

# 南京江宁区某退役小型硫铁矿尾矿库的治理方法

邢姝, 陈征宙, 邹春江, 韩非, 缪世贤

(南京大学地球科学与工程学院, 南京 210093)

**摘要:** 针对江宁区某退役小型硫铁矿出现的不良地质现象, 对该尾矿坝进行了抗滑以及抗渗稳定性计算和分析, 指出坝体处于不稳定状态, 并提出具体治理方法。治理的方案包括降低坝体高度减载, 在坡脚处反压坝体增加坝体稳定性, 设置排渗设施降低浸润线高度, 修筑排水沟阻止地表水停留在库区表面。最后需验证治理后尾矿坝在地震作用下的稳定性, 运用时程分析法对设计后的坝体进行了动力有限元的分析, 结果表明坝体内部和整体处于较稳定的状态。

**关键词:** 尾矿库; 地质灾害; 稳定性分析; 动力有限元

**中图分类号:** TD167 **文献标识码:** A

## 1 引言

江宁区位于南京市南侧, 长江下游南岸, 是江苏省矿产资源较为丰富的地区。矿产业是江宁区主要的经济支柱之一, 区内除了大中型矿产数十处以外, 主要分布了百余处集体与私营的小型矿产企业, 小型集体与私营企业占90%以上。每年选矿产生大量的尾砂, 其中大部分以尾矿库的形式堆积。但是由于小型企业规模较小、投资较小, 环保、安全意识较弱, 对选矿产出的尾砂缺乏必要处理, 堆放随意, 不考虑可能发生的地质灾害隐患以及对生态环境的影响。同时在尾矿砂堆积过程中, 对尾矿坝的堆筑没有进行规范的设计, 一味地随尾矿砂的堆积而加高, 坝体的筑坝材料选取随意, 造成了坝体的稳定性较差。区内尾矿库的附近一般都有村庄、农田和道路, 如果发生溃坝, 将会对周围居民的生命财产安全带来巨大的伤害, 尾砂中含有的有害元素将会对周围水体、土壤产生较大的污染。

## 2 某尾矿库的概况

该尾矿库原始地形为山丘之间的凹地, 后由矿石加工厂分选铁矿石后产生的尾矿砂堆积而成, 尾矿坝是在堆积尾矿过程中逐渐填筑起来。在库区的东侧有连绵的山丘, 库区南侧有一低矮山丘, 库区附

近出露地层主要为:

(1) 姑山火山岩带, 下部为灰、灰绿色、紫红色辉石石英安山岩、安山质角砾凝灰岩, 底部常为沉积岩及火山碎屑沉积岩, 上部为紫红、灰紫、灰绿等色英安质熔结凝灰岩、辉石角闪安山岩、辉石安山岩、辉石粗安岩。

(2) 下蜀组( $Q_s$ )由灰黄、棕黄、黄褐等以“黄色”为基本色调的粉质粘土组成, 故又称“下蜀黄土”。剖面上该黄土层中常夹数层红棕、棕褐色亚粘土。

该尾矿库目前整体占地面积约  $1.3 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 已堆积尾矿量约  $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。尾矿坝坝体顶宽4~5 m, 长150多米, 坝高约25 m, 整体坡率1:1.61左右, 局部坡率较陡, 分台阶逐级堆积而成。坝体材料为粉质粘土夹杂砂砾, 尾矿砂为细砂。坝体表面冲刷严重, 形成多条冲沟。库区内有积水, 水塘面积大约6000  $\text{m}^2$ 。

该尾矿库存在隐患普遍的主要原因有:

(1) 由于此尾矿坝未经过任何正规设计, 随意堆筑, 坡率大于有关规定。筑坝材料较差, 与正规的尾矿坝有很大的不同。

(2) 坝体材料透水性较差, 且无任何的排渗措施, 坝体内水体无法排出, 浸润线较高, 渗透压力较大, 同时尾矿在渗流的影响下会产生渗透变形, 严重影响坝体的稳定性。

(3) 库区表面积水严重,截排水措施简陋或者根本没有修筑,如果遇到特大洪水,就可能导致洪水漫顶,冲毁坝体。

3 尾矿坝的稳定性分析

尾矿坝抗滑稳定性分析成果的可靠性在很大程度上决定于土的抗剪强度指标的选择,在进行稳定性分析土性参数选取时,结合室内土工试验结果与前人研究成果选取计算参数<sup>[1]</sup>。坝体材料为粉质粘土夹碎石,尾矿砂为细砂。物理力学性质如表 1。

