

# 国外中小型铀矿开采实例

原子能出版社

68

## 内 容 简 介

《国外中小型铀矿开采实例》是根据国外有关期刊和文献资料综合编译的。

书中包括国外中小型铀矿开采技术综合评述；美国、法国、捷克斯洛伐克、日本等国中小型铀矿开采实例；国外中小型铀矿开采简表，以及国外中小型有色金属矿山开采实例等。

本书可供铀矿工人、技术人员和干部参考，对中小型有色金属矿山的有关人员亦有参考价值。

### 国外中小型铀矿开采实例

建 生 编译

原子能出版社出版

北京印刷三厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(限国内发行)



开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $3 \frac{1}{16}$ ·字数67千字

1976年5月北京第一版·1976年5月北京第一次印刷

印数001—2300·定价：0.30元

统一书号：15175·061

## 前 言

国外铀矿开采已有近六十年的历史，但是，直到近三十年来才有较大的发展。目前，国外有二十多个国家或地区在从事铀矿业开采工作，约有四百多个矿山在进行生产，其中大多数是中小型铀矿山。

中小型矿山，不论是铀矿开采或是其他有色金属矿开采，在国内外开采史上都起到了较为重要的作用。在我国，尤其是对于充分利用国家资源和发挥中央及地方两个积极性具有更加重要的意义。

铀矿开采技术，除地质物探及安全防护有特殊要求外，其采掘工艺和设备等均与有色金属矿山相似。故我们在文中列举了两个中小型有色金属矿例，供比较和参考。

我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，根据国外期刊及有关文献资料综合编写了《国外中小型铀矿开采实例》。由于近年来这方面的资料发表得较少，因此这次编写的大部分是发表得较早的资料，但其开采方法，装备水平仍有一定参考价值。

我们在编写过程中只限于有关中小型铀矿（露天矿年产量在20—25万吨以下，地下开采的铀矿年产量在10—15万吨以下）的开采情况。此外，本书中的统计数字由于原资料的统计方法不同，管理制度亦不一样，希引用时注意校正。

由于我们水平有限，时间仓促，错误之处，在所难免，欢迎读者批评指正。

---

# 目 录

## 前 言

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| 一、国外中小型铀矿开采技术综述 .....                 | (1)  |
| (一) 地质勘探和生产探矿工作 .....                 | (1)  |
| (二) 开拓工程 .....                        | (3)  |
| (三) 中小型铀矿的开采方法 .....                  | (6)  |
| (四) 铀矿开采中的三废处理问题 .....                | (10) |
| (五) 铀矿的化学开采方法 .....                   | (12) |
| 二、国外中小型铀矿开采实例 .....                   | (14) |
| (一) 美国怀俄明州“气山”矿区四个铀矿的开采情况<br>.....    | (14) |
| (二) 美国大印第安区的铀矿 .....                  | (25) |
| (三) 美国新墨西哥州霍斯23号铀矿 .....              | (35) |
| (四) 美国施瓦茨瓦德铀矿 .....                   | (42) |
| (五) 美国卡利克斯3号和8号铀矿的开采技术 .....          | (45) |
| (六) 美国联合碳化物核子公司所属十个小铀矿的开采<br>技术 ..... | (53) |
| (七) 捷克斯洛伐克普日布拉姆铀矿 .....               | (62) |
| (八) 日本人形峠铀矿采矿方法试验介绍 .....             | (67) |
| (九) 澳大利亚马里凯思林露天铀矿的选别回采 .....          | (70) |
| (十) 法国的铀矿开采简况 .....                   | (73) |
| (十一) 加拿大埃尔多拉多铀矿 .....                 | (77) |
| (十二) 加拿大斯坦罗克铀矿的细菌浸出 .....             | (78) |
| 三、附表及附录 .....                         | (80) |
| (一) 国外中小型铀矿开采简表 .....                 | (80) |
| (二) 国外其他中小型金属矿开采实例 .....              | (88) |
| 参考文献 .....                            | (93) |

