

Prevention Measures of Groundwater Pollution in a Closed Tailing Reservoir

Shukai Fan, Li Li, Shuang Song

BGRIMM Technology Group, Beijing
Email: fanshukai@bgrimm.com

Received: Aug. 1st, 2020; accepted: Aug. 21st, 2020; published: Aug. 28th, 2020

Abstract

The non-ferrous metal tailing reservoir covers a large area and the storage of tailings is large, if the tailing reservoir is not closed according to the design requirements when service ending period, the pollution factors contained in the tailings leaching solution carried by the tailings reservoir may polluted the regional groundwater. In this paper, we take a closed tailing reservoir of gold mine as an example, according to the environmental status survey and regional hydrogeological data to find out the groundwater pollution around the tailings pond, put forward the prevention and control measures of groundwater pollution, including multi-layer barrier on the pond surface, improvement of rainwater and flood drainage system of the pond and new vertical cut-off wall for groundwater, achieving the source control and contaminant plume control of groundwater pollution.

Keywords

Closed Tailing Reservoir, Groundwater Pollution, Prevention Measures, Vertical Cut-Off Wall

闭库尾矿库地下水污染防控措施

范书凯, 李莉, 宋爽

矿冶科技集团有限公司, 北京
Email: fanshukai@bgrimm.com

收稿日期: 2020年8月1日; 录用日期: 2020年8月21日; 发布日期: 2020年8月28日

摘要

由于有色金属尾矿库占地面积、尾矿堆存量一般较大, 服务期满如果没有按照设计要求闭库, 尾矿库承载

的尾矿浸出液中含有的污染因子可能渗漏污染区域地下水。本文以某金矿闭库尾矿库为例,根据尾矿库环境现状调查、区域水文地质资料,查明尾矿库周边地下水污染状况,提出采取库面多层阻隔、完善库区雨洪水导排系统和新建地下水垂直防渗墙的地下水污染防治措施,实现对地下水污染源的源头和污染羽控制。

关键词

闭库尾矿库, 地下水污染, 防控措施, 垂直防渗墙

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

尾矿库是指筑坝拦截谷口或围地构成的,用以堆存金属或非金属矿山进行矿石选别后排出尾矿或其他工业废渣的场所,是矿山开采活动中重要的环境保护设施之一[1]。我国目前尾矿库种类复杂、数量繁多、分布广泛,截至2019年,全国共有尾矿库9884座,其中正常生产的3394座,占总数的34.34%,已经闭库的1615座,占总数的16.34%。

然而,随着尾矿逐年积累,尾矿库会转变为潜在的污染源,特别是一些服务期满已闭库的有色金属尾矿库,由于前期对尾矿库防渗要求不高、没有按照设计要求闭库,尾矿库承载的尾矿浸出液中含有的污染因子通过渗漏进入地下水含水层,将通过食物链严重危害人类健康,威胁矿区的生态安全[2]。由地下水污染的复杂性、隐蔽性等特点,决定了地下水污染更不易察觉,污染的治理也更加困难,有时甚至是不可能恢复的,因而开展地下水污染的调查,掌握污染情况,完善污染修复技术,制定实施地下水污染预防防控措施势在必行[3][4][5][6]。针对地下水污染的影响防治措施,主要可分为源头控制、过程控制与末端控制。对于污染物源头长期存在的污染场地,需采取源头控制措施;针对污染物以自由相形式或介质吸附的形式长期存在于地下水含水层,防治措施的重点是减缓携带污染物的地下水渗流速率,降低污染物迁移途径中渗透介质的渗透系数和水利坡度;末端控制措施采取分区防渗,重点污染防治区、一般污染防治区和非污染防治区防渗措施有区别的防渗原则[7][8][9][10]。

本文以某已闭库尾矿库为例,根据尾矿库环境现状调查、区域水文地质资料和水文地质试验,查明尾矿库周边地下水污染状况、主要污染因子及污染源强。通过分析,提出针对该尾矿库切实可行的地下水污染防治措施。

2. 尾矿库概况及区域水文地质条件

2.1. 尾矿库概况

该金矿尾矿库位于山谷沟口,设计总库容为92万 m^3 ,占地0.081 km^2 。尾矿库采用干式排放,初期坝坝高16.5m,坝顶宽7m,坝顶长83m。为减少库内汇水,尾矿库两侧修筑排水沟,拦截山坡上雨水同时排出坝面,库内采用排水斜槽-排水井-排水涵管联合方式进行雨水导流和防洪。

