

榆神府区采动对潜水含水层的影响及其环境效应

彭捷^{1,2},李成^{1,2},向茂西^{1,2},李永红^{1,2},仵拔云^{1,2},高帅^{1,2},孙魁^{1,2}

(1. 陕西省地质环境监测总站,陕西 西安 710054;2. 矿山地质灾害成灾机理与防控重点实验室,陕西 西安 710054)

摘要:为研究榆神府区煤层开采对潜水含水层的影响,促进矿区水资源保护,通过资料收集和实地调查2种方法,对榆神府区地表水体及地下含水层现状进行分析。结果表明:高强度开采是区内潜水资源量减少的主要驱动因素,截至2015年初,榆神府区煤矿开采形成的采空区面积为 $4.73 \times 10^4 \text{ hm}^2$,地面塌陷面积约 $1.34 \times 10^4 \text{ hm}^2$,采空区地表变形增大包气带水分的蒸发,减少对含水层的补给,同时增加垂向径流,使之形成了天然-人工叠加作用地下水流场,最终的环境效应表现为:湖泊面积减少近50%,部分地表水系干涸,泉水数量由采煤前的2 500余处减少到300余处,数量衰减率达到84%,流量衰减率在70%以上,喜水植被向旱生植被演化,生态环境趋向脆弱等。

关键词:榆神府矿区;保水采煤;潜水含水层;地下水补径排;环境效应

中图分类号:P641.4

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2018)02-0156-07

Influence of coal mining on phreatic aquifer and its environmental effects in Yulin-Shenmu-Fugu Area

PENG Jie^{1,2}, LI Cheng^{1,2}, XIANG Maoxi^{1,2}, LI Yonghong^{1,2}, WU Boyun^{1,2}, GAO Shuai^{1,2}, SUN Kui^{1,2}

(1. Shaanxi Institute of Geo-Environment Monitoring Station, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory of Mine Geological Hazards Mechanism and Control, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to study the influence of coal mining on the aquifer in Yulin-Shenmu-Fugu Area and protect groundwater resources, analyzed the present situation of aquifer in Yulin-Shenmu-Fugu Area through data collection and field investigation. The results showed that high-intensity mining was the main driving factor for the decrease of lake area, the dry surface water and the decline of groundwater level. By the beginning of 2015, the area of goaf was $4.73 \times 10^4 \text{ hm}^2$ and the area of ground subsidence was about $1.34 \times 10^4 \text{ hm}^2$ in Yulin-Shenmu-Fugu Area. The goaf area increased the thickness of the gas zone and the evaporation of water, reduced the supply of aquifers, and increased the vertical runoff to form a natural-artificial superposition of groundwater flow. The environmental effected performance that lake area reduction was nearly 50%, part of the surface water dried up, the amount of spring decay rate was 84%, spring water flow decay rate was 70%, the evolution of hydrophilous vegetation to xerophyte the ecological environment tended to be fragile.

Key words: Yulin-Shenmu-Fugu Mining Area; water-preserved mining; phreatic aquifer; recharge-runoff-discharge of groundwater; environmental effect

0 引言

煤炭资源的开发不可避免地会对地下水流场产生影响,地下水水位的变动必定产生区域上生态环境的变迁,地下水位的异常变动常会引起上层水量的变化进而产生一系列生态环境问题。

针对榆神府区含水层破坏、地下水位下降及环境影响等问题,吕新等^[1]以窟野河为例,分析了煤炭开采对流域水资源量与水质的影响机制;冀瑞君等^[2]总结了神府矿区地下水循环模式,进而提出了采煤对地下水影响机制;范立民等^[3-5]论述了采煤造成的地下水渗漏特征,结合对陕北风沙滩地区浅

收稿日期:2017-07-21;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.02.021

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2013CB227901);陕西省公益性地质调查资助项目(20150202)

作者简介:彭捷(1988—),男,湖北黄石人,硕士,工程师。E-mail:396039025@qq.com

引用格式:彭捷,李成,向茂西,等.榆神府区采动对潜水含水层的影响及其环境效应[J].煤炭科学技术,2018,46(2):156-162.

PENG Jie, LI Cheng, XIANG Maoxi, et al. Influence of coal mining on phreatic aquifer and its environmental effects in Yulin-Shenmu-Fugu Area [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 156-162.

