

⑤
21-26

煤矿巷道底鼓及其预防方法 的边界元模拟研究

THE STUDY OF FLOOR HEAVE AND ITS PREVENTION IN COAL
MINE BY MEANS OF BOUNDAR ELEMENT METHOD

TD325

谭学术

Tan Xueshu

(重庆大学)

Syd S. Peng

Peng, SS

(美国 West Virginia 大学)

摘 要 应用边界元模型,对美国犹它州某煤矿巷道底鼓问题进行了模拟研究。其研究结果表明:较大的水平地质构造应力是导致该矿巷道底鼓产生的主要原因。在此基础上进而提出了采用底板锚杆系统可以有效地防治该矿巷道底鼓的新见解。

关键词 底鼓;边界元模型;底板岩石锚杆系统

煤矿, 巷道

中国图书资料分类法分类号 TD325

ABSTRACT A boundary element model is performed to simulate the floor heave problem in the U. S. Fuel Co. King No. 4 Mine, especially, to study the mechanism and preventive measure of the floor heave. The result reveals that the larger horizontal tectonic stress is the major factor to induce the floor heave in the mine. Based on the result, the paper proposes that the floor rock bolt system may be regarded as a good preventive measure of the floor heave.

KEY WORDS floor heave; boundary element model; floor rock bolt system

0 引 言

在美国许多地下煤矿开采中,巷道底鼓将越来越严重地影响煤矿生产的安全性,甚至有时危害矿井工人的生命安全^[1]。位于美国犹它州境内某煤矿的巷道底鼓等现象就是如此,并已影响了该矿的正常生产。

巷道底鼓的原因十分复杂,它与区域地质构造应力的分布,煤层和底(顶)板岩石的物理力学性质、采掘顺序和方法、煤岩交界处的应力和能量变化状态等因素密切相关^[2,3]。

在上述引起巷道底鼓的所有因素中,地质构造应力,特别是水平地质构造应力是导致巷道底鼓的主要因素之一。例如本文所研究的美国犹它州境内的某煤矿就是地质构造应力比较大的区域^[1,4,5]。

* 收文日期 1991-09-12

美国 West Virginia 大学采矿系系主任, Charles T. Holland 教授。

以前,美国主要对由垂直地应力所引起的煤矿地层控制问题的研究比较重视,并已取得了成功的经验^[1]。然而,目前美国越来越多的煤矿正面临着由水平地应力所引起的巷道底鼓问题,因此,巷道底鼓问题的研究是必要的,应该引起足够的重视。

1 矿井基本情况

所研究的煤矿位于美国犹它州境内的 Wasatch 高原煤田,开采层称之为 Hiawacha——B 号煤层,该煤层厚约 3.05m,煤层走向为 N55°E,呈 3‰ 的坡度倾向东南部。该矿采用房柱式开采方法。开采初期,采区应用方型煤柱进行掘进和后退回来,其方型煤柱尺寸为 21.4m × 21.4m。但该矿采用方型煤柱采掘过程中,由于出现了严重的巷道底鼓等地压问题。因此,将之改为矩型煤柱方式对以后的采区进行开采,其矩型煤柱尺寸分别为 27.5m 长和 10.7m 宽。

图 1 表示测示现场位置,它是本文模拟研究的区域。据文献[1]介绍,按图 1 所选择的测点布置的主要优点是能够较好地研究与巷道底鼓相关的地应力参数以及煤岩的物理力学性质等。

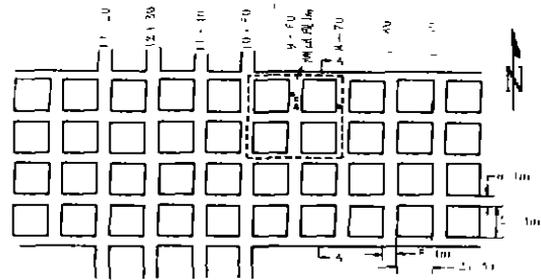


图 1 测试现场位置

该矿的主要地压问题是巷道底鼓现象,这种底鼓现象几乎在该矿的所有巷道中出现。据现场观察,巷道底鼓的岩石是直接底板(主要由煤层及层状页岩所组成)。并且,巷道底鼓现象多属脆性岩石的突然破坏,往往还伴随着冲击地压现象发生。

2 边界元模拟研究

为了研究该矿巷道底鼓产生的原因以及探讨预防底鼓的方法,本文应用边界元模型对此问题进行模拟研究。

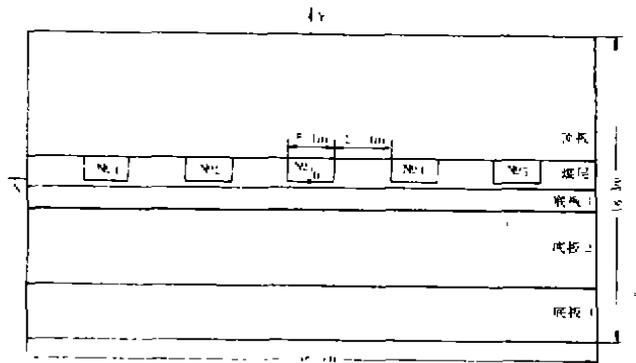


图 2 边界元模型

所选择的模型简况如图 2 所示。此模型中共有五条巷道,用作研究该矿底鼓问题的代表区域。此模型共由煤层、顶板、直接底板、间接底板 1 和 2 共计五层材料所组成。其主要煤层和

