

王子昕,宋颖霞,郭呈宇. 巴拉素煤矿煤炭开采对地表水的影响分析[J]. 矿业安全与环保,2019,46(4):108-112.  
文章编号:1008-4495(2019)04-0108-05

# 巴拉素煤矿煤炭开采对地表水的影响分析

王子昕<sup>1</sup>,宋颖霞<sup>2</sup>,郭呈宇<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学(北京) 水资源与环境学院,北京 100083; 2. 中煤科工集团北京华宇工程有限公司,北京 100120;  
3. 中材地质工程勘察研究院有限公司 环保所,北京 100102)

**摘要:**为了探明巴拉素煤矿煤炭开采与地表径流量减少之间的关系,在对项目调查评价区水文地质条件分析的基础上,利用 GMS 地下水数值模拟软件建立评价区地下水数值模型,定量分析评价区内主要地表径流量随煤炭开采地下径流补给衰减变化曲线,结果表明:各河谷地下水总溢出量衰减率均小于 12.00%,且在煤炭开采第 49 年后,地表径流量衰减明显上升,其主导因素为评价区内煤炭开采引起地表沉降明显下降,第四系潜水水位抬升,造成无效蒸发量增大,从而造成补给地表水体水量减少。

**关键词:**GMS;煤炭开采;地表径流;地表水;地下水;衰减率

**中图分类号:**X752;X143;P333 **文献标志码:**A

## Analysis of the Influence of Coal Mining on Surface Water in Balasu Coal Mine

WANG Zixin<sup>1</sup>, SONG Yingxia<sup>2</sup>, GUO Chengyu<sup>3</sup>

(1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;  
2. CCTEG Beijing Huayu Engineering Co., Ltd., Beijing 100120, China;  
3. CNBM Geological Engineering Exploration Academy Co., Ltd., Beijing 100102, China)

**Abstract:** In order to make clear the relationship between coal mining and surface runoff reduction in Balasu Coal Mine, based on the analysis of hydrogeological conditions in the project investigation and evaluation area, the GMS underground water numerical simulation software was used to establish the underground water numerical model in the evaluation area, quantitative analysis and evaluation of the attenuation change curve of main surface runoff that change with the underground runoff recharge from coal mining. The results show that the attenuation rate of underground water spillover is less than 12.00% in all valleys, and after 49 years of coal mining, the attenuation of surface runoff increases obviously. The main factors are surface subsidence caused by coal mining, and the rise of quaternary phreatic water level, which causes the invalid evaporation to increase, thereby, the amount of water supplied to the surface runoff is reduced.

**Keywords:** GMS; coal mining; surface runoff; surface water; underground water; attenuation rate

煤炭开采诱发浅层地下水位下降,进而导致河水减少甚至断流等十分严峻的水环境问题。神木县目前已有数十条河流断流,尤其是黄河主要支流窟野河每年超过 2/3 的时间会出现断流,河流两岸植被明显退化,周边村庄水井全部干涸,当地群众被迫到数十里外取饮用水,使已十分紧张的区域水资源供需矛盾更加尖锐,制约着矿区生态环境建设和经济社会的可持续发展<sup>[1-5]</sup>。

笔者通过分析巴拉素煤矿项目调查评价区水文

地质条件,以及地表水与地下水之间的水力联系,利用 GMS 地下水数值模拟软件建立数值模型<sup>[6-7]</sup>,定量研究巴拉素煤矿开采对地表径流的影响,以期为合理开采煤炭,实现煤炭资源开发与水资源、生态环境保护并举的目标,提供科学的决策依据。

