



# 溶解采矿法及其在盐湖的应用

本所二室 延 平

盐湖固相矿床具有充水，易变等特点\*，正确处理“水”这个因素，促使“用水”和“防水”双方向着有利于多快好省地开发和利用盐湖资源的方面转化，是盐湖固相矿床开采研究的主要任务之一<sup>[1]</sup>。如何充分利用充水、易变的特点，如何为“用水”创造条件？如何探索适应于盐湖特点的高效率开采方法？从这个角度出发，我们探讨了溶解采矿法对于盐湖开发利用的实践和理论意义。

## 溶解采矿法的历史和现状

溶解采矿法，是利用水或其他溶剂溶解提取矿床内有有用矿物的采矿方法。其中也包括对于含量较低、散布于矿床的有用矿物进行溶浸(或称浸析、浸取，沥滤)开采。岩盐，

是最先实行溶解开采的矿种。岩盐的溶解，从一种纯粹的自然过程，发展为由人工控制，从认识地表的盐类溶解现象，到掌握钻井地下溶解开采技术，其间有一段漫长的历程。

我国古代劳动人民早在公元五一八世纪以前，就在盐的溶解及其利用和防治方面积累了经验。《水经注》记载：“监盐县故城(今山西安邑县西南)有盐池。……水出石盐，自然印成，朝取夕复，终无减损、惟山水暴至，雨澍横潦奔洑，则盐池用耗，故公私共

\* 盐湖固相矿床“充水”，广义地包括矿床充有卤水和矿床内外保持密切的水力联系两方面的含义。易变指盐溶、盐析。

## 五、小 结

本文对影响铝锂沉淀物焙烧浸取的因素初步进行了实验。在其它因素基本不变情况下，盐类对焙烧浸取的影响是较明显的。

1.用人工合成的纯的 $\text{LiCl} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 其焙烧浸取率仅为52.5%，当引入氯化镁时，其焙浸率显著提高，但若再引入 $\text{B}_2\text{O}_3$ ，焙浸率则又迅速下降。

2.在碳化法直接提取锂盐的工艺条件

下，影响锂的焙浸率的主要因素看来是镁盐和硼化合物。 $\text{Li-Al}$ 沉淀物中 $\text{Mg/Li}$ (重量)比值越高，锂的焙烧浸取率越好，当 $\text{Li-Al}$ 沉淀物中 $\text{Mg/B}_2\text{O}_3$ (重量)比值越低，锂的焙烧浸取就越差。

3.在焙烧 $\text{Li-Al}$ 化合物时加入钙盐或镁盐，一般都对焙浸率有利，其中以加入 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的效果最优。

本文虽是初步结果，但对碳化法提锂的焙烧浸取工艺有一定参考价值。

竭水径,防其淫滥”<sup>[2]</sup>。又《新唐书·地理志》载:会州会宁(今甘肃靖远县东北)“有河池,因雨生盐。”<sup>[3]</sup>至十七世纪初,如《天工开物·作咸篇》“淋煎”法制盐一节所述:“将扫来盐料(不论有灰无灰,淋法皆同)辅于席上,四围隆起作一堤挡,中以海水灌淋渗下浅坑中。……然后入锅煎炼。”<sup>[5]</sup>盐的溶解、溶浸已经被成熟地用于手工制盐。1892年,四川自贡盐矿于大坟堡地带凿井八、九百米,运用水溶法开采岩盐,<sup>[6,7]</sup>开创了固相矿床无矿井下开采技术的先例。<sup>\*\*\*</sup>二十世纪初以来,岩盐矿床的钻井溶解法在各国得到了比较迅速的发展,目前它的开采量已占岩盐生产量的90%以上。与此同时,围绕强化溶解、提高回采率等问题,在技术上、理论上进行了大量的工作。<sup>[8,9,10]</sup>我国解放以来,特别是无产阶级文化大革命以来,岩盐的溶解法开采发展很快,水压裂技术的试验和应用,为岩盐矿开采法开辟了更加广阔的前途。<sup>[11~14]</sup>

钾盐(钾石盐、光卤石)矿床的溶解开采,在本世纪初首先在德国着手开始研究,后经苏、美、英、加拿大等国的试验研究,直到1965年,掌握了分层溶解工艺,解决了淤泥复盖溶解表面、阻碍矿石溶解的问题,才在加拿大萨斯喀彻温用于生产,以开采深1600米的钾盐矿床。<sup>[15,16]</sup>钻井溶解开采,投资和经营费用低,工作人员地面操作比较安全,对开采深部的(如加拿大用于开采深于1000—1200米的矿床),或品位较低的钾盐矿床,其优点尤为明显。这种优越性,从美国犹他州Cane Creek钾矿由一般矿井开采法改用钻井溶解法的经验,也得到了有力的证明。<sup>[17,18,19]</sup>该矿1970年末,将原矿井封闭,另开钻井,向采空区灌水。抽出卤水经盐田日晒(盐田面积1.62平方公里,用聚氯乙烯塑料布铺垫隔水,当地年平均降雨量为210毫米),用自行式带有刮板升降器的铲运机收盐,并利用激光束导向控制收盐厚度。近年来,关于钾盐矿床溶解开采的研

