

# 矿产资源开发中矿山地质环境问题响应差异性研究 ——以陕西潼关、大柳塔及辽宁阜新矿区为例

徐友宁<sup>1,2</sup>, 徐冬寅<sup>2</sup>, 张江华<sup>1</sup>, 陈华清<sup>1,2</sup>

(1 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 以陕西潼关、大柳塔及辽宁阜新矿区为例, 采用对比分析的方法研究矿产资源开发中矿山地质环境问题差异性响应的主要因素。上述3个矿区矿产资源开发中矿山地质环境问题主要包括: 20世纪90年代以前, 陕西潼关金矿区是中国矿产资源开发秩序十分混乱的矿区之一, 地下开采的采矿废石随意堆排导致了极为严重的矿山泥石流地质灾害及其隐患, “三废”无序排放导致土壤、河水及其底泥的重金属及氰化物污染严重, 严重影响人体健康; 地处生态环境脆弱带的陕西大柳塔煤矿区, 20年大型机械化地下煤炭资源开采导致大面积地面塌陷及其链生的地下水含水层破坏严重, 但矿区土地沙漠化程度总体没有呈现加重的趋势, 水土环境重金属呈轻度污染; 具有百年开发历史的辽宁阜新煤矿区, 露天开采使土地生态破坏严重、边坡滑坡灾害频发、土地压占与破坏突出, 地下开采引起的地面塌陷对地表建筑物及人居安全影响严重, 但相对于金属矿区, 该矿区水土环境重金属污染相对轻得多。对比上述3个矿区矿山地质环境问题, 得到其差异性响应主要因素: 矿产资源种类、原生地质环境条件、开采方式及矿山环境保护意识等。

**关键词:** 矿山地质环境; 差异性; 因素; 潼关; 大柳塔; 阜新; 矿区

**中图分类号:** X141 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)01-0089-06

## Study on the Difference of Mine Geo-environmental Problem Response to Mineral Resource Exploitation: a Case Study About the Mining Areas in Tongguan and Daliuta of Shaanxi and Fuxin of Liaoning

XU You-ning<sup>1,2</sup>, XU Dong-yin<sup>2</sup>, ZHANG Jiang-hua<sup>1</sup>, CHEN Hua-qing<sup>1,2</sup>

(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract** Taking the mining area in Tongguan and Daliuta of Shaanxi and Fuxin of Liaoning as an example, the difference of mine geo-environmental problem response to mineral resource exploration and its main factors were discussed by the means of the comparative analysis. The main geo-environmental problems caused by mineral resource exploration in the above three mining areas included as follow: before the 1990s, the mineral resource exploration in Tongguan gold mining area of Shaanxi was very confused, a large amount of waste mining rock lead to severe debris flow and risk, the “three wastes” (i. e. waste gas, waste water and waste residues) discharged disorderly and caused serious heavy metal and cyanide pollutions for soil, river and its sediment, and seriously influenced the human health; Daliuta coal mining area of Shaanxi located at fragile eco-environment zone, twenty-year underground coal mining with heavy machinery caused serious surface collapse and aquifer destroy, but land desertification in the mining area reduced in trend, heavy metal pollutions of soil and water environments were light; for Fuxin coal mining area with one-hundred-year history, surface mining caused frequent landslides, serious land destroy and destruction, land collapse caused by underground exploration had a significant influence on the safety of human life and property, but heavy metal pollutions of soil and water environments were relatively light comparing

收稿日期: 2010-08-13

基金项目: 国土资源部科研专项经费项目(2008334061); 国家自然科学基金项目(40872208)

作者简介: 徐友宁(1963-), 男, 陕西西安人, 研究员, 理学博士, 从事矿山地质环境调查与研究。E-mail: ksdzhj@sohu.com

with metal mining area. Compared with the mine geo-environmental problem of the above three mining areas, the main factors of the difference were mineral resource types, mine geo-environmental condition, exploration methods and environment protection conception.

**Key words:** mine geo-environment; difference; factor; Tongguan; Daliuta; Fuxin; mining area

## 0 引言

矿产资源开发是一把双刃剑,在保证国家矿业安全、促进地区社会经济的同时,矿业开发活动对矿山地质环境产生或重或轻的负面影响,尤其是不合理、粗放式的开发活动,导致资源毁损,诱发地质灾害,污染矿区环境<sup>[1]</sup>。矿产资源开发引发和加剧的矿山地质环境问题成为影响矿山正常生产和矿区及其周边人居环境安全的重要因素,加剧了矿地矛盾。为了实现矿产资源开发与矿山地质环境协调发展的绿色矿业目标,就需要在合理开发利用矿产资源的同时,最大程度地减少、减轻矿业开发对矿山地质环境的负面影响<sup>[2]</sup>。许多专家学者先后从不同角度涉及了矿山地质环境问题分类、特点、形成与影响因素,矿山废石重金属淋溶等,为矿山地质环境防治理论提供了重要基础<sup>[1,3-11]</sup>。但以实际案例方式剖析在不同类型矿产、开采方式、地质环境条件以及矿山企业环境保护意识差异的条件下矿山地质环境问题的差异性响应研究尚不多见。笔者试图总结影响和控制矿产资源开发引发和加剧的矿山地质环境问题的主要因素,为矿山地质环境科学预测、主动防治提供理论依据。

