

# 倾斜煤层回采巷道的矿压显现特征及其锚杆支护研究\*

陶连金 王泳嘉

(东北大学 沈阳 110006)

张倬元

(成都理工学院 成都 610059)

**摘要** 采用可充分变形的离散元法,对一个倾斜煤层回采巷道的稳定性进行了分析,并进行了围岩松动范围的测试。在此基础上,提出了锚杆加钢带的巷道综合支护方案。用离散元法及现场围岩位移测试对支护方案的合理性进行了评价。经施工验证,支护方案是成功可行的。根据分析和现场观测,提出了倾斜煤层回采巷道锚杆支护应注意的问题。

**关键词** 倾斜煤层,回采巷道,矿压显现,锚杆支护,离散元法

**分类号** TD823.23

## 1 引言

倾斜煤层通常指倾角在 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间的煤层,也称大倾角煤层。这类煤层的产量和储量均占有一定的比例,但与之相关的矿压问题的研究却不多<sup>[1]</sup>,回采巷道方面的研究几乎是空白。同近水平和缓倾斜煤层相比,倾斜煤层回采巷道的维护费用一般要高出30%。这里既有其自身固有的复杂性,但同时也因为研究太少而对其规律缺乏认识。

目前,国内外对回采巷道的维护问题十分重视,相继对其矿压显现与支护等问题开展了广泛研究<sup>[2~4]</sup>,这些成果对于解决回采巷道的岩层控制问题起到积极作用。但这些研究主要是针对缓倾斜和近水平煤层的,倾斜煤层回采巷道由于位于显著各向异性的力学介质中,矿压显现有其特殊性,比缓倾斜和近水平煤层更为强烈,围岩变形和破坏范围大,并且不对称,支护困难。

鉴于上述问题,本文采用了可充分变形的离散元法,对倾斜煤层回采巷道的矿压显现特征进行了分析和模拟,并对巷道的围岩松动范围进行了测试。在此基础上,提出了锚杆加钢带的巷道综合支护方案。煤层特别是倾斜煤层,本身结构发育,加之采巷推进临空,出现片帮离层等变形,呈明显的非连续性。对其计算分析,不需追求精确量值,而在于描绘出位移形态及显著区域,离散元法既适合又足可解决这种问题。因此,本文采用离散元法及现场围岩位移测试对支护方案的合理性进行了评价。基于这些结果,设计了锚杆支护方案,实施后,证实了方案是可行和合理的。

1997年1月8日收到初稿,1997年4月5日收到修改稿。

\* 国家自然科学基金资助项目(49772167)。

作者陶连金简介:男,34岁,副教授,1996年获东北大学工学博士学位,现主要从事岩土力学与工程方面的研究工作。

## 2 无支护时巷道变形与破坏特征

### 2.1 地质条件

研究对象为宝山矿二井36#煤层, 倾角平均35°, 地质构造简单, 采深平均440 m, 煤层厚度1.0 m, 直接顶为2 m左右的粉砂岩及页岩, 强度不高, 其上为相对较硬的细砂岩, 底板为中硬的细砂岩。巷道底宽2.2 m, 不破顶。煤体较软, 易片帮, 易冒落, 常对生产和安全构成威胁。

### 2.2 巷道变形与破坏的离散元模拟

现场的节理描述和统计表明, 巷道围岩被两组正交的结构面切割: 一组为沉积的煤系地层的层理, 比较发育, 局部胶结充填, 局部剪胀张开, 尤其是直接顶和老顶之间, 层面平直较光滑; 另一组则为与层面正交的节理, 主要发育在直接顶, 由于直接顶强度较低, 常在巷道两侧的顶板发育有贯穿直接顶的节理, 对顶板的冒落起控制作用。根据上述结构面的空间分布特征, 建立了如图1所示的离散元模型, 计算参数以试验测试结果为主, 并结合现场位移实测反演调参。模型施加的载荷为自重应力。离散元采用可充分变形的单元, 以考虑块体本身的变形。

巷道掘出后, 在初始地应力的作用下, 上侧煤体首先片帮, 下侧煤体表面也开始屈服, 顶板在巷道两侧的支点开始向煤体深部转移。巷道上方的直接顶下沉、破坏直至冒落(图2), 造成大面积垮落, 直至跨至老顶才达到平衡。巷道两侧煤体及其上部直接顶(三角形楔)也基本与母体脱离, 只是在冒落岩块形成的传力拱的约束下尚未垮下, 一旦受到扰动, 就会失稳垮落, 造成更大的冒落空洞。现场在清理这些冒落矸石时, 经常引起巷道上部两侧直接顶的进一步失稳冒落, 使处理工作极为困难和危险。

