

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

乔小娟¹, 李国敏¹, 周金龙¹, 都洁², 杜成元², 孙中惠², 巫润建¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029; 2. 山西省太原市水务局 山西 太原 030002)

摘要 :以太原西山煤矿集中开采区为例,从水量水质两方面分析煤矿开采对地下水资源与环境的影响。结果表明,随着西山矿区浅层煤炭资源开采的逐步枯竭和开采技术水平的完善,煤炭开采在向下煤组延深的同时,强度也不断增大。浅中层地下水逐渐被疏干,深层岩溶水因采煤排水转化为矿坑水,岩溶大泉的补给量随之减少,而矿坑突水又增大了岩溶泉域的排泄量,造成岩溶泉水位的降低甚至泉水的断流。在采空区,地表径流通过因采煤而造成的裂缝与塌陷地带,大量渗漏入矿井中,从而使地表径流量减少,改变了地下水系统与地表水系统的补排关系。采煤产生的酸性矿坑水及固体废弃物随着地下水而迁移,造成了地下水环境的污染,治理难度加大。老窑水的存在对水资源的开发利用造成了一定的风险。

关键词 :煤炭开采;地下水;太原西山地区

中图分类号 :TV213.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2010)01-0049-04

Analysis of influence of coal exploitation on water resources and environment : A case study of coal exploitation in Xishan of Taiyuan City

QIAO Xiao-juan¹, LI Guo-min¹, ZHOU Jin-long¹, Du Jie², Du Cheng-yuan², Sun Zhong-hui², Wu Run-jian¹

(1. Institute of Geology and Geophysics, China Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. Taiyuan Water Authority Bureau of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China)

Abstract : Using the coal exploitation area in Xishan of Taiyuan City as an example, the influence of coal mining on the underground water resources and environment was analyzed quantitatively and qualitatively. The results showed that, with the exhaustion of coal resources in the upper formations and the development of new mining technology, the depth of exploitation grows deeper and the coal mining intensity increases. The groundwater in the upper and middle aquifers was gradually drained out, the water in the deep karst aquifer became mine water, and the amount of water recharged into the large karst spring decreased. However, mine water bursting increased discharge of the large karst spring. These were the main reasons that most of the local karst springs showed significantly decreased flow and some dried up. The surface runoff decreased due to leakage into the mine through the fractures and collapses caused by exploitation. This changed the reentry and outflow relation between the surface water and the groundwater. The acid coal water and the solid waste traveled with groundwater flow and polluted the groundwater environment, and increased the difficulty of treatment. The acid water in the depleted coal field brought more risk to the groundwater utility and protection in the coal area. Balancing the coal mining development and groundwater protection was the appropriate measure for realizing the utilization of the natural resources sustainably.

Key words : coal mining; groundwater; Xishan of Taiyuan City

我国煤炭资源丰富,煤炭作为主体能源,在一次能源生产结构中占 76.7%,在消费结构中占 69.4%。而石油在一次能源生产结构中占 20.4%,天然气为 3%,水电和可再生能源为 7.2%。我国的煤炭生产量逐年增加,2006 年全国生产煤炭 23.7 亿 t,同比增长 8.0%,2007 年煤炭产量达 25.36 亿 t,同比增加 1.63 亿 t,增长 6.9%。煤炭对经济社会发展具有重要作用,但也不可忽略煤矿开采对自然环境带来的负面影响。以能源基地山西省为例,1978 ~ 2003 年,山西省累计产煤 65.3 亿 t,目前全省有 5 000 km²采空区。通过对水资源永久性破坏、水土流失、人畜缺水、房屋建筑破坏等 15 项指标的核算表明,采煤造成的环境污染、生态破坏等损失累计高达 3 988.5 亿元。

