



您可能感兴趣的文章、专题：

盘点《煤炭学报》2020年热点论文

《煤炭学报》2021年第1期

“新锐科学家”专题

“深部岩体力学与开采理论”专题

“煤加工与洁净化工技术”专题

“黄河流域矿区生态保护与可持续发展”专题

“煤矿热动力灾害防控技术与装备”专题

“煤矿快速智能掘进理论与技术”专题

“煤系天然气聚集理论与勘探开发技术”专题

“低品质煤浮选过程强化”专题

西露天矿周边建筑物损害区位特征分析

高安琪^{1,2},王金安¹,李 飞¹,谢 江¹

(1. 北京科技大学 土木与资源工程学院,北京 100083; 2. 山西省建筑科学研究院有限公司,山西 太原 030002)

摘要:近百年来,辽宁抚顺西露天矿在开采过程中引发的地裂缝、地表沉陷导致周围城区建筑物开裂、倾斜甚至拆迁,严重影响到周边居民的生产与生活。通过对抚顺西露天矿周边城区 36 km² 内建筑物的详细调查,综合分析城区地质情况、地表监测数据和数值模拟,得到边坡影响区的地表变形规律,揭示了位于露天矿边坡不同距离、修建年代、结构形式的建筑物损害特征,并提出针对不同区位建筑物的加固建议和措施。研究表明,城区建筑物损害主要是砖混结构,损害机理按距矿坑边界距离分为北帮 0~100 m 内为边坡卸荷变形、北帮 100~500 m 内为地表沉陷、北帮 500~700 m 与南帮 0~600 m 内为地裂缝活动。卸荷变形区由于北帮边坡坡顶产生指向坑内位移,引起建筑物基础剪切破坏,上部墙体产生裂缝。地表沉陷区由于北帮“三角楔形体”向南倾倒,导致位于沉陷外缘区建筑物墙体受拉错动。地裂缝区建筑物由于地裂缝活动产生的不均匀沉降造成建筑物墙体受剪破坏。针对建筑物损害特征,提出距矿坑边界不同距离建筑物加固建议。北帮距矿坑 0~100 m 内建筑物重点加固基础,100~500 m 内建筑物重点加固墙体及梁柱,500~700 m 内建筑物重点加固墙体及阳台;南帮距矿坑 0~200 m 内建筑物重点加固基础,200~600 m 内建筑物重点加固墙体及梁。

关键词:西露天矿;建筑物损害;区位特征;地表变形;结构加固

中图分类号:TD824;TU318 文献标志码:A 文章编号:0253-9993(2021)04-1320-11

Locational characteristics of damage on buildings around the West Open-pit Mine

GAO Anqi^{1,2}, WANG Jin'an¹, LI Fei¹, XIE Jiang¹

(1. School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Shanxi Academy of Building Research Co., Ltd., Taiyuan 030002, China)

Abstract: With the exploitation of Fushun West Open-pit Mine in the past 100 years, some ground fissures and surface subsidence induced by mining cause some buildings cracking, tilting and even being pulled down, which seriously affect the life of residents at surrounding areas. Through the detailed investigation of buildings over 36 km² in the surrounding urban area of West Open-pit Mine and the comprehensive analysis of the geological conditions and surface monitoring data, and numerical simulation, the laws of surface deformation in the slope-affected area were obtained. The damage characteristics of buildings were presented regarding to the construction age, structural form and locations with respect to different distances from the mine slope. Suggestions and mitigation measures for buildings reinforcement

收稿日期:2019-11-24 修回日期:2020-02-23 责任编辑:黄小雨 DOI:10.13225/j.cnki.jccs.2019.1628

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC1503104)

作者简介:高安琪(1996—),女,山西吕梁人,硕士研究生。E-mail:664969082@qq.com

引用格式:高安琪,王金安,李飞,等.西露天矿周边建筑物损害区位特征分析[J].煤炭学报,2021,46(4):1320-1330.

GAO Anqi, WANG Jin'an, LI Fei, et al. Locational characteristics of damage on buildings around the West Open-pit Mine[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(4): 1320-1330.



移动阅读

at different locations were put forward. The study shows that the masonry structural buildings are easier to be damaged than the reinforced concrete frame structure. The damage mechanism can be regionalized as unloading deformation within 0–100 m apart from the north side of the slope, surface subsidence within 100–500 m apart from the north side of the slope, ground cracking within 500–700 m apart from the north side of the slope and 0–600 m apart from the south side of the slope. In the unloading deformation area, due to the displacement toward into the open pit of the north side, the foundation of the buildings is subjected to shear damage, and the upper wall is affected by the uneven settlement of the foundation to generate cracks. In the surface subsidence area, due to the north side “triangular wedge-shaped body” dumped to the south, the wall of the building located on the outer edge of the subsidence area tends to be dislocated. In the ground fissure area, due to the uneven settlement caused by ground fissure activity, the wall of the building is sheared and damaged. Based on the damage characteristics of the buildings, some suggestions for reinforcing the buildings at different distances apart from the boundaries of the open-pit were proposed. On the north side of the open-pit, within 0–100 m, the reinforcement should be focused on the foundations of buildings; within 100–500 m, the key reinforcement should pay attention on the walls, beams and pillars of buildings; within 500–700 m, the key reinforcement should be better to be applied to the walls and balconies of buildings. On the south side of the open-pit, within 0–200 m, the key reinforcement should be implemented on the foundations of buildings, and within 200–600 m, on the walls and beams of the buildings.

