

# 动压巷道在不同采动下的支护效果模拟分析

袁和勇<sup>1,2</sup>,葛新玉<sup>3</sup>,胡嘉伟<sup>1,2</sup>,陈静<sup>3</sup>

(1. 安徽理工大学 能源与安全学院,安徽 淮南 232001;

2. 安徽理工大学 煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室,安徽 淮南 232001;

3. 淮南矿业集团有限责任公司 张集煤矿,安徽 淮南 232000)

**摘要:**张集煤矿14126工作面运输顺槽受上方工作面14138采动影响剧烈,故对其采取了加强支护方案设计,同时对设计的方案和设计的参数进行了简单介绍,并针对该设计方案利用离散元软件UDEC4.0就运输顺槽在2种不同采动计4种工况下的支护效果进行了模拟,并对比分析了14126工作面运输顺槽围岩的应力变化、位移变化以及塑性区的变化,得出当14138工作面回采后围岩应力稳定后再掘进14126运输顺槽时其总体变形是最小的,同时结果验证该支护方案设计是合理的。

**关键词:**动压巷道;巷道支护;支护效果;效果模拟分析

中图分类号:TD350.1

文献标志码:A

文章编号:1674-5876(2014)01-0013-06

## Dynamic pressure in different mining situations supporting effect simulation analysis

YUAN Heyong<sup>1,2</sup>, GE Xinyu<sup>3</sup>, HU Jiawei<sup>1,2</sup>, CHEN Jing<sup>3</sup>

(1. School of Energy and Safety, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. Key Laboratory of Safe and Effective Coal Mining of Education Ministry Jointly Funded by Anhui Province and Education Ministry of China, Huainan 232001, China;

3. Zhang Ji coal mine, Huainan Mining (Group) Co., Ltd., Huainan 232000, China)

**Abstract:** Because of the violently mining influence of 14138 working face in Zhangji mine, a supporting design is adopted to strengthen it with some simple introductions on scheme design and parameters design in gateroad of 14126 working face. Aimed at the design plan by using discrete element software UDEC4.0 to simulate the gateroad supporting effect about four kinds of working conditions under two different mining projects. The stress, displacement and plastic zone changes of the gateroad surrounding rocks are compared and analyzed from the simulation. The results show that the overall deformation is the smallest of transport gateway when it's tunneled after the stress of surrounding rock stability in the process of mining, at the same time the results verify that the support scheme design is reasonable.

**Key words:** dynamic pressure; roadway supporting; supporting effect; effects simulation analysis

锚索网支护设计是关系到煤巷锚索网支护技术可靠、经济合理的重要保证<sup>[1]</sup>,目前煤巷锚杆支护设计方法基本上可归结为3类<sup>[2-4]</sup>:第一类是工程类比法,包括应用简单的公式进行计算,常用的有以回采巷道围岩稳定性分类为基础的设计方法

及以围岩松动圈分类的设计法<sup>[5-7]</sup>;第二类是理论计算法,有悬吊理论、冒落拱理论、组合拱(梁)理论等<sup>[8,9]</sup>;第三类是借助数值模拟进行锚杆支护设计<sup>[10]</sup>.随着计算机的广泛应用,应用数值模拟计算地下岩石工程结构的应力、应变,分析结构稳定性

的方法已得到广泛认可。

## 1 工程概况

### 1.1 工作面概况

14126 工作面位于张集矿 -492 m 水平西二采区,该面运输顺槽层位如图 1 所示,14126 运输顺槽上覆的 14128 工作面已回采,14126 运输顺槽与 14138 工作面平距 44 m,垂距 38 m,因此 14126 整个运输顺槽都将处在 14138 工作面回采动压影响范围内,届时运输顺槽矿压显现将会异常剧烈,为保证巷道支护安全必须要提高运输顺槽动压影响区段支护强度。

