

基于 GMS 基岩矿区地下水三维实体模型的构建

覃荣高¹, 高建国¹, 臧小豹², 高星刚¹, 孙凤娟¹

(1. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093; 2. 江苏省地质矿产调查研究所, 江苏 南京 210000)

[摘要] 从雷诺输运定理中的控制体定义出发, 介绍基于 GMS(groundwater model system)软件界面下, 如何快速构建基岩矿区地下水三维实体(控制体)模型, 以及在 GMS 界面下如何实现通过实体模型向标准有限差分模型(MODFLOW)和三维有限元网格模型的转换。以供矿坑涌水量的数值计算及模拟使用。

[关键词] GMS, 雷诺输运方程, 实体模型, 有限元网格, 地下水, 数值模拟

[中图分类号] P641.8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1004-1184(2009)06-0015-03

Building of Groundwater 3-D Solid Model in Bedrock Region Based on GMS

QIN Rong-gao¹, GAO Jian-guo¹, ZANG Xiao-bao², GAO Xing-gang¹, SUN Feng-juan¹

(Geoscience Dep., College of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, kunming 650093, Yunnan, China)

Abstract: The article be off with the definition of control body in Reynolds transport law, introduces how to build 3-D groundwater solid model quickly in bedrock region, and how to convert the solid model to finite difference model and 3-D finite element gridding model based on GMS. It supplies utilization of numerical calculate and simulation in groundwater discharge of mine.

Keyword: GMS, Reynolds transport law, solid model, finite element grid, groundwater and numerical simulation

1 GMS 及常用建模工具简介

GMS(groundwater modeling system)是由美国 Brigham Young University 环境模型研究实验室和美国军队排水工程试验工作站在综合 MODFLOW、FEMWATER、MT3DMS、RT3D、SEAM3D、MODPATH、SEEP2D、NUFT、UTCHEM 等已有地下水模拟软件的基础上开发的用于地下水模拟的综合性图形界面软件,其图形界面有下拉菜单、编辑条、常用模块、工具栏、快捷键和帮助条 6 个部分组成,使用便捷^[1]。

Borehole 为利用钻孔数据建立水文地质结构模型的模块,通过对钻孔资料进行分析、整理,自动或手动生成水文地质体(Solid),建立水文地质结构模型。由该模块建立的水文地质结构模型,可以真实准确的反映水文地质结构。

TINs 为不规则三角剖分网格模块,主要功能是对计算区域按要求进行三角剖分,并将 2D ScatterPoint 模块中插值计算出的等值线图转化到每个剖分节点上的具体高程值,实现单一界面的空间展布。TIN 的剖分是可控的,可根据工作区的大小及精度要求确定剖分网格的大小。通过多个 TIN,可以直接生成水文地质体(Solid),进而建立水文地质结构模型。

Mesh 是网孔模块,包括 2D Mesh 及 3D Mesh,分别表示二维和三维网孔,该模块在基于有限元进行模拟计算的 FEMWATER 模块中具有十分重要的作用,它可以和 TIN 数据以及 MAP 覆盖层之间进行互相转换,通过 2D Mesh 和 Solid 模块建

立 3D Mesh 有限元网格模型,以供 FEMWATER 模块模拟计算使用。

Solid 是水文地质结构体模块,是 GMS 软件独有的模块。它可对由 Borehole 或 TIN 生成的水文地质结构体进行管理,通过对体(Solid)的相加、相减、相交运算生成新的水文地质体。在 Solid 中可根据需要分解和组合不同的层,在任意层位、任意位置切剖面,查看剖面上地层的展布情况。并可对模型进行空间上的旋转,从不同的角度观察模型的结构,达到可视化效果。

在 GMS 中,Borehole、Mesh、TINs 和 Solid 模块是在建立水文地质结构模型时常用的主要功能模块,其在水文地质结构可视化以及建模功能非常强大,其可利用有限的快速准确建立模型。

