

文章编号: 1001-1986(2006) 02-0018-04

浅埋煤层覆岩切落裂缝破坏及控制方法分析

余学义, 黄森林

(西安科技大学能源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 陕北神东矿区厚风积沙松散层、薄基岩条件下浅埋煤层开采引起的地表沉陷, 呈非连续切落式裂缝破坏。大量研究表明, 这种裂缝损害受覆岩中关键层的控制。因此, 研究浅埋煤层关键层的破断规律和失稳条件是解决这种条件下采动损害控制的关键技术。以神东矿区大柳塔 1203 综采工作面为例, 应用理论分析和数值模拟方法研究覆岩中关键结构层稳定条件与采动损害之间的关系, 为神东矿区生态环境保护, 确定合理、经济的保水控制开采方法提供理论依据。

关键词: 浅埋煤层; 神东矿区; 采动损害; 控制开采

中图分类号: TD325 **文献标识码:** A

Analyzing falling crack failure of overburden strata of shallow coal seam and its control method

YU Xue-yi, HUANG Sen-lin

(School of Energy Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: The mining under the condition of the shallow coal seam, the thick loose beds and the thin base rock in Shendong mining area in Shaanxi Province of China, causes the surface subsidence take on the situation of the discontinuous falling crack failure. A great deal of analysis and research indicates that the crack damage is controlled by the key stratum in the overburden strata. Therefore, the key for solving the control of mining damage under this condition is to research the rules of the key stratum failure and the sliding condition in the shallow seam. Taking No. 1203 longwall face in Daliuta mine of Shendong mining area for example, the paper presents the relationship between the stability condition of the key stratum structure and the mining damage with the method of analyzing theory and numerical simulation, supplying the theoretic evidence for the environmental protection and the confirmation of the reasonable and economical control mining methods in Shendong mining area.

Key words: shallow seam; Shendong mining area; mining damage; controlled mining

1 引言

随着陕北神东煤田的开发, 生态环境损害问题愈来愈受到关注, 并将成为制约矿区区域经济发展的重大问题。开采引起覆岩、地表沉陷损害, 是矿山开发中环境损害的主要部分, 而开采引起的浅层地下水漏失是造成地表植被损害、环境恶化及荒漠化的主要原因。厚风积沙、薄基岩条件下, 浅埋煤层开采沉陷损害具有它的特殊性。这种条件下的开采损害研究处于开始阶段, 特别是从控制开采理论技术领域研究不多, 因此, 研究上述问题对神东矿区生态环境保护具重要的科学价值, 对神东矿区的可持续发展具有重要的战略性意义。

2 矿区开发及开采损害概况

神东矿区主要含煤地层为中侏罗统延安组(J₂y), 厚度 270~310 m, 一般含煤 5~15 层, 煤层赋存稳定, 构造简单。区内主要含水层为第四系上更新统萨拉乌苏组砂层和烧变岩含水层。矿区多风沙, 干旱少雨, 地表植被少, 生态环境极为脆弱。矿区煤层埋藏浅, 开采厚度大, 基岩薄, 松散覆盖层厚, 是典型的薄基岩、厚松散覆盖层条件下的浅埋煤层开采。

1203 综采工作面是神东矿区大柳塔矿井首采工作面, 开采煤层为 1⁻² 煤层, 其地质构造简单, 煤层倾角平均为 3°, 厚度平均为 6 m, 埋藏深度 50~60 m。

收稿日期: 2005-06-30

基金项目: 国家自然科学基金(40572155); 国家科技部社会公益项目(国科发计字[2003] 75 号); 陕西省自然科学基金(1003E206) 资助

作者简介: 余学义(1955—), 男, 陕西定边人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事开采损害与环境保护的科研与教学

表 1 大柳塔 1203 工作面煤层及覆岩基本参数表
Table 1 The basic parameter of seam and overburden rock in 1203 longwall face of Daliuta mine

