

神府—东胜矿区采煤对水资源 影响的初步评价

邢大韦

张 卫 王百群

(西北水利科学研究所·陕西杨陵·712100) (中国科学院
水 利 部 西北水土保持研究所)

摘 要 神府—东胜矿区将建成世界级的特大型煤炭基地。煤田开采、矿坑排水,致使浅层的地下水被疏干、出现了地下水位下降,包气带厚度加大、下垫层改变、河川径流减少的现象。据调查分析,地下水平均每年下降0.15—0.40m,河川径流系数开采前(1976—1980年)平均值为0.243,开采后(1986—1989年)下降为0.146。由于水资源的减少,造成农业用水及农村人畜用水困难、应引起充分的重视,纳入煤炭综合规划供水部分。

本区属半旱区位于毛乌素沙漠风沙草滩区,水资源对环境的影响十分显著。今后必须对煤炭开采、矿坑排水加强管理、注意节约用水、提高水的利用率。

关键词 水资源 采煤 神府—东胜矿区 水循环

Preliminary Assessment for the Effects of Coal Mining on the Water Resources in Shenfu—Dongsheng Coal Field

Xing Dawei

*(Northwestern Hydrotechnics Research Institute, Ministry of Water
Resources, Yangling, Shaanxi 712100)*

Zhang Wei Wang Baigun

*(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia
Sinica and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)*

Abstract Shenfu—Dongsheng coal base will be constructed as the extremely largest energy base in China and in the world. However, coal mining on a vast scale causes the exhaustion of shallow underground water, the falling of underground water level, the increase in the thickness of the aeration belt, the changes of surface features and the decreases of river flow. According to recent investigations and analyses in this region, on the average, the underground water levels fall about 0.15—0.40m a year. The average coefficient of river flow was 0.243 before the coal

development (1976—1980), whereas it was 0.146 after the coal developmntnr (1986—1989). Because the water resources decreased, the shortage of water used by farming and livings has become a big problem, which should be paid more attention to. Therefore, the wate supply should be considered as the important part of the comprehensive plan of coal development. This region lies in Semi-arid and arid zone, it is next to the Maowusa Desert. The effects of water resources on environment are extremely significant. More attention should be paid to management of coal mining and drainage from mine, conserving wate and raising wate utitization rate.

Key words water resource conserving Shenfu—Dongsheng coal field water circle

神府—东胜煤田位于陕西与内蒙交界处,与东部经济发达地区相毗邻,煤质好,储量大,埋藏浅,开采方便,是我国着手建设的世界级特大型煤炭基地。在煤炭资源开发利用中,改变了当地的水循环系统,引起地下水位下降,井泉干涸、地面径流发生变化,矿坑排水使地表水体受到污染,带来了水环境问题。本文是神府—东胜煤田大柳塔矿区近一个月实地考察的结果,仅对采煤对水资源的数量影响进行初步分析研究。

1 气象水文概况

该地区属中温带半干旱大陆性气候。年平均气温 8.5°C , 年降雨量为 340mm, 多集中于 7、8、9 三个月、占全年降水量的 70%, 年平蒸发量 2 400mm。乌兰木伦河自北部石圪台流入本区, 自北向南、在孙家岔附近与牯牛川汇合, 以下称为窟野河。乌兰木伦河发源于内蒙东胜市拌树沟, 流域面积为 $3\,840\text{km}^2$ 、流长 138km、平均河道比降为 2.96‰, 区内流长为 55.0km、流域面积 750km^2 , 河谷较宽阔, 大柳塔附近宽 800m 左右。两岸沟谷分布不均、左岸较右岸发育、较大的沟道左岸有 小木河沟(石圪台沟)、柳根沟、双沟、哈啦沟、牯牛川等, 右岸有活鸡兔沟。河谷漫滩及一级阶地较发育、以侏罗纪为主的煤系地层在河岸断续分布。据王道恒水位站资料, 多年平均径流 2.4亿 m^3 , 年径流深 63mm, 年径流模数 $6.3\text{万 m}^3/\text{km}^2$, 径流年际变化大 $C_v=0.47$ 、丰枯比超过 5.0。径流分布不均匀, 汛期 7、8、9 三个月占全年径流的 70% 左右, 春季 3、4 月由于气温回升, 冰雪消融, 形成桃汛、其径流量占全年 13%—15%。乌兰木伦河补给来源主要是雨水占 70% 左右, 地下水补给占 30%。由於地处陕北暴雨区, 常形成洪水、特点是洪峰呈现尖瘦型特征, 洪峰历时短, 河水暴涨暴落。1989 年、1991 年洪水都曾淹没大柳塔。

