

神府—东胜煤田开发对乌兰木伦河 河道淤积与输沙的影响

张汉雄 王占礼

(中国科学院
水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要 神府—东胜煤田自1987—1993年开发以来,河道露天采煤、矿区建设排弃的大量土石碴堆积于河道或岸坡,导致河床淤积严重,输沙量骤增。乌兰木伦河下游50km净淤积 $1\,310.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,平均年增加 $187.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,输沙量比采矿前增加70%,平均年增加 $735 \times 10^4 \text{ t}$ 。文中对河道淤积的泥沙来源和采矿排弃物流失量进行了深入分析,并提出该流域治理的建议与对策。

关键词 煤田开发 河床淤积 输沙量 河道堆积

The influence of Shenfu—Dongsheng coal mining on river bed siltation and sediment load of Wulanmulun river

Zhang Hanxiong Wang Zhanli

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

Abstract A great quantity of abandoned earths, stones and dregs from open mining coal in the river and construction of coal field are piled up in the bed of Wulanmulun river, as a result deposition of river bed and sediment load are both remarkably rised since Shenfu—Dongsheng coal field mining in 1987. About $1310.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ net sediments silted and $361.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ mixtures of sand and stone piled in the river bed of 50 km in lower reaches after coal mining, comparing with before mining average annual sediments increases by $187.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ and the sediment load of the river increases by 70 percent and average annual sediment load increases.

The sediment resource of river siltation and increasing of soil loss are analysed, and some suggestion and countermeasure on reclamation planning of the river basin are also presented in the paper.

Key words coal mining river—bed siltation sediment load river accumulation

1 前言

神府—东胜煤田位于黄河中游一级支流窟野河中上游地区,是我国近期开发的大型优质煤田,也是 21 世纪我国最重要的能源基地。矿区范围包括陕西神木、府谷县和内蒙伊金霍洛、准格尔旗共 4 个县(旗),15 个乡镇,180 个行政村,总面积 3 842 km²,总人口 13.75 万人。

根据国家计委审批的矿区建设总体规划,一、二期(1987~2006 年)工程建设总规模为 3 245 万 t/a,其中国家统配煤矿规模为 2 520 万 t/a。自 1987 年矿区开发以来,环绕矿区的公路和煤炭外运通道包神铁路已建成,神朔铁路正在修建。八大统配煤矿中的补连滩和马家塔露天煤矿已投产,其余均在建设或即将投产。大柳塔、上湾和补连滩的工业区已初具规模,为矿区大规模生产奠定了基础。

煤田开发一、二期工程建设几乎全部分布在窟野河支流乌兰木伦河石圪台至孙家岔段的河谷地带与支流沟谷中,面积约 860 km²。近几年来,矿区建设采煤等的大量废弃土石碴造成新的水土流失,淤积于河道,特别是河道露天采煤剥离沙石大量堆积于河床,严重影响河道行洪安全,威胁矿区建设和当地工农业发展,已引起国家和社会各界对该矿区开发中环境破坏问题的极大关注。为此,我们对矿区乌兰木伦河中下游河道进行深入的考察研究,以评价煤田开发的新增水土流失对河道淤积和行洪的潜在影响,以及为确保煤田开发与沿河工农业发展应采取的对策。

2 矿区自然条件和河谷地貌特点

2.1 自然地理概况

矿区地处陕北黄土丘陵沟壑区与鄂尔多斯台地、毛乌素沙漠的交叉过渡地带,北部和西部属波状起伏盖沙或沙地,南部为沟壑纵横的黄土丘陵,组成黄土丘陵和风沙丘陵两大地貌类型。气候属干旱、半干旱大陆性季风气候,雨量少,蒸发量大,风沙侵袭频繁,水土流失严重。多年平均雨量为 368.2 mm,水面蒸发量为 1 319 mm,雨量年际变化大,年内分布不均,7—9 月雨量占全年的 66.8%,且多以暴雨形式出现。年平均风速 2.5—3.6 m/s,最大风速 19—20 m/s,年沙暴日数 10.7 天。暴雨与风沙是造成该地严重水土流失的主要气候因素,加之植被稀少,盖度仅 40%—50%,地面物质主要以沙土、沙绵土为主,土质疏松,极易搬运,因而水蚀和风蚀都很严重,是黄土高原生态环境最脆弱的地区。

采矿前矿区综合土壤侵蚀模数约 7 000—8 000 t/km²·a。近年来,由于矿区建设中露天采煤的大量剥离物和其它排弃的土石碴堆积于河道或沟边岸坡,增加了河道淤积与输沙量。同时,矿区建设中大量地表松动、剥离或植被破坏,加剧了水蚀和风蚀,诱发了滑坡、泥石流等新的水土流失。据陕西省水保局在乌兰木伦河支流母河沟重点小流域观测资料,采矿前土壤侵蚀模数为 10 000 t/km²·a,采矿后达到约 21 000 t/km²·a,增加了 1 倍。这说明采矿后水土流失有明显增加的趋势。

2.2 河谷地貌与河势特点

乌兰木伦河全长 137 km,上游由转龙湾至河源长 68 km,分为东、西乌兰木伦河,汇流后始称乌兰木伦河;中下游长 69 km,在神木县王道恒塔以南约 6 km 处与特牛川汇流后称窟野河。神府—东胜煤田一、二期工程建设主要分布于乌兰木伦河中下游河段两侧,故我们河道考察范围包括

