

# 采动过程中煤层底板破坏特征及破坏深度分析

段 宏 飞

(大同煤矿集团有限责任公司, 山西 大同 037003)

**摘 要:** 为得到采动过程中煤层底板破坏特征及深度, 采用现场应变实测法对开采过程中煤层底板进行监测, 获得底板不同深度的轴向应变和径向应变变化曲线, 分析应变变化得出煤层底板破坏范围及深度。通过在山西某煤矿 5304-2 工作面底板布置 7 个应变传感器进行现场应变实测, 测试结果表明: 该工作面底板破坏深度为 14 m, 其中采动扰动破坏深度约为 12 m; 采动过程中, 底板所受矿压显现影响具有超前和延后的特点, 影响范围随底板深度的增加而减小。

**关键词:** 底板破坏; 采动影响; 轴向应变; 径向应变; 底板突水

中图分类号: TD745

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2014)05-0017-04

## Analysis on Failure Features and Failure Depth of Coal Seam Floor During Mining Process

DUAN Hong-fei

(Datong Coal Mine Group Corporation Limited, Datong 037003, China)

**Abstract:** In order to obtain the failure features and failure depth of coal seam floor during the mining process, a site strain measuring method was applied to monitor and measure coal seam floor during the mining process. Different depth axial strain and radial strain variation curves of the floor were obtained. The failure scope and depth of the seam floor were obtained from the analysis on the strain variation. A site strain measurement was conducted with seven strain sensors set in the floor of No. 5304-2 coal mining face in a mine of Shanxi Province. The measurement results showed that the floor failure depth of the coal mining face was 14 m and the mining turbulence failure depth was about 12 m. During the mining operation process, the floor affected by the mine strata pressure behavior would have advance and delay features and the influence scope would be reduced with the floor depth increased.

**Key words:** floor failure; mining influence; axial strain; radial strain; water inrush from floor

## 0 引 言

煤矿突水事故一直威胁煤矿安全生产, 其中的煤层底板突水是煤矿突水事故中较为常见的一种类型<sup>[1]</sup>。华北地区作为我国的主要煤炭生产基地, 主采石炭二叠系煤层, 该地区的煤层开采受到底板下多层灰岩含水层的威胁, 尤其受到奥陶系巨厚层灰岩强含水层的威胁<sup>[2-4]</sup>。而底板隔水层是防止底板突水的关键层, 煤层开采改变了底板岩层的应力状态, 造成底板隔水层的破坏, 减小了底板隔水层的有效厚度, 进而降低了底板隔水层的阻水能力, 由此增

加了底板发生突水的危险性<sup>[5-7]</sup>。因此, 掌握煤层开采底板破坏特征, 确定煤层底板破坏深度对指导煤矿安全生产具有重要的意义。基于此, 笔者以山西某煤矿 5304-2 工作面煤层开采底板为研究对象, 采用现场应变实测法对煤层底板破坏特征进行研究, 获得了煤层底板岩体不同深度在采动过程中的扰动特征, 以期为防止底板突水, 提高煤矿开采安全系数提供理论依据。

## 1 底板破坏特征研究方法

近年来, 许多国内外专家、学者对煤层底板破坏

收稿日期: 2014-02-22; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.05.005

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(41102201); 中国矿业大学青年科研基金资助项目(2009A029)

作者简介: 段宏飞(1983—), 男, 山西大同人, 博士。Tel: 15386829695 E-mail: dhfcum9@126.com

引用格式: 段宏飞. 采动过程中煤层底板破坏特征及破坏深度分析[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(5): 17-20.

DUAN Hong-fei. Analysis on Failure Features and Failure Depth of Coal Seam Floor During Mining Process[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(5): 17-20.

