

文章编号 :1004-4574( 2006 )04-0132-06

# 抚顺西露天煤矿地质灾害预测

翟文杰 钟以章 姜德录 王 中 李 芳

( 辽宁省地震局 辽宁 沈阳 110031 )

**摘要** 分析研究了抚顺地区的矿震活动 ,对抚顺西露天矿的地质构造特征和滑坡、泥石流等地质灾害状况以及产生这些灾害的原因进行了详细的研究。结合地质构造情况 ,提出了抚顺西露天矿可能发生的灾害的类型及规模 ,并对矿山开采停止后水系所受的影响进行了研究。

**关键词** 地质灾害 ;预测 ;抚顺西露天煤矿

中图分类号 P694

文献标识码 :A

## Prediction of geological disaster in Fushunxilitian Coal Mine

ZHAI Wen-jie , ZHONG Yi-zhang , JIANG De-lu , WANG Zhong , LI Fang

( Earthquake Administration of Liaoning Province , Shenyang 110031 , China )

**Abstract** :Activity of mine quake in fushun area was analyzed. Detail research was carried out on geological tectonic characteristics , geological disasters , such as landslide and debris flow , and the cause of these disasters. Combined with geological tectonic situation , the kind and scale of disasters possible was presented. Finally , the influence on water system after mining was discussed.

**Key words** :geological disaster ; prediction ; Fushunxilitian Coal Mine

## 1 抚顺地区矿震活动及趋势预测

### 1.1 抚顺地区矿震活动概况及时空分布

抚顺地区很早就有矿震记载。由于矿震具有发震地点集中、震级较小但破坏较重的特点 ,目前 ,矿震灾害已越来越受到政府的重视 ,并加大了对矿震的监测研究工作。由于矿震震级较小 ,早期的地震台网不能记录到矿震的发生地点和震级大小。自 1968 年辽宁地区陆续建立地震监测台站以来 ,对抚顺地区的矿震才有系统的观测记录。近几年来 ,由于抚顺矿震活动的日趋活跃 ,在抚顺地区建立了区域地震台网 ,因而对地震的记录更加详细 ,矿区附近地区发生的零级以上的地震均可以得到准确的记录。从已有的矿震记录统计 ,自 1968 年 12 月开始有矿震记录以来至 2006 年 3 月止 ,共记录到抚顺地区的矿震五万多次 ,其中 :1.0 ~ 1.9 级矿震两万多次 ,2.0 ~ 2.9 级矿震一千多次 ,3.0 级以上的矿震 90 次。最大矿震记录为 2002 年 1 月 26 日发生的里氏 3.7 级矿震。

近几年的矿震活动日趋活跃 ,2005 年 1 月至 2006 年 3 月间共发生矿震 4 120 次 ,其中 :1.0 ~ 1.9 级矿震 1 413 次 ,2.0 ~ 2.9 级矿震 177 次 ,3.0 ~ 3.9 级矿震 13 次。最大矿震为 2005 年 1 月 5 日发生的里氏 3.4 级矿震。

收稿日期 2006 - 01 - 26 ; 修订日期 2006 - 07 - 20

基金项目 :辽宁省科委基金资助项目( 2005231001 - 1 )

作者简介 :翟文杰 ( 1959 - ) ,男 ,山东日照人 ,副研究员 ,主要从事地震学理论研究。

抚顺矿震的空间分布主要集中分布于抚顺东部前甸镇附近,地理坐标范围在北纬 $41^{\circ}49'$ 至 $41^{\circ}54'$ ,东经 $121^{\circ}52'$ 至 $124^{\circ}$ 之间,NE向的密山—敦化断裂带两侧(图1)。从时间分布来看,自1968年12月有矿震记录以来,除了1974年7-11月出现了5个月的断记外,其它时间记录比较连续。矿震活动从1995年开始2级矿震活动明显活跃。3级以上的矿震活动集中分布在1998-2006年(图2)。

