

内蒙古自治区某铅锌钼多金属矿水文地质条件分析

范书凯, 李莉, 宋爽, 苗雨

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

收稿日期: 2020年8月14日; 录用日期: 2020年8月28日; 发布日期: 2020年9月4日

摘要

为研究项目区的水文地质条件特征, 对项目区开展全面的水文地质条件调查, 并进行水文地质钻孔、抽水试验和包气带饱和渗透等现场试验工作。综合得出项目区地下水类型主要为第四系孔隙潜水及基岩裂隙水; 区内地下水补、径、排条件稳定。包气带厚度较大且分布连续稳定, 防污性能中等, 地下水不太容易受到污染。露天采坑涌水会造成局部含水层疏干, 但附近无居民且无其他取用地下水用户, 采矿活动对地下水环境影响较小。

关键词

水文地质条件, 金属矿, 采矿, 渗透性

Analysis of Hydrogeological Conditions of a Lead-Zinc-Molybdenum Polymetallic Ore in Inner Mongolia Autonomous Region

Shukai Fan, Li Li, Shuang Song, Yu Miao

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

Received: Aug. 14th, 2020; accepted: Aug. 28th, 2020; published: Sep. 4th, 2020

Abstract

In order to study the characteristics of hydrogeological conditions in the project area, carry out a comprehensive survey of hydrogeological conditions in the place, and carry out field tests such as

hydrogeological drilling, pumping tests, saturated permeability of the vadose zone. It is concluded that the groundwater types in the area are mainly quaternary pore phreatic water and bedrock fissure water; the groundwater supplement, runoff, and discharge conditions in the area are stable. The vadose zone has a large thickness and a continuous and stable distribution, with moderate antifouling performance, and groundwater is not easily polluted. Water gushing from an open pit will cause local aquifers to be drained, but there are no residents nearby and no other groundwater users. Mining has little impact on the groundwater environment.

Keywords

Hydrogeological Conditions, Metal Ore, Mining, Permeability

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

矿区水文地质条件分析是矿井建设、生产和环境保护不可或缺的基础工作,直接关系到矿产资源开发的经济合理性、矿井安全生产、区域生态环境安全等可持续发展[1] [2]。在有色金属矿山在资源开采过程中,采坑疏排水不仅浪费了大量的地下水资源,同时改变了地下水的循环系统,因此矿坑涌水量预测是矿区水文地质条件研究的一个重点。但由于矿坑涌水的影响因素复杂,使得预测涌水量时存在较大的误差,国内外学者一直在努力研究关于准确预测矿坑涌水量的问题,因此矿坑涌水量的预测方法也有很多[3]。对于水文地质条件相对简单的矿山,现阶段常用的方法有水文地质比拟法、涌水量曲线方程法、水均衡法和解析法四类[4] [5]。其中解析法具有对井巷类型适应能力强、快速和简便的特点[6],而大井法原理相对简单、经济、方法容易掌握,是解析法中最常用的方法[7] [8]。

此外,有色金属矿山选矿厂、排土场、尾矿库等工业场地产生大量的废石、尾矿、选矿废水和酸性废水中含有的某些金属离子,通过各种物理、化学、生物反应一旦进入地下含水层中就不易去除,并且会对环境质量和水资源造成严重威胁,更会威胁到人类健康[9] [10] [11]。

地下水尤其是浅层的第四系孔隙水受人类活动影响最大,对污染最为敏感,受水文、气象、水文地质条件的控制也最为明显。本文对内蒙古自治区某铅锌钼多金属矿水文地质条件进行分析研究,为改善铅锌矿区地下水环境提供理论依据,同时促进绿色铅锌矿区的建设[12] [13] [14]。

2. 矿区概况

该铅锌钼多金属矿生产规模为开采处理原矿 50,000 t/d,主要有露天采矿场、采矿工业场地、选矿工业场地、排土场、尾矿库等场地。矿区位于内蒙古高原东北部,地形总体上东北高,西南低,海拔高程一般 950~1250 m。山区沟谷发育,多呈“U”型谷,山间洼地地势相对平缓,向西南倾斜,略有起伏。

