

王世东,朱开鹏,汤红伟.桌子山煤田奥陶纪灰岩水演化机理和循环特征[J].矿业安全与环保,2017,44(2):116-120.
文章编号:1008-4495(2017)02-0116-05

桌子山煤田奥陶纪灰岩水演化机理和循环特征

王世东,朱开鹏,汤红伟

(中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710054)

摘要:为系统研究鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田奥陶纪灰岩水文地质特征,采用地质历史再造、区域面上对比、重点区域深度剖析等方法,对该区域奥陶纪灰岩水演化机理和循环特征进行了分析研究,结果表明:桌子山煤田奥陶纪沉积为开阔海盆环境,从东向西由陆棚—大陆斜坡环境转化,对含水岩石中方解石、白云石等重要矿物的组成形成明显的控制。影响奥陶纪灰岩水化学演化的主要地质作用有溶滤作用、阳离子交替吸附作用和氧化还原反应,造成奥陶纪灰岩水在径流过程中化学组分发生了不断演化,表现为骆驼山、平沟矿区从东北到西南,矿化度由小于1.0 g/L逐渐增大到3.0 g/L,水化学类型由 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{--Mg} \cdot \text{Na}$ 型向 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{--Na}$ 型水的演化规律;利民、棋盘井矿区西北部奥陶纪灰岩水补给径流条件较好,矿化度小于1.0 g/L,由西北向东南径流途径中矿化度逐渐增大,水化学类型都以 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{--Na}$ 型水为主。该研究成果可为下一步研究鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田底板奥陶纪灰岩水害防治提供依据。

关键词:鄂尔多斯西缘;奥陶纪灰岩水;演化机理;循环特征

中图分类号:TD741

文献标志码:A

网络出版时间:2017-04-11 10:07

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20170411.1007.004.html>

Evolution Mechanism and Circulation Characteristics of Ordovician Limestone Water in Zhuozishan Coalfield

WANG Shidong, ZHU Kaipeng, TANG Hongwei

(China Coal Technology and Engineering Group Xi'an Research Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to research the hydro-geological characteristics of Ordovician limestone water of Zhuozishan Coalfield in the western margin of Ordos Basin, the evolution mechanism and circulation characteristics of Ordovician limestone water were discussed in this paper by using the methods of the reconstruction of the geologic history, the comparison of regional surface and the deep analysis of the key areas. The results showed that the Ordovician deposit of Zhuozishan Coalfield was an open oceanic basin, it was transformed from the eastern continental shelf to the western continental slope environment, which clearly influenced the compositions of the calcite, dolomite and so on in the water-bearing strata. The main geological processes which influenced the hydro-chemical evolution of Ordovician limestone water included the lixiviation, the alternating absorption of cations and redox reaction, which caused the constant evolution of the chemical compositions of the Ordovician limestone water in runoff process. The evolution rule of the chemical compositions Ordovician limestone water in both Luotuoshan and Pinggou Coal Mining Areas from east to west were characterized by the degree of the mineralization increasing gradually from less than 1.0 g/L to 3.0 g/L, the hydro-chemical type transforming from $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{--Mg} \cdot \text{Na}$ to $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{--Na}$. The make-up runoff conditions of the Ordovician limestone water in the north-west of Limin and Qipanjiang Coal Mining Areas were better, the degree of the mineralization was less than 1.0 g/L and gradually increased in the runoff process from northwest to southeast, and the hydro-chemical type was mainly $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4\text{--Na}$. The results can provide the basis for the future research on the prevention

and control of the Ordovician limestone water hazards of Zhuozishan Coalfield in the western margin of Ordos Basin.