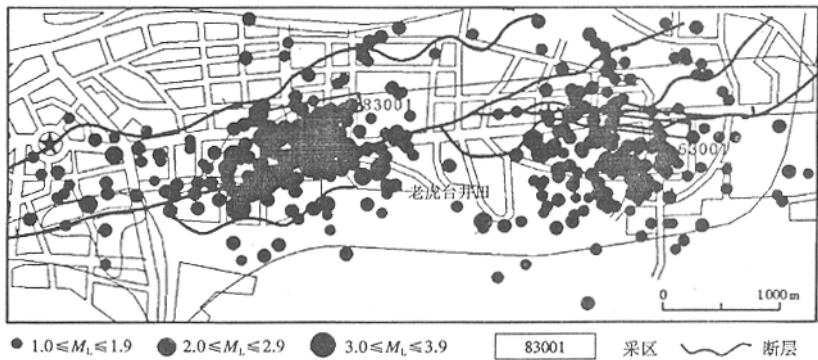


图1 抚顺矿震分布图(1968-2006年)  
Fig.1 Distribution of mine quake in Fushun

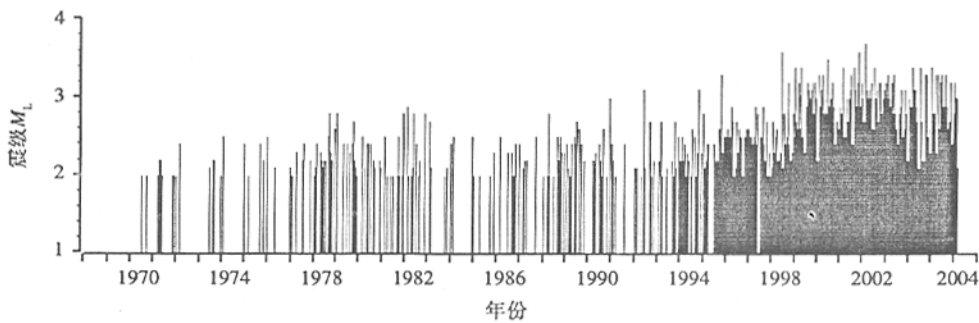


图2 抚顺矿震  $M-t$  图( $M_L \geq 2.0$ )  
Fig.2 Diagram  $M-t$  of mine quak in Fushun

