

# 采动应力作用煤巷泥质复合顶板稳定性分析

张树光, 宇晓龙, 李广华

辽宁工程技术大学土木与交通学院, 辽宁阜新 123000

**摘要** 为研究采动应力作用软岩煤巷泥质复合顶板稳定态势,以高家梁矿 20307 工作面皮带煤巷为例,通过岩体微观结构特性分析和钻孔窥视仪对煤巷松动圈探测,确定泥质顶板煤巷为应力扩容膨胀型复合地质软岩,变形破坏力学机制为复合型 I<sub>AB</sub>II<sub>BD</sub>III<sub>DA</sub> 机制,提出锚网索带注的耦合支护对策机制,利用 FLAC<sup>3D</sup> 对采用耦合支护对策后泥质复合顶板稳定性进行数值分析,采用现场监测煤巷变形的并将两者结果作对比分析。结果表明,软岩煤巷泥质复合顶板稳定性得到有效控制,验证了应力扩容膨胀复合型破坏机理的正确性和耦合支护对策的有效性,为相似地质条件软岩煤巷支护提供参考。

**关键词** 采动荷载;煤巷;耦合支护;泥质复合顶板;稳定性分析

**中图分类号** TD322.1

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.22.002

## Stability Analysis of Mud Compound Roof in Coal Roadway Under Mining Pressure

ZHANG Shuguang, YU Xiaolong, LI Guanghua

School of Civil Engineering and Transportation, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

**Abstract** In order to study the stability of complex mud roof of coal roadway under the mining pressure, example of the working surface 20307 in Gao jialiang Coal Mine is presented. Based on the analysis of rocks microstructure characteristics and measurement of surrounding rock loose circle by hole examining method, the complex mud roof of coal roadway is the geological soft rock which is a complex type of stress dilatancy expansion. The mechanisms of roadway damage are complex deformation mechanisms including I<sub>AB</sub>II<sub>BD</sub>III<sub>DA</sub>, and the bolt-mesh-cable-grout with steel band coupling support design is proposed, which adopts the finite difference program FLAC<sup>3D</sup> to simulate the stability of complex mud roof of coal roadway with coupling support; Then it also adopts the in-situ investigation to perform field monitoring for the deformation of coal roadway, and the comparative analysis between numerical analysis and field monitoring is studied. The results reveal that stability of complex mud roof of coal roadway is effectively in control under the mining pressure, which consequently verifies the validity of deformation and damage mechanisms of complex type of stress dilatancy expansion and the effectiveness of coupling support proposed in this paper, meanwhile it also provides the reference to the similar engineering geologic condition of coal roadway.

**Keywords** mining dynamic load; coal roadway; coupling support; complex mud roof; stability analysis

### 0 引言

随着国家“西部大开发、西电东送、南水北调”战略的实施,中国工业化水平逐步提高,能源的需求量日益增加,而 80%的能源来自煤炭。然而浅部易开采能源的大多数已开采完毕、大断面的煤巷不断出现、各种复杂地质条件接踵而至,在锚杆锚索支护技术基础上,探索适应采动应力作用下复合顶板软岩煤巷的支护体系和支护参数越来越重要,同时还要

满足安全和经济的双重要求,目前主要是以锚网、锚网索等耦合支护体系作为软岩巷道稳定性控制新技术<sup>[1,2]</sup>。高家梁矿井 20307 综采工作面皮带巷道顶板为复合型泥质软岩,在采动应力作用下易产生顶板离层、冒落、锚固体系锚固失效、渗水、断面收缩等现象,原有单一支护方案不能确保煤巷继续正常生产,需要提出新的支护对策。本文在前人研究成果<sup>[3-9]</sup>的基础上,通过岩体微观特性分析和钻孔窥视仪对煤巷松动

收稿日期:2013-05-16;修回日期:2013-06-07

基金项目:国家自然科学基金项目(51274109);辽宁省高等学校杰出青年学者成长计划项目(LJQ2011031)

作者简介:张树光,教授,研究方向为岩土工程和地下工程,电子信箱:dhsksyp@yeah.net

圈探测,确定泥质顶板煤巷变形破坏力学机制为应力扩容膨胀型复合地质软岩,提出锚网索带注的耦合支护对策机制,利用FLAC<sup>3D</sup>对采用耦合支护对策后泥质复合顶板稳定性进行数值分析,并对煤巷变形现场监测。