序号	岩 性	厚度 /m	密度 ρ /kg·m ⁻³	弹性模量 E /GPa	内聚力 C /MPa	内摩擦角 φ /°	泊松比 μ	抗压强度 σ_c /MPa
1	风积沙、砂石	27.0	1 700					
2	风化砂岩	3.0	2 330					
3	粉砂岩(局部风化)	2.0	2 330	18				
4	砂岩	2.4	2 520	43.4	2.6	36	0.22	30.3
5	砂岩互层	3.9	2 520	30.7	2.4	38	0.25	30.3
6	砂质泥岩	2.9	2 410	18	2.4	32	0.28	15.3
7	粉砂岩	2.0	2 380	40	7.4	38	0.20	48.3
8	粉砂岩	2.2	2 380	40	7.4	38	0.20	48.3
9	碳质泥岩	2.0	2 430	18	1.7	32	0.27	15.3
10	砂质泥岩	2.6	2 430	18	1.8	32	0.25	38.3
11	1 ⁻² 煤层	6.3	1 300	13.5	1.2	38	0.25	14.8
12	细、粉砂岩	4.0	2 430	38	3.2	38	0.20	37.5

基岩上部为 15~30 m 的厚松散层覆盖, 风化基岩厚度约为 3 m, 松散层下部有含水层, 厚度 6~9 m, 潜水位深度 18~22 m, 工作面长度 150 m, 采高 4 m。煤层及覆岩参数如表 1 所示^[1]。

1993 年 3 月 5 日 1203 工作面开始回采, 同年 3 月 24 日工作面推进至 20.12 m 时, 顶板压力剧增, 煤帮掉矸, 顶板淋水, 下午 16:10, 工作面中部顶板沿煤帮切断, 大水顺帮而下, 涌水量达 408 m³/h, 造成矿井停产, 地面形成塌陷坑和裂缝^[2]。4 月 3 日恢复生产, 随采空区的扩大裂隙增多, 陷坑呈椭圆形展布, 长轴与工作面平行(长轴 53 m, 短轴 22 m), 断裂高差 0.27 m, 南端出现锥形沙漏斗, 深 24 m。随着工作面的推进, 凹陷范围不断扩大, 裂缝最宽达 700 mm, 最大下沉量 2 396 mm, 最大下沉速度 131.38 mm/s, 下沉系数 0.599。

大柳塔矿采空区地表损害严重, 地裂缝十分发育, 最宽达 2 m 多, 深 10 m 多, 最大塌陷深度 6.5 m。而窟野河两岸大小煤矿连片开发, 造成窟野河支流母河沟、王渠、三不拉沟等较大沟流从 1997 年以来陆续干枯断流, 致使黄河的一级支流——窟野河 2000 年断流 75 d, 2001 年断流 106 d。鄂尔多斯高原最大的内陆湖——水面积达 56 km² 的红碱淖, 5 a 来水位下降 2 m 多, 湖区周围 50 km 范围内地下水位下降 1.81 m。

3 控制覆岩切落式裂缝条件分析

浅埋煤层开采地表塌陷坑及切落裂缝破坏, 是开采引起覆岩中关键层变形结构失稳, 发生突然切落下陷形成的。关键层对地表切落裂缝破坏起控制作用。因此, 研究关键层的破断结构失稳条件是实现保水控制开采的关键技术。

3.1 关键层的破断距

根据关键层理论^[3], 利用固支梁和悬臂梁力学模型, 计算关键层破断距的简化公式如下所列。

关键层的初次破断距:

$$L_c = 2l_c + 2x_\beta \quad , \quad (1)$$

式中 L_c ——关键层初次破断距;
 $2l_c$ ——未考虑垫层作用的初次破断距;
 x_β ——煤壁与最大弯矩处的距离。

关键层的周期破断距:

$$L_z = l_z + 0.5 x_1 \quad , \quad (2)$$

式中 L_z ——关键层周期破断距;
 l_z ——未考虑垫层作用的周期破断距;
 x_1 ——煤壁与最大弯矩处的距离。

根据表 1 和式(1)、式(2), 计算出的 1203 工作面上覆岩层中关键层的初次破断距为 $2l_c = 24.68$ m, $2x_\beta = 3.78$ m, $L_c = 28.46$ m; 周期破断距为 $l_z = 10.83$ m, $x_1 = 1.66$ m, $L_z = 12.49$ m。计算结果与 1203 工作面现场实测的初次来压步距约 27 m, 和周期来压步距平均 12 m 基本一致^[1]。关键层结构