顶(底)板岩石的物理力学参数见表1。此边界元模型的高度和宽度分别是18.3m和158.5m。由上复岩层所引起的垂直应力 R_y 分别作用在模型顶部和底部,水平地应力分别作用在模型的左边和右边。煤柱和巷道的几何尺寸分别为21.4m×21.4m和6.1m×2.3m,模拟煤层的厚度为2.54m。

表1 煤和顶底板岩石的主要力学性质

岩石类型	杨氏模量 GPa	泊松比	单轴强度 MPa
煤层	3.413	0.24	19.940
底板1 (煤层、页岩等)	4.137	0.22	30.337
底板2 (页岩、砂岩以及泥岩等)	28.268	0.37	152.877
底板3 (砂岩等)	28.544	0.37	115.832
顶板 (页岩、泥岩以及砂岩等)	23.511	0.36	98.595

其它模型参数如下:

边界节点数: 35; 界面计算节点数: 72;
边界单元数: 20; 模型内点数: 38;
岩石层面数: 15; 总计算点数: 185。

为了探讨在不同外应力作用下的应力和位移分布情况以及采用锚杆系统降低巷道底板底鼓的效果,因此,对该模型按下述四种不同情况进行模拟研究。

2.1 第一种情况

由上复岩层所引起的垂直应力 $R_y=8.963$ MPa,并且,该力分别施加在边界元模型的顶部和底部;仅由泊松效应引起的水平应力 $R_x=4.482$ MPa,并且,该力分别作用在模型的两力。该情况不考虑岩石锚杆系统。该情况主要研究在正常地应力作用下巷道底板岩石的应力及其位移分布状况。

2.2 第二种情况

该情况下的垂直应力和水平应力(R_y, R_x)与第一种情况完全相同,但对模型中所有的巷道底板安装锚杆系统。其相应的锚杆参数如下:

总锚杆数: 20根; 每个巷道的锚杆数: 4根;
锚杆计算节点数: 60; 锚杆计算单元数: 40;
锚杆长度: 1.83m; 锚杆直径: 0.0254m;
锚杆的杨氏模量: 4.137 MPa; 锚洞直径: 0.0318m;
环氧树脂的杨氏模量: 0.827 MPa; 锚杆沿巷道轴向的间距: 1.22m;
托板的尺寸: 0.15m×0.15m; 对锚杆施加的预张应力: 0。
环氧树脂与锚洞之间的摩擦系数: 0.6;

该情况研究的主要目的是考察岩石锚杆系统能否降低巷道底板的位移和应力。

2.3 第三种情况

施加在模型顶部和底部的垂直应力 R_y 仍由上部岩层自重所引起, 其值等于 8.963 MPa; 但水平应力由地质构造作用所引起, 其水平地质构造应力 $R_x = 13.59$ MPa。该应力仍作用在边界元模型的左、右两边界面上。对该情况不考虑岩石锚杆系统。该研究的主要目的是探讨在水平地质构造应力大于垂直应力情况下, 其巷道底板的应力和位移分布情况, 并且了解是否会发生巷道底鼓现象。

2.4 第四种情况

其垂直应力和水平地质构造应力的大小及其作用情况与第三种情况完全相同, 但对模型巷道均考虑安装岩石锚杆。其相应的锚杆参数与第二种情况相同。

此研究的主要目的是考察锚杆系统能否降低巷道底板岩石的位移和应力, 亦即研究锚杆系统对水平地质构造应力大于垂直应力情况下抑制巷道底鼓的效果。

计算中采用文献[6]提供的边界元计算程序。经多次使用结果证明, 该程序对本文所模拟的问题是比较适用的。其计算过程是在美国西弗吉利亚大学计算主机上进行的。计算结果规定拉应力为正, 压应力为负; 指向 x 和 y 正方向的位移为正, 反之位移为负。

3 计算结果及其分析

一般而言, 情况1中模型巷道底板岩石的应力和位移均小于情况3中模型巷道底板岩石的应力和位移。众所周知, 对于情况1和情况3, 对模型底部和顶部施加的垂直应力 R_y 均相同, 其值等于 8.963 MPa。但是, 对情况1和情况3中模型所施加的水平应力 R_x 却互不相同, 其值分别为 4.482 MPa 和 13.59 MPa。并且, 情况1中的水平应力系由泊松效应所导致产生, 而情况3中的水平应力主要由地质构造作用所导致产生。由引可知, 情况3中巷道底板岩石较大的位移和应力主要是由较大的水平地质构造应力所引起的。并且, 在情况3中, 巷道底板岩石 y 方向的位移值(即指向巷道中心的位移值)比情况1要大得多。因此, 较大的水平地质构造应力是导致巷道底鼓的至妥原因。可以预言, 在此情况下, 巷道底鼓将随水平地质构造应力的增加而更加严重。

