

# 金属矿山尾矿问题及其综合利用与治理

蔡嗣经, 杨 鹏

(北京科技大学资源工程学院, 北京 100083)

**[摘要]** 我国金属矿山在地面积存的尾矿已达40多亿t,并以每年约2.1亿t的速度在增长。金属矿山尾矿的主要特点为颗粒极细、数量极大、毒性很强、浓度很低。尾矿库占用大量土地,尾矿库工程事故,尾矿对地面环境和地下水源的污染等,迫切需要采用新技术开展对尾矿综合利用和治理的研究与开发,包括回收利用尾矿中的金属和非金属元素,利用尾矿制作建筑材料或磁性肥料;采用各种措施全面治理尾矿,如设立地下尾矿库,利用地面尾矿库作排土场,尾矿膏体地面无坝堆放与同步复垦等,其最终目标是建立“无尾矿山”。

**[关键词]** 金属矿山;尾矿;环境污染;地下尾矿库;尾矿膏体;无尾矿山

## 1 金属矿山尾矿问题及其危害

金属矿山选矿厂排弃的尾矿是矿山主要固体废弃物之一,其所引起的问题和危害日趋严重。据1998年不完全统计,我国金属矿山在地面积存的尾矿已达40多亿t,并以每年约 $2 \times 10^8$ t的速度在增长。金属矿山尾矿的特点主要为:颗粒极细,如西石门铁矿的尾矿,-74 $\mu\text{m}$ 占70%;-38 $\mu\text{m}$ 占50%,其他如黄金矿山和贵金属矿山等,尾矿颗粒更细;数量极大,按重量计,我国铁矿石开采品位平均为32%,经选矿后则68%以上为尾矿,有色金属矿山如德兴露天铜矿,开采品位仅0.5%左右,经选矿后则99.5%以上为尾矿,而黄金矿山开采品位仅为几克/吨,经选矿后几乎100%为尾矿;毒性很强,金属矿选矿大多为浮选,浮选药剂含大量有机、无机有毒化合物及油脂等,这些有毒物质大部分都存留在尾矿中;输送浓度很低,选矿厂输送出来的尾矿浆,固体质量百分比一般仅为20%左右,而80%以上则为水。

目前,尾矿一般在地面筑坝存放,利用山谷修筑的尾矿坝占90%以上。尾矿坝的类型绝大多数为土坝,还有少量的土石混合坝或石坝。

金属矿山尾矿地面堆放所引起的一系列问题和危害包括:占用大面积的土地或农田;耗费巨资建立尾矿库和运营管理;尾矿坝潜在的工程灾害危及人民生命财产的安全和矿山的安全;尾矿扬尘污染大气和环境;尾矿中的有害成分产生大量酸性水污染水源和土壤,破坏生态平衡;等等。

## 2 尾矿坝工程灾害及防治

### 2.1 尾矿坝工程灾害

**2.1.1 坝体分级与设计安全系数<sup>[1]</sup>** 按我国建设部部颁标准,尾矿坝分为5级,如表1所示。其中1级为“高危害”坝。

表1 我国尾矿坝分级

Table 1 Classification of tailings dam in China

级 别	库 容/ $\times 10^6 \text{ m}^3$	坝 高/m
1	特殊要求	特殊要求
2	>100	>100
3	10~100	60~100
4	1~10	30~60
5	<1.0	<30

国际通用的尾矿坝最小要求安全系数一般情况

下为1.3~1.5,在洪水状况时为1.2;我国尾矿坝最小要求安全系数如表2。可见,我国尾矿坝安全系数的设计要求低于国际标准。

表2 我国尾矿坝最小要求安全系数

Table 2 The required minimum safety factor of tailings dam in China

运行条件	1级	2级	3级	4~5级
一般	1.3	1.25	1.2	1.15
洪水	1.2	1.15	1.1	1.05
地震	1.1	1.05	1.05	1.0

