.18%,水氯镁石 1.40%~3.91%,Br 含量超过综合评价指标。

2.1.3 矿石特征

(1)矿石类型:光卤石矿石($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)和钾石盐(KCl)矿石两种。

(2)矿石矿物成分主要为光卤石(90%)、次为石

盐、硬石膏、石膏、铁泥质、钾石盐、白硼钙石等。

(3)矿石中的主要化学成分为 NaCl 、 KCl 、 CaCl_2 、 MgCl_2 、 CaSO_4 和水不溶物。

2.2 水文地质与工程地质

万象平原属中生代拗陷盆地,其西北及东部为侵蚀溶蚀中低山丘,平原地势平坦,海拔标高 160~180m,区内地表水系发育。

地下含水层主要为第四系 Q 松散层孔隙含水层组, $q=0.279\text{L/s} \cdot \text{m}$,第三系 E 碎屑岩裂隙含水层组,总的富水弱。

隔水层为第三系始新统塔贡组第二段上部粉砂质泥岩。

区内岩石分布有第三系和白垩系沉积碎屑岩,岩性主要为砂岩、泥岩、岩石强度见表 1。

表 1 岩石物理力学性质指标统计表

岩性	项目 数值	孔隙度 (%)	重度 (kN/m^3)	天然含水 量(%)	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	内聚力 (MPa)	内摩擦角 ($^\circ$,')	坚固系数	弹性模量 (MPa)	泊松比
泥岩 砂岩 互层	max	24.2	24.5	13.6	19.7	4.5	6.5	35,00	0.197	743	0.3
	min	16.1	22.5	6.3	2.68	0.18	0.4	21,40	0.017	27	0.19
	cp	19.96	23.6	9.36	6.64	1.21	2.15	30,56	0.067	229.7	0.266
石盐	max	7.9	22	1	31	3.5	12	34,4	0.31	3	0.35
	min	0.9	20.8	0.2	12.6	1.55	3.2	27,55	0.126	0.3	0.12
	cp	2.8	21.5	0.57	23.57	2.47	7.31	33,07	0.235	1	0.23
石膏 硬石膏	max	30.8	28.3	14.5	41	5	12.8	33,05	0.14	1	0.34
	min	1.4	21.1	0.2	5.56	0.73	1.6	21,20	0.056	0.1	0.32
	cp	19.3	24.8	6.55	25.36	3.18	7.8	28,03	0.254	0.7	0.33

区内砂岩、盐岩、主要为次软岩石,泥岩为极软岩石,亲水性强,易崩解。钾镁盐矿体直接顶板为泥岩和石盐岩两种类型。其上均有厚大的石盐岩间接顶板。

3 矿石的可溶性

根据实验室的模拟试验,光卤石矿溶解性能良好,水溶卤水浓度 1285g/L。侧溶角 10~38°,综合溶解速率为 $12\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$,可采用水采方法开采。

4 开采方法对比

4.1 固相开采法

目前,国内固体钾盐矿所采用的常规开采方法为地下开采和露天开采。地下开采存在大量采空区,地表易于塌陷,并破坏地表植被,加工处理量大。加工过程中将产生大量难以利用且不易处理的废石和废液,从而造成地面污染;露天开采基建工程量大,

投资大。采矿成本高,占用土地多。采矿过程中还需要剥离大量的覆岩,边坡不稳,地表破坏严重,对环境的影响大。

4.2 钻井水溶法

钻井水溶法又分为单井对流法、双井对流法。目前在岩盐开采中,只要地质条件适应,均采用钻井水溶法开采岩盐。用光卤石易溶于水的特性与钻井水溶采盐的成熟技术组合,能否开采老挝万象钾盐矿呢?从老挝万象钾盐矿地质条件分析,该矿 KCl 品位较高,平均品位 14.48%,平均厚度 56.92m,分布面积大,矿体埋藏较浅,矿体相对封闭,矿层呈层状、似层状,产状平缓且稳定,矿层分布连续,矿体顶板为泥岩和盐岩,间接顶板为大厚度盐岩。适用于钻井水溶开采方法,但需解决建槽暴露矿层面积、保护矿层顶板,采出所需的成分这四个方面的问题。钻井水溶开采其投资少,成本低,安全性好,占地少,对环境

无污染,是开采老挝钾盐矿最理想的方法。

5 定向钻井连通水溶开采法

水溶开采工艺须根据矿床的赋存条件和岩、矿层的物理力学性质进行选择确定。常用的方法有压裂法,对流法和油垫法等;有些又可根据井的数量细分为单井、双井和多井。由于该矿床顶板、围岩均属极软岩层,岩石力学强度差,矿层埋藏浅,压裂时其裂缝发展方向难以控制,裂缝很可能串至地表,故不宜采用压裂法开采。单井对流法在开采过程中易过早暴露顶板而垮塌,并造成井管的弯曲和折断,使得生产井安全生产期短,产量小,卤水浓度低,回收率低,修井费用高,矿床所在地表不允许变形破坏,上覆含水层不能被污染,所以也不宜采用单井对流法。油垫法可有效地避免以上两种方法的弊端,可以人为地自下而上对矿层进行控制溶采,可避免过早暴露顶板,同时还可以控制溶腔范围,确保安全矿柱的大小,防止因溶腔顶板暴露面积过大而造成垮塌,矿产资源的回收率高。其连通后,采出的卤水浓度高,产量大。