表 1 材料物理力学指标

Table 1 Physical-mechanical index of materials

样品	物理力学性质指标		
	含水率	密度 $\rho$ / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	内摩擦角 $\varphi$ / $^{\circ}$
尾矿砂	14.7	2.05	28
坝体材料	17.5	2.71	23.3

		粘聚力 $C$ / $\text{kPa}$	
		0	
		16.0	

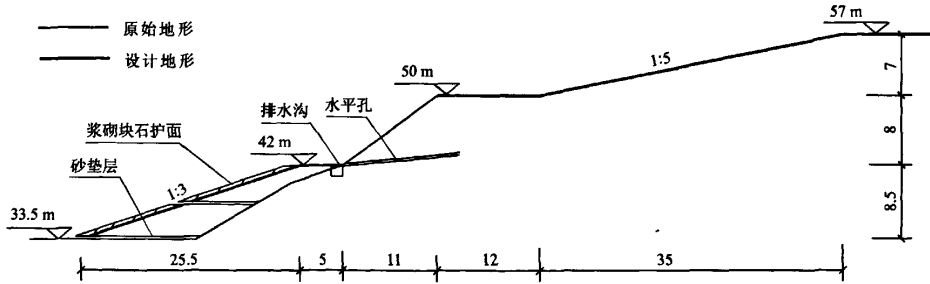


图 1 设计修整后剖面图  
Fig. 1 Section of designed tailing dam

3.2 坝体抗渗稳定性分析

根据选矿厂尾矿设施设计规范(ZBJI-90)<sup>[3]</sup>“上游式尾矿坝渗流计算简法”中的方法可计算浸润线方程。同时可以得出浸润线溢出位置,结果如表 3 所示。

而后验算在各种情况下的浸润线出逸点处水力坡度是否满足渗流稳定性要求。根据《尾矿设施设计参考资料》<sup>[4]</sup>知,考虑粘聚力时的临界坡降为:

$$J_c = \frac{\gamma_d}{\gamma_0} - (1 - n) + \frac{c}{\gamma_0}$$

式中,  $J_c$  为土的临界渗流坡降;  $\gamma_d$  为渗流出逸点的土的干重度;  $\gamma_0$  为水的重度;  $n$  为孔隙率;  $c$  为粘聚力。渗流坡降应小于允许渗流坡降  $J_y$ ,按下式计算  $J_y$ :

$$J_y = J_c / F,$$

式中,  $F$  为渗透稳定系数。如果在浸润线的出逸点的水力坡降  $J < J_y$ ,则认为满足渗透稳定性的要求,反之则不满足。由计算结果可以知道  $F = 1.1$ ,渗流稳定性不满足规范的  $F \geq 2$  要求,有必要进行排

3.1 坝体抗滑稳定性分析

本文采用瑞典圆弧滑动法(Fellenius 法)和简化毕肖普法(Bishop 法)计算坝体的最小稳定系数<sup>[2]</sup>。

选取剖面 1-1'(图 1 中的原始地形)进行计算,本次稳定性计算,为简化计算过程,只考虑坝体在各种不利荷载组合下的稳定系数,对坝体在最不利因素条件下的稳定性进行评价。即考虑洪水运行以及地震情况下的最小稳定系数。计算结果如表 2。

根据计算结果可知,对于 1-1'剖面,最小稳定系数小于 1,说明在此工况下坝体稳定性不能满足要求,需要进行治理。

表 2 坝体稳定性分析计算结果

Table 2 Results of stability analysis of dam

剖面	剪出口 标高/m	滑面顶 标高/m	最小稳定系数	
			Fellenius 法	Bishop 法
1-1'	33	57	0.764	0.818

渗处理。

4 治理方案

4.1 坝体治理方案

原尾矿坝坝高近 25 m,设计将坝体高度降低 7 m,即坝体标高降至 50 m,将 50 m 高程以上土体挖除,一部分用来填充尾矿库中的水塘,一部分用来反压坡脚。在坝顶线内侧 12 m 后开始修筑坡率为 1:5 的边坡,坡顶标高为 57 m。设计修整后的剖面图如图 1。修整后,坝体设计剖面如图经过削坡与坡脚反压后,坝体稳定性计算结果如表 3,从表 3 中可以看出,坝体最小稳定系数已达到设计要求。