## 1 巴拉素煤矿评价区水体概述

巴拉素煤矿项目调查评价区属华北地层区鄂尔多斯盆地分区东胜—环县小区,主要地层有新生界第四系及中生界白垩系与侏罗系,其中侏罗系延安组是评价区内主要含煤地层。

巴拉素煤矿评价区地下水是鄂尔多斯盆地北部白垩系地下水系统的一部分,如图 1 所示,属海流图

收稿日期:2019-03-09;2019-07-10 修订

作者简介:王子昕(1997—),女,内蒙古巴彦淖尔人,研究方向为水文与水资源工程。E-mail:742377065@qq.com。

河地下水子系统<sup>[8]</sup>。

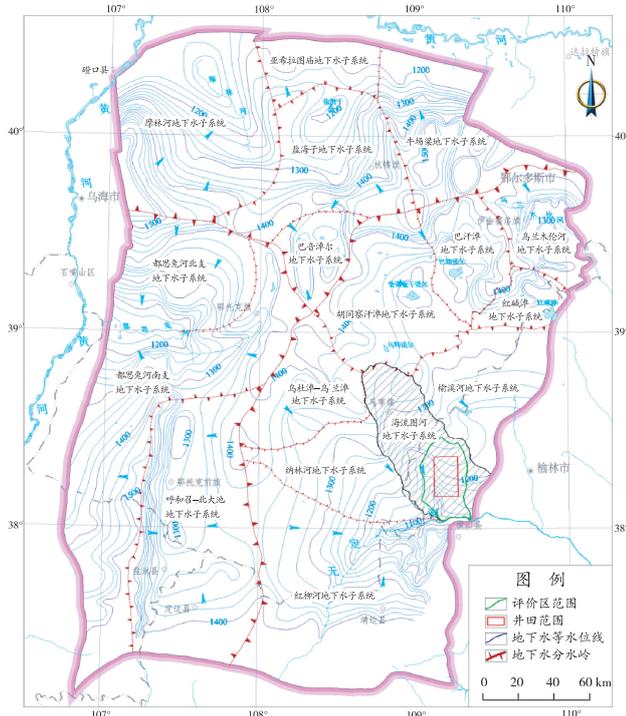


图1 海流图河地下水子系统分布

海流图河地下水子系统的范围与海流图河地

表流域范围基本一致。含水层系统主要由第四系萨拉乌素组与白垩系构成。降水入渗为主要补给水源,蒸发、向河流溢出及农业开发是地下水主要排泄方式。图1显示了地下水方向总体上由北向南,并向海流图河、白城河及无定河汇集、排泄的径流特征。

## 2 巴拉素煤矿评价区水文地质条件

### 2.1 地表水概况

巴拉素煤矿评价区内河流有海流图河、白城河、无定河及季节性沟谷(水口壕沟)等,主要地表水体概况如下:

- 1) 无定河:发源于白于山,干流全长为491.2 km,流域内总面积为30 261.0 km<sup>2</sup>,项目调查评价区内长度为15.3 km<sup>[9]</sup>。
- 2) 白城河:发源于项目调查评价区的中东部,由西北向东南径流,评价区内长度为23.7 km。
- 3) 海流图河:发源于评价区的西北部,流域面积为2 452.0 km<sup>2</sup>,评价区内长度为63.0 km。分析《鄂尔多斯盆地地下水勘查研究》水文资料,可得海流图河地表水径流特征统计,如表1所示。

表1 海流图河地表水径流特征统计

水文站	流域面积/km <sup>2</sup>	平均径流量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	径流量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )	占比/%	径流模数/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )
韩家岭	2 452.0	8 840.55	8 193.21	92.68	3.341

由收集的资料可知,区内地表水主要补给来源为地下水溢出,其次为大气降水。

### 2.2 主要含水层及水文地质特征

巴拉素煤矿评价区主要含水层为第四系孔隙潜水、白垩系孔隙裂隙承压水及侏罗系孔隙裂隙承压水含水层,其中侏罗系孔隙裂隙承压水含水层中延安组含水岩段是煤矿的直接充水含水层,与地表水联系不密切。

与地表水有直接水力联系的含水层为第四系孔隙潜水、白垩系孔隙裂隙承压水含水层,其水文地质特征如下:

1) 第四系潜水含水层赋存于风沙滩地区的萨拉乌素组,第四系含水层在大部分地区的厚度为50~70 m,海流图河河谷区相对较薄,厚度为20~40 m,含水层渗透系数为1.37~60.26 m/d,单位涌水量约为148.19 m<sup>3</sup>/(d·m)。