乌兰木伦河中游石圪台公路桥至河口 56km 河段及其支流活鸡兔沟高家畔以下 7km 河段(图 1)。

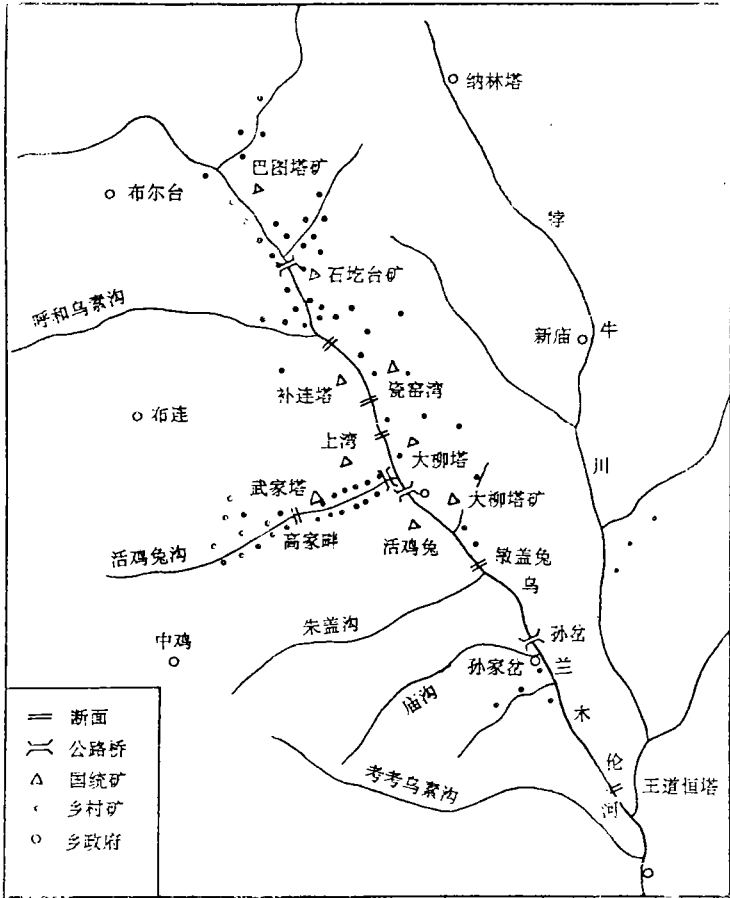


图 1 矿区河道位置与矿点分布

矿区乌兰木伦河河谷宽约 1 000m,主河槽纵比降在 2.5—3.5‰,有较平坦宽阔的河谷平原。河谷两岸塬面宽阔较平坦,以长梁面状丘陵向河谷微倾斜,谷塬相对高差在 60—100m。由于黄土覆盖层分布不均,在前石畔、瓷窑湾等地岸坡有基岩出露。河谷有较宽阔平坦的河漫滩,枯水时河床水面宽约 50—60m,河床与河漫滩宽约 400—600m,约占河谷宽的一半。其余两岸还分布着一、二级阶地,一级阶地高于河床 5—10m,易受洪水淹没,二级阶地高于床 15m 以上。河床中绝大部分为砂砾覆盖,厚度 1—9m,其分布特征是主河槽部分浅,两岸漫滩较深,何家塌公路桥

以上较深,以下较浅,在瓷窑湾、敏盖兔河段靠近右岸河床中亦有基岩出露。

区段内有 5 条较大沟道,集水面积 46—500km²,沟道比降在 6—14‰,其特点是较大沟道河槽较宽阔,比降较小;沟道小者比降大,河槽狭窄(表 1),河床中亦有不同厚度的砂砾石覆盖层。

表 1 乌兰木伦河较大沟道特征

沟道名	集水面积 (km ²)	沟道长度 (km)	沟道比降 (‰)	河槽宽度 (m)	岸 别	备 注
考考赖沟	46.5	14.8	14.1	30—50	左	陕蒙界河
呼尔乌素沟	493.2	38.3	5.7	200—300	右	内蒙境内
活鸡兔沟	309.2	35.9	8.6	100—150	右	陕蒙界河
朱盖沟	177.0	28.6	6.6	60.120	右	陕西境内
庙 沟	87.5	22.4	10.6	40—70	右	陕西境内

近几年来,随着矿区建设发展,沿河修建了一些堤防护岸工程。在乌兰木伦河上的有哈拉沟,煤矿护岸堤长 2.59km,大柳塔小区护岸堤长 3.2km,后补连矿防护堤长 1.5km 等,活鸡兔沟霍吉图矿护岸堤长 1.24km。其余河段均为天然河岸,沙土或沙石岸坡,易受洪水冲刷,河势变化较剧烈。如何家塌村河段左岸沙土河岸被洪水冲刷拓宽 20 多 m,敏盖兔村右岸河漫滩淹没农田数百亩,主河槽导向左岸。在支流入汇处的河段大多形成弯道,具有较大的冲积扇,在凸岸淤积,凹

岸冲刷,河道弯曲系数较大;其余河段较平直。在乌兰木伦河后补连滩至马家塔河段和活鸡兔沟高家畔至李家畔河段,近年来在河道露天采煤,剥离的弃土石碴大量堆积于河道或岸坡,阻塞或淤积于河道,水道变化剧烈,严重影响行洪。如后补连滩露天矿用剥离沙石堆积成高 18m、顶宽 30m 的矿坑防洪大堤,使河槽从 410m 缩窄至 220m,马家塔矿河槽从 490m 缩窄至 320m。在如此狭窄的河槽中,乡镇矿和个体矿仍在河道中露天采煤,沙石堆积物高于河床 4—8m,造成河道淤积的主要泥沙来源,混乱不堪,严重影响行洪。。

3 采矿后河道冲淤的动态变化

3.1 径流泥沙分析

在乌兰木伦河距河口约 6km 的王道恒塔设有水文站,控制流域面积 3 839km²,自 1959 年设站到 1993 年共有 35 年观测资料。为便于同步系列分析,利用下游窟野河神木水文站的实测资料插补延长,则得到 1956—1993 年共 38 年的较长系列径流泥沙资料可供分析。

用实测资料计算的年径流量,并考虑到矿区灌溉和工业用水约占年径流量的不足 3%,采用下式还原即可得到天然径流量,即

$$W_{\text{天然}} = W_{\text{实测}} + W_{\text{灌溉}} + W_{\text{工业}}$$

王道恒塔站多年平均径流量、输沙量及其月分配分别见表 2 和表 3。多年平均天然径流量为 2.19×10⁸m³,实测最大径流量为 5.25×10⁸m³(1961 年);最小径流量(1993 年)为 0.27×10⁸m³,最大年是最小年的 19.4 倍,年际变幅很大径流年内分配主要集中于 3、7、8、9 四个月,占年径流量的 66.3%,汛期 7—8 月径流占年径流的 40.9%,6—9 月径流占年径流的 54.2%。河道径流主要是汛期的暴雨洪水和春季融雪水,冬季 12—2 月和夏季 5—6 月是枯水季节,水量很小。

表 2 王道恒塔站多年平均径流量与输沙量及其月分配(1956—1993)

分 类	单 位	多年平均月径量和输沙量												全 年
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
实 测	10 ⁴ m ³	305	501	3398	1525	744	786	3199	5722	2098	1764	1242	501	21782
径流量	%	1.4	2.3	15.6	7.0	3.4	3.6	14.7	26.3	9.6	8.1	5.7	2.3	100.0
天 然	×10 ⁴ m ³	308	503	3418	1534	745	788	3321	5762	2013	1775	1258	503	21911
径流量	%	1.4	2.3	15.6	7.0	3.4	3.6	14.7	26.3	9.6	8.1	5.7	2.3	100.0
实 测	×10 ² t	0.1	0.3	29.4	14.2	22.4	38.9	847.3	1696.2	55.6	17.0	8.2	0.5	2728.1
输沙量	%	0.0	0.0	1.0	0.5	0.8	1.4	31.1	62.2	2.0	0.6	0.3	100.0	