2 神府—东胜煤田地质概况

神府—东胜煤田是侏罗纪煤田的一部分。煤炭质量好, 具有低磷、低硫、低瓦斯、低灰分、燃烧值高(达 $27\,214.2\text{—}29\,307.6\text{J/kg}$)、埋藏浅(一般小于 70—80m)的优质煤。从 80 年代开始动工兴建, 现已成为初具规模的大型煤炭工业基地, 将发展成为采煤、电力、煤炭化工综合性的能源基地。

从区域地质构造分析, 煤田位于鄂尔多斯台向斜内次一级构造东胜台凸与陕北单斜翘曲交界处。鄂尔多斯台向斜是一个稳定的地质单元、长期以来以升降运动为主、构造简单、断层和褶皱不发育。煤层主要是侏罗系一套黄绿色砂岩、泥岩与煤层的互层, 从上到下可分为 5 个含煤组, 有 13 个煤层, 其中可采煤层 7—8 个, 总厚度超过 30m。煤系地层近似水平, 微向南倾(倾角为 1°)分布稳定、构造不发育, 是大规模机械化采掘的理想煤田。

3 矿区水文地质条件

3.1 煤系地层含水岩组特征

煤系地层含水岩组及有关的含水层分述如下:

3.1.1 第四系松散岩类孔隙、裂隙潜水 主要有二种类型:

①全新统冲积层潜水。分布于乌兰木伦河堆积漫滩阶地,由于阶地为不连续的基座阶地,含水层分布连续性较差。含水层岩性为粉砂、细砂及砾石层富含泥质。据马家滩露天矿揭露、含水层最厚8—10m,底部为侏罗纪煤层,可视相对隔水层。其补给来源主要是两侧地下水径流补给。地下潜水埋深浅,水质较好,易于开采,涌水量 $50\sim 80\text{m}^3/\text{d}$ 。

②沙漠滩地潜水。主要分布于乌兰木伦河与特牛川之间的河间地块及乌兰木伦河左岸。由滩地冲积层潜水、沙盖黄土层潜水和基岩潜水组成,是透水性能各不相同的统一含水体。由于地表大面积覆盖松散沙层,降水渗入条件好,成为主要的补给来源;沙漠区大气凝结水也是地下水主要补给源。其富水性受微地貌控制、在低洼处富水性较好。其排泄形式主要有蒸发、径流排汇补给河水以及泉水。沿乌兰木伦河大柳塔以上右岸潜水与基岩交界面有下降泉的分布,水量不大、可供生活用水。乌兰木伦河的支沟源头、出泉水较多、常在砂丘与黄土或基岩的交界面以下降泉形式出露,如双沟、小木河沟,泉水流量较大,可满足小面积的农田灌溉,现已辟为煤田的供水水源地。

3.1.2 侏罗系砂岩含水岩组 侏罗系砂岩,风化比较强烈,透水性较好,水量较丰富。由于第四系松散沉积物覆盖层较薄,补给条件较好。乌兰木伦河两侧侏罗系含水岩层,是富水性较好的基岩含水层,涌水量可达 $50\sim 100\text{m}^2/\text{d}$ 以上。

3.2 煤层充水条件

开采煤层充水条件取决于水源及充水途径两方面。

3.2.1 充水水源 充水水源包括大气降水、地下水和地表水。

大气降水。是露天矿区的主要补给来源,如朱家塔和马家塔等露天矿。从长远分析随着煤层的开发、坑道掘进加深加长及采掘范围的扩大,地面塌陷、地裂缝的发展、大气降水将沿着这些裂缝直接渗入矿坑,成为重要的补给源。