层地下水动态的观测,开展地下水位动态与煤炭开采量的相关性分析;虎维岳^[6]对浅埋煤层开采顶板含水层时刻变化进行了研究;文献[7-9]研究了榆神府矿区地面塌陷分布、发育特征及发育规模,阐述了由此引发的矿区灾害等生态环境问题;文献[10-21]研究榆神府区高强度煤层开采对地下水的影 响,分析潜水位下降与煤层开采强度的关系,提出导水裂隙带和含水层特征是煤层开采过程中控制地下水位变化幅度和范围的关键所在,发现了生态水位的最佳埋深,针对一系列采动损害问题,提出了保水采煤问题及解决方案,初步形成了保水采煤的技术体系,并成功开展了工程实践,实现了部分矿井含水层结构保护与高强度采煤的协调统一;马雄德等^[20]分析榆神府矿区生产对区内水体及湿地的影响,提出保水采煤、减少地下水抽采及减少高耗水植被是保护区内水体湿地的有效措施;张广磊等^[22]建立岩层移动与潜水位下降的关系,就沟谷地形下煤炭开采对地表径流的影响进行了探讨。基于此,笔者总结了2015年煤炭大规模开采后区域地下水循环特征,分析采动对潜水含水层影响方式及其生态环境效应。

1 研究区基本概况

1)煤层及开采情况。榆神矿区主要开采煤层1⁻²、2⁻²、3⁻¹、4⁻²、5⁻²煤,可采煤层总厚为12.22~20.70 m,一般16~19 m,其厚度变化趋势由南至北逐渐增厚,神府矿区主采煤层2⁻²、3⁻¹、5⁻²煤,可采厚度4.53~10.28 m,开采深度为20~150 m。区内煤层埋藏深度总体特征为东浅西深,最浅小于40 m,位于神北矿区,最深大于580 m,位于榆神矿区西南部。

截至2015年初,研究区共调查190座煤矿,其中大型煤矿52座、中型煤矿89座、小型煤矿49座,矿区面积2 881.21 km²,区内已形成采空区面积约4.73×10⁴ hm²,由此造成的采空区地面塌陷面积1.34×10⁴ hm²。

2)煤炭开采强度。据范立民等^[24]分析,煤炭开采强度由面积开采强度和空间开采强度综合评价。面积开采强度是指单位面积范围内煤炭资源开采量与总量的占比;空间开采强度主要考核采高和平面开采比2个指标(表1)。

3)主要含隔水层。研究区地下水主要有新生界松散岩类孔隙水和中生界碎屑岩类裂隙水2种

类型。
新生界松散岩类孔隙潜水含水层,包括第四系全新统风积砂、冲积层潜水含水层,第四系上更新统冲湖积含水层(萨拉乌苏组含水层),中更新统离石组黄土弱含水层(隔水层),上新统静乐组黏土隔水层。

表1 煤炭资源开采强度划分指标

采高/m	不同平面开采比下开采强度			
	≥60%	30%~60%	10%~30%	≤10%
≥4.50	极高	高	中	低
1.30~4.50	高	中	中	低
≤1.30	中	低	低	低

中生界碎屑岩裂隙潜水及承压水含水层,包括碎屑岩类风化裂隙潜水含水层,碎屑岩类裂隙承压含水层及烧变岩孔隙裂隙潜水含水层。

4)区内水体特征。区内地下水主要受大气降水补给,浅部潜水径流方向与地形起伏基本一致,深部潜水基本是由西北向东南径流,西部沙漠滩地区水位埋深一般为0~3 m,向东水位埋深逐渐变大,在黄土梁峁区水位埋深普遍大于15 m(图1),地下水主要在沟谷处以泉的形式进行排放,区内出露泉数300余处,总流量996.392 1 L/s。

