

综放工作面顶煤放出体形态理论研究

宋晓波,王鹏宇

(山西潞安环保能源开发股份有限公司 余吾煤业有限责任公司,山西 长治 046031)

摘要: 为了表述顶煤放出煤体形态,将破碎的顶煤看作随机流动的松散介质,利用 PFC2d(Particle Flow Code - 2d) 离散元计算软件建立了放顶煤横向剖面的二维模型,通过离散元迭代法计算出顶煤放出体形态。以放出体边界小球坐标为基础,对随机介质理论的二维方程进行数据拟合,得出了二维顶煤放出体函数。顶煤放出过程是三维流动过程,在二维模型的基础上,假设在横向剖面 and 纵向剖面 2 个方向上,顶煤流动是相互独立的,以边界小球坐标为依据,对随机介质理论的三维方程进行数据拟合,得出了三维顶煤放出体函数,函数图与模拟放出体形状基本一致,说明将随机介质理论引入顶煤放出体形态研究是可行的,可以依此合理确定生产过程中的放煤参数。

关键词: 综放工作面; 随机介质理论; 顶煤放出体; 离散元迭代法

中图分类号: TD82. 49 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253 - 2336(2014) 08 - 0012 - 03

Theoretical Research on Cavebody Shapes of Top Coal Caving in Fully - Mechanized Caving Face

SONG Xiao-bo, WANG Peng-yu

(Yuwu Coal Industry Company, Shanxi Lu'an Environmental Energy Development Co., Ltd., Changzhi 046031, China)

Abstract: In order to describe top coal caving shapes, the broken top coal was regarded as random flowing loose medium. By using PFC2d software, the two - dimensional model in transverse section was established, and the shapes of caving top coal could be worked out through discrete element iteration method. Based on the boundary spherule coordinate, the two - dimensional function of caving top coal was determined by carrying on data fitting to the two - dimensional equation of random medium theory. The top coal caving was a three - dimensional process. The paper assumed that the process of top coal caving were mutual independent in transverse section and longitudinal section, according to the boundary spherule coordinate, the three - dimensional equation of drawn top coal could be determined by data fitting to the three - dimensional equation of random medium theory. It presented that the random medium theory was feasible to top coal caving study for the function image and the simulated drawn top coal shapes being basically identical. It could determine rationally coal caving parameters during production process.

Key words: fully - mechanized caving face; random medium theory; cavebody of top coal; discrete element iteration method

0 引 言

近 30 年来,随着综放开采技术在我国各大矿区的广泛应用,国内专家学者、技术人员对顶煤放出规律开展了大量研究工作。在顶煤放出规律研究中,始终以椭球体理论为基础^[1-3],但是椭球体理论对放出体形态的多态变化,不能完整地表达,其定量计算的精度不高。近年来,许多学者将顶煤放出过程看作是松散体的流动过程^[4-9],取得了一定成果,但

在顶煤放出体形态方面,还需要进一步研究。随机介质理论是将散体简化为连续流动的随机介质,运用概率论方法研究散体移动过程而形成的理论体系。随机介质理论最早是由波兰学者 Litwiniyszyn 在 20 世纪 60 年代初研究岩层的移动规律时提出来的,他将松散岩石看作松散介质,将松散介质的移动过程看作一个随机过程,并给出了理想散体随机移动模型^[10-11]。受上述思想的启发,东北大学的王永嘉在这一领域进行了深入研究^[11]。随后,任凤

收稿日期: 2014 - 03 - 22; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10. 13199/j. enki. est. 2014. 08. 004

作者简介: 宋晓波(1982—),男,山西长治人,工程师,硕士。Tel: 15803555381 E-mail: yuwusongxiaobo@126.com

引用格式: 宋晓波,王鹏宇. 综放工作面顶煤放出体形态理论研究[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(8): 12 - 14.

SONG Xiao-bo, WANG Peng-yu. Theoretical Research on Cavebody Shapes of Top Coal Caving in Fully - Mechanized Caving Face[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(8): 12 - 14.

玉^[10]在前人的基础上建立了理想散体移动模型来研究金属矿山放矿规律,并运用数学归纳法、求极限法与物理模拟试验,求得了理想散体二维放出体曲线方程与三维放出体曲面方程,给出了放出体形态图形^[12-15],取得了突破性进展。

1 二维放顶煤数值模拟

1.1 模型建立

将破碎顶煤看作松散的连续介质,依据ZFS4000/14/28B型放顶煤液压支架的相关参数,利用PFC2d建立了沿煤层走向低位放顶煤二维颗粒流模型。模型中半径较小、带有标志层的小球代表煤块;半径较大、没有标志层的小球代表矸石。模型中代表煤块的小球在初始状态时共生成2000个,在重力作用下压实,模型计算过程中小球数量不再增加。为了显示出顶煤放出状态,在模型中每间隔1m设置1层彩色标志层(图1)。

