

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200001

晋城矿区不同类型老空水水质特征及演化机理

张春潮^{1,2,3}, 李向全^{1,3}, 侯新伟^{1,3}, 王振兴^{1,3}, 高明^{1,3}, 桂春雷^{1,3}, 左雪峰^{1,3}

(1.中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北 石家庄 050000;2.中国地质大学,北京 100083;
3.自然资源部地下水科学与重点实验室,河北 石家庄 050000)

摘要:为分析不同类型老空水水质特征及开发利用潜力,采用统计分析、水质模糊综合评价、水文地球化学模拟等方法,针对晋东煤炭基地晋城矿区二叠系山西组3号煤层、石炭系太原组9号和15号煤层开采所形成的老空水水质特征及演化过程进行对比分析研究。结果表明:(1)二叠系山西组3号老空水水化学类型为 HCO_3^- 型和 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ 型,石炭系太原组9号老空水为 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ 型和 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{HCO}_3^-$ 型水,石炭系太原组15号老空水为 SO_4^{2-} 型水。(2)二叠系山西组3号老空水Ⅱ、Ⅲ类水占比达75%,具有一定供水意义;而石炭系太原组9号老空水Ⅳ、Ⅴ类水占比为60%,超标组分较多,开发利用潜力不大;15号老空水均为劣Ⅴ类老空水,无开发利用意义,且需加以防治。(3)劣质老空水的形成与环境开放程度和煤系地层黄铁矿的含量密切相关,所处环境越开放,黄铁矿含量越大,老空水水质越差。所处环境封闭时,老空水水质仅与补给水源的水质有关,与黄铁矿含量大小基本无关。研究成果可为矿区老空水的开发利用及综合防治提供科学依据。

关键词:劣质老空水;水质评价;水质演化;水文地球化学模拟

中图分类号:P641

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2021)02-0094-07

1 引言

煤炭资源的大规模开采,会形成大面积的老空区。老空水主要贮存在老空区以及周围与老空区相联系的可储水的空间^[1]。以往研究表明,老空水一般积存时间长,水量补给差,多以静储量为主,老空区积水循环缓慢,通常呈现出酸性水的特征,水质差,不能饮用^[2-4]。但随着大量小型煤矿的关闭停采,老空区附近的水文地质条件与煤矿关停闭坑时相比发生了明显变化,老空水的水质特征、更新循环速率等也发生了变化。老空水水位回升,使得老空水随着巷道溢出地表,其对周围地下水、地表水及土壤环境的影响不容忽视,已成为世界范围内典型的重大环境问题之一^[5-12];同时,这部分资源如何处置、利用成为当地政府面临的新问题^[13-16]。因此,分析不同类型老空水水化学组分特征、水质特征及演化过程,对老空水资源的处置和合理利用具有重

要意义。本文以此为背景,选择晋城矿区的主要开采区和开采煤层(二叠、石炭系煤田)所形成的典型老空区及老空水,对比分析不同老空水的水化学及水质特征,并深入分析了劣质老空水的形成机理。

2 研究区概况

晋城矿区,地处山西省沁水煤田南端,跨晋城市区及其泽州、高平、阳城、沁水等县(市)。东以高都、河西一带的煤层露头线为界;西以白马寺断层与阳城矿区隔山相望;南起煤层露头线;北界为高平市南缘马村、河西一线。矿区面积约280km²。

晋城矿区含煤地层主要为古生界二叠系下统山西组和石炭系上统太原组,共含煤13层,主要可采煤层主要为3号、9号、15号煤层(见图1)。地层总体为走向NNE、倾向NWW的单斜构造,由一系列NNE向及近SN向的小型宽缓波状背向斜组成,倾角一般为

收稿日期:2020-01-13

基金项目:中国地质科学院基本科研业务费项目(JYYWF20180401);中国地质调查局地质调查项目(DD20160296, DD20201123)

