

文章编号: 1000-7598-(2004) 08-1343-04

近水平煤层开采上覆岩层运动与沉陷规律相关研究

王崇革¹, 宋振骐², 石永奎², 郑文华²

(1. 山东科技大学 力学教研室, 山东 泰安 271019; 2. 山东科技大学 资源与环境工程学院, 山东 泰安 271019)

摘 要: 将近水平煤层开采的上覆岩层运动与地表沉陷作为一个整体系统进行研究, 论述了采场上覆岩层的运动规律和裂隙拱的形成及发展变化过程。并结合地表沉陷的 GPS 观测, 确定了针对具体地质条件的地表移动变形边界角、移动角, 找到了井下工作面推进位置与地表下沉速度之间的关系。

关 键 词: 矿山压力; 岩层运动; 地表沉陷

中图分类号: TO 82

文献标识码: A

Study on the relation between stratum movement and subsidence of flat seam mining

WANG Chong-ge¹, SONG Zhen-qi², SHI Yong-kui², ZHENG Wen-hua²

(1. Mechanics Teaching and Research Section, Shandong University of Science and Technology, Tai'an 271019, China;

2. College of Resources and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Tai'an 271019, China)

Abstract: We can look the stratum movement and subsidence as a whole system to study. The common nature of stratum movement and the development procedure of crack arch are described. Meanwhile, based on the ground observation by the global positioning system (GPS), the boundary angle and the motion angle, which aim at special geologic conditions, are determined. The relation between the position of underground working face and ground subsidence velocity are found.

Key words: rock pressure in mine; stratum movement; ground subsidence

1 引 言

地下开采所引起的上覆岩层运动与地表沉陷是一个十分复杂的力学变化过程^[1]。地下煤层开采、采场顶板垮落、覆岩沉降和破坏乃至地表沉陷变形, 是一个开挖、应力重分布、变形和破坏的整体全过程。当地下煤层被采出后, 采空区直接顶在重力应力场及其上覆岩层的作用下, 产生向下的移动和弯曲、断裂直至垮落。而老顶则以梁或悬臂梁弯曲的形式沿层理面法线方向运动, 产生断裂、离层。由于岩层运动引起采场周围岩体内的应力重新分布, 成层状弯曲岩层的下沉, 使垮落破碎的岩块逐渐被压实。随着工作面的向前推进, 当开采范围足够大时, 成层状弯曲岩层将传至地表, 在地表形成一个比采空区大得多的沉陷变形盆地。因此, 地下开采过程中的采场矿山压力、上覆岩层运动, 直至

引起地表沉陷变形, 它们之间存在着必然的联系, 是一个统一体的变化、运动过程 (见图1)。将采场岩层运动与地表沉陷作为整体体系进行研究具有十分重要的意义。本文以近水平煤层开采为例, 研究上覆岩层运动规律与地表变形之间的关系。

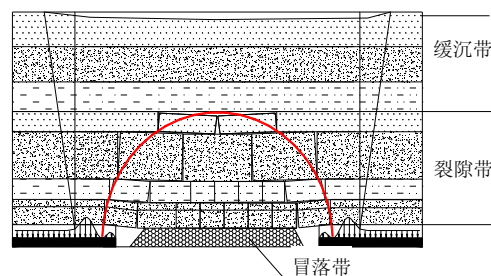


图 1 垂直工作面推进方向断面图

Fig. 1 Cross section perpendicular to the advance direction of working face

收稿日期: 2003-06-09

修改稿收到日期: 2003-09-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 50028403)。

作者简介: 王崇革, 男, 1970 年生, 博士研究生, 副教授, 目前从事岩土工程的教学和科研工作。E-mail: chgewang@163.com

2 采场上覆岩层运动规律

理论研究和相似材料模拟实验的结果表明^[2~7], 在采场推进过程中, 采场上覆岩层中会形成一个裂隙拱。该裂隙拱的拱迹线为裂隙带中各传递岩梁的端部断裂线和裂隙带与缓沉带的分界线。冒落带和裂隙带中已发生明显运动的岩层位于裂隙拱内, 而冒落带和裂隙带中尚未发生明显运动的部分岩层及缓沉带岩层位于裂隙拱外, 见图 1。

