

# 近距离煤层下行开采矿压显现规律相似模拟研究

邓雪杰<sup>1,2</sup>, 殷伟<sup>1,2</sup>, 张强<sup>1,2</sup>, 安百富<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116; 2. 煤炭资源与安全开采国家重点实验室 江苏 徐州 221008)

**[摘要]** 为了研究近距离煤层下行开采的矿压显现规律, 采用相似模拟的研究方法, 以木瓜煤矿西二盘区煤层赋存特征为原型, 以实验室测得的煤层及围岩物理力学参数为基础, 在实验室模拟下行开采近距离煤层, 得出了近距离煤层开采上覆岩层移动特征和矿压显现规律, 主要表现为下煤层开采过程中工作面压力大, 来压周期性不明显及垮落角大于上层煤等特点。

**[关键词]** 近距离煤层; 下行开采; 相似模拟; 矿压显现

**[中图分类号]** TD32 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2011) 03-0124-04

## Analogous Simulation of Underground Pressure Behavior of Downward Mining Near Coal-seams

DENG Xue-jie<sup>1,2</sup>, YIN Wei<sup>1,2</sup>, ZHANG Qiang<sup>1,2</sup>, AN Bai-fu<sup>1,2</sup>

(1. Mining Engineering School China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China;

2. State Key Laboratory of Coal Resource & Safe Mining Xuzhou 221008, China)

**Abstract** In order to research underground pressure behavior of downward mining near coal-seams taking west 2nd panel coal-seam occurrence of Mugua Colliery as an example and applying analogous simulation, movement characteristic of overlying strata and underground pressure behavior rule was obtained on the basis of physical and mechanical parameters of coal and rock samples from the colliery. In mining lower coal-seam, underground pressure was larger, periodical underground pressure was not obvious and caving angle was larger than that of higher coal-seam.

**Key words** near coal-seams; downward mining; analogous simulation; underground pressure behavior

木瓜煤矿西二盘区有 9 煤与 10 煤 2 层可采煤层, 层间距只有 2~10m, 属于近距离煤层。近距离煤层群在开采过程中, 由于上位煤层开采过后引起回采空间周围岩层应力重新分布, 不仅在回采空间周围的煤柱上易造成应力集中, 而且该应力将向底板岩层深部传递<sup>[1]</sup>, 造成下位煤层开采时顶板破碎、来压剧烈以及回采巷道维护困难等现象。

由于岩层移动的影响因素多, 物理过程复杂, 目前尚未有满足实际工程需要的理论分析方法, 而实际测定仍是研究岩层移动规律的主要办法<sup>[2]</sup>。

本文以木瓜煤矿西二盘区实际地质资料为依据, 采用相似材料模拟试验的方法, 研究 9 煤、10 煤两层近距离煤层下行开采矿压显现规律, 对今后近距离煤层合理开采设计具有重要的指导意义。

## 1 煤层赋存条件及围岩物理力学性质

### 1.1 煤层赋存条件

木瓜井田(煤矿)位于河东煤田西北部, 中阳—离石向斜的一部分, 地层倾角 3~11°, 其内有宽缓起伏。井田西二盘区内可采煤层有 2 层, 为

9 煤和 10 煤。9 煤位于太原组中部, 厚度平均 1.9m, 在采区内煤层不稳定。10 煤位于太原组中下部, 厚度平均 2.83m, 为层位稳定的可采煤层。9 煤和 10 煤的顶底板条件见表 1。

### 1.2 煤及围岩物理力学性质

根据现场所取的煤样、岩样在实验室进行测试而获得的 9 煤、10 煤及相关围岩物理岩物理力学参数见表 2。

## 2 相似模型设计制作

### 2.1 相似理论

保证模型与原型初始状态和边界条件相似情况下, 通过对模型模拟开采, 观察, 观测在开采过程中模型顶板活动、变形、破坏规律和矿山压力显现规律, 然后按相似系数将观测的结果换算到实际原型上, 得到实际发生的各种规律<sup>[3-6]</sup>。

