

江西省崇义县某铜多金属矿水环境影响预测及预防措施^{*}

沙迎华¹, 沙 珉²

(1 商丘市环境保护科学研究所, 商丘, 476000)

(2 江西省地质调查研究院, 南昌, 330030)

摘要:以江西省崇义县某铜多金属矿为例,分析矿业活动对地表水、地下水环境及地下水均衡系统的影响,采用一维完全混合模式和地下水径流模型进行定量和定性预测。文章提出预防地下水均衡系统被破坏的相关措施为生产废水循环利用、修筑截水沟、拦挡坝预埋导水管、建设生产废水集水池、加强采空区管理等。

关键词:水环境;预测;预防措施;铜多金属矿

中图分类号:X141

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2016)01-061-06

金属矿山开发过程中,矿坑涌水和选矿废水不仅影响地表水环境,还可能污染地表水体,破坏地下水系及含水层^[1]。目前,很多学者针对矿山开发对水资源循环和水环境产生的影响,以及矿山水环境中重金属离子迁移转化等方面进行了研究^[2-5]。本文以江西省崇义县某铜多金属矿为例,预测矿业活动对矿区地表水环境、地下水环境和地下水均衡系统的影响,采用一维完全混合模式预测地表水中重金属元素的影响程度。根据矿区固体废弃物重金属毒性浸出率,采用地下水径流模型预测对地下水环境的影响以及地下水均衡系统的影响程度。根据影响方式提出具体防治措施,为其它矿山的开发与环境协调发展提供借鉴。

1 概况

该矿区地下水赋存以岩石孔隙水、风化裂隙水和基岩构造裂隙水为主。孔隙水赋存于第四系松散孔隙含水层,一般 0.2~5.0m,由地势高处向低处渗流。风化裂隙水主要赋存在厚层状长石石英砂岩夹板岩的风化裂隙含水层中,水位变化与季节、大气降水量关系密切呈就地补给、就地排泄。基岩构造

裂隙水主要为花岗岩中的构造裂隙含水层,主要接受大气降水的垂直渗入补给。

侵蚀基准面以上地下水以泉水形式补给地表水,侵蚀基准面以下地下水多以垂直渗入的方式接受地表水的补给,侧向补给较少。该矿区开发过程中影响当地水环境的方式(图 1)主要为:分布于选矿工业场地和尾矿渣堆放场的生产废水;分布于尾矿渣堆放场和废石场的固体废弃物,以及在大气降水作用下形成的淋漓水;采空区对地下水均衡系统的破坏,造成局部地下水疏干。

2 水环境背景

2.1 地表水

矿区属长江流域赣江水系,是赣江重要支流。区内无大的水系,但沟谷发育,矿山附近的地表水主要是欧家洞小溪,溪水总体由北往南流向,汇聚注入南部的丰州河。欧家洞小溪多年平均流量 6 m³/s,河宽 3~5 m。通过对地表水现状(矿山开发前 2008 年 11 月)的监测,欧家洞小溪水质符合《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)Ⅲ类标准,监测结果如表 1。

