

# 大采高长工作面地表移动变形规律研究

夏艳华

(安徽理工大学 土木建筑工程学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 为研究大采高长工作面地表移动变形规律, 采用数值模拟、理论分析及现场实测的方法分析大采高工作面长度变化时对地表移动变形规律的影响, 得到大采高工作面覆岩压力平衡拱达到极限状态而发生失稳破坏的临界条件和地表移动变形特征参数。研究结果表明: 随着工作面长度的加大, 在工作面倾向方向上由于覆岩离层导致冒落带高度范围、地表移动变形量、开采影响范围逐渐扩大, 地表最大下沉量和最大水平移动量与工作面开采长度呈线性关系。

**关键词:** 大采高; 工作面长度; 地表移动变形; 冒落带高度; 覆岩离层

中图分类号: TD821 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2012)11-0035-03

## Study on Surface Ground Movement Deformation Law Above High Cutting Long Coal Mining Face

XIA Yan-hua

(School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** In order to study the surface ground movement deformation law above the high cutting long coal mining face, the numerical simulation, theoretical analysis and site measuring method were applied to analyze the length variation of the high cutting long coal mining face affected to the surface ground movement deformation law. The critical conditions of the stability lost occurred when the pressure balanced arch of the overburden strata in the coal mining face reached a limit status and the parameters of the surface ground movement deformation features were obtained. The study results showed that with the length of the coal mining face expanded, in the inclined direction of the coal mining face, the separated bedding in the overburden strata would cause the height scope of the falling zone, surface ground movement deformation value and mining influence scope steadily increased. The max subsidence value and the max horizontal moving value of the surface ground would be in a liner relationship to the mining length of the coal mining face.

**Key words:** high cutting; length of coal mining face; surface ground movement deformation; falling zone height; separated bedding in overburden strata

煤炭是我国重要的基础能源及化工原料, 其中厚煤层资源储量占我国煤炭储量的40%~50%<sup>[1]</sup>, 实现厚煤层资源高效开采对我国煤炭行业可持续发展有着重要意义<sup>[2]</sup>。晋城矿区为实现矿井集约化生产、提高资源采出率, 厚煤层开采工艺逐渐由综采放顶煤开采向大采高一次采全高开采过渡, 同时增加工作面长度和提高推进速度也成为该矿区高强度开采的趋势<sup>[3]</sup>。文献[4~5]针对工作面长度增加造成工作面矿山压力显现特征进行研究, 并对工作面长度增加前后的矿压显现规律进行总结, 研

究表明, 工作面长度增加后矿山压力显现明显增大, 地表移动变形严重, 为大采高工作面岩层移动提供了理论依据, 但并未对地表移动变形规律进行分析研究。基于此, 笔者针对寺河矿高强度开采引起的地表移动变形量大的问题, 通过数值模拟软件建立不同工作面长度大采高开采地表移动变形计算模型, 结合寺河矿4301大采高长工作面及3302大采高工作面地表移动变形现场实测, 分析工作面长度增加对大采高开采引起地表移动变形规律的影响, 为长工作面开采多巷布置合理的煤柱尺寸确定

收稿日期: 2012-07-10; 责任编辑: 杨正凯

作者简介: 夏艳华(1974—), 男, 湖北汉川人, 讲师, 博士。Tel: 15956694697, E-mail: xxyyhh4321@163.com

网络出版时间: 2012-11-16 11:08:01; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20121116.1108.009.html>

引用格式: 夏艳华. 大采高长工作面地表移动变形规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(11): 35~37, 49.

