

## 近年来国外尾矿再选与治理的研究

吕昊子<sup>1,2</sup>, 童雄<sup>1,2</sup>

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 云南省金属矿尾矿资源二次利用工程研究中心, 云南 昆明 650093)

**摘要:**尾矿不仅会污染土壤和水质, 并且在不断地积累中, 会导致严重的水土流失和诱发次生地质灾害, 所以尾矿治理的问题被越来越多的关注。以尾矿的治理工艺为主, 本文综述了近年来国外的浮选、重选、微生物处理和植物修复等技术的发展。介绍了国外尾矿中几种常见的有用矿物的浮选试验研究, 包括新药剂的研究和新的试验方法应用, 以及相关的多因素浮选模型的建立和优化。简述了几种针对尾矿中微细粒矿物回收的新型重选设备的研发和应用现状, 以及相关的重选模型的建立和应用情况。介绍了微生物浸出、微生物矿化、植物稳固和植物提取等工艺的研究现状, 以及基因工程技术在这些生物技术工艺中所起到的积极作用。

**关键词:** 国外; 尾矿治理; 浮选; 重选; 微生物处理; 植物修复

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2014.02.004

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2014)02-0020-05

尾矿作为矿物加工工业生产中的一种废料, 对生活环境造成了很大的影响。首先, 尾矿粒度细, 长期堆存, 风化现象严重, 会产生二次扬尘。另外, 尾矿中含有的重金属离子、残留的有毒浮选药剂和剥离废石中含硫矿物引发的酸性废水, 对矿山及其周边地区环境所造成污染和生态破坏影响将是持久的, 甚至给人们带来难以补偿的灾难。

长期以来, 矿山固体废物堆存诱发的次生地质灾害, 诸如排土场滑坡、泥石流和尾矿库溃坝等重大工程事故与地质灾害, 给社会带来了极大的损失。

在国外, 尾矿治理也一直很受重视, 他们在研究尾矿治理中, 提出了很多新的方法和思路, 很值得国内的企业和研究人员进行学习 and 借鉴。

### 1 尾矿中硬硼钙石、氧化锌、煤泥、磷灰石等矿物的浮选研究

在尾矿处理中, 浮选工艺常作为尾矿再选的主要方法。由于新药剂、新工艺和新设备等的发展, 对于一些尾矿尤其是一些老尾矿, 经浮选再选后, 不仅可以得到品质优良的精矿产品, 更可以大量减少最终尾矿的产量, 减轻尾矿对环境造成的压力。

土耳其的 Kestelek 选厂利用擦洗和分级作业生

产硬硼钙石产品, 由于生产条件的限制有很大一部分的硬硼钙石流失于尾矿中,  $B_2O_3$  含量高达 20.7%。A. Gül<sup>[1]</sup> 等对此尾矿进行浮选试验研究, 确定试验较佳的条件为,  $pH=10$ , 捕收剂特性磺酸盐(由 R-801、R-825 和 Hoechst 公司生产的 F-698 配制而成), 用量为 600g/t; 抑制剂糊精, 用量为 80g/t, 可获得  $B_2O_3$  品位为 44.5%、回收率为 86.1% 的精矿。

Goshfil 选厂位于伊朗伊斯法罕, 储有 200 万 t 以氧化矿为主的尾矿, 其中锌主要赋存在菱锌矿中, 品位为 5.3%。A. Hajati<sup>[2]</sup> 等对该尾矿进行了相关的浮选研究, 试验流程上采用田口模式(一种以变量因素干扰的权重作为主要参考依据的试验方法)设计正交试验, 发现相对于传统捕收剂, 采用同等用量的羟基喹啉和双硫脲作为捕收剂可以更好的回收尾矿中的锌, 分别可以将原本 37.1% 的回收率提高到 53.2% 和 46.3%。

煤泥作为一种煤炭工业的副产品, 近年来被越来越多的研究人员关注。哥伦比亚选煤厂的煤泥产品中  $-0.037mm$  含量高达 71.9%, 干燥基灰分为 58.6%。Juan Barraza<sup>[3]</sup> 等对其进行了浮选研究, 采用捕收剂煤油, 起泡剂甲基异丁基甲醇; 发现捕收剂用量为 900g/t, 起泡剂用量为 30mol/L 时, 可得到干

收稿日期: 2013-08-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51174103 和 U0937602)

