

**编者按** 随着我国改革开放事业的深入发展,全国各地国营、集体、个人开办的矿山企业日趋增多,促进了经济的振兴,群众经济收入增加,生活水平明显提高。然而,由于人为不合理的社会经济活动,在矿产资源开采中,没有把矿产资源开采与保持水土很好的结合在一起,造成了新的水土流失和生态环境恶化。本期选登的“中条山铜矿尾矿库侵蚀现状及防治措施”和“神府东胜煤田开发区土壤侵蚀及其防治对策”两篇文章,论述和分析了这方面的问题。我们认为,文章中论述和分析的问题,是全国各地矿产资源开采中普遍存在的问题,应该引起有关部门和全社会的高度重视。

## 中条山铜矿尾矿库侵蚀现状及防治措施

卫元太 宇文亮 杨才敏

(山西省水土保持科学研究所·离石县·033000)

陈 荣 华

(中条山有色金属公司安全环保处·山西垣曲县·043700)

### 提 要

铜矿尾矿库坝高库大,尾沙粒胶结性很差,十分松散,抗蚀能力极弱,在风力和径流作用下,风蚀、水蚀交替发生,坝坡侵蚀模数平均高达8万余 $t/(km^2 \cdot a)$ ,库内风蚀模数3~4万 $t/(km^2 \cdot a)$ 。若防护不当,极易发生面蚀、沟蚀,直至垮坝成灾。保持尾矿坝体稳定和各子坝坡、坝顶的完整,是尾矿库尾沙安全存放的关键,从建库初期必须重视坝体结构、子坝护坡护顶及尾矿库保护等各项防蚀措施的建设。覆土利用是根治库区尾矿侵蚀,变害为利的有效措施,在同类或类似矿区应大力推广应用。

关键词: 中条山 铜矿尾矿库 尾矿侵蚀 侵蚀模数

## Copper Mine and Tailings Storehouse Erosion Features and Its Control Measures in Zhongtiaoshan Mountain

Wei Yuantai Yu Wenliang Yang Caimin

(Shanxi Institute of Soil and Water Conservation, Lishi, Shanxi 033000)

Chen Ronghua

(Environmental Safeguard Office of Nonferrous Metal Company of Zhongtiaoshan)

### Abstract

Wind erosion and runoff erosion alternatively take place under the action of wind force and runoff force in copper mine and tailings storehouse with high dam and big storehouse, and with very loose texture and very low resistance to erosion because lack of cement property for tailings sand parts. Soil erosion modulus reaches 80 000 $t/km^2 \cdot a$  in the slope of dam meanly, wind erosion modulus reaches 30 000~40 000 $t/km^2 \cdot a$  in the inside of storehouse. Surface erosion and gully erosion take place easily if the protective works were not carried out well, which will re-

sult in harmfulness. To conserve the stability tailings dam and the integrity of slope and top of dam for every sub-dam is the key for secure storage of tailings storehouse. Attention should be paid to every measure for erosion resistance, such as dam structure, protection of dam slope and dam top of suberdam, and protection of tailings storehouse from the start of storehouse construction. Utilization of covering soil on dam is a beneficial measure to control erosion thoroughly around storehouse, and to turn harmfulness into benefity. The measures should be popularized and applied in the same mine regions on a big scale.

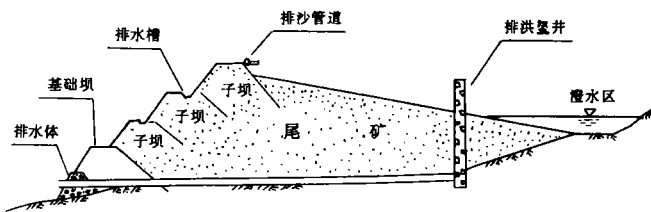
**Key words** Zhongtiaoshan copper mine and tailings storehouse tailings erosion erosion modulus

