

厚覆盖层矿山地下开采地表塌陷机制分析

黄平路, 陈从新

(中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430071)

摘 要: 随着矿山开采深度的不断增加, 厚覆盖层成为部分深部地下矿山的主要特点。以物探调查、变形监测以及理论分析为手段, 对某典型厚覆盖层金属矿山地下开采初期地表塌陷的成因与机制进行了分析。结果表明, 厚覆盖层中存在的大面积采空区为地表塌陷变形提供了空间, 采空区顶板厚度较小为地面塌陷的发展提供了条件, 采空区的存在是地表塌陷的主要原因。地表出现塌陷以后, 塌陷范围以塌陷坑为中心继续向外扩展, 受覆盖层内采空区走向, 断层和岩层分界面等地质缺陷影响, 塌陷坑向西、向南与向北三个方向上的扩展较向东快得多。降雨会增大塌陷坑向外扩展的速度, 因为地表水的下渗加快了塌陷坑周围岩土体向塌陷坑方向的移动和下沉。

关 键 词: 厚覆盖层; 覆盖层内采空区; 物探; 地表变形监测; 地下开采; 地表塌陷

中图分类号: TU 451

文献标识码: A

Analysis of mechanism of surface subsidence caused by underground mining with thick overburden

HUANG Ping-lu, CHEN Cong-xin

(State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: With the increasing of mining depth, thick overburden becomes the main feature of deep underground mines. By geophysical surveys, deformation monitoring, as well as the theoretical analysis, mechanism of surface subsidence caused by underground mining in a typical thick overburden metal mine was analyzed. The results obtained show that goaf in thick overburden provides space for ground subsidence; and smaller thickness of the gob creates condition for the development of ground subsidence, which is the main reason for surface subsidence. After surface subsidence occurred, centering on collapse pit, the range of subsidence continues to expand outward. Because of the strike of goaf and geological defects, such as faults and rock interfaces, collapse pit expands faster in the north, west and south than in the east. Rainfall will increase the expansion speed of the collapse pits, because the infiltration of surface water accelerated the movement and subsidence of the surrounding rock and soil toward the pit.

Key words: thick overburden; goaf in overburden; geophysical survey; surface deformation monitoring; underground mining; surface subsidence

1 引 言

随着国民经济的迅速发展和对矿产资源需求的不断增长, 地下资源开发规模逐渐扩大, 开采深度不断延深, 厚覆盖层成为部分深部地下矿山的主要特点。地下采矿所引起的地表变形和岩层移动, 涉及地表构筑物的安全使用与保护问题。研究并预测厚覆盖层矿山地下开采覆岩移动规律是进行矿山开采设计和保障矿山安全生产的基础, 已成为矿山岩体力学研究的前沿课题之一, 国内外研究人员已

在相关方面也做了些研究工作, 取得了一些成果, 如文献[1]对地下采矿引起的地表下沉类型及其机制进行了比较系统地研究, 文献[2-4]研究了巨厚松散层下煤矿条带开采引起的地表变形移动规律, 文献[5-6]分别利用模糊数学模型与物理相似模型试验对中深部矿体露天与地下联合开采引起的地表变形机制与岩层移动规律进行了分析研究, 文献[7]利用室内相似模型试验方法对厚覆盖岩层条件下地下采矿引起的地表和围岩变形移动机制进行了探讨。然而, 针对厚覆盖层条件下金属矿山地下开采

