

# 陕北现代化煤炭开采区土地沙漠化影响及原因 ——以大柳塔—活鸡兔矿区为例

李智佩<sup>1,2</sup>, 徐友宁<sup>1</sup>, 郭莉<sup>1</sup>, 陈华清<sup>1</sup>, 徐永<sup>2</sup>, 王岷<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069)

**摘要:** 为了弄清楚陕北现代化煤炭开采对沙漠与黄土交界处土地沙漠化和地质环境的影响, 以神府煤田的大柳塔—活鸡兔矿区为例, 采用遥感解译、大比例尺地面调查以及 GIS 技术, 对矿区近 20 年来煤炭开采区沙漠化土地及地质环境的演化特征进行分析, 探讨了土地沙漠化的影响因素。结果表明: 近 20 年来研究区土地沙漠化总体呈好转趋势, 1986—1996 年是矿区沙漠化好转的主要时期, 主要因为该时期煤炭开采规模较小, 采空塌陷区增加缓慢; 20 世纪 80 年代中期以来, 矿区因煤矿采空所形成的塌陷区面积不断扩大, 但采空塌陷至少对严重和中度沙漠化土地的影响微弱; 1996 年以来, 随着煤炭开采力度不断加大, 采空塌陷区面积呈指数增长, 但土地沙漠化仍处于一个相对稳定的时期; 煤炭资源开发造成大面积地面塌陷和裂隙、地下水水位下降、泉水流量减少甚至干涸, 以及地表径流减少等, 会导致区域生物多样性的减少和湿地植被的演替, 使生态环境更加脆弱。因此, 影响矿区土地沙漠化的主要因素是气候变化和其他人为因素, 而不是矿区生态特征和采空塌陷因素。设立重要的生态环境和水资源保护区是保护有限的水资源和生物资源必要手段, 也是减轻土地沙漠化的重要途径。

**关键词:** 煤炭开采; 沙漠化; 地面塌陷; 水资源; 地质环境; 陕西省

**中图分类号:** X141 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)04-0398-06

## Impacts and Causes of Land Desertification in Modern Coal Mining Districts in the North of Shaanxi Province ——a Case Study from Daliuta-Huojitu Mining District

LI Zhi-pei<sup>1,2</sup>, XU You-ning<sup>1</sup>, GUO Li<sup>1</sup>, CHEN Hua-qing<sup>1</sup>, XU Yong<sup>2</sup>, WANG Min<sup>1</sup>

(1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

**Abstract** In order to make up the impacts of modern coal mining on land desertification and geologic environment at the junction of desert and loess in the north of Shaanxi Province, based on remote sensing interpretation, GIS and field investigation on large scale taking Daliuta-Huojitu mining district of Shenfu Coalfield as an example, evolution characteristics of land desertification and geologic environment of coal mining district in the last 20 years were analyzed, influencing factor of land desertification was discussed. The results showed that land desertification was on a decreasing tendency during the last 20 years, the main period of land desertification decreasing was from 1986 to 1996, the main reason was that scale of coal mining was small in the period and the subsided area increased slowly; since the 1980s, the subsided area caused by coal mining in the district was keeping expanding, but the subsided area had little influence on serious and moderate land desertification at least; since 1996, although the coal mining increased continuously, the subsided area increased exponentially, but land desertification kept relative stable; coal exploitation caused large surface collapse and fissure, water table depression, discharge of spring decreased (even dried), surface runoff decreased, and so on. Therefore, the main factors influencing land desertification in the mining district were climate change and others, not ecological characteristics and mining collapse. The effective mean is to build ecological environment and water resources conservation district, which also improves land desertification.

**Key words:** coal mining; desertification; ground subsidence; water resource; geologic environment; Shaanxi Province

收稿日期: 2010-06-22

基金项目: 中国地质调查局项目(1212010535208)