## 1 研究方法

为了查明矿山地质环境问题的现状,分析预测其发展趋势,为政府实施矿山地质环境保护及恢复治理提供科学依据。2004—2006年,西安地质矿产研究所承担了“中国地质调查局‘重点矿山地质环境问题专题调查’项目,下设陕西潼关金矿区、陕蒙接壤区大柳塔煤矿区以及辽宁阜新煤矿区等3处典型矿区的地质环境调查工作<sup>[12-15]</sup>。基于上述调查成果,笔者分析了3处典型矿区矿产资源开发引发和加剧的矿山主要地质环境问题的类型、分布、危害,分析研究了影响矿山地质环境问题差异性的主要因素。

## 2 矿山地质环境背景

### 2.1 陕西潼关金矿区

陕西潼关金矿区地处陕豫接壤的中国第二大黄金生产基地小秦岭金矿带中低山地区的西部,自南

向北可简单分为秦岭中—低山地基岩陡坡山地区及山外黄土残塬沟壑残塬(农业生产区)两类地质环境分区。南部山地发育7条南北向“V”型谷峪道,最高海拔为1800 m,最大相对高差为900 m,山坡坡度 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ,灌草植被覆盖率80%以上。南部山区发育以黑云母斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩为主的太古代变质岩系,地下水以基岩裂隙水为主。矿区属暖温带大陆性季风半湿润—湿润气候区,山地区至今没有气象观测站。山外年降水量319.1~958.6 mm,日最大降水量113.4 mm,日最大降水量在100 mm以上平均十年一遇,日最大降水量在50 mm以上平均两年一遇。7~9月降水量占全年总降水量的76.19%。

潼关金矿区主要以开采石英脉型金矿为主,金矿开采位于南部山地区,选矿及冶炼位于山外农业生产区。金矿开发始于1975年,1985—2000年是金矿开发的高潮期,南部山区207.29 km<sup>2</sup>的7条峪道内均有金矿开采,是20世纪矿业无序混乱的典型矿区之一,中央、地方及个体矿山均有。潼关县有“华夏金城”美誉,但目前黄金资源近于枯竭。由于无序开发问题严重,20世纪90年代中后期该矿区曾是国家重点治理整顿的区域。

### 2.2 陕西大柳塔煤矿区

陕西与内蒙古接壤的陕西省大柳塔地区地处毛乌素沙地边缘的覆沙黄土丘陵区,海拔为1085~1250 m,地形波状起伏,相对高差200 m。区内含煤的侏罗系地层倾角 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。第四系上更新统下部的萨拉乌苏组是区域煤层之上的主要含水岩组。神木县城年均降水量415.0 mm,最大646.5 mm,最小251.3 mm,6~9月降水量占全年降水量的76%,且多为暴雨。冬、春多发生沙尘暴,区内地表80%为第四系全新统风积沙覆盖。水资源短缺,生态环境脆弱,土地沙漠化是本区最主要的原生地质环境问题。

本区煤炭资源开发始于1986年,大柳塔煤矿、活鸡兔煤矿及哈拉沟煤矿等均是神华集团神东煤炭有限责任公司年产千万吨的矿井,采用大型综合机械化开采技术,以平硐开采为主,煤炭产量占调查区(370 km<sup>2</sup>)全部产量的80%以上,同时在其周边分布有小型煤矿。

### 2.3 辽宁阜新煤矿区

矿区地处辽西低山丘陵区冲积谷地平原, 细河是流经阜新城的主要河流, 多年径流量  $0.19 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。该区属北温带大陆型季风气候, 多年平均降水量为 502.7 mm, 6~8 月占全年降水量的 67%, 其中月最大降水量达 161.7 mm。矿区中生代白垩系下统义县组、九佛堂组、阜新组、沙海组及上统孙家湾组是阜新一义县盆地沉积矿产的主要层位。矿区地下水主要为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水及基岩裂隙水。

阜新是一座因煤而兴具有百年历史的老矿城, 煤炭资源最早开发始于 1905 年, 建国后阜新矿务局恢复老矿井 29 个, 新建矿井 41 个。截至 2005 年底有生产矿山 9 个, 包括孙家湾矿、五龙矿、王营矿、艾有矿、清河门矿、依码矿、海州矿、海州立井等, 还有地方矿山企业 136 家。矿区范围 349.334  $\text{km}^2$ , 开采范围 213.22  $\text{km}^2$ 。1949 年前以浅层非正规开采

