

# 坚硬顶板采场采空区岩层离层遥测研究

赵同彬<sup>1,2</sup>, 谭云亮<sup>1,2</sup>, 马洪岭<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学 矿山灾害预防控制省部共建教育部重点实验室, 青岛 266510; 2. 山东科技大学 资源与环境工程学院, 青岛 266510)

**摘 要:** 利用梁弯曲理论, 根据岩层间变形不协调性关系, 建立了坚硬顶板离层的判别条件, 并指出了相应参数对顶板变形的相对影响程度。采用遥测技术监测坚硬顶板采场采空区岩层离层, 结果表明, 遥测系统可以有效采集到顶板岩层离层发育信息, 通过监测曲线的分析, 能够确定采空区顶板产生离层的位置, 进而可预测出顶板垮落厚度。利用遥测系统采集到采空区顶板失稳前的离层信息, 及时采取相应的措施, 可保证坚硬顶板煤层安全开采。

**关 键 词:** 坚硬顶板; 弯曲变形; 离层遥测; 不协调变形

中图分类号: TD 325

文献标识码: A

## Study on rock separation telemeter of hard roof in goaf

ZHAO Tong-bin<sup>1,2</sup>, TAN Yun-liang<sup>1,2</sup>, MA Hong-ling<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Mine Disaster Prevention and Control, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China;

2. College of Resources and Environment Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

**Abstract:** Based on flexure theory and inharmonic relationship of deformation of rocks, the criterion of hard roof separation was built. And the influence of homologous parameters on roof deformation was given. Using the technology of telemeter measurement to monitor rock separator in goaf, the conclusion can indicate: the system of telemeter can monitor effectively the separation information of roof rock. By anglicizing the curve monitored, the position of roof where separation happens can be confirmed; and the thickness of cave of roof would be predicted. Using the information monitored by the system of telemeter before roof cave, some prevention can be practiced to protect the safety mining under hard roof.

**Key words:** hard roof; flexural deformation; separation telemeter; inharmonic deformation.

## 1 引 言

坚硬顶板采场的悬顶面积大, 顶板垮落失稳具有突发性, 且常伴随着冲击地压的发生, 极为严重地影响着煤矿的安全生产。从力学机制上讲, 坚硬顶板的垮落失稳是岩层离层的动态发展结果, 而离层是由于采动过程中岩层产生不协调性变形而导致的。因此, 采取必要的监测手段采集采空区顶板失稳前的离层信息, 及时采取相应的措施, 就能确保开采坚硬顶板煤层的安全性。

作为判断巷道顶板的稳定性, 评价巷道支护质量和修改支护设计依据的巷道顶板离层监测技术在煤矿生产中得到了广泛地应用。目前国内外的多家科研单位和院校, 无论是在巷道离层指示仪的研

制<sup>[1~3]</sup>, 还是在巷道顶板离层产生的原因、形式及预警临界值确定方法方面都作了充分地研究<sup>[4~6]</sup>, 并在井下应用中取得了良好效果。本研究在对坚硬顶板离层力学分析基础上, 将离层遥测方法引入到坚硬顶板采场采空区的岩层垮落失稳监测中, 以保证坚硬顶板条件下煤层安全、高效开采。

## 2 坚硬顶板采空区岩层离层力学分析

采场上方暴露岩层的两端由煤体支撑, 或一端由工作面前方煤体支撑、一端由采空区矸石支撑, 如图 1 所示, 因此可视采场顶板为在均布载荷作用下的多层嵌固梁<sup>[7]</sup> (以两层为例进行分析), 简化后的力学模型如图 2 所示。

随着工作面的推进, 在上部载荷作用下采空区

上方岩层将发生弯曲变形,当变形值达到极限值时,顶板产生垮落。对于相邻的两岩层,是同时运动,还是分开运动可用两岩层变形的最大挠度进行判断。若上部岩层的变形挠度大于或等于下部岩层的变形挠度,则两层岩层产生同步变形,层间不产生离层,如图3所示。若上部岩层的变形挠度小于下部岩层,则两层岩层变形不同步,层间产生离层,如图4所示。