地下水。第四纪沙滩区潜水与基岩潜水之间有较密切的水力联系,形成了统一的含水体。第四纪潜水由裂隙渗入侏罗纪含煤地层。

根据煤炭资源及开采情况,在近期20—30年内,主要开采侏罗纪顶部的煤层。地表水,特别是河水位置较低(如活鸡兔矿开采层高于乌兰木伦河床)影响较小。乌兰木伦河与特牛川河间地块关键的水库、海子可能成为充水水源。

3.2.2 充水通道 煤矿充水量大小多少与开采煤层所处的构造,地貌以及水文地质条件有关。该地区属较稳定的构造单位,断层、褶皱不发育,主要是沿着地层节理、裂隙(包括风化带)渗入,取决于孔隙、裂隙的发育程度。

根据含煤地层的岩性、水文地质条件和含水特征以及开采层位等特征分析,该地区为孔隙裂隙矿床水,主要分布于煤田边缘近河谷地带,充水条件取决于上伏松散层富水程度;补给来源为大气降水和浅层地下水。

4 神府东胜煤田开采现状及矿坑排水分析

4.1 煤田开采现状

80年代初神府煤田开始建设,现在已建成国家、地方、集体、个人并存、大中小型相结合的、

由采煤、洗煤、电力及运输相贯通的煤炭工业体系,今后煤炭化工将会进一步发展。按隶属关系和规模可分为三种类型:

4.1.1 精煤公司所属矿井 精煤神府公司是国家重要的煤炭基地,目前有石圪台、大柳塔、活鸡兔三个煤矿。这三个特大型矿井引进世界先进采煤装备,建设高起点、高技术、高效率、高质量、高效益的现代化“五高”矿井。目前虽处于建设阶段,但由于采用高产高效综合设备,年生产规模已达到 400 万 t,“八五”期末将达到 1500 万 t 以上。

4.1.2 地方煤矿 地方煤矿系指地方各级政府,军队办的煤矿。这些煤矿设备达到一定的机械化程度,具有较高的生产能力,多数分布于神府煤田边缘地带,公路、铁路附近。每座矿井开采量几十万 t。

4.1.3 乡镇煤矿 是乡镇、村及个体办的小型煤矿、仅大柳塔管辖的就有 37 座,年开采量为 121 万 t。这种矿,开采层位浅、分布广、数量多、机械化程度低。主要分布于乌兰木伦河左岸活鸡兔沟,大都在公路铁路附近。

4.2 矿坑排水量调查分析

煤炭管理及环保部门未进行矿坑排水统计。由于条件所限,仅对精煤公司及大柳塔镇和中鸡乡管辖的煤矿进行了调查,按水泵型号及工作时数估计排水量。

1. 精煤公司三大矿处于建井阶段,大柳塔矿现实际开采量达 340 万 t,年排水量 53 万 t,吨煤排水系数为 0.16m³(表 1)。

表 1 神府煤田矿坑排水调查表

名 称	井巷类型	设计年开采量 (万 t)	实际年开采量 (万 t)	年排水量 (万 t)	吨煤排水系数 (m ³ /t)	备 注
精煤公司	石圪台矿	300				
	大柳塔矿	600	340	53	0.16	
	活鸡兔矿	500				
地方国营	铜川矿		30			建井阶段
	哈拉沟国营矿		15			
	瓷窑湾矿		30			建井阶段
	前石畔矿		30			建井阶段
大柳塔镇	石圪台镇矿	9	9	7.2	0.80	
	哈拉沟矿	9	9	7.5	0.83	
	糖浆渠矿	6	6			
	刘石畔矿	6	6			
	母河沟矿	6	10	9.9	0.99	
	石柳塔矿	12	12			
	前柳塔矿	5	5			建井阶段
	后柳塔村矿	1	6			
	其 他	31	58	127.4	2.20	共 29 座
中鸡乡	白泥圪堵矿		7	2.5	0.35	
	高家畔矿		10	69.1	6.91	
	榆林煤建矿		8	3.6	0.45	
	其 他*	平硐、斜井	10	63.7	6.37	共 5 座