Keywords: western margin of Ordos Basin; Ordovician limestone water; evolution mechanism; circulation characteristics

收稿日期:2016-05-23;2017-02-23 修订

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41402220、41302214);中煤科工集团西安研究院有限公司科技创新基金项目(2016XAYMS09)

作者简介:王世东(1981—),男,河南南阳人,副研究员,从事矿井水害防治研究工作。E-mail:wsdde@126.com。

鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田位于华北地台的西部大陆边缘,主采石炭、二叠纪煤层。长期以来,煤层底板奥陶纪灰岩水害是威胁该区域煤炭资源安全开采的最大隐患,而我国对奥陶纪灰岩水害探查及其防治技术的研究一直集中于华北地区,针对桌子山煤田奥陶纪灰岩水演化机理和循环特征等水文地质的研究工作十分有限,对该区域奥陶纪灰岩水演化机理、循环特征及其水文地质条件的认识存在巨大偏差。2010年骆驼山煤矿发生了特别重大突水事故,突水量峰值达 $60\,036.0\text{ m}^3/\text{h}$,造成了巨大的经济损失。该事故的发生引起了人们对桌子山煤田奥陶纪灰岩水害的极大恐慌,致使乌海矿区、准格尔矿区等大批受底板奥陶纪灰岩水威胁的矿井开采叫停,严重制约了鄂尔多斯盆地煤炭企业的稳定可持续发展。因此,开展对鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田奥陶纪灰岩水演化机理和循环特征研究,是防止煤层开采过程中发生奥陶纪灰岩水害事故的重要课题。

孙鹏飞等^[1]采用 Gibbs 图及因子分析方法,对两淮采煤沉积积水区水体水化学特征及影响因素进行了讨论。张松航等^[2]采用多元统计方法对沁水盆地柿庄南区块煤层气井产出水的化学特征及离子变化规律进行了分析研究。陈陆望等^[3]运用多元统计学中的主成分分析法对淮北矿区任楼井田不同时期的四含、煤系、太灰与奥灰水化学数据进行分析,揭示采动影响下井田主要充水含水层水化学的时空变化规律。薛卫峰等^[4-6]重点研究了不同含水层的水化学组分特征。杨郢城等^[7-9]通过对地下水样品的水化学组成、 SO_4^{2-} 的区域分布特征和硫同位素组成进行分析,并对岩石样品进行了溶滤试验,对鄂尔多斯白垩系地下水盆地硫酸盐的水文地球化学特征及来源进行研究。但是,上述关于水文地球化学特征研究,多是通过数学统计方法、沉积学、水化学组分特征、室内切片试验等方法对华北地区、两淮地区及其他地区水文地球化学特征进行研究,目前对鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田奥陶纪灰岩水演化机理和循环特征的系统研究几乎为空白。

因此,笔者采用地质历史再造、区域面上对比、重点区域深度解剖等方法,对鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田奥陶纪灰岩水演化机理和循环特征进行分析,为下一步研究鄂尔多斯盆地西缘奥陶纪灰岩水害防治提供依据。

1 奥陶纪岩相古地理演化规律

1.1 奥陶纪岩相古地理环境

鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田中奥陶统下部(见图1(a))主要为碳酸盐台地沉积;自中奥陶统开始海水逐渐加深,中奥陶统中部形成较深水的斜坡沉积;至中奥陶统上部海水深度达到最大(见图1(b)),在中奥陶晚期至上奥陶形成盆地深水相沉积;上奥陶上部海水逐渐变浅,再次形成斜坡沉积。奥陶系岩性以泥晶白云岩、粉细晶白云岩、泥质白云岩、灰质白云岩为主(见图1(c))。

