

# 山东三山岛金矿深部低温热水对采矿的影响

毕洪涛<sup>1</sup>, 马凤山<sup>2</sup>, 李克蓬<sup>2</sup>, 丁 阔<sup>2</sup>

(1. 山东黄金矿业(莱州)有限公司三山岛金矿, 山东 莱州 261442;

2. 中国科学院 地质与地球物理研究所工程地质力学重点实验室, 北京 100029)

**摘要:** 三山岛金矿深部热害是亟待解决的问题。F3 断裂影响区域内的低温热水对金矿深部热害的贡献不可小觑。本文主要根据矿山深部巷道涌水点长期监测的温度变化特征, 分析了矿山地表冷水体和深部热水体的渗流影响范围。在 F3 断裂带聚热机制下, 涌水温度与巷道气温良好的线性关系, 很好地表明了深部低温热水对巷道气温的控制作用。这种规律性的认识能够指导矿山下一步的深部开拓设计和热害防治。

**关键词:** 三山岛金矿; 断层聚热; 渗流分布; 矿山热害

**文章编号:** 1003-8035(2014)03-0089-05

**中图分类号:** P641.4

**文献标识码:** A

## 0 前言

三山岛金矿地处渤海莱州湾滨海地带, 三山岛一仓上断裂(F1)为本区的控矿构造。矿区北西向构造较发育, 其代表性断裂为 F3, 是一区域性构造, 切割含矿蚀变带。目前三山岛金矿已开采至 -780m, 所面临的问题由浅部的防治水问题变为深部的水害防治加热害治理。根据井巷水文地质调查结果发现三山岛金矿浅部涌水已大大减轻, 一些出水点已经干枯, 而深部(主要指 -510m 以下)各巷道出水面积远大于浅部, 北巷大于南巷, 这跟矿山各巷道上下存在一定连通性和高水头有关系, 开挖卸载裂隙岩体松弛也会使深部围岩裂隙透水率增大。最新监测数据显示 -555m 及其下部中段巷道气温接近并超过 30℃, 湿度大于 90%, 已经严重影响了开采工作效率和生产安全。

三山岛金矿于 2011 年曾优选通风方案提高巷道通风量达到了明显的降温效果<sup>[1]</sup>, 但并未注重矿山温度场分布的研究。赵兴东等<sup>[2]</sup>(2013)通过 30m 深孔测温得到不同中段围岩岩温, 大概给出了三山岛金矿的围岩温度分布, -500m 水平往下 F3 断裂周围岩温偏高, F3 以南巷道围岩温度正常, F3 以北巷道围岩温度降低; 并认为巷道热源主要为围岩散热和空气压缩热, 分别占热源放热量的 36% 和 21%, 地下水散热仅占 15%<sup>[2]</sup>。

三山岛金矿为大型海底金矿, 其开采会改变原始的矿山地下水渗流场, 而不同温度的地下水流向巷道采场, 又会改变原有的围岩温度场。较低温度的地表水下渗会降低其渗流区的岩石温度, 而深部较高温度

的热水顶托补给会增加其影响区域的岩温。资料表明三山岛金矿具备这两种情况发生的条件<sup>[3]</sup>, 因此从巷道涌出水体温度的角度来分析判断矿山地下水渗流状态和温度场分布特征, 掌握深部地温变化规律, 会更经济便捷地为矿山开采的水害与热害防治问题提供基础地质依据。

鉴于此, 本文在前人研究的基础上, 利用 2009 年 12 月 2010 年 11 月及后续最新的井下水文监测数据分析地下水尤其是地下低温热水(我国地热资源类型小于 90℃ 的称为低温地热)对矿山开采活动造成的影响。

## 1 矿区水文地质条件

三山岛金矿属构造裂隙充水矿床, 矿区水文地质条件较为复杂。以往的调查与研究及开拓揭露表明, 三山岛金矿导水裂隙发育特征主要受区域性张扭性断裂 F3 控制, 其北西端入海, 研究表明西北段有闭合的趋势, 发育深度超过 600m; 矿坑涌水区多集中分布在 F3 断裂带及其南北两侧, 且北侧水文地质条件较南侧更为复杂<sup>[3-7]</sup>。与矿体存在直接水力联系的是 F1 下盘裂隙含水带, 划分出的不同含水带之间在不同空间部位的水力联系不同, 详见前人成果<sup>[5]</sup>。