## 一、国外中小型铀矿开采技术综述

国外铀矿开采和其它有色金属矿开采一样，趋向于建设大型的、机械化程度高的矿山。但从铀矿赋存的地质条件和铀矿开采的发展过程来看，各国也很重视中小型铀矿的开采。

据不完全统计，国外铀精矿的生产在1959年达到39,500吨的最高数字。后来，各主要产铀国相继大幅度减产，直到1973年尚未完全恢复到1959年的水平。

据报道，1959年以前，在一些国家铀矿石生产急骤增长的过程中，美国、法国和扎伊尔等国的中小型铀矿起到一定的作用。尤其是美国中小型铀矿的比例更大。据1967年报道，美国共有600多个铀矿和开采点，其中日产量在200吨以上的只有26个。1969年美国239个生产矿山中，大中型矿山只有18个，其余均是小型铀矿。由于它们数量多，所以仍可提供170万吨左右的产量，占当年美国铀矿石产量的三分之一左右。

法国国内年产铀矿石约60万吨左右，大多是年产量小于15万吨的矿山。其他如捷克斯洛伐克、日本等也大体如此。

### (一) 地质勘探和生产探矿工作

国外中小型铀矿的地质勘探和生产探矿工作，在矿山开采、品位控制以及延长矿山寿命方面起着重要作用。主要特点有：

#### 1. 边采边探

国外中小型铀矿的钻探工作量一般比较大，这是由于矿

体形状多变，金属分布不均的缘故。如美国卢基麦克(Lucky Mc)矿区(简称卢基露天矿区)钻探工程量达179,700米。拉顿(Radon)铀矿年钻探工程量达3万米。在初步勘探时，美国在沉积型的矿床通常使用 $120 \times 120$ 米的勘探网，然后逐步加密到 $30.5 \times 30.5$ 米，在矿体形状变化大的地段则加密到 $15 \times 15$ 米。许多小型铀矿在采矿准备工作开始前要进一步加密到 $7.5 \times 7.5$ 米。对地下巷道除用仪表进行检查的找矿工作外，还要进行坑内钻探。在露天和坑内开采中，为了区分出矿石和废石，对露天矿的底板和坑内采场的四壁要经常用仪表进行监测。澳大利亚马里凯思林铀矿由于对矿石品位经常进行监测，使得露天选别回采顺利进行。该矿每天可选出150—200吨废石。美国卢基露天矿和法国布鲁洛矿在露天开采时，不断向深部勘探并发现了新矿体。采矿工作则向深部发展。到1972年7月，卢基矿区的里斯蓬竖井深度已达790米。

在补充勘探中，卢基露天矿的岩芯钻探工作量大约只占20%。由于岩芯钻探的工作量减少，整个钻探工作进度也相应加快。

## 2. 广泛使用汽车钻机

由于美国中小型铀矿埋藏较浅，钻孔深度一般不大，而钻机搬移次数很多，所以汽车钻机得到广泛应用。这种钻机安装在一台越野汽车上，钻架高6.8米。平时钻架是放倒的，打钻时竖起并固定在汽车的头部。车上装有一台10立方米/分的空压机供打钻用。使用Gardner-Denver D-89型链条推进的冲击式潜孔钻机。钻杆长4.6米，直径为31.7毫米，硬质合金钻头直径为82.5毫米。汽车的一侧装有捕尘器以收集钻屑。到达矿层后，每米取三次粉样化验铀含量。这种钻

机可以打30米或更深的孔。每米成本为1.8—2.5美元。

英国阿梅-鲁德斯通公司出产的钻车最深可打260米的钻孔。到达矿层后，用LT型岩芯管（ $\phi 76$ 毫米）提取岩芯。这种钻车在澳大利亚铀矿探矿工作中使用较为广泛。

除此之外，金刚石钻机也在勘探工作中得到广泛应用。

### 3. 坑内钻探

国外中小型铀矿为探明矿体形状和金属的分布，使用轻便的坑内金刚石钻机和架式凿岩机。如维他-美德矿用英格索尔-兰德DA 35型架式钻机，打孔深度12—18米。这种钻机主要向两帮探矿。坑内金刚石钻机可打孔50米。

