

神府—东胜矿区一、二期工程环境效应考察*

李 锐 唐克丽

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 晋陕蒙能源基地位于黄河中游的陕北、晋西北和内蒙古南部接壤地区。煤炭储量占全国的1/3,为优质动力煤,易开采。本区将是中国下一个世纪重要能源基地。通过近10年的建设,年产1000万t的生产能力已经形成,铁路、公路交通和通讯等设施逐步配套,为建设现代化煤田奠定了良好的基础。但是,该区地处水蚀风蚀交错地带,社会经济基础薄弱,自然条件恶劣,生态环境脆弱,水土流失、土地沙化十分严重,环境整治的任务本来就很艰巨。近年来煤炭开发中剧烈的人为作用诱发和加剧了这些环境灾害,同时也引起了一系列新的环境问题:如人为水土流失和土地沙漠化的加剧、沉陷、崩塌、泥石流的生产、河道弃土(石)堆积淤积严重,致使行洪能力锐减、水气资源的破坏与污染、土地和植被资源的退化等等。环境整治已成为能源开发持续发展十分紧迫的关键问题。

本文根据近期科学考察结果,对以开矿为中心的人文活动产生的环境效应进行了分析。总的看来,煤田建设极大地促进了当地的经济的发展;剧烈的人为活动产生了严重的环境问题;有关部门采取的环境建设措施发挥了明显的作用。总之,只要能在煤炭开发的同时注重环境建设,该区的经济将得到飞速发展。为了使煤炭开发和环境建设协调同步进行,拟建立由地面监测网(水文站,气象站,径流泥沙观测点)和多层遥感数据有机结合的综合监测网络系统。同时,强化水土流失与土地沙漠化的整治,开展矿区复垦等专项技术体系研究,建立环境整治试验示范基地。

关键词 水土保持 晋陕蒙能源基地 环境建设

Investigation of effects of mining Activities On Environment in Shenfu—Dongsheng Area

Li Rui Tang Keli

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

Abstract The energy source base is located in the contiguous area of northwest of Shanxi, north Shaanxi and south of Inner Mongolia, covering 48,800 sq. km. The coal reserves account for 1/3 of China's, and this region will be the main area of energy resources in next century in China. Since 1986, construction in mining area has made a great progress. A foundation of

* 收稿日期 1994—09—20 参加本项工作的还有:张卫、侯庆春、张汉雄、张平仓、邢大韦、杨勤科、高学田、王占礼、王百群、王文龙、焦锋、乔大斌。

modernized coal mining area has been formed. Nevertheless, because of lower developing of local social economy base and very fragile ecological system, intensive impacts of mining/construction activities have brought out some environmental problems, including: 1) Aggravating man-made soil erosion and bringing out some new problems of environment; 2) Silting up river channels and reducing capacity of flood passing sharply; 3) Destroying and polluting water and air resources; 4) Land and vegetation resources degradation. As a result, the problems of environment have become the priority of coal mining and sustained developing.

In this paper the effects of mining activities on environment are analysed generally. In brief, coal mining has brought a great promotion to the local economy and produced some severe environment problems. Some measures of environment care have been taken and the benefits are remarkable. In order to make a good coordination of coal mining and environment renovation, the following projects have been proposed based on the investigation. Establishment of environmental monitoring network and the pre-warning information system; strengthening controlling of soil erosion and land desertification; developing and extending technologies of environment renovation; and establishing some experimental and demonstrative areas.

Key words soil conservation coal mining monitoring of environment.

1 引言

1.1 考察背景及前期研究

当今社会正处于“环境、资源、人口和发展”问题的困扰之中。处理好环境与发展关系,已成为90年代和21世纪面临的重大课题。工业化的发展,特别是采矿业为主的能源开发,对环境带来了巨大的冲击。德国、前苏联、澳大利亚、美国等先进的资源开发型工业国,在这方面也走过不少弯路,经过多年的研究和实践,已经形成了比较配套的技术体系,在管理上也建立了系统的法规。但是在经济基础薄弱的国家,特别是生态脆弱地区,大型能源基地建设中强烈的人为活动,远远超过了当地环境的承受能力。如何协调能源开发、经济发展和环境建设三方面的关系,已经引起了有关方面的密切关注。

晋陕蒙能源基地位于黄河中游的陕北、晋西北和内蒙古南部接壤地带,总面积4.88万 km^2 ,人口密度20~40人/ km^2 ,社会经济落后,人均纯收入多在300元以下,是中国的主要贫困地区之一。基地煤炭储量占全国1/3,是我国下一个世纪重要能源供应地,对世界能源的地区平衡将会有巨大影响。基地内已探明煤炭地质储量2800亿t以上。均属低灰、低硫、低磷、高热量的优质动力煤和气化用煤,占全国优质动力用煤80%,煤层稳定、埋藏浅,便于露天开采。其中,神府—东胜煤田是黄河中游侏罗纪特大型煤田,探明储量2236亿t,含煤面积31172 km^2 ,远景储量6000—10000亿t,为世界七大煤田之一。近期开发的一、二期工程,主要分布于窟野河流域。在行政区划上位于陕西省神木县北部,府谷县西部,内蒙古伊金霍洛旗和东胜市南部及准格尔旗西南部。

几年来,煤田开发建设得到了国家及有关部委的高度重视,取得了巨大成就。包括包神铁路于1989年建成通车,神朔铁路已进入铺轨阶段,朔港铁路、黄骅港口正在进行前期准备工作,包府二级公路1989年建成通车,自备电厂一期工程1989年建成投产,二期工程正在加紧施工。神

府矿区累计完成建设投资 9 亿多元,开工矿井 7 对,建成大柳塔矿,一期 300 万 t 年洗煤厂筛分装车系统,大柳塔镇首采综采工作面建成投产;竣工房屋 27 万多 m^2 ,小区实现了路通、水通、暖通、电通。一座特大型现代化能源基地已初具规模。国家将西煤东运大通道首列为国家跨世纪四大工程之一,极大地提高了神府煤田建设在整个国民经济的中战略地位。到 2005 年左右,神府矿区将建设成为全国最大的,而且装备、机制、效率、效益全面赶超世界水平的现代化能源基地。

但是,恶劣的生态环境与工矿建设的发展极不适应。本区地处干旱与半干旱过渡地带,北邻毛乌素沙地和库布齐沙漠,南接黄土丘陵沟壑区。年降水量 250~450mm,干燥度 1.4~2.0。地形支离破碎,植被稀疏,生态环境极其脆弱。风蚀水蚀交错分布,水土流失面积占全区总面积的 86.5%,土壤侵蚀模数 1~3 万 $\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$,年均向黄河输沙 4 亿 t,占黄河总输沙量的 1/4,是黄河粗泥沙的主要来源地。干旱、风沙、滑坡泥石流、洪水等自然灾害频繁。因此,为了保证能源基地持续发展,以水土保持为中心的环境建设任务相当繁重。