特征进行了研究,并取得了大量的研究成果,形成了一系列的底板破坏特征研究方法。目前关于底板破坏特征的研究方法可以归纳为现场实测、室内模拟试验和解析计算3种<sup>[8]</sup>。

### 1.1 现场实测

现场实测最早应用于研究工程地质、水文地质等20世纪80年代以来,运用于矿井地应力、顶底板破坏变形等研究方面。现场实测是揭示采动底板破坏特征、确定破坏深度最可靠和最有效的方法<sup>[8]</sup>。目前,煤层底板破坏深度的现场实测方法有很多:钻孔应变法<sup>[7-10]</sup>通过在煤层底板下不同深度处埋设应变传感器测试岩层变形程度,进而确定底板岩层破坏特征和破坏深度;CT电法<sup>[3,11]</sup>通过测试煤层开采前、开采期间及开采后底板岩石的电阻率的差异来分析底板破坏特征、确定破坏深度;微震监测法<sup>[6,12]</sup>通过监测煤层开采过程中底板岩体释放的微震信号来确定底板岩体的空间破坏范围、破坏形态;钻孔注水法<sup>[13]</sup>通过在煤层开采前后对钻孔进行分段封堵注水,对比前后各段的漏失流量分析煤层底板岩层的破坏情况,确定煤层底板的破坏深度。

### 1.2 室内模拟试验

室内模拟试验是研究底板破坏突水问题的重要方法,主要包括相似材料模拟试验和数值模拟试验2种。相似材料模拟试验是将与回采工作面物理力学性质相似的材料,按一定的几何相似比制成相似模型,然后在模型中模拟煤层开采底板的破坏状态<sup>[14-16]</sup>,是研究煤层开采底板破坏特征的一种有效途径。数值模拟试验是指运用数值模拟软件对煤层底板采动应力、破坏特征进行模拟分析,随着计算机技术的高速发展,数值模拟试验在底板破坏、底板水害防治方面得到了不断拓展,科学性和仿真度也不断提高,目前,很多学者都运用了数值模拟试验对煤层开采底板破坏问题进行了研究<sup>[3,6-7,17-18]</sup>。

### 1.3 解析计算

解析计算是指通过统计分析预测或经验公式计算来确定底板破坏深度的方法。文献[6]根据底板破坏深度的实测资料,选取开采深度 $H$ ,煤层倾角 $\alpha$ ,岩石普氏系数 $f$ ,工作面斜长 $L$ 等4个因素进行回归分析,得到底板破坏深度 $h_1$ 的经验公式: $h_1 = 0.1105L + 0.006H + 0.4514f - 0.0085\alpha - 2.39$ 。文献[19-20]根据已有底板破坏资料,运用BP神经网络建立底板破坏深度的预测模型,进而对底板破坏深度进行了预测。

## 2 现场应变实测

尽管现场实测、室内模拟试验和解析计算3种方法都能对底板变形破坏特征进行研究,然而,从力学的角度来看,煤层开采过程底板岩体的应力状态也处于不断的调整,并产生相应的位移、变形直至破坏。因此,通过原位实测底板采动过程的应力和应变的变化规律是揭示底板采动变形破坏的最有效方法。现场应变实测是指在工作面底板监测钻孔中不同深度位置处埋设应变传感器,通过应变记录仪实时采集应变传感器距工作面不同水平距离,并得出煤层底板不同深度的应变,分析底板不同测点位置的岩层变形程度,由此进一步确定底板岩体受采动影响程度和底板破坏深度。

### 2.1 工程概况

山西某煤矿5304-2工作面位于五采区-430 m水平,西侧为尚未开采的5303工作面,东、北侧分别与已回采完毕的5303-2工作面和5304-1工作面相邻,开切眼紧邻矿井边界煤柱。工作面对应地面标高+44.30—+46.29 m,工作面标高-212—-311 m,工作面走向长2422~2434 m,倾斜宽228 m,煤层厚8.3~8.8 m,平均8.60 m,煤层普氏系数为2.9。工作面内煤层结构简单,工作面南部及中部煤层底板上部0.5~1.6 m处局部发育厚0.5~1.0 m的硬质煤体。该工作面地质条件简单,煤层产状总体趋势为西高东低、北高南低,倾角 $6^\circ \sim 15^\circ$ ,平均 $8^\circ$ 。工作面北部为一单斜构造,南部次级宽缓褶皱较发育。工作面轨道巷施工过程中揭露4条断层,落差分别为4.5、0.9、3.3、2.0 m。