作者简介: 李智佩(1962-), 男, 陕西西安人, 研究员, 理学博士, 从事第四纪地质与环境地质研究。E-mail: lzplxx@126.com

# 0 引言

近 20 年来, 陕北煤炭资源开发逐渐成为推动地方社会经济发展的主要动力, 也是改变地区社会经济结构的重要产业。据统计, 榆林地区 2006 年国民生产总值  $436 \times 10^8$  元, 以煤炭、石油天然气等为主的工业占该地区总产值的 60% 以上, 成为中国第一产能大市<sup>[1]</sup>。随着煤炭资源开发强度的不断增加, 矿业开发所带来的环境问题更加受到人们的广泛关注, 也产生了两种截然不同的认识: 第一, 认为煤炭资源开发对生态环境造成了严重破坏<sup>[2-3]</sup>, 水土流失加剧<sup>[3]</sup>, 地下水地表水环境改变、地面变形、地裂缝和地表塌陷、边坡滑坡塌陷等环境地质问题<sup>[4-5]</sup>, 防沙林枯萎死亡、沙漠化土地面积增加<sup>[5-7]</sup>; 第二, 矿产资源开发使得矿区的生态环境不断改善<sup>[8]</sup>, 土地沙漠化在逆转<sup>[9-10]</sup>。产生两种认识的原因主要有: 研究或报道的时间不同; 研究者或报道者的出发点不同或者认识问题的角度不同; 工作精度不同或者针对性不强。此外, 在矿区生态环境研究中, 定性研究与报道较多, 定量与深入研究少, 这些均是造成对煤炭开发引起生态环境变化认识不同的原因。笔者将在调查大柳塔—活鸡兔矿区沙漠化土地现状和变化趋势及其与人类活动关系的基础上, 研究气候、水文和水文地质条件变化等对植被生长的影响, 分析自然因素对沙漠化和生态环境的影响, 探讨矿区生态环境改善的途径。

大柳塔—活鸡兔矿区位于陕西省北部神木县大柳塔镇窟野河中游两侧(图 1), 西起活鸡兔沟中游, 东至李牛川; 北起活鸡兔沟—哈拉沟, 南至敏盖兔沟一线。地理坐标为东经  $110^{\circ}07' \sim 110^{\circ}03'$ , 北纬  $39^{\circ}22' \sim 39^{\circ}10'$ , 总面积  $230.54 \text{ km}^2$ 。研究区地处毛乌素沙地与黄土丘陵沟壑区和鄂尔多斯剥蚀高原的过渡地带, 以风沙地貌为主, 兼有覆沙黄土丘陵景观。植被以沙地植被占绝对优势, 土壤以风沙土和黄土为主。

# 1 研究方法

为了定量掌握近 20 年来大柳塔—活鸡兔矿区生态环境与土地沙漠化的时空演化, 深入分析煤炭开采造成的地面塌陷、地下水水位下降等因素对土地沙漠化的影响, 笔者采用大比例尺(1 : 50 000)遥感解译和地面调查相结合的方法, 研究矿区和塌陷区以及非塌陷区土地沙漠化和生态环境变化的关系: ①选取季节基本相同(每年 6~9 月)的 2005 年 SPOT-1986 和 1996 年的 TM 卫星遥感数据, 制作遥感影像, 依据沙漠化土地的分类与分级及其与植

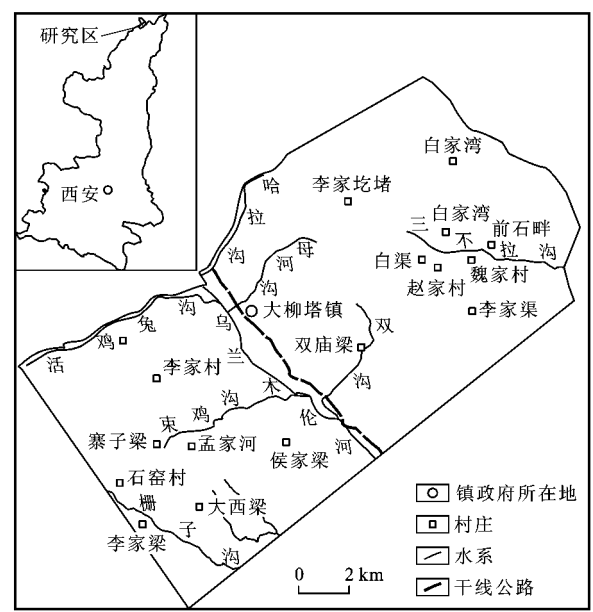


图 1 研究区交通位置

Fig. 1 Location of the Study Area

被的关系<sup>[11]</sup>, 建立解译标志, 进行室内初步解译; ②开展野外实地调查, 收集矿区和塌陷区植被类型、覆盖度以及土地利用资料, 调查地面塌陷区的面积、时间序列和塌陷特征以及地下水和地表水变化情况, 同时, 对沙漠化遥感解译进行验证、对解译标志进行修正; ③根据野外调查结果, 编制矿区 3 个时间段的沙漠化土地分布图, 查明不同时期沙漠化土地分布; ④利用 MAPGIS 软件对沙漠化土地分布进行空间分析, 得出近 20 年来矿区及塌陷区沙漠化土地时空演化特征; ⑤根据地面塌陷区与其相邻地区地下水与植被类型和覆盖度的变化情况, 结合区域气候变化(主要是降雨量和风力变化)分析, 研究地表水、地下水环境以及气候变化等自然因素对土地沙漠化和地质环境的影响。