本区一直列为生态环境研究的重点地区。随着煤炭资源的开发,资源和环境调查与评价研究愈加重要。80 年代组织的以水土保持和区域发展为中心的综合考察中,编制了土壤侵蚀、土地利用、农业生产、治理分区、水资源等系列报告和图件。“六五”期间,开展了“准格尔煤田开发对生态环境影响及治理对策的研究”;以及“黄河流域环境演变与水沙运行规律”(国家重大基金项目)。“七五”期间,开展对“黑三角”开发布局方案、两河两川粗沙区产沙与水土流失灾害、农业生产潜势评价及沿黄农业基地建立等进行了前期研究。“晋陕蒙接壤区工业和能源的发展与布局研究”。“八五”以来,开展了“神木水蚀风蚀交错带生态环境综合整治技术与试验示范研究”(国家科技攻关项目)和“晋陕蒙接壤区环境整治与农业持续发展研究”(国家科技攻关项目)、“晋陕蒙能源开发区人为活动对滑坡、泥石流灾害影响的研究”(中科院特别支持项目)。总之,上述资源环境调查研究和生态环境综合整治技术与试验示范研究,为晋陕蒙能源基地社会、经济与环境的持续协调发展奠定了基础,为全面开展本区环境建设积累了资料和经验。

国家一直对能源基地的环境问题予以高度的重视,李鹏总理委托宋健国务委员于 1993 年 12 月 12 日在榆林召开了国务院环保检查现场办公会议。会议认为,本区的生态环境破坏和环境污染问题相当严重,已经到了非解决不可的地步。会议部署了当前立即实施的治理措施,提出了设立国家能源基地生态保护综合试验示范区的设想,指出应把环境建设作为能源基地持续发展的保证和基础。

1.2 考察内容及主要成果

为了落实 1993 年 12 月国务院榆林现场办公会议的精神,在神府精煤分公司和地方有关部门的大力支持与协助下,从 1994 年 3 月初开始,对神府—东胜矿区一、二期工程环境效应进行了为期两个月的考察。考察总面积 600 余 km^2 ,涉及陕西、内蒙的两个县(旗)4 个乡(镇)。其中重点考查范围为乌兰木伦河主河道石圪台大桥至孙家岔大桥之间,活鸡兔沟入河口至石灰沟沟口,面积约 100 km^2 。该区集中了华能精煤公司的八大统配煤矿和乌兰木伦河流域内 80% 以上的地方煤矿。

考察以 1987 年中国科学院拍摄的彩红外航空像片及开矿前的图文资料为基础,采取现场调绘、实地量测、访问座谈以及统计调查等方法,详查了矿区一、二期工程对环境影响的范围、程度,分析了形成原因和发展趋势,进而提出了相应对策和需要进一步深入研究的问题。

考察共分四个阶段进行:第一阶段 3 月 1 日~10 日,确定考察范围、路线,拟定考察提纲;第二阶段 3 月 11 日~3 月 31 日,收集资料,准备航片及图件,组织队伍;第三阶段 4 月 1 日~30

日,野外考察;第四阶段5月1日~6月30日,考察总结,完成报告和图件。

1.2.1 考察专题及主要内容

1.2.1.1 人为水土流失评价。通过对研究区的开矿、交通、建筑及其它人为活动引起的水土流失现状、分布及发展趋势的调查和分析,着重解决下列问题:

- (1) 滑坡泥石流危害及其对策;
- (2) 地面塌陷原因及趋势;
- (3) 开挖面及松散堆积物侵蚀特征及其影响。

1.2.1.2 河道淤积与洪害评价。

- (1) 河床变化及开矿废石(土)弃碴分布;
- (2) 河道淤积物和清障量测算;
- (3) 河道淤积与行洪能力评价。

1.2.1.3 土地资源动态及利用演变评价。

应用遥感资料(1987年彩红外航空象片和1992年陆地卫星TM资料,结合地面调查,完成:

- (1) 大柳塔镇(比例尺为1:50 000)土地资源数量、质量的时空变化特征调查及评价;
- (2) 详查乌兰木伦河主川道开矿与其它建筑活动对土地影响,提出复垦及利用对策;
- (3) 调查煤矿建设对当地社会经济的影响。

1.2.1.4 水气资源破坏及污染评价。

- (1) 采矿引起的地下水位变化的范围、程度、趋势及影响;
- (2) 采矿引起的水质变化及大气污染。

1.2.1.5 植被动态变化评价。

- (1) 植被破坏现状与建造对策;
- (2) 调查区植被类型与盖度分布特征。

1.2.2 主要成果

(1) 专题报告:

土地利用动态分析;

矿区开发对植被影响;

人为加速水土流失现状及评价;

滑坡泥石流现状及危害;

矿区地面塌陷分布现状及趋势预测;

矿区河道淤积与行洪能力评价;

采矿对地表(下)水资源影响;

矿区水气污染评价。

(2) 专题图件:

大柳塔1987年土地利用现状图(1:50 000);

大柳塔1993年土地利用现状图(1:50 000);

主川道1987年土地利用现状图(1:10 000);

主川道1993年土地利用现状图(1:10 000);

调查区植被盖度图;

人为开挖面及松散堆积物分布图;

矿点分布图;

矿区河床动态图;

河道采矿废弃物分布图;

地下水动态变化图。

2 环境特征概况

2.1 特殊的地理位置

神府—东胜煤田地处鄂尔多斯高原东南及陕北黄土高原北缘的黄河中游地区,地理位置为 $37^{\circ}20'N \sim 40^{\circ}16'N$, $108^{\circ}36'E \sim 110^{\circ}36'E$ 。在地域上,属于黄河中游粗沙多沙河流窟野河的中上游支流乌兰木伦河流域,乌兰木伦河从北向南纵贯整个矿区,干流在矿区总长 87km,河道平均比降 2.8%。河道宽 1~2km,海拔 1 000~1 300m,属于典型的盖沙黄土丘陵地貌景观。矿区地理位置的特殊性在于它位于陕蒙两省区的交接地区,基本上以乌兰木伦河和活鸡兔沟为两省(区)的分界线。历史上,这里曾是汉族和少数民族角逐的拉锯地段,而今又是蒙汉两族人民共同开发,共同得益的地区;其次矿区的地理位置又是我国 21 世纪能源基地大转移的中心地带,对我国东西部经济发展的地区平衡以至全国的经济发 展区域平衡起着举足轻重的作用;其三,本区是欧亚大陆桥的必经之地,直接面向蒙古和独联体各国,在国际能源交流方面、地区平衡方面有着重要的价值。除此以外,正是神府—东胜矿区地理位置的特殊性决定了该地区在地域上的过渡性,环境表现出的脆弱性、敏感性和严酷性,水土流失的严重性以及地区的贫穷落后性。

