

辽宁抚顺西露天矿北帮边坡稳定性分析及变形分区

王永胜¹, 郭静芸^{2,3}, 董高峰⁴, 李守定², 赫建明²

(1. 长江勘测规划设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 443003; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所 中国科学院工程地质力学重点实验室, 北京 100029; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 青海省环境地质勘查局, 青海 西宁 810007)

摘要:分析了抚顺西露天矿的地质背景,对西露天矿北帮边坡进行稳定性数值分析,并对西露天矿地质灾害进行评价和变形区划分。分析结果表明,矿区的地质灾害主要受断层,软弱岩体,强降雨以及矿震等的影响;边坡存在相当大型性区,边坡表坡局部存在较大变形,随着井采开采的推进边坡塑性区将增大,地表沉降位移增量呈增加的趋势;对地质灾害影响的区域应根据变形情况逐渐实施搬迁。最后指出应对北帮边坡岩体变形的时效性问题及趋势进行预测,并做好地质灾害防治工作。

关键词:露天矿;地质灾害;边坡稳定;数值模拟;地灾评估

文章编号:1003-8035(2012)04-0086-08

中图分类号:P642.2

文献标识码:A

0 引言

抚顺西露天矿是一座历史悠久、规模宏大的大型深凹露天煤矿,具有 100 多年的开采历史。现已形成东西长 6.6km,南北宽 2.2km,深约 424m 的“亚洲第一大坑”。从 1927 年至今,在下挖过程中已发生不同规模的滑坡 90 余次,累计滑坡体积达 $4500 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。并且随着西露天矿坑的深挖,周缘边坡高度逐渐加大,从 1986 年开始出现大规模的滑坡和变形,累计地面变形区范围 500 ~ 700m,最大下沉 4 ~ 5m,水平位移 14m^[1]。近些年来灾害变得更为明显,如 2005 年 8 月 13 日前后一次强降雨引起北帮兴平路地段和北帮南阳路地段的两处滑坡;2006 年 6 月 10 日至 18 日,由于强降雨,在北帮南阳路地段产生宽度约 0.5m 的地裂缝带。西露天矿造成的地质灾害已危及到抚顺市相当部分城区的安全。特别突出的是北帮地段涉及面积约 3.99km²,因近百年的采煤,岩体大部受损,部分处于松弛状态,随时都有可能再次引发重大地质灾害事件^[2]。

本文对抚顺西露天矿的地质背景进行了总结归纳,基于地质资料对西露天矿北帮多元介质边坡进行稳定性数值分析,并且对西露天矿进行地质灾害评估及变形区划分,得出了诱发地质灾害的原因,对北帮边坡的稳定性进行预测,提出了下一步应进行的研究工作。

1 抚顺西露天矿地质背景

抚顺西露天矿位于浑河南岸,埋藏在浑河冲积平

原之下。煤系地层夹持在花岗片麻岩与火山岩之间的“凹槽”内(图 1)。这一形态特征和地质结构特征始于 6000 万年前,至以后的一段地质历史时期的地质构造作用(主要是喜山期)才完成的。

1.1 地层岩性

矿区基岩按成因分为岩浆岩、火山岩(喷出岩)与沉积岩^[3]。区内沉积岩地层在早白垩系(1.35 亿年) - 古近系(老第三系,6500 - 2300 万年)期间均有发育,均以软岩为主。其中以古近系较发育,是矿区的含煤岩系。软岩夹持在花岗片麻岩刚性基底的凹槽内(图 1)。

1.2 地质构造

从大的区域上来看,抚顺煤矿所处的构造部位是邻庐大断裂带的北延部分。从小的区域上来看,抚顺煤矿的地质构造主要表现为褶皱和断层(图 2)。

1.2.1 褶皱

抚顺西露天矿主要受抚顺复式向斜控制。复式向斜轴向总体呈 NE75° 延展,由数条呈斜列展布的向斜褶皱组成。向斜西部地层倒转形成倒转向斜,向东

收稿日期:2012-05-14;修订日期:2012-08-23

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB731501 2009CB724605);国家自然科学基金资助项目(41027001);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-JS102, YZ200912);中国地质调查局工作项目(1212011220136)