### 1 工程条件分析

#### 1.1 工程概况

2<sup>#</sup>煤层位于高家梁煤矿-200m综合开采区内,煤层自然厚度0~9.22m,平均5.70m,主采煤层为侏罗系中下统延安组(J<sub>1-2</sub>)。可采区内资源储量利用厚度0.80~8.95m,平均3.56m。该煤层层位较稳定,厚度变化有规律可循,总的变化趋势是南北较厚,向东西两侧变薄,结构简单。煤层资源利用厚度的变异系数58%,点数可采系数90%,面积可采系数83%,属大部可采的较稳定煤层。顶板岩性多为砂质的细砂岩;底板岩性以砂质泥岩、粉砂岩为主,局部为细砂岩、泥岩。2<sup>#</sup>煤层顶底板岩性柱状图如图1。以20307皮带顺槽巷道作为研究对象,断面设计为矩形,尺寸为5.4m×3.2m(宽×高),主要用于运煤和通新鲜空气。皮带巷道受过20306工作面及2<sup>#</sup>煤层20107工作面的两次采动应力作用,加上自身工作的扰动影响,所以20307皮带巷道目前是受多次采动应力影响,属于典型受采动应力影响泥质复合顶板软岩巷道。

标本号	柱状	厚度/m	岩性描述
Z2Z-1	砂质泥岩	5.6	砂质泥岩,灰色-深灰色,含云母和植物化石碎片,碳屑较多,偶见黄铁矿结核,水平层理,较硬
Z2Z-2	煤	4.7	煤,黑色,块状-碎块状,有裂隙,且含水,丝绢光泽,夹沥青光泽条带,暗淡型,含少量黄铁矿结核
Z2Z-3	砂质泥岩	3.0	砂质泥岩:灰色,块状,水平层理,局部可见薄层状中砂岩,含云母、煤屑及植物化石碎屑
	未见底		

图1 2<sup>#</sup>煤层顶底板岩性柱状图

Fig. 1 Histogram of roof and floor rocks properties in No. 2 medium coal seam

#### 1.2 岩体微观特性分析

2<sup>#</sup>巷道顶板岩石中的颗粒主要成分为黏土质颗粒、石英、云母和少量岩屑。胶结极为松散,导致遇空气风化、遇水后迅速软化,而后泥化。根据偏光显微镜和扫描电镜下的不同特征给出了微观结构特征和微观结构特征<sup>[9]</sup>,如图2所示。

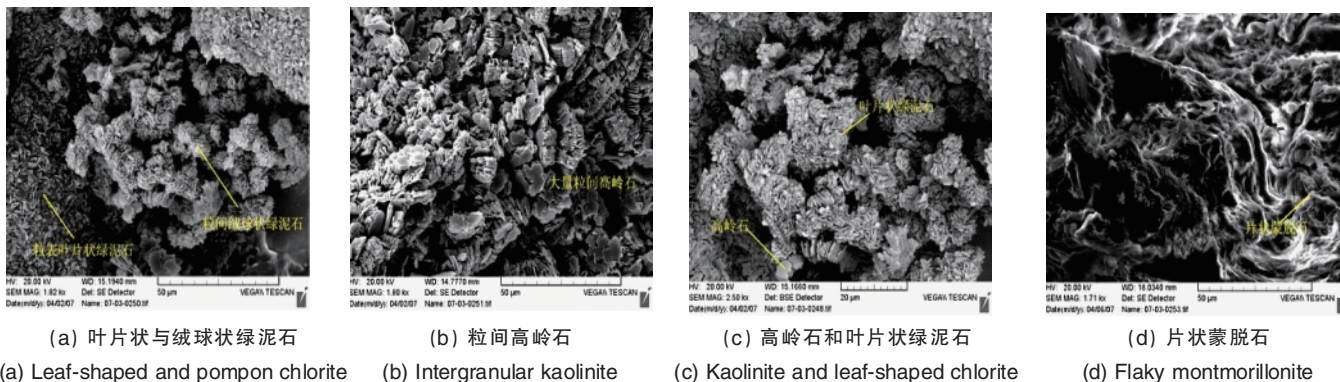


图2 软岩巷道顶板岩体微观结构特征

Fig. 2 Microstructure characters of roof in soft rocks roadway

2<sup>#</sup>煤层软岩巷道顶板岩石中的膨胀性矿物主要为高岭石、蒙脱石、绿泥石。软岩中含有绿泥石、高岭土等黏土矿物,与斜长石相比,伊利石、蒙脱石含有更多的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和K<sub>2</sub>O和较少的CaO、SiO<sub>2</sub>。

由表1可知,绿泥石层间含有H<sub>2</sub>O质量分数远大于斜长石、石英等,高岭石和蒙脱石含有Al、K和Mg的质量分数都比较大,这对巷道岩体特性有很大影响,化学成分分析和岩相学所观察结果相一致。软岩巷道顶板岩体宏观结构节理