作者简介:张春潮(1989-),男,河南周口人,硕士,助理研究员,主要从事水文地质方面的工作。E-mail:523575997@qq.com

通讯作者:李向全(1966-),男,河北唐山人,博士,研究员,主要研究方向为水文地质矿山环境。E-mail:lxqlm2003@yahoo.com.cn

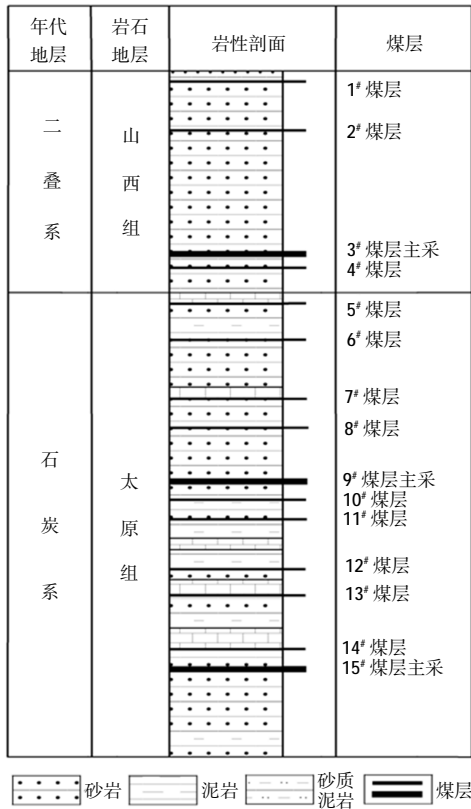


图1 二叠系及石炭系含煤地层示意图

Fig.1 Coal-bearing stratum of Permian and Carboniferous periods

2°~10°。煤炭资源量为 458.8×10⁸t,煤炭查明资源储量为 293×10⁸t,有较大的资源潜力。

老空区主要分布在二叠系山西组 3 号煤层开采区、石炭系太原组 9 号和 15 号煤层开采区^[17-18],其中晋城市的三个早期开采煤矿(凤凰山矿、古书院矿和王台铺矿)老空区面积最大,老空区积水严重。在含煤地层裸露区,老空水补给来源主要为雨水及本层裂隙水,局部接受地表水的补给;在含煤地层潜伏区,老空水补给来源主要为本层裂隙水及上部孔隙水的越流补给。

3 研究方法

籍助于中国地质调查局晋东大型煤炭基地1:50 000 水文地质调查项目^[9](2014~2018 年度),在调查、收集资料的基础上,确定采空区的分布范围及老空区积水情况,并进行取样测试。利用舒卡列夫分类、统计分析对老空水水化学特征进行分析;依据《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)分级,利用模糊综合评价方法对老空水质量进行评价;利用 PHREEQC 软件对劣质老空水形成演化机理进行了深入分析。

针对不同老空水类型,调查、取样 105 处(见图 2),

其中 3 号老空水 46 个、9 号老空水 27 个、15 号老空水 32 个样品,采集时间为 2015 年 4 月~2016 年 6 月。样品送至中国地质科学院国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心,测试内容为水化学全分析。现场测定水温、pH 值、电导率、溶解性总固体等指标,碱度在 24h 内滴定。全部样品均用 0.45μm 滤膜进行过滤,阳离子分析样品采集后用 HNO₃ 酸化至 pH 值小于 2 后进行保存。所有测试水样阴离子电荷平衡误差均在 5%以内。

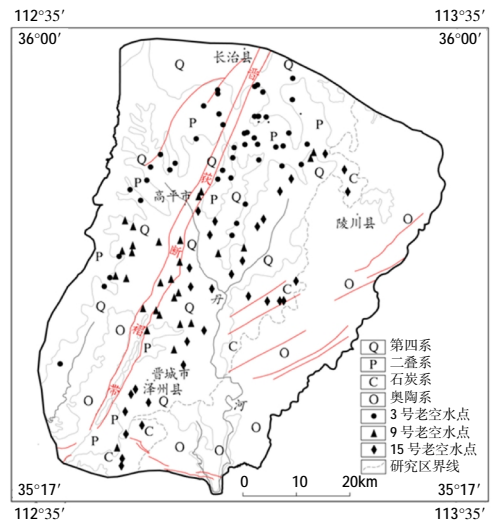


图2 研究区及老空水点位置分布

Fig.2 Location of the study area and goaf water sites

4 结果分析

4.1 老空水水化学特征

自二叠系 3 号老空水、石炭系 9 号老空水至 15 号老空水,水化学类型由 HCO₃ 及 HCO₃·SO₄ 型、HCO₃·SO₄ 及 SO₄·HCO₃ 型向 SO₄ 型水转变。二叠系 3 号老空水水化学类型以 HCO₃-Ca, HCO₃-Na, HCO₃·SO₄-Ca 型水为主,石炭系 9 号老空水水化学类型以 HCO₃·SO₄-Ca 及 SO₄·HCO₃-Ca 型水为主,石炭系 15 号老空水的水化学类型主要为 SO₄-Ca 型水。

依据水化学测试结果,对老空水主要水化学组分特征进行统计分析,如表 1 所示。老空水中 NO₃⁻、SO₄²⁻、F⁻、Fe³⁺、K⁺、Na⁺ 指标其变异系数均大于 1,变异性强,在不同类型老空水中这些指标分布相对离散;其余指标均为中等变异。毒理学指标 NO₃⁻ 和 F⁻ 最大值均出现在石炭系 15 号老空水中,分别为 1 068.00mg/L 和 5.00mg/L,是最小值的 1 271.4 倍和 20.8 倍,且最小值