1.2 抚顺矿震活动未来趋势预测

按抚顺矿震年频次图显示结果(图3),矿震年频次出现逐年升高的趋势,2001年频次达到历史最高值,

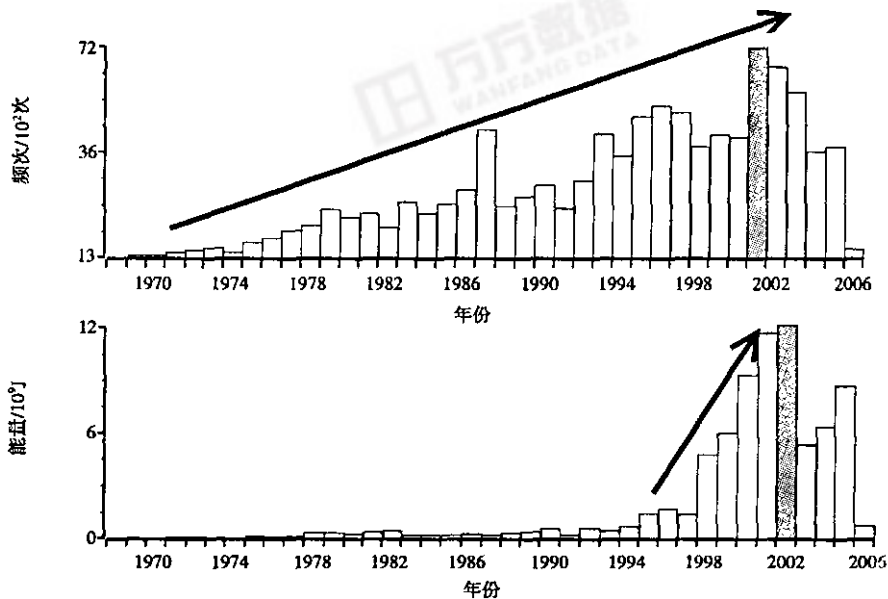


图3 抚顺矿震频度、能量及蠕变图

2002 2003 年频次略有回落 ,近几年矿震活动一直保持在较高的水平之上。抚顺矿震能量释放图显示 ,1998 年抚顺矿震能量释放加剧 ,之后年年攀升 ,到了 2002 年矿震能量释放达到了历史最高水平 ,2003 年迅速回落 ,2004 - 2005 年矿震能量释放再次出现上升的趋势 ,据此推测今后能量释放还可能再次出现高水平状态。蠕变释放曲线图上显示 ,1995 年以来能量出现加速上升趋势 ,呈上翘形态。分析认为 ,今后矿震活动水平有可能增强 ,结合当地的地质构造情况 ,未来抚顺矿震活动极大震级可达到里氏 4 级左右。

2 抚顺西露天矿附近的地质构造特征

抚顺煤田位于抚顺市区南部 ,该煤田沿近东西方向展布 ,为长条状含煤构造盆地 ,东西长 18 km ,南北宽 2 km ,面积约 36 km<sup>2</sup>。该煤田由 4 个井田组成 ,自西而东为抚顺西露天矿、胜利矿、老虎台矿、龙凤矿。抚顺西露天矿开采胜利矿井田内的浅部煤层 ,采场东西长 6.6 km ,南北宽 2.2 km ,采场深约 390 m ,抚顺西露天矿的含煤地层为老第三系古新世—始新世的抚顺群 ,分布在抚顺西露天矿的是古新统古城子组 ,它由主煤层、褐色油页岩和绿色泥岩组成。煤层上覆有第四纪冲积层 ,下伏地层为白垩系砾岩层。在煤盆地的北缘分布着与煤盆地长轴方向近乎平行的 F<sub>1</sub> 断裂和 F<sub>1A</sub> 断裂 ,前者发育于老第三系绿色岩系中 ,后者从白垩系火山岩、砾石和太古界变质岩系之间穿过。F<sub>1</sub> 和 F<sub>1A</sub> 在抚顺地区所揭露的长度为 5 ~ 6 km ,它们是区域上浑河断裂的重要组成部分。

抚顺西露天矿北帮构造复杂 ,除了有断裂穿切外 ,还覆盖了一系列牵引褶曲 ,F<sub>1</sub> 断裂从北帮穿过 ,走向 80°、倾向北、倾角 52° ~ 68° ,西部倾角较缓 ,中部及东较较陡 ,断裂上盘为白垩系地层 ,并逆覆于第三系抚顺群地层之上。断层带内构造凸镜体、角砾岩和糜棱岩发育 ,在西部区断层带内有紫红色断层泥发育。断层的垂直位移 550 ~ 600 m ,水平位移 250 ~ 400 m。F<sub>1A</sub> 断层与 F<sub>1</sub> 大体平行 ,走向近东西、倾向北、倾角 70° ~ 80° ,断层上盘为太古界变质岩系 ,下盘为白垩系地层 ,为高角度冲断层( 图 4 )。

由于 F<sub>1</sub> 断裂与地层走向之间的夹角很小 ,形成了较小的锐角三角形断块。在第三纪早期强烈的右旋扭动的构造力影响下 ,在抚顺西露天矿坑北帮形成了褶曲轴向大体与 F<sub>1</sub> 平行的牵引复式向斜 ,向斜轴方向 75° ,倾向北 ,向东北方向倾斜。向斜主要在绿色页岩中发育 ,除主向斜外 ,还发育了 5 个次级褶曲 ,它们呈斜列展布 ,构成了复式褶皱。