表1 软岩巷道顶板主要矿物质量分数

Table 1 Contents of main minerals of roof in soft rocks roadway

序号	岩石名称	岩石化学元素								
		Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	O	H <sub>2</sub> O
1	绿泥石	0.29	3.21	8.97	18.39	0.33	1.09	13.04	35.58	19.32
2	高岭石	0.36	1.02	16.43	26.09	0.44	0.78	3.97	46.66	4.26
3	蒙脱石	0.54	2.24	48.25	14.25	0.54	0.87	5.47	24.25	7.58

和裂隙比较发育,尤其含有砂质泥岩和粉砂岩,巷道掘进后地应力赋存情况发生改变,裂隙贯通和扩展能力变强,泥质复合顶板中均含有膨胀性很强的高/蒙混合层,吸水后岩体迅速膨胀,失水后岩体体积突然变小,导致顶板岩体崩解。

表 2 列出了 2<sup>#</sup>煤层 20307 工作面不同岩组的物理力学

特性,与表 1 可以相互验证,软岩巷道复合顶板强度较低,尤其是巷道主要揭露的粉砂岩、砂质泥岩强度甚低。此外,软岩煤巷顶板岩体吸水性较强,软化吸水系数较小,吸水后一方面强度降低幅度较大,另一方面软岩吸水膨胀产生较大应力,对采动应力作用软岩巷道支护极为不利。

表 2 不同岩组的物理力学特性

Table 2 Physical and mechanical properties of different rocks

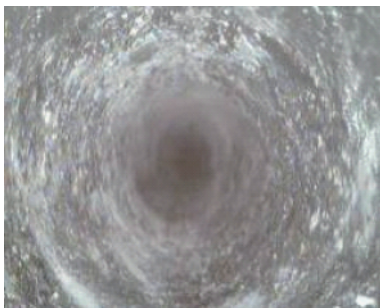
岩性	容重 <i>I</i> /(kN·m <sup>-3</sup> )	孔隙率 <i>I</i> %	吸水率 <i>I</i> %	抗压强度 <i>I</i> /MPa	软化 系数	抗拉强度 <i>I</i> /MPa	弹性模量 <i>I</i> /GPa	泊松比	黏聚力 <i>I</i> /MPa	膨胀率 <i>I</i> %	内摩擦角 <i>I</i> (°)
顶板泥岩	20.1	14.25	5.48	12.4	0.36	1.03	4.16	0.28	6.7	0.47	46
煤	13.0	—	2.03	—	—	—	2.12	0.22	1.3	0.83	42
底板泥岩	19.4	12.47	3.25	11.6	0.32	1.01	3.27	0.19	3.8	0.52	34

## 2 采动应力作用软岩煤巷变形破坏机制及对策分析

### 2.1 采动软岩巷道围岩松动圈分析

20307 工作面皮带顺槽受 20306 及 2<sup>#</sup>煤层的 20107 工作面多次开采动荷载作用巷道变形严重,且两帮局部出现帮劈及偏帮现象。为研究 2<sup>#</sup>煤层 20307 皮带巷道受多次采动应力作用变形破坏区域,采用 SYS(B)矿用钻孔窥视仪对巷道松动圈进行探测。在距离工作面 50m 和 30m 位置处建立两个测站,每个测站进行 3 次钻孔观测,具体的观测结果如图 3 和图 4 所示。

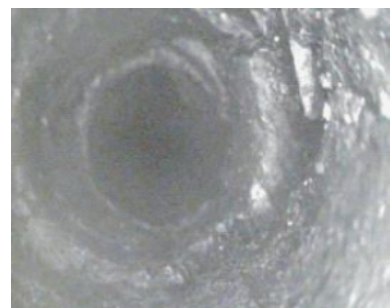
由图 3 和图 4 可看出,可判断出 2<sup>#</sup>煤层 20307 皮带顺槽受多次采动应力作用下巷道变形破坏区域最大值为 2020mm,最小值 1740mm。20307 皮带顺槽巷道变形严重,且两帮局部出现帮劈和偏帮现象,受 20306 和 20107 工作面两次开采动荷载作用,还受到自身采动应力作用,部分锚索受力明显,局部顶板锚杆有效锚固上方出现离层,有冒顶危险,必须对未受采动应力影响段巷道两帮进行锚杆结合网片加固,对已受采动应力影响作用巷道表面采用锚网索补强加固措施,这样才能保证巷道的整体稳定和安全。



(a) 顶板 1810mm 环向裂隙  
(a) Ring fissure roof 1810mm



(b) 顶板 1990mm 环向裂隙  
(b) Ring fissure roof 1990mm



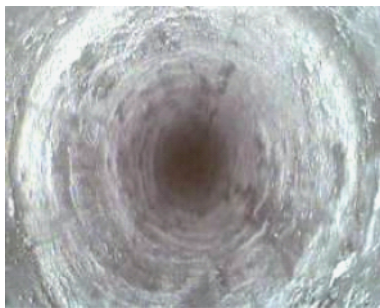
(c) 帮部 1870mm 环向裂隙  
(c) Ring fissure sidewall 1870mm

