

文章编号:0253-9993(2006)01-0040-05

煤层动态建模技术及应用

姜在炳

(煤炭科学研究总院 西安分院, 陕西 西安 710054)

摘要: 从煤层建模的约束条件、建模的特点、模型的选择、模型建立的路线以及平面-剖面对应实现的原理等方面讨论了煤层动态建模技术及其应用。通过将煤层建模的约束条件归纳为广义自然边界和构造地质边界, 简化了煤层建模的程序设计, 将断层边界的约束问题归结为折线边界的约束剖分, 提高了断层的自动处理能力。设计的两条煤层建模路线为煤层动态建模系统的设计奠定了基础, 能解决煤矿生产制图中平面剖面特征点的对应与任意切割剖面问题。

关键词: 煤层; 动态建模技术; 3D 空间模型; 平面剖面对应; 建模路线

中图分类号: P623 **文献标识码:** A

Dynamic modelling technology of coal seam and its application

JIANG Zai-bing

(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: The coal seam dynamic modelling and its application were discussed according to the restricted condition and characteristics of modelling, modelling method, modelling route, and the principle to solve the corresponding problem between plane and section. Both generalized nature boundary and structural geology restricted boundary that were regarded as the restricted condition of coal seam modelling were summarized, that predigest the program design of coal seam modelling. The restricted boundaries of fault is taken as a restricted line, that improve the automatic process efficiency. Two coal seam dynamic modelling route that can solve the corresponding problem between plane and profile and cut the profile from model in any direction were designed, resulting in a foundation for coal seam 3D dynamic software development.

Key words: coal seam; dynamic modelling technology; 3D spatial model; the corresponding relation between plane and section; modelling route

在煤矿的勘探、开采设计及生产过程中, 地质和测量图件是设计、生产的基础图件和依据, 是矿井地质和矿山测量工作最终成果的重要组成部分和形象化的表现形式^[1,2]。煤层作为煤矿开采的主体, 3D 模型的构建与可视化为地质、采矿专家准确和全面地描述矿区地质体的空间几何形态及其相互关系提供了必要的概念模型, 能够更为直观和形象地表示地质、采矿专家对矿区地质体的认识。因此, 煤层三维地质建模一直是计算机地质图学研究的热点。由于煤矿地质数据本身的不完备性以及生产揭露数据的动态性, 决定了煤层 3D 模型的建立是一个动态复杂的过程。断层等约束边界的存在极大地限制了煤层建模的自动化程度。生产制图中平面和剖面图的对应需要对煤层的动态建模提出更高的要求。这些难题是造成我国到目前为止没有形成商品化煤矿 3D 建模系统的根本原因。因此, 梳理煤层建模中的约束条件, 选择适合煤

层动态建模的基本模型, 研究煤层建模的系统路线, 提出平面-剖面对应的解决方案对提高煤层动态建模的自动化程度具有十分重要的意义, 也是煤矿专业软件开发必须解决的难题。

1 煤层地质建模的方法

1.1 煤层地质建模的构造约束条件及图形学认识

煤层为空间分布的层状地质实体。相对于非层状地质实体而言, 其空间分布形态要相对简单。但是, 煤层的空间分布形态常常受到自然边界、陷落柱、煤层变薄带、岩浆侵入体以及断层等约束边界的限制, 从而大大增加了煤层自动建模的难度。笔者将这些约束边界概括为两大类: 一类为狭义的地质构造边界; 另一类为广义的自然边界。狭义地质构造边界特指褶皱轴面和断层, 它们直接控制着煤层的空间分布形态; 广义的自然边界则指除狭义地质构造边界以外的其他边界条件, 包括岩浆侵入体、煤层风氧化带、河流冲刷带等。从图形学的角度来看, 广义自然边界在研究区内的二维平面投影上总是表现为一些封闭的多边形环, 煤层在多边形环内自然地缺失。而地质构造边界则表现为一些隐含的折线段(背斜轴或向斜轴, 煤层表面的三角剖分不能跨过这些折线段以避免模型形状的失真)或封闭的多边形环(断层与煤层的交面线围成), 煤层形态在地质构造边界上发生改变。

