

某历史遗留尾矿库水文地质条件分析

徐启云¹, 范书凯²

¹西藏巨龙铜业有限公司, 西藏 拉萨

²矿治科技集团有限公司, 北京

收稿日期: 2024年7月12日; 录用日期: 2024年8月13日; 发布日期: 2024年8月21日

摘要

为查清某历史遗留尾矿库库区及其周边水文地质条件, 指导库区及周边地下水污染防治工作, 文章通过分析水文地质勘察资料, 对库区及周边地下水类型及地下水流场的水文地质特征进行了分析和研究。查明了尾矿库区域地下水主要径流段及径流量, 为尾矿库的地下水污染防治提供了科学依据。

关键词

历史遗留尾矿库, 地下水, 水文地质条件

Analysis of Hydrogeological Conditions of a Historical Tailings Pond

Qiyun Xu¹, Shukai Fan²

¹Tibet Julong Copper Industry Co., Ltd., Lhasa Tibet

²BGRIMM Technology Group, Beijing

Received: Jul. 12th, 2024; accepted: Aug. 13th, 2024; published: Aug. 21st, 2024

Abstract

In order to clarify the hydrogeological conditions of a historical tailings pond and its surrounding areas, and guide the prevention and control of groundwater pollution in the pond and its surrounding areas, the article analyzes and studies the hydrogeological characteristics of groundwater types and flow fields in the pond and its surrounding areas by analyzing hydrogeological survey data. The main runoff sections and runoff volume of groundwater in the tailings pond area were identified, which provided a scientific basis for the prevention and control of groundwater pollution in tailings ponds.

Keywords

Historical Tailings Ponds, Groundwater, Hydrogeological Condition

Copyright © 2024 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

尾矿库是矿山生产的重要设施, 用于堆存选矿过程中产生的尾矿和尾矿水, 多居于山区和水源上游, 各种自然、人为的不利因素时刻对尾矿库周边环境安全构成严重威胁[1] [2]。一旦处理不当, 将会污染周边水体、土壤和植物, 甚至极有可能给下游及周边人们的生命财产安全造成重大损失[3]。改革开放之前, 我国生产力水平低下, 尾矿库发展缓慢, 只有少部分尾矿库, 但历史遗留的尾矿往往因缺乏科学规划、建设标准较低, 日常管理、安全监测、环境治理等方面的缺失, 导致部分尾矿库的管理主体可能未切实履行其生态环境保护主体责任, 使尾矿库存在较大的安全隐患和环境污染风险[4]。

近年来, 由尾矿库引起的水污染、土壤污染和大气污染等环境污染问题及区域生态安全问题逐渐受到了人们的重视[5], 特别是尾矿库中的废水可能会进入地下水含水层, 造成地下水的污染, 这对周边的地下水来说是一个潜在的污染源和安全隐患。因此对历史遗留尾矿库开展地下水污染防治和整治, 首先要摸清尾矿库库区及周边的水文地质条件, 特别是地下水水流场分布情况, 对分析尾矿库地下水污染扩散范围、制定科学的整治方案具有重要的指导意义[6]。

本文以甘肃某尾矿库为例, 通过对尾矿库及周边开展水文地质勘察以及现有地下水监测井, 对库区的水文地质条件进行了分析和研究, 为尾矿库的地下水污染防治提供了科学依据。

2. 尾矿库概况

该尾矿库于 1960 年 3 月建成投产, 主要贮存 1980 年前选矿厂处理块状古铜黄铁矿矿石、浸染状含铜黄铁矿矿石和少量辉铜矿、兰铜矿、褐铁矿、闪锌矿后留下的尾矿。尾矿在排入尾矿库后, 由于自然沉积作用和离析作用, 硫的含量分布不均, 硫品位较高。尾矿库于 1980 年 4 月停止使用, 由于历史原因, 该尾矿库在使用过程中经历了数次回采, 在原尾矿库内形成了大小不一的采坑, 地面坑洼不平, 无植被生长, 生态环境状况较差。

根据现场查勘, 尾矿库占地面积约为 2.3 km^2 , 堆厚在 3 m~16 m 之间。库内未平整覆土, 无植被生长, 扬尘污染较明显; 库内采坑数量多、库面坑洼不平, 降雨时形成大量不规则集水坑, 酸性淋溶水可能造成库区及周边土壤、地下水重金属污染, 且感官极差, 严重影响周边居民身心健康。

