

技术方法

济南泉域重点地段可视化三维地质模型建立

唐永光¹, 赵辉², 董妍², 韩琳³, 葛江琨³

(1. 山东省地矿工程集团公司, 山东 济南 250013; 2. 济南市国土资源局, 山东 济南 250011; 3. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

摘要:为深化对济南泉域的认识,运用已有钻孔、地质图、地形图及剖面图等多源地质数据,通过对钻孔数据、地质边界、DEM数据、断层数据以及辅助数据等多源数据进行耦合,对剖面进行CAD设计以完善空间信息,建立了济南泉域钻孔模型、断层模型、层面模型,采用Horizons-to-solids方法实现了实体模型的重构,最终完成了济南保泉三维地质建模。该模型实现了空间信息全方位、一体化显示,刻画了地质对象之间复杂的空间关系,解决了地质空间数据的查询、分析、计算与管理,为济南保泉工作提供了有力的地质依据。

关键词:三维地质模型;可视化;保泉;济南

中图分类号:P628 **文献标识码:**B

长久以来人们对济南泉域的认识,缺乏全方位多层次立体综合理解,从提高济南泉水保护能力的角度出发,采用三维虚拟可视化技术建立济南泉域重点地段的三维地质模型,实现地质信息的三维可视化,以达到更加简洁、直观、多角度的展示泉域空间信息,实现三维空间信息的查询、分析、管理和利用,更好地为决策服务,从而为泉水保护工作提供有力的依据。

1 研究区背景条件

1.1 研究区范围

研究区位于市区泉群附近,区域范围东起省杂技团,西至八一立交桥,南起千佛山南麓,北至北园路,总面积17 km²。

1.2 地质背景

研究区地形由南向北逐渐变低,地面高程由南最高点千佛山279 m,向北逐渐过渡到23 m左右,模型空间延伸底界面标高为-300 m。地貌单元由南向北逐渐由残丘过渡到山前倾斜平原。区内地层由老到新依次为寒武纪张夏组、崮山组及炒米店组

和隐伏奥陶纪灰岩、隐伏闪长岩、砂砾石、粘性土、胶结砾岩、表层粉质粘土(含杂填土),共9个岩性层。区内主要有千佛山断裂、文化桥断裂2条SE—NW向的隐伏断层。

1.3 水文地质背景

建模区可划分三大含水岩组,即:松散岩类孔隙水含水岩组、碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组、岩浆岩裂隙含水岩组,岩溶水单井出水量一般1 000~5 000 m³/d,局部大于10 000 m³/d。区内的主要地表水系有护城河及大明湖,南部靠近山区地带有2条大的冲沟。地下水流场采用1990年6月和2004年6月市区地下水位。

2 三维地质建模

依据区内已有的45个钻孔数据、地质图、地形图及水文地质剖面图等多源地质数据^①,结合地质数据的特点及三模地质建模设计应用目标,拟采取多源数据耦合、多种构模方法集成、多维空间数据分析与查询的设计策略^[1],实现济南地区三维地质建模与可视化设计。

* 收稿日期:2012-04-10;修订日期:2012-04-20;编辑:陶卫卫

作者简介:唐永光(1963—),男,山东文登人,高级工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:16607713@qq.com。

①801水文地质工程地质大队,山东省济南市保泉供水水文地质勘探报告,1989年。

2.1 多源数据耦合

三维地质建模的数据种类繁多,根据不同特征可以划分为:钻孔数据、地质边界数据、DEM 数据、断层数据、层面数据及辅助数据。根据已有的资料,通过数字化仪、扫描仪,将原始数据数字化和矢量化,采用 Oracle 数据库工具管理、维护和处理信息,使用 MapGIS 或 ArcGIS9.0 软件生成一系列图层文件。

(1) 钻孔数据

钻孔数据主要是通过数据库管理系统建立和维护,主要包括属性数据库和几何数据库 2 大类。属性数据库主要包括钻孔的序号、位置、水位埋深、取水层位、资料来源等信息^[2,3],几何数据库主要包括钻孔的序号、三维坐标、地层代号、厚度、岩性等信息。数据库建好之后,利用数据库转换接口工具将钻孔数据输入到三维地质建模系统中,生成所有钻孔地质结构的一维柱状图,并赋予每个钻孔数据所表达的岩性特征和基本结构,生成钻孔的三维模型(图 1)。

