维普资讯 http://www.cqvip.com

第26卷 第4期
2006年10月

桂林工学院学报
Journal of Guilin University of Technology

Vol. 26 No. 4
Oct. 2006

文章编号：1006－544X（2006）04－0486－05

尾矿库地质灾害与危险性评估

林玉山[1,2]，张　卫[2]

（1. 中国地质大学 工程学院，武汉　430074；2. 中国地质科学院 岩溶地质研究所，广西 桂林　541004）

摘　要：尾矿库是矿山选厂的主要设施，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伴生、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.

关键词：尾矿库；地质灾害；危险性评估

中图分类号：P694；TD7　　**文献标志码**：A

尾矿库，亦称尾砂库. 矿山开采出的矿石，经选厂选出有价值的矿产品后产生大量废渣，即尾矿或尾砂，为堆存尾矿砂所建的构筑物系统称为尾矿库，通常包括尾矿坝、库区、排洪设施等. 一般情况下，尾矿库在堆存尾矿砂的同时，也储存选厂废水以供循环利用.

我国目前建有几千座尾矿库，星罗棋布于矿区沟壑山谷之中，数量多、分布广，占地面积、库容规模相差很大. 初步统计，具有一定规模的尾矿库约1 500座，库容超过1亿 m^3 的有10座[1]，最大的江西德兴铜矿4#尾矿库，库容达8.3亿 m^3. 目前坝高超过100 m的有26座，最高达270 m，坝高小于30 m的小库占80%. 近年来，随着私营企业进入矿山采、选矿领域，小规模尾矿库数量增长很快.

1　尾矿库病害事故与地质灾害

尾矿库作为矿山选矿生产的主要设施，是事故易发部位，也是隐伏巨大安全隐患的危险源. 尾矿库占用大量土地，改变和破坏原有生态环境；尾矿中的污染物，通过径流和渗透，污染周围的土地、水体；最严重的当属溃坝事故，尾矿库下游通常是人口稠密的居民区. 溃坝时，尾矿砂、废水倾泻而下，农田、村镇顷刻间遭受灭顶之灾，其危害比水库更为严重，造成人员伤亡、淤塞河道、严重污染土地和水体，而且这种污染灾害将是长期的，难以恢复. 美国克拉克大学公害评定小组的研究表明，尾矿库事故的危害，在世界93种事故、公害隐患中，名列第18位. 它仅次于核爆炸、神经毒气、核幅射等灾害，而比航空失事、火灾等其他灾害严重.

我国主要尾矿库事故见表1[2-4].

地质灾害在尾矿库病害事故中起着至关重要的作用[5]. 尾矿库建设运营，一方面可能遭受诸如滑坡、塌陷等自然地质灾害；另一方面尾矿库病害事故多伴生、次生地质灾害，从而加大尾矿库病害事故的危害性，如泥石流、水土污染等. 分析尾矿库事故原因及灾害过程，结合笔者通过近年来从事尾矿库地质灾害危险性评估工作的体会，论述了尾矿库主要地质灾害的类型及其危险性评估要点.

2　尾矿库的工程特点

尾矿床工程具有如下特点：

（1）分布于矿区山谷、洼地. 通常尾矿库多利用

收稿日期：2006－06－02

基金项目：国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金资助项目（50539080）

作者简介：林玉山（1965－），男，博士，副研究员，岩土工程专业.

维普资讯 http://www.cqvip.com

表1　我国主要尾矿库事故统计[2-4]