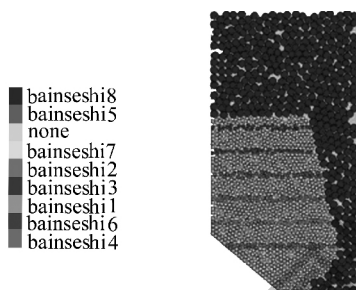


图1 放顶煤 PFC2d 模型

1.2 二维顶煤放出体数值模拟

在PFC2d模拟过程中,当煤层中某一层位的标志颗粒到达放煤口时,先停止放煤(停止计算),记录此时被放出的顶煤,再继续放煤,直到下一层位的标志颗粒出现在放煤口,再记录此时被放出的顶煤,依此进行,直至放煤结束。在顶煤的初始状态中删去被放掉各标志层位的顶煤,就可以得到此放出高度下的放出体形态。

图2显示出了放煤高度3、4m时顶煤的放出体的形态,几乎为残缺的轴对称图形,残缺部分被支架尾梁截去,放出体轴线(对称轴)为垂直线,位于放煤口中心位置。从图2中也可以看出,随着放煤高度的增加,对称性越明显。

1.3 二维顶煤放出体函数

为了研究方便,首先建立直角坐标系,设放煤口中心位置为坐标原点,水平方向(煤层走向)为x轴,垂直方向为z轴。如将方程x=0看作放出体的对称轴,根据随机介质理论,那么顶煤流动概率密度

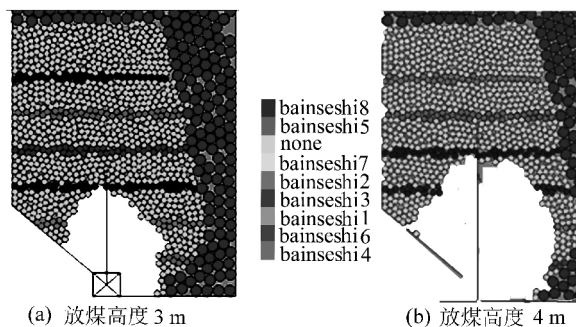


图2 顶煤放出体形态

函数为

$$x^2/z^\alpha = (\alpha + 1)\beta \ln(H/z) \quad (1)$$

式中: α 、 β 为顶煤流动参数; H 为放煤高度。

1.4 二维顶煤放出体数据拟合

为了给出顶煤放出体形态,需要确定方程(1)中参数 α 、 β 的值。以图2b为例,先输出边界小球坐标,见表1。

表1 放煤高度4m时边界小球(煤块)坐标

| 球号 | 489 | 453 | 285 | 808 | 651 | 416 | 206 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| x/m | 2.155 1 | 2.037 2 | 1.842 9 | 1.608 6 | 1.310 4 | 1.322 8 | 1.043 7 |
| z/m | 2.170 0 | 2.467 4 | 2.774 9 | 3.075 2 | 3.446 7 | 3.616 3 | 3.786 2 |

对表1中的数据按式(1)进行数值拟合,可以得到 $\alpha = 1.580 8$ 、 $\beta = 0.774 2$,因此,沿剖面方向放煤高度达到4m时,顶煤放出体方程为

$$x^2/z^{1.580 8} = 1.998 0 \ln(4/z) \quad (2)$$

顶煤放出体函数图如图3a所示。

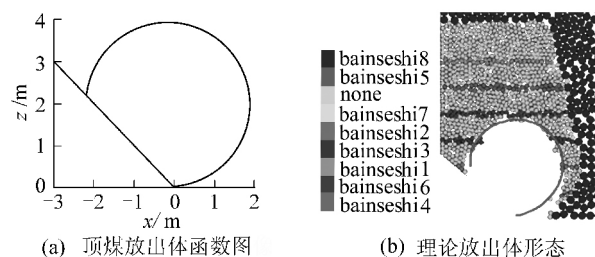


图3 放出高度4m时的理论放出体形态

将拟合出的顶煤放出体函数图(图3a)与数值模型放出体图(图3b)放在一起比较,发现二者相符程度很高,如图3b所示。对其他放煤高度也作相同处理,均可知顶煤放出体函数图与数值模拟放出体图相符程度高,说明采用随机介质理论研究顶煤放出规律可行。根据拟合出的 α 、 β 值,可以得出不同放煤高度时的二维方程和顶煤放出体形态,如图4所示。从图4可以看出,放煤高度不同时,放出体形态发生变化,放煤高度越高,放出体形态越大,但是

放出体形态不是按照一定比例变化的。当放煤高度2 m左右时,放出体的横轴比较长,纵轴比较短。当放煤高度达到3或4 m时,放出体的横轴、纵轴均增大,二者大小比较接近。当放煤高度达到5 m时,放出体的横轴、纵轴均增大,由于纵轴的增长速度比较快,纵轴长度已经明显超过横轴。在同一采场中,放出体高度不同,放出体形态不同。随着放煤高度的变化,放出体形态不是按照一定比例变化的,具体形态是由 α 、 β 两个参数决定的。

