

同位素与水文地球化学方法 在矿井突水水源判别中的应用

胡伟伟¹, 马致远¹, 曹海东², 刘峰², 李婷¹, 豆惠萍¹

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西西安 710054; 2. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西西安 710054)

摘要: 通过对抚顺老虎台矿区各类水体的同位素及水化学特征研究, 阐述了地表水与矿井各开采水平及 73003[#]突水点的同位素和水化学特征及其相互关系, 论证了矿井上覆白垩系砾岩含水层与 73003[#]突水点的联系。研究表明: 73003[#]突水点的同位素及水化学特征与地表水及其他开采水平差异较大, 而与白垩系砾岩水的同位素及水化学特征相似。根据同位素、水化学特征及混合计算发现, 突水点的水是白垩系地下水与第四系地下水的混合, 且白垩系砾岩水占 67%, 占主导作用; 矿井突水通道为活化的 F₁ 断层。

关键词: 同位素; 水文地球化学; 突水; 通道; 老虎台矿区; 抚顺

中图分类号: P641.4⁺61 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2010)03-0268-04

Application of Isotope and Hydrogeochemical Methods in Distinguishing Mine Bursting Water Source

HU Wei-wei¹, MA Zhi-yuan¹, CAO Hai-dong², LIU Feng², LI Ting¹, DOU Hui-ping¹

(1. School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Xi'an Branch of China Coal Research Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract Isotope and hydrochemical features of various types of water bodies in Laohutai mine were studied. Isotope and hydrochemical features of surface water, all mining levels of the coal and water bursting site 73003[#] were represented, and the relationship between Cretaceous conglomerate aquifer above the mine and water bursting site 73003[#] was discussed. The results showed that isotope and hydrochemical features of water bursting site 73003[#] were different with surface water and all mining levels of the coal, but similar to Cretaceous conglomerate aquifer. According to isotope and hydrochemical features and theory of mixed water, water in the water bursting site was mixed by Cretaceous and Quaternary groundwaters, and Cretaceous groundwater was the main source and accounted for 67%; channel of water bursting site was activate F₁ fault.

Key words: isotope; hydrochemistry; bursting; channel; Laohutai mine; Fushun

0 引言

矿井突水不仅影响矿井正常开采, 而且严重威胁人员生命财产安全, 寻求有效途径确定突水水源是预防矿井突水的当务之急。20 世纪 50 年代起, 同位素分析技术的研究与应用迅速发展, 不仅可以解决地下水起源、形成、埋藏和水质与水量的沿时变化等地下水形成理论问题, 而且可以确定地下水

的补给来源、强度、混合比例、补给区高程以及测定地下水年龄等传统水文地质学方法难以解决的问题^[1-5]。但在确定矿井突水水源方面同位素技术应用较少, 2007 年抚顺市老虎台矿区 73003[#]发生井下重大突水事故, 对于其突水水源的判别, 专家们曾进行过多种传统方法的调查研究, 只得出了初步判定。笔者运用同位素水文地球化学方法在对老虎台矿区各类水体特征进行描述分析的基础上,

收稿日期: 2009-12-20

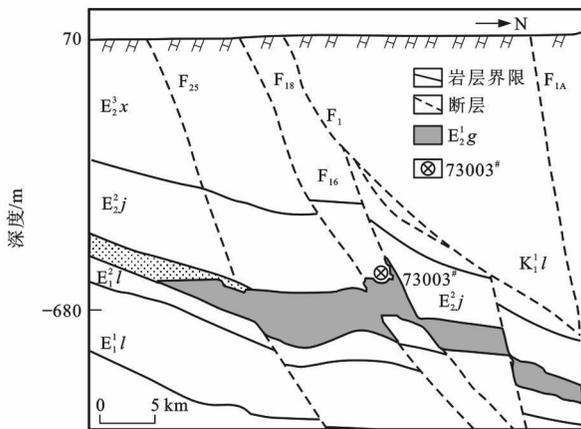
基金项目: 中国地质调查局项目(1212010535A98)

