

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.04.05

煤矿老采空区滑坡勘查与机理分析 ——以山西清徐李家楼滑坡为例

徐建军

(河南省地质矿产勘查开发局第三地质勘查院,河南 洛阳 471023)

摘要: 煤矿老采空区塌陷后地表常出现大的裂缝、陷坑及伴随沉陷地表出现滑动或滑坡等破坏形式,这些特征是采空区滑坡的明显标志,在煤矿采空区的滑坡勘查中,通过调查滑坡的变形破坏特征,应用物探方法探测和钻探验证滑动面位置及采空区的位置和范围,论证老采空区是引发滑坡的主要因素,进一步分析了滑坡形成机理和诱发因素,在岩土体力学试验的基础上评价了滑坡的稳定性和发展变化趋势。

关键词: 煤矿;老采空区;陷坑;滑坡勘查;机理分析

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)04-0025-05

Survey and mechanism analysis of landslide in old coal mine goaf ——an example of Lijialou landslide in Qingxu, Shanxi

XU Jianjun

(The Third Geological Exploration Institute of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Luoyang, Henan 471023, China)

Abstract: Earth surface often appeared big of crack and pit and with subsidence surface appeared sliding or landslide after old coal mine GOB collapse. These features are obviously logo of GOB landslide. In the landslide exploration of coal mine GOB, through survey deformation damage features of landslide, application geophysical method detect and drilling validate sliding surface location and the location and range of GOB. Demonstration that old GOB is mainly factors of landslide. Further landslide formed mechanism and induced factor has been analyzed. On the basis of soil and rock mechanics test, the evaluation of landslide stability and development trends was made.

Keywords: coal mine; old GOB; collapse pits; landslide survey; formation mechanism

0 引言

在煤矿老采空区的滑坡勘查中,地表常常会因采空区塌陷形成的地裂缝和陷坑,后期人类工程活动又会改变滑坡的地表特征,正确分析滑坡地表特征及形成原因,分清滑坡形成的内因和外部诱发因素,对于选择合适的勘查手段极为重要。本滑坡勘查中坡体表面出现地裂缝和陷坑,通过地质灾害调查测绘,物探方法和钻探手段,验证和确定滑坡的形成主因是由于煤矿老采空

区的陷落而形成,后期的人工采石活动加剧了滑坡的进一步发展,降雨和地表水则是滑坡发生的诱发因素。

1 勘查区概况

清徐县马峪乡李家楼滑坡勘查区位于清徐县马峪乡李家楼村居民区北侧,行政区划隶属于马峪乡管辖。勘查区距清徐县约5 km,区内有清徐至古交的S316省道从李家楼村西经过,交通便利。

1.1 气象水文

收稿日期: 2014-12-14; 修订日期: 2015-1-7

作者简介: 徐建军(1966-),男,河南偃师人,采矿工程专业,工程硕士,探矿高级工程师,主要从事岩土工程、地质灾害防治工程工作。E-mail: xjj8902@126.com

清徐县属暖温带大陆性气候,一年四季分明,夏季较热,雨量集中,且多暴雨;年平均气温山区为 $3.8^{\circ}\text{C} \sim 9.1^{\circ}\text{C}$ 。全县多年平均降雨量 433.35 mm 。降水主要集中在 $6 \sim 9$ 月份。勘查区的年平均降雨量在 $500 \sim 550\text{ mm}$ 之间。

勘查区属清徐西边山,这一带冲沟发育,属于汾河流域白石河支流。具有雨季洪水暴涨暴落,平时无清水径流的特征,其中李家楼西侧流过的白石河规模最大,流域面积 62.9 km^2 ,沟长 20.1 km ,沟宽 $60 \sim 125\text{ m}$ 。

1.2 地形地貌

勘查区沟梁相间,地形起伏变化较大。地貌类型属低山侵蚀剥蚀地貌,冲沟较发育,植被稀少,水土流失严重。海拔标高在 $853.1 \sim 1018.2\text{ m}$,相对高差 165.1 m 。地形总地势为东北高,滑坡区微地形呈一山梁带两坡形态(图 1)。



图 1 滑坡区地形地貌图

Fig. 1 Terrain geomorphological map of landslide area

李家楼村中间有一冲沟,村民居住在沟两侧,房屋依山顺势而建。沟底为第四系砂卵石、砾石和黄土混杂,沟壁为基岩,沟底有少量植被生长,局部露出下石盒子组砂岩、砂质泥岩及泥岩。