2 地层实体(solid)模型的构建

雷诺输运方程的物理意义^[2]是系统某物理量随时间的变化率,等于控制体内所含的该物理量随时间的变化率,加上单位时间内经过控制面净流出物理量。将方程中的物理量做相应代换处理便可用于渗流,从而可以推导出渗流的连续性方程。控制体是指流场中某一确定的空间区域,这里代表模拟计算的含水层实体。系统代表整个区域的地下水渗流系统。而雷诺输运定理是建立了控制体与系统的关系的定理。从该定理的物理意义出发更有利于理解渗流的连续性方程以及建立的各种数学物理模型。不同含水层的渗透性存在差异,因此分层准确的建立

[收稿日期] 2009-06-09

[作者简介] 覃荣高(1982-),男,壮族,广西来宾人,在读硕士,主要研究矿床水文地质数值模拟。

起代表不同含水层的控制体显得十分重要。

2.1 地形(TIN)模型的生成

基岩山区地形起伏变化较大,而通过有限的钻孔数据无法控制地层实体模型地表的起伏,因此无法真实再现矿区水文地质模型。然而 GMS 在利用生成钻孔数据和建立的 TIN 剖分范围数据转换为地层实体(Solid)模型(horizons to solid)的过程中提供了 primary TIN、top elevation 及 bottom elevation 三个选项,其用途分别是界定建立模型的范围、界定模型的顶面标高及底面标高。三个选项中均只支持 TIN 数据,其中界定顶、底面标高选项还分别可选以钻孔顶、底高程作为模型顶底面高程,以及支持自定义恒定高程值。基于以上特点,图1用赋高程值地形线生成的 TIN

建模过程中,首先用 MAPGIS 对矿区地形图进行矢量化以及校正,之后在等高线属性项中赋予相应高程值,最后将矢量化及赋值好高程属性的文件转换成 DXF 文件格式以供在 GMS 中建立地形(TIN)模型使用。经以上一系列处理后在 GMS 得到地形模型(图1)。



图1 用赋高程值地形线生成的 TIN

2.2 钻孔(borehole)数据的准备

建立地下水实体模型的过程本身就是圈定控制体范围的过程。钻孔(borehole)数据的准备是建立实体(solid)模型非常关键的一步,如何充分利用已有的勘探钻孔柱状图和剖面图十分重要。大倾角基岩山区情况特殊,由于地层倾斜,勘探钻孔深度不够,且多数较深钻孔均为斜孔,因此读取钻孔数据时不可完全依据柱状图。基于以上特点,在读取钻孔数据时除垂直钻孔利用柱状图量取外,倾斜孔及虚拟深孔均通过剖面图虚设钻孔获取。经以上处理可以使建立的实体模型更接近研究区实际情况。

2.3 实体(solid)模型的构建

GMS 提供了非常方便的实现从水平范围到立体(实体)模型的转换工具(horizons—>solid)。转换之前还必须完成以下几步,首先建立一个覆盖层(coverage),用建立弧段工具圈定建模区范围,可以根据需要用弧段对不同含水层参数地层区进行分割,以便后面模型转换时形成不同大小的有限元或有限差分网格。完成弧段分区块封闭之后,利用封闭的弧段建立各参数区多边形,同时将覆盖层文件转换成 TIN 文件,以备转换使用。其次是加载准备好的钻孔数据,对钻孔数据进行不同地层分界线赋值,该过程可以由计算机自动完成,但是计算机完成之后必

须人工严格检查以及手动纠正,以避免实体模型生成过程中出现错误。同一勘探线剖面上的钻孔最好都建立及填充钻孔横截面(cross section),不同勘探线之间可根据需要在揭穿相同地层数目的钻孔之间建立和填充钻孔横截面(图2),以更好控制不同含水层交界面的起伏变化。