作者简介: 胡伟伟(1985-)男, 陕西榆林人, 工学硕士研究生, 从事水文地球化学研究。E-mail: huzhongwei636@126.com

为确定老虎台矿区 73003[#] 突水水源提供环境同位素水文地球化学证据, 并为矿区井下突水防治提供建议。

1 研究区概况

老虎台矿区位于抚顺煤田中部, 面积约 10 km², 地势东高西低, 东部为山地丘陵区, 西部融入辽河平原。矿区主要地表水系为浑河, 位于井田北部边缘。受井下采动影响, 井田地表不断沉陷, 北部沉陷区业已形成积水洼地 10 余处, 总积水量达到 128.4 × 10⁴ m³。抚顺煤田位于新华夏构造体系的第二隆起带上, 主要由不同高序次的结构面组合而成。在区域应力场作用控制下 F₁ 断裂面发生北盘向西、南盘向东的左旋扭动。井田主要断裂有 F₁、F₁₈、F₂₅ 断层及其次级构造^[6] (图 1)。煤层上覆岩层由下至上分别为油母页岩、绿色页岩、第四纪冲积层及白垩系砾岩。主要含水层为第四纪冲积层砂及砾石强含水层, 第三纪泥灰岩含水层, 第三纪凝灰岩含水层, 白垩系砂砾岩含水层。其中白垩系砾岩含水层分布于 F₁ 与 F_{1A} 断层之间厚达 450 m 的空间内且分布广泛。



E₂g—煤层; E₂j—油母页岩; E₂x—绿色页岩; K₁l—白垩系砾岩

图 1 老虎台矿区地质剖面

Fig. 1 Geological Section of Laohutai Mine

2 水化学同位素特征

测试水样的稳定同位素相对于标准同位素比值千分差 δD 为 $(-57.8 \sim -73.3) \times 10^{-3}$, $\delta^{18}O$ 为 $(-8.05 \sim -10.2) \times 10^{-3}$ (表 1), 图 2 为老虎台矿区各类水体 δD 、 $\delta^{18}O$ 关系图。

图 2 中当地大气降水线根据于津生等^[7] 有关辽宁和吉林两省同位素数据所作。其方程为

$$\delta D = 6.6928 \delta^{18}O - 5.24 \quad (1)$$

表 1 老虎台矿区水化学同位素测定结果

Tab. 1 Results of Hydrochemical Isotope in Laohutai Mine

取样点	$\delta D / 10^{-3}$	$\delta^{18}O / 10^{-3}$	TU 值
地面水泡子	-57.8	-8.05	4.65
-225 m 水平	-61.6	-8.78	11.14
-280 m 水平	-60.6	-8.46	17.62
-330 m 东部	-62.6	-8.82	11.40
白垩系砾岩	-73.3	-10.2	< 2
-430 m 水平	-61.8	-8.69	4.64
-580 m 龙凤水	-64.2	-8.83	16.57
73003 [#]	-70.4	-9.90	17.01
榆林水井	-63.8	-8.88	10.61
浑河	-63.3	-8.51	10.79

注: TU 值为氡的测定浓度

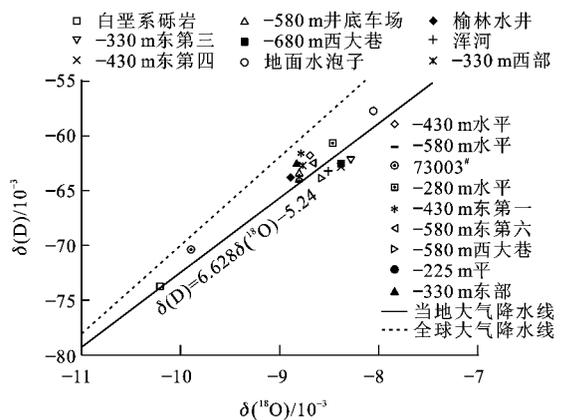


图 2 老虎台矿区各类水体 δD - $\delta^{18}O$ 关系

Fig. 2 Relationship Between δD and $\delta^{18}O$ of Different Water Bodies in Laohutai Mine