1.3 地层岩性

根据 $1:500$ 工程地质调绘及附近煤矿工程钻探等成果资料,勘查区主要地层有二叠系下统下石盒子组、二叠系上统上石盒子组、新生界第四系上更新统、全新统。主要含煤地层为石炭系上统太原组(C_3^1)和上统山西组(P_1^s)。

滑坡体岩性主要为二叠系下石盒子组砂岩、泥岩、泥质砂岩、砂质泥岩等,厚 $5.0 \sim 24.0\text{ m}$ 。

1.4 地质构造与地震

清徐县地处晋中新近代断陷盆地北段西北边缘,晋中断陷盆地呈北东、南西向展布,主要断裂有边山晋(祠)交(城)大断裂和碾底断裂及伴生的褶皱构造。

勘查区构造形态受区域性构造碾底断层、南风向斜、李家楼背斜、黄岭断层的影响,其地层总体走向与区域构造线方向基本一致,即北东向,在此基础上发育有垂直于区域构造方向的次一级褶曲构造。

依据 GB18306—2001《中国地震动参数区划图》,清徐地区地震动峰值加速度为 $0.20g$,对应地震基本烈度为Ⅷ度,分组为第一组。

1.5 水文地质条件

李家楼村西侧为季节性冲沟,含水层主要为下部的砂砾石层,厚约 $23 \sim 40\text{ m}$,当下伏地层为砂页岩地层时,补给条件较好,富水性相对较好。其补给来源主要为大气降水及上覆含水层的入渗补给,排泄方式为顺层径流排泄。

本次勘查在滑坡体钻孔深度范围内均未发现地下水。

1.6 人类工程活动

勘查项目区周边人类工程活动主要以采煤活动、公路切坡、采石为主,二十世纪九十年代,当地村民曾在此滑坡山体上大量采石,造成坡体表面堆积大量废弃石料。该滑坡本身处于太原南峪煤业有限责任公司的采矿权范围内,且四周都有煤矿包围。据调查滑坡体周围有 1949 年以前采掘的井口遗迹,说明很早以前就有人在此区域小规模采矿,地下存在煤矿老采空区。根据收集资料显示,南峪煤业有限责任公司井田内没有生产小煤窑,但古窑遍布,南峪井田上组煤(1、2、4 号等)层大部份已采空,滑坡区位于煤矿老采空区范围内。

离勘查区最近的煤矿勘探钻孔 637 号坐标: $x = 4168348.34, y = 19616553.88$,标高 852.16 m ,钻孔显示其中 2 号煤层厚 0.28 m ,底板标高 842.75 m ;5 号煤层是空巷,厚度 1.9 m ,底板标高 812.89 m ;6 号煤层是空巷,厚度 1.4 m ,底板标高 802.89 m ;8 号煤层厚 3.03 m ,底板标高 760.83 m 。根据 2 号煤层底板等高线和 1 号、2 号煤层间距可推断引起陷坑及地裂缝的煤层开采深度为 $79 \sim 85\text{ m}$ 。

2 滑坡规模及地表变形特征

2.1 滑坡规模及形态特征

根据野外调查和勘探结果,滑坡分布于李家楼兴隆街西北侧斜坡上。滑坡体长 89.3 m ,中间宽 133 m ,滑动深度平均 23.8 m ,平面面积为 10509.4 m^2 ,滑坡区高程在 $884.0 \sim 932.0\text{ m}$,滑坡体体积约 250123.7 m^3 ,属于中型滑坡。

滑坡坡面坡度 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$,滑坡后缘坡度 $60^{\circ} \sim$

80°;后缘陡坎高5~8 m。

滑坡体岩层倾角0°~20°,平均10°,滑动面倾角平均15°,滑动面与岩层层面相切,且滑动面倾角大于岩层倾角。从滑坡变形特征和运动性质分析来看,该滑坡类型属于岩质滑坡中的切层滑坡。

滑坡体主要由砂岩和砂质泥岩组成,滑动面岩层主要是泥岩。

2.2 滑坡变形破坏特征

滑坡滑面纵轴线方向229°,该方向下方是S316榆古公路。滑坡范围内总共出现6条地裂缝,其中5条(L₁~L₅)后缘裂缝为张性裂缝,仅东侧边界L₆为剪胀裂缝。L₁~L₅裂缝发育部位在滑坡后缘,L₄裂缝东侧有分叉现象,L₃出现在滑坡东侧边界,L₅、L₆延伸到人工采石的废石堆中(图2)。