Key words: west open-pit Mine; buildings damage; location characteristics; surface deformation; structure reinforcement

辽宁抚顺西露天矿已有百年的开采历史。随着矿区地面建筑密度增大,开采影响区城市建筑物的稳定和安全问题越发突出。目前,关于地表沉陷影响下建筑物损害形式的研究很多,但大多数研究集中在地下开采引起的地表沉陷影响。如研究矿区不同位置下建筑物的损害规律^[1]、残余变形对建筑物地基的影响^[2-3]、不同开采速度下的地表变形特征^[4-7]、地下开采引起的复合地表变形对建筑物的影响^[8-9]。对于边坡移动导致地表沉陷的研究目前还仅限于实地测量和调查为主。

抚顺市因采煤所造成的诸多房屋损害问题,早已引起国家的高度重视,但多年来国内外专家学者围绕抚顺西露天矿进行的研究主要集中于矿区地质灾害勘探,如研究得到矿区北帮倾倒-滑移、沉陷-滑移变形机理,并提出一系列边坡治理方法^[10-14];通过弱层流变实验,得到北帮蠕变变形规律以及岩石剪切强度随时间变化函数^[15];通过研究矿区南帮边坡岩体节理发育情况,得到南帮边坡稳定性因素,提出回填压脚的治理方案^[16-18]。对于坡顶变形与建筑物损害之间的关系、建筑物抗变形加固以及矿坑周边城区安全尚待进一步研究。

尽管西露天矿已实施闭坑,但露天矿边坡对周围城区建筑影响仍未完全消除。笔者结合西露天矿边坡坡顶变形规律、城区地质特征以及建筑损害现状,重点分析西露天矿对周边城区建筑物造成的影响,提出有针对性的加固措施与建议。

1 工程背景

辽宁抚顺西露天矿位于望花区、新抚区、东洲区3区交界处,是人口、建筑密度最大的3个区。由于抚顺市因矿而建,早年城市规划不尽合理,矿区周边新旧建筑物皆存在,分布如图1所示。矿区周边坐落着重要的公共设施、工业园区以及大量居民楼。矿区周边城区建筑物对矿区开采引发的地质灾害较为敏感,且灾害影响范围较广、时间较长、后果较为严重。

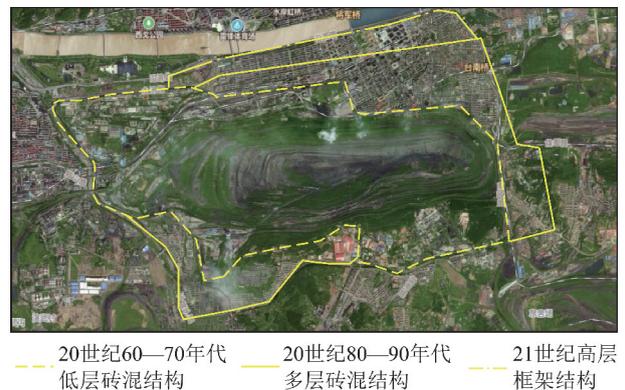


图1 建筑物分布

Fig. 1 Distribution of buildings

抚顺西露天矿地质复杂,局部地区呈倒转向斜结构,岩石整体性较差。此外,南北帮断层较多,岩层受构造运动影响节理十分发育,且多年地下开采导致矿区周边导水裂隙带进一步发育,边坡水文地质发生变

化,产生范围较大的地表变形^[19]。通过对北帮兴平路 W200~E3600 地表进行监测,可知北帮地表变形

主要发生于雨季,且 E1200~E1400, E1800~E2400 以竖直变形为主,其余部分以水平变形为主(图 2)。

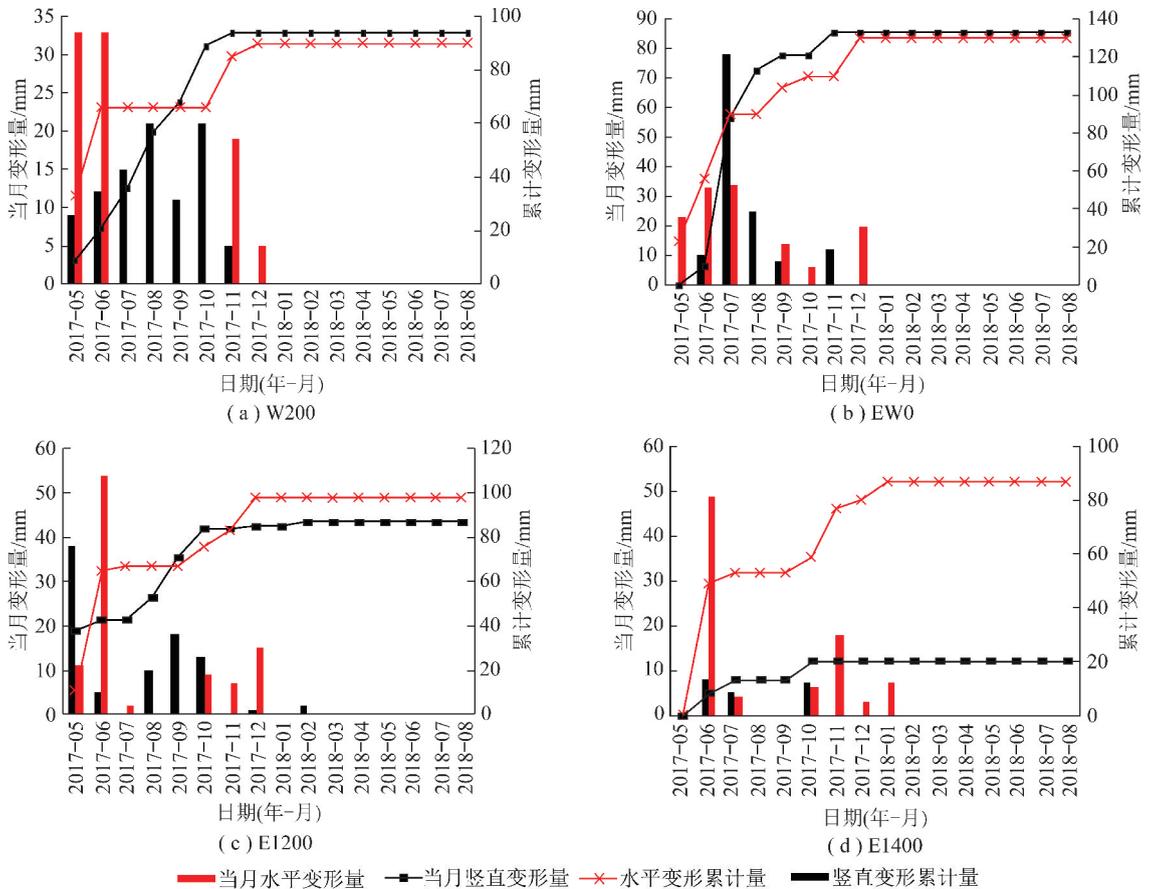


图 2 北帮地表监测

Fig. 2 Surface monitoring in North side

南帮地表变形主要集中于 W1000~E2300 顺层滑坡处,主要发生于 2013—2014 年,且以水平变形为主。由于南帮 2013 年发生特大型滑坡,地表变形值相比北帮较大,滑坡段边坡最大变形量累计达到数十米,如图 3 所示。

