急倾斜煤层水平分层综放开采岩层移动规律

易四海1) 鞠文君2) 阎跃观1) 杨世杰3) 乔中栋3) 載华阳¹⁾

1) 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院,北京 100083 2) 天地科技股份有限公司开采所事业部,北京 100013 3) 甘肃华亭煤电股份有限公司, 平凉 744100

摘 要 为了进一步认识水平分层综放开采的开采沉陷特点,运用相似材料模型实验,对某矿大 倾角煤层的开采沉陷过程进行了模拟研究、揭示了急倾斜特厚煤层水平分层深部开采岩层与地表 移动规律.

关键词 急倾斜特厚煤层;水平分层;综放开采;相似材料模型试验;岩层与地表移动规律 **分类号** TD315⁺.1

我国急倾斜煤层分布广泛,地质条件复杂. 从煤层的开采厚度看,可以区分为薄、中厚、厚、特 厚煤层.不同厚度的煤层需要不同的开采方 法^[1]. 水平分层综放开采是急倾斜特厚煤层的一 种高产高效采煤方法,用该方法开采引起的岩层 与地表移动规律,既有别于缓倾斜又不同于急倾 斜中厚煤层开采. 目前对于这类开采沉陷的认识 还不充分^[2],研究工作还有待深入,进一步的研 究将有利于掌握其规律,以正确指导特厚煤层开 采的采煤工作,本文以华亭矿区华亭煤矿的急倾 斜特厚煤层为研究对象,采用相似模型的实验手 段[3-4],观测了岩层垮落、弯曲、离层的方式和形 态以及地表的移动情况,揭示了急倾斜特厚煤层 水平分层综采岩层与地表移动规律.

1 矿区概况

华亭矿区是我国特大型现代化煤炭生产基 地, 生产能力达到 1000 万 t·a⁻¹, 全部开采急倾 斜煤层,采掘机械化水平、矿井效益等指标均处于 全国煤炭行业前列, 华亭煤矿是华亭矿区生产能 力最大、装备最先进、经济效益最好的高产高效现 代化矿井,开采华亭煤田的5[#]煤层,煤层倾角为 45°,平均厚度为 51.51 m, 走向长度为 1 200 m, 属 急倾斜特厚易燃煤层.采煤方法采用水平分层综 采放顶煤开采,顺槽分别沿煤层顶底板布置,工作 面长度为 45~53 m, 每个采放区段高度为 13 m. 在如此小井田、短工作面开采条件下生产能力达

收稿日期: 2005-03-02 修回日期: 2005-05-10 基金项目:国家自然科学基金重大项目(No. 50490273) 作者简介: 戴华阳(1964一), 男, 教授, 博士生导师

到 350 多万 t·a⁻¹,不可避免地要形成多层同采同 掘的局面,通常是3个综采工作面、4个综掘工作 面分布在 5~6个区段内同时作业,这在国内外都 是少见的, 华亭煤矿现在的开采深度已超过 500 m, 地应力高, 急倾斜特厚煤层采出空间大, 且上 方岩层活动激烈,应力集中,矿压显现剧烈.

2 相似模型实验设计

报

学

2.1 模型设计

模型的原始参数参照了甘肃华煤集团华亭煤 矿华亭大倾角 5 # 煤层柱状图及 5 # 勘探线剖面 图. 以 5[#] 煤为主要研究对象, 煤层倾角 45°, 平均 厚度 51.5 m, 走向长度 1 200 m, 属急倾斜特厚易 燃煤层,顶底板为砂质砾岩.实验模型设计图见 图 1.



图 1 实验模型设计图 Fig.1 Design for the test model

2.2 相似参数的确定

实验模型尺寸为 2 400 mm × 160 mm × 1 000 mm,实验选取模型的几何相似比为1:500. 根据 相似原理与量纲分析,其他常数确定为:容重相似 常数 $a_r = 0.65$,时间相似常数 $a_r = 22.4$,应力相 似常数 a_a = 325, 由此可以确定模型的容重和力 学强度,进而确定材料配比.