图2 地裂缝

Fig.2 Ground fissures

陷坑位于滑坡后缘平台地裂缝交汇处,平面形状呈近圆形,最大长度15 m,平面塌陷面积约110 m²,塌陷深度肉眼可见为3~5 m,深部见不到底(图3)。推测系煤矿老采空区塌陷所形成。



图3 平台上的陷坑

Fig.3 The pit in platforms

该滑坡最早于2005年在地质灾害调查时发现,2009年雨季时当地村民发现坡面上有滚石坠落到道

路上,且在李家楼村上方的半山坡上有雨水从岩层缝隙中涌出,推断涌水的地层应是滑坡的前缘。

3 滑坡勘查

滑坡勘查主要采用地质调绘、物探和钻探方法,旨在查清滑坡体的变形特征、滑面位置、采空区的位置和范围,评价滑坡稳定性,为滑坡防治设计提供岩土体物理力学参数。

工程地质测绘和调查采用1:500比例尺,完成调查面积0.084 km²。重点调查了滑坡体的形态特征,特别是坡面上的陷坑和裂缝大小和特征。

3.1 物探方法

物探方法采用直流电阻率电测深法,共做电测深点35个。最大AB/2为80 m,最小AB/2为2 m。

布设剖面线3条,剖面总长320 m,测点数35个,点距10 m。其中,1剖面长130 m,测点14个;2剖面长100 m,测点11个;3剖面长90 m,测点10个。

经过室内数据处理,绘制出3幅视电阻率等值线断面图及物探推断成果图。图4为其中剖面2视电阻率等值线断面图,图5为其中剖面2物探推断推断成果图。

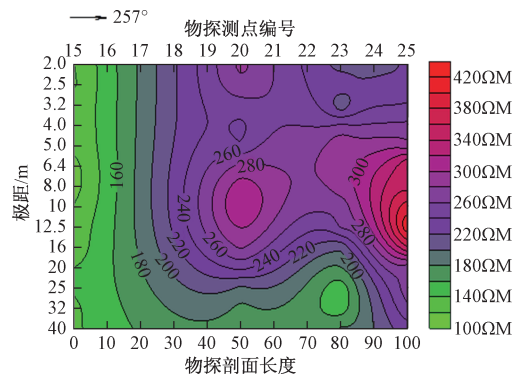


图4 剖面2视电阻率等值线断面图

Fig.4 Section 2 apparent resistivity contour profile

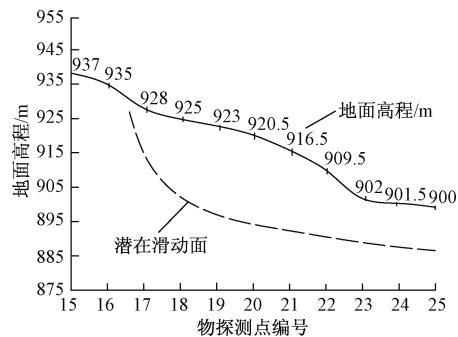


图5 物探推断推断成果图

Fig.5 Geophysical surveying inference results chart

视电阻率等值线断面图是以物探测点编号为横坐标,AB/2 极距为纵坐标(对数坐标),将各测点不同 AB/2 极距所采集的视电阻率值经网格化后成图。

物探勘测推断成果图是以物探测点编号为横坐标,以高程为纵坐标,将各剖面测点对应的地面高程绘于图上,连接成剖面的地面高程线;根据物探勘测综合解释推断成果,结合钻探资料推断出滑面埋深。物探推断滑面埋深见表 1。

表 1 物探推断滑面埋深表

Table 1 Geophysical inference sliding surfaces depth table

物探测点 编号	测点地面 标高/m	测点滑面 标高/m	测点滑面 埋深/m
15	937	937	0
16	935	935	0
17	928	917	11
18	925	900.5	24.5
19	923	896	27
20	920.5	893.5	27
21	916.5	891	25.5
22	909.5	889	20.5
23	902	887	15
24	901.5	885	16.5
25	900	884	16

3.2 钻探

在平行于滑动轴线方向布置三排钻孔,主轴线上布置 4 个,其余 2 排各布置 3 个钻孔,累计进尺累计 420.75 m。钻探结果显示潜在滑动面岩层为泥岩,厚度 0.2~0.4 m,滑动面离地表 15~28 m,平均 23.8 m。为查明老采空区的位置,设计钻进两个深孔各 90 m 验证老采空区的深度,分别在 80.2 m 和 82.6 m 的位置见到老采空区地层,在钻探过程中,出现漏浆和掉钻现象。说明地面的塌陷和裂缝正是老采空区的塌落引起的。图 6 是钻探剖面 2 示意图。