自工作面从开切眼开始推进, 到裂隙带中最上部一个传递岩层第一次裂断运动完成止, 为裂隙带覆岩的第一次运动阶段, 如图 2 所示。在该运动阶段, 随着工作面的不断推进, 覆岩运动范围逐渐扩大。采场上方的裂隙拱由小到大逐渐向上方岩层扩展。根据相似材料模拟实验的结果^[2], 当工作面推进距离大约为工作面长度时, 裂隙拱向上扩展到最高处, 高度约为工作面长度的 1/2。在此过程中, 裂隙带中下位 1~2 个传递岩梁(老顶)已完成了初次运动和数个周期运动。在该运动阶段工作面推进的距离称为裂隙带覆岩第一次运动步距, 一般与工作面长度基本相等。自裂隙带岩层第一次运动结束到回采工作面结束止, 为正常运动阶段。

此时裂隙拱不再向上方岩层扩展, 而随工作面逐步向前方推进。裂隙拱在工作面垂直方向上不再扩展, 只在工作面推进方向向前扩展。此时裂隙拱拱顶为一近似水平线。

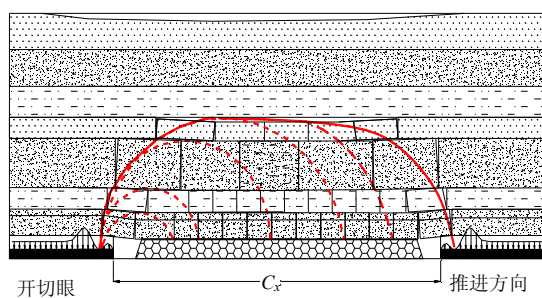


图 2 沿工作面推进方向断面图

Fig. 2 Cross section along the advance direction of working face

3 地表移动观测

为综合研究采场覆岩运动规律与地表沉陷之间的内在联系, 采用了 GPS 空间定位技术, 对兖矿集团济三煤矿的 6301 工作面的地表移动变形进行实时监测。分别沿矿体走向和倾向主断面布设了两条半盆地观测线。

3.1 概况

济三煤矿位于济南煤田东部。6301 工作面位于工业广场西北部, 走向长 1 800 m 左右, 倾斜长 210 m。开采煤层为 3_下 煤, 厚度为 3~7.8 m, 平均为 6.88 m, 煤层倾角为 0°~11°。工作面标高 -630~-660 m, 地面标高 +33~+34 m, 平均开采深度为 678 m。采用倾斜长壁综采放顶煤方式开采。该煤层南高北低, 从南向北总体趋势为一单斜构造, 煤层平缓。

3.2 测站布设

(1) 设站所用参数的确定。采用类比法取用各参数, 各参数为: 走向移动角 $\delta = 76^\circ$; 上山移动角 $\gamma = 76^\circ$; 下山移动角 $\beta = 76.6 - \alpha$, 最大下沉角 $\theta = 90^\circ - 0.7\alpha$, α 为煤层倾角; 松散层移动角 $\varphi = 45^\circ$; 煤层移动角的修正值 $\Delta\gamma = \Delta\delta = \Delta\beta = 20^\circ$ 。

(2) 观测线长度的确定。倾斜观测长度的计算 AB 段的长度按下式计算(见图 3):

$$AB = 2h \cot \varphi + (H_1 - h) \cot(\beta - \Delta\beta) + (H_2 - h) \cot(\gamma - \Delta\gamma) + L \cot \alpha \quad (2)$$

式中 L 为工作面的倾斜长度; $\beta, \Delta\beta$ 为下山移动角及其修正值; $\gamma, \Delta\gamma$ 为上山移动角及其修正值; H_1, H_2 分别为采区下边界和上边界的开采深度; h 为表土层深度。