# 2 近 20 年来矿区沙漠化土地时空演化

## 2.1 矿区沙漠化土地演化总体特征

大柳塔—活鸡兔矿区沙漠化土地分布广泛, 总体上以轻度和潜在沙漠化土地为主(表 1), 中度沙漠化土地较少。2005 年, 研究区内没有严重沙漠化土地; 中度沙漠化土地面积为  $1.29 \text{ km}^2$ , 仅占研究区总土地面积的 0.6%。轻度沙漠化土地面积  $34.30 \text{ km}^2$ , 占研究区土地总面积的 14.9%; 主要呈 5 大片分布在大柳塔矿区; 在活鸡兔矿区, 轻度沙漠化土地仅有零星分布。潜在沙漠化土地面积  $39.86 \text{ km}^2$ , 占研究区土地总面积的 17.3%。

20 世纪 80 年代中期以来, 沙漠化土地面积不

断减少,沙漠化程度不断减轻(表 1)。1986—2005 年,轻度及以上的沙漠化土地由 45.63 km<sup>2</sup> 减少到 35.59 km<sup>2</sup>(表 1)。其中,严重沙漠化土地 1986 年有 1.98 km<sup>2</sup>,2005 年为 0;中度沙漠化土地大幅度减少,由 13.52 km<sup>2</sup> 减少到 1.29 km<sup>2</sup>,减少率为 94%。轻度沙漠化土地面积有所增加,1986 年为

表 1 大柳塔—活鸡兔矿区不同年份沙漠化土地面积与变化特征

沙漠化等级	面积/km <sup>2</sup>			面积增减/km <sup>2</sup>			减少率/%		
	1986	1996	2005	1986—2005	1986—1996	1996—2005	1986—2005	1986—1996	1996—2005
重度	1.98	1.57	0.00	−1.98	−0.41	−1.57	100.0	20.67	100.0
中度	13.52	3.56	1.29	−12.22	−9.96	−2.27	90.4	73.66	63.7
轻度	30.13	27.66	34.30	4.17	−2.48	6.64	−13.8	8.22	−24.0
非沙漠化	184.91	197.95	194.92	10.00	13.03	−3.03	−5.4	−7.05	1.5

在空间上,近 20 年来,大柳塔矿区和活鸡兔矿区沙漠化演化略有不同。大柳塔矿区沙漠化等级的降低区(好转区)基本上与 20 世纪 80 年代中期的严重沙漠化土地分布区一致,主要分布在哈拉沟上游、母河沟上游、白渠西北地段、三不拉沟上游的赵家村—魏家村—前石畔一带、敏盖兔沟上游—三不拉一带以及双沟下游地区等。沙漠化发展区(恶化区)主要集中在母河沟下游、双沟中上游—白家湾一带,其他地区有零星分布。活鸡兔矿区沙漠化以稳定为特征,显著减少的地区集中分布在五道沟下游地区。

2.2 煤炭采空塌陷区沙漠化土地演化特征

20 世纪 80 年代中期以来,矿区因煤炭采空所形成的塌陷区面积不断扩大(图 2)。据统计,1993—2005 年研究区共有 43.85 km<sup>2</sup> 的地面塌陷区。塌陷区轻度以上的沙漠化土地由 9.20 km<sup>2</sup> 增加到 10.25 km<sup>2</sup>,增加了 1.05 km<sup>2</sup>(表 2)。其中,严重沙漠化土地在 1986 年有 1.45 km<sup>2</sup>,2005 年为 0;中度沙漠化土地大幅度减少,由 4.26 km<sup>2</sup> 减少至 0.40 km<sup>2</sup>,减少率为 90.6%。轻度沙漠化土地面积不断增加,由 1986 年的 3.49 km<sup>2</sup> 增加到 2005 年 9.85 km<sup>2</sup>,净增 5.36 km<sup>2</sup>。在不同的时间段上,1986—1996 年塌陷区的沙漠化土地面积变化不大,由 9.20 km<sup>2</sup> 减少到 8.8 km<sup>2</sup>。1996—2005 年沙漠