矿坑水的补给源包括海水、第四系水和卤水, 海

收稿日期: 2014-05-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41172271)

作者简介: 毕洪涛(1970—), 男, 高级工程师, 主要从事采矿技术研究工作。

E-mail: bht9427@sohu.com

水越流后沿 NW 向导水节理裂隙和 F3 断裂破碎带补给,其补给方向与卤水补给方向相反(图 1),第四系水体越流下伏黏土层进入矿坑。以往调查研究认为矿区海水和第四系水补给不畅通,补给量有限<sup>[5]</sup>。随着深部的开挖和上部水体的疏干,地表水体对矿坑涌水的补给相对于卤水补给存在减小的趋势。

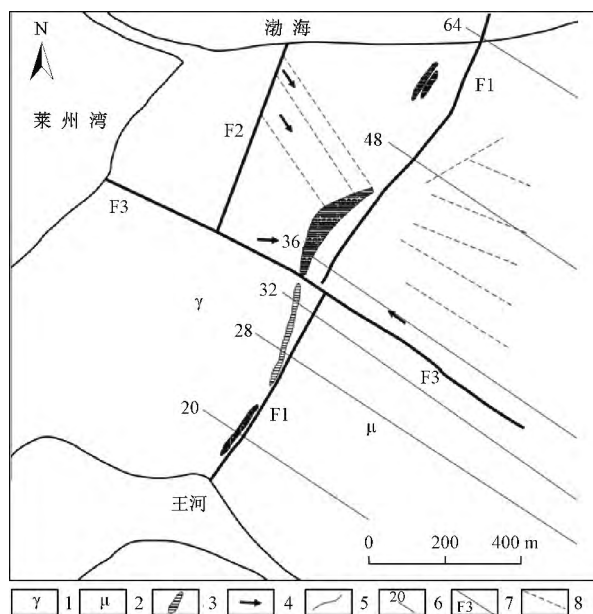


图 1 三山岛金矿水文地质略图

Fig. 1 Sketch map of hydrogeology of Sanshandao Gold Mine

1—花岗岩;2—胶东群变质岩;3—金矿体;4—进水方向;5—海岸线;  
6—勘探线及编号;7—断层及编号;8—导水节理

## 2 矿区地热背景

胶东半岛温泉出露丰富,且全部位于胶北隆起和胶南—文登隆起之上。地下水的  $\text{SiO}_2$  含量计算得到的胶东半岛硅热流等值线图也表明热异常轴向与隆起轴向较吻合(图 2)。这主要与断裂带水—热对流和隆起区的聚热效应有关,地热流自背斜两翼的深部向背斜轴部或核部运移、集中,致使隆起部位具有较高的热流值。尽管如此,胶东半岛平均热流值偏高只是板内微弱的地热异常,属于板内中低温热带的一部分,地热水温度均低于胶东半岛水的沸点<sup>[8-10]</sup>。

三山岛金矿所在的莱州市地区位于胶北隆起末端,下部太古—下元古界胶东群和印支期花岗岩为第四系地层所覆盖,起到一定的保温作用。莱州一带属于莫霍面隆起带,莫霍面埋深一般为 33 ~