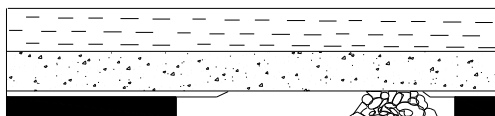


图1 煤层开采后顶板岩层支承情况

Fig.1 The support condition of roof rock after mining

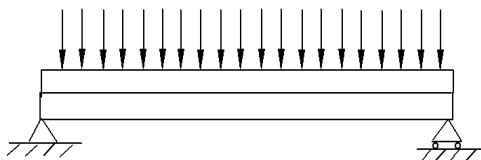


图2 顶板岩层的梁式力学模型

Fig.2 The beam mechanical model of roof rock

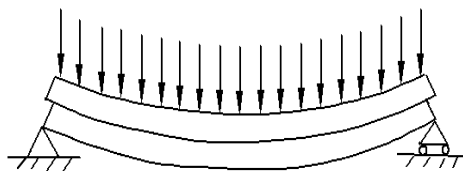


图3 岩层的协调变形

Fig.3 The harmonic information of rock

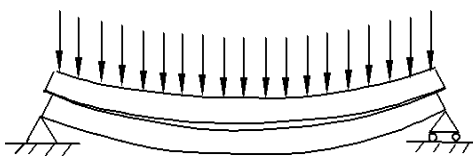


图4 岩层的不协调变形

Fig.4 The inharmonic deformation of rock

岩层间离层发生的力学条件为

$$v_{\max \text{上}} < v_{\max \text{下}} \quad (1)$$

式中  $v_{\max \text{上}}$  为上部岩层的变形挠度;  $v_{\max \text{下}}$  为下部岩层的变形挠度。

由梁的弯曲变形理论可知,固定梁弯曲时的最大挠度  $v = \frac{qL^4}{32EH^3}$ , 简支梁弯曲时的最大挠度

$$v = \frac{5qL^4}{32EH^3}, \text{ 悬臂梁弯曲时的最大挠度 } v = \frac{3qL^4}{2EH^3}。$$

其中  $q$  为岩梁上部的均部载荷;  $L$  为岩梁的跨度;  $E$  为岩梁的弹性模量;  $H$  为岩梁的厚度。将不同支承

条件下梁的最大挠度写成通式,表示为  $v = \lambda \frac{qL^4}{EH^3}$ 。

$\lambda$  为由梁支承条件决定的系数,即为相邻两岩层产生离层的判别条件:

$$\lambda_1 \frac{qL_1^4}{E_1H_1^3} < \lambda_2 \frac{qL_2^4}{E_2H_2^3} \quad (2)$$

当岩梁的支承条件和外载荷一定,其挠度与  $L$ 、 $H$  及  $E$  有关,其中  $L$  对挠度的影响最大,  $H$  次之,  $E$  影响相对较小。

### 3 顶板离层遥测系统

顶板离层遥测系统是由顶板离层传感器、顶板离层报警仪分站、通讯分站、接收主机以及计算机组成的,如图5所示。该监测系统的主要特点是采用了高性能的微处理器和高精度的位移传感器,具有精度高、连续记录、现场显示、报警、数据通讯、计算机数据处理等功能。在工作面的切顶排安装顶板离层仪,随着工作面推进离层传感器留在采空区中,监测采空区顶板离层情况,如图6所示。工作面每推进一定距离,便安设一组离层传感器。通过离层遥测系统所反映出的不同位置处岩层位移差的大小来判断采空区顶板岩层是否发生了离层、离层多少及其发生离层的位置。