2.3 相似材料配比

根据模型的主要岩性参数(容重和抗压强度) 进行相似材料的配比.实验选取石英砂为骨料, 石膏和石灰为胶结物的石膏混合物为相似材料, 配比参数如表 1. 图 2 为实验模型照片及测点布 置图.

	_						•	
岩性	厚度/ cm			材料质量/kg				
		骨胶比	斎 灰比	总干质量	石英砂	石膏	石灰	·····
粉砂岩	4.0	8:2	5:5	15.60	13.84	0.86	0.86	1.5
砂质泥岩	2.0	9:1	3:7	7.80	7.02	0.23	0.53	1.0
煤 5	10.0	9:1	3:7	39.00	35.10	1.17	2.73	4.0
粉砂质泥岩	1.5	9:1	3:7	5.85	5.26	0.17	0.39	0.5
粉砂岩	5.0	8:2	5:5	19.50	17.33	1.08	1.08	2.0
油页岩	2.0	9:1	3:7	7.80	7.02	0.23	0.53	1.0
粉砂质泥岩	1.0	9:1	3:7	3.90	3.51	0.12	0.27	0.5
粉砂岩	1.0	8:2	5:5	3.90	3.46	0.21	0.21	0.5
砂质泥岩	4.0	9:1	3:7	15.60	14.04	0.46	1.07	1.5
灰色细砂岩	1.0	7:3	5:5	3.90	3.41	0.24	0.24	0.5
泥岩	1.5	9:1	3:7	5.85	5.26	0.17	0.39	0.5
细砂岩	2.0	7:3	5:5	7.80	6.82	0.48	0.48	1.0
泥岩	2.0	9:1	3:7	7.80	7.02	0.23	0.53	1.0
砂岩	4.0	7:3	5:5	15.60	13.65	0.97	0.97	2.0
泥岩	4.4	9:1	3:7	17.61	15.84	0.52	1.21	2.0
细砂岩	_	9:1	3:7	317.40	285.90	9.48	22.02	30.0

表1 模型岩层厚度及配比参数表

Table 1 Rock strata thickness and proportioning parameters in model testing



图 2 实验模型的测点布置 Fig.2 Location of measuring points in the test model

2.4 测线设计与观测方法

为了详细观测煤层开采引起的上覆岩层与地 表的移动情况,实验中在开采煤层上覆岩层布置 了水平 10 行竖直 23 列观测点,各测点平均间隔 约为 10 cm,并在实验架上固定了 12 个控制点,共 计 242 个测点.测方法采用经纬仪观测法,观测 精度为 ± 0.2 mm.

3 岩层与地表移动规律

我国大部分矿区开采急倾斜厚及特厚煤层都 采用水平分层采煤方法及各种改进方案,至今已 有近 50 多年的历史,积累了许多经验.本实验模 型采用水平分层综放开采方法,从海拔1350m开 采,从上向下分层,每层采厚 15m,其中割煤厚度 9m, 放顶煤 6m, 累计开采垂高 350m. 每次采完 且待岩层移动稳定后, 都要对模型上的观测点进 行一次全面地观测和计算, 前后共进行了 28 次观 测计算. 通过大量的数据分析, 揭示了急倾斜特 厚煤层开采引起的岩层与地表移动的许多富有研 究价值的特点和规律.

3.1 地表移动规律

地表岩层移动稳定后,将地表开采沉陷状态 与地表原始状态进行比较,可以得到地表最终下 沉曲线见图 3.



Fig. 3 Curve of surface final subsidence

图 3 表明,本矿特厚急倾斜煤层水平分层综 放开采对地表地貌产生严重影响,最大下沉值达 到 50 m, 形成塌陷坑; 此处定义下沉率为岩层或 地表的下沉值与急倾斜煤层开采垂高之比, 则地 表的下沉率为 0.143. 在倾向剖面上, 地表下沉盆 地呈现严重非对称性, 下山方向地表下沉量较小, 上山方向的下沉明显占优, 最大下沉点偏向下山 一侧.