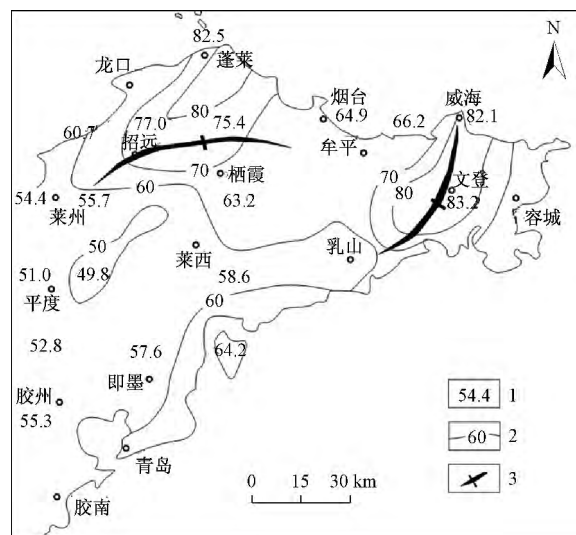


图 2 胶东半岛硅热流等值线分布图  
(据李学伦等 1997)

Fig. 2 Contour map of silica heat flow in Shandong Peninsula (after LI Xuelun et al., 1997)

1—单元小区硅热流平均值 ( $\text{mW}/\text{m}^2$ );  
2—硅热流等值线 ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ); 3—背斜轴

34.5  $\text{km}^{[11]}$ ,大地硅热流值在  $55 \text{ mW}/\text{m}^2$  左右低于胶东半岛平均热流值  $62.45 \text{ mW}/\text{m}^2$ 。区内未发现温泉出露,本次监测的巷道涌水最高涌水温度为  $-600$  中段的  $48^\circ\text{C}$ ,而在距莱州市较近的栖霞和招远地表有温泉出露。其中栖霞艾山汤温泉泉水温度为  $49.7^\circ\text{C}$ ,招远汤东沟温泉温度为  $87.7^\circ\text{C}$ 。上述条件表明如果存在径流途径,矿区热流运移方向应指向栖霞复背斜(图 2)。

三山岛金矿为蚀变岩型金矿形成于中生代,由基性幔源岩浆脱水形成的岩浆水沿断裂上升遇浅层大气降水冷却形成<sup>[12]</sup>,从时间上看岩浆热对热水温度早已没有影响;放射性衰变亦不能构成特殊热源<sup>[11]</sup>。根据基岩岩性和中段间热水温度变化,基本可以排除地层重力压缩致热和断层摩擦生热的可能。因此,可以推断热源仍然是大地热流, F3 断裂为地下水提供了补给、径流及排泄通道,其自身也具有聚热效应(图 3)<sup>[13]</sup>。根据上述三山岛金矿地热背景及附近 4000m 深钻获得的平均温度梯度  $2.3^\circ\text{C}/100\text{m}$ ,及 1600m 和 4000m 深处的温度  $47.2^\circ\text{C}$  和  $107.7^\circ\text{C}$ ,推测 F3 断裂可能至少深达 1600m,其与两侧裂隙带构成开放的深循环热对流系统。

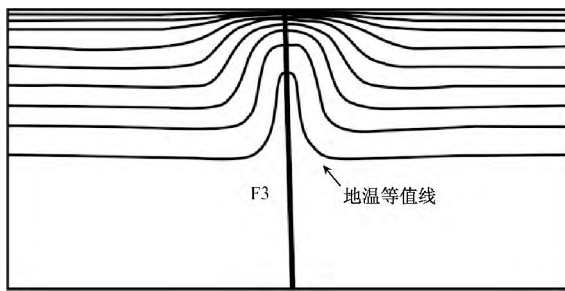


图3 F3断裂聚热效应示意图

Fig. 3 Sketch of heat-trapping effect of the F3 attributing to naturally heat convection

### 3 三山岛金矿巷道涌水温度特征

地表海水、第四系水和基岩卤水各自携带不同的热量涌进矿坑,因此矿坑涌水温度很大程度上是温度叠加的结果。地表海水与第四系水是冷水体,部分卤水为热水体,共同朝矿坑方向运移。因矿坑渗水区水力联系存在空间差异,不同深度巷道内涌水温度值存在一定的分布范围,大部分涌水温度高于所处深度的正常地温, -240中段 ~ -555中段出现低于正常地温的涌水并随深度增加呈现很好的趋势性(图4)。F3断裂支护处涌水温度较其两侧200m范围内的涌水温度为小,在-555中段较-600中段其涌水温度小1℃~3℃。个别邻近出水点温度差异较大,如-600中段F3断裂向北约100m两水点相距13m而水温最大相差12℃。随着时间的增长,较高温度的涌水降温较快,较低温度的涌水降温慢,目前-285中段、-375中段、-555中段、-600中段涌水温度分别稳定在21℃、23℃、28℃~30℃、30℃~37℃; -555中段及其以上中段涌水水温随季节变化呈现一定的波动性, -555中段和-600中段涌水温度空间差异较明显。