2.2 环境地质地貌概况

神府—东胜煤田的地质构造单元属于华北地台的次级构造单元,鄂尔多斯台向斜的一部分,在中生代曾是陕北拗陷盆地的一部分,在盆地中沉积了巨厚的陆相碎屑物,即三迭、侏罗、白垩纪的中细砂岩类泥页岩地层。白垩纪末期燕山运动使地面整体抬升,处于剥蚀环境。至上新世,地壳稳定,又普遍沉积了三趾马红土。由于属稳定地台的一部分,长期以来,地壳未受到强烈褶皱和断裂活动,新老地层呈向西北缓缓倾斜的单斜构造,一般倾角 8° 左右,局部 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。进入第四纪伴随黄土高原全面抬升而抬升。整个第四纪以来,本区以间歇抬升为主,总升量达 80~100m,抬升的速率随时间推移而增加,目前仍处于抬升之中。白于山至府谷是黄土高原第四纪新构造强烈抬升中心之一,晋陕峡谷地区第四纪中更新世抬升速率达 2mm/a ,晚更新世 5mm/a ,全新世高达 12mm/a 。仅晚更新世以来,就抬升百米以上,新构造抬升活动的强烈进行是本区环境脆弱,侵蚀剧烈的主要基础因素之一。

正是由于该区位于过渡区,地面组成物质比较复杂。但其总的特点是结构疏松,极易风化,抗蚀性极差。出露的主要地层包括基岩,沙黄土和风成沙。基岩地层约占本区总面积的 18.45%,主要为一些砂页岩互层,结构疏松,且节理发育,当地俗称披砂岩(粗者),羊肝石(细者),抗蚀性极差。是河流粗泥沙的主要来源。皇甫川流域基岩产沙量达 69.51%,平均产沙模数达 $2.32 \text{万 t/km}^2 \cdot \text{a}$,比沙黄土高出 $0.53\text{t/km}^2 \cdot \text{a}$ 。但基岩是该地区浅层地下水源的唯一隔水层,一经破坏,由造成地下水源的流失。黄土是本区的最主要地面物质,分布面积约占 63.63% 以上。由于地处黄土高原北部边缘,原始堆积黄土又经近地面空气流的再次改造与分选,一般质地较粗,多为沙黄土,抗蚀性,结构性极差。亦是易侵蚀的主要物质之一。风成沙的大面积分布是本区区别于典型黄土丘陵区的主要特色之一。风成沙在本区主要表现为片沙或者叫流动沙。由于多为就地搬运

起沙,粒级较粗,危害极大。

由于新构造运动的抬升强烈,地面组成物质结构疏松,加之暴雨侵蚀力的强大,使得本区地面切割十分破碎。沟谷切割密度高达 $5\sim 8\text{km}/\text{km}^2$,大于切沟的沟谷密度达 $20\text{km}/\text{km}^2$,而且切割深度大,一般多在 $100\sim 150\text{m}$,使得本来比较平坦的地面被割切得支离破碎,平地面积分布极少。府谷县平地面积仅占 1.3% 。地形的破碎与起伏又引起了强烈的侵蚀,从而使恶性循环进一步加剧。

2.3 环境气候特征

神府—东胜煤田的气候环境属于半干旱干旱气候带,受蒙古高压的影响,干旱、风沙、暴雨成为本区环境严酷的突出特征。近30年发生了6个春旱年,10个夏旱年,9个秋旱年,几乎每年都有不同程度的干旱发生。该区年蒸发量 $1\,636\sim 2\,535\text{mm}$,是降雨量 $6\sim 7$ 倍。干旱的同时多伴随大风,大风又促进大旱,全区多年平均风沙日70多天,沙暴日 $4\sim 19$ 天,最长达43天。神木县平均沙暴日15天,东胜19天,大风和沙暴多集中于 $1\sim 5$ 月,尤以 $3\sim 4$ 月为最。这期间,不但风沙多,且风强度大,月平均风速 $2.5\sim 3.5\text{m/s}$ 。

区内年平均降水量 $350\sim 400\text{mm}$,但分配不均,而且多是暴雨。 $7\sim 9$ 月的降雨占全年的 $65\%\sim 70\%$ 。神木县历史上最大年降雨量 819.1mm ,而最少的年降水仅有 108.6mm (1965),农田几乎绝收。而1971年7月23~25日府谷县普降暴雨,中心区24h降雨 400mm ,形成山洪暴发,摧毁农田约 2.7万 hm^2 ,冲垮公路 71km ,致使交通中断。1976年8月18日窟野河出现1949年以后的最大洪峰,流量达 $1.38\text{万 m}^3/\text{s}$,冲垮了神木大桥。总之,干旱、大风、暴雨是本区气候上的主要特征,也是环境脆弱的重要表现。

2.4 水土流失、土地沙漠化的严重性

黄土高原水土流失的严重性闻名于世界,神府—东胜煤田又是黄土高原的剧烈侵蚀中心,是黄河泥沙最主要的来源区。由于生态环境极度脆弱,风蚀水蚀交替交错,相互促进,加之长期以来人们的不合理利用土地,促使土壤侵蚀十分剧烈。全区水土流失面积占总土地面积的 84% 。总侵蚀量达 6.48亿 t 。面积不足黄土高原总面积的 $1/6$,而侵蚀量却接近黄土高原总侵蚀量的 $1/3$ 。平均侵蚀模数达 $1.25\text{万 t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$,河流平均含沙量高达 $150\sim 300\text{kg}/\text{m}^3$,为黄河平均含量的8倍。窟野河最大侵蚀模数 $3.6\text{万 t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$,最高含沙量 $1\,640\text{kg}/\text{m}^3$,孤山川最大侵蚀模数达 6.64万 t ,为世界罕见。本区河流产沙对黄河下游的影响反映极其敏感,洪流量的大小决定着黄河干流的冲淤和行洪,决定着下游的安危。本区土壤侵蚀表现出来的最突出特征是超越平均状态的暴雨径流产沙现象十分频繁。同时,侵蚀四季发生,冬春以风蚀风化为为主的侵蚀方式占据优势,而夏秋以暴流产沙为其经常现象。不仅表现出侵蚀量大、强度高、四季发生,而且侵蚀类型极其复杂,是黄土高原土壤侵蚀类型最为复杂多样的地区。面蚀、沟蚀、重力侵蚀、风蚀、冻融侵蚀皆在。以泥石流、滑坡为代表的重力侵蚀在本区表现亦十分明显。据在皇甫川披砂岩区测定,重力侵蚀量占总侵蚀量的 $1/5\sim 1/3$ 。同时,风蚀又是本区土壤侵蚀区别于典型黄土丘陵区的重要特色之一。年风蚀产沙量约占河流泥沙量的 $20\%\sim 30\%$ 以上,由于强烈风蚀导致的土壤沙化面积占总土地面积的 53.15% 。其中重度沙化面积达 17.35% ,潜在沙化面积占 37.4% 。