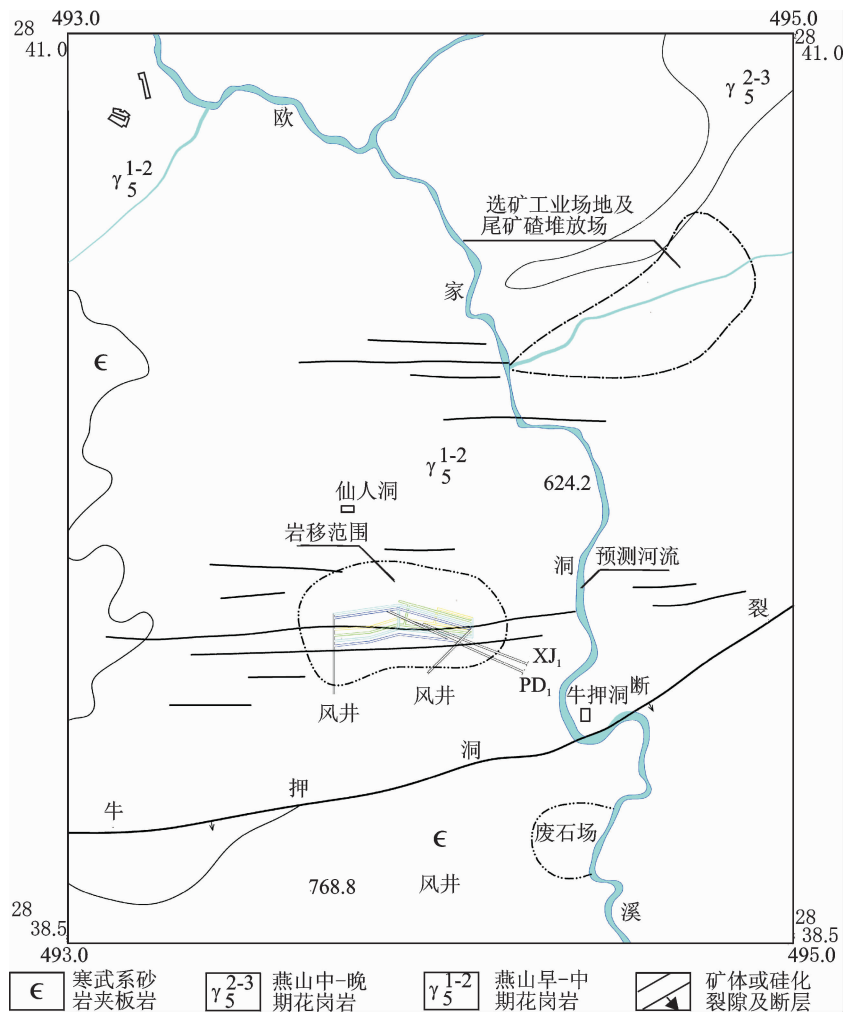


图 1 研究区水环境影响平面分布图

Fig. 1 Plane distribution map showing water environment effected in the research area

表 1 欧家洞地表水监测结果(单位:pH 为无量纲,其它为 mg/L)
Table 1 Monitoring results of surface water in the Oujiadong area

项目 断面	pH	Cu	硫化物	Pb	As	Cd	Cr ⁶⁺	Zn	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	氟化物	石油类
SW ₁	7.39	0.0017	0.02 _L	0.001 _L	0.014	0.001 _L	0.021	0.0013	9	2.0 _L	0.602	0.42	0.02
SW ₂	7.27	0.0027	0.02 _L	0.001 _L	0.015	0.001 _L	0.033	0.0017	7	2.0 _L	0.695	0.46	0.03
SW ₃	7.45	0.004	0.02 _L	0.001 _L	0.011	0.001 _L	0.015	0.0027	8	2.0 _L	0.59	0.47	0.03
SW ₄	6.96	0.0034	0.02 _L	0.001 _L	0.012	0.001 _L	0.016	0.011	8	2.0 _L	0.695	0.47	0.03
标准值(Ⅲ类)	6-9	1.0	0.2	0.05	0.05	0.005	0.05	1.0	20	4	1.0	1.0	0.05

注:带下标“L”表示该项目检测值低于方法最低检出限(下同)。

2.2 地下水

根据地下水赋存介质和分布范围,矿区的地下水主要以孔隙水和裂隙水为主,细分为孔隙潜水、风化裂隙潜水和构造裂隙潜水。

孔隙潜水:主要为第四系残坡积层中的孔隙含

水,冲积层分布于小河流两侧及山涧小溪冲沟的下方扇形地带,厚度一般 2~4 m 左右,由于所处地势低洼,常赋存较多潜水。残坡积层分布较广,但厚度一般不大,多在 0.3~2 m,泉流量为 0.027~0.078 L/s,单井涌水量 35.55 t/d,平均渗透系数为 5.35

m/d,为水量贫乏的孔隙潜水。

风化裂隙潜水:岩石为花岗岩,其风化带深度随地形而异,风化厚度一般为 0.6~10.5 m,其含水性与大气降水以及季节变化有关,水位埋深一般 1~2.5 m,泉流量平均为 0.149 L/s。