作者简介:王永胜(1977—),男,硕士,从事工程勘察设

E-mail:01122329@163.com

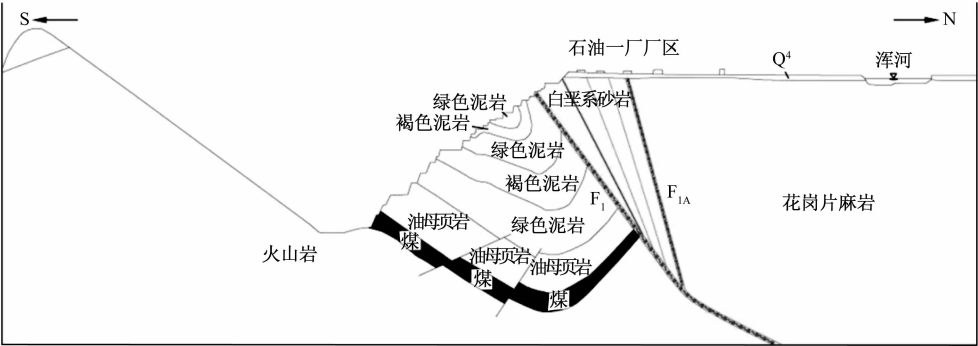


图 1 抚顺西露天矿地质剖面图

Fig. 1 The geological cutaway view of Fu Shun west open-pit mine

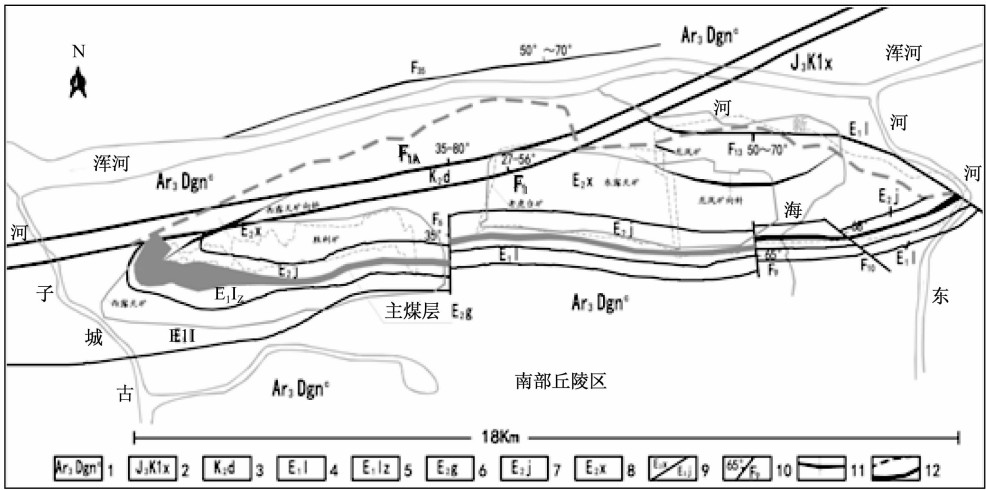


图 2 区域构造地质简图

Fig. 2 The geological map of area tectonic

1. 太古界花岗岩麻岩;2. 晚侏罗-早白垩安山岩、玄武岩;3. 白垩系大峪组砂页岩、砾岩;4. 第三系老虎台组玄武岩;5. 栗子沟组凝灰岩;
6. 古城子组煤;7. 计军屯组油母页岩;8. 西露天组泥、页岩;9. 地层代号及界线;10. 断层编号及其产状;11. 向斜轴;
12. 煤田范围境界线(南侧为地表露头;北侧为地下范围)

侧逐步恢复正常。向斜东西两端封闭,受其控制,煤层在向斜两侧埋藏较浅,而向斜中部则煤层埋藏较深,最大埋藏深度达-1250m左右。所以从向斜轴向剖面来看,抚顺西露天矿煤层赋存形态为东西浅、中间部位深,大致呈船形^[3]。

1.2.2 断层

抚顺西露天矿的断层以沿着 NEE 向浑河平行分布的一群断裂(浑河断裂,代表性断层为 F1、F1A)为主体,表现为逆冲性质;其他主要为与这些断裂伴生的受同一应力场控制的近 SN 向断层和 NW 向断层。近 EW 向断层是在挤压过程中发生应力松弛或在挤压作用后期为调整重力势能而发生的,它们与主压面

有近似的走向。近 EW 向断层不切入 F1 断裂,其中 F1 断裂对次级断裂起着一定的边界限制作用。

断层 F1 和 F1A 是浑河断裂带的 2 条主要断裂。F1 是构成古近系含煤系北限的边界断裂,它使白垩系大峪组逆冲于煤系之上,并拖曳煤系形成褶皱。断距各地不一,中部倾斜断距达 1000m,东段断距不足 200m。断裂破碎带内发育紫红色断层泥及断层角砾。破碎带宽 30~70m,倾向北,倾角 35°~50°,上陡下缓,在-500m 高程以下与 F1A 断层并拢发育。