3. 区域水文地质概况

根据地下水赋存埋藏条件、含水介质特征和水动力性质, 区内地下水分为松散岩类孔隙潜水、碎屑岩类孔隙裂隙水、基岩裂隙水。

1) 松散岩类孔隙水

含水层为第四系冲洪积松散物, 属孔隙潜水。岩性为砂碎石、粉质粘土和黄土状粉土, 厚度一般 1.0~6.0 m, 水位埋深一般 0.5~6.0 m。在河沟谷局部地下径流不畅地段, 以泉水溢出地面, 流量微弱的多以湿地

或盐斑形式, 有一定流量的转化为地表水。该类含水层因岩性及补给条件不同, 其渗透性、富水性差异相对较大。据资料, 由于含水层泥质含量普遍较高, 小型沟谷渗透系数为 $1.74\sim12.68 \text{ m/d}$, 单井涌水量小于 $10 \text{ m}^3/\text{d}$; 较大的河沟谷含水层分布面积大并有一定厚度, 渗透性较好, 含水层富水性相对较强, 单井涌水量一般为 $20\sim100 \text{ m}^3/\text{d}$ 。受区域地质环境背景中地层含盐量高的影响, 该类地下水水质普遍较差, 矿化度 $2\sim16.0 \text{ g/L}$, 地下水化学类型多为 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型。

2) 碎屑岩类孔隙裂隙水

主要指赋存于新近系、白垩系、三叠系等碎屑岩类孔隙裂隙中的地下水, 含水层岩性为新近系泥质砂岩、白垩系砂岩夹砂砾岩、三叠系砂岩夹泥质砂岩等, 以表部风化带裂隙水为主, 含水层性质表现为潜水特征, 多分布在河沟谷区, 往往与上覆第四系孔隙水组成统一含水系统, 只是地层岩性不同而已。根据已有水文地质钻孔资料, 风化带潜水水位埋深 $12.14\sim30 \text{ m}$, 单井涌水量一般小于 $10 \text{ m}^3/\text{d}$ 。含水层透水性、含水性弱, 渗透性差, 矿化度 $2\sim10 \text{ g/L}$, 水化学类型以 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 、 $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型为主。

3) 基岩裂隙水

基岩裂隙含水层岩性以志留系石英砂岩、千枚岩、硅质千枚岩, 奥陶系安山岩、玄武岩以及前寒武系的千枚岩和粉砂质板岩, 裂隙水埋藏较深。带状基岩裂隙水分布十分不均, 从少量钻孔显示, 基岩裂隙潜水水位埋深 $3.30\sim50 \text{ m}$, 富水性弱, 单井涌水量 $1.6\sim6.4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。受补给不足和水交替作用的共同影响, 水质差, 矿化度 $5\sim20 \text{ g/L}$, 水化学类型为 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型。

4. 项目区水文地质概况

项目区地下水按照含水层的埋藏、分布及介质特点, 分为第四系松散岩类孔隙水和白垩-三叠系碎屑岩类孔隙裂隙水两类, 两类含水层埋藏性质在此次钻探试验中(钻孔深度 $< 40 \text{ m}$)均确定为潜水, 二者之间不存在隔水层, 只是含水层岩性不同, 含水层之间的水力关系密切。按埋深次序, 上部为第四系潜水, 下部为风化裂隙或局部构造裂隙潜水, 实属于同一含水层, 可归并为浅层地下水范畴。为规范表述不同含水介质的水文地质条件, 仍以第四系松散岩类孔隙水和碎屑岩类孔隙裂隙水两类叙述。

4.1. 第四系松散岩类孔隙水

项目区第四系潜水含水层主要由角砾和砾砂组成, 含水层厚度介于 $0.35\sim5.51 \text{ m}$ 之间, 库区内部大多地段小于 2.5 m , 库区外围部分钻孔含水层厚度大于 5 m 。经钻孔抽水试验计算证明, 该类含水层地下水渗透性差, 大部分钻孔渗透系数 $0.02\sim0.2 \text{ m/d}$, 只有极个别大于 1 m/d 。