* 年设计实际开采量<5 万 t 的矿。

2. 乡镇煤矿。乡镇矿的排水量相差很大、与矿井所在的地理位置、开采形式及开采层深度有密切的关系。一般浅层煤、平硐开采排水量较小,而近河岸、开采煤层较深、斜井开采时排水量较大。中鸡乡所属矿多在活鸡兔沟岸边,矿坑排水量较大。8 座矿年采煤量共计 35 万 t、年排水量

138.9 万 m^3 , 平均排水系数为 $3.97\text{m}^3/\text{t}$, 最高为高家畔矿达 $6.91\text{m}^3/\text{t}$ 。最低为白泥圪堵矿为 $0.35\text{m}^3/\text{t}$ 。大柳塔镇所管辖矿、37 座矿年采煤量共计 121 万 t、年排水量 141.0 万 m^3 , 吨煤排水系数 $1.17\text{m}^3/\text{t}$, 年采煤小于 5 万 t 的煤矿平均为 $2.2\text{m}^3/\text{t}$, 而大于 5 万 t 较低为 $0.8—1.0\text{m}^3/\text{t}$ 。

地方国营所属矿未收集到排水情况。

与邻近山西省煤矿相比: 山西大型国营煤矿吨煤排水系数平均为 $0.65\text{m}^3/\text{t}$, 地方国营煤矿平均为 $1.19\text{m}^3/\text{t}$, 乡镇煤矿吨煤排水系数平均为 $1.68\text{m}^3/\text{t}$ 。神府东胜煤田因气候、水文条件以及开采条件、煤层分布等条件, 乡镇煤矿吨煤排水系数比山西要高出 $0.6—2.3\text{m}^3/\text{t}$, 国营大矿则低 $0.45\text{m}^3/\text{t}$ 。

根据矿坑排水调查初步估算: 神府—东胜煤田大柳塔区年排水量 450—500 万 m^3 。

5 煤矿坑排水对资源影响分析

开采煤层就需要排水, 排水使矿区水循环加剧, 大气降水、地表水、地下水之间的转化更强烈, 优质的地表水、地下水转变为矿坑水, 失去了利用价值。

5.1 矿坑排水对水循环的影响

神府—东胜煤田在今后相当一个时期以开采浅层煤为主。在开采初期, 矿坑涌水主要来自煤系地层内部, 有疏干的性质。精煤公司所属三大矿, 采用综采设备, 对顶板影响较小, 随着坑道掘进加深, 其影响会逐步加大; 地方经营的煤矿, 多采用炮采法, 对顶板及围岩震动破坏较大; 乡镇及个体经营的煤矿, 设备简陋, 常违章作业, 发生事故较多。三种煤矿都发生了地表裂缝及塌陷。总之煤炭开采使顶板及围岩应力重新分布, 造成一定程度的破坏, 产生裂隙、塌陷成为水运动的通道。

结合本地区采煤的特征, 采煤前后水循环可以用图 1 表示。在开采以前大气降水经地表, 土壤和地下三种调蓄, 最终以蒸散发, 河川径流, 地下潜流三种形式排泄。采煤后, 增加了矿坑排水。矿坑排水来源一是煤矿疏干, 二是矿坑涌水。矿坑涌水来源于降雨, 地下水及河川渗漏补给, 其结果使地下潜流减小, 地下水下降, 包气带厚度加大; 从而产生:

1. 地表及包气带变干, 水分减少; 地表蒸发及包气带蒸散发降低; 坡面流, 壤中流减少使地表径流减少;

2. 矿坑排水的作用比较复杂。一方面加大的地下浅层潜水的渗入补给, 一方面又疏干了坑道, 减少了地下潜流。

5.2 矿坑排水对地下水的影响

煤矿未开采前, 民井为农村生活用水服务, 主要分布乌兰木伦河及支流的高阶地与特牛川之间的河间地块, 其井深一般很浅为 2.0—10.0m, 埋深 0.5—8.0m, 水深仅 1.0—2.0m, 水量很小,