2.1.2 几项主要统计 世界尾矿坝失事与坝体类型的统计见表3<sup>[2]</sup>。事故原因与事故概率的统计见表4。

表3 世界尾矿坝失事与坝体类型的统计/%

Table 3 Accident statistics of tailings dam in the world

失事类型	坝体类型			
	土坝	土石坝	堆石坝	其他
运行中发生严重破坏,失事废弃	45	10	10	35
运行中发生破坏,经修复再次使用	60	6	0	34
运行中发生破坏,经补救,阻止破坏	77	5	6	12
初期发生破坏,运行前予以修复	80	7	2	11
运行中出现事故或异常现象,但未发生重大事故	8	4	0	88

表4 事故原因与事故概率的统计/%

Table 4 Statistics of accident cause and accident probability

失事原因	洪水漫顶	坝身渗漏(包括管涌)	基础渗漏(包括管涌)	溢洪或泄水工程	其他
失事概率	28	19	22	16	15

2.1.3 我国发生的典型尾矿坝工程灾害举例 地震,1976年唐山大地震,首钢大石河铁矿尾矿坝裂缝、塌滑,天津碱厂石灰坝溃决;坝体失稳而决口,1962年9月26日,云南锡业公司新冠选厂火谷都尾矿坝失稳决口,约3个多小时奔涌出尾矿浆 $33 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,库水 $38 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,造成下游村民伤亡和数千公顷农田被淹没,选厂停产3年。这是我国尾矿史上最大事故,世界尾矿史上第三大事故;洪水漫顶而溃坝,1985年7月23日,湖南东坡铅锌

矿尾矿坝因洪水漫顶而决口,47人死亡,200多户居民受灾;因渗漏造成管涌而破坏,1986年4月30日,安徽黄山铁矿尾矿坝因坝体渗流导致溃坝,死亡19人,经济损失惨重。

## 2.2 尾矿坝工程灾害防治需要研究的基本问题

2.2.1 地震烈度与坝体安全性的关系 《中国地震烈度分区图》(SSB-1990)是设计坝体的依据,按我国规定,尾矿坝这样的特殊构筑物应增加1度进行校核。国际大坝委员会建议设计中可使用“最大可信地震”或“生产运行地震”两个指标。“最大可信地震”是大坝服务期内可能发生的最大地震;“生产运行地震”是大坝服务期内至少发生一次的地震。

2.2.2 地震烈度与尾矿被液化的关系 地震发生时,坝体与库存的尾矿一起被强烈上下左右震动,已沉积的尾矿和库水一起被液化,形成类似泥石流的奔流冲击坝体,造成尾矿坝破坏。液化往往是在极短时间内发生的。

2.2.3 尾矿库汇水区水文和洪水控制 地球气候变化使洪水控制变得更加困难。按矿山当地50年一遇还是100年一遇的洪水标准设计尾矿坝,其建设成本差别很大。

2.2.4 尾矿坝长期岩土稳定性及渗流控制 尾矿坝本身的长期稳定性及库区周围山岩、土体滑坡的潜在可能性等;尾矿坝大多为土坝,有些为土石混合坝,渗流经常发生,需要重视坝体注浆堵漏技术。

## 3 尾矿对环境的污染及防治

### 3.1 尾矿对环境的污染

尾矿对地面的环境污染主要表现在尾矿库扬尘和尾矿水对环境的污染两方面:

尾矿库扬尘。由于金属矿山尾矿颗粒极细,排出的尾矿干固后极易扬尘;若遇到刮大风天气,将有可能扬起尾矿黑砂尘暴。1998年夏季,金川镍矿的尾矿库遇大风刮起铺天盖地的尾矿砂尘暴,将附近路过的多名中小學生卷入尾矿库中,造成重大人员伤亡事故。

尾矿水对环境的污染。尾矿水中含有多种有害物质,其来源为选矿过程中加入的浮选药剂和矿石中的金属元素。常见的有害物质包括氰化物、黄药、黑药、松节油、铜、铁、铅、锌以及砷、酚、汞等。部分有害物质的性质见表5。

