

首钢矿山采选废弃物的利用与治理

首钢矿业公司 蒋文利 李际明

1. 前言

首钢矿业公司始建于1958年,经过30多年的建设和发展,形成了具有采矿、选矿、球团、烧结生产工艺的大型联合冶金矿山企业,是首钢(集团)总公司钢铁生产原料的主要供应基地。年产铁矿石1200万吨、铁精矿530万吨、球团矿60万吨、烧结矿530万吨。由于矿石资源紧张等原因,生产能力尚未达到设计的水平。在整个生产过程中,采矿、选矿是废弃物的主要来源,废弃物主要包括采矿产生的岩石和选矿产生的尾矿。采矿年剥采总量为6800万吨,其中有5600万吨为废弃的岩石在排土场堆存;选矿年处理原矿1200万吨,产生800万吨废弃的尾矿砂在尾矿库堆存。堆存在排土场和尾矿库的岩石和尾矿砂不仅占地面积大,而且在干旱季节易产生二次扬尘对环境有一定的污染。因此,充分利用矿物资源和对废弃物进行治理是减少废弃物排放量,提高经济效益和保护环境的有效手段。近几年,我们首钢矿业公司围绕采、选废弃物的利用与治理做了大量的工作。为做好矿山废弃物的利用与治理工作,与大专院校和研究单位合作,走“产、学、研”相结合的道路。经过对废弃物的性质进行研究分析和组织试验,成功地利用采矿岩石生产道渣、对选矿的尾矿进行再选回收铁金属、对尾矿库进行无覆土植被保护环境,取得了良好的经济效益和社会效益。

2. 废弃物的性质分析

为探讨废弃物利用的可能性和治理方案,我们对选矿排出的尾矿和采矿排出的岩石性质进行了分析。

(1) 尾矿性质分析

1) 尾矿化学成分见表1

2) 尾矿物质组成与物理性质

尾矿中金属矿物主要是磁铁矿、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿。铁矿物多与石英、长石、辉石等矿物呈连生体的形式存在,少量为单体。铁矿物以贫连生体为主;非金属矿物有:石英、长石、辉石、角闪石、石榴子石、云母、碳酸盐矿物。

尾矿比重2.75—2.80,堆比重1.5左右。磁性铁含量在20%左右。

3) 尾矿粒度组成及含铁量见表2

(2) 尾矿砂营养成分见表3

尾矿砂呈外观成灰黑色,透水、透气性能好,渗透速度快,保水、保肥能力差,其营养成分含量低。

(3) 岩石性质分析

岩石主要类型有:混合花岗岩、斜长片麻岩、含铁岩石、混合片麻类、基性岩脉等;主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO ,比重2.75~2.85,硬度10~12。

3 废弃物的利用

(1) 尾矿再选回收铁金属

1) 尾矿再选回收实验室试验见表4

根据尾矿性质分析结果,尾矿中含铁在9.6%左右,且铁矿物主要是磁铁矿、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿,磁性铁含量达20%,而回收赤铁矿、褐铁矿技术难度大且含量低,用磁选法对尾矿中磁性铁进行再选回收较为适宜。另外,尾矿粒度在0.833mm以上的仅有3.4%,尾矿平均粒度仅为0.139mm;尾矿浆经浓缩后的浓度为24%左右,体积量大,尾矿再选前不适宜进行磨矿等处理过程。所以,对尾矿直接进行再选。

为使尾矿再选回收取得良好的效果,确定合适的尾矿再选磁场强度及磁选机,我们在试验室用磁选管进行了在不同磁场强度下的尾矿再选回收试验工作。

从试验结果可以看出,用磁选管对尾矿进行再选,尾矿品位降低2%以上,再选后尾矿中磁性铁含量在8%以下,尾矿磁性铁含量比再选前降低了近1.5倍,说明采用磁选法可以达到降低尾矿品位的目的;另外,再选磁场强度在158KA/m以上效果最好。

2) 尾矿再选回收精矿加工试验

在试验室对尾矿再选得到的精矿品位在20~33%,仅相当于入选原矿品位。若要得到合格精矿,再选精矿必须再加工。为了寻求合理工艺流程,对再选精矿进行了再磨再选试验。

从表5可以看出,尾矿再选精矿经过再磨再选后精矿品位随磨矿粒度的变细,精矿品位逐步提高,在磨矿粒度-0.076mm占82%时精矿品位达到66.88%,才基本达到了合格精矿标准。因此,尾矿再选精矿的可选性与原矿比相对较差,其最终精矿品位势必低于处理原矿得到精矿品位,但尾矿再选回收精矿经加工后所得的精矿与处理原矿得到的精矿混合对精矿品位的影响基本上可忽略不计。所以尾矿再选回收是可行的。