矿区属半干旱大陆性气候,冬季长,夏季短,日温差大。多年平均降水量 250.8 mm,降水多集中在 6、7、8、9 四个月。多年平均蒸发量 1434.5 mm,多年平均气温 2.5℃,最高气温 39.4℃,最低气温-38.9℃,冻结期由 9 月中旬至翌年的 5 月中旬。区内地表水系不发育,河流以季节性河流为主。

3. 区域水文地质概况

水文地质条件受地貌、地质构造、岩性、古地理环境及气象水文等多种因素的控制和影响。区内分

布有大面积基岩丘陵山区，基岩大部分裸露地表，构造裂隙和风化裂隙发育，赋存基岩裂隙水。山区周边的洼地及山间小型河谷内则沉积第四系松散堆积物，赋存松散岩类孔隙水。另外，矿区北部较大河谷下部分布有第三系碎屑岩沉积物，赋存碎屑岩类孔隙裂隙水。

3.1. 地下水赋存条件与分布规律

(1) 第四系松散岩类孔隙水

第四系松散岩类孔隙水以第四系全新统冲洪积层(Q₄^{al+pl})及上更新统冲洪积层(Q₃^{al+pl})为主，岩性主要为砂砾石、粗砂、粉细砂，厚度 10~100 m 不等，一般在河谷上游较薄，至下游逐渐增厚，富水性较好，单井涌水量一般 100~1000 m³/d，水质较好，水化学类型一般以上游一般以 HCO₃-Na·Mg·Ca 为主，至下游则以 HCO₃-Na·Mg、HCO₃-Cl-Na 型为主。

(2) 第三系碎屑岩类孔隙裂隙水

第三系地层为贫水区，分布在矿区北部河谷平原下部，岩性稳定，含水层以砂岩、泥质砂岩为主，厚度一般 30~60 m，富水性较差，单井涌水量一般小于 100 m³/d。水质微咸，矿化度一般 2.05~2.38 g/L，水化学类型一般为 HCO₃·SO₄-Na·Mg 型。

(3) 基岩裂隙水

主要包括层状岩类基岩裂隙水和块状岩类基岩裂隙水。

层状岩类基岩裂隙水主要含水介质为泥盆系的变质石英砂岩、板岩，富水性均较差，单井涌水量一般小于 100 m³/d，水质较好，矿化度一般 0.6~1.54 g/L，水化学类型一般为 HCO₃-Na·Mg、HCO₃-Ca·Mg、HCO₃·SO₄-Na·Mg 型。

块状岩类基岩裂隙水含水介质主要为侏罗系上统凝灰岩、凝灰角砾岩、粗面斑岩、火山角砾岩，受构造运动及物理风化作用，岩体裂隙发育。由于分布不连续，其富水性不尽相同。

3.2. 地下水补给、径流和排泄条件

第四系松散岩类孔隙潜水，主要接受大气降水直接渗入补给和基岩水侧向补给，天然状态下地下水蒸发和向下游排泄。而基岩裂隙水主要接受大气降水垂直入渗补给。地下水的径流条件，更多地受地形地貌的制约，常常是地表水与地下水分水岭相一致，丘间洼地为地下水的径流区，河谷平原为地下水的径流排泄区。

4. 项目区水文地质概况

项目区位于区域地下水的分水岭上，矿区北部地下水总体向西北及北部径流，南部地下水总体向南部或东南径流，根据钻孔资料综合分析，区内共赋存两类地下水：中部河谷区及丘间洼地内赋存第四系松散岩类孔隙水，周围丘陵山区赋存基岩裂隙水(图 1 和图 2)。

4.1. 含水层的空间分布特征

(1) 排土场

排土场位于项目区的东北部，其地下水向西南方向径流，排土场中部为河谷及丘间洼地，赋存第四系松散岩类孔隙水；两侧为丘陵山区，赋存基岩裂隙水(图 1)。

第四系松散岩类孔隙潜水主要分布于排土场中部的河谷及丘间洼地内，主要由第四系全新统冲洪积层(Q₄^{al+pl})组成，岩性以中细砂为主，局部为中粗砂、砾砂层，厚度 3.0~6.0 m。