究工作,继续在美、英、加、苏等国进行着<sup>[10]</sup>。

天然碱矿床的钻井溶解开采法,四十年代,曾在美国怀俄明州绿河矿作过尝试,因矿石(天然碱 $\text{NO}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )难溶于水而失败。1956年重新提出了这个问题,并在五十年代末、六十年代初,采用热水(水温100~200℃)或苛性液(含3—10% NaOH的水溶液)作溶剂,克服了上述困难<sup>[20~23]</sup>。

芒硝矿床的溶解开采,也于1969年在加拿大用于生产实践(见下文)。

除上述盐类矿床外,金属矿床,尤其是铜矿床的溶浸开采,为溶解开采矿技术积累了丰富的经验,并且形成了冶金技术的一个分枝——地下湿法冶金。我国早在北宋初年(十一世纪)就已利用胆矾( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )矿床的溶液——胆水,通过铁置换的方法,进行湿法炼铜,即所谓“胆铜法”。<sup>[24,25]</sup>虽然古代胆铜法中胆矾溶浸纯属非人工控制的自然过程,但是,其中已经包含着现代溶浸开采法的萌芽。十八世纪中叶,在西班牙的黑乌廷土,以较大的规模在露天用水溶浸风化的含铜矿石堆<sup>[25]</sup>,已具有人工溶浸的雏形。

---

\*《水经注》作者酈道元生卒年份为466或472年至572年。所载水出石盐和防水护盐,应公元五、六世纪前的纪实。

\*\*“因雨生盐”系唐开元年间(公元八世纪初)记载。文献[4]8.66条所述可供对照:“甘肃靖远县小红沟盐田,位县城北东约30°,直距54公里。本区为第三纪红层分布区域,暴雨后溶解地层中之盐硝为卤水,再经蒸发为盐。……”

\*\*\*据文献[8]记载,1894~1905年间俄国曾采用井下巷道内喷水的办法溶解开采岩盐。英国自1845年某盐矿被淹后开始利用岩盐卤,至1903年,在盐产量的数字中未见有钻井水溶法的记载。岩盐的钻井水溶法于二十世纪初叶同时在不同的国家得到迅速的发展。波兰,自1920年开始采用此法。

文献[9](苏联),在叙述钻井溶解法的历史时提到:“我们没有可以指明何时何地首次应用此方法的资料。只知道,无矿井采盐的方法在二十世纪初就已得到很普遍的应用。”

铜矿的溶浸，也是经过长期的实践，逐步地由普通矿井开采法的一种辅助的回收手段，发展成为独立的采矿方法。<sup>[9,25,26,27]</sup>第二次世界大战以后，铜矿溶浸技术迅速发展。例如美国亚利桑纳州的 Sierrita 露天斑铜矿，Zonia 矿和 Old Reliable 矿，内华达州的 Big Mike 露天矿等，试验了预先爆破松碎矿体的方法，<sup>[26,31]</sup>并正研究采用核爆炸预先松碎的可能性和合理性。<sup>[27]</sup>

目前，溶浸开采，除铜矿以外，还用于开采铀、钼、锰等矿床。<sup>[25,30,31]</sup>据认为，有 82 种金属都有可能用溶浸法回收，<sup>[30]</sup>可见大有用武之地。

在长期的生产和科学实验的实践中，溶解采矿法终于作为一门独立的技术在采矿领域中站稳了脚跟。并且，随矿物资源开采量的日益增长，浅部的地质条件简单的富矿相对减少，溶解采矿法必将愈来愈显示出它的优越性而继续发展。与此同时，溶解采矿，远远超出了一般机械采矿所发生的以力学运动为主比较单一的过程，从直接以地球为对象，同时产生力学的、物理的、生物的运动过程，从而也必将在实践和理论上提出一系列有待解决的问题。

毛主席指出“感性认识的材料积累多了，就会产生一个飞跃，变成理性认识，这就是思想。”溶解采矿法以及后来陆续地出现的煤的地下气化或液化、硫的地下熔融、油页岩地下干馏等采矿技术，不仅在生产实践上为解决深矿、贫矿、复杂矿床的合理开采问题提供了有效的途径，而且在人类征服自然的总过程中，在认识上引起了飞跃。主要地，包括以下两层意思：

人类不仅可以利用传统的机械的方法，而且还可以用化学的、物理的、物理化学的、生物化学的方法开采矿物资源，即形成“化学采矿法”的概念；

先采掘，后加工的传统程式，并不是不可逾越的天经地义的框框，在一定的条件下，二者可以互相结合，在采掘过程中加工，

直接在地球内进行加工，即形成了“地球工艺学”的概念。

从采矿角度出发的“化学采矿”过程和从加工角度出发的“地球工艺”过程，实质上，是对同一事物的两种理解。

对于地球工艺学这门新的学科，有着不同的认识。

五十年代，最初提出地球工艺学的概念时<sup>[9]</sup>，认为它是研究人为地直接在矿床所在地进行化学的、物理的、化学的和生物的工艺过程的科学技术领域。其中不包括机械和水力机械开采工艺。地球工艺过程往往成为人工控制下加速进行的地球化学过程。

