

湖南省界牌岭矿区矿坑充水途径研究

罗伟奇, 刘拥军, 李同生, 周鑫, 陈文东, 欧健, 陈亮晶, 宋学旺, 章威, 何国扬

Study on water filling path in the Jiepailling mining area of Hunan Province

LUO Weiqi, LIU Yongjun, LI Tongsheng, ZHOU Xin, CHEN Wendong, OU Jian, CHEN Liangjing, SONG Xuewang, ZHANG Wei, and HE Guoyang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202401054>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

岩溶矿区水文地球化学特征及其水源指示意义

Groundwater source identification in carbonate-hosted deposit using hydrogeochemistry, hydrogen and oxygen isotope method

黄荷, 陈植华, 王涛, 罗朝晖, 张亮, 王剑, 项彩娟, 孙帮涛, 王勇 水文地质工程地质. 2019, 46(1): 19-19

招远金矿区水体中硫同位素特征及其对污染来源的指示

Characteristics of sulfur isotope in water bodies near the Zhaoyuan gold mine area and its indicative function of pollution sources

贾晓岑, 周建伟, 朱恒华, 余露, 张秋霞, 朱越 水文地质工程地质. 2020, 47(5): 179-188

矿山水土污染与防治对策研究

A discussion of soil and water pollution and control countermeasures in mining area of China

张进德, 田磊, 裴圣良 水文地质工程地质. 2021, 48(2): 157-163

西南岩溶山区复合水动力场滑坡影响模式——以关岭县大寨滑坡为例

Impact model of landslide with complex hydrodynamic field in karst mountain areas of southwest China: a case study of the Dazhai landslide in Guanling County

易连兴 水文地质工程地质. 2020, 47(4): 43-50

不同勘探方法在丰水期和枯水期岩溶塌陷探测效果分析研究

Studies on effect analysis of different exploration methods for karst collapse detection in the periods of rainy and dry seasons

金爱芳, 刘磊, 殷秀兰 水文地质工程地质. 2022, 49(6): 171-178

降雨诱发直线型黄土填方边坡失稳模型试验

Model test of the linear loess fill slope instability induced by rainfall

陈林万, 张晓超, 裴向军, 张硕, 龚伟翔, 钟玉健 水文地质工程地质. 2021, 48(6): 151-160



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202401054

罗伟奇, 刘拥军, 李同生, 等. 湖南省界牌岭矿区矿坑充水途径研究 [J]. 水文地质工程地质, 2024, 51(3): 57-68.
LUO Weiqi, LIU Yongjun, LI Tongsheng, et al. Study on water filling path in the Jiepailing mining area of Hunan Province [J].
Hydrogeology & Engineering Geology, 2024, 51(3): 57-68.

湖南省界牌岭矿区矿坑充水途径研究

罗伟奇¹, 刘拥军^{2,3}, 李同生^{2,3}, 周鑫^{2,3}, 陈文东², 欧健^{2,3}, 陈亮晶^{2,3}, 宋学旺⁴, 章威⁵, 何国扬⁵
(1. 湖南省自然资源事务中心, 湖南长沙 410004; 2. 湖南省地质灾害调查监测所, 湖南长沙 410004; 3. 湖南省地质灾害监测预警与应急救援工程技术研究中心, 湖南长沙 410004;
4. 云锡红河资源有限责任公司, 云南红河 661000;
5. 宜章弘源化工有限责任公司, 湖南郴州 424202)

摘要: 湖南省界牌岭矿区在深部多金属矿探采结合施工时, 出现了矿坑涌水量大和西南部塔下村余家组发生了大量岩溶地面塌陷等问题。尽管以往开展过矿区水文地质勘查工作, 但对水文地质条件尤其是威胁矿山安全生产及对周边地质环境造成破坏的矿坑潜在充水水源和充水通道了解得不够清楚。文章系统整理分析了矿区前期各阶段水文地质资料, 结合地面调查、物探、钻探、抽水试验等常规方法, 对界牌岭矿区水文地质条件进行了研究, 并重点分析了矿坑充水途径。结果显示: (1) 研究区西南部新发现 NE 向断层 F₃₀₃。(2) 矿坑主要充水途径有 2 条: ① 矿区西部 F₂₀₁ 至 F₃₂ 段隔水层测水组缺失, 壶天群、梓门桥组与石蹬子组直接接触, 同时受 F₂₀₁、F₃₀₃、F₃₂ 的影响, 构成矿坑最主要的充水途径; ② 矿区西北部沿花岗斑岩岩体与围岩接触带富水性较好, 围岩接触带构成矿坑充水途径; 主要充水水源为西部壶天群地下水和田尾溪水。建议在 F₁ 的西侧梓门桥组、壶天群范围内利用下部隔水层测水组对梓门桥组、壶天群内的充水途径进行帷幕注浆, 阻隔矿区与河水、壶天群的地下水水力联系。研究结果可为矿山下一步防治水工作的实施提供参考依据。

关键词: 多金属矿; 充水途径; 充水水源; 岩溶地面塌陷; 界牌岭

中图分类号: P641.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-3665(2024)03-0057-12

Study on water filling path in the Jiepailing mining area of Hunan Province

LUO Weiqi¹, LIU Yongjun^{2,3}, LI Tongsheng^{2,3}, ZHOU Xin^{2,3}, CHEN Wendong², OU Jian^{2,3},
CHEN Liangjing^{2,3}, SONG Xuewang⁴, ZHANG Wei⁵, HE Guoyang⁵

(1. Hunan Center of Natural Resources Affairs, Changsha, Hunan 410004, China; 2. Hunan Institute of Geological Disaster Investigation and Monitoring, Changsha, Hunan 410004, China; 3. Hunan Geological Disaster Monitoring, Early Warning and Emergency Rescue Engineering Technology Research Center, Changsha, Hunan 410004, China; 4. Yunnan Tin Industry Group (holding) Co. Ltd., Honghe, Yunnan 661000;
5. Yizhang Hongyuan Chemical Co. Ltd., Chenzhou, Hunan 424202, China)

Abstract: In the Jiepailing mining area, during the exploration and mining of deep polymetallic ores, the water

收稿日期: 2024-01-23; 修订日期: 2024-03-01

投稿网址: www.swdzgcdz.com

基金项目: 湖南省科学技术厅工程技术研究中心项目(2022TP2067); 湖南省地质院重大科技项目(HNGSTP202303)

第一作者: 罗伟奇(1967—), 研究员级高级工程师, 从事水文地质、工程地质、环境地质勘查评价与研究工作。

E-mail: WQLUOSWZX@163.com

通讯作者: 陈亮晶(1965—), 研究员级高级工程师, 从事水文地质、地质灾害防治、岩土工程勘查评价等工作。E-mail: 1065450935@qq.com

filling in the pits and extensive karst ground collapses in the Yujia area occurred. Although previous studies have investigated the hydrogeological conditions in the mining area, the potential sources and pathways of water filling that threaten mine safety and damage the surrounding geological environment, are not clear. This study investigated the hydrogeological conditions and analyzed the pathways of water filling in the Jiepailing mining area by using systematical analysis of hydrogeological data from various stages, ground surface investigation, geophysical exploration, drilling, and pumping tests. The results show that: (1) the northeastern fault F_{303} is found, located in the southwestern part of the study area. (2) In the western part of the mining area the absence of the aquifuge between F_{201} and F_{32} leads to Shidengzi Formation directly contacting the Hutian Group and Zimenqiao Formation. It constitutes the main pathway of water filling in the mine pits, affected by F_{201} , F_{303} , and F_{32} . In the northwestern part of the mining area, the contact zone between the granodiorite porphyry and the surrounding rock has good water-richness, forming the other pathway for water filling in the mine pits. The main sources of water filling are the groundwater in the western Hutian Group and Tianweixi river water. This study suggests executing curtain grouting on the west side of F_1 by the lower impermeable layer group to block water pathways within the Hutian Group of the Zimenqiao Formation, thereby interrupting the hydraulic connection between the mining area and the river water, as well as groundwater in the Hutian Group. The results can provide basic information for the implementation of water prevention and control in the mine area.