基岩裂隙水主要分布于排土场南北两侧，含水层主要以基岩风化裂隙带为主，构造裂隙带不发育，风化裂隙带厚度一般 5~20 m，富水性较差。

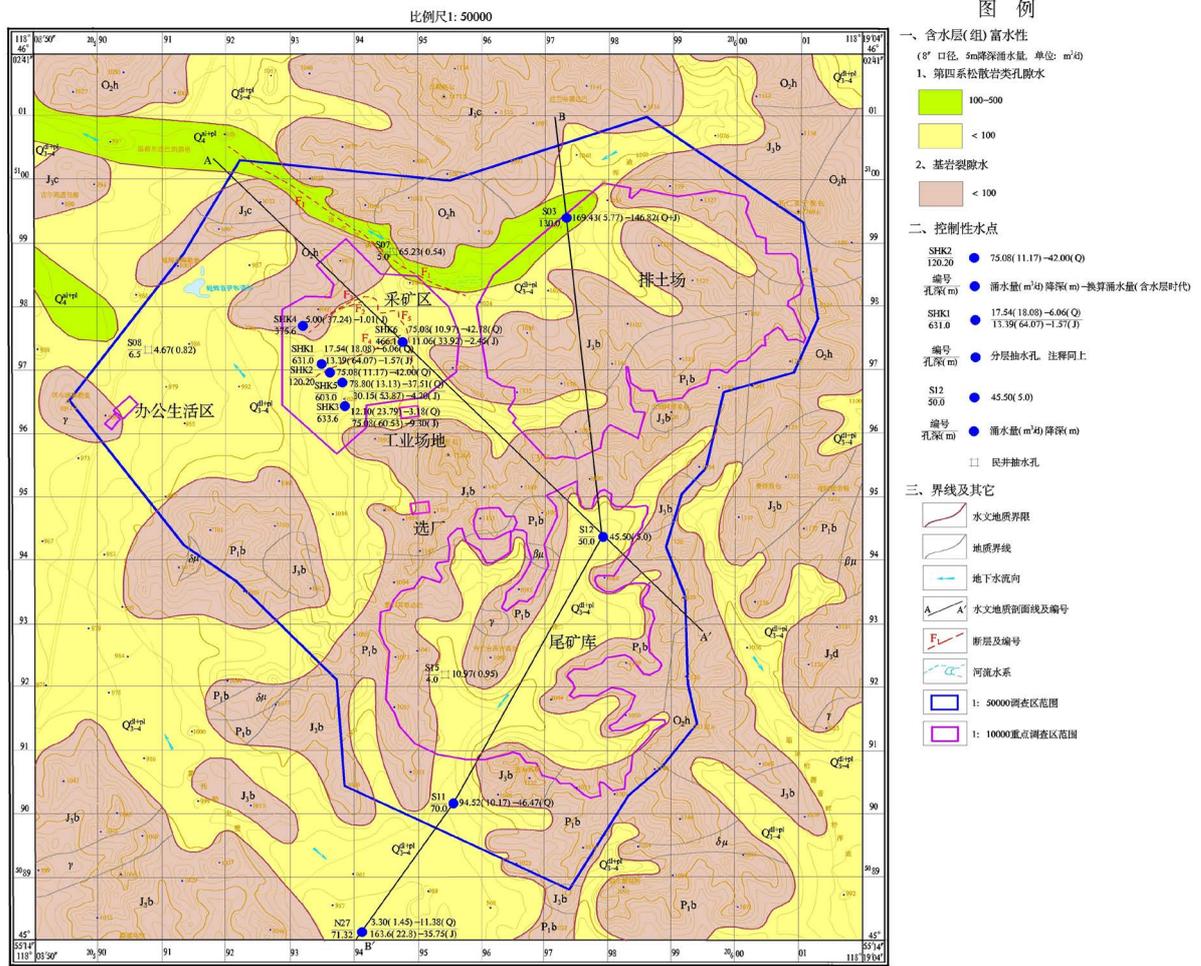


Figure 1. Hydrogeological map of the project area

图 1. 项目区水文地质图

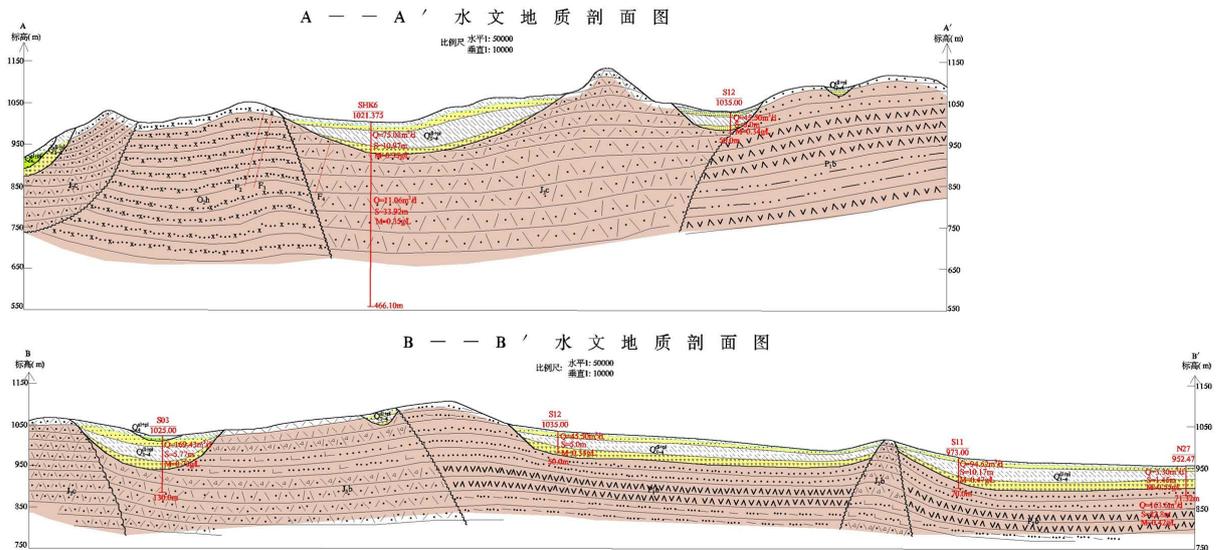


Figure 2. Hydrogeological section of the project area

图 2. 项目区水文地质剖面图

(2) 尾矿库

尾矿库位于项目区的东南部，其地下水向西南方向径流，尾矿库中部为丘间洼地，赋存第四系松散岩类孔隙水；东西两侧为丘陵山区，赋存基岩裂隙水(图 1)。

第四系松散岩类孔隙水主要分布于尾矿库中部的丘间洼地内，岩性以中细砂、含砾粉质粘土(局部含薄层砾砂)为主，地下水水位埋深一般 2.37~6.32 m。