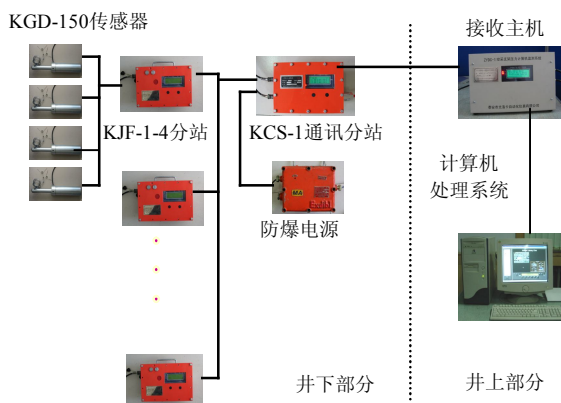


图5 顶板离层遥测系统

Fig.5 The telemeter system of roof separation

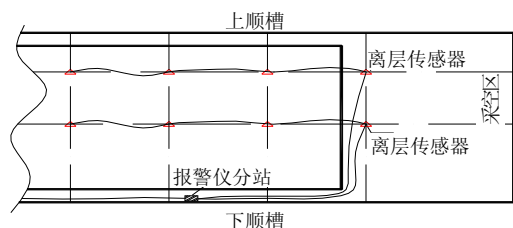


图6 离层遥测系统布置图

Fig. 6 The arrangement plan of separation telemeter system

## 4 监测实例

北京木城涧煤矿三槽煤层顶板为坚硬、完整的砂岩,为了安全地开采这部分煤层,以三槽四壁为试验工作面,引入了顶板离层遥测系统进行监测采空区顶板离层情况,对采空区顶板离层情况进行动态跟踪,实施全程在线计算机监测。根据工作面现场实际情况,采用两点式顶板离层传感器,近点(B点)安设在距顶板表面2.2 m处,远点(A点)安设在3.2 m处,当工作面推进到30 m左右时,在离上顺槽10 m处及30 m处各安装一离层传感器,并在下顺槽安设一分机,开始对顶板离层情况进行监测,而且每推进20 m,便安设一组。除了7号传感器被砸和8,9号传感器使用期间监测系统出现故障外,顶板离层遥测系统均对该工作面采空区顶板垮落进行了有效地监测。

将部分传感器使用过程中监测到的A、B以及(A-B)的数据,绘制成综合曲线图形,如图7~10所示。

1号传感器监测采空区顶板离层数据,如图7所示。按照离层位置分析原理可知,该传感器处的顶板离层位置发生在距顶板表面2.2 m以上,3.2 m以下的区域内。在顶板垮落前2.2 m以下也出现了一些少量的离层。现场的实际垮落厚度为2.5 m左右。2号传感器监测采空区顶板离层数据,如图8所示。按照离层位置分析原理可知,顶板离层发生在2.2 m以下。现场实际的垮落厚度为2 m。4号传感器监测采空区顶板离层数据,如图9所示。从图中可知,A点(3.2 m)处的固定器失效,按照离层位置分析原理可知,在B(2.2 m)点之下出现了离层,而由于A点的失效不能从监测数据曲线中判断出在A点与B点之间是否产生了离层。此次,现场实际的垮落厚度为2~6 m。6号传感器监测采空区顶板离层数据,如图10所示。按照顶板离层原理可知,离层位置出现在2.2 m以下。此次的实际垮落厚度为1 m。

