我国尾矿综合利用研究现状及建议

刘志强,郝梓国,刘恋,费红彩,黄敏

中国地质科学院,北京,100037

内容提要: 尾矿资源综合利用问题已受到世界各国的重视,其对策已由消极的废物处理转向物质再回收,尾矿资源化的发展趋势越来越清晰。但是,我国尾矿综合利用率和发达国家相比还存在较大的差距。大量的尾矿积存,对矿山周边地区环境、土地利用造成了严重的影响。开展典型尾矿资源综合利用技术研究和推广尾矿资源产业化利用技术研究与推广,不但可使原来资源枯竭或资源不足的矿山焕发青春,而且还能够重新成为新的资源基地,以开辟新的材料科技领域,推动科技进步,同时也可以解决环境污染、改善生态环境和整治国土,具有巨大社会、经济和环境效益。因此尾矿的综合利用要做到国家重视、立法保障、评价先行、技术支撑、全部利用,才能真正解决尾矿污染等问题。

关键词: 尾矿;污染;资源;综合利用

尾矿是矿石经粉碎、选冶形成精矿后的剩余部分,它的主要成分是非金属矿物,常含有黄铁矿、毒砂等非矿石矿物,也含有很少的金属组分和选矿药剂。它既是重大污染源,又是一种重要的矿产资源。据《中国可持续发展战略报告》[1],中国具有世界最强烈的人类活动规模和强度,给我国的可持续发展带来严重威胁。我国矿业生产活动每年搬动、运移岩石和土壤为4.8 Gt,采石和建筑材料搬动、运移岩石和土壤为1.45Gt。而这些被搬动、运移的岩石和土壤的大部分成为尾矿、废石被堆放于土地之上,大量占用土地和耕地,毁坏植被,引发污染和灾害(图1)。近年来,关于尾矿污染和重新利用,一些媒体作了大量的报道,一些专家和学者也做了大量的研究工作(李章大等,1992;暴学珠; 1992;冯元琦,1999;陈天虎, 2001;张锦瑞等,2002;陈希廉,2005;赵仕玲,2007;朱宝忠,2007;刘慧卓, 2007;于学峰等,2013;刘恋等,2012,2013;潘含江等,2014),但目前我国尾矿综合利用率还不到10%(孙燕等,2009;梅国栋,2010),尾矿综合治理与利用的基本原则是资源化、减量化、无害化(张金青,2007)。本文试图从我国研究现状分析做起,通过尾矿双重性的特点,指出尾矿资源综合利用的方向,并呼吁政府和企业切实负起责任,减少尾矿的污染和破坏,做到充分利用。要大力宣传尾矿综合利用的政策和重要性,提高人们节约资源意识,共同维护我们美好的家园。

1 国内外尾矿资源研究现状

1.1 国外尾矿资源研究现状

据李莉(2009)统计分析表明,世界各国均已积存了大量尾矿,如美国约9.0 Gt,前苏联约5.0Gt。鉴于尾矿的巨大的资源价值和产生的污染及生态破坏,引起了人们的普遍关注,早在20世纪60年代,前苏联、美、加、澳、日、德、英、南非、捷克等国就着手对长期堆存的尾矿进行开发利用和生态恢复和治理,投入大量经费,建立了一批二次选矿厂,逐步形成了"二次原料工业"(吴德礼等,2001;徐曙光,2001)。国外对尾矿的整体利用率达到了60%。一些发达国家如德国对包括尾矿在内的各种废弃物的利用已达80%以上,美、澳等国尾库生态复原和复垦率达80%。

1.2 我国尾矿资源研究的现状

我国对于尾矿的综合利用虽然前地质部及《矿产资源法》均已提出,但真正较系统地进行,可能是在20世纪90年代后期,这既可能与我国部门分制之体制有关,更与人们的认识有关。但随着《循环经济促进法》(2008年8月)、《金属尾矿综合利用专项规划》(2010年4月),《土地复垦条例》(2011年3月)、《全国资源型城市可持续发展规划》(2013年11月)等法律和规划的发布以及新的"三率"指标的发布、绿色矿山建设的推进,加之镉米事件、铅中毒、癌症村地图等众多污染案例的披露,在客观上也促进了矿产资源综合利用的政策强化和水平的提高,我国矿产资源综合利用及矿山环境治理已经快速起步并取得了很大成绩,但也存在诸多问题。