1 采煤对地下水影响研究现状

关于煤矿开采活动对地下水影响的研究始于 20 世纪 80 年代,前人从不同角度开展过许多研究。

韩宝平等^[1]从系统论观点出发,综合分析煤矿开发过程中所产生的各种水文地质问题的因素、表象及危害等之间的关系,建立了煤矿开采活动影响下的水文地质概念模型,对了解煤矿开采活动条件下水文地质学的效应发生和演化方式与强度,进而预测煤矿疏排水量及其时间变化规律具有积极意义。武强等^[2]着重从技术方面,同时兼顾经济、社会、生态环境、水力技术和安全生产等多方面可持续性发展的要求,针对华北型煤田,提出了排、供、生态环保三位一体优化结合的区域水资源利用措施,对解决该地区水资源与生态环保矛盾具有参考价值。赫英臣等^[3]针对地下水的保护问题,提出加强矿区的环境管理,及时回填采煤沉陷坑,加强对浅层地下水的利用和人工降低地下水水位等。韩宝平等^[4]介绍了地下采煤过程改变地下结构、地下水水位和地表应力而使地表形态发生演变,利用 3S 新技术进行矿区环境监测和评价,同时对矿区水资源保护与水污染治理技术进行总结。

煤矿开采活动对地下水水质的影响研究已取得很多成果。例如武强等^[5]研究煤矿开采诱发的水环境问题,发现地下水在动态的交换过程中含有“有毒”或者“有害”的离子成分。杨策等^[6-7]以平顶山市石龙区为例,研究采煤造成地下水的贫水化问题,研究地下水地球化学环境变迁机制。王洪亮等^[8]和冯秀军^[9]分别针对神木大柳塔和淄博市淄川区矿坑水等区域,分析煤矿排水对水资源的影响。矿产资源在开发利用过程中产生的废水污染是造成水源恶化的污染源主要因素之一,例如,岳梅等^[10]以水化学

数据为依据,应用相关分析,对煤矿酸性矿排水(AMD)的水化学特点及其成因进行了研究。钟佐等^[11]以淄博煤矿为例,通过现场土柱模拟试验得出污灌区地下水污染的主要原因是污水灌溉。党志^[12]研究煤矸石-水相互作用的溶解动力及其环境地球效应。郑西来等^[13]把污染地下水与岩石之间的相互作用表示为一系列地球化学反应,预测了部分污染因子对地下水污染扩散规律的影响。

对于煤矿开采过程中引起的一系列环境地质问题,例如地表形变、地面沉降、露天边坡失稳及采矿滑坡与崩塌、水土流失、土地荒漠化等,在不同区域也有相关研究。例如,张锦瑞等^[14]在介绍我国采煤塌陷现状的基础上,分析了采煤塌陷所引起的一系列地质环境问题,并进一步提出了采煤塌陷地的治理方法。许光泉等^[15]以淮南煤矿区为例,通过该区多时段、多水平的放水试验,研究灰岩水动力场规律和疏降地下水引起地面塌陷形成机理。段中会^[16]对榆神府矿区突出的土地沙漠化、水土流失、水资源贫乏等三大环境地质问题进行分析。李文平等^[17]利用 GIS 支持下的神经网络综合地质环境评价模型,对陕北榆神府矿区地质环境现状及采煤效应影响进行了分析和预测。

除了采用定性或数理统计方法外,部分研究人员利用数值模拟方法开展了矿区水文地质的研究工作。例如,在我国峰峰矿区、王窑铁矿、内蒙元宝山煤矿、神府煤矿等很多矿区,都曾运用数值方法评价矿坑涌水量,取得了较好效果。张凤娥等^[18]对神府煤矿的一个井田利用数值模型研究煤矿开采对其地下水流场的影响。任增平等^[19]构建数值模型,研究煤矿水源开采对延河泉水流量的影响。

2 太原西山煤矿开采区煤炭开采对地下水资源与环境的影响分析

太原西山矿区位于西山煤田东北部,是山西省的煤炭能源基地之一。西山矿区中,国有大中型煤矿 10 余座,地方煤矿 200 多座,含煤总面积 1 598 km²,已探明煤炭储量为 186.3 亿 t。到 2005 年,太原西山矿区煤矿原煤产量达到 4 005 万 t,比 1975 年增加了近 4 倍。太原西山现状采煤层主要为赋存于石炭系上统的太原组和山西组。煤系地层上覆松散黄土层,下伏奥陶系碳酸盐岩,该地质层是西山地区主要的含水层。随着煤炭开采总量及开采深度的增加,采煤对地下水的影响越来越大。