表 3 王道恒塔站实测多年平均径流泥沙特征值

类 别	单 位	年均值 (1956— 1993)	汛 期		年 最 大		年 最 小		最大/最小
			7—8 月	6—9 月	数 值	年 份	数 值	年 份	
实测径流量	10 ⁴ m ³	21782	8914	11788	52500	1961	2701	1993	19.44
	%	100.0	40.9	54.1					
实测输沙量	10 ⁴ t	2728.1	2543.5	2637.9	12300	1976	13.3	1993	924.81
	%	100.0	90.2	96.7					
悬移质含沙量	kg/m ³	125.2	285.3	223.8	1640*	1959			

* 为 1 次洪水的最大含沙量。

乌兰木伦河流域属多沙粗沙区,多年平均输沙量为 2 728.1×10⁴t,平均输沙模数为 7 106t/km²·a。河道输沙特性主要有:(1)输沙量年际变化大,最大年为 12 300×10⁴t,最小年仅 13.3×10⁴t,相差 924 倍,比径流量的最大与最小比值 19.4 还大 47.6 倍,说明输沙量与径流流量并不密切相关,而仅与汛期洪水密切相关。(2)沙量年内分配集中,年输沙量主要集中于汛期,7—8 月

输沙量占全年的 93.2%，6—9 月份则占全年的 96.7%，说明全年输沙量主要由汛期的几次大洪水所造成。(3)洪水含沙量高，挟沙能力强，汛期 7—8 月径流平均含沙量为 $285.3\text{kg}/\text{m}^3$ ，含沙量大于 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 的高含沙洪水屡见不鲜，最高达 $1\,640\text{kg}/\text{m}^3$ ，形成高含沙泥流，挟沙能力极强。(4)悬移质粗沙比例大，据王道恒塔站泥沙采样资料分析，多年平均输沙量中粒径 D 大于 0.05mm 的粗沙量为 2 088.4 万 t，占多年平均年输沙量的 73.7%，即悬移质中粗沙占绝大部分。这是造成河道淤积的主要原因，同时也对下游河道行洪和防护工程造成严重威胁。

3.2 河道淤积量测算

为了较精确地测算矿区开发以来乌兰木伦河的河道淤积量及冲淤变化，这次考察中选择有代表性的、可比较的河道断面进行现状测量。即选择在 1986 年进行河道断面测量、1986—1988 年建成的大柳塔、何家塔、活鸡兔三个公路桥断面和王道恒塔水文测站断面为基础，对这四个断面以及河道堆积或淤积较严重的后补连滩、马家塔、哈拉沟口和敏盖兔等 8 个断面进行了现状测量。并与开矿前 1986 年的河道断面进行比较，计算各断面的冲淤深度和冲淤量。

3.2.1 典型断面的冲淤变化

自 1987 年矿区开发以来，矿区建设和露天开采主要位于石圪台至大柳塔区间的乌兰木伦河两岸和活鸡兔下游河段。因此，大柳塔公路桥桥孔淤积特别严重(图 2)。该桥于 1986 年建成，是一个有 12 孔的石拱桥，原设计单孔宽 30m (1989 年桥墩加宽，孔宽变为 29.5m)，桥墩起拱点高于河床 3.3—3.6m，拱高 6m，平均单孔

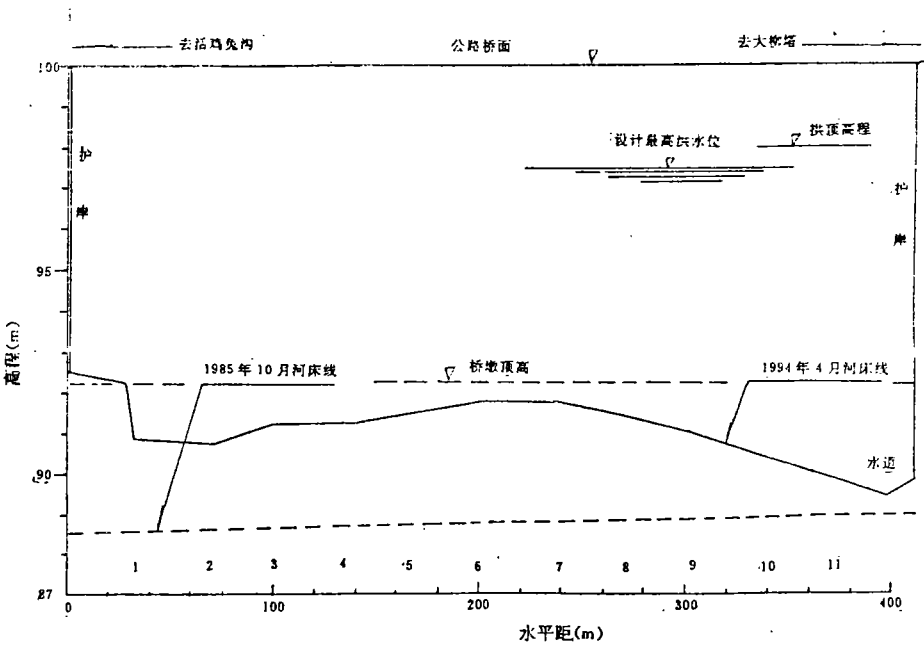


图 2 大柳塔公路桥采矿前后河床淤积变化

* 图中数字为桥墩号数，高程为假设高程。

过水断面面积为 180m^2 。到 1994 年 4 月，西边两孔因下游河道施工堵塞，淤积高度达 4.05m，桥墩全部被埋没；其余 10 孔比原河床淤高 1.5—3.05m，桥墩外露部分仅 0.4—1.4m。即无河道阻塞的最大淤积高度为 3.05m，最小淤高 1.0m，平均淤高了 2.38m。

何家塔公路桥位于大柳塔下游 16.7km，也有较大的冲淤变化。该桥于 1986 年测量设计，

1988 年建成,为 13 孔单孔垮 30m 的石拱桥。迄今,该桥右岸 3 孔因施工堵塞淤积高度达 4.7m,形成长达 500m 的淤积台阶,使主河槽导向左岸,冲深 1.2—1.5m,断面平均净淤积高度为 0.52m(图 3)。