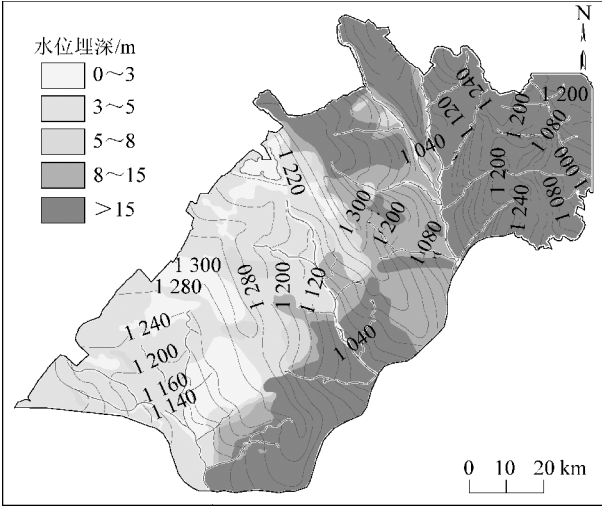


图1 2015年第四系潜水位等值线及埋深分区

Fig.1 Quaternary system phreatic contour and buried depth zones in 2015

2 采煤对浅部含水层的影响

采煤对地下水的影响取决于导水裂隙带和含水层特征,其中导水裂隙带发育高度起决定性作用,当

导水裂隙带导通含水层后,地下水位的变化则取决于含水层特征^[6]。

2.1 采煤对地下水补给的影响

在风积砂和黄土含水层中,由于采空区地表变形,孔隙度增大,同时由于地下水位下降,包气带厚度增加,蒸发量也增多,导致了含水层地下水的补给量减少。

碎屑岩含水层由于大量裂缝的出现,使原有来自风积砂和萨拉乌苏组含水层的地下水由越流补给形式变为通过裂缝的通道补给。

2.2 采煤对地下水径流的影响

由于导水裂隙带排放上覆水体,形成以矿井为中心的 水位降落漏斗,地下水由原先得主水平径流变为垂向渗入。

大柳塔矿井 20601 工作面附近,原先地下水从东、南、北三个方向汇聚到母河沟泉口,以母河沟泉群的形式排出地表。开采区连续 74 d 实施疏水降压工程后,地下水位下降 9 m 左右,原有的地下水天然流场及排泄方式被改变,产生了新的地下水排泄点(图 2),形成了天然-人工迭加的地下水流场^[4]。

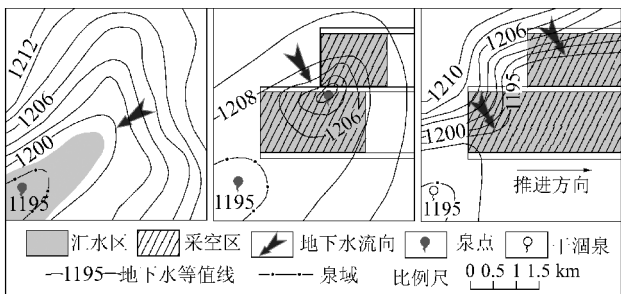


图2 母河沟泉域流场变化示意

Fig.2 Changes of flow field in Muhegou spring area

2.3 采煤对地下水排放的影响

采煤对地下水排泄的影响方式有 3 种类型,即直接严重影响型,间接较严重影响型和直接微弱影响型。

1) 直接严重影响型。林海煤矿内捣不赖沟原有延安组烧变岩泉水出露,1990 年实测泉流量为 12.12 L/s,林海煤矿在掘进 3⁻¹ 煤过程中,其工作面顶板冒落带裂隙沟通了上覆烧变岩含水层,由于烧变岩空洞裂隙极为发育,使得含水层中的地下水大量涌入采空区,造成上游的烧变岩大泉干涸消失(图 3),同时影响和破坏了地下水的形成和赋存条件。

2) 间接较严重影响型。煤炭开采后,裂隙带穿透部分隔水层,改变了地下水流向,减少了原始排

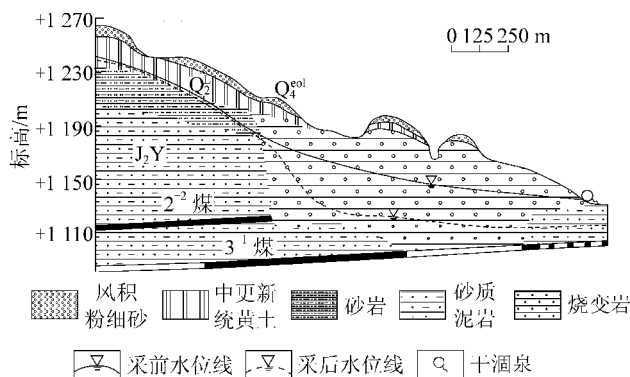


图3 捣不赖沟突水引发泉水干涸示意

Fig.3 Spring drying caused by water intrush in Daobulaigou

泄。现以大海则井田须眉沟流域为例来说明这种影响形式。

大海则煤矿内须眉沟一带由于煤层火烧形成烧变岩汇水盆地,是沟谷出露泉水的主要补给来源(图 4)。43300 和 43302 工作面位于流域分水岭至沟谷间,3⁻¹ 煤层开采后,沟谷附近发育多处地面塌陷,由于其上部静乐组红土(N₂)与下伏地层不整合接触,层位不稳定,易缺失,且相对隔水层平均厚度仅 31 m,导水裂隙带极易导通主要含水层,改变地下水的径流,使原本流向烧变岩区的地下水大量流失,造成了敏盖兔沟、须眉沟及石措沟一带泉流量减少甚至疏干(图 5),1995 年大海则煤矿流域内泉的总流量为 71.387 L/s,2015 年调查的泉总流量降至 15.31 L/s。

