

用相似模拟物理模型研究矿山压力

闫立章

(鹤岗矿业集团公司,黑龙江 鹤岗 154100)

摘要:在研究矿山压力的过程中,引进了相似模拟的概念,其目的是将井下巷道围岩受采动压力影响的过程用相似模拟材料直观地显现出来,并通过建立物理模型的方式,反映采煤工作面向前推进过程以及顶板围岩形成比“三带”空间的变化规律。实验证明,采动覆岩破裂高度在非充分采动阶段随工作面推进而增大,在充分采动前约为采空区短轴跨度之半,采动覆岩破裂高度受采空区短轴跨度所控制。

关键词:矿山压力;相似模拟材料;采动覆岩移动规律

中图分类号:TD315+.3

文献标志码:A

文章编号:1008-4495(2009)04-0020-03

相似材料模拟研究是目前矿山压力的研究手段之一,也是近年来矿山压力研究中的一个新领域。相似模拟是根据原苏联学者兹涅佐夫提出的相似理论,并以此为依据而形成的一整套从物理试验、力学试验、模型试验直到工程实践的研究方法,为在实验室中试验测定矿山压力提供了一种新方法。

相似模拟分类:一种是实验室中的物理模型法,这是一种利用实物的方法,统称相似模拟^[1]。首先测定工作面岩层的物理力学参数,然后在一定的模型架中以一定比例制成模型,使其物理力学性质按相同比例变化,以模拟的方法去研究现场真实的全过程及规律,这种方法就叫相似模型法^[2]。另一种是数学模拟法,用电子计算机按一定的程序替代物理过程进行模拟计算而取得结果。

1 运用相似模拟法进行矿压研究

现场矿山压力的研究,需要较多的人力、物力,工作量大,耗时多,周期长,费用大,而围岩的变化过程和内应力的作用情况都不可能直接观测到,在观测时又经常受到生产作业的影响,难以取得较好的效果。用相似材料模型试验可以直接观测到矿山压

力变化的整个过程和内应力作用情况,能人为地依据井下矿山压力中围岩的条件进行新技术、新方案的试验,并能提供较有价值的参考数据,从而可解决目前理论分析中尚不能解决的一些问题。

但是,相似模型方法也有一定的局限性。现场岩石力学及矿山压力的活动规律、受力状态等较复杂,弱面、层理、节理较多,发育不同,直接影响矿山压力的观测活动规律。因此,相似模型方法必须与现场实测、理论分析方法相互配合,才能达到预期的效果。

2 试验研究方法

依据现场岩层柱状图和煤、岩石力学性质,按照相似材料理论和相似准则制作与现场相似的模型,然后进行模拟开采,在模拟开采过程中对开采引起的覆岩移动情况以及支承压力分布情况进行连续观测。

在做相似材料模拟实验时,尤其是大比例模型实验,当基岩厚度较大时,模型只铺设到需要考察和研究的范围为止。其上部岩层不再铺设,而以均布载荷的形式加在模型上边界,所加载荷大小为上部未铺设岩层的重力。这一方法建立在牛顿力学相似理论基础之上,其满足条件是模型和被模拟体必须保证几何形状方面、质点运动的轨迹以及质点所受的力必须相似^[3]。

2.1 相似材料组成

相似材料主要包括填料(骨料)和胶结物。填料多用河沙、云母粉、滑石等,胶结物有石膏、石蜡、碳酸钙、水泥等。对于模拟上覆岩层的运动,相似材料

收稿日期:2009-04-27;2009-05-11 修订

作者简介:闫立章(1955—),男,河北昌黎人,在读硕士研究生,现任鹤岗矿业集团公司生产副总工程师,黑龙江龙煤矿业集团专家组成员,主要从事矿山采掘工作,2005年参与国家“十五”科技攻关项目,并作为子项目负责人完成了“煤矿瓦斯灾害治理技术集成与示范”工程,获中国煤炭工业科学技术一等奖。

的胶结物为石膏,同时加入碳酸钙,填料为河沙,各分层之间撒云母粉起分层作用。根据模拟对象及模拟比例的不同,可以通过不同配比的相似材料来实现^[4]。

2.2 试验手段及装备

相似模拟试验台共2种,即平面、立体相似模拟试验台。平面模拟试验台由框架、加载和测试系统组成。立体模拟试验台由平台、加载和测试系统组成。采用DH3815应变测试系统,可全程实现对应力、应变的监测。2个系统可对1000 m以上的矿井开采深度进行模拟。

2.3 相似模型设计

相似模拟实验选择鹤矿集团峻德煤矿三水平17号煤层综采二队工作面。

模型按1:100几何比例,实验推进长度为150 m,模型的相似条件如下:

1) 几何形状相似 设原型的3个相互垂直方向的尺寸为 X_p, Y_p, Z_p ,模型的相应尺寸为 X_m, Y_m, Z_m ,取长度相似系数 $C_l = Y_m/Y_p = Z_m/Z_p = 1/100$;

2) 时间相似 取时间相似系数 $C_t = T_m/T_p = \sqrt{C_l} = 1/10$;

3) 容重相似 设原型中第*i*层岩层的容重为 γ_{pi} ,相应的模型中该岩层的容重为 γ_{mi} ,取容重相似系数 $C_\gamma = \gamma_{mi}/\gamma_{pi} = 1/1.5$,则模型中各岩层的容重为 $\gamma_{mi} = \gamma_{pi}/1.5$;

4) 弹性模量相似 设原型材料的弹性模量为 E_{pi} ,材料模型的弹性模量为 E_{mi} ,则各分层的弹性模量相似系数 $C_E = E_{mi}/E_{pi} = C_l C_\gamma = 1/150$ 。

根据确定的材料比例,按下式计算模型各分层材料的质量:

$$Q = \gamma l b m k$$

式中 Q ——模型各分层材料质量;

γ ——材料的容重;

l ——模型长度;

b ——模型宽度;

m ——模型分层厚度;

k ——材料损失系数。

2.4 模拟开采与模拟岩层移动

模拟采场每天推进5 cm,相当于实际每天推进5 m,模型两端分别保留75 cm煤柱,以消除边界条件的影响。试验模拟采出率为50%,即模拟煤层下分层开采;当工作面推进到30 cm时,直接顶开始出现离层,并随即垮落,见图1。

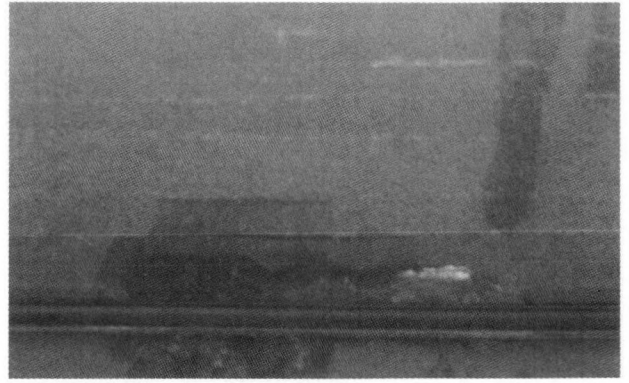


图1 工作面推进30 cm时直接顶垮落形态

当工作面推进到60 cm时,第1岩梁和第2岩梁(厚9 m中砂岩和14 m的细砂岩组成)老顶垮落并出现较大的离层,见图2。

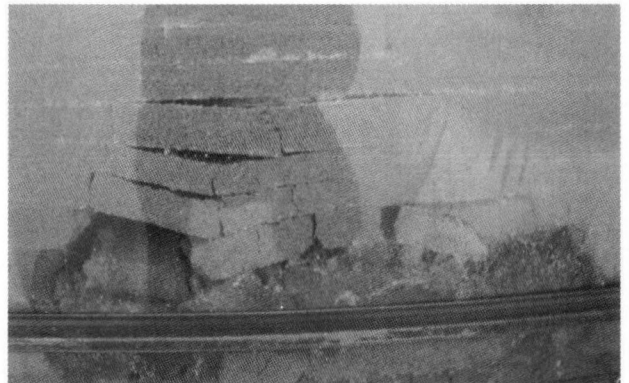


图2 工作面推进60 cm时老顶周期垮落形态

当工作面推进到90 cm时,第1岩梁、第2岩梁和第3岩梁(厚3.85 m的细砂岩、3.3 m的粉砂岩、1.55 m的细砂岩、1.9 m的粉砂岩、2.9 m的细砂岩、3.4 m的粉砂岩和1.4 m的粉中砂岩组成)发生离层,老顶第3次周期垮落,见图3。

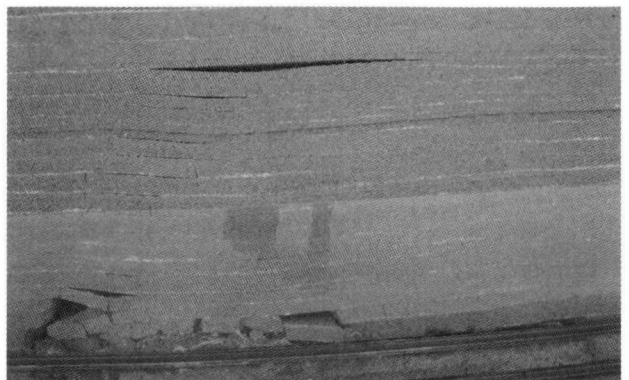


图3 工作面推进90 cm时老顶周期垮落形态

工作面从左向右推进到150 m时,上覆岩层的

运动规律为直接顶初次垮落,步距为30~35 m,周期垮落步距为15~20 m;老顶初次来压步距为45~55 m,周期来压步距为15~20 m,共经历7次周期来压。

