急倾斜煤层开采垮落带破坏特征与法向高度研究

阎跃观[1],戴华阳[1],王忠武[2],朱国维[1],陈宏忠[2],徐 翀[3]
(1.中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院,北京 100083;2.北京昊华能源股份有限公司,北京 102300;
3.淮南矿业(集团)有限责任公司,安徽 淮南 232000)

摘 要: 为研究急倾斜煤层开采覆岩垮落带破坏特征,以大台煤矿急倾斜煤层为研究对象,基于2台相似材料模型试验,分别研究了急倾斜煤层深部局部开采和浅部—深部全部开采垮落带的破坏特征和法向高度,并利用高分辨率地球物理勘探技术实测了大台煤矿深部开采垮落带的破坏形态和法向高度。结果表明,该矿急倾斜煤层深部局部开采垮落带易形成梯形拱形结构,法向高度约为煤厚的2.5倍,急倾斜煤层浅部—深部全部开采,垮落带呈带状分布,法向高度增大并趋于稳定,约为煤厚的5.0~6.0倍,物探成果表明煤层顶板垮落区与煤层近似平行,呈带状分布,顶板垮落带法向高度约为煤厚的5.6倍,与相似材料模型试验结果基本吻合。

关键词: 急倾斜煤层;垮落带;破坏特征;法向高度;地球物理勘探
中图分类号: TD325 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2015)04-0023-04

Study on failure characteristics and normal height of caving zone due to steep seam mining

YAN Yue-guan[1],DAI Hua-yang[1],WANG Zhong-wu[2],ZHU Guo-wei[1],CHENG hong-zhong[2],XU Chong[3]
(1. *College of Geoscience and Surveying Engineering*,*China University of Mining and Technology (Beijing)*,*Beijing* 100083,*China*;
2. *Beijing HaoHua energy Co.*,*Ltd.*,*Beijing* 102300,*China*;3. *Huainan Coal Mining Group Corporation Ltd.*,*Huainan* 232000,*China*)

Abstract: In order to research the failure characteristics of caving zone of steep seam mining,this paper took steep seam of the Datai Colliery as example ,the two similar material models were employed to research the caving zone failure characteristics and the normal height of deep mining and shallow to deep mining. The failure pattern and normal height of caving zone due to steep seam deep mining of Datai Colliery were measured by the high resolution geophysical exploration. The results showed that the caving zone form trapezoidal arch structure due to the deep mining and the normal height was about 2.5 times of the mining thickness. The caving zone form zonal distribution due to the shallow to deep mining and the normal height was about 5.0 ~ 6.0 times of the mining thickness. The geophysical exploration results showed that the caving zone form zonal distribution and the normal height was about 5.6 times of the mining thickness. The results of geophysical exploration and similar material model were identical.

Key words: steep seam; caving zone; failure characteristics; normal height; geophysical exploration

0 引 言

急倾斜煤层的地层倾角较大,标志着煤层在形成过程及形成之后,遭受到比较剧烈的地质构造运动。与缓倾斜煤层相比,急倾斜煤层开采的地表沉陷规律和岩层破坏机理更加复杂[1]。目前国内外部分学者已经从理论分析、岩层内部实测技术等方面开展了一些相关的研究工作[2]。Alvarez Fernandez等[3]提出了N-K影响函数,并对急倾斜煤层开采地表移动计算进行了研究。刘天泉等[4]根据实际观测资料总结归纳了急倾斜煤层开采上覆岩层移动的规律和特点。文献[5-6]通过实测数据、相似

收稿日期: 2014-10-15;**责任编辑:** 杨正凯 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2015.04.006
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51404272);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110023110014);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2010QD01,2010YD05)
作者简介: 阎跃观(1981—),男,山西太原人,讲师,博士。E-mail:yyg_0720@163.com
引用格式: 阎跃观,戴华阳,王忠武,等.急倾斜煤层开采垮落带破坏特征与法向高度研究[J].煤炭科学技术,2015,43(4):23-26.
YAN Yue-guan,DAI Hua-yang,WANG Zhong-wu,*et al*.Study on failure characteristics and normal height of caving zone due to steep seam mining[J].Coal Science and Technology,2015,43(4):23-26.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