表1 老空水水化学组分特征值统计
Table1 The statistics of hydrochemical indices of goaf water

项目	特征值						
	最小值及老空水类型		最大值及老空水类型		平均值	标准差	变异系数
总硬度/mg·L ⁻¹	159.60	P/3号	1 459.80	C/15号	590.41	370.44	0.63
TDS/mg·L ⁻¹	326.70	P/3号	18 034.00	C/15号	1 006.01	511.85	0.51
pH	2.17	C/15号	8.67	P/3号	7.16	1.35	0.19
SO ₄ ²⁻ /mg·L ⁻¹	20.99	P/3号	13 837.00	C/15号	1 212.73	3 381.41	2.79
NO ₃ ⁻ /mg·L ⁻¹	0.84	P/3号	1 068.00	C/15号	82.67	263.25	3.18
F ⁻ /mg·L ⁻¹	0.24	P/3号	5.00	C/15号	0.73	1.15	1.57
Cl ⁻ /mg·L ⁻¹	8.26	P/3号	133.00	P/3号	40.16	33.56	0.84
Fe ³⁺ /mg·L ⁻¹	-	P/3号	1 820.00	C/15号	303.54	742.91	2.45
Ca ²⁺ /mg·L ⁻¹	41.73	P/3号	380.80	C/15号	188.36	114.12	0.61
Mg ²⁺ /mg·L ⁻¹	12.60	P/3号	105.80	C/15号	41.21	32.29	0.78
K ⁺ /mg·L ⁻¹	0.30	C/9号	45.40	P/3号	6.53	12.43	1.90
Na ⁺ /mg·L ⁻¹	7.44	C/15号	230.00	P/3号	71.75	77.66	1.08

注:P为二叠系;C为石炭系;"-"表示未检出。

均出现在二叠系3号老空水中。相对于3号和9号老空水,15号老空水总硬度、TDS、SO₄²⁻、NO₃⁻和F⁻均处于较高水平,且多为酸性老空水,说明较高的离子组分、极端异常值以及酸性老空水主要存在于石炭系15号老空水中。

4.2 老空水水质评价

老空水水质评价指标选取和指标限值区间依据《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)采用模糊综合评价的方法对老空水质量进行评价。根据模糊评价的最大隶属度原则,判定水质级别。

评价结果表明,二叠系山西组3号老空水Ⅳ类水所占比例为25%,超标组分主要为Na⁺;Ⅱ、Ⅲ类水所占比例为75%,说明二叠系山西组3号老空水水质总体良好,具有较大的开发利用潜力。石炭系太原组9号老空水40%为Ⅲ类水,Ⅳ、Ⅴ类水占比达60%,水质总体较差,主要超标组分为总硬度、硫酸盐、TDS及F⁻,不易处理,开发利用潜力不大。石炭系太原组15号老空水Ⅴ类水达100%,且多为酸性矿坑水(pH值一般小于5),水质极差,超标组分多且超标严重,主要为总硬度、硫酸盐、TDS、F⁻、铁、锰超标,尤其是酸性老空水,其主要离子组分、重金属指标均存在超Ⅴ类水标准的现象。因而石炭系太原组15号老空水无开发利用潜力,且对劣质老空水需进行防治,避免周边地下水受到污染。

从空间分布上来说,晋城矿区西部主要为3号老空水,水质相对较好;矿区中部主要为9号老空水,水

质相对较差,存在多个离子组分同时超标的现象;矿区东部老空水主要为15号老空水,水质极差,多为酸性、劣质老空水。

4.3 老空水水质演化过程

二叠系以及石炭系不同开采层位其煤层、煤岩中硫及黄铁矿的含量存在明显差异。煤系地层中的硫主要由硫的化合物构成,其中黄铁矿(FeS₂)是主要成分(见表2)。

通过煤层密度、全硫含量,利用PHREEQC软件进行水化学模拟。模拟情境为封闭及开放条件下的煤层浸泡实验。以单位mol水的体积计算与之相当体积的各煤层中黄铁矿的摩尔含量大小,进行溶解反应模拟。封闭及开放情境反应温度均模拟为地下水温度,设定为15℃。选取黄铁矿为平衡相,选取O₂(g)为反应相,给定不同的O₂量,以模拟不同的开放条件。黄铁矿含量分别为:二叠系煤层为0.97mmol,石炭系煤层为8.88mmol,石炭系黄铁矿层为180mmol。初始反应水样以常规裂隙水离子组分含量作为原水样的水化学组成。

