

地质工艺孔原地浸出采矿方法与技术

张富兰

摘要 地质工艺孔原地浸出采矿法是一种利用地质工艺孔和化学试剂采矿的新型方法,通过生产试验,对工艺孔结构、布孔方式、施工技术、成井工艺等问题进行了讨论。

关键词 地质工艺孔 原地浸出 采矿 溶浸剂 注液孔 抽液孔

Method and Technique of In-situ Leaching Mining through Geology Technological Hole

Zhang Fulan (No.208 Brigade, Northeast Geological Exploration Bureau, Ministry of Nuclear Industry, Baotou, Inner Mongolia, 014010)

Abstract In-situ leaching mining through geology technological hole is a new mining method using chemical reagent. Discussion is made on bore-hole structure, hole arrangement, drilling technique and technology based on the results of productive tests.

Key words geology technological hole, in-situ leaching, mining, solvent, injecting hole, production hole

1 概述

地质工艺孔原地浸出采矿法源于16世纪的西班牙,以后美国、前苏联、法国等广泛采用。我国核工业六所于1985年在云南某地试验此法取得了成功,核工业地质系统从90年代初与独联体国家的地质部门合作,在内蒙古某地进行了一小规模现场试验。

这种采矿法的实质是通过从地表钻进至含矿层的钻孔,压入溶浸剂(化学试剂),使其沿矿体或准备被溶浸矿石受控制运动,使有用组分有选择性地转为液相,而后将饱含金属的溶液从抽液钻孔提升至地表,再经管道运输至精炼加工装置,如图1所示。

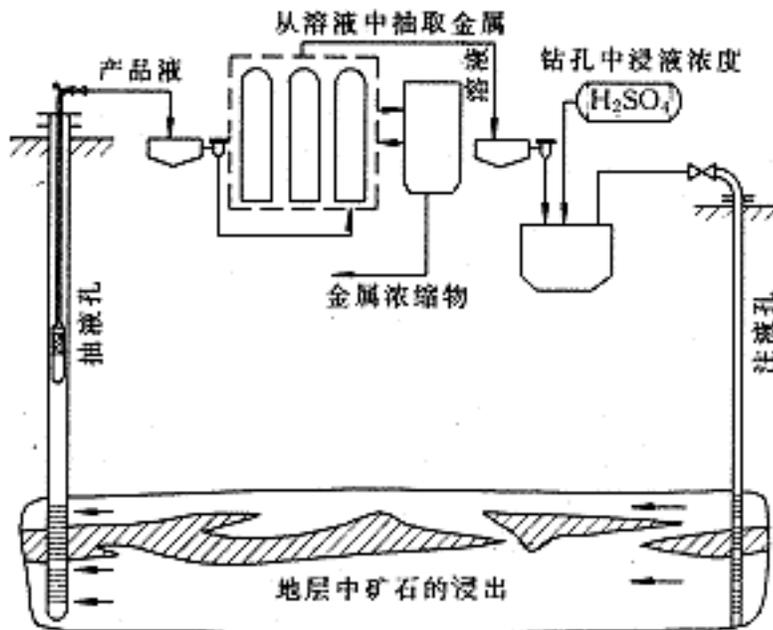


图1 地下浸出工艺原理示意图

此法主要运用于矿石疏松、破碎、裂隙或孔隙发育并具有一定渗透性能的矿床。矿石的渗透性是此法在技术上是否可行的决定性条件；矿石的品位、物质成分、矿体厚度和埋藏深度是此法在技术上是否合理的重要条件。由于此法具有：可回采采用常规方法无法开采的矿石，充分利用资源；节省基建投资，降低生产成本；经济合理地开采贫矿和表外矿；大大减轻工人的劳动强度，生产作业比较安全；大大减轻对环境的污染等优点，使其具有广阔的发展前景。