73003[#] 突水点及白垩系含水层地下水的 δ 值表现出与地表水、第四系水以及各水平涌水的 δ 值迥然不同的特征。尽管 73003[#] 突水点的特征同位素分布在大气降水线上, 氡的测定标准值较大, 其 δD 却远低于其他各水平约 8×10^{-3} , 指示 73003[#] 突水点与上述各开采水平及第四系潜水、地表水的联系不大。73003[#] 突水点 δ 值仅仅与白垩系含水层 δ 值接近。就深度与 δD 关系而论, 本矿区各类型水体基本遵循随深度增加 δD 缓慢递减趋势, 仅有一 130 m 标高的白垩系砾岩 δD 与 73003[#] 突水点 δD 相近, 显示白垩系含水层与 73003[#] 突水点的密切关系。各类水体中的 δ 值受多重因素影响, 本区影响 δ 值的核心因素是水体接受补给的温度差异, 表现在水体接受补给的年代或高程的不

同。白垩系含水层水的 α_D) 较低, 显示其滞留时间相对较长, 循环相对较慢, 经历一定水岩交换过程, 水循环交替比较差。由此推断白垩系砾岩含水层有与第四系潜水、地表水以及其他各水平截然不同的补给水源。其补给源来自比上述地表水、第四系潜水更老或为全新世前的大气降水补给。白垩系含水层补给区高程可用下式确定

$$H = (f_g - f_p) / k + h \quad (2)$$

式中: H 为同位素入渗高度 (m); h 为取样点高程 (m); f_g 为地下水的 $\alpha^{18}O$); f_p 为取样点附近大气降水的 $\alpha^{18}O$); k 为大气降水 $\delta(^{18}O)$ 值的高度梯度。

f_p 取距离矿区最近的辽宁桓仁哈村 $\alpha^{18}O$, 为 -8.9×10^{-318} , $\alpha^{18}O$ 高度梯度取平凉地区每 100 m 的高度梯度, 为 -0.6641×10^{-319} , 计算得白垩系砾岩含水层补给区的高程约为 1 230 m, 而矿区周围海拔最高为 230 7 m^[9], 所以与补给高程关系不大。同时, 根据 $\alpha^{18}O$ 值与温度 t 的关系 $\alpha^{18}O = 0.35t - 13^{110}$ 得出, 白垩系含水层接受补给时的温度比现今温度约低 8.0 °C, 应为全新世前冰期的水源。

73003[#] 突水点位于白垩系含水层及其他各水平含水层之间、近白垩系地下水处。根据同位素混合原理, 突水点应为第四系水与白垩系含水层水的混合。根据同位素混合比例计算公式^[8]

$$R = (\hat{a}_t - \hat{a}_b) / (\hat{a} - \hat{a}_b)$$

式中: R 为水样 A 在地下水中的混合比例; \hat{a}_t 为地下水的同位素组成; \hat{a} 、 \hat{a}_b 分别为混合水样 A、B 的同位素组成。计算得出白垩系地下水在突水水源中所占比例为 67%, 占主导作用, 第四系及其他含水层水在突水水源水中所占比例为 33%。

图 3 表明, 老虎台矿区地表水及各开采水平地下水中随开采深度增加, 阴离子从以 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 为主, 阳离子以 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 为主逐渐演变为阴离子以 HCO_3^- 为主, 阳离子以 Na^+ 为主, 其中多数水体属于 $HCO_3^-Na^+$ 型水。部分水质属 HCO_3^-Na-Ca 型水。矿化度为 0.27~4.07 g/L, 平均矿化度 1.645 g/L。地下水各开采水平样点水质在 piper 图中显示出随深度递变趋势。例外的是白垩系含水层未遵循此递变规律, 而且与 73003[#] 突水点处的水质相似(图 3), 佐证了白垩系含水层与 73003[#] 突水点的特殊关系。