近年来，对于地球工艺学有了更广义的理解。<sup>[10,32]</sup>认为地球工艺过程包括所有把有用矿物或矿石转变为溶液、熔融液，气体以及固液混合物等流动状态，并通过钻井浸出地面的过程，地球工艺学是研究用地球工艺方法开采矿物时矿体内发生的物理学——地质学过程的科学，也可以看成是关于无矿井开采法的方法和手段的科学。并且还提出了地球工艺学开采法的分类(表 1)。

此外，还有更为笼统的理解，如把“地球工艺”解释为关于自然资源(如矿物资源)开发与利用的科学方法和工程技术的应用。<sup>[33]</sup>

列宁在《一个伟大的技术胜利》(《列宁全集》19卷)一文中，针对当时英国化学家提出的煤的地下气化的设想，作过以下的论述：

“拉姆赛发明的方法，可以直接在煤矿中把煤变成气体，不需要把煤开采到地面上来。在采盐时有时也使用类似的方法，不过要简单得多：可以不必直接把盐开采到地面上来，而是先用水把它溶解，然后用管子把盐卤引出来。”“拉姆赛的方法把煤矿变成了象是生产煤气的巨型的蒸馏器。”这是“一个巨大的技术革命。”“这一发明在工业中所起的变革将是巨大的。”

可见，早在六十多年前，列宁就已经高度地评价化学采矿法。

表 1

有用矿物地球工艺学开采法分类[10]

| 有用矿物或矿<br>石的运动状态 | 将有用矿物或矿石转变为可流动状态的方法 |                  |                      |                |
|------------------|---------------------|------------------|----------------------|----------------|
|                  | 物 理 学 的             | 化 学 的            | 物理——化学的              | 生 物 化 学 的      |
| 气 体              | 升华、干馏               | 氧化、分解<br>(燃烧、焙烧) | 在物理场参与下的<br>热力化学分解作用 | 细菌作用           |
| 熔 融 液            | 熔 融                 | —                | 在物理场参与下的<br>热力化学分解作用 | —              |
| 溶 液              | 温度和压力、<br>物理场的作用    | 溶浸、溶解            | 在物理场参与下的<br>溶解和溶浸作用  | 细菌溶液           |
| 可流动的混合物          | 水力——气力破碎            | 胶结物的溶解           | 用表面活性物质和<br>物理场进行分散  | 胶结物的细菌分<br>解作用 |

采掘与加工相结合的化学采矿和地球工艺是工业技术发展的重要途径之一。由于地质条件的复杂多变,涉及的科学多,总的来看,它的发展是缓慢的。但是,在可溶盐类矿床的溶解开采方面,由于较之其它化学过程简单,在发展速度上相对领先。这对于盐湖资源的开发和利用来说,是一种值得引起注意的动向。

### 盐湖及露天矿溶解开采的实践

盐湖矿床出露或接近地表,固、液并存,易溶易析,并与气象及水文条件连系密切。在这里,有用物质成份的溶解或溶液、迁移和富集,作为自然过程,经常地发生着,又便于发现和利用。可以认为,这种对自然的溶解和富集过程的利用,是盐湖矿床溶解开采的最初实践和萌芽形态。

上文引述甘肃靖远县东北小红沟盐池“因雨生盐”一说,即其中一例。

与此类似的,又如新疆博乐县东北80公里的红盐池。该盐池周围以第三纪红色岩层为主,富含食盐、芒硝,经雨水、山水淋溶、汇集洼地,形成小盐池五处,其中有的池,雨后可得盐,供小量采掘,(据1946年调查资料)。<sup>[4]</sup>

在察尔汉盐湖浅沟盐田日晒光卤石的多年生产实践中,发现有“雨后丰产”的现象,雨水溶浸盐层中的光卤石于沟内富集。

澳大利正阿得雷德北部的盐湖,冬季潮湿,有足够的盐分溶于水中,进入湖内,夏季长久干旱,湖表沉积19~38毫米的盐层,进行采收<sup>[34]</sup>。

加拿大萨斯喀彻温地表硫酸钠矿床,也利用季节性的溶解现象。夏季水涨矿溶,从矿床表面抽取卤水,收贮于大盐田内,秋冬借冷冻析出芒硝<sup>[35]</sup>。

我国西藏和美国加利福尼亚的盐湖硼矿资源的富集及开采,也属于这样的过程。原生岩石中的钠硼解石或硼钾镁石被水溶浸,将硼酸钙和硼酸钠带出,集中湖内,经浓缩,析出硼砂(西月石)<sup>[38]</sup>。美国1874年发现的克利尔湖,卤水含硼砂约0.8%,表面形成厚8~60厘米的硼砂层,采出后,约三年即可再生<sup>[39]</sup>。

