

文章编号: 1000-7598 (2009) 10-3020-05

复杂地质条件下矿山地下开采地表变形规律的研究

黄平路, 陈从新, 肖国峰, 林 健

(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: 地质条件是矿山开采岩层移动的基础, 复杂的地质条件常使得地表移动角、沉陷角预测不准, 导致灾难性后果。以典型复杂地质矿山程潮铁矿东区为例, 以多年地表变形监测结果为依据, 对在其特殊地质条件下地表变形和岩层移动的机制进行了分析研究。结果表明, 地下采矿是矿区岩体破坏的直接诱因, 地下水产生的静水压力和动水压力强化了岩体的变形与破坏; 矿区岩体中断层、节理等特殊地质结构是岩体破坏的基础; 构造应力场的存在是围岩向采空区产生较大移动变形的主要影响因素; 在采矿之初, 地表塌陷主要是由地下水疏干引起的; 地表大规模塌陷形成以后, 地下采空区的扩大是引起地表塌陷的主要原因, 但矿区特殊的地质条件对地表塌陷范围的扩展速度有重要影响。

关 键 词: 地质条件; 地下开采; 构造应力; 岩层移动; 地表沉陷

中图分类号: TU 451

文献标识码: A

Study of rock movement caused by underground mining in mines with complicated geological conditions

HUANG Ping-lu, CHEN Cong-xin, XIAO Guo-feng, LIN Jian

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

Abstract: Geological conditions are the basis for surface subsidence. In mines with complicated geological conditions, the displacement and subsidence angles are often forecasted inaccurately, which leads to disastrous consequences. Taking a typical complicated geological mine as the background engineering, and based on the results of surface deformation monitoring for many years, mechanism of surface deformation and rock movement caused by underground mining is analyzed. Results obtained indicate that underground mining is the direct cause of rock deformation, which is significantly influenced by hydrostatic and hydrodynamic pressures of groundwater existing in rock masses. Joint fissures are the foundation of rock deformation. The tectonic stress is the main factor which causes greater movement and deformation. At the beginning of mining, surface subsidence is mainly caused by groundwater drainage. After the formation of large-scale surface subsidence, expansion of gob is the main reason for surface subsidence; but the special engineering geological and hydrogeological conditions have an important influence on the expansion speed of surface subsidence.

Key words: geological conditions; underground mining; tectonic stress; rock movement; ground subsidence

1 引 言

矿山地下开采引起的地表变形和岩层移动涉及到地表构筑物的安全使用与保护问题。地表变形与岩层移动受矿山地层岩性、地质构造、地应力场、矿体赋存条件、采矿方法等多种因素影响, 在不同情况下各因素的影响程度不同, 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。地质条件是矿山开采岩层移动的基础, 它决定

着地表塌陷的类型与过程, 文献[2-4]对构造应力型矿山地下开采引起的地表移动问题进行了有益探讨, 文献[5-6]针对开采倾斜矿体地表和围岩的变形移动规律进行了分析与研究, 文献[7]研究了厚覆盖岩层条件下地下矿体开采地表和围岩的变形移动规律, 文献[8]研究了复杂形态矿体露天与地下联合开采地表变形的规律。

复杂的地质条件使得地表变形与岩层移动也变得十分复杂, 地表移动角、沉陷角常因预测不准

收稿日期: 2009-03-04

第一作者简介: 黄平路, 男, 1980 年生, 博士, 助理研究员, 主要从事岩土力学与工程方面的研究工作。E-mail: hpl1980@163.com

导致矿山建设规划不合理, 地表征地、居民搬迁范围过小, 造成巨大经济损失, 影响矿山正常安全生产, 因此, 对复杂地质条件下地下开采引起地表和岩层变形移动的机制进行分析研究十分必要。本文以典型的复杂地质矿山程潮铁矿东区为例, 以多年地表变形监测得到的地下开采引起地表实际变形过程为依据, 对在其特殊地质条件下地表变形和岩层移动的规律进行分析研究。