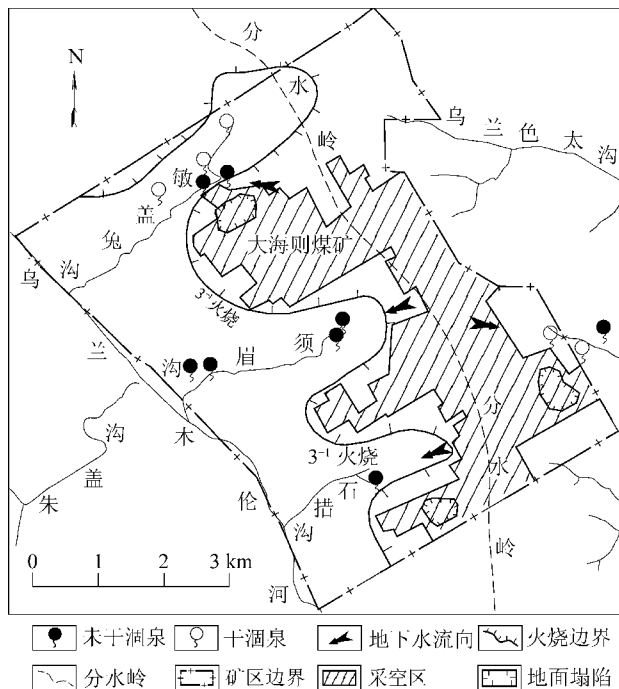


图4 大海则煤矿须眉沟平面示意

Fig.4 Plan sketch of Xumeigou in Dahanze Mine

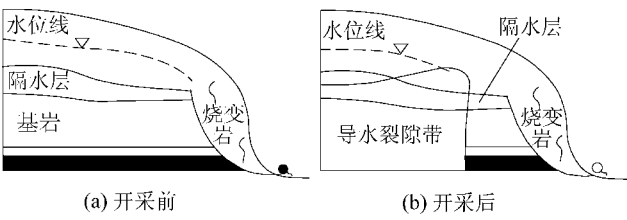


图5 采煤对泉的影响机理^[23]

Fig.5 Influences mechanism of coal mining to springs

3)直接微弱影响型。虽然是直接影响,但由于上覆相对隔水层较厚,导水裂隙带高度未沟通上覆主要潜水含水层,对潜水含水层影响较小,水位及水量变化均不大,采煤对含水层的影响微弱。现以双山煤矿为例来说明采煤对潜水含水层影响微弱(图6)。

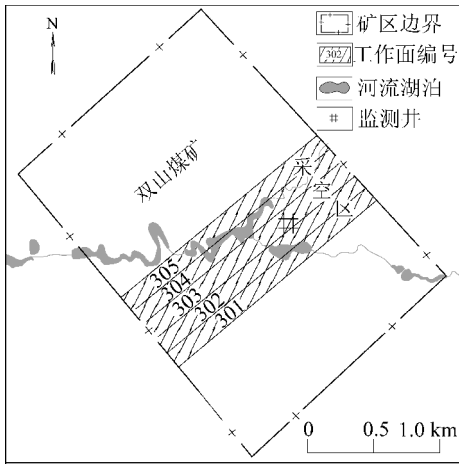


图6 采煤对潜水含水层的影响

Fig.6 Effect of coal mining to phreatic aquifer

双山煤矿主要潜水含水层为第四系孔隙潜水含水层,2010年首采的3号煤层,导水裂隙带高度83.56~101.71 m,而上覆相对隔水层厚度145.78~202.58 m,且采空区上覆静乐组层位及厚度稳定未缺失,导水裂隙带止于静乐组隔水层,并未导通潜水含水层,因此浅部水体受影响微弱(图7)。