为主。1949—1988 年 40 年间共生产原煤  $4 \times 10^8 \text{ t}$ , 2004 年 151 家矿山年产原煤  $1.02559 \times 10^4 \text{ t}$ 。煤矿露天开采及井工开采均有, 开采深度 10~900 m。亚洲第一大露天矿——海州露天矿(1953—2005 年)已闭坑。新丘露天矿鼎盛时年产原煤  $680 \times 10^4 \text{ t}$ , 到 2000 年不足  $60 \times 10^4 \text{ t}$ , 2001 年则宣布破产。阜新市因煤炭资源枯竭而成为国务院首次批准的资源枯竭型城市之一。

## 3 矿山主要地质环境问题

采矿、选矿及冶炼等矿业活动过程中不同阶段、不同开采方式会对矿山地质环境产生影响, 形成一种或多种矿山地质环境问题, 而某一种矿山地质环境问题可能是一种或多种矿业活动方式共同作用的结果。矿山可能以某一种地质环境问题为主, 也可能存在多种矿山地质环境问题。矿产资源开发活动与地质环境问题呈现较为复杂的关系(图 1)<sup>[1]</sup>。

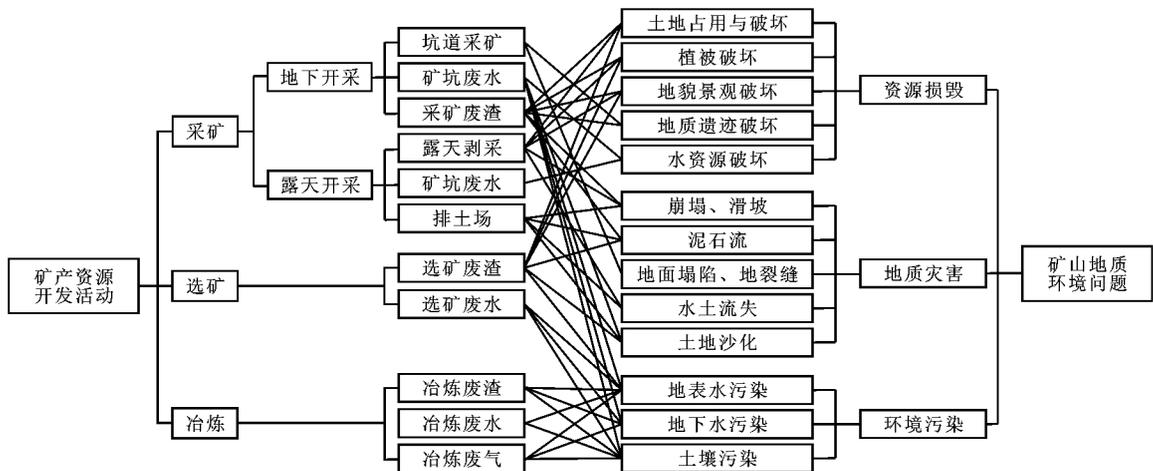


图 1 矿业活动与矿山地质环境问题关系

Fig. 1 Relationship Between Mining Activities and Mine Geo-environmental Problems

### 3.1 陕西潼关金矿区

矿渣型泥石流地质灾害及其隐患、水土环境重金属污染及其影响人体健康的负效应是潼关金矿区两大类型矿山地质环境问题。

(1) 矿渣型泥石流地质灾害及其隐患是潼关金矿区最主要、危害性最严重的地质灾害类型。1994 年 7 月 11 日暴雨导致西峪发生失踪死亡上百人的矿渣型泥石流后, 1995 年 7 月 15 日东桐峪峪道矿渣型泥石流造成直接经济损失 300 多万元<sup>[16]</sup>。截至 2005 年底, 207.29  $\text{km}^2$  的采矿山地区, 采矿坑口达 2 500 处, 矿渣堆 944 处, 占压林地土地面积  $255.3 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 废渣渣量达  $1.100 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 且废渣量仍以  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  速度增加。75% 矿渣堆没有

拦渣稳渣工程措施, 86% 废石堆占据河道, 71% 废石堆稳定性差或极差。7 条峪道 18 条沟谷沟均是泥石流隐患沟<sup>[17]</sup>, 其危害性日趋严重, 1994 年重大人员伤亡的悲剧可能重演。

(2) 矿区环境污染源点多面广, “三废” 随意排放, 河流成为尾矿浆的纳污池。1975 年以来, 大小金矿选冶企业多达数十家, 历史上绝大多数采用污染环境的混汞法提金, “三废” 无序排放严重, 矿区环境污染源从最初的点源、线源发展到现今的面源。300  $\text{km}^2$  的农业生产区内散布的 988 处无库尾矿渣堆, 总面积达 2.31  $\text{km}^2$ ; 大小尾矿库 124 座, 总面积 0.94  $\text{km}^2$ ; 明显污灌区 3 处, 面积 2.08  $\text{km}^2$ ; 氰化池 56 处, 占地总面积 0.17  $\text{km}^2$ 。村前屋