3.2 岩层移动情况

图 4 为开采垂高 350 m 时岩层垮落形态图, 图 5 为地表沉陷前后的地貌形态变化及沿顶板层 面的岩层移动矢量图.



图 4 开采垂高 350 m 时岩层塆落形态

Fig.4 Collapse form of rock strata when the vertical high of mining is 350 m

由图 5 可知,顶板上破坏岩层同层上各点的 下沉率与各点距开采最后阶段的竖向距离成非对 称非线性关系,在煤层顶板第一次出现脱离的水 平方向下沉值最大,沿岩层面向两边递减(如图 5 沿顶板层面的观测线 2).

从不同高度的岩层移动数值来看,岩层下沉 率与岩层距煤层顶板高度成线性关系,随着岩层 距煤层顶板高度的增大,其下沉率逐渐减小,反映 了由于岩石的碎胀性,下层岩石的下沉量大于上 层岩石的下沉量.



图 5 沿顶板层面的岩层移动矢量图 Fig.5 Vector diagram of strata movement

(1)上覆岩层不同开采阶段的下沉情况.实 验模型开挖过程中,测量岩层各测点在不同进度的下沉值,可作出下沉值-开采垂高曲线.取采空区上方产生采动影响的14号、15号、16号、17号竖向测线(测线自左向右编号)进行比较,4条竖向观测线在不同开采阶段下的下沉值-开采垂高曲线见图 6.

(2)不同高度上覆岩层的下沉率. 岩层移动 稳定后,取受采动影响比较大、位于采空区中部的



图 6 各竖向测线不同开采阶段的下沉曲线

Fig. 6 Surface subsidence curves of vertical measuring lines in different mining stages

16 号竖向观测线上各观测点 B16, C16, D16, E16, F16 的数据进行分析, 得到实验模型各水平高程 上覆岩层下沉率与岩层高度和采高比的关系.实 测及计算数据见表 2.

表 2 不同高度的岩层下沉值及其下沉率 Table 2 Subsidence value and subsidence rate of rock strata at different heights

测点编号	测点距煤层 顶板高度, H/m	最终下沉 值, W/m	下沉 率 , <i>P</i>
B16	197.85	34.65	0.10
C16	147.70	70.85	0.20
D16	98.20	113.35	0.32
E16	47.25	123.65	0.35
F16	0	140.55	0.40

图 6 说明,随着开采阶段向下延伸,沿垂直方 向岩体的移动存在一个临界影响距离,即岩层移 动存在一个开采启动距离.煤层在从上向下的开 采过程中,对岩层的影响范围逐渐扩大.当煤层 开采未达到该启动距离时,岩层未受到影响,几乎 不移动;一旦达到或超过该启动距离,岩层就开始 大幅度移动.

急倾斜煤层顶板岩层有一定的影响范围.对 于浅部阶段开采,顶板一侧岩层的垮落角为85°. 随着开采垂高的增加,深部阶段开采岩层的垮落 角越来越大.至开采垂高达到350m时,顶板一 侧岩层垮落角为93°.由此可知,浅部急倾斜开采 岩层移动按一定角度向顶板一侧扩展,为深部开 采岩层移动提供了一条垮落通道,致使深部开采 的垮落范围不像浅部那样随垂高的增加而连续扩 展,而是沿着已有的垮落通道发生垮塌移动.

4 地表实际的垮落形态

图 7 为开采垂高 200 m 时实际地表塌陷形态



图 7 开采垂高 200 m 时地表实际塌陷形态

Fig.7 Measured surface collapse form when the vertical high of mining is 200 m

图.由图可见,急倾斜特厚煤层水平分层开采时 地表沉陷出现台阶式的塌陷盆地.在煤层露头地 表出现落差分别为60m和25m的两个大型台阶 裂缝,组成一个宽约150m的塌陷坑;在下山一侧 地表出现落差为22m的台阶裂缝;整个塌陷盆地 呈现非连续移动变形形态.在相似模型实验中, 开采垂高350m时岩层垮落与地表塌陷形态如图 4,随着开采垂高的增加,地表移动变形进一步加 大,但地表沉陷范围并不连续扩大.