我国矿产资源、特别是尾矿废矿的综合利用虽比矿业发达国家迟了几十年,但近十多年却取得了很大成绩。根据《中国资源综合利用年度报告(2012)》,我国矿产资源"综合利用的金属量占到全国金属总产量的15%。全国35%的黄金、90%的银、75%硫铁矿、50%以上的钒、碲、镓、铟、锗以及大部分铂族元素来自于综合利用"。据薛亚洲等[2]统计分析,我国共伴生矿产综合回收率在40%以上的矿山企业不足40%。

根据工业和信息化部、科学技术部、国土资源部、全生产监督管理总局《规划》及《全国矿产资源节约与综合利用报告》,到2013年底我国尾矿堆存量应达15.0Gt,废石堆存量应超过30.0Gt。根据《2010~2011年度尾矿综合利用发展综述与展望》,2011年我国产生尾矿总量1.581Gt,利用尾

注:本文为京津冀及周边地区不同自然生态环境和不同功能区的土壤黑碳分布规律项目(编号:ywf2016009)资助的成果。
收稿日期:2016-08-07;改回日期:2016-08-25;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2016.05.020
作者简介:刘志强,男,1976年生。硕士,工程师。古生物学与地层学专业。Email:liuzhiqiang@cags.ac.cn。



图 1 尾矿对人类生产生活的危害和影响形式十分严峻

Fig. 1 Tailings is very serious to human production and life

(a)尾矿仍源源不断的排放;(b)污染河流;(c)冲毁房屋;(d) 淹没农田;(e) 冲毁道路;(f) 堵塞河道;(g) 淹没村庄;(h) 占用耕地;(i) 鱼类死亡

(a) tailings continued emissions; (b) tailings pollution of rivers; (c) tailings destroyed houses; (d) tailings submerged farmland; (E) tailings washed away roads; (f) tailings blocking the river; (g) tailings flooded villages; (h) tailings occupation of cultivated land; (i) fish died for tailings

矿总量为 0.226Gt,当年利用量和产出量相比,综合利用率为 17%,其中回收有价组分占利用量的 3%,生产建筑材料占 43%,回填用占 53%,回收有用组分和生产建材总产值 468 亿元。我国对废石的利用也取得了一定成绩,据薛亚洲等[2]介绍,截至 2012 年底,我国矿山废石堆存量约为 29.0 Gt,废石综合利用率近 4%,其中煤矸石、粉煤灰利用较好,2012 年煤矸石利用率为当年产出总量的 62%,粉煤灰年利用率为 68%。

近些年来我国矿产资源综合利用水平虽有进展,但与矿业发达国家相比,仍然存在较大差距。

2 尾矿的双重性

2.1 尾矿的危害性

(1)尾矿源源不断地排出和堆积占用、破坏大量土地及植被(图 1a、d、i)。据张进德等(2009)对全国 113149 个矿山调查统计,占地总面积为 5.82×10^6 hm^2,破坏土地面积约 1.44×10^6 hm^2,其中耕地 0.296×10^6 hm^2,林地 1.37×10^6 hm^2,草地 0.164×10^6 hm^2。

(2)引发地面沉(塌)陷、山体开裂、崩塌、泥石流、水土流失、土壤沙化等地质灾害。截止 2005 年底,全国矿山共引发地质灾害 12000 多处,死亡 4251 人,造成直接经济损失 161.6 亿元。其中最为严重的是引发的地面塌陷,进而产生耕地、道路、建筑物等被破坏,甚至有人、物落入陷坑内的事件发生(张进德,2009)。我国尾矿库以沟谷型居多,且其下游常有居民区,具有高势能,一旦产生溃坝,不仅冲毁、淹埋道路、房屋、人畜(图 1c、e),而且产生严重污染,故有人说尾矿库是悬在村民头顶上的"悬湖"。如 1962 年 9 月、云锡公司火都谷尾库溃坝,死亡 263 人,受灾人口达 13970 人;2008 年 9 月 8 日襄汾铁矿溃坝,库区下游办公楼、宿舍、集贸市场全部被毁、致死 276 人;2002 年 9 月 11 日,贵州都匀固镇多杰村上游铅锌矿尾库溃坝,大量尾矿经范家河流入清水江(图 1b),产生严重污染,范家河沿河 5 km 以上沿岸树木枯死,沿岸耕地 10 多年颗粒无收(图 1g);2010 年 7 月 3 曰紫金矿业上杭铜矿铜酸水渗漏,9100 km3 尾渣污染汀江,上杭、