Table 1　Major tailing reservoir accidents in China

时　间	尾　矿　库	伤亡人数		事故原因与主要灾害
		死	伤	
1962-09-26	云南锡业公司火谷都尾矿库	171	95	坝体滑坡→垮坝→泥石流:冲毁村庄、农田,水土污染
1985-08-25	湖南柿竹园有色矿牛角垄尾矿库	49		洪水漫顶→垮坝→泥石流
1986-04-30	安徽黄梅山铁矿金山尾矿库	19	97	坝体中部滑坡→垮坝→泥石流:冲毁村庄、农田
1988-04	陕西华县金堆城钼业公司栗西尾矿库			排洪隧洞塌陷→泄漏:水源地严重污染
1992-05-24	河南滦川县赤土店钼矿	12		排洪洞破坏→库区塌陷→泥石流
1993	福建潘洛铁矿尾矿库	14	4	库区滑坡→垮坝
1994-07-12	湖北新冶铜矿尾矿库	28		洪水漫顶→垮坝→泥石流
1994-05-07	云南永福锡矿尾矿库	13		坝下挖沙→溃坝→泥石流
1994-05-10	四川锦屏磷矿尾矿库			排水井塌落→尾砂外泄:严重污染环境
2000-10-18	广西南丹鸿图选矿厂	28	56	坝体滑坡→垮坝→泥石流
2004-04-22	陕西凤县安河铅锌选厂尾矿			库排水管破裂→泄漏:废水流入嘉陵江,水体污染
2004-08-28	陕西渭南华西矿业公司黄村铅锌矿			尾矿库垮坝→泥石流:覆盖耕地、水源地污染
2005-09-21	广西平乐县二塘锰矿		3	垮坝→泥石流:冲毁村庄、农田
2005-11-08	山西临汾市浮山县峰光选矿厂尾矿库	8		垮坝→泥石流
2006-04-23	河北迁安市蔡园镇庙岭沟铁矿尾矿库	6		垮坝→泥石流
2006-04-30	陕西镇安县黄金矿业有限责任公司尾矿库	17	5	垮坝→泥石流:冲毁村庄、农田、水土氰化物污染

自然沟谷地形，筑坝成库，三面环坡，上游汇水面积较大，直接面对暴雨、山洪冲击[6].

(2) 尾矿库下游多为人口稠密的居民区. 通常尾矿库位于江、湖、水源地的上游，下游分布有村镇、工厂、农田、交通设施等，尾矿库事故直接威胁居民生命、财产安全.

(3) 坝体多采用二期筑坝法，即包括初期坝和后期坝两部分. 初期坝，亦称基础坝，多采用土石坝，相对而言，坝体厚度大、稳定性好、高度小、不透水；后期坝是指利用尾矿砂在初期坝上筑坝加高，目前我国90%以上的后期坝采用上游法筑坝，即随着库区尾矿砂堆放，不断加高坝体，这种筑坝方法简单易行，费用低，但坝体固结度偏低、孔隙比大、含水量高、坝体强度低，不利于坝体稳定. 同时，在初期坝与后期坝之间形成了一个抗剪能力极低的潜在滑动面.

(4) 尾矿砂颗粒细且饱水. 选矿厂为增加矿物提取率，要求磨矿粒度很细，颗粒越细，尾矿库沉积滩面越平缓，库水位逼近坝前，尾矿砂多呈饱水状态，在振动、搅动条件下极易液化.

(5) 起沉淀池的作用. 尾矿库通常在库尾形成大小不一的积水塘，选矿厂废水在此简单沉淀、澄清后，再抽取至选厂循环使用.

(6) 设置有排洪设施. 与一般水库不同的是，尾矿库本身不具备储水调洪能力，为排泄上游进库洪水，通常在库底设置排洪斜槽、管道或隧洞等构筑物，或在一侧开挖排水明渠.

(7) 极具威胁的污染源. 尾矿砂通常含有酸性、碱性、毒性污染物及镉、砷、铅、锌、银、汞等有害重金属，是一个隐伏巨大隐患的“毒场”，其污染影响面远远超过尾矿库本身[7].

(8) 尾矿库服务期就是尾矿坝筑坝期. 后期坝随着库区尾矿砂的持续堆高而不断堆填、加高，即尾矿坝的筑坝施工贯穿整个尾矿库的运营、服务期，导致尾矿坝管理、监督难度大.

(9) 闭库后仍存在安全隐患. 尾矿库最佳恢复利用途径是复垦，即在库区覆土恢复土地或植树、种草，恢复生态，改善矿区环境，但目前由于监管不到位，矿主出于经济考虑，往往简单平整，任其自然. 由于坝体、排洪设施等相对简陋，加上尾矿库所处自然环境恶劣，即使闭库后尾矿库仍存在发生安全事故进而引发地质灾害的隐患[8].

(10) 私营业主进入选矿领域，对尾矿库管理更加不利. 近年来，私营经济大量涌入采、选矿业，相比公有制经济，私营业主追求利益最大化的特点更加突出，不愿为尾矿库长期安全投资，抱有应付、侥幸心理，短期冒险行为严重. 从调查结果来看，目前大中型库较好，小型库较差，国有企业的较好，非国有企业的较差.