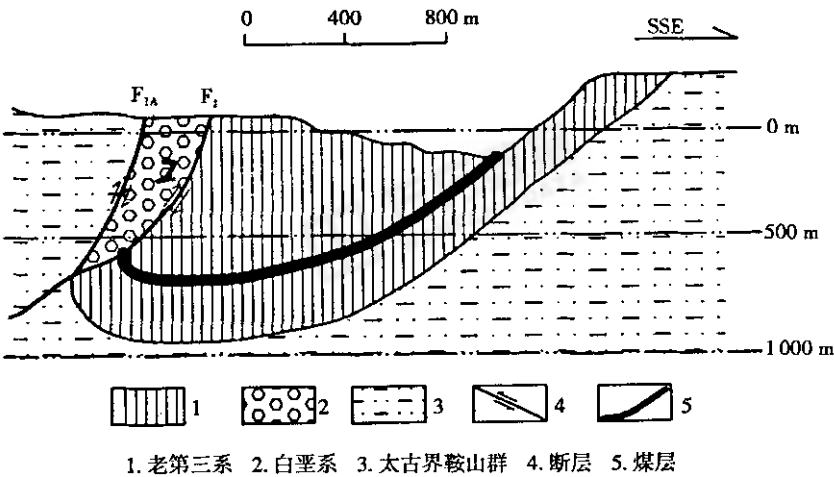


图 4 抚顺西露天煤矿地质剖面图

Fig. 4 Geological section of Fushunxilu Coal Mine

通过分析浑河断裂和抚顺西露天矿附近 F<sub>1</sub> 和 F<sub>1A</sub> 的地质特征 ,可以对浑河断裂的形成与演化历史进行推断 ,浑河断裂是在中生代燕山运动的基础上形成和发展的 ,它的形成以深部韧性剪切作用为主 ,并伴随有强烈的右旋扭动。燕山运动时期 ,沿断裂有大规模玄武岩浆喷发 ,同时发生了差异断块构造运动所形成的断面 ,为巨厚的第三纪含煤盆地的形成奠定了基础。早第三纪晚期的近南北向推覆构造活动产生了两至三条推覆构造带和与之相配套的次级构造。在该方向构造应力的作用下 ,白垩系和太古界变质岩系推覆到第三纪地层之上 ,于是沿主干断裂形成了破碎带 ,含煤地层发生不对称倒转 ,形成复式倒转向斜构造。

浑河断裂的新活动 ,在地貌、水系、火山活动和微震分布等方面均有所显示。从断层泥的年代测定结果看 ,在抚顺西露天矿北帮  $F_1$  和  $F_{1A}$  断裂上采集了 2 个 ESR( 电子自旋共振 )样品 ,年龄分别为  $25.3 \pm 5.06$  万 a 和  $20.38 \pm 4.07$  万 a。说明  $F_1$  和  $F_{1A}$  断裂在抚顺西露天矿段的最新活动时代为中更新世晚期。

1980 年和 1981 年曾多次在抚顺煤矿进行了地应力测试 ,其最大主应力值为  $9.62 \sim 14.44$  MPa ,水平向地应力大于垂直应力 ,最大主应力方向为  $65^\circ \sim 83.5^\circ$  ,与华北地区构造应力场的方向基本一致。

### 3 抚顺西露天煤矿的滑坡灾害情况

抚顺西露天矿是滑坡灾害的多发区 ,由于该矿区地质构造复杂 ,加上采矿作用 ,使抚顺西露天矿北帮自 1914 年以来多次发生滑坡灾害 ,滑坡在抚顺西露天矿长达 5.5 km 的非工作帮上几乎到处都有 ,据不完全统计 ,抚顺西露天矿自 1935 年以来 ,共发生滑坡 50 多次 ,最大塌方量达  $129 \text{ 万 m}^3$  ,其中 1993 年的滑坡还伴有泥石流( 表 1 )。

抚顺西露天矿的滑坡不仅造成了停产事故 ,而且危及到附近工厂的安全生产 ,抚顺西露天矿北帮正好被  $F_1$  和  $F_{1A}$  断裂穿切 ,滑坡的发生对断裂有所牵动 ,从而出现错位和张裂 ,石油一厂和发电厂地裂缝的发育和地形变资料完全可以得到证实。因此 ,座落在断裂上的厂房和设备均有不同程度的损坏。

抚顺西露天矿滑坡灾害的发生主要与煤矿的深采和扩采有关 ,但复杂的地质构造和断层泥带的发育也是边坡失稳的重要原因。在抚顺西露天矿北帮  $F_1$  和  $F_{1A}$  均为反坡向分布的断裂 ,由于断裂倾角较陡 ,开采可以引起两条断裂带的松弛 ,造成边坡变形和位移的不均一 ,不连续以及蠕动 ,一般靠近采场的位移大 ,远离采场的位移较小 ,上盘位移小 ,下盘移较大。断层两侧不均匀沉降明显。