2 矿区工程地质概要与采矿情况

2.1 岩层

程潮铁矿由于经受多次构造运动, 岩浆侵入活动和岩脉穿插现象十分普遍^[9], 图 1 为程潮铁矿东区典型剖面 (0#剖面) 地质图。

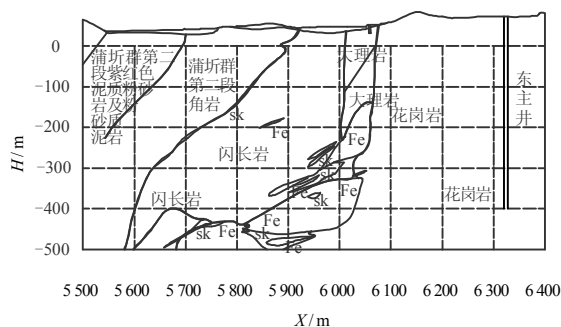


图 1 0#剖面地质图

Fig.1 Geological profile of section No. 0

矿体下盘围岩主要是花岗岩, 它也是矿区内主要岩体。花岗岩与矿体为突变式侵入接触, 其特点是分布广、稳定。上盘近矿体围岩为闪长岩, 远离矿体岩体多为角岩。

介于上、下盘围岩并从矿体顶部是出露的大理岩和角岩组成的变质岩带, 平面上呈条带状分布, 走向北西西, 与矿体走向基本一致, 其中大理岩带, 南北宽约 60~80 m, 东西长约 4 km。最深标高 -500~-800 m, 大理岩带是主要裂隙岩溶含水带。

2.2 矿区构造

矿区内构造较为复杂^[10], 既有淮阳山字型构造, 又有新华夏构造, 两者在空间上相互重叠, 时间上相互交替, 构成了一幅复杂而又有序的构造图案。山字型构造是本地区的主干构造, 它决定着区内构造的总轮廓和侵入体、铁矿床分布的总方向。新华夏构造, 形成时间较山字型构造晚, 构造形迹不如山字型构造明显, 但分布普遍, 纵贯南北, 常叠加于山字型构造之上。主要由北北东向的压性、压扭性断裂组成, 而褶皱较为少见, 且规模不大,

图 2 为程潮铁矿矿区构造形迹图。

断层构造是本矿区构造的主要表现形式, 无论是山字型构造体系的断层, 还是新华夏构造体系的断层, 均较为发育。

淮阳山字型构造体系的主干断层为北西西向的压性、压扭性断层, 由北至南依次有程潮北断层、程潮南断层。其配套断层, 一为近南北向张性断层, 一为北西向和北东向的扭性断层。

新华夏构造体系的断层在矿区内较为发育, 其中以塔桥庙断层和破面脑挤压断层规模较大。断裂走向以 NNE 为主, 倾向南东, 倾向为 60°~80°。该级断层在矿体下盘的井区岩体中极为发育, 是影响岩体稳定性的主控断裂。

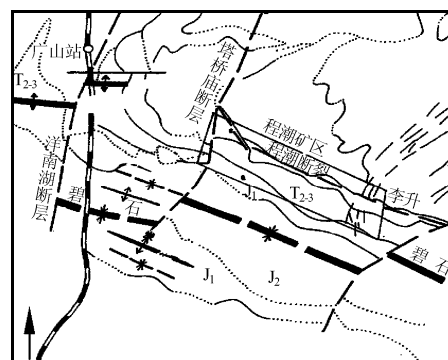


图 2 程潮矿区构造地质简图

Fig.2 Tectonic sketch map of Chengchao iron mine

2.3 节理裂隙情况

角岩及变余粉砂岩中节理的共同特点是节理方位乱, 组数多, 其中主要的一组节理产状为: 走向北 30°~70° 东, 倾向北西, 倾角为 46°~83°。

闪长岩中节理总的特点是方位零乱, 形态不规则, 延伸亦较短。

矿体下盘花岗岩体的结构面主要有 4 组, 分别为 NE 向、NWW 向、NNW 向、NEE 向。所有节理性质均以压剪节理为主, 节理面平直光滑, 延伸很长, 陡倾角, 其中 NE 向节理最为发育, NWW 向节理次之。