2.5 覆岩变化规律

2.5.1 直接顶的破坏规律

直接顶的破坏随采场的推进处于不断的变化过程中。在一般情况下,直接顶中直接赋存于煤层之上的岩层在整个开采过程中随工作面的推进,一直呈不规则垮落,即垮落后散乱地堆积在采空区中,并逐渐被压实。从模型背面来看开切眼处和模型整体直接顶堆积状态,见图4。

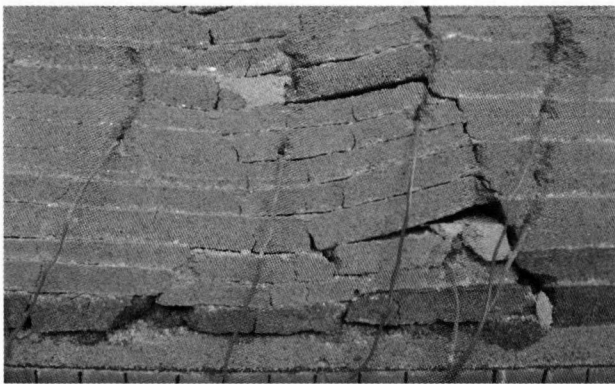


图4 模型直接顶堆积状态

直接顶的其他部分基本上呈规则垮落,即垮落后能保持原来的层序不变。但是直接顶的厚度和组成随工作面推进速度和工作面地质条件的变化,其厚度和组成也不断变化。当老顶下位岩层是非厚硬岩层时,直接顶和老顶将相互转化,当工作面推进的距离增大时,随悬垮长度的增加而垮落,并与其下部岩层成为一组同步运动。

在试验过程中,可观测到岩层之间发生离层的次序并非是逐层自下而上的,而是率先在采动覆岩中第1厚硬岩层的下部出现离层,随着工作面的推进离层裂隙长度和高度增加,其下伏岩组的挠曲变形下沉加剧,在岩组挠曲下沉过程中其组内岩层再依据岩性和厚度的不同依次发生离层,直至垮落,而采动覆岩中岩组之间的离层秩序仍是自下而上。

2.5.2 老顶的破坏规律

采场的上覆岩层的运动破坏呈现分组运动,即一组岩层以其下位的一个厚硬岩层为依托,产生协调一致的运动。

一般情况下上覆岩层并不是简单的一层一层由下而上运动,而是形成一个个组合结构有规律的运动,也可以认为覆岩就象一系列厚薄不均匀的岩板有序叠合,通常离层现象均出现在较坚硬岩层或几

个连续岩层组合起来的较硬岩层组的下方,说明硬岩层或组合起来的岩层在岩层移动过程中起主导作用。把上述这种岩层组合结构的运动机制抽象为在开采扰动下发生的多组合结构的弯曲组合,由于在组合结构中岩层挠度一般不同,故在组合结构中及组合结构间不可避免要产生离层。因此采用岩层组合结构的判断:当 $\omega_{s\max} = \omega_{x\max}$ ($\omega_{s\max}$, $\omega_{x\max}$ 分别为上下岩层的最大挠度)时两岩层同步运动,故属同一岩层组合结构;当 $\omega_{s\max} < \omega_{x\max}$ 时,两岩层分别运动,故不属同一组合结构,而是组合结构之间的分界,即离层可能发生的层位。

随着工作面推进,离层裂隙范围、高度增加,其与工作面之间近似呈线性关系,当发育到硬岩底部时,由于厚硬岩层的支撑作用,离层裂隙不再增加。在工作面推进过程中,若岩性较软,离层裂缝发育高度大;若岩性较硬,离层发育高度较小。但是,离层发育高度并不是无限制地向上发展。因为每组岩层都会因离层和裂隙的发育而产生一定的碎胀,因此可以从理论上推导出,在采场中当上覆岩层没有碎胀空间时,上部岩层就不会再产生离层裂隙。离层发展的高度会在某高度时趋于稳定,随后不再向上发展。

从以上分析可知,发生离层的位置主要在一些厚硬岩层的底部,在工作面推进过程中,其离层量、离层最大值位置是不断变化的。

3 上覆围岩破坏高度的基本规律

1) 当工作面推进30 m时,采动覆岩宏观破裂高度约为18 m;