后,道路两侧、河道沟谷可见随意堆放的尾矿渣堆,许多小企业及个体提金者尾矿浆直排双桥河。山区仍存在国家禁止的“三小”提金点。西峪河、东桐峪河及双桥河河床淤积了厚厚的尾矿渣泥,河流水生生物已绝迹。

(3)河流重金属及氰化物污染严重。南部山区 I 类水源地河水中 Hg、Pb、Cu、Zn、Cd 及氰化物含量平均超过国家地表水 I 类水环境质量标准倍数分别为 3.5、305.0、1.6、7.4、3.2、0.6,山区河水已降为 IV 或 V 类水。山外双桥河水 Hg 平均超标倍数为 12.7、Pb 为 68.1、Cd 为 0.5、As 为 3.0、Cu 为 1.7、Zn 为 0.1、CN<sup>-</sup> 为 20.8。从出山口至进入黄河段,河水中重金属均已超过了 IV 类水环境质量标准。通过与毗邻区河流底泥重金属含量对比,潼关金矿区 9 条河流底泥均受到了 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn 的严重累积污染。Hg 平均超标倍数为 121.4、Pb 为 415.1、Cd 为 25.1、Cu 为 16.7、Zn 为 8.2。河流底泥已成为河水重要的二次污染源。

(4)农田土壤 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn 污染严重。矿区农业区土壤 Hg、Pb、Cu、Zn、Cd 重金属样本超标率分别为 43.2%、12.8%、7.5%、3.0%、2.3%。土壤重金属综合污染指数(与《土壤环境质量标准》<sup>18</sup> 比较)表明,36.1% 的土壤样本处于轻度及以上污染,受污染的农田面积达到 113.6 km<sup>2</sup>。而累积综合污染指数(与邻区背景值比较)表明,全部土壤受到了轻度及以上污染。其中土壤中 Hg 污染物的分担率为 49.1%,累积分担率为 56.5%,汞是土壤中最主要的污染元素<sup>19</sup>。

(5)矿区人体食物链污染严重。土壤污染区内 93% 的小麦 Hg、Pb 和 Cd 元素平均超过国家食品卫生标准倍数为 1.6、1.4 和 1.0,样本超标率分别为 86.7%、60%、33.3%。污染区内玉米中 Hg 超标率 12.5%。不同的农作物品种中超标元素不同。小麦中超标元素为 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn; 叶菜类、萝卜均为 Hg、Pb、Cd; 玉米、西红柿、红薯和苹果仅为 Hg 超标。Hg 是农作物中最普遍的超标元素。

### 3.2 陕西大柳塔煤矿区

采煤塌陷、地下水位下降及土地沙漠化是陕西大柳塔煤矿区主要的地质环境问题<sup>20-21</sup>。

(1)采空塌陷面积大,链生其他地质环境问题。大柳塔、活鸡兔、哈拉沟矿并采用综合机械化长臂式采煤技术工艺,其工作面长 200~240 m,采高 4 m,每向前推进 1 m,就会形成 800~960 m<sup>3</sup> 采空区,加之所采煤层埋深 50~150 m,开采后上覆覆岩会立

刻发生整体下沉塌陷。地表采煤塌陷区地貌与原有的波状地貌不易区分,只有在基岩、硬化道路、坚硬地表、房屋墙面上,才能明确确认地处采煤塌陷区。自 1986 年矿山建设开发以来,这 3 个矿井累积形成采空区 42.6 km<sup>2</sup>,地面塌陷、地裂缝影响面积 51.5 km<sup>2</sup>。但因煤矿区地处盖沙黄土丘陵区,人口稀少,农田及地表构筑物较少,因此采空沉降造成的灾害损失相对比阜新煤矿区要轻得多。

(2)地下水含水层结构破坏严重。采煤塌陷导致上面的含水层结构破坏,77.27% 井水下降明显或干枯,73.33% 泉干枯或流量明显减少。同时导致乌兰木伦河流的支流补给减少,河流干枯,沟道中水浇地变为旱地,使农业生产及人们生活用水受到较大影响。地下水位下降或河流断流,在某些地区可能导致植被类型发生演替,严重者造成原本依靠地下水生存的植被枯萎,其结局将引发土地沙漠化。

(3)煤炭资源开发对土地沙漠化影响。煤炭地下开采对土地沙漠化影响表现为排矸压占植被、地下水位下降或地表水域面积缩减引发植被死亡造成覆盖度降低而形成沙漠化土地。矿区开发 20 年来,矿区土地沙漠化程度在减轻,沙漠化面积在缩小。但部分地区土地沙漠化有所加剧。笔者认为土地沙漠化减轻的主要原因是本区年均 400 mm 的大气降水能够维持沙生植被正常生长所需的水分,国家退耕还林围栏禁牧的山川秀美工程起到重要作用,一些大企业对生态环境的保护更是锦上添花。