永定二县因酸水(pH 为 4.6)和铜严重超标导致大面积网箱鱼大量死亡(图 1i)。

(3)尾库及废石堆是周边水、土、大气的污染源头。由于尾矿、废石、煤矸石中含硫化物,在地面氧化环境下,会产生酸性含金属的浸出液,产生严重的重金属及酸性污染。据国土资源部发布的土壤污染公报,我国土壤重金属污染总超标率为 16.1%,而采油区超标率为 23.6%,采矿区超标率为 33.4%,重污染企业超标率为 36.4%,由此可见我国矿业采选产生污染的严重性。在许多矿区,微风即可从尾矿上掀起一片尘土,加之选矿过程中还可能有有害气体散逸;另外因建筑质量等因素,尾矿库废水外泄是不可避免的,因而在矿区尾矿库是周边水、土、大气污染的源头。需要指出的是,矿山废石产生的污染也相当严重。

尾矿及废石堆的污染性,具有隐蔽性、长期性、扩散性、爆发性的特征,不论是"湿排"抑或"干排"大体相当。如果尾矿体的污染不从源头根治,仅对其周边的水、土、大气污染进行治理只能是暂时的、短效的。如加拿大曾对早已关闭、甚至废弃达数百年以上的尾矿库的污染状况进行调查,到 1988 年止,系统调查了 108 个尾矿库和废矿,发现其中有 21 个仍排出大量酸性含重属废水,污染面积达 15000 km^2,治理费用高达 30 亿美元(王庆仁等,2002)。

2.2　尾矿的资源性

尾矿作为二次资源已受到中国各级政府和生产企业的高度重视。据专家预测,尾矿利用将是 21 世纪矿产综合利用范围最广、潜力最大的领域。因此,从国内尾矿资源的实际出发,大力开展尾矿资源综合利用,实现资源开发和节约并举,提高资源利用率,有着十分重要的经济效益和社会意义。

由于前期选矿技术水平的制约和"单打一、重主轻副"的思想等多种原因,我国尾矿中不仅含有可提取的金属组分,而且存有大量可用的以硅酸盐矿物、碳酸盐矿物为主、甚至可直接提取的非金属组分。

据陈志强等(2005)仅对南丹 61 个尾库中的龙泉中心库、坡前库等五个尾库的详查,提交可供利用的锡 9500t,锌 24800t,铅 15400t,锑 15380t,银 126.85t;大冶铜矿尾库中含铜 630kt,金 3373kg,银 56175kg,铁 2768.5kt;丁其光[3]研究认为云锡公司尾矿中含锡 23.8 万 t,陕西双王金矿尾矿中含钠长石 50%,储量上亿吨。我国铁矿尾矿中普遍含铁在 10% 左右,金矿尾矿中含金多在 0.4 g/t 以上;刘亚川等[4]对 84 个大中型危机矿山进行了"表格"调查和实地调查,采集了 88 件样品,分别对矿床的共伴生矿产资源进行了调查评价,并对其资源潜力进行了初步分析研究,认为其中有 73 个矿山含有有益共伴生组分。多金属尾矿中则普遍含稀有分散元素,钨尾矿中普遍含锡、钼、铋、铍、锂、稀土及萤石,鞍山式铁矿、锑矿、斑岩型铜矿等尾矿中含石英多在 60% 以上甚至高达 90%。从国内外尾矿综合利用状况分析,即使可独立提取的金属、非金属因含量过低无法提取,也可用来制砖等。因此我国尾矿有着巨大的资源再利用价值,具有明显的资源性质。