1.3 岩体卸荷特征

西露天矿坑由于高差达约 350m,地应力量级较高,北帮边坡岩体以绿色泥岩和褐色泥岩为主,岩体

较软弱,加之边坡附近发育有 F1、F1A 断层,尤其受胜利矿深部开采的影响,岩体卸荷明显,一般表现为岩体松弛,同时沿原有断层带及构造裂隙形成一定数量的卸荷裂隙,造成岩体强度降低、透水性增强。根据历年来的研究,北帮边坡卸荷带宽度在 400 ~ 450m,其中强卸荷带宽度有 80 ~ 100m^[4]。

2 抚顺西露天矿北帮边坡稳定性数值分析

数值模拟是对边坡现状进行定性和定量安全稳定评价,同时对 F1A 断层以北的花岗片麻岩区变形特征进行评价。另外,考虑露天开采结束和内排回填后,将对 F 界以北的地下煤层采用井采方式尽可能地将矿产资源挖掘出来,所以对边坡及煤层上覆岩体的安全稳定进行评价以及对 F1A 断层以北的花岗片麻岩进行可靠性评价^[5-8]。在井采工况设计时,主要是研究采空状态的安全评价,不考虑实际采煤工序。

2.1 材料模型和参数

西露天矿北帮的岩、土材料均属弹塑性材料,计

算采用莫尔-库伦 (Mohr-Coulomb) 屈服准则: $f_s =$

$$\sigma_1 - \sigma_3 \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} - 2c \sqrt{\frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi}}$$

式中: σ_1 ——最大主应力;

σ_3 ——最小主应力;

c ——粘结力;

φ ——摩擦角。

当 $f_s > 0$ 时,材料将发生剪切破坏。在通常应力状态下,岩体的抗拉强度很低,因此可根据抗拉强度准则 ($\sigma_3 \geq \sigma_T$) 判断岩体是否产生拉破坏。

采空区上覆扰动岩体和受剥离、风化的表层岩体已严重致损,计算时考虑损伤效应。根据现场调查和相关研究提供的岩石力学试验成果,考虑了尺寸效应和地层构造面的影响,结合工程类比,对实验得出的岩石各项参数进行相应的调整和简化,数值模拟计算采用的岩体力学参数见表 1。

西露天矿北帮边坡高程在 80 ~ -500m,加上构造应力在边坡的剥离、矿坑降深过程和井采中几乎释放完毕,所以认为北帮边坡地应力主要是自重引起的。

表 1 数值模拟计算岩体物理力学参数

Table 1 The physical and mechanical parameters for numerical simulation

岩石种类	密度 ρ (kg/m ³)	弹性模量 E (GPa)	泊松比 μ	抗拉强度 σ_r (MPa)	粘聚力 C (MPa)	内摩擦角 Φ
第四系表土	1800	0.025	0.4	0.002	0.1	18
第四系饱和土	1860	0.02	0.4	0.001	0.1	18
煤	1300	1.2	0.28	0.24	1.0	35
绿色泥岩	2250	1.2	0.28	0.24	0.2	28
褐色页岩	2250	1.2	0.28	0.26	0.35	29
油母页岩	2300	3.4	0.26	0.35	0.95	35
红层	2600	5.5	0.25	0.8	1.0	35
红层弱风化带	2350	2.15	0.26	0.15	0.1	30
砂质凝灰岩	2600	8.0	0.25	1.5	2.5	39
玄武岩	2700	25	0.23	2	3	46
花岗片麻岩	2700	35	0.22	3	4	52
花岗片麻岩弱风化带	2650	15	0.24	1.75	2.5	48
油母页岩充填	1800	1.2	0.3	0.05	0.1	30
水砂充填	1500	1	0.35	0	0.05	34
软岩断层	2350	0.3	0.3	0.2	0.1	27
硬岩断层	2400	2	0.3	0.4	0.3	30
剪切带	1500	0.01	0.45	0.001	0.01	15

数值模拟中除了考虑 F1、F1A 两条大断层外,还模拟了两断层外之间、边坡深部和 F1A 断层以北发育的一系列小规模次生断层,这些断层将区域内岩体切割成多个不同岩性和形态的岩组。在采煤活动中,岩层将沿着这些断层可能产生滑动。共计 11 条断层,分别为 F1、F1A、F1-1、F1-3、F41、F42、F39、

F44、F45、F29、F35 断层。对于一些大的断层当作一种材料考虑,对于小断层采用无厚度结构面处理。

对于地表第四系覆盖层,地下水位线以下作为饱和土处理,地下水位线以上的土体将区分为另一种材料。由于浑河水位变幅不大,作为常年定水头补给。

2.2 几何模型及边界条件

本文选取具有代表意义的含有多个断层的 0—0 剖面为模拟对象。上边界为地表,下至 -760m 高程,固定其垂直位移。北侧以浑河南路(矿区座标 N2400)为边界,南侧以矿区座标 S300 为界,固定其水平位移。整个区域选取了南北距离为 2700m,垂直深度为 850m。为了便于监测计算过程中地表沉陷的发展,沿坑口向北延伸至花岗片麻岩区域选取了 26 个地面参考点。