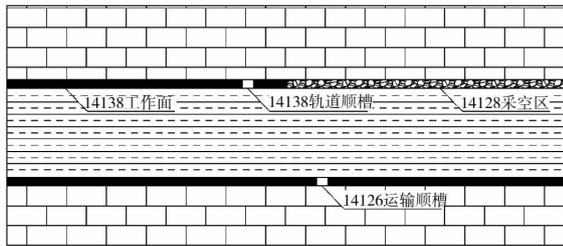


图 1 14126 工作面层位示意图

### 1.2 工作面运输顺槽锚索网支护设计

在进行了深入、细致的现场调查与地质力学评估后,根据锚杆支护岩层形变压力理论及有限差分数值计算软件 FLAC3.3,并结合工程类比法进行了 14126 运输顺槽锚索网支护设计。

#### 1.2.1 运输顺槽顶板支护

由于 14126 运输顺槽顶板岩性结构相变较大,因此应根据顶板岩性结构采用分区段设计。锚索规格原则上设计为  $\Phi 22 \times 6\ 300$  mm,如果迎头岩性发生变化,顶板 4.5 m 以上没有稳定岩层,则锚索长度进行相应调整。

顶板支护结构包括 3 部分:

第一部分由锚杆和 M5 钢带组成。M5 钢带安装在巷道中部,每根 M5 钢带上安装 6 根锚杆,锚杆穿过钢带垂直锚入巷道顶板,M5 钢带长度为 4 600 mm。顶板锚杆规格为  $\Phi 20 \times 2\ 500$  mm,锚杆材质:MG400。

第二部分由 T 型钢梁和锚索组成。无动压影响砂岩顶板区段(14138 工作面回采 5 个月后区段):T 型钢梁组合锚索安装在巷道中部,并位于 2 根钢带之间。锚索按“3-0”布置:T 型钢梁长 2.6 m,每根 T 型钢梁上安装 3 根锚索,T 型钢梁上所有锚索均垂直顶板布置,锚索规格为  $\Phi 22 \times 6\ 300$  mm。无动压影响砂质泥岩顶板区段(14138 工作面回采 5 个月后区段):锚索按“3-3-0”交

错布置,其它参数同上。无动压影响泥岩顶板区段(14138 工作面回采 5 个月后区段):锚索按“3-3”交错布置,其它参数同上。动压影响区段:T 型钢梁组合锚索安装在巷道中部,并位于两根钢带之间。锚索按“4-4”布置:T 型钢梁长 4.0 m,每根 T 型钢梁上安装 4 根锚索,T 型钢梁上所有锚索均垂直顶板布置,锚索规格为  $\Phi 22 \times 6\ 300$  mm。

第三部分是金属网。10#金属网铺网应从顶板中部向两边铺,两边网过肩窝,帮部网至底角。网应封闭顶帮岩煤体,相邻网搭接长度不得低于 100 mm,连网扎扣间距不超过 200 mm。

#### 1.2.2 巷帮支护

巷帮支护包括 2 部分:

第一部分由 M5 钢带(废旧皮带)和锚杆组成。无动压影响区段采用废旧皮带水平连接锚杆,水平布置的巷帮废旧皮带长设计为 1.25 m,每根钢带沿水平方向连接 2 根锚杆,左右帮各布置 4 排,巷帮锚杆规格: $\Phi 20 \times 2\ 200$  mm,锚杆材质为 MG400。动压影响区段采用 M5 钢带水平连接锚杆,水平布置的 M5 钢带设计为 1.05 m,每根钢带沿水平方向连接 2 根锚杆,左右帮各布置 5 排,巷帮锚杆规格: $\Phi 20 \times 2\ 500$  mm,锚杆材质为 MG400。

第二部分是 10#金属网,金属网沿煤帮垂直铺设,并沿纵向搭接。搭接处用铁丝扎牢,并用钢带压茬。在断层破碎带附近及顶板淋水地段,采用 U 型钢架棚支护或调整锚索网支护参数。

#### 1.2.3 14126 运输顺槽锚索网支护主要技术参数

巷道断面:宽  $\times$  中高 =  $5.0 \times 3.4 = 17.00$  m<sup>2</sup>;  
顶板锚杆间排距:860  $\times$  800 mm。

锚索布置方式:

运输顺槽:动压影响区段:“4-4”布置;无动压影响区段:“3-3”交错布置(泥岩顶板区段);“3-3-0”交错布置(砂质泥岩顶板区段);“3-0”布置(砂岩顶板区段);

巷帮锚杆间排距:700  $\times$  800 mm(动压影响区段);900  $\times$  800 mm(无动压区段);顶板锚杆: $\Phi 20 \times 2\ 500$  mm;

巷帮锚杆: $\Phi 20 \times 2\ 500$  mm(动压影响区段); $\Phi 20 \times 2\ 200$  mm(无动压区段);顶板锚索: $\Phi 22 \times 6\ 300$  mm;T 型钢梁:长度(2.6,4.0 m);顶板钢带:M5(4.6 m);巷帮:M5(1.0 m)和废旧皮带(1.25 m);金属网:10#镀锌铁丝机械编制,网孔(50  $\times$  50 mm);

锚索安装预紧力  $\leq 90$  kN;顶板锚杆安装预紧力矩  $\leq 180$  Nm;巷帮锚杆安装预紧力矩  $\leq 180$  Nm;

顶板锚索安装深度 6 000 mm;锚索锚固长度 1 800 mm;顶板锚杆安装深度 2 450 mm;帮锚杆安装深度 2 150 mm 和 2 450 mm;

顶锚杆锚固长度  $\leq 1\ 200$  mm;帮锚杆锚固长度  $\leq 800$  mm;锚杆锚固力:顶板  $\leq 120$  kN,巷帮  $\leq 100$  kN;锚索锚固力  $\leq 350$  kN;

顶板锚杆(锚索)钻孔直径:  $\Phi 30$  mm;巷帮锚杆钻孔直径:  $\Phi 28$  mm;锚索锚固剂:每孔 3 支 Z2360;

顶板锚杆锚固剂:每孔 2 支 Z260;巷帮锚杆锚固剂:每孔 1 支 Z2360.

## 2 数值模型建立

为了验证 14126 运输顺槽锚索网支护方案设计的合理性,决定采用美国 Itasca Consulting Group Inc. 开发的离散元软件 UDEC4. 0 (Universal Distinct Element Code 4.0)对 14126 运输顺槽锚索网支护所选取的支护方案及技术参数进行了数值模拟.

模拟研究 14138 工作面回采对 14126 运输顺槽的影响. 模型宽 180 m,高 120 m,两侧限制水平方向移动,底边限制水平方向和垂直方向移动,模型上表面为应力边界,不足部分采用应力补偿来模拟上覆岩体的自重边界. 材料破坏遵循 Mohr - Coulomb 强度准则,图 2 为计算网格图.

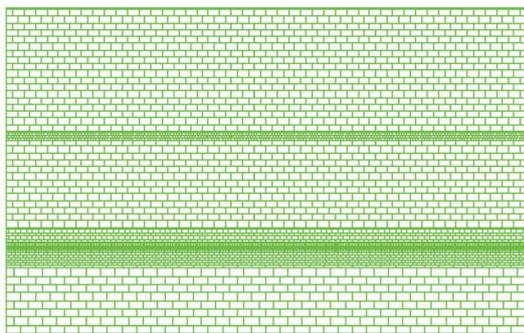


图2 数值计算网格

## 3 模拟方案

14126 运输顺槽断面为 5 m  $\times$  3.4 m,根据上覆 14138 工作面的回采情况结合 14126 运输顺槽顶板岩性确定 14126 运输顺槽模拟支护参数,具体如下所述:

1)先掘进 14126 运输顺槽再回采 14138 工作面,即受 14138 工作面动压影响.

工况一(泥岩顶板). 顶板锚索布置方式:“4 - 4”布置锚索,顶板锚索规格  $\Phi 22 \times 6\ 300$  mm;顶板

锚杆 6 根,巷帮锚杆 5 根,锚杆规格  $\Phi 20 \times 2\ 500$  mm;

工况二(砂质泥岩顶板). 顶板锚索布置方式:“3 - 3”交错布置锚索,顶板锚索规格  $\Phi 22 \times 6\ 300$  mm;顶板锚杆 6 根,巷帮锚杆 5 根,锚杆规格  $\Phi 20 \times 2\ 500$  mm.

