

地浸采铀技术与工艺^①

张振强

(中国核工业地质局240研究所,辽宁沈阳110032)

摘要 地浸采铀是世界上十分先进的采矿技术,其基本原理是对可地浸砂岩型铀矿按一定网度布置工艺钻孔,从注液孔注入地浸液,使地浸液与铀进行充分反应,经抽液孔提出地表,在地表工厂进行萃取铀的过程。地浸法分为酸法和碱法两种。地浸采铀能使低品位砂岩型铀矿成为有工业价值的矿床,由于对环境污染小,已被世界大多数国家广泛采用。但是并非所有的砂岩铀矿都能地浸,只有符合地浸地质—水文评价指标的砂岩铀矿才能地浸。地浸工艺包括钻孔的布置、浸液的配制、地下水的复原和环境保护等方面。我国的地浸采铀于20世纪70年代开始探索,90年代中期开展了大规模的地浸砂岩铀找矿与开采工作,并取得了突破性进展,新疆512矿床就是利用地浸技术评价与开采的我国第一座大型地浸铀矿山。

关键词 地浸采铀;方法原理;技术与工艺;应用条件

中图分类号 P619.14

文献标识码 A

地浸采铀是按一定配方配制的溶浸液,通过注液钻孔注入到天然埋藏条件下的可渗透岩层,使浸液在矿石孔隙或裂隙内的渗透过程中与铀及其有用成分接触并进行溶解反应,生成含矿溶液,经向负压方向渗流从抽液孔被抽至地表,并输送到车间加工处理后获得铀产品的水冶流程。它使得一些用山地法开采不经济的矿床有了工业利用的价值,并能获得较高的经济技术指标。地浸采铀作为采矿工业一项十分先进的技术,已被世界大多数国家普遍采用,被誉为采矿史的一次重大技术革命。

1 地浸采铀的特点

开采方法简单、工艺流程短。对天然埋藏条件下的矿体通过钻孔直接注入浸液进入矿体所在的疏松砂层,有选择性地浸出铀,并加以回收。因而采矿不需要投入采掘工程无需运矿、碎矿、磨矿和固液分离,大大缩短了采矿工艺流程。

矿山建设周期短、基建投资少,劳动强度低、自动化程度高。地浸采铀只需对从地下泵上来的矿化贵液进行吸附、萃取、脱水即可生产出铀产品,自动化程度相对高。

生产效率高、资源利用充分。通过钻孔注入矿体所在的砂岩层的溶浸液,是在整个透水砂岩层内运移的,在对矿体中的铀进行浸出的同时,还会对砂岩层中分散的铀和表外低品位

^① 收稿日期:2002-03-20

万方数据

作者简介:张振强(1966~),男,高级工程师,从事铀矿地质科研与生产工作。

矿段中的及铀伴生元素 Se、Sc、Mo、Ge、V、Re 等进行浸出和回收。已有的矿山开采实践表明地浸开采的总回收率一般均较常规开采方法要高,许多情况下甚至超过 100%(相对于勘探计算出的储量而言)。

材料消耗少。由于地浸开采工艺流程短,不仅节省了大量的机械消耗材料,而且水、电、燃油等材料的用量也明显减少。

环境污染小。一是放射性粉尘污染得到彻底改善;二是尾渣和废气的污染减到了最低程度;三是由于地浸溶液是在闭路管道内循环使用,其废水排放量显著减少。

2 方法原理

地浸采铀通常是通过地表不同种类、按一定网格组成的工艺钻孔(注液孔和与注液孔保持一定距离的抽液孔)系统来实现。实质在于使铀金属选择性地由原地转移到溶液中,再通过抽液孔将产品提升到地面,在地表工厂中萃取回收溶液中的铀(图 1)。

