

从瑞典低品位沥青页岩中回收铀

安德森 (Ake Andersson) 奥尔森 (Gunnar Olsson)

在瑞典沥青页岩的广大建造中发现了大量低品位铀矿储量。在瑞典西南部的西约特兰 (Väster-Götland) 地区的含铀带实际上是前寒武纪水平沉积岩系的组成部分 (图 1)。这个水平矿层有 500 平方公里。沥青页岩层厚 2.5—4.0 米, 每吨矿石含铀 250—325 克。铀的总储量约为 100 万吨, 其中至少可回收 30 万吨。

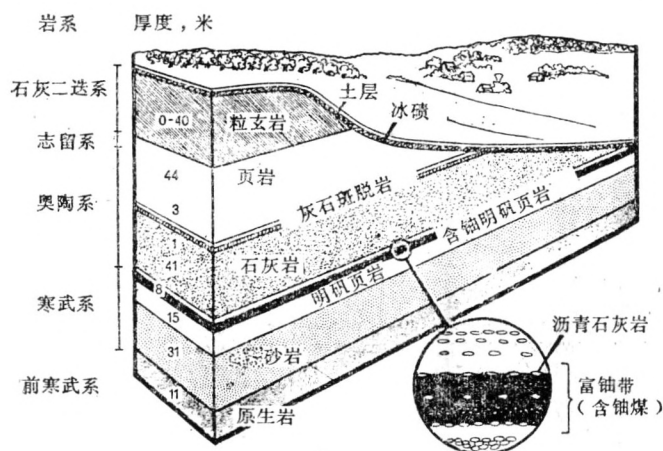


图 1 地层构造图

沥青页岩约含 22% 的有机物和 3% 的黄铁矿, 石英和硅酸盐 (诸如伊利石、长石等) 是主要成分。沥青页岩的粒度很细, 其天然粒度在 0.01 毫米以下。约有 90% 的铀均匀地分布在页岩矿层内, 其余 10% 的铀集中在高碳“铀煤”包体中。含铀页岩矿层还含有 6% (重量) 左右沥青石灰岩扁豆状包体。

早期工作

从 50 年代起瑞典便开始注意了低品位含铀页岩。60 年代初便在西约特兰页岩矿床中心的兰斯塔德建设了一个年产 120 吨铀的水

冶厂, 于 1965 年投产。当时由于国内商业反应堆的发展规划推迟, 国内实际上并不需要铀。因此, 工厂当时并未按原设计能力进行生产。在 1966 年至 1968 年期间, 工厂只以原设计能力的一半进行生产, 但在此期间获得了宝贵的经验。

由于 70 年代和 80 年代铀需要量的增加, 现有兰斯塔德水冶厂的生产设施已不能满足

国内需要, 而且该厂铀的生产费用高。自 1968 年以来, 兰斯塔德铀水冶厂的生产设施一直被用作中间试验工厂以便研究和发展新的和更有效的工艺流程。

目前正在完成建设一个年产 1275 吨铀的新矿山和水冶厂的半工业试验研究。试验研究的目标就是扩建现有的兰斯塔德厂。

新厂设计的数据

兰斯塔德厂的扩建计划和下列半工业试验研究所假定的数据是一致的。

铀产量	1275 吨/年
矿石开采量	6×10^6 吨矿石/年
浸出进料量	5.4×10^6 吨矿石/年
进料品位	300 克铀/吨
硫酸耗量	325,000 吨/年
扩建投资 (按 1974 年	