提供重要参考，同时为分析矿山压力显现规律提供理论依据<sup>[6]</sup>。

## 1 工作面长度对地表移动变形的影响

### 1.1 矿井概况

寺河矿位于太行山南段西侧，沟谷较为发育，地形较破碎，总体地势较低，标高 +522.2—+1132.6 m，一般相对高差 200~400 m。主采 3 号煤层，厚度 5.04~7.22 m，平均 6.23 m。3 号煤层直接顶板主要为泥岩和粉砂质泥岩，局部为  $K_8$  砂岩；底板为黑色泥岩和粉砂岩，局部为细砂岩。

### 1.2 数值计算模型的建立

基于数值模拟软件建立了 4 个分析模型，模拟开采的工作面长度分别为 200、250、300、350 m。模拟开采长度均为 500 m，采高均为 6.2 m，模型左右边界煤柱尺寸均设置为 150 m。煤岩主要物理力学参数见表 1，数值模拟计算模型如图 1 所示。

表 1 煤岩物理力学参数

| 岩性    | 弹性模量/GPa | 泊松比  | 内摩擦角/° | 黏聚力/MPa | 抗拉强度/MPa | 容重/( $kN \cdot m^{-3}$ ) |
|-------|----------|------|--------|---------|----------|--------------------------|
| 表土层   | 0.1      | 0.11 | 12     | 0.09    | 0.16     | 12                       |
| 砂砾岩   | 3.3      | 0.25 | 20     | 0.11    | 0.90     | 15                       |
| 砂质泥岩  | 9.8      | 0.23 | 31     | 1.20    | 1.20     | 25                       |
| 粉砂岩   | 11.2     | 0.25 | 28     | 3.10    | 1.30     | 22                       |
| 中粒砂岩  | 13.5     | 0.22 | 36     | 2.70    | 2.50     | 23                       |
| 细粒砂岩  | 9.8      | 0.18 | 27     | 3.70    | 2.10     | 25                       |
| 泥岩    | 8.7      | 0.22 | 27     | 1.60    | 1.90     | 21                       |
| 3 号煤层 | 1.5      | 0.31 | 19     | 0.90    | 0.80     | 18                       |
| 泥岩    | 5.3      | 0.24 | 18     | 1.20    | 1.50     | 24                       |

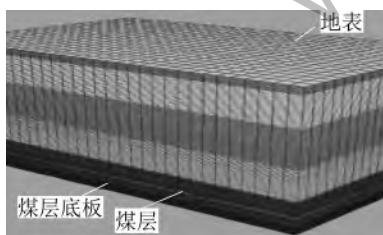


图 1 数值模拟计算模型

### 1.3 模拟计算结果及分析

随着工作面长度增加，地表移动范围逐渐增大，移动盆地盆底区域也逐渐扩大，水平移动值的“零值区域”范围逐渐扩大，工作面倾向由非充分采动逐渐向充分采动过渡<sup>[7~8]</sup>。通过对数值模拟数据分析，得到不同工作面长度条件下地表最大下沉量及水平移动曲线，如图 2 所示。

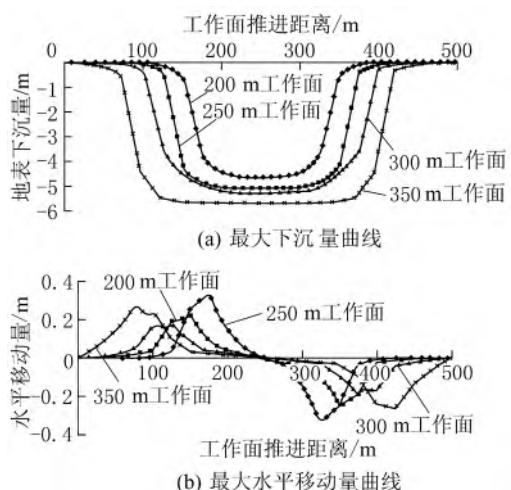


图 2 不同工作面长度条件下的地表移动变形曲线

由图 2 可知大采高不同工作面长度条件下地表移动变形的最大水平移动量和下沉量，见表 2。

表 2 不同工作面长度数值模拟结果

| 工作面长度/m | 最大下沉量/m | 最大水平移动量/m |
|---------|---------|-----------|
| 200     | 4.67    | 1.91      |
| 250     | 4.95    | 2.33      |
| 300     | 5.12    | 2.04      |
| 350     | 5.70    | 2.78      |