2016年,该尾矿库尾矿堆存总量约75万 m^3 ,堆高46m,满足尾矿库闭库条件。根据尾矿库闭库工程设计,对初期坝及堆积坝设置马道排水沟、堆积坝外坡进行回填、削坡、夯实整平后进行覆土种草护坡、库内沉积滩面按一定坡比进行整平后覆土种草。在坝体坡脚处设置55m长的混凝土钢筋结构截渗墙,

防止渗滤液渗漏后污染下游地下水环境。

2.2. 区域地质及水文地质概况

尾矿库所在地属西秦岭山系陇南山地低中山区。尾矿库三面环山，库区地形东高西低，沟谷近东西方向，沟口较窄。尾矿库区域地层主要为第四系全新统冲积物、坡积物及板岩，库区未见断层发育，地层相对稳定。尾矿库区含水层主要为第四系松散岩类孔隙潜水，赋存于沟内第四系松散覆盖层中，接受大气降水补给。地下水主要经松散孔隙系统、沿地表水流向及两岸向河床，由地势较高的位置向地势较低的位置迳流，主要以潜流形式补给基岩裂隙地下水、泉及蒸发等形式排泄。

3. 尾矿库环境现状调查

为了解该尾矿库库区周边地下水环境质量情况，对尾矿库上、下游 3 口观测井进行取样分析(图 1)。由于尾矿库堆存的为采用全泥氰化工艺产生的尾矿，其特征污染物为氰化物，因此主要对地下水中氰化物进行分析。尾矿库上游 2 口监测井中(GW1 和 GW2)氰化物浓度分别为 0.056 mg/L 和 0.06 mg/L，下游监测井中(GW3)氰化物监测浓度为 0.61 mg/L。