表 2 大柳塔—活鸡兔矿区采空塌陷区沙漠化土地变化特征

级别	面积/km <sup>2</sup>			增减面积/km <sup>2</sup>			减少率/%		
	1986	1996	2005	1986—2005	1986—1996	1996—2005	1986—2005	1986—1996	1996—2005
严重	1.45	1.04	0.00	−1.45	−0.41	−1.04	100.0	28.3	100.0
中度	4.26	0.93	0.40	−3.86	−3.33	−0.53	90.6	78.2	57.0
轻度	3.49	6.83	9.85	6.36	3.34	3.02	−182.2	−95.7	−44.2
非沙漠化	34.66	35.06	33.59	−1.07	0.40	−1.47	3.1	−1.2	4.2

30.13 km<sup>2</sup>,2005 年增加到 34.30 km<sup>2</sup>,净增 4.17 km<sup>2</sup>。在不同时间段上,1986—1996 年是沙漠化土地的主要减少时期,沙漠化土地面积由 45.62 km<sup>2</sup> 减少到 32.78 km<sup>2</sup>,平均每年减少 1.28 km<sup>2</sup>。1996—2005 年沙漠化土地面积略有增加,由 32.78 km<sup>2</sup> 增加到 35.59 km<sup>2</sup>,平均每年增加 0.28 km<sup>2</sup>。

化土地面积由 8.8 km<sup>2</sup> 增加到 10.25 km<sup>2</sup>,平均每年增加 0.245 km<sup>2</sup>。

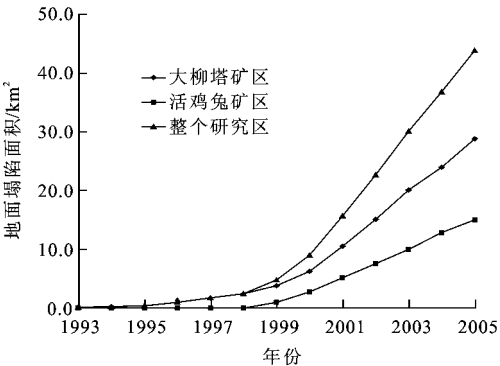


图 2 20 世纪 90 年代以来大柳塔—活鸡兔矿区采空塌陷区面积变化

Fig. 2 Changes of Subsided Areas in Daliuta-Huojitu Mining Districts Since the 1990s

20 世纪 90 年代中期以后,因煤炭开采导致采空塌陷区迅速增加(图 2)。1993—1998 年地面塌陷面积共计 2.44 km<sup>2</sup>,年均增加仅 0.46 km<sup>2</sup>;1999 年以后,地面塌陷面积平均年增加 3.57 km<sup>2</sup>。这表明煤炭开采引起的大规模地面塌陷始于 1999 年。从表 2 可知,1996—2005 年,严重沙漠化和中度沙漠化土地面积都在减少。这说明采空塌陷至少对严重和中度沙漠化土地的影响微弱。

研究表明, 活鸡兔矿区采空塌陷区沙漠化等级保持稳定的土地面积占 97.7%, 说明采煤对该地段土地沙漠化影响很小, 或者说在影响该矿区土地沙漠化的因素中, 煤炭开采并不是决定性因素。大柳塔矿区采空塌陷区沙漠化土地变化特征为: 沙漠化增加、稳定和减少的土地面积分别为 2 54、22 63、2 78 km<sup>2</sup>, 分别占采空塌陷区土地面积的 9.10%、80.95%和 9.95%。这说明近 20 年来, 大柳塔矿区采空塌陷区土地沙漠化基本保持稳定, 沙漠化土地增加面积与减少的面积基本相当。