构造裂隙潜水:区内经多次构造作用,岩石裂隙较为普遍。花岗岩富含裂隙水,但随深度的增加逐渐减弱。裂隙水大体呈层状分布,空间发育形态与地形有关,埋藏于侵蚀基准面以上,水位埋深一般 5~15m,平均泉流量为 0.138 L/s。

通过对仙人洞和牛押洞泉水监测,其地下水水质符合《地下水质量标准》(GB/T14848—93)Ⅲ类标准值,监测结果如表 2。

2.3 矿石性质

该铜多金属矿矿物种类主要有黄铜矿、辉铜矿、黑钨矿、黄铁矿、辉钼矿、石英、萤石、方解石、绿泥石和绢云母等。矿石(选矿大样)的主要化学成分见表 3。从表 3 可知,本矿中 Cu、Zn、Pb、As 和 S 是影响水环境的主要元素,是本文重点讨论和预测的因子。

2.4 采选工艺

根据矿藏赋存情况及矿体厚度,采用地下开采方式,采矿方法为浅孔留矿法,开拓运输方式为采用平巷及斜井加溜井开拓。选矿工艺为二段破碎、一

段磨矿、浮—重—磁联合选矿。浮选药剂主要为丁黄药和松醇油。

2.5 固体废弃物浸出毒性鉴别

矿山开发的固体废弃物主要为采矿时开拓废石(即矿体围岩)和选矿尾矿,根据该矿原矿主要化学成分,固体废弃物可能会为矿区及其周边的地表水和地下水贡献一定的 Cu、Zn、Pb、As、Cr 和 Cd 重金属离子。分别对 5 组废石和尾矿的浸出毒性进行鉴别,结果取平均值(表 4),发现该金属矿 Cu、Zn、Pb、As、Cr 和 Cd 等毒性重金属元素浸出率极低,均低于浸出毒性鉴别标准值,且达到污水综合排放一级标准。

3 矿山开发对当地水环境影响预测

根据该金属矿矿石性质及采选工艺,地表水和地下水影响因素主要为重金属元素和耗氧量,本文选定 Cu、Pb、Zn、SS、As、Cd、Cr 和 COD_{cr} 为水环境影响因子。

3.1 矿山开发对地表水的影响预测

对于地表水,本文重点预测枯水期矿山废水正常排放和事故排放时对欧家洞小溪的影响,正常排放和事故排放时废水排放量及废水中的预测因子浓度见表 5。

表 2 仙人洞和牛押洞地下水监测结果(单位:mg/L,pH 为无量纲)

Table 2 Monitoring results of groundwater in the Xianrendong and Niuyadong areas									
监测点	COD _{Mn}	Cu	Pb	Zn	As	Cd	Cr ⁶⁺	SO ₄ ²⁻	F ⁻
仙人洞	0.5 _L	0.004	0.001 _L	0.018	0.001	0.001 _L	0.004 _L	20.8	0.54
牛押洞	0.5 _L	0.004	0.001 _L	0.015	0.0009	0.001 _L	0.004 _L	5.64	0.25
标准限值	3	1.0	0.05	1.0	0.05	0.01	0.05	250	1.0

表 3 研究区矿石主要组分

Table 3 Main components of the ores in the research area								
元素	Cu	WO ₃	Zn	Sn	Pb	As	S	其它
平均含量(%)	2.17	0.22	0.665	0.018	0.03	0.002	1.38	1.14
元素	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	TFe	—
平均含量(%)	0.23	0.34	85	2.6	2.79	0.64	2.78	—

表 4 废石、尾矿浸出毒性鉴别结果(单位:mg/L,pH 为无量纲)

