

干旱半干旱区煤炭资源开采对水资源及 植被生态影响综述

王强民¹, 赵明²

(1. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710000;

2. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710000)

摘要: 煤炭资源开采对水资源的赋存和循环产生相当程度的破坏, 进而影响到对水资源依赖性较强的表生植被生态, 尤其在干旱半干旱地区。着重阐述了煤炭资源开采对地表水、地下水、土壤水以及植被生态的影响, 介绍了旱区地下水和植被生态的关系, 重点分析了旱区植被生态耗水的最新研究进展, 并对后期相关研究的开展提出了可行性建议。本研究有助于认识旱区煤炭资源开采对水资源的影响及其引发的生态效应, 为今后采煤工艺改善、地下水资源开发和生态环境保护提供科学依据。

关键词: 水资源; 植被; 煤炭开采; 生态影响; 干旱半干旱区

中图分类号: TV213.4; TD82 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2017)03-0077-05

Effects of coal resources' exploitation on the water resource and vegetation in arid and semi-arid region

WANG Qiangmin¹, ZHAO Ming²

(1. Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an 710000, China;

2. School of Environmental Science & Engineering, Chang'an University, Xi'an 710000, China)

Abstract: The circulation and occurrence of water resource suffers damage from the coal resources' exploitation, which influences the vegetation that has strong dependency on water resource, especially in arid and semi-arid region. In this paper the effect of coal resources' exploitation on the surface water, groundwater, soil water and vegetation is elaborated. The relationship between groundwater and vegetation is introduced. The advanced research of water consumption character of vegetation is also analyzed, and some feasible suggestions for later studies are put forward in this paper. The results are useful for understanding the impact of coal resources' exploitation on water resource and its ecological effects, and then providing scientific basis for coal mining craft improvement, groundwater resource exploitation and ecological environmental protection.

Key words: water resources; vegetation; coal resources' exploration; ecological impact; arid and semi-arid region

在我国的干旱半干旱地区, 气候干燥, 降水量稀少, 蒸发量强烈, 水资源缺乏且时空分布不均, 生态环境极其脆弱且对水资源的依赖较强^[1]。同时, 该地区蕴藏着丰富的煤炭资源, 表现出与水资源呈逆向分布的特点^[2]。伴随着经济社会的快速发展, 近年来煤炭资源的开发在该区域不断加速, 引发该区域水资源环境出现一定程度的破坏, 直接导致植被

发生退化、更替、甚至绝迹等现象^[3]。

煤炭资源开采改变了含水层及包气带岩性的结构, 导致地面裂缝、沉降及塌陷, 从而一定程度上改变了地下水的补给、排泄及径流条件及包气带水分运移规律, 从而引起地下潜水位及包气带含水率的时空变化, 继而影响到依赖地下水及包气带水生存的植被生态; 同时, 煤炭资源开采可以导致湖泊面积

萎缩、泉流量衰减、河流断流等,从而影响河(湖)岸带的地表植被生态。因此,煤炭资源开采、水资源以及植被生态关系十分密切,同时又存在矛盾。

本文以此为切入点,借鉴前人研究成果,对煤炭资源开采与地表水体、地下水、土壤水、以及植被生态的关系作以评述,以期对旱区煤炭开采与生态环境保护提供科学依据。

1 煤炭资源开采对水资源及植被生态影响

1.1 煤炭资源开采对地表水体的影响

煤炭资源开采改变了煤系地层的原始储水构造^[4],并在地层中形成一系列的裂隙,使得地表水体和地下水的水力联系变得更加紧密;同时煤矿长期的疏放水导致地下水位持续下降,使得地下水对地表水体的补给作用愈加削弱,导致地表水体面积出现不同程度的减小。张思锋等^[5]建立了大柳塔矿区煤炭开采与乌兰木伦河河流径流量的相关关系,得出煤炭开采是影响乌兰木伦河径流量变化的最为关键要素,达到77.3%(其中疏排水占24.8%,煤炭开采导致的地表塌陷占52.5%);马雄德等^[6]通过遥感资料得出红碱淖在2001-2011年之间面积减少了47.37 km²,并结合层次分析法得出煤炭资源开采对其的影响占主导地位;蒋晓辉等^[7]以黄河中游窟野河为研究对象,通过统计学方法以及所建立的水均衡模型,发现1997-2006年间煤炭资源开采量为 $5\,500 \times 10^4$ t/a,其地表水资源减少量为 2.9×10^8 m³/a;在此基础上,吕新等^[8]以神府东胜矿区窟野河流域为例,探讨了煤炭开采对水资源的影响机制,得出了开采1 t煤使得河流基流量减少2.038 m³(1997-2005)的结论。Shu Li等^[9]提出一种新的统计学方法用来评估煤炭开采对窟野河基流量减少的影响程度,结果显示自1997年以来,煤炭资源开采是河流基流量减少的主要诱因,在1997至2009年间窟野河基流量以21.15 mm/a(占到正常基流量的56%)的速率减少。

