

doi: 10.3969/j.issn.1005-7854.2023.06.013

我国尾矿库事故次生河流污染事件特征分析

边归国¹ 王翔² 陈影声² 潘文斌³

(1. 福建省生态环境厅, 福州 350003;

2. 福建省生态环境应急与事故调查中心, 福州 350003;

3. 福州大学 环境与安全工程学院, 福州 350108)

摘 要: 2000 年以来, 我国发生了多起尾矿库事故次生河流污染事件, 造成了严重的环境污染。为了有效应对尾矿库事故对河流的污染, 保障供水安全, 通过对国内 40 起尾矿库事故次生河流污染事件的综合分析, 发现主要成因为结构破坏、违法违规建设生产、自然灾害三种类型, 并具有污染物排放量大、污染范围广、污染因子多、应急处置难等特征。研究表明, 次生河流污染事件应急处置应按照“南阳实践”的思路, 建立四级防御体系。首先, 需充分利用尾矿库附近的湿地、坑塘、干枯河床等场地, 尽可能将泄漏的污染物控制在陆域, 减少入河量。其次, 构筑多级拦截坝和合理利用各种环境应急空间和设施拦截或稀释污水, 并根据污染物的种类和性质分别采取沉淀、吸附、氧化还原等方法降低拦截污水中污染物的浓度和毒性。最后, 强化下游自来水厂深度处理工艺, 最终恢复河流正常状态并保障供水安全。

关键词: 尾矿库事故; 次生污染; 河流; 特征

中图分类号: X507

文献标志码: A

文章编号: 1005-7854(2023)06-0096-07

Analysis on the characteristics of secondary river pollution events caused by tailings pond accidents in China

BIAN Guiguo¹ WANG Xiang² CHEN Yingsheng² PAN Wenbin³

(1. Fujian Provincial Department of Ecology and Environment, Fuzhou 350003, China;

2. Fujian Provincial Emergency and Accident Investigation Center of Ecology and Environment, Fuzhou 350003, China;

3. College of Environment and Safety Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Since 2000, China has experienced multiple tailings pond accidents and secondary river pollution incidents, resulting in serious environmental pollution. In order to effectively reduce the pollution of rivers caused by tailings pond accidents and ensure water supply safety, a comprehensive analysis of 40 secondary river pollution incidents caused by tailings pond accidents in China was conducted. The main causes were structural damage, illegal construction and production, and natural disasters, with characteristics such as large pollutant emissions, wide pollution range, multiple pollution factors, and difficulty in emergency response. Research has shown that emergency response to secondary river pollution incidents should follow the approach of “Nanyang Practice” and establish a four-level defense system. Firstly, it is necessary to make full use of wetlands, ponds, dry riverbed and other sites near the tailings pond, and try to control the leaked pollutants in the land area as much as possible to reduce the amount of water entering the river. Secondly, emergency response must construct multi-level interception dams and make reasonable use of various environmental emergency spaces and facilities to intercept or

收稿日期: 2023-04-26

基金项目: 福建省生态环境厅 2022 年度重点科技项目 (2022R010)

第一作者: 边归国, 教授级高级工程师, 主要研究环境风险管理与应急处置。E-mail: bbyggepb@163.com

通信作者: 潘文斌, 博士, 教授; E-mail: wenbinpan@fzu.edu.cn

dilute wastewater. Based on the types and properties of pollutants, emergency response must adopt methods such as sedimentation, adsorption, and redox to reduce the concentration and toxicity of pollutants in intercepted wastewater. Thirdly, emergency response should strengthen the deep treatment process of downstream water plants, and ultimately restore the normal state of the river and ensure water supply safety.