半条走向观测线长度 HF 按下式计算(图 4):

$$HF = h \cot \varphi + (H_0 - h) \cot(\delta - \Delta\delta) + 0.6l \quad (3)$$

式中 H_0 为平均采深; l 为工作面走向长度。

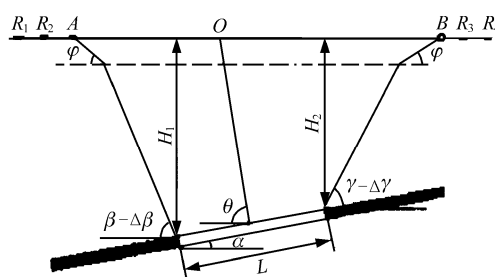


图 3 倾向断面图

Fig. 3 Cross section of inclined direction

3.3 连接测量

在井下未采动前, 为确定观测站与开采工作面之间的相互位置关系, 需要测定各控制点的坐标。本次连接按四等导线要求进行观测, 连接测量时四等导线布设成闭合形状(见图 5), 实测时采用日本尼康厂生产的 DTM830 全站仪测量。

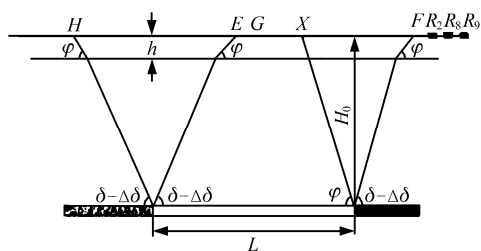


图 4 走向断面图

Fig. 4 The cross section on the strike

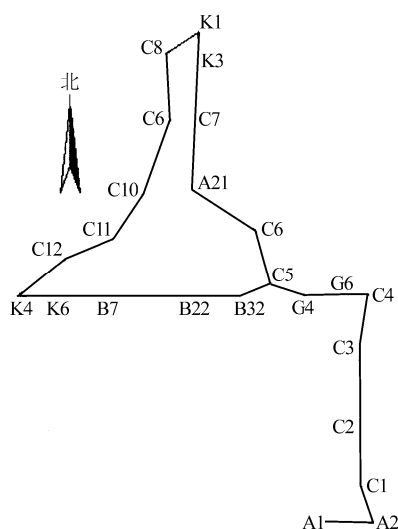


图 5 控制导线网图

Fig. 5 Net of controlling lead

4 地表移动变形规律

4.1 地表移动盆地

6301 工作面自 2001 年 4 月开始回采，地表于 2001 年 6 月开始下沉，随工作面推进，地表下沉量逐渐增大，形成下沉盆地，至 2002 年 6 月整个地表趋于稳定。观测到的地表最大下沉值约为 629 mm。整个沉降过程中，各测点的下沉变化比较均匀，未有突变现象，地表未产生塌陷坑，也未观测到裂缝。整个下沉盆地在走向方向形似盘状。在倾向方向因工作面宽度的限制，未达到充分采动，故地表未出现平底现象，形状如锅形。

4.2 地表移动变形角的确定

(1) 边界角的确定。由设置在 A22 点进行的动态地表移动变形观测的 GPS 接收机的观测结果可知：自 2001 年 8 月 2 日至 8 日，7 d 内该点的下沉量仅为 8 mm。2001 年 8 月 8 日至 10 月 14 日，该点的下沉量为 40 mm，在 67 d 内平均每天下沉 0.6 mm，说明该点的下沉已基本趋于稳定。并由此可断定，在初始开切眼位置以北的 A1~A15 号点已

经稳定，因此可依据 2001 年 10 月 14 日的观测结果确定边界角。参照地表下沉量为 10 mm 点为下沉盆地边界点的标准，在该地质采矿技术条件下充分采动时确定的走向边界角为 $52^{\circ}50'$ ，倾向下山边界角为 $47^{\circ}33'$ （见图 6）。