模型试验对急倾斜煤层开采围岩的变化规律进行了研究。文献[7－9]采用数值模拟方法对急倾斜煤层开采围岩的移动规律和控制方法进行了研究。文献[10－11]基于理论分析和力学试验分析了急倾斜煤层煤岩动力失稳特征及规律。文献[12－14]基于力学机理对急倾斜煤层开采底板岩层移动规律和破坏机理进行了研究。文献[15－17]对急倾斜煤层开采覆岩破坏和防水煤柱稳定性进行了研究。从文献[18－20]采用彩色钻孔电视、瞬变电磁、微地震等技术对采空区覆岩破坏高度进行了监测分析。由此可知，急倾斜煤层开采垮落带破坏特征和法向高度研究尚不充分。基于此，笔者以大台煤矿急倾斜煤层为研究对象，采用相似材料模型试验对急倾斜煤层开采岩层破坏进行了模拟研究，并利用地球物理勘探技术对 3 号煤层开采垮落带破坏特征和法向高度进行了实测研究。

1　相似材料模型的建立

大台煤矿位于北京市门头沟区，地貌属中高山区，松散层薄。主采煤层为 3 号煤层，平均煤厚约 3.0 m 煤层倾角为 60°～75°，顶板以粉砂岩为主，底板为变质岩和玄武岩。采用柔性金属掩护支架采煤法，自然垮落法管理顶板。为了得出不同开采深度和开采尺寸与垮落带破坏特征和高度的关系，设计并建立了 2 个相似材料试验模型。模型Ⅰ主要研究急倾斜煤层深部局部开采垮落带破坏特征，模型Ⅱ主要研究急倾斜煤层浅部—深部全部开采垮落带破坏特征。

1.1　相似材料模型Ⅰ的建立

模型Ⅰ依据大台煤矿 11 剖面图建立二维相似材料模型。模型垂直边界和底板边界为双向固定，地面为自由边界，进行自重加载，试验模拟开采 3 号煤层深部－310 m 水平煤层，开采垂高为 100 m，平均采厚 2.3 m，煤层平均倾角 73°。模拟开采深度为 600 m，其中，－210 m 水平以上煤层倒转，煤层平均倾角 80°。模型Ⅰ比例尺为 1∶ 500，容重比为 0.6，强度比为 0.001，时间比为 0.044 7。根据相似常数计算模型铺设的相关参数，选取石英砂为骨料，石膏和石灰的混合物为胶结材料，进行模型制作，各岩层配比参数见表 1。

模型铺好后进行观测点布设，在地表和岩层剖面上分别布设了 1 条和 5 条观测线，为了分析煤层开采后顶板移动状况，沿煤层布设了3条倾斜观测线，共计布设 215 个观测点(包括 4 个控制点)。其中，地表观测线布设 14 个观测点，岩层剖面上每条观测线布置 35 个观测点，各测点水平间距约 50 mm；倾斜观测线垂直间距约 120 mm，各测点间距约 100 mm。

表 1　模型Ⅰ中各岩层配比参数

岩性	配比号	总质量/kg	材料质量/kg			
			石英砂	石灰	石膏	水
玄武岩	8∶ 7∶ 3	65.11	57.87	5.07	2.17	6.51
变质岩	9∶ 8∶ 2	12.79	11.52	1.02	0.25	1.27
3 号煤层	10∶ 1∶ 0	9.98	9.08	0.90	0	1.00
细砂岩	9∶ 7∶ 3	126.50	113.84	8.86	3.80	12.64
中砂岩	10∶ 8∶ 2	101.82	92.56	7.40	1.86	10.18
粉砂岩	12∶ 8∶ 2	217.67	200.94	13.39	3.34	21.76
龙门砾岩	10∶ 1∶ 0	28.12	25.56	2.56	0.00	2.81

采用全站仪进行观测，位移观测精度小于 ±0.2 mm[21]。待模型干燥 3～5 d 后进行首次观测。根据实际开采情况，采用全部垮落法管理顶板，待地表移动稳定后再次进行观测，模型Ⅰ测点布置及岩层垮落形态如图 1 所示。

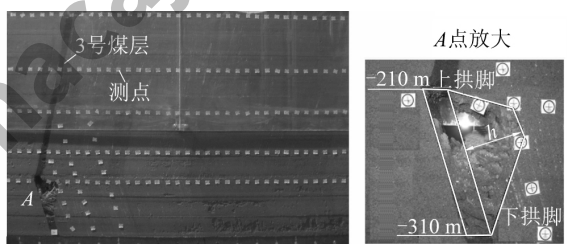


图 1　模型Ⅰ测点布置及岩层垮落形态

1.2　相似材料模型Ⅱ的建立

模型Ⅱ主要参照大台煤矿 12 剖面图建立模型。试验模拟开采 3 号煤层－310 m 水平煤层，开采区域从浅部到深部，开采垂高为 650 m，平均采厚 3.0 m，煤层平均倾角 65°。模型Ⅱ比例尺为 1∶ 600，容重比为 0.6，强度比为 0.001，时间比为 0.040 8。各岩层配比参数类同模型Ⅰ。