2.5 区域贫穷落后性

神府—东胜煤田由于向来生态环境脆弱,地形破碎,自然条件差,开发粗放,到清代还是“地不亩计虽九天斯施,但人烟寥寥,鸡鸣犬吠不相闻”,反映了地广人稀这一历史事实。由于长期处于相对封闭状态,未能从周围地区获得丰富营养。与外界缺乏充分的物质、能量交流。长期缺乏

商品经济思想,对土地的依赖性极强,把一切希望寄托于土地,而土地的利用又为单一式的种植业,一切又寄希望于粮食,“吃粮、穿粮、用粮”。然而全区人均口粮不足 400kg,经济基础、文化水平极其落后。到 1985 年人均工农业总产值还徘徊在 400 元左右,农村人均收入不足百元,财政收入不能自给。国家财政补贴是本区财政收入的 2.7 倍。由于地域广阔,导致大面积的广种薄收,亩产不足 50kg。全区人口素质差,文化水平低,文盲及半文盲占农村人口的 40%~50%以上。神木县靠近城的郊区乡西沟乡六道沟村,总人口 430 余人,高中毕业生仅 2 人,初中毕业生不足 10 人。20 岁以下文盲占一半以上。经济落后贫穷,文化水平不发达成为该区开发建设的一个重要障碍。

3 煤炭开发极大地促进了当地经济发展和环境建设

神府—东胜矿区地处陕蒙边缘交接区,自然环境恶劣,交通不便,经济落后,开矿前一直是国家扶贫的重点地区之一。通过近 10 年的建设,目前已形成年产 1 000 万 t 煤炭的生产能力,包神铁路已经投入运行,包府二级公路也建成通车。大柳塔镇已经初步建设成为神府—东胜矿区煤炭生产、交通运输、生活服务和通讯指挥中心,为建设现代化煤田奠定了基础。同时也为当地经济发展和群众脱贫致富提供了机遇。以大柳塔镇为例,与开矿前相比,工业产值增加了 51 倍,乡镇企业产值增长了 43.6 倍,固定资产增加了 26 倍,全镇人均纯收入由 240 元增加到 885 元,有的村平均达到 3 000 多元,虽然主川道优质土地面积大量减少,由于改变了土地利用结构和强化了投入,农业产值仍增长了 3 倍。

由于经济条件的改善,提高了抵抗自然灾害的能力。大柳塔镇近年新修抽灌站 11 处,机井 18 眼,发展水浇地 2 000 多亩,新增农机具 230 多台。采矿业的发展对传统的农业改造提供了条件,一方面农业劳动力向工矿及服务行业转移,由开矿前占农业劳动力全镇劳力的 91%,到 1993 年下降为 53%;另一方面促进了多种经营发展和瓜果蔬菜副食品基地的建设,部分山坡地已退耕还草,土地利用结构日趋合理。

煤炭开采也在一定程度上促进了当地的环境建设。建矿之前,有关部门就组织了专业队伍对当地的环境进行了研究,并对可能出现的问题进行了评价和预测,也制定了一系的法规和制度。从华能精煤总公司到各直属单位都建立了专门的领导机构和实体组织,组织制定了水土保持与河道规划,把环境整治纳入煤矿建设的总体设计。目前已经植树近 100 万株,治沙面积 45km²,1994 年飞播林草 20.6km²,沿神包公路建设绿化带 23.2km。另外,还专门投资 498 万元建立苗圃基地,为环境建设中的绿化工程奠定了基础。

另外,在河道工程、复垦试验、沟道治理、水资源开发利用、污水处理等方面也取得了较大进展。

4 开矿及其它建筑活动引起了一系列环境问题

由于该区社会经济基础薄弱,生态环境脆弱,以水土流失、土地沙化为主要内容的环境问题本来就十分严重,再加上开矿过程中生态环境的保护和治理措施没有得到应有的重视,所以,大规模的人为活动引起了一系列新的环境问题。概括起来,主要有以下几个方面:

4.1 加剧了人为水土流失,诱发了新的环境问题

4.1.1 人为开挖和固体废弃堆积增加了侵蚀物质 本区地形破碎,植被稀疏,风蚀水蚀交错分布,是黄河粗沙的主要来源地之一。自开矿以来,由于地面开挖、矿渣和弃土(石)的堆

积,加剧了人为水土流失。本次考察通过实地量测,标绘出人工开挖面的范围、深度、岩性及堆积物的体积。据调查,新开挖面占沟坡面的10%~15%,矿区开发建设产生了大量松散固体废弃物,成为新的侵蚀物质源,是水土流失加剧和河床淤积的根本原因。考察区范围内现有松散固体废弃物约1391.77万 m^3 ,来源情况见表1。

表1 松散堆积物来源 单位:万t

采 矿			铁 路	公 路	采 石	其 它	合 计
井采	露采	小计					
368.46	811.35	1179.81	78.98	31.03	157.36	26.20	1391.78

在这些堆积物中,堆积于河道的有361.55万 m^3 ,直接构成行洪障碍,已列为首批清障对象;此外,约有196.29万 m^3 堆积于乌兰木伦河两岸支沟的沟道、沟坡。在汛期,特别在遇洪水暴雨情况下,仍将推入河道,威胁行洪安全,也必须采取措施坚决清理。

其余的松散废弃物虽然对河床淤积未构成直接威胁,但大部分未进行合理规划堆放,占用了耕地、林草地,又成为风蚀物质来源,造成环境恶化。因采矿、工程建设带来大量松散物质所引发新的水土流失和河床淤积已经成为矿区最突出的环境问题之一。神府—东胜精煤公司已开始规划和设立专门的排渣场,并采取了回填、推平、复垦等措施。

4.1.2 煤炭采掘引起了地面塌陷 神府东胜矿区煤层埋深浅。煤层上覆地层结构疏松,胶结程度不高,物理力学指标值低,且岩层水平,倾角仅3~5°。煤层厚度大,所形成的采空区范围大,加之地形破碎,暴雨多,从而使该地采煤塌陷具有易发生性、快速性及大规模性。目前矿区煤层开采仅仅是开始,塌陷已发现3处。