上述萌芽形态的盐湖溶解开采,不仅是盐湖溶解开采技术的先导,而且由于对自然过程的充分利用,它仍不失为现代行之有效的一种方法。

至于人工引水灌注溶解,作为现代采矿技术用于盐湖生产,是近年的事情。但是,作为它的雏形,在我国民间土法生产中则不乏先例。列举以下数例<sup>[4]</sup>,可略见一斑:

甘肃民勤县马连泉盐池,每年夏秋制盐,先掘地成坑,注水其中,坑土含盐质极浓,经数日灌润,产出洁白卤水,晾晒多日,捞积成堆。1929年产盐15,000担。

甘肃海原县甘盐池，共有池 100 余处，每年春夏之交，开放渠水入于土质最咸处所挖之地，连晒四、五日即可成盐，1929 年前，年产约 12000~13000 担。

以上二例属于雏形的就地溶浸法。

甘肃皋兰县喇牌盐池，此地制盐系先将碱土铺于地上，日晒并浇碱水 6~7 次，一面于山沟间挖以小塘，外高内洼，再将碱土堆于塘之一面或两面，复浇碱水，使其徐徐注入塘内，最后将碱水取出放入池内，曝晒 3~4 日，即可成盐，1941 年产量 19,348 担。

此例与上文所引《天工开物》叙述的淋煎制盐甚为相似，均系堆积溶浸法的雏形。

溶解采矿法，作为现代采矿技术，成功地用于盐湖生产实践的先例尚不多，以下仅举 Metiskow 芒硝湖<sup>[36]</sup>和卡门岛盐湖<sup>[36]</sup>二例。Metiskow 芒硝湖位于加拿大阿尔伯达州东南部。该湖面积 1.64 平方公里，长约 3.2 公里。湖被狭窄处分为北、中、南湖及东部湾。北湖盐层最深约 9 米，南湖最深约 17 米(图 1)。硫酸钠储量约 350 万吨，含大量淤泥(有机质、粘土、砂的混合物，占 15~50% 以上)，与芒硝互为夹层。

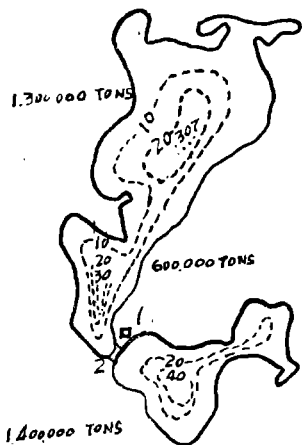


图 1 Metiskow 芒硝湖  
1. 加工厂； 2. 坝；  
矿层等厚线接吸标注

还含有 20 多万吨的碳酸钠。卤水含少量镁盐，潮湿季节表面水深于 0.6 米，干燥季节表面干涸。湖周围有若干小泉及两条间歇小河。

Metiskow 芒硝湖，原来也是采用上文所述萨斯喀彻温常用的季节性天然溶解开采和冷冻结晶的方法。该法存在不少缺点，如芒硝溶解后，残留淤泥覆盖溶解面，阻碍溶解，溶解不充分，溶液不饱和，不仅需要大量淡水，而且往往不能满足加工厂的需要，受季节性的限制，要求设置大面积的冷冻盐田和大容量的贮料堆，长年堆存受风沙污染，影响产品质量。

考虑以上缺点，为寻求技术经济上更为合理的开采和加工工艺，提出了加热溶解采矿及相应的工艺流程的设想，经过小规模试验，于 1969 年投入生产。如图 2 所示，加热溶解开采工艺过程主要由溶剂(卤水)加热、矿体溶解以及溶剂、溶液贮存和管道输送组成。由湖内贮水区抽出的卤水，配以加工厂分离芒硝所得的滤液，经加热器加热，输送到湖内的汇水槽，槽上均匀布置出口，接上软管作为插入管。插入管端部安有喷嘴，借溶解和冲刷作用很容易插入矿床(二小时内可插至 12 米深处)。

芒硝具有加热自溶的特点，即当温度超过 32.8℃，芒硝就会在自身的结晶水中溶解。将溶剂卤水加热到 37.8℃，在热液作用下，芒硝溶解，淤泥沉淀。

从上述循环回路中，引出一股支流，供加工厂结晶器使用。该支流温度高于芒硝析出温度 2.8~5.6℃。采用风道式结晶器，卤水从顶部喷洒，由一端进入，经气流冷却，由另一端抽取。经冷却，芒硝自卤水析出。通过离心过滤，将芒硝分离，大部分碳酸钠和细粒有机物留在卤水中。