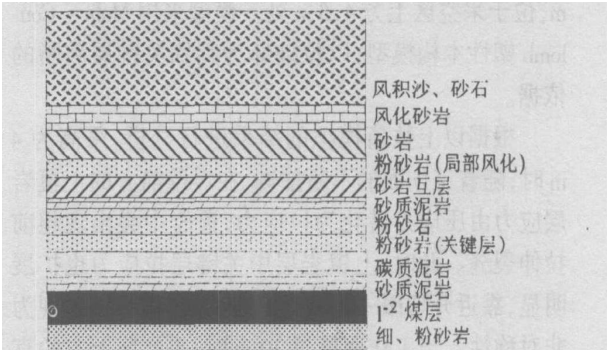


图 1 1203 工作面关键层结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of key stratum structure in 1203 mining face

如图 1 所示。

3.2 关键层结构稳定条件分析

工作面台阶下沉和溃砂灾害都源于顶板结构的滑落失稳^[1]。因此,关键层结构稳定条件就是防止老顶关键块滑落失稳,也是实现浅埋煤层开采控制覆岩切落式裂缝发生的关键。老顶关键块滑落失稳一般是在老顶呈悬臂梁周期破断,即台阶式滑落失稳。这种台阶式滑落失稳可以通过控制老顶关键块的最大下沉量来实现。老顶关键块不出现滑落失稳的最大下沉量(Δ)可近似地表示为^[1]:

$$\Delta = l_z \sin \theta_1, \quad (3)$$

式中 θ_1 —老顶关键块的初始回转角($\theta_1 < 4^\circ$)。

根据开采条件允许老顶关键块的下沉量(w)为:

$$w = m - [m_f + (k_p - 1) \sum h], \quad (4)$$

式中 m —开采高度; m_f —采空区有效充填厚度; K_p —直接顶碎胀系数; $\sum h$ —直接顶厚度。

根据大柳塔 1203 工作面开采条件计算,不出现关键层岩块滑落失稳的最大开采高度应小于 2.07 m,或 $m - m_f \leq 2.07$ m。

3.3 关键层结构稳定条件的 FLAC 数值模拟分析

采用 FLAC 数值模拟软件对浅埋煤层覆岩关键层的破断规律进行研究。设计模型的走向长度 100 m,采高分别为 2 m、4 m,模拟的煤岩参数由表 1 中覆岩的基本参数确定,对各岩层分别赋值。地应力中垂直应力由岩石的密度、厚度和重力加速度确定,方向竖直向下;水平应力为侧压力系数(侧压力系数与岩石的泊松比有关)乘以垂直应力。垂直高度模拟到基岩,基岩上部的松散层以均布载荷的形式加在模型的上部边界,载荷大小为松散层的重量。根据关键层判别程序^[3],大柳塔 1203 工作面上覆岩层中关键层为表 1 所示的序号为 8 的粉砂岩,厚度 2.2 m,位于采空区上方 4.6 m 处。模型采用 Mohr—Coulomb 塑性本构模型,以拉破坏为判别关键层破断的依据。

根据以上数值模拟的结果进行分析,采高为 4 m 时,随着工作面的不断推进,在煤壁前方的上覆岩层应力由压应力转化为拉应力,覆岩中会出现超前拉伸裂缝。此时,上覆岩层中关键层拉应力也扩展明显,靠近开切眼一侧发育充分,总体破坏区表现为非对称性。当工作面推进 30 m 时,采空区上方的直接顶应力为 $\sigma = 0$ MPa,说明直接顶已经破坏;关键层中出现最大拉应力为 $\sigma = 1.5$ MPa,达到其抗拉强度极限值,这说明关键层即将发生初次破断,破断距