随着我国有色金属工业的发展,选矿厂排出的尾矿日益增多。铜矿尾矿是铜矿石经多级球磨机研磨并通过浮选法提取精铜粉后剩余的固相物质。在我国 14 个特大型铜矿中,山西省垣曲县境内的中条山有色金属公司就占据 3 个。该公司所辖的铜矿峪、篦子沟和胡家峪三矿,每年排放尾矿沙 230~300 万 t,从 1958 年建矿到今,一直采用建库堆放的办法处理尾矿。在生产过程中,特别是闭库后,如若防护不当,极易造成尾矿侵蚀,给矿区及周围环境带来危害。因此,尾矿的安全存放与防治利用已成为矿业的一件大事,愈来愈引起人们的普遍关注。

与国外相比,我国矿区在尾矿储存方式,侵蚀规律及防治与利用方面的研究工作起步较晚,见诸报道的研究成果甚少。为给该类矿区的治理与利用提供科学依据,在黄委会农水局水保处的支持下,山西省水保所 1989~1992 年对中条山铜矿莫家洼、毛家湾、十八河尾矿库的侵蚀特征与防治利用进行了定位观测与调查研究。现根据 3 年观测与调查资料,对尾矿库的侵蚀特征与防治措施作一初步探讨。

## 一、研究地区概况及尾矿排放过程

中条山有色金属分司所辖三矿,位于垣曲县境内的中条山南麓深谷地带。已闭库并复垦利用的莫家洼、韩家沟尾矿库和正在启用的十八河、毛家湾尾矿库分别座落在黄河水系毫清河和坡涧河流域的支沟内。地层主要由第四纪亚粘土、卵石和下震旦纪安山岩构成。多年平均降雨量 635.1mm,年均气温 13.3℃。年际多西北风,平均风速 2.7m/s,每年 $\geq 8$ 级大风日数 5~10 天,多出现在冬春两季。



附图 铜矿尾矿库示意图

铜矿尾矿是铜矿石经多级球磨机研磨并通过浮选法提取精铜粉后剩余的固相物质。参照土的工程分类方法,其粘粒(0.005mm 以下)含量为 2.1%~9.4%,粉粒(0.005~0.05mm) 4.6%~30.3%,沙粒(0.05~2.0mm,该尾矿 0.5mm 以上颗粒极少)93.3%~60.3%。其排放过程为:尾矿与水混合经加压管道输送至尾矿

库内,先从筑好的基础坝(多为土质坝)前沉积,在水流作用下逐渐向上游推进,分层沉积。输沙水在库尾部澄清后抽回,循环利用。由于水流的输送和沉积作用,粗粒尾矿先沉积,细粒尾矿后沉积,因此,尾矿库内尾沙颗粒自坝前至库尾平面呈现由粗到细,垂直带呈现粗细相间的分布特点。待库内尾沙淤积高度接近或达到基础坝顶时,再在坝顶加修子坝,并将排沙管道上移,这样逐级加坝,不断增加库容,继续排沙(附图)。当尾矿在库内沉积达设计高度时,停止排沙,实施闭库。

## 二、观测项目与方法

本研究围绕尾矿库侵蚀与防治利用总目标,以取得侵蚀总量为主,定量地反映不同防治措施的防治效果,给同类尾矿的治理与利用提供经验与依据为目的,而对侵蚀过程及规律未做详细探讨。

根据研究目标,主要对尾矿坝体和库内尾矿侵蚀进行了观测。坝体侵蚀主要发生在外坡,水蚀与风蚀并存,冬春以风蚀为主,夏秋以水蚀为主,库内尾矿主要为风蚀,发生在冬春两季。坝坡侵蚀观测在莫家洼尾矿坝进行。该坝高 61.4m,坝顶长 380m,宽 3m,设计外坡 1:2.5,内坡 1:2.0,各子坝间距 10m,高 5.0m,底宽 26m,顶宽 6m。1960 年投产运用到 1975 年闭库,共堆放尾矿 800 多万 t。闭库后在库内尾矿表层覆土 20~60cm,种植利用,面积 320 亩。自坝顶至基础坝外坡 70m 段人工覆盖粘土 20~30cm,坡度 10°,生长有荆条、白羊草和蒿类等灌、草植物。以下为尾矿裸露段,坡度 16°。由于管护不善,坝坡侵蚀严重,形成大小冲沟 30 余条。在此坡面上选取 88m 长(覆土 70m 段)的中度发育侵蚀沟一条,集流面积 360.7m<sup>2</sup>,根据断面变化情况,用木桩布设观测断面 26 处,进行汛期沟蚀监测,在覆土坡面和尾矿裸露坡面布设钢钎桩群 8 处,每处钎桩 4~9 枝,分别观测面蚀和风蚀状况,库内尾矿风蚀分别在毛家湾和十八河尾矿库进行,采用钎桩法,每年冬前布设钎桩,春后量测剥蚀与覆沙厚度,推求侵蚀量。