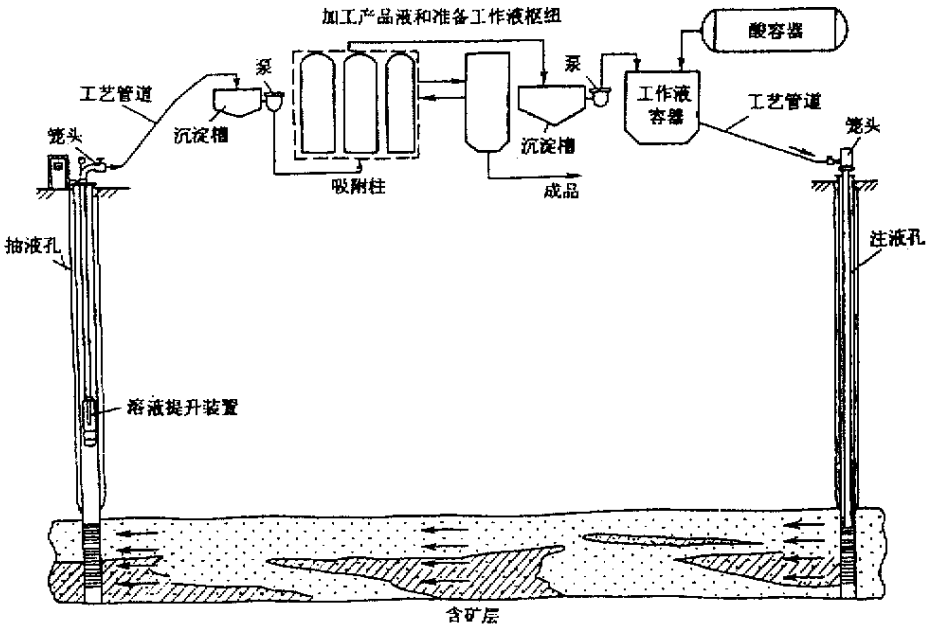


图 1 地浸采铀工艺流程示意图

Fig.1 The map of In-situ uranium mining technology

在工业上,铀地浸通常有两种基本方法:一是前苏联广泛采用的硫酸法,经常使用的溶浸剂是硫酸(溶液浓度为 0.5%~3.0%),主要用于碳酸盐含量不高的矿石。采用硫酸作溶浸剂时其化学作用不能在碱性碳酸系统中形成再循环;使用硫酸还会起到类似石膏堵塞矿石间隙那样,影响溶浸剂的流通。实际工作中采用过氧化氢作为氧化剂,再回收率要比常规地浸方法低,因而该法常用于低品位的铀;另一种是美国广泛使用的加氧化剂的重碳酸盐法(碱法),溶浸剂为钠和铵的碳酸盐和重碳酸盐(溶液浓度为 0.5%~5.0%),需加过氧化氢、钾和钠的次氯酸盐作为氧化剂,浸出液经加工后直接获得铀产品—黄饼($\text{UO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),这是一种一次性完成的从原地埋藏的矿石中提取铀及其有用组分的水冶流程。

由于地浸普遍采用的人造化学试剂如硫酸、碳酸盐、重碳酸盐,并配有不同氧化剂如氧气、过氧化氢、三价铁要消耗大量的人力、物力和资金,并对环境造成相当大的影响,现在已研制成功用于碳酸盐含量较高的弱硫酸铀地浸工艺和天然试剂浸出法—用天然水的重碳酸盐离子和工业氧、大气氧为氧化剂的地浸工艺,在酸化阶段应用氧化剂(氧)的硫酸地浸工艺和应用气态氯等强氧化剂的碳酸盐地浸工艺。

3 地浸采矿工艺

地浸采铀工艺包括矿床的地质—水文地质条件评价、实验室与野外地质工艺试验、溶浸液的配制和使用方法、地浸钻孔的布置与钻孔技术、地下水恢复与环境保护等方面。

3.1 地质—水文地质条件评价

包括矿床位置、大小、界线、成因和形态类型、地层和岩性、含矿层产状、矿体长、宽、厚度、倾向、倾角、矿体内部结构变化、矿石和围岩的矿物成分、物质成分、主要组分、有害组分;含水层、排泄区、补水区、含水层类型及隔水层特点、围岩渗透、地下水压力面位置,在矿床剖面中所遇到的各个含水层的压力数值、地下水的温度和成分。

3.2 实验室试验

在不同的工艺参数条件下对少量矿石物质进行广泛综合性的研究,其研究结果与矿床勘探资料和水文地质试验相结合,可以给出地下浸出过程基本参数所必须的数据,检验所拟定的模型,确定地下浸出开采的经济合理性和是否要到野外现场进一步试验。现场试验是矿床有代表性地段的含矿层中通过钻孔地下浸出来实现的,获得从矿床中提取有用组分的精确地质工艺指标。实验室和野外试验准确、恰当地配合,不仅可以确定是否采用地下浸出,而且也即将实现的开采打下基础。