(4)矿区水土环境重金属呈现轻度污染。地表水中重金属未超过相应地表水级别所要求的含量。而同地点河流底泥中重金属较背景值富集,Zn、Pb、Cr、Cd 重金属超标率依次增高,成为河流二次污染源。耕作层土壤受到一定程度的累积污染,但研究区土壤中 7 种重金属元素含量均没有超过国家土壤环境质量二级标准的限值,矿区土壤尚具有较大的环境容量<sup>22</sup>。

### 3.3 辽宁阜新煤矿区

辽宁阜新煤矿区煤田分布范围广,大部分矿井分布分散,只有部分矿井相对集中;煤层开采深度变化大,浅部开采与深部开采并举,20 世纪 50 年代前浅部非正规开采普遍遗留下许多老采空区;煤层重复开采对地表建筑物影响不断;矿井地质构造复杂,断层多,极易受采动影响诱发活化。因此阜新矿区采煤塌陷、露天矿边坡滑坡、土地压占破坏等是百年矿城存在的严重矿山地质环境问题类型。

(1)地面塌陷危害极为严重。阜新矿区共形成

20个相对独立的地表沉陷盆地,13个沉陷区,总采空面积73 69 km<sup>2</sup>(表1),总沉陷面积101.38 km<sup>2</sup>,其中严重沉陷面积20 km<sup>2</sup>,井工采沉陷盆地面积81.46 km<sup>2</sup>,露天矿采动影响面积9.15 km<sup>2</sup>。20世纪50年代前采煤沉陷面积10.77 km<sup>2</sup>,最大下沉值19.09 m,最大开裂宽度4.77 m。

表1 阜新煤矿区采空沉陷统计

Tab. 1 Statistics of Mining Subsidence in Fuxin Coal Mining Area

沉陷区	沉陷区面积/km <sup>2</sup>	直接经济损失/万元
工人村沉陷区	3.28	890.40
五龙沉陷区	12.76	1 530.90
东梁沉陷区	11.51	1 381.40
煤海沉陷区	5.87	2 421.30
高德沉陷区	4.75	353.20
孙家湾沉陷区	1.75	426.90
中部沉陷区	7.85	780.10
南部沉陷区	5.57	2 785.10
八坑沉陷区	1.42	2.48
长哈达沉陷区	1.36	2 787.60
韩家店沉陷区	16.88	386.70
清河门沉陷区	19.39	2 594.30
艾友沉陷区	8.99	339.50
合计	101.38	16 340.38

按万吨采煤地表沉陷面积计算,清河门矿为4 866.2 m<sup>2</sup>,艾友矿为5 999.4 m<sup>2</sup>,东梁矿为6 126.05 m<sup>2</sup>,王营矿为5 666.1 m<sup>2</sup>,呈现采动影响范围重叠较少、沉陷面积大的特点;新邱采万吨煤的沉陷面积为2 999.7 m<sup>2</sup>,平安矿与五龙矿平均为2 493.1 m<sup>2</sup>,具采动影响范围重叠多的特点。

采煤沉陷以及伴生的地面塌陷坑对居民基本生活造成了严重威胁。建筑物普遍出现了墙体开裂、门窗变形、地面裂缝、墙体倾斜等险情。由于塌陷区地处阜新市及其郊区,因此其危害严重,共导致28 733户、78 486人受灾;受灾学校19所、医院3所、企事业单位及服务网点105个,建筑面积156 817 m<sup>2</sup>;受损道路35.26 km,管路及线路203 290 km;受损农田14 km<sup>2</sup>;直接经济损失16 340.38万元。

(2)露天矿边坡滑坡问题严重。露天采坑引发的滑坡、不稳定斜坡主要分布于海州和新邱露天采矿场。海州露天矿开发始于1953年,2005年闭坑,形成了长3.9 km、宽1.8 km、开采深度达310 m、面积6 km<sup>2</sup>的亚洲第一大露天矿坑,南帮边坡38°,北帮18°~20°。累计生产原煤2,078×10<sup>8</sup> t,占整个

矿务局原煤产量的50%左右。滑坡主要集中于海州露天矿非工作帮,自1953年投产以来,共发生滑坡94次,沿非工作帮(底帮)形成滑坡80余次。如1977年7月27日滑坡土方量1.7×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,直接经济损失434.75万元;1986年9月3日滑坡,土方量31×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,直接经济损失434.75万元。1990年7月24日发生的滑坡造成经济损失352.1万元;1994年7月3日发生的3起滑坡,直接经济损失108.4万元,间接经济损失572.0万元;2003年5月28日滑坡,土方量达70×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,经济损失600万元<sup>[15]</sup>。露天矿边坡岩土体结构构造、水文地质条件、斜坡地形以及降雨等因素是露天矿滑坡频发的主要因素。