Key words: tailings pond accidents; secondary pollution; rivers; characteristics

2008 年底, 全国尾矿库总计为 12 655 座, 经原国家安全生产监督管理总局会同原环境保护部等多部委开展了多次尾矿库专项整治和综合治理行动, 尾矿库总数量已有所减少, 2023 年尚有 6 000 余座尾矿库^[1]。尾矿库一旦发生溃坝、泄漏, 将造成尾矿库附近的财产损失、人畜伤亡并产生严重的环境污染^[2]。美国克拉克大学 (Clark University) 的研究表明, 尾矿库灾害排在全球 93 种重大灾害中的第 18 位^[3]。郭廷亨报道我国 2001—2020 年共发生 90 余起尾矿库事故, 平均每年发生 4.5 起, 超过 Lemphers 等对全球 3 500 个尾矿库平均每年都有 2~5 个尾矿库发生溃坝的调查结果^[4]。王亚变等^[5]研究了尾矿库突发水污染事件环境应急处置措施及应用示范情况。陈思莉等^[6]和张智^[7]报道了黑龙江鹿鸣矿业尾矿库泄漏事件受污染河水应急处置工艺筛选及应急构筑 18 道拦截坝拦截污水的处置效果。目前, 我国对尾矿库的研究大多从安全生产的角度出发, 研究内容主要包括事故成因、风险应对、管理制度和安全影响评价等^[8], 较少涉及尾矿库事故次生河流污染事件特征分析, 但自 2000 年以来, 我国发生了多起尾矿库事故次生河流污染事件, 造成了严重的环境污染, 基于此, 本文通过对已发生 40 起尾矿库事故次生河流污染事件的统

计, 重点分析尾矿库事故主要成因、次生河流污染事件特征和应急处置措施, 同时借鉴生态环境部“南阳实践”经验, 全面提升尾矿库所在流域突发水环境事件应急准备和响应能力, 以期预防尾矿库事故发生以及应对次生河流污染防治提供有益借鉴。

1 研究方法

1.1 过程或步骤

收集 2000 年以来我国有关尾矿库事故次生河流污染事件的文献和新闻报道, 进行归纳统计。

1.2 分析方法

分别统计尾矿库事故发生的年份和区域, 深入分析尾矿库事故成因、次生河流污染事件特征和应急处置措施。

2 结果与讨论

2.1 尾矿库事故统计

二十多年来, 我国发生的尾矿库事故给人民生命财产造成重大损失, 对周边环境产生严重影响。本次研究涉及 18 个省、市、自治区 40 起尾矿库事故, 结果见表 1。

表 1 尾矿库事故地域和时间分布

Table 1 Regional and temporal distribution of tailings pond accidents

地点	尾矿库名称	年份	地点	尾矿库名称	年份
陕西	镇安县黄金矿业有限公司	2006	河北	赤城县大地矿业有限公司	2006
	商洛市鑫丰源矿业	2011		涞源县丽源矿业有限公司	2006
	南郑县天鸿基矿业公司	2011		宽城县京丰矿业有限公司	2007
	南郑县鑫阳矿业有限公司	2014		赤城县银达矿业有限公司	2008
	宁强县汉锌铜矿	2017		崇礼县紫金矿业公司	2009
	南郑县汉达工贸有限公司	2020		兴隆县卢春成钼选厂	2011
广西	南丹县鸿图选矿厂	2000	贵州	盘县黔桂发电有限公司	2006
	靖西县华银铝业有限公司	2012		福泉市瓮福磷肥厂	2007
	平果县中铝广西分公司	2013		铜仁市万泰锰业有限公司	2012
河南	郑州市中铝河南分公司	2014	辽宁	本溪县永安铁选厂	2007
	栾川县龙宇铝业公司	2017		海城市鼎洋矿业有限公司	2007
	洛宁县河南发恩德矿业	2018		东港市五龙金矿	2008

(续)

地点	尾矿库名称	年份	地点	尾矿库名称	年份
甘肃	西和县陇星锡业公司	2015	四川	松藩县四川岷江电解锰厂	2011
	白银市白银有色集团公司	2016		马边县南方矿业有限公司	2011
云南	鹤庆县云南地矿股份公司	2008	山西	繁峙县宝山铁矿	2007
	勐海县热水塘金矿	2013		襄汾县新塔矿业有限公司	2008
吉林	延边晨鸣纸业有限公司贮灰库	2006	广东	信宜市紫金矿业公司	2010
青海	兴海县索拉沟铜多金属矿	2014	浙江	丽水市大金庄矿业公司	2014
新疆	阿勒泰市金鑫铅锌矿业	2016	湖北	大冶市绿山铜铁矿	2017
黑龙江	伊春市鹿鸣矿业有限公司	2020	湖南	郴州市北湖区云南锡业郴州矿冶公司	2015