2 地质工艺孔的分类

按其用途所完成功能的内容及数量，用于开采固体矿产的钻孔分为两大类，即开采钻孔(又称生产钻孔)和辅助钻孔。开采钻孔用于直接实现开采过程向注液孔孔底输送溶浸剂，并将形成的矿浆或产品液由抽液孔提升至地表。

辅助钻孔包括勘探孔、观测孔、监视孔、阻拦孔等。

地质工艺孔因其用途不同，在结构、钻进技术及工艺、装备方面有实质性的区别。

3 地质工艺孔的结构与布孔方式

3.1 结构

地质工艺孔在原地浸出采矿中，不仅起着开拓、采准和采矿通道的作用，而且还担负着圈定采矿区、控制溶浸液流动以及监控产品溶液数量和质量等工作任务。因此，要求工艺孔能承受一定的压力，有较大的抽、注液能力，能向不同矿石品位和渗透性的矿段分布不同数量的溶浸液，并能长期保持稳定的生产能力。

3.1.1 设计钻孔结构时应考虑的主要影响因素

(1)矿床地质条件和水文地质条件(如岩石物理机械性质、矿层埋深、含水层位置

等)；(2)抽、注液孔的抽、注量；(3)产品液的提升装置和结构；(4)套管材料(要求有良好的抗化学腐蚀性能)；(5)在浸析过程中能进行必要的地球物理和水文地质观测；(6)在矿层的上部特别是开采位于含水层中的薄矿层上部能够形成牢固的隔水层；(7)在钻进过程中，矿层底部的隔水层不应遭破坏，若被打穿必须采取止水措施；(8)为防止溶浸液从地表渗透到套管与孔壁之间，应采用特殊的孔口装置；(9)孔的寿命较采矿期要长。

3.1.2 地质工艺孔结构

包括孔径、孔深、过滤器类型、换径次数等。按孔径一般分为3种类型：(1)用同径钻头钻穿矿层，见图2(a)；(2)用大一径钻头钻进至矿层2~5 m处下套管，注水泥浆液，再用小一径钻头钻穿矿层，在矿层处扩至设计孔径，见图2(b)；(3)用小径钻头钻至设计深度，再用大径钻头从地表扩孔直到穿过矿层，见图2(c)。

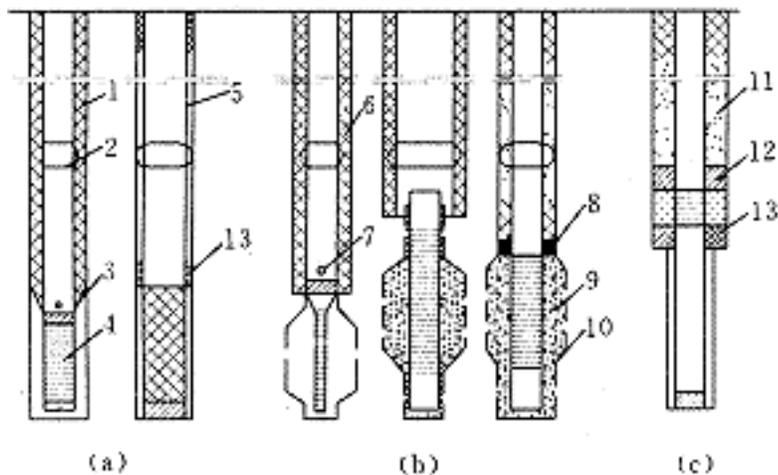


图2 地质工艺孔结构

1-孔壁；2-导向器；3-封隔器；4-过滤器；5-塑料管；6-水泥；7-排水泥浆孔；8-隔塞；
9-砾石；10-扩孔；11-粘土；12-粘土球；13-海带

3.1.3 地质工艺孔结构要素的确定

(1)钻孔深度:取决于矿层埋深和抽液设备的选择,它直接影响钻孔的扩孔直径、换径次数、套管材料的选择。按不同深度分为3类:0~200 m的浅孔,用PVC塑料硬管作套管和过滤器;200~400 m的中深孔,用不锈钢管或衬有钢丝的塑料管作套管和过滤器;>400 m的深孔,用不锈钢管作套管和过滤器。