2.3 现状分析

边坡计算网格见图 3,边坡塑性分布见图 4。计算表明:由于露天开采的剥离致损、风化和胜利矿井工开采等,边坡在目前状态下存在相当大塑性区。边坡表坡局部存在较大变形,沿 F1 断层出露部位变形达 1.5m 左右。在矿坑底部已有部分回填,有利于边坡的稳定。由于两条控制性断层 F1、F1A 的存在,加上该断层破碎,因此断层部位已经塑性化,并沿着断层出现剪切和拉张变形。F1 断层下盘岩层(边坡软岩土体)和 F1A 断层下盘(碎裂的白垩系岩体)发生软化和塑性变形后,加上其本身破碎结构导致了其发生较大变形。沿两断层发生剪切和拉张变形。

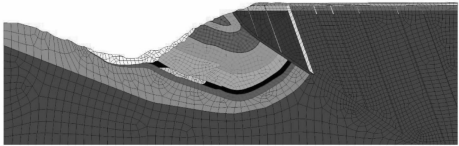


图 3 边坡 0—0 剖面计算网格

Fig. 3 The numeration gridding of 0—0 slope section

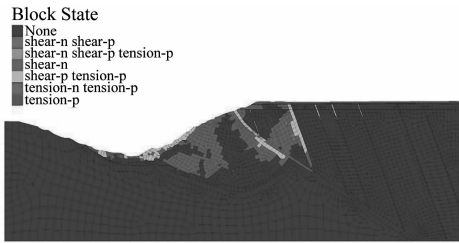


图 4 边坡 0—0 剖面塑性分布

Fig. 4 The distribution of plastic zone of 0—0 slope section

地表参考点的累计沉降变形(累计沉降变形是以开挖到界以后,采用内排回填为参考时间)分布见图 5。地面沉降变形是以 F1A 断层(参考点号为 12)为界,在 F1A 断层以北的花岗片麻岩区域(断层上盘)变形量较小,F1A 断层边缘点沉降变形为 0.03m。而在 F1A 断层(断层下盘)以南的白垩系地层和第三系煤系地层发生较大的地表沉陷变形,达 0.6m。说

明目前条件下,露天开采和地下开采所引起的地表变形没有进入 F1A 断层以北的花岗片麻岩区。

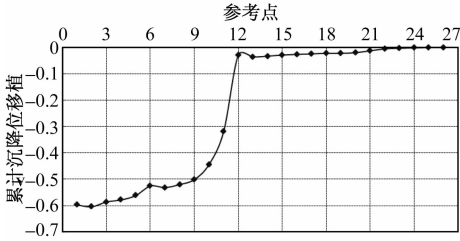


图 5 参考点累计沉降位移值(单位:m)

Fig. 5 The accumulative sedimentation displacement of reference point

2.4 开采对边坡稳定的影响预测

在目前状态下,模拟 N900 ~ N1400 之间煤层的开挖,将区间煤层分成 4 个分段^[9](表 2)。实施地下井采的塑性分布见图 6~图 9,地表参考点 1~26 点在每个分段井采结束时的参考点沉降位移增量分布见图 10。

由图 6~图 9 可以看出,边坡塑性区随着地下开采将增大,特别是位于 F1 和 F1A 两断层间的倒三棱体碎裂结构岩体发生较大变形,并沿两断层发展。井采加速了 F1A 断层以南岩体的解体,但 F1A 断层以北不会发生大的变形,塑性区域没有进入 F1A 断层上盘花岗片麻岩区域^[10-11]。在第三、第四分段井采时,靠近 F1A 断层上盘的次生断层发生局部剪切和拉张,变形范围为进入花岗岩区约 200m 左右,但变形不大,是局部的。

表 2 井采分段

Table 2 Subsection of underground mining

开挖分段	起始桩号	终止桩号	备注
1	N900	N1000	靠近 60 年代采空区
2	N1000	N1130	
3	N1130	N1300	
4	N1300	N1400	