(3)土地压占与破坏问题突出。矿区矸石山及排土场11座,总堆积量约12×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,总占地面积约43.97 km<sup>2</sup>。海州露天矿原煤年产量占阜新矿务局的50%以上,50年来产生的废石弃土量占整个矿区的62.77%,累计生产原煤2.4×10<sup>8</sup> t,形成了8×10<sup>8</sup> t的废石,排土量为煤产量的3.33倍,排土场占地14.06 km<sup>2</sup><sup>[15]</sup>。矸石堆、排土场不仅占压大量的土地资源,而且由于矸石山自燃、有害元素降水淋滤、扬尘等污染大气、地表水、地下水和土壤环境。

(4)河水及周边浅层地下水污染。阜新煤矿土壤中Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu重金属元素的平均含量与地区背景值含量基本相同或略小,且低于《土壤环境质量标准》限值<sup>[18]</sup>。就总体而言,阜新煤矿区土壤没有受到煤炭资源开发重金属的污染影响,与国家二级土壤环境质量相比,土壤尚具有较大的环境容量。地表水中Hg、Pb、Cr、As、Cu、Zn重金属污染组分在地表水中仅局部有轻微污染。细河中重金属污染组分除Hg达到IV类水质标准外,其他均达到I类水质标准。

## 4 影响矿山地质环境问题因素分析

从上述3个典型矿区可以看出,影响和控制矿山地质环境问题类型的主要因素有:矿产资源种类(金矿、煤矿)、原生地质环境条件(山地型、沙地型、平原型)、开采方式(井工、露天)及矿山环境保护意识等。

### 4.1 矿产资源种类的影响

金矿、铜镍矿、铅锌矿、汞锑矿、钼矿、铬铁矿等金属矿石中,富含Hg、Pb、Cd、Cu、Zn、Cr等多种重金属元素,除了采矿外,均需进行选矿和冶炼活动,因此采选冶“三废”中含有的重金属元素会导致矿区地表水、地下水和土壤等多介质环境的重金属污染,严重者将危及人群健康安全。通常情况下,煤矿中

重金属元素含量少, 重金属元素污染不会成为矿区的主要问题, 这也是潼关金矿区水土环境重金属元素污染远重于大柳塔及阜新煤矿区的原因(表 2)。

表 2 矿区耕作层土壤重金属含量

Tab. 2 Heavy Metal Content of Cultivated Soil in Mining Area

矿区	Hg	Pb	Cd	Cr	As	Cu	Zn
潼关金矿区	2.750	216.93	0.55	44.72	14.04	54.13	118.06
大柳塔煤矿区	0.091	15.74	0.03	37.43	4.31	9.30	33.87
阜新煤矿区	0.020	21.87	0.14	52.85	5.68	16.04	44.17

注: 表中重金属质量分数/ $10^{-6}$ 。

## 4.2 地质环境条件的影响

通常情况下, 存在一定高差的山地丘陵区, 本身就是崩塌、滑坡、泥石流的易发区, 而矿产资源开采的废弃弃渣堆积在沟谷、斜坡, 在缺乏有效拦渣护挡措施的情况下, 易在矿震、地面塌陷及暴雨作用下失稳滑塌、地下采空造成山体开裂等, 加剧了山地地质环境区崩塌、滑坡、泥石流以及水土流失。而风沙滩地质环境区不具备重力作用形成的崩塌、滑坡、泥石流及水土流失条件, 但是地下煤矿开采导致其上形成采空塌陷, 同时会破坏煤层之上的含水层结构, 造成地下水位下降、地表水流量减少或断流, 进而影响依靠地下水或地表水生存的植被类型死亡或退化或演替, 严重者可产生或加剧土地沙漠化, 生态环境恶化危及地区社会经济的可持续发展。因此, 大柳塔煤矿区地面塌陷的直接危害不显著, 但是生态环境的影响却是政府、学者关注的重大环境问题。平原地区地下煤矿开采采空造成的地面塌陷、地裂缝成为破坏地表构筑物、农田的主要问题。这就是同为地下开采, 但因地质环境条件不同, 矿业开发引发和加剧的地质环境问题类型及其危害不同的原因所在。

## 4.3 开采方式的影响

露天开采和井工开采是矿产资源开采的两种主要方式。露天开采需要剥离矿层之上的大量土石, 因此露天开采在显著改变原有地形地貌的同时, 外排的大量废石弃土占压土地植被, 高陡工作帮边坡失稳形成滑坡危及采矿安全, 甚至导致露天矿提前闭坑, 甘肃白银铜矿火焰山一露天矿就是实例。占地、边坡失稳是露天矿两大地质环境问题。井工开采可形成采空塌陷、地裂缝以及链生的山体崩塌、滑坡地质灾害。通常情况下, 开采的煤层厚度大, 煤层顶板岩层抗压强度小, 采空地地面塌陷、地裂缝地质灾害危害愈严重, 而潼关金矿区井工开采采空塌陷问题轻微。