## 三、尾矿库侵蚀现状及基本特征

经对莫家洼、十八河尾矿坝外坡和库内多点取样测定,尾沙粒径在 0.053~0.5mm 之间的达 60% 以上。这部分沙粒缺乏相互吸附能力,粒间不粘结而呈松散状,颗粒聚集时遇水不膨胀,干燥时亦不收缩,粒间大孔隙多,通透性强,在风力、水流等外营力作用下极易产生面蚀与沟蚀。而粒径小于 0.005mm 的尾沙虽属粘粒范围,亦有较大的比表面积,但由于其基本构造与沙粒相似,也不具一般土壤颗粒的胶结性、吸水膨胀性及吸持水分的能力,且所占比例很小,即使在干燥状态下结成的块体也极易在很小的水力、风力及人、畜践踏等外力作用下破碎成单粒。因此,尾沙的抗蚀能力远远低于库区周围的亚粘土。

### (一)尾矿坝外坡侵蚀现状

尾矿库在生产运用期间,企业对大坝的管护比较重视,各子坝外坡角均设有石砌排水道,坡面及坝顶铺洒粘土,以减轻坝坡侵蚀。问题主要出现在闭库覆土交给农民种植后,缺乏有效的管护措施,农民只种地而不护坝,甚至拆毁排水道,将道路洪水排向坝坡,从而加剧了坡面侵蚀。莫家洼尾矿坝各子坝顶部外缘大部分尾沙已不复存在,外坡满布冲沟。韩家沟坝中部一条大冲沟已冲至原沟槽底部,大坝基本解体,濒临塌垮,直接危胁到坝体稳定和安全复垦。

表 1 莫家洼尾矿坝外坡面蚀观测结果

年 度 (年)	覆土区面蚀				尾矿裸露区面蚀			
	观测 桩数 (枝)	控制 面积 (m <sup>2</sup> )	平均侵 蚀深度 (cm)	侵 蚀 模 数 (t/km <sup>2</sup> )	观测 桩数 (枝)	控制 面积 (m <sup>2</sup> )	平均侵 蚀深度 (cm)	侵 蚀 模 数 (t/km <sup>2</sup> )
1989	20	4578	0.17	2465	18	1962	3.9	54600
1990	20	4578	0.24	3480	21	1962	3.2	44800
1991	20	4578	0.42	6090	30	1962	4.6	64600
均值	20	4578	0.23	4060	23	1962	3.9	54600

注:覆盖亚粘土自然容重 1.45t/m<sup>3</sup>,尾矿沙自然容重 1.4t/m<sup>3</sup>。

1. 面蚀。从 3 年观测资料(表 1)看,覆土段由于有粘土覆盖和零星植被护坡,不仅防治了风蚀,而且水蚀也很轻微,平均每年侵蚀深度接近 0.3cm。尾沙裸露段因入渗能力强,一般降雨情况下极少发生水蚀,但冬春风力侵蚀严重,年均侵蚀深度为 3.9cm。由此推算,仅坝坡尾沙裸露段闭库至今

尾沙面蚀总量近 5 000m<sup>3</sup>。

2. 沟蚀。由于尾沙结构松散,颗粒间孔隙度大,降雨入渗较快,在含水量超饱和状态下其流失形式多为表层沙体滑移。根据莫家洼尾矿坝外坡沟蚀定位观测结果(见表 2),年平均尾沙移动量为 7.193m<sup>3</sup>,其中沟道出口量为 6.579m<sup>3</sup>。另外,据对该坝外坡 18 条较大侵蚀沟逐一量测,其侵蚀总量为 6 053.5m<sup>3</sup>,按 15 年计算,平均每年沟蚀量为 403.6m<sup>3</sup>。