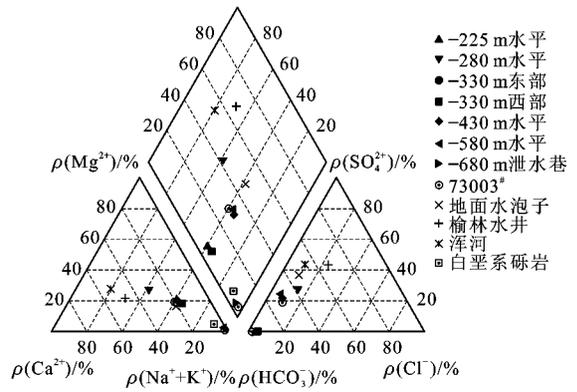


图 3 老虎台矿区各种水体 piper 图

Fig. 3 Pipe Drawing of Different Water Bodies in Laohutai Mine

势, 可以得出 73003[#] 突水水源与白垩系地下水化学特征类似的结论, 即白垩系砾岩、73003[#] 突水点离子变化的趋势相似, 且与其他各水平的变化趋势差异较大。图 4 展示了这种混合作用, 从大趋势看, 各类水体阴阳离子趋势线相近, 均有混合。其中, 白垩系水与突水点水的混合尤为明显, 图 4 显示二者极好的混合态势, 支持了上述白垩系砾岩水为突水点主要水源的结论。

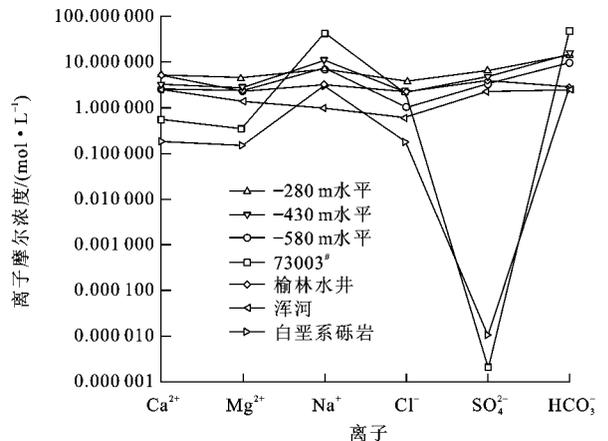


图 4 老虎台矿区各类水体指纹

Fig. 4 Fingerprint Map of Different Water Bodies in Laohutai Mine

3 73003[#] 突水点水源判别

对矿区各类水体同位素水文地球化学研究结果表明, 73003[#] 突水点水源由多元水源组成。

首先, 可能的突水水源首推白垩系含水层地下水。同位素水化学分析结果为此提供了大量证据, 白垩系水约占突水水源的 67%。该突水水源可能包括沟通 73003[#] 采掘面与白垩系砾岩水通道的

F_1 、 F_{16} 断层的断裂带及断裂带内离间层内封存的地下水。2007年73003[#]采掘面发生突水后2年内,其矿井充水量仍保持在 $0.3 \sim 1.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 水平,大于突水前 $0.5 \sim 0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 的正常充水量,说明该突水水源具有相当的静储量。白垩系砾岩水分布于 F_1 与 F_{1A} 断层之间厚达450 m的空间内且分布广泛,可满足67%的充水水量。以往的地质报告调查认为白垩系砾岩为弱含水层(如油母页岩)。有资料显示^[11-13],在采动条件下的弱含水层可能转化为赋存相当水量的含水层,且白垩系砾岩胶结物为钙质、泥质,易在水合条件下溶解而形成储水空隙。加之白垩系砾岩中的断裂裂隙带、断层离层空间为储存一定量的水源提供了可能。

其次,以第四系潜水为代表的各开采水平混合水为突水事件次要水源,约占突水水量的33%,这部分水源即为突水前存在的正常矿井涌水及突水发生后顶板垮落带、裂隙带的部分水源之和。该部分水源除第四系水、各开采水平涌水外,可能还包括上覆泥灰岩、凝灰岩甚至油母页岩赋存水。油母页岩受采动影响,隔水性能降低。