根据实际开采情况，3 号煤层的开采标高为 +350—－310 m。沿地表布设 1 条观测线，岩层中每条观测线布置 12 个观测点，各观测线垂直间距 100 mm，测点平均水平间距为 50 mm，共计 340 个观测点(包括 4 个控制点)，观测方法和精度同模型Ⅰ，模型Ⅱ测点布置及岩层垮落形态如图 2 所示。

2　垮落带破坏特征分析与法向高度确定

2.1　模型Ⅰ深部局部开采

1) 3 号煤层深部局部开采，采空区上覆岩层垮

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

落带形成稳定的非等腰梯形拱形结构,3 号煤层开采初期,采空区上方煤层先于顶板岩层垮落; 随着采空区范围增大,顶板沿岩层法线偏上山方向弯曲,出现不对称拱形结构,上、下拱脚分别位于采空区上下煤层中。随着开采区域继续扩大,垮落带破坏范围不断扩大,垮落带法向高度逐渐增大,下拱脚随采深增加而不断降低,当开采区域达到一定尺寸后,覆岩载荷在法线方向上的垂直分量大于压力拱在该方向上的最大拉应力时,拱形结构失稳断裂,岩层垮落充填采空区。由于垮落岩块的碎胀作用,阻止了下拱脚一侧岩层的继续垮落,上拱脚一侧随着岩层的垮落向上转移,形成新的拱结构。

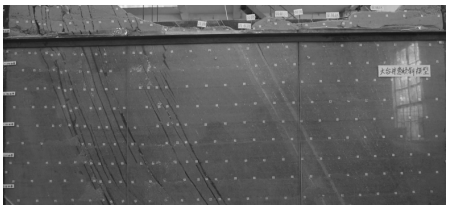


图 2　模型Ⅱ测点布置及岩层垮落形态

2) 底板岩层破坏不明显; 垮落区上边界破坏程度大,下边界破坏程度显著减小; 岩层的破坏程度与采空区上方覆岩内应力平衡拱联系紧密,采动程度越大,应力拱发育的高度也就越大。

3) 3 号煤层深部局部开采顶板垮落带法向高度为 5 ~ 6 m,约为煤层厚度的 2.5 倍。

2.2　模型Ⅱ浅部—深部全部开采

1) 3 号煤层浅部—深部全部开采,模型Ⅰ中垮落带形成的梯形拱结构消失,顶底板受采动影响形成的垮落区浅部和深部移动量相近,垮落区整体呈带状分布,与煤层近似平行,顶板一侧破坏范围远大于底板一侧。

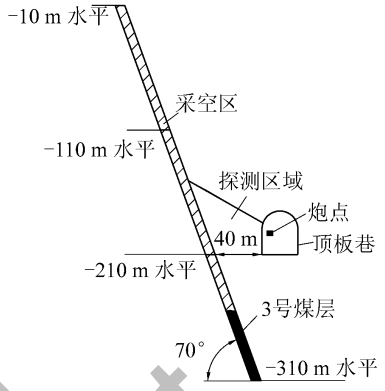
2) 3 号煤层浅部开采,地表露头处破坏严重,形成塌陷坑。

3) 相比模型Ⅰ,3 号煤层浅部—深部全部开采,垮落带法向高度增大并趋于稳定,为 15 ~ 18 m,为煤层厚度的 5.0 ~ 6.0 倍。

3　地球物理勘探实测分析

3.1　测线布设与数据采集

井下探测在 -210 m 水平西六采区 3 号煤层顶板巷中进行,实测了 1 个倾向剖面和 1 个走向剖面,均位于采空区段,开采条件与模型Ⅱ类似。由于倾向剖面测试是沿巷道南侧帮由下至上进行,其探测前方构成一个扇形探测区域,探测区与 3 号煤层空间关系如图 3 所示。物探采用 MMS - 1 矿井三分量地震仪进行数据采集,采用综合平面法构成多次覆盖的观测系统,在测线上布置炮点和检波点排列,每激发一次,激发点和整个排列都同时向前移动一定距离,直至测完整个剖面。