表5 尾矿中部分有害物质的性质

Table 5 Properties of some harmful materials in tailings

名称	性质
氰化物	剧毒，作用于人、畜神经系统，达一定剂量时，可致人、畜急性死亡
黄药	有特殊臭味，在水中易分解
黑药	水中含量很少时就有不利的特殊气味
松节油	松脂味，在水面上形成泡沫
酚类化合物	有毒，微量就能杀死水中微生物，水中含量超过0.01mg/L时即有异味，达到中毒浓度时其臭味已无法忍受

尾矿水中的有害物质对环境的污染是多方面的，危害人类、动物及植物的生命安全或健康，污染水源和土壤，破坏生态平衡，等等。

尾矿对地下水源的污染。尾矿水除在地面造成环境污染外，尾矿中的多种重金属元素和有害物质还将进入水体，污染地下水源。据一些统计资料表明，矿区周围饮用水井的水质，普遍达不到饮用水标准：平均细菌总数达4500个/ml，pH值为4~6（国家标准为细菌总数<100个/ml，pH值为6.5~9）。

### 3.2 防治尾矿对环境污染需要研究的问题

尾矿的絮凝结团与快速沉积固结。在尾矿排放过程中，可添加少量廉价的絮凝剂促使尾矿微细颗粒结团，以达到尾矿快速沉积和固结的目的，即使尾矿干固后也不易扬尘。

尾矿库的覆盖或植被。为了防止尾矿的迁移、扬尘或流失，可在干固尾矿的表层覆盖土、石、石灰粉、芦苇、稻草等，或种植草皮、设置防风林等。

尾矿水的无害化处理。尾矿水的无害化处理是矿山废水处理的一部分。目前，矿山废水处理技术发展较快，有自然净化法、中和法、硫化法、离子交换法、萃取法、铁置换法、电渗析法、超滤法等，或是组成各种联合工艺。但仍需要研究流程更简单、成本更低的尾矿水的无害化处理方法。

尾矿库区岩体裂隙渗流的堵截技术。研究岩体裂隙灌浆堵截技术，以防止尾矿中的重金属元素和有害物质进入地下水源。

## 4 尾矿的综合利用与治理

### 4.1 尾矿资源的综合利用

事实上，尾矿是一种二次资源，应当充分地加以回收和利用。目前，国内外对尾矿资源的综合利

用主要集中在以下几方面：

尾矿再次分选。由于选矿技术的发展和进步，一些尾矿可以进行再次分选以回收金属元素和非金属元素。

尾矿制作建筑材料。尾矿可以用来制作某些建筑材料，如砖、水泥、砂石等；还可以用来制作某些建筑装饰材料，如壁砖、地板砖等。

尾矿制作磁性复合肥料。某些尾矿如铁矿石尾矿，可以用来制作磁性复合肥料等。

目前尾矿资源综合利用存在的主要问题是，所消耗掉的尾矿量不大，而大部分的尾矿还需要存放或治理。

### 4.2 尾矿的综合治理

4.2.1 地下矿山 利用地下采空区作尾矿库。我国山东省金岭铁矿是一个成功的例子，其一个分矿先露天开采，后转地下用空场采矿法开采，现基本闭坑。金岭铁矿将该分矿的地下主要坑道进行密闭处理，形成了一个露天坑（深超过80m）与地下采空区（深超过200m）相通的尾矿库，用于处理其他分矿的尾矿。河北省西石门铁矿的中部采区也正在积极建设利用地下采空区作尾矿库。

利用地下采空区作尾矿库，关键问题是要充分估计到地下尾矿库对相邻采矿作业的影响。

建立无尾矿山，采矿与处理尾矿相结合。山东省济南钢铁公司张马屯铁矿地处济南市郊，无地可征用于建筑尾矿库，因此，在矿山开采的整体设计阶段，就采用了胶结充填采矿法，即将选矿厂排出的尾矿经浓缩后添加一定量的水泥再充回到采空区去。这样，该矿成为名副其实的“无尾矿山”。

