

金属矿山地下开采引起地面塌陷的规律

周春梅¹, 李沛², 虞珏², 李先福¹

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074)

(2. 武汉钢铁集团矿业有限责任公司大冶铁矿, 湖北 黄石 435000)

摘要:金属矿山地下开采引起地表塌陷已经成为一种主要的矿山地质环境问题。地面塌陷受多方面因素影响,各因素相互作用使得金属矿山地表塌陷形成机理复杂。本文以大冶铁矿东露天采场地面塌陷为例,从采场地质环境、矿体特征、采矿方法、崩落角、地面塌陷的形式等方面,综述了地面塌陷的特征,并探讨了地面塌陷的形成规律,该研究为矿山地面塌陷的成因及控制对策研究提供了帮助。

关键词:金属矿山;地下开采;地面塌陷;矿山地质环境;大冶铁矿

中图分类号:P554

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.01.019

0 引言

国内外对矿山开采引起地表塌陷的研究由来已久,但研究成果主要是针对煤层开采的岩层移动与地表沉陷预测。对于金属矿山,由于岩体物理力学性质、地层结构、矿体形态、赋存条件以及采矿方法与煤矿存在着较大的差异,地面塌陷影响因素复杂多变。特别是,对于具有断裂构造、地层与矿体产状复杂变化的金属矿床,目前国内外尚没有比较成熟、系统和准确的方法来研究地面塌陷的形成机理以及控制对策^[1]。

大冶铁矿露天采场矿体自20世纪60年至80年代相继开采完毕并转入地下开采,目前除局部的挂帮矿回采外,主要为地下开采。由于长期的大量地下开采铁矿层,形成大面积采空区,据黄石市地质灾害调查与区划资料,矿区采空区将近4 km²,采空区高度10~25 m,最大达40余米,导致其围岩应力发生改变,岩体完整性遭到破坏,采空区顶板塌落,波及地面引起不均匀沉降与大面积的塌陷^[2,3]。东露天采场狮子山20世纪70年至80年代发生地面变形,目前已形成长300 m,宽50~120 m,深20~35 m的塌陷坑,导致地表排水沟道、通风斜井井口以及部分厂房等建筑物受损破坏。尖林山、龙洞、铁门坎等采区也发生多处规模不一的地面塌陷,对铁山区三岔路村2 000余人的生命财产造成严重威胁,同时也危及矿业活动的正常进行,地面塌陷已成为一种严重困扰矿山开

采的地质环境问题。

本文以大冶铁矿东露天采场的地表塌陷为例,从东露天采场的地质环境、矿体特征、采矿方法、地面塌陷的形式、崩落角分析入手,探讨塌陷区的特征及形成规律,为地面塌陷的形成机理及控制对策的研究奠定了基础。

1 地面塌陷的形成机理及控制对策

金属矿山地下开采地面塌陷是由于矿山地下开采形成采空区,采空区上覆岩体在自重和上覆岩土体的压力作用下,产生向下的弯曲与移动,当顶板岩层内部形成的张拉应力超过岩层的抗拉强度极限时,直接顶板发生断裂、跨塌、冒落,接着上覆岩层相继向下弯曲、移动,随着采空范围的扩大,受移动的岩层也不断扩大,从而在地表形成塌陷。在缓倾条件下的上覆岩土体大致可形成三个带,即冒落带、裂隙带和弯曲变形带,这三个带的界限一般不明显,也不一定同时出现^[4]。

金属矿山地下开挖必然引起岩层变形与移动,其变形速度、影响范围、发生与发展时间受众多因素的影响,如采矿方法、矿体赋存条件(地质条件、岩土物理力学性质、矿层倾角)、开采的深度、厚度、宽度、采场结构尺寸、开采速度和顺序,以及开采的时空关系等,金属矿山开采后地表的移动变形函数可表示为^[11]:

$$D_r = F(H, L, M, T_H, E, J, C, \phi, \mu, \gamma, \omega, \dots)$$

其中, D_r 为开采后地表的实际移动量; H 为实际

开采或开挖深度; L 为采区的实际开采宽度; M 为矿块的实际开挖厚度(或矿层厚度); T_H 为水平构造应力; E 为采区上覆岩体的弹性模量; J 为采区矿层上覆岩体节理裂隙影响系数(无量纲量); C 为矿层上覆岩体的内聚力; ϕ 为矿层上覆岩体的内摩擦角; μ 为矿层上覆岩体的泊松比; γ 为介质的密度; ω 为地下水影响系数。