作者简介: 吕昊子(1990-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为矿产资源的综合利用。

燥基灰分为20%、回收率为92%的煤精粉,选别效率为79%;并且研究了最高浮选速率常数(一种反应浮选速率参考数据),确定为0.9457/min。对于同一煤泥,A. P. Chaves<sup>[4]</sup>等也做了相关的研究,发现当添加所谓“促进剂”(煤油)时,最高浮选速率常数不仅没有上升,反而呈下降趋势;他们还试验数据进行了浮选动力学的拟合,得到了决定系数( $R^2$ )大于0.96的拟合方程,为煤泥浮选动力学研究提供了一个很好的模型。

巴西 Bunge 公司在米纳斯吉拉斯州 Araxá 有一磷矿选厂,由于选厂自身工艺的限制,大量的磷灰石损失于尾矿中。荧光光谱分析(XRF)表明,尾矿中含9.52%  $P_2O_5$ 、26.20%  $Fe_2O_3$ 、1.59%  $BaSO_4$ 、11.50%  $CaO$ 、3.49%  $MgO$  和22.69%  $SiO_2$ 。Michelly S. Oliveira<sup>[5]</sup>等利用浮选柱对该尾矿进行了浮选研究,发现混合使用磺基琥珀酸酯和米糠油作为捕收剂,比率为1:4,总用量为100g/t时,试验效果较佳。可得到  $P_2O_5$  品位为29.4%、回收率为46.2%的精矿。针对浮选柱的工作特性研究了捕收剂和抑制剂用量、充气量、中矿循环量和浮选时间对尾矿浮选的影响;对试验数据进行无量纲化处理后,通过独立多元回归统计分析得出了:精矿中  $P_2O_5$  品位( $G$ )、 $P_2O_5$  回收率( $R$ )、 $Fe_2O_3$  含量( $SRFe_2O_3$ )和  $SiO_2$  含量( $SRSiO_2$ )与捕收剂用量( $X_1$ )、抑制剂用量( $X_2$ )、充气量( $X_3$ )、中矿循环量( $X_4$ )和浮选时间( $X_5$ )的数学统计模型拟合方程,具体如下:

$$G = 24.1 - 0.21X_1 + 1X_2 - 0.14X_3 - 0.35X_5 - 0.79X_1X_2 + 0.62X_1^2 + 0.21X_2^2 - 0.12X_4^2$$

$$(R^2 = 0.99) \quad (1)$$

$$R = 58.0 - 0.79X_2 - 0.29X_1X_2 + 0.22X_3X_4 + 0.22X_3^2$$

$$(R^2 = 0.88) \quad (2)$$

$$SRFe_2O_3 = 2.18 + 0.84X_2 - 0.2X_3 - 0.12X_5 - 0.54X_1X_2 - 0.13X_3X_4 - 0.14X_4X_5 + 0.49X_1^2 + 0.21X_2^2 - 0.19X_3^2 - 0.14X_4^2$$

$$(R^2 = 0.98) \quad (3)$$

$$SRSiO_2 = 5.97 - 0.37X_1 + 0.4X_2 - 0.16X_3 + 1.05X_4 - 0.19X_5 - 0.97X_4X_5 + 0.22X_2^2$$

$$(R^2 = 0.91) \quad (4)$$

在后续的验证试验中,通过严格的统计校验,发现拟合方程的误差均小于10%,可见上述拟合方程具有极高的准确性。

## 2 高效回收尾矿中微细粒矿物的新型重选设备研究

近年来,很多新型重选设备的发明和完善,使重选这种传统的选矿工艺在细粒和超细粒尾矿再选中有了越来越多的应用。

温哥华猎鹰选矿公司研制了一种名为 Falcon 的选矿机,其主体形式是一个立式离心机,可产生强大的离心力场,足以分选超细粒( $-10\mu m$ )的煤,并且可以连续作业,除用于选煤,它还广泛应用于硫化矿、铁矿、锡矿、钛矿和金矿等的选别<sup>[6]</sup>。针对煤尾矿中细粒与超细粒煤难回收的问题,Filiz Oruç<sup>[7]</sup>等基于土耳其 Tunçbilek 洗煤厂的超细( $-10\mu m > 60\%$ )煤泥(灰分高达66%)进行了相关的选别研究。Filiz Oruç 等使用水力旋流器预选煤尾矿后经 Falcon 选矿机精选,可获得回收率85%以上,灰分降至36%的煤精粉。除此之外,利用统计软件 Minitab 15 对试验数据进行了最小二乘法线性回归分析,发现灰分预测的决定系数( $R^2$ )在0.73~0.58,回收率的预测决定系数在0.65~0.40,此预测结果可以很好的为其他类似研究以及相关预测提供较为准确的依据。