### 4 涌水温度特征对冷、温地下水渗流的指示意义

热是指示地下水与地表水相互作用的天然示踪剂<sup>[14]</sup>,地下水携带的热量(地下水温度)可以帮助识别地表水下渗,在断层及裂隙岩体中的运移模式<sup>[15]</sup>。从图4中可以看出低温的地表海水或第四系水下渗影响范围已深至-555中段(包括充填体水的渗流影响,这里不作考虑),往深部影响减弱;而深部较高温度的热水(卤水)渗流影响范围上至-375中段;

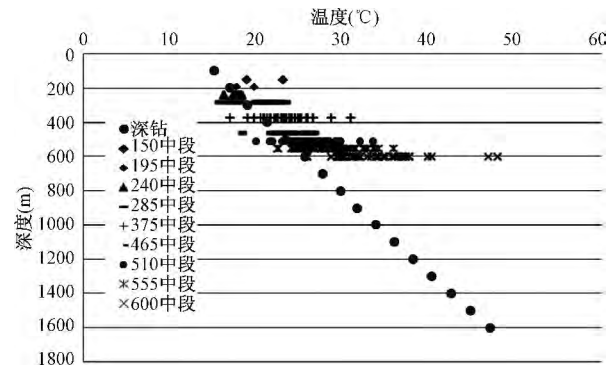


图4 各中段涌水深-温剖面图

Fig. 4 Depth-temperature profile of intruding waters of each level drift

-150中段 ~ -285中段涌水温度由于距地表较近,渗流速度慢且通风好,多受巷道气温影响。

由涌水温度特征可知,三山岛金矿裂隙渗水裂隙系统非常复杂,多种温度的水体不同程度地混合渗流,使得精细刻画矿山地下水温度场(围岩温度场)和渗流场相当困难。此外,较高的地下水温度会对深部裂隙渗透性会产生积极影响<sup>[16]</sup>。

### 5 低温热水对巷道温度的影响

上述分析可知,三山岛金矿整体地下水温度场主要受深部低温热水及F3断裂带控制。由于巷道围岩温度较之热水温度低,且导热率较高<sup>[2]</sup>,低温热水通过热传导将热量散发到巷道空气中,使其温度升高。图5展示了各巷道出水点处的水温和巷道气温的线性关系,较为清晰地揭示出-150中段 ~ -465中段冷水渗流对巷道气温的降温作用,而-510中段 ~ -600中段巷道气温则明显受到了低温热水散热的影

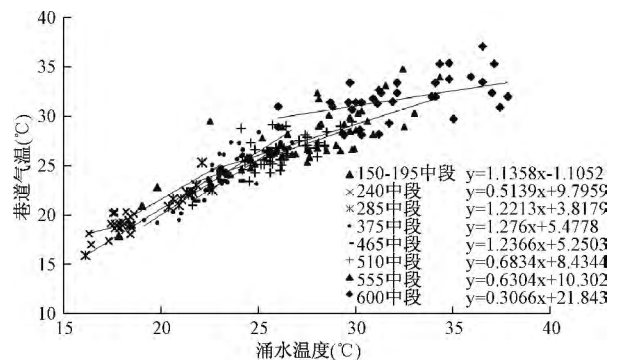


图5 各中段涌水温度和巷道气温的关系

Fig. 5 Relationships between intruding water and level drifts temperatures in each level drift