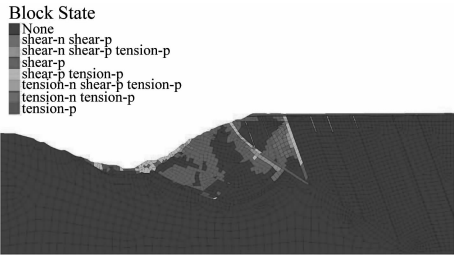


图 6 井采第一分段塑性分布

Fig. 6 Plastic zone distribution of first subsection of underground mining

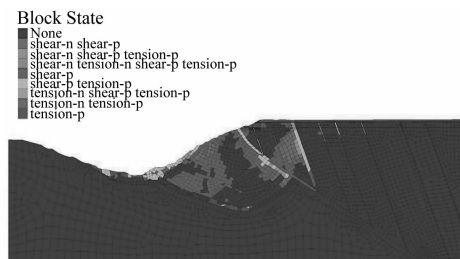


图7 井采第二段塑性分布

Fig. 7 Plastic zone distribution of second subsection of underground mining

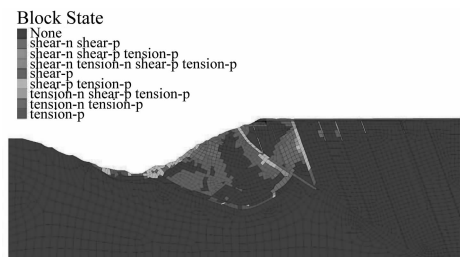


图8 井采第三段塑性分布

Fig. 8 Plastic zone distribution of third subsection of underground mining

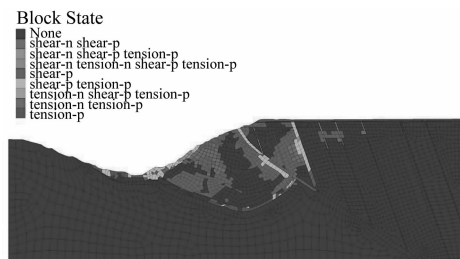


图9 井采第四段塑性分布

Fig. 9 Plastic zone distribution of fourth subsection of underground mining

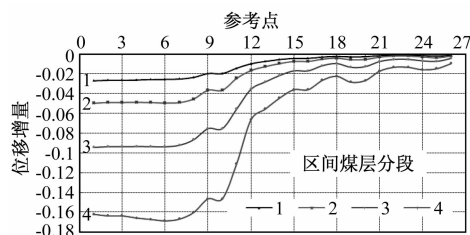


图10 参考点位移增量(单位:m)

Fig. 10 Displacement increment of reference point

1 - 煤层第一段; 2 - 煤层第二段; 3 - 煤层第三段;
4 - 煤层第四段

由图10可以看出,随着分段煤层井采的推进,地

表沉降位移增量都呈增加的趋势,地表沉降位移增量最大值出现在最后一个井采步(第四分段),其量值为0.165m,发生在F1A断层以南的软岩区;地表沉降位移随参考点与开挖煤层的水平距离增大而减小。随着第一分段和第二分段的井采,地表变形主要发生在F1A断层的下盘及其以南的软岩区,加剧了该域内岩体的解体,但花岗岩区没有产生大的变形;在第三分段和第四分段开采时,花岗岩区将产生一定的变形,量值不大,最大量值在6cm左右,发生在F1A断层上盘边缘。

3 抚顺西露天矿北帮变形分区边坡失稳的危害性预测

抚顺西露天矿北帮主要由软弱的灰绿色、灰紫色泥页岩和煤系地层组成,岩体条件很差,其中又有F1、F1A两条区域性大断层及其间的三条次级断裂切割破坏,随矿坑深挖、临空面扩大,相应卸荷区的范围也随之扩大,加之原胜利矿地下采空区主要处于斜坡地段,以上多种不利因素使得北帮F1A断层以南的岩体多处受到损伤,部分处于松弛状态,已经不适宜居住,应逐渐撤出其中的居民、公共设施和工矿企业^[12-15]。

根据西露天矿北帮岩体变形的现状、地形地质条件、岩性以及断裂组合的形式,将北帮分为三个区:破坏变形区、变形牵引区和潜在变形区(图11)。破坏变形区是指地面出现明显而又严重的拉裂缝或沉陷,房屋开裂严重,已经威胁到居民的生命和财产安全^[16-17];变形牵引区是指目前有轻微的地面拉裂变形,但有继续发展的趋势,部分或少数房屋开裂明显;潜在变形区主要分布在北帮F1A断层以北400m以内的花岗片麻岩区,目前尚无地面变形迹象和建筑物拉裂现象,但是具有潜在变形的可能。

破坏变形区、变形牵引区涉及国土面积3.09km²,居民、企业、公共设施在近几年内应逐渐实施搬迁。潜在变形区大部是指F1A断层以北花岗片麻岩浅埋的部分地段,因拉张作用而引起沿结构面出现的地裂缝等。因而在这个区不宜新建房屋、公共设施等,已有的房宅、办公楼及公共设施,视变形情况而逐渐搬迁。要特别提到的是,苏抚铁路线在西露天大坑西侧北端通过段,可能受到大坑边坡变形的影响。