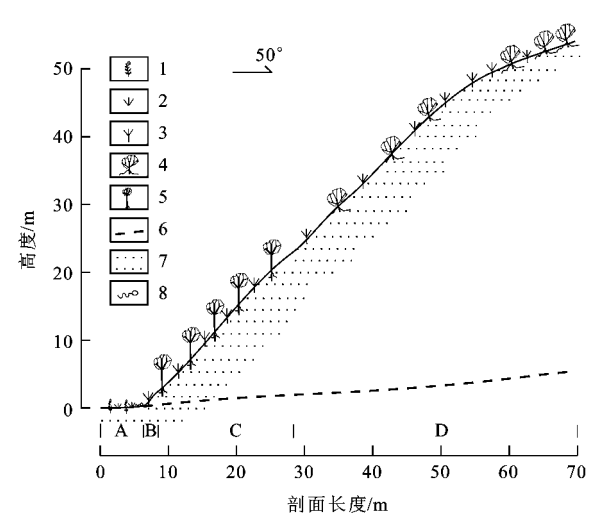
### 3 土地沙漠化影响因素分析

研究表明, 近 20 年来, 尽管采空塌陷区不断扩大, 但沙漠化土地面积并没有相应扩大。那么, 采空塌陷及其所引起地表水枯竭、地下水水位下降等又是如何对生态产生影响? 笔者认为, 取决于该地区的生态系统、地貌、地表水和地下水条件及其变化特征。

#### 3.1 研究区生态特征

受气候、地貌、土壤和水环境的影响, 研究区形成了以旱生植被为主、河流沟谷中分布着喜湿植被的生态系统, 包括乔木、灌木、旱生和水生草本植物等。乔木以杨树、旱柳、樟子松、油松等为主; 杨树多为 20 世纪 50~70 年代栽植, 树龄长、长势较差, 现多已转化为生态林, 死亡率较高。旱柳一般分布在沟谷两侧或者田间地头, 因绝大多数已经不再进行头木作业, 导致抽条减少、生长减缓, 粗枝大部分死亡, 对旱柳生长造成影响。针叶树主要为 20 世纪 90 年代中期以后栽植, 目前多为幼林, 其生态效益尚未完全发挥。灌木是本区最主要的植被, 分布范围广, 以沙蒿(半灌木)、沙柳、柠条、沙打旺、踏郎、花棒等为主, 是宜生植被, 生态环境效益显著。一年至多年生草本也是区内重要植被类型, 可分为旱生草本和水生草本。前者包括禾草、针茅、地稍瓜、兔唇草、蒺藜、兔丝子、牛筋子、牛心卜、苦菜、野苜蓿、野薄荷、蒲公英、龙葵、打碗花、醉马草、棘豆、沙米、沙蓬、沙竹、大戟、蓝刺头、扫茛等, 大多生长在固定沙丘地、林地或者黄土区; 半固定和流动沙丘上的植被种类和数量均很少, 主要包括沙米、沙蓬、沙蒿、沙竹等。水生植物包括芦苇、水蓼、水芹菜、薄荷、反枝苋、旋覆花和苔藓等, 分布在沟谷及泉水出露点周围。

矿区生态系统中, 地表水、地下水与植被的关系, 以哈拉沟沟脑的生态地质剖面(图 3)为代表。剖面上的植被, 自下向上可以分为 4 个带: ①泉水出



A—水草与喜水草带; B—喜水草带; C—乔木林带; D—灌木林带; 1—水草; 2—喜水草; 3—旱生草; 4—灌木; 5—乔木; 6—潜水面; 7—沙层; 8—潜水溢出带(泉水出露点)

图 3 哈拉沟沟脑泉水溢出带地质剖面  
Fig 3 Geologic Profile of Spillpoint in the Head of Halagou Ditch

露点以下地表径流区为喜水植物和水生植物带, 植被覆盖度高, 以草本植物为主, 植物复杂多样, 包括芦苇、苔藓、水蓼、水芹菜、薄荷、苜蓿、针茅、反枝苋、蒲公英、禾草、山葡萄、地稍瓜等, 在地势较低的积水地带, 还有沼生植物如泽泻、马蹄草等, 该带向下一直延伸到哈拉沟沟口, 是目前区内生物多样性最好的地区; ②泉水出露点以上、地下水埋深小于 2 m 的喜水草带, 覆盖度高, 大部分为 70%~80%, 植物种类也较多, 有龙葵、山葡萄、野豌豆、艾蒿、线叶菊、薄荷、针茅、反枝苋、禾草等, 但水生植物消失; ③泉水出露点以上、地下水埋深小于 15 m 的乔木林带, 以乔木为主, 乔木、草本和灌木混生, 覆盖度在 20%~40%, 乔木为小叶杨, 草本有艾蒿、针茅, 灌木有沙蒿、踏郎; ④泉水出露点以上、地下水埋深大于 20 m 的灌木带, 覆盖度中等, 为 20%~50%, 在较陡的山坡上低, 在平缓地带高, 植被较为简单, 以旱生灌木和草本植物为主, 如沙蒿、沙柳、踏郎、花棒、沙蓬等。