初期地表出现变形塌陷的机制研究方面尚未见报道。为此,本文以金山店铁矿东区为例,对厚覆盖层条件下地下开采初期地表出现变形塌陷的成因进行了研究。

金山店铁矿年产矿石 300 万 t, 是武钢的主要矿石生产基地。矿山面积约 3.5 km², 并以 25 勘探线为界划分为东西两个矿区。从 1979 年开始试生产以来, 该矿已有 30 年的开采历史, 主要集中在西区开采。随着西区开采延深后可采矿量的逐步减少以及考虑到生产系统使用上东西区的连接, 东区于 2005 年 9 月开始放顶, 准备进行大规模深井开采。东区起采水平-270 m, 覆盖层厚 320 m, 属于典型的厚覆盖层矿山。由于地表征地、搬迁等工作迟迟没有解决, 东区迄今只完成了放顶和-284 m 水平部分矿体的开采工作。然而东区地表于 2007 年 4 月出现了塌陷, 塌陷面积约 250 m², 之后塌陷面积迅速扩大, 2007 年 10 月塌陷面积增至 1 200 m²。对于厚覆盖层矿山, 直观上覆盖层的厚度越大, 其稳定性越好。然而, 金山店铁矿东区在一个分段开采都未完成的情况下, 覆盖层就产生了变形破坏, 地面出现了塌陷。金山店铁矿东区地表存在有居民稠密的村庄和铁路、车站等建构物。覆盖层的安全稳定直接影响了矿山的生产计划和地表居民的生命财产安全, 对金山店铁矿地下开采过程中地表的塌陷变形机理进行分析十分必要。

2 工程地质概况

金山店铁矿位于金山店侵入杂岩体的南缘中段。东区平面上西起 25 勘探线, 东至 43 勘探线, 东西长近 1 000 m, 南北宽 990 m, 面积约 0.9 km²。

矿床位于淮阳山字型构造前弧西翼与以幕阜山为主的扬子纬向构造带间的过渡地带。区域内的构造形迹主要属于山字型前弧西翼与纬向构造联合构造应力作用下形成的北西西至近东西向的褶皱、断裂带和以改造利用前者为特征的北北东背(向)斜形构造与断裂带, 具体为 F₁、F₂、F₃、F₄ (图 1) 4 条相互平行排列的主干断层, 其次还有层间滑动破碎带和成矿后形成的挤压破碎带。

金山店铁矿东区主要存在 I 号和 II 号两个主要矿体。I 号矿体: 纵贯本区东西方向, 赋存标高为 +16~-1 000 m, 矿体形态较简单规则, 呈似层状, 具有上薄下厚, 东厚西薄的变化特征, 其厚度一般为 20~80 m。II 号矿体: 纵贯本区东西。该矿体位于 I 号矿体北侧, 二者相距 15~200 m。在剖面上两矿体呈迭瓦状排列, 赋存标高为 +70~-719 m。在 26~34 线间矿体出露地表。

矿体上盘近矿体以岩浆岩 (C₁) 为主, 远离矿体以角页岩 (A) 为主; 矿体下盘以岩浆岩 (C₂) 为主, 具体如图 1 所示。

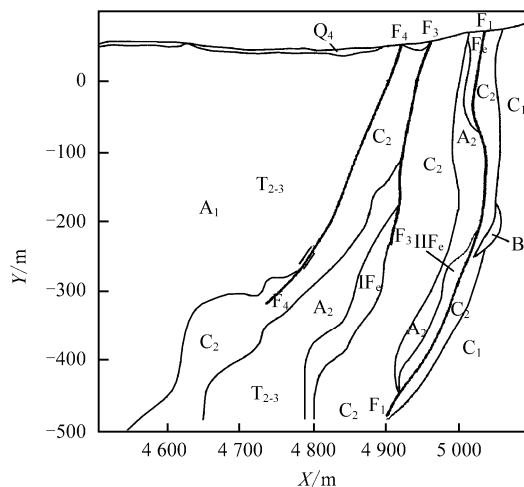


图 1 典型剖面地质图

Fig.1 Geological profiles of typical sections

根据矿区所处大地构造部位及其特征, 以及现存构造形迹和特征, 推断本区现存构造应力的最大主应力方向为近南北向或稍偏东的北北东——南南西向, 应力值大约为 1~2 倍的自重应力。