基岩裂隙水主要分布于尾矿库东西两侧，含水层主要以基岩风化裂隙带为主，构造裂隙带不发育，风化裂隙带厚度一般 5~20 m，富水性较差。

(3) 采矿区、选厂、工业场地

采矿区、选厂、工业场地、办公生活区内已有钻孔主要集中在采矿区内，且选厂、工业场地等面积较小，故该区域以采矿区为主。其位于项目区的西南部，地下水向西或西南方向径流，以向西径流为主。中部为丘间洼地，赋存第四系松散岩类孔隙水；周围为丘陵山区，赋存基岩裂隙水(图 1)。

第四系松散岩类孔隙水主要分布于中部的丘间洼地内，根据收集的资料，丘间洼地含水层主要由第四系上更新统全新统坡洪积层(Q₃₋₄^{dl+pl})组成，岩性以中细砂、含砾粉质粘土(局部含薄层砾砂)为主。由于上部覆盖巨厚的粉质粘土层，故具有承压性质，但丘间洼地内地下水以上部中细砂所含潜水为主，下部承压水水量微弱且不连续，无研究意义，该区域地下水水位埋深一般 6.53~26.97 m。水化学类型以 HCO₃-Mg-Ca、HCO₃-Mg、HCO₃-Mg-Ca-Na 型为主，矿化度 0.37~0.45 g/L。