(2)钻孔直径:取决于矿体埋深、矿体渗透性、抽注液量和抽注液设备等。浅孔常采用 400 mm开孔,穿过矿层换为小径,终孔直径200~250 mm;中深孔和深孔,采用小直径钻孔,下入 100~150 mm套管,矿体部位局部扩大到400 mm。

(3)过滤器:过滤器安装在含矿孔段,它应使溶浸液顺利地注入矿层,并使含矿溶液顺利地抽到地面。

过滤器应具有:最大的过滤面积,以减小工作液流的过流阻力;足够大的机械强度,能满足安装井管时的负荷和抵抗地层的压力;良好的滤液阻砂能力;高的抗化学腐蚀性能;安装方便,成本低,取材易。

常用的多为PVC硬塑管缠丝过滤器，其骨架是圆孔过滤器，采用6 mm的垫筋，间距40~50 mm；缠丝(尼龙丝或玻璃纤维丝)断面为梯形，丝距1.0 mm。

过滤器的长度：当含矿层较薄或抽注液量要求较大时，其长度与含矿层的厚度相等；当含矿层的厚度较大时(> 10 m)，其长度可参考如下公式确定：

$$L=Q \quad /D$$

式中：L过滤器有效长度，m；Q设计抽注液量，m³/d；经验系数，细砂取90，中砂取60，粗砂取50；D过滤器的外径，mm。

过滤器的滤水孔和孔隙率：取决于含矿层颗粒的有效粒度，若过滤器外面填砾时，滤水孔最少应能保留住95%的砾料。缠丝过滤器孔隙率为5%~10%。

过滤器的直径：可由下式确定：

$$D=AQ/(\quad LmV)$$

式中：m孔隙率；V最大允许进液速度，m/s，其中V=65K(K为含矿层渗透系数)；A常数，其值为8.64×10；其余同上。

3.2 布孔方式

工艺孔的布孔方式决定着溶浸液的有效循环、有效控制和回收效率。在进行初步试验之后，按最佳水文资料和经济因素布置孔网。

常用的布孔方式有两种：即五点型和七点型。如图3所示，五点型为方型，抽注液孔间距为15~25 m。根据矿体形状和地下水的特性，采用多个五点型或七点型。渗透性较好的大矿体，钻孔常呈行列式排布；小矿体或渗透性较差的矿体，钻孔常呈网格式排列分布。

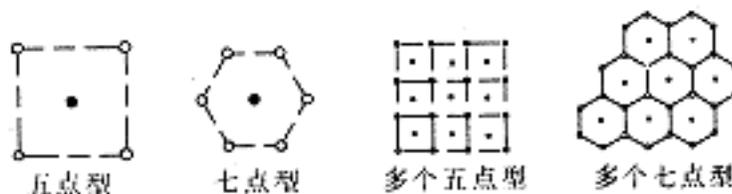


图3 地质工艺孔原地浸出采矿法抽注液孔布置图

○ -注液孔；● -抽液孔

4 地质工艺孔施工技术

4.1 钻进方法与设备选型

4.1.1 钻进方法 目前，地质工艺孔采矿方法多用于沉积岩盆地矿床中，因而主要采用正循环回转钻进。随着其应用领域的扩大，其它一些方法也被引入。如反循环钻进可提高生产效率，改善地质工艺孔成井质量。

4.1.2 设备选型 施工地质工艺孔要求钻探设备机动性好，机械化程度高，辅助工序少。水泵应具有足够大的泵量。对于浅孔，一般的岩心钻探设备即可，中、深孔应选

用转盘式钻机。

4.2 局部扩孔

在含矿段局部扩孔，可使含矿液流动空间增大，有利于消除矿层堵塞区，是提高产量、降低钻探和采矿成本的主要途径。在确定扩孔直径时，除考虑填砾层厚度外，还须考虑抽吸设备的大小；产矿层强烈淤塞带的有效破坏，悬空顶板的稳定性。孔身扩径应逐步过渡，并保持孔内具有一定的冲洗液柱，对岩层产生静压。局部扩孔方法很多，图4是一种较有效的机械式局部扩孔器。