2)14138 工作面回采后再掘进 14126 运输顺槽,即 14138 工作面动压影响后.

工况三(泥岩顶板). 顶板锚索布置方式:“3 - 3”交错布置锚索,顶板锚索规格  $\Phi 22 \times 6\ 300$  mm;顶板锚杆 6 根,巷帮锚杆 5 根,锚杆规格  $\Phi 20 \times 2\ 200$  mm;

工况四(砂质泥岩顶板). 顶板锚索布置方式:“3 - 0”布置锚索,顶板锚索规格  $\Phi 22 \times 6\ 300$  mm;顶板锚杆 6 根,巷帮锚杆 5 根,锚杆规格  $\Phi 20 \times 2\ 200$  mm.

## 4 计算结果分析

### 4.1 应力分析

图 3 ~ 图 7 分别为 14126 运输顺槽各工况垂直应力云图,煤层两帮应力曲线图. 由运输顺槽各工况下的围岩垂直应力云图可以看出,围岩垂直应力分布情况从总体上是相似的,围岩大结构决定了应力分布情况. 上覆 14128 工作面回采完后对 14126 运输顺槽是一个卸压作用,但 14126 运输顺槽与 14138 工作面平距为 44 m,垂直距 38 m,当先掘进 14126 运输顺槽再回采 14138 工作面时运输顺槽受动压影响较明显,当 14138 工作面回采过后再掘进 14126 运输顺槽则处于卸压状态,受影响程度较小. 但受采动影响与否围岩稳定后其总体应力分布基本相似,上覆 14138 工作面的回采对 14126 运输顺槽有一定影响,工作面回采与巷道开挖扰动原岩应力至产生新的应力平衡,在 14126 运输顺槽围岩周边形成卸压圈,应力降低,在两帮一定深处形成应力集中现象.