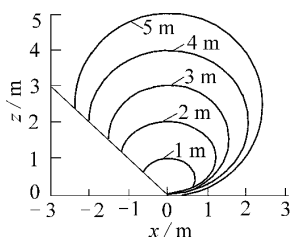


图4 不同放煤高度放出体二维图

2 三维顶煤放出体函数

笔者分析了沿工作面走向的顶煤放出体二维函数和函数图,在同一采场中,沿工作面倾斜方向,顶煤的流动性可看作与走向一致。根据式(1)可以给出三维顶煤放出体函数:

$$x^2 / (\beta z^\alpha) + y^2 / (\beta_1 z^{\alpha_1}) = (\omega + 1) \ln(H/z) \quad (3)$$

式中: α_1 、 β_1 为沿工作面倾向顶煤流动参数;参数 $\omega = (\alpha + \alpha_1) / 2$ 。

在同一采场中,顶煤沿走向和沿倾向流动可视作是相互独立的过程,顶煤流动参数相同,即: $\alpha = \alpha_1$ 、 $\beta = \beta_1$,则式(3)可简化为

$$(x^2 + y^2) / z^\alpha = (\alpha + 1) \beta \ln(H/z) \quad (4)$$

放煤高度达到4 m时(第4层标志层),三维顶煤放出体函数为

$$(x^2 + y^2) / z^{1.5808} = 1.9980 \ln(4/z)$$

顶煤放出体三维函数图如图5所示。

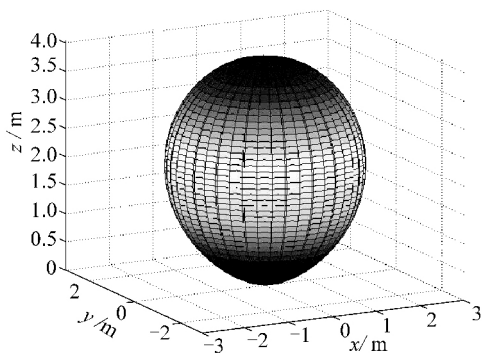


图5 顶煤放出体三维函数图

通过以上分析可知,不同放煤高度的放出体形态是由 α 、 β 、 α_1 、 β_1 参数决定,参数值各不相同,放出体形态也各不相同。在同一采场中,若 $\alpha = \alpha_1$ 、 $\beta = \beta_1$,放出体形态可看作由 α 、 β 参数决定。

3 结论

1) 顶煤放出体形态与随机介质理论拟合出的图形基本一致,因此,将随机介质理论引入顶煤放出体形态的研究是可行的。

2) 在同一采场中,顶煤放出体形态可由参数 α 、 β 确定。

3) 放出体形态的研究,揭示出了顶煤流动的本质,同时展现出了放出的顶煤在采场中的具体形态。顶煤放出体方程的确定,为进一步研究放煤步距、放煤采出率与含矸率等放煤参数提供了一条途径。

参考文献:

- [1] 于海涌,吴键.放顶煤开采理论与实践[M].徐州:中国矿业大学出版社,1992.
- [2] 于海涌,吴键.放顶煤开采基础理论[M].北京:煤炭工业出版社,1995.
- [3] 吴键,于海涌.回采工作面放顶煤数学模型的建立[J].中国矿业大学学报,1989,18(8):63-70.
- [4] 富强,吴键.综放开采松散顶煤放落规律的离散元模拟研究[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,1999,18(6):570-573.
- [5] 富强,康立军.离散元法在放顶煤规律研究中的应用与展望[J].煤矿开采,2003,9(3):8-10.
- [6] 富强.长壁综放开采松散顶煤放落规律研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2001.
- [7] 王家臣,富强.低位综放开采顶煤放出的散体介质流理论与应用[J].煤炭学报,2002,27(4):337-341.
- [8] 王家臣,李志刚,陈亚军,等.综放开采顶煤放出散体介质流理论的试验研究[J].煤炭学报,2004,29(3):260-263.
- [9] 黄炳香,刘长友,吴锋锋,等.极松散细砂岩顶板下放煤工艺散体试验研究[J].中国矿业大学学报,2006,35(3):351-355.
- [10] 任凤玉.随机介质放矿理论及其应用[M].北京:冶金工业出版社,1994.
- [11] 王永嘉.放矿理论研究的新方向:随机介质理论[Z]//沈阳:东北工学院活页论文选,1962.
- [12] 乔登攀,李文增,张丹,等.放矿理论研究现状存在问题及发展方向[J].中国矿业,2004,13(10):19-24.
- [13] 张慎河,李荣福.随机介质放矿理论的检验[J].煤炭学报,2002,27(5):468-472.
- [14] 陈可洋,刘洪林,杨微,等.随机介质模型的改进方法及应用[J].大庆石油地质与开发,2008,27(5):124-131.
- [15] 陈忠辉,谢和平,王家臣.综放开采顶煤三维变形、破坏的数值分析[J].岩石力学与工程学报,2002,21(3):309-313.