

关于构建矿山三维 GIS 的思考

芮小平,余志伟,许友志

(中国矿业大学,徐州 221008)

[摘要]根据煤矿生产的实际情况,分析了建立煤矿三维 GIS 的必要性,并针对当前 GIS 发展的状况,提出了建立矿山三维 GIS 的思路。

[关键词]煤矿 三维 GIS 数字地球 可视化 数据模型

[中图分类号]P628 [文献标识码]A [文章编号]10495-5331(2001)04-0063-05

1 问题的提出

煤矿工业的发展积累了丰富的地质数据,这些数据包含了丰富的地质信息,随着生产的进行,其中的某些信息又具有动态性。如何将这此信息有效的组织起来,对其进行空间分析与判断,使之更好的服务于煤矿生产,是一项极具意义,且带有挑战性的工作。

地理信息系统(Geographical Information System,简称 GIS),在组织空间数据以及进行空间数据分析上具有强大的功能^[1,2]。采用三维 GIS、可视化技术、虚拟现实等前沿的技术,利用有限离散的地质信息尽量恢复地质变量的连续分布状态,从而研究其在空间上的变化规律和分布特征,同时建立适合煤矿实际情况的虚拟环境,供用户更加感性的浏览矿井的实体景观,了解矿井生产的实际情况,并且实现 GIS 的制图功能。

2 建立矿山 GIS 的意义

2.1 数字地球战略发展的需要

1998 年 1 月,美国副总统戈尔在加利福尼亚科学中心开幕典礼上发表了题为“数字地球—新世纪人类星球之认识”的演说^[3],在这个演说中,他把数字地球看成是“对地球的三维多分辨率表示、它能够放入大量的地理数据”,是关于整个地球、全方位的 GIS 与虚拟现实技术、网络技术相结合的产物。

数字地球的提出引起了各国政府的高度重视。作为发展中国家,面对数字地球的挑战,我国政府和科技界也开始着手建立面向全国的数字化体系^[4~7]。

“数字地球”的最根本任务是向用户全面地、及时地提供真实可信的数据。可以说,数字地球的兴

起与 GIS 的发展是相辅相成的,由于数字地球是一项政府行为,所以它可以为 GIS 提供有力的物质基础(包括海量的数据、以及足够的人力物力等);而 GIS 又是数字地球的载体,是数字地球向实用化发展的必由之路。

2.2 GIS 不断发展的需要

GIS 是 20 世纪 70 年代初发展起来的一门新兴的边缘学科。早先的 GIS 来源于地图绘制,其空间信息一般只局限于平面信息,即这种 GIS 是二维的 GIS。真正的三维 GIS 软件,其空间坐标(x, y, z)都参加图形显示的运算,它的数据采集、数据结构、拓扑关系、数据显示、空间分析都要比二维 GIS 复杂的多。正因为如此,为三维 GIS 构建三维空间数据模型,建立合适的数据结构已经成为图形学、计算机学、数学、地理信息系统等相关学科普遍关注的问题。

目前,关于三维曲面(包括三维实体)的真实显示(包括动态显示)、曲面求交、三维实体光照模型的算法很多,有一些已经得到应用。一些软件公司已经把一些算法浓缩成了几何原型,如在 Windows 操作系统中所带的 OpenGL(开放的图形库),它就是一种开放式的,适合于多种硬件平台及操作系统的工业标准的三维计算机图形接口软件^[8]。

2.3 煤矿现代化生产的需要

根据煤矿生产积累的地质数据,建立真三维的 GIS,实现煤矿的全景显示、动态显示,实现剖面图、平面图的自动绘制,实现地质数据库的快速更新,可以为矿山提供全新的三维动态显示系统、查询系统和决策系统,从而对未采区和采掘工作面前方的地质构造、煤层变化及其它开采条件进行预报预测。也就是说,真三维的 GIS 可以为煤炭生产的决策提供有力保障,建立一套适合煤矿生产的真三维 GIS

[收稿日期]2000-04-10;[责任编辑]余大良。
[基金项目]国家自然科学基金(编号:49872056)资助。

已经迫在眉睫。

3 国内外研究现状

受计算机硬件、图形学以及其它人力、物力的限制,真三维 GIS 在 GIS 出现后的相当长一个时期内没有得到发展。直到 80 年代中期,二维的 GIS 已经不能满足其在地质矿产、土地信息、管线成图与信息管理等领域的需要,三维 GIS 的理论和应用研究才引起了人们的普遍重视,真三维的 GIS 才变成研究热点之一。90 年代后,真三维 GIS 研究得到了大发展。由于 GIS 的内容涉及很广,包括天文、地理、地质、城镇建设、环境评估等,同时 GIS 又是一门新兴的边缘学科,它涉及到图形学、管理学、计算机科学、测绘科学等众多的学科,各专业领域的专家都有人在根据自身学科的特点对真三维 GIS 进行研究,因此,国内外对此的研究成果也比较多。