图 3 XI 测站窥视图

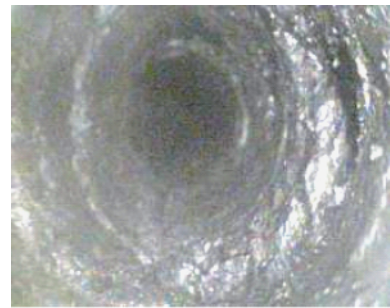
Fig. 3 Peeping graph of measurement station XI



(a) 顶板 1740mm 纵向裂隙  
(a) Longitudinal fissure roof 1740mm



(b) 顶板 2020mm 环向裂隙  
(b) Ring fissure roof 2020mm



(c) 帮部 1860mm 环向裂隙  
(c) Ring fissure sidewall 1860mm

图 4 XII 测站窥视图

Fig. 4 Peeping graph of measurement station XII



## 2.2 采动软岩巷道变形破坏机理分析

2<sup>#</sup>煤层为高家梁矿井主要开采水平,平均埋深约为200m,围岩处于较低地应力场的赋存环境中且受构造应力场影响较小,主要受自重应力场和巷道掘进产生的工程偏应力场影响,高家梁井田属于简单构造地质软岩矿井(I<sub>AB</sub>)。矿井岩层中多为裂隙水,水量不大,故水仅对岩体产生软化作用而非动力作用。现场巷道破坏调查分析得到损坏巷道围岩节理裂隙较为发育且裂隙之间相互贯通,这是因在工程荷载作用下引起的应力扩容现象。巷道围岩在自重应力及工程偏应力作用下引起岩体裂隙的扩容,说明该软岩是应力扩容型变形力学机制(II<sub>BD</sub>III<sub>DA</sub>)。根据地质资料巷道顶底板岩体主要为深灰色的砂质泥岩,岩体中泥质多为黏土矿物成分,易吸水膨胀软化。依据室内试验所得岩石物理力学参数表明,砂质泥岩强度较低,单轴抗压强度为12.4MPa,抗拉强度为1.03MPa。综上分析可知,2<sup>#</sup>煤层20307工作面软岩巷道可判定为应力扩容膨胀型复合地质软岩。

## 2.3 采动复合顶板煤巷支护对策分析

经过2<sup>#</sup>煤层20307工作面软岩巷道力学机制分析,确定变形破坏力学机制为复合型I<sub>AB</sub>II<sub>BD</sub>III<sub>DA</sub>机制,针对这一复合机制,采用“锚网索带注”的耦合支护设计方案,20307工作面布置情况和巷道支护设计详细如图5和图6所示。锚为高强度锚杆,网为金属网,索为高强度锚索,带为圆钢钢带,注指的是采动应力作用下巷道水患区中注浆,这种耦合支护体系

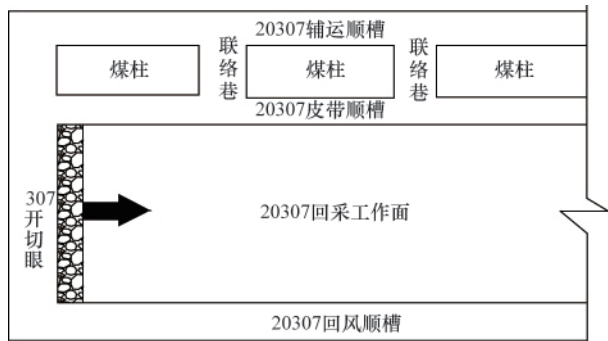


图5 20307工作面布置情况

Fig. 5 Layout of working face 20307 roadway

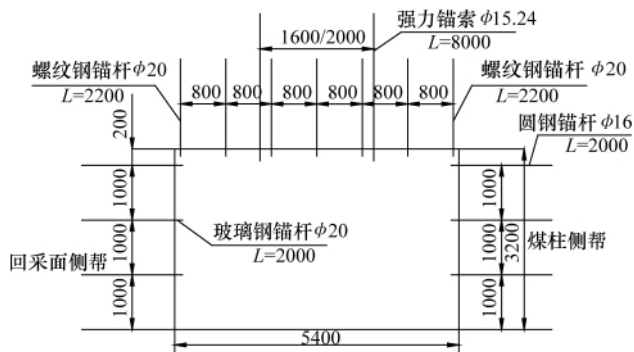


图6 巷道支护剖面图(单位:mm)

Fig. 6 Profile layout of coupling support roadway (unit: mm)

