

文章编号:1671-251X(2018)03-0102-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017070023

一种覆岩弯曲带三维建模方法

史晓楠, 金奇烽, 慎侠

(西安科技大学 计算机科学与技术学院, 陕西 西安 710600)

摘要:针对三棱柱模型无法准确表示不规则地层结构尤其是钻孔偏斜情况的问题,提出了一种基于广义三棱柱模型的覆岩弯曲带三维建模方法。该方法首先利用钻孔等原始信息,结合广义三棱柱模型,构建采动前覆岩地质三维模型;然后通过判别关键层位置确定弯曲带范围;最后通过估计覆岩弯曲带变形参数对采动前覆岩地质三维模型进行修正,建立采动后覆岩弯曲带地质三维模型。实例分析结果验证了该方法的有效性。

关键词:煤炭开采;覆岩;弯曲带;地质三维模型;广义三棱柱;关键层

中图分类号:TD67

文献标志码:A

网络出版时间:2018-02-07 10:53

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180206.1419.006.html>

A 3D modeling method of bending zone in overburden strata

SHI Xiaonan, JIN Qifeng, SHEN Xia

(College of Computer Science and Technology, Xi'an University of
Science and Technology, Xi'an 710600, China)

Abstract: For problem that tri-prism model cannot accurately represent irregular stratum structure especially borehole deviation, a 3D modeling method of bending zone in overburden strata based on generalized tri-prism model was proposed. Firstly, 3D geological model of overburden strata before mining is constructed based on the generalized three-prism model by use of drilling raw information. Then range of bending zone is determined through distinguishing key strata position. Finally, deformation parameters of the bending zone in overburden strata are estimated to modify the 3D geological model of overburden strata before mining, so as to establish 3D geological model of bending zone in overburden strata after mining. The example analysis result verifies validity of the method.

Key words: coal mining; overburden strata; bending zone; 3D geological model; generalized tri-prism; key strata

0 引言

大量煤炭资源从地下采出引起地表沉陷及环境灾害问题^[1]。为预测煤炭开采对自然地质资源的影响,准确模拟采动前后地质体变化是目前数字矿山研究的热点和难点^[2-4]。三棱柱(Tri-Prism, TP)模

型^[5]是一种比较常用的简单三维数据模型,采用TP模型构建三维地质体时,往往将钻孔理想化为垂直于地面,但在实际开采过程中,由于采动形成的覆岩弯曲带具有连续移动和变形的特点,钻孔会产生一定程度的偏斜。在TP模型的基础上,提出了一种广义三棱柱(Generalized Tri-Prism, GTP)模型^[6],

收稿日期:2017-07-09;修回日期:2018-01-26;责任编辑:盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41472234)。

作者简介:史晓楠(1981—),女,河南桐柏人,讲师,硕士,主要研究方向为地质三维建模,E-mail:shelly8175@126.com。

引用格式:史晓楠,金奇烽,慎侠.一种覆岩弯曲带三维建模方法[J].工矿自动化,2018,44(3):102-105.

SHI Xiaonan, JIN Qifeng, SHEN Xia. A 3D modeling method of bending zone in overburden strata[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(3): 102-105.

可弥补 TP 模型在表示不规则地层结构尤其是钻孔偏斜情况下的不足。本文提出了一种基于 GTP 模型的覆岩弯曲带三维建模方法,并通过实例验证了该方法的有效性。

1 建模流程

基于 GTP 模型的覆岩弯曲带三维建模流程如图 1 所示。首先对钻孔信息、岩层信息进行预处理以剔除冗余数据,将钻孔信息根据地层按一定顺序进行编号,建立每一岩层的不规则三角网(Triangulated Irregular Network, TIN)。然后以 TIN 确立的拓扑关系为依据,结合 GTP 模型构建采动前覆岩地质三维模型。之后判别关键层^[7]位置,从而确定弯曲带。最后估计覆岩弯曲带变形参数,并利用该变形参数对采动前覆岩地质三维模型进行修正,得到采动后覆岩弯曲带地质三维模型。

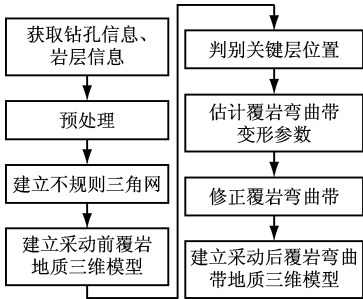


图 1 基于 GTP 模型的覆岩弯曲带三维建模流程
Fig. 1 3D modeling flow of bending zone in overburden strata based on GTP model