基岩裂隙水主要分布于周围的丘陵山区，含水层主要以基岩风化裂隙带和构造裂隙带为主。风化裂隙带厚度一般 5~20 m，强风化带岩心呈砂砾状、碎屑状，弱风化带岩心呈块状、短柱状，裂隙发育裂隙宽 1~2 mm，裂隙面上有水锈及钙质薄膜，有明显地下水活动痕迹，水位埋深 16~20 m，富水性较差。

4.2. 项目区构造分布

矿区内断裂构造比较发育，经工程控制共有大小断层 5 条，总观区内断裂构造可明显的分为北东、北西两组(图 1)。F₁ 断层为通过矿区的区域性断裂构造，从矿区的北东角通过，断层产生于奥陶与侏罗系地层中，断层走向 310°，向北西延伸出矿区，与矿区围岩未形成明显的导水通道。F₂ 断层上盘为汉乌拉组砂岩，局部为查干诺尔组凝灰岩及安山岩，下盘为查干诺尔组凝灰岩与安山岩。该断层控制北部矿体形态，为不含水构造。F₃ 断层为 F₂ 断层的分支断裂构造，产状基本与 F₂ 断层一致，为不含水构造。F₄ 断层形成于汉乌拉组火山碎屑岩与安山岩中，钻孔内见断层破碎带宽度 20~30 m，破碎带中间断层泥与泥质胶结的断层角砾。F₅ 断层破碎带由一系列北西走向规模不等的断层、碎裂蚀变带组成，该组断裂带成带出现，并且规模不等。F₄ 和 F₅ 断层通过抽水试验试验，单位涌水量为 0.0038 L/s.m，为弱富水含水层。

4.3. 地下水补给、径流和排泄条件

地下水的补给、径流、排泄条件受地形、地貌、地质构造、含水层岩性及表层覆盖程度等多种因素的影响，项目区由于处于区域地下水分水岭地带，其补给来源主要为大气降水，丘陵山区是地下水的主要补给区。丘间洼地是地下水的补给和径流区，其在得到大气降水补给和周边丘陵山区侧向补给后，北部向西北径流，南部向南或东南径流；河谷平原是地下水的径流和排泄区，潜水的排泄途径主要是径流排泄、蒸发排泄、人工开采排泄等。

4.4. 水文地质参数计算

为了获取研究区含水层的水文地质参数，开展了抽水试验、包气带饱和渗透试验等现场环境水文地质实验工作。

(1) 抽水试验

本次抽水试验在第四系松散岩类孔隙潜水含水层和基岩裂隙水含水层中进行。选取水文钻孔(SHK3、SHK5)进行单孔稳定流抽水试验(图 3 和图 4)，计算公式如下[15]:

$$\begin{cases} K = \frac{0.366Q}{MS} \lg\left(\frac{R}{r_w}\right) \\ R = 10S\sqrt{K} \end{cases} \quad (式 1)$$

其中: Q ——涌水量(m^3/d);

S ——水位降深(m);

M ——含水层厚度(m);

r_w ——抽水井半径(m);

R ——影响半径(m)。

(2) 包气带饱和和渗透系数

野外现场测试包气带的渗透性具有更好的代表性和真实性。研究现场选在拟建项目场区内进行饱和和渗透性试验，采用单环法，共完成 6 组(采矿区布置 1 组、办公生活区布置 1 组、排土场布置 2 组、尾矿库布置 2 组，地表岩性均为粉土)，试坑严格按照《注水试验规程》(YS5214-2000) [16]进行整理计算渗透系数(表 1)，计算公式如下:

$$V = Q/F \quad (式 2)$$

式中: V ——时间段内的平均渗透速度(cm/20 min);

Q ——时间段内的渗水量($cm^3/20 \text{ min}$);