Keywords: polymetallic ore; fill avenue; water filling sources; karst ground collapse; Jiepailing mining area

矿业活动一直向深部和水文地质条件复杂的岩溶地区进军,一些原认为不适宜开采的大水矿山也纳入了开采范围,但随之诱发的环境地质问题也越来越严重^[1]。采矿活动诱发的较为常见的环境地质问题包括岩溶地面塌陷^[2-3]、水污染^[4]、采空区地面变形^[5-6]以及地下水资源枯竭^[7]等。环境地质问题的大量出现,以查明矿区水文地质条件为基础进而采取针对性的防治水措施已到了刻不容缓的地步。

我国矿区地下水防治方法体系源自苏联,自 20 世纪 50 年代传入中国,受我国矿山井下开采模式的需要,发展迅速且相对成熟^[8]。沈继芳^[9-10]、方佩贤^[11-12]等曾先后对矿区地下水防治研究内容与研究方法进行了详细论述,确定了矿区地下水防治以查明水文地质条件及充水水源、充水途径、充水水量为基础工作,采用疏、堵、截相结合的综合防治水方法。进入 21 世纪,随着环境地质问题的高发,社会各界对查明矿区水文地质条件和矿山防治水工作越来越重视,在查明矿区水文地质条件和防治水方法方面进行了大量研究,许多新技术、新方法得到了广泛应用。左文喆等^[13]、任虎俊等^[14]、李贵仁等^[15]分别运用动态监测、瞬变电磁、数值模拟等方法在查明矿区水文地质条件和防治水中取得了良好的效果,为查明矿区水文地质条件和防治水提供了更加丰富和先进的手段。但新技术新方法各自适用条件不同,受适用条件

和单一手段多解性的影响其结果可能存在可靠性不足等问题。

湖南省界牌岭多金属矿于 20 世纪 80 年代初期发现,该矿区浅部为萤石矿,深部为多金属矿,深部矿体均被下石炭统石碇子组(C_3sh)灰岩、白云质灰岩、白云岩所包裹^[16-17]。根据普查报告该矿床属于以岩溶溶洞水为主,含矿层直接进水的水文地质条件中等的岩溶变质矿床,地下水以大气降水补给为主,侧向补给甚微,除南部为导水边界外,东、西、北部均为隔水边界^[17]。基于普查报告对矿区水文地质条件的认识,2000 年启动了深部多金属矿探采结合工程,但 2002 年出现了矿坑涌水量大且西南部塔下村余家组发生了大面积岩溶地面塌陷,造成溪水断流、公路中断、房屋倒塌、耕地损毁等环境地质问题,探采活动被迫中止,转为露天开采浅部萤石矿,因洗矿选矿的需要,利用巷道抽取地下水 800~2 000 m^3/d 。目前矿区中心地下水位较天然状态下降了约 40 m,周边地下水向矿区汇集。鉴于界牌岭矿区所遇到的环境地质问题,多位地质工作者对该区的水文地质条件进行了再次研究,取得了进一步认识,其中朱天林^[18]认为矿床水文地质类型属于以裂隙溶洞水为主的含矿层间接进水的水文地质条件复杂的岩溶充水矿床;周念清等^[19]认为界牌岭矿是典型的构造控水矿床, F_4 和 F_{201} 是主要的控水和导水构造;彭攀^[20]认为矿区水文地质类型为

以裂隙溶洞为主的矿层直接进水的裂隙溶洞充水矿床,水文地质条件复杂。以上成果为本次研究提供了很好的借鉴,但矿区有些关键问题尚未澄清;同时许多学者注重新技术新方法的研究应用,却对常规方法的应用重视不足^[8]。

本文以该水文地质勘探项目为依托,采用常规的水文地质勘查方法包括物探、钻探、抽水试验、地下水位统测、地表河流流量动态长观等,结合前期资料对水文地质条件进行再研究,并开展多因素耦合、综合研究,以期查明矿区水文地质条件特别是主要来水方向和充水途径,为矿山下一步防治水工作的实施提供参考依据。

1 研究区概况

研究区位于湖南省宜章县境内,地形呈半岛状,南高北低,东西两侧为自南向北流的小溪;北部良田溪为矿区侵蚀基准面,标高 258 m 左右,矿区深部多金属矿体分布标高均低于矿区侵蚀基准面。研究区属东江水系,西部田尾溪溪底地层为中上石炭统壶天群($C_{2+3}h$),流量为 $0.98 \sim 23.45 \text{ m}^3/\text{s}$;东部爱子江溪溪底地层为下石炭统测水组(C_1c)。两溪于北部良田村汇合为良田溪,向北流入策江。研究区主要出露地层为 C_1sh 、 C_1c 、梓门桥组(C_1z)和 $C_{2+3}h$,以及零星分布的白垩系(K)。地层总体走向 NNE,倾向 E 或 W,倾角 $10^\circ \sim 30^\circ$ (图 1)。 C_1sh 为直接赋矿层位,出露于界牌岭背斜轴部、东部、东南部,其余地段埋藏于 C_1c 之下,下段岩性为白云岩、白云质灰岩、灰岩,上段为泥质灰岩、泥灰岩、泥岩。 C_1c 在研究区内大面积分布,西部埋藏于 C_1z 之下,岩性主要为砂岩、粉砂岩、页岩、砂砾岩、炭质页岩及劣质煤层,总厚约 120 m。 C_1z 呈带状裸露状分布于研究区西部和北部,东部零星分布,其余地段缺失或埋藏于 $C_{2+3}h$ 之下,下段深灰色含生物碎屑灰岩,上段为白云岩,总厚度约 60 m。 $C_{2+3}h$ 分布于官余复式向斜核部,其中大部分被厚 0~20 m 的第四系覆盖,岩性主要为白云岩,层厚 420~450 m。K 零星分布于北部马口岩体东西两侧。

官余复式向斜为区内一级褶皱,呈近 SN 向展布,轴线走向 $NE15^\circ$,研究区处于其南部扬起端;界牌岭背斜属官余复式向斜的次一级褶皱,背斜轴向 $NE23^\circ$,该背斜以 $15^\circ \sim 20^\circ$ 向 NNE 倾伏于良田坪,背斜核部为 C_1sh ,两翼为 C_1c ,东西两翼分别被 F_3 、 F_1 两条走向断层切割。

研究区断层按走向分为 3 组,即近 SN 向断层、

NWW 向断层和 NE 向断层。近 SN 向断层主要有 F_1 、 F_3 、 F_4 、 F_5 、 F_7 、 F_9 等,走向一般 $NE15^\circ$ 。其中 F_1 、 F_5 、 F_7 倾向 W, F_4 断层分布于矿区中部界牌岭背斜核部,贯穿矿区,产状近于直立,断层破碎带宽 50~70 m;该断层呈现多期活动特征,早期表现为张性,后期表现为压扭性。 F_3 、 F_9 倾向 110° ,断层性质为压扭性。NWW 向断层主要有 F_{32} 、 F_{201} 、 F_{401} 、 F_{23} 、 F_{202} 等,走向 $260^\circ \sim 285^\circ$,倾向 NE、NNE,为扭性横断层,常错动 SN 向断层,水平错距一般百余米。NE 向断层主要有 F_{301} 、 F_{302} 、 F_{303} 等,为压扭性横断层,走向 $NE60^\circ \sim 70^\circ$,常错动 SN 向断层。

2 研究方法

主要采取物探、钻探、抽水试验、河流流量动态长观等及多因素耦合、综合研究方法对界牌岭矿区构造特征及矿坑主要充水途径进行研究。

2.1 物探

在分析历史资料的基础上,采用音频大地电磁探测方法,查明矿区周边延伸至矿区内的地质构造的位置、产状、规模等,重点查明研究区西部断裂构造情况;探测采用 50 m 点距,重点地段加密至 20 m。在音频大地电磁探测结果异常段采用高密度电法进一步探测验证。

2.2 抽水试验

所有钻孔均进行单孔抽水试验,主要查明地层和断裂的富水性。采用多孔抽水试验方法查明矿区关键地质界线的水文地质性质,共设置 2 组多孔抽水试验,其中 SK10 与 SK11 多孔抽水试验查明界牌岭背斜核部的富水性以及 F_{301} 的导水性;SK10、SK9、ZK8 多孔抽水试验查明东部 F_3 的隔水性。利用已有巷道系统进行群孔抽水试验,通过该试验扰动地下水流场,判断主径流带,揭示矿区地下水的来水方向;群孔抽水试验地下水位最终保持在 320 m 左右,降深约 21.56 m。