Table 4 Toxicity identification results of the waste rocks and tailings										
浸出项目	pH	Cu	Pb	Zn	Cd	As	总 Cr	Cr ⁶⁺	F ⁻	Hg ⁺
废石	8.57	0.020	0.001	0.251	0.002	0.143	0.075	0.051	1.66	0.0005
尾矿	8.51	0.124	0.003	0.060	0.004	0.44	0.094	0.036	0.49	0.0005
浸出毒性鉴别标准值	2~12.5	100	5	100	1	1.0	15	5	100	0.5
污水综合排放一级标准	6~9	0.5	1.0	2.0	0.1	0.5	1.5	0.5	10	0.05

欧家洞小溪流量小,水面窄且浅,混合快,因此重金属采用完全混合模式,COD 采用一维模式。

完全混合模式:

$$C=(C_p\cdot Q_p+C_h\cdot Q_h)/(Q_p+Q_h)$$

式中: Q_p -废水排放量(m^3/s); C_p -污染物排放浓度(mg/L); Q_h -河流流量(m^3/s); C_h -河流上游污染物浓度(mg/L); C -污染物预测浓度(mg/L)。

一维水质模型方程式:

$$C=C_0exp(-\frac{K_1}{84600u})$$

式中 u -河流断面平均流速(m/s); K_1 -污染物的衰减系数($1/\text{d}$); X -计算断面到初始断面的距离(m); C_0 -废水排入欧家洞小溪充分混合后的浓度(mg/L)。

通过计算,废水排放后距排放口 500 m、1000 m 和 2000 m 的欧家洞小溪的水质预测结果如表 6。可知,无论是正常排放,还是事故排放,生产废水均低于《污水综合排放一级标准》限值 1~2 个数量级,说明生产废水对地表水环境影响较小。

3.2 矿山开发对地下水环境影响预测

地下水水质影响主要表现为矿山排放的生产废水以及废石和尾矿在大气降水作用下形成的淋漓水进入地下水系统,对地下水水质进行改变,其主要影响因素一为生产废水以及“淋漓水”中影响因子的浓度(即物质条件),二是生产废水集中区及废石和尾矿堆放区周边岩石孔隙和裂隙发育程度以及水在其中的渗透能力(影响途径)。

生产废水和“淋漓水”水质影响因子浓度均高于背景值,就地下水水质而言,生产废水和“淋漓水”为影响地下水水质提供了物质条件。另外,部分影响因子的浓度高于地下水水质标准(Ⅲ类),即为污染地下水水质提供了物质条件,该矿开发可能影响至污染地下水水质(表 7)。

该矿矿体围岩为花岗岩,花岗岩主要含裂隙水,其含水量随裂隙发育深度的增加逐渐减弱。裂隙水大体呈层状分布,空间发育形态与地形有关,埋藏于侵蚀基准面以上,坑采时可自然排水,其水量也不大;矿体所赋存的构造破碎带被石英脉充填或硅质胶结,现有施工的钻孔也未发现涌水现象,说明含矿构造胶结紧密,透水性差。地表水与地下水联系不紧密,地表水仅靠岩石裂隙渗透进入地下水系统。

综上,由于该铜多金属矿区所在的岩石渗透性较差,地表水与地下水联系不紧密,因此,小坑矿区铜多金属矿的开采对矿区所在区域的地下水水质影响也较小。

3.3 矿山开发对地下水均衡系统的影响

作为地下开采的矿山,该矿矿体薄(水平厚度 0.9~2.53 m),倾角陡($70^{\circ}\sim 80^{\circ}$),且矿体的顶板和底板均为花岗岩,岩石坚硬致密,稳定性好,选择好的采矿方法,地压完全在可控范围之内。但是如果在对地压管理不善的情况下,采矿区一旦形成一定的地压,则会引起局部崩塌和裂隙,导致局部地下水疏干,造成小范围内的地下水均衡系统被破坏。