由于区内气候干旱、降水量小、蒸发量大, 第四系含水层自然补给甚微, 仅依靠大气降水入渗补给, 基本不存在地表水侧向入渗补给, 只有在规模较大的或有尾矿等工业污水下渗补给的沟谷或尾矿库覆盖的原始沟谷地貌部位, 由于第四系砂砾石层厚度相对较大, 具有一定的地下水储存空间, 因此, 多沿沟谷形成带状含水层, 但本次勘察显示大部分沟谷地带含水性均较弱。而沟谷两侧第四系残坡积层则处于微含水或不含水状态。

从项目区近东西向水文地质剖面图(图 1 和图 2)可反映出第四系松散岩类孔隙水和下伏白垩系、三叠系碎屑岩类孔隙裂隙水两类地下水之间的关系。具体表现在二者之间无隔水层存在, 为同一含水系统, 并具有相同的补给、径流和排泄条件。埋藏深度及埋藏次序上, 在较大的沟谷区, 上部为第四系潜水, 下部为碎屑岩类孔隙裂隙水; 在广大丘陵区等地势较高部位第四系厚度薄, 为透水不含水地层, 只分布有白垩系、三叠系风化带裂隙水。

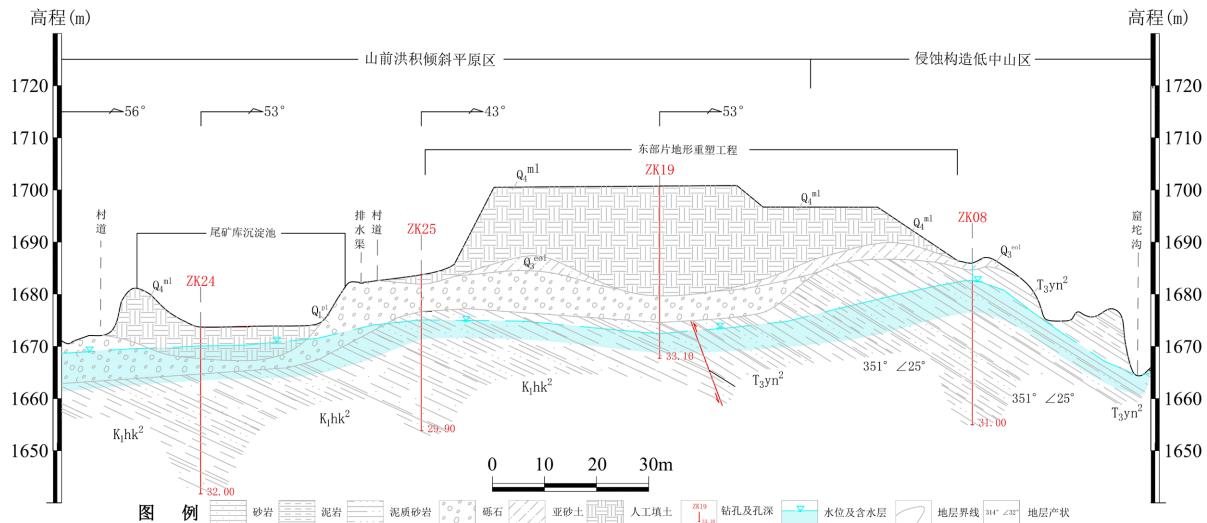


Figure 1. Hydrogeological profile (1)

图 1. 水文地质剖面(1)