按发生尾矿库事故的省、自治区地域统计：陕西 6 起、河北 6 起、广西 3 起、贵州 3 起、河南 3 起、辽宁 3 起、甘肃 2 起、四川 2 起、云南 2 起、山西 2 起、吉林 1 起、广东 1 起、青海 1 起、浙江 1 起、新疆 1 起、湖北 1 起、黑龙江 1 起、湖南 1 起，其中陕西和河北发生的尾矿库事故各 6 起，发生的频次高于其它省、自治区，必须引起当地政府及相关部门的高度重视。

按时间分布：2000 年 1 起、2006 年 5 起、2007 年 5 起、2008 年 4 起、2009 年 1 起、2010 年 1 起、2011 年 5 起、2012 年 2 起、2013 年 2 起、2014 年 4 起、2015 年 2 起、2016 年 2 起、2017 年 3 起、2018 年 1 起、2020 年 2 起，其中 2006 年、2007 年和 2011 年发生的尾矿库事故各 5 起，多于其它年份。近年来，由于各地加强了对尾矿库的风险管理，尾矿库事故有下降的趋势。

2.2 事故主要成因

统计分析发现，尾矿库事故主要成因分别为结构破坏、违法违规建设生产、自然灾害三种类型。

2.2.1 结构破坏

尾矿库发生破坏的结构有排洪管(涵洞、槽)、溢流管(井)和矿浆输送管等。由于结构破坏引发的尾矿库事故有 11 起，占 27.5%。

1)排洪管(涵洞、槽)破坏。山西繁峙县宝山铁矿尾矿库排洪管断裂；河北宽城县京丰矿业有限公司泄洪沟排水斜槽变形；陕西商洛市鑫丰源矿业排洪涵洞平盖板、断裂；贵州铜仁市万泰锰业有限公司导洪管破裂；陕西南郑县汉达工贸有限公司泄洪槽顶部盖板局部坍塌。

2)溢流管(井)破坏。河北赤城县银达矿业有限公司溢流涵管爆裂；辽宁东港市五龙金矿溢洪管破裂；辽宁本溪县永安铁选厂溢流管道破裂；河南洛宁县河南发恩德矿业溢流井底部拱板发生侧漏；黑龙江伊春市鹿鸣矿业有限公司溢流井发生泄漏^[6]。

3)矿浆输送管破坏。甘肃白银市白银有色集团公司矿浆输送管道破裂。

造成结构破坏的原因主要是未按设计施工、监督不到位、超过涵管抗压等^[5]。尾矿库单位应严格按照设计施工，强化日常管理，做好定期巡检，及时发现事故并妥善处理。

2.2.2 违法违规建设生产

违法违规建设生产的主要原因有违规建设运行、违规扩容和违规施工。由于违法违规建设生产引发的尾矿库事故有 10 起，占 25%。

1)违规建设运行。广西南丹县大厂镇鸿图选矿厂违规建设、带病运行；云南鹤庆县云南地矿股份公司未进行防渗处理，擅自违法生产；广西靖西县华银铝业有限公司配套建设的环境保护设施未经验收；青海兴海县索拉沟铜多金属矿尾矿废水进入已蓄满尾矿砂的尾矿库，溢出尾矿库初期坝；浙江丽水市大金庄矿业公司尾矿库水位过高、干滩长度严重不足；山西省襄汾县新塔矿业有限公司新塔矿区违法违规生产。