表 3 坝体稳定性分析计算结果

Talbe 3 Results of stability analysis of dam

剖面	剪出口 标高/m	滑面顶 标高/m	最小稳定系数	
			Fellenius 法	Bishop 法
1-1'	33.5	42	1.276	1.314
		50	1.276	1.306
	42	50	1.249	1.292

## 4.2 排水方案

对于坝体内的地下水,由于本次治理工程,需要将水位降到一个较低的水平,设计在坝体内打入水平孔来排出坝体内的地下水,水平管用钢管结合贴砾钢管,考虑到钢管的使用年限有限,会发生锈蚀,在钢管内填充砾石直至排水管出水口处,在钢管锈蚀后仍然是排水通道。图 2 是水平管的示意图。

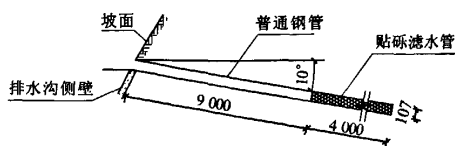


图 2 水平泄水管示意图

Fig. 2 Horizontal drainage pipe

在反压坡脚部分,在填土边坡内设置水平砂垫

层来排出坝体内地下水,并在填土边坡表面用浆砌片石保护坡面,防止水流冲刷坡面。

对于地表水,将库区内水进行抽干,同时平整库区表面,铺上隔水土工布覆土绿化,使水不能够在库区表面停留并下渗,同时在库区周围设置排水沟,截住周围的山体汇水。

## 4.3 对坝体进行动力有限元的分析

尾矿库的抗震能力也是很重要的一方面,针对设计后的尾矿库进行动力有限元的分析。本方案采用时程法对其进行动力有限元分析<sup>[5]</sup>,设计地震震动参数,南京地区采用  $0.10\text{ g}$ <sup>[6]</sup> 峰值加速度的地震震动时程参数,即水平向、竖向向加速度时程,如图 3 所示。水平向的设计加速度峰值都为  $0.10\text{ g}$ ,竖向设计加速度峰值采用水平向设计加速度峰值的  $2/3$ ,即  $0.067\text{ g}$ 。

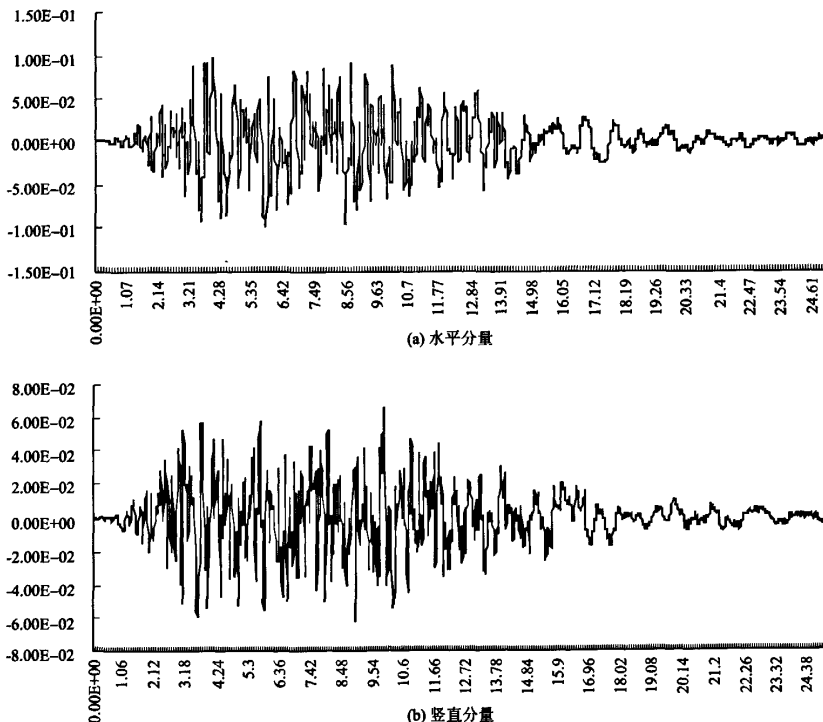


图 3 加速度时程曲线的水平、竖直分量

Fig. 3 Acceleration history at vertical and horizontal vectors

经过计算,得到不同时刻的各点稳定系数等值线图,见图 4。从稳定系数等值线图中,可以看出该坡形在尾矿上部右侧区域存在着不同程度的塑性区(黑色区域)。这是由于其右侧为较硬的基岩,位移出现了不连续,容易出现拉应力区,但这一区域离坝体有一定距离,对坝体的影响不大。同时,坝体后部较浅部分,在某些时刻会出现一定的塑性区,这是由