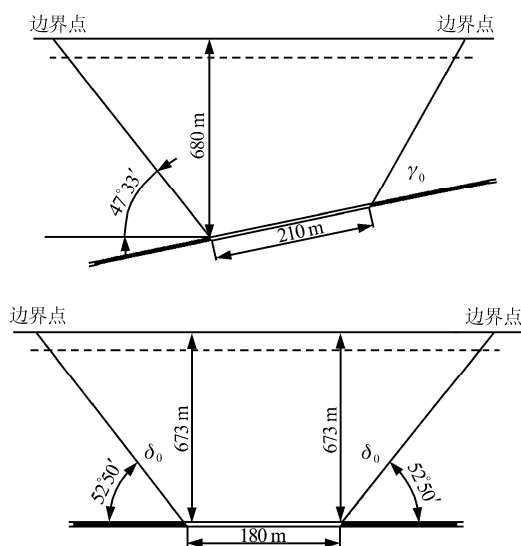


图 6 实测边界角

Fig. 6 Boundary angle of measure

(2) 移动角的确定。依据一般砖石结构建筑物的临界变形值(倾斜为 3 mm/m，曲率为 0.2 mm/m/m，水平变形为 2 mm/m)的标准，在该地质采矿技术条件下充分采动时确定的移动角为 $68^{\circ}59'$ （依倾斜临界变形值确定）。

(3) 三维下沉等值线。根据 6301 工作面的具体地质采矿条件，得到的计算参数为下沉系数 $q = 0.786$ ；水平移动系数 $b = 0.259$ ；主要影响正切值： $\tan \beta = 1.9$ ；最大下沉角 $\theta = 85.5^{\circ}$ 。综合考虑这些计算参数，拟合出 6301 工作面回采后地表下沉等值线图，见图 7。

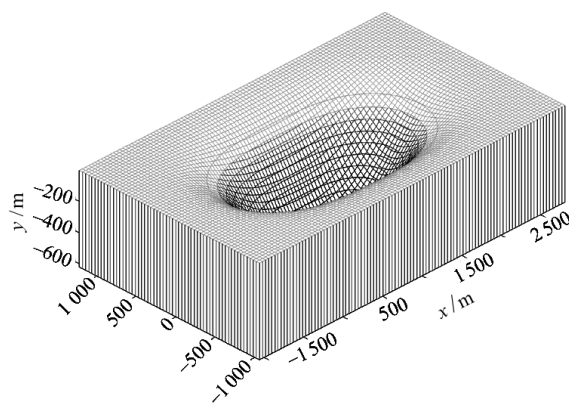


图 7 6301 工作面地表下沉等值线图

Fig. 7 Isolines of ground subsidence of 6301 working face

5 地表沉降速度与工作面的关系

选取测站的 A22 号测点为研究对象, 绘得的地表点下沉速度与地下回采工作面间距间的关系 (图 8)。

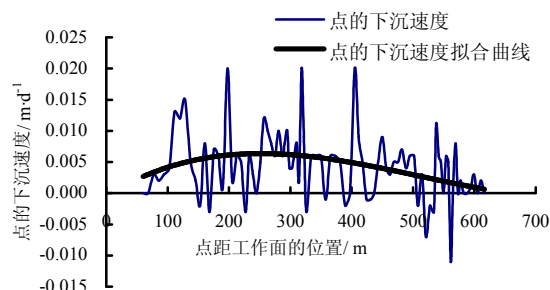


图 8 A22 点的下沉速度与工作面的位置关系图

Fig. 8 The relation between position of working face and the subsidence velocity of A22 point

由上图可知, A22 号测点的运动规律可以明显地分成三个阶段:

(1) 增速段: 当工作面推进到 55 m 时, 顶板初次来压并放顶。但此时由于采空区较小, 尚未波及到地表; 工作面推进到 115 m 时, 地表开始下沉; 工作面推进到 200 m 时, 地表下沉出现第一次高峰。此阶段随着工作面不断推进, 上覆岩层的运动范围也不断向上扩展。当工作面推进距离大约等于工作面长度 (210 m) 时, 裂隙带高度发展到最高, 其高度大约为工作面长度的 1/2。正是由于裂隙带运动范围的急速扩大, 才导致了地表下沉速度的急速上升, 当工作面推进到 200 m 时, 裂隙带 (裂隙拱) 发展到最大, 地表下沉速度同时出现高峰值。