因此如何对待、处置这些被搬动和运移后存于地面的尾矿,是一个必须认真研究的问题。

3　我国尾矿资源综合利用的部分实例

(1)应用炼铁炉渣开拓无机微晶材料。炉渣微晶材料是以炉渣为基础原料,用微晶玻璃工业生产技术研制出来的无机微晶非金属复合材料。可用多种无机原料制成人为设定的各种功能材料,适合于工矿企业的尾矿、炉渣等复合矿物原料资源化利用,材料具有可贵的耐高温、耐磨、低至无膨胀(可控)、高机械强度、高化学稳定性、耐腐蚀、抗氧化性、良好电绝缘性及介电击穿强度等性能,有希望代替金属、非金属传统材料,开辟一个功能材料新领域,在国外已有 2000 多种商品上市,广泛用于建材、电子、化工、核工业、国防军工、生命医学及家庭生活、矿山、水利、海洋各个领域。如高级建筑饰材、台板、炊具、水下结构及深水容器、化工管道、食品加工、金属器皿内衬、输送泥浆的泵、阀门、热液输送管道、特殊用途轴承、耐火砖接缝密封剂,1100℃ 温度下长期使用的热交换器材料,与金属焊接成电力、微电子、真空管组件、微晶玻璃印刷电路、高电容率微晶玻璃电容器和电光材料,飞机及宇宙飞船热保护层等。现在,我国规模生产的微晶玻璃厂 20~30 家,尾矿微晶材料厂 5 家,年产 300 万 m^2 板材用于建筑装饰,并向工矿部门、海洋工程、海外出口推广应用,其理化性能优良性能,其应用前景远大。

(2)利用尾矿炉渣改土造田。一般情况下,利用尾砂很难完全代替农田土壤,但在充分掌握尾砂的组分特征基础上,依据当地高产农用地土壤实测理化性能指标,加以适当的改造,可以取得成功。人类在工业生产中采选冶炼矿石,有如土壤形成过程中的地质大循环,对采选冶废弃物的改造,可视为人类自觉进行的土壤形成过程生物小循环,尾矿农用改造就是人工完成土壤形成的产业化行为。土壤的母质来源于岩石、矿物,其原生矿物主要是石英、长石、角闪石、辉石、方解石等硅铝酸盐和碳酸盐类矿物,它们构成土壤颗粒和原始矿物质养分;其次生矿物则是层状铝硅酸盐类粘土矿物和铁、铝、钙、镁、硅等含水氧化物等土壤粘结物,它们除本身含有养分外,还有吸附,离子交换,蓄水,保肥,保温等强大能力,成为微生物生存繁衍和植物生长不可缺少的组分。例如,通过宣化地区铁矿尾矿、含钾页岩、膨润土矿尾矿及炼铁炉渣的化验检测和逐鹿实验农场的试验,发现这些工业固体废料,在矿物组分(如石英、长石、蒙脱石、伊利石、绿泥石、方解石铁矿物等)及化学成分乃至农用微量元素上,都可作为本地土壤改土造田辅料,改土造田采用土壤改造法:① 挖出泵土中砾石加上矿山废石作为修路铺路石,砂和粘土;② 用城市建设挖基壤土等窑土掺铁矿尾矿混合填埋作基土;③ 在耕作层(一般厚 1 m 左右)视作物种类根系需要添加尾矿及粉碎的秸秆粉,玉米轴粉 30~60cm 厚;④ 增施含钾页岩及有机肥(用农场畜养的牛羊猪鸡鸭粪便掺土,发酵堆肥)、平整土地以备种植;⑤ 按计划及地势划垄种植,挖塘种藕,养鱼;⑥ 在低地田块铺垫 10~30cm 厚膨润土尾矿作隔漏蓄肥保水层,种植水稻;⑦ 用机井及水渠引地下水灌溉农田;⑧ 用农场自种瓜菜,玉米,喂养牛羊猪鸡鸭;外购腐殖酸,膨润土,铁矿尾矿,配上宣化四方台铁矿含钾页岩粉及炉渣改土造田,并试种了玉米、土豆、水稻、葡萄等,长势良好。经过检测,完全符合食品安全标准。利用尾矿资源改土造田取得了良好效果。