在国外,三维 GIS 的研究开展的比较早^[19~181]。BAK(1989)、SMITH(1989)提出了地学领域信息系统的三维表示方法,RAPER(1989)提出了地学领域的一些三维模型;FRITSCH(1990)阐述了三维 GIS 的数据结构,MOLENAAR 进一步提出了三维矢量图的数据结构;PICOT(1991)、MEIJ(1992)、MOLENAAR(1992)针对空间信息系统的特点,提出了三维 GIS 模型的拓扑结构,为三维 GIS 向实用化方向转变确立了理论依据。在此之后,又有一些专家提出了针对三维 GIS 的空间数据分析方法。三维 GIS 理论的不成熟使得真三维 GIS 向实用化方向发展成为可能,市场上也开始有一些真三维的 GIS 商品软件逐渐问世。目前,比较优秀的真三维 GIS 有德国 WASY 公司的 FERLOW 等。

我国自 70 年代初开始 GIS 研究以来,虽然起步较晚,但在近几年也取得了突出的成就。近年来,关于空间数据分析的讨论很多,并且已经取得了突破性的进展。空间拓扑学、最优化方法、图论等数学方法的发展为空间数据分析提供了新的手段。空间(包括三维空间)数据分析中的核心内容,数据模型已经有了一些比较成熟的建模方法。可以说,空间数据分析技术的提高是 GIS 向实用化方向发展的基础。

3.1 地质体的可视化研究

可视化(Visualization)是指在人脑中形成对某事物(或某人)的图像,是一个心智处理过程,它可以提高对事物的观察力及建立概念等能力,在西方地图学文献中,可视化这个词的使用可追溯到至少 40 年

以前,但是,1987 年美国国家科学基金会报告中的科学计算可视化,却具有新的含义,科学计算可视化是通过研制计算机工具、技术和系统,把实验或数值计算获得的大量抽象数据转换为人的视觉可以直接感受的计算机图形图像,从而可进行数据探索和分析^[19~22]。

早期 GIS 的可视化研究受限于计算机二维图形的软硬件显示技术,大量的研究都放在图形显示的算法上,如画线、颜色选择等。继二维可视化研究之后,进一步发展为对地学等值线图(如数字高程模型)的“三维”图形显示技术的研究,这种方法主要应用三维到二维的坐标转换、隐藏线、面消隐、阴影处理、光照模型等技术,把三维空间数据投影到二维屏幕上。由于这种方法中的地学数据场是二维的,而不是真三维实体空间关系的描述,因此这种“三维”只能是 2.5 维的,也就是说,是假三维的 GIS 可视化表示。但现实世界是真三维空间,二维 GIS 无法描述诸如地质体、矿山、海洋、大气等地学真三维数据场。

随着计算机科学的发展和空间数据库理论的成熟,使得动态处理具有复杂空间关系的大数据量成为可能,也使得动态 GIS、时空数据模型、图形实时动态与反馈等研究方兴未艾。目前,GIS 的可视化研究着重在技术层次上,目标是用图形实时地呈现地学模型及其处理结果。

3.2 真三维 GIS 的建立

真三维 GIS 是指对具有三维地理参考坐标的信息进行输入、存储、编辑、查询、空间分析和模拟的计算机系统。目前的三维 GIS 包括两个方向:

1) 利用三维几何和 CAD 领域的可视化方法构成 3D - GIS 中交互式的模型和可视化系统。现在,三维几何造型技术已经发展得很成熟,例如 CSG 和边界表达式,但是这些方法几乎都没有考虑数据的空间拓扑关系。

2) 开发 3D - GIS 数据管理和空间分析的能力,它从数据库建模方面考虑,从决策角度上来看,它更具有实用性。

从三维角度出发,分析地质体的空间特征,编制能够自动建立三维模型的分析程序,再借助于人机对话方式,把用户的新思想融入三维模型中,应是解决问题的一种可行方法。

4 拟采取的技术路线与实施方案

4.1 空间数据库的建立

空间数据库是建立三维GIS的前提,其主要内容有以下两点:

1) 建立空间数据库,包括基本库和属性库的建立。其中基本库用以存放钻孔的基本信息,主要包括钻孔号,空间三维坐标(x, y, z)以及所属的岩层。而属性库则用以存放岩层的属性信息。通常,属性信息分为两种,一种是可以直接得到的,如岩性、颜色等;另外一种不能直接得到,必须经过一定计算才能求出,如岩层厚度、储量、体积、面积等。

2) 建立图例库。对于一些常规数据,可以建立常规库,供空间库调用。比如,对于自动成图中使用的图例,不必每一次都重画,可以根据常见的岩性建立图例库,使用时可以直接从图例库调用。图例库的每一条记录由岩性和图例两个字段组成,通过图例与属性库相关联。

为了实现GIS快速查询和空间分析的功能,在建立基本库时,必须注意考虑各个地质实体间的拓扑关系。对于地质实体,决定采用宋现锋^[23]提出的点—边界—界面—体的拓扑结构。这种结构中主要有四种图形要素:结点、界面边界、界面及岩体,其拓扑结构如图1:



图1 地质实体拓扑关系结构图

4.2 三维地质曲面的构建

一般说来,原始的地质数据主要来自钻孔数据,而这些钻孔数据大都是离散且不规则的。如何通过这些离散的信息恢复地质形态的原貌,使其更好地为煤矿生产服务,一直是地质工作者研究的热点。

原始的钻孔数据不经过处理是没法绘制出理想的曲面的,必须对原始钻孔数据进行预处理。根据绘制曲面的方法,对原始数据进行预处理的方法主要有两种:

1) 若采用双三次B样条方法绘制曲面,由于这种方法通常使用矩阵运算实现,要求数据必须是矩形的,也就是说,数据必须按照规则的格网排列,所以可以采用B样条插值的方法对原始数据进行预处理^[24]。

2) 若采用三角网法绘制曲面,则必须根据已知数据进行三角网剖分。目前能够实现三角网剖分的算法很多,较为流行的有Delaunay三角网剖分法等。

在绘制三维曲面的过程中,应充分考虑到各种空间三维模型,实现真三维操作,空间坐标中的 z 值参与坐标运算,而不再是以往所说的一个属性值。在绘制出各个岩层的曲面之后,考虑到各个岩层之间有可能出现一些不整合现象,也就是说曲面之间可能会出现相交的情况,因此必须实现曲面的求交运算,将可视的部分表示出来。同时能够求出曲面相交的交线,供绘制剖面图和平面图使用。绘制出曲面之后,还必须实现三维地质体的消隐计算,这样才能符合人体视觉的要求^[25-35]。

4.3 三维地质体及其动态显示

作为一个真正的三维实体模型,仅仅绘制出曲面是不够的,必须通过一定的光照模型给曲面上色。在建立曲面模型之后,采用OpenGL作为后续工作的工具。应用OpenGL在空间图形操作上的强大功能,对三维地质体的曲面进行着色、纹理处理等细化加工,并运用一定的光源设置,使三维地质体更加逼真的显示。

为了实现图形的动态显示,同时也是为了后面进行虚拟现实的研究,必须运用一定的算法实现对三维实体进行动态操作的功能。同样采用目前最流行的图形库OpenGL对地质体进行动态旋转,视景变换等操作,从而实现三维地质体的动态仿真显示。在实现三维地质实体的动态演示时,可以截取某一时刻的图像,作为图像文件存储下来。对于不同形态的图形能够保存为一定格式的图像文件^[36]。

4.4 查询模块

作为GIS,其最基本的功能是可以自动成图和信息查询。因此作为真三维GIS软件也应具备这两个最基本的条件。由于时间关系,系统准备只完成最简单的查询操作功能,能够通过鼠标的点击将数据库中的反映属性的那部分信息显示出来。属性能否正确的显示,取决于空间数据库建立的正确与否。

4.5 平面图与剖面图的自动绘制

在实际工作中,地质图件,尤其是平面图和剖面图,对煤矿生产具有非常重要指导作用和现实意义。通过各种图件可以分析矿井的地质状况,进一步为煤矿的生产、决策提供科学的依据,因此,这些图件的自动绘制也具有非常重要的意义。一般来说,传统的地质绘图必须通过手工制图或者计算机辅助设计才能实现。近年来,随着计算机图形学技术的不断发展,及其在地质领域的应用的深入,计算机自动绘图的算法和功能变的逐渐成熟。

在实现曲面求交计算的前提下,平面图与剖面

图的自动绘制是很容易实现的。其方法为:在范围内给出任意一个尺度的水平面,它与上面所画出的曲面相交,求出的交线即为平面图;在范围内给出任意一个垂直面与上面的曲面求交,就可以求出剖面图^[37]。