F ——渗透面积(cm^2)。

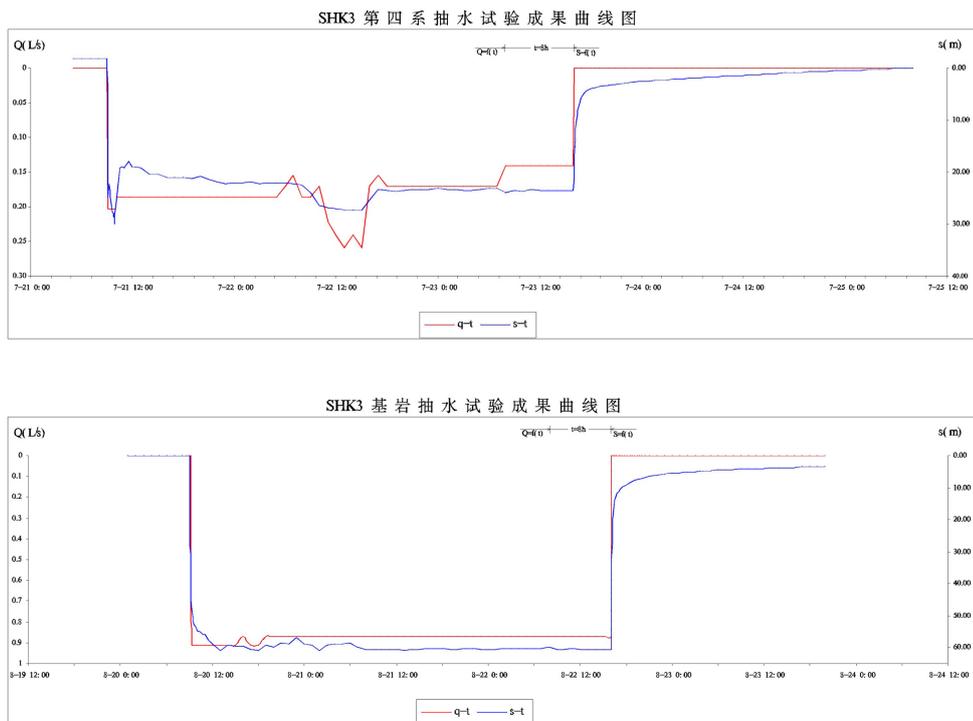


Figure 3. Diagram of SHK3 pumping test results

图 3. SHK3 抽水试验成果曲线图

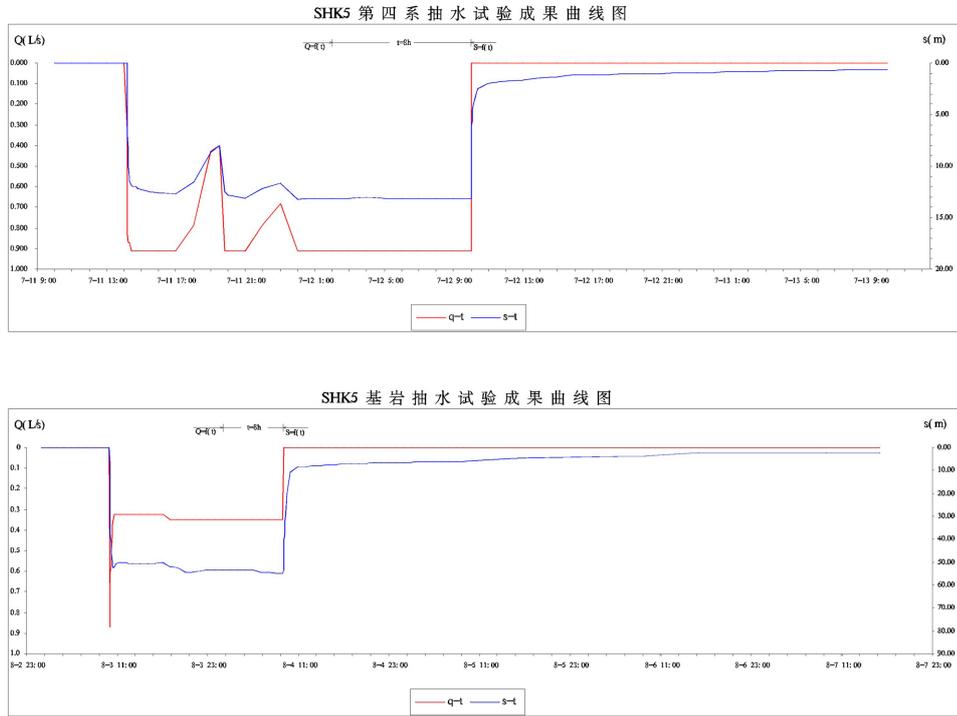


Figure 4. Diagram of SHK5 pumping test results
图 4. SHK5 抽水试验成果曲线图

Table 1. Statistical table of permeability coefficient calculated by single ring seepage test
表 1. 单环渗水试验计算渗透系数统计表

区域	试验组数	包气带岩性	渗透系数(cm/s)
采矿区	1 组	粉土	1.6×10^{-4}
排土场	2 组	粉土	$9.2 \times 10^{-5} \sim 2.5 \times 10^{-4}$
尾矿库	2 组	粉土	$2.1 \times 10^{-4} \sim 2.9 \times 10^{-4}$
办公生活区	1 组	粉土	5.2×10^{-4}

根据抽水试验结果, 第四系松散岩类孔隙潜水含水层渗透系数为 $3.22 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \sim 3.22 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ (表 2), 为中等透土层。基岩裂隙水含水层渗透系数为 $3.24 \times 10^{-5} \text{ cm/s} \sim 3.82 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ (表 2), 为弱透土层。

Table 2. Statistical table of pumping test results
表 2. 抽水试验结果统计表

孔号	抽水实验段(m)	实验段口径 r (mm)	含水层岩性	水位降深 S (m)	含水层厚度 M (m)	涌水量 Q (L/S)	渗透系数 K (m/d)	影响半径 R (m)