大柳塔矿区的双沟塌陷最为典型,大柳塔矿井现已掘进4.7km。94年3月考察,在距井口2.5~3.0km的主巷道范围内已发生大面积地裂缝和塌陷,其范围约200m。93年7月考察时,该地塌陷面积仅13亩,到本次考察时(94年4月)已发展为120余亩。地裂缝间距0.5~2.0m,列缝宽度一般0.25~0.45m,平均错距0.20m,最大错距0.4m。与原地面比较,最大沉陷达6.5m。该范围内地面原为流沙地,经人工栽种沙柳、沙蒿后,均已成为固定沙地,但发生地裂缝和地面塌陷后,裂缝处根系断裂,已发现植株枯萎或死亡,固定了的沙地又面临沙化的危险。

在刘石畔村的乡办瓦罗煤矿,其掘进范围的地面已发现多处地裂缝,尤其在梁坡部位,因地裂缝已出现半边山坡滑动现象,错位5~15cm。其临近的住房墙面多处发生裂缝,村民处于恐慌不安之中。该村使用30~50年的5口水井均已面临枯竭,村民不得不翻越百米深沟到乌兰木伦河取水。

在叨吓壕村附近的地下采煤引起大型塌陷漏斗,直径达40m,深度约15m,该巷道已经报废。

随着矿坑、井道的掘进和扩展,采空区范围愈来愈大,地裂缝、地面塌陷将会更加严重,尽管在煤炭开发初期,对这些问题有所预估,也进行了一些监测,但对该地区塌陷的发生过程、发展速度估计不足,也尚无相应措施。而且,一些中小型地方乡镇矿对此更无任何考虑。

4.1.3 矿区诱发了滑坡和岩崩危险 神府—东胜矿区地处黄土高原向鄂尔多斯高原的过渡交错地带,属于盖沙丘陵地形,基岩露头广,岩性胶结差,风化剥蚀强烈,泻溜侵蚀严重,滑坡发育不明显。但由于煤炭开采和工程、道路建设,诱发了滑坡、滑塌和岩崩。

在沿沟道、河道两岸采挖煤炭时,直接破坏了边坡稳定性,同时大量弃土、弃渣直接推入河道,迫使河床摆动,掏蚀河岸底部,从而诱发河岸及上部覆盖沙层滑塌和岩崩。公路、铁路建设过程中,因开挖路基破坏了岩层的稳定性,导致岩崩、滚石及基岩滑塌,常危及行人、车辆的安全。1993年4月发生在神榆公路距神木镇约3km处的基岩滑塌,体积达20万 m^3 ,使公路长约

200m 的路面,以及沿河护岸设施全部破坏,中断交通达 40 多天。神府二级公路距府谷县城 6km 处,1993 年 5 月 6 日发生基岩滑坡,体积达 70 万 m^3 ,将长约 100 余 m 的公路向孤山川水平推移 2.5m。同年 8 月 8 日于该路甘泥湾发生滑坡,沿路长约 210m、宽约 80m、厚约 35m 的基岩山体下滑,摧毁价值 67.24 万元的化工厂。

此外,在矿区范围内,沿沟道、河道两岸边坡,新建公路、铁路边坡,均堆放有大量弃土、弃石,堆积的自然坡角多在 40° 左右,未采取任何防护措施,除产生严重侵蚀外,还有潜在的滑坡危险。

4.1.4 人为泥石流灾害日趋严重 由于大量的废石弃碴堆放于山坡、沟道,暴雨情况下常暴发人为泥石流。乌兰木伦河大柳塔—店塔 40km 范围内有泥石流沟 40 余条,5 年来发生了 200 多次。在孙家岔—石圪台考察范围内,发现泥石流沟 24 条。大柳塔镇南不足 500m 的王渠沟,面积仅 4.3 km^2 ,主沟长 4.7km,百米以上支沟仅 29 条,发育泥石流沟 10 条,累计形成区面积 0.85 km^2 ,占全流域面积的 20%,占全部开挖面积的 90%。自 1992 年沟坡被开采以来连年暴发泥石流。1993 年在临近靠公路大海子村采石场发生了较大规模的人为泥石流,形成区面积不足 0.2 km^2 ,沟长 370m,落差 110m。泥石流堆积区沙石堆积物体积 3 000 余 m^3 ,越过包神公路,冲毁农田 8 亩,逼近乌兰木伦河岸边。在公路上堆积厚约 0.5~1.0m,延伸达 200m,致使交通中断,经济损失严重。

矿区泥石流多发生于交通干线上,当清理时,多被直接推入河道,又成为河流泥沙的重要来源。

4.2 河道弃土(石)堆积量大、淤积严重、行洪能力锐减

为了分析采矿前后河势变化和河道中淤积量的增减,在 1/万地形图上填绘河势现状和测算河道中松散堆积物的数量,与采矿前比较。并在河道内选择了有代表性的大柳塔公路桥、何家塌公路桥等的 8 个断面进行测量,与采矿前河床断面进行对比,计算出河床的冲淤变化。

考察河段河谷宽约 1km,河床宽 400~600m,纵比降 2.7%~3.5%,属较开阔的宽浅式河槽,洪水易淹沿岸的农田与设施。目前除大柳塔小区和矿区有防护堤外,其余均为天然岸坡。大柳塔至补连滩 20km 河段因露天采煤和有关的建筑活动,有 16km 河段主河槽改道。河床中沙砾石覆盖层厚 2~8m。有些地段 2~3m 以下即煤层,露天矿多分布于此。乌兰木伦河多年平均径流量 $2.19 \times 10^3 \text{m}^3$,枯洪悬殊,最大洪峰流量 9 760 m^3/s ,小至断流。多年平均输沙量 2 728.1 $\times 10^4 \text{t}$,汛期输沙量占全年的 96.7%。洪水含沙量一般大于 300 kg/m^3 ,最大达 1 640 kg/m^3 ,挟沙能力强,粒径大于 0.005mm 的粗沙占输沙量的 73.7%,极易产生淤积。

自 1987 年矿区大规模开发以来,交通、矿区建筑及河道露天采煤的大量排弃土石碴堆积于河道和沟坡,导致河道淤积严重,行洪能力锐减,危及矿区开发及沿岸工农业发展,主要表现在:

4.2.1 河道堆积物量大,严重影响行洪 经测算,乌兰木伦河和活鸡兔沟下游 7km 河道中现有土石碴堆积物 $361.5 \times 10^4 \text{m}^3$,高于河床 1~7m,最高达 18m,成片状、条状不规则分布。按堆积物来源可分为:修路、建筑和采沙石堆积为 $30.2 \times 10^4 \text{m}^3$,河道中露天采矿剥离沙石堆积量为 $331.3 \times 10^4 \text{m}^3$ 。按堆积部位分,位于洪水位以下河槽的堆积量为 $260.7 \times 10^4 \text{m}^3$,洪水位以上河道岸坡堆积量为 $100.8 \times 10^4 \text{m}^3$ 。这些堆积物既是河道淤积的主要泥沙来源,同时阻碍水流,易在堆积体前形成淤积,加速河道淤积。在堆积密集的河段,不仅减少过水断面和过洪流量,同时还壅高水位,产生涌浪和激流,扩大淹没范围,严重冲刷、掏空岸坡,破坏堤防工程,造成严重洪水危害。