表 5 研究区预测的废水水质及废水量

Table 5 Predicted water qualities and wastewater volumes in the research area									
排放状态	废水类别	废水量	Cu	Pb	Zn	SS	As	Cd	COD _{cr}
正常排放	生产废水	909.9	0.14	0.12	0.09	18	0.0015	0.0011	1.2
事故排放	生产废水	2038.7	0.55	0.5	0.40	120	0.2	0.008	6
污水综合排放一级标准			0.5	1.0	2.0	/	0.5	0.1	100

注:水量单位为 m^3/d ,污染物单位为 mg/L ,废水排放时间按 8h/d 计。

表 6 废水排放对地表水的贡献值影响预测结果(单位:mg/L)

Table 6 Predicted results for contribution value of the wastewater discharge to the surface water

预测内容	预测断面水质参数	Cu	Pb	Zn	As	Cd	COD
正常排放	距排口 500m(SW ₂)	0.0086	0.0048	0.0051	0.01502	0.00016	6.88
	距排口 1000m(SW ₃)	0.0099	0.0048	0.0061	0.01102	0.00016	7.79
	距排口 2000m(SW ₄)	0.0093	0.0048	0.0045	0.01202	0.00016	7.72
事故排放	距排口 500m(SW ₂)	0.042	0.013	0.028	0.0021	0.00128	6.93
	距排口 1000m(SW ₃)	0.055	0.013	0.038	0.0021	0.00128	7.83
	距排口 2000m(SW ₄)	0.049	0.013	0.022	0.0021	0.00128	7.91
污水综合排放一级标准		0.5	1.0	2.0	0.5	0.1	100

表 7 影响地下水水质的生产废水和“淋漓水”水质一览表(单位:mg/L)

Table 7 Water qualities of the production wastewater and "dripping water" affecting groundwater

废水类别		Cu	Pb	Zn	As	Cd	Cr ⁶⁺	F ⁻	Hg ⁺
背景值	仙人洞	0.004	0.01 _L	0.018	0.001	0.001 _L	0.004 _L	0.54	/
	牛押洞	0.004	0.001 _L	0.015	0.0009	0.001 _L	0.004 _L	0.25	/
生产废水		0.55	0.5	0.40	0.2	0.008	/	/	/
“淋漓水”	废石	0.020	0.001	0.251	0.143	0.002	0.051	1.66	0.0005
	尾矿	0.124	0.003	0.060	0.44	0.004	0.036	0.49	0.0005
地下水水质标准限值(Ⅲ类)		1.0	0.05	1.0	0.05	0.01	0.05	1.0	<0.001

根据环境背景,本区以孔隙水及构造裂隙水为主,裂隙含水微弱,属裂隙充水矿床,本矿围岩中孔隙潜水的平均渗透系数为 5.35 m/d,构造裂隙潜水的迳流模数平均为 6.697 L/s·km²,说明本区围石的渗透性较差,区域之间的地下水联系性以及地表水与地下水之间的联系性较差,虽然本矿为地下开采,随着采矿活动不断向深部延伸,原来封闭的水循环体系会遭到一定的破坏,但地下水系统的补、径、排条件受影响程度较低。因此,在正常情况下,区域内地下水均衡基本不会被破坏。

4 预防措施

4.1 地表水环境影响预防措施

影响地表水环境的因素主要为生产废水,生产废水主要包括矿坑涌水和选矿废水,且主要为选矿废水。因此减少生产废水的排放和加强生产废水的管理是预防地表水环境受影响最有效的措施,具体措施为生产废水循环利用。

4.2 地下水环境影响预防措施

影响地下水环境的方式主要为生产废水和废石及尾矿的“淋漓水”进入地下水系统。为预防生产废水和“淋漓水”进入地下水系统,可从以下两方面着手:一是降低“淋漓水”中影响因子的浓度,具体措施为在废石和尾矿碴堆放场下游修筑的拦挡坝中预埋导水管,将废石和尾矿碴中的大气降水即时排出,减少其与废石和尾矿碴接触时间,从而降低“淋漓水”中影响因子的浓度。二是阻隔生产废水和“淋漓水”进入地下水系统,具体措施为建设废石和尾矿碴堆放场时,在其底部先进行防渗技术处理,如采用粘土和铺设防渗土工布形成隔水层等。