在绘制出平面图和剖面图后,调用相关的属性库及图例库,将图例库的相对应的图案充填其中。增加 GIS 的查询功能,能够输出岩层的各种属性。

绘制出平面图和剖面图之后,可以进一步完善图件,通过交互式的手段把平面图和剖面图作为成图,并将图件存为图形格式。

4.6 煤矿虚拟现实的研究

所谓虚拟现实(Virtual Reality,简称 VR)是指由计算机生成的一种实时三维空间(通常叫做虚拟现实环境)。用户在这种环境下看到的是全彩色的三维景观,听到的是虚拟环境中的音响,感受到的是虚拟环境反馈的作用力,用户由此产生一种身临其境的感觉。近几年来,虚拟现实技术发展的非常快,已经在航空航天、建筑、医疗、教育等领域得到初步应用^[38,39]。

随着 GIS 应用领域的不断扩大,普及程度的不断提高,人们对 GIS 的操作界面和结果的可理解性提出了越来越高的要求。那种将数据转换为视觉图像的传统方法已经不能满足 GIS 的这种要求。在目前的计算机硬件条件和其它技术条件的支持下,GIS 在三维动态仿真方面的功能已经大大提高。一些功能强大的 3D 制作软件(如 3D MAX),能够产生形态复杂,形象逼真的三维实体,供其它开发工具调用。这里我采用虚拟现实的有关思想,增强三维图形操作过程中的交互功能,从而力求能够体现一些虚拟现实的特点。

在人机交互的系统中,最基本的交互方式都是通过鼠标进行的^[40]。Nielson 等人在 1986 年提出了用鼠标器进行三维交互的方法,在这些工作中普遍采用了在二维显示屏上显示光标及控制点,用二维的交互设备输入三维变换参数的方法。

实现三维交互算法的根本目标是在于提供用户控制三维物体在屏幕上平移,旋转的方法。目前这个问题的研究焦点集中于如何利用鼠标器控制屏幕上的虚拟控制器来实现三维的交互任务,通过旋转操作,用户可以实现绕 x, y, z 三轴的旋转,通过平移变换,用户可以实现物体在空间中任意两点的平移。各种坐标之间的转换可以如图 2 所示:



图 2 各种坐标之间的转换关系

5 结语

根据上面所述,建立矿山三维 GIS 的需要做的主要工作可概括为以下几个方面:根据现场数据建立三维空间数据的模型,并建立相关的空间数据库;实现三维曲面的绘制,并解决相交曲面的显示算法;实现三维地质体的动态显示;完成平面图与剖面图的自动绘制功能;地质信息的查询;煤矿虚拟环境的建立。相信随着计算机水平的提高以及三维空间数据模型的成熟,适合于煤矿的三维 GIS 平台一定会产生。

[参考文献]

- [1] 郭达志,等.地理信息系统基础与应用[M].北京:煤炭工业出版社,1997.
- [2] 黄杏元,汤勤.地理信息系统概论[M].北京:高等教育出版社,1990.
- [3] Al Gore. The Digital Earth: Understanding Our Planet In The 21st Century[J]. California, Jan. 1998.
- [4] 李德仁.信息高速公路、空间数据基础设施与数字地球[J].测绘学报.1999,28(1):1~5.
- [5] 李德仁,李清泉.地球空间信息科学的兴起与跨学科发展[M].北京:中国科学技术出版社,1998.
- [6] 林宗坚.关于构建数字地球基础框架的思考[J].测绘学报.1999,28(4):2~3.
- [7] 郭华东,杨崇俊.建设国家对地观测体系,构筑“数字地球”[J].遥感学报.1999,3(2):90~93.
- [8] 贾志刚.精通 OpenGL[M].北京:电子工业出版社,1998.
- [9] Van Driel J N. Three - dimensional display of geologic data[J]. Washington: American Geographical Union. 1989.
- [10] Arnaud de la Losa, Bernard Cervelle. 3D Topological modeling and visualization for 3D GIS[J]. Computers & Graphics. 1999, (3): 469 ~ 478.
- [11] CAROL A, EDDY B, LOONEY. Three - dimensional digital imaging of environmental data: selection of gridding parameters[J]. 1993, (7): 165 ~ 172.
- [12] Bak P, Mill A. . representation in a geo - scientific resource management system for the minerals industry[A]. Three dimensional application in geographical information systems. 1989, 3(1), 15 ~ 31.
- [13] Raper J F. The 3 - dimensional geo - scientific mapping and modeling system: a conceptual design[M]. London: Taylor & Francis. 1989. 11 ~ 19.
- [14] Fritsch D. Towards three - dimensional data structures in Geographic Information Systems[A]. Utrecht: EGIS Foundation. 1990, 335 ~ 345.
- [15] Mblenaar M. A topology for 3 - D vector maps[A]. ITC Journal. 1992:25 ~ 33 .