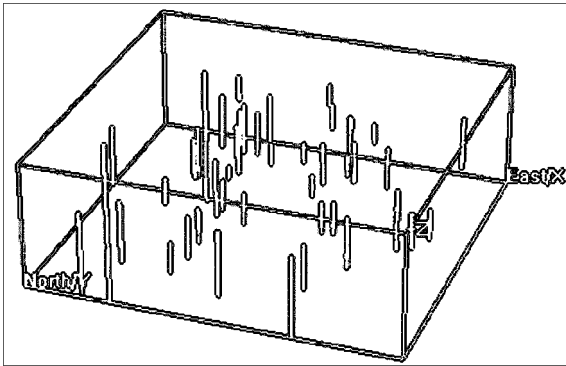


图 1 钻孔的三维模型

(2) 地质边界数据

通过 MapGIS 或 ArcGIS9.0 2D GIS 软件对地质图进行矢量化并提取研究区的地质边界,生成相应的 .dbf 文件, .shp 文件, .shx 文件, .sbn 文件以及 .sbx 文件,然后通过系统的数据转换接口工具,将地质边界的矢量数据导入到三维地质建模系统中。

(3) DEM 数据

DEM 数据分为点类和线类 2 种对象,其数据的获得可以通过 2 种方式:①将 DEM 数据进行矢量化,通过系统的数据转换接口工具,将其导入三维地质建模系统中;②通过 DEM/DTM 数据转换接口工具,将 DEM 栅格数据导入到三维地质建模系统。

(4) 断层数据

断层地质模型的建立主要是依据断层的属性及断层采样的离散数据,推演断层面的空间几何形态,断层数据划分为属性数据和空间数据。属性数据包括断层的倾向、倾角、走向、断距等信息,采用数据库管理系统来建立和维护。空间数据主要表达断层的空间形态及展布情况,依据断层数据来源不同采用 2 种处理方法:①依据地质图提取断层矢量数据,通过系统的数据转换接口工具,将断层数据导入到三维地质模型中;②采用钻孔、2D/3D 剖面的离散断点数据,作为三维建模系统的输入数据。断层空间数据进行预处理之后,基于断层数学模型,采用约束 Delaunay 三角化算法,模拟断层。由于区内钻孔和 2D 剖面数据有限,无法控制其空间产状,系统基于断层数学模型的理论方法,在推演断层面的基础上,结合有效的断点数据,进一步插值、拟合各个断层面,获得了合理解释的断层空间数学模型(图 2)。

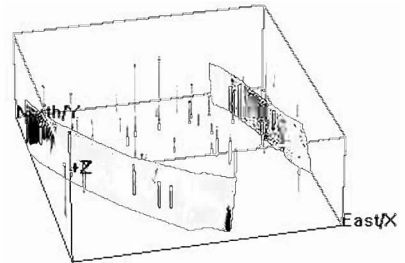


图 2 断层网络模型与钻孔柱状模型的叠加图

(5) 层面数据

层面的数据结构包括层面的岩性描述、层面所包含的节点个数、所有节点的三维坐标等,层面数据主要是指来自于 2D/3D 剖面以及其他系统的空间离散点的数据,同样作为三维建模系统的输入数据,经过数据耦合处理后,以建立地质体几何和拓扑模型。

(6) 辅助数据

指作为三维地质建模的辅助性数据,如纹理使用的 2D/3D 遥感图象,作为图标的图元,以及地名、地物,如泉址、水位、冲沟水系、大明湖等^[4]。

2.2 剖面 CAD 设计

在原始数据无法控制地层变化的盲区,利用剖面 CAD 工具,补充制作二维剖面图,以提高模型的精度。

(1) 数据转换

对利用现有的各种软件系统和设备产生的一系

列 2.5-D 及 2D 数据进行转换,保证地质剖面制图 CAD 可以安全、完整地接受 CAD,2D GIS 等软件产生的数据。

(2) 剖面设计

剖面设计包括参数设置、剖面定义、剖面建立、剖面扩展、断层推演、钻孔数据关联等操作,能够在三维空间通过交互式实现复杂剖面模型的建立(图 3a)。

(3) 编辑制作

编辑工具提供了在三维空间进行点、线、多边形以及面的增加、删除、修改、维护等操作,采用三维可视化交互式手段,对空间中的点、线、面进行选择、拾取,并提供插值方法对地层线进行光滑处理(图 3b)。