综上所述,水蚀、风蚀在尾矿坝坡交替发生,汛期以水蚀为主,冬春以风蚀为主,年均从坝坡流失尾沙 850.8m<sup>3</sup>,侵蚀模数高达 80 135.3t/km<sup>2</sup>,其量很大。

3. 尾沙的降雨入渗特征。在 3 年的坝坡尾沙降雨侵蚀观测中,发现未覆土坡面尾沙在

一般降雨条件下极少产生冲蚀现象。为了解开此谜,我们利用加拿大 DOWNS<sub>1</sub>/4"SCH<sub>80</sub>PVC 微型降雨器,对莫家洼尾矿坝 19~20°外坡不同覆盖类型坡面进行了降雨入渗试验,结果见表 3。

表 2 莫家洼尾矿坝外坡汛期沟道侵蚀量观测结果

年度 (年)	尾沙侵蚀量 (m <sup>3</sup> )			侵蚀模数 (t/km <sup>2</sup> )	汛期降雨量 (mm)
	区间移动量	区间堆积量	净流失量		
1989	2.544	0.971	1.573	6 105.4	278.54
1990	6.942	0.871	6.071	23 563.6	506.2
1991	12.094	0	12.094	46 940.9	483.5
均值	7.193	0.614	6.579	25 535.3	422.75

表 3 莫家洼尾矿坝外坡降雨入渗试验结果

坡面类型	覆盖状况	降雨强度 (mm/min)	降雨历时 (min)	产流时间 (min·s)	平均入渗率 (mm/min)	60min 时渗峰深 (cm)		径流量 (L)	泥沙流失量 (g/0.25m <sup>2</sup> )
						平均	最深		
尾沙	无覆盖	1.4	60	—	1.4	29.6	36.0	—	—
尾沙+植被	植被覆盖度 60%	1.4	60	—	1.4	35.7	41.0	—	—
覆土	亚粘土 17cm	1.4	60	1'15"	0.44	21.3	25.0	14.1	13.6
覆土+植被	覆土 23cm, 植被度 65%	1.6	60	2'34"	0.82	17.2	24.0	11.9	6.54

从试验结果来看,尾矿沙的入渗能力极强,加之植物根系的疏导作用,在 1h 降雨量 80 多 mm,短历时、高强度暴雨情况下能全部入渗。只有当降雨量大于入渗率时,才产生沙体滑移现象。

(二)库内风力侵蚀状况 由于尾矿通过管道由坝前排泄,并逐渐向沙库上游推进,因此,库内尾沙淤积状况与水库和淤地坝恰

表 4 尾矿沙颗粒组成及起动风速、扬沙风速测定

粒级 (mm)	干滩尾沙颗粒组成 (%)				沙粒起动风速 (m/s)	扬沙风速 (m/s)
	近坝处	中 I	中 II	库尾		
<0.053	4.84	23.31	24.84	67.74	2.2	2.7
0.053~0.1	16.62	20.80	23.00	18.07	2.4	3.4
0.1~0.25	57.93	48.85	50.21	13.37	3.0	3.8
0.025~0.5	19.58	7.01	1.95	0.82	3.9	4.3
>0.5	1.03	0.03	0	0	量极少,未测试	

恰相反,即近坝处淤积面最高,沙粒最粗,越向库尾淤面越低,沙粒越细,淤面自然坡度为 2~3°。由坝前至库尾蓄水除少数排沙带(轮回排沙)沙面湿润外,绝大部分沙面处于干燥松散状态,极易引起风蚀,这部分干燥沙面称为干滩。随着子坝的不断加筑,干滩面积逐年扩大。如正运用的毛家湾和十八河尾矿库,干滩面积已分别达到 1 500 亩和 2 000 亩以上。只要刮风,便会沙尘飞扬,特别是冬春季节,大风一起,遮天蔽日,落沙范围可达千米之外。为了研究干滩尾沙风蚀状况,我们进行了