根据监测结果可知，尾矿库下游地下水中氰化物浓度远高于上游氰化物浓度，说明该尾矿库防渗及截渗墙未完全起到作用。

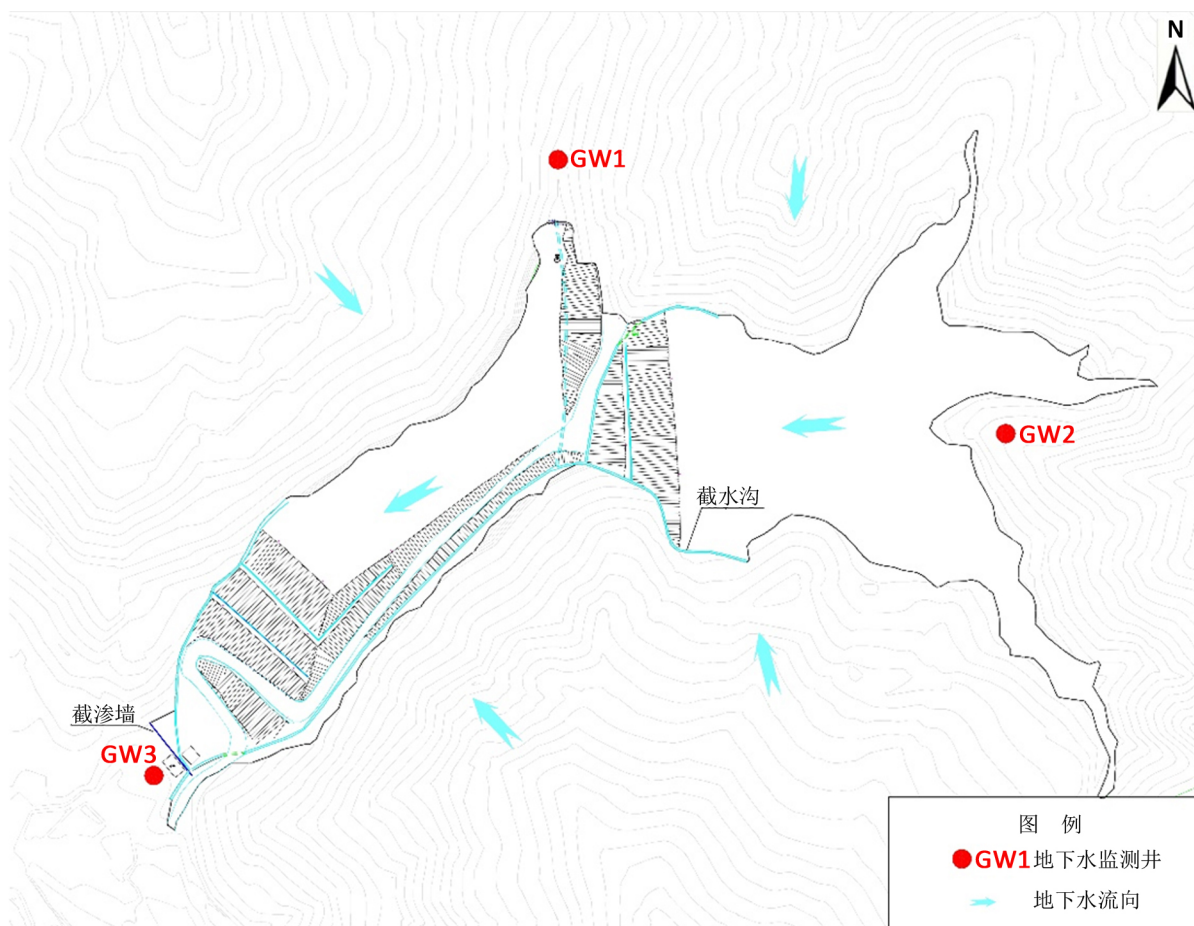


Figure 1. Sketch map of groundwater monitoring

图 1. 地下水监测示意图

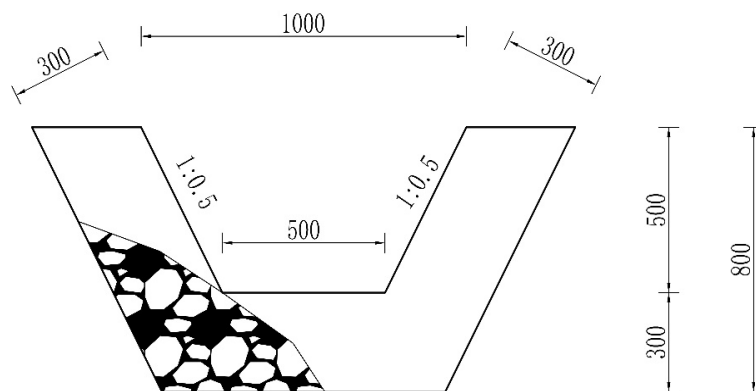
4. 地下水污染防控措施

目前对地下水污染的防控措施主要包括：污染源的控制和污染羽的控制。其中污染源控制包括污染源去除和污染源控制；污染羽控制包括水动力控制和地下水阻滞、拦截系统[11]。

全泥氰化工艺产生的尾矿为危险废物，根据《危险废物填埋污染控制标准》，闭库时应采取封场设计并且渗透系数小于 1.0×10^{-7} cm/s。该尾矿库 2016 年闭库时没有严格按照闭库设计采取防渗措施，库面仅按一定坡比进行整平后覆土种草，因此该尾矿库应根据设计要求重新做封场。同时，根据地下水环境质量现状调查结果，该尾矿库现有截渗墙没有达到效果，造成尾矿库下游地下水中氰化物浓度远高于上游氰化物浓度，需新建截渗墙。因此根据尾矿库存在问题及库区水文地质条件，提出采取库面多层阻隔、完善库区雨洪水导排系统和新建地下水垂直防渗墙的地下水污染防控措施，实现对地下水污染源的源头和污染羽控制。

4.1. 完善雨洪水导排系统

该尾矿库现状只有部分截洪沟，大气降水进入尾矿库区，增加了尾矿库渗滤液收集量。因此需要根据地形计算处置尾矿库汇水面积，在没有设置截洪沟位置沿尾矿库边缘设永久截洪沟，与现有截洪沟联通，排出场区外的降水。截洪沟采用浆砌块石明渠铺砌，断面尺寸为 $(1.0 + 0.5) \times 0.5$ m，厚 0.3 m，纵坡降 1%~3%，截洪沟断面见图 2。配套建设防排渗系统、回水设施，形成场外雨、洪水截留和场内雨、洪水导排的复合型雨水导排及防洪系统，实现库区的清污分流。