自 2017 年起,西露天矿停止露井联合开采,现已完全停采。因此,矿区周边范围内坡顶城区地表监测的变形增量相对较小并趋于稳定。但由于矿区周边水源众多,岩层中的砂岩及软弱夹层,在地下水的影响下遇水软化,形成地层蠕变。且矿区周边城区地表受到断层活化的影响,地裂缝还在活跃。这些地表变形随着时间的累计,仍对现有建筑物产生影响,造成基础及墙体损害。

特殊的地质条件导致西露天矿区周边城区地质灾害丛生,如西露天矿以西 1.5 km² 塌陷区、石油一厂—中联能源加气站地裂缝带、中联能源加气站—沈抚城际客运站地裂缝、千台山南侧地裂缝等,这些灾害造成了矿区周边建筑物的损害^[20]。其中,最为典型的是石油一厂—中联能源加气站地裂缝带,地裂缝

的出现导致周边石油一厂厂房墙体开裂、倾斜、错动,地面起鼓,工厂被迫搬迁,直接损失约 3 000 万元。经现场统计,结合三下采煤规程得出建筑物损害评定表^[21-22],见表 1。

表 1 建筑物损害评定

Table 1 Damage assessment of buildings

建筑物损害程度	数量/栋
I 级损坏(极轻损坏、轻微损坏)	52
II 级损坏(轻度损坏)	12
III 级损坏(中度损坏)	6
IV 级损坏(严重损坏、极度严重损坏)	21
总计	91

可见,矿城协调建设与规划已成为抚顺市安全和可持续发展的重要战略考量,这也向矿区周边建筑物布局、建设和加固提出了迫切需求。

2 北帮地表变形与建筑物损害关系

西露天矿北帮城区建筑物大致分为工业区与居民区。由于建筑物密度大,对采动影响较为敏感。矿

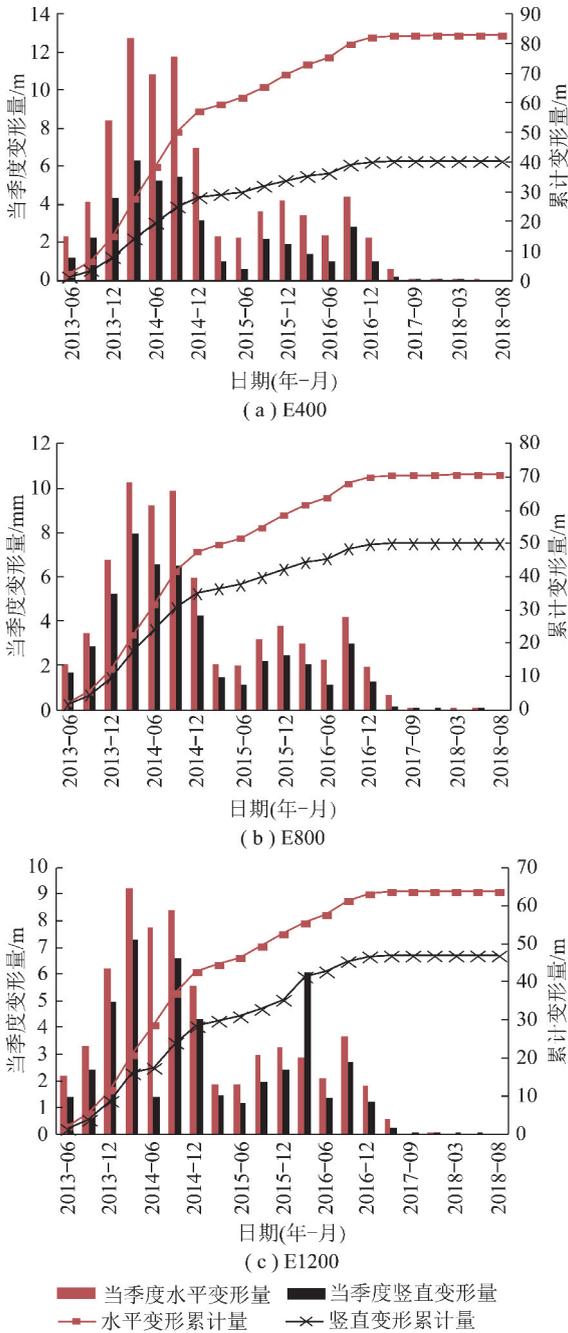


图 3 南帮地表监测
Fig. 3 Surface monitoring in South side

山开采导致的地表沉陷、地裂缝等地质灾害,使得建筑物出现墙体开裂、错动、外鼓、砖柱倾斜、地基脱离等现象,严重影响周边居民生活^[23-24]。

2.1 距矿坑边界 0~100 m 建筑损害机制

距矿坑边界 0~100 m 内常出现滑坡,影响区内建筑物多为 20 世纪 60—70 年代砖混结构平房,建筑物构件在受到滑坡影响后已不满足安全性鉴定要求,如墙体沿受力方向产生超过层高 1/2,出现宽度约 50 mm 的竖向裂缝、砖柱受地表不均匀沉降发生 10° 左右倾斜、基础与地表脱离约 30 mm、墙体出现挠曲鼓出约 30 mm 等现象,如图 4 所示。