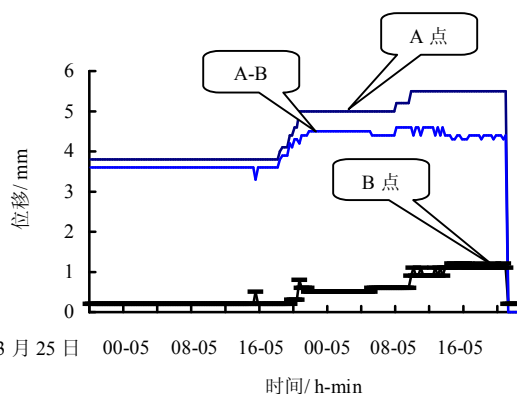


图7 1号传感器监测数据曲线图

Fig.7 The curve diagram of dataset monitored by sensor 1

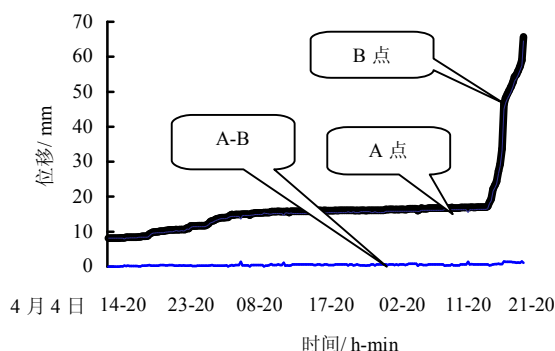


图8 2号传感器监测数据曲线图

Fig.8 The curve diagram of dataset monitored by sensor 2

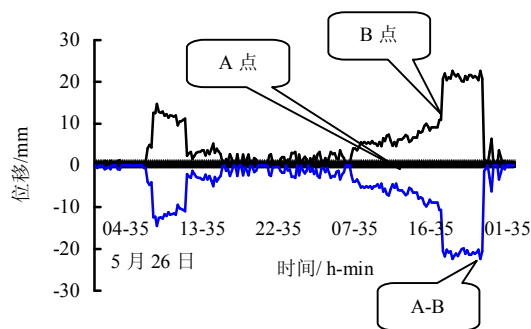


图9 4号传感器监测数据曲线图

Fig.9 The curve diagram of dataset monitored by sensor 4

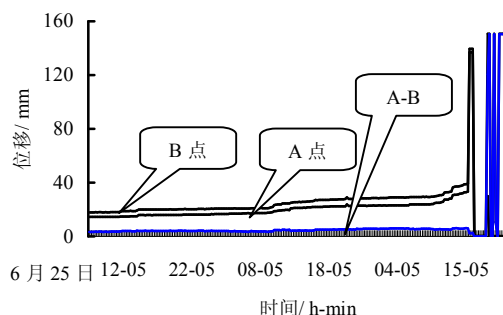


图10 6号传感器监测数据曲线图

Fig.10 The curve diagram of dataset monitored by sensor 6

## 5 结 论

(1) 岩层不协调性变形导致了采场采空区顶板

的离层, 其判别条件为  $\lambda_1 \frac{qL_1^4}{E_1 H_1^3} < \lambda_2 \frac{qL_2^4}{E_2 H_2^3}$ 。

(2) 监测实践表明, 巷道顶板离层遥测系统应用到监测坚硬顶板采空区岩层垮落中, 该方法可行、有效。

(3) 通过监测曲线的分析, 可以确定出采空区顶板产生离层的位置, 进而可预测出顶板垮落厚度。

(4) 利用遥测系统采集到顶板失稳前的离层信息, 可及时采取相应的措施, 保证坚硬顶板煤层安全开采。

(5) 如果需要对采场顶板高位岩层进行离层监测, 需要钻深孔, 安设多点离层传感器。

## 参 考 文 献

- [1] 张少华, 曹卫忠, 钟国强. DLZ-2 型顶板离层指示仪的研制与应用[J]. 矿山压力与顶板管理, 2002, 19(4): 113—114.  
ZHANG Shao-hua, CAO Wei-zhong, ZHANG Guo-qiang. The development and application of DLZ-2 roof separation indicating instrument[J]. **Ground Pressure and Strata Control**, 2002, 19(4): 113—114.
- [2] 蔡嘉芳. 巷道顶板离层指示仪及其应用[J]. 煤矿设计, 2000, (11): 9—10.  
CAI Jia-fang. The application of roof separation

indicating instrument in tunnel[J]. **Coalmine Design**, 2000, (11): 9—10.

- [3] 李明旭, 蒋敬平, 王富奇, 等. KZL300 巷道顶板离层自动监测报警系统[J]. 山东煤炭科技, 2003, (2): 31—32.  
LI Ming-xu, JIANG Jing-ping, WANG Fu-qi. The automatic monitoring and alarming system of roof separation in tunnel[J]. **Shandong Coal Science and Technology**, 2003, (2): 31—32.
- [4] 鞠文君. 锚杆支护巷道顶板离层机理与监测[J]. 煤炭学报, 2000, 25 (Supp.1): 58—61.  
JU Wen-jun. Monitoring technology for rock bolting engineering[J]. **Journal of China Coal Society**, 2000, 25 (Supp.1): 58—61.
- [5] 张文军, 张宏伟, 于世功. 锚杆支护巷道顶板离层监测方法探讨[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, 21(4): 421—424.  
ZHANG Wen-jun, ZHANG Hong-wei, YU Shi-gong. Study on the monitor method of roof separation in bolter support roadway[J]. **Journal of Liaoning Technical University**, 2002, 21(4): 421—424.
- [6] 刘长武, 郭永峰. 锚网(索)支护煤巷顶板离层临界值分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(增 2): 231—234.  
LIU Chang-wu, GUO Yong-feng. Analysis on roof bedding separation critical value of coal mining gallery supported with bolts (cables)[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2003, 24(Supp.2): 231—234.
- [7] 宋振骐. 实用矿山压力控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988.