3　尾矿库主要地质灾害类型及特点[9]

3.1　泥石流

对尾矿库而言，泥石流主要表现为溃坝次生

维普资讯 http://www.cqvip.com

灾害[5]. 据统计，70%以上的尾矿库垮坝伴生泥石流或泥浆流灾害，正在运行的尾矿库因库区积水则比例更高. 尾矿坝高度大，存放的尾矿砂多且饱水，形成大规模泥土石流灾害的可能性较大. 2000年10月18日上午9：50，广西南丹县大厂镇鸿图选矿厂尾矿库发生重大垮坝事故，疏松的尾矿砂奔涌而下，污水与泥石流冲起来有2 m多高，直冲坝首正前方的山坡反弹回来后，沿坝侧20 m宽的山谷流向下游，一直冲到离坝首约700 m处，沿途将民房、宿舍楼、公路上行驶的拖拉机、摩托车及行人全卷得毫无踪影，来不及逃走的人们瞬间遭受灭顶之灾. 事故造成28人死亡，56人受伤，直接经济损失340万元. 尾矿库溃坝形成的泥石流具有高势能、速度快、前锋高度大的特点，与坝高、坝前地形、尾矿砂堆存量以及含水状态等密切相关. 值得注意的是，尾矿库溃坝通常发生于雨季，平常含水量低的尾矿砂因雨水、山谷洪水的加入，同样易于形成泥石流. 坝前方陡（前倾）、窄的沟谷地形进一步为泥石流增势.

3.2 滑坡

尾矿库滑坡灾害包括坝体滑坡、诱发库岸滑坡或遭受自然滑坡灾害三个方面.

如前所述，尾矿库后期坝多采用上游法堆筑，尾矿砂为筑坝材料，坝体强度低，稳定性差，在初期坝与后期堆积坝之间存在一个抗剪能力极低的潜在滑动面. 随着库区尾矿砂的不断增高，对坝体的压力逐渐加大，坝体最终因承受不住巨大压力而滑坡破坏，导致坝体垮塌. 上述的广西南丹鸿图选矿厂垮坝事故，起因就是沿初期坝与后期堆积坝之间的接触面滑动而导致坝体垮塌.

尾矿库通常位于山谷等低洼部位，堆放的尾矿砂多呈饱水状态，库尾积水以便选厂循环利用，因此，同水库一样，尾矿库运行期间，将对库岸坡体产生浸泡、坡脚冲刷等作用，库岸自然地质环境发生变化，如岩土体饱水、强度降低，使得处于平衡状态的岸坡发生破坏，破坏形式包括滑坡、崩塌、塌岸，影响因素主要有库岸形态特征、岩土体性质、冲刷作用强度等，结构松软和对水反应敏感的岩土体，往往容易产生岸坡破坏.

尾矿库建设及运营在诱发库岸滑坡的同时，还可能遭受自然滑坡灾害. 大规模库区滑坡可造成涌浪，导致污水、尾矿砂溢坝，甚至垮坝事故. 1993年，福建潘洛铁矿尾矿库库区内发生山体大规模滑坡，导致垮坝，造成14人死亡，4人重伤. 影响库岸滑坡的因素可划归为以下三类：一类是岩土体强度，如岩土体性质、结构、风化等；第二类是斜坡的形态特征，如地形坡度、人工开挖、填土等；第三类则是斜坡内应力状态，如地下水压力、堆载、地震和人工爆破等.

滑坡灾害具有突发性、危害大的特点，溃坝事故往往是先滑坡，后转化为泥石流.

3.3 塌陷

分为岩溶塌陷和构筑物破坏塌陷两类.

岩溶地区一些尾矿库利用岩溶谷地或洼地成库，尾矿库投入使用后，饱水尾矿砂一方面增加地表荷重，同时将浸泡溶洞上覆土体、改变水动力条件，引发岩溶塌陷. 库区岩溶塌陷可导致大量尾矿砂、污水进入地下岩溶系统，堵塞岩溶管道，污染岩溶地下水，而岩溶地区地下水十分脆弱，一旦污染将很难治理. 是否发生岩溶塌陷取决于地下岩溶发育特征（是否存在溶洞、管道及其开口情况）和上覆土层特征（厚度、性质）.