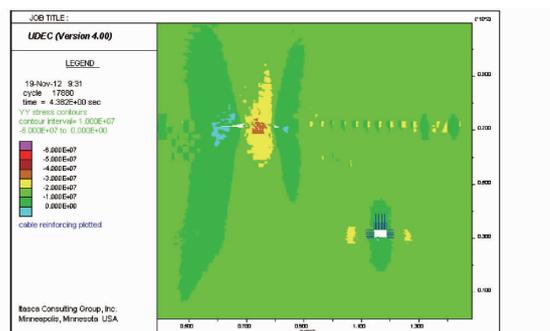


图3 运输顺槽工况一垂直应力云图

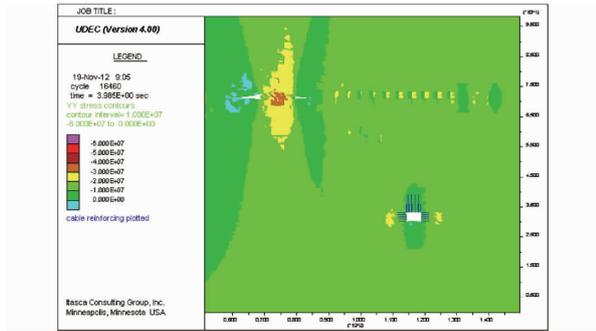


图 4 运输顺槽工况二垂直应力云图

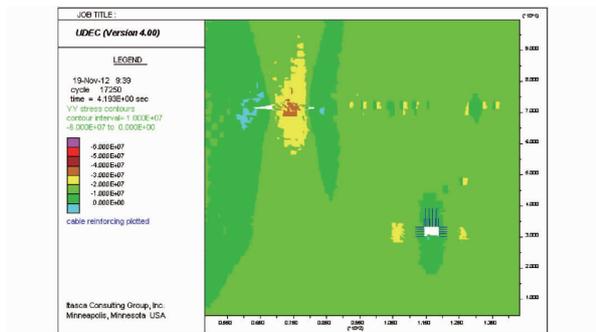


图 5 运输顺槽工况三垂直应力云图

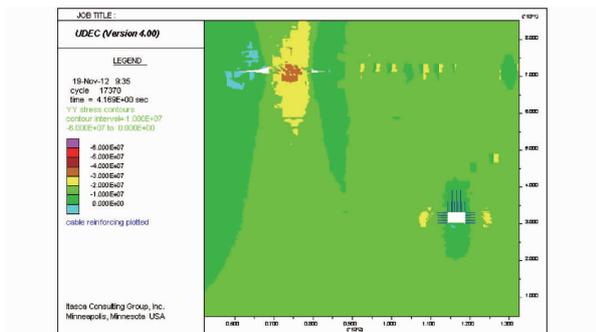


图 6 运输顺槽工况四垂直应力云图

图 3 ~ 图 6 分别为 14126 运输顺槽各工况下的围岩垂直应力云图,对比各图可以发现,从围岩总体结构上看,工作面回采,巷道开挖,运输顺槽受动压影响与否在围岩应力稳定后其总体应力分布情况相似,巷道开挖后在巷道周边围岩中形成卸压区应力降低,两帮一定深处应力集中。

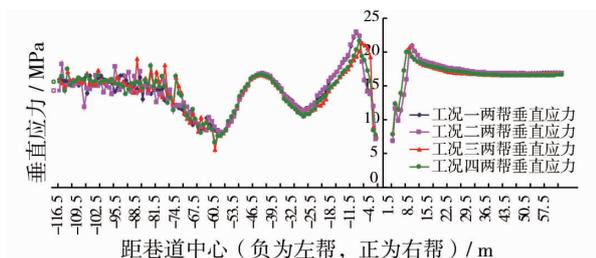


图 7 运输顺槽各工况煤层两帮垂直应力

图 7 为运输顺槽各工况下的煤层两帮围岩垂

直应力曲线,从图中可以看出,两帮围岩垂直应力分布基本相同,右帮侧为上覆 14128 工作面回采完后形成采空区并压实后其应力分布相对稳定,左帮侧则由于 14128 工作面与 14138 工作面之间有 8 m 煤柱且 14126 运输顺槽平距 14138 工作面 44 m,垂距 38 m,则在煤柱应力传递作用下在煤柱正下方应力集中,两侧应力降低,在 14138 工作面回采后采空区压实则煤层垂直应力回升,总体上运输顺槽左帮应力峰值大于右帮. 工况一左帮 7 m 处应力峰值为 22.9 MPa;右帮 7 m 处应力峰值为 20.99 MPa;工况二左帮 7 m 处应力峰值为 22.95 MPa;右帮 7 m 处应力峰值为 20.85 MPa;工况三左帮 5 m 处应力峰值为 21.33 MPa;右帮 6 m 处应力峰值为 20.65 MPa;工况四左帮 6 m 处应力峰值为 21.71 MPa;右帮 5 m 处应力峰值为 19.97 MPa. 受动压影响时两帮 7 m 范围为卸压区,动压后则为 5 ~ 6 m.

#### 4.2 位移分析

图 8 ~ 图 17 分别为运输顺槽各工况下巷道垂直位移云图与水平位移云图,垂直位移与水平位移分布曲线图. 运输顺槽巷道围岩表面最大位移量一览表(见表 1).

表 1 运输顺槽巷道围岩表面最大位移量一览表

类别	左帮/mm	右帮/mm	顶板下沉量/mm	底板底鼓量/mm
工况一	251	264	244	516
工况二	242	260	226	498
工况三	165	168	130	233
工况四	160	166	118	212

由表 1 可以看出,工况一与工况二为 14126 运输顺槽泥岩顶板与砂质泥岩顶板受 14138 工作面回采动压影响,其总体变形量较大,主要表现为巷道底鼓,14126 运输顺槽各工况支护参数下巷道总体变形量在合理范围内,能满足巷道安全使用需要。