经以上一系列数据准备,将赋值好的钻孔、覆盖层转换而得的 TIN 文件以及地形 TIN 文件加载到同一工程文件中,通过 horizons—>solid 命令便可以实现实体模型的建立。建立过程中使用者可以根据自己的需要进行相关选项的设置,本文实例选取准备好的地形 TIN 文件作为模型的最高层,以钻孔底面作为模型的最低层。完成设置之后选择相应的插值方法便可建立实体模型(图3)。从图中可看出模型最高层与地形起伏变化吻合较好,地层界线清晰,模型真实反映地层实际情况。

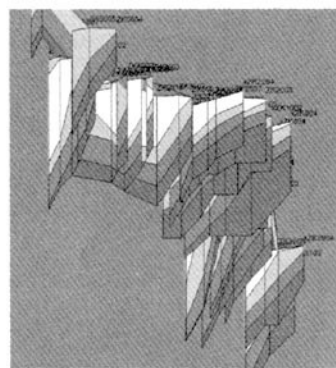


图2 钻孔及横截面示意图

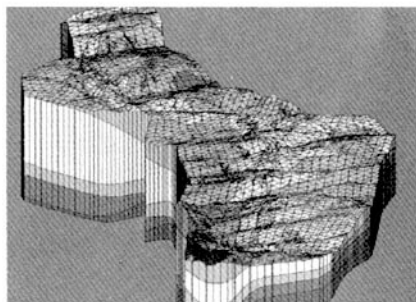


图3 用 TIN 和钻孔生成的地层实体模型

3 模型的转换

GMS 软件提供的常用水流数值计算模型主要有 MODFLOW、FEMWATER。MODFLOW 是标准的有限差分模型,在 GMS 界面下可以通过地图数据及实体模型数据等多种方式转换而得,转换后数据格式是三维栅格数据。而 FEMWATER 是用来模拟饱和流与非饱和流环境下的水流和溶质迁移的三维有限元耦合模型。FEMWATER 模块提供了三种模拟方法:流动、运移以及流动与运移耦合。使用者可以根据需要选择计算模型。地层实体模型建立之后无法进行计算,因此必须进行模型的转换。通常 GMS 提供了以下几种转换工具实现模型的转换。

通过 solid 菜单栏下的 solid—>MODFLOW 可以实现实体模型向有限差分模型的转换,转换后的 MODFLOW 模型,使用

者根据实际水文地质条件进行地下水数值模拟计算。

通过 solid—>HUF 可以快速生成 HUF(Hydrogeologic Unit Flow)包,该单元包是 MODFLOW2000 新增加的一个模块,它设计目的是以独立栅格的方式代表复杂地层关系,以便于复杂地层关系的模拟及计算。

由于 FEMWATER 是基于有限元, 支持的文件格式是 3D Mesh, 因此通过 solid—>3D Mesh 命令实现实体模型向有限元网格模型的转换(图 4), 从而为 FEMWATER 进行数值模拟提供模型。

完成模型的转换后,可以利用 GMS 集成的 MODFLOW、FEMWATER 等模块新建模拟模型,进行初始条件、边界条件及源/汇项的设置之后,便可以进行矿区地下水的数值模拟与预测。

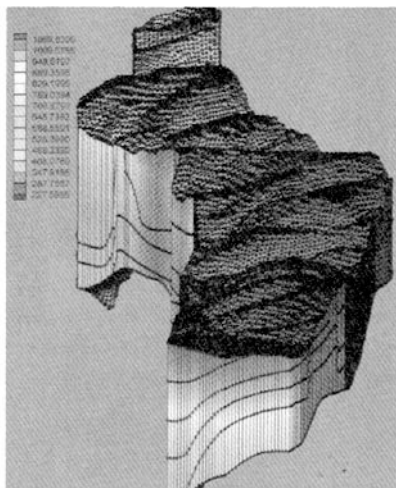


图 4 由实体模型转换成网格模型

4 建模过程注意的问题

笔者在应用 GMS 建模过程中发现的一些问题及解决办法,在此列举以供同行借鉴,提高建模效率。

(1) GMS 支持倾斜钻孔数据的读取以及生成斜孔,但是在使用钻孔建立实体模型时软件却不支持倾斜钻孔,软件会因为某个钻孔不垂直而终止生成实体模型。因此处理倾斜钻孔数据时,不可机械照搬钻孔数据,而要根据剖面图地质分界线进行量取。在剖面图读取钻孔数据时,应尽量在不同含水层出露地表分界线处设立虚拟钻孔,以便模型生成时真实反映地层出露情况,为不同含水层赋予不同降雨入渗系数提供依据。