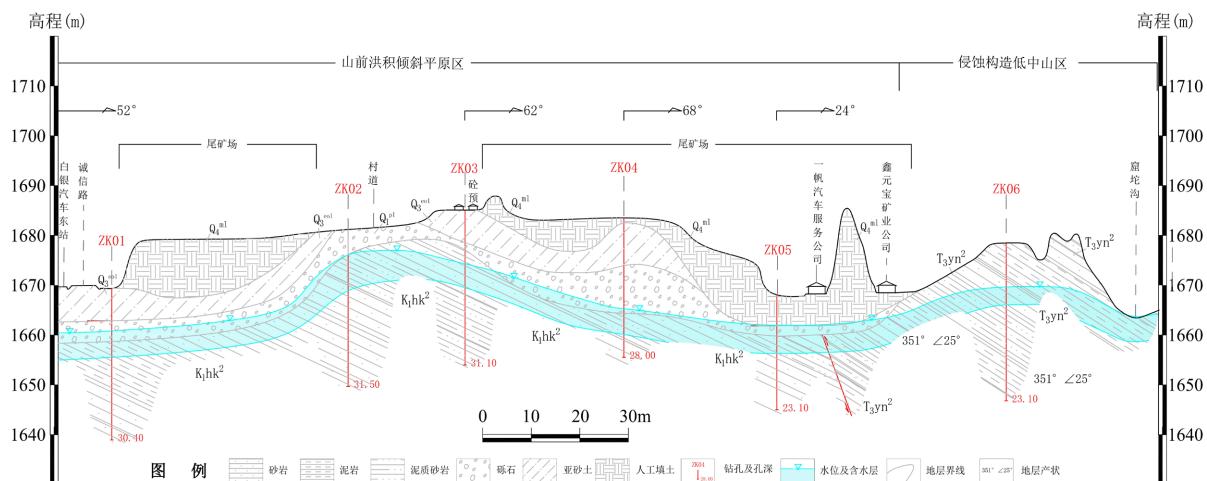


Figure 2. Hydrogeological profile (2)

Figure 2. Hydrogeological profile (2)

4.2. 碎屑岩类孔隙裂隙水

1) 白垩系碎屑岩类孔隙裂隙水

白垩系地层属下统河口群(K₁hk)，主要分布于区内 F3 断裂以南的大面积区域。白垩系风化带裂隙水分布不均，且受局部微地貌特征控制较显著，该类地下水的水位埋深一般在 5.04~28.36 m 之间，均低于各孔位处第四系地层底板，故为单一的白垩系风化带裂隙水。通过地下水抽(提)水试验验证，白垩系碎屑岩类孔隙裂隙含水层的富水性整体偏弱，部分钻孔抽水时吊泵，只能采取提水试验验证其含水层水文地质特征，实施钻孔一般单井涌水量在 0.09~42.36 m³/d，单位涌水量在 0.0013~0.0954 L/s·m 之间，小于 0.1 L/s·m，该类地下水属于弱富水含水层。

2) 三叠系碎屑岩类孔隙裂隙水

三叠系碎屑岩类孔隙裂隙水埋藏深度一般为 1.16~14.25 m; 根据现场岩芯观察鉴定以及配合抽水、压(注)水试验综合判断确定, 区内三叠系碎屑岩类孔隙裂隙水含水层厚度略微大于第四系含水层, 厚度为

2.33~6.71 m, 平均为 4.82 m。分析抽水试验资料认为, 勘察区内三叠系风化带裂隙水的富水性弱, 单井涌水量不超过 10 m³/d。区内各钻孔单位涌水量仅 0.0006~0.0122 L/s·m, 平均为 0.0045 L/s·m, 属于弱富水含水层。

4.3. 地下水补、径、排条件

1) 第四系松散岩类孔隙水

第四系潜水径流方向与地形变化趋势关系密切, 区内地形特点均为西北高东南低, 因此第四系潜水的径流方向也大体为由西北向东南的方向。第四系潜水水力坡度在整个勘察区上下游的变化不大, 一般在尾矿库西北侧上游约 10‰~15‰, 随着地下水向下游运移, 特别是进入尾矿库之后, 水力坡度增加为 25‰~35‰左右, 而到尾矿库下游至外围后, 水力坡度又减缓至 12‰~20‰。尾矿库外水力坡度显示出与地形坡度呈正相关的规律, 尾矿库内地下水径流较复杂且不均一。

2) 碎屑岩类孔隙裂隙水

白垩系、三叠系碎屑岩类孔隙裂隙水主要分布于表部风化带和局部构造裂隙之内, 其补给来源以大气降水为主, 在沟谷内还可接受上覆第四系潜水的入渗补给, 另外在尾矿库坝下沟谷局部地带会有少量尾矿渗滤液的渗漏补给。

白垩系、三叠系地下水总体为由北向南径流, 方向与上覆第四系相同, 因属同一层地下水, 水力坡度一般为 20‰~40‰之间。

5. 地下水主要径流段及径流量

5.1. 地下水主要径流段

通过水文地质调查和钻探工作, 尾矿库周边浅层地下水径流方向和通道较具有多样性和复杂性。根据第四系基底形态并结合尾砂水对下游地下水环境的影响程度分析, 将尾矿库区周边的地下水径流的地段分为两类, 一是尾矿库边缘发生的地下水径流带; 二是尾矿库区内部发生并向库区外运动的地下水径流带。从对下游浅层地下水影响程度而言, 尾矿库边缘发生的地下水径流对下游地下水环境影响较小, 而尾矿库区内部由降水等形成的地下水会溶解更多的有害物质向下游径流污染水环境。尾矿库边缘主要径流段和尾矿库区内主要地下水径流段分别见图 3 和图 4。