2) 当工作面推进60 m时,垮落带高度为19.25 m,采动覆岩宏观破裂高度约为38 m;

3) 当工作面推进90 m时,垮落带高度为19.25 m,采动覆岩宏观破裂高度约为48 m;

4) 当工作面推进150 m时,垮落带高度为19.25 m,采动覆岩破裂高度发展到70.65 m。

4 结论

1) 从该试验中可以得出,直接顶初次垮落步距为30~35 m,周期垮落步距为15~20 m;老顶的初次垮落步距为45~55 m;老顶周期垮落步距平均为15~20 m。

2) 采动覆岩离层是岩层移动过程中的普遍现象。离层一般不从“层内层理面”自下而上逐层发

(下转第34页)

位沉降值所属破坏等级以及各个等级沉降区域的面积,确定出沉降危险区域并及时将该区域的房屋按

照破坏等级要求进行修补或拆除,结果见表2。由综合评价得出各等级房屋破坏点位见表3。

表2 沉降区域面积及比例

沉降等级	斜率评价		曲率评价		综合评价	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
I级	21.886	98.54	22.084	99.43	21.818	98.24
II级	0.305	1.37	0.125	0.57	0.373	1.68
III级	0.018	0.09	0	0	0.018	0.08
总计	22.209	100	22.209	100	22.209	100

表3 砖石结构建筑物破坏及解决方法

破坏等级	主要点位	解决方法
I级	除II级、III级、IV级外的所有点位 大屯建安公司构建厂附近,大屯煤电汽	正常,不修
II级	车运输公司,中心医院附近,公司第一 小学,公司二中,矿工俱乐部,选矿厂	小修
III级	康乐新村附近	中修

3 结论

大屯矿区超采地下水已经导致了较严重的地面沉降,对建筑物造成了不同程度的破坏,且随着地下水的持续过量开采,地面沉降及其产生的负面效应将越来越严重^[6]。评价结果表明,地面沉降对砖石结构建筑物破坏达到I,II,III级以后,各个等级破坏的面积分别为21.818,0.373,0.018 km²,应根据对应表中不同破坏程度的解决方法对大屯矿区的建筑物进行检查与维护。同时,为了更好地控制地面

沉降,应采取有效措施,控制其主要因素,即控制地下水超开采。

参考文献:

[1] 大屯煤电公司特殊建筑基础工程总公司. 大屯煤电公司中心区第四纪I II含水地下水动态与地面沉降观测报告[R]. 1995.

[2] 白世彪,陈晔,王建. 等值线绘图软件SURFER 7.0中9种插值法介绍[J]. 物探化探计算技术,2002,24(2): 157-162.

[3] Surfer 7.0 Help file, Gold software Inc., 2002.

[4] 白世彪,闫国年,杨一鹏. 关于ArcGIS和Surfer 7.0文件的转换方法[J]. 测绘通报,2005(2).

[5] 何国清,杨伦,凌赓娣,等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1991.

[6] 胡炳南. 地下水开采引发地面沉陷损害问题探讨[J]. 煤矿开采,2006(8).

(责任编辑:吴自立)

(上接第22页)

展,而是首先从近场覆岩中刚度差最大的2组岩层之间的“层间层面”上开始,即组间先离层,组内后离层。

3) 采动覆岩离层空间的纵向传递以岩层组为序,自下而上逐组进行。下一岩层组离层空间的闭合是上一岩层组离层发育的前提^[5]。

4) 组合运动是采动覆岩移动过程中的又一普遍现象和规律,即一组岩层以其下位的一层厚硬岩层为依托,产生协调一致的运动。

5) 采动覆岩破裂高度在非充分采动阶段随工作面推进而增大,在充分采动前约为采空区短轴跨度之半。采动覆岩破裂高度受采空区短轴跨度所控制^[6]。

6) 覆岩第1厚硬岩层位置对顶板结构及矿压显现影响明显。

参考文献:

[1] 蔡美峰,何满朝,刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社,2002.

[2] 林韵梅. 实验岩石力学——模拟研究[M]. 北京:煤炭工业出版社,1984.

[3] 王克忠,李仲奎. 深埋长大引水隧洞三维物理模型渗透性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(4):725-731.

[4] 王思敬. 论岩石的地质性及其岩石力学演绎[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(3):433-450.

[5] 谷德振. 岩体工程地质力学基础[M]. 北京:科学出版社,1979.

[6] 胡耀青,赵阳升,杨栋,等. 带压开采顶板破坏规律的三维相似模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(8): 1239-1243.

(责任编辑:卫蓉)