1.2 煤炭资源开采对地下水的影响

在干旱半干旱地区,地下水是水资源总量的重要组成部分,对经济发展和生态环境有着重要的影响^[10]。煤炭资源开采导致采空区上覆岩层直至地面,出现冒落带、弯曲带和裂隙带^[11],从而改变了上覆含水层的结构,影响了地下水的补给、排泄以及径流条件。另外,使得地下水的运动规律及其原始的自然流场发生改变;地下水的运动由采煤前的横向

运动向垂向运动过度,表现为地下水采煤前的基流和潜流排泄(横向运动)变为矿坑排水(垂向运动)^[12],从而导致地下水位下降。张凤娥等^[13]以神府矿区大柳塔井田为例,基于数值模拟的方法建立了二维平面地下水流模型,分析了煤矿开采对地下水流场的影响,得出随着采煤改变了地下水的循环途径;范立民等^[14]研究了神府矿区浅埋煤层开采对地下水流场变化规律的影响,认为煤炭开采导致地下水流场发生改变,大量的地下水转化成矿井水使得地下水位持续下降从而引发萨拉乌苏组含水层枯竭,在此基础上分析了榆神府矿区高强度采煤对地下水的影响,得出了高强度采煤是矿区地下水位下降的主要驱动因素的结论,认为该矿区71.5%的地下水位明显下降区(下降幅度大于8 m)是由高强度开采导致^[15];顾大钊等^[16]研究了神东矿区超大工作面开采对地下水的影响,认为超大工作面开采引发地下水流场重新分布,且含水层厚度越小基岩越薄开采对含水层的影响越大。

1.3 煤炭资源开采对土壤水的影响

包气带水同样是旱区植被的重要水源,绝大多数植被的生长和土壤水关系密切,尤其对浅根系植被。一方面煤炭资源开采沉陷引起的地面裂缝、塌陷将直接改变包气带岩性结构;另一方面,煤炭资源的开采导致地下水位下降间接影响土壤含水率的分布特征,尤其对地下水浅埋区的土壤水影响很大。宋亚新等^[17]研究发现在塌陷非稳定阶段,塌陷裂缝部位的土壤水损失接近50%,接近调萎系数。但是在塌陷稳定阶段,塌陷区土壤含水率明显高于非塌陷区;赵红梅等^[18]对大柳塔采煤塌陷区的土壤含水量及在剖面上的空间变异性做了分析,得出塌陷区的土壤含水率明显低于非塌陷区,且塌陷区的含水率在垂向上的变异性更大;邹慧等^[19]研究了采煤沉陷对土壤水分布的影响,发现裂缝发育期和采后3个月的沉降期,土壤水分受开采的影响最大,出现减小现象,另外采后1年的夏天出现含水率低值,这是因为地裂缝既减小了土壤的持水能力又增大了土壤水的蒸发面积;张延旭等^[20]研究了半干旱风沙区采煤后裂缝发育对土壤水分的影响,发现含水率的分布服从以下规律:裂缝区 < 沉陷无裂缝区 < 未开采区。杨泽元等^[21]以榆树湾煤矿20108工作面开切眼附近裂缝为野外原位监测点,采用野外原位试验与数值模拟相结合的方法,建立了采煤塌陷裂缝带的包气带水分运移模型,并获取了相关水(热)力学参数,利用此模型可定量评价采煤裂缝对包气带水

分运移的影响程。

1.4 煤炭资源开采对植被生态的影响

在我国干旱半干旱地区,地表水资源匮乏,地下水是植物生存的重要水源,地下水(土壤水)与表生植被关系十分密切^[22]。Wang W 等^[23]人调查了毛乌素沙地植被的种群和盖度,并结合地下水位、土壤

含水率、地下水矿化度及土壤含盐量等指标,研究了该地区植被生态与地下水的关系,确立了该区域优势植被的适生地下水位、土壤含水率、地下水矿化度和土壤含盐量(见表1)。金晓媚等^[24]借助遥感方法,并根据地下水观测资料,在区域尺度上研究了银川平原植被生长与地下水位及矿化度的关系。