### 2.2 现场应变实测法测试原理

现场应变实测法所采用的应变传感器结构如图1所示,并采用KBJ-12型应变记录仪进行应变数据采集。已有的测试结果表明<sup>[7-10]</sup>:这种应变传感器对围岩变形的反应比较灵敏,围岩的变形程度可由测试数据予以显现。当采煤工作面距离测试位置较远、采动影响尚未波及传感器位置时,应变传感器

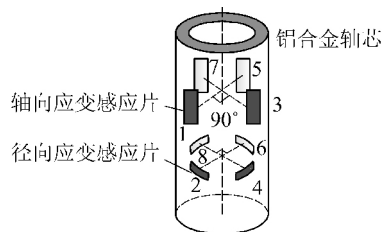


图1 应变传感器结构示意图

测试数据相对稳定,读数变化不大;当工作面推进至测试位置,传感器的测试数据会随着采动影响的严重程度同步变化;当传感器读数变化很大或者测试数据消失时表明该传感器位置受采动影响很大而被破坏。理论上,传感器位置离底板越远,传感器测试数据变化幅度越小,由此可通过不同深度传感器的测试数据来确定煤层开采底板破坏的特征。应变传感器由 8 个应变片及铝合金轴芯组成,其中 1、3、5、7 应变片为轴向应变片,2、4、6、8 应变片为径向应变片。根据布置对称关系,1 和 5 应变片方位一致,3 和 7 方位一致,2 和 6 方位一致,4 和 8 方位一致。此外,传感器外壁包有高弹性塑胶材料,受力均匀,弹性灵敏度高,且对破坏变形的感应较好。

2.3 测试方案

综合考虑现场条件及技术要求,本次现场应变实测选在山西某矿五采区第二运输上山位置布置 3 个测试孔,该巷道顶板距离 5304-2 工作面运输巷底板约 14 m,距离其轨道巷底板约 9 m,测试孔的设计参数见表 1。

表 1 测试孔设计参数

编号	钻孔方向与水平线夹角	煤岩层倾角/(°)	孔口上距离煤层底板垂深/m	孔深/m
I	30°仰角	5	11.5	4
II	90°俯角	5	13.5	8
III	90°俯角	8	9.7	13

注:开孔和终孔直径均为 91 mm。

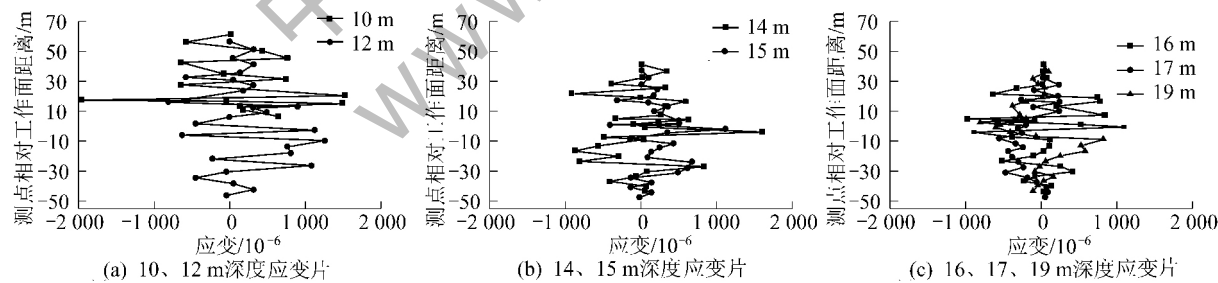


图 2 编号 3 和 7 应变片的应变平均值变化曲线

1) 工作面推进过程中(采前约 65 m 至采后约 50 m),底板下部 10~19 m 段 7 个应变传感器的轴向应变均显示了采动矿压的超前及延后反应<sup>[7-8]</sup>。当工作面推进至距离测点约 65 m,底板下不同深度处应变传感器均开始出现不同程度的应变变化,这种变化直到工作面推过测点约 50 m 后消失。