3.3 溶浸液的配制和使用

矿石的物质成分和化学成分是选择配方的依据,而含矿含水层的岩矿组分、地下水的化学成分也是应考虑的因素。影响地浸开采过程的地浸反应剂包括酸、碱、pH、Eh 值、溶浸剂的浓度、消耗量、浸取后有用组分的剩余含量、溶浸剂流速。产品液中有用组分的浓度、浸出过程延续的时间(开采周期)、溶浸液的相对体积(液固比)等。依据原始数据和任务完成工艺溶液总量,按溶液计算生产能力、试剂总消耗、年消耗。

3.4 地浸钻孔的布置形式与钻孔工艺技术

钻孔布置主要有矩形系统、多边形系统(多抽注系统)、线状排列系统(单孔系统)、层状系统(双孔系统)。

钻孔工艺技术包括计算所开矿体工艺钻孔分布及孔网密度、抽液孔、注液孔、备用孔、观察孔、勘探孔及检查孔的数量、钻孔生产能力、同时工作的抽液孔数量。

3.5 地下水恢复与环境保护

地浸开采对生态系统的污染主要是地下水水源的质量受到影响。要确定地质介质受到工艺流程作用影响时的变化特点、污染水(残留的工艺溶液)化学成分和物理化学性质,并对工艺溶液在水文地质结构中扩散进行控制。

4 地浸采铀技术的应用条件

地浸法仅仅适用于一定条件下的矿床,只有松散的砂岩型铀矿床才有可能进行地浸

法开采,且必须满足下列条件:矿石中有益组分在弱酸或盐溶液中呈溶解的矿物形式;含矿围岩层的矿石和岩石对化学溶剂是可渗透的;矿化围岩的矿物—化学组分对所采用的溶剂基本上不起作用的;矿石的埋藏深度对当时的钻探工艺技术是可以接受的。

(1)含矿岩性应为砂岩、砂砾岩、含砾砂岩,矿体形态为层状、似层状、透镜状;矿体必须埋在地下水位以下的充水岩石中,含矿含水层厚度小于 20 m 且含矿含水层厚度不大于矿体平均厚度的 9 倍,地下水埋深一般小于 50 m,且具承压性,承压水头大于 50 m,含矿主岩有足够的渗透性以便溶浸液反复循环,矿体中铀的浸出率高。

(2)矿体产状平缓或缓倾斜(倾角一般小于 5°),矿体顶底板应是良好封闭的不透水层。矿区内断裂构造不发育,没有切层的断裂及喀斯特溶洞。

(3)单位面积铀含量以 $> 2\text{kg}/\text{m}^2$ 为宜,含矿含水层中的有害组分如碳酸盐 CO_2 含量 $> 2\% \sim 3\%$,不宜用酸法浸出。有机质、粘土质、硫化物不宜太多,围岩以长石石英质或石英质砂岩最宜。

(4)含矿含水层应为渗透岩石,矿石渗透系数以 $> 1/\text{d}$,孔隙度 $> 10\%$ 为宜。

(5)矿体埋藏浅,一般小于 300 m,最大不超过 500 ~ 600 m。

5 地浸采铀技术在我国的应用

我国于 20 世纪 70 年代开始地浸采铀技术的研究,先后在广东和黑龙江进行小型探索性试验,在地浸技术、装置和方法等方面积累了经验,80 年代开始现场地浸试验,掌握了酸法浸出工艺,但与世界发达国家存在一定的差距。又由于其他条件限制,直到 20 世纪 90 年代中后期,随着国外地浸技术与人才的引进,我国铀找矿与开采重点才转移到地浸砂岩型铀矿上来,在我国西北、东北地区寻找可地浸砂岩型铀矿床,取得了突破性进展。新疆 512 矿床就是按照先进的地浸砂岩铀矿理论来评价、开采的我国第一座大型铀矿山。

5.1 矿床地质工艺条件

该矿床发现于 20 世纪 50 年代,1961 年提交了中型矿床的远景储量,平均品位 0.160%。1991 年引进层间氧化带找矿模式和地浸采矿技术后经重新勘探,以 0.01% 为边界品位对含铀砂岩储量进行重新估算,其储量可达 5000 t。同时在矿床东部边缘开展了以寻找层间氧化带为主的找矿勘探,钻探网度为 $400 \times 100\text{ m}$,新增储量 3000 t,平均大约沿走向每增加 100 m,即可增储量 100 t,已发展为可地浸、低品位的大型铀矿床。