属于典型的柔性支护。按照悬吊理论,高强锚杆把破碎围岩“悬吊”在稳定岩层中,前面已用钻孔窥视仪测到松动圈范围,锚杆长度一定要超过该范围,这样支护才能具有有效性和可靠性<sup>[4]</sup>。金属网在施工时紧贴巷道顶板或两帮的壁面,金属网会起到柔性支护的作用,把破碎的围岩兜在围岩表面,发挥其自承重能力。锚索是把松动圈内的松散破碎岩体锚固在稳定的深层基岩中,充分发挥锚索强度高,刚度大的优势,对整个支护体系起最重要的作用<sup>[10]</sup>。钢带是配套在锚杆和锚索支护中作为配套构件使用,主要是使锚杆或者锚索受力均匀。注浆是针对采动应力作用软岩巷道出现的水患区,注射高强度速凝的水泥浆,提高围岩整体的强度和稳定性<sup>[11]</sup>,保证巷道不因煤体或岩体的局部破坏导致整个支护体系失效。“锚网索带注”耦合支护体系遵循动态设计支护、三高一低和松动圈等原则,可以实现巷道多层有效拱结构,允许围岩释放出一定的膨胀能量。与其他支护形式相比,锚网索带注耦合支护能最大限度地利用围岩的自承能力、发挥锚杆的支护能力和调动深部围岩的强度,从而使围岩和锚杆、锚索、网等支护体达到优化组合,实现支护一体化和荷载均匀化,最终实现支护系统的最佳耦合支护状态,进而达到控制围岩稳定性的目的<sup>[12]</sup>。

## 3 动压软岩煤巷泥质复合顶板稳定性数值研究

### 3.1 计算模型分析

数值试验是以高家梁矿井20307工作面皮带顺槽为工程背景,建立的数值试验区域宽×高×长=60m×60m×54m,皮带煤巷尺寸为5.4m×3.2m×54m(模型尺寸选取满足计算精度要求的5%以内),长为沿煤巷轴向掘进方向,宽高为煤巷断面的大小,共划分27400个单元和29811个节点,此次数值模拟建立的FLAC<sup>3D</sup>模型如图7所示。

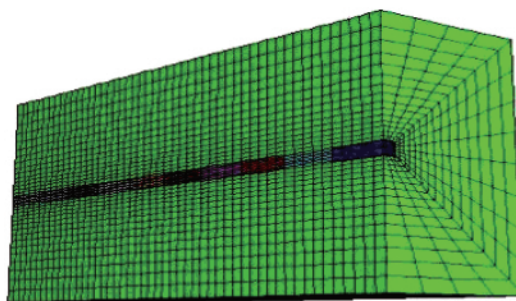


图7 三维数值模拟模型

Fig. 7 Three-dimensional numerical simulation model

计算模型本构关系和破坏准则均采用Mohr-Coulomb塑性本构关系和Mohr-Coulomb破坏准则对采动应力作用煤层泥质复合顶板的稳定性进行计算,模型侧面限制水平移动,底表面限制竖直移动,模型上表面作为自由表面处理,由于模型巷道处于200m的深度水平上,上部按200m埋深的补偿荷载施加约为5.0MPa。涉及工程岩体的物理力学计算参数如

表 2 所示。模型煤层采用 Brick 实体单元模拟,用 Cable 结构单元来模拟锚杆和锚索,用 Shell 结构单元模拟金属网,金

属网弹性模量为 16GPa,泊松比为 0.41,厚度为 8mm。锚杆锚索等支护材料的物理力学计算参数详见表 3 所示。

表 3 锚杆锚索力学参数

Table 3 Anchor and cable mechanical parameters

锚杆类型	弹性模量/GPa	水泥浆黏结强度/MPa	水泥浆剪切刚度/GPa	水泥浆外圈周长/mm	横截面积/mm <sup>2</sup>	抗拉强度/MPa	预应力/kN
螺纹钢锚杆	205	116.18	11.50	87.92	314.0	510	80
玻璃钢锚杆	235	233.60	11.50	87.92	314.0	620	80
锚索	205	311.80	5.37	87.92	182.4	1680	100

### 3.2 煤巷围岩变形特性模拟结果分析

为深入研究采动应力作用泥质复合顶板软岩巷道的围岩顶板变形破坏情况,采用有限差分 FLAC<sup>3D</sup> 软件模拟在无支护和耦合支护条件下巷道开挖后不同步围岩表面变形特

征,通过 FLAC<sup>3D</sup> 软件的 History 记录功能对 20307 工作面皮带巷有无支护条件下的位移场作进行监测,比较不同步软岩巷道围岩位移场的变化,分析软岩巷道围岩位移场变化规律,提取模型巷道表面各监测点的位移记录值如图 8 所示。