2 建模关键技术

2.1 GTP 模型

GTP 模型由上下 2 个不一定平行的三角形和 3 个侧面四边形围成,包括结点、TIN 边、侧边、TIN 面、侧面和 GTP 体六大元素,如图 2 所示。GTP 建模原理:根据钻孔位置做 GTP 的结点,用 TIN 边连接同一岩层面的结点,沿钻孔开采方向做 GTP 的侧边,以 GTP 的上下 2 个三角形组成的 TIN 面表

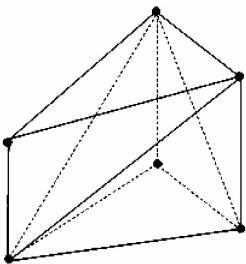


图 2 GTP 模型
Fig. 2 GTP model

示不同岩层面,以 GTP 的侧面表示岩层面之间的邻接关系,以 GTP 体来表示岩层实体^[8]。

根据 GTP 模型的组成元素,设计 GTP 模型数据结构,见表 1。

表 1 GTP 模型数据结构
Table 1 Data structure of GTP model

元素	数据结构
结点	<pre>struct Node{ long id; //结点标志 double x, y, z; //结点坐标 };</pre>
TIN 边	<pre>struct TinEdge { long id; //TIN 边标志 long NodeID[2]; //起点、终点标志 };</pre>
TIN 面	<pre>struct TinTriangle { //三角形以逆时针存储顶点 long id; //TIN 三角形标志 long Node[3]; //三角形 3 个顶点标志 long edge[3]; //3 个顶点对边标志 };</pre>
侧边	<pre>struct Sedge { long id; //侧边标志 long NodeID[2]; //起点、终点标志 };</pre>
侧面	<pre>struct SideQuad { //注意方向性,逆时针为正 long id; //侧面标志 long tin_edge[2]; //上下 TIN 边标志 long sedge[2]; //2 条侧边标志 };</pre>
GTP 体	<pre>struct GTP{ long id; //GTP 体标志 int LayerID; //三棱柱所在层 TinTriangle tin_triangle[2]; //三棱柱的上下三角形 SideQuad side_quad[3]; //三棱柱的 3 个侧面 };</pre>

2.2 关键层判别

关键层判别流程如图 3 所示。

岩层是否为硬岩层是区分关键层的前提,首先自底向上确定硬岩层所处位置。从第 1 层往上,判别第 $m+1$ 层岩层是否为硬岩层的公式为^[9-10]

$$E_{m+1}h_{m+1}^2\sum_{i=1}^mh_i\gamma_i>\gamma_{m+1}\sum_{i=1}^mE_ih_i^3 \tag{1}$$

式中 E_i, h_i, γ_i 分别为第 i 层岩层的弹性模量、厚度和密度。

从第 1 层岩层开始往上逐层计算 $E_{m+1}h_{m+1}^2\times$

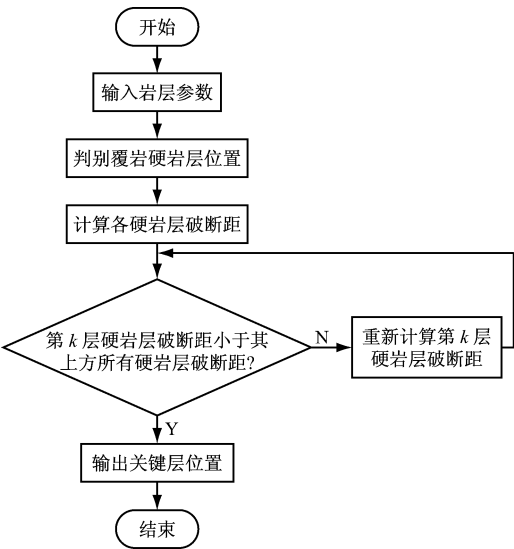


图 3 关键层判别流程
Fig. 3 Key strata discrimination flow

$\sum_{i=1}^m h_i \gamma_i$ 及 $\gamma_{m+1} \sum_{i=1}^m E_i h_i^3$, 当满足式(1)时, 则第 $m+1$ 层岩层为第 1 层硬岩层, 以此类推, 直至确定出最上一层硬岩层(设为第 n 层硬岩层)。