(2) 高速运动段: 自工作面推进到 200 m 始, 一直到推进到 410 m。此阶段地表下沉一直处于较高运动阶段。其间, 当工作面推进到 320, 410 m 时, 下沉速度出现在第二、三次高峰值。工作面推进过程中, 分别在 200, 320, 410 m 的位置时, 地表下沉出现了高峰速度值。出现高峰下沉值的周期约为 110 m。说明随着工作面向前推进, 上覆岩层的裂隙拱向前方的扩展是跳跃式周期性发展的。每当工作面推进 110 m 距离时 (相当于两次下位老顶岩梁的初压步距 55 m), 都导致上位岩梁的一次大幅度剧烈运动, 从而, 使地表下沉速度出现一次高峰值。

(3) 减速运动段: 自工作面推进 400 m 开始, 地表下沉速度开始逐渐减小, 到工作面推进到 680 m 时, 下沉基本停止。说明该阶段的覆岩运动趋于稳定, 到 680 m 时就基本停止了。由此可以推知, 在该工作面推过 680 m 距离时, 后方的上覆岩层移动

就基本稳定了, 若此时开始沿空掘巷, 则围岩变形量较小, 易于支护, 有利于巷道的稳定。

6 结论

通过以上近水平煤层的上覆岩层运动与地表沉降相关规律研究, 可得出以下几点结论:

(1) 地下煤层开采、采场顶板垮落、覆岩沉降和破坏乃至地表沉降变形是一个整体全过程。应作为一个统一系统来研究;

(2) 裂隙拱高度约为工作面长度的 1/2, 随工作面推进呈现跳跃式周期性发展;

(3) 针对 6301 工作面具体地质条件, 建立了井下工作面长度与地面沉降之间的内在联系, 确定了相应的边界角和移动角;

(4) 通过研究地表测点下沉速度的三个阶段, 与井下工作面推进位置对应起来发现, 下沉速度曲线的周期跳跃点与裂隙拱的周期发展有关, 且吻合较好。

参考文献

- [1] 黄乐亭. 开采沉陷力学的研究与发展[J]. 煤炭科学技术, 2003, 31(2): 54—56.
HUANG Le-ting. Research and development of mining subsidence mechanism[J]. *Coal Science and Technology*, 2003, 31(2): 54—56.
- [2] 汤建泉. 开采覆岩运动和破坏规律的实验研究[硕士论文 D]. 北京: 中国矿业大学, 1995.
- [3] 宋振骐. 实用矿山压力与控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1986.
- [4] 石永奎, 宋振骐, 王崇革. 软煤层综放工作面沿空掘巷支护设计[J]. 岩土力学, 2001, 22(4): 509—512.
SHI Yong-kui, SONG Zhen-qi, WANG Chong-ge. The supporting design of road driving along next goaf in soft seam with fully mechanized top-caving[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2001, 22(4): 509—512.
- [5] 石永奎. 采场动态结构力学模型的仿真及其应用[博士论文 D]. 泰安: 山东科技大学, 2001.
- [6] 茅献彪, 缪协兴, 钱鸣高. 采动覆岩中复合关键层的断裂跨距计算[J]. 岩土力学, 1999, 20(2): 1—4.
MAO Xian-biao, MIAO xie-xing, QIAN Ming-gao. Calculation for fracture span of compound key strata in mining rocks[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 1999, 20(2): 1—4.
- [7] 陶连金, 张卓元, 王永嘉. 大倾角煤层上覆岩层力学结构分析[J]. 岩土力学, 1997, 18(8A): 70—73.
TAO Lian-jin, ZHANG Zhuo-yuan, WANG Yong-jia. Analysis of mechanical structure formed by strata overlying inclined coal seam[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 1997, 18(8A): 70—73.