

铀矿冶废水的循环利用和处理

徐乐昌¹, 张国甫², 高 洁¹, 张学礼¹, 魏广芝¹

(1. 核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149; 2. 中国核海外铀业有限公司, 北京 100822)

摘要: 介绍铀矿冶工艺, 铀矿冶废水来源、循环利用途径及处理方法。铀矿冶废水包括吸附尾液、萃余液、尾矿水、矿坑水、转型液、沉淀母液, 其循环利用途径主要有返回作为溶浸剂、淋洗剂、反萃取剂、洗涤剂、尾矿制浆等。

关键词: 铀矿冶; 废水; 循环利用; 处理

中图分类号: TL 941.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8063(2010)02-0078-04

铀矿冶用水量大, 废水产生量也大。废水中含有放射性与非放射性有毒有害组分, 如果全部直接外排, 不仅浪费资源, 也会造成环境污染; 如果全部处理后外排, 则废水处理成本大, 企业的经济效益受到显著影响。铀矿冶废水的循环利用和废水处理的有机结合, 即将铀矿冶废水尽可能多的循环利用, 少量废水处理达标后排放可以解决上述问题。

1 铀矿冶工艺简介

铀矿开采可分为常规开采、地浸开采和原地爆破浸出开采。

铀浸出工艺按矿石特性分为搅拌浸出、堆浸、原地爆破浸出和地浸; 按矿石加工特性分为碱浸和酸浸。铀水冶过程分为浸出和回收 2 个阶段, 浸出阶段包括搅拌浸出、地浸、堆浸和原地爆破浸出等工艺; 回收阶段包括离子交换和溶剂萃取 2 种工艺。铀水冶工艺一般可表示为浸出—吸附(或萃取)—淋洗(或反萃取)—沉淀。对于常规搅拌浸出, 还须有矿石破磨工序, 浸出后矿浆的固液分离和渣洗涤工序。

2 铀矿冶废水的来源及循环利用途径

2.1 废水循环利用和处理的意義

对铀矿冶废水的处理和循环能起到显著的节能减排作用: 1) 节省试剂; 2) 节省用水; 3) 减少废

水产生量和废水排放量, 保护环境; 4) 减少废水处理成本; 5) 对排放至尾矿库的废水而言, 减少了坝的危险, 增加坝的稳定性; 6) 减少能源消耗。

2.2 废水循环利用要求

铀矿冶废水循环利用需要满足下列要求: 1) 水中残留的杂质必须适应铀工艺的要求; 2) 不致对设备或管道产生较明显的腐蚀作用或产生较严重的结垢; 3) 水循环次数以对铀的浸出回收不产生明显影响为限度。

2.3 废水来源及循环利用途径

铀矿冶废水主要来自于铀矿开采废水和水冶废水。开采废水主要是常规地下、露天和原地爆破浸出等开采过程中产生的各种各样的矿坑水和采出废石地表堆放产生的径流水。水冶废水主要是铀浸出过程和回收过程中产生的各种工艺废水。浸出过程中产生的废水主要是搅拌浸出后固液分离和渣洗涤产生的废水与尾矿渗出水 and 堆浸工艺产生的尾渣渗出水。回收过程中产生的废水主要为吸附尾液或萃余液, 其次为转型液和沉淀母液(含压滤洗涤后的滤液)。这些采冶废水应尽可能多的循环利用, 减少废水排放, 条件许可下应尽可能实现废水零排放。表 1 给出了铀矿冶废水的循环利用途径。

铀矿冶废水的循环利用, 应着眼于设计与运行 2 个阶段, 注重工艺分析和外部环境分析, 进行物料衡算。

收稿日期: 2009-09-21

作者简介: 徐乐昌(1962—), 男, 湖南平江人, 博士, 研究员级高级工程师, 从事铀矿冶环境保护和辐射防护研究工作。

表 1 铀矿冶废水来源及循环利用途径^[1-4]