在规划模拟试验时, 遵守相似条件。按照一般的物理现象相似的要求, 模型(′)与原型(′)之间应满足基本相似条件。

本次试验的目的是通过相似模拟的实验方法,

**[收稿日期]** 2011-01-06

**[基金项目]** 国家自然科学基金重点项目(50834004); 中国矿业大学科技资金资助项目(2007B003)

**[作者简介]** 邓雪杰(1989-), 男, 山西大同人, 采矿工程硕士研究生, 从事岩层移动控制方面的研究。

表 1 钻孔综合柱状

岩石名称	深度 /m	厚度 /m	岩性描述
粉砂岩	242.35	1.9	灰黑色，层理发育破碎，含植物化石
细沙岩	245.94	3.59	灰白色，以石英为主，长石为次，含云母煤屑
泥岩	249.54	3.6	灰黑色，层理发育破碎，含植物化石
灰岩	253.56	4.02	青黑色，性脆，坚硬，裂隙发育
细沙岩	257.68	4.12	灰白色，以石英为主，长石为次，含云母煤屑
泥岩	258.78	1.1	黑色，质纯，疏松平坦状，参差状断口
灰岩	266.61	7.83	青黑色，性脆，坚硬，裂隙发育
砂质泥岩	272.52	5.91	灰黑色，斜层理发育，平坦状，参差状断口
石灰岩	278.31	5.79	0.8m青灰色细晶，微晶结构
细沙岩	281.13	2.82	灰白色，以石英为主，长石为次，含云母煤屑
泥岩	282.43	1.3	黑色，质纯，疏松平坦状，参差状断口
9煤	284.33	1.9	黑色，半亮暗型，块状，参差状断口
粉砂岩	291.27	6.94	灰黑色，由石英，长石，煤屑组成，有白云母，含黄铁矿，下部为灰色细砂岩 0.9m
粗砂岩	294.29	3.02	灰白色，以石英为主，长石为次，含云母煤屑
10煤	297.12	2.83	深黑色，半亮半暗型，块状，参差状断口
泥岩	299.84	2.72	黑色，质纯，疏松平坦状，参差状断口
粉砂岩	302.45	2.61	灰黑色，层理发育破碎，含植物化石

表 2 煤岩体物理力学参数

岩性	弹性模量 /GPa	密度 / (t·m <sup>-3</sup> )	抗压强度 /MPa	内聚力 /MPa	内摩擦角 / (°)
粉砂岩	16	2.1	40	10.5	35
细沙岩	35	2.6	58.6	23.1	37.5
泥岩	10.2	1.7	27.6	1.22	39
灰岩	24	2.2	37	9.56	32
细沙岩	35	2.6	58.6	23.1	37.5
泥岩	10.2	1.7	27.6	1.22	39
灰岩	24	2.2	37	9.56	32
砂质泥岩	11.6	1.8	31.2	0.69	39
石灰岩	24	2.2	37	9.56	32
细沙岩	35	2.6	58.6	23.1	37.5
泥岩	10.2	1.7	27.6	1.22	39
9煤	2	1.6	3.42	0.57	42.9
粉砂岩	16	2.1	40	10.5	35
粗砂岩	14.9	2.2	45	11.4	38
10煤	2.48	1.6	4.92	0.67	42.5
泥岩	10.2	1.7	27.6	1.22	39
粉砂岩	16	2.1	40	10.5	35