2)违规扩容。陕西镇安县黄金矿业有限公司多次违规加坝扩容；辽宁海城市鼎洋矿业有限公司违法加高、坝体开裂。

3)违规施工。吉林延边晨鸣纸业有限公司未按自备电厂灰渣库的设计，自行采用其他材料在排水立井顶部实施了封堵；甘肃西和县陇星锡业公司排水井拱板未按照设计要求进行安装施工、质量未达到设计要求造成拱板破损脱落形成缺口^[9]。

这些案例表明，尾矿库业主需进一步强化和压实安全生产主体责任。同时生态环境、应急和自然资源等部门应加强联合执法，切实履行监督职能，严惩违规者，以减少尾矿库事故的发生。

2.2.3 自然灾害

造成尾矿库事故主要自然灾害原因有暴雨、地震等。由于自然灾害引发的尾矿库事故有 10 起，

占 25%。

1)暴雨引发。广东信宜市紫金矿业^[10]、河北赤城县大地矿业有限公司、河北兴隆县卢春成钼选厂、河南郑州市中铝河南分公司、新疆阿勒泰市金鑫铅锌矿业、陕西宁强县汉锌铜矿、四川岷江电解锰厂锰渣库、湖南省郴州市云南锡业郴州矿冶有限公司、四川马边县南方矿业有限公司等。

2)地震引发。广西平果县中铝广西分公司地震引发岩溶塌陷排泥库局部防渗结构破坏。

应对自然灾害的影响，应加强尾矿库安全与环境风险隐患检查并建立尾矿库三级防控体系，在尾矿库初期坝下建有足够容量的事故池，将泄

漏废水收集，经处理后循环使用。借鉴生态环境部“南阳实践”经验，在尾矿库下游河道支流设计并建造拦截吸附坝、滞污塘，全面提升尾矿库所在流域突发水环境事件应急准备和响应能力，达到消除或减轻污水对下游河水及环境敏感点的污染影响。

2.3 次生河流污染事件特征分析

2.3.1 污染物排放量

次生河流污染事件中的污染物排放量一般远大于企业污水事故排放量，而巨大的污染物排放量致使河流的应急处置异常困难。部分尾矿库事故污染物排放量见表 2。

表 2 部分尾矿库事故污染物排放量

Table 2 Pollutant emissions from some tailings pond accidents

排放量范围/ m^3	尾矿库污染物排放量
$\leq 0.1 \times 10^4$	云南勐海县热水塘金矿尾矿库 50 m^3 四川岷江电解锰厂锰渣库含锰约 50 m^3 和氨氮 100 m^3 四川马边南方矿业公司磷精矿洗选厂约 200 m^3 甘肃白银有色集团公司选矿 250 m^3 河北赤城县银达矿业公司铁矿尾矿库 500 m^3 陕西商南县鑫阳矿业公司约 800 m^3
$> 0.1 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^4$	陕西商洛的鑫丰源矿业公司柿沟尾矿库 $1\,500 \text{ m}^3$ 河北赤城县大地矿业公司尾矿库 $2\,000 \text{ m}^3$ 新疆阿勒泰市金鑫铅锌矿业有公司尾矿库 $3\,600 \text{ m}^3$ 河北涞源县丽源矿业公司尾矿库 $4\,000 \text{ m}^3$ 河北崇礼县紫金矿业公司东坪尾矿库约 $4\,000 \text{ m}^3$ 云南鹤庆县云南地矿资源公司北衙分公司金矿尾矿库 $5\,040 \text{ m}^3$ 。
$> 1.0 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$	广西南丹县鸿图选矿厂 $1.43 \times 10^4 \text{ m}^3$ 河北宽城满族自治县京丰矿业公司铁矿尾矿浆 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 河北兴隆县的卢春成钼选厂 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 浙江丽水市浙江大金庄矿业公司约 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 湖南省郴州市北湖区境内的云南锡业郴州矿冶有限公司尾矿库 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 甘肃西和县陇星锑业尾矿库 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 陕西南郑县天鸿基矿业公司尾矿库约 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ 河南洛宁县河南发恩德矿业公司铅锌尾矿砂约 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 贵州福泉市宏福公司瓮福磷肥厂磷石膏渣场 $9 \times 10^4 \text{ m}^3$
$> 10 \times 10^4$	1、陕西镇安县黄金矿业公司 $12 \times 10^4 \text{ m}^3$ 2、辽宁东港市五龙金矿尾矿库 $12\text{--}13 \times 10^4 \text{ m}^3$ 3、山西省襄汾县新塔矿业有限公司新塔矿区尾矿库 $26.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 4、贵州盘县贵州黔桂发电公司大沙坝灰场 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 5、辽宁海城鼎洋矿业公司约 $54 \times 10^4 \text{ m}^3$ 6、黑龙江伊春市鹿鸣矿业公司 $253 \times 10^4 \text{ m}^3$ 7、陕西南郑县汉达工贸有限公司 $700 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