3 矿体开采情况

金山店东区在-270 m 水平开始放顶, 设计放顶高度为 18 m; 开采深度为-680 m, 其中-340、-410 m 阶段高度为 70 m, 分段高度为 14 m; -500 m、-590 m、-680 m 阶段高度为 90 m, 分段高度为 18 m。采矿方法预采用分段崩落法。由于地表征地、搬迁等工作迟迟没有解决, 东区迄今只进行了放顶工作和对-284 m 水平部分矿体的开采, 图 2 为-284 m 水平矿体分布和开采情况图。

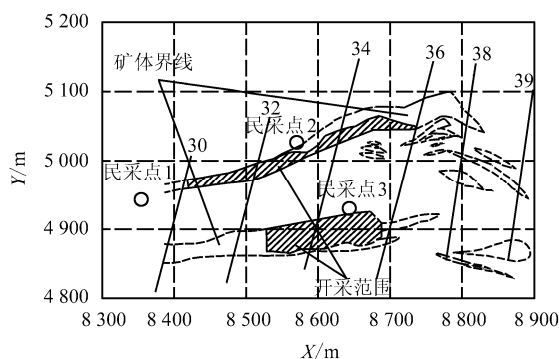
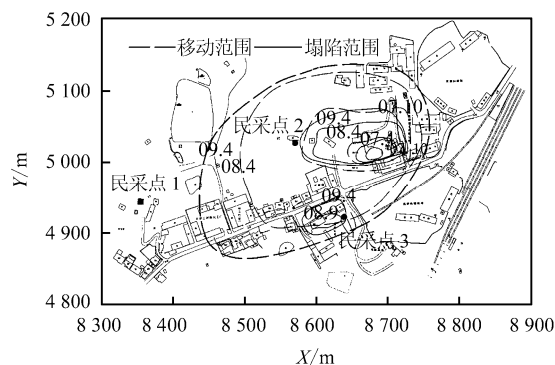


图 2 -284 m 水平矿体分布与开采情况图

Fig.2 Ore body distribution and mining progress of level -284 m

由于金山店铁矿东区部分区域矿体埋藏较浅，甚至出露地表，所以金山店铁矿东区一直存在着多处民采点，其中 1#、2#、3# 是位于地表塌陷位置的 3 个主要民采点，其井口位置如图 3 所示。关于民采当前所了解的情况仅有：民采现已采到 -130 m 水平左右，回采矿量约为 100 万 t，其他关于民采采空区的位置与形状、采用的采矿方法等重要资料不详。



即将使地面产生较大面积的塌陷,其中有一部分虽已形成采空区,地下也在不断地塌落,但还没有影响到地面,但是地面车辆产生的压力和振动等外部因素的影响,会加速地下岩土体的塌落过程,从而加速地面的沉降。

5 地表变形监测

5.1 变形监测

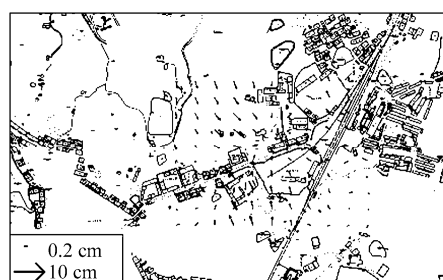
为了有效掌握金山店铁矿东区地表的变形规律和分析地表塌陷的成因,进行了地表水平位移、垂直位移的变形监测,以及地表裂缝和塌陷范围扩展的巡测。

地表水平位移采用 GPS 进行监测,共布置测点 64 个,监测工作从 2008 年 3 月开始,至 2009 年 5 月共进行了 13 次监测。监测周期为 30 d 一次。

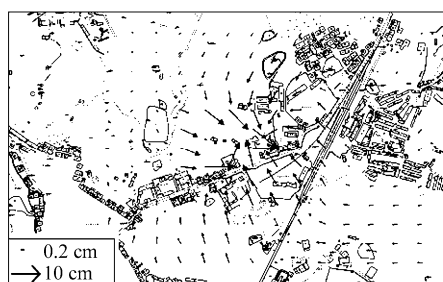
水准网主线沿矿区主干道布置,测点共计 97 个,采用高精度水准仪进行监测,水准监测从 2008 年 3 月开始,至 2009 年 5 月共进行了 13 次监测,监测周期为每月一次。