图 4 北帮 0~100 m 地质灾害及城区建筑物损害情况
Fig. 4 Damage of buildings and geological disaster within 0~100 m from north side to mining area

为揭示北帮地表变形机制,采用 FLAC^{3D} 数值模拟软件对北帮 E1800 剖面进行开挖分析^[25],模型及位移矢量图如图 5 所示。由图 5 可知,露天开采后,北帮边坡坡顶产生指向坑内位移。出现此现象的原因是由于露天开采后,采场四周边坡出现应力释放区。由于边坡岩体存在泥化夹层及大量节理,岩层整体性不高。因此,在卸荷变形过程中,节理数量的增多,导致北帮边坡产生位移。随着地表水平变形区域扩大,建筑物基础下沉,甚至出现剪切破坏等现象,从而影响上部结构的安全性、使用性与美观性,如图 6 所示。

2.2 距矿坑边界 100~500 m 内建筑损害机制

距矿坑边界 100~500 m 内存在地表沉陷现象,影响区内建筑物主要为多层砖混结构,矿区西部建筑物修建年代主要为 20 世纪 60—70 年代,矿区东部建筑物修建年代主要为 20 世纪 80—90 年代。建筑物底部墙体产生 50 mm 左右水平错动,且部分建筑物墙体开裂,开裂宽度为 1~500 mm,开裂形式主要有竖向裂缝、水平裂缝、“丁”字裂缝、网状裂缝等,开裂位置主要为外墙体、门窗角处、窗间墙、女儿墙等,如图 7 所示。

同样以 E1800 剖面为例,揭示北帮 100~500 m 范围内地表变形规律,北帮地表垂直位移云图及最大垂直位移区矢量图如图 8 所示。由图 8 可以看出随着地表变形向北发展,北帮 F1, F1A 之间的“三角楔形体”由于底部的应力集中点应力释放向南倾倒,且垂直位移主要集中于这一部分。

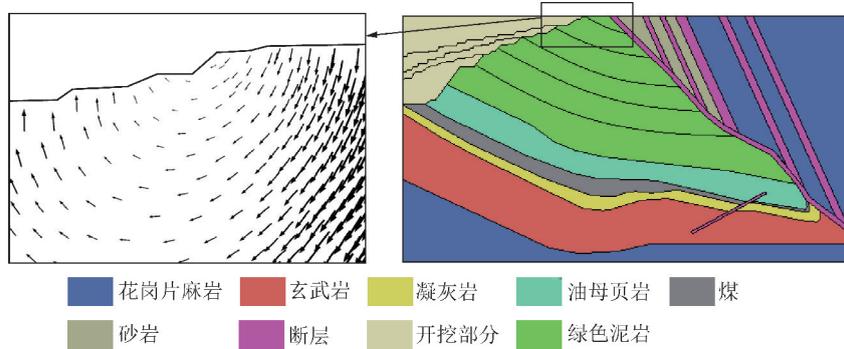


图 5 距北帮 0~100 m 数值模拟模型及位移矢量

Fig. 5 Numerical model and displacement vectors within 0–100 m from north-side slope

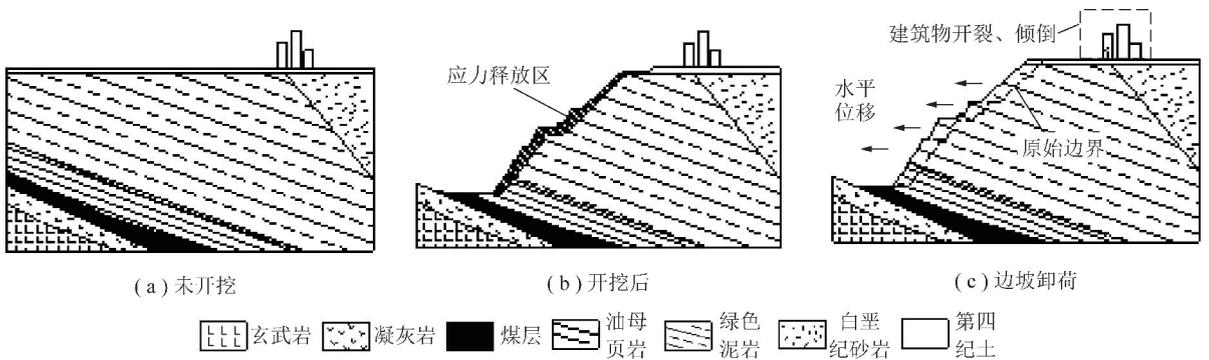


图 6 距北帮 0~100 m 城区建筑物损害机制

Fig. 6 Damage mechanism of buildings within 0–100 m from north-side slope



图 7 距北帮 100~500 m 地质灾害及城区建筑物损害情况

Fig. 7 Damage of Buildings and Geological disaster within 100–500 m from north-side slope

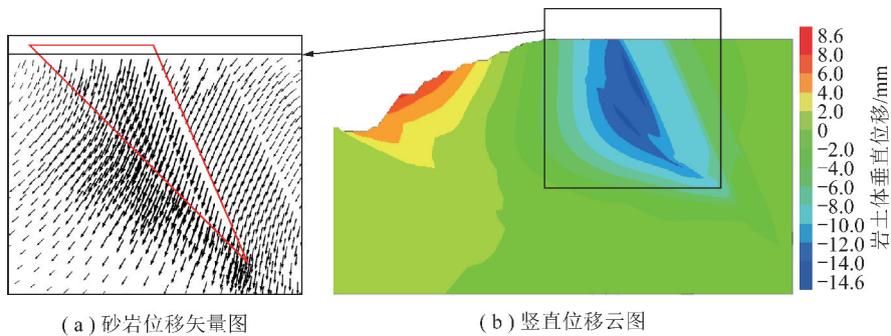


图 8 距北帮 100~500 m 地表变形数值模拟结果

Fig. 8 Numerical simulation results of surface deformation within 100–500 m from north-side slope