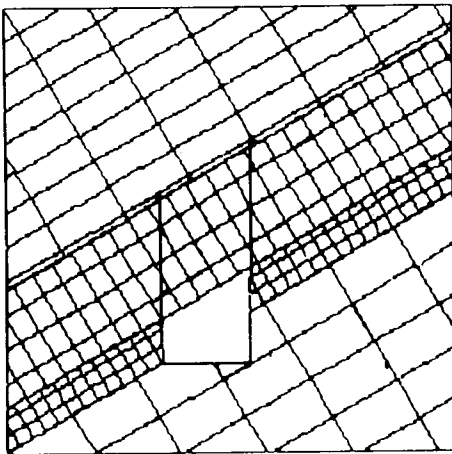


图1 离散元模型块体划分

Fig. 1 Block division of discrete element model

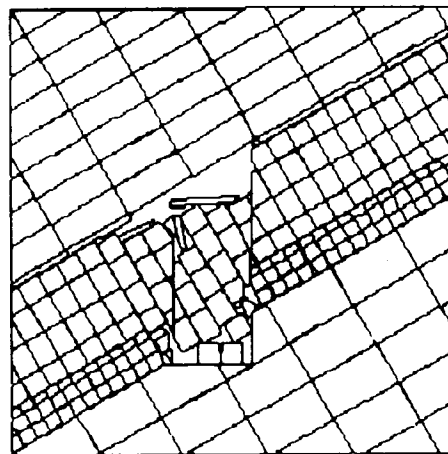


图2 巷道围岩的破坏形态

Fig. 2 Failure state of rocks around the gateway



## 4 锚杆支护及其效果评价

### 4.1 锚杆支护方案及实施

根据倾斜组合梁<sup>[1]</sup>的设计方法,顶板布置了4根1.6 m长端头锚固的锚杆,尽量垂直顶板布置。安装时,在其尾部安装了锚杆应力检测装置(已获得国家专利<sup>[6]</sup>),保证至少有20 kN的预紧力。锚杆间距0.75 m,排距1.0 m。由于直接顶节理裂隙发育,为保证支护效果,不发生局部冒顶,选用了护顶钢带,钢板厚0.01 m,长0.89 m,宽0.12 m,一端是孔径 $\varphi 40$  mm的圆孔,另一端则为长0.08 m,宽0.04 m的异形孔。安装时,每两根锚杆之间安装一条钢带。顶板锚杆安装要拧紧两次螺母,即安装时初次拧紧螺母。经一次钻爆工序后,使用加长扳手或安装机具再次拧紧螺母。顶板锚杆要求在本掘进循环内及时安装,最长滞后时间不得超过6 h,以保证顶板不产生过度变形而使强度和完整性恶化。巷道两帮煤体用木锚杆锚固,平行层面安装,上帮锚杆长2.0 m,下帮锚杆长1.4 m,间距为1.0 m,锚杆外端加一块0.5 m长的半圆木护帮,定期楔紧,以保证其锚固力。在回采工作面前方支承压力影响区,采取加强支护措施。采用金属摩擦支柱配合木顶帽(顶帽与钢带垂直)做临时加强支护,超前支护距离25 m,加强支柱沿巷道中线布置。在距工作面0~15 m处用双中柱加强支护,在15~25 m之间则采用单中柱支护。

### 4.2 支护方案评价

#### 4.2.1 支护效果的离散元分析

为便于对比,分两种情况考虑,第一种情况只锚固顶板;第二种情况是顶板和两帮都锚固,即为实际采用的方案。

只锚固顶板时,顶板刚度和强度明显提高,在初期表现出较强的抗变形能力,只有微小的下沉。但是随着两帮煤体的片帮,支承点的内移,顶板暴露跨度增大,顶板则逐渐进入不平衡状态,下沉,离层,如图5所示。通过与不支护时的巷道相比可以看出,顶板锚杆支护的巷道即使最终失稳,它所能保持稳定的时间也要长出数百倍,最终失稳时也能使顶板保持离层而不至垮落下来。该图是最终稳定时的状态。

第二种情况由于煤体片帮得以控制,顶板下沉只有很小的数值,在块体图上几乎看不到有块体的位移,围岩处于相对稳定状态,即使在采动影响时,也只是煤层遭到局部破坏,但顶板却相当稳定(图6)。这说明综合支护是十分重要的。

#### 4.2.2 巷道围岩收敛观测

为了对巷道支护效果进行评价,对该巷道的围岩收敛进行了观测。巷道的顶底板和两帮煤体移近量以及顶板下沉速度如图7所示。可以看到,当工作面距测区较远时,围岩变形很小,这时巷道没有受到采动影响,仅仅是静压作用,围岩处于平衡状态。随着工作面的推进,巷道开始受到工作面动压的作用。距工作面20 m左右时,围岩变形速度明显加快,围岩运动显著,这是超前支承压力的影响,因此加强支护距离应不少于20 m。从总体围岩状态来看,围岩是稳定的。加强支护段的顶板虽发育多组裂隙,但在锚杆和钢带的联合作用下一直处于稳定状态。上侧煤体有局部片帮,但深度在0.6 m以内。巷道断面完全可以