于坝体的弹模和强度等参数和尾矿砂不同,导致了位移的不连续,在较大的地震力作用下可能产生一定的塑性变形。但是这一塑性区维持的时间很短,不超过  $0.5\text{ s}$ ,而且从主应力矢量图中可以看出破裂面的方向基本垂直于边坡面,也就是表面裂缝开展,并不会贯通成滑裂面,对边坡的整体稳定影响不是很大。

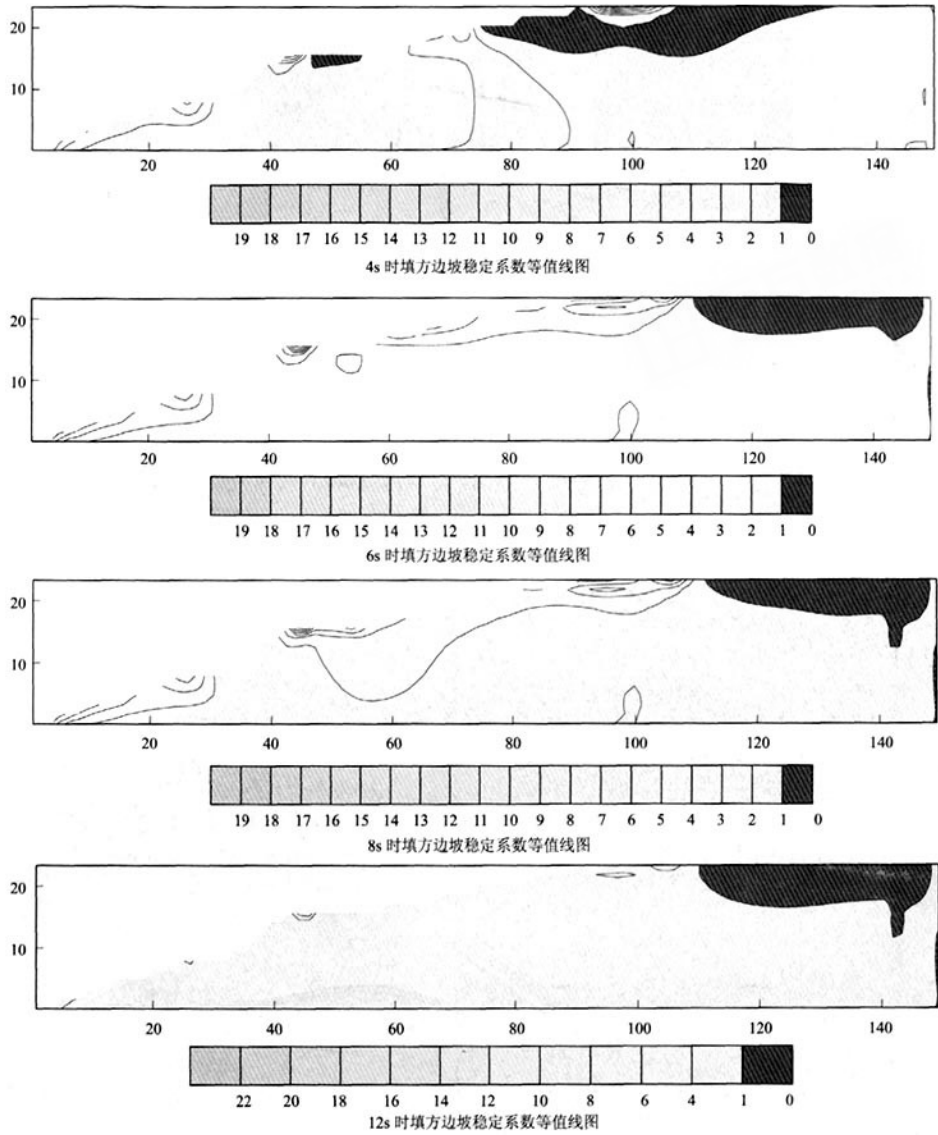


图 4 4、6、8、12 s 不同时刻系数等值线图  
Fig. 4 Contour of safety factor at 4,6,8,12 s

因此,通过对尾矿坝坝体的动力有限元分析,在整治方案的设计坡形中,坝体在地震动荷载作用下,表面可能会产生破裂和变形,但坝体内部和整体仍处于较稳定的状态。

## 5 结论

(1) 通过对江宁区某退役小型硫铁矿尾矿坝的抗滑和抗渗稳定性分析,发现其坝体不稳定,坝体内浸润线较高。

(2) 针对尾矿库存在的问题,采取的治理方法:降低坝高并反压坡脚以提高坝体稳定性,用水平泄水管以及水平砂垫层排出地下水以降低浸润线,修筑排水沟以阻止外部水体在库区表面停留而下渗。以使坝面平整干燥,沼泽化现象消失,也不存在管涌、流砂、裂缝、塌陷和滑坡现象。

(3) 最后考虑地震对坝体的影响,对尾矿库进行动力有限元分析。得到设计后的坡形,坝体在地震动荷载作用下,表面可能会产生破裂和变形,但坝体内部和整体仍处于较稳定的状态。

## 参考文献

- [1] 张超,杨春和,孔令伟.某铜矿尾矿砂力学特性研究和稳定性分析[J].岩土力学,2003,24(5):858-862.
- [2] 王武林,杨春和,陶金安.某铅锌矿尾矿坝工程勘察与稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,1992,11(4):332-344.
- [3] 选矿厂尾矿设施设计规范(ZBJ1-90)[S].北京:中国计划出版社,1991.
- [4] 尾矿设施设计参考资料编写组.尾矿设施设计参考资料[M].北京:冶金工业出版社,1987.
- [5] 吴是明,等.土动力学[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [6] 建筑抗震设计规范(GB50011-2001)[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.

## TREATMENT OF A MINI PYRITIC MINE TAILINGS DAM RETIRED IN JIANGNING NANJING

XING Shu, CHEN Zheng-zhou, ZOU Chun-jiang, HAN Fei, MIAO Shi-xian  