### 4. 物探工作

中小型铀矿在勘探、选别回采、品位控制、充填料检查等方面都必须有物探工作的配合。这方面国外发展较快，在此不详述。如美国许多中小型矿的 $\gamma$ 测井，样品分析和电测井等都采用装在越野汽车上的成套设备进行。此外，加拿大的 $\gamma$ 谱仪已得到广泛使用。它是一种带 $25 \times 25$ 毫米的碘化钠晶体的携带式仪表，同时可以测定岩石中的铀、镭、钾的含量。

携带式电磁探矿仪能有效地测出硫化矿物，对探测与硫化矿有关的铀矿床有一定用途。

芬兰出产的微型磁谱仪，重0.75公斤，外形尺寸为 $45 \times 92 \times 120$ 毫米也是较新的产品。其他如高灵敏度的定向辐射仪，自动矿石品位检查仪等均在海外铀矿山得到应用。

## （二）开拓工程

### 1. 开拓方式和巷道断面

国外中小型铀矿的开拓方式根据其地质地形条件和所选用的设备而确定。大体上可以分为两种类型。

第一类是年产量小于3万吨的小型铀矿。由于这些矿山规模小、寿命短、埋藏浅，因此开拓时尽可能利用地形，减少工程量。从设备选型来看，这类矿山多数选用小型设备，因此开拓工程的断面较小。如美国联合碳化物核子公司所属十个小型铀矿所选用的矿车多为0.5立方米的前翻式矿车。还有10马力的 Scoot-Crete 型三轮柴油车，其外形尺寸为  $3200 \times 1300 \times 1300$  毫米，车箱容积为0.92立方米。上述设备一般只需  $1.85 \times 2.14$  米的巷道。又如竖井的断面为  $1.22 \times 2.64$  米（维尔京矿）或直径为0.92米的圆形竖井（卡利克斯3号及8号井）。从工程布置来看，这类小型矿山的井底车场很简单，多为单巷道双向车场或独头车场，有的利用运输水平以下的井筒两侧来修建小型矿仓。因此工程量较小。此外多数小矿利用钻孔通风，故通风井巷的工程量也相应减小。

第二类是年产量大于5万吨的中小型铀矿。这些中小型铀矿所选用的设备与大型矿山相差无几或略小一点。因此开拓巷道或运输巷道的断面也较大，这种方案是和无轨运输在井下的广泛使用相联系的。其主要目的在于提高劳动生产率。中小型铀矿与大型铀矿比较见表1。

中小型铀矿的开拓方式，除了用平硐、小型竖井和斜井开拓外，近年来斜坡道开拓也有运用。随着无轨设备的使用，斜坡道开拓可以将矿石直接运出地表，从而减少倒运中的损失，如年产6,000吨的克鲁勃(Club)矿采用15%坡度的斜坡道开拓。米·维达矿也是用斜坡道开拓，矿石用8吨自卸矿车直接运出地表。

## 2. 箕斗提升在中小型铀矿中的使用情况

在国外中小型铀矿中，箕斗提升使用较广泛。箕斗提升用人少，提升效率高，占井筒断面小，有一定的优越性。如



表 1            中小型铀矿与大型铀矿比较

| 矿 山 名 称   | 年产量         | 主 要 运 输 设 备                                                     | 巷 道 断 面                                            |
|-----------|-------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 丹 尼 森 铀 矿 | 200万吨       | Joy 14RC 14吨电动梭车，<br>10吨柴油自卸汽车，宽<br>1220毫米皮带运输机                 | 分段平巷2.4×4.5米，<br>3.3×4.9米<br>大巷3.3×6米，<br>4.2×7.5米 |
| 米·維 达 铀 矿 | 10万吨        | 2.8米 <sup>3</sup> 装载机，8吨汽车                                      | 大巷及斜坡道<br>3.8×3.8米                                 |
| 霍斯 23 号铀矿 | 18—25<br>万吨 | 1.82米 <sup>3</sup> 和4.2米 <sup>3</sup> 矿车，<br>6吨蓄电池机车，4吨柴<br>油机车 | 大巷2.75×2.75米拱<br>形顶                                |