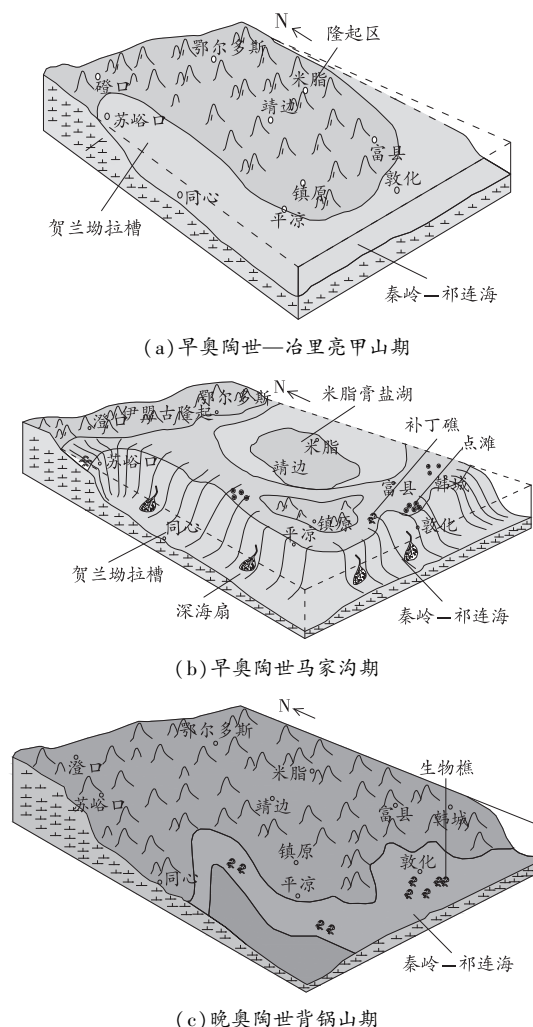


图1 奥陶纪古地理沉积格局模式图^[10]

1.2 含水岩石化学组分特征

根据桌子山煤田奥陶纪灰岩岩矿鉴定及化学成分测试结果,奥陶纪灰岩多为泥晶和微晶结构,部分岩石含有少量泥质、砂质陆源碎屑,部分岩石有不同程度的白云岩化,成为含白云质石灰岩。灰岩(BC2孔)微观结构见图2。岩样的化学成分接近纯方解石的理论化学成分, Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 含量较低。

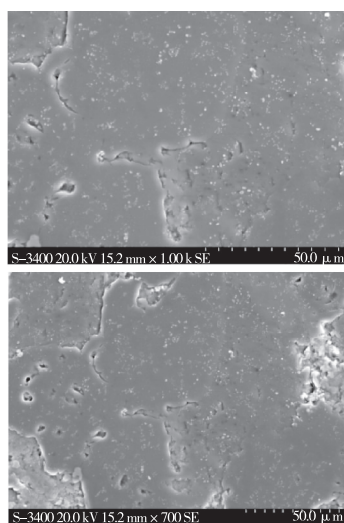


图2 灰岩(BC2孔)微观结构

2 奥陶纪灰岩水演化机理和循环特征

2.1 沉积岩相古地理条件对岩性组分的控制

桌子山煤田奥陶统基本是稳定的广阔海相灰岩连续沉积、夹层很少,灰岩结构以微晶和泥晶结构为主,以白云质石灰岩为主,孔隙较小,且分布均匀,不利于陷落柱集中发育,岩溶发育相对较弱,岩溶作用主要沿构造裂隙发育,形成典型的非均匀裂隙岩溶含水介质。奥陶纪灰岩水则主要在南北向导水断裂带和背斜覆端横张断裂带内富集。由于沉积岩相古地理条件的影响,造成了该区域奥陶纪灰岩水具有沉积环境复杂性、富水性极不均一、构造控水、补给有限等特点。

2.2 沉积—成岩条件对奥陶纪灰岩水演化机理的控制

影响奥陶纪灰岩水化学演化的主要地质作用有溶滤作用、阳离子交替吸附作用和氧化还原反应,这些作用控制着奥陶纪灰岩水在径流过程中化学成分的不断演化。

2.2.1 溶滤作用

奥陶纪灰岩水—岩石相互作用,在渗透过程中溶解并带走岩层中某些组分,使得不稳定矿物溶解和次生矿物沉淀,并导致奥陶纪灰岩水在径流过程中化学组分发生不断演化。通常在奥陶纪灰岩水补给区或水力坡度较大的区域,水循环交替积极,径流条件较好,不断受到大气降水的稀释,白云岩和方解石处于非饱和状态,奥陶系灰岩中高溶解度的盐分发生了溶滤作用,造成奥陶纪灰岩水矿化度通常较低;但在深部滞留区,地下水循环交替滞缓,水流运动缓慢,溶滤作用基本达到平衡,往往造成奥陶纪灰岩水矿化度较高。