尾矿库为排泄上游洪水，库区下通常布设排洪管、塔、斜槽、排洪隧洞等构筑物，这些构筑物一旦破坏，将造成库区塌陷、尾矿砂泄漏，污染下游水体、土壤. 据统计，因构筑物破坏导致尾矿泄漏占尾矿库灾害的33.3%. 1994年5月10日凌晨，锦屏磷矿尾矿库一号溢流排水井顶盖突然塌落，导致库内尾矿大量外泄，库内形成直径达90 m、深约10 m的巨大塌陷坑，尾矿流失近10万m^3，冲毁下游10 km^2农田，对环境造成严重危害，直接经济损失达500万元[2]. 1988年4月陕西华县金堆城钼业公司栗西尾矿库排洪隧洞塌陷，136万m^3尾矿及尾矿水泄漏，污染陕豫两省16个县市水源，矿山直接损失3 200多万元. 这类事故的主要原因是构筑物强度、施工质量及地基不均匀沉降等.

3.4 水土污染

有色金属矿山多为共生或伴生矿，由于选矿工艺技术所限或出于经济考量，选矿厂多仅提取一种或几种金属成分，其他作为尾矿废弃，同时选矿过程要加入各种浮选药剂（有些是剧毒，如选黄金的氰化物），大量酸性、碱性、毒性和重金属滞存于尾矿库，可以说每一座尾矿库都是一个

维普资讯 http://www.cqvip.com

“毒场”. 伴随着尾矿库溃坝、泄漏（岩溶塌陷或排洪构筑物塌陷）或渗漏、非法排放、雨水冲刷等，有毒废水、尾矿砂排入下游，污染水体、土壤，导致江河、湖泊、地下水等污染，水生生物灭绝，人畜中毒. 流经广西南丹大厂矿区的刁江，一度因尾矿库污染、鱼虾绝迹，被称为“毒江”，引起国务院重视. 流失的尾矿砂堆积于耕地表层，尾矿库污染水用于农田灌溉，均可导致农业耕作层土壤污染，导致农作物减产、绝收，更为严重的是，水土污染具有长期性、隐蔽性的特点，一些农作物对某些重金属具有富集效应，污染农作物进入人类食物链，对人体健康构成极大威胁（图1）. 而农业耕作层、地下水重金属污染具有难以降解性、污染累积性、长期性、后果严重的特点，污染治理需要花费大量资金，而且是一个极其漫长的过程.

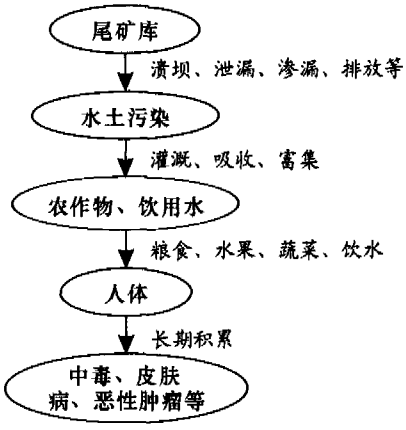


图1　尾矿库污染危害人体过程示意图

Fig. 1　Process of tailing reservoir pollution threatening human health

4　尾矿库地质灾害危险性评估要点

4.1　查明地质环境背景

通过查阅资料、现场勘察（必要时利用钻探、物探手段），对尾矿库场地的区域地形地貌、地质构造、地层、岩性、地震、气象（降雨）以及滑坡、崩塌、泥石流、岩溶发育等不良地质现象准确把握，尤其要注意对尾矿库运行构成威胁的不稳定地质体.

4.2　掌握尾矿库本身的工程特点

包括以下内容：

（1）尾矿库的规模：占地范围、堆存量、最大堆高等.

（2）尾矿坝：筑坝方式、坝高、坝体坡度、筑坝材料的物理力学性质，进行坝体稳定性评价.

（3）排洪设施：最大洪水来水量以及排洪管、渠、隧道等构筑物的分布、尺寸、材料，尤其注意排泄口位置.

（4）防渗与污水处理措施.

（5）尾矿砂及废水的主要污染物成分、浓度.

（6）尾矿库闭库后的处置方案.

4.3　把握主要地质灾害类型

地质灾害评估包括现状评估和预测评估，相对而言，预测施工期间及建成运营后可能引发或遭受的地质灾害难度较大，也更加重要. 首先要根据尾矿库所处的地质环境条件及其本身的工程特点，确定地质灾害类型，值得注意的是，确定评估区范围要考虑灾害类型及其影响范围，而后针对各种灾害的诱发、触发等致灾因素进行分析（计算）评价.