(School of Earth Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** Based on the unfavorable geological phenomena of a retired mini pyritic mine tailings dam in Jiangning, seepage stability and anti-slide stability were analyzed, and a strengthening measures were proposed in this paper. The measures include off-loading the dam by reducing its height, pressing the dam toe to improve the safety, laying horizontal drainage pipes to low-down the height of the seepage and arranging drain ditch to stop water staying on the surface of the tailing dam. To prove the stability of the designed dam in the earthquake, dynamic finite element analysis with the time history method was adopted, and the results indicated the dam was stable.

**Key words:** tailing dams; geological disaster; stability analysis; dynamic finite element analysis

**作者简介:** 邢姝(1985—),女,江苏盐城人,硕士研究生,主要从事边坡稳定性研究。

## 南京江宁区某退役小型硫铁矿尾矿库的治理方法

作者: [邢姝](#), [陈征宙](#), [邹春江](#), [韩非](#), [缪世贤](#), [XING Shu](#), [CHEN Zheng-zhou](#), [ZOU Chun-jiang](#), [HAN Fei](#), [MIAO Shi-xian](#)

作者单位: [南京大学地球科学与工程学院, 南京, 210093](#)

刊名: [地质灾害与环境保护](#)

英文刊名: [JOURNAL OF GEOLOGICAL HAZARDS AND ENVIRONMENT PRESERVATION](#)

年, 卷(期): 2009, 20(4)

被引用次数: 0次

### 参考文献(6条)

1. [张超, 杨春和, 孔令伟](#) [某铜矿尾矿砂力学特性研究和稳定性分析](#) [期刊论文] - [岩土力学](#) 2003 (5)
2. [王武林, 杨春和, 阎金安](#) [某铅锌尾矿坝工程勘察与稳定性分析](#) 1992 (4)
3. [ZBJ1-1990](#). [选矿厂尾矿设施设计规范](#) 1991
4. [《尾矿设施设计参考资料》编写组](#) [尾矿设施设计参考资料](#) 1987
5. [吴是明](#) [土动力学](#) 2000
6. [GB 50011-2001](#). [建筑抗震设计规范](#) 2001