(3)拓展不溶性钾肥农用技术。采矿过程中一些废弃的材料含有农作物可以吸收的有用营养成分,经过粉粹直接可以应用与农作物的肥料。如运用应用地球化学勘查技术进行 52 项化学组分检测和 X 射线衍射物相定量分析,显微镜下岩石薄片鉴定,发现宣化含钾页岩具有以下特点:① 值得关注的组分为:K_2O、Sr、Mo、SO_3 含量较高,且含多种稀土元素,重金属元素及其它有害元素含量普遍低于 GB15618-1995 一级土壤标准;② 含钾页岩的化学组分不均匀,其中以烟筒山的页岩有益组分含量最高,如 K_2O 达 11.24% ~13.56%,Sr 85.29 ~122.70μg/g,B 328.70 ~518.10μg/g;赤城含钾页岩的含钾量低(3.13% ~3.55%),但铁(TFe_2O_3 9.37% ~10.08%)、TiO_2(0.876% ~0.892%),V(143.26 ~151.20μg/g)、Ba(487.70 ~561.30μg/g)、Zn(104.22 ~111.94μg/g)稍高;③ 页岩的岩石,矿物鉴定发现,以往定为长城系碎屑沉积的串岭沟组页岩中,见有不同粒度及含锐角状,细板状及融蚀状石英和脱玻化火山碎屑,呈蒙脱石化微斜长石残余晶屑,斑晶,伊利石化凝灰物质,凝灰质粘土岩角砾组成,还含有透长石及粗面岩岩屑,应为含火山凝灰质的粘土质—粉砂质页岩,经分送中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心和北京北达燕园微构分析测试中心进行全岩矿物及粘土矿物 X 射线衍射分析,证实含有火山成因特征矿物透长石及含 39.4% 至 58.0% 伊利石、蒙脱石、高岭石、绿泥石粘土矿物,解开页岩富钾及可为农用不溶性钾肥之资源特征之缘由。李章大等(1992)对该类岩石和伊利石的成因,伊利石和蒙皂石的关系,伊利石的微细机构,钾离子的赋有形式及其提取的可能性和方法,进行了初步研究。认为该类岩石中的钾离子较钾长石等矿物的钾离子易于提取,加之该类岩石遍布全国各时代层位,K_2O 含量较高,钾资源量巨大,初步认为是一种最具有潜力的非溶性钾资源,而且很可能使伊利石页岩成为钾矿和伊利石矿两种资源。

(4)对固体尾矿固体废弃物利用新技术进行重新回收利用。2012 年和 2006 年相比,我国铁、铜、铅、锌、锡、锑等矿品位下降,但回采率基本稳定,其中黑色金属、铝土矿、锡矿、钨矿的回采率在 70% 左右,铜、铅、锌、锑回采率在 88% 左右,金矿较好,回采率在 91% ~92% 之间,平均回收率为90.9%,冶炼回收率在 84% ~85% 间。

(5)努力利用新技术和新方法,减少矿产冶炼过程中废弃物的排放。对于尾矿的综合治理和回收利用最好的办法是利用新技术和新方法,减少矿产冶炼过程中废弃物的排放,尽量做到全部利用。这样既减少了污染物的排放,也避



图 2 经过治理后的废弃矿山变成秀美新环境

Fig. 2 Governance of abandoned mine become beautiful new environment

(a) 废弃矿山变成旅游场所;(b)治理后的矿山变成休闲活动场所;(c)废弃矿山被改造成旅游科研场所;(d)治理后的废弃矿山变成蔬菜瓜果基地

(a) abandoned mines into tourism sites; (b) after treatment of mines into leisure activities place; (c) abandoned mines have been transformed into tourism research establishments; (d) after the treatment of abandoned mines into fruits and vegetables base

免了二次处理过程中的能源浪费。如云南磷化集团有限公司依靠自主研发的磷矿浮选工艺技术和选矿药剂,累计投资25 亿元建设了海口、安宁、晋宁三套总能力 8.50 Mt 的大型磷矿浮选装置,率先实现了 P_2O_5 品位 21% 左右的磷矿资源开发利用。

(6)对废弃矿山和尾矿堆积场所进行环境有效恢复和治理,变满目苍夷为青山绿水和人们休闲的后花园。到目前为止,一些企业在环境恢复和治理方面取得了很好的成就和效果,值得借鉴和大力推广。如云南磷化集团土地复垦植被工作起步于20 世纪 80 年代。特别是 2004 年以来,加大力度、加大投入、创新管理,复垦植被形成长效机制。至今,累计投入复垦植被资金 2 亿多元,植树造林 2.5 万多亩,可复垦植被面积土地复垦率达到 94%。“十二五”期间,复垦植被预计投入资金 1.5 亿元,复垦植被 1 万余亩。目前,矿山采矿废弃地的地质环境得到有效恢复和治理,土地复垦植被区内形成了一定规模的生态林和经济林,再造了秀美的矿山新环境。同时,遵循土地集约利用原则,积极对复垦区土地资源进行二次开发利用:以昆阳磷矿为代表的复垦植被区,依托梅树村国际标准剖面建设有“震旦地质生态园”、别具特色的海拔 2260 m 的足球场和农家乐;海口磷矿建设了集经济林木、瓜果蔬菜、家禽养殖、休闲餐饮为一体的“森林湖生态园”;晋宁磷矿正在实施“千亩农用地改造工程”;尖山磷矿结合安全生产实施“采空区高陡边坡削坡绿化工程”,海口鱼、三叶虫古生物动物群保护工程为国内外专家学者提供科学研究。