4.2.2 采矿后河道淤积显著增加 采矿前,河床的冲淤变化基本上保持动态平衡,即大水冲、小水淤,年际冲淤交替。经这次考察测量,从1987~1993年,后补连滩至河口50.5km河段采矿后淤积总量为 $1\,516.8\times 10^4\text{m}^3$,冲刷总量为 $206.3\times 10^4\text{m}^3$,净淤积 $1\,310.5\times 10^4\text{m}^3$,平均每年增加淤积量 $187.2\times 10^4\text{m}^3$,比采矿前淤积量显著增多。淤积主要分布于何家塌公路桥至磁窑湾28km河段,淤积量为 $1\,219.5\times 10^4\text{m}^3$,占淤积总量的80%。其中大柳塔公路桥处淤积最大,淤高1~4.05m,平均淤高2.38m,严重影响该桥过洪能力,危及大柳塔矿工业区和生活区的安全。大柳塔下游15km的何家塌公路桥有冲有淤,平均净淤高0.25m,王道恒塔以下河道基本保持冲淤平衡。

4.2.3 采矿后河道输沙量骤增 据乌兰木伦河口王道恒塔水文站38年的实测资料分析,采矿后1987~1993年平均径流量为 $1.55\times 10^4\text{m}^3$,输沙量为 $1\,795\times 10^4\text{t}$;与此平均径流量相同(近)的采矿前(1962~1965,1971~1975,1980~1984)年平均输沙量为 $1\,060\times 10^4\text{t}$ 作比较,采矿后比采矿前输沙量增加了69.3%,平均年增加 $735\times 10^4\text{t}$ 。用次洪水径流量相近的洪水比较,采矿后比采矿前次洪水输沙量增加了51.2%,含沙量增加54.5%,粗沙比例增加了2.5倍,矿区开发加剧了河道淤积和增加了入黄粗沙。

4.2.4 河道行洪能力锐减,危及矿区及沿岸安全 考察中选择堆积、淤积严重的典型断面进行了测算分析。结果表明,大柳塔公路桥因淤积,过水断面减少了37.6%,行洪流量减少了38.8%。原设计可通过100年一遇洪峰流量($11\,700\text{m}^3/\text{s}$),现只能通过 $7\,166\text{m}^3/\text{s}$,仅相当于18年一遇洪水。因此石拱桥阻水断面面积大,现在:若遇50年一遇洪水将淹没大柳塔工业区,故该桥必须予以拆除。马家塔河道是露天采煤堆积最严重的河段,过水断面减少了29.6%,行洪能力减少了38.8%~44.6%,原来可通过50年一遇洪水的水位,现仅能通过10年一遇洪水,若遇50年一遇洪水,将淹没河道矿坑,并将危及马家塔露天矿的安全。

4.3 水气资源的破坏与污染

4.3.1 地下水资源遭到破坏 目前大柳塔矿区年矿坑排约450~500万t,其中精煤公司年排为53万t,乡镇及个体煤矿排水280万t,地方国营矿为120~150万t,吨煤排水系数最低为 0.16m^3 ,地方煤矿居中,乡镇矿最高 $1.68\text{m}^3/\text{t}$ 煤,个别乡镇矿高达 $6.91\text{m}^3/\text{t}$ 煤。矿坑排水加剧了地下水渗漏,减少了地下潜流。据民用水井调查,1987年以来井水位下降1.2~2.0m,平均每年下降0.24~0.4m。部分民井干涸,人畜饮水发生困难。据大柳塔矿双井沟和石屹台矿柳根沟等处调查,泉水涌出量减少了30%,至使部分灌溉设施报废,原先的水浇地变成了旱地。石屹台煤矿采区2号风井井口东南2.5km处的布袋壕村原有18眼多管井,其中两眼已经报废,已经建成的果园也面临严重威胁。

4.3.2 水质恶化 煤田开发使地表水体受到一定程度的污染。在煤田开发之前,乌兰木伦河沿岸及其支流中,多为农业区,废水排放量甚微,人为活动对水环境的扰动很小,河流水质良好,属清洁水。但是,近年来,随着煤田开发一、二期工程的展开和扩大,乌兰木伦河沿岸及其支沟中,不同规模的矿点星罗棋布,工矿生活小区及一些附属工业企业沿河岸而建。人口骤增,城市建设进程加快,用水量增加。其中生产性废水来自矿井井下污水,煤厂机修厂,车辆保养厂等部门;生活性污水来自住宅区的日常生活废水及医院等。这些废水不断排入过境河流,对水环境质量产生影响,使水质受到一定程度的污染。根据对乌兰木伦河的石屹台桥至孙家岔桥之间,及其支流(活鸡兔沟)流域几个断面的水质分析结果表明,河水中部分重金属和非金属元素的含量比本底值有所提高。铅的含量是本底值的5~7倍;汞含量是本底值的4倍,重金属含量是本底值的1.5

~2 倍, Gr^{2+} 是本底值的 2~5 倍, 锰含量是本底值的 10 多倍。非金属元素中, F 的含量是本底值的 2.5 倍, As 的含量是本底值的 1.5 倍。由重金属元素含量的沿程变化来看, 由于河流底质为细砂, 对金属离子的吸附能力弱, 多数重金属元素含量自上游至下游呈现增强的趋势, 工矿企业排放的污染物被带到下游河段中。根据综合评价结果, 尽管目前水质尚未达到严重污染, 但是已经呈现出由上游至下游水质变差的趋势。根据我们对活鸡兔沟矿井水和河水的水化学性质的分析, 结果表明, 高矿化度的矿井水排入河流中, 使河水的矿化度由 200mg/L 提高到 1 600mg/L, 由弱矿化度水变为高矿化度水。考察中发现, 在活鸡沟用高矿化度水灌溉农田, 土壤出现盐碱化。一些矿坑排水, 含有煤屑, 呈黑色浊水, 直接排入河道中, 污染河床, 污染河水。利用这种矿坑排水灌溉后, 土地表面沉积煤粉, 导致土壤理化性质变差, 危及作物幼苗生长。

4.3.3 大气污染状况 由于开发规模越来越大, 在装卸、运行过程中没有必要的防护设施, 煤粉和道路粉尘到处飞扬, 造成大气环境质量恶化, 据测试, 大柳塔集装站大气中悬浮微粒日均浓度为 17.65mg/m³, 超过大气环境质量二级标准 57.9 倍。1992 年大柳塔镇区大气中二氧化硫、氮氧化物、总悬浮量三项主要指标分别是 1987 年的 24 倍、3.8 倍、和 17 倍。