1 月计算的数字)	700×10^6 瑞典克郎
人 员	825 名

据估计, 设计和扩建新厂需五年半左右的时间。新厂工序有: 采矿、选矿、渗滤浸出、溶剂萃取和铀酸钠沉淀。固体废物和泥

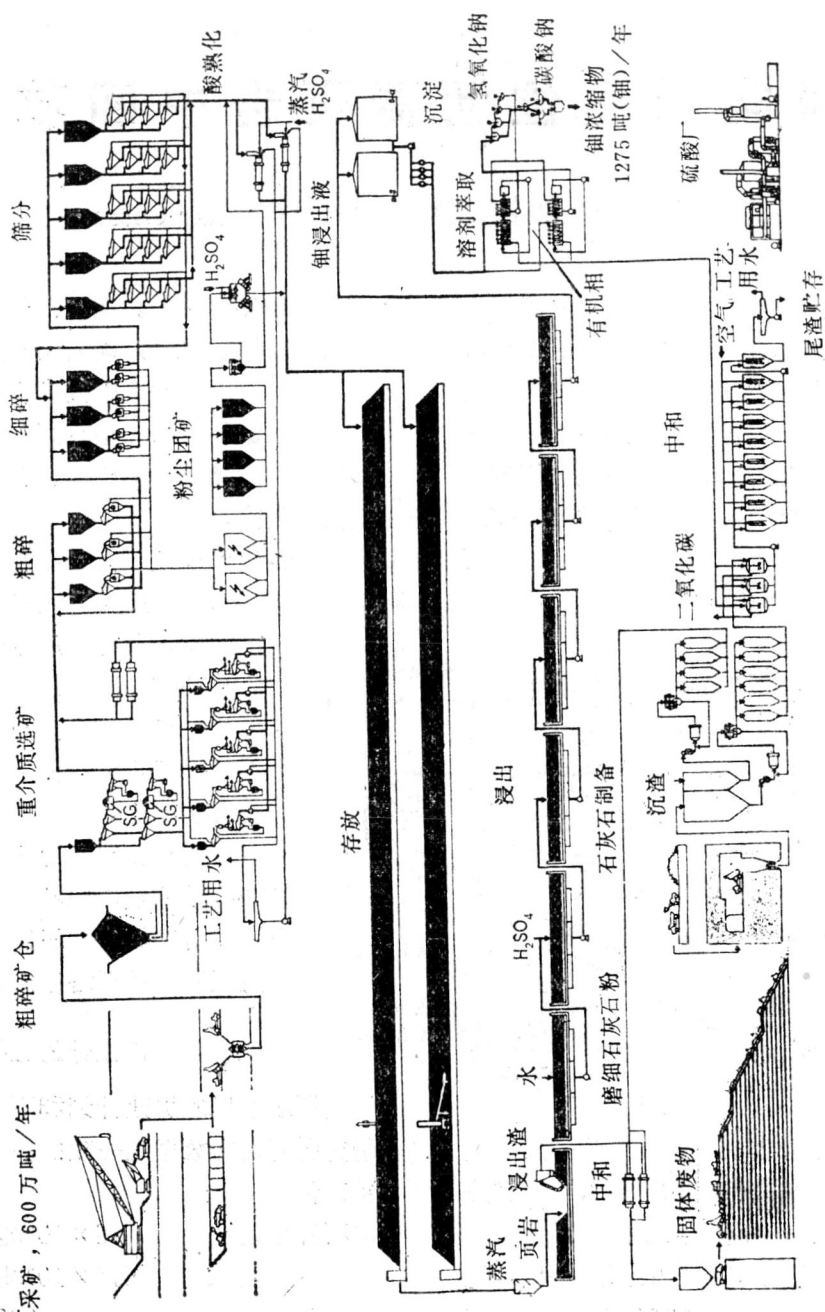


图 2 扩建水冶厂的工艺流程

浆处理和贮存, 对于环境保护说是重要的, 推荐的工艺流程示于图2。

采 矿

在头十五年内, 计划将露天采矿和井下采矿结合进行。按设计露天矿采用剥离开采法, 其最大生产能力为每年 300 万吨矿石。

剥离比为4.2:1, 剥离物用两台索斗铲进行采运。

井下采矿开始时最大生产能力为每年 300 万吨矿石。在大约十五年后, 当露天矿采空时, 井下采矿的生产能力将提高到 600 万吨。采用房柱式采矿法进行, 采区离地表 100—150米, 留柱规定为 5×5 米²。巷道宽

5米,高3.5米。采矿作业将以钻眼、爆破的通常水平巷道掘进法进行。矿石用前端式装载机装车,再用井下柴油载重车将矿石运至粗碎站。目前正考虑采用全工作面的平巷掘进法,待该法有了进一步发展便可采用。各种条件基本上有利于这种开采方法。

预料从沥青页岩中会释出沼气和氦气。考虑到这些气体,以及柴油机的排气和爆破气体等,要求设置有效的通风系统。采空区将封闭并用泥浆充填。

选 矿

矿石经安装在井下的圆锥破碎机粗碎后,用皮带运输机运至三天容量的矿仓。然后从矿仓再用皮带运输机将矿石运至重介质选矿厂,以分离石灰石和页岩。粒度大于25毫米的粗粒物料用德鲁-博伊(drew-boy)机处理,粒度小于25毫米的细料则通过水力旋流器进行处理。上述两种情况均采用表观密度为2.4吨/米³的磁铁矿悬浮液。含铀页岩上浮为精矿,CaO含量较高,约为1%,石灰石沉降。