尾沙起动风速和扬沙风速测试。从十八河尾矿坝前至库尾分四处取表层 10cm 厚度尾沙,首先划分粒级,然后在室内整理成接近自然状态的沙面进行试验,结果见表 4。

由于尾矿沙持水能力极低,4月初干滩尾沙表层 10cm 厚度内的含水量仅为 0.82%~1.03%,整个冬春季节表层尾沙干燥,而此时正处中条山地区多风季节,极易造成风蚀。经实测,1989年11月到1992年4月间30个月,月平均风速 2.99m/s,每年11月至翌年4月,月平均风速 3.2m/s,月最大风速为 11.3~19.7m/s,持续 2~3天,平均最大风速 14.1m/s,而起沙风速和扬沙风速仅为 2.2~3.9m/s和 2.7~4.3m/s。因此,冬春季节干燥松散的沙粒和多风的气候条件,为风蚀的形成提供了物质基础和充足的外营力,尾沙的风力侵蚀十分严重。在风力侵蚀中,剥蚀和覆沙同时发生,均系风力对尾矿沙的吹剥、搬运和堆积结果。前者吹剥地面,使尾沙飞扬,后者使局部地面堆积、压没农田,造成耕地沙化。虽属两种形式的自然灾害,但其共同处是破坏原地面结构,污染环境。因此,从沙害的角度出发,本文以吹蚀深度和覆沙厚度之和推求尾沙的风蚀量,结果见表 5。

表5 毛家湾尾矿库冬春尾沙风蚀量观测

观测地点	观测时间 (年月)	观测面积		剥蚀			覆沙			不剥不 覆桩 (枝)	风蚀模数		
		(m <sup>2</sup> )	钎桩 (枝)	钎桩 (枝)	剥蚀钎 (枝)	累计剥蚀 深(cm)	平均剥蚀 深(cm)	覆沙钎 (枝)	累计覆沙 厚(cm)		平均覆沙 厚(cm)	(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	(t/km <sup>2</sup> )
库内干滩	199011~ 199105	1637.4	162	149	82	122.5	1.494	60	71.6	1.193	7	26870	37681
	199111~ 199205	400.0	100	100	37	37.2	1.01	55	60.1	1.09	8	21000	29400
坝顶 (野蒿覆盖 度 30%~ 35%)	199011~ 199105	314.2	21	21	0	0	0	21	38.8	1.85	0	18500	25900
	199111~ 199205	80.0	40	8	0	0	0	7	12.4	1.77	1	17700	24780

观测资料表明:库内干滩仅冬、春两季的风蚀模数高达 29 400~37 681t/km<sup>2</sup>,同时说明在少量植被的保持下,不仅不产生剥蚀现象,而且拦尾沙 24 780~25 900t/km<sup>2</sup>,另据莫家洼尾矿库内未覆土区播种的紫花苜蓿、冰草、沙打旺试验,在当年牧草长势较弱、株高仅 25~34cm、覆盖度 30%~38%情况下,沙面平均侵蚀深度 0.3~0.7cm,为无植被处的 1/3~1/2,显示了植被对防蚀固沙的巨大作用。

#### 四、防治途径及利用措施

根据铜矿尾矿的排放过程和坝体的侵蚀特点,结合初步研究成果,提出防治途径及利用措施。

##### (一)改进坝体结构

1. 基础坝是多级子坝的基础,相当于尾矿坝与原地面间的齿墙,除运用初期起拦沙挡水作用外,主要承受库内尾沙侧向压力与渗透水压力,顶部压力较小,因而基础坝必须稳固透水。为此,基础坝最好为浆砌石重力坝,如用粘土筑坝,外坡角必须加设排水滤体,外坡砌石护坡。坝高视地形而定,不宜过高,一般以 5~15m 为宜,比降较大的沟道可适当高些。外坡坡比 1:1.5~1:2.5,内坡坡比 1:3.0~1:4.0,并应预留排水孔。运用初期可在排水孔栅前堆放块石,以提高输沙水的循环利用率。