2.4 地应力场

岩体变形总是与应力场的大小、特征及其变化相联系的。一般来说, 现存岩体中的地应力主要由自重应力和构造应力两部分组成。自重应力的估算比较简单, 而构造应力大小方向的确定却复杂得多, 其影响因素也较多, 除与构造运动的强烈程度有关以外, 还与岩石本身的力学性质等有关。

根据程潮铁矿矿区所处大地构造部位及现存构造形迹和特征, 结合现场实测, 认为本矿区现存

构造应力的最大主应力方向为近东西方向，大小约为重力的 1.4~1.5 倍，近南北方向上的第二主应力约为重力的 1.0~1.1 倍。

2.5 矿体分布与采矿情况

2.5.1 东区矿体分布情况

程潮铁矿东区主要分布有 I~III 号 3 个矿体。图 3 为矿体分布平面图（图中数据均为勘探编号）。图 4 为矿体纵向投影图。各矿体大多赋存在斑状花岗岩、浅色闪长岩与白云质大理岩的接触带上或其附近。矿体多呈不规则透镜状向南缓倾斜，部分矿体或矿段常有分枝复合及胀缩现象。

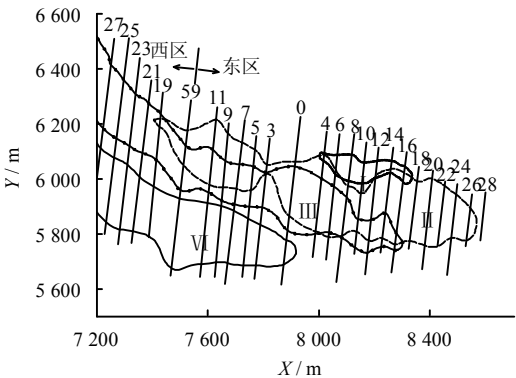


图 3 程潮铁矿东区矿体分布图
Fig.3 Distribution of ore bodies in east strict in Chengchao iron mine

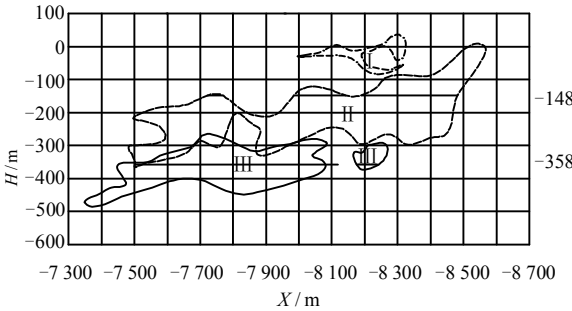


图 4 程潮铁矿东区矿体纵向投影图
Fig.4 Geological section showing longitudinal map projection of ore bodies

各矿体主要赋存条件分述如下：

I 号矿体东起 16 线以东，西至 4 线以西，东西长 350 m，南北宽 35~95 m，平均厚 23.9 m。矿体赋存标高为 +60 m（地表）~-82 m，总体上向西 290° 方向侧伏，侧伏角为 28°。

II 号矿体东起 26 线以东，西至 19 线以西，东西长 1 080 m，南北宽 196 m，中部最窄处仅 32 m，平均厚 52.9 m。在矿体赋存标高为 +23~-350 m，由东向西标高逐渐降低。在剖面上，II 号矿体位于 I 号矿体之下，其间距为 14~85 m 不等。