5.2. 主要径流段地下水径流量

鉴于尾矿库及周边浅层地下潜水含水层介质及分布的不均匀性, 以及水位动态观测受尾矿库地形重塑等影响出现数据偏差, 选用适宜较好的断面法进行计算, 计算公式如下:

$$Q = K \cdot H \cdot B \cdot I$$

式中: Q —断面径流量(m³/d);

K —含水层渗透系数(m/d);

H —含水层厚度(m);

B —断面宽度(m);

I —断面处地下水水力坡度(‰)。

其中, 含水层厚度利用计算断面处代表性钻孔资料求取; 断面宽度在 1:1 万水文地质图上量取并加以实地测量复核; 水力坡度在地下水等值线图上查取。

经计算, 尾矿库区边缘各支沟和尾矿库内隐伏沟谷的地下水径流排泄量见表 1。

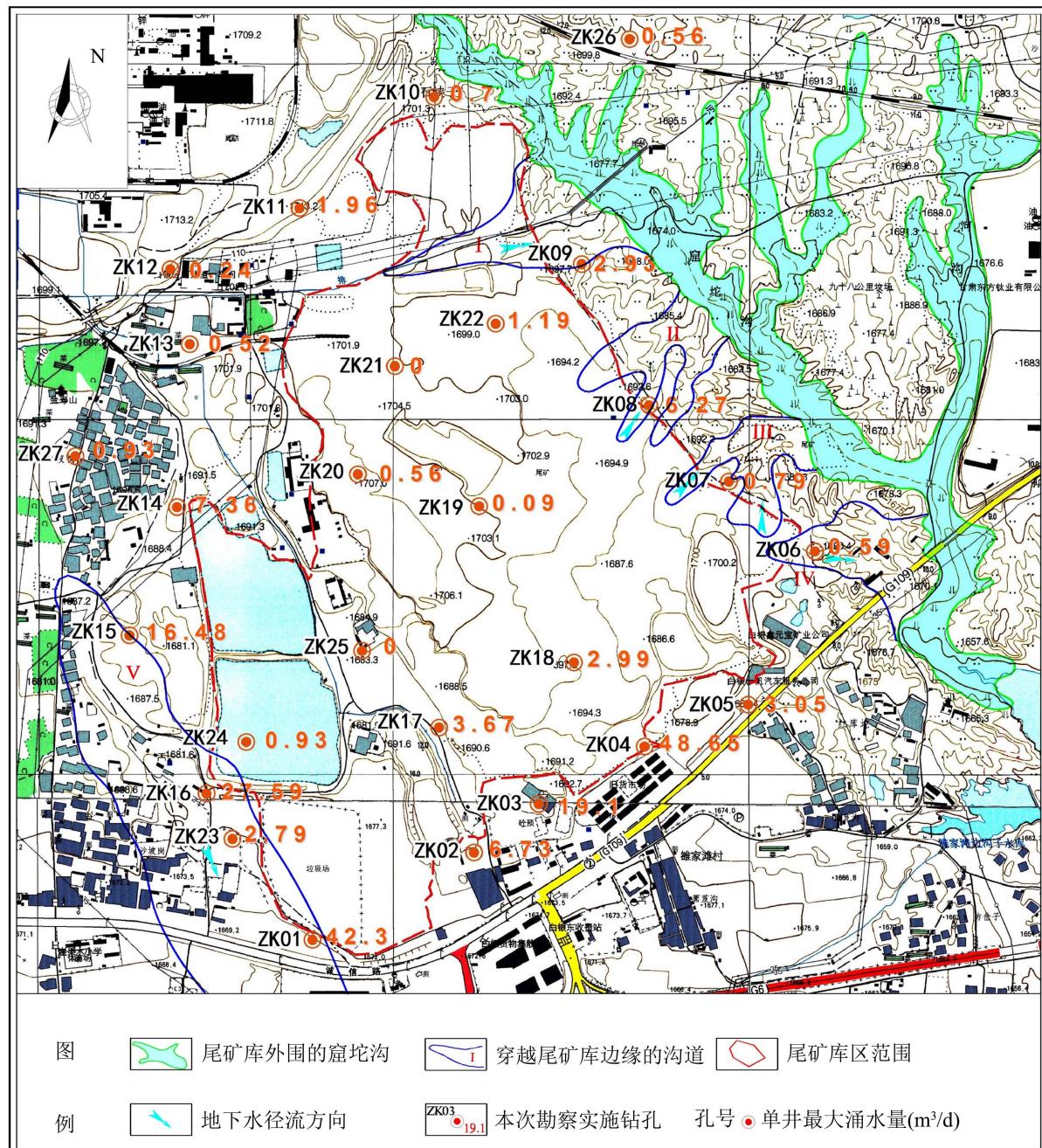


Figure 3. Schematic diagram of groundwater runoff section (valley) at the edge of the tailings pond
 图 3. 尾矿库边缘地下水径流段(沟谷)示意图

Table 1. Summary statistics of groundwater runoff calculations for different seasons in each valley of the tailings pond
 表 1. 尾矿库各沟谷不同季节地下水径流量计算汇总统计表

季节 断面	尾矿库边缘沟谷				尾矿库内隐伏沟谷			合计 (m ³ /d)
	支沟 I	支沟II	支沟III	支沟IV	沟谷V	沟谷VI	沟谷VII	
枯 - 平水期	12.21	19.35	4.60	2.50	43.37	91.84	87.47	261.33
丰水期	14.06	22.35	5.10	2.84	52.82	136.34	113.17	346.69