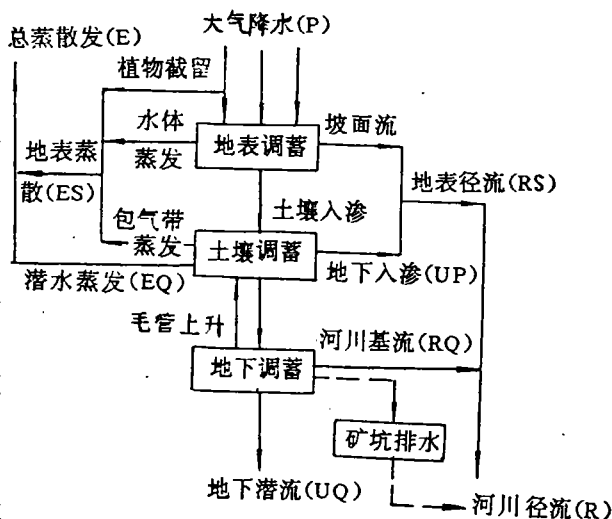


图 1 采煤前后水循环示意图

每日仅提取几立方米水。煤矿开采后由于矿坑排水,使地下水下降,井水趋向干涸。以石圪台为重点的调查区。表 2 中 MJ1—6 都在石圪台附近,其中 MJ1、MJ5、MJ6 三个井位于大柳塔—石圪台公路附近,是近河的漫滩阶地区,水位下降 0.6—1.30m,平均年下降 0.15—0.26m。MJ2—4 号井位于河间地区,水井较深,补给较差,下降 1.2—2.0m 平均每年下降 0.24—0.40m。从图 2 可知地下水径流浸润曲线虽有下降,但径流的形式尚未改变。

表 2 民井调查成果表

单位:m

编号	位 置	井深	原埋深	现埋深	下降值
MJ1	中石圪台	2.05	0.60	1.20	0.60
MJ2	昌汗特勒亥	8.34	6.0	7.93	1.93
MJ3	昌汗特勒亥	5.02		3.53	
MJ4	昌汗特勒亥	6.65	5.0	6.23	1.23
MJ5	石圪台	2.70	0.80	2.60	1.80
MJ6	石圪台	2.00	0.60	1.90	1.30
MJ7	中鸡李家畔	8.00	5.00	7.20	2.20
MJ8	丁家渠刘石畔村	3.60	1.40	3.40	2.00

在乌兰木伦河与特牛川之间共有 12 眼泉。泉可分为两种形式:一是在低洼处地下水出露成泉,这些泉多为人饮用水的来源;二是出现在沟头或河沟岸边。前者多是沙丘与第四纪黄土质沉积物之间为接触下降泉,是沟水之源如小木河沟;后者在第四纪黄土沉积物与基岩接触面之间以下降接触泉的形式出露,是河沟的补给来源,在乌兰木伦河及较大的沟道(如双沟)都可以看到这种泉。目前干涸的泉主要是第一种低洼处泉水(图 2)。

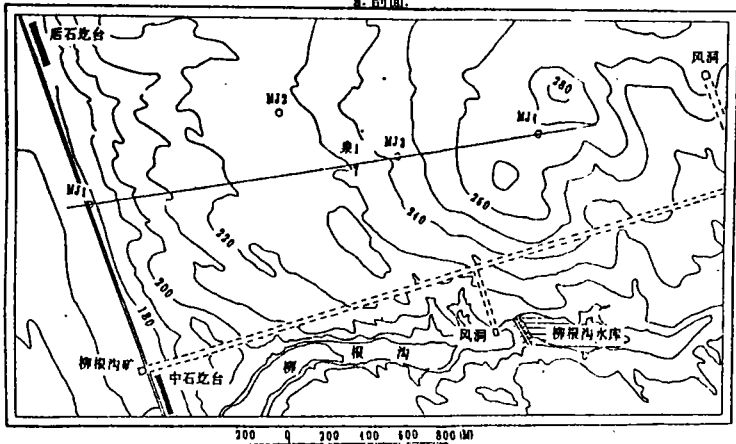
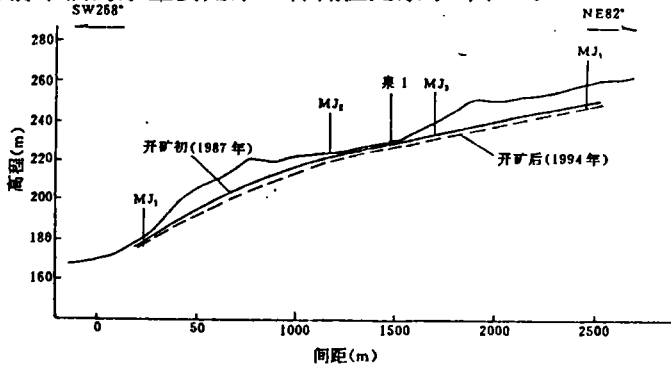