2.3 河流流量动态长观

2020 年 7 月至 2021 年 3 月,对矿区西部田尾溪在流经矿区段水量变化进行了监测。监测断面设置在田尾溪进入矿区的上游 C_1c/C_1z (IV 断面)和流出矿区的马口山岩体下游(VI 断面)。采用 RTK 测量河流断面形态和水面高程,流速仪多点测量河水流速,采用 $Q=\sum(S_i \cdot V_i)$ 计算断面流量,比较上下游断面的流量变化,判断田尾溪在矿区段漏失情况。

2.4 其他研究方法

其他研究方法包括以往资料的收集、地面调查、

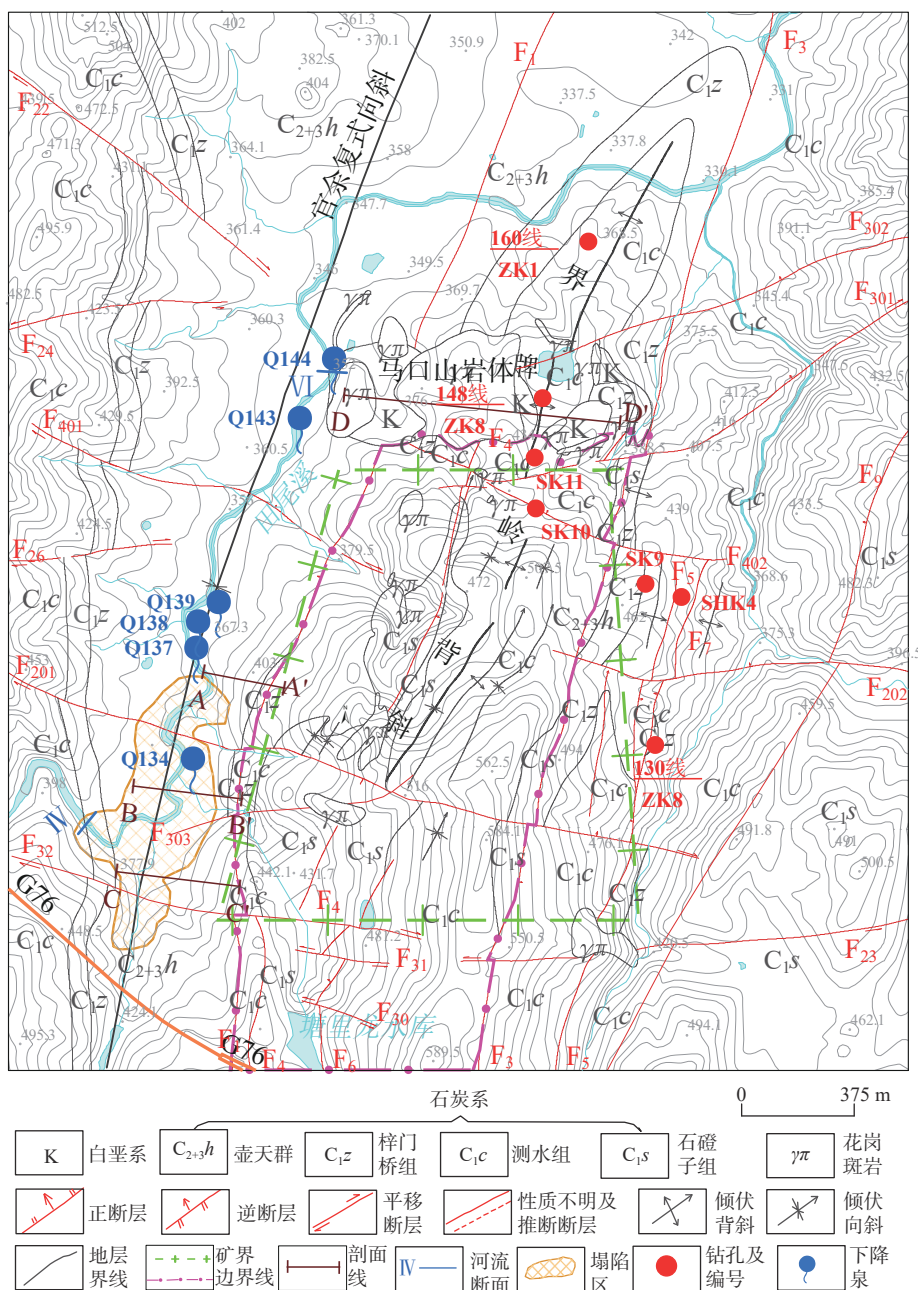


图 1 研究区地质略图

Fig. 1 Geological sketch of the study area

钻探、水质分析等。对取得各种信息采用水文地质理论进行多因素耦合,以查明水文地质条件。

3 结果

3.1 地层富水性

据以往资料与本次研究成果^[16-17]、《矿区水文地质工程地质勘探规范》^[21]中的富水性指标,研究区 C_{1sh}(下段)、C_{2+3h}及 C_{1z}为富水地层,冲洪积层(Qh^{al})孔隙含水层富水性中等,其他地层为隔水层(表 1)。

3.2 断裂构造富水性

根据断裂带出露泉点、抽水试验、注水试验结果统计^[16-17],研究区近 SN 向断裂中 F₄为富水断层, F₃、F₆为阻水断层, F₁、F₅富水性中等; NWW 断层除 F₃₂、F₂₀₁、F₄₀₂、F₂₀₂等为富水断层外,其余断层富水性弱。NE 向断裂为富水断层。

3.3 塌陷区地下水流向

据余家组岩溶地面塌陷区勘查成果^[22],2003 年塌陷区 C_{2+3h}地下水在塌陷区以南自南向北径流;塌陷区

表 1 研究区地层富水性表

Table 1 Water yield property of the strata in the study area

地层代号	泉流量/(L·s ⁻¹)	单位涌水量/(L·s ⁻¹ ·m ⁻¹)	单位吸水量/(L·s ⁻¹ ·m ⁻¹)	富水性等级
C _{1sh}	0.1 ~ 16.0	0.001 1 ~ 10.166	0.001 ~ 17.81	富水
C _{2+3h} , C _{1z}	0.014 ~ 7.73	0.000 2 ~ 2.548 5	—	富水
Qh ^{af}	—	0.24 ~ 0.995	—	中等富水
C _{1c}	0.02 ~ 0.68	—	—	隔水
K	0.01 ~ 0.13	0.000 1 ~ 0.073 3	—	隔水

内地下水自 WN 往 NE 方向径流, 与本区域地下水总体流向发生偏转; 塌陷区以北地下水往 NNE 向径流 (图 2)。

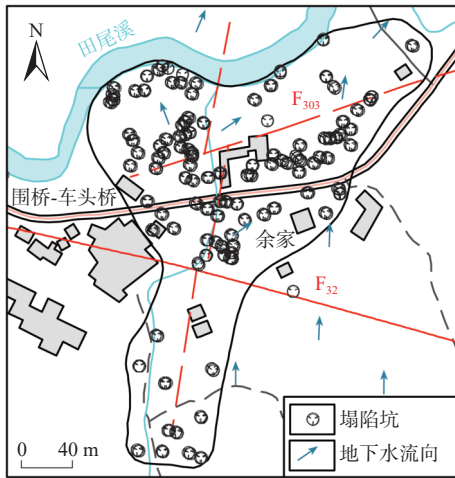


图 2 塌陷区初期地下水流向及塌陷分布图

Fig. 2 The initial groundwater flow direction and the distribution of the subsidence area

3.4 田尾溪流量变化特征

根据田尾溪流量监测, 矿区段溪水在观测期长期漏失, 漏失量 0 ~ 550 L/s, 甚至断流, 期间可见河水明显通过溶洞溃入地下的现象, 如图 3、图 4 所示。

3.5 研究区岩溶发育特征

岩溶发育受各种因素影响^[23-30]。通过研究矿区岩溶发育特征, 分析岩溶发育的控制因素, 以揭示矿坑充水途径。据西南部 C_{2+3h} 灰质白云岩中 10 个钻孔资料统计, 7 个钻孔遇溶洞或大的溶蚀裂隙, 见洞率 70.0%, 见溶洞及大溶蚀裂隙 (0.2 m 以上) 总计 13 个^[16,22]。矿区中心 C_{1sh} 中 39 个钻孔统计, 见溶洞钻孔总计 26 个^[16-17], 见溶洞率为 66.7%; 钻孔揭露最低岩溶发育标高 -205.35 m。26 个见溶洞钻孔共遇溶洞 110 个, 溶洞高度在 0.2 ~ 8.6 m, 其中洞高 0.3 ~ 0.9 m 的小型溶洞总计 59 个, 占全部溶洞的 52.6%^[16]。

