

# 麦克阿瑟河铀矿的开采运输系统

●李丛奎 陈隆玉

## 前 言

在萨斯喀彻温省北部已提出两大高品位铀矿开发项目,目前,联邦政府和州政府联合小组正在对这些项目进行评估。

麦克阿瑟河(McArthur River)工程项目隶属于麦克阿瑟河股份企业(其中科梅科公司占 53.991%,乌拉内兹勘探有限公司占 29.775%,科吉玛资源有限公司占 16.234%),由科梅科公司经营。矿石在科梅科公司的基湖水冶厂处理。西加(Cigar)湖工程项目隶属于西加湖股份企业(其中科梅科公司占 48.75%,科吉玛资源有限公司占 36.375%,加拿大艾戴米苏铀矿探勘有限公司占 12.875%,韩国电力公司占 2.000%)。科梅科公司以股权所有者的名义经营西加湖矿山。科吉玛则经营麦克林(McClean)湖水冶厂,该水冶厂目前正在建设中,西加湖矿山的矿石将在此水冶厂处理。

设计保证了安全开采和安全运矿,可使麦克阿瑟河矿石在基湖水冶厂处理,西加湖矿石在麦克林水冶厂处理。

麦克阿瑟河和西加湖矿床是世界上已知的最大的高品位铀矿床。麦克阿瑟河和西加湖的矿石品位约为其它矿山采出矿石的 100 倍。人们建议用远距离地下采矿法开采这些矿床,在井下破碎和磨矿,并把浓密后的矿浆泵送到地面,用特制的矿浆罐由卡车运送到

水冶厂。

在整个采矿和处理阶段,矿石是全封闭的。通过所有工艺容器的强制通风来控制氡的扩散。工艺通风以原始矿山通风系统为基础,通过重金属钢管、容器壁和混凝土墙,以及在某些情况下用铅板来控制辐射。

两个工程设计的矿石最低  $U_3O_8$  品位为 10%,最高品位为 30%。采矿作业为每天两班制,磨矿和浓密流程规定为每天一班工作 12 小时。

两个矿山的破、磨工序和提升,矿石制备和输送流程是非常类似的。在此仅仅介绍麦克阿瑟河的矿石运输系统。

## 矿 床

麦克阿瑟河矿床位于萨斯喀彻温省北部阿萨巴斯卡(Athabasca)盆地的萨斯喀吐温(Saskatoon)以北 620km,距现有的基湖铀生产厂 80km。

麦克阿瑟河矿床是世界上最大的高品位铀矿床,估计其地质储量为 0.19Mt,  $U_3O_8$  平均品位为 15%。

麦克阿瑟河矿体位于地表以下 500~600m 深度,与该矿床相邻接的断层称为 P<sub>2</sub> 断层,位于一个地质上的不整合构造带附近。在这里,较新的阿塞巴斯卡砂岩覆盖在加拿大地盾的老基岩上。由于粘土含量高达 20%,因而限制了某些水冶工艺的采用。铀赋

存于沥青铀矿中,在这些不整合矿床中,已发现贱金属硫化物和砷化物,但在麦克阿瑟河地段缺失。 $P_2$  断层向东北延伸 10km 以上,但圈定的铀矿床不到 2km,而在其中不到 300m 范围内进行详细钻探试验,表明增加铀资源储量的潜力相当大。

## 采 矿

确定可行的采矿方法的主要依据是矿石的品位高。因而需要一种无进路的远距离采矿法。有三种方法认为是可行的:天井钻进法(raiseboring),溜口扩孔法(boxholeboring)和远距离溜口回采法(remote boxhole stoping)。

认为选择天井钻进法是最好的。天井钻进法的第一步是在矿体的上部和下部贯通两条水平巷道。设置这样两条巷道为的是使所有工人都位于远离矿体的废石峒室中。将天井钻机调到上部巷道,然后从上部巷道向下部巷道钻进一个垂直导向孔。一旦这个孔钻完,则去掉导向钻头,并换上镶嵌有碳化钨刀具的扩孔钻头。

然后,天井钻机用这个旋转钻头向上扩孔,穿透废石进入矿体。扩孔钻头的旋转,以及天井钻机施加的推进力生产出道碴一般大小的岩石碎块。这些碎块落入天井底部并进入破矿系统。从采矿直到把矿石输送到水冶厂,矿石总是处于完全封闭状态中(甚至在水冶厂处理期间也是如此)。一个导孔扩孔至矿体顶部后下放并卸下扩孔钻头,再用低标号混凝土从上部巷道经由导向孔回填已形成的天井。

计划年生产 8165t  $U_3O_8$ ,设计的矿石开采品位为 10%~30%,预计平均品位约为 15%。每天仅需采矿 125t。用天井钻进法每天掘进 8m 天井就能完成指标。从实际的观点出发,这个小吨数的需求量为极高采矿工艺的工程管理质量创造了条件,而这对处理高品位矿石来说是必不可少的。