美国维尔京矿采用0.85立方米人货两用箕斗提升。这种箕斗装有专门的防坠器和保护罩以保证安全。又如美国“气山”矿区里斯蓬竖井采用6吨箕斗-罐笼联合提升装置，可以在中段平巷及罐笼内进行控制。该井筒深150米，净直径仅2.3米。罐道直接安装在浇注于井壁内的“工”字钢上面，省掉了罐道梁。除此以外，风水管和通风管均浇注在井壁里，从而使整个井筒断面缩小了。法国的铀矿大多为箕斗提升，箕斗容积分1.8立方米、3.2立方米和5.4立方米三种。

3. 小型铀矿使用简易的“A”字形井架和简易提升机

年产3万吨以下的小铀矿广泛使用木制的或角钢联结的简易“A”字形井架。井架前面有两根立柱起支承天轮平台和安装罐道的作用，在提升机一侧为一个“A”字形的角钢框架结构。井架高8—15米。这种井架的制作、安装比较容易。如美国的万留拉、维尔京、卡利克斯3号和8号矿等都采用这种井架。

上述这些矿山的提升机多用移动式的柴油机或汽油机驱

动。这种设备对边远山区较适合，它可以不用架设高压输电线路。如万留拉矿的提升机就是用一台普通汽车发动机带动的。提升机的滚筒是矿山自制的，直径为0.5米。提升机装有专门的安全闸。又如卡利克斯3号井，提升高度48.5米，提升机滚筒直径0.61米，采用100马力单缸四冲程德兹 FIL-612型柴油机驱动。

#### **4. 开拓工程的施工方法**

在中小型铀矿开拓工程施工过程中，广泛使用各类凿岩台车、柴油胶轮装载设备、大口径竖井钻机等机械设备。由于中小型矿寿命短，故缩短建设周期更显得突出。如美国卡利克斯3号井和8号井以及该地区其他许多小矿井都是用装在载重汽车上面的钻井机施工的。直径为0.92米的井筒，深为48.5米，共用19天打成。平均每天成井2.54米。每米成本为180美元。又如卡尔拜德公司在罗克斯铀矿用钻井法打了一口直径为1.5米，深为132.5米的竖井，只用了13天。平均每天打井10米左右。每米成本为600美元。该打井设备的推力为250吨，使用3级牙轮钻头。超前钻直径为0.66米，扩孔钻分别为1.2米和1.5米。

在天井掘进中使用吊罐、爬罐等设备使劳动效率大大提高。也有的矿山利用大口径钻孔代替通风、充填天井。如美国霍斯23号矿利用0.81米通风钻孔下充填料，另外在井下再经过5吨柴油车将充填料运到采场上面，沿0.3米钻孔放到采场。对埋藏不深的小矿，发展大口径钻机有较有利的条件。

### **(三) 中小型铀矿的开采方法**

#### **1. 大力发展小露天矿**

由于中小型铀矿露天开采投资少，建设速度快，效率

高，特别是劳动卫生条件好，故国外采用较多。美国露天铀矿所占比例约为41%，而中小型铀矿露天开采的比例则更大。据美国早期37个中小型铀矿统计，露天矿产量约占60%左右。1969年法国报道的八个铀矿中，露天矿产量占40%以上。

中小型露天铀矿的机械化水平较高。如美国五十年代末，在“气山”矿区卢基露天矿的剥离工作中使用了索斗铲和拖斗式铲运机，斗容15立方米左右，用204马力履带式拖拉机或600马力胶轮拖拉机牵引（铲运机斗容分别为13.75立方米及18.5立方米）。用带松土器的推土机将岩石犁碎，然后由铲运机将松土运走。采矿时用1.15立方米装载机配7.65立方米自卸汽车。在需要打眼的地方用汽车钻机打眼，然后进行爆破。