5.2 监测结果与分析

监测得到了金山店铁矿东区地表水平和沉降变形过程,图 5 为 GPS 监测得到的典型水平位移矢量图,图 6 为水准测量得的典型沉降等值线图。



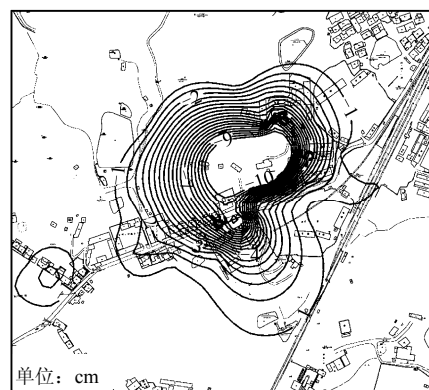
(a) 2008 年 12 月 24 日



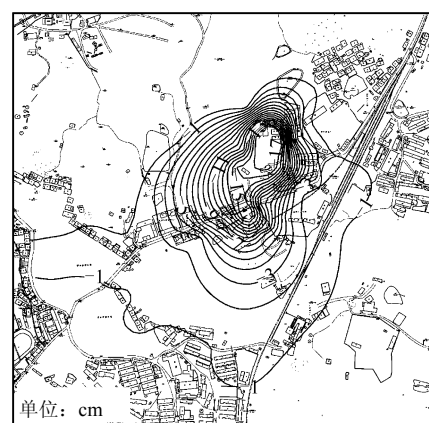
(b) 2009 年 5 月 23 日

图 5 水平位移矢量图

Fig.5 Vectorgraph of horizontal displacement



(a) 2008 年 12 月 26 日



(b) 2009 年 5 月 27 日

图 6 沉降等值线图

Fig.6 Contour map of vertical displacements

通过分析地表变形监测结果,可以得到金山店铁矿东区的地表变形规律:

首先,从对水平位移监测结果可以看出,2008 年 9 月之前地表水平位移方向显得杂乱无章,规律性很差,最大水平位移量也未达到为 4 cm,且集中于塌坑周边区域内,这种变形现状表明,总体上整个金山店铁矿东区,地下开采还未对地表变形产生明显的影响。此后的 10 月至 11 月,水平位移逐渐向塌坑周边区域集中,变形由塌坑向外逐渐减小,且指向塌坑内。2009 年 1 月的水平位移方向已经明显由四周指向塌坑中心,而位移最大值已超过 5 cm。2009 年 3 月塌坑周围测点的水平位移明显增大,位移最大值超过 10 cm。2009 年 5 月份塌坑附近测点单月变化值大都超过 3 cm,其中变形最大测点变形接近 20 cm。

其次,从沉降等值线图可以看出,自 2008 年 3 月第一次监测起,地表的垂直变形一直在逐渐增大,变形范围也不断增大。5 月份,地表最大沉降点是位于食品公司区域,单月最大沉降值达 2 cm。另外,塌坑附近的部分测点的沉降量也明显增大;

6~8 月份, 食品公司区域测点的变形仍保持快速增加的势头, 单月沉降量达到了 6 cm, 预示着此地区将出现较大的变形, 9 月份食品公司出现新的塌坑印证了监测成果; 9—12 月, 地表沉降的变形值和变形范围仍在不断增大, 食品公司区域新塌坑附近仍是变形最快的区域, 区域内测点最大沉降值已超过 10 cm。2009 年 1—3 月, 塌坑附近测点沉降变形值继续增大, 部分测点单月变形值近 4 cm。2009 年 4—5 月塌陷坑附近测点仍保持快速变形, 多处测点单月变形超过 3 cm。

第三, 无论从水平位移还是沉降变形监测成果都可以看出, 地表变形值和变形范围一直在逐步增大, 形成了以尾矿池塌坑和食品公司新塌坑为变形中心, 变形范围逐步向外扩展的变形趋势。变形向四周均扩展迅速。但是塌坑在向西、向南与向北三个方向上的扩展较向东快得多。变形在 2009 年 5 月份呈加速之势。