1.2 煤层地质模型的选择

在过去的10多年中提出了20余种空间构模方法, 这些构模方法可归纳为面元模型(facial model)、体元模型(volumetric model)和混合模型(mixed model)三大类构模体系^[3]。在众多的3D空间构模方法中, 基于采样点的TIN(Triangulated Irregular Network)模型^[4~7]和基于数据内插的Grid模型^[8]适合煤层的表面建模。而不规则块(irregular block)模型^[8]、四面体格网(tetrahedral network, TEN)模型^[9]、三棱柱(tri-prism, TP)模型^[9~12]、类三棱柱(analogical tri-prism, ATP)模型^[13]及广义三棱柱(generalized tri-prism, GTP)模型^[14]则较适合煤层体模型的构模。煤层建模的常用方法及比较见表1。

表1 煤层建模的常用方法及比较

Table 1 3D modelling method and comparison of coal seam

模型名称	模型类型	建模特点	适用条件
Grid 模型	表面模型	采用规则的四边形网格来建模, 模型结构简单、数据存储量很小	适合空间形态变化不大、表面连续、不受其它约束条件限制的煤层表面建模
Irregular block 模型	体元模型	将煤层顶板和底板的Grid模型进行叠加, 然后将4个对应顶点相连形成的一种体模型	同Grid模型
TIN 模型	表面模型	通过不规则分布的数据点生成的连续三角面网来建立煤层的表面模型	能够更好地顾及构造形态特征, 从而更精确、合理地表达煤层的表面形态
TEN 模型	体元模型	二维三角形网(TIN)数据结构在三维上的扩展	虽可以描述实体的内部, 但在有约束边界条件时算法设计很复杂
TP, ATP 模型	体元模型	利用煤层层面的TIN模型及其厚度属性来建立三棱柱或类三棱柱模型	同TIN模型
GTP 模型	体元模型	模型具有在钻孔倾斜情况下的建模能力, 可处理顶板和底板的三角形对应顶点所形成的棱边互不平行的情况	模型还处在理论探讨阶段, 许多基础理论和关键技术没有解决

比较起来, 真正适合复杂煤层动态建模的表面模型还是基于强约束条件的TIN模型, 其对应的体模型还是ATP模型。针对广义的自然边界所形成的无煤区, 可以通过2种方法来处理: 一是先构建TIN模型, 然后对无煤区进行挖空处理; 二是将无煤区当作模型的内边界来建模。地质构造边界对煤层空间形态的改变一直是地质图形学领域的难点, 其中最大的障碍是逆断层的全自动剖分问题。目前基于约束条件的剖分算法主要集中在从计算几何的角度来解决线或多边形环的约束剖分问题, 而忽略了地质构造的专业特点及

其在平面和剖面上的对应关系. 因此对数据的预处理要求较高, 算法的自动处理效率和健壮性较差. 事实上, 将煤层和断层 (包括正断层和逆断层) 的交面线做恢复处理, 将正断层和逆断层的约束边界归结为多边形折线的约束剖分, 将大大提高算法的健壮性与自动处理效率 (断层的全自动处理及具体实现过程将另文阐述).

2 平面 - 剖面对应及煤层建模路线

2.1 平面 - 剖面对应

平面和剖面的对应问题是煤矿生产地质制图的基本要求, 也是煤层地质建模最为重要的目的之一. 在生产地质制图应用中表现为平面图和剖面图上特征点的位置要一一对应. 图 1 (a) 为一条剖面的局部, 图 1 (b) 为平面图的一个局部. P_1 , P_2 为实际采样点, P_{12} 为剖面地层在标高 Z 的实际位置. 因为 P_1 , P_2 点为实际控制点, 所以在平面和剖面图上是对应的. 关键是等高线 Z 在 P_1 , P_2 线上的插值点 P_{12} , 如果图 1 (a) 中的点 P_{12} 没有自动传递到图 1 (b) 中参与 TIN 模型的构建, 那么采用线性插值获得的 P_1P_2 线上标高为 Z 的点将是 P'_{12} 点. 这就会出现平面和剖面上点的不对应问题. 在生产地质制图应用中, 除了要求实际采样点在平面图和剖面图上要对应外, 还必须满足特征点, 如等高线点、断层交面线点、勘探边界控制点等在平面和剖面上的一一对应关系.