据文献[26]可知,坡顶变形受采空区下沉以及边坡倾斜因素共同影响,最初位移与边坡倾斜方向

一致,随着时间的推移,变形逐渐由坑内转向城区地表^[27]。北帮 F1 断层距矿坑边界 0~300 m、F1A

断层距矿坑边界 0~700 m,当两断层间“三角楔形体”南倾后,F1A 断层受拉产生裂隙。抗剪力差的第四纪土与白垩纪砂岩受重力以及渗流的作用向

下填充至深部孔隙内,从而产生地表沉陷区,位于外边缘区建筑物底部墙体受拉产生水平变形^[28],如图 9 所示。

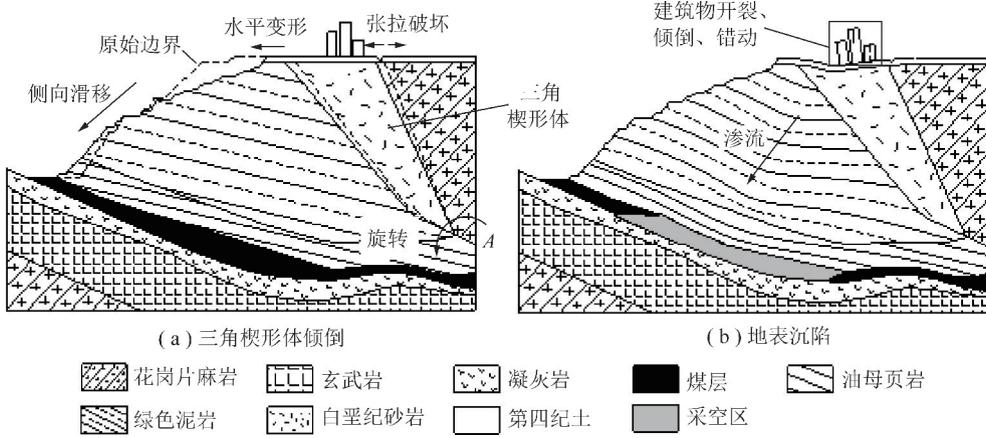


图 9 距北帮 100~500 m 城区建筑物损害机制

Fig. 9 Damage Mechanism of Buildings within 100-500 m from north-side slope

2.3 距矿坑边界 500~700 m 内建筑损害机制

距矿坑边界 500~700 m 存在两条地裂缝,影响区内建筑物主要为 20 世纪 80—90 年代多层砖混结构。由于地表向南移动,断层处地表变形变化率过大,使得地表受拉破坏,产生地裂缝,而位于地裂缝周围的建筑物墙体受剪破坏。

以 E1800 剖面为例的数值模拟中也表示,随着 F1,F1A 间的“三角楔形体”向南倾倒,F1A 以北各断层附近地表水平位移增大,易产生地裂缝,

如图 10 所示。

I 号地裂缝位于矿区北部 W1100~E1300 内抚顺石油一厂周边工业区,西起石油一厂西侧,东至中联能源加气站,横穿石油一厂及发电厂,长度约为 2.5 km,如图 11 所示。受 I 号地裂缝影响,石油一厂墙体出现上下贯通裂缝,裂缝宽度均大于 30 mm,厂区地面不均匀沉降严重,沉降最大值约为 200 mm。厂房大多为砖混结构,由于墙体开裂严重,厂房顶部采用外包型钢加固,如图 12 所示。