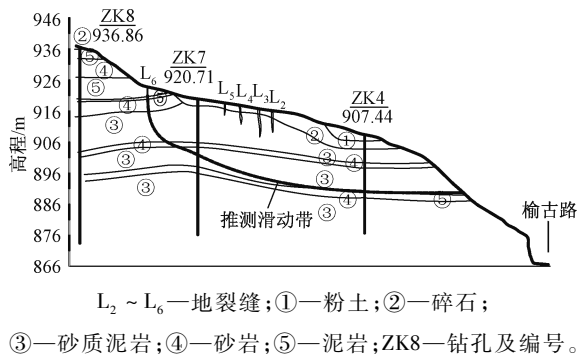


图 6 滑坡钻探剖面 2 示意图

Fig.6 Landslide drilling section 2 schematic diagram

在滑坡岩土体物理力学试验的基础上,选取有代表性的滑坡剖面,计算各种工况下该滑坡的稳定性系

数,经过滑坡稳定性验算,正常工况下滑坡体是稳定的;在自重和暴雨工况下的滑坡稳定性系数为 1.135,滑坡属于基本稳定状态,存在一定危险性。

虽然煤矿老采空区经过几十年塌陷变形已经稳定,但经过 1990 年代十几年的坡面人工采石,现在坡面到处都是废石堆积,坡面极不稳定。李家楼村北部半坡面上滑坡前缘地方,据村民反映早些年雨季时曾经有雨水从半山坡上坡面岩缝涌出,说明陷坑和裂缝早期已经引起岩体滑动面的贯通,只是坡体上部陷坑的塌落有利于滑坡变形的稳定,滑坡体暂时没有出现滑移。采空区的塌陷引发的陷坑和地裂缝对滑坡稳定性危害巨大,必须进行综合治理。

4 滑坡产生机理分析

4.1 滑坡形成条件

滑坡形成与组成边坡的岩土的性质、结构、构造和产状有关。本滑坡属于基岩滑坡,滑坡体岩性主要为砂质泥岩、砂岩,滑面主要是泥岩和粉土。泥岩遇水力学性质容易发生改变,形成土状或者泥状软弱层,形成潜在的滑动面,使边坡具备形成滑坡的物质条件^[1]。

本滑坡岩层的倾角小于坡体的自然坡度,滑动面与岩层层面相切,且滑动面倾角大于岩层倾角,不具备顺层滑坡的条件,而且顺层滑坡不会有陷坑的出现,说明滑坡不是由岩土体的结构和产状诱发。

坡面上出现的陷坑和裂缝表明此滑坡最初诱因是老采空区的塌落引起,后期由于采石爆破振动、降雨等综合因素的影响,形成了现在的滑坡现状。

4.2 采空区对滑坡形成的作用分析

4.2.1 地下开采对上覆岩土体的破坏形式

地下开采所形成的采空区对地表的影响受地形、矿层、岩性、地质构造和开采条件等多种因素影响,地下煤层采出后,采空区顶板岩层在自重和上覆岩层的作用下,向下移动变形,随着工作面推进采空区不断扩大,采空区塌落,直至变形破坏发展至地表,在地表形成移动盆地或者陷坑和环陷坑的错动地裂缝^[2-3]。

现代煤矿开采多采用长壁式连续采煤法,当采深和采厚较大时,采空区上覆岩层移动平稳迅速,地表变形分布均匀,形成移动盆地。当深厚比小时,地表容易形成非连续型破坏,出现台阶状断裂、裂隙和陷坑,在一定地形条件下甚至形成滑坡^[3]。

4.2.2 老采空区塌陷形成滑坡的机理

老采空区多是早期小煤窑开采形成的,开采深度一般较浅,多用人工平巷采掘,其产生的采场空间无规

则可循,采高也很不均匀,开采形成的采空区由于离地表近,塌陷后地表容易出现大的裂缝、斗状塌陷坑及伴随沉陷地表出现滑动或出现滑坡等破坏形式^[4-5],采空区塌落形成滑坡过程见图7。