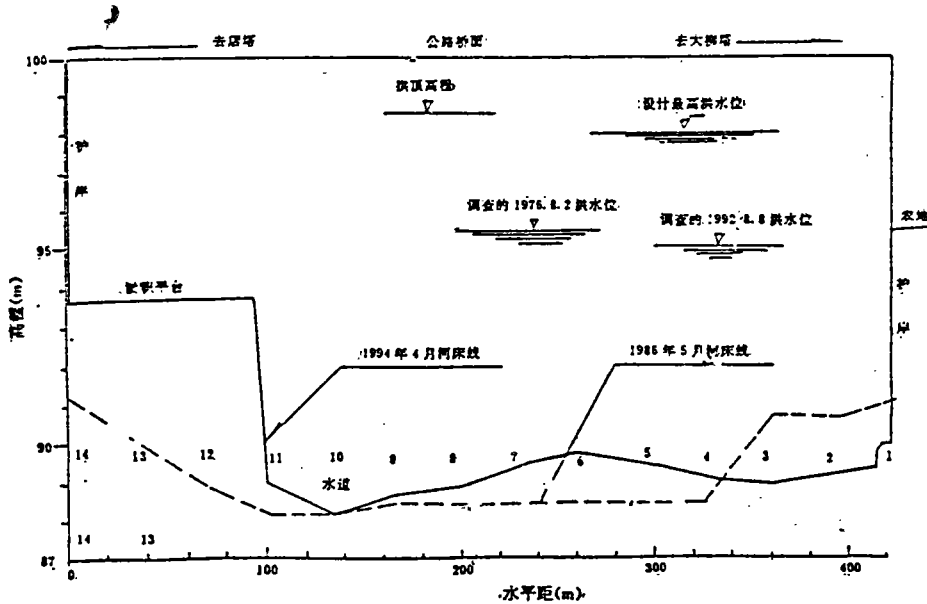


图 3 何家塔公路桥采矿前后河床冲淤变化
* 图中数字为桥墩号数,高程为假设高程。

其余断面虽有冲有淤(表 4),但总趋势是采矿后淤积增加。一般情况下,河槽较宽阔河床比降较大的河段淤积较大;反之,河槽窄,比降较大的河段,洪水流速大,淤积较少而冲刷较大。位于河口附近的王道恒塔水文测站断面,河槽宽 192m,属深谷河槽,基本保持冲淤平衡在河道露天采煤最严重的后补连滩、马家塔河段,目前虽淤积不十分严

重,但由于河道束窄,剥离物堆积量大,严重阻塞河道,因而潜伏着严重淤积的危险。后补连滩断面位于补连滩露天矿上游 100m 处,河道由上游的宽阔河槽变为狭窄河槽,且上游无河道露天采矿,淤积较少,平均淤积 0.17m。瓷窑湾断面位于河道露天采煤最密集的河段,因堆积物阻塞河道,水流较急,冲淤变化较大,最大淤积厚度 1.52m,最大冲深 0.45m,平均断面淤积 0.57m。若遇较大洪水,该河段可能产生严重的淤积和行洪障碍。

3.2.2 区间河段冲淤量估算 根据 1994 年考察时测量的典型河道断面,并与采矿前实测的河道断面及 1/10 000 地形图比较,计算出各断面的冲淤高(深)度、断面积,即可计算出乌兰木伦河口至后补连滩区间河道的冲淤总量(表 4)。因石圪台公路桥至后补连滩河段矿点分布少,且远离河道,采矿引起的河道淤积较少,故未计算该段冲淤量。测算结果表明,从 1987—1993 年的 7 年间,煤田开发以来矿区河段冲刷总量为 $206.26 \times 10^4 \text{m}^3$,淤积总量为 $1\,516.79 \times 10^4 \text{m}^3$;除去冲刷量,则采矿后在该河段增加的净淤积量为 $1\,310.53 \times 10^4 \text{m}^3$,平均每年净淤积 $187.2 \times 10^4 \text{m}^3$ 。这说明采矿后由于新增水土流失加剧、泥沙颗粒变粗、河道中松散堆积物增多,从而导致了乌兰木伦河中下游段的严重淤积。

表 4 采矿后(1987—1993 年)乌兰木伦河——河道冲淤量计算表

断面地点	断面间 比 值	到河口距 离(km)	行洪河 面宽(m)	最大冲淤(m)		平均淤 高h	冲淤断面面积(m ²)		断面间 距(km)	平均冲淤(m ²)		冲淤量(10 ⁴ m ³)	
				h _冲	h _淤		W _冲	W _淤		W _冲	W _淤	V _冲	V _淤
后补连滩 铁路桥	0.0034	50.82	224	0.61	0.79	0.17	6.60	44.85	4.67	10.63	122.03	4.96	56.99
瓷窑湾车 站前	0.0035	46.15	326	0.45	1.52	0.57	14.65	199.20	6.95	18.15	257.35	12.61	178.86
哈拉沟口 北	0.0027	39.20	455	0.42	0.95	0.65	21.65	315.50	4.35	10.83	628.01	4.71	295.79
大柳塔公 路桥	0.0029	34.85	395	0	4.05	2.38	0	940.52	7.80	24.28	611.51	18.94	476.97
敏盖兔村 前	0.0032	27.05	550	0.52	1.46	0.43	48.55	282.50	8.85	76.83	302.68	67.99	267.87
何家塔公 路桥	0.0036	18.20	420	1.50	1.35*	0.52	105.10	322.85	414.24	68.15	169.95	97.05	240.31
王道恒塔 水文站		3.95	200	0.58	0.51	-0.007	31.20	17.05					
												206.26	1516.79

* 有 3 个桥孔因堵塞淤积,平均淤高 4.85m,宽 95m,长 500m,经调查取其 1/5 计算淤积高度,故无障碍的最大淤高为 1.35m。

河道淤积主要分布在瓷窑湾(马家塔露天矿采区)至何家塌公路桥长 28km 的河段内,淤积量为 1 219.5×10⁴m³,占矿区测量河段淤积总量的 80%,平均河床淤高 0.8m。其中哈拉沟口至敏盖兔 12.2km 的河段,即大柳塔公路桥上下游,是淤积最严重的河段,淤积量为 772.8×10⁴m³,占总淤积量的 50.9%,平均淤高 1.2m。河道冲刷主要在敏盖兔至王道恒塔 23.1km 的下游河段,冲刷量为 165.0×10⁴m³,占冲刷总量的 80%,占该段淤积量的 32.5%,即该河段的冲淤比约为 1:3。淤积的横向分布是:大柳塔公路桥以上河槽较宽阔平坦,河道流向较顺直,因之淤积基本上均匀分而,大柳塔以下河道有几处较大的弯曲,主河槽导向右岸或左岸,在弯道处有明显的凹凸岸,因之其淤积横向分布是不均匀的,即使凸岸有大于 1.5m 的淤积,凹岸仍有较大的冲刷,亦即凹岸冲,凸岸淤,主河槽冲,漫滩淤。

3.2.3 河床淤积的纵向变化 河道纵向冲淤变化主要取决于河段的比降、行洪河面宽、河势流向等河道自然特征和河道中行洪障碍物的空间分布与洪水泥沙特点。一般来说,大洪水冲,小洪水淤;一次洪水的高峰前冲,后期淤;河道狭窄、比降大的河段冲,河道宽阔较平的河段淤;凹岸冲、凸岸淤。在无人为影响的自然状态下,河床的冲淤变化基本上保持相对平衡,今年淤,明年冲,冲淤交替变化。“三十年河东,三十年河西”一说反映了冲淤交替动态变化的趋势。