地面塌陷的形式与矿体距地表的埋深及矿体的厚度的关系如表 1, 同时, 在塌陷发生的沉陷盆地中心部位以垂向下沉为主, 水平位移、倾斜位移量较少, 形成沉陷盆地; 在盆地边缘及外缘裂隙拉伸带则以倾斜位移和水平位移变形为主, 可能出现地表裂缝、漏斗状塌陷坑, 进而在斜坡区域引发边坡失稳, 产生崩塌、滑坡等。

表 1 地面塌陷与矿体关系

Table 1 Surface subsidence area and orebody

矿体距地表埋深	矿体厚度	采空区对地表影响	地面塌陷形式
浅	厚	较大	塌陷带、塌陷坑
深	厚	一般	裂隙带、地面裂缝分布多
深	薄	轻微	地面裂缝

分析金属矿山地下开采地表移动范围的方法主要有以下几种: a. 工程类比法, 金属矿山常用的一种半定量的经验性方法。b. 理论分析法, 包括上盘渐进崩落理论、上下盘渐进断裂理论、松动区引起地表岩层移动理论、构造应力控制矿山地表岩层移动理论、矿山岩体采动影响与控制工程学理论、概化随机介质理论, 其中上盘渐进崩落理论和上下盘渐进断裂理论适用于露天转地下用崩落法回采的矿山。c. 数值分析方法, 能对地表变形破坏的定量评价, 已广泛应用于地表移动机理研究中^[4]。

2 大冶铁矿东露天采场塌陷区

2.1 东露天采场地质环境

大冶铁矿东露天采场是由象鼻山、狮子山、尖林山三个矿体组成。其中西部的象鼻山最高标高 228 m, 中部的狮子山最高标高 276 m, 东部的尖林山最高标高 250 m, 封闭圈标高为 72 m。采场总体走向 NW300°, 长度为 2 200 m, 坑底面积为 8 150 m²。

东露天采场内的地质构造复杂, 断层节理发育, 主要发育的断裂构造有 F_9 、 F_{25} 、 F_{13} 、 F_{10} 、 F_{11} 、 F_{12} 、 F_8 ; 此外, 大冶铁矿东露天采场广泛发育一种介于断层与节理之间过渡类型的断裂结构面到区域性节理, 一般由切割闪长岩体长达几十到几百米的剪破裂面或狭窄的构造劈理化带组成, 对工

程地质分区、边坡的稳定性(特别是和断层组合在一起)影响明显, 大冶铁矿主要发育的节理构造有 J_{14} 、 J_{56} 、 J_{79} ^[5,6]。

大冶铁矿东露天采场工程地质岩组划分为 6 组, 其中大理岩、闪长岩组强度最高, 风化花岗闪长岩和砂卡岩组、蚀变闪长岩组次之, 断层角砾岩、砂砾石和粘土岩组强度最低。采场岩体结构类型主要有块状结构、层状结构、层状碎裂结构、碎裂结构、散体结构, 其中具有碎裂结构、散体结构的岩体在矿山地下开采中易产生地面塌陷、崩塌及滑坡。

2.2 东露天采场矿体特征

大冶铁矿狮子山矿体(26—30 线)主要赋存于闪长岩与大理岩接触带内, 局部地段呈分枝插入大理岩或闪长岩内。矿体走向 320°, 沿走向长 430 m, 矿体上部北倾, 下部转向南西, 矿体倾角 75°~90°, 厚度 20~80 m, 一般厚 30~50 m, 赋存标高 +170~-400 m。矿石矿物主要为磁铁矿, 次为赤铁矿、黄铜矿、菱铁矿、黄铁矿、白铁矿、斑铜矿、磁黄铁矿等, 条痕呈不同程度的红色^[7]。脉石矿物主要有方解石、绿泥石、透辉石、白云石、金云母、石榴子石等。矿石结构为自形一半自形粒状结构、它形粒状结构、交代残余结构、包裹结构、隐晶粒状结构、环带状结构等。矿石构造为块状构造、粉状构造、浸染状构造、脉状构造、条带状构造、角砾状构造、晶簇状构造等。