为了避免湖内贮水区卤水淡化，在南湖和中湖间筑坝。开采南湖时，将天然降水，(表层雨水)，和加工厂分离芒硝后的较淡的卤水及凝聚水等过剩水量排入中湖。

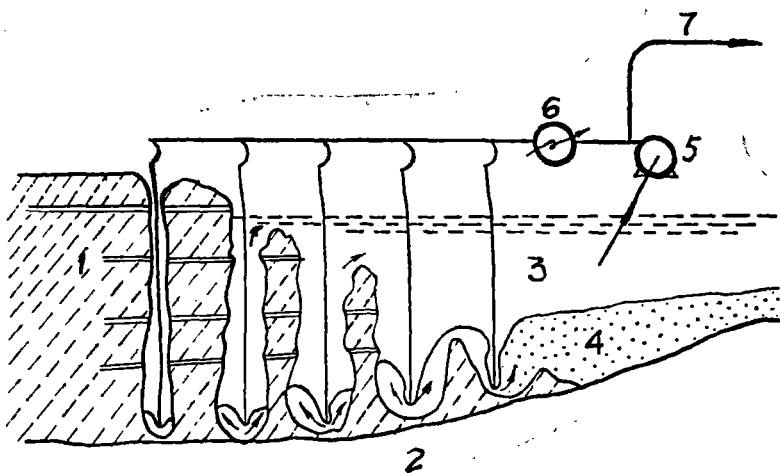


图2 Metiskow 芒硝湖加热溶解开采工艺流程图

1. 芒硝、淤泥互层； 2. 粘土、砂底板； 3. 卤水；  
4. 残留淤泥； 5. 泵； 6. 加热器； 7. 至加工厂。

Metiskow 盐湖淤泥芒硝矿床的加热溶解开采实践，为盐湖溶解采矿技术，为盐湖地球工艺学，提供了甚有意义的经验。

墨西哥卡门岛盐湖的溶解开采<sup>[38]</sup>，卡门岛位于加利福尼亚湾中部。小岛中间地带干涸盐湖，面积约8平方公里，盐层厚约3米，约含不溶物8~10%。该地年蒸发量2500毫米以上，年降雨量250毫米，最高气温39~40℃，最低气温14~16℃，日晒蒸发条件较好。因此，为了获得含NaCl 95%以上的产品，采用了海水溶解、日晒结晶的工艺。

利用明沟将海水引入湖内，溶解盐份达饱和后渗入井中。井深2~3米，井口直径2~3米。用泵将饱和卤水输至结晶池。结晶池修建在盐盖上，共13个，总面积52公顷(520,000米<sup>2</sup>)。池内卤深8厘米，由于渗漏较大，需要每天补充。除7~9月雨季外，全年收盐。每次收盐厚度约4厘米。收盐时先松碎、归垄，然后用单斗装载机装入卡车，距包装车间较远处，则用单斗装载机直接运送，年产原盐8万吨(最长达15万吨)。

露天铜矿溶浸开采所积累的经验，也是

盐湖溶解采矿的有益借鉴。下面仅举Big Mike矿一例<sup>[31,40]</sup>。

Big Mike铜矿床位于美国内华达州温尼穆卡以南48公里。该矿床含有品位10%的硫化铜矿石(黄铜矿和辉铜矿)100,000吨和品位20%的氧化铜、硫化铜混合矿700,000吨。富矿被贫矿包围。矿体呈透镜状，长183米，宽91米，倾角50°，最大埋深91米。用普通露天开采出富矿和部分贫矿后，所剩475,000吨贫矿，由于剥采比太大，不宜继续开采，故改用预先爆破松碎、酸液就地溶浸的开采方法。铜的回收率为70%时，可以使酸的消耗大为节省。

预先松碎共用爆破孔250个，直径146.1、228.6、750.8毫米，总长6400米，装填炸药181吨，共崩落松碎60万吨矿石。溶浸流程如图3所示。用喷洒器在矿体表面喷洒溶浸溶液(溶剂)，其酸度为1.5~2.0。溶浸溶液由上到下渗透至坑底，经55米深的钻孔汲出，第一年平均汲出流量为757升/分，含铜2克/升。

布液方法，除上述Big Mike矿所用的喷洒法外，目前在铜矿露天溶浸开采中采用

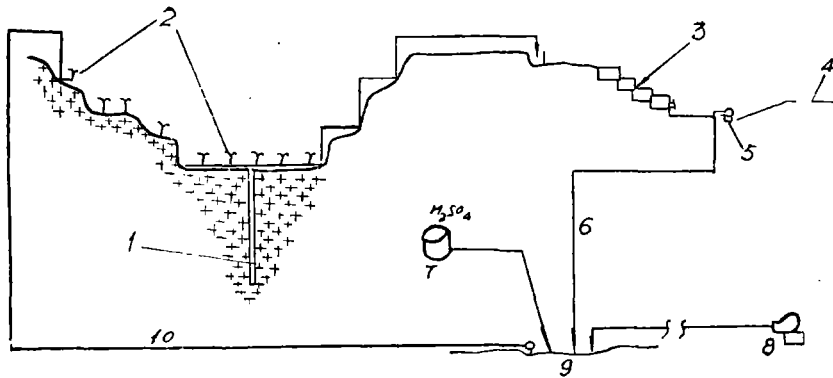


图3 Big Mike 铜矿溶浸工序流程图

1. 饱和溶液抽汲钻井； 2. 溶剂喷洒系统； 3. 沉淀槽； 4. 干燥平台；
5. 积水坑； 6. 用过的溶液； 7. 硫酸容器； 8. 供水泵； 9. 溶剂池；
10. 由不锈钢离心泵(760升/分)经管道输送溶剂