表 1 抚顺西露天矿典型的地质灾害一览表  
Table 1 List of typical geological disasters in Fushunxilitun Coal Mine

地质灾害名称	时间/a	体积 / $10^4 \text{ m}^3$	区 间	地 质 灾 害 简 述
西部出车沟滑坡	1953	40	西部帮区	破坏 3 个采掘平盘
老四号滑坡	1955	60	南崩岩区	12 段和 16 段采煤工作面及运输铁路被埋
南机电厂滑坡	1964	105	南崩岩区	南机电厂区大部分滑落 ,工厂被迫拆迁
W700 滑坡	1979	129	南崩岩区	10 条干线 4 条采掘线均被切断
北帮 E800 滑坡	1987	52	北帮东区	滑落体将 28 干线 3 条线路及平盘水沟切断 ,将 12 段平盘全部淹没。使北帮剥离运输陷于停顿状态 0.5 年之久 ,造成的经济损失巨大 ,估计达 6000 万元。
西端帮泥石流	1993	20	西端帮区	泥石流冲垮了 -81m 及 -108m 水平的内部排土线 ,造成铁路悬空、变形 ,使内部排土作业停止。造成的经济损失估计可达 5000 万元。
北帮 E1000 沉陷滑移变形	1993 - 1994	12.88	北帮东区	导致 14 段站场被埋 ,7 段、28 干线运输中断 ,地面兴平路沉陷变形严重 ,局矿客货电铁停运。直接经济损失估计达 12000 万元。
北 帮 W200 - W800 倾斜滑移变形	1986 至今	2	北帮西区	露天矿北帮西区边坡随着加陡到界 ,从 1986 年开始发生大幅度、大规模的倾斜滑移变形 ,使露天矿生产受到严重影响 ,并波及地面 ,影响距离约 500 - 700m ,造成地面境界处部分工作设施和民用建筑物严重破坏 ,到 1996 年国家已投入数亿元资金进行边坡治理。目前变形仍在发展 ,并可能有增大的趋势。

断裂带内断层泥的存在也是边坡失稳的原因之一 , $F_1$  和  $F_{1A}$  的断层泥非常发育 ,断层泥为深褐色定向构造明显的构造粘土 ,属于塑性粘土材料 ,含大量蒙脱石、化学活性强、摩擦强度低。当断层带注水后 ,强度将更低 ,由于抚顺西露天矿北帮和西北帮上断层泥厚度大 ,为  $2.5 \sim 9.7$  m ,再加上断层泥分布连续且强度又低 ,所以的抚顺西露天矿的边坡及邻近区以倾到变形为主 ,随着采矿深度的加大 ,这种破坏方式将更为突出。

### 4 抚顺西露天煤矿地质灾害分析与防治对策建议

#### 4.1 抚顺西露天煤矿地质灾害浅析

抚顺西露天煤矿已有近百年的开采历史 ,伴随着煤矿的生产 ,发生过多次滑坡和泥石流等地质灾害 ,表 1 给出的仅仅是这些灾害中规模较大的几个。对这些地质灾害统计分析可以看出 ,导致发生地质灾害发生



的原因主要有：

- (1) 断层的影响。抚顺西露天煤矿及附近地区地质条件复杂,北坡附近的  $F_1$  和  $F_{1A}$  的断层直接控制矿区的地质灾害的发生。断层和局部的不连续面会控制边坡的变形和滑动,进而发生地质灾害；
- (2) 软岩及断层泥控制。煤系地层中多为沉积岩,其中含有大量的泥质成份,遇水强度降低,产生软化效应。同时软岩遇水膨胀,使变形能力也大大增加。断层中的断层泥与软岩具有相似的性质；
- (3) 水与岩石相互作用。露天煤矿发生滑坡、变形、泥石流,绝大部分与水的直接或间接参与有关,水系的渗透能力极强,它可以导致边坡地区土层的软化、液化现象产生；
- (4) 震动诱发的地质灾害。抚顺地区近几年来矿震活动日趋频繁,这些矿震可以诱发地质灾害发生。另外矿区生产所产生的煤爆、运输等生产活动均可以诱发地质灾害的发生；
- (5) 露天开采与地下开采相互影响。抚顺地区有露天开采与地下开采同时进行,两者同时进行,互相作用也会诱发地质灾害。