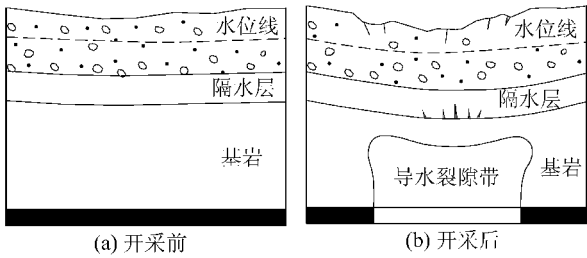


图7 导水裂隙带发育高度

Fig.7 Development height of water flowing fractured zone

通过对采空区上方监测井的长期观测,水位并未发生较大浮动,从而印证了该区采动对浅部水体影响微弱(图8)。

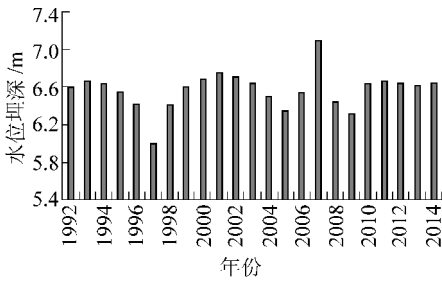


图8 1992—2014年平均水位埋深变化

Fig.8 Changes of annual average water depth from 1992 to 2014

2.4 采煤对浅层含水层影响程度分区

综合分析采动对补径排的影响,结合煤炭开采强度,泉水干涸程度、采煤前后水位变幅程度(表2),将采煤对研究区影响程度划分为4类(图9):严重影响区,主要分布在神府矿区北部及榆神矿区南部一带,面积为306.8 km²,较重影响区,分布于神府矿区大部分地区,面积567.4 km²,微弱影响区,面积3 273.9 km²,极弱影响区,主要分布于榆神矿区西部煤炭未大规模开采地区,面积4 920.9 km²。

表2 影响强度分区指标

Table 2 Index of influence intensity division

分区	严重影响区	较重影响区	微弱影响区	极弱影响区
开采强度	极高	高	中	低
泉数量减少率/%	>90	80~90	60~80	<60
水位降幅/m	>15	5~15	1~5	<1

3 采煤对含水层的影响

3.1 采煤对深部含水层的影响

神府矿区开采时间较早,多已开采至4⁻²煤、5⁻²煤,深部煤层开采,层层扰动,导致上覆基岩裂隙水仅小范围内存在侧向径流,而大部分垂向渗透、漏失,5⁻²煤底板将成为区内深部地下水最终隔水层^[2]。

榆神矿区主要开采1⁻²、2⁻²煤,1⁻²煤上覆基岩厚度100~400 m,平均300 m,2⁻²煤层上覆基岩厚度285.78~512.04 m,平均375 m。据王双明^[14]研究,该区煤层开采后形成的导水裂隙带高度为开采高度的10~15倍,即150 m左右,此高度一般不会波及上部含水层,裂隙水大部分汇聚于开采煤层采空区。

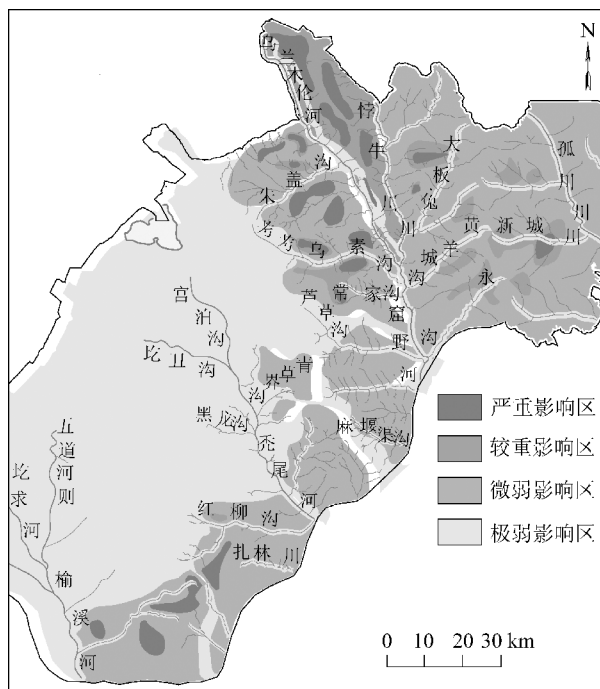


图9 采煤对浅层含水层影响分区

Fig.9 Partition of impact to shallow aquifer caused by mining

3.2 采煤对浅层含水层影响的环境效应

1) 地表水体缩减。据范立民^[4]研究,高强度开采是区内地下水位下降的主要驱动因素,调查区水位下降幅度大于8 m的区域有75.1%的面积是由高强度煤层开采导致的。