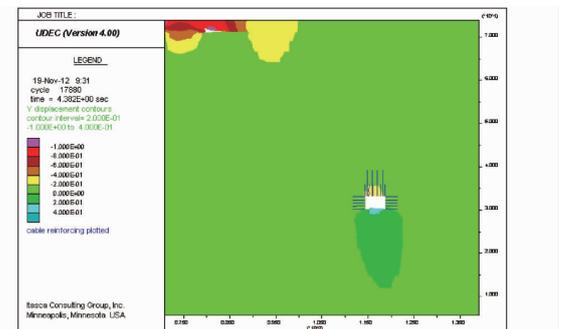


图 8 运输顺槽工况一垂直位移云图

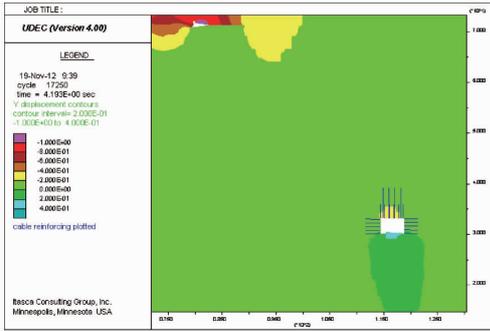


图 9 运输顺槽工况一水平位移云图

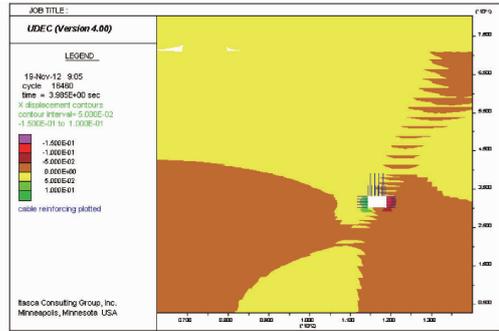


图 14 运输顺槽工况四垂直位移云图

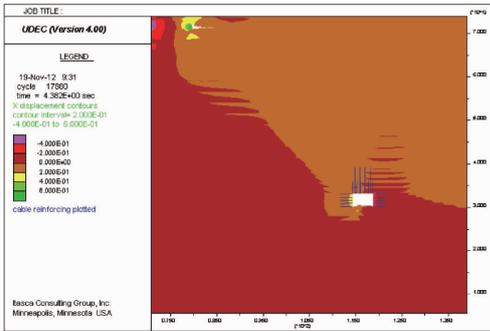


图 10 运输顺槽工况二垂直位移云图

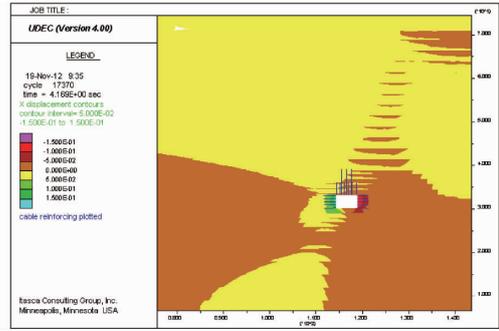


图 15 运输顺槽工况四水平位移云图

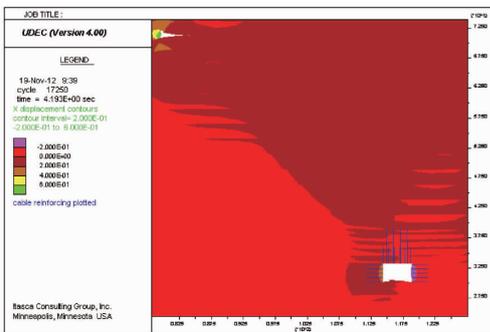


图 11 运输顺槽工况二水平位移云图

对比以上各图,可以发现工况一与工况二受 14138 工作面回采动压影响时 14126 运输顺槽总体变形量较大,当 14138 工作面回采后围岩应力稳定后再掘进 14126 运输顺槽时其总体变形很小。