III 号矿体东起 16 线，以 NWW 向延伸，至 47 线以西，全长 1 700 m 以上。分布于 15 线以东的 III 号矿体，东西长约 850 m，南北宽 80~230 m，一般宽 150~200 m，平均厚度为 53.9 m。矿体的平面分布位置较 II 号矿体已略向南移。在剖面上，III 号矿体赋存标高为 -255~-485 m，一般都在 -300~-400 m 之间。

2.5.2 东区矿体开采情况

I 号矿体起采于 1970 年，于 1978 年开采完毕。II 号矿体起采于 1970 年，目前已开采完，随着开采深度的增加，II 号矿体的东侧采空边界由 26 线向 22 线移动，变化幅度约为 100 m，其西侧采空边界则由 20 线过渡向 13 线移动，变化幅度超过 900 m。III 号矿体起采于 2002 年，目前正在进行 -358 m 水平的开采（图 4 和图 6），开采范围在 15~16 线之间（图 3）。矿体具体开采情况见表 1。

表 1 矿体开采情况表
Table 1 Process of ore mining

开采水平/m		开采年限/年		开采矿体界线		
起	止	起	止	I 号矿体	II 号矿体	III 号矿体
-16	-96	1970	1978	4~16 线	20~26 线	
-106	-150	1979	1984		10~24 线	
-160	-206	1984	1990		9~22 线	
-218	-260	1990	1997		11~22 线	
-260	-302	1998	2002		13~22 线	
-302	-358	2002	2007			15~16 线

3 地表变形塌陷过程及其分析

3.1 地表变形塌陷过程

根据多年地表变形的监测，得到了程潮铁矿东区地表的变形、塌陷过程如图 5 和图 6 所示。图 5 为东区采矿地表塌陷界限随时间发展的过程图，图 6 为以 0 号剖面为例，地表塌陷坑随开采深度扩展的过程图。

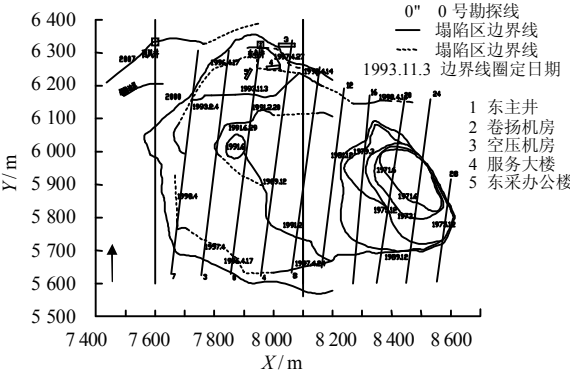


图 5 东区采矿不同时期地表塌陷界限
Fig.5 Scope of surface subsidence in different periods

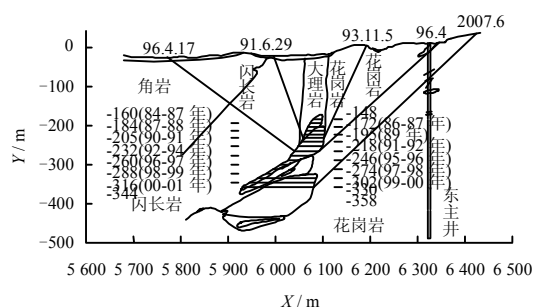


图 6 东区 0 号剖面采矿引起的地表开裂、塌陷发展过程
Fig.6 Development process of surface cracking and subsidence of section No.0

由图 5 和图 6 可见, 东区采矿塌陷界线是随着采矿延深和由东向西的发展而向南、向北、向西扩展的, 尤其是向西的扩展十分明显。

程潮铁矿东区从 1971 年 6 月出现塌坑以后, 塌坑范围随着地下开采的延伸在东西方向上逐渐向西扩展, 南北方向上同时在两个方向上进行扩展。20 世纪 80 年代初塌坑向西扩展近 12 号勘探线, 90 年代初向西扩展超过东主井所位于的 0 号勘探线, 1996 年塌坑向北扩展到位于下岩体中的东主井并造成东主井停用, 以后继续向外扩展, 2000 年塌坑向西扩展到了 11 号勘探线, 南北方向上的扩展宽度超过了 800 m。