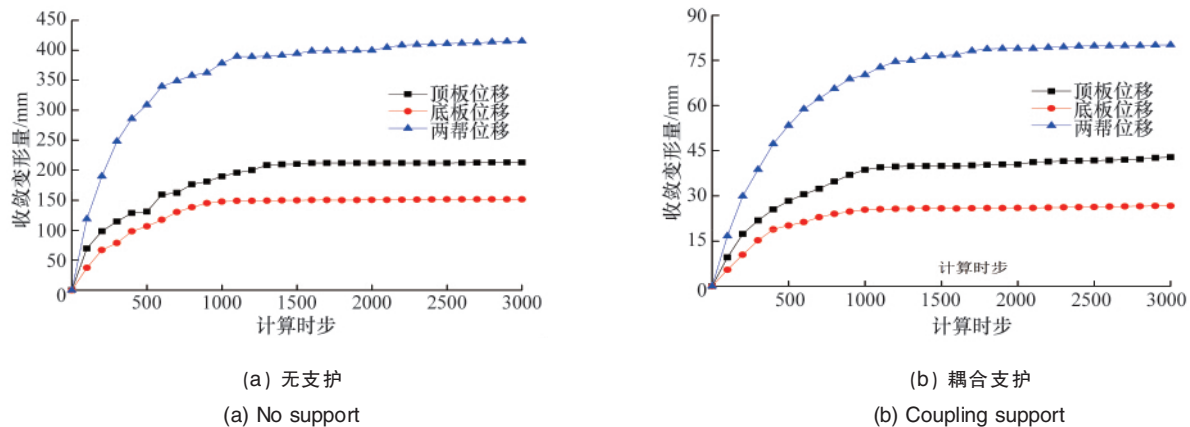


图 8 巷道围岩位移随时间变化曲线

Fig. 8 Changing curves of displacement of surrounding rock with time variation

由图 8 分析可知,在采动应力作用下,软岩巷道围岩的顶板、底板和两帮位移场都随时间的延续而逐渐增大且最终趋于稳定的趋势。模型巷道采用耦合支护方案后,软岩巷道变形量的变化率达到 79.90%~82.41%,其中顶板位移由 212.85mm 降低至 42.78mm,下降率为 79.90%,底板位移由 151.65mm 降低至 26.68mm,下降率为 82.41%,巷道两帮中部向内收敛量由 415.19mm 降低至 80.21mm,下降率为 80.68%。采动应力作用下软岩巷道进行耦合支护后,围岩表面变形得到有效的控制,这说明“锚网索带注”耦合支护设计方案对软岩煤巷稳定性与安全性有显著提高。

## 4 采动软岩煤巷泥质复合顶板稳定性现场监测

### 4.1 软岩巷道围岩顶板离层分析

为保证受多次采动应力作用皮带巷道软岩巷道围岩稳定性,避免顶板可能发生破坏和冒落,采用 LBY-3 型顶板离层指示仪对顶板离层进行监测。在 2<sup>#</sup>煤层 20307 工作面皮

带巷道布置 3 个监测站,分别离 20307 大巷开切眼 40、70、100m 的位置处,接近监测站时监测频率是每天 1 次,其他位置每两天 1 次,进行现场监测数据处理分析,及时发现情况并调整支护参数。为研究锚固范围内和锚固范围外顶板变形效果,顶板离层变形监测曲线如图 9 所示。

从图 9 可知,随着监测站离回采工作面的距离越来越近,皮带顺槽是受多次采动应力影响的巷道,巷道顶板在不同深度处岩层位移量呈增大走向,最终都趋于稳定,这不仅是因为煤巷进行回采造成离层变形值增大,还是巷道自身围岩二次应力重分布达到新平衡,导致监测不同深度处的离层变形曲线趋于稳定。在锚杆锚固范围内泥质复合顶板最大离层值 29.03mm,锚固范围外最大离层 21.37mm。煤巷掘进大约 10d 时,锚固范围内顶板离层值增长速率较大,而锚固范围外则增长缓慢,在 20~45d 时不同深度处顶板离层值剧增,这是因回采工作面掘进至监测站布置的巷道断面造成的。结果显示,顶板锚固支护效果良好,初步达到耦合支护方案设计的预期结果。