满足生产需要，支护方案是成功的。

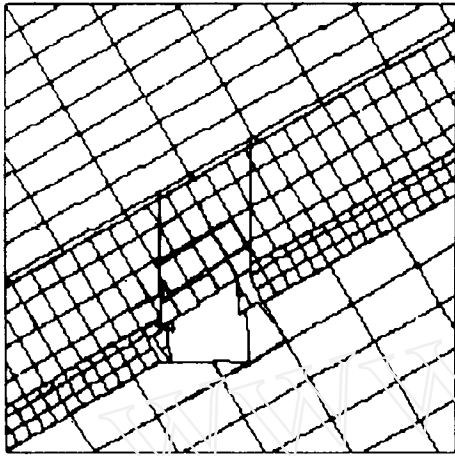


图5 只锚固顶板时围岩的运动

Fig. 5 Movement of surrounding rocks with roof bolted

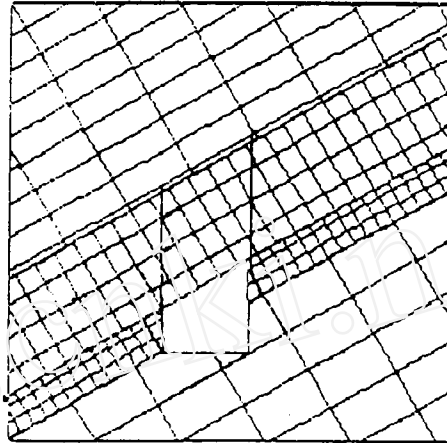


图6 综合支护时顶板处于稳定状态

Fig. 6 Stable roof with comprehensive supports

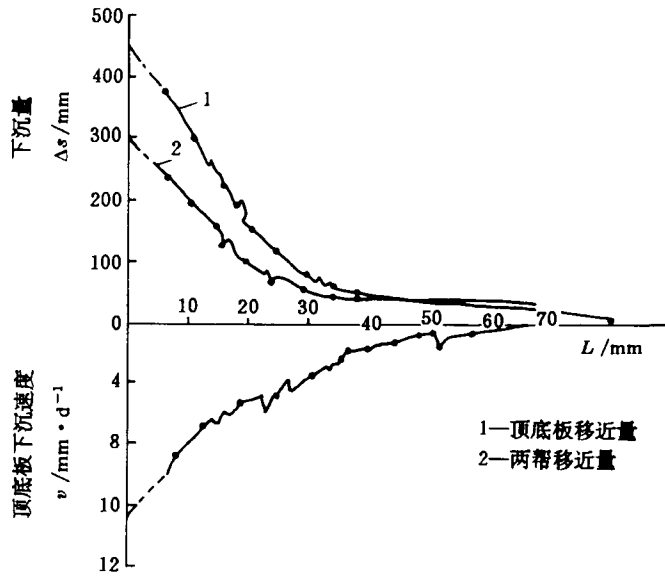


图7 巷道围岩的收敛位移

Fig. 7 The convergence of surrounding rocks of the gateway

## 5 结语

倾斜煤层中回采巷道的破坏形态呈显著的各向异性,破坏范围除与其自身力学特性有关外,还与煤体的稳定有密切关系。巷道两侧煤壁的垮落通常引起顶板支承点内移,顶板悬露跨度加大,从而加剧了顶板的不稳定性。因而加强两侧煤体的支护,防止其片帮和破坏,是倾斜煤层回采巷道支护的一个重要内容。通过松动范围测试,结合倾斜组合梁模型,可以计算出锚杆支护的参数,最后可以用离散元法评价支护方案的合理性。此外,用离散元法进行锚杆支护的参数研究是必要可行的。实测结果证明,采用综合的锚杆支护方案,既支又护,对于较破碎的厚层顶板是可行的,在实施过程中,必须保证锚杆安装质量和合理的预紧力,确保及时支护。

### 参 考 文 献

- 1 陶连金. 大倾角煤层开采矿山压力显现及其控制[博士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 1996, 70~79
- 2 侯朝炯, 郭宏亮. 我国煤巷锚杆技术的发展方向. 煤炭学报, 1996, 21(2): 113~118
- 3 钱鸣高, 刘听成. 矿山压力及其控制(修订版). 北京: 煤炭工业出版社, 1991, 201~239
- 4 宋振骥. 实用矿山压力控制. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988, 218~236
- 5 陶连金, 刘明远. 宝山煤矿巷道围岩松动范围测试. 建井技术, 1993, (3/4): 67~70
- 6 刘明远, 陶连金. 锚杆标力垫圈. 国家专利, 93208976

## APPEARENCE OF STRATA PRESSURE OF GATEWAY IN INCLINED COAL SEAM AND BOLTING SUPPORTS

Tao Lianjin Wang Yongjia

Zhang Zhuoyuan

(Northeastern University, Shenyang 110006) (Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059)

**Abstract** A typical gateway in inclined coal seam is analyzed using fully-deformable discrete element method. The fractured zone around the gateway is monitored in field. Based on the measurement results and theoretical analysis, a comprehensive support scheme with bolt and steel belt is proposed. Discrete element method is used to assess the bolting scheme, and displacement monitoring in field is also carried out. It is proved in practice that the scheme is both successful and reasonable. According to theoretical analysis and monitoring in field, some important keys to gateway bolting are presented.

**Key words** inclined coal seam, gateway, strata pressure, bolting support, discrete element method