从乌兰木化河矿区河段河床纵断面(图 4)的变化可以看出,采矿后 1993 年和采矿前 1981 年河床线在部分河段有较明显的变化,后补连滩以上和燕家塔以下,两线基本重合,冲淤无变化。瓷窑湾段(马家塔矿河道露天采区)稍有淤积,哈拉沟至双沟口,淤积较大,敏盖兔至何家塌段也有较大淤积,另在燕家塔段还有少量冲深。这说明采矿后部分河段河床高程有明显升高的趋势,河道纵向比降由相对平衡的冲淤变化变为河床升高的趋势。淤积河段都分布在河道露天采矿的下游,露天采矿的大量剥离砂石堆积物阻塞河道是导致河床淤高的主要原因。由于河道横断面冲淤分布不均匀,即主河槽冲,漫滩淤,凹岸冲、凸岸淤的特点;因而实际淤积要比图中所示主河槽河床线的淤积大。

由于这次考察时间短、工作量大,也缺少采矿前河道纵横断面的基础资料,选择的几个河道淤积测算断面数量较少,因之,文中测算的河道淤积量仅是初步结果,有待进一步进行详细精确的测量和监测,以提供矿区河道淤积动态变化的可靠资料。但从测算的河道冲淤变化可以看出,

矿区开发以来,河床淤积量显著增加,已严重影响矿区开发和河道行洪安全。因此,需要分析河道淤积增加的泥沙来源,提出防治新增水土流失的对策。

4 河道输沙与淤积增加的泥沙来源分析

根据这次矿区考察调查和王道恒塔站实测水文资料的综合分析,采矿后乌兰木伦河道输沙量和淤积量增加的泥沙来源主要有以下几方面。

4.1 采矿后河道输沙量骤增、泥沙颗粒变粗

4.1.1 采矿后河道输沙量显著增加 在王道恒塔站

38 年(1956—1993)水文资料系列中,1993 年是径流量最小的枯水年,且无洪水(最大流量仅64.9 m³/s),年输沙量仅 13.3×10⁴t。由于河道输沙主要取决于径流量和洪水,为便于分析采矿前后河道输沙量的增减变化,拟分两种情况加以分析比较,即采矿后 1987—1992 年和 1987—1993 年两个时段的水沙量与采矿前相同(或相近)径流量时段的输沙量分别加以比较(表 5)。

表 5 王道恒站采矿前后相同水文年的输沙量变化

类 别	系列年限	径流量(10 ⁴ m ³)		输沙量(10 ⁴ t)		最大洪峰 (m ³ /s)	最大含沙量 (kg/m ³)
		总 计	年平均	总 计	年平均		
采 矿 后	A:1987—1992	105601	17600	12554	2092	4600	1150
	B:1987~1993	108302	15472	12567	1795	4600	1150
	{ 1962~1965	70100	17525	2646	662	560	1480
	{ 1971~1975	88980	17796	8200	1660	3580	1460
	{ 1980~1984	86750	17350	3900	780	3130	1330
采 矿 前	A 组平均		17557		1034		
	{ 1964~1965	33650	16825	1482	741	438	276
	{ 1972~1975	65460	16365	6044	1511	3580	1460
	{ 1981~1983	49100	16367	2785	928	1250	1330
	B 组平均		16519		1060		
采矿后比前 增加(%)	A 组比较				102.1		
	B 组比较				69.3		

从表 5 可以明显看出,矿区开发以来,从 1987—1992 年的年平均径流量为 17 600×10⁴m³,输沙量为 2 092×10⁴t,与采矿前 60、70、80 年代选择时段的平均年径流量 17 557×10⁴m³ 相同,而年平均输沙量却增加了 1 058×10⁴t,即增加了 102.1%。即使包括 1993 年的无洪水年份,采矿后 7 年(1987—1993)中,年平均径流量为 15 472×10⁴m³,输沙量为 1 795×10⁴t,比采矿前年平均径流量稍大(16 519×10⁴m³)的年份,年平均输沙量也增加 735×10⁴t,即增加了 69.3%。两种

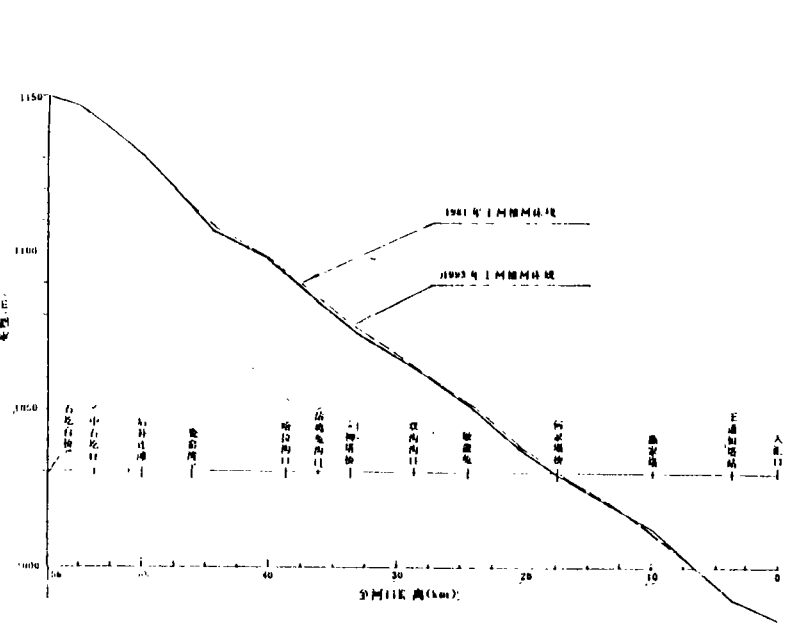


图 4 乌兰木伦河矿区河段主河槽纵断面

比较结果表明,采矿后河道输沙量急骤增加,平均悬移质输沙量年增加 735—1 000×10⁴t,即增加 70%—100%,这是造成河道淤积严重的主要泥沙来源。这一结果与前述母河沟流域观测结论—采矿后土壤侵蚀模数增加了一倍的结论较为一致。

4.1.2 采矿后洪水输沙量增大、泥沙颗粒变粗 据王道恒塔站实测的洪水泥沙资料,采矿后次洪水的洪峰流量、含沙量和输沙量均有增大趋势。如 1988 年 7 月 24 日年最大一次洪水的径流量与 1973 年 9 月 24 日年最大一次洪水的径流量基本接近,输沙量却增加了 51.2%,平均含沙量增加了 54.5%,在最大洪峰流量仅 2 020m³/s 的情况下,最大含沙量高达 1 630kg/m³。1989 年最大一次洪水与 1969 年的一次洪水总量相近,而洪峰流量却增大了 4 倍,输沙量增加 34.4%,最大含沙量增大了 58.1%,洪水挟沙能力大大增强。