综上所述,如果潜在的突水水源主要为白垩系砾岩水,那么导水通道则有可能为导通白垩系砾岩、73003[#]采掘面的 F_1 、 F_{16-1} 及其次级构造。根据抚顺市老虎台矿区有关地质报告^[9],1号断层在裂隙带的沟通下与地表水、地下水可能形成水力联系。而井下断裂含水微弱。所谓“微弱”是指在采动条件下应力平衡状态或采动未影响到断层导水性时的状态。根据同位素水化学分析,白垩系砾岩水与采掘面发生联系,此联系可能的通道即是 F_1 及 F_{16-1} 断层。

刘大勇等^[12]研究认为,沿抚顺市老虎台矿 F_{1A} 断层走向已形成一条带状沉陷区,沉陷带两侧地裂缝发育,累计下沉值达 $160 \sim 1100 \text{ mm}$, F_1 断层南侧下盘岩体因不均匀沉降速率较大,在地表形成规模较大的地裂缝。在采动的形成与拉伸牵引力作用下,断裂内部形成离层空隙,储存相当量地下水。在 F_1 、 F_{1A} 断层带活化区内, F_1 断层南侧此地层发生连锁式侧倾——滑移运动,致使位于 F_1 、 F_{1A} 断层之间的由白垩纪岩层构成的侧置三角岩体向南倾倒(图1)。采动后不仅使断裂产生活化效应,而且改变了断层的力学性质。 F_{1A} 断层由逆压断层表现为正断层,由隔水断层演化为导水断层。故此

F_1 逆断层最可能成为73003[#]采掘面突水的通道,而上覆离层及其顶板冒落带裂隙亦为潜在的通道。

4 结语

(1)通过对老虎台矿区各类水体的同位素及水化学特征分析,73003[#]突水点的同位素特征与地表水及其他开采水平差异较大,其 $\delta(D)$ 值却远低于其他各水平约 8×10^{-3} ,而与白垩系砾岩水的同位素特征相对相似。

(2)73003[#]突水点与白垩系砾岩的各类水化学特征并没有遵循其他水平渐变的规律,或处在趋势线极端点。

(3)73003[#]突水点与白垩系砾岩的同位素与水化学特征都印证了其上覆的白垩系含水层最有可能成为73003[#]突水点的主要水源。

(4)经过计算白垩系水占突水水源的67%。以第四系潜水为代表的各开采水平混合水为突水事件次要水源,约占突水水量33%。

参考文献:

- [1] 沈照理.水文地球化学基础[M].北京:地质出版社,1993.
- [2] Clark I D, Fritz P.水文地质学中的环境同位素[M].张慧译.郑州:黄河水利出版社,2006.
- [3] 王玉民,焦立敏.利用水质分析法判定矿井涌水水源[J].煤矿安全,2001,32(10):12-14.
- [4] 胡海英,包为民,王涛,等.氢氧同位素在水文学领域中的应用[J].中国农村水利水电,2007(5):4-8.
- [5] 潘国营,王素娜,范书凯.环境同位素技术在矿井水防治中的应用[J].能源技术与管理,2008(4):7-9.
- [6] 抚顺市矿务局钻探队.抚顺市老虎台矿地质报告[R].辽宁抚顺:抚顺市矿务局钻探队,1986.
- [7] 于津生,虞福基,刘德平.中国东部大气降水氢、氧同位素组成[J].地球化学,1987,16(1):22-26.
- [8] 马致远,钱会.环境同位素地下水文学[M].西安:陕西科学技术出版社,2003.
- [9] 马致远,马蒂尔·亨德尔.平凉隐伏岩溶水环境同位素研究[J].长安大学学报:地球科学版,2003,25(4):60-66.
- [10] 钱会,马致远.水文地球化学[M].北京:地质出版社,2005.
- [11] 马致远.环境同位素方法在平凉市岩溶地下水研究中的应用[J].地质论评,2004,50(4):433-439.
- [12] 刘大勇,宋建潮,王恩德,等.抚顺煤田断裂活化与地质灾害衍生关系[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2008,27(4):496-499.
- [13] 孙秀波,蒋永臻,刘茂华,等.抚顺市区地裂缝特征及形成机理分析[J].中国地质灾害与防治学报,2008,19(4):42-45.