2.1 采煤对地下水资源量的影响

2.1.1 改变地下水流场

采煤不断改变着矿区含水层的分布和含水状

况,导致矿区水文地质条件的变化,进而使地下水动力场发生改变。在煤矿开采中,浅中层地下水逐渐被疏干,形成了区域性的地下水水位下降漏斗,使煤系及上伏含水层由承压转为无压。在影响半径内,地下水由水平流动为主变为垂向流动,并且流速加快,存储量减少,补径排关系不断改变,形成新的地下水系统。而新的地下水系统会诱发新的水文地质效应,使地下水系统在一定的开采方式、强度和规模控制下不断变化,产生连锁式的水文地质效应。

2.1.2 改变地下水与地表水关系

煤炭开采后,采空区易发生地面塌陷、地裂缝,破坏了浅部地下水隔水层和储水构造,使得矿区煤系地层裂隙水、上覆松散岩类孔隙水和下伏碳酸盐岩岩溶水相互贯通。在矿坑低于当地河底高程时,基流排向矿坑而不再排向河道,随着采煤引起的裂隙加大、加深,一部分地下水垂直排向矿坑,从而使天然基流量减少。在已形成较大面积采空区并导致地面发生裂缝和塌陷的地段,当遇到大的降雨或洪水时,在坡面漫流和河道汇流的过程中,地表径流通过因采煤而造成的裂缝与塌陷地带,大量渗漏入矿井中,从而使地表径流量减少。因此,在浅部“三带”连通地段,地表基流量和径流量减少。如处于冶峪沟中游的官地、西峪煤矿,20世纪60年代初具规模,80年代开采达到高峰,冶峪沟下游的董茹水文站监测资料表明:1958年降水量532.8mm,地表径流深为31.7mm;1983年降水量564.5mm,地表径流深为5.8mm,表明煤炭开采量增大,对地表径流产生明显影响。

2.1.3 对浅中层孔隙裂隙水的影响

西山矿区孔隙水主要分布于中部的原平川、屯兰川、大川河、汾河河谷地带。由于孔隙水含水层具颗粒粗、厚度薄,储存量较少的特点,矿井大量排放孔隙水,疏干了孔隙含水层,会形成较大的降落漏斗。

在太原西山地区,煤矿开采集中分布在边山带附近,在沿边山形成了一条人为的排水带,截取了部分山丘区地下水流向盆地的补给量,天然状态下的水平方向运动转变为以垂直方向的运动为主,使地下水流场发生了极大的转变,减少了山区岩溶水对盆地孔隙水的侧向流入量,影响了山区岩溶水系统与盆地孔隙水系统的水力联系。而孔隙水及浅层裂隙水是矿区工业及居民生活的主要供水水源,由于煤矿开采排水,到2005年,太原已有106个村庄,4.01万人和2739头大牲畜吃水困难。

2.1.4 对深层岩溶水及岩溶大泉的影响

太原西山地区奥陶系石灰岩下伏于煤系底部,易于被沟通而发生水力联系。煤矿开采对岩溶大泉的流量有着直接影响。以晋祠泉为例。著名的晋祠

泉域及兰村泉域主要分布于西山地区。晋祠泉为西山岩溶山区非全排型岩溶大泉,其流量逐年减少,1960~1969年平均流量为 $1.75\text{ m}^3/\text{s}$,比20世纪50年代下降 $0.24\text{ m}^3/\text{s}$,1971~1980年平均流量 $1.13\text{ m}^3/\text{s}$,1983年减为 $0.47\text{ m}^3/\text{s}$,1986年只有 $0.29\text{ m}^3/\text{s}$,1993年4月30日晋祠泉出现断流现象。自从晋祠泉断流以来,附近101号观测孔地下水水位仍然以 1.8 m/a 的速率下降。