## 相似文献(10条)

- ### 1. 期刊论文 林玉山, 张卫, LIN Yu-shan, ZHANG Wei 尾矿库地质灾害与危险性评估 - 桂林工学院学报2006, 26(4)
- 尾矿库是矿山选矿厂的主要设施,也是事故易发部位。近年来病害事故频发,除了本身遭受地质灾害影响外,尾矿库工程更重要的是事故件生、次生地质灾害。尾矿库事故可引发泥石流、滑坡、水土污染等次生灾害而进一步扩大事故的危害性。概括了尾矿库的工程特点,分析了尾矿库建设遭受、引发地质灾害的主要类型、致灾因素及其危害性,针对尾矿库地质灾害评估工作,指出评估要点和需注意的问题。
- ### 2. 学位论文 宗学军 金属矿山地质灾害三维模拟研究 2008
- 3D GIS技术的研究范围涉及数据库技术、地理信息系统、计算机图形学、虚拟现实等多门学科领域。本文在吸取了上述多门学科领域先进理论的基础上,系统地论述了将3D GIS应用于地质灾害研究中需要用到的几个关键技术。包括三维地形建模、基于三维地形模型的表面景观建模、基于ArcObjects的二次开发技术以及在ArcScene中的动画制作技术。
- 在介绍了相关支撑理论的基础上,结合基于ArcObjects组件二次开发的相关技术,在Visual Basic 6.0开发环境下,实现了广西大厂锡矿区尾矿库溃坝灾害模拟系统。系统的数据存储主要采用了ARCGIS组件之一的Geodatabase数据库, Geodatabase是建立在DBMS之上的统一的、智能化的空间数据库,可以方便应用于GIS中各种空间数据的存储。使空间数据的管理变得直观而且方便。
- 系统地形景观模型的建立分两部分,一是三维地形的生成,二是地表景观的制作。系统三维地形的生成采用了TIN模型,由DEM高程模型生成TIN模型,加载到系统,在地形表面叠加了遥感影像,使地表更加逼真。地表景观的生成是利用ArcGIS自带的要素模型符号库,根据需要,进行一定的转化、叠加等处理,重要模型也可以自己单独制作,把这些符号叠加到三维地形的表面,建立了地表景观模型。
- 系统中的动画制作部分,本文没有采用3DMAX等实现技术难度比较高的专业动画制作技术,而是采用在ArcGIS中设计和建立三维地质景观模型以及并利用ArcScene组件实现溃坝灾害的动态模拟,降低了实现动态模拟的技术难度,并将空间分析和三维地质建模结合在一起,是一个设计方法的新尝试。
- 系统利用GIS的空间分析功能在模型的基础上对尾矿库溃坝灾害可能影响的区域进行了分析,得到了受灾区域范围,制作的溃坝灾害的演进模拟动画,也为溃坝地质灾害的研究提供了有利的帮助。
- ### 3. 期刊论文 李力宏 岳阳万古金矿尾矿库山体地面裂缝成因、发展趋势浅析及治理措施 - 科技创新导报 2008, "" (24)
- 岳阳万古金矿尾矿库两岸山体多处出现地面裂缝,对尾矿库的安全运行已构成潜在威胁。如不及时采取有效措施进行处理,进一步发展势必形成较大的地面塌陷区,构成地质灾害。本文对该矿地面裂缝成因、发展趋势进行了浅析,并建议对山体下老窿(采空)进行回填或灌浆处理。
- ### 4. 期刊论文 陈桥, 胡克, 文屹, 王锡魁, 隋维国, 刘玉英, 陈兵, 郭春丽 鞍山市铁矿矿山地质灾害形成条件及对策研究 - 世界地质 2003, 22 (2)
- 矿山地质灾害较其它地质灾害相比有其独特性。在鞍山铁矿区,排土场沉降不仅与采矿引起的地下水位下降有直接的联系,还与松散细粒土层、活动断裂有关;滑坡、泥石流地质灾害与地形地貌、水源条件及构造有一定的关系,更重要的是采矿活动产生的废石废渣为其提供了大量的物源;尾矿库灾害主要表现为:洪水漫顶、尾矿砂液化破坏、尾矿坝渗漏及管涌溃堤、尾矿坝坍塌破坏等。本文简要分析了鞍山市铁矿山主要存在的地质灾害类型(排土场地面沉降、滑坡、泥石流及尾矿库地质灾害)和形成条件并提出了防治地质灾害的对策。
- ### 5. 期刊论文 张春方, 卜训政, 孙群富 金岭铁矿尾矿库砌石拱坝加固方案的选择 - 化工矿物与加工 2005, 34 (3)
- 1 金岭铁矿尾矿库存在的主要安全隐患
- 金岭铁矿尾矿库于2003年5月曾由山东省冶金设计院完成了“山东金岭铁矿尾矿库安全评价报告”,对其存在的安全隐患进行分析,认为:a. 该库区尾矿已经超过有效库容,尾矿坝承受侧压力较大;b. 库区范围内违规开采活动是影响坝体安全的重要因素;c. 民营选厂向该尾矿库排放尾矿,尾矿从坝顶漫流,侵蚀坝体;d. 地震和地下采空区的应力释放、采空区塌陷、断层带活化等地质灾害可能造成坝体变形、开裂或溃坝。
- ### 6. 期刊论文 周志华 湖南矿山环境现状分析与治理对策研究 - 矿业工程研究 2009, 24 (3)
- 湖南矿产资源丰富,为“有色金属之乡”。近年来,由于矿业生产迅速发展,矿区生产产生经济效益、轻环境保护,导致耕地和植被被大量破坏、矿山地质灾害多发,如地表塌陷、地下水位下降、矿山泥石流灾害、矿坑突水突泥及重金属污染等,且尾矿库存在重大安全隐患,矿区治理难度很大。笔者认为,当前最紧要的工作是加强对尾矿库的治理和整顿,对危库、险库、病库要立即停产、组织抢修、消除隐患,并完善尾矿坝施工工艺、尾矿库验收合格后才能投入使用,要加强对尾矿回收利用的研究、推进尾矿再利用产业化;要健全矿山开采的法律法规、建立独立于地方政府之外的环境保护和安全监督机构、完善其监测体系、确保其高效行使职能、有效预防灾害发生;建立矿山环境恢复保证金制度、多途径开展土地复垦、受污染的末端治理为源头治理,确保矿产资源的可持续发展。