4　我国尾矿资源利用的政策性建议

(1)国家要重视。前苏联、美国、加拿大、澳大利亚、南非、日本、德国和英国等,一方面投入大量资金和人力加强尾矿开发利用的研究工作和兴建“二次原料工业”;另一方面,制订政策法规,强化包括尾矿在内的二次资源开发利用,同时给予优惠政策,鼓励开发二次资源市场和使用二次资源。

(2)要立法保障。法律法规是开展尾矿综合利用的强制力量,因而一些矿业大国十分重视矿产资源的综合利用和矿山环境的保护和治理。如美国 1970 年颁布《资源回收条例》,1978 年则颁布《资源保护与回收法规》,美国环保局于 1988 年、1990 年相继颁布 Strawman Ⅰ 和 Strawman Ⅱ 二个法案以及鼓励开发二次资源市场的七条政策,包括给予直接奖励、降低二次资源运费、二次资源产品减税等;德国于 1994 年颁布《循环经济/废弃物法》。在这些国家的法律法规中,都是把尾矿等看作可利用资源纳入产品生产过程之中。

(3)评价需先行。尾矿矿物组成虽和原矿床有着密切的成生联系,但在地表富氧、富水的环境下,尾矿中的硫化物必然要被氧化,尾矿在雨水淋溶、酸化水和残留选矿废液的联合作用下,尾矿中的矿物将会持续、长期地发生复杂的物理化学变化。因此尾矿的化学成分、矿物成分、赋存形式、分布及其物理化学性状等均与原矿床有所区别,因此对尾矿的利用应重新进行勘查评价和研究。需要强调的是,对尾矿的勘查评价是服务于尾矿资源的开发利用以及环境评价和治理二个目标的,查明其化学成分、矿物成分、有用组分品位和储量(含金属和非金属)及赋存状态、与颗粒度的关系、分布规律、工艺特性等;重金属及硫化物种类、含量、赋存状态及其在表生地球化学条件溶解、淀积和迁移规律及控制因素等。

(4)技术做支撑。从尾矿中选出有用组分,是尾矿资源化、减少排尾量的重要环节。但因尾矿中有用组分含量一般不高,粒度细,嵌布复杂,富集程度也发生了变化,用矿山正在使用的选矿工艺和设备难以取得好的选矿效果。早在 1960 年代,前苏联、美国、日本、加拿大、澳大利亚、南非及欧洲矿业发达国家开展了选冶新工艺、新设备的研究,甚至包括尾矿堆积方式的规定,兴建了一批二次选矿厂,形成了“二次原料工业”。

(5)最大化利用。国外对尾矿的利用是全方位的,既关注回收有用组分,提高矿产资源利用值价,也关注实现无尾化、生态化。有用组分的提取,既含金属组分,也含非金属组分,如土耳其从铁尾矿中选出钾长石;加拿大、美国等国也从尾矿中选出石英等非金属矿物,利用其特殊性能进行深加工,制成高附加值产品,如功能陶瓷,复合陶瓷等,因尾矿中常含有一些植物所需元素,用作农肥或改良土壤则是另一仲的重要用途,如卡奇卡那尔采选公司用含钙、镁及硅等氧化物铁尾矿用于改良酸性土壤。对尾矿添其它材料加以适当改造用以造田复垦是大量消耗尾矿的好办法。

(6)大力宣传,提高公众对尾矿利用的认知度。尾矿综合利用除具有重大的环境效益外,充分利用现有资源,其意义如同找到新的矿床一样重大。因此,尾矿综合利用得到世界各国的高度重视。宣传尾矿资源利用,提高公众认识,对于普及我国国土资源国情,普及地球科学知识,增强公众的资源忧患意识,启发了人们保护地球,从我做起,从小事做起的决心和意识。

5　结论

(1)我国对尾矿资源利用目前与国外还存在一定的差距,需要更多的关注、研究和投入等才能逐步赶上并最终超过发达国家。

(2)尾矿具有双重性,既具有一定的危害性,同时还具有资源性,我们要认真研究,科学利用其资源性,采取切实可行的科学方法,降低、避免其危害性。

(3)关于资源性的利用,方向有很多,需要具体问题具体分析,针对不同的尾矿资源,采取不同的利用方式和方法,最大化利用其价值。

(4)在政策性建议方面要做到:国家重视、立法保障、评价先行、技术支撑、全部利用和有效的大力宣传,提高人们节约资源意识。

致谢:中国老科协国土资源部分会李章大、包永东等在成文过程中提供了很好的素材,在此对他们退休后仍为尾矿治理和综合利用等方面默默辛勤的付出表示敬意和感谢!