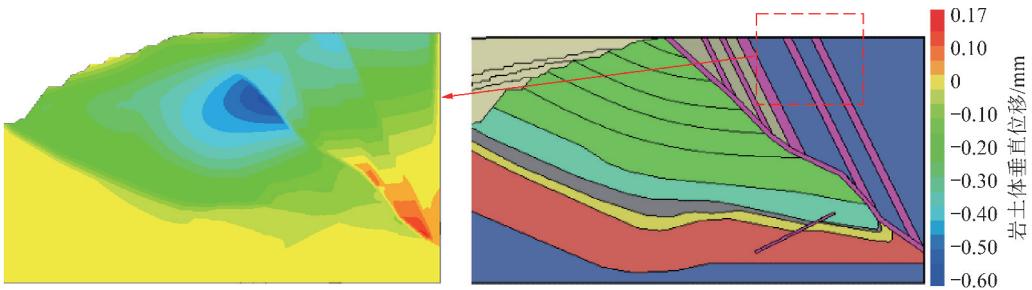


图 10 距北帮 500~700 边坡与地表变形数值模拟结果

Fig. 10 Numerical simulation results within 500-700 m from north-side slope



(a) I 号地裂缝位置

(b) I 号地裂缝现场

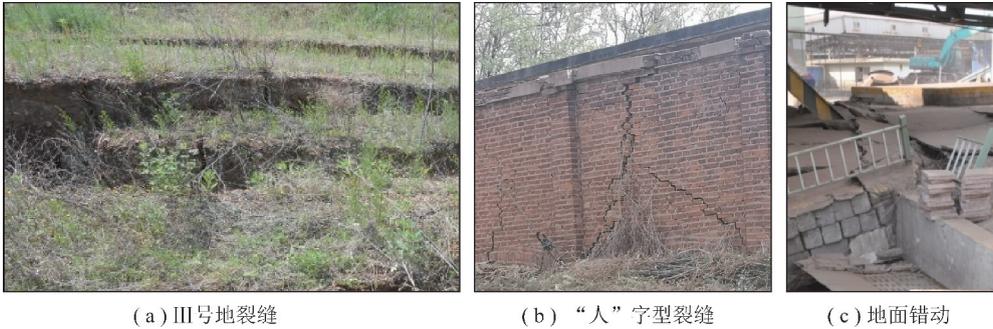
图 11 I 号地裂缝位置

Fig. 11 Position of ground fissure No. 1



图 15 III号地裂缝位置

Fig. 15 Position of ground fissure No. 3



(a) III号地裂缝

(b) “人”字型裂缝

(c) 地面错动

图 16 III号地裂缝影响区建筑物损害情况

Fig. 16 Damage of buildings in the area affected by ground fissure No. 3

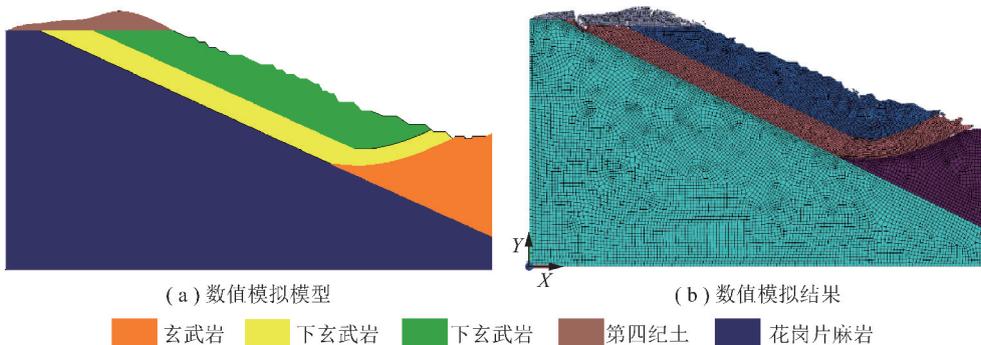
为揭示南帮地表变形机制,采用 CDEM 数值模拟软件对南帮 E400 剖面进行模拟^[30],如图 17 所示。结果表明,顺层滑坡发生于边坡的中上部,岩体随着滑移面的贯通开始向下运动,并在边坡的后缘产生一系列张拉地裂缝。

发生此现象的原因主要为南帮顺倾岩层受小型断层切割,岩石整体性下降。且由于矿区采场地势较低,岩层多年受杨柏、刘山旧河道及周边城区污水的定水位补给,导致冲积层内水量丰富。水源通过岩石孔隙、岩层间接触面以及断层裂隙带向矿坑渗流,导

致岩层软化,强度降低,使得边坡产生蠕变现象。在雨水冲刷的影响下,南帮顺层岩层发生滑坡,从而产生 III 号地裂缝。

4 抚顺城区地质灾害影响区位特征

根据以上分析得出抚顺城区地质灾害影响分区,如图 18 所示。边坡卸荷影响区主要为矿坑北部 0~100 m,地表沉陷影响区主要为矿坑北部 100~500 m,地裂缝影响区主要为矿坑北部 500~700 m 以及南部 0~600 m。



(a) 数值模拟模型

(b) 数值模拟结果

玄武岩 下玄武岩 下玄武岩 第四纪土 花岗岩片麻岩

图 17 南帮边坡损害机制模拟分析

Fig. 17 Simulation analysis of the damage mechanism of the southern slope

汇总建筑物区位特征见表 2,由表 2 可以看出建筑物损害严重区主要集中于北帮 0~100 m 以及南帮 0~200 m,该范围内工业厂房较多,建筑物损害主要为墙体开裂、错动、外鼓以及地基脱离等。其余区域

内建筑物损害较轻,且损害主要集中于砖混结构。

5 建筑物抗变形加固措施

采动区地表建筑物抗变形加固措施有很多种,主

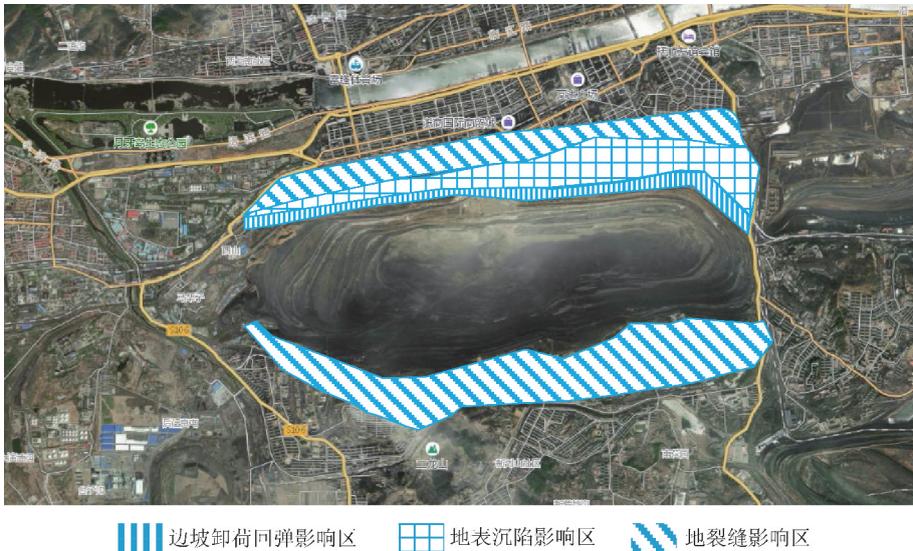


图 18 抚顺城区地质灾害影响分区

Fig. 18 Geological hazard impact zoning in Fushun urban area

表 2 建筑物损害区位特征

Table 2 Location characteristics of damaged buildings

范围	建筑物年代	建筑物结构形式	基础形式	损害类型	损害程度	地质灾害影响因素
0~100 m	20 世纪 60—70 年代	砖混结构	条形基础 独立基础	墙体开裂、墙体外鼓、 墙柱倾斜与开裂、基 础脱离	IV	边坡卸荷变形
100~500 m	20 世纪 60—90 年代、21 世纪	砖混结构 框架结构	条形基础	墙体错动, 墙体开裂	I, II, IV	地表沉降
500~700 m	20 世纪 80—90 年代、21 世纪	砖混结构 框架结构	条形基础	墙体开裂、阳台损害	I, III, IV	地裂缝
700~1 000 m	20 世纪 60—90 年代、21 世纪	砖混结构 框架结构	条形基础	阳台损害	I	无
0~200 m	20 世纪 60—70 年代	砖混结构	条形基础 独立基础	墙体开裂、错动	IV	地裂缝
200~600 m	20 世纪 60—70 年代	砖混结构	条形基础	墙体开裂、墙体错动、 阳台损害	I, IV	地裂缝