4.2 抚顺西露天煤矿可能发生的地质灾害预测

抚顺西露天煤矿计划于 2007 年停止开采,但由于多年的开采活动造成的局部地质不平衡还将延续数年,其地质灾害的发生除了与露天矿结构、岩层分布、断裂构造、环境条件等有关外,还与对矿区及附近地区的综合管理及防治有关。根据国内外露天煤矿生产过程的经验及抚顺西露天煤矿附近地区的地质构造情况,可能发生的地质灾害预测：

(1) 边坡影响范围。由于抚顺西露天煤矿开采深度大,形成了高大的陡边坡。矿坑最深处已达 440 m,最大坡角为 30°左右,大范围的采空区造成了边坡及边帮影响范围内发生变形、塌陷、地面沉降、地裂缝等等地质灾害。抚顺西露天矿北部企业众多,企业石油一厂、发电厂、水泥厂等坐落于此。不均匀变形已经造成石油管道破裂、厂房地基下沉、厂房墙体破裂甚至倒塌。其周围的商业区及附近的居民区也受到不同程度的影响。

由于矿区的采矿活动即将停止,因此,大的地质灾害发生的可能性将会降低,但矿坑附近的地面形变还将持续多年,其变形水平主要取决于周围客观因素的影响。由于煤矿开采所产生的挖掘坑不是自然形成的,它的边坡稳定性属于人工开采边坡问题,其边坡稳定性远远低于自然形成的大坑。根据以往的研究经验,人工开采所形成的采矿坑,附近可能产生变形的范围大致在倾角 20°以内。由于露天矿紧邻市区,推算其影响垂直距离在坑边的 500 m 范围,这样,抚顺市区的浑河以南地区均会受到不同程度的影响(图 5)。

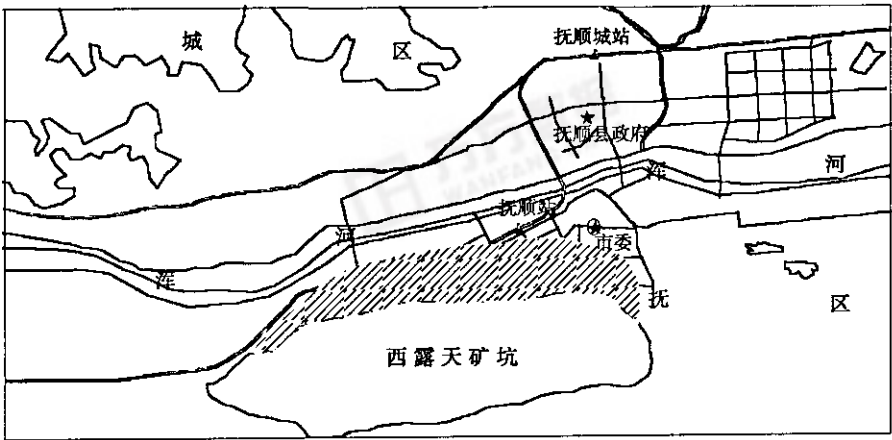


图 5 抚顺西露天煤矿地质灾害影响示意图

Fig. 5 Sketch of geological disaster influence in Fushunxilulian Coal Mine

(2) 断裂活动的影响。抚顺西露天矿北部发育有  $F_1$  和  $F_{1A}$  的断裂,他们在抚顺城区穿过。断裂的活动会加剧地质灾害影响区内的变形水平和规模,由于去抚顺矿务局没有得到抚顺西露天矿的地质断裂资料,对  $F_1$  和  $F_{1A}$  的断裂的具体位置、铲状、活动水平尚无准确的结果。但可以肯定的是,抚顺西露天矿北邦的地质灾害一定与  $F_1$  和  $F_{1A}$  断裂有直接关系。