然后计算各硬岩层的破断距。第 $k(k=1, 2, \dots, n)$ 层硬岩层的破断距为

$$l_k = h_k \sqrt{\frac{2\sigma_k}{q_k}} \tag{2}$$

式中 h_k, σ_k, q_k 分别为第 k 层硬岩层的厚度、抗拉强度和承受载荷。

最后对各硬岩层的破断距进行比较, 确定关键层位置。若第 $k(k=1, 2, \dots, n-1)$ 层硬岩层为关键层, 其破断距应小于其上方所有硬岩层的破断距, 即

$$l_k < l_{k+1} \tag{3}$$

若第 k 层硬岩层的破断距大于其上方第 $k+1$ 层硬岩层的破断距, 则将第 $k+1$ 层硬岩层所承受载荷施加到第 k 层硬岩层上, 重新计算第 k 层硬岩层的破断距。若重新计算的第 k 层硬岩层的破断距小于第 $k+1$ 层硬岩层的破断距, 则取 $l_k = l_{k+1}$ 。

2.3 覆岩弯曲带变形参数估计

覆岩弯曲带中各层变形趋势一般与地表的下沉轨迹一致, 大体为椭圆抛物面, 以下沉点正上方与水平地面的交点为坐标原点, 工作面推进方向为 x 轴正方向, 垂直于 x 轴方向为 y 轴。弯曲带下沉的数学模型为^[11]

$$\omega(x,y) = (-1)^{2-\alpha} \times \frac{q_m a b}{\alpha(\alpha-1)(3a+3b+ab+K_m a b)} \left(\frac{x^2}{2a} + \frac{y^2}{2b} - 1 \right)^\alpha \tag{4}$$

式中: $\omega(x,y)$ 为岩层在 (x,y) 处的挠度参数; α 为下沉移动轨迹在垂直方向上的形态参数, $0 < \alpha \leq 2$; q_m 为第 m 层岩层所承受载荷; a, b 为弯曲带内所有岩层椭圆抛物面基本参数的平均值; K_m 为第 m 层岩层受到其下一层岩层的反力系数。

α 可按式(5)确定:

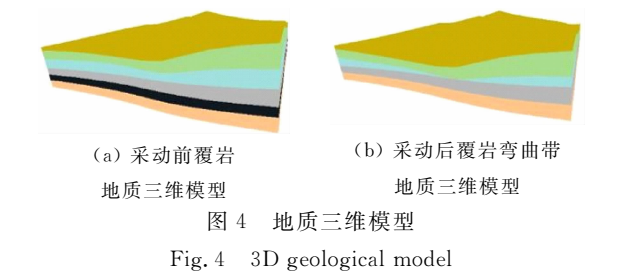
$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4q_m a b}{d \eta \cos \theta (3a + 3b + ab + K_m a b)}}}{2} \tag{5}$$

式中: d 为煤层厚度; η 为下沉系数; θ 为煤层倾角。

3 实例验证

在 Windows 环境下, 以 DirectX^[12] 和 VC++ 为开发工具, 选取陕北红柳林煤矿某工作面具有代表性的 19 个钻孔数据进行三维建模。首先基于钻孔信息和 GTP 模型得到如图 4(a) 所示的采动前覆岩地质三维模型(从下往上第 2 层为煤层)。然后根据式(1)~式(3)及各岩层参数^[13](表 2)判别关键层位置。设置下沉系数 η 为 0.5, 煤层倾角 θ 为 1° , 根据式(4)计算得到的挠度参数对图 4(a) 所示模型进行修正, 得到如图 4(b) 所示的采动后覆岩弯曲带地质三维模型(从下往上第 3 层为关键层, 从第 4 层至地面为弯曲带)。与图 4(a) 相比, 图 4(b) 中模型的煤层被采空, 岩层略微向下弯曲, 且计算得到弯曲带中最顶层地层最大挠度为 4.355 m, 与实际测得的地面最大下沉量 4.8 m 相差不大, 表明使用本文方法所得采动后覆岩弯曲带地质三维模型基本符合实际情况。