2) 白垩系孔隙裂隙承压水含水层基本在全区均有分布,与上部第四系潜水含水层呈上下叠置关系,含水层厚度总体北厚南薄,厚度为60~240 m,

含水层渗透系数为0.05~1.81 m/d,单位涌水量约为58.73 m<sup>3</sup>/(d·m)。

### 2.3 地下水补给、径流和排泄条件

巴拉素煤矿评价区大气降水是地下水主要补给来源,其次为农业灌溉水入渗补给;农业开发,向河谷、沟谷区溢出及蒸发为排泄方式。受分水岭、河谷与沟谷控制,径流方向总体由北向南。

在地形相对平缓的北部及南部分水岭区,水力坡度相对较小,为2‰~6‰;海流图河、白城河及无定河河谷两侧,水力坡度相对较大,为15‰~30‰。

### 2.4 地下水与地表水之间的水力联系

海流图河、白城河、无定河地形切割强烈,切穿第四系及白垩系含水层,是区内浅层地下水主要排泄区,图1中地下水流场表明地下水向河流溢出补给排泄的特征。

### 2.5 煤炭开采对地表水的影响

巴拉素煤矿开采对地表河流的影响主要表现在2个方面:一方面由于地表沉陷潜水水位抬升,导致无效蒸发量加大;另一方面井下排水导致延安组含

水岩段水位大幅下降,从而引发浅层含水层增大向下越流补给量。两者均会引起第四系与白垩系地下水水位下降,从而减少地下水向地表水排泄溢流量,最终导致河流径流量减少。

### 3 水文地质概念模型

#### 3.1 含水层结构概化

模拟区内第四系与白垩系含水层上下叠置,含水层的属性特征差异明显,因此将整个含水层系统概化为2个叠置的含水层,含水层结构如图2所示。

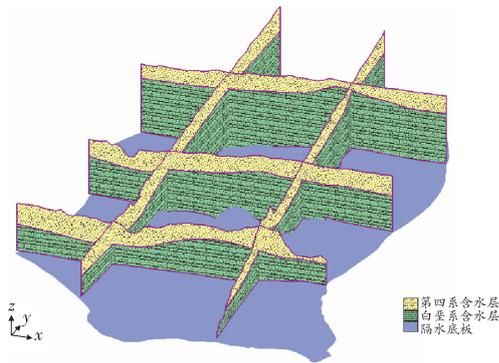


图2 含水层结构示意图

#### 3.2 模型边界条件的确定

巴拉素煤矿评价区地下水流方向整体为由北向南,模型边界条件如图3所示。

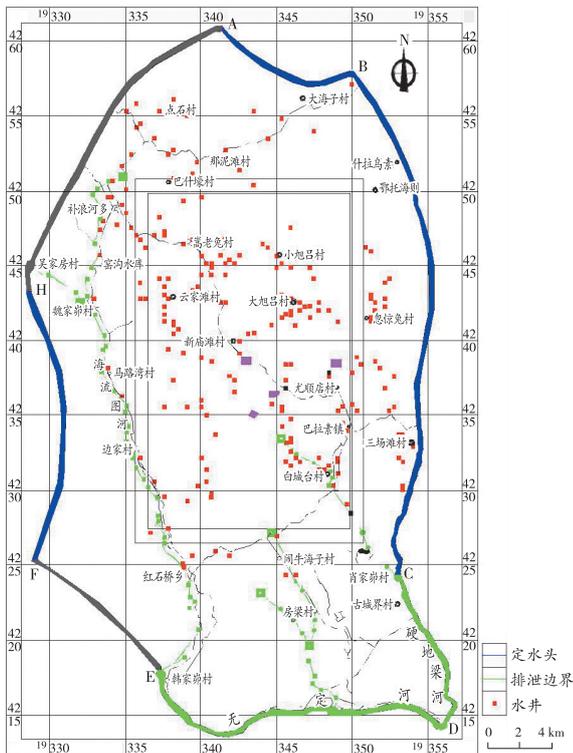


图3 模型边界条件概化示意图

北部边界 A—B 段概化为定水头边界;东部边

界 B—C 段、西北部边界 A—H 段、西南部边界 E—F 段与地下水流线一致,因此概化为隔水边界。

根据地下水与地表水之间的水力联系,区内地表水均为地下水排泄区,因此,根据水文资料将东南部边界 C—D 段的白城河谷、南部边界的无定河谷、模拟区内海流图河谷均概化为排水沟。