3　探测断面与 3 号煤层空间关系

3.2　垮落带法向高度确定

1) 倾向剖面。由叠加彩色能谱后倾向剖面的探测结果可知,在倾向剖面的探测前方,岩层与测线间成一定夹角,说明探测前方岩层存在 3 号煤层采动破坏带,破坏带平均时间宽度约 12 ms,根据工作区岩层物性条件与采动后岩石破坏形态,取岩层波速为: 完整岩层 4.5 m/ms,断裂带 4.0 m/ms,破坏带 3.0 m/ms,倾向剖面距采动破坏带顶界面最少时间为 10 ms,计算得 3 号煤层垮落带法向高度约为 17.3 m。

2) 走向剖面。探测走向剖面长度 40 m 左右,由叠加彩色能谱后的探测结果,可以看出在该走向剖面的探测前方,存在 3 号煤层采动破坏带,其破坏带平均时间宽度约 11.2 ms,根据工作区岩层物性条件与采动后岩石破坏形态,岩层波速与倾向剖面相同,走向剖面距采动破坏带顶界面平均时间宽度约为 11.5 ms,计算可得 3 号煤层垮落带法向高度约为 16.8 m。

3.3　物探结果分析

1) 测试成果剖面清晰地显示出急倾斜煤层开采顶底板岩层破坏状况及垮落带分布特征,顶板一侧垮落区与煤层近似平行,呈带状分布。

2) 3 号煤层开采顶板垮落带法向高度为 16.8 ~ 17.3 m,为煤层厚度的 5.6 倍。

上述分析可知,地球物理勘探与相似材料模型试验垮落带破坏特征和法向高度基本吻合。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

4 结　　论

1) 急倾斜煤层深部局部开采后，垮落带上边界破坏程度明显大于下边界，易形成稳定的非等腰梯形拱结构。急倾斜煤层浅部—深部全部开采，垮落带在浅部和深部的移动量相近，与煤层开采区近似平行，顶板一侧破坏范围远大于底板一侧，垮落区呈带状分布。

2) 确定了急倾斜煤层开采垮落带的法向高度。煤层深部局部开采，垮落带范围较小，其法向高度约为煤层厚度的 2.5 倍。煤层浅部—深部全部开采，垮落带法向高度增大并趋于稳定，为煤层厚度的5.0 ~6.0 倍。

3) 物探成果表明急倾斜煤层浅部—深部全部开采后，顶板垮落区与煤层平行，呈带状分布，垮落带法向高度约为煤厚的 5.6 倍，与相似材料模型试验结果基本吻合。

参考文献:

[1] 戴华阳，王金庄，张俊英. 急倾斜煤层开采地表非连续变形相似模型试验研究 [J]. 湘潭矿业学院学报，2000，15(3)：1 – 6.

[2] 煤炭科学研究院北京开采研究所. 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社，1981.

[3] M A lvarez – Fernandez，C Gonzalez – Nieieza，A Menendez – Diaz. Generalization of the n – k influence function to predict mining subsidence [J]. Engineering Geology，2005(80)：1 – 36.

[4] 刘天泉，陈树田，陈学涵. 水体下开采急倾斜煤层的初步研究 [J]. 煤炭学报，1995，20(3)：1 – 14.

[5] 戴华阳，邓智毅，阎跃观，等. 唐山矿深部开采覆岩离层与法向裂缝分布规律研究 [J]. 煤矿开采，2011，16(2)：8 – 11.

[6] 阎跃观，戴华阳，王忠武，等. 急倾斜多煤层开采地表沉陷分区与围岩破坏机理: 以木城涧煤矿大台井为例 [J]. 中国矿业大学学报，2013，42(4)：547 – 553.

[7] 李永明，刘长友，杨　伟，等. 急倾煤层采空区控顶方式对采场围岩稳定性影响 [J]. 煤炭科学技术，2011，39(1)：20 – 24.

[8] 王建鹏，张　军. 急倾斜煤层围岩活动规律及煤柱合理宽度研究 [J]. 煤炭科学技术，2014，42(1)：27 – 29，33.

[9] 马亚杰，武　强，洪益清，等. 急倾斜煤层开采覆岩变形分析及其应用 [J]. 煤炭学报，2009，34(3)：320 – 324.