矿区 C_{1sh} 以标高分段统计, 标高 300 m 以上岩溶率 0.191% ~ 0.229%, 标高 -100 ~ 300 m 的中部岩溶

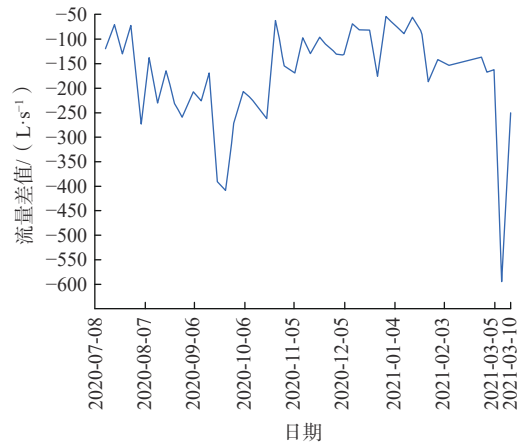


图 3 田尾溪矿区段上下游流量变化图

Fig. 3 Change of flow discharge in the upstream and downstream of Tianweixi mining area

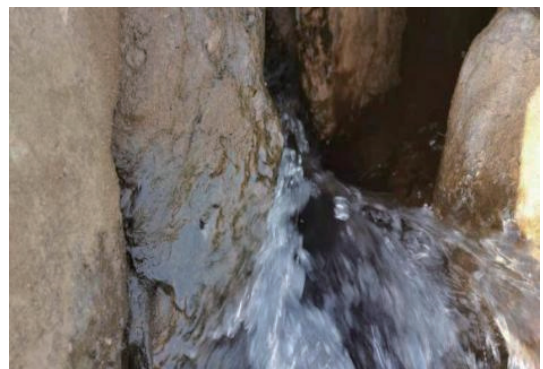


图 4 田尾溪河水溃入地下

Fig. 4 Tianweixi river water collapsing into the ground

率 0.457% ~ 0.984%, 其中标高 100 ~ 200 m 岩溶最为发育, 标高 -100 m 以下的岩溶率 0.217%。结果显示上部下部岩溶不发育、中部岩溶发育特点。以 C_{1sh} 顶板为基准分段统计, 受 C_{1sh} 上段为岩性不纯的泥质灰岩甚至泥岩影响, 自 C_{1sh} 顶板开始以下 250 m 之内岩溶不发育, 250 ~ 400 m 钻孔见洞率高, 400 m 以下见溶洞少。矿区内岩溶强发育地段大部分分布在 F₄ 断层附近 (界牌岭背斜核部), 群孔抽水试验求参结果显示南北向渗透系数 4 倍于东西向渗透系数^[16]。

总之, 矿区岩溶发育程度受岩性、构造、径流深度

的影响。 C_1sh 上部岩性不纯,岩溶不发育,下段岩性较纯,岩溶发育程度强于上部;受地下水径流影响,深部岩溶发育程度弱于中部;断裂带及附近岩溶发育程度强于非断裂带部位。

3.6 矿区地下水径流特征

天然状态研究区内 C_1sh 地下水受地形地貌的控制呈分散状径流,地下水自南向西通过 F_{32} 、 F_{201} 、 F_{303} 向田尾溪径流以泉的形式排泄,以及通过 F_{402} 、花岗岩接触带向西北田尾溪径流排泄,再者向北通过界牌岭

背斜核部呈潜流排泄,如图 5^[16] 所示。目前形成以矿区为中心的降落漏斗,地下水的补给径流条件发生了改变,西部田尾溪溪水和壶天群、梓门桥组地下水反向补给矿区。根据 2021 年 1 月群孔抽水后期地下水位统测,研究区北部 F_{301} 、 F_{402} 之间存在地下水分水岭, F_{301} 以北向北径流, F_{402} 以南向矿区中心汇集,推测田尾溪水通过花岗岩接触带、 F_{402} 反向补给矿区。目前区内 C_1sh 地下水以人工排泄方式为主,田尾溪沿线泉点已干枯。

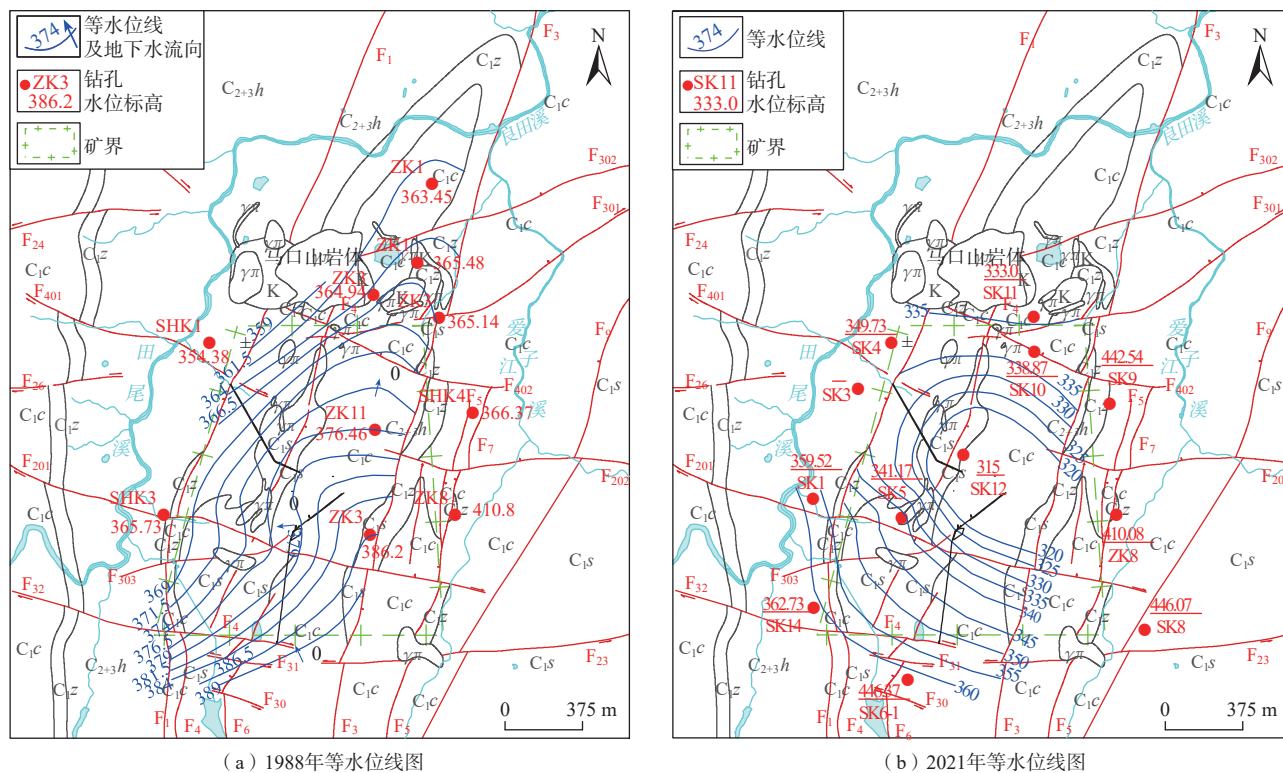


图 5 研究区等水位线图^[16]
Fig. 5 Water level contour map of the study area^[16]

4 讨论

4.1 F_{303} 断层

通过本次工作及前人资料的水文地质信息进行多因素耦合,推测矿区西南部余家组一带存在逆断层 F_{303} ,控制长度约 0.6 km,走向 $NE70^\circ$,倾向 NW ,倾角 $50^\circ \sim 70^\circ$ 。在巷道 239 中段揭露了该断层。除了巷道揭露外,其他证据也证实了该断层:(1)据野外调查,黄土塘小溪南北两侧 C_1c/C_1sh 地层分界线不连续,冲沟北侧 C_1c/C_1sh 分界点附近 C_1sh 产状为 $340^\circ \angle 38^\circ$,冲沟南侧 C_1c/C_1sh 分界点附近 C_1c 走向 350° ,倾角近于直立。(2)地形地貌标志:黄土塘小溪上游段呈近 SN 走向,在尾矿库坝下呈近 EW 向展布,小溪冲沟横切