## 地下矿石破碎

每天 24h 进行采矿和破碎作业,有 4 台天井钻机,而任何时候都有 3 台在工作。每一台天井钻机都有自己的可移动式挤压刹车器,便于天井钻机从一个地点移到另一个地点。由天井钻机生产的矿石通过一个钢溜槽直接进入单滚破筛机。大多数矿石都是细碎块,然而,破筛机可将大块破碎到 64mm 的上限粒径。将水喷到破筛机上以控制粉尘,防止任何粘土的积累,并有助于把矿石运送到下一个工段。选用破筛机作为初级破碎的原因是它高度小,可防止粘土的堵塞,并能够有效地破碎偶而的过大块度的岩石。在开口为 10mm 的原矿分级筛上部洗涤破筛机产品。原矿分级筛的筛上产品落入水冲洗式圆锥破碎机,破碎作业时矿流固体浓度为 60%,闭路筛分。选用水冲洗式圆锥破碎机作为二级破碎是因为它具有处理粘土的能力。

原矿分级机筛下产品按 20% 含固量制浆,并泵送到一排 6 个直径为 508mm 的旋流器中。通常有 3 个或 4 个旋流器工作,其它的备用。旋流器底流通过重力输送到单个破碎矿石缓冲罐。旋流器溢流流入楔形筛条的碎屑脱除筛,筛下产品粒度均小于 0.5mm。碎屑脱除筛筛上产品落入破碎矿石缓冲罐。筛下矿浆泵送至地下矿浆浓密机。

破碎矿石缓冲罐是一个直径 4000mm,高 12000mm 的罐子。它能储存 15~46h 的采下矿石。这种缓冲能力使磨矿、浓密和矿石提升流程等作业不受采矿和破碎作业的影响。破碎矿石缓冲罐不搅动,破碎矿石留在里面沉淀到含固量大约为 70%~85% 的最终浓度。缓冲罐的溢流大多数返回用于新采矿石制浆,多余的水泵送到地表处理。

## 磨矿与浓密

破碎矿石制成含固量 75% 的矿浆,由安  
世界采矿快报 第 13 卷 1997 年 第 2 期 总第 413 期

装于罐底部的 MJ-04 型 Marconajet (一种通过稀释方法调节矿浆浓度使其便于输送的专用设备)以 25t/h 的速度从缓冲罐汲取矿浆。再把矿浆输送到 Derrick 分级筛。筛上产品供给直径 3050mm、长 4270mm 的球磨机。设计的循环负载为 200%。发现矿石的邦德可磨碎性指数为 17kwh/t。矿石的最终磨矿指标为 100% 小于 500 $\mu$ m, 80% 小于 200 $\mu$ m。球磨机与 Derrick 分级筛形成闭路。筛下产品用泵输送,并均匀地分流到 2 台直径 13000mm 常规地下矿浆浓密机内。

由于较大的机器无法进入现有地下巷道,故用 2 台浓密机代替了一台直径 18000mm 的大浓密机。这两台浓密机内藏自动稀释供料池以使固料沉淀。在搅拌装置中制备絮凝剂,并按 75g/t 的比率添加给浓密机。

浓密机的溢流水主要用于向 Marconajets 供水。多余的溢流水将再循环到破碎矿石的缓冲罐,缓冲罐的溢流用于采矿和破碎。将浓密机底流(含固量控制为 50%)再泵送给一个 200m<sup>3</sup> 的搅拌池,搅拌池开凿在岩石中,有钢内衬。这个池为磨矿/浓密和向地表泵送矿浆期间提供了矿浆缓冲储量。由于磨矿与浓密作业时间每天在 3.3h~10h 之间变化,而矿浆提升运行时间为 1.5~4.6h/d,故需要较大的缓冲能力。

地下处理的每一步骤都将控制在一个峒室中,尤其是采矿作业。除了每个峒室通入新鲜风流以外,每一台工艺设备将直接与二级排风系统相连接,以便除去任何气载污染物(如氡及其衰变产物)。所有生产流程的控制室也将设在各自的峒室中。

## 矿浆提升

利用 2 台活塞隔膜泵将浓度为 50% 的矿浆泵送到地表,一台工作,一台备用。这些泵可以控制所要求的达 14MPa 的排矿压力。

以矿浆流变学试验工作为基础,通过直径 93mm 管道的流速为 3.0m/s,提升速度为 54t/h。有两条独立的管道,其中一条作为备用。每条矿浆管道都限制在各自的钻孔里。钻孔内装有次级保护管,以收集泵送管道破裂时逸出的矿浆。如果管道有裂缝或堵塞,作业将转到另一条管道,而将第一条管道维修后备用。万一情况所迫,矿浆管可把矿浆排放到为此目的设置的事故罐中。