研究木瓜煤矿近距离煤层 9煤和 10煤开采矿压显现的规律。

2.2 相似模型制作及测点布置

相似材料选择石英砂、石灰及石膏。以相似理论为基础，根据木瓜煤矿钻孔综合柱状图以及煤岩力学参数，确定相似模拟材料配比见表 3。

表 3 相似材料配比

编号	岩性	砂子 /kg	碳酸钙 /kg	石膏 /kg	水 /kg	厚度 /mm	重量 /kg	抗压强度
1	细沙岩	23.08	1.15	2.69	3.85	35.9	26.93	52.30
2	泥岩	23.14	1.16	2.70	3.86	36.0	27.00	27.60
3	灰岩	25.84	1.29	3.02	4.31	40.2	30.15	37.00
4	细沙岩	26.49	1.32	3.09	4.41	41.2	30.90	52.30
5	泥岩	7.07	0.35	0.83	1.18	11.0	8.25	27.60
6	灰岩	50.34	2.52	5.87	8.39	78.3	58.73	37.00
7	砂质泥岩	37.99	1.90	4.43	6.33	59.1	44.33	31.20
8	石灰岩	37.22	1.86	4.34	6.20	57.9	43.43	37.00
9	细沙岩	18.13	0.91	2.12	3.02	28.2	21.15	52.30
10	泥岩	8.36	0.42	0.98	1.39	13.0	9.75	27.60
11	9煤	12.21	0.61	1.43	2.04	19.0	14.25	3.42
12	粉砂岩	44.61	2.23	5.21	7.44	69.4	52.05	40.00
13	粗砂岩	19.41	0.97	2.27	3.24	30.2	22.65	45.00
14	10煤	18.19	0.91	2.12	3.03	28.3	21.23	4.92
15	泥岩	17.49	0.87	2.04	2.91	27.2	20.40	27.60
16	粉砂岩	16.78	0.84	1.96	2.80	26.1	19.58	40.00

根据模型的尺寸及需要，确定实验模型尺寸为 2500mm×200mm×1090mm (长×宽×高)，模型的长度相似系数为  $\alpha_l=100$ ，即模型的 10mm 代表原型的 1m，另外原型与模型的密度比均为  $\alpha_\rho=1.5$ 。

根据试验需要，监测线测点分布如图 1 所示。将模型按设计要求铺好，并将压力传感器按设计位置随模型的铺设而预埋好，待干燥 10d 后，开始按设计位置布置位移传感器，如图 1 所示。第 7d 后开始调试测试系统，此次试验数据的采集采用 TS3890 型静态应变测量处理仪进行采集和记录。

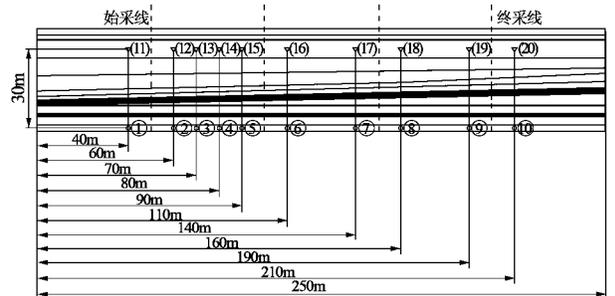


图 1 相似模型监测线及测点布置

### 3 模型的开采及实验结果分析

#### 3.1 模型的开采与观测

根据相似理论,按时间比公式计算模型上回采工作面推进速度:

$$\frac{t_h}{t_m} = \sqrt{\alpha_L} = \sqrt{100} = 10, t_m = \frac{t_h}{10}$$

式中,  $t_h$  为现场每班工作时间,  $8t_h$ ;  $t_m$  为模型实际工作时间。

现场工作每班实际为  $8t_h$  而模型上实际工作时间按上式计算得:

$$t_m = \frac{8}{10} = 0.8 \text{ (h)} = 48 \text{ (min)}$$

综合考虑其他因素及实验室具体条件,模拟回采工作面,在模型上回采工作面每 30min 回采 1 次,每次推进 50mm,换算成实际开采为每次推进 5m,按此速度开挖模型,一直到终采线。

##### 3.1.1 9煤开采过程分析

当工作面推进至 30m 时,直接顶发生初次垮落。距离切眼 10m,直接顶整块垮落,呈两段砌体梁铰接状;当工作面推进至 55m 时,基本顶在采空区中央和两端都产生了较明显的采动裂缝,但没有在纵向上贯穿整个基本顶厚度,同时基本顶上方 20m 处产生离层,且各岩层均出现横向裂缝,长度为 15m;当工作面推进至 65m 时,基本顶出现初次垮落,发生初次来压,上覆岩层也随之垮落下沉,垮落高度达 10m,约为采高的 5 倍,同时由于不平衡下沉,5 号细砂岩、6 号泥岩以及 7 号灰岩之间产生横向裂缝,长度为 40m。

当工作面推进到 85m 时,基本顶发生第 1 次周期来压,随着直接顶的垮落并被压实,基本顶产生了整体下沉,基本顶上覆 9 号石灰岩等岩层随基本顶下沉,并使 5 号细砂岩之间的横向裂缝长度加大至 50m;当工作面推进到 110m 时,基本顶发生第 2 次周期来压,基本顶与以上岩层之间的离层逐渐被压实,但范围扩大至 60m。