统计结果表明：尾矿库事故次生河流污染事件最显著的污染特征之一就是排放量大，排放量 $\leq 0.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 有 6 起，污染物排放量 $> 0.1 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 有 6 起，污染物排放量 $> 1.0 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 有 9 起，污染物排放量 $> 10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 有 7 起。其中 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上的共 16 起，占总数的

40%。残酷的事实警示我们，必须加强对尾矿库的管理，防止尾矿库事故尤其是重特大事故的发生。

2.3.2 污染范围广

绝大多数尾矿库事故均不同程度地造成河流污染，其影响范围从下游几百米至几百公里不等。40 个案例统计结果表明，广西南丹县鸿图选

矿厂垮坝事件影响距离相对较小,其尾矿浆影响范围约 700 m;其次是陕西商南县鑫阳矿业公司事件,其尾矿泥浆造成木家垭河约 3 km 河流污染。污染范围较大的案例有:1)四川阿坝松潘县岷江电解锰厂渣库决口造成下游 200 km 河道的重金属离子污染,同时导致绵阳城区 30 万人口近二个月依靠桶装矿泉水生活。2)黑龙江伊春市鹿鸣矿业公司钼矿尾矿库事故造成依吉密河至呼兰河约 340 km 河道钼浓度超标。3)甘肃西和县

陇星铋业尾矿库事件造成甘肃、陕西、四川三省 346 km 河流污染。

2.3.3 污染因子多

尾矿库事故次生河流污染事件产生的污染因子多,主要来源于尾渣和尾水中所含颗粒物、悬浮物以及尾矿库储存尾矿中的各种污染物。统计表明,尾矿库事故次生河流污染事件常见污染因子为重金属,其次为磷、氟、氰化物、氨氮和粉煤灰,具体见表 3。

表 3 部分尾矿库事故次生河流污染事件污染因子

Table 3 Pollution factors of secondary river pollution events caused by some tailings pond accidents

序号	尾矿库	污染因子
1	黑龙江伊春市鹿鸣矿业公司	钼
2	陕西宁强县汉锌铜矿尾矿库	铊
3	甘肃陇星铋业	铋
4	湖北大冶市绿山铜铁矿	铜、铁
5	河南发恩德矿业公司	铅、锌
6	新疆阿勒泰市金鑫铅锌矿业	铅、锌
7	陕西南郑县天鸿基矿业公司	铅、锌
8	青海兴海县索拉沟铜多金属矿	铜等重金属
9	贵州省铜仁市万泰锰业公司	锰
10	四川岷江电解锰厂	锰、氨氮
11	湖南省郴州市云南锡业郴州矿冶有限公司	锌、砷
12	河北崇礼县紫金东坪尾矿库	氰化物
13	辽宁东港市五龙金矿	氰化物
14	四川马边南方矿业公司	磷
15	贵州福泉市瓮福磷肥厂	磷、氟
16	浙江丽水市大金庄矿业公司	氟
17	吉林延边晨鸣纸业公司贮灰库	粉煤灰