## 地表矿石的储存

地表上的矿浆流过一个 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 生产分析仪,在分析的基础上,直接进入 4 个非搅动储存罐中的一个中,通常有三个储存罐在生产,而第四个备用。储存罐直径 8000mm,高 12000mm,可储存 10~30 天的产量。矿浆在罐内沉淀,而溢流水靠重力流入附近的矿石重载浓密机。

## 矿浆的制备

储存罐的矿浆预计沉淀到约 65% 的浓度。地下矿石按 30% 含固量制浆。用一台安装在每个储存罐底部的 MJ-04 型 Marconajet,以 25t/h 的速度从储存罐中汲取矿浆。回收的矿浆用泵送到直径 6000mm,高 7000mm 的浓密机供料搅拌桶,这提供了所需要的混矿储量。

混合好的矿浆再经另一台 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 生产分析仪泵送到直径 15000mm 的重载浓密机中。许多其它污水源(如水处理厂淤泥、地下碎矿缓冲罐溢流混料、矿石储存罐的溢流和冲洗脏罐水)也汇入到矿石重载浓密机给料中。用这种方法,把矿石开采和处理作业中所产生的所有固料直接加进矿石流中。对这些固体物料而言,这是自现场来的唯一出口。浓密机溢流汇入水处理厂。而浓密机底流(含固量 50%~60%)泵送到直径 6000mm、高

7000mm 的给矿罐内,给矿罐装料泵把矿浆通过最终一个  $U_3O_8$  生产分析仪泵送到  $5.5m^3$  的矿浆运输罐中。

## 矿浆罐的装料与搬运

所有矿浆罐的装料和搬运作业都是自动控制或远距离控制,其目的在于使工人受到的辐射最少。用桥式起重机从卡车上起吊空罐,并放入储存处或放到装料管线上。有两台桥式起重机,一台工作,一台备用。矿浆罐用电动辊轴输送机沿装料管线移动,并自动地放置在装料站上。打开空罐阀门,插上装料管嘴,把矿浆泵送到罐内。

当罐被装到适当料位线时,装料管嘴自动关闭,收回装料管嘴,关闭阀门。此时用高压水冲洗罐的外表面,以防潜在的放射性尘埃扩散。再将矿浆罐运到放射性检查站检查是否冲洗干净。

在证实无污染后,通过桥式起重机将罐吊装到储存区或直接装到卡车上运走。矿浆罐固定在一个专门设计的运输卡车上,每辆卡车装载 4 个罐子,沿运输道运送到水冶厂。为满足生产需要,每天要往返运输 5~15 次。

## 矿浆罐的卸料

矿罐的卸料实际与装填过程正好相反。此处,所有的矿罐卸料作业都是自动控制或远距离操纵,旨在减少放射性物质对工人的照射。矿罐一到达水冶厂,即用桥式起重机从卡车上吊起放到储存区或放在卸料线路上。第二台桥式起重机作为备用。

用一台电动辊轴输送机沿卸料线运送矿罐,并自动地放置在矿罐卸料站。在这里矿罐首先被颠倒,且唯有此时阀门被打开,排放矿浆并泵送到储藏罐。然后将矿罐立起来,并自动地运到放射性检查站,以检查是否干净。一旦证实干净后,就用桥式起重机将空矿罐吊

运到储藏区,或直接吊放在卡车上返回矿山再次装填。

## 矿 浆 罐

在决定用矿浆罐运送矿石以前,评估了许多选择方案。其它的方案包括各种各样的运输形式,即各种车辆、矿浆管道、架空索道和铁路运输。

选择矿浆罐运输是因为它可以密封,并且很容易自动装卸或遥控装卸。一旦发生事故,设计的这种罐子可防止破裂。

推荐的设计罐是以目前在安大略使用的罐子为基础。这种罐子现用来从科梅科公司的布林河冶炼厂运送  $UO_3$  到霍普港口转运站。这种矿罐很结实,罐壁为钢,约 30mm 厚,这比  $UO_3$  罐厚 5 倍之多。在罐壁内夹隔热体,以减少输送期间的热量损失。内壁是不粘性内衬材料,以便封闭的矿浆通过罐的锥端完全排放。罐的唯一开口装有球阀。当罐倒置排空时,球阀被矿浆淹没片刻。矿浆罐夹持在起保护作用的钢框架中,这个钢框架也为矿浆罐的运输提供了稳固条件。总之,矿罐是安全的,强度与抗破裂能力是超常的,同时设置辐射屏蔽层。

## 结 论

在麦克阿瑟河生产设计中,主要设计准则是环境保护,使雇员和公众的辐照量最小。推荐的采矿方法机动灵活,利用远距离操纵设备,实行无进路采矿,且有一个全封闭式的矿石运输系统,地下矿石破磨作业以岩石为保护盾使放射性辐照量最小,且在全封闭情况下,用专用钻孔将矿浆泵送到地面。矿罐的装料、卸料和运输工具,以及所有生产过程实行安全管理,并保证把清洁的矿浆罐送到基湖水冶厂。这避免了对水冶厂和尾矿处置场地的环境影响。 ◀