当工作面推进到 135m 时,基本顶又一次发生来压,直接顶也随之垮落并被压实,随着基本顶的整体下沉,上覆 9 号石灰岩等岩层的裂缝被挤压闭合;当工作面推进到 150m 时,基本顶与以上岩层之间的离层逐渐被压实,在采空区中部基本顶与主关键层(5 号岩层)之间各岩层之间的裂缝与离层被进一步压实闭合,形成采动裂缝压实闭合区,而在开切眼处采动裂缝的高度也略有减小,但没有完全闭合,岩层断裂角约为  $66^\circ$ 。9 煤开采后模拟效

果如图 2 所示。

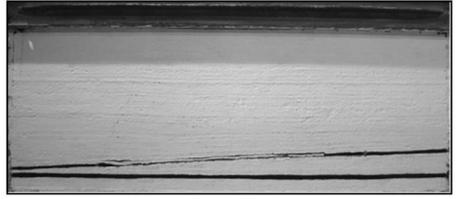


图 2 9煤开采后模拟效果(照片)

##### 3.1.2 10煤开采过程分析

从 9 煤切眼外错 15m 开挖 10 煤。当工作面推进到 37m 时,直接顶发生初次垮落,距离 10 煤切眼 10m,直接顶整块垮落,呈两段砌体梁铰接状,与基本顶形成最大高为 0.8m 的离层;基本顶在采空区中央和两端都产生了较明显的采动裂缝,但没有在纵向上贯穿整个基本顶的厚度。

当工作面推进到 52m 时,基本顶发生初次垮落,9 煤及其直接顶也随之垮落,9 煤直接顶与基本顶形成最大高为 1.2m 的离层,且 9 煤开采过程中基本顶以上形成的裂缝又进一步加大;当工作面推进到 62m 时,10 煤基本顶进一步垮落,直接顶也随之垮落,9 煤基本顶以上 9、8、7 号岩层完全垮落。

当工作面推进到 72m 时,9 煤开采过程中基本顶以上形成的裂缝长度又进一步扩大至 35m,且垮落边界线向 9 煤开切眼煤壁移动 10m;当工作面推进到 97m 时,10 煤基本顶发生第 1 次周期来压,工作面后方 50m 上覆岩层垮落高度达到 40m;当工作面推进到 112m 时,随着煤层间距的增大,10 煤直接顶与基本顶之间的裂缝变小,来压不明显,在煤壁上方基本顶中产生纵向裂缝,但没有纵贯基本顶的厚度。

当工作面推进到 132m 时,由于层间距的增大,10 煤的来压显现不明显,但在煤壁上方产生了纵向裂缝,工作面后方 70m 以上 9 煤覆岩的裂缝继续向上发育至 55m,煤壁上方的裂缝也发育至 40m;当工作面推进到 162m 时,煤壁上方覆岩的裂缝发育至 90m,10 煤直接顶完全垮落,采空区中部的张开裂缝逐渐被压实,形成采动裂缝压实闭合区。10 煤开采后模型效果如图 3 所示。

##### 3.2 10煤开采过程中上覆岩层运动规律分析

结合具有代表性的 12 号位移计和 02 号应力计的测试结果分析开采过程中岩层运动的规律。监测结果如图 4 和图 5 所示。

当工作面推进到 37m 之前,上覆岩层基本没有发生移动,当工作面推进到 37m 时,直接顶发

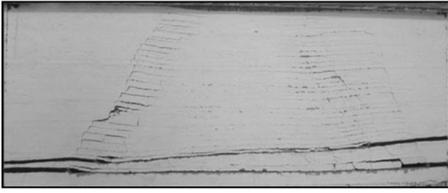


图3 10煤开采后模拟效果 (照片)