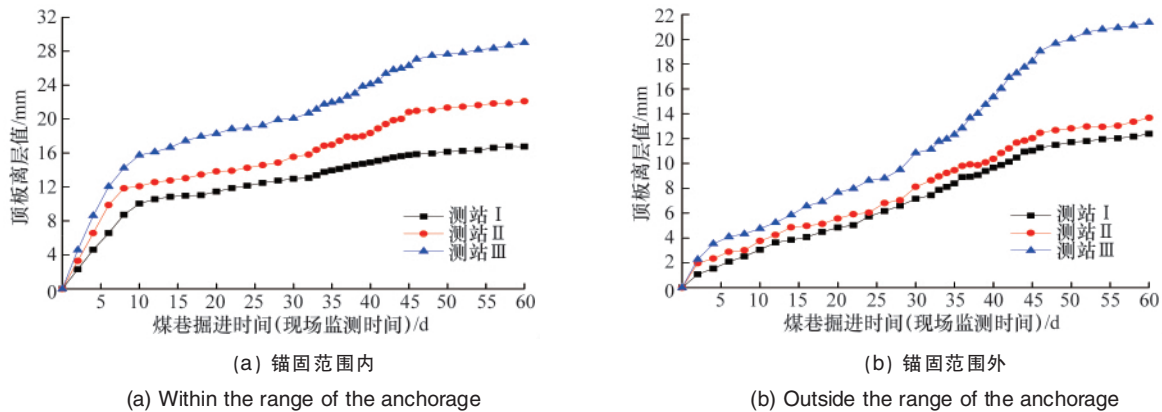


图9 顶板离层监测变形曲线  
Fig. 9 Measuring deformation curves of roof separation

4.2 巷道围岩表面收敛分析

为研究受多次采动应力作用软岩泥质复合顶板巷道耦合支护的支护效果,采用十字布点法监测围岩表面变形情况。掌握回采过程中软岩巷道围岩受不同程度采动应力作用

的稳定性状态,判断围岩稳定性、支护可靠性、确保施工安全及结构的长期安全性。巷道表面变形监测曲线和变形速率曲线如图10所示。两帮相对移近变形在0~10d变性增长较快,最大值为6.54mm/d,具有较明显的软岩流变特性。顶板

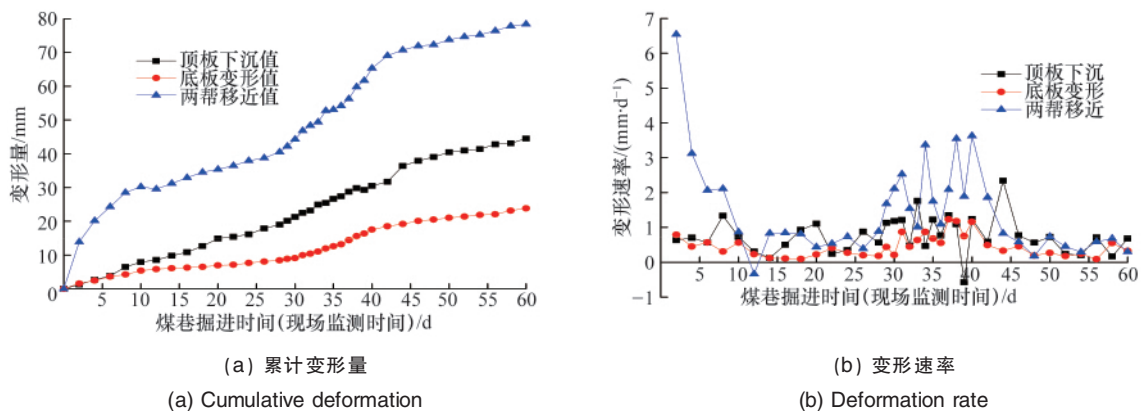


图10 巷道围岩变形监测  
Fig. 10 Measuring deformation of surrounding rocks roadway

沉降值和底板变形值随时间稳步增长,变形收敛速率在-1.57~1.76mm/d之间波动变化,而两帮移近变形速率波动较大,大约在45~60d时,顶板、底板和两帮变形都有稳定的发展趋势,变形速率在0~1.0mm/d。以泥岩为主复合顶板和泥岩底板的采动应力作用软岩巷道,巷道两帮移近与顶板下沉量相对较大,底板变形较小。从图10的变化趋势看出,顶板、底板和两帮的收敛变形得到了有效的控制,耦合支护结构设计体系的强度和刚度都能达到耦合设计要求,同时最大限度的发挥围岩和耦合支护结构自承能力,使支护体与围岩均与受荷,保证采动应力作用软岩巷道泥质复合顶板的稳定性。

钻孔窥视仪对煤巷松动圈探测,确定泥质顶板煤巷为应力扩容膨胀型复合地质软岩,变形破坏力学机制为复合型I<sub>AB</sub>I<sub>BD</sub>I<sub>DA</sub>机制,提出了锚网索带注的耦合支护对策机制。

(1) 利用FLAC<sup>3D</sup>对采用耦合支护对策后泥质复合顶板稳定性进行数值分析,结果表明,软岩巷道表面围岩的顶板、底板和两帮位移场都随时间的延续而逐渐增大且最终趋于稳定趋势。软岩巷道变形量的变化率达到79.90%~82.41%,其中顶板位移由212.85mm降低至42.78mm,下降率为79.90%。