3) 尾矿再选工艺流程

① 尾矿再选磁选机的选择

根据尾矿性质和再选试验结果及选厂生产能力,为选择适宜的尾矿再选设备,通过对近年来全国各厂家生产的磁选机应用情况的考察,选用由北京矿冶研究总院研制的磁场强度在220KA/m的BKW-1030尾矿再选磁选机。

② 尾矿再选工艺流程

根据矿石资源紧张,供矿不足,选矿生产能力过剩及选厂磨选系统与尾矿处理系统配置情况,各选厂建设了尾矿再选回收设施集中对尾矿进行再选,再选精矿利用主厂加工原矿流程进行磨选,加工成合格精矿。

尾矿再选回收及回收精矿再加工工艺流程是尾矿再选采用一段磁选,再选精矿加工流程采用现有处理原矿工艺流程的一次磨矿后的部分磨选流程,主要包括一段磨矿、三段磁选、一段磁聚重选、两段细筛作业。

4) 尾矿再选技术的推广与生产考察

尾矿再选回收技术方案确定后,为保证回收技术得到全面落实,我们本着投资少、见效快的原则,分期组织了推广工作。推广工作96年3月份开始,于96年12月份完成全部推广工作,并达到了尾矿全部再选回收,大石河铁矿投资200万元、水厂选矿厂投资525万元。

尾矿再选回收设施建成投产后,工艺设备运行良好,能满足正常生产的需要。为判定工业生产回收效果,我们组织了考察,主要对回收前后尾矿品位及磁性铁含量和回收精矿品位进行了考察。

从表6的考察结果可以看出,对尾矿进行再选回收后,选厂尾矿品位可降低1.6%左右,尾矿中磁性铁分布率降低了18.73%,使尾矿中磁性铁分布率降低到了11%以下,使尾矿中的磁性

铁得到了有效的回收。这说明应用磁选法对尾矿进行再选回收是可行的，再选回收设施在生产中推广应用是可靠的，达到了预期的目的。

(2) 岩石生产道砟

1) 道砟生产原料的选择

为了充分利用岩石，我们对道砟原料进行了地质勘察，探明了道砟原料的分布情况和可作道砟原料的岩石类型与性质及储量。经初步估算，水厂采场约有5.2亿立方米14亿吨的道砟原料远景储量。根据岩石性质和市场调查结果，利用岩石中的角闪斜长片麻岩、含铁岩石可生产道砟。

2) 道砟生产设施的建设

从道砟探明储量看，建设道砟生产车间是可行的。由于生产道砟的原料是从采场日常剥岩中挑选出的，用汽车运输，为便于原料供应及加工过程中废石的排出，并考虑总图安排，将道砟生产车间建在了采场。根据道砟产品标准和原料性质确定道砟生产工艺为：将粒度 $<850\text{mm}$ 的岩石经过二段破碎、一段双层筛分和一段三层筛得到三种不同粒级的道砟，年可生产道砟20万立方米。

3) 道砟的生产情况

1990年投资250万元，在水厂采场完成了道砟生产车间设计和建设工作，并于当年投产。生产的道砟经铁道部工务局鉴定符合TG2140-9国家标准中的一级道砟标准，并获得了《铁道采石场开采资格证书》。自91年投产至98年6月生产道砟60万吨，获得销售收入573.49万元。

4 尾矿沙坝的治理

目前，首钢矿业公司现有三座尾矿库，即正在使用的大石河孟家冲尾矿库、水厂尹庄尾矿库和已暂停用的水厂新水尾矿库。随着逐年生产，每年将有800万吨尾矿砂排入尾矿库，使尾矿砂坝面积逐年增大，由于尾矿砂裸露，在干旱季节随风非扬造成二次扬尘，对周围环境造成一定影响。

多年来，为治理尾矿砂对环境的影响，我们结合各尾矿库实际进行尾矿库治理工作，对尾矿坝进行环境治理。大石河铁矿每年投资20万元左右，在尾矿坝面进行覆土植被，将可利用的山皮土在尾矿坝上覆盖，种植紫穗槐、桑树、刺槐等灌木，已植被500余亩；水厂选矿厂根据尾矿坝距离远，附近没有可利用的土资源的问题，组织在尾矿坝面上无覆土直接栽植沙棘、紫穗槐、桑树等灌木获得成功，使尾矿库生态环境得到改善。