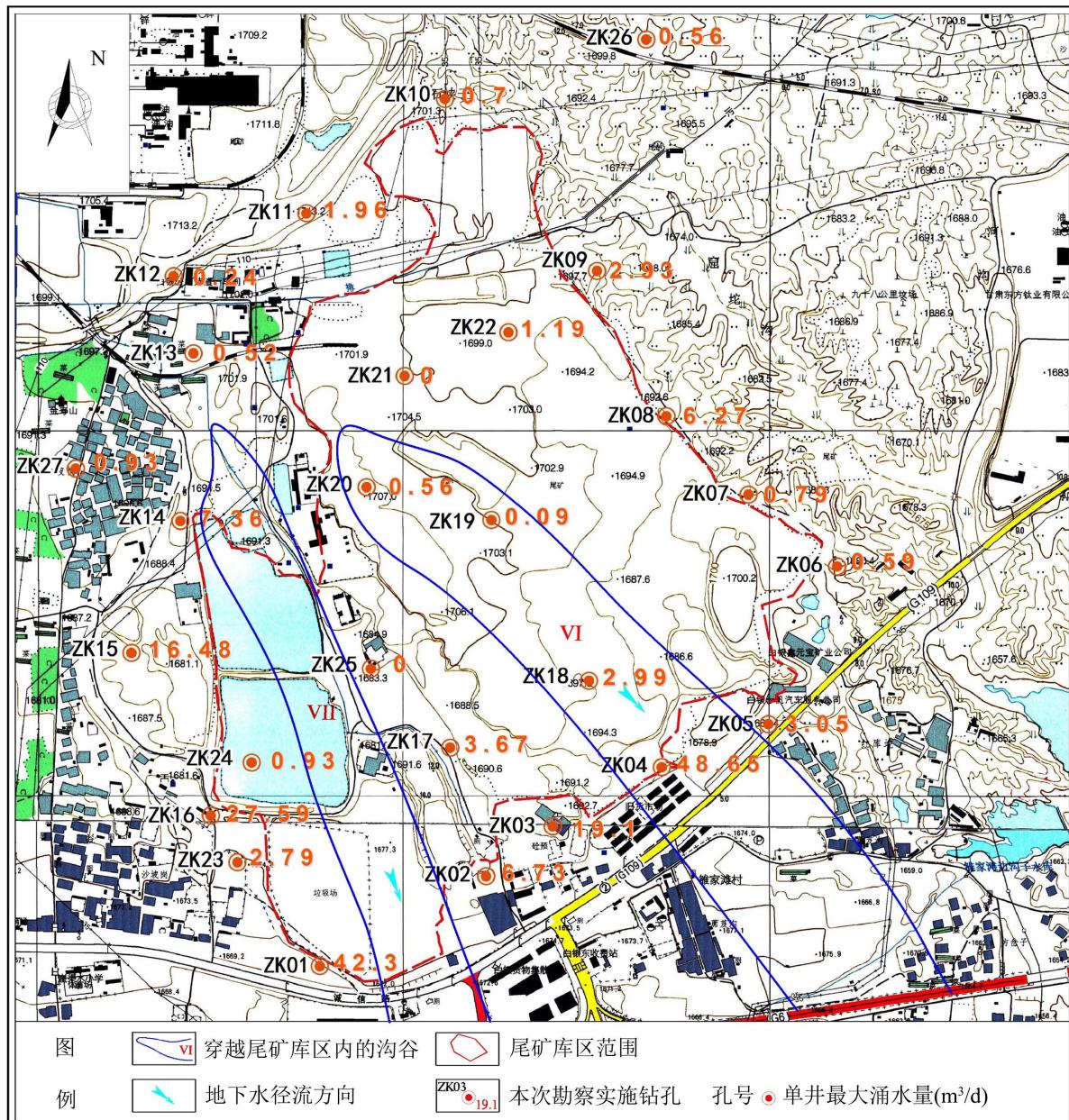


Figure 4. Schematic diagram of groundwater runoff section (valley) in tailings pond

图 4. 尾矿库内地下水径流段(沟谷)示意图

由表 1 可知, 尾矿库通过库区内发育的多条沟谷、支沟可向下游含水层产生地下水径流, 但总体径流量较小, 在枯 - 平水期沟谷地下水总径流量为 $261.33 \text{ m}^3/\text{d}$, 在丰水期沟谷地下水总径流量 $346.69 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其中, 地下水径流量最大的沟谷为沟谷 VI, 地下水径流量在 $91.84\text{--}136.34 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间, 径流量最小的沟谷为支沟 IV, 地下水径流量在 $2.50\text{--}2.84 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间。由于尾矿库周边沟谷地下水总径流量不大, 故溶滤作用不强烈, 地下水径流中携带的污染因子对下游地下水环境造成的影响较为有限。

6. 结论

1) 尾矿库区域地下水按照含水层的分布、埋藏及介质特点, 分为第四系松散岩类孔隙潜水和白垩系、

三叠系风化带裂隙潜水两类, 二者之间无隔水层, 只是岩性不同的一个含水系统。上部为第四系潜水, 下部为风化裂隙潜水。