2007 年 6 月对东区尤其是东主井和位于 13 号剖面的西风井区域的地表塌陷范围进行了再次全面的详细调查。调查结果显示, 塌陷和地裂缝界线急剧地由东向西北方向扩展, 已经波及到西风井区, 西风井南侧出现一个较大塌陷坑, 其西北部约 50 m 处有一条上下错动达 30 多厘米的坍塌面; 东主井以北约 75 m 处形成了新的地裂缝边界, 此裂缝向西发展到西风井处。

3.2 地表变形塌陷过程分析

程潮铁矿东采区地表塌陷, 是基于矿区现有工程地质、水文地质条件下, 地下水疏干和采矿的逐步延深引起的。根据塌陷坑的形态、规模及其主导成因, 可以将程潮铁矿东区地表塌陷过程大致分为 2 个阶段, 即疏干塌陷和采矿塌陷。

疏干塌陷: 这种塌陷坑见于采矿初期, 主要是矿床开拓、地下水疏干引起矿体顶部大理岩体中溶洞充填物流失和岩溶水被排干所致, 塌坑锥形有柱状、筒状和漏斗状, 一般规模不大。1971 年 6 月出现的第 1 个地表塌陷坑就属于疏干塌陷坑。疏干型塌坑的产生有其工程地质背景。在矿体顶部大理岩带, 0 m 标高以上厚约 40 m 地层是岩溶率 4.08 % 的风化大理岩裂隙岩溶体, 岩溶被亚黏土充填, 其下

部溶洞中的地下水被疏干, 形成了真空体, 强大的真空吸力使 0 m 标高上部溶洞中的亚黏土向下流动, 地表开始出现疏干塌陷坑。在疏干塌陷的过程中, 地表塌陷范围的扩展速度不是很快。

自 1971 年至今为采矿塌陷, 随着采矿规模的加大、加深和地下水流排范围的扩大引起围岩失稳, 从而导致上覆岩层冒落形成大规模塌坑, 也就是说在这一过程中, 地下采空区在横向和竖向的扩大是引起塌陷的主要原因。但是, 地表塌陷范围的扩展速度受到了程潮铁矿特殊的地质条件的影响。首先, 矿区内存在的主控断层构造, 平行于矿体的程潮南北断层与近乎垂直于矿体走向的塔桥庙断层和破面脑断层, 相互交错, 把矿区内岩体切割成区域块状结构。其次, 矿区内存在着较发育的节理, 例如下盘岩体中主要发育的 NE 向、NWW 向、NNW 向、NEE 向 4 组节理, 它们不仅相互交错, 而且发育陡倾, 共同把岩体剖分成柱状结构块体。矿区内发育的断层和节理等特殊地质构造是岩体破坏的基础。再次, 矿区岩体内沿矿体走向存在着 1.4~1.5 倍的水平构造应力, 垂直矿体方向上存在着与重力相当的水平构造应力。较大水平构造应力的存在构成了岩体破坏的驱动力。大规模塌陷形成以后, 较大水平构造应力的释放, 再加上围岩中陡倾节理把围岩剖分成柱状结构块体以及程潮南北断层等特殊地质构造的存在, 从而使上下盘围岩向塌坑方向拱胀, 并产生倾倒破坏, 地表塌陷范围开始快速向外扩展。另外, 岩体裂隙、断层、岩层接触面等地质弱面中存在的地下水产生的静水压力和动水压力对岩体的变形破坏也起到了强化作用。

1998 年后地下采空区向深部和向西的扩展以采矿塌陷的机制急剧向西扩展。近期东主井以北约 75 m 处形成了新的地裂缝边界, 此裂缝向西发展到西风 2、3 井处, 说明东主井区岩体稳定性恶化加剧。西风井井筒及井区岩体 1998 年时是稳定的, 2006 年地表裂缝界线已穿过西风井中心, 2007 年西风井西北部约 50 m 处有一条上下错动达 30 多厘米的坍塌面, 说明西风井区正向不稳定状态发展, 并急剧恶化。上述地表塌陷、裂缝的向下盘扩展过程, 说明了其扩展的速度与范围超出了预测。