## 4.4 矿山环境保护意识的影响

矿山地质环境问题具有较强的可控性, 只要有法可依、依法监管到位, 矿业活动对地质环境的影响就会显著降低; 反之, 必然导致严重的矿山地质环境问题。20 世纪 80 年代中期后受有水快流的影响, 成千上万人拥进小秦岭金矿区, 无序开发, 矿业秩序严重混乱, “三废”随意排放, 矿区严重的矿山地质环境问题是“只开发、只破坏、不治理”的典型代表。历经清末、中华民国以及日本侵华等时期掠夺式开发, 建国后 50 年间, 重开发、轻环保、缺乏矿山开发长久规划, 导致采空塌陷地表构筑物破坏严重, 塌陷区居民深受其害, 排土场没有及时复垦等, 因此当煤炭资源最终枯竭时, 历史遗留的矿山地质环境问题成为影响城市经济转型的一大环境问题。近年来, 阜新市加快了露天矿排土场土地复垦, 海州露天矿矿山公园建成在很大程度上改善了矿山地质环境。地处生态环境脆弱条件下的大柳塔煤矿区, 1986 年开始由神华集团开发建设, 实施了外围防护圈、周边绿化圈、小区美化圈等生态环境保护工作, 明显促进和改善了矿区生态环境, 矿区植被覆盖率由开发初期的 3%~11% 提高到目前的 63%。站在大柳塔东、西两侧高处, 举目远眺整个大柳塔矿区, 数千万吨的矿区看不到煤灰遍地、尘土飞扬景象。马家塔露天矿采取边开采边复垦的治理模式, 面积 113.44  $\text{hm}^2$  的露天采矿场得到了全部复垦, 建成的人工生态园, 被水利部评为全国生态建设示范基地, 被内蒙古自治区评为 AA 级旅游区。矿区部分地区生态环境优于开发前。

## 5 结语

(1) 影响和控制矿产资源开发中矿山地质环境问题类型的主要因素与开发的矿产资源种类、所处的地质环境背景条件、开发方式及环境保护理念等有关。

(2) 同一类型矿产资源开发由于所处的地质环境背景、开发方式的差异, 产生的主要地质问题类型不同; 不同的矿产资源开发产生的主要地质环境问题存在较大的差异性。

(3) 矿山地质环境问题是人为活动的产物, 是可预测、可预防的。通过依法监管矿山地质环境, 规范矿业活动, 矿山企业在开发前有目的地采取预防措施, 开发中实施边开发、边治理, 矿山闭坑后及时恢复等工作, 就可达到减少、减轻矿产资源开发活动对地质环境的影响与破坏。

(下转第 100 页)

(4)根据试验及理论分析,浅埋隧道在地裂缝活动时的计算模型可以分为 4 类。对于整体式长隧道,可以采用一端固定而另一端简支,或一端固定而另一端定向支承的计算模型;对于整体式短隧道,可以采用外伸梁模型;对于盾构隧道,可以采用一端固定而另一端定向支承的计算模型。

(5)对于地裂缝活动时穿越地裂缝带地铁隧道的数值模拟必须在正确确定计算模型的基础上,才能得到合理的结果,否则盲目使用会给设计带来误导,尤其在地下工程这样复杂的项目上,更应该引起注意。

(6)由于地裂缝引起的结构失效是一个长期缓变的过程,西安地铁建设的历史还很短,目前尚未发现在已建地铁沿线有明显的地裂缝活动迹象,但加强对穿越地裂缝带隧道的变形及内力监测,制定合理的灾害预警措施及方案,对于保障西安地铁的安全施工与运营,仍然是非常必要的。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 彭建兵, 范文, 李喜安, 等. 汾渭盆地地裂缝成因研究中的若干关键问题[ J ]. 工程地质学报, 2007, 15(4): 433-440.  
[ 2 ] 张家明. 西安地裂缝研究[ M ]. 西安: 西北大学出版社, 1990.

(上接第 94 页)