复合力场摇床是一种新型重选设备,其主要分选机理类似于常规摇床,不过其床面为筒形,可转动产生离心力场,所以该重选机越来越多的应用于细粒与超细粒尾矿的选别<sup>[8]</sup>。Selcuk Özgen<sup>[9]</sup>等对 So-ma 洗煤厂的细煤尾矿做了相关的研究,此煤尾灰分为52.65%,采用复合力场重选机选别可获得回收率为60.01%,而灰分仅为22.89%的煤精粉。在多组数据的支撑下,Selcuk Özgen 等也利用统计软件 Minitab 15 对实验数据进行了最小二乘法线性回归分析,发现灰分预测的决定系数( $R^2$ )为0.842,回收率的预测决定系数为0.831,表明该重选机工作的稳定性和可调节性,为类似研究提供了很好的范例。

复合力场离心机(Multi Gravity Separator, MGS)在传统卧式连选离心机的基础上,加入了轴向的高频震动,即在普通离心机分选的过程中增加了一个相对于筒体的剪切力,这样更加有利于矿浆中微粒即时地分散,在一定程度上改善了离心机选别效率低下的问题<sup>[10]</sup>。A. Erdem 等<sup>[11]</sup>将 Tunçbilek 洗煤厂的煤泥筛分为 $+500\mu m$ 、 $-500+300\mu m$ 、 $-300+38\mu m$ 和 $-38\mu m$ 四个粒级,针对 $-300+38\mu m$ 粒级的产品他们使用复合力场离心机进行回收,在原矿灰

分为 50.47% 的前提下,最终可获得灰分为 21.50%、回收率为 82.84% 的煤精粉。土耳其 Fethiye 地区有一个铬铁矿尾矿,其  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  品位为 14.79%,尾矿  $-38\mu\text{m}$  粒级中, $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的分布率为 53.25%。而在传统重选工艺中, $-38\mu\text{m}$  粒级的矿石往往很难得到较好的回收指标,所以此尾矿中  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的回收是一个很值得研究的问题。SelcukÖzgen<sup>[12]</sup> 利用水力旋流器与复合力场离心机组合处理此尾矿,先通过水力旋流器抛粗,旋流器溢流进入复合力场离心机进行分选,得到铬铁精矿。针对转鼓的尖端直径(a)、尾端直径(v)、转速(d)、倾角(t)和冲洗水量(w)等参数进行了详细的研究后,提出了两个数学模型,一个是有关  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  回收率的多元方程,另一个是有关  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  品位的多元方程,并且这两个模型的决定系数( $R^2$ )均高于 0.9;依靠这两个模型,分别确定了尖端直径(a)、尾端直径(v)、转速(d)、倾角(t)和冲洗水量(w)在最高回收率和最高品位时的具体参数,并且在之后的验证试验中分别得到了  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  品位为 31.35%、回收率为 81.38% 和  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  品位为 45.76%、回收率为 69.24% 的铬铁精矿,与预期结果十分接近。

### 3 尾矿的微生物处理与浸出技术研究

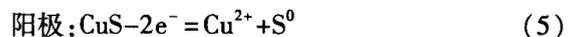
微生物处理是依靠微生物的生化作用改善尾矿性质,它是一种环保、高效和廉价的尾矿修复和回收的技术<sup>[13]</sup>。微生物处理可分为微生物浸出和微生物矿化两个方面,微生物浸出是利用微生物的侵蚀和代谢作用将矿石中内含的有害金属离子释放出来进入液相,进而将有害金属离子提取出来;微生物矿化则是将液相已存在的超标的有害金属离子矿化沉淀出来,从而达到净化液相的目的<sup>[14]</sup>。因为化学浸出与微生物浸出非常类似,所以也归到这节里。

韩国全罗北道井邑市有含铅 1050mg/kg 的尾矿,当中可溶性铅离子对周围环境造成了极大的压力。Muthusamy Govarthanan<sup>[15]</sup> 等利用本土菌种对该尾矿的可溶性 Pb 离子进行了矿化沉淀研究,发现本土的  $\text{KK}_1$  型芽孢杆菌对铅离子有较好的矿化作用,其主要是使铅离子反应生成碳酸盐化合物。结果显示,铅的碳酸盐化合物含量明显上升(由 26% 上升至 38%),所以由细菌引起的铅的碳酸盐沉淀是此尾矿生物修复技术的关键。研究还发现,在生物修复过程中,土壤酶活性显著增强,表明  $\text{KK}_1$  型芽孢杆菌的确拥有修复此尾矿对环境造成的负面影响