表1 鄂尔多斯盆地地下水和植被长势关系表^[23]

植物种属		地下水埋深与植被长势			
沙柳 沙蒿 小叶杨	<1m, 生长旺盛	1~3m,	3~5m,生长良好	8m,生长较差	>8m,生长差
		生长旺盛	3~7m,生长良好	7~12m,生长较差	>12m,生长差
		生长良好	3~5m,生长正常 无枯梢现象	5~8m,生长较差,部分枯梢、秃头或形成小老头树	>8m,生长差,易形成独树,绝大部分枯死,郁闭度低
旱柳	<3m, 生长旺盛	3~5m,	5~8m,生长正常, 无枯梢现象	8~12m,生长较差,部分枯梢、秃头或形成小老头树	>12m,生长差,易形成独树,绝大部分枯死,郁闭度低
		生长较好			

而煤炭资源开采主要通过直接和间接两种方式影响着地表植被生态。一方面,采煤塌陷直接引发植被根系发生物理损伤,造成部分植被死亡^[25];另一方面,煤炭资源开发对地下水及土壤水的影响间接地影响到植被对水分的吸收,导致植被演化及生长状况发生改变^[4,26]。于瑞雪等^[27]研究了补连塔矿区的野生沙蒿认为煤炭开采会影响沙蒿根系的结构,开采初期沙蒿的根系各项指标都会出现一定程度的减小,而前人研究发现根系分布特征将决定着植物在水分资源竞争中的地位^[28],因此煤炭开采导致的植被根系物理损伤将影响植被的根系吸水量,进而影响到植被的生长状况。王文龙等^[29]研究了神府矿区的环境灾害问题,认为煤炭资源开采引起地面裂缝、塌陷以及地下水位下降,从而使该区沙蒿等植物出现不同程度的死亡现象;全占军等^[30]以锡林浩特胜利煤田为典型研究区,研究了矿区生态脆

弱性,认为采矿活动导致矿区周边地下水位急剧下降,由此导致植物群落向旱生及超旱生群落演替,生物多样性减少,植被盖度降低。

同时,前人研究发现,煤炭资源开发导致河(湖)水面积减小^[6],而河(湖)水面积和周边地下水位关系密切,刘虎俊等^[31]研究发现石羊河中下游河岸带植被分布和地下水位有较好的一致性。笔者在鄂尔多斯盆地风沙滩地区的宝寨淖尔湖盆边缘为研究区开展野外调查和原位试验发现,地下水埋深控制着地表植被分布和包气带含水率分布:表现为以湖盆为中心,地下水位埋深由浅到深,植被类型由草本向沙生植被过度的规律,包气带含水率由大到小的规律(见表2);同时湖水面积和湖岸带植被类型及盖度表现出明显的正相关关系。因此,煤炭开采导致的地表水体面积萎缩及其引发的生态环境效应也是值得关注的科学问题。

表2 湖岸带生态水文地质剖面调查统计汇总表

地貌类型	距离河岸 距离/m	植被类型	植被 盖度/%	地下水位 埋深/m	含水率/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	水化学类型	TDS/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
湖盆滩地	0~500	苔草、寸草、芦苇	60~70	0~1	0.1~0.3	Na(Ca)-HCO ₃ (Cl)	1.0
过度带	500~1000	碱草、芨芨草	50~60	1~2	0.02~0.15	HCO ₃ -Ca	0.6
沙丘	>1200	沙蒿、沙柳	30~50	>2	0.02~0.1	HCO ₃ -Ca·Mg	0.5

2 存在问题与展望

在我国干旱半干旱的煤炭开采区,水资源及其生态环境受采矿活动和气候变化的双重影响。一方

面降雨减少,使得水资源补给减少,直接影响到区域地表植被;另一方面,矿区煤炭资源开采过程对水资源的扰动加深了局部的生态恶化。因此弄清采矿活动对水资源及生态的影响权重及范围是一个极其关

键的科学问题。关于采矿活动对水资源的影响及其生态效应的研究方法主要集中在遥感^[7]、野外调查^[27]和短时间尺度的原位观测^[20],缺少对典型矿区长时间尺度的原位试验及其机理方面的研究。在干旱半干旱地区,尤其是高潜水位矿区,采矿活动和水资源及植被生态关系密切,因此要在典型矿区构建基于气象要素(降水量、蒸发量及凝结水量等)-植被生态要素(物种、盖度、类型、根系分布及叶面积指数等)-土壤水环境(土壤含水率、土壤含盐量等)-地下水环境(地下水位、水化学类型及矿化度等)以及采矿活动(煤层埋深、倾角、采矿规模、强度及覆岩破坏高度等)相结合的自动化原位动态观测系统,并在采矿活动影响边界外设置对比试验,从而观测地下水、土壤水、植被生态要素的动态变化规律并评价其影响程度。在此基础上,结合遥感技术评价矿区水资源状况及其生态效应。