根据模拟结果，可知地表最大下沉量  $W_{max}$  和最大水平移动量  $U_{max}$  分别与工作面长度呈线性关系。分析表明，随着工作面长度增加，地表最大下沉量、最大水平移动量均线性增大，但地表下沉量的变化趋势比地表水平移动量平缓。

### 1.4 工作面长度对平衡拱形态影响分析

工作面开采强度随着工作面长度增加而不断加大，顶板岩层结构破坏形态发生明显变化，采场上部顶板岩层破断形成压力平衡拱<sup>[9]</sup>。随着工作面的继续推进，压力平衡拱范围逐渐扩大，其内部未失稳的岩层板逐渐向上位岩层扩展传递，岩层离层也不断在上位岩层中进行动态传播，形成了“压力平衡拱”失稳变形的动态发展过程，即初始拱→扩展拱→极限拱→移动拱<sup>[10~11]</sup>，如图 3 所示，压力平衡拱受力分析如图 4 所示。

在工作面推进过程中，覆岩运移过程中压力平衡拱的基本条件是拱迹线  $abc$  所在截面上的剪力  $Q$  和弯矩  $M$  均为 0。考虑到压力平衡拱的对称性，通过对拱形进行受力分析得到了拱形跨距  $2S$  和拱高  $h$  之间的关系：

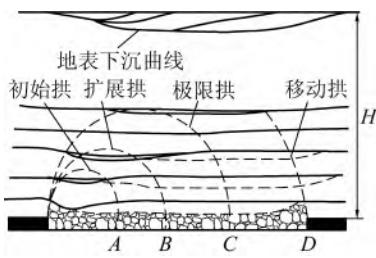


图 3 平衡拱扩展与移动模型

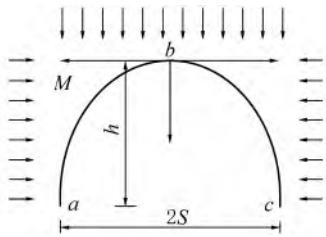


图 4 压力平衡拱受力分析

$$S^2 - \frac{2f\lambda Hh}{H-h}S + [\gamma h^3 - 2\lambda Hh^2] \left[ \frac{(3H-h)}{3(2H-h)(H-h)} \right] = 0$$

其中:  $H$  为煤层埋深, m;  $\gamma$  为覆岩容重,  $\text{kN/m}^3$ ;  $\lambda$  为侧向压力系数;  $f$  为普氏系数。结合寺河矿相关特征参数, 确定了拱高  $h$  与跨距  $2S$  的关系为  $h = (0.25 \sim 0.35)S$ , 分析表明当工作面长度超过  $2S$  时, 覆岩压力平衡拱将达到极限状态而发生失稳破坏, 导致覆岩产生离层现象, 随着工作面开采长度的增大, 沿工作面倾向方向覆岩离层空间将逐渐增大, 导致冒落带高度增大, 使得地表移动变形量变大<sup>[8]</sup>。计算结果表明当工作面长度分别为 100、200、250、300、350、400 m 时, 平衡拱高度分别为 10、18、23、25、27、29 m (图 5)。

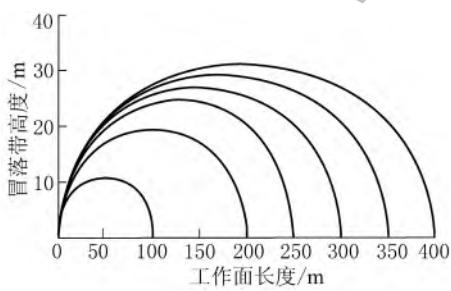


图 5 不同工作面长度的平衡拱示意

分析表明, 冒落带高度与工作面长度呈线性关系, 平衡拱高度随着工作面长度的增加而增大, 导致冒落带范围扩大, 使断裂后的基本顶岩梁难以形成“砌体梁”平衡结构, 最终导致地表下沉量及水平移动量增大。