2. 原设计各级子坝高 5m,外坡坡比 1:2.5,从利于子坝稳定考虑,坝高宜 2~3m,坝底宽 15~

20m,坝顶宽 4~5m,子坝间距不小于 10m,最终外坡坡比在 1:2.0~1:2.5 之间,使其大于尾沙的自然安息角。并在各级子坝外坡角预修石砌排水道,靠坡角一侧应预留排水滤孔。

### (二)子坝护坡及护顶措施

1. 护坡。根据尾沙入渗性能极强的特点,各子坝外坡最好选用耐旱耐瘠的荆条、杠柳、臭蒿等草、灌植物护坡,但应严禁放牧和人为破坏,如条件许可时也可用块石、片石或覆土护坡。

2. 护顶。子坝坝顶应及时覆土 40~60cm,并在外缘加修粘土圈埂和栽植 2~3 行刺槐、旱柳、柠条、荆条等小乔木或灌木。随着另一级子坝的加修,应将两子坝间沙面覆土造田,覆土厚度以 40~60cm 为宜,并保持原排沙淤面的自然坡度,严防径流从子坝外坡流出。如此类推,最终使尾矿坝外坡形成层层梯田,既防止了坡面侵蚀,又可复垦利用。

### (三)尾矿库保护与利用

1. 尾矿库在排沙运用期间,应尽量缩短各排沙管道的循环排放周期,以扩大库内干滩的湿润面积,减少风蚀量。条件允许时也可在排沙池内添加粘土,增强尾沙的粘结力,提高抗蚀性能。

2. 闭库后及时覆土造田。根据试验和调查,覆土厚度达 40~60cm 即可基本满足当地小麦、玉米等主要农作物生长需要,如能覆土 80cm 左右效果更好。莫家洼和韩家沟尾矿库 1975 年闭库后覆土 20~60cm,平均覆土厚 40.8cm,增加种植面积 520 亩,不仅有效地防止了库内尾沙侵蚀,而且每年增加经济收益 10~15 万元。

3. 闭库后库内仍要承接上游径流和库区洪水,为保障尾矿坝体安全和复垦土地的正常利用,必须保护好原库内的排洪竖井和完善库区排水系统。如上游集水面积较大时,可在库尾或上游加修小水库或淤地坝。

4. 为防止风蚀和改善库区小气候环境,结合库区内的道路和排灌渠系建设,应布设乔灌结合与主风向相垂直的防护林带。

## 五、结 语

1. 铜矿尾矿粒径多在 0.053~0.5mm 之间,粒间松散,抗蚀能力极弱。在地面径流和风力作用下,水蚀、风蚀均很严重,冬春以风蚀为主,夏秋以水蚀为主,二者交替发生,侵蚀模数高达 8 万多  $t/(km^2 \cdot a)$ ,既污染周围环境,又严重威胁坝体稳定和尾矿库的安全。

2. 尾矿库坝体高达 50m 以上,库内大量尾沙存放的安全,关键在于尾矿坝的稳定和完整。因此,从建库初期开始,就应采取工程措施和植物措施,保证基础坝的整体稳定和各子坝坝坡、坝顶及排水设施的完整。特别是闭库后要加强管护,严禁破坏坝坡排洪设施和坝坡放牧。加强坝体稳定以工程措施为主,坝坡及坝顶防护以植物措施为主,工程措施为辅。本文提出的有关防治和利用措施,多已在实践中应用,有的还未验证,可供生产部门参考。

3. 与坝坡相比,库内尾沙量大面广,是产生风蚀、污染环境的主要场所。而覆土种植是根治库内风蚀,发展农业生产,变害为利的有效措施,在同类矿区应推广应用。

4. 由于人力、资金等原因,本研究还很粗浅,特别是对尾沙的侵蚀规律未能详细探讨。今后应进一步开展尾沙的侵蚀规律、侵蚀监测、复垦技术、防治措施和综合利用等方面的研究,为该类和类似矿区大量尾沙的侵蚀防治和综合利用提供经验与依据。

本研究得到中条山有色金属公司环保处、篦子沟矿环保科和胡家峪矿环保科大力协助,特表谢意。