注　释　/　Notes

❶ 中国科学院可持续发展研究组. 1999. 中国可持续发展战略报告.

❷ 薛亚洲,王海军. 2011. 全国矿产资源节约与综合利用报告、中国国土资源综合利用研究报告(2010 ~ 2011 年度).

❸ 丁其光. 2010. 对我国尾矿利用现状的认识与思考. 全国国土资源矿产综合利用技术研讨会交流材料.

❹ 刘亚川, 丁其光. 2009 危机矿生共伴生矿产和尾矿综合利用现状调查总结报告.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

暴学珠. 1992. 国外矿山尾矿的处理及应用. 矿山技术, (2):39 ~ 42.

陈天虎,冯军会,徐晓春. 2001. 国外尾矿酸性排水和重金属研究进展. 环境污染治理技术与设备, 2(2):41 ~46.

陈希廉. 2005. "以废治废"之废石与尾矿, 世界有色金属, (09)::21 ~22.

陈志强,苏亮,杨保疆. 2005. 广西南丹地区有色金属尾砂型人工矿床地质特征及其资源化. 地质找矿论丛, 20(B08):139 ~144.

冯元琦. 1999. 中国钾肥《蓝皮书》. 中国石油和化工,(5):31 ~34.

贾玉兰. 1983. 开辟新型肥源——超基性—基性岩粉. 新疆农业科学,(05):45.

李莉. 2009. 矿产资源综合利用的研究与对策. 现代矿业,25(6):5 ~9.

李章大,周秋兰. 1992. 尾矿资源综合开发与利用. 中国有色金属学报,2(2):80 ~83.

刘慧卓、唐跃刚、赵峰华. 2007. 近北庄磁铁矿的矿物特征. 有色金属,59(1):98 ~102.

刘恋,郝情情,郝梓国,张金青,费红彩. 2012. 中国矽卡岩型矿床尾矿的综合利用现状. 中国矿业, 21(11): 52 ~54.

刘恋,郝情情,郝梓国,张金青,费红彩. 2013. 中国金属尾矿资源综合利用现状研究. 地质与勘探, 49(03): 0437 ~0443.

梅国栋. 2010. 尾矿综合利用与无尾矿山建设探讨. 金属矿山, (10):142 ~145.

潘含江,程志中,周国华,杨榕,孙彬彬. 2014. 全国尾矿地球化学调查与评价成果示范. 中国科技成果, (5):32 ~34.

孙燕,刘和峰,刘建明,孟繁威,张伟庆. 2009. 有色金属尾矿的问题及处理现状. 金属矿山,(5):6 ~10.

王庆仁,刘秀梅,崔岩山,董艺婷. 2002. 我国几个工矿与污灌区土壤重金属污染状况及原因探讨. 环境科学报,22(3):354 ~358.

徐曙光. 2009. 国外矿山环境立法综述. 国土资源情报,(8):20 ~24.

于学峰、洪飞、魏健. 2013. 山东省重点矿山尾矿及固体废弃物综合利用研究. 矿山实验工作 66 周年文集. 北京:地质出版社,365 ~374.

张金青. 2007. 我国矿山尾矿二次资源的开发利用. 新材料产业, (5):18 ~24.

张锦瑞,王伟之,李富平,王爱东. 2002. 金属矿山尾矿综合利用与资源化. 北京:冶金工业出版社,1 ~127.

张进德. 2009. 我国矿山地质环境调查研究. 北京:地质出版社, 22 (2):58 ~58.

赵仕玲. 2007. 国外矿山环境保护制度及对中国的借鉴. 中国矿业, 16(10):35 ~38.

朱宝忠,谢承卫. 2007. 煤矸石综合利用的研究进展. 贵州大学学报,24(5):520 ~525.