煤矿开采对深层岩溶水及对岩溶大泉的影响主要表现在2个方面:

a. 采煤排水造成岩溶水转化为矿坑水被排出,减少了岩溶水资源量及岩溶大泉的补给量。

在煤炭带压开采区,下伏岩溶水的水位高于煤矿开采层的底板标高,岩溶水的顶托作用使部分岩溶水通过上部裂隙系统渗入开采区,加大矿坑排量。带压开采矿区一般分布在泉域的径流区和排泄区,使岩溶含水层的水不再补给泉域,而使岩溶泉的补给量衰减,消耗了岩溶水资源,也使岩溶泉水位下降,流量减小。

在无压开采矿区,下伏岩溶水的水位低于煤矿的开采煤层的底板标高,一般分布在泉域的补给、径流区。当煤矿开采时,由于疏干了开采区及其影响带上覆岩层的地下水,天然状态下本向岩溶地层补给的第四系孔隙水及基岩裂隙水,被煤矿袭夺和截流,转化为矿坑水排向地表,减少了泉水的补给量,影响了泉水流量。

b. 矿坑突水增大了岩溶泉水的排泄量。采煤排水不仅直接排泄了煤系地层裂隙水,而且还排泄了部分岩溶水。例如,晋祠泉域内的白家庄煤矿区地质构造复杂,断层发育,由杜儿坪及雅崖底断层构成的小虎峪地垒将岩溶含水层抬升至地表,造成煤系地层与岩溶含水层对接,岩溶水通过地垒补给煤系地层裂隙水,从而使白家庄煤矿的矿坑排水量明显高于附近的官地、杜儿坪、西峪、西铭4矿,吨煤排水量是官地等4矿平均吨煤排水量的7.5倍,对晋祠泉的影响甚大。

2.2 采煤对地下水环境的影响

2.2.1 形成酸性矿坑水

煤矿区大规模巷道开挖造成地表植被的破坏、岩溶塌陷、地面塌陷及裂缝等相应引起地表渗透条件变化、含水层破坏或边界条件改变,产生人为导水通道,增大含水层间的水力联系,地下水地球化学环境由封闭变得相对开启,天然的还原状态变为开放的氧化状态,煤层中硫含量较大,同时伴生有较多的黄铁矿结核。在氧化状态下,水中溶解的氧与黄铁矿发生作用,形成易溶于水的硫酸亚铁,从而使地下

水 SO_4^{2-} 离子浓度剧增。另一方面,矿井疏排水成为地下水主要的排泄途径,潜水位不断下降,机井干涸,泉水断流,深层承压水水压大幅度下降,地下水脱碳酸作用显著,因此 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 离子浓度降低。

太原西山矿区矿坑水水质全分析和污染分析结果表明,煤矿区地下水水化学类型转变主要表现为 $\rho(\text{HCO}_3^-)$ 降低而 $\rho(\text{SO}_4^{2-})$ 迅速增加,使得 pH 值约为 6.4,形成矿化度高、硬度偏大、铁离子浓度大的酸性矿坑水。由于煤矿开采致使顶板的隔水性被破坏,某些地段大量的酸性矿坑水渗漏于深层,使深部岩溶含水层水质被污染,在地下形成潜在的水污染源。另外在浅部“三带”连通地段,地表水转化为地下水,涌入矿坑再排出,在下游又转为地表水,形成不良循环,使矿坑水的污染治理难度加大。

2.2.2 产生废弃物污染地下水

采掘和洗煤过程中排出的煤矸石若未经过处理,长期露天堆放,经日晒雨淋、风化侵蚀,天长日久便发生自燃,释放出大量的有害气体,污染大气降水,一部分有害组分经雨水淋滤或地表水的入渗对地下水造成污染。淋滤液中的重金属(Pb 、 Hg 、 Cr^{6+} 、 As)元素毒性大,污染严重,通过土壤向浅层地下水迁移,导致矿区地下水水质恶化。

粉煤灰是电厂的工业废渣,长期堆积使得有毒有害成分向地下渗透,先在土壤中聚集,进一步向浅层地下水中迁移,同样造成了地下水资源的污染。

2.2.3 产生老窑水

太原西山煤炭开采历史较长,许多矿区分布有废弃闲置的煤窑。由于长时间不排水,煤窑中贮存了大量的积水,加剧了 SO_4^{2-} 及矿化度的积累,形成老窑水。一般老窑水均属酸性强腐蚀性,且这些老窑区分布无规律,地表无痕迹,积水范围、积水量不清楚,一旦与矿坑连通,不但会造成透水事故,并且会造成水污染。