法国的布鲁洛露天矿，年产11.5万吨。用直径为100毫米的潜孔钻机打眼。3立方米装载机配20吨自卸汽车出矿。32吨自卸汽车在剥离中也广泛使用。该矿1972年已采完露天部分。

目前在个别大型铀矿已开始用50吨的自卸汽车。

在露天开采中，澳大利亚马里凯恩林矿的选别回采可以降低露天开采过程中的贫化和损失。该矿用履带式钻车打眼，1.15—1.9立方米电铲配7.5立方米汽车出矿。该矿全员劳动生产率约为6,400吨/人·年。

露天开采对环境的污染问题引起了国外的注意。现在已在着手进行复田工作，并试验在上面种植植物。这一点对铀矿来说尤其重要，但是，铀矿露天复田以前必须将低品位矿石进行单独堆放或经过处理后才能进行。否则将导致金属铀的损失和环境继续被污染。

## 2. 井下采矿方法的特点

国外中小型铀矿的井下采矿方法以房柱法为主，充填法和留矿法也运用甚广。

据1969年加拿大铀矿统计，房柱法所占比重为76%，充填法为16%，留矿法为8%。美国早期的铀矿以空场法，房柱法占绝大多数。在法国、捷克斯洛伐克、苏联等国充填采矿法运用较广。由于充填采矿法工艺的不断改进，近来的发展有取代其他诸如支柱法，分层崩落法和留矿法的趋势。在充填法工艺发展中，用较深的炮眼（3—5米）崩矿和综合机械化是发展方向。尾砂充填，胶结充填和下向充填工艺也在迅速发展。

以下简要介绍小型铀矿的房柱法开采和中小型铀矿的充填法开采特点。

美国的小铀矿很多，其中有许多是使用全套移动式柴油设备进行生产的。这种开采方法灵活机动、适应性强。对边远山区，分散小点较为适宜，但缺点是成本高。如美国联合碳化物核子公司所属十个小铀矿的生产成本最低为8.18美元/吨，最高达25.42美元/吨。此外，由于其资本主义的经营方式和掠夺性的开采导致了资源的破坏和劳动条件的恶劣。

用全套柴油设备或汽油设备生产的小铀矿又可以分为两种类型。一种是各主要生产环节使用单独的柴油或汽油设备。如万留拉矿，年产3,000—6,000吨，全矿共五台设备，即汽车发动机带动的卷扬机一台，单缸两冲程柴油铲运机一台，9立方米/分柴油空压机一台（供给5马力耙矿机和凿岩机的压缩空气）。有的矿山通风也采用7.5马力的柴油通风机（卡利克斯3号井）。这种风机安在通风钻孔孔口，随着工作面向前推进将它移到新的钻孔上去。另一种类型的小

铀矿是以压风为动力，带动凿岩机、耙矿机、水泵、甚至机车（如 Eimco-401 型），而用几台柴油空压机供给井下设备用风。

这种用全套柴油设备的开采方法，随着无轨设备使用的日益广泛，在大中型铀矿也有使用。如米·维达矿，年产10万吨，基本上是全套柴油设备。

在房柱法开采中，顶板维护多用金属锚杆和金属网，在岩石破碎的地方加背板。锚杆的长度一般为0.5—2.0米左右，用专门带升降台的锚杆支护机安装。

矿柱回收对中小型铀矿的房柱法开采很重要。这方面国外小铀矿的矿柱回收率很低。近年来已引起重视。如霍斯23号矿采用后退式开采，下向深孔崩落法回收矿柱。有的用细菌浸出法回收残留矿石和矿柱中的金属铀。

在国外中小型铀矿的充填法开采工艺中，也大力发展综合机械化。如凿岩方面，瑞典BVA系列的轻便凿岩台车（每班可打眼100—150米），阿利马克 Bu-141 型凿岩台车和芬兰出产的 MJM-20 型液压旋臂台车（每班可打眼 180—200 米）的使用日益广泛。