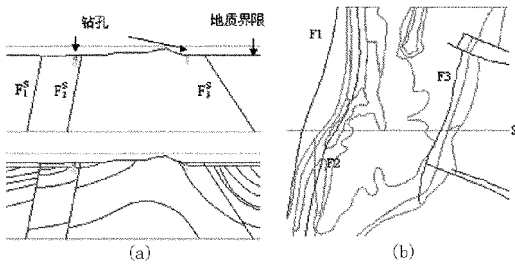


图 3 2D 剖面建立过程示意图

利用剖面 CAD 制作工具,在研究区域建立了 23 条 2D 剖面,图 4 显示了其中的部分剖面,并形成 .sec 文件,作为三维空间信息系统的有效数据,以弥补原始地质数据的不足。

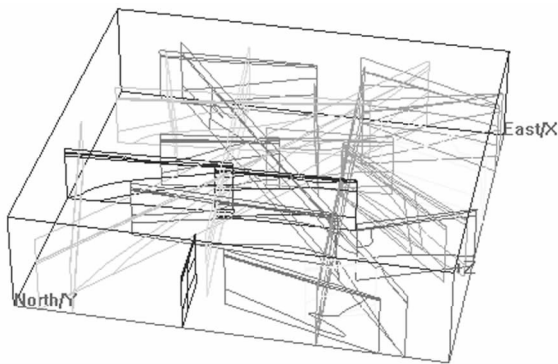


图 4 2D 剖面图

2.3 层面模型建立

依据层序地层学来建立层状框架模型,基于多源数据的耦合技术,利用空间插值、细化处理、集合运算、Constrained_Delaunay 三角化等技术方法,实现层面模型的构建。先定义一个初始模板,作为重构层面模型的参考格式,而后,基于钻孔数据、地质

边界、DEM 数据、断层数据、层面数据以及剖面数据,自顶向下依次建立每个层面模型。图 5 自上而下自左而右分别表示裸露粉质粘土、隐伏胶结砾岩、隐伏粘土、砂砾石、隐伏闪长岩、裸露/隐伏奥陶纪灰岩、寒武纪炒米店组、寒武纪崮山组、寒武纪张夏组的层面模型。用 R-Tree 链表结构对层状框架模型进行数据的存储管理,并将二维层状框架模型转化为“.hor”文件作为临时层面文件保存。

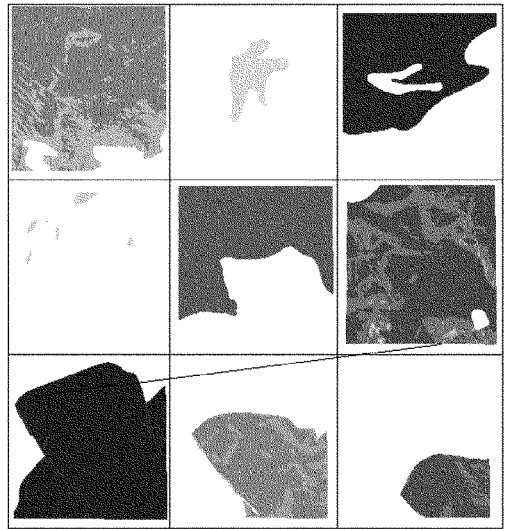


图 5 层面模型

2.4 实体模型重构

根据该区地质数据的特点以及三维地质建模的要求,系统采用 Horizons-to-solids 方法^[5],其步骤如下:

- (1)在断层模型、层状模型的基础上,首先计算层面与层面、层面与断层、断层与断层之间的交点。
- (2)重构存在交点的面状网格模型。
- (3)基于断层、层状模型,建立点、边、面及体几何对象之间的微观拓扑结构,以及地层、地质构造等实体对象之间的宏观拓扑结构,重构 B-rep 实体模型。
- (4)为了更好地应用三维地质模型,即进一步实现科学计算,提供友好的专业模块接口数据,系统基于 B-rep 模型建立了 TEN/3D grid 模型。