2.2 平面 - 剖面对应的实现原理

实现平面和剖面的对应就是要解决数据的唯一性. 通过地质模型来实现二者之间的联系是唯一的途径. 如图 2 所示, 平面和剖面的对应关系可通过以下步骤来实现. ① 首先形成研究区内的所有剖面, 处理好每条剖面上断层与断层之间、断层与地层之间、地层与地层之间的协调关系. 然后将剖面上每层地层的控制点传递到地质模型中, 形成模型的结点信息. 每个结点信息包括结点的平面坐标、标高、厚度、点的类型等属性. 其中点的类型标识出该点属于实际采样点、曲线拟合插值点、井田勘探边界点、上盘地层与断层的交点、下盘地层与断层的交点等的一种或几种组合. ② 逐层形成主采煤层或其他标志层的平面等值线图. 在这个过程中, 提取地质模型中由各条剖面传递来的结点数据参与 TIN 的构建是平面等值线图成的关键. 由此保证平面图上的点与剖面图上的点是对应的. ③ 在平面图形成过程中, 为满足等高线的整体规律可能对部分剖面图传递来的非实际采样数据进行了修改. 这种修改必须重新传递回模型中. ④ 将地质模型中发生修改的结点数据反馈到相应的剖面地层上, 对其进行局部修改. ⑤ 重复第①~④步, 直到所有剖面和平面的结点协调对应为止.

⑤ 重复第①~④步, 直到所有剖面和平面的结点协调对应为止.

2.3 煤层地质建模路线

煤层 3D 模型的建立随煤矿开采活动的深入是一个动态建模的过程. 开采前的地质建模数据主要来自勘探地质报告提供的基础资料, 随着巷道的掘进及探煤点的增多, 控制煤层的实测数据点越来越多, 人们对地层的认识更加完善和细化, 地质模型也随之动态发生改变. 地质模型的动态改变在煤矿生产制图应用上具有非常现实的意义, 影响着生产制图的效率. 一方面模型发生改变后, 模型范围内的地质剖面图和平面图要随之发生改变; 另一方面当地质剖面图或平面图的任一方发生变化时, 地质模型也要随之发生改变. 因此, 正确规划煤层地质建模路线对提高煤层动态建模的效率非常关键, 也是煤矿专业软件设计的基础. 图 3, 4 为笔者设计的煤层动态地质建模基本路线.

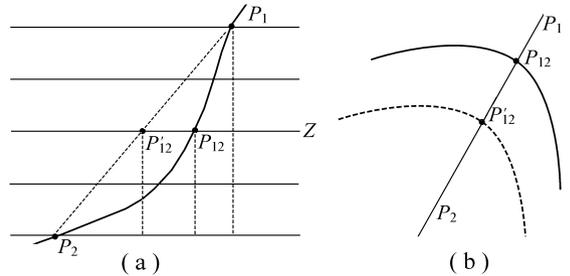


图 1 煤层的平面和剖面对应示意

Fig. 1 Sketch map of the corresponding problem between plane and section

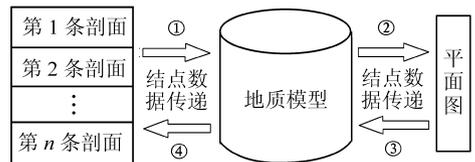


图 2 平面和剖面对应实现原理

Fig. 2 The principle to solve the corresponding problem between plane and section