序号	工艺废水来源	循环利用途径	应用实例
1	矿浆浓密机溢流液	返回补给磨矿用水	中国北方某铀水冶厂
2	尾矿水	返回配制溶浸剂	加拿大 Faraday 厂,澳大利亚奥林匹克坝
		返回洗涤浸出渣	法国 Bessine 厂
3	矿坑水	返回配制溶浸剂	美国 Grants 含 1.7~10 mg/L 矿坑水先经树脂吸附铀后返回配制溶浸剂
		逆流洗涤和吸附塔反冲洗用水	中国北方某铀水冶厂
4	吸附尾液	返回配制溶浸剂	加拿大 Agnew 厂,美国 Smith Ranch 地浸,目前中国所有水冶厂
		固液分离系统的洗涤液	法国 Bessine 厂
		逆流洗涤	中国北方某铀水冶厂
5	萃余液	返回配制溶浸剂	美国 Splitrock 厂(低品位堆浸),加拿大 Agnew 厂,中国北方某铀水冶厂
		固液分离系统的洗涤液	美国 Grants 厂,法国 Bessine 厂,澳大利亚奥林匹克坝
		尾矿再制浆 配制淋洗剂	美国 Grants 厂 美国 Splitrock 厂
6	转型液	返回配制淋洗剂或转型剂	目前中国所有铀水冶厂
		返回配制淋洗剂	美国 Splitrock 厂
7	沉淀母液	返回配制反萃取剂	美国 Splitrock 厂、Grants 厂
		返回配制溶浸剂	美国 Splitrock 厂

3 铀矿冶废水循环利用指标

世界上很多国家的铀工厂,都进行着部分或全部的废水处理及水的循环利用。各国铀矿冶废水处理和循环利用情况大不相同。就一国而言,工厂之间差异也很大。这与矿石特性、加工工艺以及各国和不同地区的环保要求等因素有关。例如,澳大利亚 Kathleen 厂萃余液不全部返回是为了防止硅的积累和有机物的夹带;我国金安铀业公司由于吸附尾液中的铀质量浓度较低(小于 0.3 mg/L),矿坑水中的铀质量浓度最高可达 1.5 mg/L,使得该厂的吸附尾液采用全部外排而循环利用矿坑水。

铀矿冶废水循环利用指标一般应包括用水量、新水补充量、废水产生量、外排废水量、吸附尾液(或萃余液)产生量、铀浓度、返回率、转型液产生量、沉淀母液产生量、铀浓度、返回率、矿坑水产生量、铀浓度、返回率、尾矿库产生量、铀浓度、返回率等。铀矿冶废水循环利用指标指数因厂矿而

异,如我国 A 矿的用水量为 1 189.32 m³/d,外排废水总量为 250.46 m³/d,吸附尾液产生量为 1 160.30 m³/d、铀质量浓度 5 mg/L、返回率为 80%;我国 B 矿的吸附尾液返回率和沉淀母液返回率均为 100%;澳大利亚奥林匹克坝的尾矿水返回量为 1 200~3 100 m³/d;澳大利亚 Kathleen 矿每 t 矿石的新水补充量为 2.6 m³、废水产生量为 2.5~2.7 m³,外排废水总量为 6 900~7 450 m³/d;美国 Grants 矿的矿坑水返回率为 100%;美国 Splitrock 矿萃余液和沉淀母液返回率均为 100%。

4 废水处理

4.1 铀矿冶废水处理方法

目前,我国铀矿冶废水的处理方法主要有:

1) 离子交换法。离子交换法选择性较强,一般只能处理单一的污染物,最大的优点是操作简单、管理方便、铀处理效果较好,因而在铀矿山中广泛应用。在铀矿冶废水处理应用中主要用来回