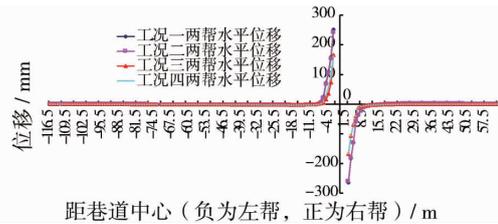


图 16 运输顺槽各工况两帮水平位移

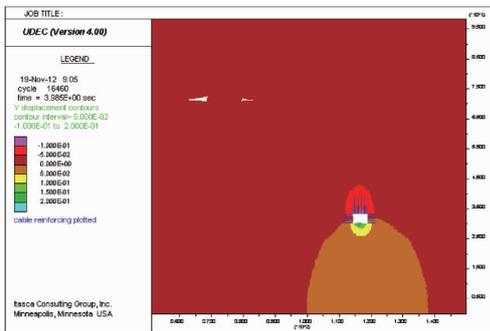


图 12 运输顺槽工况三垂直位移云图

由图 16 可以发现,工况一左帮侧 0~3 m 范围水平位移为 71~251 mm,右帮侧 0~3 m 范围水平位移为 57~264 mm;工况二左帮侧 0~3 m 范围水平位移为 68~242 mm,右帮侧 0~3 m 范围水平位移为 58~260 mm;工况三左帮侧 0~2 m 范围水平位移为 35~165 mm,右帮侧 0~3 m 范围水平位移为 40~168 mm;工况四左帮侧 0~2 m 范围水平位移为 55~160 mm,右帮侧 0~3 m 范围水平位移为 40~166 mm. 各工况下两帮水平较大位移区为 0~3 m.

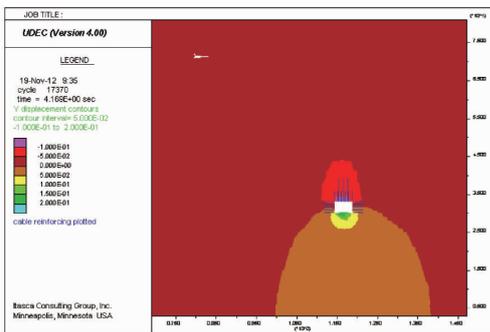


图 13 运输顺槽工况三水平位移云图

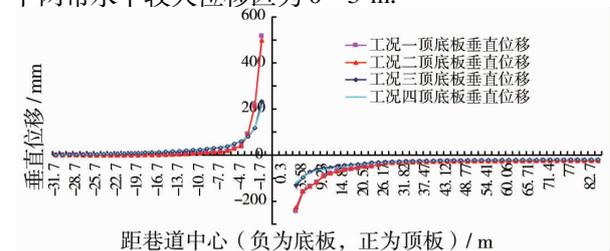


图 17 运输顺槽各工况顶底板位移

由图 17 可以发现,工况一底板 0~2 m 范围底鼓量为 93~516 mm,顶板 0~4 m 范围内顶板下沉量为 136~244 mm;工况二底板 0~2 m 范围底鼓量为 92~498 mm,顶板 0~4 m 范围内顶板下沉量为 131~226 mm;工况一底板 0~2 m 范围底鼓量为 80~233 mm,顶板 0~4 m 范围内顶板下沉量为 72~130 mm;工况一底板 0~2 m 范围底鼓量为 81~212 mm,顶板 0~4 m 范围内顶板下沉量为 76~118 mm. 各工况下底板较大位移区为 0~2 m, 顶板较大位移区为 0~4 m.

### 4.3 塑性区分析

工作面回采与巷道开挖都会对周边围岩产生扰动,导致围岩变形,破坏等,在围岩中会形成一定范围的塑性区分布. 图 18~图 21 分别为运输顺槽塑性区分布图. 各图中大部分区域进入屈服状态均未出现破坏区域总体支护效果良好.