根据热力学原理,水—岩反应中矿物的溶解与沉淀由各种矿物在地下水中的饱和指数(SI)决定。

当 $SI < 0$ 时,矿物在地下水中处于非饱和状态,矿物趋向于溶解;当 $SI = 0$ 时,矿物与地下水处于平衡状态;当 $SI > 0$ 时,矿物趋向于沉淀。矿化度(TDS)与饱和指数(SI)关系图见图3。由图3可知,方解石和白云石的饱和指数SI分别为 $0 \sim 1.443$ 和 $0 \sim 2.050$,且随着矿化度(TDS)增大未发生明显的变化。同时 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 HCO_3^- 浓度(见图4、5)随方解石和白云石的SI的增大而未发生明显增大现象,表明奥陶系灰岩中的白云石、方解石溶解已达到平衡,在奥陶纪灰岩水径流过程中对地下水化学组分演化影响较小。反之,石膏的饱和指数 $SI < 0$,且矿化度随着SI的增大而变大,石膏的饱和指数与 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 的离子含量相关系数分别为0.72和0.79(见图6),表明奥陶纪灰岩中的石膏处于非饱和状态,在奥陶纪灰岩水径流过程中不断溶解,控制着地下水化学组分的演化规律。

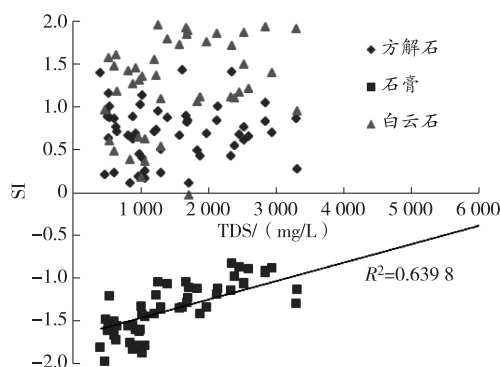


图3 TDS与SI关系图

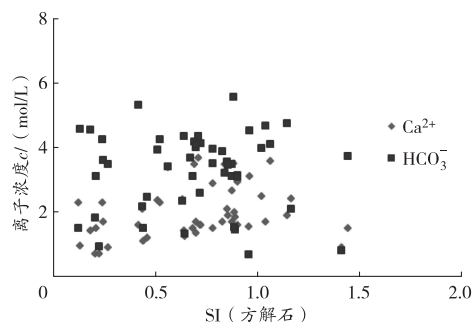


图4 离子浓度与SI(方解石)关系图

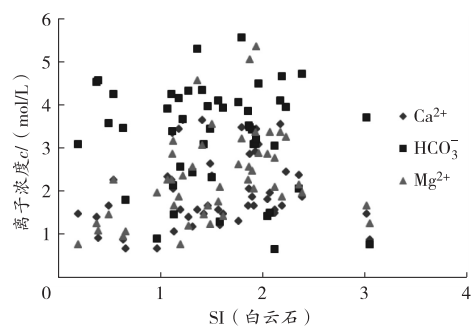


图5 离子浓度与SI(白云石)关系图

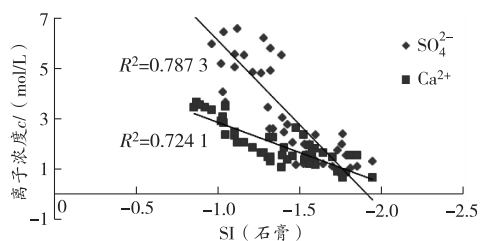


图6 离子浓度与SI(石膏)关系图

大部分样品点都分布在石膏和芒硝溶解线附近,见图7。因此,奥陶纪灰岩水在径流过程中有溶解石膏的能力, Na^+ 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 主要来源于石膏和芒硝的溶解。另外,奥陶纪灰岩水中 Cl^- 也是主要化学组分,而 K^+ 浓度较低, Cl^- 与 K^+ 浓度比值大于8,表明奥陶纪岩层中有岩盐(NaCl)存在,也发生了溶滤作用,绝大部分 Cl^- 来源于岩盐的溶解。