表2 各煤层全硫含量
Table2 Total sulfur contents of different coal seams

煤种	全硫含量
二叠系煤层	0.47-0.62%
石炭系煤层	2.21-6.25%
石炭系黄铁矿	23.91%

4.3.1 封闭环境下

即无氧气参与反应的情况下,三种黄铁矿含量(即0.97mmol、8.88mmol、180mmol)加入原水样。反应前后主要离子组分含量见表3。

可见,在封闭环境下反应达到平衡后,黄铁矿溶解量是一致的,仅为0.043mmol,已达到饱和。三种情况下反应平衡后的离子组分含量一致。与原水样相比,Ca²⁺、Mg²⁺含量略有降低,与SO₄²⁻的反应有关;F⁻含量略有下降,与Ca²⁺、Fe³⁺的反应有关;pH值、SO₄²⁻、HCO₃⁻含量略有升高;NO₃⁻含量由1.68mg/L降至0mg/L,在无氧环境下由于NO₃⁻对FeS₂的氧化作用,使得黄铁矿溶解,Fe³⁺含量基本为0mg/L,这是由于与其他离子组分发生了络合反应。总的看来,封闭环境下充分反应后老空水水化学组分变化不大,对老空水水质基本不产生影响。

4.3.2 不同开放条件下

(1)二叠系老空水水质演化。随着O₂供给量的增加,黄铁矿的溶解量不断增加,pH值逐渐降低,SO₄²⁻

含量逐渐升高,HCO₃⁻含量逐渐降低,当O₂反应量达到3.5mmol后,0.97mmol黄铁矿完全溶解,此后pH值、SO₄²⁻及HCO₃⁻含量保持稳定,O₂量的增大对此不再产生影响。O₂含量为3~3.5mmol时,pH值变化最大,SO₄²⁻含量仍稳定增加。当充分反应达到平衡后,pH值由7.71降至6.22,SO₄²⁻含量由59.17mg/L增至206.3mg/L;HCO₃⁻含量由264.1mg/L减小至136.03mg/L;Fe³⁺含量由“未检出”增至4.7×10⁻⁵mg/L,其他以Fe³⁺的络合物形式存在。可见,主要离子组分含量仍处于Ⅲ类水范围内。

(2)石炭系老空水水质演化。随着O₂供给量的增加,黄铁矿的溶解量不断增加,pH值逐渐降低,SO₄²⁻含量逐渐升高,HCO₃⁻含量逐渐降低,当O₂反应量达到35mmol后,8.88mmol黄铁矿完全溶解,此后pH值、SO₄²⁻及HCO₃⁻含量保持稳定。在O₂量为30~35mmol区间内,出现了pH值上升、SO₄²⁻下降的现象,主要是因为O₂量在30mmol之前发生的为S(-1)至S(6)的氧化反应,在30~35mmol之间发生的是Fe(2)至Fe(3)

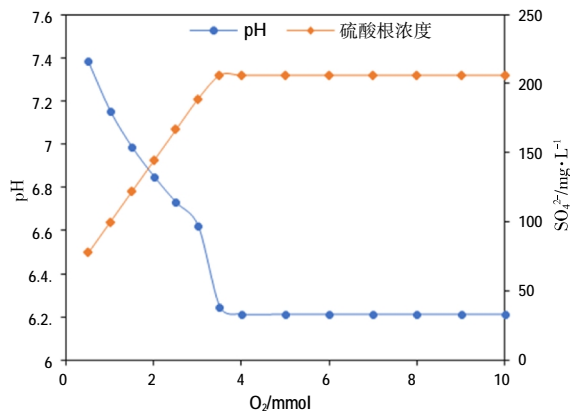


图3 二叠系老空水不同开放条件下pH及SO₄²⁻变化

Fig.3 The pH and SO₄²⁻ variation of goaf water under different open conditions during Permian period

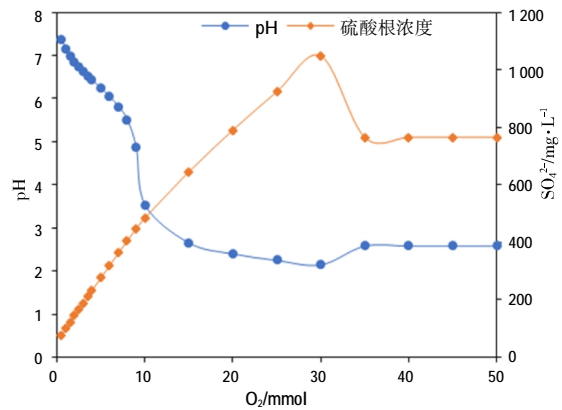


图4 石炭系老空水不同开放条件下pH及SO₄²⁻变化

Fig.4 The pH and SO₄²⁻ variation of goaf water under different open conditions during Carboniferous period