由于矿山排水,浅地表补给量较大,涌水温度均有所下降,但整体上下降不大,因此,继续往深部开掘,可能会遇到更高温度的地下水。

## 6 结论

三山岛金矿为大型构造裂隙充水矿床,位于海平面以下,F3的多期活动改变了矿体的水文地质环境,不仅使矿体围岩更富水,而且其聚热效应使深部高温热流上移。巷道开挖通过后,热水沿F3断裂带及其相连通的裂隙带涌入巷道,补给来向为F3走向和下伏方向。矿井灾害由浅部的浅地表冷水体的突水涌水问题转变为深部热水体的突水涌水和热害问题。通过对前人研究结果的总结和近期水文地质监测数据的分析,得出以下结论:

(1) F3断裂带本身具有聚热效应,沿其走向方向的地下水温度明显高于两侧的地下水温度。F3沟通多个裂隙含水带,巷道开挖通过后,F3上部巷道涌水降温较快,下部巷道涌水降温慢;F3主导水通道涌水较两侧裂隙带涌水降温快。

(2) 沿F3断裂带分布的低温热水明显控制了矿山巷道温度,根据F3聚热模式,其下部存在更高温度的热水。

(3) 根据地下水温度差异,揭示了矿山冷、热水体渗流影响范围,进一步表明矿山深部面临的问题主要是热害和排水问题。

### 参考文献:

- [1] 杨竹周,李威,冀东,等. 三山岛金矿深井通风降温治理技术研究[J]. 金属矿山, 2011, 425(11): 146-149.  
YANG Zhuzhou, LI Wei, JI Dong, et al. Treatment technology research on deep mine ventilation in San shan dao Gold mine[J]. Metal Mine, 2011, 425(11): 146-149.
- [2] 赵兴东,修国林,杨竹周,等. 三山岛金矿围岩温度梯度测试及工程热环境分析[J]. 金属矿山, 2013, 444(6): 109-113.  
ZHAO Xingdong, XIU Guolin, YANG Zhuzhou, et al. Tests of the temperature gradient of surrounding rockmass and analysis of the engineering thermal circumstance at Sanshandao Gold Mine[J]. Metal Mine, 2013, 444(6): 109-113.
- [3] 刘春平,郑长城,谭红军. 矿坑涌水量的地质分析与模拟[J]. 工程地质学报, 1994, 2(3): 81-90.  
LIU Chunping, ZHENG Changcheng, TAN Hongjun. The geological analysis and modeling of mining water flow—as an example of San shan island gold mine[J]. Journal of Engineering Geology, 1994, 2(3): 81-90.
- [4] 叶柏龙,彭恩生,何绍勋. 一种新的统计方法在三山岛金矿节理导水性研究中的应用[J]. 水文地质工程地质, 1994, 21(3): 43-45.  
YE Bolong, PENG Ensheng, HE Shaoxun. A new statistical method applied to the study of the water transmissivity of Joints in the Sanshandao gold deposit[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1994, 21(3): 43-45.
- [5] 谭红军. 三山岛水文地质条件的研究[J]. 矿业研究与开发, 1993, 2(S): 73-84.  
TAN Hongjun. A study on hydrogeology of Sanshandao gold mine[J]. Mining Research and Development, 1993, 2(S): 73-84.
- [6] 王善飞. 三山岛金矿深部开采水文地质浅析[J]. 有色矿山, 2001, 30(3): 9-12.  
WANG Shanfei. Analysis of hydrogeology for deep mining in Sanshandao gold mine[J]. Nonferrous Mines, 2001, 30(3): 9-12.
- [7] Chunping Liu, Bo Peng, Jianxin Qin. Geological analysis and numerical modeling of mine discharges for the Sanshandao gold mine in Shandong, China: 1. Geological analysis [J]. Mine Water Environ, 2007, 26: 160-165.
- [8] 李学伦,李桂群,崔乘琦,等. 山东半岛地质环境与温泉分布[J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(S): 9-15.  
LI Xuelun, LI Guiqun, CUI Chengqi, et al. Relationship between the geological environment and the distribution of warm springs in Shandong peninsula [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1994, 24(S): 9-15.
- [9] 陈墨香,汪集暘,邓孝. 中国地热系统类型图及其简要说明[J]. 地质科学, 1996, 31(2): 114-121.  
CHEN Moxiang, WANG Jiyang, DENG Xiao. The map of geothermal system types in China and its brief explanation [J]. Scientia Geologica Sinica, 1996, 31(2): 114-121.
- [10] 李学伦,刘保华,孙效功,等. 山东半岛硅热流值与区域地质条件的关系[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(1): 75-83.  
LI Xuelun, LIU Baohua, SUN Xiaogong, et al. Relationship between the silica heat flow and regional geological conditions in Shandong peninsula [J]. Journal