收尾矿库渗漏水 and 矿坑水中的铀,回收后的外排废水中的铀质量浓度可降到 0.1 mg/L,甚至 0.05 mg/L 以下。

2) 氯化钡-石灰沉淀法。该方法简便,对设备要求不高,在去除铀、镭放射性物质的同时,还去除悬浮物、胶体、常量盐、重金属、有机物和微生物等,在铀矿山中也得到广泛应用。处理后的废水中的铀质量浓度可降到 0.3 mg/L,镭活度浓度可降到 1.1 Bq/L 以下。但该方法产生大量的废水中和渣,对操作管理有一定的要求。

3) 氯化钡-污渣循环-石灰沉淀法。该方法是氯化钡-石灰沉淀法的改进,使污渣产生量大大减少,仅占废水总量的 0.42%^[5],但对操作管理要求较高,影响其推广应用。

4) 自然蒸发法。该方法是通过自然蒸发将排入蒸发池的所有污染物最终以蒸发后的残渣残留在蒸发池中,适应于蒸发量显著大于降雨量,且有足够用于蒸发池建设用地的地区。我国北方的地浸工艺废水均采用蒸发池自然蒸发处理。

5) 膜处理法。膜处理是一种物理处理方法,它是通过膜的渗透与截留将污染物与非污染物分离,从而达到废水处理的目,具有处理效果好、设备简单、操作方便、物料无相变和适应性强等特点,但产生一定量的浓缩液需要采取进一步措施进行处理,对于高 TDS 含量的废水处理成本较高。该法在我国某碱法地浸的工艺废水处理中得到应用,经过处理后,脱盐率高达 97%,天然铀质量浓度由 0.135 mg/L 降至 0.002 mg/L,²²⁶Ra 活度浓度由 1.06 Bq/L 降至 0.03 Bq/L,Cl⁻ 质量浓度由 1 000 mg/L 降至 31.5 mg/L,其他非放射性组分的处理效果也达到 86% 以上。每 t 废水处理成本为 2.81 元,每 t 铀处理成本为 786.8 元。

4.2 废水中铀的回收

废水中铀的回收主要是指矿坑水中铀的回收。匈牙利 Mecsek 山铀矿区从 1955 年开始开采到 1997 年关停的 42 a 间,共生产铀 22 000 t,生产期间每年从矿坑水回收铀 5~12 t,关停后的退役治理过程中每年从矿坑水中至少回收 2~3 t 铀,目前退役治理过程仍在进行中^[6]。

我国 C 矿坑水的水量为 63 万 m³/a,处理前铀质量浓度为 1.85 mg/L,处理后为 0.3 mg/L,每年可回收铀约 1 t,据此推算,我国铀矿山从矿坑水中回收铀总量每年可达 10 t。铀回收

成本主要取决于树脂的成本,其处理成本一般每 t 铀为 1 万~5 万元。

5 效益分析

铀矿冶废水的循环利用和废水处理具有明显的经济效益、环境效益和社会效益。

首先铀矿冶废水产生量大,含有一定量的工艺试剂与铀,通过循环利用,可降低原材料与能源的消耗;节省用水;减少废水处理量;提高尾矿库的利用率;回收废水中的铀。以我国的 A 矿为例,吸附尾液产生量为 1 160 m³/d,返回率为 80%,吸附尾液中铀质量浓度 5 mg/L,偏保守考虑按 3 mg/L 计算,则通过循环利用,可从吸附尾液中回收铀 2.78 kg/d,按年工作 300 d 计算,则每年可回收铀 0.84 t。如 4.2 节所述,我国 C 矿每年可从矿坑水中回收铀约 1 t。不难看出,铀矿冶废水的循环利用和废水处理能取得显著的经济效益。

铀水冶主要废水为吸附尾液或萃余液,其返回率可达 80% 以上,少量为转型液与沉淀母液,其返回率一般可达到 90% 以上。通过循环利用,废水处理量和排放量可降低 80% 以上,其环境效益和社会效益非常显著。尤其是对于北方缺水地区,通过水的循环利用,可大量节省水资源,进而显著减少因铀矿资源开发对水资源的争夺而引起的社会问题和环境问题。