7. 期刊论文 [杨明飞, 牛红振 浅议小铁矿尾矿库的水土保持 -河北水利2008, "" \(8\)](#)

近几年铁矿建设不断升温,在积极拉动地方经济发展的同时,造成的水土流失也极为严重,铁矿尾矿库造成的水土流失危害更为突出,且河北省东北部地区的中小型铁矿特别是铁矿尾矿库的水土保持直接关系到水库、河道的安全运行.如何对尾矿库进行综合治理、防止地质灾害发生、减少水土流失已成为铁矿建设项目水土保持工作的重点.

8. 期刊论文 [杨云峰, 李力宏 岳阳金都金矿尾矿为左岸山体地面裂缝成因、发展趋势及治理浅析 -国土资源导刊](#)

2008, 5 (2)

岳阳金都金矿尾矿库左岸山体出现多处地面裂缝,对尾矿库的安全运行已构成潜在威胁,如不及时采取有效措施进行处理,势必形成较大的地面塌陷区,构成地质灾害.对该矿地面裂缝成因、发展趋势进行了浅析,并建议对山体下老窿(采空)进行回填或灌浆处理.

9. 会议论文 [凌云 福建省漳州华安县洋竹径502矿区泥石流灾害治理方案探讨 2009](#)

华安洋竹径502矿区地质灾害隐患为潜在矿渣泥石流,堆积坡面弃渣及尾矿库内矿渣是泥石流的物质来源,是该地质灾害隐患的主要治理对象.通过对不同治理方案的分析研究,认为工程治理投入资金较大,且仅能治标,不能完全排除泥石流隐患.通过对尾矿弃渣二次选矿,回收有价值的钨矿,废渣外运作为建材,最终恢复原始地貌.投资风险小,并可取得良好的社会效益和经济效益;在资源日益紧缺的时代,对处理类似地质灾害隐患提供一种有效途径.

10. 会议论文 [申文周, 刘林会 尾砂充填采空区在石村铁矿的实践与探讨 2006](#)

石村铁矿运用尾砂对井下80万m<sup>3</sup>采空区进行充填,既可延长尾矿库的使用寿命又消除了地质灾害发生的隐患,为企业带来了巨大的经济效益和社会效益.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_dzzhyhjhb200904012.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzzhyhjhb200904012.aspx)

授权使用: 赵华(wfnjdx), 授权号: 9f437e13-a0bc-44c2-8727-9e17016be629

下载时间: 2010年10月22日