- of Ocean University of Qingdao ,1997 ,27( 1) : 75 –83.
- [11] 方宝明. 山东省地热资源综合信息远景预测 [D]. 吉林大学 ,2006.
- FANG Baoming. Perspective prognosis on geothermal resource in synthetic information in Shandong province [D]. Jilin University ,2006.
- [12] 范宏瑞,胡芳芳,杨进辉,等. 胶东中生代构造体制转折过程中流体演化和金的大规模成矿 [J]. 岩石学报,2005 ,21(5) : 1317 –1328.
- FAN Hongrui ,HU Fangfang ,YANG Jinhui ,et al. Fluid evolution and large-scale gold metallogeny during Mesozoic tectonic transition in the eastern Shandong province [J]. Acta Petrologica Sinica ,2005 ,21 ( 5) : 1317 –1328.
- [13] Chongbin Zhao , Bruce E. Hobbs , Alison Ord , et al. Theoretical and numerical analysis of pore-fluid focused heat transfer around geological faults and large cracks [J]. Computers and Geotechnics ,2008 ,35 ( 2008) : 357 –371.
- [14] Anderson MP. Heat as a ground water tracer [J]. Ground Water ,2005 ,43( 6) : 951 –968.
- [15] 吴志伟,宋汉周. 地下水温度示踪理论与方法研究进展 [J]. 水科学进展,2011 ,22(5) : 733 –740.
- WU Zhiwei , SONG Hanzhou. Temperature as a groundwater tracer: Advances in theory and methodology [J]. Advances in Water Science ,2011 ,22 ( 5) : 733 –740.
- [16] 黄涛,杨立忠. 隧道裂隙岩体温度 – 渗流耦合数学模型研究 [J]. 岩土工程学报,1999 ,21:554 –558.
- HUANG Tao , YANG Lizhong. A study of mathematical model on coupling between temperature—seepage in fractured rock mass surrounding tunnel [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering ,1999 ,21:554 –558.

## Impact of low temperature geothermal water on mining of Sanshandao gold mine

BI Hong-tao<sup>1</sup> , MA Feng-shan<sup>2</sup> , LI Ke-peng<sup>2</sup> , DING Kuo<sup>2</sup>

( 1. Sanshandao Gold Mine , Shandong Gold Mining ( Laizhou) Company Limited , Laizhou 261442 , Shandong Province , China;  
2. Key laboratory of engineering geomechanics , Institute of geology and geophysics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100029 , China)

**Abstract:** How to eliminate heat harm in the deep of Sanshandao Gold Mine is very urgent. The low-temperature geothermal water going up through the F3 fault zone contributes to the heat and water disasters. The present paper revealed the seepage scope of cold water from surface and warm water from deep of the gold mine with the help of the monitored temperature variability of water inflowing into level drifts for long time. By the thermal trap mechanism of the F3 fault zone , good linear relations between intruding water and level drift temperatures showed the control response in level drift temperatures to the geothermal water temperatures. This regular knowledge can guide to make next excavation designs and heat harm control countermeasures.

**Key words:** Sanshandao gold mine; fault-trapping heat; seepage distribution; heat harm of mine

## 敬告作者和读者

为适应我国科技信息化建设的需要,扩大作者、读者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》及《中文科技期刊数据库》。今后,本刊将作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如果作者不同意将文章编入上述数据库,请在投稿时声明,本刊将作适当处理。谢谢!

《中国地质灾害与防治学报》编辑部