[10] 张立杰，蔡美峰，来兴平，等. 基于 AE 的深部复变环境下急斜特厚煤层开采动力失稳分析 [J]. 北京科技大学学报，2007，29(1)：1 – 4.

[11] 梁翠云，王宁波，漆　涛，等. 急倾斜煤层深部煤岩动力失稳原因分析 [J]. 煤炭科学技术，2012，40(9)：9 – 12.

[12] 张　勇，张　保，刘金凯，等. 急倾斜厚煤层走向长壁开采底板破坏滑移机理 [J]. 煤炭科学技术，2013，41(10)：9 – 12.

[13] 王明立. 急倾斜煤层开采底板岩层破坏机理研究 [J]. 煤矿开采，2009，14(3)：87 – 89.

[14] 胡　文，李维光，黄建功，等. 大倾角煤层底板岩层运动规律与采面底板分类 [J]. 矿山压力与顶板管理，2002，19(1)：93 – 95.

[15] 贾剑青，王宏图，胡国忠，等. 急倾斜工作面防水煤柱留设方法及其稳定性分析 [J]. 煤炭学报，2009，34(3)：315 – 319.

[16] 李永明，刘长友，徐青云，等. 急倾斜煤层开采防水煤柱稳定性影响因素研究 [J]. 煤炭科学技术，2012，40(12)：15 – 18，23.

[17] 刘长友，刘跃俊，黄炳香，等. 急斜煤层防水煤岩柱的失稳及留设 [J]. 采矿与安全工程学报，2010，27(3)：330 – 334.

[18] 张玉军，康永华. 覆岩破坏规律探测技术的发展及评价 [J]. 煤矿开采，2005，10(2)：8 – 11.

[19] 于克君，骆　循，张兴民. 煤层顶板“两带”高度的微地震监测技术 [J]. 煤田地质与勘探，2002，30(1)：47 – 51.

[20] 任奋华，蔡美峰，来兴平，等. 采空区覆岩破坏高度监测分析 [J]. 北京科技大学学报，2004，26(4)：115 – 117.

[21] 康建荣，王金庄，胡海峰. 相似材料模拟试验经纬仪观测方法分析 [J]. 矿山测量，1999(1)：43 – 46.

(上接第 10 页)

参考文献:

[1] 康红普. 煤矿预应力锚杆支护技术的发展与应用 [J]. 煤矿开采，2011，16(3)：25 – 30.

[2] 侯朝炯团队. 巷道围岩控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社，2013: 122 – 130.

[3] 陈炎光，陆士良. 中国煤矿巷道围岩控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社，1994: 222 – 224.

[4] 邢福康，蔡　坫，刘玉堂. 煤矿支护手册 [M]. 北京: 煤炭工业出版社，1993: 535 – 536.

[5] 侯朝炯. 煤巷锚杆支护 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社，1999: 10 – 11.

[6] 康红普. 煤巷锚杆支护理论与成套技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社，2007: 2 – 3.

[7] 侯朝炯. 煤巷锚杆支护的关键理论与技术 [J]. 矿山压力与顶板管理，2002，19(1)：4 – 5.

[8] 康红普，王金华，林　健. 高预应力强力支护系统及其在深部巷道中应用 [J]. 煤炭学报，2007，23(12)：1233 – 1238.

[9] 翟英达. 锚杆预紧力在巷道围岩中的力学效应 [J]. 煤炭学报，2008，33(8)：856 – 859.

[10] 张　农，高明仕. 煤巷高强预应力锚杆支护技术与应用 [J]. 中国矿业大学学报，2004，31(5)：524 – 527.

[11] 王德璋，李俊杰. 动压巷道矿压显现规律及支护技术 [J]. 煤炭科学技术，2011，39(4)：40 – 41.

[12] 汪良海，钱德雨，臧英新. 动压巷道棚索协调支护技术应用实践 [J]. 煤炭科学技术，2012，40(1)：26 – 28.

[13] 李书民，孙小岩，白杨杨. 深部回采巷道锚网索联合支护技术实践 [J]. 煤炭科学技术，2012，40(1)：38 – 41.

[14] 康红普，王金华，林　健. 煤矿巷道锚杆支护应用实例分析 [J]. 岩石力学与工程学报，2010，29(4)：649 – 656.

[15] 常聚才，谢广祥. 锚杆预紧力对煤矿巷道支护效果的响应特征研究 [J]. 采矿与安全工程学报，2012，29(5)：658 – 659.

中国煤炭期刊网 www.chinacoal.net