2.3.4 应急处置难

尾矿库事故次生河流污染事件发生后,其应急处置的一般程序为:1)切断污染源;2)应急拦截;3)技术降污;4)水利调度;5)饮水保障;6)河道清污。2018 年 1 月河南省南阳市发生跨省转移危险化学品倾倒入河的环境污染事件,生态环境部和河南省政府组织力量通过迅速筑坝拦水,果断截污处置,修建 80 万立方米“临时应急池”,成功阻断污染物扩散,受污染水体得到及时处理并达标排放,下游饮用水水源地丹江口水库免受污染。为了更好地指导各地有效应对河流污染事件,生态环境部把“以空间换时间,以时间保安全”思路称为“南阳实践”,并颁发《流域突发水污染事件环境应急“南阳实践”实施技术指南》(简称《“南阳实践”指南》),要求各省生态环境部门要认真落实“找空间、定方案、抓演练”三个环节任务。《“南阳实践”指南》中应急空间类型有引水式电站、湿地、

干枯河床、江心洲型河道、引水管道、坑塘、排水管道、连通水道、多级拦截坝和水库等十种类型。

2.3.4.1 切断污染源难

由于尾矿库事故瞬间排放成千上万吨的尾渣、尾水,无法在事故发生初期将污染源封堵。最有效的方法是利用湿地(包括人工湿地)、干枯河床和坑塘暂存尾渣、尾水,尽量减少污染物进入河流,保护饮用水源地和水产养殖等敏感目标。王亚变等报道了在陇星铋业尾矿库泄漏事件中通过及时封堵溢流井以防止溢流井内尾矿浆持续外排的源头封堵措施^[5]。

2.3.4.2 应急拦截工程量大

在污染物入河往下游迁移的过程中,由于河流汇水量不断增加,导致应急拦截工程量大。黑龙江鹿鸣矿业尾矿库泄漏事件处置过程中,应急构筑 18 道拦截坝。陇星铋业尾矿库事故次生河流污染事件应急处置中在两条河的干流、支流上建设拦水

坝 198 座,共拦截污染水体 $385 \times 10^4 \text{ m}^3$ [9]。

2.3.4.3 技术降污复杂度高

技术降污需多部门联动,由于参与人员众多加之现场组织和具体任务相互交错,考虑到应急现场水陆环境复杂,因此协同配合难度较大。投放药剂是现场应急技术降污的主要方式,由于河流水动力及污染物迁移特征的变化,导致采用技术降污存在较大的不确定性,具体投放药剂类型和用量需根据现场实际情况不断调整,陈思莉等研究提出,对于受到金属和类金属污染的水体一般采用化学混凝沉淀法进行处置,对于受到有机物污染水体可采用吸附法进行处理;对于某些挥发性有机物可采用吹脱法去除 [11]。环境保护部环境应急指挥领导小组办公室编写的《突发环境事件典型案例选编(第一辑)》报道了在应急处置中需根据镉不同浓度分别采用弱酸性铁盐混凝沉淀法、硫化钠+聚合硫酸铁、氢氧化钠+聚合硫酸铁等投药降污以取得较好的去除效果。辽宁五龙黄金矿业有限责任公司尾矿库事故含氰化物尾矿浆泄漏量达 $10 \times 10^4 \text{ t}$,含氰化物尾矿渣为 1 000 t,氰化物为 3.74 t。事故发生后,在金矿尾矿坝溢流与渗流的汇合水中投加 10% 的 NaClO 和 NaOH 混合溶液,在尾矿坝-蓄水库河段筑拦截坝中适量投加漂白粉以保障饮用水安全 [12]。张智报道了在鹿鸣矿业尾矿库事故次生河流污染事件处置中设置 15 个药剂投放点,分河段投药,分区域沉降,投放聚丙烯酰胺药液、聚合氯化铝对水体中矿砂实施絮凝沉降处理,投放聚合硫酸铁药液对水体中钼实施控污降害处理 [7]。