的潜力。

俄罗斯乌拉尔地区的 UMMC(即 UGMK)公司属下的 Uchalinsky 和 Gaisky 等选厂供应俄罗斯国内 90% 的铜、锌精矿,同时,这些选厂也排出了大量的尾矿,据不完全统计,每年将近有 15t 的金和 50t 的银流失于这些尾矿中,金、银的总损失量分别预计已超过 250t 和 1000t,并且有数百倍于金银损失量的铜锌流失于尾矿中。Tamara F. Kondrat'eva<sup>[16]</sup> 等采用生物浸出技术研究此尾矿的可浸性,试验试样由 Svyatogor 选厂制取,在确保试样的矿物学和元素组成的代表性前提下,化验分析得知尾矿中主要有价元素含量为:铜 0.29%、锌 0.26%、金 0.7g/t 和银 10.8g/t。生物浸出采用一种嗜酸无机化能营养微生物,由于浸出的速率较慢,Tamara F. Kondrat'eva 等进行了长达 134d 的浸出对比试验,酸性浸出和生物浸出试验结果分别为:锌回收率为 59.5% 和 87.0%、铜回收率为 46.0% 和 54.5%、金回收率为 56.4% 和 57.8%、银回收率为 50.5% 和 50.9%,说明生物浸出比之酸性浸出可以明显的提高锌和铜的浸出率,但是对金银没有显著地提升作用。

塞尔维亚的 Bor 铜矿的浮选尾矿含有铜 0.2%,M. M. Antonijević<sup>[17]</sup> 等在硫酸浸出体系下对此尾矿进行了研究,他们通过浸出动力学分析,研究了 pH 值、搅拌速度、矿浆浓度、矿石细度、 $\text{Fe}^{3+}$  离子浓度、浸出温度和浸出时间等条件,发现铜和铁的平均浸出率分别在 60%~70% 和 2%~3%。他们在研究中认为矿浆中  $\text{Fe}^{3+}$  离子对铜的浸出存在一定的影响,并且提出了以下电极反应理论:



所以  $\text{Fe}^{3+}$  的补充有益于铜的浸出的,说明黄铁矿一定程度上的氧化是有利于铜的浸出。

### 4 尾矿的植物修复技术研究

与其他方法相比,尾矿的植物修复更加环保和廉价<sup>[18]</sup>,并且植物修复还可以改善环境的物理、化学和生物状态<sup>[19]</sup>。植物修复的作用可以分为植物提取和植物稳固两个方面,植物提取的目的是从被污染土壤中吸收超标的金属离子,从而改善尾矿土壤的化学和生物状态;植物稳固则是通过植物根系去固定原本微细和松散的尾矿,从而改善尾矿土壤的物理状态,防止水土流失对环境造成的负面影响。

Donghwan Shim<sup>[20]</sup> 等利用基因工程技术把抗重

金属基因片段(ScYCF1)引入到一种无花白杨植株中,后经无性繁殖培育出了一组对高浓度重金属离子土壤具有良好抗性的试验植株。对比普通杨树植株,转基因植株无论在温室培养中,还是在现场条件下都表现出了对高浓度重金属离子的优良抗性。通过对其根系和芽系的测定认为该植株可以有效吸收土壤中的重金属离子,实验室条件下,两周可使培养基中的Cd离子浓度下降近50%。将此类杨树植株移栽到韩国奉化锦湖区的一个关闭矿区尾矿堆的重金属污染土壤中,发现比之普通植株,转基因植株可以更好的适应该土壤,并且显著降低了土壤中重金属的含量。