了 C_1z 、 C_1c 、 C_1sh ;小溪底与周边地形高差在 80 ~ 100 m,小溪北侧地形坡度 $40^\circ \sim 60^\circ$,小溪南侧地形坡度 30° 左右。(3)物探成果标志:根据 G1 高密度成果,在里程 150 m 左右出现向下延伸的低阻异常,推测倾角 $50^\circ \sim 60^\circ$ (图 6)。(4)再者余家组塌陷区地下水流向也证实了 F_{303} 的存在。在后面充水途径讨论中,该断层是矿坑充水的极为重要因素,也可以合理解释余家组发生岩溶地面塌陷的原因。

4.2 主要充水途径

依据研究区含隔水层的分布、断裂的导水性、岩溶发育特征等因素,重点研究矿区西部、北部矿坑的充水途径。

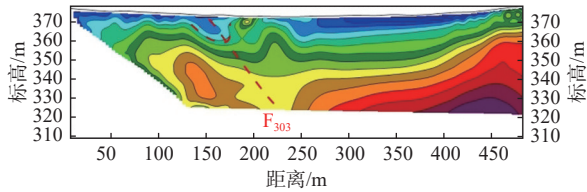


图 6 高密度物探成果图

Fig. 6 High-density geophysical prospecting results

4.2.1 西部矿坑充水途径

处在界牌岭背斜西翼和官余复式向斜东翼。自

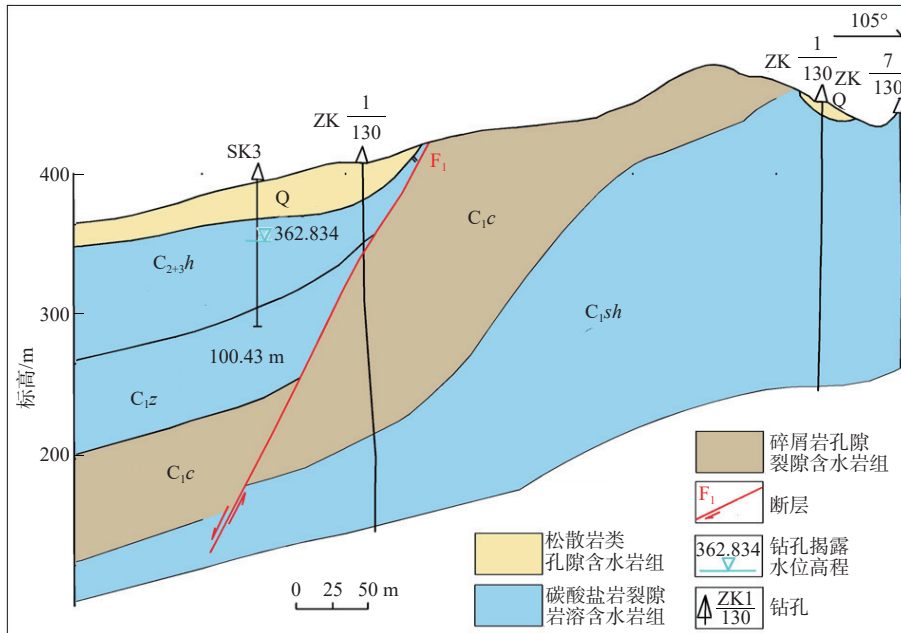


图 7 西部边界 A—A'水文地质剖面图

Fig. 7 Hydrogeological profile of western boundary A-A'

(2)F₂₀₁与F₃₂之间段: 由于F₁破坏了C_{1c}的连续, 造成了C_{1sh}与C_{1z}、C_{2+3h}直接接触, 见图8; 受F₂₀₁、F₃₀₃的影响, 西部C_{2+3h}、C_{1z}地下水和田尾溪水现状条件下通过断裂带进入矿区。

据巷道开拓期间资料, 在80 m中段开拓时, 在前相后相距5 m内遇到2个溶洞, 一个溶洞水温在28~30℃, 水质稍浑浊, 水温接近河水(当时气温38℃), 而另一个溶洞水温18~20℃, 水质清澈^[20]; 天然状态下, 在F₂₀₁、F₃₀₃之间田尾溪边出露了134[#]、137[#]、138[#]、139[#]流量较大的岩溶泉, 合计流量13.31 L/s, 目前矿区中心水位标高在340 m左右, 低于田尾溪溪底标高370 m, 天然状态出露的4处泉点已干涸; 2000年开始进行巷道开拓, 2002年余家组附近发生了岩溶地面塌陷; 这些现象说明矿区与田尾溪存在水力联系。研究区1988年和2021年的等水位线图也说明F₁以西与矿区存在水力联系。综合以上因素, F₂₀₁与F₃₂之间段构成

矿区往西依次出露的地层为C_{1sh}、C_{1c}、C_{1z}、C_{2+3h}。区内发育有断层F₁、F₃₂、F₂₀₁、F₄₀₁、F₃₀₃等, 见图1。界牌岭背斜西翼总体有倾向W的C_{1c}隔水层呈SN向展布, 根据C_{1c}的分布将西部边界分为南中北三段讨论, 即F₂₀₁以北、F₃₂以南和F₂₀₁与F₃₂之间三段。

(1)F₂₀₁以北段: F₂₀₁以北, F₁错断了C_{1c}, 但F₁上、下盘C_{1c}仍接触, 阻止矿区C_{1sh}与C_{2+3h}的水力联系, 且C_{1sh}上段为岩性不纯的泥灰岩、泥岩、泥质灰岩, 岩溶发育程度低, 与C_{1c}共同构成隔水边界, 见图7。

矿坑过水通道。应说明的是, 该段除了断裂带及影响带外, 由于C_{1sh}上段岩性不纯, 富水性较差, 因此除断裂带及影响带外为弱过水通道。

(3)F₃₂以南段: 由于官余复式向斜在南部扬起, C_{2+3h}、C_{1z}厚度逐渐变薄至缺失, F₁上下盘C_{1c}地层接触, C_{1c}阻止了C_{2+3h}、C_{1z}与矿区C_{1sh}的联系, 构成隔水边界(图9)。

因此西部边界F₂₀₁以北为隔水边界。F₂₀₁至F₃₂为透水边界, 为矿坑充水途径, 其中F₂₀₁、F₃₀₃断裂带及影响带为主要充水途径, C_{2+3h}、C_{1z}地下水、田尾溪水通过F₂₀₁、F₃₀₃断裂带及影响带与矿区地下水联系密切。F₃₂以南为隔水边界。根据数值模拟矿坑涌水量预测结果: 水位降至0 m标高时, 矿坑总涌水量为38 461 m³/d^[6], 西部侧向补给量为30 824 m³/d^[6], 占总涌水量的80.1%。

4.2.2 北部充水途径

矿区北部出露的地层有C_{1sh}、C_{1c}、C_{1z}、C_{2+3h}、K

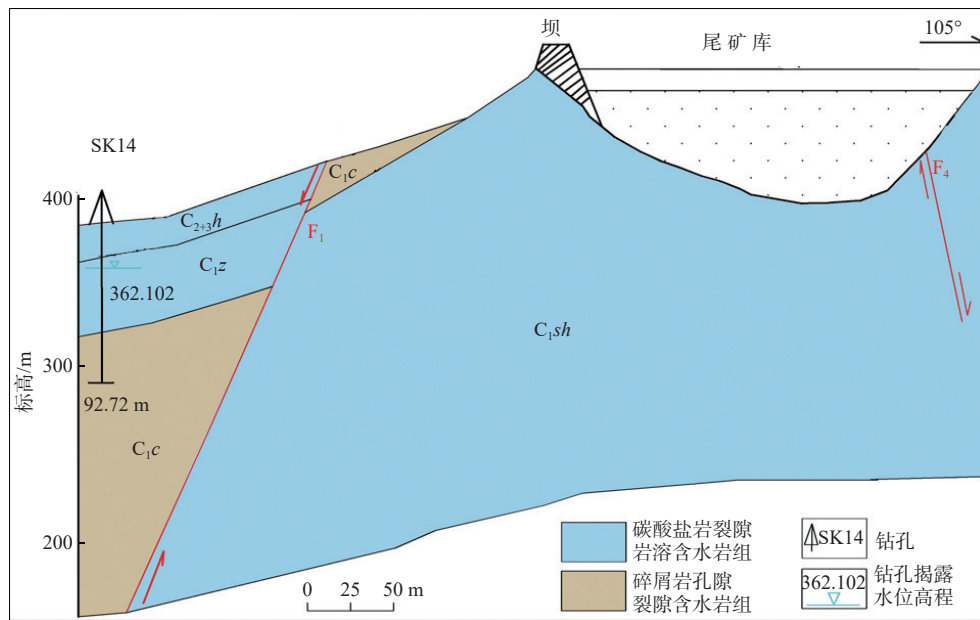


图 8 西部边界 B—B'水文地质剖面

Fig. 8 Hydrogeological profile of western boundary B-B'