的，还有灌溉法和垂直管法。<sup>[25]</sup> 喷洒法，溶剂分布均匀，但蒸发损失大，在干旱地区损失量可达60%。灌溉法，是矿体表面开挖沟渠、浅塘，以分布溶剂。垂直管法，是将多孔管插入钻孔，以分布溶剂，此法可促进溶剂在矿体内充分分布。

盐湖及露天铜矿溶解开采的实践以及溶解开采的其它实践，为盐湖溶解开采的进一步发展提供了可贵的经验，其中主要的是：

1. 同地下就地溶解法一样，盐湖溶解开采也为采掘与加工结合创造有利的条件。

2. 盐湖溶解开采，在溶剂供给方式（也即布液方式）上，不仅可以运用管、渠等人工构筑物引流，而且还有可能直接利用周边淡水，湖底承压淡水等漫流溶解。

3. 为了有效地进行溶解，针对矿床类型，不仅可以采用常温淡水或淡卤水作溶剂，而且还可以采用加热溶剂，酸(碱)性溶剂或其它溶剂。

4. 不溶物的沉积覆盖是溶解开采的严重障碍，必须采取有效的预防和消耗措施。在多种可溶盐类矿物伴生的情况下，选别开采往往成为影响溶解法合理性的重要因素。

5. 为了强化溶解、提高回采率所作的各种尝试，如预先爆破松碎、水力压裂、声学

强化<sup>[41,42]</sup>，人工扰动及旋涡化、化学活化<sup>[42]</sup>、高频电场强化<sup>[44]</sup>等等，以及细菌溶浸的实践等，尽管不完全适用于盐湖，但有力地表明，在溶解开采和地球工艺的技术、科学领域里，有着向深度和广度继续发展的广阔前景。

### 盐湖固相矿床溶解开采法的展望

溶解采矿法已作为一门独立的技术在矿物资源的开发、利用中占有不可忽视的地位，对于盐湖来说，历史上和现实中也都有实践的先例。但是，我们认为，要就盐湖固相矿床溶解开采的前途，作出总的估计，还必须从盐湖固相矿床的特点出发进行具体的分析，掌握利弊，从而得出恰当的结论。

盐湖固相矿床松软、埋藏浅，便于机械剥离和采掘，剥离和开拓，准备工作量较少，尤其在矿石品位高，或者基本上满足产品质量要求的情况下，采用通常的机械开采方法，先采掘，后加工，避免溶解开采所造成的“固→液→固”的迂回，直接获得固体产品或原料，显然比较合理。这一点，在选择开采方法方案时必须充分予以考虑。

但是，从盐湖固相矿床的特点出发，还可以看到许多有利于溶解开采的因素，它们

主要是:

1. 盐湖固相有用矿物多数在不同程度上具有良好的可溶性。<sup>[44,47,20]</sup>首先,是水易溶盐,常温( $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ )下饱和溶液的浓度约大于17%,如岩盐( $\text{NaCl}$ )、钾石盐( $\text{KCl}$ ),光卤石( $\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ),水氯镁石( $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ),泻盐( $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ),硫酸镁( $\text{MgSO}_4$ ),芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ),无水芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ),天然碱石(苏打 $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot \text{H}_2\text{O}$ ),碳酸钠( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )等;其次,是热水易溶盐,常温下饱和溶液的浓度约小于17%,热水中溶解度显著提高,如碳酸氢钠( $\text{NaHCO}_3$ ),天然碱( $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot \text{NaHCO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )、硼砂( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )、钠硼解石( $\text{NaCaB}_5\text{O}_{11}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ )、水方硼石( $\text{CaMgB}_6\cdot \text{O}_{11}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )、柱硼镁石( $\text{MgB}_2\text{O}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )等;此外,还有酸、碱液可溶盐,在无机酸或碱液中具有较好的可溶性,如钠硼解石、水方硼石、柱硼镁石、石膏( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )等。

2. 作为溶解采矿法基本“工具”的水,是能否合理采用此法的前提。盐湖虽处于干旱地区,但是,盐湖所在的闭流盆地,汇水面积往往是盐湖面积的几十至几百倍<sup>[6]</sup>,盆地周围有高山积雪,冰雪融水为盐湖盆地提供充足的水源。因此,多数情况下,盐湖周边和底部存在低矿化度水,为溶解开采提供必要的条件。