4.3 地下水均衡破坏防治措施

随着矿体的不断开采,采空区附近的应力平衡不断打破,为寻求新的应力平衡,采空区附近会不断

发生岩石裂缝和崩塌,当岩石裂缝和崩塌发育到一定程度时将彻底打破地下水原有的均衡^[6]。因此,加强地压管理是预防地下水均衡破坏的主要手段,主要措施为加强采矿方法和井下采矿区内地压监测。

5 结 语

生产废水和大气降水对废石和尾矿碴淋漓作用形成的淋漓水不仅影响地表水环境,且也影响地下水环境。根据矿山开发对水环境的影响,笔者提出以下预防措施:减少生产废水的排放和加强生产废水的管理;减少进入废石和尾矿碴堆放场的大气降水,减少“淋漓水”排放量;将废石和尾矿碴中的大气降水即时排出,减少水作用的时间,从而降低“淋漓水”中影响因子的浓度;生产废水集中地和废石及尾矿碴堆放场建设时采用防渗措施,从而阻止生产废水和“淋漓水”进入地下水系统;加强采矿方法和井下采矿区内地压监测。

参考文献

[1] 中华人民共和国国土资源部. 2011 中国矿产资源报告[M]. 北京:地质出版社,2011.

[2] 孙秀玲,姚春梅. 矿山开采对水资源的影响[J]. 山东冶金,1998,(4):21-23.

[3] 李连娟. 榆神矿区矿山开发对水环境的影响及防治措施探讨[J]. 中国煤田地质,2005,(5):47-49.

[4] 钟文丽,邓江红. 矿山开发对矿区水环境影响评价一以四川省拉拉铜矿为例[J]. 地质找矿论丛,2007,22(2):153-158.

[5] 任虹. 矿山水环境中 As 的迁移转化及其影响因素研究综述[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学版),2010,31(3):28-34.

[6] 沙珉. 江西武宁县东坪矿区地质环境问题及防治对策[J]. 东华理工大学学报(自然科学版),2011,34(4):361-367.

Prediction for water environment influenced by a Copper polymetallic mine in Chongyi County, Jiangxi Province and its preventive measures

SHA Ying-hua¹, SHA Min²

(1 Shangqiu Environmental Protection Science Research Institute, shangqiu 476000, China)

(2 Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang 330030, China)

Abstract: Taking a copper polymetallic mine in Chongyi County, Jiangxi Province as an example, this study analyzed the influence of mining activities on the surface water, groundwater and groundwater balance system. The qualitative and quantitative prediction was conducted respectively using the one-dimensional completely-mixed model and groundwater flow mode. The relevant measures to prevent groundwater balance system from being damaged are proposed, including production wastewater recycling, building water drainage ditches, dam pre-buried guide pipes, construction production wastewater set pool and strengthening the goaf management.

Key words: water environment; forecast; preventive measures; copper polymetallic mine

《华东地质》网络办公系统试运行通知

尊敬的作者、读者和专家：

为更好地服务广大读者和作者，及时有效地与外审专家沟通，缩短审稿周期和数字化出版周期，提高稿件处理和办公效率，本刊开通了网上投稿系统，并从 2016 年 3 月 1 日起正式对外试运行，网址为：<http://hddz.paperopen.com/>，自此作者投稿、专家审稿、稿件处理等各项工作将直接在网上进行。如有问题和建议，请及时向本编辑部垂询和反馈。

在《华东地质》网络办公系统试运行期间，编辑部保留新邮箱 hddzbjb@163.com 联系（原《资源调查与环境》邮箱 zydcyhj@163.com 停止使用）。欢迎大家对本刊提出宝贵意见，感谢大家对《华东地质》的关注，希望大家支持《华东地质》的进一步发展！

编辑部地址：南京市中山东路 534 号
电话：(025)84602261
网址：<http://hddz.paperopen.com/>

邮编：210016
Email：hddzbjb@163.com

《华东地质》编辑部