对情况3和情况4, 情况3中巷道底板 Y 方向位移一般大于情况4中巷道底板方向位移, 对于情况1和情况2也有类似的情况出现。我们知道, 情况3和情况1中模型岩石巷道底板均未考虑安装锚杆系统, 而情况4和情况2中模型岩石巷道底板均安装锚杆系统。这说明不管是在水平地质构造应力大于垂直应力还是水平应力小于垂直应力情况下, 对巷道底板岩石安装锚杆系统之后均能对巷道底板岩石位移起到抑制作用, 特别是对巷道底板岩石 Y 方向的位移有较好的抑制作用。这有力地证明了巷道底板岩石锚杆系统能够较好地预防巷道底鼓现象发生。因此, 建议该矿(包括类似情况的矿井及地下工程结构)采用巷道底板岩石锚杆系统预防底鼓现象。其相应的锚杆参数可应用情况2中所给出的。

本文应用下述莫尔强度理论作为岩石破坏的判据^[4]:

$$\sigma_1 = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \sigma_3 + \frac{2C \cos\phi}{1 - \sin\phi} \quad (1)$$

或

$$\sigma_y = \sigma_c + q\sigma_s, \quad (2)$$

根据(1)式或(2)式以及计算结果等,发现在第三种情况下模型中 No. 1巷道底板岩石已发生破坏,然而情况1中 No. 1巷道底板岩石却未破坏。另外,根据文献[1],可知在 No. 1巷道附近底板岩石强度注和易于破坏。此测量结果与情况3所得计算结果比较类似。

表2 孔径法实测地应力与计算地应力的比较

距巷道距离(m)	最大主应力 P(MPa)		最小主应力 Q(MPa)		
	实测值	计算值	实测值	计算值	
底板岩石	1.43	9.58	9.80	1.63	1.67
	2.53	13.60	10.97	2.18	2.28
	2.83	17.40	13.91	3.72	4.56
	3.20	8.18	9.15	2.10	2.65
	3.54	8.91	9.74	1.94	2.15
顶板岩石	4.18	5.35	6.76	1.52	2.03
	1.22	6.49	7.45	2.85	3.50
	2.65	7.83	8.48	5.72	6.42
	2.96	7.96	8.40	3.39	3.66
	3.26	6.78	7.11	2.91	3.67
	3.63	7.63	8.40	4.39	5.32
	3.93	8.66	7.16	5.11	5.95
4.27	5.81	6.16	1.48	2.82	

文献[1]中分别采用孔径法和压力计法测量测试现场处的地应力,但两种方法所测得的结果差异较大。然而,本文在同样位置处的计算结果却与采用孔径法所得的结果比较接近(参见表2)。这说明用孔径法所测得的地应力结果比较可靠。

现对实测位移和计算位移进行比较:由文献[1]可知在 No. 2巷道底板岩石附近,其实测 y 方向的位移值约为 0.0036 m,对于情况1,其相应点的计算 y 方向的位移值为 0.0031 m,这说明两结果比较接近。然而,情况3中相应点的计算位移值却与实测值差异较大。根据文献[1],这种差异可能是仪器安装和调整不当所造成的。

4 主要结论

根据边界元模拟计算结果以及前述分析,可得下述主要结论。

1) 水平地质构造应力大于垂直应力情况下,应力和位移一般大于水平地质构造应力小于垂直应力的情况下的应力和位移,因此,该矿较大的水平地质构造应力是导致巷道底鼓现象发生的主要原因。

2) 对该矿巷道底鼓现象,可采用巷道底板岩石锚杆系统预防之。

3) 本研究中提供的岩石锚杆系统和锚杆参数可用为该矿及其类似矿井预防巷道底鼓现象之用。

4) 本文给出的有关地应力和位移计算结果与实测结果比较接近或基本接近。

参 考 文 献

- 1 U. S. department of interior bureau of mines, Field investigation of coal mine opening stability. In: 10th Int. Conference on Ground Control, Morgantown, west Virginia University, 1988, 1~12
- 2 Syd S. Peng, Coal mine ground control, 2, (New York); John wiley and sons, Inc. 1978, 133~177
- 3 K. Hanna, Effect of high horizontal stress on coal mine entry intersection stability, 5th conference on ground control in mining, 1986
- 4 鲜学福, 谭学术. 层状岩体破坏机理. 重庆大学出版社, 1989, 37~52
- 5 于学颢. 地下工程围岩稳定分析. 煤炭工业出版社, 1983, 68~73
- 6 Syd S. Peng, A hybrid boundary element—finite element method of stress analysis for bolt—reinforced inhomogeneous ground, Mining science and technology, 1988, 16(1)