粗粒上浮产品经锤式破碎机破碎后与细粒上浮产品合并,并用冲击式破碎机进行最后破碎。破碎的物料用2毫米孔径的共振筛进行筛分。筛上产品返回冲击式破碎机进行再破碎,筛下产品在用硫酸浸出前经蒸汽加热至35—40℃。

抽出破碎和筛分作业产生的粉尘,并用静电除尘器使其沉降,粉尘量约为总量的10%。回收的粉尘,先用空气分级机分级,分离出30%大于60微米的粗粒物料,该粗料直接给入熟化转筒。剩下的粒度小于60微米的细料用圆盘式制粒机制成直径为10毫米的团粒。在团矿前用硫酸作粉尘的粘合剂进行拌合。团粒与熟化转筒排料合并。已证明团粒强度足以承受得住下一步加工的机械和化学处理。

页岩浸出前堆放在露天贮矿场,其最大

设计贮矿量为300000吨。预计正常堆放时间为18天左右。页岩经露天堆放发生的氧化和菌化反应对浸出过程将起良好作用。

浸 出

用硫酸逆流渗滤浸出法从选过的页岩中提取铀。在浸出时间为6天、温度为60℃的条件下,铀回收率可达79%(在最佳浸出条件下,铀回收率可达85%)。酸耗为页岩重量的6%。

浸出车间由排成一行的七个浸出槽组成,每个槽的容量15400吨。槽为60×45米,有效深度为5米。浸出车间长约500米。浸出槽是钢制的并衬有耐酸聚氯乙烯,底部铺砾石过滤层。

溶 剂 萃 取

浸出液组成(克/升)如下:

U	0.7
Al	17
Fe	10
K	8.5
Na	5.8
Mo	0.04
V	0.3
Ni	0.2
SO ₄	133

用叔胺(阿拉明336)煤油溶液从浸出液中萃取铀。有机相中加入碳酸钠时,铀呈碳酸盐络合物形式被反萃取。然后,用氢氧化钠从碳酸盐溶液中沉淀出铀酸钠。中间工厂试验表明,铀萃取率可达99.8%以上,黄饼具有转化成六氟化铀所要求的物理和化学性质。

固 体 废 物

浸出过程排出的固体尾渣回填于露天矿采空区。因为浸出渣中还残留有黄铁矿,要注意避免其分解。因为,一旦有硫酸出现,

就会生成硫酸铁，可能污染地下水。

近年来，对为了减少黄铁矿分解和减少雨水流过固体废物来防止环境污染的方法作了研究。固体尾渣在堆放处置前与5%的磨细石灰石粉进行充分混合，以中和酸，使其生成氧化物沉淀。然后，将尾渣堆积成2米高的尾渣层，并用振动滚柱很好压实。当尾渣层达到堆积高度时，用经过选择的、渗透性差的冰碛土夯实为覆盖层。为使冰碛土覆盖层位于无霜深度和提供能生长植物的土壤，在覆盖层上再加一米厚的普通冰碛土。施肥后，堆上播些草种，也可种植一些适宜生长的树木。

泥 浆

在帕丘卡槽中用石灰石粉将萃余水相中和到pH为7。在中和过程中，石膏和一些金属的氢氧化物一起沉淀。将中和的泥浆浓密到约含35%的固体后，用泵打到采空区贮存，浓密机溢流返回利用。

水

由于采用了新的工艺水返回系统，预计

每天新水限量可能为5000米³。

硫 酸

由于每年耗用325000吨硫酸，需在工厂附近建一个硫酸厂。计划采用在双层催化设备中燃烧元素硫的方法制酸。

副 产 品

半工业试验研究的主要目标是从页岩中提铀，未考虑副产品的生产。从浸出液的分析中可看出，在页岩中还含有其它一些有价值的金属。用溶剂萃取法可以从浸出液中萃取钼、钒和镍，甚至有可能分离铝，以生产氧化铝。

从长远的观点来看，沥青页岩所含的能量（1,800—1,900千卡/公斤）和硫量，对电力和硫酸的生产来说是有意义的。

〔常叙平摘译自《Nuclear Engineering International》20, No.225, 103—105 (1975) 群力校〕