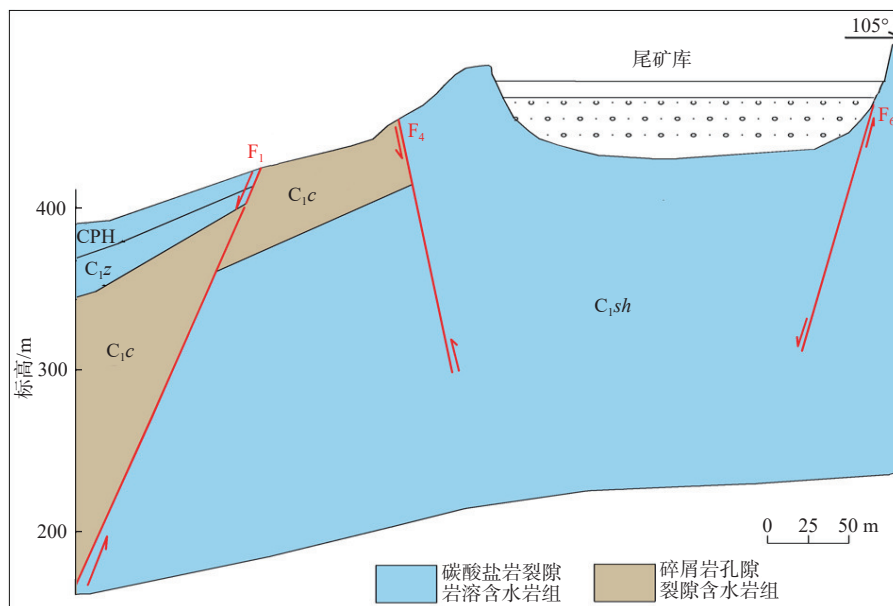


图 9 西部边界 C—C'水文地质剖面图

Fig. 9 Hydrogeological profile of western boundary C-C'

以及花岗斑岩, 见图 1。界牌岭背斜往北倾伏于良田坪, 该区内发育断层有 F_1 、 F_3 、 F_4 、 F_{402} 、 F_{301} 、 F_{302} 。

(1) SK9 与 SK10、SK11 分别处于 F_3 两侧, 相距 400 m, SK9 水位标高 442 m, SK10、SK11 水位标高分别为 340 m、333 m, 水位差 100 余米; 同时 SK10、SK11 为抽水主孔的多孔抽水试验, SK9 水位反应不明显, 由此判断 F_3 为阻水断层。

(2) F_{301} 、 F_{302} 、 F_{402} 为导水断层, 有别于 1988 年普查期认为 F_{402} 、 F_{301} 、 F_{302} 为阻水断层, 构成矿区北部隔水

边界的结论^[17]。普查期 160 线 ZK1 抽水试验时, 148 线 ZK2 水位反应明显, 水位累计下降 16.23 m, 两孔分布于 F_{302} 断层两侧, 因此判断 F_{302} 为导水断层。SK11 揭露了 F_{301} , 单位涌水量为 1.034 ~ 1.315 L/(s·m); SK10 揭露了 F_{402} , 单位涌水量 0.374 ~ 0.595 L/(s·m)。SK11 抽水试验时, SK10 孔水位有明显下降; 由此判断 F_{301} 、 F_{402} 为导水断层。同时, 本次群孔抽水试验后期, 矿区中心水位下降 21.56 m, SK10 水位累计下降 1.84 m, SK11 水位累计下降 0.78 m^[16]。以上现象说明 F_{301} 、 F_{302} 、 F_{402}

均为导水断层。

(3) 160线 ZK1、148线 ZK2 处在界牌岭背斜核部, 其单位涌水量(吸水量)分别为 $0.54 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 、 $0.3385 \sim 0.865 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$, 富水性中等; 其中 148线 ZK2 在 $41.66 \sim 251.93 \text{ m}$ 注水试验单位吸水量为 $0.865 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$, $253.18 \sim 447.25 \text{ m}$ 单位吸水量为 $0.3385 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m})$, 上部富水性好于下部^[16], 有别于区内 C_1sh 富水性下部好于上部的特征, 符合背斜核部上部张裂隙发育特点; 因此结合 F_{301} 、 F_{302} 、 F_{402} 导水性以及该区域处在界牌岭背斜核部, 北部界牌岭背斜核部导水。同时 160线 ZK1 抽水

试验时, 148线 ZK2 水位变化仅滞后半小时, 累计降深 16.23 m , F_{402} 以南矿区内钻孔水位下降仅 $0.8 \sim 2.0 \text{ m}$ ^[17]; 分析认为: 由于花岗斑岩及 K 的存在以及背斜的影响, 花岗斑岩以北仅背斜核部为过水通道(图 10)。因此矿区北部以背斜核部呈条带状含水带与矿区发生水力联系。但界牌岭背斜倾伏于良田坪及 C_1c 隔水层的存在, 阻止了 C_1sh 与地表河流、 $C_{2+3}h$ 的水力联系, 因此通过界牌岭背斜倾伏端补给矿区的水量有限。根据数值模拟矿坑涌水量计算结果: 矿区水位至 0 m 标高时, 北部侧向补给量为 $862 \text{ m}^3/\text{d}$ ^[16]。

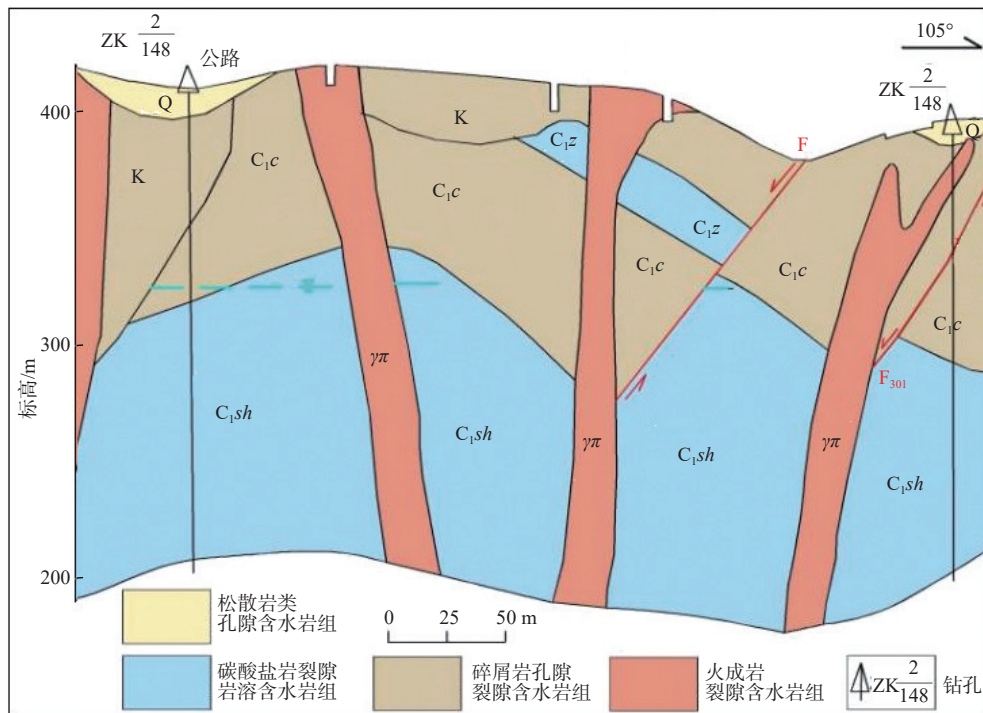


图 10 北部边界 D—D'水文地质剖面图

Fig. 10 Hydrogeological profile of the northern boundary D-D'