2) 对比不同深度处应变传感器轴向应变可以看出,浅部应变传感器应变变化幅度明显大于深部,这与实际的采动矿压显现规律相符。底板下部 10

根据同区内底板变形破坏实测结果<sup>[7-8,10]</sup>,并结合 5304-2 工作面地质和开采条件,初步预计此工作面采动底板破坏深度在煤层底板垂深 12 m 以下,因此该次现场应变实测重点监测煤层底板垂深 12 m 以下范围。

I 号测试孔中设置 1 个应变传感器,距煤层底板垂深 10 m; II 号孔设置 3 个应变传感器,距底板垂深分别为 14、16、19 m; III 号孔设置 3 个传感器,距离底板垂深分别为 12、15、17 m。3 个测试孔中 7 个应变传感器交叉设置可控制底板下 10~19 m 段岩层的变形情况。

2.4 测试结果

现场应变实测从 2012 年 11 月 11 日开始,至 2012 年 12 月 7 日结束,具体从工作面距测点约 65 m 开始进行连续监测,至工作面推过测点约 50 m 结束。每个应变传感器共有 8 个应变片,数据处理时,根据对称特点将同方位的应变片的应变值进行了平均计算。为了明显的对比同一方位应变片在不同底板深度处的应变变化情况,将 7 个应变传感器中的相同方位的应变片的应变变化值进行制图,由于数据较多,限于篇幅,笔者重点以编号 3 和 7 应变片应变平均值变化曲线为例,分析采动过程中底板不同深度处应变传感器监测数据的变化规律。编号 3 和 7 应变片的平均应变变化曲线如图 2 所示,图中纵坐标正值表示采前工作面距测点距离,负值表示工作面采后距测点距离。

和 12 m 位置的应变传感器(图 2a)在采前 65~30 m 的轴向应变感应比较平缓;自采前 30 m 开始 2 个测点的应变感应急剧增强,其中底板下部 10 m 位置的应变传感器的应变数据在采前约 8 m 中断,分析判断为应变传感器受到采动影响受损破坏所致,底板下部 12 m 位置轴向应变变化幅度小于 10 m 位置,且其应变持续至采后约 50 m。底板下部 14、15、16、17、19 m 位置应变传感器(图 2b 和图 2c)的轴向应变呈现类似的变化过程,但在应变感应程度及变

化幅度上,不同深度测点存在一定的差异,且具有由浅到深逐渐减小的基本特点。

3) 底板下部 10、12、14 m 位置的轴向应变感应过程、感应程度及变化幅度比较相近,3 个测点的轴向应变分别在工作面距离测点约 30、23 和 20 m 位置开始出现应变感应明显增强的现象,轴向应变最大变化幅度分别为  $3\,500 \times 10^{-6}$ 、 $2\,000 \times 10^{-6}$ 、 $2\,100 \times 10^{-6}$ ;3 个测点在采后轴向应变感应剧烈的延后距离分别为 0(破坏)、25、22 m。与上部测点相比,底板下部 15、16、17、19 m 处的轴向应变感应变化程度相对微弱,4 个测点采前轴向应变感应剧烈的超前距分别为 15、23、20、10 m,轴向应变最大变化幅度分别为  $800 \times 10^{-6}$ 、 $1\,900 \times 10^{-6}$ 、 $500 \times 10^{-6}$ 、 $900 \times 10^{-6}$ ;4 个测点在采后轴向应变感应剧烈的延后距分别为 15、25、20、12 m。

## 2.5 测试结果分析

由现场应变实测结果可知,轴向应变在底板下部 10、12、14 m 三个浅部测点的应变感应剧烈,变化幅度大,数据分异现象显著,其中底板下部 10 m 处测点的轴向及径向应变在采前约 8 m 中断,其他深度测点在整个测试过程中均正常。结合以往实测经验<sup>[7-10]</sup>,分析认为底板下部 10 m 处应变传感器位置的钻孔,由于受到采动矿压影响发生错段或严重的挤压变形而造成应变传感器损毁;而底板下部 12、14 m 处的应变传感器受到强烈的采动影响进而造成应变变化幅度大。