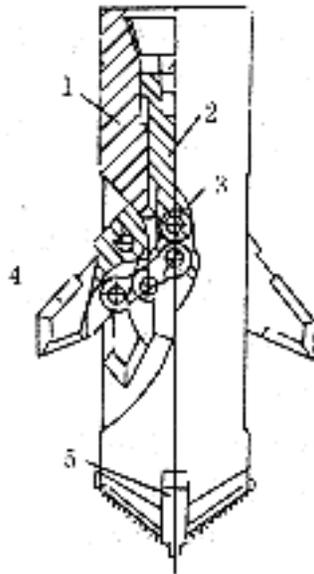


图4 机械式扩孔器

1-外壳；2-活塞；3-拉杆；4-刀片；5-钻头

4.3 填砾

对地质工艺孔而言，在产矿层中存在细粒砂时，填砾是最有效的，它可以用比较大粒度的物质代替产矿层中的砂来增加近钻孔过滤器地带的渗透性，同时也有助于增加钻孔的有效直径。填砾层厚度对工艺孔的生产效率和服务期限有重大影响。

4.3.1 砾料的选择。对砾料的要求：在含矿液与溶浸剂作用下不能溶解；砾料的矿物成分与溶浸液作用时不产生化学盐类堵塞过滤层；过滤层砾料的大小要能滞留全部地层材料，它的渗透性要比矿层岩石渗透性大；砾石必须浑圆光滑，以减小流体阻力及填砾层的机械淤积。地质工艺孔的砾料可以选择石英砂、软锰矿颗粒、聚氯乙烯颗粒、玻璃球等，其粒径可由下式确定：

$$D_{50}/d_{50}=8 \sim 12$$

式中： D_{50} 填砾料中所含50%以下颗粒的粒径； d_{50} 矿层岩石中所含50%以下颗粒的粒径。

4.3.2 填砾方法 主要有静水填砾法、抽水填砾法和钻杆填砾法。对于具有隔水密封装置的地质工艺孔，采用抽水填砾法要有专门的工具。

4.4 止(隔)水

止(隔)水关系到开采工作的效率和质量。溶液流动区隔离可靠,能提高采矿的技术经济指标,并可起到保护自然环境,特别是保护地下水不受污染的作用。常用的止(隔)水方法有橡胶密封圈隔水、水力胀圈隔水、粘土球隔水、凝胶水泥膏隔水等。

5 工程实例

核工业地质系统于90年代初在内蒙古某地进行了原地浸出铀的小型现场试验,对该矿床进行地浸可行性评价,共施工地质工艺孔5个,总进尺268 m,其中抽、注液孔各1个,观测孔3个。

5.1 试验区地质和水文地质条件

试验区段地形平坦,微具起伏,气候干旱,无地表水体。地层平缓,倾向东南,倾角 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$,断层裂隙不发育,单斜构造,主要含水层为白垩系上统二连达布苏组下部砂岩段,厚度20~27 m,岩性为泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、中粗砂岩。在矿床内,含水层上部为二连达布苏组上部泥岩段,下部为巴颜花组上部泥岩段,主要矿体赋存于水面以上,含水层中低品位矿化幅度和范围均较大,但工业矿体则呈零星分布。

含矿层岩石渗透系数为1.38 m/d。浸出液中铀含量为20 mg/L。

5.2 钻孔布置

现场试验主要是进行地浸可靠性评价,其内容主要包括:(1)地质参数:矿体类型、形态、规模、产状及埋深,矿石岩性、物质成分及伴生元素含量,矿石品位,四价铀和六价铀的数量比值,储量及铀在矿石中存在形式、赋存状态和矿石的胶结程度,矿石中可溶性盐类、有机质及其它矿物含量等。(2)水文地质参数:水文地质结构,含水层的数量及基本特征,含水层及水位埋深,泵压水头,矿石和矿层的渗透性及均匀性,矿层顶底板岩石的渗透性,地下水的流向及流过含水层的水力联系,隔水层的分布与可靠性,地下水的物理性质和化学成分等。(3)工艺参数:溶浸剂的选择,溶浸剂消耗,浸出率,液固比,液产率和浸出时间等。(4)自然地理及经济技术条件:供水水源,水质,水量,环保条件,钻探成本,效率和消耗等。