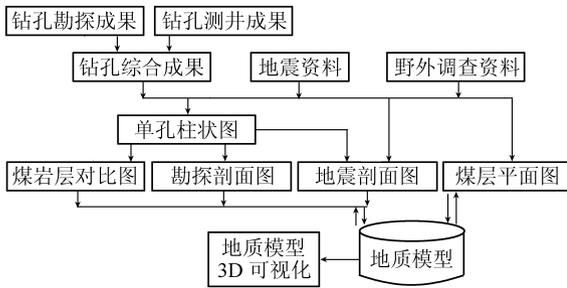


图3 正向建模路线

Fig. 3 The positive direction modelling route

煤层地质建模. 它的建模过程: ① 通过勘探钻孔资料及测井资料形成某一点(钻孔)地层的认识. ② 通过一系列钻孔绘制的煤岩层对比图及剖面图来形成某一垂直切面地层的认识, 利用原始基础离散钻孔数据及构造资料初步形成研究区域内一定数量的剖面图; 将所有剖面图编辑修改后的煤层或构造结点数据传递到模型中, 利用这些传递的数据及其它数据来生成煤层的底板等高线图. ③ 将修改完善的煤层底板等高线图上的结点也传递到地质模型中. 在这个过程中, 必须保证地层的平面及剖面数据要协调、统一在地质模型中. 剖面图、平面图及地质模型任一方的修改都将导致其它两方的改变, 以保证平面图和剖面图的数据点在三维空间位置上的一一对应关系.

(2) 逆向建模路线(箭头方向指示数据流向) 逆向地质建模路线适用于生产阶段的煤层地质动态建模. 它最大的特点是以生产阶段动态修改完善的煤层底板等高线为基础来动态建立地质模型. 在日常地测工作中, 动态揭露的数据信息首先反映到对前一阶段煤层底板等高线图的修改上, 以修改的煤层底板等高线的阶段成果为基础来建立地质模型, 以模型为基础来实现3D地质模型的可视化及任意方向的地质体剖切.

总之, 无论是正向建模路线还是逆向建模路线, 地质模型是最核心的基础和实现图件信息交流与共享的纽带. 不同的只是数据来源及组织方式的差别.

3 煤层动态建模的实现

煤层3D模型动态建立的实现过程如图5所示. 该实现过程充分考虑了与煤炭科学研究总院西安分院开发的煤矿地质测量空间信息系统MSGIS3.0的密切结合, 也考虑了在没有MSGIS3.0支持下, 单纯的煤层地质建模问题. 该实现过程可以表述如下.

(1) 模型数据的准备 可以通过3种途径来准备模型数据: 第1种途径是通过煤矿地质测量空间信息系统的基础数据网络管理系统来管理勘探及生产阶段动态采集的基础资料, 将采集的基础数据存储储在系统的数据库中; 第2种途径是从煤矿地质测量空间信息系统的图形处理子系统编制的平面、剖面图上采集建模基础数据; 第3种途径是利用文本编辑器按数据格式要求手工编录建模所需的基础数据, 包括离散基础数据及各种构造边界条件等.

(2) MSGIS3.0绘图子系统 该系统提供了一个煤矿专用图件的编辑、生成平台, 可生成和管理煤矿常用的二维基础图件. 一方面, 在该子系统中通过嵌入模型发生器来生成煤矿常用的基础图件, 为煤矿生产提供基础资料. 另一方面, 它所编辑、修改的基础图件又可为煤层动态建模提供重要的基础数据.

(3) 模型发生器 模型发生器是煤层地质建模的核心, 它集成了地质建模的相关算法, 包括平面、剖面图形的生成技术, 强约束条件下TIN和ATP的自动构建, 地质模型的组织与管理、模型数据的相互传递等.

(4) 煤层3D可视化 煤层3D可视化提供煤层空间分布的三维场景, 可以为专业技术人员提供煤层

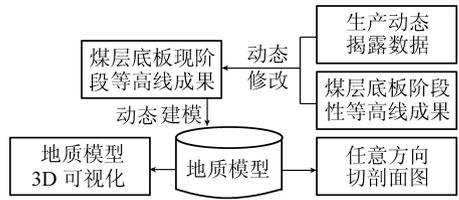


图4 逆向建模路线

Fig. 4 The contrary direction modelling route

(1) 正向建模路线(箭头方向指示数据流向)