(2) 通过对采动应力作用软岩巷道的现场监测,结果表明,随着监测站离回采工作面的距离越来越远,皮带顺槽是受多次采动应力影响的巷道,巷道顶板在不同深度处岩层位移量呈增大走向,最终都趋于稳定势,这不仅是因煤巷进行回采造成离层变形值增大,还是巷道自身围岩二次应力重分

5 结论

通过对高家梁矿2#煤层皮带巷道岩体微观特性分析和



布达到新平衡,导致监测不同深度处的离层变形曲线趋于稳定。顶板、底板和两帮的收敛变形得到有效的控制,耦合支护结构设计体系的强度和刚度都能达到耦合设计要求,同时最大限度的发挥围岩和耦合支护结构自承能力,使支护体与围岩均与受荷,保证采动应力作用软岩巷道泥质复合顶板的稳定性。

(3) 数值理论结果和现场监测结果表明,软岩煤巷泥质复合顶板稳定性得到有效控制,验证了应力扩容膨胀复合型破坏机理的正确性和耦合支护对策的有效性,为相似地质条件软岩煤巷支护提供参考。

### 参考文献 (References)

- [1] 何满潮, 景海河, 孙晓明. 软岩工程力学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.  
He Manchao, Jing Haihe, Sun Xiaoming. Soft rock engineering mechanics [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [2] 孟庆彬, 韩立军, 乔卫国, 等. 深部高应力软岩巷道变形破坏特性研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(4): 481-486.  
Meng Qingbin, Han Lijun, Qiao Weiguo, et al. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(4): 481-486.
- [3] 魏光远. 鄂尔多斯高家梁煤矿软岩巷道变形机制和支护方法研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2008.  
Wei Guangyuan. The deformation mechanism analysis and hamessing method of soft laneway in Gaojialiang coal mine [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008.
- [4] 唐建新, 邓月华, 涂兴东, 等. 锚网索联合支护沿空留巷顶板离层分析[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1827-1831.  
Tang Jianxin, Deng Yuehua, Tu Xingdong, et al. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1827-1831.
- [5] 刘海燕, 伍法权, 李增学, 等. 兖州煤田主采煤层顶板稳定性特征分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(7): 1450-1456.  
Liu Haiyan, Wu Faquan, Li Zengxue, et al. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 25(7): 1450-1456.
- [6] Wang S L, Zheng H, Li C G. A finite element implementation of strain-softening rock mass[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2011, 48(1): 67-76.
- [7] 岳中文, 杨仁树, 闫振东, 等. 复合顶板大断面煤巷围岩稳定性试验研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(S1): 47-52.  
Yue Zhongwen, Yang Renshu, Yan Zhendong, et al. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S1): 47-52.
- [8] 勾攀峰, 辛亚军. 大倾角煤层回采巷道顶板结构体稳定性分析[J]. 煤炭学报, 2011, 36(10): 1607-1611.  
Gou Panfeng, Xin Yajun. Journal of China Coal Society, 2011, 36(10): 1607-1611.
- [9] 张百胜, 康立勋, 杨双锁. 大断面全煤巷道层状顶板离层变形模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(3): 264-267.  
Zhang Baisheng, Kang Lixun, Yang Shuangshuo. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(3): 264-267.
- [10] 王进锋. 高应力软岩回采巷道锚杆(索)耦合支护技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.  
Wang Jingfeng. Research on bolt and tight wire coupled support of gateway with high geo-stress soft rock [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2008.
- [11] 宋晓辉. 锚注加固软岩巷道机理分析及合理注浆时间的确定[D]. 泰安: 山东科技大学, 2006.  
Song Xiaohui. Mechanics analysis of soft rock tunnel with bolt-grouting support and the define of proper grouting time [D]. Taian: Shandong University of Science and Technology, 2006.
- [12] 何满潮, 孙晓明. 中国煤矿软岩巷道工程支护设计与施工指南[M]. 北京: 科学出版社, 2004.  
He Manchao, Sun Xiaoming. Support design and construction guide of soft rock roadway engineering in Chinese coal mines [M]. Beijing: Science Press, 2004.

(责任编辑 吴晓丽)

### ·学术动态·



中国科学技术协会

## 确定 2013 年度中国科协学会改革发展基础工程项目

为了进一步促进学会的改革发展,加强学会能力建设,中国科协学会学术部组织专家对 2013 年度中国科协学会改革发展基础工程项目进行了评审,共确定中国兵工学会等 63 家单位承担 2013 年度中国科协学会改革发展基础工程项目。

获经费支持的项目,在对外发布、宣传、组织成果鉴定、申报奖励时,均应标明为中国科协学会改革发展基础工程项目资助。中国科协学会学术部将对项目进展情况安排检查,项目成果的所有权属于中国科协。

详情见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/14896124.html>。