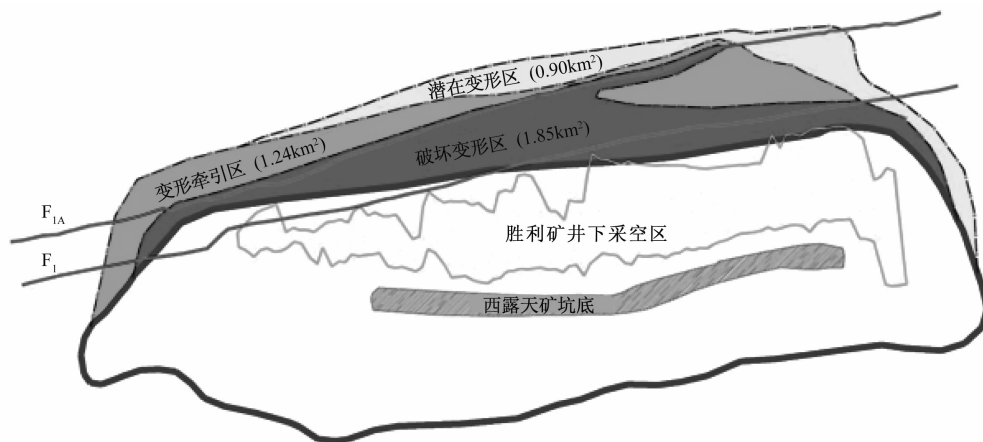


图11 抚顺西露天矿北帮地面变形分布

Fig. 11 surface deformation distribution of north slope of Fu Shun west open-pit mine

4 结论与建议

4.1 结论

(1) 通过对抚顺西露天矿地质灾害进行统计分析得出,北帮附近的F1和F1A等断层直接控制矿区地质灾害的发生。另外北帮边坡岩体以泥岩为主,岩体较软弱,加之岩体卸荷,边坡岩体的强度降低,透水性增强,这在一定程度上也促进了地质灾害的发生。强降雨以及抚顺矿区矿震等因素也会诱发地质灾害的发生^[18-26]。

(2) 通过对北帮边坡进行稳定性数值分析得出在目前状态下边坡存在相当大塑性区^[27]。边坡表坡局部存在较大变形,F1A断层以南的白垩系地层和第三系煤系地层发生较大的地表沉陷变形,F1A断层以北的花岗片麻岩区域(断层上盘)变形量较小。随着井采开采的推进边坡塑性区将增大,但是花岗岩区的变形不大,是局部的。地表沉降位移增量呈增加的趋势。

(3) 西露天矿高陡边坡及边帮影响范围发生变形、塌陷、地面沉降、地裂缝等等地质灾害。其周围的商业区及附近的居民区也受到不同程度的影响^[28]。所以应对影响范围内的房宅、办公楼及公共设施,视变形情况而逐渐搬迁。

4.2 建议

(1) 应对北帮边坡岩体变形的时效性问题及趋势进行预测,并对西露天矿北侧的花岗片麻岩体的完整性和可靠性进行分析。

(2) 西露天矿已经成为集工业景观、人文景观和自然景观为一体的工业旅游景点,是世界上唯一集煤

炭、页岩油、瓦斯发电和余热供暖为一体的煤矿。这足以看出西露天矿的特殊地位,所以在地质灾害评价的基础上应采取强有力的措施做好地质灾害防治工作。

参考文献:

- [1] 未知. 抚顺西露天矿简介[J]. 中国煤炭, 1996(10): 124-125.
WEI Zhi. Synopsis of Fushun west open-pit mine [J]. China Coal, 1996(10): 124-125.
- [2] 韩放. 抚顺西露天矿的回顾与前瞻[J]. 中国煤炭, 1996(10): 39-41.
HAN Fang. Review and prospect of Fushun west open-pit mine [J]. China Coal, 1996(10): 39-41.
- [3] 王金庄. 开采沉陷若干理论与技术问题研究[M]. 矿山测量, 2003, 9(3): 1-5.
WANG Jinzhuang. Research on theory and technic problems of mine and sink [J]. Mine Measure, 2003, 9(3): 1-5.
- [4] 何登发, 周新源, 张朝军, 等. 塔里木多旋回叠合盆地地质结构特征[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(1): 31-41.
HE Dengfa, ZHOU Xinyuan, ZHANG Chaojun, et al. Characters of geological structure of multi-gyre congruent basin in Ta limu [J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(1): 31-41.
- [5] 杨天鸿, 唐春安, 郑雨天, 等. FLAC程序在抚顺西露天矿边坡变形治理工程中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 1999(03): 6-11.
YANG Tianhong, TANG Chunan, ZHENG Yutian, et al. The use of FLAC in the slope distortion manage project of Fu Shun west open-pit mine [J]. Journal of Geological