## 2 地表移动实测分析

寺河矿 4301 大采高长工作面和 3302 大采高工作面的覆岩结构相似, 地质条件较为简单, 且煤层倾角较小, 平均采高均为 6 m。工作面推进距离均达到 2 500 m, 但是工作面长度不同, 4301 和 3302 工作面长度分别为 297、224 m。沿走向及倾向分别在地表布置 2 个半条测线<sup>[7-8]</sup>, 对 2 个工作面地表移动变形进行实测分析, 实测数据见表 3。

表 3 实测地表移动变形基本参数

| 工作面        | 4301 工作面 | 3302 工作面 |
|------------|----------|----------|
| 最大下沉量/mm   | 5 124    | 4 715    |
| 最大水平移动量/mm | 2 801    | 2 032    |
| 下沉系数       | 0.74     | 0.48     |
| 水平移动系数     | 0.55     | 0.43     |
| 移动边界角/°    | 42.3     | 51.8     |
| 移动角/°      | 56.0     | 62.4     |
| 裂缝角/°      | 64.4     | 71.8     |

由表 3 可知, 随着工作面长度增大, 地表下沉量及水平移动量增幅较大, 其中 3302 工作面地表最大下沉值及水平移动量约为 4301 工作面的 92%、73%, 与数值模拟结果较为吻合。工作面长度增大时, 覆岩冒落拱范围加大, 导致地表沿倾向受开采影响的范围加大, 而 3302 工作面地表移动变形相对较为集中, 其中地表移动边界角及裂缝角等参数明显大于 4301 工作面。由实测分析可知, 4301 工作面沿倾向地表受开采影响的范围为 150 m, 而 3302 工作面地表受开采影响的范围为 120 m 左右。

## 3 结语

基于对采场压力拱平衡状态的分析, 当工作面长度超过拱形跨距  $2S$  时, 覆岩压力平衡拱将达到极限状态而发生失稳破坏, 导致覆岩产生离层现象, 随工作面长度增大, 沿工作面倾向方向覆岩离层空间将逐渐增大, 导致冒落带高度范围扩大, 使地表移动变形更加剧烈。随着工作面长度增加, 覆岩冒落带范围增大, 移动盆地盆底区域也逐渐扩大, 且水平移动量的“零值区域”范围逐渐扩大, 沿倾向方向地表逐渐由非充分采动向充分采动过渡。随工作面长度增加, 地表最大下沉量、最大水平移动量均呈线性关系增大, 地表沿倾向受开采影

(下转第 49 页)

机, 人员进入煤壁取锚杆。当有金属物缠绕机组滚筒时, 机组立即退后3 m, 停机闭锁刮板输送机, 机组摘刀, 同时打护帮板护帮护顶, 经敲帮问顶确认无危险后, 进入刮板输送机内取锚杆。当工作面过底板空巷(空巷沿煤层底板分布)时, 超前工作面20 m对空巷进行加强支护, 空巷完整时使用玻璃钢锚杆进行支护, 空巷较为破碎时采用木垛加强支护; 工作面过顶板空巷(空巷沿煤层顶板分布), 工作面距空巷3~5 m时, 尽量不放顶煤, 工作面快速推过空巷, 防止支架被压死。

4) 煤柱回收工作面回采效果分析。43M1煤柱回收工作面在推进至空巷1~2 m处支架压力较大, 煤壁片帮、工作面冒顶较严重, 在确保支架初撑力的基础上采取支架与空巷之间密实接顶等措施后, 工作面推进过程中未出现支架倒架、严重冒顶(局部冒顶是由于工作人员支护不及时造成)等问题。由于工作面属于孤岛煤柱回收工作面, 工作面周围煤岩应力集中程度高, 工作面初次来压及周期来压明显, 但工作面推进速度比较快, 来压强度不是很剧烈, 巷道变形较大但不影响使用。煤柱回收工作面成功采出了32万t煤炭资源, 提高了煤炭采出率的同时取得了一定的经济效益。

## 5 结语

1) 在分析工作面空巷分布特征的基础上建立了煤柱回收工作面空巷沿顺层分布时基本顶力学模

(上接第37页)