由于研究区以覆沙黄土丘陵地貌为主, 沟壑区所占面积很小, 造成矿区大部分地区地下水埋深大于 3~5 m, 生态系统中以旱生植被为主, 水生或喜水植被仅在河流沟谷或低洼地带中分布。因此, 区域上地表水枯竭、地下水下降对生态环境和沙漠化土地的影响比较有限, 即集中分布在河谷及地下水埋深较小的地带。

#### 3.2 采空塌陷因素

对矿区 25 处泉和 23 处民用水井的调查表明,

位于采空塌陷区 9 处泉水全部枯竭; 与之相邻的 9 处泉水流量减少, 两者之和占调查泉水总数的 72%。同时, 因采空塌陷导致民用井水干涸者 6 处、相邻区水位下降者 10 处, 占调查总水井数量的 70%。矿区地下水水位下降、泉水枯竭对局部地段生态环境的影响显著。鉴于毛乌素沙地的砂质沉积物粒度粗<sup>[12]</sup>、地下水的毛细上升高度和极限高度非常有限<sup>[13]</sup>, 使得地下水水位对植被生长的影响主要集中在泉水出露点上方 2~5 m 范围内(图 3, 乔木林带以下)及沟谷之中。在煤炭采空塌陷区, 地下水埋深普遍大于 5 m, 地表水几近枯竭, 沟谷中的喜水植被逐渐减少乃至消失。因此, 地下水水位下降、泉水枯竭会造成地下水水位较高地区和河流沟谷中植被由水生和喜水植被向旱生植被演替, 使得生物多样性资源遭受损失, 生态环境遭到破坏。

此由此可见, 地下水水位下降、沟谷断流对生态环境的影响, 首先是植被类型的演替, 即地下水水位较高地区和河流沟谷中的喜水植被逐渐被旱生植被代替, 植被退化而不是植被覆盖度的降低! 这正是近 20 年来矿区和采空塌陷区土地沙漠化没有迅速发展的主要原因。不过, 喜水植被和旱生植被逐渐被旱生植被代替, 会导致生态系统更加脆弱, 一旦气候条件恶化(如冰期气候或旱化加剧)或者植被遭到人为破坏, 沙漠化的发展则必不可免。

### 3.3 气候变化因素

毛乌素沙地气候变化对沙漠化影响是多年来的研究热点之一, 如气候与厄尔尼诺/拉尼娜事件的相关分析<sup>[14]</sup>、气候变化的空间分布<sup>[15]</sup>及其对沙漠化变化趋势的影响<sup>[16-19]</sup>等。实际上, 影响研究区生态环境和沙漠化最主要的气候因素为降水量和风速。

据陕西省神木县气象站资料, 该地区多年平均降水量为 435.7 mm (1957—1991), 枯水年降水量仅有 108.6 mm (1965), 丰水年降雨量为 819.1 mm (1967), 相对变化程度为 1.63。1986~2004 年, 神木县多年平均降水量为 415.0 mm, 丰水年最大降水量 646.5 mm (1995)(图 4a), 枯水年为 251.3 mm (2000), 相对变化程度为 0.95。尽管该区年均降水量有所减少, 但年际变幅却在减小; 即 1986—2004 年相对变化程度比 1957—1991 年平缓许多。与研究区相邻的伊金霍洛旗(图 4), 1986—2004 年年均降水量 356.8 mm, 丰水年最大降水量 505.1 mm (1998), 枯水年为 230.2 mm (1987), 相对变化程度为 0.77, 比研究区的变化程度还低。这种年际降雨量变化程度趋于平缓对植物的生长有利, 是生态环

境改善的另一个原因。

研究区地处季风边缘地带, 降水季节性分布明显。6~9 月降水量占全年总降水量的 76%, 1~5 月仅占 16%, 10~12 月降水量占全年降水量 8%(图 4b)。尽管如此, 即使是在冬春季节, 1986—2004 年每年 12 月至次年 5 月的平均降水量仍有 69.6 mm。同时, 由于冬春季节的积雪和冻土作用, 使沙生植物有了较好的生长条件, 这与中国古尔班通古特沙漠的气候条件相似<sup>[20]</sup>。包气带土壤水分含量研究表明, 毛乌素沙地地表存在厚度为 12~20 cm 的干沙层, 其平均含水量为 0.42%~0.54%<sup>[21]</sup>; 即使是在最干旱的季节, 20 cm 以下沙土含水率能够稳定在 3% 以上<sup>[22]</sup>。较薄的干沙层和干沙层以下较稳定的土壤含水率是由当地气候条件决定的, 对春季沙生植物的生长非常有利, 这也是研究区沙生植被在没有人破坏条件下能够保持良好环境的自然因素。