(1) 林种、树种及治理方案的选择

根据对环境治理的要求，林种确定为尾矿坝坝体防风固沙水土保持防护林。

为了选择适合尾矿库绿化的树种，组织有关人员到国内沙棘等科研单位进行咨询和考察，并请专家来矿山进行现场指导。通过对尾矿库的土壤条件、气候条件和砂土营养成分的全面分析，尾矿坝适宜种植沙棘。沙棘具有喜光、抗寒、耐风沙、耐水湿和盐碱，也耐干旱瘠薄，它的根系发达、根蘖力强、有根瘤菌、枯枝落叶量大和生长快的特点，是干旱风沙地区造林与保土固沙的先锋树种。因此，在尾矿库直接栽植沙棘是完全可行的，并根据以前我们在尾矿坝植树的实际经验，确定了不覆土直接栽植的治理方案。即选择沙棘作为造林树种，同时选择本地水土保持造林先锋树种紫穗槐和桑树与之混交。

(2) 治理方案的实施

1) 造林密度

为尽快发挥植被效果,达到防止二次扬尘治理环境的目的,采取初植高密度的造林方式,使其早日郁闭。尾矿坝平台上的初植密度确定为每亩666株,尾矿坝斜坡的初植密度确定为每亩333株。

2) 整地

针对尾矿坝高差较大,坡度较陡,为提高保水蓄墒的能力,便于管理,先沿尾矿坝坝体等高线用推土机推成宽10-15米的平台,然后再进行整地。尾矿坝平台及尾矿库库内平台采用穴状整地,按照 1×1 株行距挖植树坑,植树坑规格为 30×30 cm;平台与平台之间的斜坡采用鱼鳞坑整地,鱼鳞坑规格长径 >50 cm,短径 >30 cm,品字形排列,行距2m,株距1m。

3) 种植

采用沙棘、紫穗槐、桑树条状混交造林,即一行沙棘,一行紫穗槐、一行桑树。为提高造林的成活率,采用植苗加直播的办法,即植苗穴内植一年生小苗两株,同时在植树穴旁的30-50cm处直播相同树种的种子10-15粒,并复土2-3cm。栽植当天浇足水,然后每隔一周浇水一次,共浇水三次,常规管理。

(3) 树木生长情况

97年栽植的苗木,一周后部分苗木开始发芽,大约二周后,有50%的苗木发芽,其余树枝枯死。枯死苗木以桑树最多,其次是紫穗槐,而沙棘有85%的发芽。经对枯死苗木挖出观察分析,发现大部分苗木虽然地上部分枯死,但根系生长正常。紫穗槐和桑树这种现象比较普遍。六月初随气温升高,降雨增多,大部分枯死的苗木开始发芽,只有少量的苗木枯死。从苗木成活情况看,凡栽植深度在20cm以下的,成活率很高,栽植深度在20cm以上的,大部分都死亡。

在植树穴直播的种子,在雨季大部分发芽长出小苗。但因外界条件恶劣,生长不良,越冬前木质化程度不高,越冬困难。

苗木成活后,生长基本正常,特别是沙棘生长良好,而桑树、紫穗槐因气温高、土地干旱、空气湿度小苗木出现灼伤现象,部分叶片枯死。但随雨季的到来,苗木又长出新芽。从三个不同品种苗木的生长情况看,沙棘最好,紫穗槐次之,桑树生长较差,其表现为叶片发黄,长势缓慢。分析原因,是由于尾矿沙的肥力极低,特别是氮的含量为零,且土壤干旱。而沙棘和紫穗槐都是耐干旱、瘠薄的树种,并且有根瘤菌,有较强的固氮能力,特别是沙棘的这一特性更为明显,生长良好。而桑树虽也耐干旱、瘠薄,但没有固氮能力,生长较差。另外,沙棘除有较强的生命力外,其强大的根系具有较强的根蘖,经98年4月观察,平均每株产生分蘖苗5株,最多达到10多株。经过两年的实践,尾矿坝无覆土造林治理获得成功,治理面积达1000余亩。

5 废弃物的利用与治理效益

(1) 尾矿再选回收效益

尾矿再选回收技术措施在生产中全面推广后,选厂尾矿品位明显下降、金属回收率有明显的提高,达到提高经济效益和充分利用有限的矿石资源的目的。97年首钢矿业公司尾矿品位完成7.07%,比未采取尾矿再选回收的95年的9.39%降低了2.02%;金属回收率完成81.32%,比未采取尾矿再选回收的95年的75.41%提高了5.91%。按选厂年处理原矿量1250万吨、产生尾矿量850万吨、尾矿品位降低1.5%计算,年可回收金属量12.75万吨,折合品位67.5%的铁精矿18.89万吨。尾矿再选回收精矿再加工成本按140元/吨、品位67.5%的铁精矿市场价275元/吨计,年创效益2550万元。同时每年减少尾矿排放近19万吨,节约了尾矿库库容,并减少尾矿输送系统的费用支出。