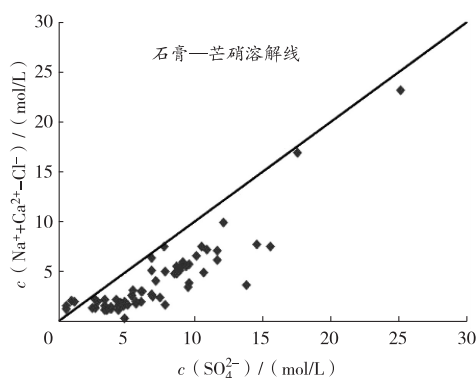


图7 $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ 浓度与 SO_4^{2-} 浓度关系图

2.2.2 阳离子交替吸附作用

如果 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 HCO_3^- 仅仅来源于碳酸盐(方解石和白云石)和石膏的溶解,而 Na^+ 和 Cl^- 来源于岩盐的溶解,那么 $c(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/c(\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ 和 $c(\text{Na}^+)/c(\text{Cl}^-)$ 的浓度比值 d 等于1。

由图8、9可知,奥陶纪灰岩水中 Na^+ 减少而 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 离子增多,表明水—岩发生了阳离子交替吸附作用,有利于促进碳酸盐岩层溶解。

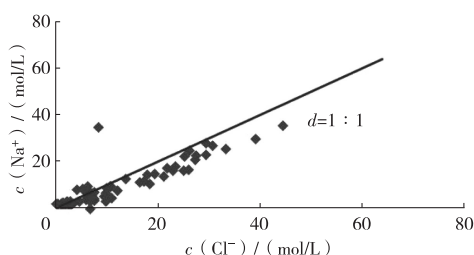
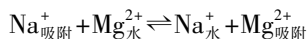


图8 Na^+ 和 Cl^- 浓度关系图

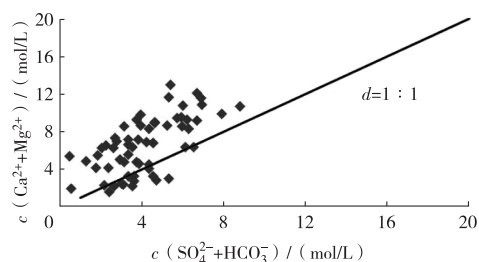
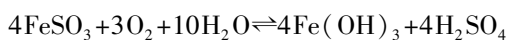
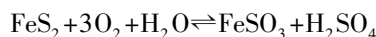


图9 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度关系图

2.2.3 氧化还原作用

桌子山煤田奥陶纪灰岩水中 SO_4^{2-} 离子在阴离子总量中比例普遍较高,除了来源于石膏和芒硝的溶解,个别来自岩石中硫铁矿的氧化还原(见图10)。在奥陶纪灰岩水补给区和径流区,地质环境开放性较好,地下水总体循环积极,发生如下反应,造成 SO_4^{2-} 离子含量较高:



在奥陶纪灰岩水滞留区,处于相对封闭还原环境,有如下反应,造成 SO_4^{2-} 离子含量相对较低:

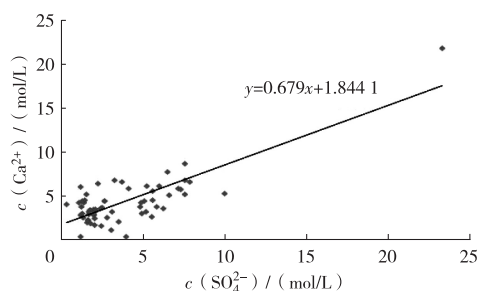
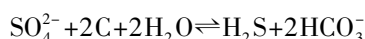