20 世纪 90 年代中期以前的资料表明, 研究区年均风速 2.5~3.0 m/s; 90 年代中期以后, 区内年平均风速为 2.3 m/s; 表明风速有明显下降。榆林地区 1951—2000 年各年代沙尘暴资料的分析表明<sup>[23]</sup>, 沙尘暴发生日数呈明显减少趋势, 虽然 20 世纪 70 年代该区沙尘暴发生日数相对偏多, 但到了 90 年代沙尘暴发生日数最少, 且有 5 年未曾出现。

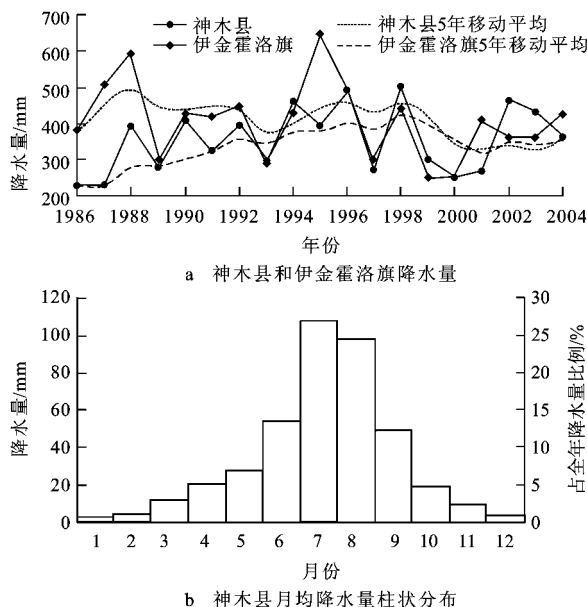


图 4 陕西省神木县和内蒙古自治区伊金霍洛旗 1986—2004 年降水量特征

Fig. 4 Precipitation Characteristics in Shenmu County of Shaanxi Province and Ejin Horo County of Inner Mongolia Autonomous Region from 1986 to 2004

因此,风力的减小是研究区沙漠化发展减缓甚至逆转的重要因素之一。

### 3.4 其他人为因素

近20年来,研究区土地沙漠化总体呈逆转趋势,沙漠化程度不断减轻,这与各级政府、各个部门和当地群众防沙治沙等密切相关。20世纪80年代以来,国家逐步实施的三北防护林保护工程、天然林保护工程、退耕还林还草工程、飞播造林工程<sup>[24]</sup>和山川秀美工程等,是矿区沙漠化好转的主要人为因素。此外,相关矿山生产企业在植树绿化、防风固沙方面开展了卓有成效的工作。在煤炭资源开发过程中,坚持“开发与环境保护并重”的原则,成立了环境保护工作委员会,建立了生态治理和环境保护管理体系,因地制宜地营造了网障固沙、林草绿化相结合的多层次防护体系<sup>[9]</sup>。据相关资料,截至2005年底,累计投入资金超过 $5 \times 10^8$ 元用于生态环境治理工作。由此说明,合理的矿产资源开发与适当的环境保护措施是矿区生态环境改善的必要条件。

## 4 结语

大柳塔—活鸡兔矿区生态和地质环境十分脆弱,人类活动对其必然产生深刻影响。

(1)近20年来,研究区土地沙漠化总体呈逆转趋势,沙漠化土地面积缩小、程度减轻。其中,1986—1996年是矿区沙漠化逆转的主要时期,1996年以来,尽管煤炭开采力度不断加大,土地沙漠化仍处于一个相对稳定的时期。

(2)煤炭资源开发并不直接导致研究区土地沙漠化的面积扩大,甚至对土地沙漠化的影响也较为微弱。然而,大规模的煤炭资源开发造成大面积地面塌陷和裂隙、地下水水位下降、泉水流量减少甚至干涸以及地表径流减少甚至断流,必然导致区域水环境破坏、生物多样性减少和湿地植被退化,使生态环境更加脆弱。