3. 盐湖矿床是有用物质自然富集的结果。一般地说,不仅包含杂质,而且有多种组份伴生,需要进行不同程度的加工提纯,才能作为工业原料或成品。溶解采矿法将充分利用自然条件,简化工序,提高回采率,尤其对于贫矿和复杂矿床更显示其优越性,甚至具有使废矿不废的功能。

4. 我国盐湖地处高原,气候干寒,太阳能充足,具备良好的蒸发条件和冷冻条件,极有利于日晒或冷冻结晶,而且还可能为提高溶剂温度提供能源。如果说,盐湖矿床是自然条件下一次富集的结果,那末,我们可以充分利用水的溶解能力和太阳能,实现人

工控制下的二次富集。“固→液→固”迂回所造成技术、经济上的不利,将因自然力的充分利用而被抵消。

5. 有效的工人控制,是溶解采矿法正常实行的关键。而盐湖矿床埋藏浅,为观察和控制溶解过程提供比较有利的条件。

综观利弊,可以认为,尽管溶解采矿法在盐湖的推广应用,会遇到许多困难,但它不仅可能而且应该为盐湖资源的开发利用作出贡献。

以溶解开采为中心内容的盐湖地球化学工艺学,同样是地质学、采矿学、物理学、化学等学科相互交叉的边缘科学,盐湖地球化学工艺学的发展不仅受有关学科的影响,而且反作用于后者。

例如,作为地球工艺过程的二次富集,其实是一种人工控制下加快进行的地球化学过程。以地质年代计算的缓慢的地球化学过程,现在以年、月、日计算在人工控制下发生。因此,盐湖的开发和利用为地球化学的研究提供了有效的实验场,使那些原来只能凭借对比、推断等方法得到的东西,可以直接置于研究者的观测和控制之下,以利于掌握盐湖地球化学过程的规律。

又如,大规模溶解开采的生产过程,不仅要求掌握溶解机理,探索强化溶解的途径,提高溶解开采的可控性,并且,生产中将暴露出实验室条件下难以察觉的种种现象,从而从提出要求和提供条件两个方面促进盐湖溶液理论的研究。

再如,溶解开采,实际上将促使固相矿床开采和液相矿床开采的紧密结合,促进盐湖渗流力学、岩土力学和物理化学的综合研究。

恩格斯在《自然辩证法》中曾经指出:

**“人的思维之最本质的和最密切的基础,却恰恰是人所引起的自然界的变化,而非单独是自然界本身;人的智力是按照人如何学会改变自然界而发展的。”**

让我们在盐湖开发和利用的广泛实践,

其中包括盐湖溶解开采的实践中改造自然,同时改造我们对自然的认识吧!

### 参 考 文 献

- [1] 延平, 盐湖固相矿床开采研究的若干问题,《盐湖科技资料》, 1974, 第1、2辑, 103—110。
- [2] 酈道元(北魏),《水经注》, 清光绪新化三昧书室据长沙王氏本重刊。
- [3] 欧阳修(宋),《新唐书》, 中华书局据武英殿本校刊。
- [4] 程名华主编,《食盐与钾盐》, 地质部全国地质资料局1957年。
- [5] 宋应星(明),《天工开物》, 商务印书馆1959年据明崇祯十年(1637年)刊本影印。
- [6] 北京轻工业学院主编,《盐业化学工艺学》, 中国财政经济出版社, 1962年。
- [7] 彭久松、张学军, 我国古代地质钻井史概说,《井盐史通讯》, 1976, №2, 1—21。
- [8] П. А. Куллё, «Разработка месторождений соли подземным выщелачиванием. ТрудыВНИИ Голургии. вып. XX», Госхимиздат, 1949。
- [9] И. П. Кириченко, «Химические способы добычи полезных ископаемых», Издательство АН СССР, 1958。
- [10] Н. В. Мельников и др., Проблемы и перспективы развития Геотехнологических методов добычи полезных ископаемых, «Физ-техн. проблем разработки полезн. ископ», 1974, №2, 3—8。
- [10] 云南省磨黑盐矿, 钻井水溶压裂法第一阶段试验小结,《井矿盐技术通讯》, 1972, №1, 8—11。
- [12] 四川省盐务局地质钻井大队, 四川长山矿区盐岩水力压裂采卤试验初步总结,《井矿盐技术通讯》, 1972, №1, 11—28。
- [13] 一年建成矿山, 当年投产见效。《矿盐技术通讯》, 1972, №1, 47。
- [14] 武汉军区七一一工厂, 关于压裂法和水采岩盐情况介绍,《井矿盐技术通讯》。1972, №4, 1—7。
- [15] Robert Noyes, «Potash and Potassium Fertilizers. Chemical Process Monograph. № 15», Noyes Development Corp., U. S. A., 1966。
- [16] И. М. Еселев и др., Новая технология добычи калийных руд, «Горный ж.», 1973, №3. 33—36。
- [17] Texas Gulf brings Cane Greek back on-stream—Unique method of potash extraction, «Phosphorus and Potassium», 1972, №61, 46—47。
- [18] Daniel Jackson, Solution mining pumps new life into Cane Greek potash mine, «Engineering and mining J.», 1973, vol. 174, №7, 59—69。
- [19] Robert L. Curfman, Solution Mining Project, «Mining Congress J.», 1974, vol. 60, №3, 32—36。
- [20] 大连制碱工业研究所、辽宁省纯碱工业技术情报站,《纯碱译文集(美国天然碱专辑)》, 1973年11月。
- [21] Howard A. Sommers Soda and from trona, «Chem. Eng. Progr.», 1960, vol. 56, №2, 76—79。
- [22] Ned A. Caldwell and William