同时,煤炭开采对植被生态耗水的影响研究较少。目前植被生态耗水的研究主要集中在以下方面:

(1)由于植被在吸水过程中氢氧同位素不发生分馏,以此为基础不同学者开展了关于植被吸水来源^[32-34]的研究,从而确定了植被吸水的来源问题;

(2)利用基于热平衡原理的茎流计测量单株植被的蒸腾量也得到广泛的运用,目前研究多集中在旱区植被^[35-36]。利用茎流计可以测量单株植被的蒸腾量及其变化规律,并可分析出蒸腾量与外界要素的关系;

(3)构建基于地下水位、土壤含水率及植被根密度函数等参数的根系吸水仿真模型^[37],研究植被对煤矿开采区地下水位变化的响应。利用以上方法,可以更好地研究矿区植被生态耗水及水分来源问题,从而为分析采矿活动对植被耗水的影响奠定基础。

煤炭开采一定程度上影响采矿局部地下水文过程及生态系统,因此在研究旱区煤炭资源开采对水资源及植被生态影响时,应耦合地表水、地下水、土壤水、地表植被等多种要素,综合分析相互作用机制。同时利用野外调查、室内试验、原位试验及数值仿真等方法,可更好地研究旱区采掘扰动对水资源的影响程度及其带来的生态效应。并解决以下问题:

(1)厘定采矿活动对水资源及植被生态的影响边界和程度;

(2)弄清矿区降水、凝结水、生态水、土壤水、地下水以及矿井涌水的相互转化关系及其对植被生态的影响权重;

(3)分析矿区植被的适生水位、耗水量及其水分来源问题。

3 结 论

本文总结了干旱半干旱地区煤炭资源开采对地表水、地下水、土壤水以及植被生态的影响,介绍了干旱半干旱地区地下水和植被生态的关系,重点分析了旱区植被生态耗水的最新研究进展,为旱区煤炭资源开采对水资源及植被生态影响的进一步研究提供可行性建议。煤炭资源开采对水及植被生态的影响十分复杂,涉及采矿学、水文地质学、生态学等多个学科。后期应加强研究煤炭资源开采引发的地下潜水位下降(土壤水分减小)对植被生态的具体影响权重及范围,从而为矿区煤炭资源合理高效开采及生态环境保护提供依据。

参考文献:

- [1] 杨泽元. 地下水引起的表生生态效应及其评价研究——以秃尾河流域为例[D]. 西安:长安大学, 2004.
- [2] 陈武, 唐辛, 张希诚. 我国煤炭资源及其开发利用研究[J]. 煤炭经济研究, 2003(7):6-11.
- [3] 董少刚, 贾志斌, 刘白薇, 等. 干旱区井工开采煤矿山生态水文地质演化研究——以鄂尔多斯某煤矿为例[J]. 工程勘察, 2013, 41(2):45-48.
- [4] 王力, 卫三平, 王全九. 榆神府煤田开采对地下水和植被的影响[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12):1408-1414.
- [5] 张思锋, 马策, 张立. 榆林大柳塔矿区乌兰木伦河径流量衰减的影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2011, 31(4):889-896.
- [6] 马雄德, 范立民, 张晓团. 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.
- [7] 蒋晓辉, 谷晓伟, 何宏谋. 窟野河流域煤炭开采对水循环的影响研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2):300-307.
- [8] 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.
- [9] Shu Li, Chen Yuanfang, Li Zhijia, et al. Applying a statistical method to streamflow reduction caused by underground mining for coal in the Kuye River basin[J]. Science China, 2016, 59(12):1-10.
- [10] Yin L, Hou G, Su X S, et al. Isotopes (δD and $\delta^{18} O$) in precipitation, groundwater and surface water in the Ordos Plateau, China: implications with respect to groundwater recharge and circulation[J]. Hydrogeology Journal, 2011, 19(2):429-443.
- [11] 纪万斌. 塌陷灾害与防治丛书[M]. 北京:地震出版