(4) F_{402} 止于西部花岗斑岩岩体, 根据普查期水文地质调查, 在花岗斑岩岩体西侧的田尾溪旁出露了 143#和 144#两个流量较大的岩溶泉, 泉流量分别为 $2.798 \text{ L}/\text{s}$ 和 $5.002 \text{ L}/\text{s}$ ^[17], 推测花岗斑岩岩体与围岩接触带形成了地下水良好的导水带, 矿区地下水经 F_4 、 F_{402} 沿岩体与围岩接触带向田尾溪径流排泄, 目前该两处泉水已干涸, 说明该区地下水已受到矿区排水的影响。从图 5(b)等水位线图可以看出 SK10、SK11 之间存在地下水分水岭以及在花岗斑岩体西部的壶天群中出现了少量塌坑, 说明西部 $C_{2+3}h$ 地下水已通过花岗斑岩围岩接触带进入矿区。未来采矿条件下, 沿该途径反向汇入矿区更加明显。

因此, 北部边界以花岗斑岩岩体为隔水边界, 花

岗斑岩岩体之间的界牌岭背斜核部形成宽度深度有限的导水通道; 由于 F_{402} 、花岗斑岩岩体与围岩接触带导水, 形成带状过水通道, 沟通了西北部 $C_{2+3}h$ 地下水与矿区的水力联系。

4.2.3 其他充水途径

南部边界为导水边界, 但由于 C_1sh 呈埋藏型, 接受大气降水等补给有限, 通过南部边界侧向径流补给矿区的水量有限。

4.3 防治水建议

为减少矿坑涌水量和减轻矿坑排水对周边地质环境造成破坏诱发岩溶地面塌陷等环境地质问题, 对矿坑主要充水途径进行帷幕注浆, 阻止西部 $C_{2+3}h$ 地下水和田尾溪水进入矿区。

在西部主要过水通道的 F_{32} 至 F_{201} 段和塔下村马口上组花岗斑岩岩体段利用下伏测水组的隔水性能进行帷幕注浆,帷幕墙进入测水组 20 m(图 11),其他地段包括矿区北部界牌岭背斜核部、东部 F_3 与 F_{402} 、

F_{301} 、 F_{302} 地面交汇处分别按 F_{402} 、 F_{301} 、 F_{302} 产状根据需要设置局部帷幕防渗墙;南部根据涌水点的情况在井下超前探水进行帷幕注浆。

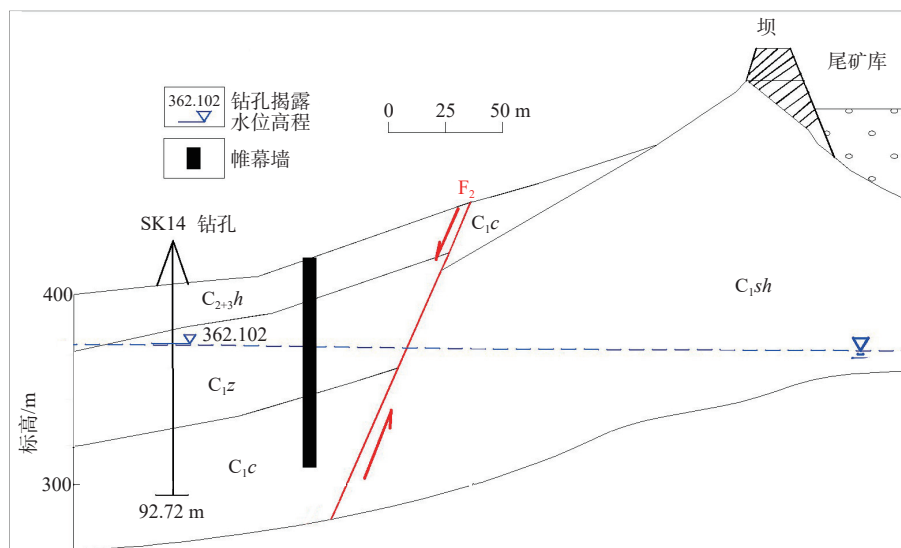


图 11 帷幕注浆剖面示意图

Fig. 11 Sketch of curtain grouting profile

5 结论

(1) 研究区富水的含水层为 C_{1sh} 下段、 C_{1z} 和 C_{2+3h} , C_{1sh} 上段富水性弱,隔水层为 C_{1c} ;区内断裂按走向分为近 SN 向、NE 向和 NWW 向 3 组,除近 SN 向的 F_3 、 F_9 为隔水断层外,区内其余断层富水性为富水或中等。

(2) 地面调查、物探、巷道揭露、塌陷区地下水流向等推测西南部存在 NE 向断层 F_{303} ,其沟通了西部田尾溪水与矿区地下水;矿坑充水的主要充水途径包括:①矿区西部 F_{201} 至 F_{32} 段隔水层 C_{1c} 缺失, C_{2+3h} 、 C_{1z} 与 C_{1sh} 直接接触,同时受 F_{201} 、 F_{303} 、 F_{32} 的影响,构成矿坑最为主要的充水途径;②矿区西北部沿花岗斑岩岩体与围岩接触带富水性较好,围岩接触带构成矿坑充水途径;充水水源为西部 C_{2+3h} 地下水和田尾溪水。

(3) 建议利用西部 C_{1c} 隔水层埋藏浅的特点,对矿区主要过水通道进行帷幕注浆,包括 F_{32} 至 F_{201} 段和塔下村马口上组花岗斑岩岩体段,阻隔矿区 C_{1sh} 含水层与河水、 C_{2+3h} 地下水的水力联系,防止岩溶地面塌陷等环境地质问题再次发生和减轻矿坑排水量,提高矿山的经济效益。

参考文献 (References):

[1] 张发旺,陈立,王滨,等. 矿区水文地质研究进展及中

长期发展方向 [J]. 地质学报, 2016, 90(9): 2464 - 2475. [ZHANG Fawang, CHEN Li, WANG Bin, et al. Progress of hydrogeological research in mining areas and its mid-and long-term trend[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(9): 2464 - 2475. (in Chinese with English abstract)]

[2] 陈亮晶,孙锡良,皮景,等. 湖南宁乡大成桥地区岩溶地面塌陷分布特征及影响因素分析 [J]. 中国岩溶, 2014, 33(4): 490 - 497. [CHEN Liangjing, SUN Xiliang, PI Jing, et al. Distribution characteristics and factors influencing karst collapse in Dachengqiao, Ningxiang, Hunan[J]. Carsologica Sinica, 2014, 33(4): 490 - 497. (in Chinese with English abstract)]

[3] 曾绍权. 水口山铅锌矿鸭公塘矿区大型帷幕注浆治水工程技术的应用 [J]. 中国有色冶金, 2006, 35(6): 55 - 59. [ZENG Shaoquan. Application of large curtain grouting technology for water control in Yagongtang mine area of Shuikoushan Lead-zinc Mine[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2006, 35(6): 55 - 59. (in Chinese with English abstract)]

[4] 湖南省地质灾害调查监测所. 湖南省花垣县锰矿区水文地质调查报告 [R]. 长沙: 湖南省地质灾害调查监测所, 2023. [Hunan Institute of Geological Disaster Investigation and Monitoring. Hydrogeological survey of