但油垫法亦有以下缺点:

(1) 卤井需下入三套管材,相应卤井口径要求大,导致卤井投资大。根据同类矿山对比资料,其卤井投资约为单井对流井的 1.5 倍,定向连通井的 1.2 倍。

(2) 生产工艺复杂,需增加注油泵、油水分离器等设备及注油管网,不仅增加了投资,也增大了对环境污染的可能性。

(3) 建槽期长,一般需 3~4 个月,且需排放大量的淡卤。如淡卤采用循环方式建槽,建槽期将在半年以上。

定向连通井其施工技术成熟,在老挝万象钾盐矿中采用,其有如下优点:

① 可控制在矿层底部连通,满足本矿层由于埋藏浅。如井下产生垮塌,易反应到地面。

② 卤井水平段长。溶腔以长条状为主,可确保溶腔不宜太宽,且溶采面积大的要求。

③ 生产工艺简单。一口井注水,一口井出卤。

④ 建槽期短。如淡卤排放,一般 15 天左右可完成建槽期;如淡卤循环,建槽期在 1 个月左右。

⑤ 采矿回收率高,卤水浓度高,井组生产能力

大。

⑥ 卤井投资介于油垫法与单井对流井之间,但地面管线及设备最简单,综合投资最省。

⑦ 井组井距大,控制的可采矿量多,可减少基建井数,占地面积少。

⑧ 维修费用少,卤井服务年限长

6 钻井选择性溶解开采法

确定了开采工艺为定向连通井溶解开采法后,而溶解开采的对象是 KCl,但矿石中 KCl 的平均品位仅为 14.48%,其余为易溶解的 NaCl 和 $MgCl_2$ 。为了减少杂质矿物的采出量,简化后续加工工艺,消除废液和废料对生态环境构成的污染,最大限度地采出 KCl,必须对溶解液进行配制。

老挝钾盐矿属于氯化物型固体钾盐矿,因此可用图 1 所示的 KCl-NaCl- $MgCl_2$ - H_2O 四元体系的溶解度相图来说明对该矿进行全溶解开采、选择性溶解开采及其加工全过程。

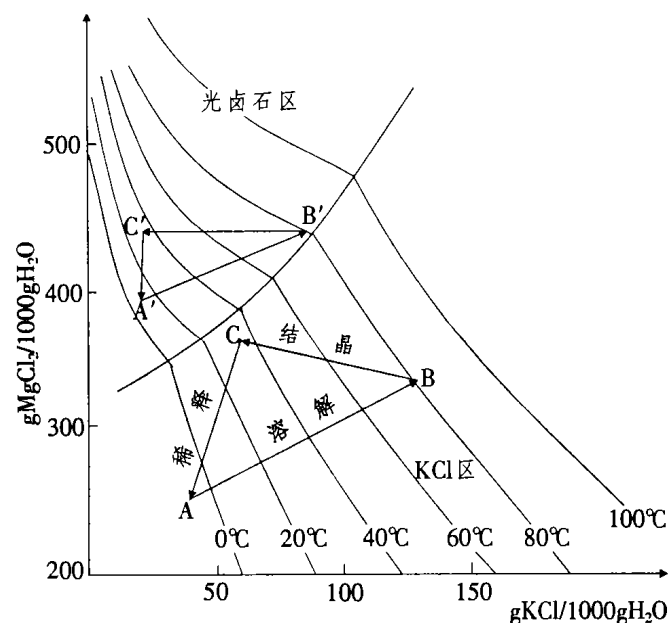


图 1 KCl-NaCl- $MgCl_2$ - H_2O 四元体系溶解度相图

由图 1 可知,与溶解度曲线相交的曲线以上区域,溶液与固体光卤石(及其氯化钠)平衡。尽管氯化钾在高温下具有较大的溶解度,但在所有温度下都要比氯化镁的溶解度小得多。因此,如果用热水作为溶剂,泵入光卤石矿体中,就会溶解矿床中的光卤石矿,从而产生对氯化钾饱和而对氯化镁不饱和的卤水,经过冷却就会析出氯化钾。然而,老挝钾盐矿体埋藏较浅,地温不会很高,卤水在通过地下溶腔时,

势必会得到冷却,析出氯化钾,这部分氯化钾就会沉淀在溶腔底部而损失掉。

从相图可知,光卤石矿水溶解开采过程为:热水(如 80℃)溶解光卤石产生对氯化钾(及氯化钠)饱和的卤水即 B 点,B 点处在低温时的氯化钾结晶区,对该点卤水进行冷却(如 30℃),将结晶析出,析钾以后母液到达 C 点,C 点母液加水稀释到达 A 点,将 A 点母液经加热又泵入矿床,溶解光卤石,产生富钾卤水 B 点,即 B→C→A→B,溶解-冷析-稀释-溶解的循环操作。从图中看出,整个操作过程都在 KCl(或 NaCl 区域进行的)。