矿区新增流失量中,粗粒径物质占大部分。这些粗颗粒物输入河道,不仅使河道洪水的含沙量和输沙量增加,还使河床淤积泥沙颗粒和悬移质输沙颗粒变粗,对下游淤积和入黄泥沙产生严重影响。采矿前 1979 年与采矿后 1989 年的输沙量基本相同,而 1989 年的 d₅₀ 为 0.23mm,大于 0.1mm 的粗泥沙占年总量的 67.2%,平均粒径为 0.295mm;1979 年的 d₅₀ 则为 0.047mm,大于 0.1mm 的粗沙占年输沙量的 26.5%。采矿后泥沙颗粒变粗近 5 倍,粗沙比例增加了 2.5 倍。在窟野河出口温家川站也出现同样的增加趋势,采矿后较采矿前 d₅₀ 增大近 2 倍,这说明有较多的粗沙淤积于下游河道。采矿后造成的人为侵蚀和河道输沙特性的显著变化,一方面加剧了河道淤积和增加了入黄泥沙,同时这种高含沙洪水挟沙能力极强。有些学者将含沙量大于 800kg/m³ 的高含沙洪水称洪水泥流,其危害程度远比一般洪水大,它淹没的农田道路和工农业生产设施极难恢复,增大了洪水灾害程度,故必须防止和控制粗沙废弃物输入河道。

4.2 矿区排碴的流失量急骤增加

4.2.1 矿区开发排弃的土石碴量 矿区开发以来,矿区工业设施与住宅建设、采矿、修铁(公)路等排弃的土石碴量大,大都堆积于沟边、岸坡或河道中,在暴雨洪水的冲刷下,这些松散的土石混合堆积物将被挟带或推移至河道(沟道)而淤积,或增加河道输沙量。据华能精煤公司《神府—东胜矿区总体设计》资料和黄委会水科院对矿区排弃物的综合调查分析估算,矿区一期(1987—1997)年开发阶段总排弃土石碴量为 18 700×10⁴m³,二期开发(1998—2006 年)开发总排弃量为 16 856×10⁴m³,三期(2007—2022 年)开发总排弃量为 15 459×10⁴m³(表 6)。为了综合分析采矿后乌兰木伦河河道淤积的泥沙来源此处仅对一期开发的排弃土石量作以分析。矿区一期开发的重点是在乌兰木伦河流域,建设总规模为 3 245×10⁴t/a。

表 6 神府—东胜矿区开发排弃的土石碴量* 单位:10⁴m³

建 设 项 目	一期(1987—1997)		二期(1998—2006)		三期(2007—2022)	
	国统矿	地方矿	国统矿	地方矿	国统矿	地方矿
井矿基建期	353.3	28.8	252.5	22.5		
露天矿基建期	8999.2		3512.0			
露天矿开采期	2082.4		8553.6		5376.0	
采煤矸石外排弃	450.5	89.2	1257.2	273.7	4681.5	705.2
选煤矸石外排弃	400.0		1100.1		1760.1	
修公路外排弃	2442.6					
修铁路外排弃	3642.9					
供水供电建设排弃	62.2		57.3			
建材建设排弃	236.4		241.0		481.9	
工业生活垃圾	171.2		1587.4		2454.4	
合 计	18582.2		16561.1		14753.9	

* 表摘自黄委会水科院编,神府—东胜矿区开发新增水土流失量估算,1992.4。

其中国家统配煤矿(石圪台、大柳塔、活鸡兔、巴图塔、补连塔、上湾、马家塔、武家塔)生产能力为 $2\,520 \times 10^4 \text{ t/a}$, 这些矿均位于大柳塔以上的乌兰木伦河流域。在一期总排弃量(表 6)中, 修铁路、公路、建材、供水及工业生活垃圾外排量的绝大部分已排弃, 约 $6\,510 \times 10^4 \text{ m}^3$; 井矿基建期已外排 $212 \times 10^4 \text{ m}^3$; 露天矿基建期除武家塔矿尚有约 $820 \times 10^4 \text{ m}^3$ 未排外, 已排弃约 $7\,860 \times 10^4 \text{ m}^3$; 露天矿开采期已外排量约 $1\,300 \times 10^4 \text{ m}^3$; 采煤矸石已外排 $270 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。则截止 1994 年 4 月, 一期工程总排弃土石碴量约 $15\,940 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占外排总量的 85.3%。除神朔铁路及部分位于流域外的乡级公路的弃碴量约 $1\,140 \times 10^4 \text{ m}^3$ 外, 则在乌兰木伦河流域内排弃的土石碴量约为 $14\,800 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

4.2.2 矿区开发排弃物的流失量 关于矿区开发后外排的大量土石碴的流失问题及对新增水土流失的影响, 曾有不少研究者对此作了详细的调查分析, 以确定各类排弃松散堆积物的合理流失比例。

黄委会水科所高懿堂在山西对堆放于沟岸或沟道中的开矿、修路和生活垃圾调查, 其冲失比例为 10%—70%, 平均为 38.5%。该所李保如曾对陕北矿区和淤地坝调查分析, 暴雨洪水冲毁坝地坝体泥沙量占其总体积的 14.4%—17.8%, 由于排弃的土石碴要比坝地(体)的淤积物松散得多, 其流失比例至少也应为 14.4%—17.8%。笔者也曾对陕北杏子河流域“77·7·6”特大暴雨洪水的水毁工程作了调查, 坝库工程和坝地的冲失比例为 25.6%。黄委会水科院对矿区典型小流域肯铁岑河流域的洪水泥沙综合分析推算, 一期开发阶段该流域新增的排碴流失量为 $2\,061.5—1\,848.9 \times 10^4 \text{ t}$, 占矿区开发总排弃土石量 $5\,541.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的 33.4%—37.2%; 若考虑露天矿剥离物的粒径组成和堆积物的形态及防护等因素, 则流失量所占比例约为 30%。综上所述, 矿区排弃物流失量的比例达到 26.6%—31.3% 是可能的。

另据此次考察中对若干典型露天矿和铁路弃碴的调查, 堆积于沟边、岸坡的较分散的土石碴, 其流失比例为 21.0%—26.6%; 堆积于河(沟)道的废弃物, 其流失量约占其排弃量的 30.5%—38.6%。考虑到与流失量有关的堆积位置、堆积形态、堆积密度、堆积物粒径组成及防护条件等因素, 综合分析认为, 矿区排弃土石碴的流失比例应 23.8%—30.6% 之间, 与上述几个调查结果比较相近。为便于分析, 取二者的平均值, 则开矿弃物流失比例约为 26%—30.0%。