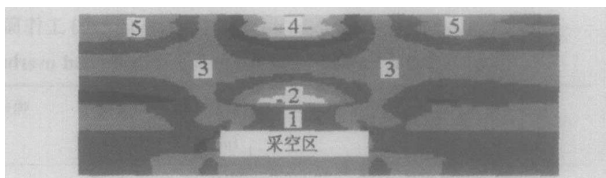


图 2 采高 4 m 时关键层初次破断的应力分布图

Fig. 2 Stress distributing figure of the first breakage of the key stratum when the mining height is 4 m

1—— $\sigma = 0$ MPa; 2—— $\sigma = 1.5$ MPa; 3—— $\sigma = -0.5$ MPa;
4—— $\sigma = -2.0$ MPa; 5—— $\sigma = 1.0$ MPa
(应力值正值代表压应力,负值代表拉应力)

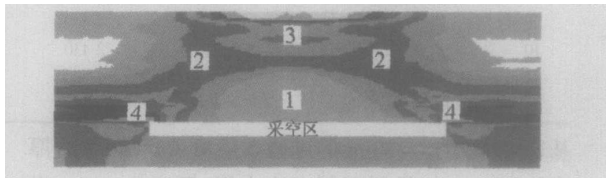


图 3 采高 2 m 时覆岩的应力分布图

Fig. 3 Stress distributing figure of the overburden rock when the mining height is 2 m

1—— $\sigma = 0$ MPa; 2—— $\sigma = -2.0$ MPa;
3—— $\sigma = -3.0$ MPa; 4—— $\sigma = -5.0$ MPa
(应力值正值代表压应力,负值代表拉应力)

为 30 m,如图 2 所示。图 2 说明了关键层的剪破坏区直接与工作面煤壁沟通,这也证实了随着工作面的推进裂缝扩展,当工作面推进到裂缝下方时,裂缝出现贯通,引起工作面顶板切落、涌水和溃砂灾害。

采高为 2 m 时,随着工作面推进距离的不断增大,当工作面推进至 60 m 时,采空区上方直接顶的应力出现 $\sigma = 0$ MPa,即无应力,说明直接顶已冒落破坏;但上覆岩层中关键层的应力为 $\sigma = -2.0$ MPa (负号表示受压应力作用),说明关键层还有承载能力,还未出现失稳,如图 3 所示。覆岩的应力分布(图 3),说明了当采高减小时,由于开采引起直接顶冒落,破碎岩块充填作用,关键层结构不会发生失稳,不会导致覆岩切落下陷裂缝破坏。

模拟计算分析表明,神东矿区厚风积沙松散层覆盖,浅埋煤层关键层破坏形式为拉破坏;根据关键块的初始回转角确定关键层结构稳定性是可行的。对于浅埋煤层开采,采用限高开采(分层开采)可以控制关键层的失稳,这可避免覆岩出现全厚切落形式的地表非连续破坏。

4 采动损害分析

浅埋煤层的特殊地质采矿条件,决定了浅埋煤层采动损害有它的特殊性。浅埋煤层开采损害特点主要表现在以下几个方面:

a. 神东矿区煤层埋藏浅,开采厚度大,基岩

薄, 松散覆盖层厚。浅埋煤层关键层破断, 引起工作面强烈来压和工作面出现台阶下沉, 最大下沉量达 1 000 mm, 造成基岩全厚切落和地表非连续破坏, 出现地堑, 初次来压时出现地堑高差约为 200 mm。

b. 大柳塔矿 1203 工作面证实, 随着工作面的推进, 地表不断产生裂缝, 最宽达 2 m。地表出现急剧下沉, 最大下沉量 10 m, 地表还出现较深的沙漏斗, 深达 24 m, 地表下沉形成塌陷坑, 如图 4 所示^[4]。

c. 矿区内有含水层(萨拉乌苏组砂层和烧变岩含水层), 虽然覆岩中有的岩层隔水性较好, 但若进行大规模开采, 会引起覆岩破坏, 形成导水裂隙, 从而使得含水层中的水大量涌入工作面, 造成地面水土流失, 矿区内沙漠化严重。

d. 矿区内地表为较厚的第四纪厚松散层所覆盖, 随着工作面的推进, 关键层破坏在工作面煤壁形成裂缝, 关键块逆向回转使裂缝张开, 导致大量的松散层水、砂涌入工作面, 形成井下溃砂灾害。