第四系潜水集中分布于尾矿库周边各沟谷之中, 地下水埋深 3.63~26.77 m, 含水层岩性为冲洪积角砾、砂, 厚度 3.18~10.01 m 之间; 白垩系风化带裂隙水分布于尾矿库南部, 地下水埋深在 5.048~28.36 m 之间, 含水层岩性为砾岩、砂岩等, 厚度 3.64~7.36 m 左右; 三叠系风化带裂隙水分布与尾矿库北部, 地下水埋深在 1.16~14.25 m 之间, 含水层岩性为砾岩、砂岩等, 厚度 2.33~6.71 m 左右。

2) 地下水主要接受大气降水入渗补给, 集中沿沟谷由北向南径流, 通过以地面蒸发、地下径流等方式排泄。

3) 尾矿库区域地下水主要径流段为尾矿库边缘的 5 处沟谷和库内 2 处隐伏沟谷, 地下水主要径流段的总径流量不大, 在枯 - 平水期沟谷地下水总径流量为 261.33 m³/d, 在丰水期沟谷地下水总径流量 346.69 m³/d。因此在确定项目区地下水污染防治措施和治理方案时, 应把项目区地下水主要径流段作为重点对象。

参考文献

- [1] 袁华山, 张明慧, 陶霞, 等. 尾矿库环境事故因素分析及建议[J]. 环境工程技术学报, 2024, 14(3): 1026-1033.
- [2] 覃风展. 浅谈尾矿库环境污染隐患及防治对策[J]. 有色金属设计, 2023, 50(1): 12-15.
- [3] 张雅静, 魏伟, 李彬. 某历史遗留尾矿库污染状况调查研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(17): 214-216.
- [4] 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.
- [5] 卢欢亮. 铅锌矿尾矿库重金属污染生态修复工程环境监理方法探索[J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(3): 41-44.
- [6] 周海涛. 苏南某铜矿尾矿库水文地质条件分析[J]. 中国金属通报, 2023(3): 237-239.