- [16] Pigot S. Topological models for 3 - D spatial information systems[J]. Technical Papers. ACSM - ASPRS Annual Convention. 1991 ,(6) :368 ~ 392.
- [17] Smith D R,Paradis A R. Three - dimensional GIS for the earth sciences[A]. In proceedings of 9th International Symposium on computer - assisted cartography. 1989. 324 ~ 325.
- [18] Mblenaar M. A formal data structure for 3D vector maps[J]. Proceedings of EGIS '90, Amsterdam, The Netherlands. 1990 ,(2) :770 ~ 781.
- [19] 龚建华. 地学可视化探讨[J]. 遥感学报. 1999 ,3(3) :236 ~ 242.
- [20] 刘晓强. 科学可视化的研究现状与发展趋势[J]. 工程图学学报. 1997 ,(2 - 3) :124 ~ 129.
- [21] 华庆一,房鼎益. 三维可视化对于认知的作用[J]. 计算机工程与科学. 1998 ,20(3) :36 ~ 41.
- [22] 李军,等. “数字地球”中的三维 GIS 技术[J]. 电子科技导报. 1999 :20 ~ 22.
- [23] 宋现锋. 基于钻探信息的三维地质模型的研究[A]. 硕士学位论文. 徐州:中国矿业大学,1995.
- [24] 余志伟. 一种新的地质曲面插值算法—曲面样条函数方法[J]. 中国矿业学院学报, 1987,16(4) :69 ~ 76.
- [25] 毛善君. 煤矿地理信息系统的理论与方法研究[A]. 博士学位论文. 徐州:中国矿业大学,1997.
- [26] 孙家广,杨长贵. 计算机图形学(新版) [M]. 北京:清华大学出版社. 1995. 5. .
- [27] 史明寅. 煤层体三维模型和动态显示研究[A]. 硕士学位论文. 徐州:中国矿业大学,1997.
- [28] 王胜君. 层状矿床构模技术及其可视化研究[A]. 硕士学位论文. 徐州:中国矿业大学,1996.
- [29] 应道宁,吴中奇,王尔健,等. 计算机绘图[M]. 杭州:浙江大学出版社. 1990.
- [30] 刘春太,等. 任意平面域渐变三角形网格的自动划分[J]. 计算机辅助设计与图形学学报. 1999 ,11(4) :293 ~ 295.
- [31] 郭薇,等. 面向地理信息系统的三维空间数据模型[J]. 江西科学. 1999 ,17(2) :77 ~ 82.
- [32] 陈立生,等. 三维地质模型的建立、图形显示及其应用[J]. 石油勘探与开发. 1993 ,20(4) .
- [33] 杨德麟. 数字地面模型[J]. 测绘通报. 1998(3) :37 ~ 38.
- [34] 陈永府,等. 任意曲面的三角形网格划分[J]. 计算机辅助设计和图形学学报. 1997 ,9(5) :396 ~ 401.
- [35] 杨晓东,等. 利用参数平面生成曲面的均匀三角形网络[J]. 计算机技术与自动化. 1999 ,18(1) :31 ~ 35.
- [36] 孙庆杰,等. 一种基于 Bezier 插值曲面的图像放大方法[J]. 软件学报. 1999 ,10(60) :570 ~ 573.
- [37] 余正生,等. 一种参数曲面与隐式曲面的求交算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报. 1999 ,11(2) :97 ~ 99.
- [38] 曾建超,俞志和. 虚拟现实的技术及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [39] 曾芬芳. 虚拟现实技术[M]. 上海:上海交通大学出版社,1997.
- [40] 石教英,蔡文立. 科学计算可视化算法与系统[M]. 北京:科学出版社. 1996.

ON THREE - DIMENSIONAL GIS OF COAL MINE

RUI Xiao - ping ,YU Zhi - wei ,XU You - zhi

Abstract: According to the practical situation of the coalmine , the necessity of three - dimensional GIS ' development was discussed. The way and thought clue of three - dimensional GIS ' development are also put forward.

Key words: coal mine ,three - dimensional GIS ,digital earth ,data model



[第一作者简介]

芮小平(1975年-),男,1998年毕业于中国矿业大学,获学士学位,现为中国矿业大学在读硕士研究生,研究方向为遥感与地理信息系统。

通讯地址:江苏省徐州市 中国矿业大学资源学院地理系 邮政编码:221008