4.4 土地利用演变与资源退化

本次土地资源考察应用 1987 年彩红航空象片和 1993 年陆地卫星(TM)影像, 结合地面调查, 编制了两期土地利用现状图, 查清了大柳塔地区土地数量、质量变化的时空特征, 提出相应的防治措施, 为以后的矿区建设中土地保护与建设提供了依据。

4.4.1 工矿建设占地 自 1987 年开发开始, 大规模的开矿征地活动随之开始, 到本次考察时间为止, 工矿建设配套服务及交通运输等共占地 8 626 亩, 其中水浇地 5 231 亩, 占主川道内总征地面积的 60.7%。

4.4.2 水源亏缺, 水浇地变成了旱地 矿区建设导致地表水渗漏及地下水位下降。许多海子、水库、井水位下降, 原来的水浇地变成旱地, 许多有效水变成了无效水。据统计, 约有 500 亩水浇地已完全没有了水源, 还有 400 余亩水浇地水源已不能保证, 仅此一项就使粮食减产 30%~50%。

4.4.3 植被破坏加剧了土地沙化 采矿引起的塌陷及公路铁路建设开挖致使原先植被覆盖的土地变成裸地, 水土流失加剧, 同时加速了风蚀和土地沙漠化的速率。靠近道路的川、台地、坡脚线附近的土地均有不同深度的浅层沙粒, 受害范围约 15m 宽。

4.4.4 土地污染 矿区的煤、烟、废气对该地区的环境污染会越来越重, 特别是沿运输线附近的农地及林草地受危害最大, 煤粉随风飘散, 造成作物的死亡, 使粮食减产及土地生产力降低。另外, 废土、废石、煤碴乱堆乱放, 一遇洪水, 冲入河道, 污染水源, 进而导致灌区农地的污染。有的因缺少水源而直接抽取矿坑水灌溉, 污染土地, 发生农作物幼苗烧死和土地盐渍化现象。

5 建议

5.1 窟野河应尽快列为国家重点治理流域

窟野河流域位于黄河中游、鄂尔多斯高原东南部与陕北黄土高原北缘交接地区。介于东经 109°30'~110°50'; 北纬 38°20'~39°50' 之间, 地处毛乌素沙漠、库布其沙漠与黄土丘陵交错地带, 是河曲—龙门区间主要多沙粗沙支流之一。

窟野河流域总面积 8 706km², 其中水土流失面积 8 244.47km², 占流域总面积 95%, 窟野河干流长 241.8km。河口温家川水文站多年平均实测输沙量 1.151 亿 t, 占河龙区间同期实测来沙

量 7.747 亿 t 的 14.9%，其中矿区一期工集中地乌兰木伦河王道恒塔水文站输沙量为 2 940 亿 t，占温家川来沙量的 25.5%。粗沙量 ($\geq 0.05\text{mm}$) 占全沙量 56.3%，其中王道恒塔以上高达 76.3%。

神府—东胜煤田分布面积 26 565 km²，国家列入近期开发面积 2 756 km²，其中窟野河流域 2 482 km²，占矿区面积 90.06%。目前所有的新开煤矿绝大部分都集中于该流域，公路、发电厂、洗煤厂等配套设施兴建，已经带来了一系列新的环境问题，使本来就十分脆弱的环境更加恶化，能源开发与环境建设的矛盾愈加突出。应尽快列入国家重点治理流域，以保证国家煤炭基地建设的顺利进行。

5.2 晋陕蒙接壤区能源开发的环境建设研究应列入国家重点研究课题

晋陕蒙接壤区环境问题的实质是十分脆弱的生态环境与建设大型现代化能源基地的矛盾。该区水土流失、沙化、干旱、洪水、植被稀疏，水资源贫乏、土地生产力低下等脆弱因素本来就十分突出。大型能源基地的建设又加剧了这一矛盾。这些环境因素的性质、动态变化、发展趋势，及如何向有利方向的调控，都需要加以系统而深入的研究，但是该区历史上的研究基础较为薄弱。为了国家 21 世纪主要能源基地建设顺利进行，把该区的环境建设，包括环境因素动态监测，试验示范工程和专项技术体系的建立列为“九五”国家科技攻关项目是十分必要的。

为此需要进一步进行该区域环境问题的预研究，尽管此次考察获得了很多新资料、新观点，但受经费和时间所限，许多问题尚有待深入展开。区域背景也需要尽快获取中比例尺红外航片，以做为“九五”立项的主要依据和进一步开展区域研究的基础。

5.3 研究内容

5.3.1 资源开发—环境建设—社会经济协调持续发展的时空优化模式及环境动态监测研究 综合考虑“资源开发—环境建设—社会经济”之间的复杂关系，动员社会各界的广泛参与和支持，从不同时空尺度，利用科技、经济、法律法规、政策、教育等手段，制定基地持续发展的优化模式并在实践中予以实施，对实施过程，特别是环境问题跟踪监测，及时反馈给生产、管理、决策和地方部门，并对有关方面做出适时的调整，达到系统的持续发展。

(1) 区域“资源开发—环境建设—社会经济”协调持续发展的时空优化模式。

以晋陕蒙接壤区、分区、矿区等不同尺度，研究社会、经济、环境之间的关系，从比例、规模、速度等方面提出协调持续发展的方案，并对完成实施效应做出快速而准确的反馈，由“专家系统”给出调控对策。

(2) 建立环境动态综合监测网络系统。

尽快建立由地面监测网(水文站，气象站，径流泥沙观测点)、试验示范研究观测、多层遥感数据有机结合而成的综合监测网络系统。开展对人为加速土壤侵蚀、土地退化和沙化、沟道和采矿点废弃物堆积、滑坡、泥石流、地面塌陷、植被破坏与建设、水资源及其污染、入黄泥沙动态、环境建设工程及效益、社会经济发展等问题的动态监测。

(3) 建立环境管理和预警信息系统。

研究各环境因子之间的复杂关系，对环境发展趋势做出准确判断与预测，为管理者、生产者提供可供选择的方案和途径。同时对突发性事件和过程提供预警服务。

5.3.2 基地建设的重大环境限制因素及其治理专项实用技术体系研究 脆弱的生态环境已经成为能源基地建设的重大限制因子；煤炭开发、道路和工程建设等人为活动引发了新的环境问题。对全区性的重大环境限制因素的发生发展和趋势进行全面系统研究，并提出专项治理技