上边界为接受大气降水及灌溉水入渗补给边界;下部为侏罗系延安组上部的泥岩层,渗透性能差,天然状态下与上部模拟层间无水量交换,概化为隔水边界。

整个模拟区,概化为非均质、各向同性稳定的地下水系统<sup>[10-11]</sup>。

### 4 数值模型

#### 4.1 模型离散方案

在水文地质概念模型基础上,运用 GMS 地下水数值模拟软件建立巴拉素煤矿评价区的三维地下水稳定流数值模型,综合模拟区面积大小、计算速度、数据精度等因素,并经试算,最终确定模型离散方案如下:模拟区横向上剖分为 200 行;纵向上剖分为 100 列;垂向上剖分为 2 层;整个模拟区活动单元数总计为 23 048 个。

#### 4.2 数值模型识别与参数反演

在边界条件、汇源项概化、模型离散、顶底板插值的基础上,转化、运行模型,建立起稳定流地下水数值模型。之后,再采用试估校正法对模型进行校正。主要是通过参数分区与参数值调整,反复试算,达到校正数值模型的目的。模型校正所依据的原则是:模拟地下水流场与实际地下水流场基本一致;识别的水文地质参数符合实际的水文地质条件<sup>[12-14]</sup>。

##### 4.2.1 数值模型识别

通过水文观测资料进行模型识别与验证,输入水文统测点约 120 个,通过反复调整参数,95.7% 水位点基本拟合。模型计算的水位与观测水位拟合情况如图 4 所示。

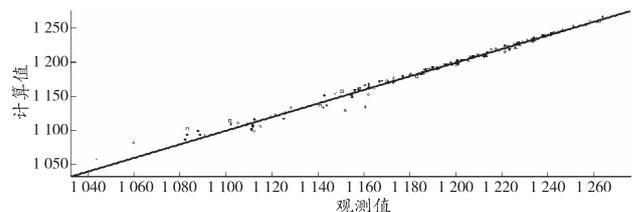


图4 数值模型计算、观测水位拟合图

图 4 表明所建立的数值模型对地下水系统的可靠性较高。

4.2.2 参数反演

通过数值模型校正,优化的渗透系数(K)的最

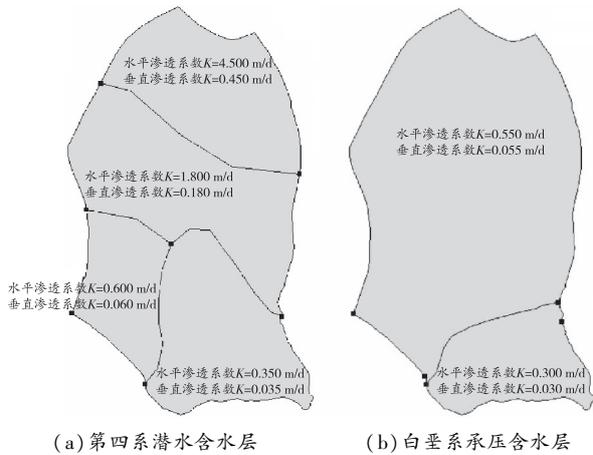


图5 优化的渗透系数(K)的最终分区图

北部地区第四系萨拉乌素组渗透系数 K 值相对较大;南部地区第四系以风积黄土为主,渗透系数 K 值相对较小。

白垩系含水层的渗透系数 K 小于上部第四系含水层的渗透系数 K。

黄土丘陵区的降水入渗系数相对较小,而风积沙盖区的降水入渗系数相对较大。

综上所述,识别后优化的渗透系数、降水入渗系

终分区如图5所示,优化的降水入渗系数最终分区如图6所示。

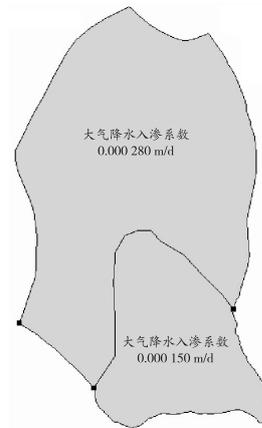


图6 优化的降水入渗系数最终分区图

数值与已取得的勘查值基本一致。

5 煤炭开采对河(沟)谷径流量影响预测

在校正后的稳定流数值模型预测基础上,统计、比较不同时段地下水向河谷、沟谷溢出量的预测结果,可知巴拉素煤矿煤炭开采对河流径流量的影响。河(沟)谷溢出量统计如表2所示。