轴向应变在底板下部 15、16、17、19 m 四个深部测点的变化幅度相对较小,分析认为此深度岩层未产生较大的塑性变形,可认为此深度岩层未产生破坏。轴向应变在底板下部 14 m 以上最大应变变化幅度大,14 m 以下变化相对较小。基于以上分析,可知 5304-2 工作面底板破坏深度为 14 m 左右,其中采动扰动破坏深度约为 12 m。

## 3 结 论

1) 采用现场应变实测法对采动过程中底板破坏特征进行了监测,经过对比分析 7 个不同底板深度处的应变传感器测试数据,确定底板破坏深度约为 14 m,采动底板扰动破坏深度约 12 m。

2) 煤层开采过程中,底板所受采动矿压的影响具有超前和延后特点,且影响范围随着底板深度的增加而逐渐减小;煤层采动超前影响距一般大于延后影响距。

## 参考文献:

- [1] 肖建于,童敏明,姜春露.基于模糊证据理论的煤层底板突水量预测[J].煤炭学报,2012,37(S0):131-137.
- [2] 徐智敏,孙亚军,巩思园,等.高承压水上采煤底板突水通道形成的监测与数值模拟[J].岩石力学与工程学报,2012,31(8):1698-1704.
- [3] 虎维岳,尹尚先.采煤工作面底板突水灾害发生的采掘扰动力学机制[J].岩石力学与工程学报,2010,29(S0):1698-1704.
- [4] ZHU Shu-yun, JIAN Zhen-quan, HOU Hong-liang et al. Analytical Model and Application of Stress Distribution on Mining Coal Floor[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2008, 18(1):13-17.
- [5] 孙建,王连国,唐芙蓉,等.倾斜煤层底板破坏特征的微震监测[J].岩土力学,2011,32(5):1589-1595.
- [6] 张蕊,姜振泉,岳尊彩,等.采动条件下厚煤层底板破坏规律动态监测及数值模拟研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(5):625-630.
- [7] 朱木云,曹丁涛,岳尊彩,等.特厚煤层综放采动底板变形破坏规律的综合实测[J].岩土工程学报,2012,34(10):1931-1938.
- [8] 朱木云,鞠远江,赵振中,等.超化煤矿“三软”煤层采动底板变形破坏的实测研究[J].岩土工程学报,2009,31(4):639-642.
- [9] 段宏飞,姜振泉,张蕊,等.杨村煤矿综采条件下薄煤层底板破坏深度的实测与模拟研究[J].煤炭学报,2011,36(S0):13-17.
- [10] 程九龙,于师建,宋杨,等.煤层底板破坏深度的声波 CT 探测试验研究[J].煤炭学报,1999,24(6):576-580.
- [11] 姜福兴,叶根喜,王存文,等.高精度微震监测技术在煤矿突水监测中的应用[J].岩石力学与工程学报,2008,27(9):1932-1938.
- [12] 卫伟.矿压对肥城矿区底板破坏深度的实测研究[J].中国煤炭,2005,31(9):55-57.
- [13] 黎良杰,钱鸣高,殷有泉.采场底板突水相似材料模拟研究[J].煤田地质与勘探,1996,25(1):33-36.
- [14] 姜耀东,吕玉凯,赵毅鑫,等.承压水开采工作面底板破坏规律相似模拟实验[J].岩石力学与工程学报,2011,30(8):1571-1578.
- [15] 弓培林,胡耀青,赵阳升,等.带压开采底板变形破坏规律的三维相似材料模拟研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(23):4396-4402.
- [16] JIANG Zhi-hai. Numerical Analysis of the Destruction of Water-Resisting Strata in Coal Seam Floor in Mining Above Aquifers[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2011, 21(4):537-541.
- [17] 雷文杰,汪国华,薛晓晓.有限元强度折减法在煤层底板破坏中的应用[J].岩土力学,2011,32(1):299-303.
- [18] WANG Lian-guo, ZHANG Zhi-kang, LU Yin-long et al. Combined ANN Prediction Model for Failure of Coal Seam Floors[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2009, 19(5):684-688.
- [19] 于小鸽,韩进,施龙青,等.基于 BP 神经网络的底板破坏深度预测[J].煤炭学报,2009,34(6):731-736.