#### 参考文献:

- [ 1 ] 徐友宁, 何芳, 陈社斌, 等. 矿山环境地质问题特点及类型划分[ J ]. 西北地质, 2003, 36(增): 19-25.  
[ 2 ] 寿嘉华. 走绿色矿业之路——西部大开发矿产资源发展战略思考[ J ]. 中国地质, 2000, 27(12): 2-3.  
[ 3 ] 徐友宁. 矿山地质环境调查研究现状及展望[ J ]. 地质通报, 2008, 27(8), 1235-1244.  
[ 4 ] 姜建军, 刘建伟. 中国矿山地质环境问题及其对策[ J ]. 西北地质, 2003, 36(增): 1-5.  
[ 5 ] 武强, 刘伏昌, 李铎. 矿山环境研究理论与实践[ M ]. 北京: 地质出版社, 2005.  
[ 6 ] 张进德, 张作辰, 刘建伟, 等. 我国矿山地质环境调查与研究[ M ]. 北京: 地质出版社, 2009.  
[ 7 ] 魏迎春, 徐友宁. 矿山地质环境量化评价模型研究[ J ]. 华南地质与矿产, 2004(4): 47-50.  
[ 8 ] 何芳, 徐友宁, 袁汉春. 矿山环境地质问题综合评价客观权值确定方法探讨[ J ]. 中国地质, 2008, 35(2): 337-343.  
[ 9 ] 汤中立, 李小虎, 焦建刚, 等. 矿山地质环境问题及防治对策[ J ]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(2): 1-4.  
[ 10 ] 王俊桃, 谢娟, 张益谦. 矿山废石淋溶对水环境的影响[ J ]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(4): 92-96.  
[ 11 ] 虎维岳, 周建军, 闫兰英. 废弃矿井水位回弹诱致环境与安全事故分析[ J ]. 西安科技大学学报, 2010, 30(4): 436-440.

- [ 3 ] 王景明. 地裂缝及其灾害的理论与应用[ M ]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000.  
[ 4 ] 李永善, 耿大玉, 林继华, 等. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[ M ]. 北京: 地震出版社, 1992.  
[ 5 ] DBJ 61-6—2006. 西安地裂缝场地勘察与工程设计规程[ S ].  
[ 6 ] 彭建兵, 范文, 黄强兵, 等. 西安市城市快速轨道交通二号线穿过地裂缝带的结构措施研究[ R ]. 西安: 长安大学, 2006.  
[ 7 ] 黄强兵, 彭建兵, 门玉明, 等. 地裂缝对地铁明挖整体式衬砌隧道影响机制的模型试验研究[ J ]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(11): 2324-2331.  
[ 8 ] 黄强兵, 彭建兵, 樊红卫, 等. 西安地裂缝对地铁隧道的危害及防治措施研究[ J ]. 岩土工程学报, 2009, 31(5): 781-788.  
[ 9 ] 范文, 邓龙胜, 彭建兵, 等. 地铁隧道穿越地裂缝带的物理模型试验研究[ J ]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(9): 1917-1923.  
[ 10 ] 胡志平, 赵振荣, 朱启东, 等. 西安某地裂缝两侧黄土物理力学性质试验[ J ]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(1): 85-88.  
[ 11 ] 邓亚虹, 彭建兵, 卢全中, 等. 地铁工程地质灾害危险性综合评价定量方法——以西安地铁一号线为例[ J ]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(3): 291-294.  
[ 12 ] 门玉明, 石玉玲. 西安地裂缝研究中的若干重要科学问题[ J ]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(2): 172-176.  
[ 13 ] 门玉明, 王启耀. 地下建筑结构[ M ]. 北京: 人民交通出版社, 2007.  
[ 14 ] Timoshenko S P, Young D H. 结构理论[ M ]. 叶红玲, 杨庆生, 译. 北京: 清华大学出版社, 2005.

- [ 12 ] 西安地质矿产研究所. 重点矿山地质环境问题专题调查综合研究报告[ R ]. 西安: 西安地质矿产研究所, 2007.  
[ 13 ] 西安地质矿产研究所. 陕西潼关金矿区地质环境问题专题调查报告[ R ]. 西安: 西安地质矿产研究所, 2009.  
[ 14 ] 西安地质矿产研究所. 陕西大柳塔煤矿区地质环境问题专题调查报告[ R ]. 西安: 西安地质矿产研究所, 2007.  
[ 15 ] 辽宁省地质矿产调查院. 辽宁阜新煤矿区地质环境问题专题调查报告[ R ]. 沈阳: 辽宁省地质矿产调查院, 2007.  
[ 16 ] 刘世建, 谢洪, 韦方强, 等. 小秦岭金矿区人为泥石流[ J ]. 山地学报, 1996, 14(4): 259-263.  
[ 17 ] 徐友宁, 陈社斌, 何芳, 等. 潼关金矿区矿渣型泥石流灾害及防治对策[ J ]. 山地学报, 2006, 24(6): 667-671.  
[ 18 ] GB 15618—1995. 土壤环境质量标准[ S ].  
[ 19 ] 徐友宁, 张江华, 陈社斌, 等. 小秦岭金矿区不同污染方式土壤剖面上重金属含量分布特征[ J ]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 200-206.  
[ 20 ] 徐友宁, 陈社斌, 陈华清. 生态环境脆弱区煤炭资源开发诱发环境地质问题——以陕西省神木县大柳塔煤矿区为例[ J ]. 地质通报, 2008, 27(8): 1344-1350.  
[ 21 ] 李智佩, 徐友宁, 郭莉, 等. 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[ J ]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(4): 398-403.  
[ 22 ] 徐友宁, 陈社斌, 陈华清, 等. 大柳塔煤矿开发土壤重金属污染响应研究[ J ]. 中国矿业, 2007, 16(7): 47-50.