Bao Xuezhu. 1992#. Treatment and application of mine tailings in foreign countries. Mining Technology, (2):39 ~42.

Chen Tianhu, Feng Junhui, Xu Xiaochun. 2001&. Research progress of acid drainage and heavy metals in tailings from abroad. Technigues and Equipment For Enviro. poll. cont, 2(2):41 ~46.

Chen Xilian. 2005#. "Disposal waste with waste"—— The waste rock and tailings. World Nonferrous Metals, (09)::21 ~22.

Chen Zhiqiang, Su Liang, Yang Baojiang. 2005&. Geological characteristics and mineral resources of artificial ore deposits in talling dams of nonfero-metal mines in nandan area Guangxi. Contributions To Geology and Mineral Resources Research, 20 (B08):139 ~144.

Feng Yuanqi. 1999 #. Chinese potash fertilizer "*Blue Book*". China petroleum and chemical industry, (5):31 ~34.

Jia Yulan. 1983 #. Open up a new source of ultramafic mafic rocks-powder. Xinjiang Agricultural Sciences, (05):45.

Li Li. 2009&. Study and countermeasures of comprehensive utilization of mineral resources. Morden mining, 25(6):5 ~9.

Li Zhangda, Zhou Qiulan. 1992 #. Tailing resource of comprehensive development and utilization. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2(2):80 ~83.

Liu Huizhuo, Tang Yuegang, Zhao Fenghua. 2007&. Mineralogical characteristics of magnetite ore from Jinbeizhuang iron ore-deposit. Nonferrous Metals, 59(1):98 ~02.

Lliu Lian, Hao Qingqing, Hao Ziguo, Zhang Jinqing, Fei Hongcai. 2012&. The state of the comprehensive utilization of skarn-type deposits tailings. China Mining Magazine, 21(11): 52 ~54.

Lliu Lian, Hao Qingqing, Hao Ziguo, Zhang Jinqing, Fei Hongcai. 2013&. Current status of the comprehensive utilization of metallic tailings in China. Geology and Exploration, 49(03): 0437 ~0443.

Mei Guodong. 2010&. Discuss on comprehensive utilization of mining tailings and development of pollution-free mines. Metal Mine,(10): 142 ~145.

Pan Hanjiang, Cheng Zhizhong, Zhou Guohua, Yang Rong, Sun Binbin. 2014#. A demonstration of the results of national mine tailings geochemical survey and evaluation. China scientific and technological achievements, (5):32 ~34.

Sun Yan, Liu Hefeng, Liu Jianming, Meng Fanwei, Zhang Weiqing. 2009&. Current Problems in the disposal of nonferrous metallic tailings. Metal Mine, 5):6 ~10.

Wang Qingren, Liu Xiumei, Cui Yanshan, Dong Yiting. 2002&. Soil contamination and sources of heavy metals at individual sites of industryand mining associate with wastewater irrigation in China. Acta Scientiae Circumstantiae, 22(3):354 ~358.

Xu Shuguang. 2010 #. Summary of foreign legislation on mine environment. Land and resources information, (8):20 ~24.

Yu Xuefeng, Hong Fei, Wei Jian. 2013#. Study on the comprehensive utilization of mine tailings and solid waste in Shandong Province. The 66 anniversary of the experimental work of mine. Beijing:Geological Publishing House, 365 ~374.

Zhang Jinde. 2009 #. Investigation of mine geological environment in China. Beijing: Geological Publishing House, 22(2):58 ~58.

Zhang Jinqing. 2007 #. China mine tailings secondary resources development and utilization. Advanced Materials Industry, (5):18 ~24.

Zhang Jinrui, Wang Weizhi, Li Fuping, Wang Aidong. 2002&. Metal Mine Tailings and Resource Utilization. Beijing: Metallurgical Industry Press,1 ~217.

Zhao Shiling. 2007. The foreign mine environmental protect ion system and the benefits for China. China Mining Magazine, 16(10):35 ~38.

Zhu Baozhong, Xie Chengwei. 2007&. Progress in Comprehensive Utilizations of Coal Gangue. Journal of Guizhou University (NaturalSciences), 24(5):520 ~525.

LIU Zhiqiang, HAO Ziguo, LIU Lian, FEI Hongcai, HUANG Min: Status of the Comprehensive Utilization of Tailings in China and Suggestions

Keywords: tailings; pollution; resource; comprehensive utilization

Doi: 10.16509/j.georeview.2016.05.020