图10 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 浓度关系图

2.3 沉积岩相古地理对灰岩水循环特征的控制

平沟、骆驼山矿区地层由东向西倾斜,奥陶系灰岩东部埋藏较浅,西部埋深较大,如图11所示。东部桌子山脚下区域为该奥陶纪灰岩水的主要补给和径流区,水质较好,TDS一般小于1.0 g/L,以 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Mg} \cdot \text{Na}$ 型水为主;中间区域为径流区域,水质类型为 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$;西部埋深较大,地下水处于滞留区域,TDS一般大于3.0 g/L,以 $\text{Cl} - \text{Na}$ 型水为主。总体来说,从东北到西南,TDS由小于1.0 g/L逐渐增加到大于3.0 g/L,水化学类型呈现由 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Mg} \cdot \text{Na}$ 型向 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型水演化规律。

利民、棋盘井矿区地层由西北向东南倾斜,奥陶系灰岩西北部埋藏较浅,东南部埋深较大,奥陶纪灰岩水的总体径流方向为西北向东南。西北部为奥陶



图11 桌子山煤田奥陶纪灰岩水 TDS 等值线图

纪灰岩水补给径流条件较好, TDS 小于 1.0 g/L , 以 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型水为主, 由西北向东南径流途径中 TDS 逐渐增大, 大于 3 g/L , 水质类型基本都以 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型水为主。

3 结论

1) 鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田奥陶系沉积岩相古地理, 对含水岩石中方解石、白云石等重要矿物的组成形成明显的控制。

2) 奥陶系含水层沉积相古地理、沉积—成岩条件等对奥陶纪灰岩水的演化和循环规律具有良好的控制作用, 造成奥陶纪灰岩水在径流过程中化学组分发生了不断演化。

3) 骆驼山、平沟矿区从东北到西南, 矿化度由小于 1.0 g/L 逐渐增大到 3.0 g/L , 水化学类型由 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Mg} \cdot \text{Na}$ 型向 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型水演

化; 利民、棋盘井矿区西北部奥陶纪灰岩水补给径流条件较好, 矿化度小于 1.0 g/L , 由西北向东南径流途径中矿化度逐渐增大, 水化学类型都以 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Na}$ 型水为主。该研究成果可为研究鄂尔多斯盆地西缘桌子山煤田底板奥陶纪灰岩水害防治提供依据。

参考文献:

- [1] 孙鹏飞, 易齐涛, 许光泉. 两淮采煤沉陷积水区水体水化学特征及影响因素[J]. 煤炭学报, 2014, 39(7): 1345-1353.
- [2] 张松航, 唐书恒, 李忠城, 等. 煤层气井产出水化学特征及变化规律——以沁水盆地柿庄南区块为例[J]. 中国矿业大学学报, 2015, 44(2): 292-299.
- [3] 陈陆望, 刘鑫, 殷晓曦, 等. 采动影响下井田主要充含水层水化学环境演化分析[J]. 煤炭学报, 2012, 37(2): 362-367.
- [4] 薛卫峰, 高颖, 冯海, 等. 韩城矿区象山矿井奥灰水化学特征[J]. 煤炭技术, 2014, 33(4): 273-274.
- [5] 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 等. 锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素[J]. 环境科学, 2014, 35(1): 131-142.
- [6] 张兵, 宋献方, 张应华, 等. 第二松花江流域地表水与地下水相互关系[J]. 水科学进展, 2014, 25(3): 336-345.
- [7] 杨郦城, 沈照理, 文冬光, 等. 鄂尔多斯白垩系地下水盆地硫酸盐的水文地球化学特征及来源[J]. 地球学报, 2008, 29(5): 553-562.
- [8] 侯光才, 林学钰, 苏小四, 等. 鄂尔多斯白垩系盆地地下水系统研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(3): 391-398.
- [9] 张辉, 朱术云, 宋淑光, 等. 深部下组煤首采工作面周邻区段底板突水危险性预测评价[J]. 矿业安全与环保, 2014, 41(3): 74-77.
- [10] 陈安清. 鄂尔多斯盆地地块早古生代盆地演化与物质聚集规律[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.

(责任编辑: 李 琴)