表 2 各岩层参数 Table 2 Parameters of each rock strata			
岩性	弹性模量/ 10^4 MPa	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	厚度/m
风积砂层	0	1.60	15.50
风化层	0	2.22	28.73
细砂层	1.70	2.31	33.10
粉砂层	1.51	2.37	79.20
煤层	0.22	1.29	7.40



4 结论

(1) 采用GTP模型可有效构建采动前后覆岩地质三维模型,真实反映钻孔偏斜情况。

(2) 通过判别关键层划定弯曲带范围,在此基础上应用数学模型对覆岩弯曲带变形参数进行估计,可降低覆岩弯曲带三维建模的难度。

参考文献(References):

- [1] 肖武,邵芳,李立平,等.单一采区工作面不同开采顺序地表沉陷模拟与复垦对策分析[J].中国矿业,2015,24(4):53-57.
XIAO Wu, SHAO Fang, LI Liping, et al. Mining subsidence simulation and reclamation strategy for different mining sequence for panels in underground coal mines[J]. China Mining Magazine, 2015, 24(4): 53-57.
- [2] 王国灿,徐义贤,陈旭军,等.基于地表地质调查剖面网络基础上的复杂造山带三维地质调查与建模方法[J].地球科学,2015,40(3):397-406.
WANG Guocan, XU Yixian, CHEN Xujun, et al. Three-dimensional geological mapping and visualization of complex orogenic belts [J]. Earth Science, 2015, 40(3): 397-406.
- [3] KREUSELER M. Visualization of geographically related multidimensional data in virtual 3D scenes[J]. Computers & Geosciences, 2000, 26(1): 101-108.
- [4] 周良辰,林冰仙,王丹,等.平面地质图的三维地质体建模方法研究[J].地球信息科学学报,2013,15(1): 46-54.
ZHOU Liangchen, LIN Bingxian, WANG Dan, et al. 3D geological modeling method based on planar geological map [J]. Journal of Geo-Information Science, 2013, 15(1): 46-54.
- [5] 张煜,白世伟.一种基于三棱柱体体元的三维地层建模方法及应用[J].中国图象图形学报,2001,6(3): 285-290.
ZHANG Yu, BAI Shiwei. An approach of 3D stratum modeling based on tri-prism volume elements [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(3): 285-290.
- [6] 杨文环,尹璐,孙久运.矿山钻孔数据三维地层建模与可视化[J].金属矿山,2015,44(10):130-134.
YANG Wenhuan, YIN Lu, SUN Jiuyun. Three-dimensional stratum modeling and visualization of borehole data[J]. Metal Mine, 2015, 44(10): 130-134.
- [7] 陈超,胡振琪.关键层理论在开采沉陷中的应用现状与进展[J].矿业科学学报,2017,2(3):209-218.
CHEN Chao, HU Zhenqi. Current status and progress on the application of key stratum theory in mining subsidence [J]. Journal of Mining Science and Technology, 2017, 2(3): 209-218.
- [8] 车德福,陈学习,吴立新,等.基于广义三棱柱体元的三维地层建模方法[J].辽宁工程技术大学学报,2006,25(1):36-38.
CHE Defu, CHEN Xuexi, WU Lixin, et al. 3D stratum modeling method based on generalized tri-prism volume element [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2006, 25(1): 36-38.
- [9] 孙振武,缪协兴,茅献彪.采场覆岩复合关键层的判别条件[J].采矿与安全工程学报,2005,22(4):76-77.
SUN Zhenwu, MIAO Xiexing, MAO Xianbiao. Criterion for composite key layer on overlying strata [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2005, 22(4): 76-77.
- [10] 许家林,钱鸣高.覆岩关键层位置的判别方法[J].中国矿业大学学报,2000,29(5):463-467.
XU Jialin, QIAN Minggao. Method to distinguish key strata in overburden [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(5): 463-467.
- [11] 夏小刚,黄庆享.基于“四带”划分的弯曲下沉带岩层移动预计模型[J].岩土力学,2015,36(8): 2255-2260.
XIA Xiaogang, HUANG Qingxiang. A prediction model for continuous deformation zone movement based on "four zones" division [J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 36(8): 2255-2260.
- [12] LUNA F. Introduction to 3D game programming with DirectX 12 [M]. Herndon: Mercury Learning & Information, 2015.
- [13] 朱国超.红柳林煤矿首采工作面地表沉陷监测设计[C]//西部矿山建设发展战略学术研讨会,西安,2009:4.