表2 河(沟)谷溢出量统计

单位:  $m^3 \cdot d^{-1}$

开采时间/a	海流图河		水口壕沟		白城河		无定河	
	溢出量	衰减量	溢出量	衰减量	溢出量	衰减量	溢出量	衰减量
1	-94 888.22	0	-3 002.85	0	-19 612.07	0	-5 219.35	0
15	-94 493.51	394.71	-2 985.67	17.18	-19 489.93	122.14	-5 200.46	18.89
36	-93 971.60	916.56	-2 985.83	17.02	-19 487.67	124.40	-5 200.53	18.82
45	-93 719.24	1 168.98	-2 985.87	16.98	-19 408.78	203.29	-5 200.55	18.80
49	-93 427.81	1 460.41	-2 985.88	16.97	-19 189.54	422.53	-5 200.56	18.79
80	-92 305.94	2 582.28	-2 956.23	46.62	-18 212.66	1 399.41	-5 200.58	18.77
100	-92 037.30	2 850.92	-2 911.82	91.03	-17 988.09	1 623.98	-5 200.43	18.92
125	-91 807.34	3 080.88	-2 849.99	152.86	-17 810.65	1 801.42	-5 198.90	20.45
152	-91 646.26	3 241.96	-2 797.43	205.42	-17 689.54	1 922.54	-5 194.41	24.94
188	-91 515.63	3 372.59	-2 746.14	256.72	-17 593.50	2 018.57	-5 185.61	33.74

利用表2中稳定流数值模型的地下水溢出量预测数据,计算不同阶段地下水溢出量的衰减率,并绘制地下水溢出量衰减率曲线,如图7所示。

由图7可知:巴拉素煤矿开采末期(188 a)各河(沟)谷地下水总溢出量衰减率均小于12.00%,其中地下水向无定河、海流图河溢出量衰减率较小,分别为0.65%、3.69%;地下水向水口壕沟及白城河溢出量衰减率较大,分别为9.35%、11.47%。主要是

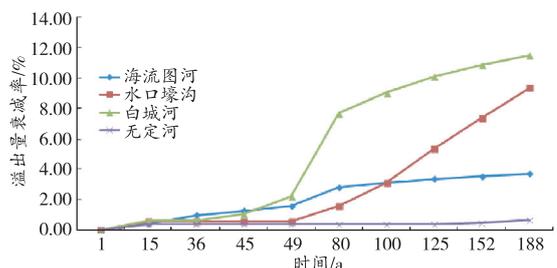


图7 地下水溢出量衰减率曲线

煤炭开采后,水口壕沟及白城河上游汇流区地表出现大面积沉降,潜水水位上升,蒸发量加大,向河流溢出量明显减少。

## 6 结语

通过 GMS 软件建立数值模型,定量给出了巴拉素煤矿开采对地表水的影响,煤矿开采 49 年后,地下水溢出量衰减明显上升,引起衰减的主要原因是评价区内煤炭开采引起地表沉陷明显下降,第四系潜水水位抬升,造成无效蒸发量增大,从而造成补给地表水体水量减少。

建议在煤矿开采 49 年后,采取适当的措施减少地表沉陷,可利用煤矿产生的矸石进行井下采空区充填而达到减沉的效果。另外,为了探明煤矿开采对地表径流的影响,应加强机理研究,通过水化学分析及同位素示踪技术,进一步研究煤矿开采对地表水径流影响的机理,为矿区的可持续发展提供技术支撑<sup>[15]</sup>。

## 参考文献:

[1] 刘晓琼,刘彦随,李同昇,等. 高强度能源开发区河流径流量演变及其减流成因——以窟野河为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2014,50(3):299-304.