2.3 东露天采场采矿方法

大冶铁矿东露天采场地下采矿采用无底柱崩落法开采, 随着每个步距的矿石回采出来, 矿体上面覆盖的松散岩石也就随之崩落, 覆盖到下一个分段的矿体上。如此自上而下采完各分段, 覆盖岩石和地表跟着崩落塌陷。矿体的水平尺寸 50 m×50 m 或 60 m×60 m, 阶段高度为 70 m, 分段高度为 10 m, 进路间距为 8 到 10 m, 崩落步距为 1.2 至 2.4 m(即 1 至 2 排炮孔距离)。

2.4 东露天采场采空区地面塌陷

该塌陷区位于东露天采场狮子山坡脚处(图 1), 目前地下开采在 -72 m 阶段, 受地下开采和爆破震动的影响, 塌陷区域呈椭圆状, 长度近 300 m, 宽度在 80 m 左右, 面积约 2.4×10⁴ m²。塌陷区北帮为花岗闪长岩, 坡角近 45°, 南帮为大理岩, 坡角 42°, 塌陷区两侧堆积成分为土夹石, 塌陷坡度约 80°, 高度约 25 m。塌陷区周边地裂缝发育, 垂直于塌陷方向(图 2), 地裂缝宽度 10~50 cm, 深度 90 cm, 长度 10~50 cm, 密度约 1 L/m。

b. 文中从大冶铁矿东露天采场地质环境、矿体特征、采矿方法、地面塌陷的形状及与地下巷道之间的关系等方面介绍了地面塌陷的形成机理。大冶铁矿东露天采场地面塌陷严重破坏了矿山地质环境,同时也给矿山生产带来严重威胁,随着地下开采工程的延深,采空区塌陷与地表变形还会继续扩展,必须采取合理的治理方案。

致谢:论文的研究得到了武汉工程大学环境与城市建设学院课题组及武汉钢铁集团矿业有限责任公司大冶铁矿的大量帮助,论文的资料由大冶铁矿科技处提供,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 武钢矿业公司大冶铁矿龙洞采区塌陷区预测及尾矿管防护措施研究[R]. 武汉:中国科学院武汉岩土力学研究所,武钢矿业公司大冶铁矿,2008,6.
- [2] 姜建军,刘建伟.大冶铁矿矿山环境调研报告[R]. 国土资源通讯,2005,15:42-43.
- [3] 戚冉,黄建华,郭春颖.矿山地面塌陷预测方法研究[J]. 中国矿业,2008,17(6):39-48.
- [4] 袁义.地下金属矿山岩层移动角与移动范围的确定方法研究[D]. 长沙:中南大学,2008,4.
- [5] Zhou Chunmei, Wu Yanling, Li Xianfu, et al. Slope Hazards and System Design of Emergency Rescue in Daye Iron Mine[C]// Qiyuan Pebg, Yun Pu, Kelvin C P Wang, et al. International Conference on Transportation Engineering 2009 (Volume Five). The American Society of Civil Engineers, 2009: 4098 - 4103.
- [6] 周春梅,李先福.大冶铁矿高陡岩质边坡变形破坏机理分析[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2009,10(16):25-30.
- [7] 大冶铁矿深部探矿关键技术研究与应用[R]. 武汉:中国冶勘总局中南地质勘察院,2006,12.
- [8] 蔡荣.一种危害矿山安全的特殊塌陷[J]. 有色矿冶,1997,6:51-58.

Research on mechanism of surface subsidence area of underground metal mining

ZHOU Chun-mei¹, LI Pei², Yu Jue², LI Xianfu¹

(1. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

(2. Daye Iron Mine of Mining Limited Company of Wuhan Iron Group, Huangshi 435000, China)

Abstract: Surface subsidence area caused by underground mining of metal mines has been a main problem for mine geological environment. The influence factors of surface subsidence area are in many aspects, at the same time, the interaction of each influence factors make the mechanism of surface subsidence area of metal mines be more complex. Taking surface subsidence area of cast open pit in Daye iron mine for example, this paper summarized the characteristics and analyzed the law of surface subsidence from the mine geological environment, characteristics of ore body, mining method, angle of collapse, shape of surface subsidence area. This research offers help for the study of mechanism of surface subsidence and control countermeasures.

Key words: metal mine; underground mining; surface subsidence area; mine geological environment; Daye iron mine

本文编辑:龚晓宁