依此流失比例推算, 该矿区自开发至今, 一期工程外排土石碴所增加的流失量应为 $3\,848—4\,440 \times 10^4 \text{ m}^3$; 按土石碴混合容重 1.95 t/m^3 计, 则矿区开发后弃碴新增流失量为 $7\,504—8\,660 \times 10^4 \text{ t}$, 平均每年新增泥沙流失量 $1\,072—1\,237 \times 10^4 \text{ t}$, 大于王道恒站实测的新增输沙量, 其多余部分无疑是淤积于该站以上的河道中。

4.2.3 河道输沙量与淤积量的平衡分析 在矿区开发前, 该地的水土流失和输沙量就比较大。因此, 不能忽视原生水土流失对河道淤积的影响。为便于分析, 本文采用下述平衡公式估算采矿后 7 年的河道淤积量, 并与实测淤积量进行比较, 即

$$\text{排弃物新增流失量} + \text{原生流失量} = \text{出口输沙量} + \text{河道淤积量}$$

由表 5 可知, 采矿前年平均径流量与采矿后相同(近)情况下, 采矿前流域出口站年平均输沙量为 $1\,046 \times 10^4 \text{ t}$, 加上矿区开发排弃物增加的流失量, 则采矿后 7 年总流失量为 $14\,826—15\,982 \times 10^4 \text{ t}$, 减去流域出口王道恒塔站实测输沙总量 $12\,567 \times 10^4 \text{ t}$, 则采矿后淤积于该站以上河道的泥沙总量为 $2\,259—3\,415 \times 10^4 \text{ t}$, 取其均值约 $2\,840 \times 10^4 \text{ t}$ 。由上述河道淤积量测算结果(表 4)可知, 采矿后河道新增淤积量(总淤积量—总冲刷量)为 $1\,310.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 按同一容重折算, 即 $2\,555 \times 10^4 \text{ t}$ 。采用流失量、输沙量、淤积量平衡分析的淤积量比实测河道淤积量大 $285 \times$

10^4t ,这是因为实测淤积量仅指矿区河段干流的淤积量,未包括支流及补连塔以上河段的淤积。因此,这部分淤积量主要淤积于活鸡兔沟、呼和乌素沟和其它小沟道中及补连塔以上的河道中,占河道总淤积量的10%,且分布较为分散。这说明平衡分析结果与实测淤积量比较一致,估算方法和采用的流失比例比较符合实际状况。

若不考虑支沟及测算断面以外的淤积量(即 $285\times 10^4\text{t}$),将实测淤积量 $2\,555\times 10^4\text{t}$ 代入上式,反求新增弃碴流失量,则得矿区排碴流失量为 $7\,807\times 10^4\text{t}$ 。用该值除以上述分析得出的矿区一期工程已排弃的土石总量,即 $14\,800\times 10^4\times 1.95=28\,860\times 10^4\text{t}$,得到排弃土石碴的流失比例为27.1%。这一流失比例是这次矿区考察中由实测资料综合分析的结果,它为估算今后矿区开发中新增水土流失量提供了一个重要的科学依据。按此比例估算,预计二期工程阶段平均每年的排碴流失量为 $1\,090\times 10^4\text{t}$,三期阶段平均每年排碴流失量为 $490\times 10^4\text{t}$,所以今后近30年中,矿区开发的新增土石碴流失量仍然是十分严重的,河道淤积还有进一步增高的趋势,如不采取有效的弃碴防护工程和水土保持措施,河道淤积和入黄泥沙骤增,其后果将是十分严重的。

4.3 河道堆积物加剧了河道淤积

为了查清矿区弃碴的堆积分布及其对行洪的影响,考察中对河道及附近岸坡的弃碴堆积进行了较精确的测算,按堆积物的形成主要分为四类:

4.3.1 采沙石的堆积物 主要分布于敏盖兔至马家塔的河段内,为片状沙石堆,小者数百平方米,大者数千,堆积高度约1—1.5m,总堆积量约 $15.8\times 10^4\text{m}^3$ 。这些沙石堆积物对行洪影响虽较小,但当堆积范围和密度较大时,对小洪水亦可减低流速,在堆积体前形成泥沙淤积。

4.3.2 修路、修河堤的岸坡弃碴堆积 矿区建设中修铁路、公路、河堤的弃石碴多堆积于河道两侧的岸坡,成条状整体分布,主要在前柳塔至刘石畔间的河段每个堆积长约数十至数百米,高约2—12m,堆积总量为 $14.35\times 10^4\text{m}^3$ 。例如,在刘石畔乌兰木伦河左岸岸坡仅220m长一段,修铁路弃石碴量达 $39\,000\text{m}^3$,使该处仅宽220m的河槽堵塞10—12m,严重影响河道行洪,目前正在由铁十七局清除出河道。这些堆积物中碎石、块石居多,既造成行洪障碍,同时在洪水冲刷下,小于1mm的小粒径输沙至下游淤积,大粒径均淤积于矿区河道。

4.3.3 河道露天采煤的剥离沙石堆积 此类堆积主要分布于后补连滩至马家塔长约9km的河段和活鸡兔沟高家畔以下7km的河段,成连片整体分布,矿坑与沙石堆体犬牙交错密布,占满主河槽,堆积高度一般在4—10m,最高达18m,堆积总量约 $331.4\times 10^4\text{m}^3$,是各类堆积物中对河道行洪和淤积影响最大的一类。精煤公司后补连滩露天矿防洪堤长达2.3km,高15—18m,底宽50—70m,将河槽束窄至224m;马家塔露天矿防洪堤长3km,高2—15m,底宽30—100m。这两个国统大矿的围堤均由沙石堆积而成,堤外坡很陡,坡比小于1:1,若遇大洪水必将冲刷、掏挖围堤外坡,使泥沙淤积于河道,也危及矿坑生产安全。目前精煤公司正在拆除这两个围堤的部分堤段,以扩大河槽行洪宽度。这两围堤之外的狭窄河槽中,乡村矿和个体矿仍在河道中乱挖乱采,堆积物均在河道行洪水位以下,对行洪造成严重障碍,也是河道淤积的主要泥沙来源。自1993年12月“国家环保会议”之后,陕、蒙两省(区)地方主管部门虽对河道中的乱采堆积物进行清障,目前仅是将高处推低,表面平整,并未恢复河床原状,且在河床中形成高1.5—2m的面积较大的堆积平台,虽可减轻行洪障碍,但堆积平台不易被洪水冲刷,必将加速河道淤积。

4.3.4 沟坡松散堆积物 在离河道岸坡较远的沟坡、坡面,由于矿区建设开采石料和乡村矿弃碴,分布着大量的采沙石弃碴、滑坡体和融蚀、风化的岩石碎屑堆积物。在暴雨洪水冲刷下,这些堆积物部分已被冲入河道而淤积,部分形成泥石流或沟口冲积扇,将逐渐进入河道或沟道。

这些堆积物是河道淤积的潜在泥沙来源,其总量约 $542.25 \times 10^4 \text{m}^3$,也是人为加速侵蚀和导致河道淤积的重要部分,应作好防止流失有效的防护措施。