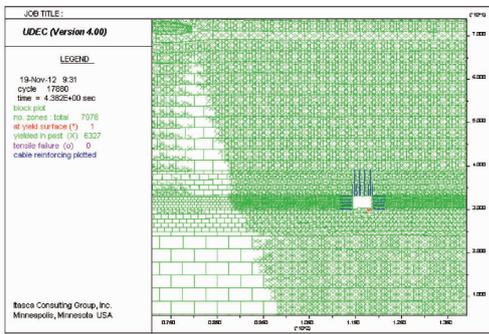


图 18 运输顺槽工况一塑性区分布图

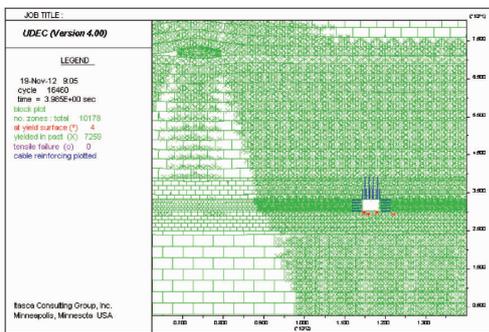


图 19 运输顺槽工况二塑性区分布图

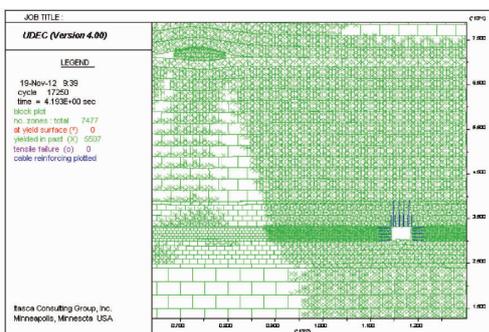


图 20 运输顺槽工况三塑性区分布图

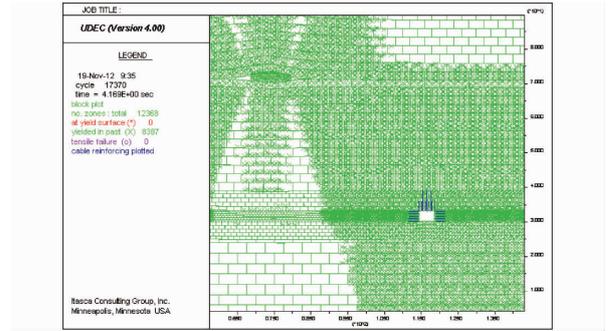


图 21 运输顺槽工况四塑性区分布图

## 5 结论

1) 4 种工况中围岩的垂直应力分布总体相似, 运输顺槽左帮应力峰值大于右帮, 受动压影响时两帮 7 m 范围为卸压区, 动压后则为 5~6 m.

2) 4 种工况下的围岩变形, 工况一和工况二较大, 工况三和工况四较小, 相较围岩变形工况四最合适, 即: 当 14138 工作面回采后围岩应力稳定后再掘进 14126 运输顺槽时其总体变形很小.

3) 工作面回采与巷道开挖都会对周边围岩产生扰动, 导致围岩变形, 破坏等, 4 种工况的大部分区域在进入屈服状态时均为出现破坏区域, 总体的支护效果是良好的, 综合比选, 选在第四种工况最为合适.

### 参考文献:

- [1] 史玲. TSL(Thin spray-on liners)材料在巷道支护中的应用[J]. 中国矿业, 2011, 20(3): 90-93.
- [2] 王义和, 张华, 高占学, 等. 新型塑料膨胀金杆在回采巷道支护中的应用[J]. 西安科技大学学报, 2007, 27(2): 200-204.
- [3] 赵国贞, 马占国, 马继刚, 等. 复杂条件下小煤柱动压巷道变形控制研究[J]. 中国煤炭, 2011, 37(3): 52-56.
- [4] 英国梁, 王国栋, 窦波洋, 等. 深井高应力非常规断面动压巷道支护技术研究[J]. 中国矿业, 2009, 18(4): 70-73.
- [5] 靳纯峰, 王红新, 姚小昭, 等. 香山矿倾斜煤层动压巷道支护方法[J]. 煤矿安全, 2012, 43(5): 111-114.
- [6] 庞凤岭. 动压巷道支护技术探讨[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(3): 76-78.
- [7] 宋锦虎, 魏思祥, 靖洪文, 等. 深部高应力动压巷道支护方法研究[J]. 施工技术, 2012, 41(15): 79-83.
- [8] 刘福军. 承受二次动压巷道支护分析[J]. 煤矿开采, 2002, 7(4): 35-37.
- [9] 朱庆华. 深部骑跨采巷道围岩变形力学分析及稳定性控制研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2010.
- [10] 李进朋. 锚杆在煤矿巷道支护中的应用[J]. 硅谷, 2012(5): 154.