2.3.4.4 水利调度需精准

水利调度能在短期内降低污染物浓度或限制污染范围,是处置突发性水污染事件的重要手段,但其过程需精准施策、科学调度。通过河道投药和调水稀释两个措施,广西龙江河突发环境事件实现了把污染水团控制在龙江河河段范围内、下游柳江镉浓度不超标的控制目标要求,其中龙江河糯米滩电站放流量 $80 \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$,融江大埔电站放流量约 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ [13]。边凯旋等研究表明通过充分发挥上游水库的调水稀释作用,加强上游水库的下泄流量准确调度情况下可实现下游不同位置的污染物浓度达标 [14]。

2.3.4.5 饮水保障工艺复杂

尾矿库事故次生河流污染事件发生后,下游自来水厂在污染能够通过自有处理工艺达标的前提下,尽量不停止供水,以减少对居民用水和社会经

济活动的影响。除了实施取水口围栏、过滤等应急处置措施外,还可以根据污染物的理化特征采用絮凝/混凝沉淀、氧化还原、砂滤、活性炭吸附等深度处理工艺,并择机启动备用水源,通过供水系统调配供水,以达到及时恢复取水和供水的目标。邝永鑫等报道了水厂在酸性条件下采用硫酸聚铁沉降法除镉的方法,原水镉浓度最高达 0.0167 mg/L ,经处理后出厂浓度稳定在 0.004 mg/L 以下 [9]。

2.3.4.6 河道清污修复工程投入大

尾矿库事故次生河流污染事件发生后,含有污染因子的尾渣和尾水进入下游河流,并随河流向下游迁移,河道清污修复工程要消耗大量的人力、物力、财力和时间。甘肃西和县陇星铋业尾矿库铋污染事件经过 71 天应急处置,受污染河道才全线达标,应急处置期间总清污量约 13 700 t,其中河道及重点区域清运尾砂约 2 600 t,清理河道砂石和淤泥混合物等约 11 100 t [9]。黑龙江鹿鸣矿业尾矿库泄漏事件投入各类救援人员 10 000 余人,各类救援车辆及工程机械 1 511 台套。

3 结论

1) 尾矿库事故主要成因为结构破坏、违法违规建设生产、自然灾害三种类型。

2) 尾矿库事故次生河流污染事件特征主要表现为污染物排放量大、污染范围广、污染因子多、应急处置难。尾矿库事故次生河流污染的应急处置应按照“南阳实践”的思路,建立四级防御体系:(1)收储,即充分利用尾矿库附近的湿地、坑塘、干枯河床等场地,尽可能将泄漏的污染物控制在陆域,减少入河量。(2)拦截,即合理利用已有的引水式电站、江心洲型河道、连通水道和水库实施拦截,也可以选择有条件的河段构筑多级拦截坝,层层围堵污染团。(3)削污,即根据污染物的理化性能,对拦截的污染团进行吸附、絮凝沉淀、氧化还原等处置,有效减少污染物浓度直至达到相应的国家水质标准。(4)确保饮水安全,即在取水口附近设置隔离、过滤、吸附网,尽量降低污染物浓度,同时强化自来水厂深度处理工艺,保障供水安全。

3) 企业和政府有关部门应高度重视尾矿库,严格按《尾矿库污染隐患排查治理工作指南(试行)》和《尾矿库环境应急管理工作指南(试行)》规定,采取有效措施,防患于未然,尽最大可能防止突发环境事件扩大、升级,最大限度地降低对环境的损害。