图 2 开矿前后泉水变化

矿坑排水改变了地下水补排运动条件,由水平运动转为垂直运动为主。地下水形成漏斗,使井泉干涸、影响生活用水;并由于地下水涌入矿井,失去了使用价值。

5.3 矿坑排水对地表水的影响

采煤使下垫面发生变化,地下水位下降、包气带增厚,加之矿区出现了裂隙,裂缝及塌陷,使壤中流、坡面流通过裂缝大量涌入矿井之中。现以窟野河王道恒塔站的径流资料,石圪台气象观测资源进行分析。从 80 年代初煤田开始开采,以开采前与开采后径流系数变化进行比较。开采前 1976—1980

年径流系数5年平均值为0.208,开采头5年1981—1985年下降至0.170,80年代最后4年1986—1989年下降至0.169。径流系数的最大值、最小值的变化也显示出这种规律。为进一步说明问题,选择250mm左右降雨量,分析不同年份的径流系数变化。由表4可知,1971年、1972年是连续干旱,两年降雨量相差不多,但径流系数却下降了0.075。开矿后1983年、1987年降雨量虽与1971、1972年相近,但径流深依然比连续干旱的1972年还要小。由于地表径流减小,使水库来水减少,对居民生活用水,农业用水带来一定的困难。

表3 采煤前后径流系数对比

时 间		开 矿 前			开 矿 后		
		1976—1980			1981—1985		1986—1989
降水量(mm)	平 均	385.8			311.9		266.0
	最 大	483.8			417.5		415.8
	最 小	224.8			245.8		168.6
径流量(mm)	平 均	78.4			52.6		42.1
	最 大	100.0			82.3		58.9
	最 小	55.7			37.2		30.0
径流系数	平 均	0.208			0.170		0.169
	最 大	0.248			0.252		0.238
	最 小	0.170			0.127		0.114

表4 采煤前后降雨量、径流系数变化

年	降雨量(mm)	径流深(mm)	径流系数
1971	262.7	60.7	0.231
1972	244.1	38.1	0.156
1983	245.8	37.2	0.151
1987	264.3	30.0	0.114

6 煤田开采对水资源影响趋势预测

随着煤炭基地的发展,开采量的增加,将会对水资源的影响进一步扩大。

6.1 煤田采煤发展规划

神府精煤公司本世纪末石圪台、大柳塔、活鸡兔三座矿井将陆续建成投产;孙家岔等三座新矿井将开始修建。预计本世纪末年量将达到2 000—2 300万t,2010年将达到3 000万t。地方国营煤矿大部分矿井将在本世纪内投产发挥效益,乡镇及个体煤矿也将在现有的基础上有所发展,这两种类型的矿井到本世纪末年生产能力将达到1 000万t,2010年生产能力也不可能有所扩大。这种大柳塔矿区本世纪末将达到年产煤3 000—3 300万t,2010年将达到4 000万t。采煤的主要区域以乌兰木伦河与转牛川之间的河间地为主。

6.2 矿坑排水量预测

根据调查结果及相邻地区的工作成果,精煤公司的吨煤排水系数 $0.2\text{m}^3/\text{t}$ 、地方国营矿及乡镇煤矿吨煤排水系数取 $1.1\text{m}^3/\text{t}$ 。到2000年大柳塔矿区年矿坑排水量为1 500—1 560万t(其中神府公司所属矿为400—460万t,地方国营及乡镇矿为1 100万t),比目前矿坑排水量增加1 000万t以上;到2010年全矿区排水量将达1 700万t左右,比2000年增加140—200万t。