(2) 利用岩石生产道碴效益

由于生产的道碴所用岩石来自采场排出的废石，无原料生产和运输成本，只有道碴加工成本，使道碴生产成本大大降低。同时节省排土场容积，延长排土场使用年限。道生产本12.5元/t，销售价格17.5元/t，年创效益600余万元。

(3) 尾矿砂坝治理效益

尾矿库种植树木后，全部覆盖了尾矿沙，沙海变绿洲，基本抑制了二次扬尘，减少了因风沙造成的水土流失，改善了生态环境。

在尾矿库上直接种植树木，减少了覆土的大量费用，同时也避免了因取土而造成新的生态破坏。可节约覆土资金一千多万元。

6 结语

黑色冶金矿山废弃物主要是尾矿和岩石，它们的利用和治理是矿山企业今后发展的重要任务。我们首钢矿业公司通过对尾矿进行再选回收铁金属、利用岩石生产道碴和对尾矿坝植被进行治理环境为矿山废弃物的利用和治理提供了经验。

尾矿沙和岩石的利用还有待于进一步深入研究，如尾矿沙作为建筑用沙、生产石英沙等，岩石生产建筑用骨料、建筑石料及高速公路用料等。若矿山实现无废弃物排放可减少大量的建设尾矿库、排土场用地，并可从根本上解决废弃物排放对环境的影响，节约治理环境投资。矿山废弃物利用与治理前景十分广阔，充分利用矿山废弃物，实现无公害是矿山发展的方向，这样不仅能充分利用矿山资源做到无环境污染和危害，而且能增加就业提高企业的经济效益。首钢矿山对尾矿进行再选回收金属和利用岩石生产道碴技术上可行、经济上合理、生产上可靠，具有广泛的推广价值。

在黑色冶金矿山尾矿库上采用直接种植树木治理环境，要选择抗旱、耐瘠薄的树种，特别是具有较强固氮能力的品种，沙棘用于尾矿库植被治理环境的首选树木。由于尾矿沙表面水份蒸发量大，土壤表面水份含量低，在苗木栽植时，应尽量深栽，栽植深度以苗木根系接触湿润土壤为宜。由于尾矿库风沙危害严重，为有效控制二次扬尘，应选择根系发达，根蘖力较强的树种，以便尽快的达到全部覆盖尾矿库的目的。造林应选择一年生小苗进行植苗造林，不宜直播造林。首钢矿山在尾矿库上无土种植沙棘、桑树、紫穗槐等树木取得成功，达到了绿化环境、治理污染的目的，为国内同类型矿山治理尾矿库探索了一条新的途径。

表1 尾矿化学成分

成分	SiO ₂	TFe	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	P ₂ O ₅	TiO ₂
含量 %	72.63	9.60	3.90	0.56	0.97	3.82	2.82	0.092	0.12

表2 尾矿粒度组成及含铁量

粒级mm	+0.833	+0.246	+0.175	+0.147	+0.097	+0.076	-0.076	合计
含量 %	3.40	20.80	6.10	10.70	10.40	12.80	35.80	100
品位 %	7.26	8.66	9.77	9.35	10.33	11.48	11.73	10.39

表3 尾矿砂营养成分含量

项目	全氮 %	全磷 %	全钾 %	碱解氮 mg/kg	有效磷 mg/kg	有效钾 mg/kg	PH
尾矿砂	0	0.0629	0.356	0	0.9	20.1	8.90

表4 尾矿再选试验结果

批号	磁场强度 KA/m	尾矿品位 %	再选精品 %	再选尾品 %	尾品降低 幅度 %	再选尾矿磁性 铁分布率 %
1	79	10.89	33.51	8.52	2.37	7.09
2	158	10.89	23.32	8.38	2.51	1.58
3	360	10.89	20.25	8.10	2.79	0.71

表5 尾矿再磨再选结果

指标	α (%)	β (%)	γ (%)	δ (%)	磨矿粒度-0.076mm含量
1	31.28	66.04	8.94	82.60	72
2	31.28	66.88	9.77	80.53	82

表6 尾矿再选生产考察结果 %

项目	回收前尾	回收精	回收后尾	尾品降	回收精	尾矿磁性铁分布率		
	矿品位	矿品位	矿品位	低幅度	矿产率	回收前	回收后	后比前
结果	9.16	31.42	7.49	1.67	8.12	29.04	10.31	18.73