3 结 语

虽然目前对煤水关系的研究很多,但是多数停留在定性评价或定性-定量评价。虽然也有一些研究人员利用数值模拟技术对矿区地下水资源进行定量研究,但是为数不多的定量评价受研究尺度限制,难以反映整个区域的地下水系统内煤矿开采与地下水变化的关系,同时,随着采煤深度的加大,区域水循环转化途径被改变,大大加深了垂向循环深度,采用二维流来研究地下水流动系统的方法,对真实条件的反应难免失真。因此,要从根本上解决煤水关系,要从大区域尺度上进行宏观研究,以系统的思想认识含水介质特性、地下水补给来源和地下水径流

途径,构建采煤对区域水资源的水量及水质影响的三维仿真模型。

参考文献:

- [1] 韩宝平,郑世书.煤矿开采诱发的水文地质效应研究[J].中国矿业大学学报,1994,23(3):70-77.
- [2] 武强,董东林,石占华,等.华北型煤田排、供、生态环保三位一体优化结合研究[J].中国科学(D辑),1999,29(6):567-573.
- [3] 赫英臣,龚斌,郝爱民,等.矿区浅层地下水污染机理探讨[J].中国安全科学学报,2007,17(5):5-8.
- [4] 韩宝平.矿区环境污染与防治[M].徐州:中国矿业大学出版社,2008.
- [5] 武强,董东林,傅耀军.煤矿开采诱发的水环境问题研究[J].中国矿业大学学报,2002,31(1):19-22.
- [6] 杨策,钟宁宁,陈党义,等.煤炭开发影响地下水资源环境研究一例:平顶山市石龙区贫水化的原因分析[J].能源环境保护,2006,20(1):50-52.
- [7] 杨策,钟宁宁,陈党义.煤矿开采过程中地下水地球化学环境变迁机制探讨[J].矿业安全与环保,2006,33(2):30-35.
- [8] 王洪亮,李维钧,陈永杰.神木大柳塔地区煤矿对地下水的的影响[J].陕西地质,2002,20(2):89-96.
- [9] 冯秀军.淄博市淄川区矿坑水对水资源的影响与应用研究[J].地下水,2006,28(2):14-15.
- [10] 岳梅,赵峰华,任德贻.煤矿酸性水水化学特征及其环境地球化学信息研究[J].煤田地质与勘探,2004,32(3):46-48.
- [11] 钟佐,汤鸣皋,张建立.淄博煤矿矿坑排水对地表水体的污染及对地下水水质影响的研究[J].地学前缘,1999(增刊):238-244.
- [12] 党志.煤矸石-水相互作用的溶解动力学及其环境地球化学效应研究[J].矿物岩石地球化学通报,1997,16(4):259-261.
- [13] 郑西来,邱汉学,陈友媛.地下水系统环境地球化学反应模型研究[J].地学前缘,2001,8(3):192.
- [14] 张锦瑞,陈娟浓,岳志新,等.采煤塌陷引起的地质环境问题及其治理[J].中国水土保持,2007(4):37-39.
- [15] 许光泉,沈慧珍.疏降地下水引起地面塌陷浅析:以淮南煤矿区为例[J].中国水土保持,2004,15(4):64-68.
- [16] 段中会.榆神府矿区环境地质问题及开发效应[J].陕西煤炭,2001(2):1-3.
- [17] 李文平,段中会,华解明,等.陕北榆神府矿区地质环境现状及采煤效应影响预测[J].工程地质学报,2000,8(3):324-333.
- [18] 张凤娥,刘文生.煤矿开采对地下水流场影响的数值模拟:以神府矿区大柳塔井田为例[J].安全与环境学报,2002,2(4):30-33.
- [19] 任增平,余国光,闫俊萍.煤矿水源地开采对延河泉水流量影响的预报[J].中国煤田地质,2000,12(1):44-46.

(收稿日期 2008-07-08 编辑 高渭文)