(3) 地震的作用。我省处于地震活动水平较高的地区,历史上发生过多次破坏性地震,另外,由于人类

的采矿活动 ,破坏了原有地层系统的结构 ,打破了原系统的平衡 ,使采矿过程中不断诱发地震。抚顺地区已有多次矿震发生 ,最高震级达到 3.7 级。由于矿震的震源深度浅 ,因此 ,尽管震级不是很高 ,但产生的破坏效果却很严重。而且 ,由于矿山的开采活动 ,造成了岩体承载能力下降 ,加之地震动力作用 ,边坡的稳定性明显降低。研究表明 ,地震力作用 ,使边帮围岩不仅发生平行和垂直边坡的振动 ,而且由于边坡台阶和岩层分布的不均匀性及地震力来源的随机性 ,边帮围岩还将发生扭动变形。

(4) 水系作用。露天矿生产过程中 ,每年要花费大量的资金拦截疏导地表水 ,聚集在坑底的积水也要通过排水系统疏干。矿山生产停止以后 ,大气降雨、地表水流入、浑河水的渗透、工业和民用废水排放及地下水补给等 ,会在坑内聚集发展。如不加强管理 ,及时治理 ,抚顺西露天矿停止生产后就可形成人工湖泊 ,并且可能并发地下水水质污染、边坡岩石软化、诱发矿区地震等相关灾害。抚顺西露天矿坑是一个 10 多亿  $m^3$  的大坑 ,按目前水资源的数据测算 ,每年可汇入坑内的水量大约有 4000 万  $m^3$ 。那么 ,十到二十年后 ,抚顺西露天矿就有可能形成一个大型人工湖。大量的蓄水会使局部地质平衡状态发生变化。矿坑边帮地区长期处于缺水状态 ,但如果人工湖一旦形成 ,水的侵蚀将可能诱发地震 ,并伴有滑坡、塌陷等地质灾害发生。国内外有许多水库蓄水后发生水库地震的例子 ,并且给当地造成了一定的经济损失。而抚顺西露天矿坑又是人工开采以后形成的 ,蓄水以后其边坡的稳定性将更低 ,极易产生滑坡、泥石流等地质灾害。

4.3 抚顺西露天煤矿地质灾害的防治建议

基于以上的分析可以看出 ,抚顺西露天煤矿地质灾害的防治是一个综合的课题 ,涉及的内容很多 ,对地质灾害的防治提出两条建议 ,供政府决策参考 :

(1) 灾害防治的科学性。西露天煤矿地质灾害的防治与露天煤矿立项设计生产一样 ,是一个复杂的系统 ,它涉及到社会的方方面面 ,不是哪一个部门或行业能够解决的。由于这是一个历史问题 ,也有很多分析研究的例子 ,建议政府组织地质、环保、水利、科研所等相关部门对抚顺西露天煤矿地质灾害的综合防治方案进行科学的论证 ,给出最佳的地质灾害防治方案 ,使其灾害损失降到最低。

(2) 矿区综合治理。单从技术方面来说 ,灾害防治涉及采矿、地质、测量、机电、环保等多学科联合攻关。除了工程性防治措施外 ,还应开展非工程性的防治措施。从时间上看 ,停止生产后的地质灾害研究 ,只是一种预研 ,随着时间的推移 ,灾害发生的范围、程度在不同客观条件下 ,其灾害的时间、地点、等级等会有不同。提出何种防治措施 ,要依据整个西露天煤矿的综合条件而定。

参考文献 :

[ 1 ] 李铁 ,等. 我国的采矿诱发地震[ J]. 东北地震研究 ,2005 ,21( 3 ) :1 - 23.  
[ 2 ] 杨天鸿 ,等. 抚顺西露天矿北帮边坡治理工程效果初步评价[ J]. 岩石力学与工程学报 ,2005 ,24( 11 ) :1841 - 1846.  
[ 3 ] 王来贵 ,等. 大中型露天煤矿闭坑地震灾害浅析[ J]. 中国地质灾害与防治学报 ,2002 ,13( 3 ) :51 - 54.  
[ 4 ] 赵广信 ,等. 辽宁抚顺市区凤翔路堤裂缝诱因分析[ J]. 中国地质灾害与防治学报 ,2004 ,15( 2 ) :59 - 62.