纵观程潮铁矿东区地表变形塌陷的过程, 其移动、沉陷范围大大超过了采矿之初预估范围, 设计的移动角和沉陷角严重偏大, 以致于东主井和西风井过早地进入了移动区甚至塌陷区。究其原因, 是预测地表移动角和沉陷角时没有充分考虑构造应力场和矿区特殊地质结构的存在对岩层移动的影响。

4 结 论

程潮铁矿东区地表变形和岩层移动有其特殊的工程地质、水文地质背景,通过对程潮铁矿东区地表变形和岩层移动规律基于地质的机制分析,得出程潮铁矿这一复杂地质矿山地下开采地表变形规律的结论:

(1) 地下采矿是矿区岩体破坏的直接诱因,地下水产生的静水压力和动水压力强化了岩体的变形与破坏。

(2) 矿区岩体中存在的断层、节理等特殊地质结构是岩体破坏的基础。

(3) 较大水平构造应力的存在是程潮铁矿东区地表变形破坏范围快速扩展的主要影响因素,也是岩体变形的驱动力。

(4) 采矿之初,地表塌陷主要是由地下水疏干引起的,塌陷范围的扩展速度不是很快。

(5) 大规模塌陷形成以后水平构造应力的释放,再加上围岩中陡倾节理把围岩剖分成柱状结构块体以及程潮南北断层等特殊地质构造的存在,从而使上下盘围岩向塌坑方向拱涨,并产生倾倒破坏,地表塌陷范围开始快速向外扩展。

参 考 文 献

- [1] BRADY B H G, BROWN E T. Rock Mechanics for underground mining[M]. London: George Allen Unwin, 1985.
- [2] 贺跃光, 颜荣贵, 曾卓乔. 构造应力作用下的地表移动规律研究[J]. 矿冶工程, 2000, 20(3): 12—14.
HE Yue-guang, YAN Rong-gui, ZENG Zhuo-qiao. Law of mining surface movement by the effect of tectonic stress[J]. **Mining and Metallurgical Engineering**, 2000, 20(3): 12—14.
- [3] 曹阳, 颜荣贵, 贺跃光, 等. 构造应力型矿山地表移动宏观破坏特征与对策[J]. 矿冶工程, 2002, 22(2): 31—33.
CAO Yang, YAN Rong-gui, HE Yue-guang, et al. Macroscopic destroy of tectonic stress type surface movement[J]. **Mining and Metallurgical Engineering**, 2002, 22(2): 31—33.
- [4] 方建勤, 彭振斌, 颜荣贵. 构造应力型开采地表沉陷规律及其工程处理方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2004, 35(3): 506—510.
FANG Jian-qin, PENG Zhen-bin, YAN Rong-gui. The law of tectonic stress mining ground surface subsidence and its engineering treatment method[J]. **Journal of Central South University of Technology(Natural Science)**, 2004, 35(3): 506—510.
- [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] 陈陆望, 白世伟, 李一帆. 开采倾斜近地表矿体地表及围岩变形陷落的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(6): 885—889.
CHEN Lu-wang, BAI Shi-wei, LI Yi-fan. Model test study on deformation and subsidence of ground surface and surrounding rock caused by exploiting inclining mine near surface[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2006, 27(6): 885—889.
- [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, 2000, 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.
- [8] 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.
- [9] 丰定祥, 陈从新, 郭廖武, 等. 程潮铁矿东区地表开裂成因分析及主井系统岩基稳定性评价[R]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 1998.
- [10] 陈从新, 肖国峰, 黄平路, 等. 程潮铁矿东区东主井和西风井结构安全性及井区岩体稳定性研究报告[R]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 2007.