截洪沟断面图

比例：1:20

Figure 2. Sketch map of cut-off ditch section
图 2. 截洪沟断面示意图

4.2. 尾矿库库面物理阻隔

参照《危险废物填埋污染控制标准》，闭库尾矿库库面物理阻隔由下至上应依次为表面复合衬层、表面水收集排放层、植被层(图 3)。

1) 表面复合衬层

尾矿库库面平整后铺设厚度 ≥ 30 cm 的黄土，然后在上面铺设厚度 ≥ 1 mm、渗透系数 $\leq 1.0 \times 10^{-12}$ cm/s 的高密度聚乙烯膜(HDPE)。

2) 表面水收集排放层

复合衬层上面铺设一层厚度 ≥ 20 cm 小卵石，作为表面水收集排放层。

3) 植被层

在表面水收集排放层上覆盖 60 cm 厚的表土，营造植物生长的土壤环境，进行生态恢复，从而实现尾矿库区域生态环境的恢复。植被层还能有效控制水土流失，缓解雨水的直接淋溶，在源头上削减了污染物的排放。

4.3. 地下水垂直防渗墙

根据地质、水文地质条件，在尾矿库现有截渗墙外侧新建地下水垂直防渗墙，截渗墙长约 100 m，两侧深入山体基岩中，防止地下水绕过左、右两侧岩体向下游渗漏(图 3)。截渗墙采用“上墙下幕”施工方案，深度进入中风化基岩 1.0 m，帷幕灌浆深度进入微风化 1.5 m，渗透系数不大于 1.0×10^{-7} cm/s。

为了预防截渗墙完工后地下水在截渗墙和初期坝之间汇集，造成地下水水位抬升而影响坝体安全，在截渗墙内设置 2 口抽水井，并配备自动抽提装置，当水位达到设定值后，水泵自动开启将水抽至现有的渗滤液处理池，通过管线输送至选厂回用。在截渗墙下游设 1 口地下水长期监测井，以观测尾矿库为下游地下水的影