参考文献

- [1] 张锦峰, 宋志飞, 耿闻泽. 我国尾矿库数量事故统计分析和防范[J]. 现代矿业, 2023, 39(3): 6-9.
ZHANG J F, SONG Z F, GENG W Z. Statistical analysis and prevention of the tailings pond quantity accidents in China [J]. Modern Mining, 2023, 39(3): 6-9.
- [2] GEORG V, OLIVER K, ARIANE W. Hazard from Himalayan glacierlake outburst floods [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2020, 117(2): 76-80.
- [3] 李学民. 尾矿库突发事件的处置与经验[J]. 有色金属(矿山部分), 2010, 62(6): 39-41, 59.
LI X M. Disposal and experience for tailing pond emergency[J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2010, 62(6): 39-41, 59.
- [4] 郭廷亭, 赵周能. 我国尾矿库事故致灾机理分析及防范对策[J]. 化工矿物与加工, 2022, 51(4): 31-34.
GUO T T, ZHAO Z N. Mechanism analysis of disaster caused by failure of tailings pond and its precautions[J]. Industrial Minerals & Processing, 2022, 51(4): 31-34.
- [5] 王亚变, 薛丽洋, 刘佳, 等. 尾矿库突发水污染事件环境应急处置措施及应用示范[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(4): 541-545.
WANG Y B, XUE L Y, LIU J, et al. Measures and application of environmental emergency treatment for sudden water pollution incidents in tailing pond[J]. Environmental Pollution & Control, 2022, 44(4): 541-545.
- [6] 陈思莉, 常莎, 黄大伟, 等. 3·28 黑龙江鹿鸣矿业尾矿库泄漏事件受污染河水应急处置工艺筛选及处置效果[J]. 环境工程学报, 2021, 11(9): 2895-2903.
CHEN S L, CHANG S, HUANG D W, et al. Development and application of emergency treatment process for polluted river water caused by leakage of tailing pond of Luming mining in Heilongjiang Province on March 28 [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 11(9): 2895-2903.
- [7] 张智. 消防救援队伍参加尾矿库泄漏事故处置探讨[J]. 消防科学与技术, 2020, 39(11): 1589-1592.
ZHANG Z. Study on the fire and rescue team participating the handling of tailings dams leakage accident[J]. Fire Science and Technology, 2020, 39(11): 1589-1592.
- [8] 张家荣, 刘建林. 中国尾矿库溃坝与泄漏事故统计及成因分析[J]. 中国铝业, 2019, 43(4): 10-14.
ZHANG J R, LIU J L. The statistics and causes of dam break and leakage in Chinese tailings pond[J]. China Molybdenum Industry, 2019, 43(4): 10-14.
- [9] 邴永鑫, 卓琼芳, 黄大伟, 等. 某尾矿库泄漏次生突发水环境锡污染事件的应急处置[J]. 环境工程学报, 2021, 15(9): 2888-2894.
BING Y X, ZHUO Q F, HUANG D W, et al. Emergency disposal of a sudden water environmental accident with antimony pollution caused by leakage of tailings pond[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(9): 2888-2894.
- [10] 姜清辉, 胡利民, 林海. 尾矿库溃坝研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(4): 77-86.
JIANG Q H, HU L M, LIN H. Advances in Research of tailings dam failures[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2017, 37(4): 77-86.
- [11] 陈思莉, 黄大伟, 张政科. 流域突发水污染事件应急处置工程削污技术. [J]. 环境工程学报, 2021, 15(7): 2233-2238.
CHEN S L, HUANG D W, ZHANG Z K, et al. Pollution reduction technologies for emergent water pollution disposal in river basins[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(7): 2233-2238.
- [12] 焦杨, 傅金祥, 周东旭. 水库受氰化物污染的应急处理措施及经验[J]. 中国给水排水, 2011, 27(6): 29-32.
JIAO Y, FU J X, ZHOU D X. Emergency measures and experience of cyanide pollution incident in reservoir[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(6): 29-32.
- [13] 张晓健, 陈超, 米子龙, 等. 饮用水应急除镉净水技术与广西龙江河突发环境事件应急处置[J]. 给水排水, 2013, 39(1): 24-32.
ZHANG X J, CHEN C, MI Z L, et al. Emergent cadmium removal technology for drinking water and measures for environmental accident in Guangxi Longjianghe River [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(1): 24-32.
- [14] 边凯旋, 黄强, 杨元园, 等. 河流突发水污染事件的水库应急调度流量研究-以珠江上游红水河为例[J]. 人民珠江, 2020, 41(5): 55-60.
BIAN K X, HUANG Q, YANG Y Y, et al. Research on reservoir emergency dispatching under sudden water pollution incident—A case study of Hongshui River in the upper reaches of the Pearl River[J]. Pearl River, 2020, 41(5): 55-60.

(编辑: 王爱平)