(2) FEMWATER 支持的 3D Mesh 的建立可以通过建立 solid 模型转换而得,也可以先通过将建模范围区域的 TIN 数据转换成 2D Mesh,从而应用类似实体生成的方式通过 horizons—>3D Mesh 命令完成有限元网格的构建。两者的区别在于:前者可以根据需要,可将不需要构建有限元网格的地层(例如隔水层或者不必要的覆盖层)先在实体模型中删除,然后构建保留地层网格单元;后者则只能构建钻孔揭露的所有地层的网格单元。使用者可根据自己建模的实际需要选择相应的构建方法。

(3) 无论是通过 horizons—>solid 命令建立地层实体模型, 还是 horizons—>3D Mesh 命令实现有限元网格的构建, 在设置过程的最后一步都是插值方法的选择。软件提供了两种插值方法, 即 Inverse Distance to a Power(反距离加权插值法和 Natural Neighbor(自然邻点插值法)。笔者使用过程发现, 选择前者能较迅速生成实体模型或有限元网格模型, 但是该插值方法使用于钻孔数量有限的区域建立起的模型, 无法真是反映该区域的地层情况, 甚至出现局部部位某个地层突然“空洞”或“凸起”。而选择后者则可以避免出现以上问题, 即使在钻孔数量较少的地段也能保证地层分界面较平滑。

5 结语

GMS 提供了丰富的建模工具,支持多种数据格式,包括 dxf、shp 等常用的数据格式,建模过程中应尽量灵活转换并使用已有数据,以节约时间,提高建模效率。

由于基岩矿区水文地质条件控制程度较低,如何有效利用探矿钻孔以及生产坑道揭露的含水层情况界定模型的边界条件还有待进一步研究。

在选择数值模拟计算方法之前,应了解有限差分方法及有限元法应用于地下水数值模拟的优缺点,认真分析研究区的水文地质条件,选择适当方法,从而决定选择 MODFLOW 或 FEMWATER 进行模拟。

参考文献

- [1] 曹剑峰,等.专门水文地质学.北京:地质出版社,2006:311—325.
- [2] 郭东屏,张石峰,著.渗流理论基础.西安:陕西科学技术出版社,1994:36—64.
- [3] 祝晓彬.地下水模拟系统(GMS)软件[J].水文地质工程地质.2003.5:53—55.
- [4] 韩程辉,刘文生.地下水模拟系统(GMS)与矿井防治水.矿业安全与环保,2005,32(1):25—28.
- [5] 张更生,姜诤男,易南概等.2006.基于 FEMWATER 矿冶污水在岩土介质扩散的三维数值模拟.有色矿冶 22(6):46—49.
- [6] 梅一,吴吉春. FEMWATER 模块下三维有限元网格的构建.工程勘察,2008.9:28—35.
- [7] GMS 6.0 Tutorials Copyright 2005 Brigham Young University - Environmental Modeling Research Laboratory.
- [8] 薛禹群,谢春红.地下水数值模拟.北京:科学出版社,2007,145—148.
- [9] A Three—Dimensional Finite Element Computer Model for Simulating Density — Dependent Flow and Transport in Variably Saturated Media. Version 3.0, USER'S MANUAL, Talbot US Army Engineer Research and Development Center Waterways Experiment Station.
- [10] 谢轶,苏小四,高淑琴.基 GMS 支持下的大庆地下水库区水文地质结构可视化模型.吉林大学学报(地球科学版),2006.11:51—54.
- [11] 贺国平,张彤,赵月芬等. GMS 数值建模方法研究综述[J].地下水,2007,29(3):32—38.