采空区地面塌陷或覆岩冒落开裂等,导致地表径流减少或断流,滩地中原有的湖泊、海子等水体面积萎缩或干枯。据遥感监测数据统计,1990—2011年以来,研究区内水体面积变化较大,呈持续减少态势,1990年全区水体面积162.63 km²,2001年减少至133.80 km²,2011年继续减少至85.69 km²,每10年减少约40 km²。地表水体的减少主要表现在湖泊、水库面积的缩小及部分河流水域变窄或者干涸(图10)。

2) 地下水位下降。煤炭大规模开发前,神东矿区石圪台、大柳塔、哈拉沟、活鸡兔、柠条塔煤矿一带,榆神锦界、西沟、麻黄梁—牛家梁一带,水位埋深均小于15 m,煤炭大规模开发后,大柳塔镇、孙家岔镇、麻黄梁镇一带水位埋深超过了15 m,而煤炭未开发地区,从1995—2015年,水位变幅在0~3 m^[4]。

3) 泉水干涸。煤炭开发前,全区泉数量约有2500余处,受采煤影响,泉的数量在近年来锐减至300余处,衰减率达到84%,流量衰减率在70%以上。煤炭开采前,在一些较大沟谷如柳根沟、哈拉沟、沙渠、水头均有大泉出露,煤炭开采后,柳根沟泉

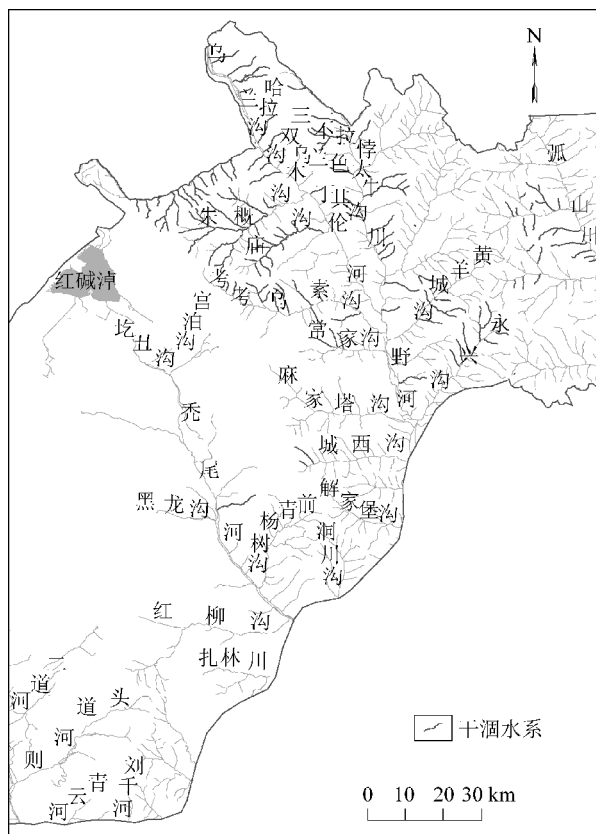


图10 榆神府矿区干涸水系示意

Fig.10 Plan sketch of dry water system in Yulin-Shenmu-Fugu Mining Area

水已完全干涸,母河沟、双沟及麻家塔沟还有少量泉水,流量均小于1 L/s。

4) 生态环境趋向脆弱。近年来,退耕还林、种草种树等环境保护力度加大,植被覆盖率整体向好趋势明显。据遥感资料显示,从1990—2011年榆神府矿区内植被覆盖面积从2 924.63 km²增加至5 098.391 km²,矿区植被覆盖有向好的方向转化的趋势^[19-21],但在煤矿采空区附近,植被生态好转的幅度明显小于相邻地区,水环境遭受破坏,导致喜水生物退化,逐步向旱生植被演化,造成生物多样性减少和湿地植被退化,水体湿地面积减少,生态环境趋于脆弱^[19-20]。

4 结 论

1) 开采区内水位下降幅度大于8 m的区域有50%以上的面积是由高强度煤炭开采导致的。

2) 采煤对含水层严重影响区,主要分布在神府矿区北部及榆神矿区南部一带,面积为306.8 km²,较重影响区,分布于神府矿区大部分地区,面积567.4 km²,微弱影响区,面积3 273.9 km²,极弱影响