- 社, 1998.
- [12] 周进生, 王剑辉, 党学亚. 矿产开发对地下水失衡影响及其控制对策——以陕北煤炭资源开发为例[J]. 中国矿业, 2009, 18(12): 52 - 55.
- [13] 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.
- [14] 范立民, 寇贵德, 蒋泽泉, 等. 浅埋煤层开采过程中地下水流场变化规律[J]. 陕西煤炭, 2003(1): 26 - 28.
- [15] 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.
- [16] 顾大钊, 张建民, 等. 神东矿区地下水变化观测与分析研究[J]. 煤田地质与勘探, 2013(4): 35 - 39.
- [17] 宋亚新. 神府 - 东胜采煤塌陷区包气带水分运移及生态环境效应研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2007.
- [18] 赵红梅, 张发旺, 宋亚新, 等. 大柳塔采煤塌陷区土壤含水量的空间变异特征分析[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(6): 753 - 760.
- [19] 邹慧, 毕银丽, 朱彬韦, 等. 采煤沉陷对沙地土壤水分分布的影响[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(3): 496 - 501.
- [20] 张延旭, 毕银丽, 陈书琳, 等. 半干旱风沙区采煤后裂缝发育对土壤水分的影响[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(3): 11 - 14.
- [21] 杨泽元, 范立民, 许登科, 等. 陕北风沙滩地区采煤塌陷裂缝对包气带水分运移的影响: 模型建立[J]. 煤炭学报, 2017, 42(1): 155 - 161.
- [22] Yin Lihe, Hou Guangcai, Dou Yan, et al. Hydrogeochemical and isotopic study of groundwater in the Habor Lake Basin of the Ordos Plateau, NW China[J]. Environmental Earth Sciences. 2011, 64(6): 1575 - 1584.
- [23] Wang W, Yang Z, Kong J, et al. Ecological impacts induced by groundwater and their thresholds in the arid areas in Northwest China[J]. Environmental Engineering & Management Journal, 2013, 12(7): 1497 - 1507.
- [24] 金晓媚, 万力, 张幼宽, 等. 银川平原植被生长与地下水关系研究[J]. 地学前缘, 2007, 14(3): 197 - 203.
- [25] 丁玉龙, 雷少刚, 卞正富, 等. 开采沉陷区四合木根系抗变形能力分析[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(6): 970 - 974.
- [26] 雷少刚, 卞正富. 西部干旱区煤炭开采环境影响研究[J]. 生态学报, 2014, 34(11): 2837 - 2843.
- [27] 于瑞雪, 李少朋, 毕银丽, 等. 煤炭开采对沙蒿根系生长的影响及其自修复能力[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(2): 110 - 113.
- [28] 徐贵青, 李彦. 共生条件下三种荒漠灌木的根系分布特征及其对降水的响应[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 130 - 137.
- [29] 王文龙, 李占斌, 张平仓. 神府东胜煤田开发中诱发的环境灾害问题研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 34 - 38.
- [30] 全占军, 李远, 李俊生, 等. 采煤矿区的生态脆弱性——以内蒙古锡林郭勒草原胜利煤田为例[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1729 - 1738.
- [31] 刘虎俊, 刘世增, 李毅, 等. 石羊河中下游河岸带植被对地下水位变化的响应[J]. 干旱区研究, 2012, 29(2): 335 - 341.
- [32] Mccole A A, Stern L A. Seasonal water use patterns of *Juniperus ashei* on the Edwards Plateau, Texas, based on stable isotopes in water[J]. Journal of Hydrology, 2007, 342(3 - 4): 238 - 248.
- [33] Wang Peng, Song Xianfang, Han Dongmei, et al. A study of root water uptake of crops indicated by hydrogen and oxygen stable isotopes: A case in Shanxi Province, China[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(3): 475 - 482.
- [34] Wang Li, Mu Yan, Zhang Qingfeng, et al. Groundwater use by plants in a semi-arid coal-mining area at the Mu Us Desert frontier[J]. Environmental Earth Science, 2013, 69(3): 1015 - 1024.
- [35] Xia Guimin, Kang Shaozhong, Li Fusheng, et al. Diurnal and seasonal variations of sap flow of *Caragana korshinskii* in the arid desert region of north - west China[J]. Hydrological Processes, 2008, 22(8): 1197 - 1205.
- [36] Huang Lei, Zhang Zhishan, Li Xinrong, et al. Sap flow of *Artemisia ordosica* and the influence of environmental factors in a revegetated desert area: Tengger Desert, China[J]. Hydrological Processes, 2010, 24(10): 1248 - 1253.
- [37] 马雄德, 范立民, 严戈, 等. 植被对矿区地下水位变化响应研究[J]. 煤炭学报, 2017, 42(1): 44 - 49.