正向地质建模路线适用于勘探或生产阶段的第一次

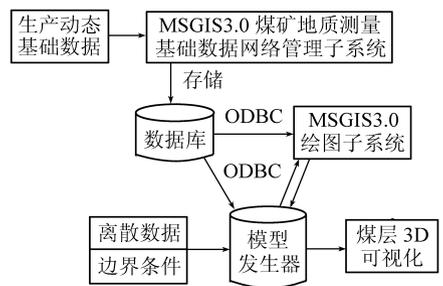


图5 煤层3D模型动态建立流程

Fig. 5 The flow chart of 3D dynamic modelling of coal bed

空间分布形态的直观认识和空间拓扑关系的图示化表达。

按照上述工作流程, 就可以将煤层动态建模基础数据的准备与组织, 煤层模型的自动构建以及模型的 3D 立体显示与生产应用有机地结合起来, 形成一个密不可分的煤层动态建模系统. 图 6 为采用动态建模技术所建立的煤层 3D 模型的应用实例. 其中图 6 (a) 为逆断层约束条件下, 煤层底板 TIN 模型的全自动构建与等高线生成. 虚线为约束 TIN 模型, 粗线为断层与煤层的交面线, 实线为煤层底板等高线. 图 6 (b) 为含逆断层的煤层 ATP 模型.

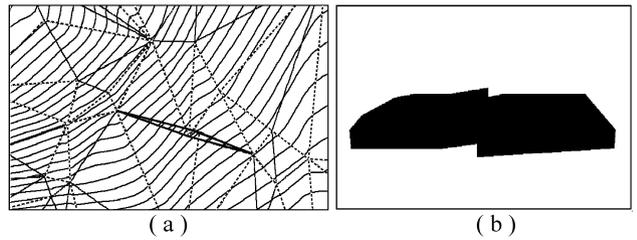


图 6 煤层 3D 模型应用效果

Fig. 6 The application of coal seam 3D model

4 结 语

煤层动态建模技术是煤层建模方法、模型自动处理算法和模型数据组织管理的综合性技术. 将煤层建模的约束条件归纳为广义自然边界和构造地质边界简化了煤层建模的程序设计, 将断层边界的约束问题归结为折线边界的约束剖分提高了断层的自动处理能力. 设计的两条煤层建模路线为煤层动态建模系统的设计奠定了基础, 能有效地解决煤矿生产制图中平面与剖面特征点的对应与任意切割剖面问题. 部分研究成果已经应用到煤炭科学研究总院西安分院最新研制的煤矿地质测量空间信息网络管理系统中, 产品在开滦矿业集团公司、皖北煤电集团公司以及山西天地王坡煤业有限公司等全国 80 多对生产矿井和煤田地质勘探队推广应用.

参考文献:

- [1] 姜在炳. 煤矿地质测量空间信息系统及其发展趋势 [J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33 (2): 8~10.
- [2] 姜在炳. 煤矿地质测量空间信息系统及其关键技术 [J]. 煤炭科学技术, 2004, 32 (7): 11~14.
- [3] 吴立新, 史文中. 地理信息系统原理与算法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 48~56.
- [4] Victor J D. Tsai, delaunay triangulations in TIN creations: an overview and a linear-time algorithm [J]. Geographical Information Systems, 1993, 7 (6): 501~524.
- [5] 郝海森, 吴立新. 基于强约束 Delaunary - TIN 的三维地学模拟与可视化 [J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19 (2): 15~18.
- [6] Anglada M V. Improved incremental algorithm for constructing restricted delaunay triangulations [J]. Computer & Graphics, 1997, 21 (2): 215~223.
- [7] Saprdis N, Perucchio R. Delaunay triangulation of arbitrarily shaped planar domains [J]. CAGD, 1991, 8(16): 412~437.
- [8] Simon W H. 3D geoscience modeling: computer techniques for geological characterization [J]. Springer-verlag, 1994.
- [9] 孟小红, 王卫民, 姚长利, 等. 地质模型计算机辅助设计原理与应用 [M]. 北京: 地质出版社, 2001. 18~25.
- [10] 张 煜, 白世伟. 一种基于三棱柱体体元的三维地层建模方法应用 [J]. 中国图像图形学报, 2001, 6 (3): 285~290.
- [11] 徐能雄, 何满潮. 层状岩体三维构模方法与空间数据模型 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33 (1): 103~107.
- [12] 曹代勇, 王占刚. 三维地质模型可视化中直接三维交互的实现 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(4): 385~387.
- [13] 齐安文, 吴立新, 李 冰, 等. 一种新的三维地学空间构模方法——类三棱柱法 [J]. 煤炭学报, 2002, 27 (2): 158~163.
- [14] Wu L X. Topological relations embodied in a generalized tri - prism (GTP) model for a 3D geoscience modeling system [J]. Computers & Geosciences, 2004, 30 (4): 405~418.