术,做出工程性示范。

(1) 土壤侵蚀防治技术体系。

水蚀、风蚀交互作用,是本区强烈土壤侵蚀的特点;另一方面煤炭开采、公路、铁路、桥梁、建筑等工程建设搅动地层(基岩、土层)和并生产松散堆积物(弃土、弃石、弃碴),形成了新的水土流失,加速了土壤侵蚀,并酿成滑坡、泥石流和河道淤积等灾害。研究提出防治风蚀、水蚀以及基地建设中人为加速侵蚀的技术体系。

(2) 土地退化与恢复重建技术体系的研究

本区地处毛乌素沙漠边缘,是沙尘暴源头和主要受害地。晋陕蒙接壤区及其周围地区原有沙漠化土地及大型工程造成的沙化土地,不仅破坏了土地生产力,而且加剧了风沙流危害。开矿也导致了土地的退化(土地旱化、土壤结构破坏、土壤污染等)。应对其进行系统研究并提出治理、恢复重建技术和最佳的利用模式。

(3) 固体废弃物(碴、石、土、灰)处理和利用技术和河道、沟道整治技术。

本区矿点多分布于沟道两侧,开矿活动对河床沟道的挤占和废弃物(碴、石、土、灰)的堆积,不仅占用或破坏了当地有限的农耕地,而且对河道变化、河床形态(纵横比降等)、产沙输沙也发生重大影响。危及河流沟道安全行洪度汛。对施工工地、工程设施、和居民地、交通和输电线路也构成了严重危害。本专题主要研究这种变化产生的环境效应,以及治理技术体系。如废渣(掘井选煤排矸、工业锅炉、生活垃圾等)处理技术;防洪护矿坝系配套工程(防洪工程;拦泥淤地工程;拦碴护岸工程等)建设技术。

(4) 水资源保护、调控与高效利用技术

脆弱生态环境下,水资源具有极大的不稳定性和有限性。煤炭开发,导致了浅层地下水的渗漏与流失,地下水位下降和泉水涌水量的减少,严重影响工农业生产和生活用水。随着基地建设规模的扩大,这一问题还将日益突出。切实查清开发前后水的循环和平衡特征,研究提出矿区、农田高效利用水资源的技术体系和水资源的人工调蓄技术、矿井排水的循环再利用技术,提出大型电厂、化工厂等高耗水企业用水的解决途径。

(5) 植被快速建造及草场改良技术体系。

能源基地的持续发展,要求建设更大范围和更高质量的植被以创造一个绿化、美化的生产生活环境,并提供部分农副产品。而能源基地建设又在部分地段引发了植被的退化,植被建设成为本区环境整治和建设中的首要问题。研究引进新的灌木树种、草种,并建立快速繁殖基地;提出大面积植被快速建造技术和天然草场改良技术;建立矿区防止风沙侵袭的绿色屏障系统。

5.3.3 环境整治定位试验示范区建设 由于环境问题具有多种要素和多种过程的综合作用特点,同时在地区上具有明显的差异性,对环境要素、环境过程进行定位试验研究,以其成果为依托开发适用于环境治理的实用技术,并予以实施,提供示范样板;然后推广到一定的区域。这种模式被实践证明是区域环境建设中一个十分有效的方法。因其集研究、治理、示范于一身,所以应为本项目的主要和重点内容。

参考文献

- 1 神木县土地管理局、神木县土地资源调查办公室. 神木县土地资源, 西安地图出版社, 1993
- 2 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀特征及其治理途径. 中国科学技术出版社, 1990

(下转第 53 页)

参考文献

- 1 中国 21 世纪议程. 中国 21 世纪人口, 环境与发展白皮书. 中国环境科学出版社, 1994
- 2 A. N. 斯特拉勒, A. H. 特拉勒. 现代自然地理学. 科学出版社, 1986
- 3 杜恒俭等主编. 地貌学与第四纪地质学. 地质出版社, 1981
- 4 张咸恭, 黄鼎成等. 人类活动与诱发灾害. 中国科学地学部, 中国自然灾害灾情与减灾对策, 湖北科技出版社, 1990
- 5 唐克丽主编. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其防治途径. 科技出版社, 1991, 3
- 6 张平仓等. 神木试区六道沟流域环境地貌特征. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, 18
- 7 陈静生编著. 环境地学. 中国环境科学出版社, 1986

(上接第 17 页)

- 3 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区北部风沙区土地沙漠化综合治理. 科学出版社, 1991
- 4 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区综合治理开发简要报告集. 中国经济出版社, 1992
- 5 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤资源及其合理利用. 中国科学技术出版社, 1991
- 6 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区工矿和城市发展的环境影响及其对策. 科学出版社, 1991
- 7 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区水资源问题及其对策. 中国科学技术出版社, 1990
- 8 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区能源资源的合理利用及农村能源解决途径. 科学出版社, 1991
- 9 张平仓等. 皇甫川流域河口悬移质泥沙来源数量分析. 水土保持学报, 1989(4)
- 10 任京柱等. 神府煤田开发对水土流影响的评价及预测. 神府地区资源与环境遥感调查及制图, 科学出版社, 北京, 1994
- 11 唐克丽等. 黄河中游大型煤田开发对侵蚀和产沙影响的研究. 黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化, 中国科学技术出版社, 1994
- 12 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊. 第 18 集, 第 9 集, 1989, 1994
- 13 黄委会黄河中游治理局. 窟野河流域综合治理规划报告. 1989
- 14 甘枝茂. 陕晋蒙三角地区的土壤侵蚀. 水土保持学报, Vol. 2, No. 3, 1988 年 7~9 月
- 15 刘利年. 国内外开发工矿区造成的恶果和复垦经验. 水土保持通报, 1986 年第 2 期
- 16 金书源、白述英. 开发鄂尔多斯煤田, 要特别重视水土保持和环境保护. 水土保持通报, 1986. No. 2
- 17 陕西省神府煤田水土保持考察组. 神府煤田潜在危害, 综合治理刻不容缓. 水土保持通报, 1986. Vol. 6 No. 5
- 18 李学曾. 陕晋蒙能源开发区粮食基地的国土整治. 水土保持通报, 1988. Vol. 2 No. 3
- 19 谢永生等. 陕晋蒙能源开发区粮食基地的国土整治. 水土保持通报, 1988. Vol. 2 No. 3
- 20 张胜利等. 神府东胜煤田开发对侵蚀产沙的影响. 水土保持通报, 1992. Vol. 6 No. 2
- 21 侯庆春、唐克丽. 晋陕蒙接壤区水蚀风蚀交错带生态环境特征. 水土保持通报, 1994. Vol. 14 No. 2
- 22 王治国等. 黄土区大型露天矿排土场岩土侵蚀及其控制技术的研究. 水土保持学报, 1994. Vol. 8 No. 2
- 23 杨勤科等. 晋陕蒙煤田开发区的环境与农业. 西北国土开发与地理建设, 西北农业大学出版社, 北京, 1992