采场运搬用得最广泛的是双滚筒及三滚筒电耙。遥控的耙矿机也有应用。各种装载机，装运机（Cavo-310, Eimco 802, Eimco 911）得到越来越多的运用。

运输方面多用2—5立方米的矿车，Cavo-511 装运机，各种井下用的自卸汽车（6—8吨的较多）。也有用梭式矿车作为运输设备的。6吨蓄电池机车或架线式机车，4吨柴油机车等也是常用的设备。

在充填工序中广泛使用尾砂充填，尾砂用30立方米/小时输送能力的马尔斯泵输送。用塑料或橡胶管输送充填料，

尼龙布做脱水材料。利用废采场作泥浆池等。

为了减少矿石的损失和贫化，充填采矿法的井下混凝土工程施工机械化程度也日益提高。如捷克斯洛伐克普日布拉姆铀矿采用移动式的 SSB 02 U 型混凝土喷浆机打人工混凝土垫板及部分胶结充填效果较好。国外混凝土喷射机正在越来越得到人们的重视。目前常用的混凝土喷射机见表 2。

表 2        国外常用混凝土喷射机及其技术性能

| 产 地        | 型 号       | 能 力<br>(米 <sup>3</sup> /小时) | 最大骨料<br>(毫米) | 耗风量<br>(米 <sup>3</sup> /分) | 备 注                                                                 |
|------------|-----------|-----------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 瑞 士        | Aliva 600 | 4—5                         | 20—25        | 8—14                       | 有Aliva 200,300,400,600等系列<br>有BSM603,604,605等<br>系列<br>有EM-60, 68两种 |
| 西 德        | BSM 606   | 8                           | 40           | 14—18                      |                                                                     |
| 苏 联        | EM 68     | 5—6                         | 25           | 9                          |                                                                     |
| 西 德        | GM-57     | 3—12                        | 20—25        | 6—14                       |                                                                     |
| 捷克斯<br>洛伐克 | SSB 02U   | 12                          | 25           |                            |                                                                     |

随着充填法工艺的不断改进，劳动生产率也不断提高。有的矿山已达10吨/人·班。

在法国铀矿开采中，还使用下向充填采矿法，该方法可以减少矿石的损失和贫化。

(四) 铀矿开采中的三废处理问题

铀矿开采已有较长的历史，但人们对铀矿山小剂量长时间照射所引起的危害认识是很不够的。在资本主义国家里，资本家唯利是图的本质决定了其铀矿山的三废无根本消除的可能。国外对这方面的报道极少。

铀矿山的废石数量多，分散面大。国外早期开采的废石中，铀、镭含量均较高（有的达万分之五），加上雨水冲洗就成了严重的污染源。国外采取的主要处理方法是加强预选（如英国的光电法细粒级放射性预选机），堆浸处理，回填利用（露天矿的复田）。在废石未加处理的地方开沟排水。此外，据美国1971年报道，科罗拉多地区利用废矿渣修路造成严重污染，为了清除这些东西需要花2,000万美元。因此，废石、废渣、废物的利用应当加以控制。

铀矿山的废水在国外很少进行处理。如美国安布罗西亚（Ambrosia）湖矿区每天约有17,000立方米废水排出，铀含量达10—20毫克/升。法国旺代矿区卡尔东（Chardon）矿矿水中镭含量达  $5 \times 10^{-10}$  居里/升，铀含量达4—5毫克/升，未处理或处理不彻底。

目前国外铀矿山废水处理方法主要有，送水冶厂循环使用，利用离子交换法回收。如美国的移动床离子交换设备每天可回收100公斤  $U_3O_8$ 。

国外中小型铀矿的氡及其子体以及矿尘问题也是严重的。据美国1962年327个铀矿统计，超过标准的测点占68%。国外对铀矿井下氡所采取的措施有，进行快速监测方面的试验研究工作（如双层滤纸法快速测氡），同时对铀矿工人所接受的累计剂量进行测定（如氟化锂、二氟化钙热致发光累计剂量计）。此外，在矿壁上喷涂塑料防氡保护层以减少氡的析出，用过滤材料（如卤素氟化物吸氡，超细纤维布过滤氡子体PM型静电除尘器）清除空气中的放射性物质等方面也做了一些工作，但尚未大量用于生产。