5 结论

(1) 地表下沉曲线沿水平方向呈明显的不对称,下山方向地表下沉量较小,上山方向的下沉明显占优,最大下沉点偏向下山一侧,地表最大下沉量约为 50 m,下沉率为 0.143.

(2) 在竖向上, 不同高度的岩层下沉值不同, 随岩层距煤层顶板高度的增大, 其下沉值逐渐减 小.

(3)急倾斜煤层顶板岩层有一定的影响范围.对于浅部阶段开采,顶板一侧岩层的垮落角为85°;随着开采垂高的增加,深部阶段开采岩层的垮落角越来越大;至开采垂高达到350m时,顶板一侧岩层垮落角为93°.

(4)实验揭示了急倾斜煤层深部分层开采岩 层移动的重要特点:急倾斜煤层浅部开采,岩层移 动按一定角度向顶板一侧扩展,为深部开采岩层 移动提供了一条垮落通道,致使深部开采的垮落 范围不像浅部那样随垂高的增加而连续扩展,而 是沿着已有的垮落通道发生垮塌移动.

参考文献

- [1] 中国矿业学院, 阜新矿业学院, 焦作矿业学院.煤矿岩层与 地表移动.北京:煤炭工业出版社, 1980
- [2] 李栖凤. 急倾斜煤层开采. 北京: 煤炭工业出版社, 1984
- [3] 戴华阳,王金庄. 急倾斜煤层开采沉陷. 北京:中国科学技 术出版社,2005
- [4] 代高飞,郭胜均, 尹光志, 等. 急倾斜煤层深部开采的相似 模拟实验和数值分析. 矿业安全与环保, 2001, 28(4):17
- [5] 吕泰和、急倾斜煤层开采引起断裂岩体移动规律、矿山测量,1981(3):15
- [6] 张俊英, 戴华阳, 郑志刚, 等. 多煤层条带开采实验模拟研究. 矿山测量, 2000, 3(4):28
- [7] Dai H Y, Wang J Z, Cai M F, et al. Seam dip angle based mining subsidence model and its application. Int J Rock Mech Min Sci, 2002, 39(1): 115

(下转第 467 页)

Internal defects in rolled pieces during three-roll cross wedge rolling

YANG Cuiping, ZHANG Kangsheng, LIU Jinping, HU Zhenghuan

Mechanical Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT The occurrence probability and existence form of internal defects in rolled pieces during threeroll and two-roll cross wedge rolling were compared and analyzed by finite element numerical simulation. The reason that the internal defects little occur at the center points and fissure takes an annular form during three-roll rolling was expounded based on the state of stress and strain at the center of rolled pieces. It is indicated that three-roll cross wedge rolling process has a distinct advantage in the forming quality of the center of rolled pieces.

KEY WORDS cross wedge rolling; internal defects; finite element; stress; strain

Law of strata and surface movement due to horizontally-sliced mechanized topcaving mining at steep-inclined super-thick coal seam

DAI Huayang¹⁾, YI Sihai¹⁾, JU Wenjun²⁾, YAN Yueguan¹⁾, YANG Shijie³⁾, QIAO Zhongdong³⁾

1) School of Resource and Safety Engineering, Beijing Campus, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

2) Coal Mining Technology Department, Tiandi Science and Technology Co. Ltd., Beijing 100013, China

3) Gansu Huating Coal Electricity Co. Ltd., Pingliang 744100, China

ABSTRACT The subsidence characteristics of horizontally-sliced mechanized top-caving mining are different from those of either flat seam mining or steep-inclined middle-thick seam mining. Similar material model test was used to simulate the rock mass movement of steep-inclined super-thick coal seam of a coal mine. The results revealed the law of strata movement and ground deformation due to horizontally-sliced mechanized top-caving mining at a greater depth of steeply-inclined seam, which would provide a guide to real mining.

KEY WORDS steep-inclined super-thick coal seam; horizontal slice; mechanized top-caving mining; similar material model test; law of strata and ground movement