建立无尾矿山，关键是矿山设计观念需要变化。是投资建尾矿坝在地面堆放尾矿，还是投资大型设备再加上一定的运营成本来同步处理尾矿？

4.2.2 露天矿山，利用尾矿库做排土场 已经储满尾矿并停止使用的尾矿库，或是正在使用的尾矿库靠近坝体已干固的部分区段，可以设计用作露天矿山排土场。这样做的好处很多，可以节省排土场的占地面积，又可以防止尾矿库扬尘。关键问题是需要研究具体矿山高边坡排土场的稳定性与可能发生的泥石流问题。

4.2.3 尾矿膏体地面无坝堆放与同步复垦 所谓尾矿膏体，是指固体质量百分数为76%~82%左右，水的质量百分数为24%~18%左右的尾矿浆，这个比例依各矿山尾矿性质的不同而有所变

化。尾矿膏体可以通过砂泵或在自重条件下用管道输送,象牙膏一样在卸料点排出,而无多余的重力水从膏体中渗出。作为新出现的充填采矿方法的一种,近年来胶结尾矿膏体在国内外得到广泛应用。金川有色金属公司与北京有色冶金设计研究总院合作,经过近10年的试验研究,在1999年8月成功地将膏体充填系统正式投入工业化生产。但是,使用膏体技术全部处理选矿厂排出的尾矿,在国内外还只是刚刚起步。

美国爱达荷州 New Jersey 露天金矿是一个新建矿山<sup>[3]</sup>,设计采用膏体地面无坝堆放处理选厂尾矿。尾矿膏体排料区占地面积 0.6 km<sup>2</sup>,采用4个管道卸料点卸料,膏体输送水平距离约460 m,用砂泵加压泵送。设计最终尾矿堆高度为23 m,分层堆放,每层上面用推土机覆盖一层泥土;为保证尾矿堆的稳定性和防止尾矿流失,尾矿膏体中添加2%的水泥。经经济对比与计算,尾矿膏体地面

无坝堆放的费用仅为建尾矿库处理尾矿费用的1/3左右。

综上所述,金属矿山尾矿问题以及尾矿引起的环境污染与危害,在世界范围内是一个亟待解决的问题。尾矿综合利用与治理需要采用新技术进行研究和开发,其发展方向是建立无尾矿山。

#### 参考文献

- [1] 陈汉山, Rosin S. 中国几个尾矿坝的土工研究及复垦 [C]. 第六届全国采矿学术会议论文集, 1999, 191~194
- [2] 编写组编. 尾矿工程 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990. 79~80
- [3] Brackebusch F, Shillabeer J. Use of paste for tailings disposal, Proceedings of the 6th International Symposium on Mining With Backfill, Brisbane, Australia, April, 1998, 53~58

## Tailings Problems and Tailings Utilization and Treatments in the Metal Mines

Cai Sijing, Yang Peng

(School of Resources Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**[Abstract]** The Problems caused by tailings disposal in metal mines are becoming more serious day by day. The total amount of tailings deposited by the Chinese metal mines is more than 4.0 billion tones, and the number is still increasing by 0.21 billion tones per year. The main features of metal mine tailings are extremely fine of particles, huge quantities, strongly poisonous and low bulky density for transportation. Tailings dam occupies large area of land. Accidents may be caused by tailings dam failure. Environmental pollution and underground water pollution are caused by tailings. It is necessary to carry out studies utilizing or treating tailings with new technologies. The comprehensive utilization of tailings should include recovering metal and non-metal elements from tailings, utilizing tailings to make building materials or magnetized fertilizer, etc. The treatment of tailings should include depositing tailings underground, utilizing tailings dam as a waste dump, and land reclaiming while depositing tailings paste. The final purpose of utilizing and treating tailings is to set up a "mine without tailings".

**[Key words]** metal mines; tailings; environmental pollution; undisrground tailings disposal; tailings paste; mine without tailings

\*

\*

\*

更 正

本刊2000年第3期封底左下图“……何申成教授(右)和合作人吴盛东总经理”,应为吴晓东总经理。特此更正,并深表歉意。