SHK3	0~55.6	146	第四系	23.79	1.9	0.14	0.278	125.37
SHK3	55.6~633.6	110	基岩裂隙水	60.53	40.1	0.869	0.033	110.78
SHK5	0~90.8	146	第四系	13.13	18.73	0.912	0.333	75.72
SHK5	90.8~603.0	110	基岩裂隙水	53.87	21.9	0.349	0.028	89.62

在野外现场测试所得包气带饱和渗透性系数可知, 研究区内包气带粉土渗透系数介于 $9.2 \times 10^{-5} \text{ cm/s} \sim 5.2 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ (表 1)。另外根据资料, 排土场内粉土层厚度一般 3.0~5.0 m, 尾矿库内粉土层厚度一

般 2.0~6.0 m, 采矿区、办公生活区内粉土层厚度一般 3.8~10.1 m, 厚度较大且分布连续稳定, 因此项目区包气带防污性能中等[17], 地下水不太容易受到污染。

4.5. 矿坑涌水量预测

本铅锌钼多金属矿露天采场矿坑涌水的主要充水因素为第四系孔隙潜水及基岩裂隙水, 另外还包括大气降水降落到坑里的水量。地下水涌水量预测主要计算由于采矿破坏含水层导致含水层水量释放进入矿坑的水, 不考虑大气降水直接降落到坑内的水。

露天开采最低开采标高 445 m, 利用大井法计算涌水量, 计算公式如下[7]:

$$Q = 1.366K \frac{(2H - M)M}{\lg \frac{R_0}{r_0}} \quad (\text{式 3})$$

式中: Q ——矿坑涌水量(m^3/d);

K ——渗透系数(m/d);

M ——含水层厚度(m);

H ——水位降低值(m);

R_0 ——大井影响半径(m);

r_0 ——引用大井半径(m)。

引用半径(r_0)是根据矿坑平面几何图形选择公式, 该矿区平面几何图形为不规则圆形, 计算公式[17]:

$$r_0 = \sqrt{F/\pi} \quad (\text{式 4})$$

影响半径 R 采用吉哈尔特公式: $R = 10S\sqrt{K}$;

引用影响半径 $R_0 = R + r_0$;