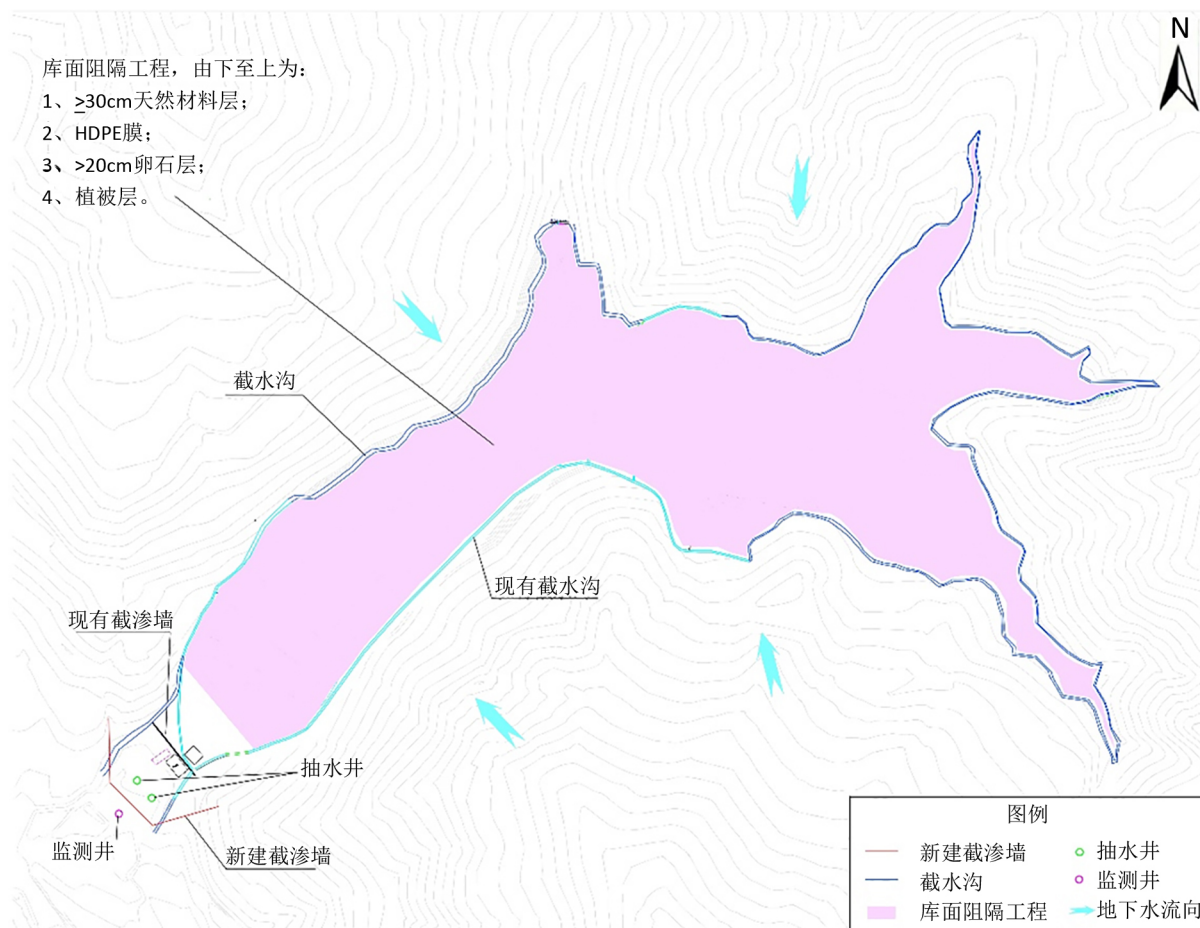


Figure 3. Sketch map of prevention and control of groundwater pollution

图 3. 地下水污染防治示意图

4.4. 应用效果分析

该尾矿库地下水污染治理措施于 2019 年 12 月全部完成后,对尾矿库下游地下水监测井取样检测,地下水中氰化物浓度为 0.059 mg/L,而采取措施前下游监测井中氰化物浓度为 0.61 mg/L。将采取措施前后的氰化物浓度对比发现,氰化物浓度下降了 90.3%,说明该尾矿库采取的地下水污染控制效果十分显著。

5. 结论和建议

5.1. 结论

1) 服务期满已闭库的有色金属尾矿库,因前期尾矿库防渗要求不高、没有按照设计要求闭库,可能对尾矿库区域地下水环境产生影响。由于有色金属尾矿库占地面积、尾矿堆存量一般较大,采取单一的污染源控制或污染羽控制措施难以达到有效的地下水污染防控目的。

2) 根据尾矿库环境现状调查、区域水文地质资料和水文地质试验,查明尾矿库周边地下水污染状况,提出采取污染源控制控制和污染羽控制相结合的地下水污染防控措施。

3) 该尾矿库采取污染源控制控制和污染羽控制相结合的地下水污染防控措施后,地下水中特征污染物氰化物的浓度下降了 90.3%,说明该尾矿库采取的地下水污染控制达到了污染物的防控效果。

5.2. 建议

建议企业在设置地下水监测井的基础上,建立对尾矿库区地下水水位、水质的长期监测和地下水污染预警技术体系,为尾矿库实际状态的判断提供依据,及时采取相应的地下水环境保护措施。

基金项目

国家重点研发计划项目资助(编号:2018YFC1801702)。

参考文献

- [1] 梁小丽. 浅谈尾矿库环境污染隐患及防治对策[J]. 环境科学导刊, 2011(3): 71-73.
- [2] 张越男. 大宝山尾矿库区地下水重金属污染特征及健康风险研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [3] 尹秀贞. 地下水污染特征及其修复技术应用探析[J]. 地下水, 2018, 40(1): 73-75.
- [4] 高赞东. 我国地下水污染保护存在的问题及治理研究[J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2014, 35(S1): 96-98.
- [5] 赵勇胜. 地下水污染场地风险管理与修复技术筛选[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012(5): 207-214.
- [6] 马昊晔. 地下水的污染特点及防治措施探讨[J]. 环境与发展, 2018, 30(3): 49-50.
- [7] 席北斗, 李娟, 汪洋, 等. 京津冀地区地下水污染防治现状, 问题及科技发展对策[J]. 环境科学研究, 2019, 32(1): 7-15.
- [8] 范书凯. 有色金属矿山开发对地下水环境的影响及防治措施[J]. 工程建设与设计, 2020(10): 126-127.
- [9] 刘颖. 菱镁矿浮选项目对地下水环境的影响及防治[J]. 环境保护与循环经济, 2015(5): 55-56+66.
- [10] 谭海涛, 刘涛, 曹兴涛, 等. 石化场地土壤与地下水污染防控研究进展[J/OL]. 应用化工: 1-5. <https://doi.org/10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20200611.007>, 2020-08-21.
- [11] 赵勇胜. 地下水污染场地的控制与修复[M]. 北京: 科学出版社, 2015.