- R. Frint. Recovering sodium values by solution mining of trona, U. S. P. 3050290, Aug. 21, 1962, Appl. Oct. 30, 1959. («С. А.», 1962, vol. 57, №11, 13415).
- [23] Alan B. Gancy, Soda ash from underground trona deposits, U. S. P. 3184287, May 18, 1965, Appl. Oct. 5, 1961. («С. А.», 1965, vol. 63, № 4, 3929).
- [24] 张子高, «中国化学史稿·古代之部»科学出版社1964年。
- [25] 冶金部北京矿冶研究院、中国科学院微生物研究所等译, «细菌浸出在采矿工业中的应用», 冶金工业出版社, 1972年。
- [26] Fletcher James B., In-place leaching, «Skillings' mining rev.», 1974, vol. 63, № 17, 1, 8—10. (转引自 «Э.-И. Горнорудная промышленность», 1974, № 28, 13—17).
- [27] Ronald J. Roman, Solution mining, «Mining Engineering», 1974, vol. 26, № 2, 43—44.
- [28] Malouf E. E., Dupon leaching, «Surface mining», 1972, 762—770. (转引自 «Р. Ж. Горное дело», 1974, № 5, 5 Б 496).
- [29] 伊藤一朗, Inplace leaching について, «日本矿业会志», 1973, №8, 1—10.
- [30] Malouf E. E., Leaching as a mining tool, «Int. Symp. Hydromet. Chicago. III, 1973», 1973, 615—626. (转引自 «Э.-И. Горнорудная промыш.», 1974, № 7, 13—16).
- [31] Solution mining opening new reserves, «Engineering and mining J.», 1974, vol. 175, № 7, 62—71.
- [32] Б. И. Нифонтов и др., Технопогия и технико рудников будущего. Всб. «Освоение минеральн. богатств Кальск. п-ва», 1974, 257—272. (转引自 «Р. Ж. Горное дело», 1974, № 8, 8 Б 486).
- [33] «Webster's New International Dictionary of English Language», 3d edition, G. & C. Merriam Co., Publishers, U.S.A. 1961.
- [34] R. Pitman Hooper etc., «Mining methods in Australia and Adjacent territories», 1953. (转引自俄译本)
- [35] W. A. Mac Williams, R. G. Reynolds. «Solution mining» of sodium sulphate, «Canadian Mining & Met. Bulletin», 1973, vol. 66, №734, 115—119.
- [36] 中国海盐考察组, 墨西哥海盐生产考察报告, «海盐与化工», 1974, № 3, 30—76.
- [37] А. Д. 克山, «硼酸盐在溶液中的合成及其研究», 科学出版社, 1962年。
- [38] 化工部生产技术司基本化学处编, «硼镁矿制取硼砂», 化工技术情报研究所印, 1964年9月。
- [39] Н. А. Быховер и др., «Минеральные ресурсы капиталистических стран (Плитий, бериллий, бор, фтор, магний)», Госгеолтехиздат, 1959.
- [40] Ranchers blasts open pit ore for leaching, «Mining Congress J.», 1973, vol. 59, № 9, 84.

- [41] В. С. Ямшиков и др., Исследование звуковой интенсификации выщелачивания каменной соли в природных условиях, «Горный ж.», 1973, № 2, 32—33.
- [42] В. С. Ямшиков и др., Акустическая интенсификация выщелачивания на Месторождениях каменной соли, «Горный ж.», 1974, № 8, 38—40.
- [43] Б. Д. Халезов и др., Исследование интенсификации процесса выщелачивания меди из руд в электрических полях высокой частоты, «Ср. Уральск. н.-и. и проект. ин-та медн. пром-сти», 1973, вып. 16, 165—171. (转引自 «Р. Ж. Горное Депо», 1974, № 5, 5 Б 493).
- [44] «Справочник Химика», II, Издательство «Химия», 1965.
- [45] Robert C. Weast, «Handbook of chemistry and physics. A ready-reference book of chemical and physical data», 1970—1971, 51st edition, the Chemical Rubber Co.
- [46] Л. Е. 柏林, Н. Н. 彼尔宗夫, «硼(工业矿物原料丛书)»中国工业出版社, 1964.
- [47] 西北地质局青海综合地质大队柴达木地质队, «青海柴达木某湖硼矿区最终地质勘探报告», 1964年.