由此计算的涌水量见表 3。

Table 3. Calculation table of water inflow

表 3. 涌水量计算表

中段	含水层	K (m/d)	H (m)	M (m)	R_0 (m)	r_0	涌水量(m^3/d)
445	第四系	0.254	41.7	17.08	754	544	2772
	基岩	0.026	156.6	29.3	752	440	1269

由此可见, 露天采坑的涌水量为 $4041 \text{ m}^3/\text{d}$, 会造成局部含水层疏干。其中第四系含水层疏干的范围为半径 754 m, 基岩含水层疏干半径为 752 m, 在该半径范围内, 无牧民取用地下水。排出的矿坑涌水经坑底沉淀后全部回用选厂, 不外排, 采矿活动对地下水环境影响较小。

5. 结论

(1) 项目区位于区域地下水的分水岭上, 地貌主要为低山丘陵、丘间洼地及山地沟谷。矿区北部地下水总体向西北及北部径流, 南部地下水总体向南部或东南径流。

(2) 根据钻孔资料综合分析, 区内含水层主要为第四系孔隙潜水及基岩裂隙水。地下水主要接受大气降水的补给, 排泄途径主要是径流排泄、蒸发排泄、人工开采排泄等。

(3) 项目区包气带粉土渗透系数为 $9.2 \times 10^{-5} \text{ cm}/\text{s}$ ~ $5.2 \times 10^{-4} \text{ cm}/\text{s}$, 渗透性弱-中等, 包气带厚度较大且分布连续稳定, 因此项目区包气带防污性能中等, 地下水不太容易受到污染。

(4) 露天采坑涌水量为 4041 m³/d, 会造成局部含水层疏干。其中第四系含水层疏干的范围为半径 754 m, 基岩含水层疏干半径为 752 m, 在该半径范围内, 无牧民取用地下水, 采矿活动对地下水环境影响较小。

参考文献

- [1] 张志龙, 高延法, 武强, 等. 大屯姚桥矿矿井水文地质条件分类与评价[J]. 煤田地质与勘探, 2013(2): 67-71.
- [2] 武强, 董书宁, 张志龙. 矿井水害防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [3] 耿建康. 姜梨园铁矿井下水文地质条件综合研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2014.
- [4] 陈从喜. 矿坑涌水量计算方法研究[M]. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1985: 78-92.
- [5] 陶宗涛, 闫志为. 基于 Aquifer Test 的水文地质参数计算方法研究[J]. 水利科技与经济, 2012, 18(12): 25-27.
- [6] 刘玮. 解析法在矿坑涌水量预测中的应用[J]. 科学技术创新, 2012(16): 26.
- [7] 牟兆刚, 唐朝苗, 梁叶萍, 等. 基于涌水量探采对比的“大井法”公式修正[J]. 中国煤炭地质, 2018, 30(10): 61-63.
- [8] 王丽, 刘焯. 大井法在矿井涌水量计算中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2019(19): 192-193.
- [9] 何仔颖, 吴超. 尾矿库地下水污染风险评价体系研究[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(4): 121-125.
- [10] 邓敬石, 张宗华, 陈家栋. 浅谈含重金属离子的铅锌矿尾矿废水危害及治理[J]. 云南冶金, 2002, 31(2): 20-22+53.
- [11] 赵永红, 周丹. 有色金属矿山重金属污染控制与生态修复[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2014.
- [12] 钟佐桑. 地质环境及其功能的控制与开发[J]. 地学前缘, 1996, 3(1): 11-16.
- [13] 侯玉松, 马振民, 雒芸芸, 等. 焦作地区水文地质条件对浅层地下水污染的控制作用研究[J]. 中国农村水利水电, 2013(4): 40-44.
- [14] 蔡坤勇. 云南省普洱市某铅锌矿区的水化学特征及水文地质研究[J]. 世界有色金属, 2019(23): 138-139.
- [15] 汪星晨, 关英斌, 张立, 等. 单孔稳定流抽水试验渗透系数分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2014(3): 79-81.
- [16] 王大纯. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 26-27.
- [17] 环境保护部. HJ610-2016 环境影响评价技术导则地下水环境[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.