(1)铀矿产于侏罗系水西沟群第 5 和第 8 煤层间沿地层走向、倾向相对稳定、透水性良好的中粗粒砂岩中,其次为泥质粉砂岩和粉砂质泥岩。含矿主岩为灰、灰绿、浅黄色中粗粒砂岩,局部含少量砾石,胶结类型为孔隙—基底式,胶结松散,呈豆渣状。

(2)矿床内初步划分出 3 个含水层,铀矿化形成于由中粗粒砂岩构成的第三承压含水层中,厚 18 ~ 25 m,其上覆和下伏岩层分别为第 5、第 8 煤层的顶底板粉砂质泥岩、泥质粉砂岩所构成的稳定隔水层。含矿含水层有 1 ~ 2 层不稳定的泥岩。承压水头值 106 ~ 120 m,水量 $5 \sim 6\text{ m}^3/\text{h}$,埋深 40 ~ 50 m,最深 120 m。

(3)岩石渗透系数 $0.31 \sim 1.58\text{ m}/\text{d}$,碳酸盐含量 $< 0.3\%$,有利于酸法浸出。水质类型为硫酸重碳酸钠钙型,有利于铀的溶解和迁移。

(4)铀矿体主要分布于第 5 煤层和第 8 煤层间的含水层氧化—还原界面附近,沿地层走向呈蛇曲状。矿体长约 3.8 km,宽约 1 km,矿体埋深 160 ~ 210 m。黄色砂岩层上下界面 1 m

范围内是矿化富集地段。矿体在平面上呈似层状,剖面上呈卷状。产状与地层一致。

(5) 矿石品位一般在 $0.01\% \sim 0.2\%$ 之间,平均品位为 0.069% ,最高品位可达 2.05% 。矿石为灰白色或深灰色,呈疏松胶结状或蜂窝状。石英 $30\% \sim 45\%$,长石 $1\% \sim 6\%$,火山岩及变质岩碎屑 $20\% \sim 35\%$,泥质胶结。铀矿物以铀黑、沥青铀矿为主,以分散吸附(被大量的有机质、炭化植物碎屑、黄铁矿、粘土等吸附)及有机络合物形式存在。

5.2 地浸工艺

在查明上述地浸地质工艺条件基础之上,新疆矿冶局于 20 世纪 80 年代开始研究 512 矿床的地浸工艺,于 90 年代初完成室内外的条件试验,确定了酸法浸出的生产工艺。掌握了地浸钻孔结构及溶浸剂的配方,弄清了加酸量、时间以及铀和各种杂质之间的关系,取得了较为理想的地浸参数。即采用等腰三角形三孔抽注和等边三角形四孔抽注,孔距 25 m,注水孔浓度为 $1 \sim 12 \text{ g/m}^3$ 的硫酸水,以双氧水为氧化剂。中心孔抽水量为 50 t/h ,水中铀含量平均为 90 mg/l ,最高达 300 mg/l ,矿层酸化期 $50 \sim 60 \text{ d}$,矿山生产能力已达上千吨,已成为我国第一座大型可地浸铀矿山。

参考文献

- [1] 程明高,简晓飞. 512 矿床地浸砂岩型铀矿床地质特征和远景评价[J]. 铀矿地质, 1995, 11(1): 1 - 17
- [2] 赵致和,孙圭,韩德仁,等. 论我国西北部铀矿勘查关键技术[J]. 铀矿地质, 1995, 11(2): 65 - 69

In - situ uranium mining technology and its application

ZHANG Zhen - qiang

Bureau of Nuclear Industry, Shenyang 110032, China)

Abstract

In-situ uranium mining is a very advanced mining technology in the world. Its basic principle is that injecting drills and then pumping drills are decorated according to graticule and then extracting liquid is poured into injecting drills and pumped from pumping drills after sufficient reaction with uranium ores. At last, uranium oxide is extracted in the factory at surface. The in-situ uranium mining can be divided into acid and alkali methods. Now in-situ uranium-mining is being widely used in the world because it makes uneconomical uranium deposits which can not be mined with conventional method profitable and contribute less to population of environment. Only those sandstone uranium deposits which accord with the geological and hydrographic evaluation index can be mined in-situ. The technology includes drills arrangement, extracting solution compoundment, underground water restoration and environment protection etc. In-situ uranium mining was studied in our country in 1970s. The technology has been used widely and great achievement has been made since 1990s. No. 512 uranium deposit of Xinjing is the first large-scale mine evaluated and mined using in-situ mining technology in China.

Key words : In-situ uranium mining ; principle ; technology ; applied conditions