表3 封闭环境下反应前后离子组分含量

Table3 The contents of ion components before and after reaction in enclosed environment

反应条件	pH	主要离子组分含量/mg·L ⁻¹									
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	Fe ³⁺
原水样	7.71	92.20	12.60	0.49	8.17	8.26	59.17	264.10	0.24	1.68	未检出
无氧平衡	7.76	92.04	12.44	0.49	8.17	8.26	67.39	312.40	0.23	0.00	4.20×10 ⁻¹⁰
二叠系	6.22	77.60	12.21	0.49	8.17	8.26	206.30	136.03	0.21	1.68	4.70×10 ⁻⁵
有氧平衡											
石炭系	2.59	64.64	11.93	0.49	8.17	8.26	764.26	0.06	0.18	1.68	29.66
石炭系黄铁矿层	1.33	45.52	11.20	0.49	8.17	8.26	6570.24	0	0.12	1.68	297.69

的氧化反应,故 O_2 在 30~35mmol 之间 Fe^{3+} 大幅增加,与其他离子的络合使得 pH 下降、 SO_4^{2-} 含量下降。在此反应达到平衡后,pH 值由 7.71 降至 2.59(V 类水 < 5.5), SO_4^{2-} 含量由 59.17mg/L 增至 764.26mg/L (V 类水 > 350mg/L), HCO_3^- 含量由 264.1mg/L 减小至 0.06mg/L, Fe^{3+} 含量由未检出增至 29.66mg/L (V 类水 > 2.0mg/L)。可见,主要指标 pH 值、 SO_4^{2-} 、 Fe^{3+} 含量均已超过 V 类水的限值。

(3) 石炭系黄铁矿层老空水水质演化。随着 O_2 供给量的增加,黄铁矿的溶解量不断增加,pH 值逐渐降低, SO_4^{2-} 含量逐渐升高, HCO_3^- 含量逐渐降低,当 O_2 反应量达到 700mmol 后,180mmol 黄铁矿完全溶解,此后 pH 值、 SO_4^{2-} 及 HCO_3^- 含量保持稳定, O_2 供给量的增大对此不再产生影响。在 O_2 量为 600~700mmol 区间内,出现了 pH 值上升、 SO_4^{2-} 下降的现象,这与(2)中的发生的反应一致,故 O_2 在 600~700mmol 之间 Fe^{3+} 大幅增加。在此反应达到平衡后,pH 值由 7.71 降至 1.33, SO_4^{2-} 含量由 59.17mg/L 增至 6 570.24mg/L, HCO_3^- 含量由 264.1mg/L 减小至 0mg/L, $Fe(3)$ 含量达到了 10 096.8mg/L,其中 Fe^{3+} 由未检出增至 297.69mg/L。可见,主要指标 pH 值、 SO_4^{2-} 、 Fe^{3+} 含量均已大大超出 V 类水的限值。

石炭系老空水多为酸性老空水,一方面黄铁矿的溶解使地下水中的 SO_4^{2-} 含量和 Fe^{3+} 含量明显增加,使得溶解性总固体显著升高;另一方面,较低的 pH 值使地下水饱和度大幅降低,促进了矿物尤其是碳酸盐岩矿物的溶解,使得溶解性总固体含量升高。这也是石炭系老空水溶解性总固体含量明显偏高的原因。

4.4 综合分析

结合不同老空水类型、水化学类型、水质特征、黄铁矿含量和不同开放程度,对老空水演化机理进行综合分析。针对不同的煤系地层来说,二叠系煤系地层黄铁矿含量低,无论是在封闭条件还是 O_2 作用充分反应的情况下,基本形不成劣质老空水。老空水呈弱碱性及中性,水化学类型主要为 HCO_3^- -Ca 型和 $HCO_3^- \cdot SO_4^{2-}$ -Ca 型水,水质类型以 II、III 类水为主。而石炭系煤系地层、石炭系黄铁矿层黄铁矿含量高,封闭条件下,黄铁矿溶解量极其有限,地下水离子组分基本没有变化,此时老空水仅与充水水源的水质有关;但当环境达到一定的开放程度,石炭系老空水就会迅速演变为酸性、劣质老空水,低 pH 值、高 SO_4^{2-} 和 Fe^{3+} 含量是其典型特征,水化学类型也迅速转变为 SO_4^{2-} -Ca 型水,当 O_2 反应量达