用淡水作溶剂,溶采光卤石,除采出少部分氯化钾外,大量的氯化钾将损失在地下溶腔中,同时还将采出大量的氯化镁和氯化钠,这对生产经济效益和环境保护都是不利的。

但如果不用热水作溶剂,而用适当浓缩的氯化镁卤水作为溶剂,那么在溶解光卤石矿床时,由于卤水中 $MgCl_2$ 含量高,降低了 KCl 的溶解速度,使得溶解产生的卤水在对氯化钾饱和之前先与光卤石达到饱和,这样在地下溶腔中氯化钾也就不会结晶析出,因而开采损失会得到大大降低。

从相图上看,用浓缩的 $MgCl_2$ 卤水作为溶剂,溶解开采光卤石的操作过程为:用 $MgCl_2$ 卤水对光卤石进行热溶解,产生富钾卤水 B' 点,B' 点处在低温时的光卤石结晶区,经过冷却将析出光卤石,母液点由 B' 到达 C' 点,C' 点加水稀释到达 A' 点,将 A' 点母液经加热再去溶解光卤石,又产生富钾卤水 B' 点,形成 B'→C'→A'→B',即溶解-冷却-稀释-溶解的循环操作。从图中看出,整个操作过程都是在光卤石(及氯化钠)区域进行。

从上述分析可知:溶解开采光卤石,必须采用适当浓缩的氯化镁卤水作为开采溶剂,使溶解开采发生在相图中光卤石(及氯化钠)区域内,以保证氯化钾的采收率,减少氯化镁、氯化钠等杂质矿物的采出量。对光卤石进行选择性溶解开采,关键是选择合适的作为开采溶剂的 $MgCl_2$ 卤水,溶剂的各组分含量要求如下:

(1)KCl 含量应越低越好。因为注入的溶剂与采出的富钾卤水中 KCl 含量之差越大,KCl 采出量就越多,工艺效益就越好。

(2)NaCl 含量应控制在饱和或近饱和。这样可

保证基本上不采出 NaCl,由于溶解度随温度变化较小,因此 NaCl 含量一般控制在 1.8%~2.0% 即可。

(3)对 $MgCl_2$ 含量的要求。从相图上看,要使溶解发生在光卤石区域, $MgCl_2$ 含量应大于 320g/100gH₂O,一般控制在接近 KCl、NaCl 及 $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 三盐共饱和点时 $MgCl_2$ 组成,这样可有效控制 $MgCl_2$ 采出量。

光卤石溶浸开采除了与溶剂组成相关外,溶浸开采温度影响也较大,因为溶浸开采工艺的经济效益,最关键的因素是取决于 KCl 的产量,而 KCl 产量与采出卤水中 KCl 含量密切相关。卤水中 KCl 含量高,相对地降低了开采输送能耗,并减小了采区面积,从而提高了采区效益。要提高卤水中 KCl 含量可通过提高溶浸温度来实现,这从不同温度下,KCl-NaCl- $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 三盐共饱液组成,见表 2。

表 2 KCl、NaCl、 $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 三盐共饱液组成表

温度 (℃)	Wt(%)			g/100gH ₂ O			g/100g 干盐			
	KCl	NaCl	$MgCl_2$	KCl	NaCl	$MgCl_2$	KCl	NaCl	$MgCl_2$	H ₂ O
0	2.30	1.90	25.05	32.66	26.87	353.87	7.9	6.5	85.6	241.9
25	3.35	1.80	25.85	48.54	26.07	374.83	10.8	5.8	83.4	222.5
50	4.40	1.80	26.90	65.81	26.72	402.28	13.3	5.4	81.3	202.1
75	5.40	1.85	28.20	83.47	28.56	437.12	15.2	5.2	79.6	182.1
100	6.35	2.0	29.95	103.04	32.28	485.41	16.6	5.2	78.2	161.1

由表 2 可以看出,随着温度的升高,KCl、NaCl 和 $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 三盐共饱液中,KCl 的重量百分含量明显增加,NaCl、 $MgCl_2$ 的重量百分含量增加缓慢。从干盐含量组成中,KCl 含量逐渐增加,而 NaCl、 $MgCl_2$ 含量却逐渐降低。这说明高温卤水的质量明显优于常温或低温卤水。另外,温度又影响着矿石的溶解速度,将有利于提高富钾卤水的含钾量,增加氯化钾的采收率,降低氯化镁、氯化钠的采出量,从而更有利于保护生态环境。因此采用选择性溶浸开采,在合理的经济范围内,应尽可能提高溶浸温度。

7 结 论

采用定向钻井连通选择性溶解开采氯化钾是一个全新的开采方法,显然在实验室进行模拟试验是成功的,但在实际生产过程中,能否达到理想状态,还需不断探索和调试。

(收稿日期:2005-04-19)

(编辑/廖清和)