考虑到上述因素,为了以最少的工作量获得这些必要的参数,采用如图5所示的钻孔布置方式。

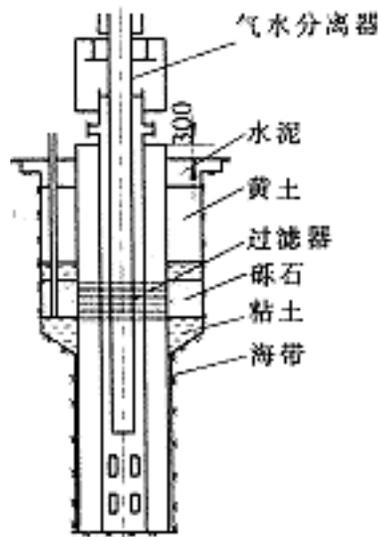


图5 钻孔平面布置图

5.3 钻孔结构

抽、注液孔采用相同的结构，如图6所示。考虑到采用空压机抽液，需要足够的沉没比，因此设计深度超过矿层40 m。先导孔用 150 mm的硬质合金钻头钻到设计深度，再用 370 mm带导向的牙轮钻头从孔口扩至38 m处，超过含矿段3 m，下入 140 mm的PVC硬塑料管至孔底，140 mm管旁边下入 18 mm的测水位管至含矿段，在含矿段29 ~ 35 m处安装垫筋丝网过滤器，过滤器上下分别用粘土球止水。

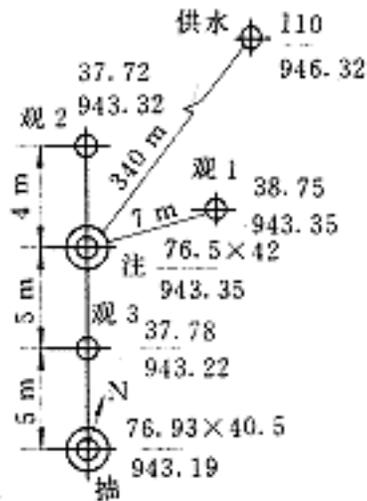


图6 抽、注液孔结构

3个观测孔均采用相同的结构，用 130 mm的硬质合金钻头钻到设计深度(38 m)，下入 89 mm的PVC硬塑料管，含矿段安装垫筋丝网过滤器，过滤器上部缠海带，含矿段不填砾。

5.4 钻孔和成孔工艺

5.4.1 设备选型 试验区段矿层很浅，钻孔的设计深度都在100 m以内，选用JV1000型钻机，BW200型泥浆泵，SGX13型钻塔。

5.4.2 钻头 由于矿层浅，采用2次扩孔成井工艺。用 150 mm普通硬质合金钻头钻先导孔，扩孔采用 370 mm带导向牙轮钻头，配 89 mm钻杆，从地表直接扩穿矿层。

5.4.3 套管的安装 套管选用具有耐腐蚀、易安装、成本低等特点的PVC硬塑料管，采用接头连接，用601粘接剂粘接后，再用塑料焊条焊接。采用钻杆托盘法安装，安装完毕后，将钻杆返出，托盘置于孔底隔水。

5.4.4 填砾 砾料选用当地的石英砂，砾径1~3 mm，浑圆光滑，分选性能好。采用静水填砾法。填砾的速度不宜太快。待井管内出现返水后再适当加快填砾速度。返水随着过滤器四周被砾料堆积而由大变小。当管口返水突然变小时，说明过滤器已被埋没，用测绳测量填砾高度，核算填砾数量，符合要求为止。