斯洛文尼亚 Boršt 铀尾矿中含有一定量的放射性元素,MarkoŠtrok<sup>[21]</sup>等按照放射性浓度测定发现,铀尾矿中<sup>238</sup>U为995±80Bq/kg、<sup>230</sup>Th为3930±580Bq/kg、<sup>226</sup>Ra为8630±340Bq/kg<sup>[22]</sup>和<sup>210</sup>Pb为7610±495Bq/kg。研究认为植物对放射性元素的吸收强度依次是:树叶、树枝和树干,由此可见,植物吸收放射性元素可能主要是依靠植物的蒸腾作用物理吸附上去的,吸附的结果依次为:<sup>238</sup>U为0.01~5.4Bq/kg、<sup>230</sup>Th为0.03~11.3Bq/kg、<sup>226</sup>Ra为2.7~2728Bq/kg和<sup>210</sup>Pb为5.1~321Bq/kg,虽然整体数据指标并不尽如人意,但是从<sup>226</sup>Ra的高峰值放射性浓度可知,通过植物降低铀尾矿中的放射性元素是可行的,但是还有待进一步的研究。同时,未来放射性元素高富集植株的处理,以及可能带来的问题,也是值得后续工作进一步关注的。

## 5 结 论

(1)国外在尾矿再选的研究中,不仅从新药剂、型设备和新工艺中得到了较好的选别指标。同时,采用数学统计和计算机模拟技术建立选别体系的模型,可以很便利地帮助研究人员调控选别的指标,为后续的深度机理研究和工业生产提供了有利的参考条件。

(2)微生物处理技术中微生物矿化技术,为尾矿治理提供了一个全新的思路可以很大程度上改善尾矿污水对环境所造成的破坏,很值得国内企业进行借鉴和开发。

(3)植树修复技术作为一种很有前景的尾矿治理手段,主要作用还只是体现在植物稳固上,短期的植物提取结果不甚理想,需要从植物提取上做进一步的努力。

(4)微生物处理和植树修复研究中,基因工程技术的应用不仅仅给研究工作带来了便利,也为未来的生物修复技术研究提供了一条宝贵的思路,即通过对特性基因的提取、复制和引入,最终提高生物抗性和生化处理能力,从而得到优良的生物样本,达到高效、环保和廉价治理尾矿的目的。

对比国外尾矿治理的研究我们不难发现,国内与国外的尾矿治理思路存在较大差异的,国外的尾矿治理更倾向于环境保护,而国内则更侧重于尾矿的再选。所以如何学习和借鉴国外尾矿治理的思路与方法,也必将是未来国内尾矿治理的一个重要的研究方向。

## 参考文献:

- [1] A. Gül, Y. Kaytaç, G. Önal. Beneficiation of colemanite tailings by attrition and flotation [J]. Minerals Engineering, 2006, 19(4): 368-369.
- [2] A. Hajati. Flotation of zinc oxide minerals from low-grade tailings by oxine and dithizone using the Taguchi approach [J]. Minerals & Metallurgical Processing, 2010, 24(3): 158-165.
- [3] Juan Barraza, Juan Guerrero, Jorge Pixeres. Flotation of a refuse tailing fine coal slurry [J]. Fuel Processing Technology, 2013, 106: 498-500.
- [4] A. P. Chaves, A. S. Ruiz. Considerations on the Kinetics of Froth Flotation of Ultrafine Coal Contained in Tailings [J]. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 2009, 29(6): 289-297.
- [5] Michelly S. Oliveira, Ricardo C. Santana, Carlos H. Ataíde, Marcos A. S. Barrozo. Recovery of apatite from flotation tailings [J]. Separation and Purification Technology, 2011, 79(1): 79-84.
- [6] A. R. Laplante, M. Buonvino, A. Veltmeyer, J. Robitaille, G. Naud. A Study of the Falcon Concentrator [J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 1994(4): 279-288.
- [7] Filiz Oruç, Selçuk Özgen, Eyüp Sabah. An enhanced-gravity method to recover ultra-fine coal from tailings: Falcon concentrator [J]. FUEL, 2010, 89(9): 2433-2437.
- [8] A. K. Majumder, K. S. Bhoi, J. P. Barnwal. Multi-gravity separator: an alternate gravity concentrator to process coal fines [J]. Minerals and Metallurgical Processing, 2007, 24(3): 133-138.
- [9] Selçuk Özgen, Özkan Malkoç, Ceyda Dogancik, Eyüp Sabah, Filiz Oruç. Optimization of a Multi Gravity Separator to produce clean coal from Turkish lignite fine coal tailings [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2000, 303: 520-523.
- [10] Gülhan Özbayoğlu, M. Ümit Atalay. Beneficiation of bast-