要分为 2 类:① 刚性保护措施,② 柔性保护措施。

5.1 北帮建筑物加固措施

距矿坑 0~100 m:建议此区域建筑物的抗变形加固工作重点放在基础加固。对于既有建筑物,用水泥浆或混凝土基础环氧树脂进行基础注浆加固。在无法进行注浆加固的情况下,可以将独立基础改为条形基础、条形基础改为筏板基础或增加基础连系梁。对于少量桩基础建筑物可采用锚杆静压桩的方法进行建筑物纠偏。对于新建建筑物,应选择对地表变形有更好适应能力的筏板基础或者楔形基础,若选用条形基础则应增设基础连系梁,并在基础与上部结构之间设置水平滑动层。

(1)距矿坑 100~500 m:建议此区域建筑物的抗

变形加固工作重点放在墙体以及梁柱加固。对于既有建筑物在将现有裂缝填充的基础上,还可采用增大梁柱截面积、外加钢板、外包碳纤维等方法。对于新建建筑物设置构造柱、圈梁等。

(2)距矿坑 500~700 m:建议此区域建筑物的抗变形加固工作重点放在墙体以及阳台梁加固。对于既有建筑物可以选用在阳台梁底端增加三角型钢的方式,或在阳台梁与外墙之间设置钢拉杆的方式,且重点加固窗下墙体。对于新建建筑物设置构造柱、变形缝,门窗洞口处设置加强带等。

(3)距矿坑 700~1 000 m:由于此区域建筑物距矿坑较远,损害情况较轻,只有少数建筑物出现阳台损害现象,因此在进行抗变形加固时只需将现有裂缝

用砂浆填充即可。

5.2 南帮建筑物加固措施

(1)距矿坑0~200 m:建议此区域建筑物的抗变形加固工作重点放在基础加固,增大基础底面积,以增强基础的抗变形能力。对于上部结构设置构造柱、圈梁等。

(2)距矿坑200~600 m:建议此区域建筑物的抗变形加固工作重点放在墙体以及梁加固。通过加钢筋网或增加配筋的方式,提高梁、墙的抗变形性能。

6 结 论

(1)西露天矿北帮周边城区建筑物较为集中,主要受边坡卸荷变形、地表沉陷、地裂缝的影响,损害类型较多,且砖混结构建筑物损害情况较框架结构建筑物严重,修建年代早的建筑物较修建年代晚的建筑物严重。

(2)西露天矿南帮周边城区建筑物主要受地下水渗流、顺层滑坡、地裂缝的影响,损害情况较北帮轻微,距离矿坑边界越近的建筑物,损害情况越为严重。

(3)通过综合分析建筑物修建年代、结构形式、破坏程度,得出矿区周边城区建筑物破坏区位特征。

(4)提出了各类建筑物的抗变形加固建议:距北帮0~100 m内地面建筑物重点加固基础,100~1 000 m内建筑物重点加固上部结构;距南帮0~200 m内地面建筑物重点加固基础,200~600 m内建筑物重点加固上部结构。

参考文献 (References):

- [1] 任连伟,周桂林,顿志林,等.采空区建筑地基适宜性及沉降变形计算工程实例分析[J].岩土力学,2018,39(8):2922-2932,2940.
REN Lianwei,ZHOU Guilin,DUN Zhilin,et al. Case study on suitability and settlement of foundation in goaf site [J]. Rock and Soil Mechanics,2018,39(8):2922-2932,2940.
- [2] 徐平,茅献彪,张敏霞,等.采动塌陷区建筑物地基变形影响区与特征分析[J].采矿与安全工程学报,2014,31(4):624-630.
XU Ping,MAO Xianbiao,ZHANG Minxia,et al. Analysis of the deformation zone and its characteristics of the building foundations in mining-induced subsidence area [J]. Journal of Mining & Safety Engineering,2014,31(4):624-630.
- [3] 白志辉,李亮,陈冉丽,等.老采空区上方地基稳定性及残余变形规律研究[J].煤矿开采,2009,14(2):39-41,82.
BAI Zhihui,LI Liang,CHEN Ranli,et al. Research on stability of foundation over mined gob and residual deformation rule [J]. Coal Mining Technology,2009,14(2):39-41,82.
- [4] 余学义.开采速度对地表建筑物损害影响分析[J].西安科技学院学报,2001,21(2):97-101.
YU Xueyi. Analysis of damage effect of mining velocity on surface

buildings[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology,2001,21(2):97-101.

- [5] 宁永香,崔建国.动态地表移动和变形预计方法[J].黑龙江科技学院学报,2007,17(1):41-44.
NING Yongxiang,CUI Jianguo. Progress prediction of surface movement and deformation [J]. Journal of Heilongjiang University of Science and Technology,2007,17(1):41-44.
- [6] SROKA A. On the problem of Face Advance on the rate for coal mining damage [J]. Under ground Exploitation School,1993(S):15-39.
- [7] KNOTHE St,POPIOLEK E. Mining pause on the surface deformation process analysis based on the observation Schriftenreihe [J]. Geokinematis-cher Tag Heft2003—1,2003:25-34.
- [8] 夏军武,丁平,郑玉莹.地表变形引起钢框架结构附加内力和变形的试验研究[J].华中科技大学学报(城市科学版),2008,25(3):13-16.
XIA Junwu,DING Ping,ZHENG Yuying. Experimental research on additional internal force and deformation of steel frame caused by ground deformation [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Urban Science Edition),2008,25(3):13-16.
- [9] 段敬民.矿山塌陷区房屋抗采动理论及加固技术研究[D].成都:西南交通大学,2005.
DUAN Jingmin. Research on resisting theory and strengthening technology for building on mining cave-in areas [D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University,2005.
- [10] 杨天鸿,唐春安,郑雨天. 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,1999,10(3):6-11.
YANG Tianhong,TANG Chun'an,ZHENG Yutian. Application of FLAC program in deformation control engineering of fushun western open-pit mine [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation,1999,10(3):6-11.
- [11] 申力,纪玉石,刘大勇,等.采矿引起的边坡倾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.
- [12] 杨天鸿,郑宏,张永彬.抚顺西露天矿边坡水压分布特征及疏干减压工程实践 [J]. 煤炭学报,2003,28(6):573-577.
YANG Tianhong,ZHENG Hong,ZHANG Yongbin. Water pressure distribution characteristics of the slope of fushun western open-pit mine and practice of dewatering and decompression engineering [J]. Journal of China Coal Society,2003,28(6):573-577.
- [13] 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):35-39.
SHEN Li,LIU Jinghui,JIANG Zhiming. Analysis on engineering geological hazards of fushun western open-pit mine slope [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation,1999,10(1):35-39.