6.3 采煤对水资源影响趋势预测

煤炭的开采过程,从排水的观点分析,就是矿井疏干排水的过程。按上述的矿坑排水预测量,到2000年和2010年排水量将为目的排水量的4—5倍,无疑对水资源的影响将会更加剧烈。

6.3.1 对地下水的影响 对地下水的影响主要表现在两个方面。一是大气降水由于采煤区

的扩大,地面裂缝,塌陷区的发展,将会沿裂隙通道进入矿井,对包气带及土壤水影响变小,降水的渗漏量会有所增加。另一是矿井不断排水疏干,地下水特别是矿井附近将会影响成一个相对稳定的地下水漏斗,其漏斗会随矿井延伸或开采规模的扩大向外延发展。其结果将导致井泉干涸,洼地出露的泉水大部分将会断流。这在重点的采煤区特别是乌兰木伦河与特牛川之间的河间地块更为突出。

6.3.2 对地表水的影响 该地区地表水补给有两种一是降雨补给,另一是地下径流。降雨由于矿井形成的裂缝入渗补给地下水使地表径流减少,矿坑排水降低了地下水位使地下径流量减小,导致对地表水补给减少。

目前神府精煤公司一、二期水源主要是开发小木河沟,柳根沟的径流。从长期趋势分析,这些水源地水量下降是必然的,必需及早做好准备。

此外,更应引起重视和警惕的是该地区属于半干旱半荒漠区,植被覆盖度小,如果地下水继续下降可能导致植被破坏,沙漠化加剧。

6.4 对策和建议

采煤对水资源的影响是不可避免的。但神府—东胜煤田的建设又是必须进行的。因而只能是加强管理,达到采煤与环境协调发展,煤炭资源的开发利用与生态环境的治理保护相结合。

6.4.1 加强法制,强化矿井管理 煤炭的开采应贯彻《矿产资源法》、《环境保护法》、《土地法》等有关法律。对排水量大、产量低的小煤矿,应进行改造或关闭,禁止在水库和海子附近采煤。

同时对矿井应依照《水法》缴纳水资源补偿费,以用于水资源的研究及水源地的建设。

6.4.2 改进采掘方法,减少渗漏 采掘过程中顶板破坏,产生裂缝,裂隙和塌陷、除与岩性有关外,还与采掘方法有直接的关系,建议尽可能采用综合采法避免爆破震动,有利用减少裂缝,保持岩土完整性,从而减少入渗。在裂缝强烈区或塌陷地带,要及时回填,必要时进行灌浆处理,以加强岩土的固结力,减少渗漏。

6.4.3 加强科学研究,查明矿坑水的补给来源 应开展地下水资源变化与采矿相关性研究。矿坑排水是造成水资源减少的重要原因。应对煤矿的水文地质条件进行深入研究,开展矿坑涌水量的观测工作,建立河流、地下水的观测站网,以查明开采后水资源变化规律以及大气降水、地下水、地表水转化规律,以指导矿区进一步开发和新矿井的建设。

此外矿坑排水还可以综合利用,作为绿化、消防、环境等方面用水。

7 结 论

1. 矿坑排水对神府—东胜煤田水资源影响是显著的。矿区地下水年平均下降0.15—0.40m,河川径流系数已由0.243下降到0.146。随着采煤规模的扩大,地下水下降,河川径流减少将会更进一步扩大。

2. 根据矿坑排水调查估算,目前大柳塔矿区年排水量450—500万 m^3 ;预测本世纪末将达到1500—1560万 m^3 ,2010年达到1700万 m^3 。

由于时间短,任务紧,加之水平的限制,不妥之处恳请指正。

参考文献

- 1 陕西师范大学地理系. 陕西榆林地区地理志. 陕西人民出版社, 1987年4月
- 2 张恒岩. 采煤对水资源与水文地质的影响. 西北水资源与水工程, 1994年第1期
- 3 北京地质学院. 专门水文地质. 中国工业出版社, 1963年