5 控制开采方法

在浅埋煤层条件下可以采取控制开采措施以减小开采损害程度。通过分析矿区现有的生产技术条件和开采损害特点, 可采用下述开采方法有效地控制开采损害程度^[5~7]。

限高开采 对厚煤层实施分层开采, 以减小一次开采损害。浅埋煤层基岩薄, 松散覆盖层厚, 采用大采高的综合机械化采煤方法对地表损害较为严重。根据数值模拟结果, 对于 1203 工作面采高为 4 m 时, 随工作面推进距离的增大, 覆岩中关键层发生破断, 关键层失稳; 采高为 2 m 时, 随着工作面的推进, 覆岩中关键层没有出现失稳现象。因此, 浅埋煤层实施下行分层开采能有效的控制采动裂缝损害。具体方案可取, 开采第一分层后, 待上覆岩层基本稳定, 开采第二分层, 分层厚度为 2 m。该控制开采方法能减少浅埋煤层的开采损害。

工作面局部充填开采方法 根据关键层断裂结构失稳条件, 选择合适的位置从地表钻孔充填或随工作面推进, 采取局部条带充填, 控制关键层, 使之缓慢下沉, 控制突陷导致覆岩切落裂缝发生。

可以应用关键块的初始回转角确定关键层结构稳定的开采条件。

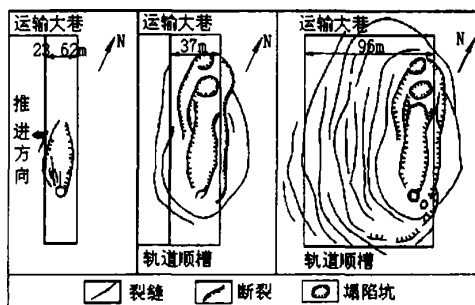


图4 1203 工作面开采过程中裂缝、断裂、塌陷发育特征

Fig. 4 The character of crack, rupture and subsidence with the process of mining in 1203 mining face

6 结束语

浅埋煤层开采地表裂缝破坏是由它的特殊地质开采条件决定的, 具特殊性。本文根据浅埋煤层采动损害现状, 分析了浅埋煤层开采覆岩破坏规律和采动损害规律及特点, 结合大柳塔 1203 工作面的具体实例, 对浅埋煤层关键层结构稳定性进行了理论和数值分析, 确定了关键层结构稳定的开采条件和浅埋煤层的减损控制开采方法——限高开采(分层开采)。这种控制开采方法能有效减少浅埋煤层采动裂缝损害, 为神东矿区实施保水开采研究和生态环境保护提供了科学的理论依据。

参考文献

- [1] 黄庆享. 浅埋煤层长壁开采顶板结构及岩层控制研究[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000: 28—31.
- [2] 段中会, 杨宏科, 赵洪林. 陕北神府矿区开发与生态环境保护中的几个问题[J]. 陕西煤炭技术, 1998, (2): 31—33.
- [3] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 17—27.
- [4] 魏秉亮, 范立民, 杨宏科. 浅埋近水平煤层采动地面变形规律研究[J]. 中国煤田地质, 1999, 11 (3): 44—47.
- [5] YU Xue-yi, WU Jiao-kun. The control of mining damage and eco-system rebuilding about water-collapsible loess of the west China[A]. 中国西部环境问题与可持续发展国际学术研讨会论文集[C]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004. 363—367.
- [6] 余学义. 采动损害及治理应用技术现状分析[A]. 科技创新与发展西安科技学院 2002 年学术大会论文集[C]. 西安: 西安科技学院, 2002. 27—30.
- [7] 余学义. 地表移动破坏裂缝特征及其控制方法[J]. 西安矿业学院学报, 1996, (01): 1—4.