- [14] 高伟程,纪玉石,申力.抚顺城区矿山地质环境灾害调查分析[J].煤矿安全,2015,46(12):226-228,232.
GAO Weicheng, JI Yushi, SHEN li. Investigation and analysis of mine geological environmental disasters of fushun urban area [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(12): 226-228, 232.
- [15] 杨天鸿,芮勇勤,唐春安,等.抚顺西露天矿蠕动边坡变形特征及稳定性动态分析[J].岩土力学,2004,25(1):153-156.
YANG Tianhong, RUI Yongqin, TANG Chun'an, et al. Study on deformation features and dynamic stability of creeping slope of Fushun West Strip Mine [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(1): 153-156.
- [16] 高波,肖平,张国军.抚顺西露天矿南帮边坡岩体结构及构造的分析[J].露天采矿技术,2014(9):18-21.
GAO Bo, XIAO Ping, ZHANG Guojun. Analysis on south slope rock mass structure and structure in Fushun west open-pit mine [J]. Opencast Mining Technology, 2014(9): 18-21.
- [17] 贺鑫,崔原,滕超,等.辽宁抚顺西露天矿南帮滑坡变形与地下水水位关系[J].中国地质灾害与防治学报,2018,29(1):72-77.
HE Xin, CUI Yuan, TENG Chao, et al. Relationship between the landslide deformation and the groundwater level in the south part of the Western Opencast Mine in Fushun, Liaoning Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(1): 72-77.
- [18] 高波.抚顺西露天矿南帮变形综合治理[J].露天采矿技术,2014(11):3-6.
GAO Bo. Comprehensive control of south slope deformation in Fushun west open-pit mine [J]. Opencast Mining Technology, 2014(11): 3-6.
- [19] 孙世国,马银阁,曾志翔.抚顺西露天矿地下开采诱发地表移动变形规律[J].煤矿安全,2019,50(3):222-225.
SUN Shiguo, MA Yinge, ZENG Zhixiang. Surface movement and deformation induced by underground mining in fushun western open-pit mine [J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50(3): 222-225.
- [20] 高国骧.抚顺西露天矿开采技术[M].北京:煤炭工业出版社,1993.
- [21] 中华人民共和国国家煤炭局制定.建筑物,水体,铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [22] 崔希民,张兵,彭超.建筑物采动损害评价研究现状与进展[J].煤炭学报,2015,40(8):1718-1728.
CUI Ximin, ZHANG Bing, PENG Chao. Current status and progress on the estimation of mining-induced building damage [J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(8): 1718-1728.
- [23] 王永胜,郭静芸,董高峰,等.辽宁抚顺西露天矿北帮边坡稳定性分析及变形分区[J].中国地质灾害与防治学报,2012,23(4):86-93.
WANG Yongsheng, GUO Jingyun, DONG Gaofeng, et al. Slope stability evaluation of Fushun west open-pit mine [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(4): 86-93.
- [24] 刘大勇,王恩德,宋建潮.抚顺石油一厂采煤沉陷主要特征与成因机理[J].煤矿安全,2008(8):107-109.
LIU Dayong, WANG Ende, SONG Jianchao. Main characteristics and genesis mechanism of coal mining subsidence in fushun petroleum No. 1 Plant [J]. Safety in Coal Mines, 2008(8): 107-109.
- [25] 高安琪.抚顺西露天矿影响区建筑物损害区位特征与抗变形方法研究[D].北京:北京科技大学,2019.
Gao Anqi. Study on damaged location characteristics and anti-deformation methods of buildings in affected area of fushun western open-pit mine [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2019.
- [26] 刘腾,王金安,高治国,等.山区地下开采地表移动相似模拟实验研究[J].金属矿山,2014(10):161-165.
LIU Teng, WANG Jin'an, GAO Zhiguo, et al. Similarity simulation research of slope deformation during underground mining in mountainous area [J]. Metal Mine, 2014(10): 161-165.
- [27] 李飞,王金安,李鹏飞,等.山区下开采覆岩移动规律及破断机制研究[J].岩土力学,2016,37(4):1089-1095.
LI Fei, WANG Jin'an, LI Pengfei, et al. Research on movement behavior and failure mechanism of overlying strata caused by mining at mountainous field [J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37(4): 1089-1095.
- [28] 康乐,姚安林,关惠平,等.急倾斜煤层采空区地表移动盆地对油气管道安全影响分析[J].中国安全生产科学技术,2013,9(9):102-106.
KANG Le, YAO Anlin, GUAN Huiping, et al. Safety influence analysis of subsidence trough on oil & gas pipeline in steeply inclined coal-mining area [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2013, 9(9): 102-106.
- [29] 信任,毕登山,姚继涛,等.多层砌体结构窗下墙破坏模式试验研究[J].土木工程学报,2018,51(12):12-20.
XIN Ren, BI Dengshan, YAO Jitao, et al. In-plane experimental study on seismic behavior of multi-storey masonry wall [J]. China Civil Engineering Journal, 2018, 51(12): 12-20.
- [30] 杨京豫.西露天矿边坡灾害链推演与灾情分析[D].北京:北京科技大学,2019.
YANG Jingyu. Deduction of disaster chains in the west open-pit mine and analysis of disaster situation [D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2019.