[2] 田采霞,宋晓梅,郭保华. 论我国煤矿环境问题及对策[J]. 矿业安全与环保,2004,31(2):45-46.

[3] 曾强,李根生,董敬宣,等. 新疆煤炭资源开采典型生态环境问题及对策[J]. 矿业安全与环保,2017,44(1):106-110.

[4] 狄效斌. 大同矿区水环境问题分析及水资源保护对策探

讨[J]. 矿业安全与环保,2007,34(2):64-66.

[5] 杭银建. 煤矿地下开采对生态环境的影响及环保对策[J]. 能源环境保护,2009,23(6):8-10.

[6] 张国飞. 基于 GMS 的河谷冲淤积平原区地下水数值模拟研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.

[7] 黄婧. 基于 GMS 的宁夏清水河上游平原地下水数值模拟研究[D]. 银川:宁夏大学,2013.

[8] 侯光才,张茂省,刘方,等. 鄂尔多斯盆地地下水勘查研究[M]. 北京:地质出版社,2008.

[9] 张金柱,张惠琴,丁加林. 无定河流域生态环境与治理对策分析[J]. 北京农业,2008(3):55-59.

[10] 苗世超,刘伟. 基于 GMS 的巍山煤矿煤系上伏含水层地下水数值模拟[J]. 煤炭技术,2015,34(7):133-136.

[11] 李治邦,张永波. Visual Modflow 在煤矿开采地下水数值模拟中的应用[J]. 矿业安全与环保,2014,41(4):63-65.

[12] 张鑫,徐世光,黄建国,等. GMS 在地下水数值模拟中的应用——以云南文山州某水库为例[J]. 河南科学,2015,33(11):1994-1997.

[13] 张耀文,宋颖霞,李海君,等. 铁新煤矿底板涌水量数值模拟及预测评价[J]. 矿业安全与环保,2013,40(3):50-54.

[14] 宋颖霞,张耀文,曾一凡. 基于 Visual Modflow 的矿坑涌水量模拟预测评价[J]. 矿业安全与环保,2012,39(2):25-27.

[15] 郭巧玲,韩振英,杨琳洁,等. 煤矿开采对窟野河地表径流影响的水文模拟[J]. 水利水电科技进展,2015,35(4):19-23.

(责任编辑:逢锦伦 实习生:岳小岚)

(上接第 107 页)

[7] 赵兵朝,刘飞,凡奋元,等. 黄土沟壑区下斜交叠置开采地表下沉系数研究[J]. 矿业安全与环保,2016,43(5):54-57.

[8] 许国胜,张彦宾,李德海,等. 厚松散层下开采地表动态移动参数研究[J]. 矿业安全与环保,2016,43(5):70-73.

[9] 樊克松,申宝宏,张风达. 厚煤层开采地表移动变形规律的深厚效应研究[J]. 煤炭科学技术,2018,46(3):194-199.

[10] 赵兵朝,同超,刘樟荣,等. 西部生态脆弱区地表开采损害特征研究[J]. 中南大学学报(自然科学版),2017,48(11):2990-2997.

[11] 王刚,罗海珠,王继仁,等. 近浅埋大采高工作面关键层破断规律研究[J]. 中国矿业大学学报,2016,45(3):469-474.

[12] 左建平,孙运江,钱鸣高. 厚松散层覆岩移动机理及“类双曲线”模型[J]. 煤炭学报,2017,42(6):1372-1379.

[13] 李春意,高永格,崔希民. 基于正态分布时间函数地表动态沉陷预测研究[J]. 岩土力学,2016,37(增刊1):108-116.

[14] 左建平,周钰博,刘光文,等. 煤矿充填开采覆岩连续变形移动规律及曲率模型研究[J]. 岩土力学,2019,40(3):1097-1104.

[15] 梁冰,汪北方,姜利国,等. 浅埋采空区垮落岩体碎胀特性研究[J]. 中国矿业大学学报,2016,45(3):475-482.

[16] 蔡来良,朱占荣,徐敏芝,等. 陕北煤炭开采区地表沉陷规律研究报告[R]. 西安:陕西省煤田地质局,2016.

(责任编辑:逢锦伦)