5.4.5 止水 在过滤器底部采用海带和粘土球止水，上部采用粘土球止水，投入粘土球后须用钻杆捣实。孔口用耐酸水泥进行固结。

5.5 抽、注液试验

注液采用自流式，在地表修一平台(高出注液孔口2 m)，上置一个20 m³的溶浸液罐，溶浸液从罐中往地表管自流到注液孔中，注入量经计量表由阀门控制。

抽液采用空压机抽液法，如图7所示。抽注液量比例控制在1/4。

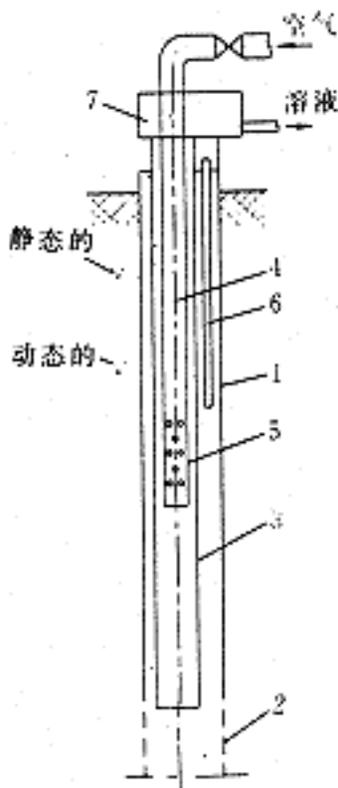


图7 带中心送气管的空气升液器示意图

1-开采管；2-过滤器；3-溶液提升管；4-供气管；5-混合器；6-测压管；7-分离器

此次现场试验达到了预期的目的，取得了各类技术经济参数，获得了圆满成功。

6 几点体会

(1)这种采矿法能有效简化采矿程序，克服某些矿产由于地层和构造复杂给井下采矿带来的困难，充分利用低品位矿石，减轻井下采矿的劳动强度，减少井下采矿废渣处理量和减轻环境污染，降低采矿成本，具有广阔的应用前景。

(2)采用地质工艺孔采矿的前提条件是：当含浸出剂的水溶液作用于矿层时，有用组分及其化合物能转入溶液，以及浸出液能够在矿层的岩石中渗透。因而，最重要的决定因素是矿体的孔隙度和渗透性，一般规律是孔隙度和渗透性越高，浸出和溶解的速度越快。

(3)正确选择地质工艺孔的布置方案及其间距是提高采矿效率的重要因素，主要采用线状排列的注液孔与抽液孔相间分布的格局。行距和孔距变化范围大，最为普遍的是25 m × 50 m。

(4)冲洗液质量是提高钻进和开采效率的重要因素。用质量不高的冲洗液钻进，会导致孔壁失稳，影响开采管的起下，并对地层渗透性产生负影响。

(5)过滤器结构直接影响注液孔的接受能力和抽液孔的出水量，从而影响钻孔的生产能力和服务年限。

(6)地质工艺孔是在流体的高压、高温和采用有腐蚀性的、对人的健康有危害的溶液的条件下工作的。所有在高压下工作的管道和软管以及止水设备，在安装完毕后均应在比工作压力高25%~50%的压力下进行试验。在用有害物质进行工作时，必须遵守有关安全防护规定。

作者简介：张富兰：男，1962年生，核工业西北地质局208大队副大队长，高级工程师；1982年毕业于河北地质学院探矿工程系。地址：014010 内蒙古包头市128信箱；电话：0472-5143322。

7 参考文献

- 1 刘冈楼，等.地浸孔的结构及成井工艺.西部探矿工程，1992，(2).
- 2 N.A. 谢尔金科，等.地质工艺钻孔的钻探和设备.陈晓秦，狄永强，顾振发译.北京：地震出版社，1993.

收稿日期：1998-09-16

改回日期：1999-01-08