- Hazards and Environment Preservation, 1999(3):6-11.
- [6] 王泳嘉, 邢纪波. 离散单元法同拉格朗日元法及其在岩土力学中的应用[J]. 岩土力学, 1995, 16(2):1-13.
WANG Yongjia, XING Jibo. Distinct element method and Lagrange method and their use in rock and soil mechanics [J]. Rock and Soil Mechanics, 1995, 16(2):1-13.
- [7] 杨天鸿, 郑雨天, 唐春安, 等. 边界单元法在露天矿边坡疏干排水工程中的应用[J]. 勘察科学技术, 1999(2):10-12.
YANG Tianhong, ZHENG Yutian, TANG Chun'an, et al. The use of boundary element method in drainage project of slope in open-pit mine [J]. Exploration Science and Technology, 1999(2):10-12.
- [8] 束善治, 章林. 复杂条件下露天采场边坡变形分析[J]. 工程地质学报, 2000, 8(2):218-223.
SHU Shanzhi, ZHANG Lin. Analysis of slope distortion of open-pit mine in complex conditions [J]. Journal of Engineering Geology, 2000, 8(2):218-223.
- [9] 张明海. 抚顺西露天矿北帮某段边坡变形预测研究[D]. 沈阳: 辽宁工程技术大学, 2002.
ZHANG Minghai. Research on forecast of slope distortion of the north slope of Fu Shun west open-pit mine [D]. ShenYang: Liao Ning University of Engineering and Technology, 2002.
- [10] 高喜才. 露天矿边坡开挖过程变形破坏特征及稳定性实验研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2006.
GAO Xicai. Experiment Research on Stability and Dynamic Displacement Characters Due to Slope Excavation in Open-pit Mine [D]. Xi An: Xi'an University of Science and Technology, 2006.
- [11] 王文翰. 抚顺西露天矿北帮边坡综合整治[J]. 露天采矿技术, 1991(3):5-7.
WANG Wenhan. Comprehensive treatment of north slope of Fushun west open-pit mine [J]. Opencast Coal Mining Technology, 1991(3):5-7.
- [12] 周玉成, 孙志先, 郭蔚. 抚顺西露天矿北帮 W750 ~ W200 变形分析及整治探讨[J]. 露天采矿技术, 1994(1):43-45.
ZHOU Yucheng, SUN Zhixian, GUO Wei. Deformation analysis and remediation of North Slope W750 ~ W200 of Fushun west open-pit mine [J]. Opencast Coal Mining Technology, 1994(1):43-45.
- [13] 高国功, 崔广元. 抚顺西露天矿边坡岩体位移的监测方法[J]. 露天采矿技术, 1994(01):36-39.
GAO Guogong, CUI Guangyuan. Slope displacement monitoring method of Fushun west open-pit mine [J]. Opencast Coal Mining Technology, 1994(1):36-39.
- [14] 刘有志. 露天矿山陡边坡稳定性系统分析与评价及其模型的应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2002.
LIU Youzhi. The Systematic Analysis and Evaluation on the Steep Slope Stability of Open Mine and the Application Research of Its Model [D]. Wu Han: Wuhan University of Technology, 2002.
- [15] 芮勇勤, 江智明. 抚顺西露天矿《基本设计》中北帮西区境界实施评述[J]. 露天采矿技术, 1997(2):6-9.
RUI Yongqin, JIANG Zhiming. Implementation review of Fushun West Open-pit "basic design" in the north western state [J]. Opencast Coal Mining Technology, 1997(2):6-9.
- [16] 宋学官. 抚顺西露天矿排土台阶局部下沉的防治[J]. 露天采矿技术, 2005, (S1):3-4.
SONG Xueguan. Local subsidence control of Fushun west open-pit mine dump step [J]. Opencast Coal Mining Technology, 2005(S1):3-4.
- [17] 申力. 雨季露天煤矿边坡岩体变形破坏的调查与分析[J]. 露天采矿技术, 1998, (S1):30-33.
SHEN Li. Deformation and failure investigation and analysis of open pit slope in rainy season [J]. Opencast Coal Mining Technology, 1998(S1):30-33.
- [18] 王启瑞. 胜利露天煤矿边坡滑坡治理方法研究[J]. 神华科技, 2009, 27(1):34-38.
WANG Qirui. Research on open-pit coal mine's slope landslide harnessing method [J]. Northwest Coal, 2009, 27(1):34-38.
- [19] 郭著实. 安太堡露天煤矿土地复垦与生态重建研究[J]. 露天采矿技术, 2000(2):36-38.
GUO Zhushi. Land reclamation and ecological reconstruction in ATB opencast coal mine [J]. Opencast Coal Mining Technology, 2000(2):36-38.
- [20] 吴晓丽, 朱宇, 陈广仁, 等. 矿区土地复垦与生态重建——机遇与挑战[J]. 科技导报, 2009, 27(17):19-24.
WU Xiaoli, ZHU Yu, CHEN Guangren, et al. Opportunity and challenge for land reclamation and ecological reconstruction in mining area [J]. Science & Technology Review, 2009, 27(17):19-24.
- [21] 陈虎维, 郭昭华. 露天煤矿土地复垦生态重建[J]. 露天采矿技术, 2005(5):72-74.
CHEN Huwei, GUO Zhaozhua. Land reclamation and ecological reconstruction of opencast coal mine [J]. Opencast Coal Mining Technology, 2005(5):72-74.
- [22] 沙晋明, 师学义, 申广荣, 等. 露天煤矿土地复垦与生