（1）泥石流：与坝高、坝前地形、尾矿砂堆存量、粒度以及含水状态、上游来水量等密切相关，必须针对上述因素进行详细勘察，预测溃坝造成泥石流灾害的可能性，并对其规模、运移路线、运行距离等作出判断，准确评估泥石流灾害的危险性.

（2）滑坡：坝体和库区滑坡的影响因素较多，包括主导因素：坝体及库岸岩土类型和性质、地质构造和岩土体结构、风化和冲刷作用、地下水活动等；触发因素，如：洪水、堆载、地震和人工爆破等，分析各因素的现状及组合特征，尤其要注意老滑坡体和滑坡危险体.

（3）塌陷：对岩溶区尾矿库，必须查清地下岩溶发育与覆盖层状况，尾矿库与地下岩溶的作用关系，必要时采用物探、钻探方法；了解排洪设施的布设，排洪构筑物的类型、施工工艺等，对发生塌陷灾害的可能性、影响范围、危害性作出准确评估.

（4）水土污染：掌握原矿石、助选剂和尾矿砂的成分及含量（重点是污染物）、可能的泄漏途径、方式与数量，预测相应的污染范围和污染物成分，结合居民区、耕地、水源地的分布关系，预测评估其危害性与危险性.

4.4　提出必要的防治措施

评估报告中要针对每一种可能发生的地质灾

维普资讯 http://www.cqvip.com

害，提出相应的防治措施，包括避让、工程加固、监测三大方面.

（1）选址尽量避开岩溶区或居民区、重要交通干线、水源地等，对泥石流等地质灾害目前有效的方法仍是避让，即在泥石流影响范围内不得有人口稠密的居民区.

（2）尾矿库勘察、设计、施工按规范进行，保证建设质量，运营前消除安全隐患.

（3）对诸如后期坝、库岸等不稳定部位采取工程、生物技术措施加固，增设必要的拦挡、防渗、废水处理设施，并说明工程内容、规模、防治对象、工程布置等相关方面.

（4）监测：地质灾害虽然是突发的，但在灾害发生前往往已有应力集中、变形错位等异常现象，借助测量仪器对这些参数进行监测，对地质灾害预报极为重要. 报告中应包括监测对象、监测方式和内容（参数）、监测点布置等.

在本文的撰写过程中，参阅了国土资源部“关于加强地质灾害危险性评估工作的通知”（2004）、国土资源部政策法规司等编写的“地质灾害防治管理办法”（2000）以及中新网、中国煤炭网、新浪网等有关文献资料，在此表示谢意！

参考文献：

[1] 徐宏达. 我国尾矿库病害事故统计分析 [J]. 工业建筑，2001，31（1）：69－71.
[2] 卜训政，张鹏程. 锦屏磷矿尾矿库泄漏事故与隐患的分析及对策 [J]. 化工矿山技术，1995（1）：59－61.
[3] 王凤江，王来贵. 尾矿库灾害及其工程整治 [J]. 中国地质灾害与防治学报，2003，14（3）：76－80.
[4] 欧自强. 金属矿山尾矿坝的溃坝事故及其它有关情况介绍 [J]. 勘察科学技术，1989（2）：30－34.
[5] 魏东岩. 矿山地质灾害分析 [J]. 化工矿产地质，2003，25（2）：89－93.
[6] 祝玉学. 尾矿库工程分析与管理 [M]. 北京：冶金工业出版社，1999.
[7] 蔡嗣经，杨鹏. 金属矿山尾矿库问题及其综合利用与治理 [J]. 中国工程科学，2000，2（4）：89－92.
[8] 李作章. 尾矿库安全技术 [M]. 北京：航空工业出版社，1996.
[9] 段永侯，罗元华. 中国地质灾害 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，1993.

Geohazard and risk assessment for tailing reservoir

LIN Yu-shan[1,2], ZHANG Wei[2]
(1. *Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*;
2. *Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin* 541004, *China*)

Abstract: As the key installation of ore dressing plants, tailing reservoir is also accident-susceptible. A tailing reservoir can be destroyed by geohazards. Severe mudflow, landslide, karst collapse, soil and water pollution come after reservoir accident such as dam failure or serious leakage. The main engineering behaviors of tailing reservoir are introduced. Major geohazards of tailing reservoir construction and operation are comprehensively studied, including types, influential or inducing factors and hazards. Key points and main problems in geohazard risk assessment for tailing reservoir are pointed out.

Key words: tailing reservoir; geohazard; risk assessment