另外, 根据地表裂缝和塌陷范围扩展过程监测结果绘制了东区地表移动范围和沉陷范围的扩展过程结果, 如图 3 所示。

2007 年 4 月, 两民采点附近 36 勘探线区域一个尾矿池出现地面塌陷, 塌陷面积约 250 m², 周边有 3 栋民房开裂变形。10 月, 此地面塌陷区域面积增至 1 200 m², 周边民房及地表开裂变形范围扩大。2008 年 4 月, 此地面塌陷区域面积增至 5 900 m², 塌陷面积陡增 4 倍, 移动范围也相应地有所扩大, 导致食品公司的 2 层楼及附近的民宅大范围开裂。9 月, 食品公司院内产生了一次新的地表塌陷, 塌陷面积约 620 m²。2009 年 5 月, 塌坑范围继续增大。在地表移动范围内的房屋和道路出现了明显的变形或较大裂缝, 其中粮库因变形巨大而被拆除。尾矿库处塌坑与食品公司处塌坑之间建筑物与道路变形十分明显。

6 地表塌陷成因分析

基于金山店铁矿东区工程地质、水文地质, 以及矿山开采情况, 通过上述物探勘查结果与分析、地表变形监测结果, 可以对金山店铁矿东区地表塌陷成因与机制做出如下分析:

对照图 3 中地表塌陷范围和地表主要民采点分布图可以看出, 地表塌坑所处位置与民采点的分布有着很好的对应关系, 民采是对近地表矿体进行开采, 其开采后留下的空洞对地表有着严重的影响。

由物探可知, 金山店铁矿东区覆盖层内存在大面积的民采开采形成的采空区, 覆盖层内采空区并

没有地下开采采空区形成贯通。民采点采用的空腔法采矿为地表塌陷和地表移动提供了变形空间。由于对近地表矿体进行开采, 其采空顶板厚度很小, 为地面塌陷的发展提供了条件。一旦其顶板塌陷, 地表岩土体必然向空区内巨大的空腔塌陷并充填。由此可以说明民采是地表出现塌坑的主要原因。

地面出现塌陷以后, 由变形监测结果得到的地表以塌坑为中心, 向西、向南与向北 3 个方向上的扩展较向东快得多。向西较快的扩展是由于矿体以及民采的采空区范围是向西延伸的; 向东则接近于矿体的端部, 所以扩展较慢; 向南和向北扩展较多, 是由于塌坑南、北侧是矿体的上、下盘, 存在着多条平行矿体的断层和岩层分界面等地质缺陷, 它们的存在有利于塌坑围岩向塌坑方向的倾倒移动。

2009 年 4—5 月份塌陷区周围地表变形呈加速之势, 除采空区外, 与期间雨水较多有关。地表水的下渗加快了塌坑周围岩土体向塌坑方向的移动和下沉, 引起了地表的快速变形和塌陷范围的快速扩展。

7 结 论

(1) 金山店铁矿东区厚覆盖层中大面积前期民采留下的采空区为地表塌陷变形提供了空间, 采空区顶板厚度很小, 为地面塌陷的发展提供了条件。采空区的存在是地表塌陷的主要原因。

(2) 地表出现塌陷以后, 塌陷范围以塌坑为中心继续向外扩展, 其中向西、向南与向北 3 个方向上的扩展较向东快得多。向西较快的扩展是由于民采的采空区范围是向西延伸的; 向东则接近于矿体的端部, 所以扩展较慢; 塌坑南、北侧是矿体的上、下盘, 存在着多条平行矿体的断层和岩层分界面等地质缺陷, 有利于塌坑围岩向塌坑方向的倾倒移动, 所以扩展较慢; 向南和向北扩展较多。

(3) 雨水较多季节, 降雨会增大塌坑向外扩展的速度, 因为地表水的下渗加快了塌坑周围岩土体向塌坑方向的移动和下沉, 从而引起了地表的快速变形和塌陷范围的快速扩展。