区,主要分布于榆神矿区西部煤炭未大规模开采地区,面积 4 920.9 km²。

3) 开采区内水体面积从 1990 的 162.63 km²减少至 2011 年的 85.69 km²,部分地表水系干涸,泉水数量衰减达到 84%,流量衰减在 70% 以上,喜水生物向旱生植被演化,高强度采煤是环境退化的主要驱动因素。

参考文献(References):

- [1] 吕 新,王双明,杨泽元,等.神府东胜矿区煤炭开采对水资源的影响机制:以窟野河流域为例[J].煤田地质与勘探,2014,42(2):54-57.
LYU Xin, WANG Shuangming, YANG Zeyuan, *et al.* Influence of coal mining on water resources: a case study in Kuye river basin [J]. Coal Geology and Exploration, 2014, 42(2): 54-57.
- [2] 冀瑞君,彭苏萍,范立民,等.神府矿区采煤对地下水循环的影响[J].煤炭学报,2015,40(4):938-943.
JI Ruijun, PENG Suping, FAN Limin, *et al.* Effect of coal exploitation on groundwater circulation in the Shenfu mine area: An example from middle and lower reaches of the Kuye River basin [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(4): 938-943.
- [3] 范立民.陕北地区采煤造成的地下水渗漏及其防治对策分析[J].矿业安全与环保,2007,34(5):62-64.
FAN Limin, Underground water seepage caused by coal mining its prevention and control measures in North Shaanxi Region [J]. Mining Safety and Environment Protection, 2007, 34(5): 62-64.
- [4] 范立民,向茂西,彭捷,等.西部生态脆弱矿区地下水对高强度采煤的响应[J].煤炭学报,2016,41(11):2672-2678.
FAN Limin, XIANG Maoxi, PENG Jie, *et al.* Groundwater response to intensive mining in ecologically fragile area [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(11): 2672-2678.
- [5] 陶 虹,宁奎斌,陶福平,等.陕北典型风沙滩地区浅层地下水动态特征及对煤炭开采响应分析[J].煤炭学报,2016,41(9):2319-2325.
TAO Hong, NING Kuibin, TAO Fuping, *et al.* Shallow groundwater dynamic characteristics and response to coal mining in the typical blownsand region of the Northern Shaanxi Province [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(9): 2319-2325.
- [6] 虎维岳.浅埋煤层回采中顶板含水层涌水量的时空动态预测技术[J].煤田地质与勘探,2016,44(5):91-96.
HU Weiyue. Water inflows prediction technique of water inflow from roof aquifer during extraction of shallow seam [J]. Coal Geology & Exploration, 2016, 44(5): 91-96.
- [7] 范立民,马雄德,李永红,等.西部高强度采煤区矿山地质灾害现状与防控技术[J].煤炭学报,2017,42(2):276-285.
FAN Limin, MA Xiongde, LI Yonghong, *et al.* Geological disasters and control technology in high intensity mining area of western China [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(2): 276-285.
- [8] 贺卫中,向茂西,刘海南,等.榆神府矿区地面塌陷特征及环境问题[J].煤田地质与勘探,2016,44(5):131-135.
HE Weizhong, XIANG Maoxi, LIU Hainan, *et al.* Ground subsidence and its environment problems in Yushenfu Mining Area [J]. Coal Geology and Exploration, 2016, 44(5): 131-135.
- [9] 973 计划(2013CB227900)“西部煤炭高强度开采下地质灾害防治与环境保护基础研究”项目组.西部煤炭高强度开采下地质灾害防治理论与方法研究进展[J].煤炭学报,2017,42(2):267-275.
RESEARCH GROUP OF NATIONAL KEY BASIC RESEARCH PROGRAM OF CHINA (2013CB227900). Theory and method research of geological disaster prevention on high-intensity coal exploitation in the west areas [J]. Journal of Engineering Geology, 2017, 42(2): 267-275.
- [10] 范立民.论保水采煤问题[J].煤田地质与勘探,2005,33(5):50-53.
FAN Limin. Discussing on coal mining underwater containing condition [J]. Coal Geology Exploration, 2005, 33(5): 50-53.
- [11] 范立民,蒋泽泉.榆神矿区保水采煤的工程地质背景[J].煤田地质与勘探,2004,32(5):32-35.
FAN Limin, JIANG Zequan. Engineering geologic background of coal mining under water-containing condition in Yushen Coal Mining Area [J]. Coal Geology & Exploration, 2004, 32(5): 32-35.
- [12] 范立民.保水采煤的科学内涵[J].煤炭学报,2017,42(1):27-35.
FAN Limin. Scientific connotation of water-preserved mining [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(1): 27-35.
- [13] 范立民,马雄德,冀瑞君.西部生态脆弱矿区保水采煤研究与实践进展[J].煤炭学报,2015,40(8):1711-1717.
FAN Limin, MA Xiongde, JI Ruijun. The progress of research and engineering practice of water-preserved coal mining in western eco-environment frangible area [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(8): 1711-1717.
- [14] 王双明,范立民,黄庆享,等.榆神矿区煤水地质条件及保水开采[J].西安科技大学学报,2010,30(1):1-6.
WANG Shuangming, FAN Limin, HUANG Qingxiang, *et al.* Coal water geological conditions and water conserving mining for Yushen coal mine area [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2010, 30(1): 1-6.
- [15] 马雄德,范立民,严 戈,等.植被对矿区地下水位变化的响应[J].煤炭学报,2017,42(1):44-49.
MA Xiongde, FAN Limin, YAN Ge, *et al.* Numerical simulation of vegetation response to groundwater level change in mining area [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(1): 44-49.
- [16] 范立民,冀瑞君.论榆神府矿区煤炭资源的适度开发问题[J].中国煤炭,2015,41(2):40-44.
FAN Limin, JI Ruijun. Discussion on the problem of moderate coal mining intensity in Yushenfu mining area [J]. China Coal, 2015, 41(2): 40-44.
- [17] 王双明,范立民,杨宏科.陕北煤炭资源可持续发展之开发思路[J].中国煤田地质,2003,15(5):6-11.
WANG Shuangming, FAN Limin, YANG Hongke. Some thoughts on sustainable development of northern Shaanxi coal resources [J]. Coal Geology of China, 2003, 15(5): 6-11.