响的范围逐渐增大, 但地表下沉值的变化趋势比地表水平移动值平缓。

### 参考文献:

- [1] 孟宪锐, 王鸿鹏, 刘朝晖, 等. 我国厚煤层开采方法的选择原则与发展现状 [J]. 煤炭科学技术, 2009, 37 (1): 39~44.
- [2] 袁永, 屠世浩, 王瑛, 等. 大采高综采技术的关键问题与对策探讨 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38 (1): 4~8.
- [3] 王学军, 钱学森, 马立强, 等. 厚煤层大采高全厚开采工艺研究与应用 [J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26 (2): 212~216.
- [4] 韩俊效. 寺河矿大采高长工作面矿压显现规律研究 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2011.
- [5] 韩俊效, 李化敏, 熊祖强, 等. 寺河矿大采高超长工作面初撑

型, 分析了空巷宽度、基本顶厚度以及支架支护阻力与保证空巷稳定的支护阻力之间关系。

2) 根据煤柱回收工作面空巷分布区域的密集程度将整个工作面区域划分为3个空巷集中区, 结合工作面推进顺序分析了工作面过3号空巷区中4条空巷时回采巷道支护、空巷围岩稳定控制技术。

3) 制定了工作面过空巷时放煤控制、两巷超前加强支护、过空巷期间顶板管理等安全保障措施, 保证了煤柱回收工作面安全回采。

### 参考文献:

- [1] 温庆华, 周海丰. 大采高综采工作面过空巷关键技术研究 [J]. 煤炭工程, 2009 (1): 54~56.
- [2] 曹义勇. 西曲矿22502综采工作面过空巷技术研究 [J]. 煤炭技术, 2009, 28 (1): 48~50.
- [3] 白晓生. 新柳煤矿大断面切巷过空巷技术研究 [J]. 煤炭工程, 2010 (5): 35~37.
- [4] 冯来荣, 梁志俊. 注浆加固技术在综采面过空巷中的应用 [J]. 煤矿开采, 2009, 14 (1): 67~69.
- [5] 段春生. 综采工作面过空巷支护实践研究 [J]. 煤炭工程, 2010 (5): 37~39.
- [6] 王卫军, 侯朝炯, 柏建彪. 综放工作面过空巷高水速凝材料充填试验 [J]. 中国矿业, 2001, 10 (5): 57~61.
- [7] 张寅, 郝相龙, 张吉雄. “孤岛”工作面回采巷道围岩变形的控制 [J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, 20 (3): 44~46.
- [8] 王志清, 肖亚宁, 万世文. 综放孤岛工作面复合构造破碎带化学加固技术 [J]. 煤炭科学技术, 2005, 33 (4): 18~21.
- [9] 吴红雷. 综采大旋转过空巷技术研究 [J]. 山西焦煤科技, 2006 (3): 17~19.

力与采场控制分析 [J]. 煤炭技术, 2010, 29 (12): 74~75.

- [6] 施喜书, 许家林, 朱卫兵. 补连塔矿复杂条件下大采高开采地表沉陷实测 [J]. 煤炭科学技术, 2008, 36 (9): 80~83.
- [7] 郭文兵, 柴华彬. 煤矿开采损害与保护 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
- [8] 黄乐亭, 王金庄. 地表动态沉陷变形的3个阶段与变形速度的研究 [J]. 煤炭学报, 2006, 31 (4): 420~424.
- [9] 杨正全, 金永成, 苏仲杰. 压力平衡拱应力状态相似物理模拟研究 [J]. 辽宁工程技术大学: 自然科学版, 2003, 22 (3): 337~339.
- [10] 苏仲杰, 于广明, 杨伦. 覆岩离层变形力学机理数值模拟研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22 (8): 1287~1290.
- [11] 朱拴成, 尹希文. 寺河矿采场覆岩结构及运动规律数值模拟研究 [J]. 煤炭工程, 2009 (1): 80~83.