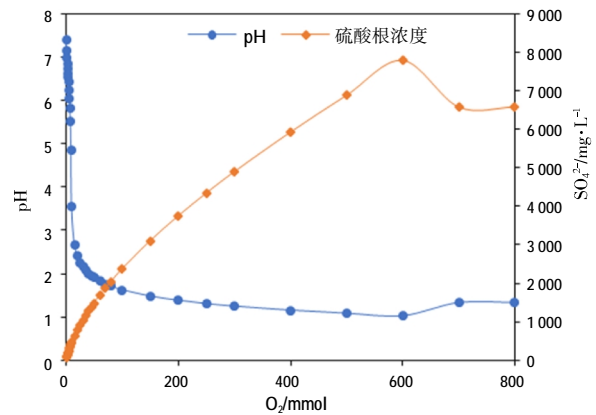


图5 石炭系黄铁矿层老空水不同开放条件下 pH 及 SO_4^{2-} 变化
Fig.5 The pH and SO_4^{2-} variation of goaf water in pyrite seam under different open conditions during Carboniferous period

到 5mmol,老空水水质恶化至 IV 级,当 O_2 反应量达到 7mmol,老空水水质劣化至 V 级。因此,老空水水质与封闭/开放环境、煤系地层中的黄铁矿含量密切相关。开放环境、高黄铁矿含量是酸性、劣质老空水形成的两个必要条件,当老空水所处的环境较为封闭时,老空水仅与补给水源的水质有关,黄铁矿的溶解量很小,对水质基本无改变作用;当老空水所处的环境为开放时,此时老空水水质与煤系地层中的黄铁矿含量密切相关,黄铁矿含量越大,水质越差。该结论可为劣质老空水的防治提供理论依据。

5 结论

(1) 二叠系山西组 3 号老空水水化学类型主要为 HCO_3^- 型和 $HCO_3^- \cdot SO_4^{2-}$ 型,石炭系 9 号老空水主要为 $HCO_3^- \cdot SO_4^{2-}$ 和 $SO_4^{2-} \cdot HCO_3^-$ 型水,石炭系 15 号老空水主要为 SO_4^{2-} 型水,且较高、异常点的离子组分以及酸性老空水主要赋存于石炭系 15 号老空水中。

(2) 二叠系老空水水质普遍较好,仅存在小部分老空水个别离子组分超 IV 类水标准的现象,超标组分少,超标程度低,处理简单且成本较低,对于干旱半干旱、采矿造成的缺水地区具有一定的供水意义;但石炭系老空水水质普遍较差,超标组分多,超标程度严重,无开发利用意义,需加以防治。

(3) 劣质老空水的形成与开放环境和煤系地层黄铁矿的含量密切相关。所处环境越开放,黄铁矿含量越大,老空水水质越差。而在封闭环境下,老空水仅与补给水源的水质有关,黄铁矿含量的高低对其水质基本没有影响。

(4)煤矿闭坑后随着周边水文地质条件的改变,老空水水位逐渐升高,部分已出现溢出地表的情况,如何高效利用和防治是下一步工作的重点。

参考文献:

- [1] 刘强,张永波,张志祥,等. 煤矿酸性老空水形成机制及其处置技术研究[J]. 煤炭技术, 2017,36(10):163-164. (LIU Qiang, ZHANG Yongbo, ZHANG Zhixiang, et al. Study on formation mechanism and disposal technology of acid mine water in coal mine [J]. Coal Technology, 2017,36(10):163-164. (in Chinese))
- [2] 乔小娟,李国敏,周金龙,等. 采煤对地下水资源与环境的影响分析—以山西太原西山煤矿开采区为例[J]. 水资源保护, 2010,26(1):51-52. (QIAO Xiaojuan, LI Guomin, ZHOU Jinlong, et al. Analysis of influence of coal exploitation on water resources and environment: a case study of coal exploitation in Xishan of Taiyuan City [J]. Water Resources Protection, 2010,26(1):51-52. (in Chinese))
- [3] 郭方,余虹. 酸性矿坑水的水文地球化学成因和其对水质污染的防治方法[J]. 湘潭矿业学院学报, 1991,6(1):51-52. (GUO Fang, YU Hong. Hydrogeochemical origin and influence of acid mine drainage on natural waters [J]. Journal of Xiangtan Mining Institute, 1991,6(1):51-52. (in Chinese))
- [4] 王力,田新生. 山西煤矿矿坑水水质特征及其对水环境质量影响分析[J]. 水资源保护, 1997,(4):20-22. (WANG Li, TIAN Xinsheng. Analysis on water quality characteristics of Shanxi coal mine and its effect on water environment quality [J]. Water Resource Protection, 1997,(4):20-22. (in Chinese))
- [5] 付昌昌,李向全,马剑飞,等. 窟野河流域中游煤矿区地下水质量及补给来源研究[J]. 水文, 2018,38(6):42-47. (FU Changchang, LI Xiangquan, MA Jianfei, et al. Groundwater quality assessment and recharge sources of groundwater in coal mining area of Kuye river basin [J]. Journal of China Hydrology, 2018,38(6):42-47. (in Chinese))
- [6] 程玉武. 煤矿井下老空水的防治技术研究[J]. 能源与环境, 2009,(5):106-107. (CHENG Yuwu. The research on the prevention and control technology of goaf water [J]. Energy and Environment, 2009,(5):106-107. (in Chinese))
- [7] 郭彦华. 老空水水害事故原因分析及防治措施研究[J]. 中国安全科学学报, 2006,16(10):141-142. (GUO Yanhua. Cause analysis of flooding accidents caused by goaf water and study on their control measures [J]. China Safety Science Journal, 2006,16(10):141-142. (in Chinese))
- [8] Wolkersdorfer C, Howell R. Contemporary reviews of mine water studies in Europe, Part 1 [J]. Mine Water and the Environment, 2004,23,162-182.
- [9] Strosnider W H J, Llanos López F S, Labar J A, et al. Unabated acid mine drainage from Cerro Rico de Potosí, Bolivia: Uncommon constituents of concern impact the Rio Pilcomayo headwaters [J]. Environmental Earth Science, 2014,71:3223-3234.
- [10] Buzatu A, Dill H G, Buzgar N, et al. Efflorescent sulfates from Baia Sprie mining area (Romania) -Acid mine drainage and climatological approach [J]. Total Environment, 2016,542:629-641.
- [11] Dogramaci, S., McLean, L., Skrzypek, G., 2017. Hydrochemical and stable isotope indicators of pyrite oxidation in carbonate-rich environment; the Hamersley Basin, Western Australia [J]. Journal of Hydrology,545:288-298.
- [12] 代革联,薛小渊,牛超,等. 煤炭开采对相邻区域生态潜水流场扰动特征[J]. 煤炭学报, 2019,44(3):702-703. (DAI Gelian, XUE Xiaoyuan, NIU Chao, et al. Disturbance characteristics of coal mining to the eco-phreatic flow field in adjacent regions [J]. Journal of China Coal Society, 2019,44(3):702-703. (in Chinese))
- [13] 李伟,吕华,刘洪量,等. 淄川区矿坑水资源利用评价与分析[J]. 煤炭科学技术, 2006,34(9):81-82. (LI Wei, LV Hua, LIU Hongliang, et al. Evaluation and analysis on the redamation of mine water in Zichuan area [J]. Coal Science and Technology, 2006,34(9):81-82. (in Chinese))
- [14] 李文平,乔伟,李小琴,等. 深部矿井水害特征、评价方法与治水勘探方向[J]. 煤炭学报, 2019,44(8):2438-2439. (LI Wenping, QIAO Wei, LI Xiaoqin, et al. Characteristics of water disaster, evaluation methods and exploration direction for controlling groundwater in deep mining [J]. Journal of China Coal Society, 2019,44(8):2438-2439. (in Chinese))
- [15] 赵庆令,李清彩,万森,等. 山东省煤田矿坑水资源化综合利用区划[J]. 山东国土资源, 2016,32(8):47-48. (ZHAO Qingling, LI Qingcai, WAN Miao, et al. Comprehensive utilization division of pit water in coal mines in coalfields in Shandong Province [J]. Shandong Land and Resources, 2016,32(8):47-48. (in Chinese))
- [16] 庞义辉,李全生,曹光明,等. 煤矿地下水库储水空间构成分析及计算方法[J]. 煤炭学报, 2019,44(2):558-560. (PANG Yihui, LI Quansheng, CAO Guangming, et al. Analysis and calculation method of underground reservoir water storage space composition [J]. Journal of China Coal Society, 2019,44(2):558-560. (in Chinese))
- [17] 杨高峰,卫金善,杨新亮,等. 晋城矿区凤凰山矿周边闭坑矿井水害分析及治理[J]. 煤田地质与勘探, 2019,47(S1):14-19. (YANG Gaofeng, WEI Jinshan, YANG Xinliang, et al. Analysis and treatment of water hazard in closed mines around Fenghuangshan mine in Jincheng [J]. Coal Geology & Exploration, 2019,47(S1):14-19. (in Chinese))
- [18] 王毅. 晋城矿区“三高”劣质煤资源开发与利用探讨[J]. 煤化工, 2011,156(5):1-2. (WANG Yi. The development and utilization of low rank coal with high ash/sulfur contents and high AFT from the Jincheng mining area [J]. Coal Chemical Industry, 2011,156(5):1-2. (in Chinese))
- [19] 侯新伟,李向全,王振兴,等. 晋东能源基地水文地质环境地质调查报告[R]. 山西省地质图书馆, 2016. (HOU Xinwei, LI Xiangquan, WANG Zhenxing, et al. Jindong energy base hydrogeological environment geological survey report [R]. Geological Library of Shanxi Province, 2016. (in Chinese))