- [18] 范立民,寇贵德,蒋泽泉.浅埋煤层开采过程中地下水流场的变化规律[J].陕西煤炭,2003,22(1):26-29.
FAN Limin,KOU Guide,JIANG Zequan.Laws of the changes of underground flow filed during the mining of shallow seam[J].Shaanxi Coal,2003,22(1):26-29.
- [19] 马雄德,范立民,张晓团,等.基于遥感的矿区土地荒漠化动态及驱动机制[J].煤炭学报,2016,41(8):2063-2070.
MA Xiongde,FAN Limin,ZHANG Xiaotuan,*et al.* Dynamic change of land desertification and its driving mechanism in Yushenfu mining area based on remote sensin[J].Journal of China Coal Society,2016,41(8):2063-2070.
- [20] 马雄德,范立民,张晓团,等.榆神府矿区水体湿地演化驱动力分析[J].煤炭学报,2015,40(5):1126-1133.
MA Xiongde,FAN Limin,ZHANG Xiaotuan,*et al.* Driving force analysis for water and wetlands evolution at Yushenfu mining area[J].Journal of China Coal Society,2015,40(5):1126-1133.
- [21] 徐友宁,吴 贤,陈华清.大柳塔煤矿地面塌陷区的生态地质环境效应分析[J].中国矿业,2008,17(3):26-29.
XU Youning,WU Xian,CHEN Huaqing.Effect analysis on ecological geo-environment in the bound of Daliuta coal mining subsidence area[J].China Mining Magazine,2008,17(3):26-29.
- [22] 张广磊,鞠金峰,许家林.沟谷地形下煤炭开采对地表径流的影响[J].煤炭学报,2016,41(5):1219-1226.
ZHANG Guanglei,JU Jinfeng,XU Jialin.Influence of longwall mining on surface runoffs in gully terrain area[J].Journal of China Coal Society,2016,41(5):1219-1226.
- [23] 范立民,贺卫中,彭 捷,等.高强度煤炭开采对烧变岩泉的影响[J].煤炭科学技术,2017,45(7):127-131.
FAN Limin,HE Weizhong,PENG Jie,*et al.* Influence of high-intensity coal mining on burned rock spring[J].Coal Science and Technology,2017,45(7):127-131.
- [24] 范立民.榆神府区煤炭开采强度与地质灾害研究[J].中国煤炭,2014,40(5):52-55.
FAN Limin.On coal mining intensity and geo-hazard in YuShenFu mine area [J].China Coal,2017,45(7):127-131.