对消除铀矿开采中的污染来讲，值得注意的是国外正在试验研究的铀矿化学开采法的新工艺。虽然这一方法尚未推

广使用，但其中某些技术可以用来解决铀矿开采中的三废问题。

### (五) 铀矿的化学开采方法

根据矿床的赋存条件，矿石的物理化学性质，地下水文地质特征等因素，化学采铀法可以分为：钻孔取铀、地表堆浸、地下溶浸以及细菌浸出等。现简要介绍如下：

#### 1. 钻孔取铀

1960年美国在希尔利 (Shirley) 盆地进行了钻孔取铀试验。矿床属沉积类型，岩石的渗透性较好。矿体埋藏深度为100米。采铀的方法是从三个直径为76毫米的注液孔里将1—5毫克/升浓度的硫酸溶液加压注入矿体，然后在顺地下水流向距注液孔7.6米的地方打一直径为203毫米的抽液孔，用20马力深井泵进行抽液。溶液的铀含量在两天后达200—350毫克/升。这时用泵送到附近的离子交换设备中去以制取铀精矿，其成本只相当于露天开采的成本。

#### 2. 地表堆浸

法国布鲁洛露天铀矿，开采品位为0.26%，在剥离时发现有大量低品位矿石。因此采用地表堆浸处理，其方法是在单独堆放的低品位矿石堆上喷洒硫酸溶剂，然后收集底流用离子交换法回收铀。该矿1971年共回收了金属50吨，占该矿产量的20%。又如美国“气山”矿区某露天矿用同样的方法回收品位为0.05—0.06%  $U_3O_8$  的矿石，回收率达75%。该矿先将矿石破碎到25毫米，堆成2.5万吨的平堆，先用矿井水加到含水量13.5%，然后加入35%的硫酸溶液1,000立方米。经30—40天后，浸出液铀含量达1,300毫克/升，直接送水冶厂回收。



### 3. 地下溶浸

1968年美国皮奇 (Pitch) 铀矿因地压大, 井下氨浓度高, 无法工作。该矿从地表打了40个钻孔进行地下溶浸, 其中有26个孔打到两个主要矿体内。每个采场有6—8个孔, 注入用碳酸氢钠溶剂所配制的溶液。溶液注入速度为50—80克/分。经过贫矿石堆和充填料的溶液浓度达120毫克/升。三个月后产品液中铀含量仍有50—100毫克/升。产品溶液经450米长的平巷用管道输出。

法国1968年在旺代矿区埃卡尔皮尔铀矿也进行了地下溶浸试验。该矿为脉状沥青铀矿床, 中段高为40米, 矿体倾角为 $70^\circ$ , 平均品位为0.102%, 浸出效率达82.5%, 酸耗为46.5公斤/吨矿石。

苏联对地下溶浸也做过试验, 其工艺过程为:

(1) 用深孔挤压爆破分段采矿法和浅孔留矿法将矿石崩落并贮存在矿房中;

(2) 装设喷洒管道及喷头, 铺设底部收液设施;

(3) 进行间断喷液, 持续时间2—6个月;

(4) 将产品溶液送到地表用离子交换法回收铀并使酸溶剂再生。

该方法可处理矿石的最低品位为0.015—0.02%, 回收率为61—81%, 酸耗为20公斤/吨矿石。

### 4. 细菌浸出

加拿大斯坦罗克铀矿、米利肯铀矿均对细菌浸出做过大规模试验。细菌采铀主要是利用氧化铁硫杆菌能使 $\text{Fe}^{2+}$ 变成 $\text{Fe}^{3+}$ 的这种现象, 在水中培养大量该种细菌, 然后用5.6—7.0公斤/平方厘米的高压水冲洗矿壁。高压水使矿石晶面剥蚀并将氧化了的铀带出来。