Water Quality Characteristics and Evolution Mechanisms of Different Types of Goaf Water in Jincheng Coal Mining Area

ZHANG Chunchao^{1,2,3}, LI Xiangquan^{1,3}, HOU Xinwei^{1,3}, WANG Zhenxing^{1,3},
GAO Ming^{1,3}, GUI Chunlei^{1,3}, ZUO Xuefeng^{1,3}

- (1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geosciences, Shijiazhuang 050000, China;
2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
3. Key Laboratory of Groundwater Science and Engineering, Ministry of Natural Resources, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: To identify the water quality characteristics and the potential of exploitation and utilization of different types of goaf water in Jincheng mining areas, the comprehensive analysis methods, including statistical analysis, water quality fuzzy assessment and hydrogeochemical simulation, were used to analyze the characteristics and evolution process of Permian Shanxi formation No.3 and the Carboniferous Taiyuan formation No.9 and No.15 goaf water in Jindong coal base. The results show that: (1) The goaf water hydrochemical types of Permian period No.3 are mainly HCO_3^- and $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ type, Carboniferous period No.9 are mainly $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ and $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{HCO}_3^-$ type, and Carboniferous period No.15 are mainly SO_4^{2-} type. (2) The goaf water quality of Permian period No.3 is generally good, and II~III class goaf water accounted for 75%, which has a certain significance to water supply. The IV~V class goaf water of Carboniferous period No.9 accounted for 60%, and there are many exceeded components, so the potential of exploitation and utilization is poor. The goaf water of Carboniferous period No.15 are all V class water, which belongs to inferior goaf water and has no exploitation and utilization potential, meanwhile some controlling measures need to be taken. (3) The goaf water quality is closely related to environmental openness and pyrite content. The more open the environment and the larger the pyrite content, the worse the goaf water quality. When the environment is closed, the goaf water quality is only related to the water quality of the recharge water source, and has nothing to do with the content of pyrite. The results would provide scientific advice for exploitation and utilization of goaf water and prevention of poor-quality goaf water site in mining area.

Key words: poor-quality goaf water; water quality evaluation; water quality evolution; hydrogeochemical simulation

(上接第 55 页)

[7] 杨禄记. 蒙江太平水文站“2017·7”洪水预警预报分析[J]. 广西水利水电, 2017,(6):16-19. (YANG Luji. “July 2017” flood prediction of Taiping hydrological station on Mengjiang River [J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2017,(6):16-19. (in Chinese))

[8] 朱颖洁. 西江梧州段水沙变化及原因分析[J]. 水文, 2017,(5):84-91. (ZHU Yingjie. Variation characteristics and influencing factor of runoff and sediment in Wuzhou reach of Xijiang River [J]. Journal of China Hydrology, 2017,(5):84-91. (in Chinese))

Research and Application on New Hydrological Forecast Mode and Technology in Guangxi

YANG Jingbo¹, WU Liyuan¹, XU Qin^{2,3,4,5}, JIN Junliang^{2,3,4,5}

- (1. Hydrological Center of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530023, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China; 3. Key Laboratory of Flood and Drought Disaster Prevention, Nanjing 210029, China; 4. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 5. Research Center of Climate Change, Nanjing 210029, China)

Abstract: Under the new situation with frequent flood and numerous hydrological stations built on small & medium-sized rivers, how to realize the transformation of work task from traditional forecast to early warning and forecast has become an urgent problem to be solved in the work of water regime. Based on the research of the principle of water balance and water level rise rate analysis method, according to the new working mode of hydrological “prediction-warning-forecast”, this paper carried out new methodology & technology for hydrological forecast in Guangxi. The mode has been used widely in the hydrological work of Guangxi since 2015., The scientific prediction and forecast are realized in the flood processes of large rivers and medium & small rivers, and the qualification rates of hydrological forecast are exceeding 90 percent. Meanwhile, the early warning period has been averagely advanced by 24 hr in large rivers while by 5 hr in small and medium-sized rivers.

Key words: hydrological “prediction-warning-forecast” new working mode; rising rate analysis method; hydrological warning threshold; “point-line-plane” hydrological services