(3)在陕北能源基地建设的同时,必须设立生态环境和水资源保护区,以控制地质环境恶化、保护和改善生态环境为目标,合理利用水土资源,是实现社会经济可持续发展、创造人与自然和谐的重要保障。

西安地质矿产研究所李育敬高级工程师、陈社斌助理工程师以及长安大学张益谦教授、西安科技大学袁汉春教授和张永娟硕士研究生等参加了野外调查,谨致谢忱。

### 参考文献:

- [1] 李金柱. 政府工作报告[N]. 榆林日报, 2007-01-27(1).
- [2] 刘泉龙, 陈 寂, 张 晨. 榆林挖煤: 挖得地塌了树死了水漏没了[N]. 新华每日电讯, 2005-06-28(5).
- [3] 高学田. 神府—东胜矿区开发前后侵蚀环境演变研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 92-96.
- [4] 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.
- [5] 杨选民, 丁长印. 神府东胜矿区生态环境问题及对策[J]. 煤矿环境保护, 2000, 14(1): 69-72.
- [6] 柳林旺, 王欣成, 刘保红. 神府东胜矿区的土地沙漠化及其防治[J]. 中国水土保持, 1998(4): 6-7.
- [7] 刘泉龙, 陈 寂, 张 晨. 榆林过度挖煤, 3 万亩防沙林场植被枯萎[N]. 中国国土资源报, 2005-07-27(4).
- [8] 吴 楠. 生态脆弱地区煤炭开发与环境保护协调发展模式[J]. 煤矿环境保护, 2000, 14(6): 25-27.
- [9] 杨景才, 关三和. 建设山川秀美的神东矿区, 确保能源基地的可持续发展[J]. 煤矿环境保护, 2000, 14(1): 9-12.
- [10] 唐燕波, 付利群, 华解明, 等. 榆神府矿区土地沙漠化现状及发展态势研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 2001, 18(2): 79-82.
- [11] 王 岷, 岳乐平, 李智佩, 等. 对荒漠化综合研究中一些基本问题的初步探讨[J]. 西北地质, 2001, 34(1): 10-17.
- [12] 李智佩, 岳乐平, 薛祥煦, 等. 毛乌素沙地东南部边缘不同地质成因类型土地沙漠化粒度特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2006, 24(2): 267-275.
- [13] 张学英. 潜水蒸发与土质及地下水埋深的关系[J]. 地下水, 2002, 24(1): 8-9.
- [14] 徐小玲, 延军平. 近30年毛乌素沙区的气候与厄尔尼诺/拉尼娜事件的相关分析[J]. 干旱区研究, 2003, 20(2): 117-122.
- [15] 刘登伟, 延军平, 张月鸿. 毛乌素沙漠区气候变化空间分布比较研究[J]. 资源科学, 2003, 25(6): 71-76.
- [16] 王洪亮, 雷泓宴, 张清盛. 陕北神木地区沙漠化动态演化分析[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2005, 32(3): 308-314.
- [17] 李智佩, 岳乐平, 薛祥煦, 等. 鄂尔多斯高原沙质荒漠化发展现状与防治对策研究[C] //侯光才, 张茂省. 鄂尔多斯盆地地下水资源与可持续利用研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 2004: 439-446.
- [18] 李智佩, 岳乐平, 薛祥煦, 等. 中国北方沙漠地区全新世气候变化的周期性探讨[J]. 干旱区地理, 2007, 30(2): 170-176.
- [19] 李智佩, 岳乐平, 郭 莉, 等. 全新世气候变化与中国北方沙漠化[J]. 西北地质, 2007, 40(3): 1-29.
- [20] 魏文寿, 何 清, 刘明哲, 等. 准噶尔盆地的气候变化与荒漠环境研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 101-105.
- [21] 王 志, 王 蕾, 刘连友, 等. 毛乌素沙地沙丘干沙层水分特征初步研究[J]. 干旱区研究, 2006, 23(1): 89-92.
- [22] 张国盛, 王林和, 董 智, 等. 毛乌素沙区风沙土机械组成及含水率的季节变化[J]. 中国沙漠, 1999, 19(2): 145-150.
- [23] 刘子林, 刘晓丽, 毕 旭. 榆林沙尘暴天气的气候特征及其对策[J]. 陕西气象, 2002(5): 7-9.
- [24] 漆建忠. 中国飞播治沙[M]. 北京: 科学出版社, 1998.