(5)三维实体模型建立之后,实现了地质体的三维网格剖分,在此基础上,建立属性数据库与几何模型间的对应关系,对网格模型中的每个网块、面片、边或节点赋予各自的参数值,可依据三维空间分布情况完成地质统计等计算,以反映属性的空间变化

特征,形成三维地质体的数值模拟。

图 6(a)为采用 Horizons - to - solids 方法,建立的三维地质可视化实体模型图,图 6(b)为剥离了部分地层之后的实体模型。它们描述了该区域地质体的岩性空间分布状况,并以“.vol"文件形式保存,其数据结构包括头结构、体结构和索引结构等。头结构包括各类几何对象的总数、地质实体三维包围盒空间范围、虚拟可视化的各种模型参数以及系统参数等;体结构包括点、边、约束多边形、约束曲线、面片、层面、网块及体的几何模型和拓扑模型的一系列数据;索引结构包括各种数据库之间、文件之间以及数据库与文件之间的对应关系等,如属性值与几何元象之间的对应关系、可视化绘制时采用的颜色或纹理对应关系等。

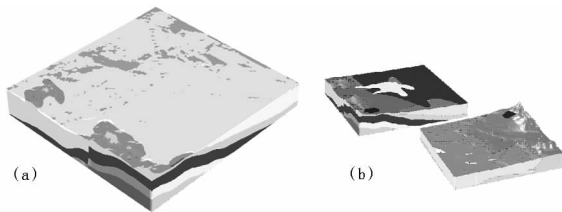


图 6 济南保泉三维地质模型

3 结语

(1)济南保泉三维地质模型通过多源数据的耦

合,空间信息的完善处理,提供了统一的三维显示通道,支持同一坐标中勘探数据的全方位、一体化显示。

(2)济南保泉三维地质可视化实体模型,包括钻孔模型、几何模型、拓扑模型、属性模型等,它反映了地质对象之间的相互关系,刻画了各个地层之间复杂的空间关系,实现了地质信息的空间剥离显示。

(3)济南保泉三维地质模型系统提供的 B - reps 模型、TIN 模型、TEN 模型等,为进一步实现地质数据空间分析和计算、专业模块设计奠定了坚实的基础。

(4)济南保泉三维地质模型的建立,为地质资料的保存与管理提供了一个数字平台,为城区内部改造、建设等决策的决定提供了有力的地质依据,对济南泉水的保护具有重要实际意义。

参考文献:

- [1] 武强,徐华. 虚拟地质建模与可视化[M]. 北京:科学出版社, 2011.
- [2] 邢立亭,王海会,刘锁柱. 济南保泉供水数据库的建立及其功能简介[J]. 山东地质,1999,15(1):52-55.
- [3] 徐军祥,邢立亭,佟光玉,等. 济南泉域地下水环境演化与保护[J]. 水文地质工程地质,2004,(6):69-73.
- [4] 刘彦花,吴湘滨,叶国华. 三维地质建模与可视化[J]. 科技导报,2009,(5):96-101.
- [5] 杨仕勇. 关于智能体环境下空间数据集成方法研究[J]. 山东国土资源,2011,27(9):48-52.

Establishment of Visualized 3D Geological Model in Key Sections in Jinan Spring Region

TANG Yongguang¹, ZHAO Hui², DONG Yan², HAN Lin³, GE Jiangkun³

(1. Shandong Geo - engineering Exploration Limited Corporation, Shandong Jinan 250014, China; 2. Jinan Bureau of Land and Resources, Shandong Jinan 250011, China; 3. Shandong Geo - engineering Institute, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: In order to deepen the understanding of Jinan spring area, by using the existing drilling datas, geological maps, topographic maps and profile maps, through coupling of borehole datas, geological boundaries, DEM datas, fault datas and multi - source datas, CAD design has been carried out to improve the spatial information of profiles, and drilling model, fault model, the level model of Jinan spring region have been set up. By using the Horizon - to - solids method, the reconstruction of the entity model has been realized. Thus, final three - dimensional geological model of Jinan spring protection has been finished. The model has realized comprehensive and integrated display of spatial information, depicted the complex spatial relationships between geological objects, solved geological spatial data query, analysis, calculation and management. It will provide a strong geological basis for the work of Jinan spring protection.

Key words: Three - dimensional geological model; visualization; spring protection; Jinan city