- naesite by a multi-gravity separator [ J ]. *FUEL*, 2011, 90 ( 4 ): 1549-1555.
- [ 11 ] A. Erdem, Z. Olgun, A. Gulmez, O. Altun, etc. Beneficiation of Coal Fines from Tailing Ponds of Tun? bilek Washing Plant [ A ]. Publications of XXV International Mineral Processing Congress - IMPC 2010 [ C ]. Australasian; Publications Department of The AusIMM, 2010. 3737-3742.
- [ 12 ] Selçuk Özgen. Clean Chromite Production from Fine Chromite Tailings by Combination of Multi Gravity Separator and Hydrocyclone [ J ]. *Separation Science and Technology*, 2012, 47 ( 13 ): 1948-1956.
- [ 13 ] Shin Mi-Na, Shim Jaehong, You Youngnam, Myung Hyun, etc. Characterization of lead resistant endophytic *Bacillus* sp. MN3-4 and its potential for promoting lead accumulation in metal hyperaccumulator *Alnus firma* [ J ]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 199: 314-320.
- [ 14 ] J M Lendvay, F E Loffler, M Dollhopf, M R Aiello, etc. Bio-reactive Barriers: A Comparison of Bioaugmentation and Biostimulation for Chlorinated Solvent Remediation [ J ]. *Environmental Science and Technology*, 2003, 37 ( 7 ): 1422-1431.
- [ 15 ] Muthusamy Govarathanan, Kui-Jae Lee, Min Cho, Jae Su Kim, etc. Significance of autochthonous *Bacillus* sp. KK1 on biomineralization of lead in mine tailings [ J ]. *Chemosphere*, 2013, 90 ( 8 ): 2267-2272.
- [ 16 ] Tamara F. Kondrat'eva, Tatiana A. Pivovarova, Alexandr G. Bulaev, Vitaliy S. Melamud, etc. Percolation bioleaching of copper and zinc and gold recovery from flotation tailings of the sulfide complex ores of the Ural region, Russia [ J ]. *Hydrometallurgy*, 2012, 111: 82-86.
- [ 17 ] M. M. Antonijević, M. D. Dimitrijević, Z. O. Stevanović, S. M. Serbula, etc. Investigation of the possibility of copper recovery from the flotation tailings by acid leaching [ J ]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 158 ( 1 ): 23-34.
- [ 18 ] Elizabeth AH Pilon-Smits. Phytoremediation [ J ]. *Annual Review of Plant Biology*, 2005, 56: 15-39.
- [ 19 ] Elizabeth AH Pilon-Smits, Danika L LeDuc. Phytoremediation of selenium using transgenic plants [ J ]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2009, 20 ( 2 ): 207-212.
- [ 20 ] Donghwan Shim, Sangwoo Kim, Young-Im Choi, Won-Yong Song, etc. Transgenic poplar trees expressing yeast cadmium factor 1 exhibit the characteristics necessary for the phytoremediation of mine tailing soil [ J ]. *Chemosphere*, 2013, 90 ( 4 ): 1478-1486.
- [ 21 ] Marko Štrok, Borut Smodiš, Klemen Eler. Natural radionuclides in trees grown on a uranium mill tailings waste pile [ J ]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2011, 18 ( 5 ): 819-826.
- [ 22 ] M. Krizman, A. R. Byrne, L. Benedik. Distribution of  $^{230}\text{Th}$  in Milling Wastes from the Zirovski vrh Uranium Mine (Slovenia), and its Radioecological Implications [ J ]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 1995, 26 ( 3 ): 223-235.

## Research on Reconcentration and Disposal of Tailings Abroad in Recent Years

Lv Haozi<sup>1,2</sup>, Tong Xiong<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology,  
Kunming, Yunnan, China;

2. Yunnan Province Engineering Research Center for Reutilization of Metal Tailings Resources,  
Kunming, Yunnan, China)

**Abstract:** In continuous accumulation, tailings not only pollute soil and water quality, but also possibly lead serious water loss and soil erosion, inducing secondary geological disasters. Therefore, more and more attention was paid to it. In the light of reconcentration and disposal technology for different tailings, this article reviews the related research achievements and ideas abroad in recent years, such as flotation, gravity concentration, microbiological treatment and phytoremediation. Experimental researches on the flotation of useful minerals in tailings were introduced, also the application of new research, new methods and the establishment and optimization of the related models. The current research situation of microbial leaching, microbial mineralization, plant stability and plant extraction were introduced, and also the positive effect and gene engineering technology in the process of biological technology.

**Keywords:** Abroad; Tailing disposal; Flotation; Gravity concentration; Microbiological treatment; Phytoremediation