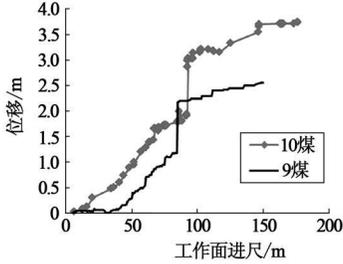


图4 12号位移计随工作面的推进位移变化情况

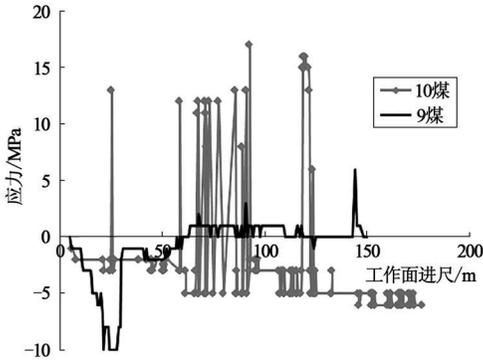


图5 02号应力计随工作面的推进变化情况

生初次垮落，上覆岩层的位移量开始增大，但变化速率不快，当工作面推进到 52m 时，基本顶发生初次垮落，发生初次来压，9煤上覆岩层移动量在短时间内增大至 600mm，这与矿压显现的规律基本吻合；当工作面推进到 62m 时，10煤基本顶进一步垮落，直接顶也随之垮落，9煤基本顶以上的灰岩、砂质泥岩、石灰岩相继垮落，位移计的数值也随之增大至 1800mm；当工作面推进到 97m 时，位移计的数值迅速增大至 3000mm 后逐步稳定，这说明 10煤上方的基本顶发生第 1 次周期来压后，引起上覆岩层垮落下沉；当工作面推进到 152m 时，10煤基本顶又发生 1 次周期来压，引起上覆岩层下沉，随后 12 号位移计的数值逐步趋于稳定。

模型表面各点随工作面推进的位移变化情况如图 6 所示。

#### 4 结论

通过近距离煤层下行开采相似模拟试验，得到

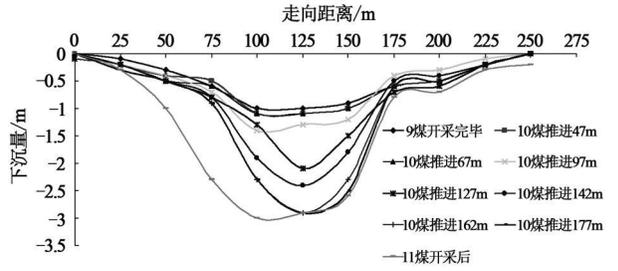


图6 模型表面随工作面的推进位移变化情况

以下结论：

(1) 当 10煤开始回采时，上覆岩层就受到较大影响，9煤终采线和开切眼上方原未破坏的煤体产生裂缝并破坏，且围岩压力较大，是 9煤开采时工作面压力的 1.8 倍。

(2) 受上煤层开采后下煤层上方覆岩破碎度增加的影响，10煤层开采时的垮落角比上煤层开采的垮落角大得多，9煤开采时垮落角约 45°，10煤垮落角约为 60°。

(3) 10煤回采时工作面整体上压力较大，但工作面来压的周期性不明显。

(4) 采用下行开采的方法开采近距离煤层的下位煤层时，由于上覆岩层在上位煤层开采过程中已经遭到破坏，所以尽量等上覆岩层运动稳定后再开采下位煤层，并且上位煤层开采的过程中尽量采用无区段煤柱的开采方式，避免造成在下位煤层开采过程中的应力集中。

#### [参考文献]

[1] 黄艳利, 张吉雄, 范军, 等. 近距离煤层回采巷道合理布置方案 [J]. 煤矿安全, 2009 (9): 66-68.  
 [2] 康全玉, 刘明举, 李化敏, 等. 多煤层采区岩层移动相似材料的模拟研究 [J]. 焦作工学院学报, 1999, 18 (2).  
 [3] 王崇革, 王莉莉, 宋振骥, 等. 浅埋煤层开采三维相似材料模拟实验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 24 (S2): 4926-4928.  
 [4] 李春林, 王志刚. 缓倾斜超近距离煤层开采相似模拟实验研究 [J]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版), 2010, 29 (S1): 69-71.  
 [5] 杜波, 陈寒秋. 近距离煤层开采侧向支承压力的相似模拟实验研究 [J]. 河南理工大学学报, 2006, 25 (5): 359-363.  
 [6] 李鸿昌. 矿山压力的相似模拟试验 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988.

[责任编辑: 王兴库]