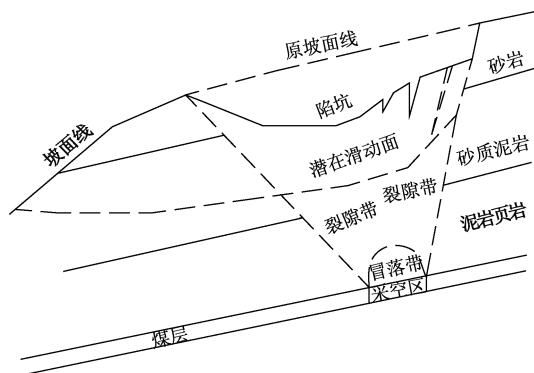


图7 采空区塌陷引起滑坡示意图

Fig. 7 Schematic diagram of landslide caused by goaf collapse

勘查区的老采空区埋深在80~90 m,采厚比一般小于40,属于浅采空区。从南峪煤矿的采掘平面图中看出,现代采煤的煤层位置不在滑坡位置处,滑坡位于老采空区范围内,说明滑坡不是由现代采煤采空区塌陷造成的。

4.3 采石爆破对滑坡形成的影响

后期采石活动主要开采的是滑坡西南侧坡角和中部的岩层,开采活动打破了坡体原有的应力平衡状态,采石爆破加速了地裂缝的扩展和陷坑的发展,采石废弃的碎石堆积在坡体上,对滑坡蠕滑起到了加速作用。

4.4 降雨与地表水对滑坡形成的影响

勘查区降雨具有雨季集中,降水分布不均匀的特点,且降雨集中在6~9月份,多为突发性区域强降水,降雨和地表水入渗是滑坡发生的重要诱发因素。

5 结论和建议

(1)查明了滑坡特征和发展变化趋势,通过对滑坡稳定性评价分析,滑坡在非正常工况下是不稳定的,必须进行滑坡灾害治理。

(2)选用适当的物探方法能够简单有效地查明滑坡滑面特征,物探推断滑动面的位置和钻探验证的深度大致相当,直流电测深法确定滑面位置简单易行,但是坡面上的堆石对物探探测的精度影响很大。

(3)充分认识滑坡的地表变形特征(如裂缝和陷坑)及发生机理有助于查明滑坡产生的原因和稳定性。

(4)通过对老采空区引发滑坡机理分析,认为老采空区塌陷是滑坡形成的主要因素。煤矿老采空区形

成时间较长,形成裂缝和陷坑诱发滑坡,加上采石爆破、雨水入渗等因素的综合作用,最终导致坡体滑动。

(5)这次滑坡勘查主要是针对地面的滑坡体勘查,对老采空区没有做详细的勘查,因老采空区年代久远,分布无规律,位置和范围确定比较困难,本次勘查没有用物探方法探测,只是用钻探进行了验证,由于钻探控制的范围小,加上经费等原因,无法查明老采空区的精确范围和位置。建议在以后的地质灾害治理设计中必须考虑老采空区稳定性影响,必要时对老采空区专门立项进行勘查。

参考文献:

- [1] 周德辉. 山区开采滑波的成因、机理分析及防治措施[J]. 贵州科学, 1999, 17(3): 208-214.
ZHOU Dehui. Mining causes, mechanism analysis of landslide in mountainous area and its prevention measures[J]. Guizhou Science, 1999, 17(3): 208-214.
- [2] 陈峰, 潘一山, 钟勇. 采动影响下覆岩应力变化规律的数值模拟分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(3): 74-78.
CHEN Feng, PAN Yishan, ZHONG Yong. Numerical simulation study of overlying strata stress changing rule influence by mining [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(3): 74-78.
- [3] 林锋, 孙赤, 冯亮. 近水平煤层开采诱发崩塌形成机理分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(3): 8-12.
LIN Feng, SUN Chi, FENG Liang. Formation mechanism research of collapse induced by mining in nearly horizontal coal bed[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(3): 8-12.
- [4] 徐杨青, 吴西臣, 钟祥君. 采动诱发滑坡的变形机理及治理设计研究[J]. 工程地质学报, 2012, 20(5): 781-788.
XU Yangqing, WU Xichen, ZHONG Xiangjun. Investigation and reinforcement design of landslide induced by underground mining [J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(5): 781-788.
- [5] 马施民, 王洋, 杨雯, 等. 山西煤矿潞安矿区地裂缝发育特征及形成机理分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(1): 28-32.
MA Shimin, WANG Yang, YANG Wen, et al. Characteristics of ground fissures development and formation mechanism in Lu'an mining area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(1): 28-32.