- Manganese mine area in Huayuan, Hunan[R]. Changsha: Hunan Institute of Geological Disaster Investigation and Monitoring. 2023. (in Chinese)]
- [5] 刘善军, 韩永东, 冯克印. 山东省新泰煤田采空区地表移动规律研究 [C]//中国地质灾害防治工程行业协会. 中国地质灾害防治学术交流会议论文集. 广州: 中国地质灾害防治工程行业协会, 2014: 358 - 362. [LIU Shanjun, HAN Yongdong, FENG Keyin. Study on surface movement law of goaf in Xintai coalfield, Shandong Province[C]//China Geological Disaster Prevention and Control Engineering Industry Association. Proceedings of China Geological Disaster Prevention and Control academic exchange conference. Guangzhou: China Geological Disaster Prevention and Control Engineering Industry Association, 2014: 358 - 362. (in Chinese)]
- [6] 吕文玉, 潘仁飞, 李杨, 等. 采空区地表沉陷规律的研究 [J]. 露天采矿技术, 2007, 22(4): 3 - 5. [LV Wenyu, PAN Renfei, LI Yang, et al. Study on the regular pattern of the earth surface subsidence in goaf areas[J]. *OpenCast Mining Technology*, 2007, 22(4): 3 - 5. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 武强. 我国矿山环境地质问题类型划分研究 [J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(5): 107 - 112. [WU Qiang. Study of classification of geologic environmental problems in mines in China[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2003, 30(5): 107 - 112. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 陈彦美. 南方岩溶金属矿区地下水防治理论与实践——以福建马坑铁矿为例 [D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2013. [CHEN Yanmei, Theory and practice of groundwater control in southern Karst metal mining area: Taking Makeng iron mine in Fujian Province as an example [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2013. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 沈继方. 矿床水文地质学 [M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1988. [SHEN Jifang. *Hydrogeology of deposit* [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1988. (in Chinese)]
- [10] 沈继方. 矿床水文地质学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. [SHEN Jifang. *Hydrogeology of deposit* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992. (in Chinese)]
- [11] 房佩贤. 专门水文地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1987. [FANG Peixian. *Specialized hydrogeology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. (in Chinese)]
- [12] 房佩贤. 专门水文地质学 [M]. 修订版. 北京: 地质出版社, 1996. [FANG Peixian. *Specialized hydrogeology* [M]. Revised ed. Beijing: Geological Publishing House, 1996. (in Chinese)]
- [13] 左文喆, 王斌海, 程紫华, 等. 基于地下水动态监测的司家营铁矿南区防治水措施 [J]. 中国矿业, 2016, 25(4): 91 - 97. [ZUO Wenzhe, WANG Binhai, CHENG Zihua, et al. Water control measures based on groundwater dynamic monitoring in the southern area of Sijiaying iron mine[J]. *China Mining Magazine*, 2016, 25(4): 91 - 97. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 任虎俊, 段俭君, 胡婉, 等. 山西潞安集团李村煤矿水文地质条件及矿井涌水量预测 [J]. 中国煤炭地质, 2013, 25(5): 27 - 31. [REN Hujun, DUAN Jianjun, HU Wan, et al. Hydrogeological condition and mine inflow in prediction Licun coalmine, Luan Group, Shanxi[J]. *Coal Geology of China*, 2013, 25(5): 27 - 31. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 李贵仁, 赵珍, 陈植华. 数值模拟在反演矿区水文地质条件中的应用 [J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(2): 19 - 23. [LI Guiren, ZHAO Zhen, CHEN Zhihua. Application of numerical simulation to inverting hydrogeological conditions in mining areas[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2013, 40(2): 19 - 23. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 湖南省勘测设计院. 湖南省宜章县界牌岭多金属矿矿区水文地质勘探报告 [R]. 长沙: 湖南省勘测设计院, 2021. [Survey and Design Institute of Hunan Province. Hydrogeological exploration report of jiepailling polymetallic mine area, Yizhang County, Hunan Province [R]. Changsha: Survey and Design Institute of Hunan Province. 2021. (in Chinese)]
- [17] 中国有色金属工业总公司湖南有色地质勘查局二三八队. 湖南省宜章县界牌岭矿区含铍萤石、锡(铜)矿普查报告 [R]. 郴州: 中国有色金属工业总公司湖南有色地质勘查局二三八队, 1998. [China Nonferrous Metals Industry Corporation Hunan Nonferrous Geological Exploration Bureau 238th Team. Survey report of Beryllium-bearing Fluorite and Tin (Copper) Ore in Jiepailling mining area of Hunan Province[R]. Chenzhou: Hunan Nonferrous Geological Exploration Bureau 238th Team, China Nonferrous Metals Industry Corporation, 1998. (in Chinese)]
- [18] 朱天林. 湖南省界牌岭矿区水文地质条件的认识 [J]. 矿产与地质, 2006, 20(1): 67 - 69. [ZHU Tianlin.

- Hydrogeological condition in Jiepailing mine of Hunan Province[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2006, 20(1): 67 – 69. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 周念清, 董文烨, 江思珉. 湖南界牌岭矿构造控水机理及其防治对策 [J]. 勘察科学技术, 2009(1): 33 – 36. [ZHOU Nianqing, DONG Wenye, JIANG Simin. Water structural controlling mechanism and prevention countermeasures in Hunan Jiepailing deposit[J]. *Site Investigation Science and Technology*, 2009(1): 33 – 36. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 彭攀. 湖南省宜章县界牌岭多金属矿矿区水文地质工程地质调查报告 [R]. 长沙: 湖南省地质建设工程(集团)总公司, 2012. [PENG Pan. Hydrogeological and engineering geological survey report of Jiepailing polymetallic mine area, Yizhang County, Hunan Province [R]. Changsha: Hunan Geological Construction Engineering Group Co. Ltd., 2012. (in Chinese)]
- [21] 国家技术监督局. 矿区水文地质工程地质勘探规范: GB 12719—1991[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991. [State Bureau of Quality and Technical Supervision of the People's Republic of China. Exploration specification of hydrogeology and engineering geology in mining areas: GB 12719—1991[S]. Beijing: Standards Press of China, 1991. (in Chinese)]
- [22] 中国有色金属工业长沙勘察设计院. 宜章县里田乡塔下村三组地面塌陷区工程地质调查报告 [R]. 长沙: 中国有色金属工业长沙勘察设计院, 2003. [Changsha Survey and Design Institute of China Nonferrous Metals Industry. Engineering geological survey report of ground subsidence area in Group 3, Taxia Village, Litian Township, Yizhang County [R]. Changsha: Changsha Survey and Design Institute of China Nonferrous Metals Industry, 2003. (in Chinese)]
- [23] 陈如冰, 罗明明, 罗朝晖, 等. 三峡地区碳酸盐岩化学组分与溶蚀速率的响应关系 [J]. 中国岩溶, 2019, 38(2): 258 – 264. [CHEN Rubing, LUO Mingming, LUO Zhaohui, et al. Response relationship between chemical composition and dissolution rate of carbonate rocks in the Three Gorges Area[J]. *Carsologica Sinica*, 2019, 38(2): 258 – 264. (in Chinese with English abstract)]
- [24] 林云, 任华鑫, 武亚遵, 等. 不同赋存环境下碳酸盐岩溶蚀过程试验模拟研究 [J]. 水文地质工程地质, 2021, 48(2): 15 – 26. [LIN Yun, REN Huaxin, WU Yazun, et al. Experimental simulation of the carbonate dissolution process under different occurrence conditions[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2021, 48(2): 15 – 26. (in Chinese with English abstract)]
- [25] 李琪, 赵小二, 武周虎, 等. 溶潭容积对岩溶管道穿透曲线的影响实验 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(3): 979 – 991. [LI Qi, ZHAO Xiaoe, WU Zhouhu, et al. Experiments on effect of karst pool volume on breakthrough curves in karst conduits[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2022, 52(3): 979 – 991. (in Chinese with English abstract)]
- [26] 崔学杰, 晏鄂川, 高旭. 鄂西南九重坡立谷群发育特征与地下暗河系统结构关系研究 [J]. 中国岩溶, 2018, 37(3): 330 – 335. [CUI Xuejie, YAN Echuan, GAO Xu. Development features of nine poljes and structural relationship of underground river system in the southwest area of Hubei[J]. *Carsologica Sinica*, 2018, 37(3): 330 – 335. (in Chinese with English abstract)]
- [27] 武亚遵, 于江浩, 林云, 等. 碳酸盐岩裂隙溶蚀扩展试验与模拟研究 [J]. 水文地质工程地质, 2024, 51(1): 41 – 46. [WU Yazun, YU Jianghao, LIN Yun, et al. Experiment and simulation study on dissolution widening of carbonate rock fracture[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2024, 51(1): 41 – 46. (in Chinese with English abstract)]
- [28] 侯贤沐, 王付勇, 宰芸, 等. 基于机器学习和测井数据的碳酸盐岩孔隙度与渗透率预测 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2022, 52(2): 644 – 653. [HOU Xianmu, WANG Fuyong, ZAI Yun, et al. Prediction of carbonate porosity and permeability based on machine learning and logging data[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2022, 52(2): 644 – 653. (in Chinese with English abstract)]
- [29] 陈亮晶, 姚腾飞, 周鑫. 湖南道县铁锰矿区岩溶发育影响因素分析 [J]. 中国岩溶, 2012, 31(3): 240 – 247. [CHEN Liangjing, YAO Tengfei, ZHOU Xin. Analysis on impact factors of Karst development in Dao County iron and manganese mining area of Hunan[J]. *Carsologica Sinica*, 2012, 31(3): 240 – 247. (in Chinese with English abstract)]
- [30] 王宇. 岩溶高原地下水径流系统垂向分带 [J]. 中国岩溶, 2018, 37(1): 1 – 8. [WANG Yu. Vertical zoning of groundwater runoff system in karst Plateau[J]. *Carsologica Sinica*, 2018, 37(1): 1 – 8. (in Chinese with English abstract)]

编辑: 汪美华