参 考 文 献

- [1] BRADY B H G, BROWN E T. Rock mechanics for underground mining[M]. London: George Allen Unwin, 1985.
 - [2] 李德海. 巨厚松散层下条带开采地表移动规律研究[J]. 焦作工学院学报(自然科学版), 2001, 20(3): 175—179.
- LI De-hai. Analysis of regularity of surface movement in

- strip mining under thick soil layer[J]. **Journal of Jiaozuo Institute of Technology(Natural Science Edition)**, 2001, 20(3): 175—179.
- [3] 柏杏丽, 李皓. 巨厚松散层下条带开采地表移动规律分析[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(8): 71—74.
BAI Xing-li, LI Hao. Analysis on displacement law of surface ground above underground strip mining with great thick soft overburden[J]. **Coal Science and Technology**, 2004, 32(8): 71—74.
- [4] 刘义新, 戴华阳, 郭文兵. 巨厚松散层下深部宽条带开采地表移动规律[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(3): 336—340.
LIU Yi-xin, DAI Hua-yang, GUO Wen-bing. Surface movement laws of deep wide strip pillar mining under thick alluvium[J]. **Journal of Mining & Safety Engineering**, 2009, 26(3): 336—340.
- [5] 李文秀. 急倾斜厚大矿体地下与露天联合开采岩体移动分析的模糊数学模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(4): 572—577.
LI Wen-xiu. Fuzzy mathematics models on rockmass displacements due to open-underground combined mining for thick ore body with steep dip angle[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(4): 572—577.
- [6] 黄平路, 陈从新. 露天与地下联合开采引起岩层移动规律的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(5): 1310—1314.
HUANG Ping-lu, CHEN Cong-xin. Model test study on rock movement caused by open-underground combined mining[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, 29(5): 1310—1314.
- [7] 任伟中, 白世伟, 孙桂凤, 等. 厚覆盖岩层条件下地下采矿的地表变形及围岩变形特征模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3935—3941.
REN Wei-zhong, BAI Shi-wei, SUN Gui-feng, et al. Research on deformation and subsidence characters of ground and surrounding rock induced by underground mining thick covering terrain by model test[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2005, 24(21): 3935—3941.
-
- 上接第 356 页
- [5] 郭学彬, 肖正学, 张志呈. 爆破振动作用的坡面效应[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 83—87.
GUO Xue-bin, XIAO Zheng-xue, ZHANG Zhi-cheng. Slope effect of blasting vibration[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2001, 20(1): 83—87.
- [6] 周春锋. 城市浅埋隧道开挖减震控制爆破技术[J]. 工程爆破, 2001, 7(1): : 57—61.
ZHOU Chun-feng. Vibration-reducing controlled blasting technology for excavation of urban shallow tunnel[J]. **Engineering Blasting**, 2001, 7(1): 57—61.
- [7] 许红涛, 卢文波, 周小恒. 爆破震动场动力有限元模拟中爆破荷载的等效施加方法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2008, 41(1): 67—71.
XU Hong-tao, LU Wen-bo, ZHOU Xiao-heng. An equivalent approach for acting blasting load in dynamic finite element simulation of blasting vibration[J]. **Engineering Journal of Wuhan University**, 2008, 41(1): 67—71.
- [8] XU Hong-tao, LU Wen-bo, ZHOU Xiao-heng. An equivalent approach for acting blasting load in dynamic finite element simulation of blasting vibration[J]. **Engineering Journal of Wuhan University**, 2008, 41(1): 67—71.
- [9] 李强. 消力池爆破开挖对红石大坝影响的数值模拟[硕士学位论文 D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [10] 连云港港口工程设计研究所. JTJ/T258—98 爆炸法处理水下地基和基础技术规程[S]. 北京: 建筑工业出版社, 1998.
- [11] 交通部水运规划设计院. JTS204—2008 水运工程爆破技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社出版, 2008.
- [12] 中国工程爆破协会. GB6722—2003 爆破安全规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.