6 结论

铀矿冶废水产生量大,不仅含有放射性组分还含有非放射性组分,引起了人们的高度重视。为了提高经济效益,减少环境污染,尽量回收废水中的有用组分,铀矿冶科研人员开发了化学沉淀法、物理吸附法、离子交换法、萃取法、膜处理法、生物法等多种废水处理方法。针对不同的废水和铀矿冶工艺,采用不同的循环利用途径。铀矿冶废水主要有吸附尾液、萃余液、尾矿水、矿坑水、转型液、沉淀母液,其循环利用途径主要有返回用于溶浸液、淋洗剂、反萃取剂、洗涤液、尾矿再制浆等。

参考文献:

- [1] Ring R J, Ritcey G M, Roche M, et al. 铀提取工艺 [M]. 吴庆玉,陈新民,阎桂斌,等,译. 北京:湿法冶金编辑部,1995:272-274.

- [2] 谢志铨,王宗泽,周家娴,等. 国外铀提取厂[M]. 北京:原子能出版社,1985:44,89,200,340,302.
- [3] 徐乐昌,王德林,孙先荣,等. 美国 Smith Ranch 铀矿地浸工艺与设施介绍[J]. 铀矿冶,2005,24(2):71-75.
- [4] Arup Pty Ltd, ENSR Australia Pty Ltd. Olympic dam expansion draft environmental impact statement [M]. [S.l.]: BHP Billiton,2009:40,44.
- [5] 杨朝文,王本仪,丁桐森,等. 氯化钡-循环污渣-分步中和法处理七—一矿酸性矿坑水[J]. 铀矿冶,1994,13(3):172-179.
- [6] Erdi-krausz G. Problems and solutions for water treatment at the closed Hungarian uranium industry [R]// IAEA-TECDOL-1463 Recent developments in uranium exploration, production and environmental issues. Vienna: IAEA,2005,41-44.

Recycling and reuse of wastewater from uranium mining and milling

XU Le-chang¹, ZHANG Guo-fu², GAO Jie¹, ZHANG Xue-li¹, WEI Guang-zhi¹

(1. Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 101149, China; 2. China Uranium Corporation Limited, Beijing 100822, China)

Abstract: Uranium mining/milling process, and the sources, recycling/reuse approach and treatment methods of process wastewater are introduced. The wastewater sources of uranium mining and milling include effluent, raffinate, tailings water, mine discharge, resin form converted solution, and precipitation mother liquor. Wastewater can be recycled/reused for leachant, eluent, stripping solution, washing solution and tailings slurry.

Key words: uranium mining and milling; wastewater; recycling/reuse; treatment

用电感耦合等离子体质谱分析法测定含铀物料中的稀土元素

《Talanta》2010年80卷第5期上发表 Zsolt Varga 等人文章,介绍测定含铀物料中的稀土元素的方法——电感耦合等离子质谱分析法。

通过电感耦合等离子体扇场质谱分析法(ICP-SFMS)测定含铀物料中的痕量镧系元素,作者称此方法是一种新颖、简单的方法。这种方法涉及用 TRU™树脂对镧系元素的选择性提取和色层分离,随后,用 ICP-SFMS 分析。方法的测定限为 <pg/g(比不经化学分离好 2 个数量级)。通过对标准物质的测定,验证了该方法的有效性。该方法可用于分析铀浓缩物(黄饼)中铀的质量分数。

(陶德宁 供稿)

微生物选矿

《Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review》2010年31卷1期发表 M. N. Chandraprabha 等人撰写的“微生物选矿”的文章,介绍了微生物在选矿中的作用。

文中作者列举了各种微生物和生物试剂在选矿中的作用;介绍了用于各种氧化和硫化矿物中选择性浮选和絮凝的微生物;讨论了控制微生物-矿物相互作用的界面现象,涉及到细胞壁结构、细胞表面疏水性、电动力学数据以及在各种矿物上的吸附行为。已证实,微生物选矿已应用于铁矿石、矾土、石灰石和复杂的多金属硫化矿物的选矿中。

(陈隆玉 供稿)