- 态重建规划决策信息系统[J]. 煤矿环境保护, 1997, 11 (2): 36-40.
- SHA Jinming, SHI Xueyi, SHEN Guangrong, et al. Reclamation and ecological reconstruction planning decision information system of opencast coal mine land[J]. Mine Environment Protection, 1997, 11 (2): 36-40.
- [23] 申力, 纪玉石, 刘大勇, 等. 采矿引起的边坡倾倒滑移变形机理与变形安全性分析研究——以抚顺西露天矿边坡为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17 (3): 63-68.
- SHEN Li, JI Yushi, LIU Dayong, et al. Deformation mechanism and stability analysis of slope toppling-sliding rock mass due to mining——A case study on west open pit slope of Fushun coal mine [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17 (3): 63-68.
- [24] 席宇鹏, 李明. 金堆城露天矿北部边坡综合治理回顾与展望[J]. 中国矿业, 2005, 14 (12): 60-62.
- XI yupeng, LI ming. Review and prospect of comprehensive management of the north slope in open mine of JDC [J]. China Mining Magazine, 2005, 14 (12): 60-62.
- [25] 马新民, 霍起元, 芮勇勤. 露天煤矿边坡工程研究[J]. 露天采煤技术, 1995 (1): 2-6.
- MA Xinmin, HUO Qiyuan, RUI Yongqin. Engineering research of slope of open pit coal mine [J]. Opencast Coal Mining Technology, 1995 (1): 2-6.
- [26] 申力, 刘晶辉, 江智明. 抚顺西露天矿边坡工程地质灾害浅析[J]. 地质灾害与环境保护, 1999, 10 (1): 34-38.
- SHEN Li, LIU Jinghui, JIANG Zhiming. Distribution and feature of the geological disaster in the Fushun west open pit. [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 1999, 10 (1): 34-38.
- [27] 翟文杰, 钟以章, 姜德录, 等. 抚顺西露天煤矿地质灾害预测[J]. 自然灾害学报, 2006, 15 (4): 132-137.
- ZHAI Wenjie, ZHONG Yizhang, JIANG Delu, et al. Prediction of geological disaster in Fushun xilitian coal mine [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15 (4): 132-137.
- [28] 陈建国, 孙岐发, 陈先平. 地质灾害综合治理效果分析[J]. 煤矿开采, 2007, 12 (6): 81-82.
- CHEN Jianguo, SUN Qifa, CHEN Xianping. Comprehensive prevention effect analysis of geological disaster [J]. Coal Mining Technology, 2007, 12 (6): 81-82.

Slope stability evaluation of Fushun west open-pit mine

WANG Yong-sheng¹, GUO Jing-yun^{2,3}, DONG Gao-feng⁴, LI Shou-ding², HE Jian-ming²

(1. Three Gorges Survey & Research Institute Limited Liability Company, Wuhan 443003, China;

2. Key Lab of Enginerring Geomechanics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. Graduate university of Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100049, China; 4. Bureau of Qinghai Environmental Geological Survey, Xining 810007, China)

Abstract: Analyse the geological background of Fushun west open-pit mine; use the method of numerical analysis to analyse the stability of the north side slope and geological disasters are evaluated and classified based on the deforming zone. The analysis results show: (1) the geological disasters of mining area mainly affected by faults, weak rock mass, heavy rainfall and mine earthquakes, etc.; (2) there are considerable plastic zone in the slope and large deformation on the surface of the slope; (3) the plastic zone and the displacement increment of ground surface will be increased as the propulsion of underground mining. The area which affected by the geological hazard should be gradually moved based on the deformation condition. At last, it points out the time-based questions and deformation trends should be forecasted about rock mass of north slope and the geological disaster prevention and control work should be done perfectly.

Key words: open-pit mine; geological disaster; slope stability; numerical simulation; Geological disaster assessment