在矿区考察河段内,现有河道内上述前三种类型堆积总量为 $361.5 \times 10^4 \text{m}^3$,其中处于洪水位以下河槽的堆积量约 $260.7 \times 10^4 \text{m}^3$,这将造成严重的行洪障碍和河道淤积;堆积于河道岸坡的松散土石碴量为 $100.8 \times 10^4 \text{m}^3$,在暴雨洪水冲刷下极易流失或进入河道而淤积,必须作好有效的防护措施。河道中现有堆积物量占测算的河道淤积总量的 14.5%,而是年平均净淤积量的 1.77 倍。但值得注意的是,现有堆积物的大部分是在去年汛期后保留或新堆积的堆积量,而采矿以来河道中的总堆积量可能是现有堆积量的数倍。因为每年洪水过后,河槽中堆积物的大部分会被冲走或淤平,堆积原状不复存在;且露天采煤是不断的剥离、排弃沙石与回填,堆积形态和堆积量亦不断变化,精确监测河道堆积量是十分困难的。所以河道堆积物是淤积的最主要的泥沙来源。

5 矿区弃碴流失和河道淤积的防治对策

为了加快神府—东胜矿区开发,促进河道沿岸工农业生产的发展,必须采取有效措施防止新增水土流失和河道淤积增加,清除河道的行洪障碍,确保河道安全行洪。在近期的中期应采取的综合防治措施和对策主要有:

5.1 彻底清除河槽中的行洪障碍,制定完善的河道管理法规

目前矿区乌兰木伦河道中的弃土石碴形成严重的行洪障碍,必须彻底清除或处理。国统矿露天开采剥离沙石排弃、堆放和矿坑防洪大堤应有严格设计,以不占用行洪河槽宽度为原则,并有计划的分期实施。对于影响河道行洪的防洪沙石大堤,目前已拆除约 1/3,使河槽扩宽约 30—40m。但留下的防洪堤宽度较小,沙质堤坡易被洪水冲刷,补连滩矿坑的安全仍潜伏着危机。乡村矿和个体矿在河道中采煤的堆积物,应由地方水保部门统一负责清除处理,即将堆积沙石回填矿坑,平整河床,恢复原状,洪水位以下多余的沙石碴应运走堆放于河槽之外。目前清除大多是推高平整,并未恢复原状,并在河道中形成 1—2m 高的堆积平台,虽可减少行洪障碍,但却加速了平台前的淤积。

为防止今后在河道中乱采、乱挖、乱堆积,应制定矿区河道管护法规,由水保监督和河道管理部门共同监督执行。对于河漫滩采煤应由主管部门统一规划,分期分段开采,或非汛期快速开采,汛前回填清障,确保行洪畅通无阻。坚决贯彻“谁设障、谁清理”的原则,及时予以清理,并检查沟道岸坡的弃碴是否采取了有效防护措施,以防止废弃物输入沟道和河道。

5.2 建立矿区水土保持综合防治体系,减少泥沙输入河道

防止河道淤积的根本是减少矿区开发引起的新增水土流失和原生水土流失量。由于矿区所在地区原来的土壤侵蚀强度较大,矿区开发后,还有大量弃碴堆积于远离河道沟边、岸坡等,加之大片土地地表扰动或破坏,加剧了水土流失增加,成为河道淤积和输沙的泥沙来源。因此,必须在矿区建立水土保持综合防治体系,以减少泥沙输入河道。有效的防治措施有:拦碴坝、拦碴框、石谷场及沟道拦碴淤地坝等,可将弃碴拦截,以免流失。河道露天采煤要与矿坑回填复垦同步进行,既可防止剥离物流失,又能建造良田。地表破坏或扰动的地方,要尽快恢复植被,防止土地沙化和土壤侵蚀加剧。要以小流域为单元,在坡面、支沟、主沟因地制宜,配置防治措施,层层设防,形成完整的水土保持综合防护体系。

5.3 制定河道整治规划,矿区开发与治理同步实施

乌兰木伦河和下游的窟野河是神府—东胜煤田近期和远期开发的基地,矿区设施建设大都

(下转第 126 页)

方向,主要是根据采矿的地质、地理、经济等条件而定。

我国的矿区土地复垦研究从60年代开始,不少地区还进行了一定规模的中间试验,总结出了一些经验。但是,由于地区差异性较大,只能借鉴。

大柳塔地区乌兰木伦河主川道内的土地的复垦,其特点是面积大,土质松散,易复垦,但也易受洪水的冲刷,在土地复垦的同时,主要是应加强已复垦土地的水土保持工作。这就要求对重点区域进行重点防护,选择好既能保护土地,又能提高其肥力的植被进行防护,先期应以防护为主,为防止洪水对复垦地的威胁,还应做好必要的防侵蚀工程设施,以确保复垦土地的不被或少被冲刷。至于对于植被的选择和植被的覆盖度以及防侵蚀的工程设施的建设等问题,还需在实践中探索和改进。

本次调查时,河道清障工作及土地复垦工程正在大规模进行,动用汽车、推土机、挖掘机等上千辆,已复垦土地200多亩,复垦工作正在进行中。

参考文献

- 1 神木县土地资源办公室编. 神木县土地资源. 西安地图出版社,1993,12
- 2 杨勤科等. 神府试区土地资源与利用. 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊,第18集,1993. 12

(上接第71页)

分布于河道及其支沟道中,将占用大量川道农田;同时矿区用水和排水也依赖于河道。为促进矿区开发和沿河工农业发展,建议国家制定乌兰木伦—窟野河整治总体规划,对于河道防洪、流域治理、工业设施布局、川道农田复垦与灌溉、水资源利用和环境污染控制等方面统筹兼顾,分期分批实施,使煤田开发与河道整治同步进行,以工业发展带动当地经济的飞速发展。

5.4 加强洪水泥沙预测预报和专项防治措施的研究,建立矿区环境整治的示范样板

矿区开发中的环境破坏和治理是一项新的研究课题,许多问题亟待深入研究,如矿区开发的新增水土流失量、河道冲淤的动态变化、洪水泥沙的运行规律及对入黄泥沙的影响等方面,目前尚未得出确切结论。同时,还要对水土流失、河道淤积演变和暴雨洪水进行长期的监测和预报,为环境治理提供可靠的科学依据。开展水土保持专项防治技术和综合治理技术的研究及建立试验示范也是十分必要的,它将为今后大面积全面治理提供有效的技术措施和示范作用。所以,建议国家设立专项攻关课题和资金,加强这一领域的基础研究与应用研究,使科研、开发与治理同步发展。

参考文献

- 1 唐克丽主编. 黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化. 中国科学技术出版社. 1993. 9
- 2 黄河水利委员会黄河中游治理局. 神府东胜矿区水土保持河道整治综合监测规划报告. 1992. 11